



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TASARSIZ ARAÇSAL AĞLARDA HAREKETLİLİĞİN  
ETKİSİ**

**Hazırlayan  
Ömer Faruk SARITAŞ**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2014  
KAYSERİ**





**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TASARSIZ ARAÇSAL AĞLARDA HAREKETLİLİĞİN  
ETKİSİ**

**Hazırlayan  
Ömer Faruk SARITAŞ**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2014  
KAYSERİ**

**BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK**

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ömer Faruk SARITAŞ



**YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI**

“Tasarsız Araçsal Ağlarda Hareketliliğin Etkisi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Ömer Faruk SARITAŞ



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK



ABD Başkanı

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA

**KABUL VE ONAY SAYFASI**

Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK danışmanlığında **Ömer Faruk SARITAŞ** tarafından hazırlanan “**Tasarsız Araçsal Ağlarda Hareketliliğin Etkisi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

04/02/2014

**JÜRİ:**

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK  
Üye :Yrd. Doç. Dr. Rıfat KURBAN  
Üye :Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÖKDEM

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 18/02/2014 tarih ve 2014/09/09... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Karim KEİLOGLU

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda bana destek olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK'e ve bu zorlu yolda desteğini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen eşim Kübra SARITAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarımda büyük katkıda bulunan Ayhan RENKLİER'e, Emre CEYHAN'a, Ziya AKSU'a ve Güneş KORKMAZ'a teşekkür ederim.

Bütün eğitim ve öğretim hayatım boyunca tüm imkânları ile bana destek olan ve her türlü fedakarlığı gösteren anneme, babama ve kardeşlerime şükranlarımı sunarım.

## **TASARSIZ ARAÇSAL AĞLARDA HAREKETLİLİĞİN ETKİSİ**

**Ömer Faruk SARITAŞ**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2014**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK**

### **ÖZET**

Trafik kazaları sonucunda her yıl 1.3 milyon ölüm ve 50 milyondan fazla yaralanma meydana gelmektedir. Bu kazaların en aza indirilmesi ve trafik problemlerini azaltmak amacıyla trafikte kablosuz ağların kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan tasarsız araçsal ağlar başlangıçta güvenliği amaçlayan yol bilgisi, kaza durumu, şerit takibi, hız limitleri vb. uygulamaları kapsamıştır. Daha sonra sürücüye ve yolculara yolculukta bilgi verme ve eğlendirme amacıyla internet, video ve bunu amaçlayan ticari uygulamalar eklenmiştir.

Bu tez çalışmasında, farklı trafik akışı ve veri oranları, paket pencere boyutu, popülasyon ve hata oranı değişimine göre tasarsız araçsal ağlarda hareketliliğin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada araç sayısı serbest akış modeli düşünülerek Poisson dağılımına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca Yol Altyapısında (road side unit, RSU) farklı iletim aralıkları için ağ doyumluk noktaları da incelenmiştir. Kanal durumlarının hataya yatkın oluşunu varsayarak, düğüm içerisinde her trafik sınıfına bakarak her pencere için backoff süresi, çerçeve servis süresi, bekleme süresi ve paketlerin çarpışma olmama durumundaki olasılık dağılımları hesaplanmıştır.

Tez çalışması sonucunda araç yoğunluğundaki artışın bir RSU'nun kapsama alanındaki kablosuz ağın doyuma ulaşmasına ve OBU'lardaki (On board Unit) arabelleğin taşmasına neden olabileceği gösterilmiştir. Trafik yoğunluğunun artması hareketliliğin azaltmasına neden olmuştur. Trafik yoğunluğun artması ile backoff zamanının ortalama süresi ve ortalama sırada bekleme süresi artmış ve çarpışma olmama olasılığı azalmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlara bakılarak ağın doyumluk durumunu önlemek amacıyla OBU'larda kullanılan veri tiplerine, araçlar arası minimum mesafeye ve yoldaki şerit sayısına bağlı olarak RSU'nun iletim kapsamının belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Trafik Teorisi, Tasarsız Araçsal Ağlar, IEEE 802.11p

# **MOBILITY IMPACT IN VEHICULAR AD HOC NETWORKS**

**Ömer Faruk SARITAŞ**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, February, 2014**

**Supervisor: Asist. Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK**

## **ABSTRACT**

Traffic accidents cause 1.3 million deaths and more than 50 million injuries each year. In order to reduce the number of these accidents as much as possible, there have been studies on the use of wireless networks in traffic. Initial studies of the vehicular ad-hoc networks used for this purpose include applications such as road information aiming safety, accident information, lane guidance speed limits and etc. Later studies on the subject focus on commercial based applications like internet and video in order to give information about travel to driver and passengers and to entertain them.

In this study, mobility effect in vehicular ad hoc networks according to the changes in different traffic flows and its data rates, packet window size, population and error rates has been examined. Number of the vehicles is determined according to Poisson distribution taking free stream model into consideration. In addition, network saturation points for different ports in RSU are analysed. Hypothesizing that port situations are prone to errors, backoff time, frame service time, waiting time for every window and probability of distribution of non-collision in packets.

As a result of this study, increase in vehicle density leads to saturation of the coverage area of RSU's wireless networks and buffer overflow in OBUs (On Board Unit). Increase in traffic density caused decrease in mobility. By the increase in traffic density, average duration backoff time and spent queueing time is enhanced, and the probability of collision is also increased. In addition, results reveal that RSU's transmission capacity needs to be determined in order to prevent saturation condition of the network depending on OBU datatypes, minimum distance between vehicles and the number of the lanes on the road.

**Keywords:** Traffic Theory, Vehicular Ad-hoc Networks, IEEE 802.11p

## İÇİNDEKİLER

### TASARSIZ ARAÇSAL AĞLARDA HAREKETLİLİĞİN ETKİSİ

|                                       | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------|--------------|
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI ..... | ii           |
| YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....       | iii          |
| KABUL VE ONAY SAYFASI.....            | iv           |
| TEŞEKKÜR SAYFASI.....                 | v            |
| ÖZET .....                            | v            |
| ABSTRACT.....                         | vii          |
| İÇİNDEKİLER.....                      | viii         |
| TABLolar LİSTESİ.....                 | x            |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                 | xi           |
| <b>GİRİŞ .....</b>                    | <b>1</b>     |

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.1. Kablosuz Ağlar .....</b>                        | <b>5</b>  |
| <b>1.1.1. Kablosuz Ağ Standartları.....</b>             | <b>5</b>  |
| <b>1.1.1.1. IEEE 802.11a .....</b>                      | <b>5</b>  |
| <b>1.1.1.2. IEEE 802.11b .....</b>                      | <b>6</b>  |
| <b>1.1.1.3. IEEE 802.11g .....</b>                      | <b>6</b>  |
| <b>1.1.1.4. IEEE 802.11n .....</b>                      | <b>6</b>  |
| <b>1.1.1.5. IEEE 802.11e.....</b>                       | <b>7</b>  |
| <b>1.2. Kablosuz ağlarda ortam Erişim Katmanı .....</b> | <b>7</b>  |
| <b>1.3. IEEE 802.11p.....</b>                           | <b>10</b> |
| <b>1.4. Trafik Akış Özellikleri .....</b>               | <b>13</b> |
| <b>1.4.1. Trafik Akış Parametreleri.....</b>            | <b>14</b> |
| <b>1.4.1.1. Akışın Hacmi ve Oranı .....</b>             | <b>15</b> |



|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.1.2. Hız ve Seyahat Zamanı .....                           | 15 |
| 1.4.1.3. Yoğunluk ve Doluluk Oranı .....                       | 16 |
| 1.4.2. Aralık ve Taşıt Aralığı: Mikroskobik Parametreler ..... | 17 |
| 1.4.3. Akış Oranı, Hız ve Yoğunluk İlişkisi .....              | 17 |
| 1.5. Literatür Taraması .....                                  | 19 |

## 2. BÖLÜM

### ANALİTİK MODEL

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 2.1. Araçların Dağılımı.....               | 23 |
| 2.2. IEEE 802.11p Modeli .....             | 24 |
| 2.3. Pencere Servis Süresine Göre PGF..... | 26 |
| 2.4. Bekleme Süresi ve İş Zamanı .....     | 32 |

## 3. BÖLÜM

### DENEYSEL DEĞERLENDİRME

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Farklı Veri Sınıfı ve Eşit Trafik Kombinasyonları İçin Hareketliliğin Etkisi ..... | 34 |
| 3.2. Farklı Pencere Boyutları İçin Hareketliliğin Etkisi .....                          | 38 |
| 3.3. Popülasyon Değişiminin Hareketliliğin Etkisi.....                                  | 48 |
| 3.4. Hata Oranı Değişiminin Hareketliliğin Etkisi.....                                  | 56 |

## 4.BÖLÜM

### SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.1. Sonuç.....                 | 64 |
| 4.2. Tartışma ve Öneriler ..... | 65 |
| KAYNAKLAR.....                  | 66 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                   | 71 |

**TABLÖLAR LİSTESİ**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1. CCH kanalı için EDCA parametreleri.....                               | 12 |
| Tablo 1.2. SCH kanalı için EDCA parametreleri.....                               | 12 |
| Tablo 3.1. Trafik akışının veri oranları.....                                    | 33 |
| Tablo 3.2. Kullanılan trafik kombinasyonları .....                               | 34 |
| Tablo 3.3. Farklı pencere boyutlarında kullanılan trafik kombinasyonları.....    | 38 |
| Tablo 3.5. %30-%30-%40 kullanılan trafik kombinasyonları .....                   | 48 |
| Tablo 3.6. %40-%40-%20 kullanılan trafik kombinasyonları .....                   | 49 |
| Tablo 3.7. Hata oranı değişimi durumunda kullanılan trafik kombinasyonları ..... | 56 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. DCF Sürecinin Basitleştirilmiş Örneği.....                                                                                                            | 8  |
| Şekil 1.2. Saklı İstasyon Problemi .....                                                                                                                         | 9  |
| Şekil 1.3. RTS,CTS ve NAV İşleyişi.....                                                                                                                          | 10 |
| Şekil 1.4. OSI WAVE Modeli .....                                                                                                                                 | 11 |
| Şekil 1.5. DSRC Spektrum Bandı [2] .....                                                                                                                         | 11 |
| Şekil 1.6. CCH-SCH zamanlaması .....                                                                                                                             | 13 |
| Şekil 1.7. Trafik akışı, hız ve yoğunluk arasındaki ilişki.....                                                                                                  | 18 |
| Şekil 2.1. Yol yapısı ve bölümleri .....                                                                                                                         | 21 |
| Şekil 2.2. Trafik akışı, hız ve yoğunluk arasındaki ilişki.....                                                                                                  | 23 |
| Şekil 2.5. Kanal x için Markov zinciri .....                                                                                                                     | 31 |
| Şekil 3.1. L 900, 500 ve 350 metre için CCH ve SCH kanallarının farklı veri sınıfı<br>ve eşit trafik kombinasyonları için backoff zamanının ortalama değeri..... | 35 |
| Şekil 3.2. L 900, 500 ve 350 metre için CCH ve SCH kanallarının farklı veri sınıfı<br>ve eşit trafik kombinasyonları için ortalama sırada bekleme süresi.....    | 36 |
| Şekil 3.3. L 900, 500 ve 350 metre için CCH ve SCH kanallarının farklı veri sınıfı<br>ve eşit trafik kombinasyonları için çarpışma olmama olasılığı.....         | 37 |
| Şekil 3.4. Çerçeve boyutu 250 bayt için L 900, 500 ve 350 metredeki CCH ve SCH<br>kanallarının backoff zamanının ortalama değeri .....                           | 39 |
| Şekil 3.5. Çerçeve boyutu 250 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH<br>kanallarının ortalama sırada bekleme süresi .....                             | 40 |
| Şekil 3.6. Çerçeve boyutu 250 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH<br>kanallarının çarpışma olmama olasılığı .....                                  | 41 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.7. Çerçeve boyutu 500 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri .....              | 42 |
| Şekil 3.8. Çerçeve boyutu 500 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi .....             | 43 |
| Şekil 3.9. Çerçeve boyutu 500 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı .....                  | 44 |
| Şekil 3.10. Çerçeve boyutu 1000 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri.....             | 45 |
| Şekil 3.11. Çerçeve boyutu 1000 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi.....            | 46 |
| Şekil 3.12. Çerçeve boyutu 1000 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı.....                 | 47 |
| Şekil 3.13. %30-%30-%40 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri .....  | 50 |
| Şekil 3.14. %30-%30-%40 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi ..... | 51 |
| Şekil 3.15. %30-%30-%40 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı .....      | 52 |
| Şekil 3.16. %40-%40-%20 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri .....  | 53 |
| Şekil 3.17. %40-%40-%20 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi ..... | 54 |
| Şekil 3.18. %40-%40-%20 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı .....      | 55 |
| Şekil 3.19. L 500 metre için CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri .....                                                      | 57 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.20. L 500 metre için CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi ..... | 58 |
| Şekil 3.21. L 500 metre için CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı .....      | 59 |
| Şekil 3.22. L 350 metre için CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri .....  | 60 |
| Şekil 3.23. L 350 metre için CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi ..... | 61 |
| Şekil 3.24. L 350 metre için CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı .....      | 62 |

# GİRİŞ

## Tezin Kapsamı ve Önemi

Dünyada yıldan yıla nüfusun artması ile birlikte araç sayısı da artmaktadır. Araç sayısının artması trafik kazalarının artmasına ve paralel olarak da trafik kazalarındaki ölüm oranının artmasına sebep olmaktadır. Son yıllarda teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte trafik güvenliğini artırmak, sürüş verimliliğini artırmak ve ticari uygulamalar için çalışmalar hızlandırılmıştır. Trafikğin güvenliği ve verimliliği için sürücülere yol yardımı (navigasyon), yol bilgisi (hız limiti ve yol yapım çalışması), uyarı mesajları (trafik yoğunluğu ve kaza bilgisi) gibi bilgilerin verilmesi sağlanmaktadır. Ticari uygulamalar olarak ise sürücülere ve yolculara internet erişiminin sağlanması, online TV, online oyun ve yol üzerindeki restoranlar, benzin istasyonları ve alışveriş merkezlerinin yayınlarının araçlarda kullanabilmesi amaçlanmaktadır. Bu uygulamalar için haberleşme ağının kurulması gerekmektedir. Bu haberleşme ağının karşılanması için Tasarsız Araçsal Ağlar (Vehicular Ad Hoc Networks, VANETs) kavramı ortaya atılmıştır. Tasarsız araçsal ağlarda, araçlar arası iletişim, araç-yol altyapısı (road side unit, RSU) iletişimi ve altyapı birimleri arası iletişim olmak üzere üç farklı iletişim şekli bulunmaktadır. Bu iletişim biçimleri her araçta bulunan OBU (On board Unit) ve RSU birimlerinin çevresel faktörler ve trafikğin akışına göre gerekli iletişim sağlaması esasına dayanır.

VANET Hareketli Tasarsız Ağların (Mobile Ad hoc Networks, MANET) özel bir durumu olarak tarif edilebilir. Ancak diğer tasarsız ağlardan hareket eden trafikte geçici bir ağ olması, kendi kendine organize olabilen bir yapı olması, sabit bir altyapı gerektirmemesi, basit olması ve dağıtık bir yapı olmaması gibi sebeplerden dolayı farklılık gösterir [1]. Araçların hareket halinde bulunmalarından dolayı, VANET'lerde ağ yapısı uzun süreli olarak aynı durumda kalamaz, sürekli değişkenlik gösterir. Araçlar

arası bağlantılar ve RSU'ya olan bağlantılar hızlı olmalıdır. Bağlantı için gerekli olan donanımların araçlarda bulunması aracın aküsünü kullanarak enerji ihtiyaçlarının giderilmesi ve diğer yönetsel faaliyetlerin yapılmasında kolaylık sağlamaktadır. VANET'ler, kablosuz ağ teknolojisi kullandığı için saldırıya açık ağlardır. Ancak kanal yapısı ve paket içerikleri farklı olduğu ve iletişim araçlarda ve RSU'larda olduğu için (kapalı yapıda olması nedeniyle) güvenlik açısından avantaj sağlamaktadır. Hareketlilikten dolayı yoldaki araç yoğunluğu farklı zamanlara ve bölgeye göre değişiklik gösterir. Ağ yoğunluğunun fazla olması Yayın Fırtınası (broadcast storm) problemini ortaya çıkarırken, seyreklikte ağ bağlılığı olumsuz yönde etkilenmektedir [2]. Doğal koşullar ve yolların yapısı sebebiyle RSU'ları her yere yerleştirmek maliyetli bir süreçtir. Bu yüzden araçlar arası iletişim ile RSU'lara ihtiyaç duymadan bir kablosuz ağ oluşturulabilmektedir.

VANET'ler bu gelişmeler çerçevesinde trafik alanında birçok gereksinimi karşılayacak uygulamalar ile ortaya çıkmıştır. Bu uygulamalar güvenlik, trafik verimliliği ve ticari amaçlı olarak üçe ayrılabilir [3]. Güvenlik amaçlı uygulamalar yoldaki bozuklukları, virajları belirten, araçların trafikte tehlikelerden haberdar olmalarını sağlayan uygulamalardır. Verimlilik amaçlı uygulamalar temelde trafiğin akışı ile ilgili bilgi veren uygulamalardır. Ticari amaçlı olan uygulamalar ise sürücünün ve yolcuların seyahatleri süresince kullandıkları video, internet ve müzik gibi eğlence amaçlı uygulamalardır. VANET'lerde kullanılan ve araştırması yapılan uygulamalardan bazıları şu şekildedir [2, 4-7]:

- Keskin virajlar, yol yapım çalışmaları, kör nokta uyarısı, şerit ihlali uyarısı, acil fren lambası, tehlikeli kavşak, demiryolu, yaya geçidi ve yaklaşan araç gibi çarpışma tehlikesi uyarılarının verilmesi,
- Acil durum araçlarının kaza anında ve sonrasında yönlendirilmesi, kazanın haber verilmesi,
- Acil durum araçlarının (itfaiye, ambulans vb.), acil durumlarda güzergâhtaki araçları uyarması,
- Acil durum araçlarının güzergâhtan kolayca geçebilecek şekilde trafik sinyalizasyon sistemini ayarlaması,

- Trafik yoğunluğu ve hava koşulları bilgisinin sürücüye bildirilmesi ve yoğunluk veya kötü hava koşullarında alternatif yol bilgisinin sürücüye verilmesi,
- Sisli havalarda araçlar arası iletişimle güvenli ve hızlı trafik akışının sağlanması,
- Trafik yönetimini kolaylaştırmak amacıyla trafiğin durumuna göre trafik ışıklarının yönetimi,
- Elektronik belgeler, elektronik ehliyet, araç güvenlik kontrolü ve çalıntı araç takibi gibi kamu güvenliğine yardım uygulamalarının gerçekleştirilmesi,
- Çevredeki petrol istasyonları, hastaneler, lokanta vb. ihtiyaç olabilecek yerlerin bilgisinin verilmesi,
- İnternet ve çoklu ortam uygulamalarının sağlanmasıdır.

VANET’lerde kablosuz ağ iletişim teknolojisinin kullanımı ile ilgili çalışmaların artması sonucunda IEEE 802.11p standardı 2010 yılında 802.11a standardının fiziksel ve MAC katmanında değişikliklerin yapılmasıyla geliştirilmiştir[8]. IEEE 802.11p protokolünün temelinde 5,9 GHz bandında, 75 MHz’lik bant genişliğine sahip DSRC (Dedicated Short Range Communications) standardı bulunmaktadır. DSRC spektrumu her biri 10 MHz genişliğine sahip 7 kanaldan meydana gelmektedir. Kanal 178 güvenlik uygulamalarında Kontrol Kanalı (CCH) olarak kullanılmaktadır. 174, 176, 180 ve 182 kanalları güvenlik amaçlı olmayan iletimi sağlamak amacıyla Servis Kanalı (SCH) olarak kullanılmaktadır. Diğer kanallar gelecekte kullanılmak amacıyla tutulmaktadır[9]. CCH kanalı güvenlik ve kontrol bilgilerinin iletilmesi için kullanılırken, SCH kanalları çoklu ortam verilerinin iletilmesi için kullanılmaktadır. IEEE 802.11p’de her kanal için cihaz üzerinde çalışan uygulamanın türüne göre 4 farklı veri sınıfı bulunmaktadır. Bu veriler yüksek öncelikten düşük önceliğe doğru Voice (Vo), Video (VI), Best Effort (BE) ve Background (BK) olarak sıralanır. Kazalar, engeller, kaygan veya bozulmuş yollar ve acil durum araçlarının yaklaşması gibi bilgiler kontrol kanalında en yüksek öncelikli verileri oluşturur. Sisli hava, aniden yağmur yağması, engebeli arazi gibi bilgiler ikinci yüksek öncelikli verileri oluşturur. Araçların bozulması ve yakıtlarının bitmesi gibi acil olmayan bilgiler daha düşük öncelikli verileri oluşturur. En düşük öncelikli veriler ise, servis kanallarına bağlantı kurmak için kullanılan verilerdir [10].



## **Tezin Amacı**

Bu tezin temel amacı VANET’lerde hareketliliğin etkisi incelenerek çoklu trafik kombinasyonları ve sınıfları için performans değerlendirmesini gerçekleştirmektir.

Bu tez çalışmasında, farklı trafik akışı ve veri oranları, paket pencere boyutu, popülasyon ve hata oranı değişimine göre VANET’lerde hareketliliğin etkisi incelenecektir. Bu çalışmada araç sayısı serbest akış modeli düşünülerek Poisson dağılımına göre değerlendirilecektir. Ayrıca RSU’da farklı iletim aralıkları için ağ doygunluk noktaları da incelenecektir. Kanal durumlarının hataya yatkın oluşunu varsayarak, düğüm içerisinde her trafik sınıfına bakarak her pencere için backoff süresi, çerçeve servis süresi, bekleme süresi ve paketlerin çarpışma olmama durumundaki olasılık dağılımları hesaplanacaktır.

## **Tezin İçeriği**

Bölüm 1’de, kablosuz ağlar, VANET ve trafik modeli hakkında temel bilgiler verilmiştir, VANET alanında yapılmış olan çalışmalar sunulmuştur ve bu yaklaşımların kısa bir değerlendirilmesi verilmiştir.

Bölüm 2’de, VANET’lerde hareketliliğin etkisi tanımlanmış ve bu tez kapsamında kullanılan VANET için trafik modeli anlatılmıştır.

Bölüm 3’de, farklı trafik akışı ve veri oranları, paket pencere boyutu, popülasyon ve hata oranı değişimine göre VANET’lerde hareketliliğin etkisi incelenmiştir.

Bölüm 4’de, çalışma sonuçları değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

# **1. BÖLÜM**

## **GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Kablosuz Ağlar**

Kablosuz ağlar kablo yerine radyo frekansları ve kızılötesi ışınları kullanarak veri iletişimini sağlayan bir teknolojidir. Veri radyo frekansları ve kızılötesi ışınlar hava ortamında iletilmekte ve hava ortamından alınmaktadır. Bu iletim de ve alım da belirli standartlara bağlı kalmaktadır. Bu standartlar IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) tarafından 802.x içerisinde geliştirilmeye başlanmıştır. Kablosuz ağların temelini 802.11 standardı oluşturmaktadır. 802.11 standardının yazılımsal ve donanımsal geliştirilmesi sonucu kablosuz ağ standartları yani 802.11x standart serisi ortaya çıkmıştır.

#### **1.1.1. Kablosuz Ağ Standartları**

IEEE kablosuz ağ standartlarını oluşturarak ve geliştirerek daha fonksiyonel kullanılmasını sağlamıştır. İlk olarak 802.11 standardını 1997 de ortaya çıkarmıştır. Bu standart 2,4 GHz frekansında, 2 Mbps hızında ve maksimum 75 metreyi kapsayan veri iletişimini gerçekleştirebilmektedir. Zamanla 802.11 standardında eksikliklerin çıkması sonucu 802.11x standartları ortaya çıkmıştır. Bu standartların en çok kullanılanları arasında 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n ve 802.11p yer almaktadır.

##### **1.1.1.1. IEEE 802.11a**

802.11a 1999 yılında 802.11 standardının yetersiz gelmesi sonucu ortaya çıkan ilk geliştirilmiş standarttır. Temelinde 802.11'e benzemektedir. Fakat 5 GHz frekansında, 54 Mbps hızında ve 100 metreyi kapsayacak şekilde çalışabilmektedir. 802.11'den temel farkı daha fazla bant genişliğine sahip olması ve daha fazla kapasiteye hizmet

vermesidir. Her iki nokta da daha fazla bant genişliğine olanak sağlamaktadır. 802.11a'da Dikey Frekans Bölümleme Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) olarak ifade edilen modülasyon tekniği kullanır. OFDM sinyal yansımalarından daha az etkilenmektedir. OFDM'de 8 tane çakışmayan 20 MHz'lik kanal tanımlanmıştır. Kanalların her biri alt taşıyıcıya bölünmüş ve böylece belirli bir zamanda yapılabilecek bağımsız aktarım sayısı artırılmıştır. 802.11a'nın kapalı alanlardaki kapsama alanı diğer standartlara göre daha düşüktür. Çünkü duvar gibi engeller tarafından emilimi daha fazladır[11].

#### **1.1.1.2. IEEE 802.11b**

802.11a ya alternatif olarak 1999 yılında çıkmıştır. 11 Mbps da ve 2,4 GHz de çalışmaktadır. Kapsama alanının ve uyum sorunlarının az olması nedeniyle 802.11a'ya göre daha fazla tercih edilmiştir. 802.11b'nin sağladığı en önemli avantaj kapsama alanı mesafesinin fazla olmasıdır. 2.4 GHz frekansında yayın yapmasından dolayı kapalı alanlarda yaklaşık olarak 38 metre, açık alanlarda ise 150 metreyi aşacak şekilde alanı kapsayabilmektedir. Ayrıca maliyet açısından da diğer standartlara göre oldukça uygundur[12]. Ancak cep telefonları, mikrodalgalar gibi araçlardan dolayı çok fazla parazitlenme yaşanabilmektedir.

#### **1.1.1.3. IEEE 802.11g**

2003 yılında IEEE tarafından kablosuz ağ standardı olarak geliştirilen teknolojidir. 802.11b'de olduğu gibi 2,4 GHz frekansında çalışmaktadır. 802.11g standardı temel olarak 802.11b standardının bir uzantısıdır, fakat veri iletim hızı ve kullanılan bant genişliğinde önemli ölçüde gelişme sağlanmıştır[12]. Bu standart toplam 54 Mbps bant genişliği sunar. Dezavantajı 802.11b'deki gibi üst üste binmeyen sadece üç kanal kullanılması ayrıca yüksek frekans yayılımı yapan cep telefonları, mikrodalgalar gibi sistemlerden etkilenmesidir.

#### **1.1.1.4. IEEE 802.11n**

2008 yılında IEEE tarafından kablosuz ağ standardı olarak geliştirilen teknoloji olan 802.11n 2,4 – 5 GHz ve dış mekanda 250 metre kapsama alanı sunmaktadır. Veri aktarımı için Çoklu Girdi-Çoklu Çıktı (Multiple Input - Multiple Output, MIMO)

teknikini kullanmaktadır. Bu sayede hem 2,4 GHz hem de 5 GHz frekanslarını aynı anda kullanabilmektedir. Dosya aktarım hızı 600 Mbps'e kadar çıkabiliyor. Fakat bunu yeterli sayıda alıcı ve gönderici antenin bulunması ile gerçekleştirebilir[12].

#### **1.1.1.5. IEEE 802.11e**

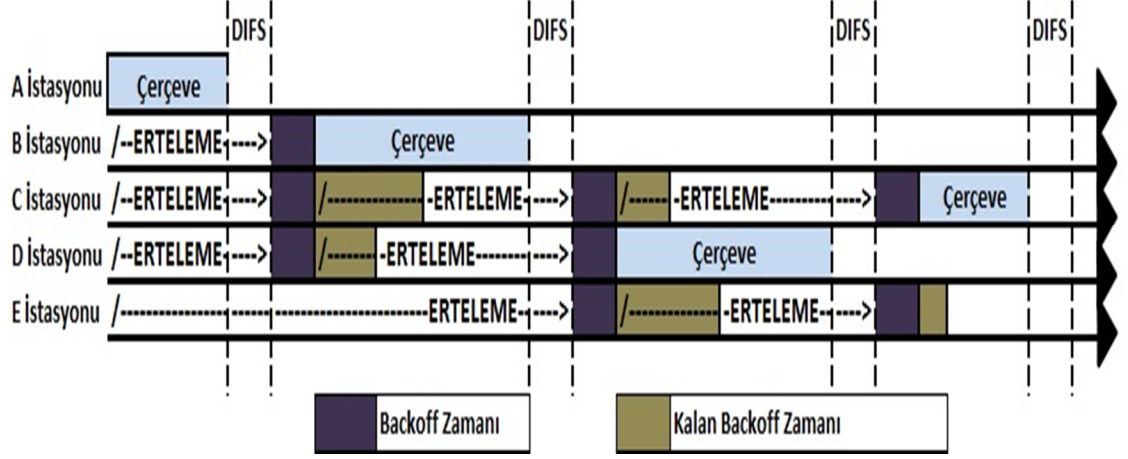
2005 yılında IEEE tarafından 802.11 standardına kablosuz ağlarda Servis Kalitesini (Quality of Service, QoS) getirebilmek amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Bu standartla görüntü, ses gibi gecikmeye müsamahası olmayan uygulamaların sorunsuz kullanabilmesi için geliştirilmiştir. Dört erişim kategorisi Video, Voice, Best Effort ve Background veri tiplerine göre öncelik belirlenir. Önceliği fazla olmakta ve bekleme süresi daha az olmaktadır. Bu sayede 802.11e standardı çoklu ortam uygulamalarında yaygın kullanılmaya başlanmıştır[2].

### **1.2. Kablosuz Ağlarda Ortam Erişim Katmanı**

Ortam Erişim Katmanı (Media Access Control, MAC) OSI modelinin veri bağı katmanının alt katmanıdır. MAC 802.11 standardı içerisinde istasyonlar arası iletişimi düzenleme ve iletişimin sürekliliğini sağlamak için kablosuz ağ kanallarını ve protokollerini yöneten fonksiyonlar içerir. 802.11 standardında ortam erişimi için temel mekanizma Dağıtılmış Koordinasyon İşlevi (Distributed Coordination Function, DCF)'dir. DCF Çarpışmadan Kaçınan Taşıyıcıyı Dinleyen Çoklu Erişim (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance, CSMA/CA) protokolü temelli rastgele erişime sahip bir fonksiyondur. Çarpışan paketlerin yeniden iletimi ikili üstel backoff kurallarına göre yönetilir[13,2].

Çerçeve gönderecek bir istasyon için iki durum söz konusu olabilir. Gönderimde bulunacak istasyon belirli bir süre bekler ve başka bir cihaz gönderimde bulunmuyorsa çerçeveyi gönderir, ardından alıcı istasyon çerçeveyi aldığını ve çarpışma olmadığını belirten onaylama çerçevesini geri bildirimde bulunur. Başka bir cihaz gönderimde bulunmak isterse istasyon kendi çerçevesini göndermek için diğer cihazın gönderiminin tamamlanmasına ek olarak rastlantısal bir süre daha bekledikten sonra iletim ortamı elverişli ise çerçeveyi gönderebilir. Veri göndermek isteyen her istasyonun beklemesi gereken süre DIFS (Distributed Coordination Function Interframe Space) süresi ile rastlantısal olarak seçilmiş backoff süresinin toplamı kadardır. Şekil 1.1, istasyon A'nın

veri gönderimi sırasında veri göndermek isteyen B, C ve D istasyonlarının davranışlarını göstermektedir[14].



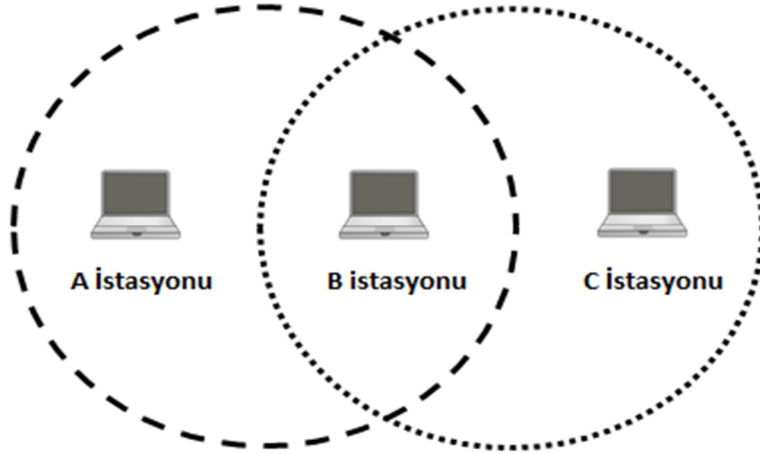
Şekil 1.1. DCF Sürecinin Basitleştirilmiş Örneği

Rastgele belirlenen backoff zamanı Çekişme Penceresi (Contention Window, CW) ile kontrol edilir ve 0,  $(CW-1)$  aralığında belirlenen bir değerdir. Başlangıçta cihaz üzerinde ayarlanmış  $CW_{min}$  değeri CW'ye atanır. CW daha sonra her başarısız denemeden sonra  $CW_{max}$  ulaşincaya kadar değeri arttırır. Eğer değer  $CW_{max}$  ulaşırsa yeniden başlayana kadar bu değeri kullanır. DCF kullanan bir istasyon veri çerçevesi gönderimi için aşağıdaki adımları uygular[14,2].

1. 0 ve  $CW_{min}$  arasında rastlantısal bir backoff hesaplamasında kullanılacak bir sayı seçer.
2. Gönderici istasyon kanal boş olduğu zaman, DIFS süresi boyunca bekler.
3. Hat boş kalmaya devam ederse rastlantısal backoff sayısı ile slot zamanının çarpımı kadar süre daha bekler.
4. Bu bekleme süresi zarfında backoff süresi daha düşük olan başka bir istasyon haberleşmeye başlarsa, ilk istasyon rastlantısal backoff sayısını beklediği slot zamanı sayısı kadar azaltır.
5. Hattın tekrar boş kalması durumunda DIFS süresine ek olarak bu yeni rastlantısal sayı ile hesaplanan süre kadar bekler. Bu süre sonunda hat boş ise paketi gönderir.

6. Eğer iki istasyonun aynı anda rastlantısal backoff sayısı 0 olursa DIFS süresi sonunda paketlerini aynı anda yolladıkları için ağda çarpışma gerçekleşir. Bu durumda yeni CW değeri hesaplanır ve bu değere bağlı olarak DCF süreci tekrarlanır. Bu yeni süreçte kullanılacak CW değeri  $2*(CW+1)-1$  formülü ile hesaplanır. Fakat CW değeri  $CW_{max}$  değerinden büyük olamaz[14,2].

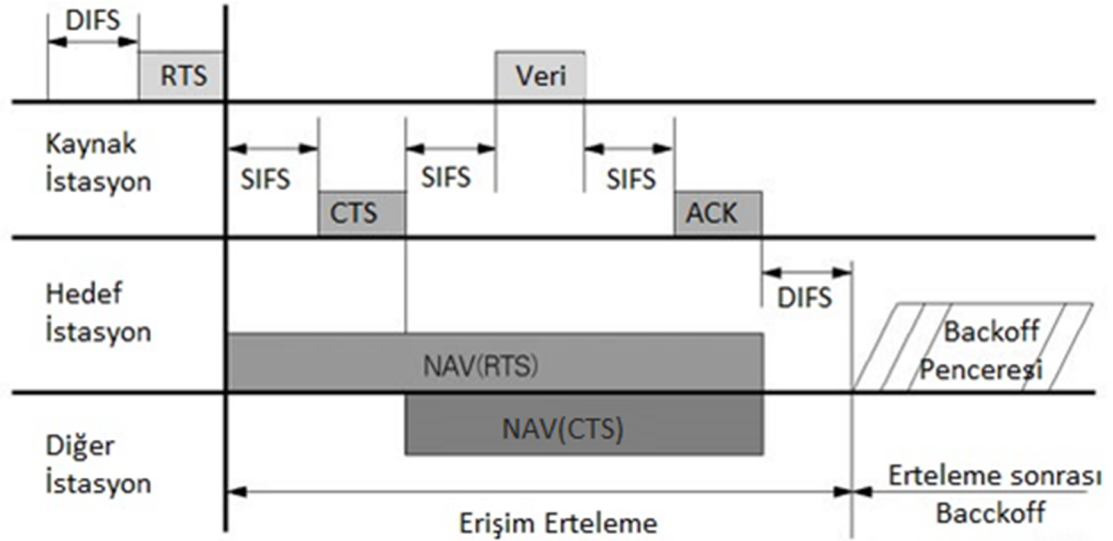
Kablosuz ağlarda saklı istasyon problemi meydana gelmektedir. Bu problem Şekil 1.2’de gösterilmektedir. B istasyonunu A istasyonu ve C istasyonun kapsama alanında olduğu için A ve C istasyonlarının isteklerini duyabilir. A ve C birbirinin kapsama alanında olmadığı için birbirlerinden haberleri yoktur. A istasyonu C istasyonunu duyamadığı için ortamda haberleşme olmadığını düşünebilir ve B istasyonuna istek gönderebilir. Eğer C istasyonu ile aynı anda haberleşme varsa çakışma meydana gelebilir.



Şekil 1.2. Saklı İstasyon Problemi

Bu mekanizmada iletişimdeki problemleri çözmek amacıyla DCF’ye kontrol paketleri eklenmiştir. Şekil 1.3’de kaynak istasyon paketi göndermeden önce DIFS süresi kadar bekler hat boş ise hedef istasyonun durumunu öğrenmek için Gönderim İsteği (Request to send, RTS) paketi hedef istasyona yollar. Sonra hedef istasyon Kısa Dahili Pencere Mesafesi (Short Inter-Frame Space, SIFS) süresi kadar bekler ve Gönderime Uygun (Clear to send, CTS) paketin kaynak istasyona gönderir. Kaynak istasyon SIFS süresi kadar bekler ve veriyi yollar. Veriyi alan hedef istasyon SIFS süresi kadar bekler ve

kaynak istasyona Onaylama (Acknowledge, ACK) paketini yollar ve iletişim tamamlanır.



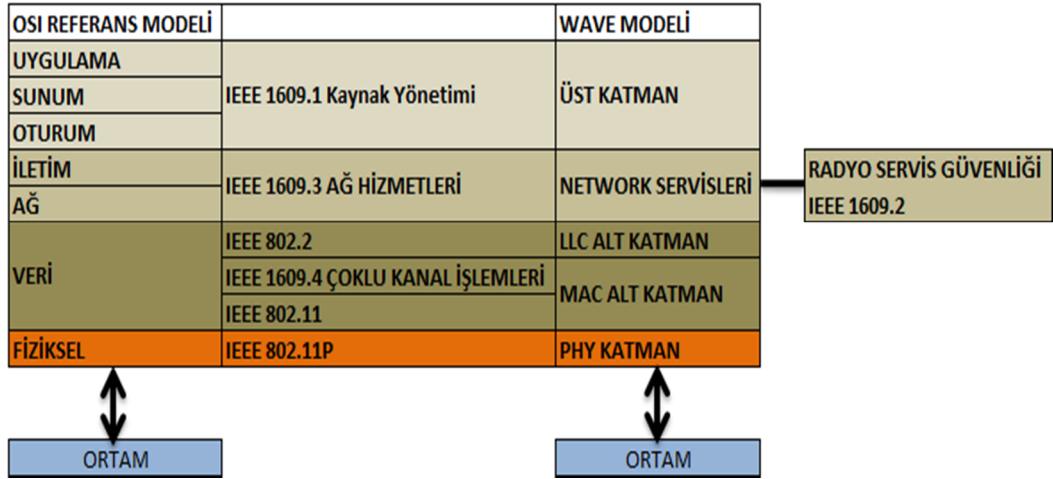
Şekil 1.3. RTS, CTS ve NAV İşleyişi

Bu süre zarfında diğer istasyonlara hedef istasyon tarafından Ağ Tahsis Vektörü (Network Allocation Vektor, NAV) süresi yani kaynak istasyonun CTS almasından ACK almasına kadar geçen süreyi ( $NAV_{CTS}$  süresi) diğer istasyonlara bildirilir ve diğer istasyonlar erişim erteleme durumuna geçer ve çarpışma engellenmiş olur. Böylece istasyonlar arası trafik konusunda bilgi alış verişi sağlanmış olur.

### 1.3. IEEE 802.11p

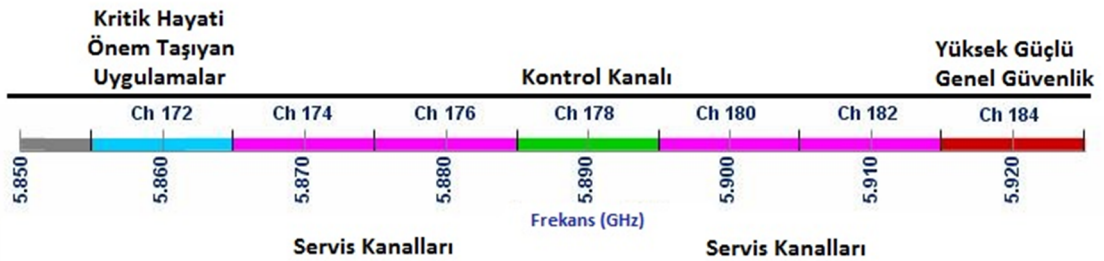
VANET’lerde kablosuz ağ iletişim teknolojisinin kullanımı ile ilgili çalışmaların artması sonucunda IEEE 802.11p standardı 2010 yılında 802.11a standardının fiziksel ve MAC katmanında değişikliklerin yapılmasıyla geliştirilmiştir[8]. IEEE 802.11p protokolünün temelinde 5,9 GHz bandında, 75 MHz’lik bant genişliğine sahip DSRC (Dedicated Short Range Communuciaton) standardı bulunmaktadır. 2004 yılından itibaren DSRC protokol çalışmaları IEEE 802.11 gruplarında gelişmeye devam etmiştir. IEEE 802.11p ve IEEE 1609 grupları [15,16] WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) modelini geliştirmek için çalışmışlardır[17]. OSI WAVE modeli Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Burada IEEE 1609.1 WAVE mimarisi içerisindeki içerik ve

yönetim servislerini ve uygulamaların bu servisler ile olan ara yüzünü tanımlar. IEEE 1609.2 güvenli mesaj formatını ve bu formatın nasıl değerlendirileceğini tanımlar. IEEE 1609.3 ağ ve taşıma katmanlarındaki servisleri tanımlar. Ayrıca IPv6'ya alternatif olarak WAVE kısa mesaj formatını da tanımlar. IEEE 1609.4 ise IEEE 802.11 üzerinden WAVE işlemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli eklentileri içerir.



Şekil 1.4. OSI WAVE Modeli

Şekil 1.5’de gösterildiği gibi DSRC spektrumu her biri 10 MHz genişliğine sahip 7 kanaldan meydana gelmektedir. Kanal 178 güvenlik uygulamalarında Kontrol Kanalı (CCH) olarak kullanılmaktadır [18,2]. 174, 176, 180 ve 182 kanalları güvenlik amaçlı olmayan iletimi sağlamak amacıyla Servis Kanalı (SCH) olarak kullanılmaktadır [9,2]. Diğer kanallar gelecekte kullanılmak amacıyla tutulmaktadır. CCH kanalı güvenlik ve kontrol bilgilerinin iletilmesi için kullanılırken, SCH kanalları çoklu ortam verilerinin iletilmesi için kullanılmaktadır[19,2].



Şekil 1.5. DSRC Spektrum Bandı[2]



IEEE 802.11p’de her kanal için cihaz üzerinde çalışan uygulamanın türüne göre 4 farklı veri sınıfı bulunmaktadır. Bu veriler yüksek öncelikten düşük önceliğe doğru Voice (Vo), Video (VI), Best Effort (BE) ve Background (BK) olarak sıralanır[20]. Kazalar, engeller, kaygan veya bozulmuş yollar ve acil durum araçlarının yaklaşması gibi bilgiler kontrol kanalında en yüksek öncelikli verileri oluşturur. Sisli hava, aniden yağmur yağması, engebeli arazi gibi bilgiler ikinci yüksek öncelikli verileri oluşturur. Araçların bozulması ve yakıtlarının bitmesi gibi acil olmayan bilgiler daha düşük öncelikli verileri oluşturur. En düşük öncelikli veriler ise, servis kanallarına bağlantı kurmak için kullanılan verilerdir[21]. Her veri sınıfına ait EDCA parametreleri Tablo 1.1. ve Tablo 1.2.’de verilmiştir.

Tablo 1.1. CCH kanalı için EDCA parametreleri

| AC  | Trafik tipi | $CW_{min}$     | $CW_{max}$      | AIFSN |
|-----|-------------|----------------|-----------------|-------|
| AC1 | Background  | $aCW_{min}=15$ | $aCW_{max}=511$ | 9     |
| AC0 | Best effort | 7              | 15              | 6     |
| AC2 | Video       | 3              | 7               | 3     |
| AC3 | Voice       | 3              | 7               | 2     |

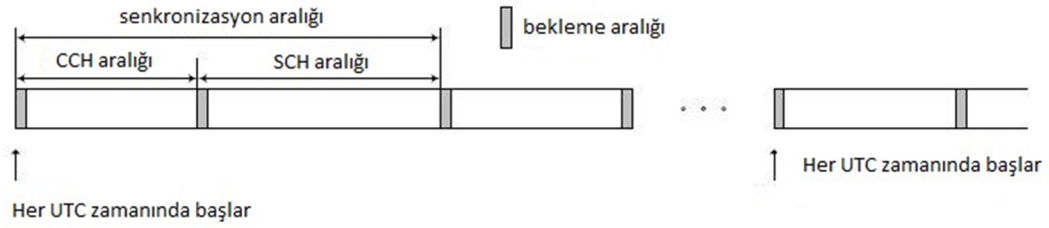
Tablo 1.2. SCH kanalı için EDCA parametreleri

| AC  | Trafik tipi | $CW_{min}$     | $CW_{max}$      | AIFSN |
|-----|-------------|----------------|-----------------|-------|
| AC1 | Background  | $aCW_{min}=15$ | $aCW_{max}=511$ | 7     |
| AC0 | Best effort | 15             | 511             | 3     |
| AC2 | Video       | 7              | 15              | 2     |
| AC3 | Voice       | 3              | 7               | 2     |

RSU ve OBU gibi WAVE cihazları iki tipte çalışan radyo cihazlardır. Birincisi bir zaman diliminde sadece bir RF kanalı üzerinde veri iletimi veya dinleme yapabilen Tek Kanallı Cihaz (Single Channel Device), ikincisi ise aynı anda birden fazla kanal kullanabilen çok kanallı cihazlardır (multichannel device)[22,2]. Çok kanallı cihazlar performans açısından çok iyi olmasına rağmen fiyatların yüksek olmasından dolayı bir çok WAVE cihazı üzerinde tek kanallı iletişimi desteklemektedir[23,2].

WAVE cihazları senkronize olurken basit bir yaklaşım izlerler. Şekil 1.6’da CCH-SCH zamanlaması gösterilmiştir. Tipik bir WAVE cihazı CCH aralığı (Duty Cycle) kadar

CCH kanalını daha sonrada SCH zaman aralığı kadar SCH kanalını kullanır[15,2]. CCH ve SCH zaman aralıkları IEEE 802.11p cihazlarda eşittir (45ms). Her aralığın başında kontrol amaçlı bir bekleme süresi (Guard Interval, GI) bulunmaktadır. Bekleme süresi içerisinde iletişim başlatılamaz. Fakat bir iletişim verilen aralıkta tamamlanmamışsa, iletimin tamamlanmasını sağlamak için (eğer mümkünse) bekleme süresi kullanılabilir.



Şekil 1.6. CCH-SCH zamanlaması

Cihazların senkronizasyonu konusunda grupların oluşturduğu iki temel yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşımda WAVE cihazı aldığı ilk sinyale göre kendi radyo zamanını ayarlar. Diğer yaklaşım ise WAVE cihazı senkronizasyonu belirlenen bölgesel zamanlara göre yapar[24,2]. Her bir işleme UTC (Coordinated Universal Time) süresinde başlarlar. Bu yaklaşımlardan ikincisi çakışmaları ve kayıpları en aza indirdiği için kullanılmaktadır. Cihazlar öncelikli olarak CCH kanalını kullanır. CCH aralığı tamamlandıktan sonra, SCH aralığı aktif hale geçer ve çoklu ortam verisi aktarımını yapılır. Daha sonra bunu bekleme süresi iletimi tamamlar. İletim bu işlemlerin tekrarlanmasıyla sağlanmış olur.

#### 1.4. Trafik Akış Özellikleri

Trafik akışı, bireysel sürücüler ve bir biri ile etkileşim halinde olan araçlardan oluşur. Çünkü hem sürücü davranışı hem de araç özellikleri değişmektedir ve trafik akışındaki bireysel araçlar aynı şekilde davranmazlar. Daha da fazlası hiçbir trafik akışı benzer durumlarda bile aynı şekilde işlemez. Çünkü sürücü davranışı, yerel özellikler ve sürücü alışkanlıklarına göre farklılık gösterir. Trafikle ilgilenmek bu yüzden değişkenlik elementini içerir. Belli özellikler değişmekte olsa da sürücülerin olasılıklı olarak benzer davranış aralığı bulunmaktadır. Trafik akışını sayısal niteliklere göre tarif edecek

olursak trafik akışındaki doğal değişkenleri anlamak ve normal aralıktaki davranışları tanımlamak gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için ana parametreler tanımlanmalı ve ölçülmelidir[25].

Trafik tesisleri Kesintisiz ve Kesintili Akış olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Kesintisiz akış tesislerinin trafik akışına hiç bir müdahalesi yoktur. Saf kesintisi akış öncelikle boş yollarda ortaya çıkar. Burada trafik işaretleri, dur ve geç işaretleri ya da diğer kesilme işaretleri bulunmamaktadır. Çünkü bunun gibi tesisler tam iletişim ulaşım kontrolü barındırmakta ve bu alanda (sürücü yolu) hiç bir kesim bulunmamaktadır. Bu yüzden trafik akışındaki özelliklerin tümü araçlar arasındaki etkileşime, sürüş yolu ve genel çevreye bağlıdır[25]. Kesintili akış tesisleri çeşitli dış duraksamaları içinde bulunduranlardır. En sık kullanılan ve en işlevsel olan dışsal kesinti trafik işaretidir. Trafik işaretleri sırayla baslar ve durur. Diğer birleşik kesilmeler durma ve geçme işaretleri, sinyalsiz üst düzey kesişmeleri sürücü yolları park manevraları ve diğer ulaşım işlevlerini kapsar. Tüm şehir yüzey caddeleri ve ana yollar bu akış tesisleri ile sekmeye uğrar[25]. Kesintisiz ve kesintili akım tesisleri arasındaki en büyük fark zaman çarpışmasıdır. Kesintisiz tesislerde fiziksel tesis sürücülere ve araçlara her zaman uygundur. Kesintili akış tesislerindeki hareket periyodik olarak kırmızı sinyal ile durdurulur. Sinyal zamanı bu yüzden tesislerin belli parçalarına ulaşımını sınırlandırır. Ayrıca devamlı olarak hareket eden trafik akışı trafik işaretlerinde ve trafik akışında periyodik olarak durur ve tekrar baslar. Bu yüzden kesintili akış kesintisiz akıştan daha karmaşıktır. Birçok trafik akış parametresinin her iki tesise göre açıklanmasına rağmen, kesintisiz akış üzerine yoğunlaşacaktır[25].

#### **1.4.1. Trafik Akış Parametreleri**

Trafik akış parametreleri; gözle görülebilir (makroskobik) parametreler ve gözle görülemeyen (mikroskobik) parametreler olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılır. Makroskobik parametreler trafik akışına bir bütün olarak tanımlarken, mikroskobik parametreler bireysel araçların ve araç çiftlerinin trafik akışındaki davranışlarını inceler. Makroskobik parametreler, akışın oranı ya da hacmi, hız ve yoğunluk parametreleridir. Mikroskobik parametreler ise bireysel araçların hızı, anayol ve boşluk parametreleridir[25].

#### 1.4.1.1. Akışın Hacmi ve Oranı

Trafik hacmi, bir şerit (lane) üzerinde belli bir noktadan geçen araç sayısı ya da belirli bir zaman aralığında geçen araç sayısı olarak tanımlanır. Birim zaman da geçen araç sayısı genelde saatlik veya günlük olarak ölçülür. Günlük hacimler zaman üzerinde ya da genel planlama amaçları için akımları belirlemek için kullanılır. Detaylı planlama ve kontrol kararları günün en yoğun saatlerinde saatlik hacim bilgisini gerektirir. Akış oranları genelde saat başına geçen araç sayısı üniteleri olarak adlandırılır. Fakat bir saatten az bir zamanda oluşan periyotlar için geçerlidir. 15 dakika periyodundaki 200 araçlık bir hacim  $200 \times 4 = 800$  araç/saat olarak ifade edilir. Burada 800 araç gözlenmese bile eğer tam 1 saat geçmiş ise bu işlem doğru olarak kabul edilebilir. 800 araçlık akış oranı 15 dakika aralığı için oraya çıkar[25].

#### 1.4.1.2. Hız ve Seyahat Zamanı

Hız, trafik akışı durumunu gösteren ikincil makroskobik parametredir. Hız belli bir zaman başına olan uzaklığın hareket oranı olarak tanımlanır. Seyahat süresi belli bir yol alanındaki çift yönlü hareket olarak tanımlanır[25].

Hız ve seyahat zamanları ters orantılıdır:

$$S = \frac{D}{T} \quad (1.1)$$

Burada,  $S$  hız,  $D$  gidilen mesafe ve  $T$  zamandır.

Harekeli bir trafik sisteminde her araç farklı bir hızda seyahat eder bu yüzden trafik akışı tek bir karakteristik değere sahip değildir. Trafik akışını bir bütün olarak düşündüğünüzde ortalama hız ve tipik hız kullanılarak karakterize edilebilir. Trafik akışı için ortalama hız iki şekilde belirlenir[25] :

**Zaman Ortalama Hızı (Time Mean Speed); TMS:** Belirli bir zamanda yol üzerinde geçen tüm araçların ortalama hızı

**Alan Ortalama hızı (Space Mean Speed); SMS:** Belli bir zaman diliminde belirli bir yolu işgal eden tüm araçların ortalama hızı.

Gerçekte zaman ortalama hızı noktasal bir ölçüm iken alan ortalama hızı bir yolun uzunluğunu tanımlar. Zaman ortalama hızını hesaplamak için; gözlemci, yolun bir tarafında bekleyerek geçen her aracın hızını kaydeder. Alan ortalama hızını hesaplamak için bir gözlemci her bir aracı gözleyebileceği tanımlanmış bir bölgeye ihtiyaç duyar. Alan ortalama hızı yavaş giden araçları daha yavaş olarak belirler. Bu yüzden alan ortalama hızı zaman ortalama hızından genellikle daha düşüktür. Çünkü her aracın ağırlığı eşit bir şekilde alınır. Eğer bütün araçlar aynı hızda seyrediyorsa her iki hız ölçüğü de eşit olabilir[25].

Hem zaman ortalama hızı hem de alan ortalama hızı belli bir uzaklıkta seyreden seyahat zamanı ile hesaplanabilir:

$$TMS = \frac{\sum_i (d/t_i)}{n} \quad (1.2)$$

$$SMS = \frac{nd}{\sum_i t_i} \quad (1.3)$$

Burada,  $d$  mesafe,  $n$  gözlenen araç sayısı ve  $t_i$  iki yönlü hareket eden araç zamanıdır.

TMS her aracın hızı ve ortalamasını alarak bulunur. SMS ortalama seyahat zamanı ve ortalama hızını bularak kaydedilir[25].

#### 1.4.1.3. Yoğunluk ve Doluluk Oranı

Yoğunluk, trafik akış özelliklerinden üçüncü önemli parametredir ve belli bir yol üzerindeki araç sayısı olarak tanımlanır. Yoğunluk direkt olarak hesaplanması zor bir kavramdır. Çünkü yol bölümlerindeki yüksek bakış noktasının bilinmesi gerekir. Bu genellikle hız ve akış oranı ölçümlerinden hesaplanır. Yoğunluk ayrıca trafik akışının niteliğini gösteren önemli bir ölçektir. Çünkü diğer araçların yakınlık ölçümünü gösterir. Manevra yapma kabiliyeti ve sürücülerin psikolojik rahatlığını etkileyen bir faktördür[25].

Doluluk oranı, yoğunluğun direkt olarak hesaplanmasının zor olmasına rağmen doluluk oranı modern detektörler aracılığıyla hesaplanabilir. Doluluk oranı bir aracın belli bir zamandaki yol üzerinde işgal ettiği zaman oranı olarak tanımlanır. Doluluk oranı belli bir hattaki özel bir detektör ile ölçülür. Bu yüzden doluluk oranı, ilk hesaplanmış yoğunluk hat ve mil başına gecen araç sayısıdır. Eğer hat üzerinde birbirine yakın

detektörler mevcut ise her hattaki yoğunluk birkaç hat üzerindeki akış yönü yoğunluğunu temin ederek yapılabilir[25].

#### 1.4.2. Aralık ve Taşıt Aralığı: Mikroskobik Parametreler

Akış, hız ve yoğunluk makroskobik özellikleri gösterirken trafik akışı her aracı belirten mikroskobik parametrelerle de ilişkilidir[25].

Aralık (Spacing), bir trafik şeridindeki birbirini takip eden araçların arasındaki mesafe olarak tanımlanır(ön tampon ya da ön tekerlekler). Ortalama aralık hattın yoğunluğu ile direkt olarak ilgilidir[25].

Taşıt aralığı (Headway), belli bir hat üzerinden gecen araçlar arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır ve araçlar üzerindeki belli referans noktalarıyla ölçülür. Ortalama taşıt arası aralık akış oranı ile ilgilidir[25].

Bu ölçümler birçok trafik analizinde kullanılır. Çünkü taşıt aralığı her bir çift araçtan bilinebilir. Kısa bir zaman aralığındaki veri miktarı oldukça geniştir. 15 dakikalık bir periyotta 1000 araçlık hacmi olan trafik akışı tek bir akış oranı alan ortalama hızı ve yoğunluk ile ölçülür. Fakat 1000 taşıt aralığı ve aralık hesaplamaları, bütün araç çiftlerinin gözlemlenmesi ile oluşur. Mikroskobik ölçümlerin kullanımı, trafik akışından çıkarılması gereken araç tiplerine izin verir. Yolcu aracı akış ve yoğunlukları bir birini izleyen iki yolcu aracı için düşünülmeyebilir. Ağır vasıtalar da kendi özel karakteristikleri ile hariç tutulabilir[25].

#### 1.4.3. Akış Oranı, Hız ve Yoğunluk İlişkisi

Trafik akışındaki üç makroskobik ölçek (hız akış ve yoğunluk) şu şekilde ilişkilidir:

$$v = S * D \quad (1.4)$$

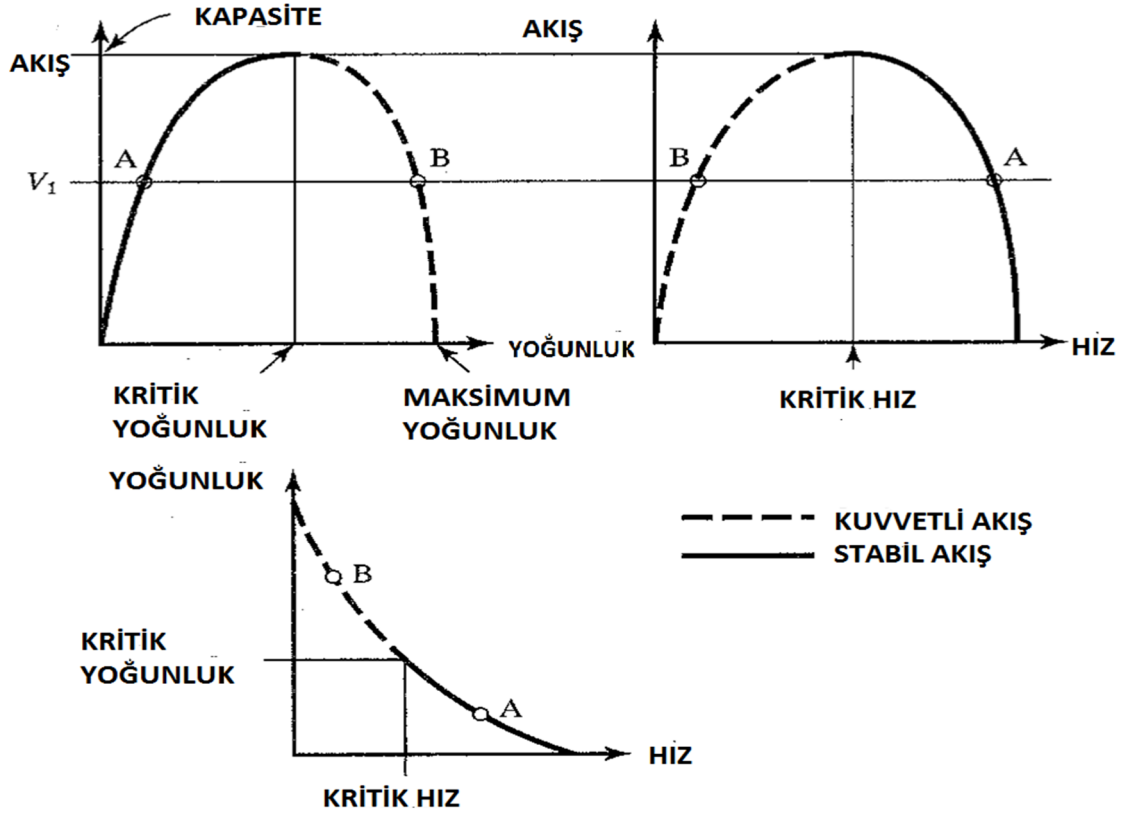
Burada,  $v$  akış oranı,  $S$  alan ortalama hızı ve  $D$  yoğunluk'dur

Ortalama alan hızı ve yoğunluk belli bir hatta ya da yola göre belirlenirken akış oranı için bir nokta seçilir. Şekil 1.7 bu ilişkiyi göstermektedir. Ortalama alan hızı ve yoğunluk ölçekleri aynı olarak tanımlanmış yol üzerinde gerçekleşmelidir. Sabit akış durumlarında akış oranı 1.4 deki formül ile hesaplanır. Sabit olmayan durumlarda akış

oranı alan üzerindeki tüm noktalar için ortalamayı gösterir. Eğer bir otoban hattı 55 araç/km/şerit alan ortalama hızında ve 25 araç/km/şerit yoğunluğunda ise akış oranı şu şekilde hesaplanır[25]:

$$v = 55 * 25 = 1375 \text{ araç/km/şerit}$$

Daha önce belirtildiği gibi bu ilişki genellikle direkt olarak hesaplanması zor olan yoğunluğu belirlemede kullanılır. 1.4 deki formül belli bir akış oranına ulaşıldığında belirsiz miktardaki hız ve yoğunluktaki aynı ürünü kullanır. Bu ilişki matematiksel çıkarımı mantıksız kılar. Kombinasyon sayısını sınırlayan çeşitli değişkenler arasında ek ilişkiler mevcuttur[25].



Şekil 1.7. Trafik akışı, hız ve yoğunluk arasındaki ilişki

Şekil 1.7. de bu ilişkilerin genel oluşumunu örneklendirilmektedir. Bu ilişkilerin tam şekil ve kalibrasyonu öncelikli durumlara bağlıdır. Bunlar çevreden çevreye ve zamana göre değişiklik gösterir. İki farklı durumda sıfır araç/saatlik akış oranı olduğunu düşünelim eğer yolda hiç bir araç yoksa yoğunluk sıfır araç /km olarak kabul edilir ve

hız bir araç geçiş noktasından gözlemlenemez. Bu şartlar altında hız ölçülemez ve “serbest akış hızı” olarak kabul edilir. Uygulamada serbest akış hızı yol üzerinde hiç bir araç olmadığı takdirde tek bir aracın yapabileceği hız miktarı olarak düşünülebilir. 0 araç/saat akış yol üzerinde tüm hareketliliğin durduğu zaman da çok fazla araç varken de gözlenebilir. Bu çok büyük bir yoğunlukta oluşur ve “sıkışıklık yoğunluğu “ olarak adlandırılır. Bu ilk uç noktadaki ilişkiler arasında diğerlerinden farklı bir karakteristik özellik bulunmaktadır. Akış hızı ve akış yoğunluğu kıvrımları maksimum akış oranını ya da yolun kapasitesini gösterir. Bu kıvrımların değeri zamana ve kalibrasyon ölçüm yerlerine bağlıdır. Fakat kapasitedeki işlem çok hareketlidir ve trafik akışında kullanılabilecek hiç bir boşluk bulunmamaktadır. Frenlere dokunan bir sürücü bir zincir reaksiyonuna yol acar. Bu sapma yukarı akışı çoğaltır ve trafik akışında yeterli boşluk olana kadar devam eder. Çizgili kıvrımlar, hareketli ve zorlanmış akışı sembolize eder. Bu durum araç sırasının akışını ve sıkışıklık konumundaki yerin arkasında kalan alanı gösterir. Bir sıkışıklık tesisin kapasitesini aşan akış oranındaki herhangi bir noktada meydana gelir. Bu sıkışıklığın yaygın noktaları özellikle rampalar da meydana gelir. Fakat kazalar ve buna benzer olaylar da burada oluşur. Kıvrımların koyu çizgili kısımları durağan akışı gösterir (örnek belli bir zamanda sabit kalan trafik akışı). Kapasite akışı harici olmak üzere herhangi bir akış oranı aşağıdaki iki durum halinde gözlemlenir:

- Oldukça yüksek hız ve düşük yoğunluk durumu
- Oldukça düşük hız ve yüksek yoğunluk durumu

Hız ve yoğunluk oranları Şekil 1.7’de gösterilen herhangi bir ilişkinin temel noktalarını açıklayabilir ve her ikisi de sürücüler ve yolcular tarafından algılanan nitelikleri tasvir edebilir[25].

### 1.5. Literatür Taraması

VANETs üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların bir kısmı iç etkenler yani fiziksel katman, MAC katmanı ve yönlendirme protokolleri iken, diğer kısmı dış etkenler yani araç hareketi, yoğunluk ve hız gibi etkenler üzerinedir.



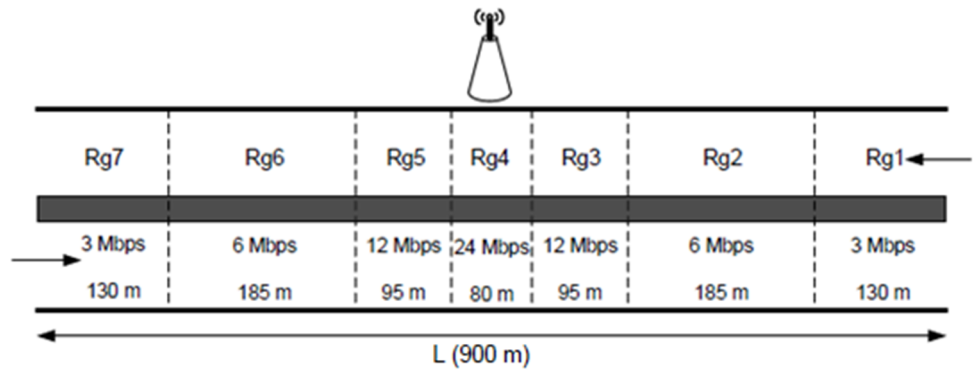
Das ve arkadaşları VANET üzerinde farklı yayın tekniklerinin performanslarını değerlendirmişlerdir [26]. Bu çalışmada trafik yoğunluğu ve araç hızlarını değiştirerek paket yollama ve olasılık yöntemleri üzerine karşılaştırmalı bir analiz yapmışlardır. Bohm ve arkadaşları IEEE 802.11p ağı kontrol kanalında CAM (Cooperative Awareness Message) ve DENM (Decentralized Environmental Notification Message) mesaj verilerini kullanarak performans karşılaştırması yapmışlardır [21]. Ayrıca farklı senaryolar üzerinde simülasyon çalışmaları yaparak kontrol ve servis kanallarında performans analizini gerçekleştirmişlerdir [27]. Boban ve arkadaşları araçlar arası iletişimde gözlem hattı kanallarının özelliklerinin analiz etmiştir [28]. Araniti ve arkadaşları araçsal ağlarda LTE (Long Term Evolution) standartını incelemişlerdir [29]. LTE'nin daha yüksek hızlarda veri iletimini desteklediğini fakat tasarsız ağ yapısına uygun olmadığını göstermişlerdir. Öztürk ve arkadaşları IEEE 802.11p ağlarında video verilerinin iletilmesinde MAC katmanının performans değerlendirmesi yapmışlardır[30]. Kontrol ve servis kanallarında verilerin ortalama bekleme sürelerini ve çekişme sürelerini analiz etmişlerdir. Bununla birlikte, araç yoğunluğuna ve veri trafiğine göre IEEE 802.11p ağlarının doyuma ulaşma noktalarını (saturation case) araştırmışlardır[31,32]. Bu çalışmalarda trafik teorisi, kuyruk modeli ve Markov zinciri kullanarak bir analitik model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model kullanılarak araç yoğunluğu ve hız bilgilerine göre farklı veri tipleri için kontrol ve servis kanallarının performanslarını değerlendirmişlerdir. Ayrıca, kontrol ve servis kanallarının zaman aralıklarını değiştirerek VANET'de kapasite sınırlarını incelemişlerdir[33].

Bunlarla birlikte, Avrupa'da WAVE konusunda çalışmalar 1990 yılında CHAUFFER projesi ile başlamıştır[34]. Daha sonra sürücü destek sistemlerinin oluşturulması ve kendi kendine organize olabilen bir ağın oluşturabilmesi için CARTALK 2000 projesi ile devam etmiştir [35]. Audi, BMW, Daimler Chrysler, FIAT, Renault ve Volkswagen firmalarının birleşimi ile 2003 yılında Car2Car (C2C-CC) projesi çalışmaları yapılmıştır[36]. Daha sonra da EVITA[37], ITETRIS[38], PReVENT[39], SAFESPOT[40], SEVECOM[41], COOPERS[42], CVIS[43], PRE-DRIVE[44] ve GeoNET[45] adlı birçok proje ortaya konulmuştur. Ülkemizdeki iki büyük otomotiv üreticisi, Fiat-TOFAŞ, Ford-OTOSAN ile Koç Sistem ve Telemetry A.Ş. tarafından "Güvenli trafik için araçlar arası haberleşme teknolojileri" projesi kapsamında araçlar arası haberleşme sistemi geliştirilmiştir[46].

## 2. BÖLÜM

### ANALİTİK MODEL

Bu çalışmada, doymamış bir bölgede işlem yapan tek bir RSU'nun çevresi göz önünde bulundurularak çoklu trafik kombinasyonları ve sınıfları için CCH ve SCH kanal yönetimini gerçekleştiren IEEE 802.11p analitik modeli kullanılmıştır[32]. Şekil 2.1'de görülen  $L$  uzunluğundaki iki yönlü yol bölgesi RSU'nun konumuna göre çoklu bölgelere ( $Rg_i$ ) ayrılmıştır[32]. Bu bölgelerde araç ile RSU arasında iletişim hızı farklıdır. Her araç pencere iletimini CCH ve SCH kanallarının herhangi birinden AC trafik sınıflarının herhangi biriyle yapabilir. Araçlar üzerindeki VANET uygulamalarının trafik kombinasyonları için CCH kanalında  $tc$  ve SCH kanalında  $ts$  kullanılmıştır. Bütün çalışmada CCH kanalı için  $c$  ve SCH kanalı için  $s$  parametresi kullanılmıştır[32].



Şekil 2.1. Yol yapısı ve bölümleri

Kanal üzerindeki bir trafik kombinasyonu,  $x \in c, s$  olmak üzere,  $[c(x, d, 0), c(x, d, 1), c(x, d, 2), c(x, d, 3)]$  şeklinde ifade edilmiştir. Eğer indeks değeri  $c(x, d, k) = 1$  ise trafik sınıfı  $k$ 'nın varlığını, eğer bu değer sıfır ise yokluğunu ifade eder. CCH ve SCH

kanalları için trafik sınıfları tarafından iletimleri sağlanan toplam araç sayısı  $n_{x,d,k} = N_{x,t}c(x,d,k)$  olarak ifade edilir[23,2].

Kanal  $x$  içindeki  $k$  trafik sınıfından araca gelen paketler, ortalama oran  $\lambda_{x,k}$  ile Poisson dağılımına bağlıdır. SIFS, RTS, CTS ve ACK süreleri sırasıyla  $sifs$ ,  $rts$ ,  $cts$ ,  $ack$  olarak tanımlanmıştır. Kanal bozukluklarının oluşturduğu etkileri bit hata oranı ( $ber$ ) olarak modellenmiştir. Gürültüden dolayı bir çerçevede hataya yakalanma olasılığı  $\delta_k = (1 - ber)^{rts_b + cts_b + ld_{b,x,k} + ack_b}$  olarak ifade edilmiştir. Analitik modeldeki sayısal karmaşıklığı azaltmak için M/G/1 kuyruk analizi kullanılmış ve araçların arabelleklerinin sınırsız olduğu varsayılmıştır[23,2]. Modeldeki zaman birimi bir backoff slotu kadardır. Her bir bölgedeki ( $Rg_r$ )  $x$  kanalındaki  $k$  sınıfı veri için MAC başlığı ve fiziksel başlığı içeren  $ld_{x,k,r}$  slotlarının değişkenlik gösteren çerçeve ölçüleri olduğunu farz edelim. İstasyonun  $L$  iletim dizinindeki çerçeve uzunluğunun Olasılık Üreten Fonksiyonu (Probability Generating Function, PGF) için hesaplanması aşağıda verilmiştir[32].

$$Ld_{x,k}(z) = \sum_{r=1}^{Rg_{max}} \frac{l_r}{L} z^{ld_{x,k,r}} \quad (2.1)$$

$lr$ ,  $Rg_r$  bölgesinin uzunluğunu göstermektedir. Senkronizasyon Aralığı (Sync İnterval, SI) süresi  $100 \text{ ms}$  ve Koruma Aralığı (Guard İnterval, grd) süresi  $5 \text{ ms}$  olarak belirlenmiştir. CCH süresi  $(SI - 2grd) * SO$  dur. SO senkronizasyon aralığının yüzde kaçının CCH veya SCH ayrılacağını gösterir. CCH ve SCH karşılığının hesaplanması için  $SO=0,5$  olduğunu farz eldim. Bu değer için backoff işlemi  $SI/2 \text{ ms}$  içerisinde tamamlanmalıdır. Bu işlem bir başka istasyon için gecikmeyi engeller.  $K$  veri sınıfı için her bir kanal aralığındaki gecikme olasılığı aşağıda verilmiştir[32].

$$hd_{x,k} = \frac{(SI/2)v}{L} SO \left( 1 - e^{-(SI/2)\lambda_{x,k}} \right) \leq 0,0004 \quad (2.2)$$

$v$  aracın ortalama hızını göstermektedir. Gecikme olasılığının küçük olması nedeni ile fark edilmeyebilir. Backoff işlemi tek bir istasyon civarında tamamlanır. Araç arabelleği (buffer) sonsuz bir uzunlukta olduğunu ve M/G/1 kuyruk modelinin kullandığı varsayılın. PGF'nin başarılı paket gönderme süresi aşağıda verilmiştir[32].

$$St_{x,k}(z) = z^{rts+cts+3sifs+ack} \sum_{r=1}^{Rg_{max}} \frac{l_r}{L} z^{ld_{x,k,r}} \quad (2.3)$$



oluşur. Yoğunluk artarsa trafik sıkışıklık durumuna ulaşır. Bu durumda araçlar tamamen durmak zorunda kalırlar[25,32].

Greenshield's modelindeki varsayıma göre hız ve yorgunluk arasındaki bağımlılık derecesini gösteren lineer ilişki aşağıda verilmiştir[32].

$$v = v_f \left( 1 - \lambda_d / \lambda_{d,jam} \right) \quad (2.5)$$

$v_f$ , istenilen maksimum hızdaki serbest akis hızını gösterir. Bu değer yolun normaldeki hız limitini gösterir.  $\lambda_{d,jam}$  trafik yoğunluğunun maksimum değeridir.  $L$  ulaşım aralığındaki tek bir şeridindeki maksimum araç sayısı,  $vh_{max}$ , aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$vh_{max} = L\lambda_{d,jam} \quad (2.6)$$

Burada  $L$  Şekil 2.1'de görüldüğü üzere istasyonun kapsama alanındaki yolun uzunluğudur. Her bir şeritteki yol bölmesinde araç bulunma olasılığı aşağıda verilmiştir[32].

$$P(n) = \frac{e^{-L\lambda_d} \frac{(L\lambda_d)^n}{n!}}{\sum_{i=0}^{vh_{max}} e^{-L\lambda_d} \frac{(L\lambda_d)^i}{i!}} \quad (2.7)$$

## 2.2. IEEE 802.11p Modeli

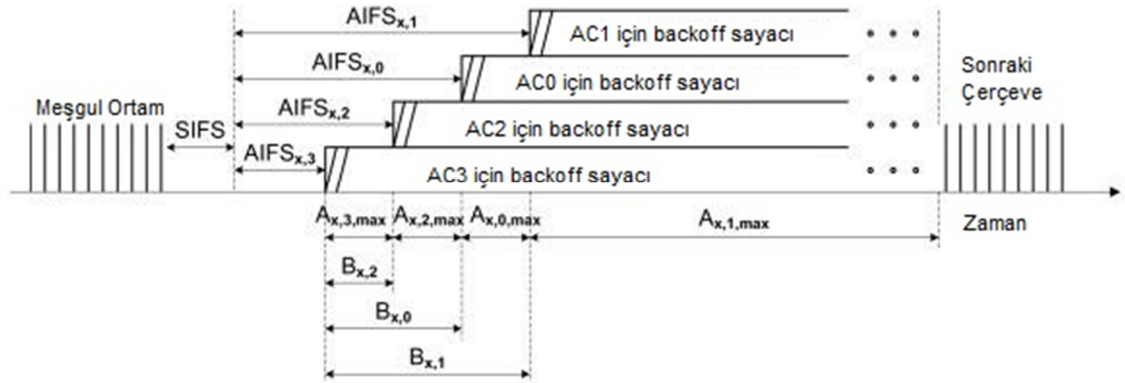
AIFSN temelli önceliklendirme modeli Şekil 2.3 de verilmiştir. Eğer ortam backoff geri sayımı süresince meşgul ise, sonrasında backoff sayacı tekrar ortam boş hale gelinceye kadar donacaktır. Bu donma süresi kanal tipine bağlı olacak şekilde  $AIFS_{x,k} = SIFS + AIFSN_{x,k} \cdot \sigma$  olacaktır. En kısa AIFSN süresine sahip trafik sınıfı backoff sayacının aktif hale geçmesinde en fazla şansa sahiptir[2,32].

Backoff sayacı sıfıra ulaştığında, iletim başlar. Eğer bir çarpışma meydana gelir veya bir çerçeve bozulursa, backoff işlemi arttırılan çekişme penceresinin boyutu ile tekrarlanır.  $i$ 'inci backoff safhasında ve trafik sınıfı  $k$  olması durumunda çekişme penceresinin boyutu ;

$$W_{x,k,i} = \begin{cases} 2^i(CWmin_{x,k} + 1) - 1, & 0 \leq i \leq m_{x,k} \\ 2^{m_{x,k}}(CWmin_{x,k} + 1) - 1, & R \geq i > m_{x,k}. \end{cases} \quad (2.8)$$

Trafik sınıfı  $k$  için herhangi bir  $x$  kanalına erişimdeki periyotların süresi ve bunların maksimum değeri  $A_{x,k}$  aşağıdaki şekilde belirlenir[2,33].

$$A_{x,k,max} = \begin{cases} AIFSN_{x,k-1}, & k = 1 \dots 3 \\ W_{x,0,max}, & k = 0. \end{cases} \quad (2.8)$$



Şekil 2.3. IEEE 802.11p için EDCA kanal önceliklendirme modeli

Düğümün kendi içerisindeki farklı trafik sınıflarının içsel çarpışmalarından dolayı,  $c(x, d, k) = 1$  olma olasılığına sahip olan çerçevenin backoff işlemini tamamlamış olma olasılığı (Sanal erişim olasılığı) erişim olasılığından  $(\tau_{x,d,k})$  farklı olabilir. Erişim olasılığı ile sanal erişim olasılığının ilişkisi aşağıdaki gibidir[2,32].

$$\tau_{x,d,3} = \theta_{x,d,3}$$

$$\tau_{x,d,k} = \theta_{x,d,k} \prod_{l=k+1}^3 (1 - c(x, d, k)\theta_{x,d,l}), \quad k = 0 \dots 2 \quad (2.9)$$

$$\gamma_{x,d,k}^{int} = \prod_{l=k+1}^3 (1 - c(x, d, k)\theta_{x,d,l}) \quad (2.10)$$

Verilen kanaldaki ortamın durumunu hesaplamaya başlamadan önce, karşıt kanalın bütün süresinin meşgul ortama eşit olup olmadığı göz önüne alınmalıdır. Bundan dolayı hedef kanalın son backoff periyodunun tespit edilmesi önemlidir. CCH ve SCH kanalları için hedef kanaldaki son backoff periyodu  $X_c =$

$1/cch$  ve  $X_s = 1/sch$  şeklindedir. Öte yandan hedef kanal içerisindeki, ortamın meşgul yada boşta olması önem arz eder. Hedef kanal aralığında ortamın backoff aralığı boyunca boşta olma olasılığı  $f_{x,k} = (1 - X_k) \prod_{d=1}^{d_x} \prod_{l=k}^3 (1 - c(x, d, k) \tau_{x,d,l})^{n_{x,d,l}}$  şeklindedir.

Bununla birlikte sanal çarpışmalardan dolayı düğümler arasında bir erişim olmayacaktır. Düğümlerin içerisindeki sanal erişimler ve dışarısındaki kesin erişimlerden dolayı  $f_{x,k}$  değeri farklılık arz edecektir:

$$\zeta_{x,d,k} = f_{x,k} \frac{\prod_{l=k+1}^3 (1 - c(x, d, k) \theta_{x,d,l})}{\prod_{l=k+1}^3 (1 - c(x, d, k) \tau_{x,d,l})} \quad (2.11)$$

Akış içerisinde backoff sayacı zaman periyotları boyunca azalabilir, ancak bu durum periyodun indeksine bağımlı olan olasılıklarla belirlenir.  $AC_i$  için backoff sayacının azalma olasılıklarının toplamı aşağıda ifade edilmiştir[2,32].

$$g_{x,d,0} = \frac{\zeta_{x,d,0}}{1 - \theta_{x,d,0}}$$

$$g_{x,d,i} = \left(1 - \zeta_{x,d,i}^{A_{x,i,max}}\right) \frac{\zeta_{x,d,i}}{1 - \theta_{x,d,i}} + \zeta_{x,d,i}^{A_{x,i,max}} \frac{\zeta_{x,d,i}}{1 - \theta_{x,d,i}}, \quad i = 1 \dots 3. \quad (2.12)$$

$x$  kanalındaki  $AC_k$  kanalının gerçek veya sanal çarpışmanın gerçekleşmeme olasılığı  $\gamma n_{x,d,k} = g_{x,d,k}$  ile hesaplanır.  $x$  kanalındaki  $k$  veri sınıfı  $d$  veri kombinasyonu için en büyük çarpışma olasılığı  $E[col_{x,d,k}] = 1 - \sum_{n=0}^{v_{h,max}} P(n) \gamma n_{x,d,k}$  ile hesaplanır.

### 2.3. Pencere Servis Süresine Göre PGF

PGF paket servis süresinin temel yapı bloğu backoff sayacındaki değerin sıfır olmadığı zamanlarda geri beslemenin donan sayaç bloğundaki PGF transfer geçiştir. Backoff sayacı sıfır olduğunda geri sayım atlanır. Bloklar arasındaki PGF transferi eğer blok daha yüksek backoff durumundan en olarak dikey durumda ise aynı backoff durumu daha yüksek bir backoff sayacında konumlanır.

Donma sayacındaki dikey enlemesini düşünelim. Bu durumda  $Pfa_l$  olasılıklarını gözden geçirmek gereklidir.  $k < l$  veri sınıflarındaki araçların donma sayaçları periyodu  $A_{x,l}$   $l=1,2,3$  ortamındaki başarılı iletim sebebiyle tekrar başlatılır[32]

$$Pfa_{x,l} = \sum_{d=1}^{d_x} \sum_{i=1}^3 \frac{n_{x,d,i} \tau_{x,d,i} \prod_{l=1}^3 (1 - \tau_{x,d,i})^{n_{x,d,i}}}{(1 - \tau_{x,d,i})} \quad (2.13)$$

Dondurucu sayacının çarpışmadan ötürü yeniden başlama olasılığı  $Pfc_{x,l} = 1 - f_{x,l} - Pfa_{x,l}$  şeklindedir. Ayrıca  $A_{x,l} l = 0, \dots, 3$  periyodu için ortama başarılı erişimin süresi aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir[32].

$$Sw_{x,l}(z) = \frac{\sum_{d=1}^{d_x} \sum_{i=1}^3 n_{x,d,i} \tau_{x,d,i} St_{x,k}(z)}{\sum_{d=1}^{d_x} \sum_{i=1}^3 n_{x,d,i} \tau_{x,d,i}} \quad (2.14)$$

Backoff sayacındaki sıfır değeri için PGFs  $Bfnl_{x,k}(z)$  transferi PGF'nin tekrar meydana gelme durumu ile açıklanabilir. Çünkü belli bir döngünün ortaya çıkması nedeni ile ve yüksek trafik sınıflarındaki durum hariç olmak üzere  $Bfnl_{x,k}(z) = Bfnl_{x,k}(z) / Bfnld_{x,k}(z)$  şeklinde ifade edilir.

$$Bfnln_{x,k}(z) = z^{aifs_{x,3}} \prod_{i=k+1}^3 (f_{x,i} z)^{A_{x,i,max}} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} Bfnld_{x,k}(z) = & 1 \\ & - \sum_{i=k+1}^3 (Pfa_{x,i} Sw_{x,i}(z) \\ & + Pfc_{x,i} Ct(z)) \sum_{n=0}^{A_{x,i,max}-1} (zf_{x,i})^n z \prod_{l=i+1}^3 (zf_{x,l})^{A_{x,l,max}} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Backoff sayacının sıfır olmayan değerleri ve dikey transfer PGF'leri hesaplamak için, başarılı bir iletim ya da çarpışma yüzünden backoff sayacının bastırılacağına dair olasılıklar bulunmaktadır. Başarılı bir iletimden ötürü trafik sınıfı  $k$ 'nin  $A_{x,l}, l=0, \dots, k$  periyodunda bastırılması olasılığı aşağıda ifade edilmektedir[32].

$$Pbs_{x,d,k,l} = \sum_{i=l}^3 \frac{n_{x,d,i} \tau_{x,d,i} \prod_{l=1}^3 (1 - \tau_{x,d,i})^{n_{x,d,i}}}{(1 - \tau_{x,d,k})(1 - \tau_{x,d,i})} - \frac{\tau_{x,d,k}}{(1 - \tau_{x,d,k})^2} \prod_{l=1}^3 (1 - \tau_{x,d,i})^{n_{x,d,i}} \quad (2.17)$$

Ortamdaki çarpışmadan ötürü backoff sayacının bastırılacağına dair haberleşme olasılığı  $Pbc_{x,d,k,l} = 1 - (f_{x,l} / 1 - \tau_{x,d,k}) - Pbs_{x,d,k,l}$  şeklindedir. Daha sonra backoff sayacının sıfır olmayan değeri için dikey transfer PGF'si  $Bfl_{x,d,k}(z) = \alpha / \beta$  şeklindedir. Burada



$\alpha = c(x, d, k) \frac{f_{x,k}}{1-\tau_{x,d,k}} z Bfnl_{x,k}(z)$  ve  $\beta = 1 - z Bfnl_{x,k}(z) (Pbs_{x,d,k} Sw_{x,k}(z) + Pbc_{x,d,k} Ct_{x,k}(z))$  şeklindedir[32].

Kanal  $x$  üzerindeki  $k$  trafik sınıfı için  $i$ . backoff safhasının süresi için PGF değeri aşağıdaki gibi ifade edilir[32].

$$B_{x,d,k,i}(z) = \frac{Bfnl_{x,k}(z)}{W_{x,k,i}} + \frac{Bfl_{x,d,k}(z)}{W_{x,k,i}} \times \sum_{l=1}^{W_{x,k,i}-1} Bfs_{x,d,k}(z)^l \quad (2.18)$$

Rastlantısal zamandaki OBU belleğinin boş olma olasılığı  $\Pi_{x,d,k,0} = 1 - \rho_{x,d,k}$  şeklindedir. Burada  $x$  kanalındaki  $k$  veri sınıfı ile beraber  $d$  data kombinasyonundan yüklenmiş  $\rho_{x,d,k}$  değeri bulunur.  $AC_k$  için tüm Markov zinciri değeri Şekil 2.5 de gösterilmiştir. Markov zinciri her iki kanal içinde aynı forma sahiptir. Çünkü diğer kanalın hareketi varsayılan kanaldaki durumun çalışma durumu ile aynı eşit düzeydedir. Şekil 2.5 göz önünde bulundurarak,  $x$  kanalındaki  $AC_k$  veri sınıfındaki  $d$  data kombinasyonu için gereken PGF backoff süresi aşağıdaki gibi ifade edilir[32].

$$\begin{aligned} Bof_{x,d,k}(z) = & \sum_{r=1}^{R_{\max}} \frac{1}{L} \left( \sum_{i=1}^{m_{x,k}+1} \left( \prod_{j=0}^{i-1} B_{x,d,k,j}(z) \right) \times (1 - \delta_k \gamma_{x,d,k})^{(i-1)} Ct(z)^{(i-1)} \delta_k \gamma_{x,d,k} + \right. \\ & \sum_{i=m_{x,k}+1}^R \left( \prod_{j=0}^{m_{x,k}} B_{x,d,k,j}(z) \right) B_{x,d,k,m_{x,k}}(z)^{(i-m_{x,k})} \times (1 - \delta_k \gamma_{x,d,k})^{(i)} Ct(z)^{(i)} \delta_k \gamma_{x,d,k} + \\ & \left. \left( \prod_{j=0}^{m_{x,k}} B_{x,d,k,j}(z) \right) B_{x,d,k,m_{x,k}}(z)^{(R-m_{x,k})} \times (1 - \delta_k \gamma_{x,d,k})^{(R+1)} Ct(z)^{(R+1)} \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Başarılı paket iletiminde ara bellek boş bulunuyorsa düğüm sıfıncı backoff'u proaktif olarak üzerine alır, boş duruma geçer daha sonrada sadece  $AIFS_{x,k}$  kadar bekleyerek daha sonraki gelen paketi iletme durumuna geçer. Bununla birlikte eğer bu durum başarılı olmazsa bütün backoff süresi birinci safhadan başlayarak yeniden yapılması gerekir. Bu durumda PGF değeri şu şekilde hesaplanır[32]:

$$\begin{aligned}
Bzof_{x,d,k}(z) = & \sum_{r=1}^{Rg_{\max}} \frac{l_r}{L} \left( \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} \right. \\
& + \sum_{i=2}^{m_{x,k}+1} \left( \prod_{j=0}^{i-1} B_{x,d,k,j}(z) \right) \times (1 - \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k})^{(i-1)} Ct(z)^{(i-1)} \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} \\
& + \sum_{i=m_{x,k}+1}^R \left( \prod_{j=0}^{m_{x,k}} B_{x,d,k,j}(z) \right) B_{x,d,k,m_{x,k}}(z)^{(i-m_{x,k})} \\
& \times (1 - \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k})^{(i)} Ct(z)^{(i)} \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} \\
& + \left( \prod_{j=0}^{m_{x,k}} B_{x,d,k,j}(z) \right) B_{x,d,k,m_{x,k}}(z)^{(R-m_{x,k})} \\
& \times (1 - \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k})^{(R+1)} Ct(z)^{(R+1)} \Big) \\
\end{aligned} \tag{2.20}.$$

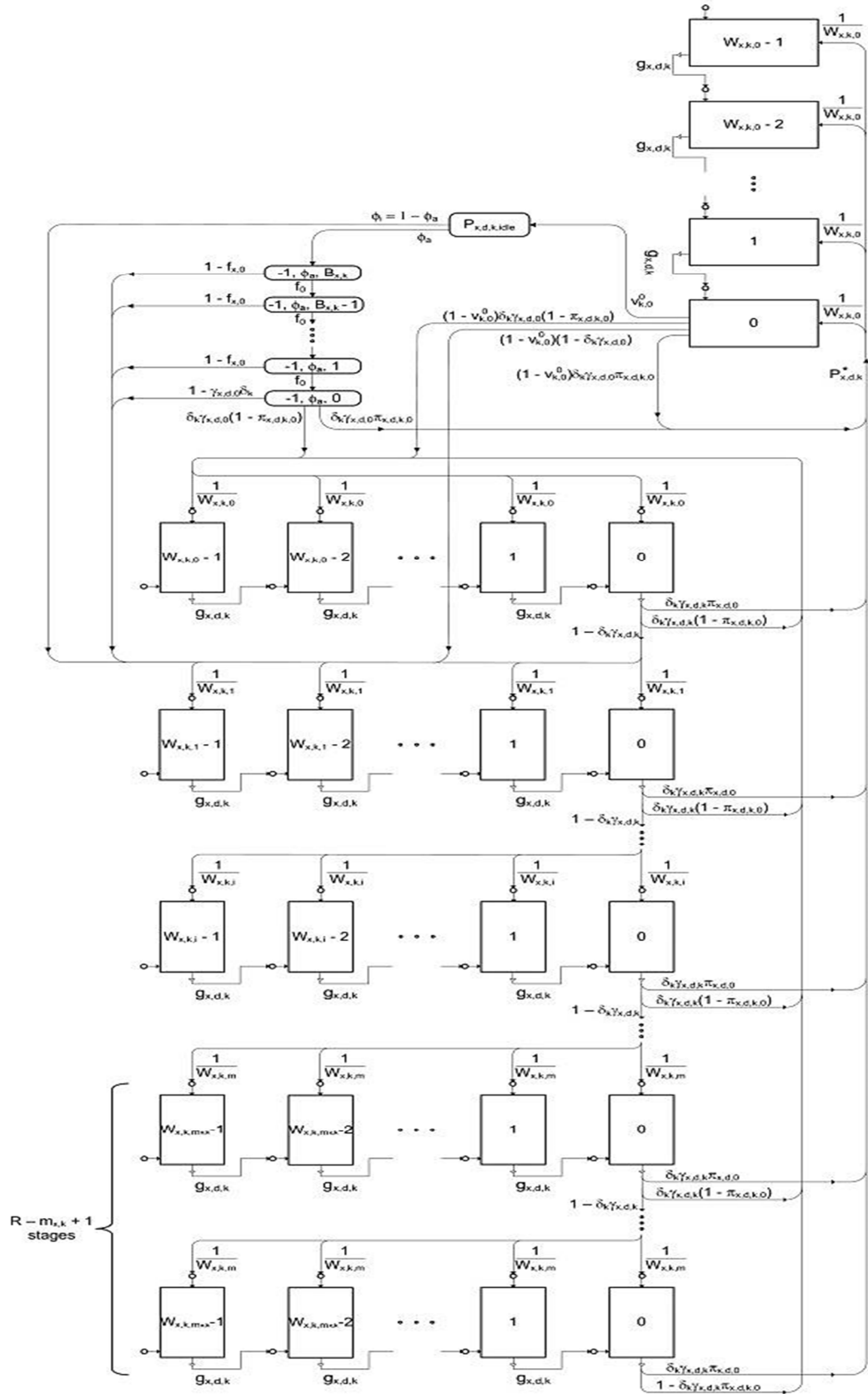
Çerçeve servis zamanı ve boş bir durum olasılığı düğümün ortama erişiminin doğru modeli için önemlidir. Fakat sadece Markov zincirini kullanarak hesaplanamaz, çünkü zaman aralıklarının süresi eşit değildir. Şöyle ki hedef kanalı boyunca backoff sayacı azaltıldığında toplam boş durumda bulunma olasılığı, aynı düğüm tarafından iki erişim arasındaki uzaklık ile hesaplanır. Bu sonucu elde etmek için uzatılmış backoff zamanının PGF'nin Laplace Steiljes dönüşümü (LST) kullanılır. Bu dönüşüm  $Bofe_{x,t,k}^*(s) = Bofe_{x,t,k}(e^{-s})$  şeklindedir[32].

Bu değeri hesaplamak için üç değere ihtiyaç vardır. Kanal üzerine sıfırcı backoff süresince çerçeve bulunmama olasılığı, çerçevenin artan gecikme zamanının LST dönüşümü ve eğer çerçeve öncesindeki kanal zamanı boyunca boş bir arabelleğe geliyorsa, CCH ve SCH periyotlarının başlangıçlarıyla beraber senkronize gerektiren zamanın LST dönüşümü gereklidir. Markov zincirinin yapısındaki dallanmaya göre iki iletim arasındaki mesafe şu şekildedir[32].

$$\begin{aligned}
D_{x,d,k}^*(s) = & \sum_{r=1}^{Rgmax} \frac{l_r}{L} (St_{x,k}(e^{-s}) \left\{ \pi_{x,d,k,0} B_{x,d,k,0}(e^{-s}) v_{x,d,k,0}^0 R_{x,k}^*(s) \times \right. \\
& \left[ \phi_i I_x^*(s) \left( \prod_{l=k+1}^3 f_{x,l}^{A_{x,l,max}} \delta_{k,r} \right) + \left( 1 - \prod_{l=k+1}^3 f_{x,l}^{A_{x,l,max}} \delta_{k,r} \right) Bofe_{x,d,k}^*(s) + \right. \\
& \left. \left. \phi_a \left( f_{x,0}^{aifs_{x,k}} \delta_{k,r} + \left( 1 - f_{x,0}^{aifs_{x,k}} \delta_{k,r} \right) Bofe_{x,d,k}^*(s) \right) \right] e^{saifs_{x,k}} + \pi_{x,d,k,0} B_{x,d,k,0}(e^{-s}) \times \right. \\
& \left. \left. \left( 1 - v_{x,d,k,0}^0 \right) \left( \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} + \left( 1 - \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} \right) Bzofe_{x,d,k}^*(s) \right) + \right. \right. \\
& \left. \left. \left( (1 - \pi_{x,d,k,0}) Bofe_{x,d,k}^*(s) \right) \right\} \right) \quad (2.21)
\end{aligned}$$

$R_{x,k}^*(s) = \frac{\lambda_{x,k}}{\lambda_{x,k} + s}$  LST değeridir. Bu değerde karışıklık varış zamanının üstsel dağıtımına göre belirlenir.  $I_x^*(s)$  CCH ve SCH periyodunu başlangıç zamanını senkronize etmek için gereken LST zamanını sembolize eder.  $\phi_a$  hedef kanalın aktif olma olasılığını gösterir bu kanalın aktif olduğunda araç başlangıç durmandan çıkar ve  $\phi_i$  karşı kanalın aktif olma ihtimalini gösterir. Daha sonrasında birbirini izleyen iki erişim noktası arasındaki toplam aktif LST pencere servis süresi aşağıdaki gibi ifade edilir[32].

$$\begin{aligned}
Tt_{x,d,k}^*(s) = & \sum_{r=1}^{Rgmax} \frac{l_r}{L} (St_{x,k}(e^{-s}) \left\{ \pi_{x,d,k,0} B_{x,d,k,0}(e^{-s}) v_{x,d,k,0}^0 \right. \\
& \times \left[ \phi_i I_x^*(s) \left( \prod_{l=k+1}^3 f_{x,l}^{A_{x,l,max}} \delta_{k,r} \right) \right. \\
& + \left. \left( 1 - \prod_{l=k+1}^3 f_{x,l}^{A_{x,l,max}} \delta_{k,r} \right) Bofe_{x,d,k}^*(s) \right] \\
& + \left. \phi_a \left( f_{x,0}^{aifs_{x,k}} \delta_{k,r} + \left( 1 - f_{x,0}^{aifs_{x,k}} \delta_{k,r} \right) Bofe_{x,d,k}^*(s) \right) \right] e^{-saifs_{x,k}} \\
& + \pi_{x,d,k,0} B_{x,d,k,0}(e^{-s}) \\
& \times \left( 1 - v_{x,d,k,0}^0 \right) \left( \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} + \left( 1 - \delta_{k,r} \gamma_{x,d,k} \right) Bzofe_{x,d,k}^*(s) \right) \\
& + \left. \left( (1 - \pi_{x,d,k,0}) Bofe_{x,d,k}^*(s) \right) \right\} \quad (2.22)
\end{aligned}$$

Şekil 2.5. Kanal  $x$  için Markov zinciri

#### 2.4. Bekleme Süresi ve İş Zamanı

Her araç basına gereken  $x$  kanalındaki  $k$  veri sınıfındaki  $d$  veri kombinasyonu için gereken iş zamanı aşağıdaki gibi ifade edilir[32].

$$Thr_{n_{x,d,k}} = \frac{\overline{ld_{x,k}}}{D_{x,d,k}} \quad (2.23)$$

Her hat basına gereken iş zamanı aşağıdaki gibi ifade edilir[33].

$$E[Thr_{x,d,k}] = \sum_{n=0}^{vh_{max}} P(n) Thr_{n_{x,d,k}} \quad (2.24)$$

Hizmet süresi boyunca gelen pencerelerin sayısı aşağıdaki gibi ifade edilir[33].

$$A_{x,d,k}(z) = Tt_{x,d,k}^*(\lambda_{x,k}(1-z)) \quad (2.25)$$

Araç belleğindeki giden pencere sonrasında kalan pencere sayısı aşağıdaki gibi ifade edilir[33].

$$\Pi_{x,d,k}(z) = \frac{\pi_{x,d,k,0}(1-z)A_{x,d,k}(z)}{A_{x,d,k}(z)-z} \quad (2.26)$$

Yanıt verme zamanını hesaplamak için hat içinde kalan pencere sayısını gözlemek gerekir. Bu gözlem pencerenin başlatıldığı ve hizmete geçtiği süre içerisinde hesaplanır.  $X$  kanalındaki  $AC_k$  için gereken yanıt verme zamanının LST'si gerekiyorsa son ifade aşağıdaki gibi tanımlanır [32].

$$\Pi_{x,d,k}(z) = W_{x,d,k}^*(\lambda_{x,k} - z\lambda_{x,k})Tt_{x,d,k}^*(\lambda_{x,k} - z\lambda_{x,k}) \quad (2.27)$$

$M/G/1$  sistemlerinin PASTA özelliği nedeni ile  $\Pi_{x,d,k}(z)$  belirsiz zamandaki hat meşguliyetinin dağılım olasılığını da gösterir.  $s = (\lambda_{x,k} - z\lambda_{x,k})$  uygulandıktan sonra geri kalan zamanın LST'si elde edebilir ve ortalama değer aşağıdaki gibi bulunur [32].

$$W_{x,d,k}^*(s) = \frac{s(1-\rho_{x,d,k})}{s-\lambda_{x,k}+\lambda_{x,k}Tt_{x,d,k}^*(s)} \quad (2.28)$$

$$\overline{W}_{n_{x,d,k}} = \frac{\lambda_{x,k}Tt_k^{(2)}}{2(1-\rho_{x,d,k})} \quad (2.29)$$

Hat basına gereken tüm bekleme zamanı aşağıdaki gibi ifade edilir[32].

$$E[\overline{W}_{x,d,k}] = \sum_{n=0}^{vh_{max}} P(n)\overline{W}_{n_{x,d,k}} \quad (2.30)$$

### 3. BÖLÜM

#### DENEYSEL DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında  $L$  yol uzunluğu 900, 500 ve 350 metre iletim aralığı ile başlayan çift yönlü yol bölmeleri üzerindeki tek RSU ile ağ üzerindeki trafik kombinasyonlarını, pencere boyutunu, toplam popülasyon oranlarını ve hata oranını değiştirmek suretiyle araç yoğunluğunun artırılmasına bağlı olarak hareketlilik etkisi araştırılmıştır. Ayrıca RSU’da farklı iletim aralıkları için ağ doygunluk noktaları da incelenmiştir.

Çalışmamızda her şeritteki araç sayısı serbest akış modeli düşünülerek Poisson dağılımına göre değerlendirilmiştir. EDCA parametreleri Tablo 1.1 ve Tablo 1.2’de verilmiştir. Araçların RSU’dan uzaklığına göre veri oranı 3 ila 24 Mbps arasında değişir. OFDMA 40 ms’lik fiziksel katman modülasyon mekanizmasıyla seçilir. Çünkü başlangıç iletimi süresi bu değerdir. Slot zamanı 16 mikro saniye ayarlanır ve SIFS süresi 2 slota eşittir. RTC/CTS ortam iletişimi için kullanılır. İç ve dış senkronizasyon süreleri 100 ms ve 5 ms olarak ayarlanmıştır. Trafik veri akışı için veri oranları Tablo 3.1 de verilmiştir[23]. Bu parametre değerleri kullanılarak simülasyon Maple 16 üzerinde çalıştırılmıştır.

Tablo 3.1. Trafik akışının veri oranları

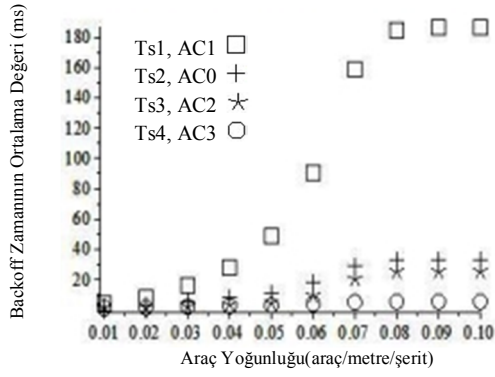
| Trafik Akışı için veri oranları |             |                 |                 |
|---------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Erişim Sınıfı                   | Veri Tipi   | CCH Kanalı için | SCH Kanalı için |
| AC1                             | Background  | 4               | 20              |
| AC0                             | Best Effort | 4               | 20              |
| AC2                             | Video       | 12              | 12              |
| AC3                             | Voice       | 12              | 12              |

### 3.1. Farklı Veri Sınıfı ve Eşit Trafik Kombinasyonları İçin Hareketliliğin Etkisi

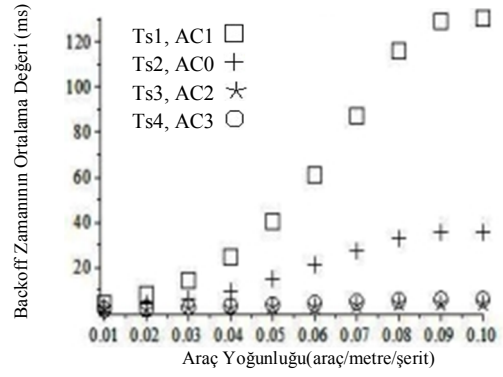
Bu bölümde IEEE 802.11p ağı üzerinde farklı veri sınıfı ve eşit trafik kombinasyonları için hareketliliğin etkisi araştırılmıştır. Pencere boyutu bu trafik sınıfları için 500 bayt olarak belirlenmiştir. Bit hata oranı  $2 \cdot 10^{-5}$  olarak belirlenmiştir. İzin verilen trafik yoğunluğu her bir hat için 0,1 araç/metre/şerit'dir. Trafik kombinasyonu Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Kullanılan trafik kombinasyonları

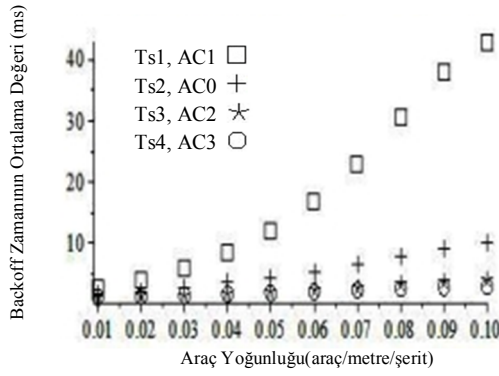
| Kullanılan Trafik Kombinasyonları |             |                 |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|
| Veri Kombinasyonu                 | Veri Sınıfı | Araç Sayı Oranı |
| 1                                 | AC1         | %25             |
| 2                                 | AC0         | %25             |
| 3                                 | AC2         | %25             |
| 4                                 | AC3         | %25             |



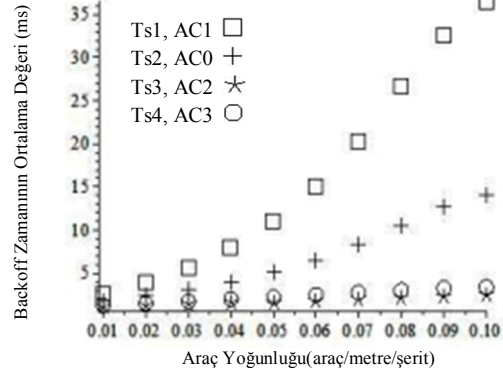
(a) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



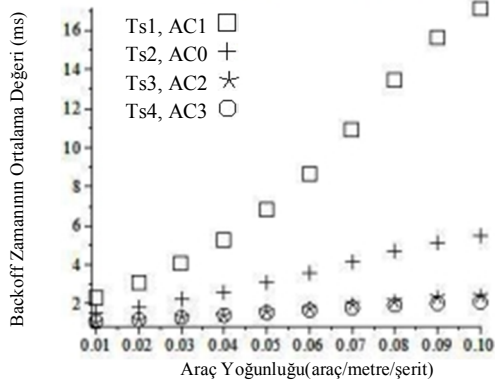
(b) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



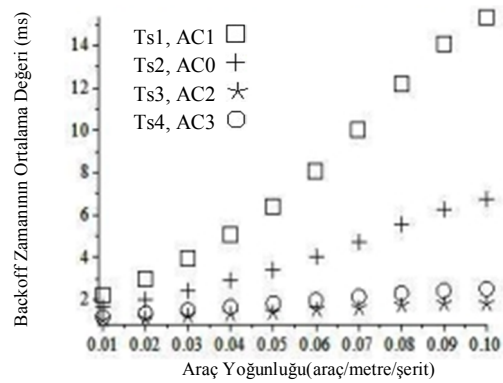
(c) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



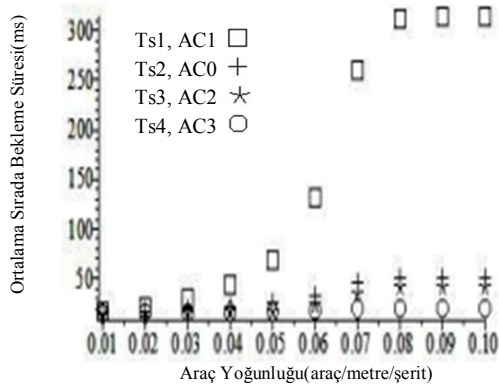
(e) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



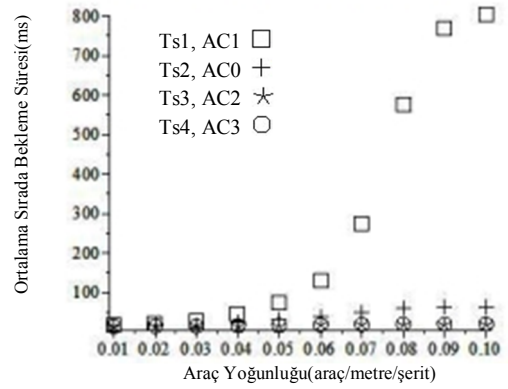
(f) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

Şekil 3.1. L 900, 500 ve 350 metre için CCH ve SCH kanallarının farklı veri sınıfı ve eşit trafik kombinasyonları için backoff zamanının ortalama değeri

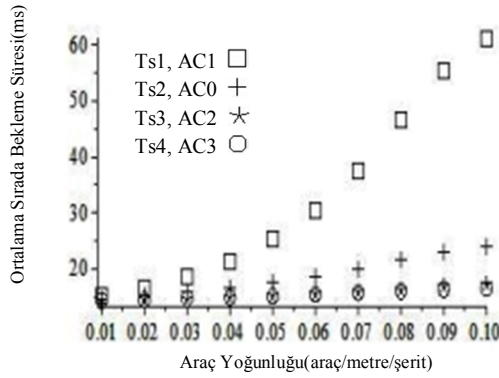




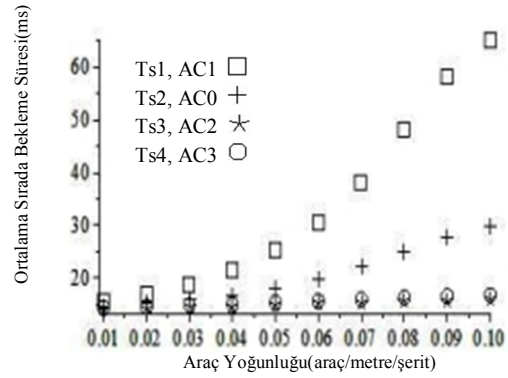
(a) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



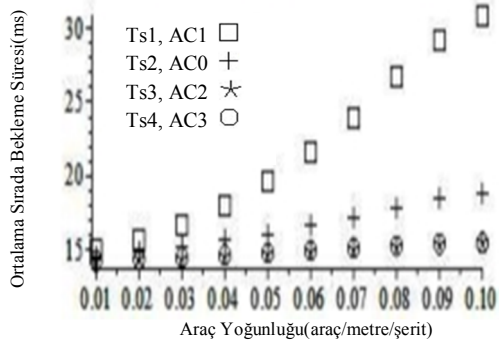
(b) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



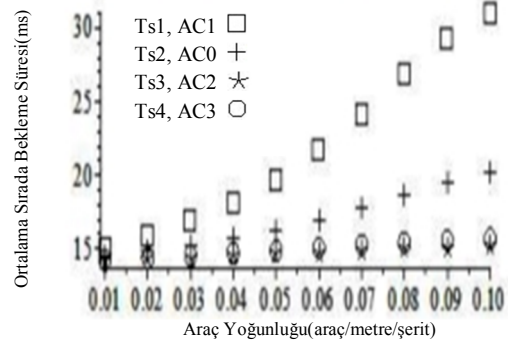
(c) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

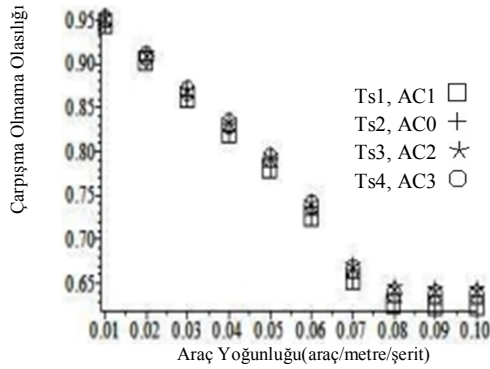


(e) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)

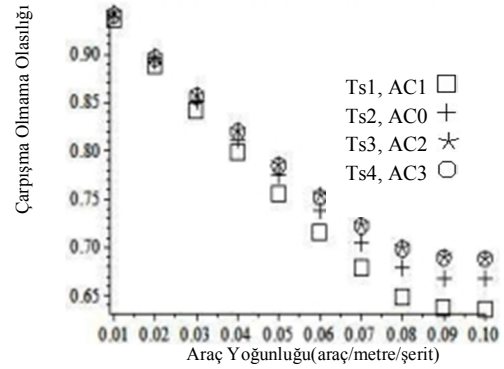


(f) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

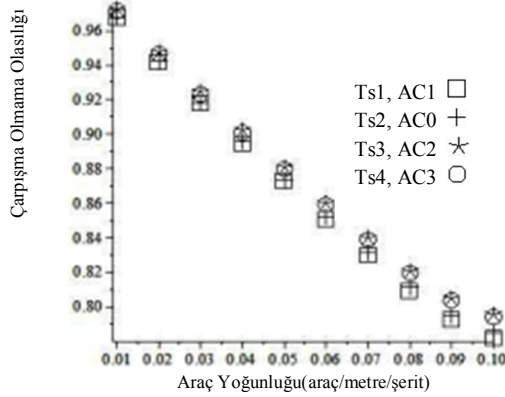
Şekil 3.2. L 900, 500 ve 350 metre için CCH ve SCH kanallarının farklı veri sınıfı ve eşit trafik kombinasyonları için ortalama sırada bekleme süresi



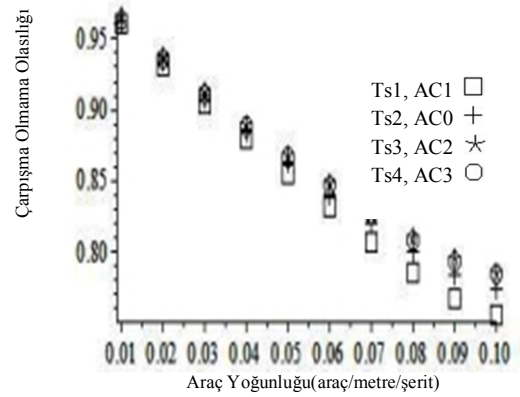
(a) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



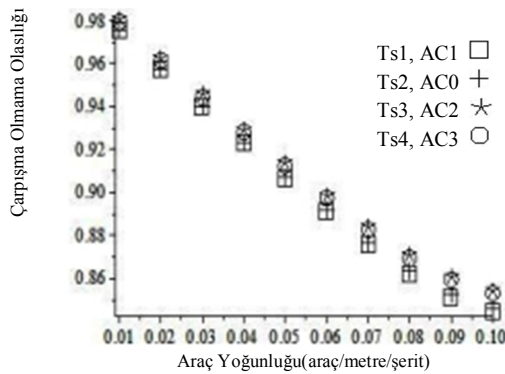
(b) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



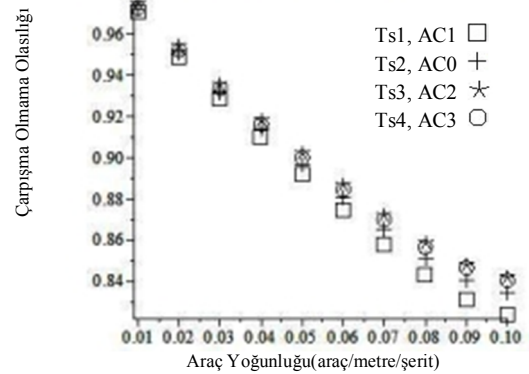
(c) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



(e) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(f) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

Şekil 3.3. L 900, 500 ve 350 metre için CCH ve SCH kanallarının farklı veri sınıfı ve eşit trafik kombinasyonları için çarpışma olmama olasılığı

Şekil 3.1 veri sınıflarının CCH ve SCH ortamı üzerinde başarılı bir işlem gerçekleştirilmesi için gereken ortalama backoff zamanını gösterir. RSU'nun iletim alanı 900, 500 ve 350 metreye eşittir. Şekil 3.2 CCH ve SCH veri sınıflarından gelen verilerin sırada bekleme zamanını ortalamasıdır. Şekil 3.3 CCH ve SCH veri paketinin çarpışma olmama olasılığını gösterir.

Şekil 3.1 (a,b) ve Şekil-3.2 (a,b) incelendiğinde sadece AC1 veri sınıfı L 900 metrede doyum noktasına ulaşmaktadır. Araç yoğunluğu hem CCH hem de SCH 0,07 araç/metre/şerit olduğu durumda doyum noktasına ulaştığı gözlemlenir. AC1 sınıfının doyuma ulaşmasının sebebi AIFSN ve CW değerleridir. Diğer veri sınıfları doyum noktasına ulaşmamaktadır. 500 ve 350 metrede hiç bir veri sınıfının doyuma ulaşmadığı gözlenmektedir. 350 metrede 900 ve 500 metreye göre backoff zamanının ortalama değerinin ve ortalama sırada bekleme süresinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

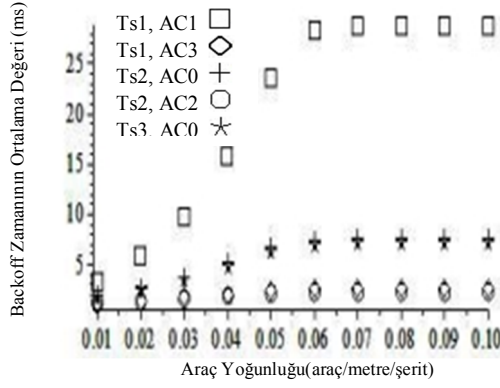
Şekil 3.3 her veri sınıfı için çarpışma olmama olasılığını gösterir. Araç yoğunluğunun artması sonucu çarpışma olmama olasılığının azaldığı anlaşılmaktadır. Farklı iletim aralığındaki grafikleri karşılaştırdığımız da yüksek iletim aralığının daha yüksek çarpışma olasılığına neden olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.2. Farklı Pencere Boyutları İçin Hareketliliğin Etkisi

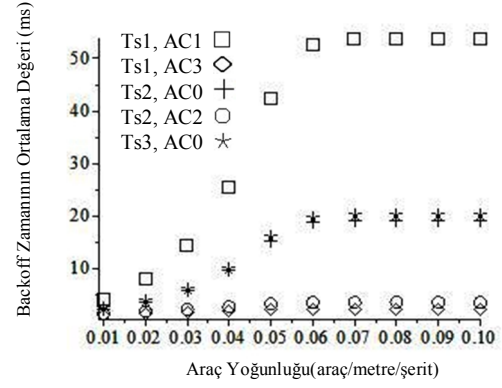
Bu bölümde pencere boyutunun 250 bayt, 500 bayt ve 1000 bayt olduğu durumlarda ağın hareketliliğin etkisi araştırılmıştır. İletim alanı 900, 500 ve 350 metrede, bit hata oranı  $2 \cdot 10^{-5}$  olarak belirlenmiştir. İzin verilen trafik yoğunluğu her bir hat için 0,1 araç/metre/şerit'dir. Trafik kombinasyonu Tablo 3.3 de belirtilmiştir.

Tablo 3.3. Farklı pencere boyutlarında kullanılan trafik kombinasyonları

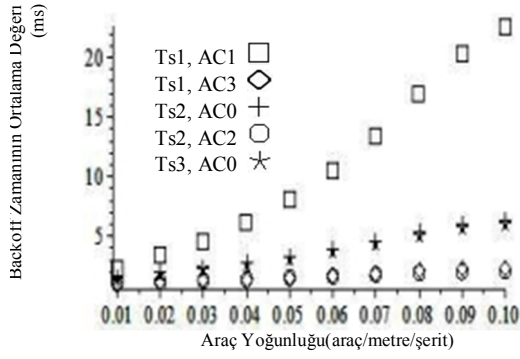
| Kullanılan Trafik Kombinasyonları |             |                 |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|
| Veri Kombinasyonu                 | Veri Sınıfı | Araç Sayı Oranı |
| 1                                 | AC1 ve AC3  | %20             |
| 2                                 | AC0 ve AC2  | %20             |
| 3                                 | AC0         | %60             |



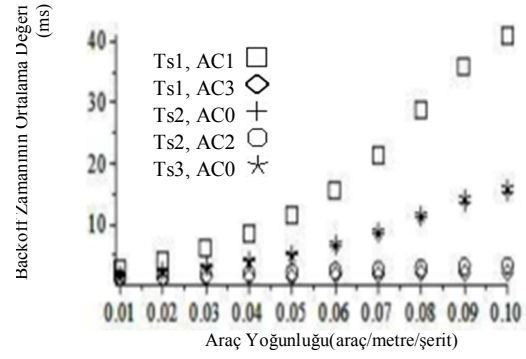
(a) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



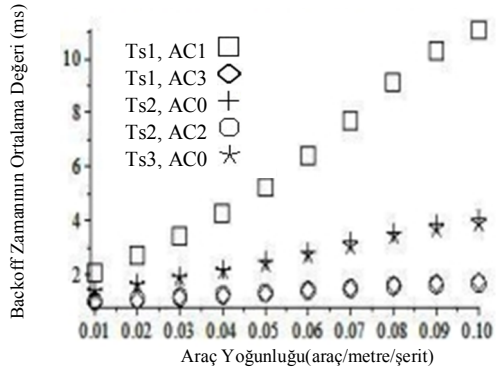
(b) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



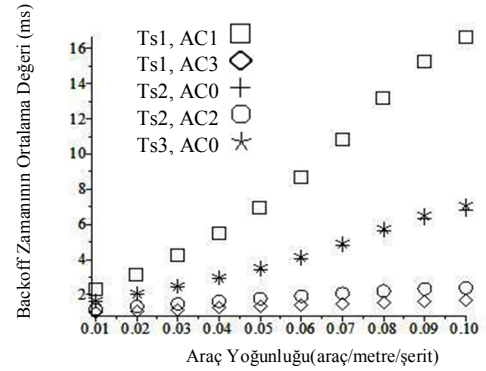
(c) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

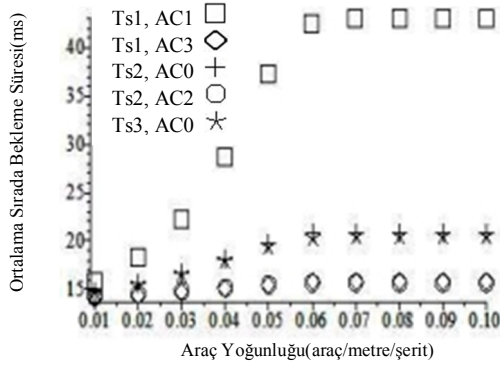


(e) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)

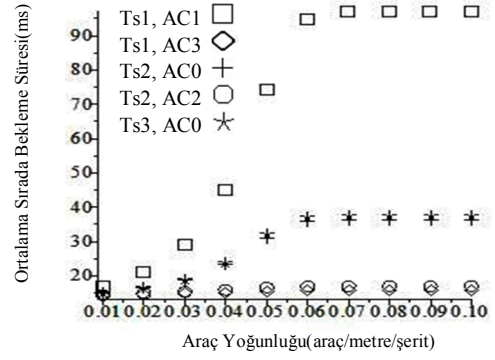


(f) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

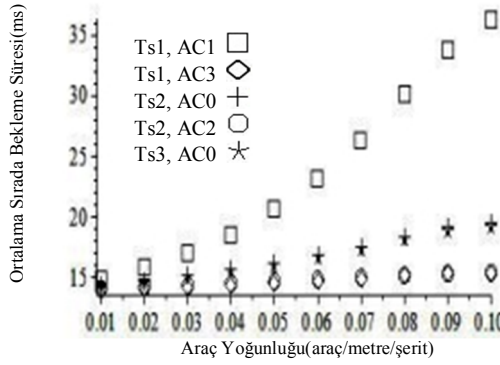
Şekil 3.4. Çerçeve boyutu 250 bayt için L 900, 500 ve 350 metredeki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ortalama değeri



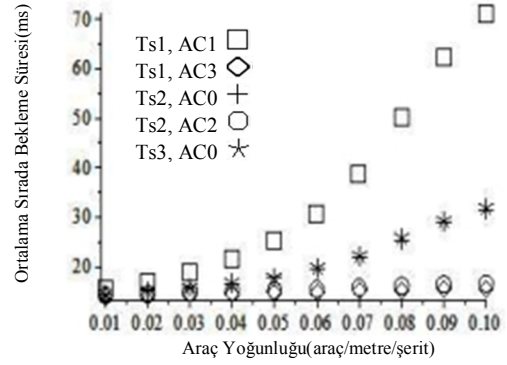
(a) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



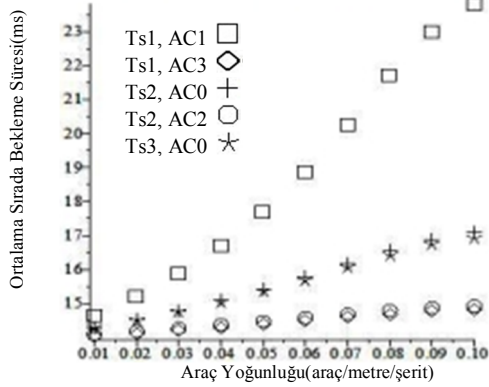
(b) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



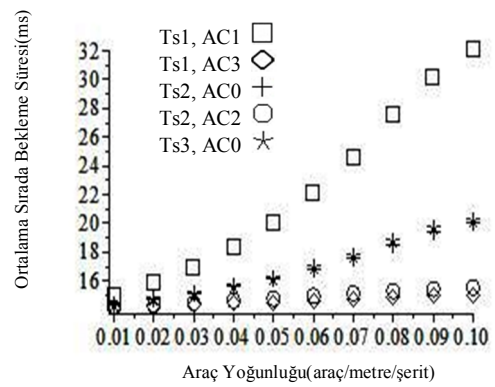
(c) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

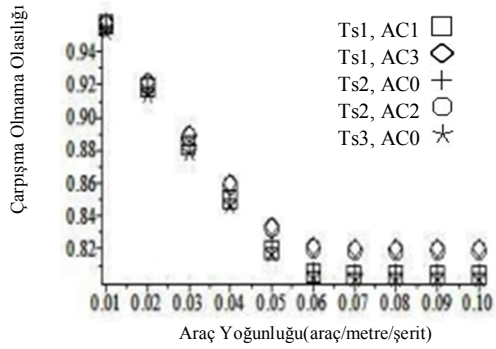


(e) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)

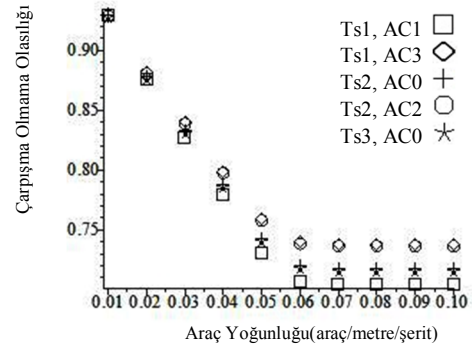


(f) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

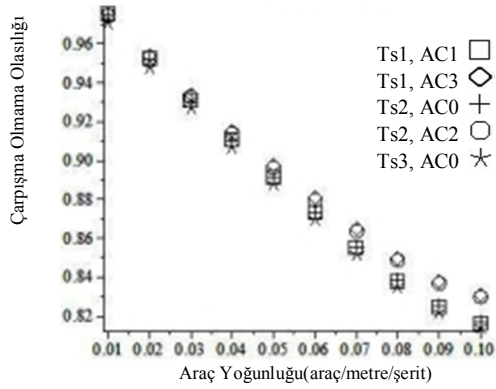
Şekil 3.5. Çerçeve boyutu 250 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi



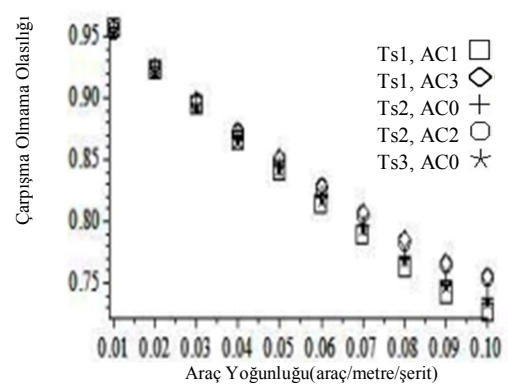
(a) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



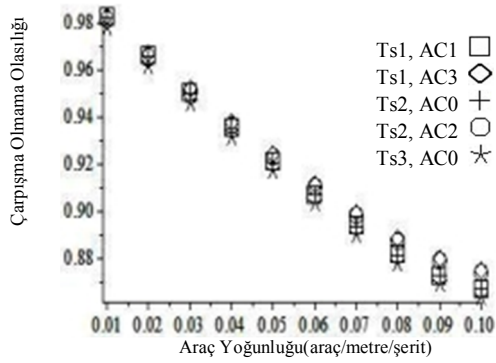
(b) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



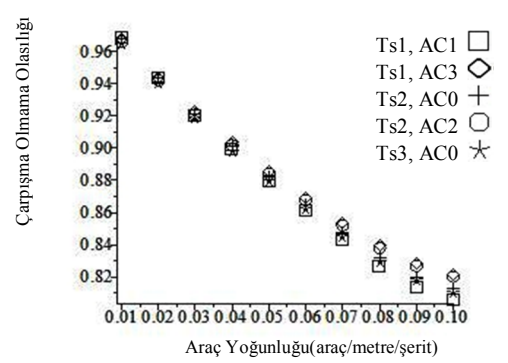
(c) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



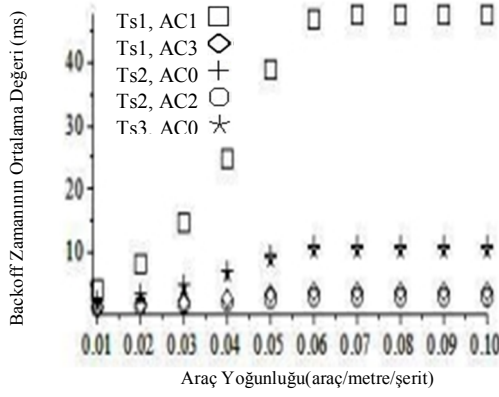
(e) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



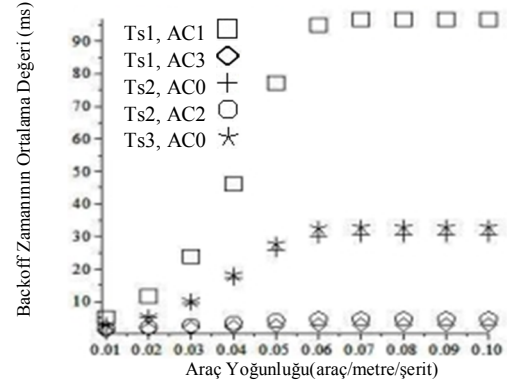
(f) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

Şekil 3.6. Çerçeve boyutu 250 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı

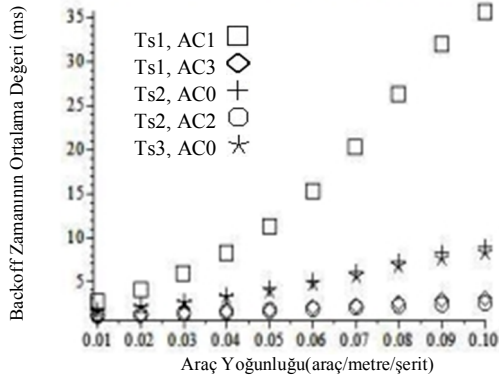




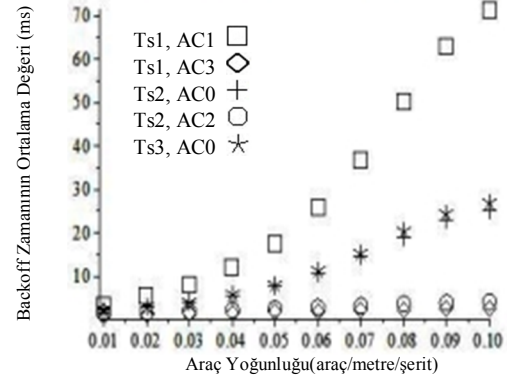
(a) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



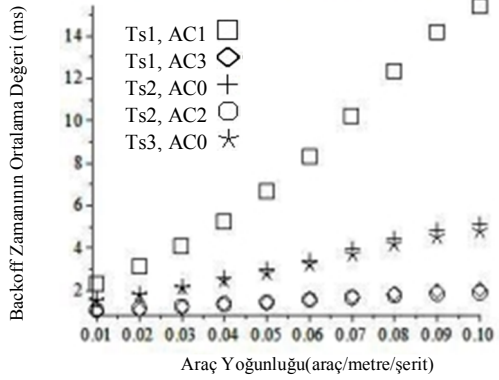
(b) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



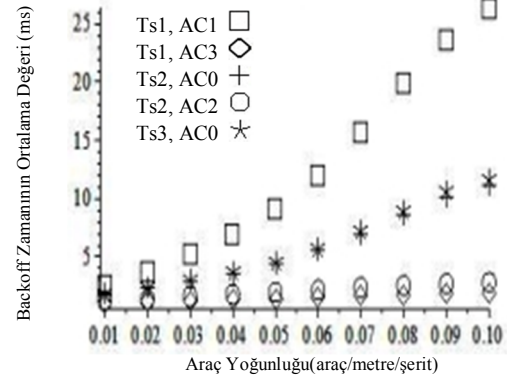
(c) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

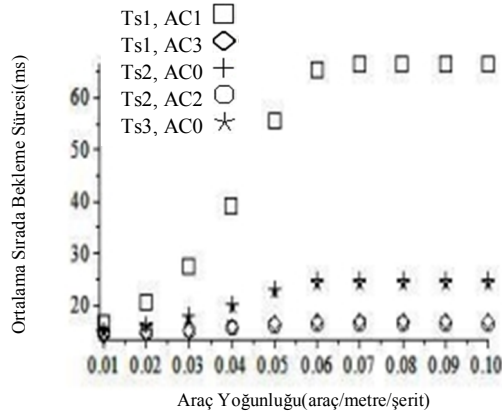


(e) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)

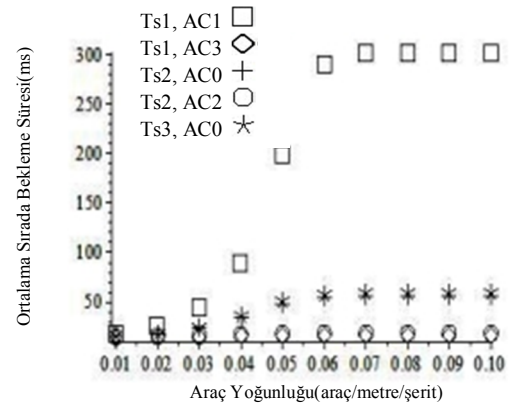


(f) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

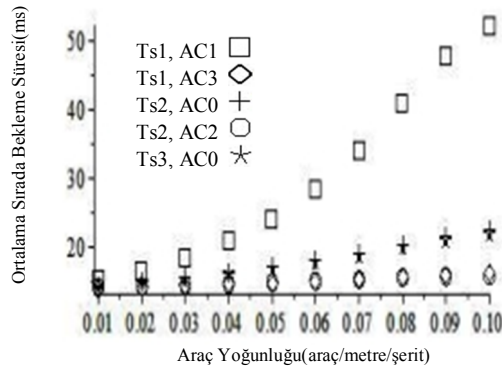
Şekil 3.7. Çerçeve boyutu 500 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri



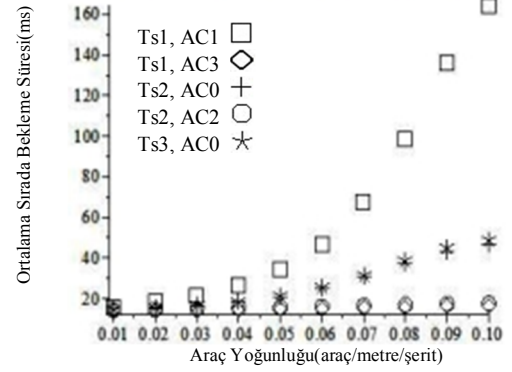
(a) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



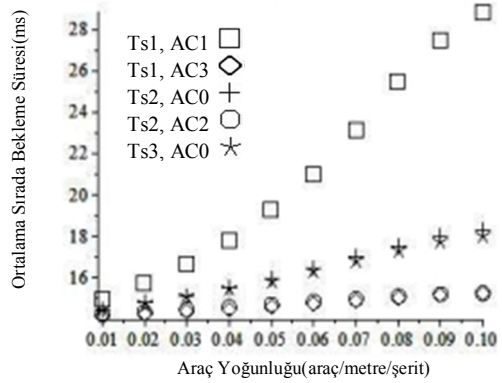
(b) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



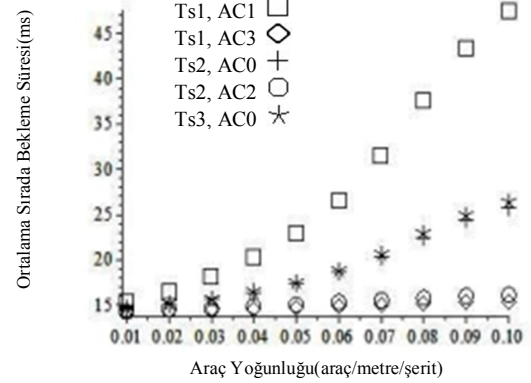
(c) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



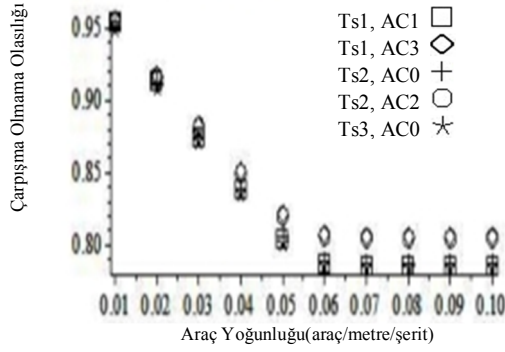
(e) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



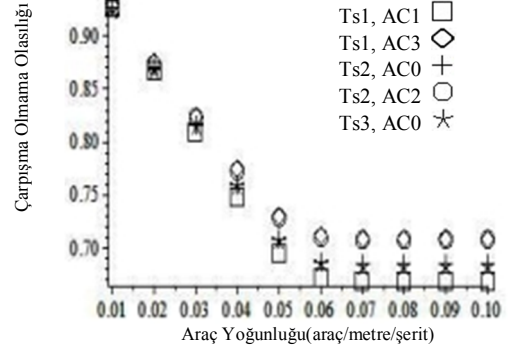
(f) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

Şekil 3.8. Çerçeve boyutu 500 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi

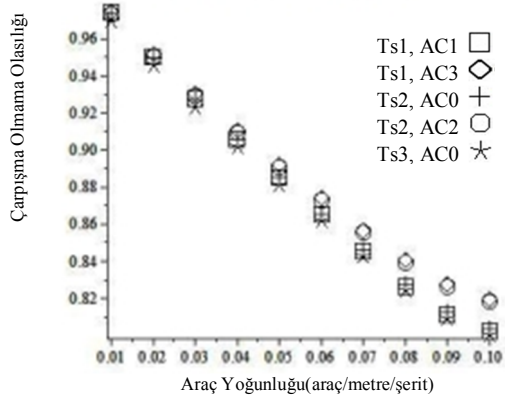




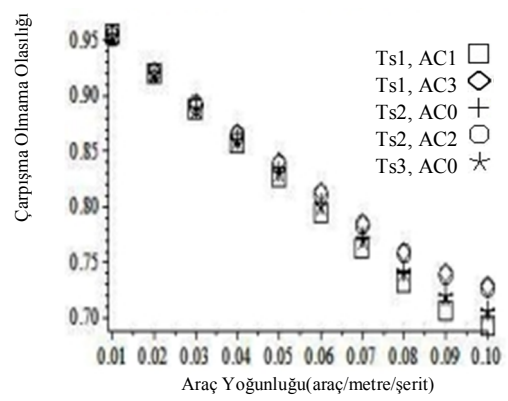
(a) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



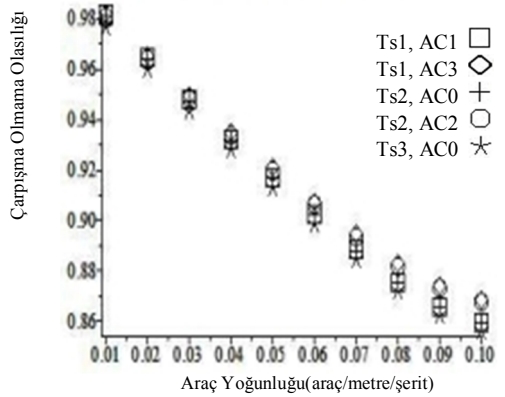
(b) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



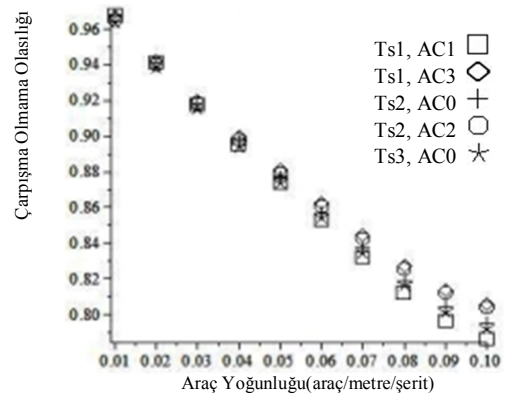
(c) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

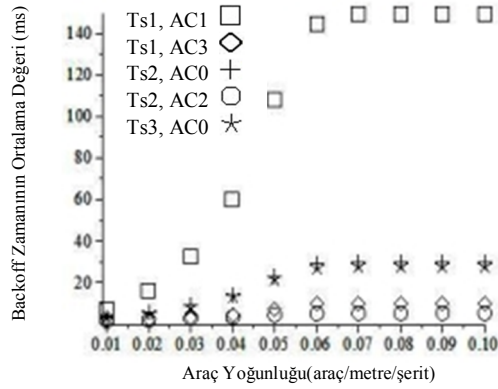


(e) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)

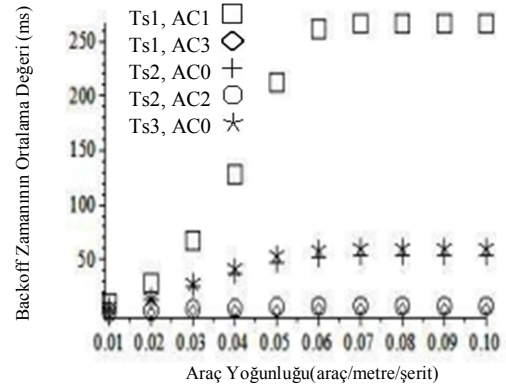


(f) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

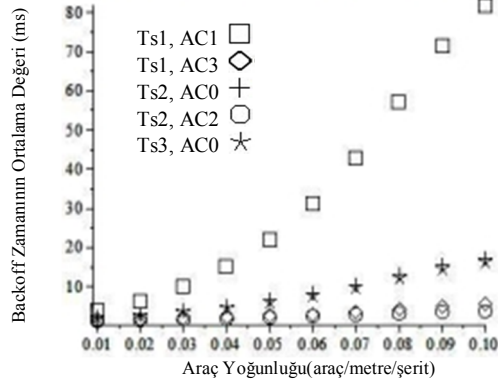
Şekil 3.9. Çerçeve boyutu 500 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı



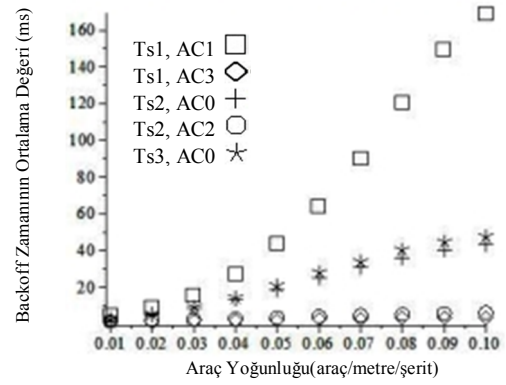
(a) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



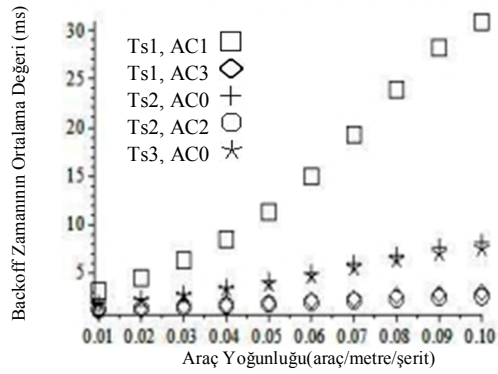
(b) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



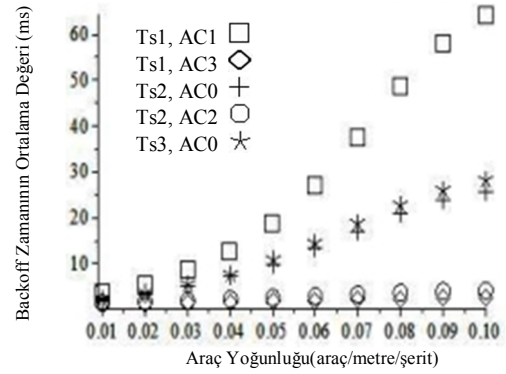
(c) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

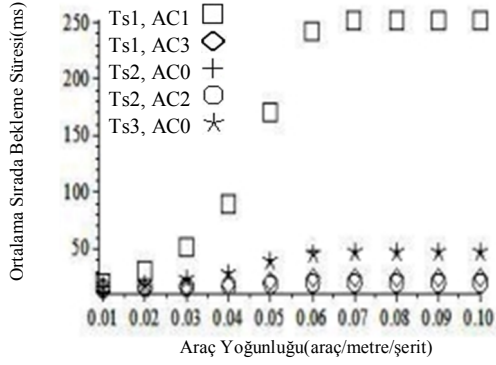


(e) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)

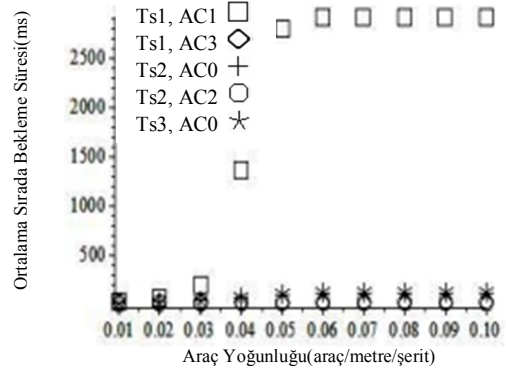


(f) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

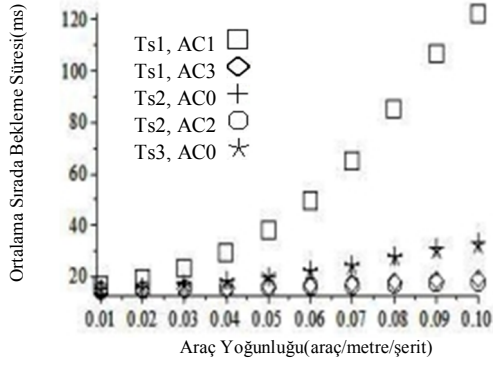
Şekil 3.10. Çerçeve boyutu 1000 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri



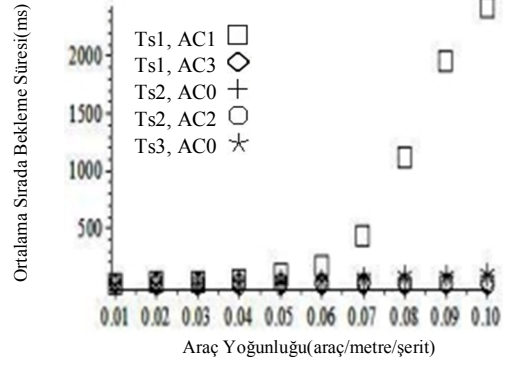
(a) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



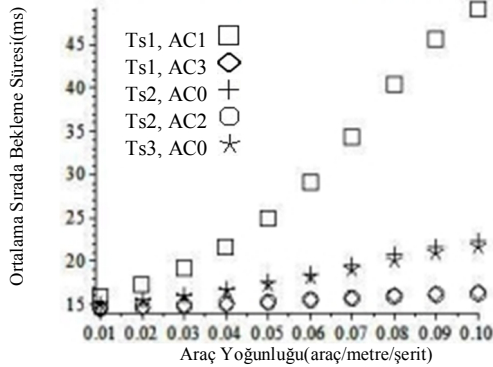
(b) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



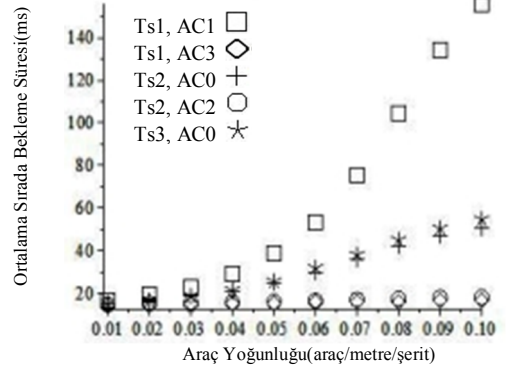
(c) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

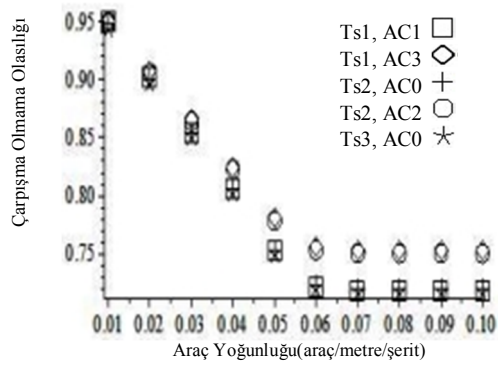


(e) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)

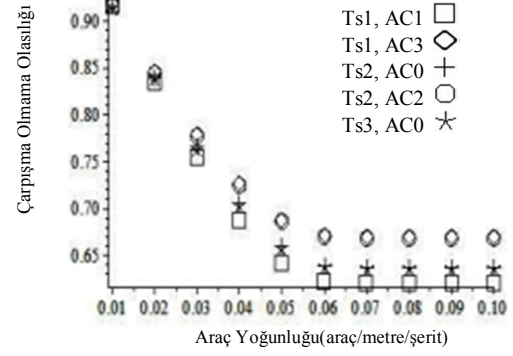


(f) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

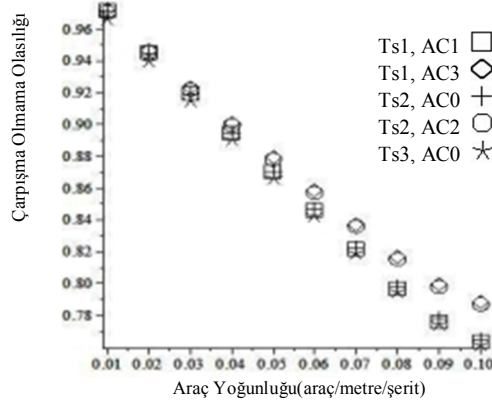
Şekil 3.11. Çerçeve boyutu 1000 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi



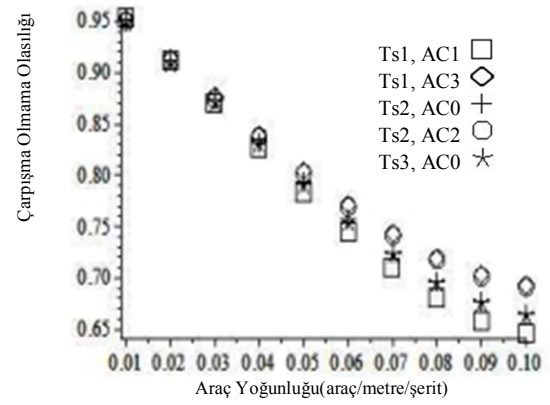
(a) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



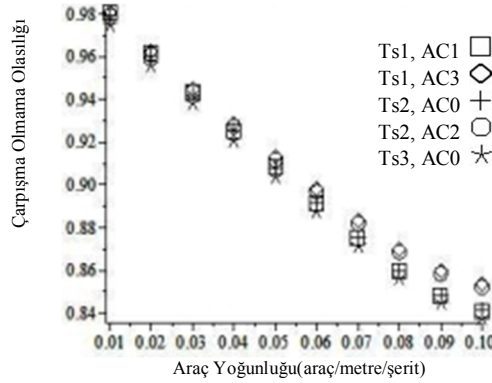
(b) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



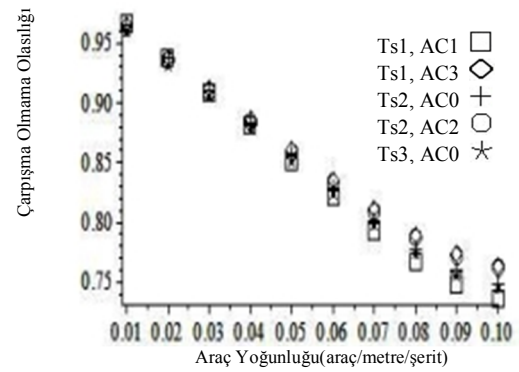
(c) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



(e) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(f) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

Şekil 3.12. Çerçeve boyutu 1000 bayt için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı

Pencere boyutu 250 bayt olduğu durum incelendiğinde veri sınıflarının hiçbirinin doyuma ulaşmamış olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.7.-3.8.(b)'de görüldüğü üzere pencere boyutu 500 bayt olduğu durum incelendiğinde  $L$  900 metrede SCH 0,06 araç/metre/şerit olduğu durumda AC1 veri sınıfının doyum noktasına ulaştığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.10.-3.11.(a,b)'de görüldüğü üzere pencere boyutu 1000 bayt olduğu durum incelendiğinde  $L$  900 metrede CCH 0,06 araç/metre/şerit ve SCH 0,04 araç/metre/şerit olduğu durumlarda AC1 veri sınıfının doyum noktasına ulaştığı anlaşılmaktadır. SCH'in CCH'a göre daha erken doyuma erişmesinin nedeni veri oranlarının CCH'ın SCH'a göre daha düşük olmasıdır. Şekil 3.10.-3.11.(d)'de görüldüğü üzere pencere boyutu 1000 bayt olduğu durum incelendiğinde  $L$  500 SCH 0,07 araç/metre/şerit olduğu durumda AC1 veri sınıfının doyum noktasına ulaştığı anlaşılmaktadır. Araç yoğunluğunun artması sonucu çarpışma olmama olasılığını azaldığı görülmektedir.

Pencere boyutunun artırılması backoff zamanının ortalama değerinin ve ortalama sırada bekleme süresinin artışı gösterir. Pencere boyutunun 1000 bayt olduğu durumda ortalama sırada bekleme süresinin SCH için çok fazla olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3. Popülasyon Değişiminin Hareketliliğin Etkisi

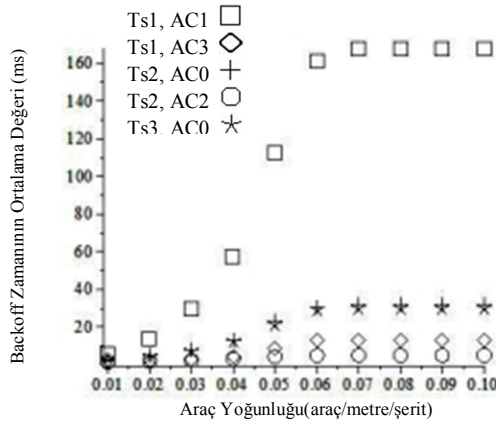
Bu bölümde IEEE 802.11p ağı üzerinde toplam popülasyon oranlarının değişiminin hareketliliğin etkisi araştırılmıştır. İletim alanı 900, 500 ve 350 metrede, bit hata oranı  $2 \cdot 10^{-5}$  ve pencere boyutu 500 bayt olarak belirlenmiştir. Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'daki popülasyon oranlarını için Şekil 3.13-3.21'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.5. %30-%30-%40 kullanılan trafik kombinasyonları

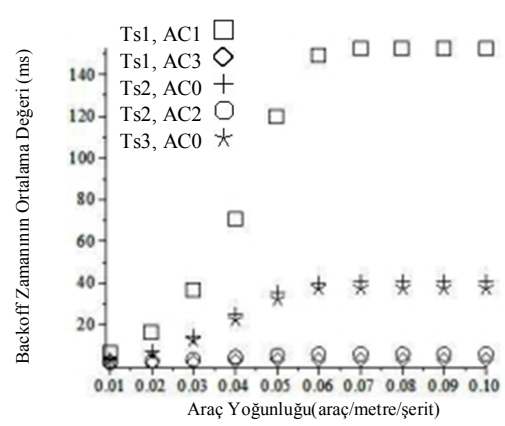
| Kullanılan Trafik Kombinasyonları |             |                 |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|
| Veri Kombinasyonu                 | Veri Sınıfı | Araç Sayı Oranı |
| 1                                 | AC1 ve AC3  | %30             |
| 2                                 | AC0 ve AC2  | %30             |
| 3                                 | AC0         | %40             |

Tablo 3.6. %40-%40-%20 kullanılan trafik kombinasyonları

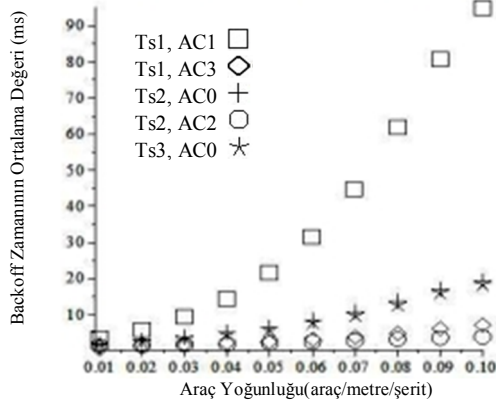
| <b>Kullanılan Trafik Kombinasyonları</b> |                    |                        |
|------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Veri Kombinasyonu</b>                 | <b>Veri Sınıfı</b> | <b>Araç Sayı Oranı</b> |
| 1                                        | AC1 ve AC3         | %40                    |
| 2                                        | AC0 ve AC2         | %40                    |
| 3                                        | AC0                | %20                    |



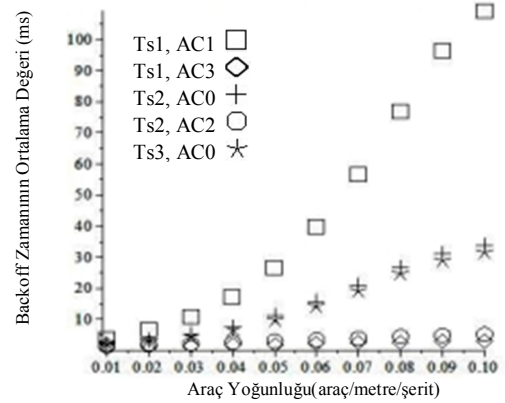
(a) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



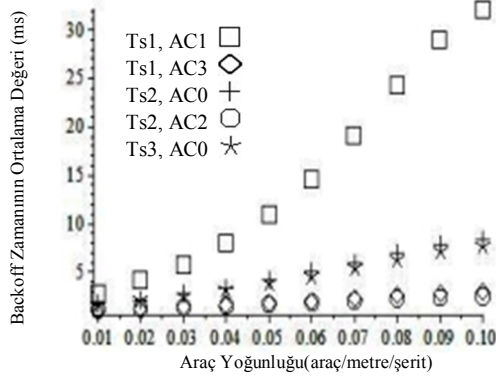
(b) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



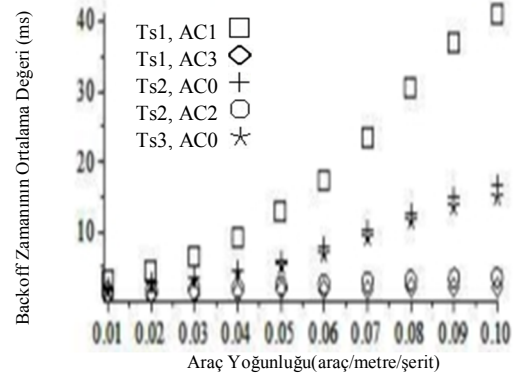
(c) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



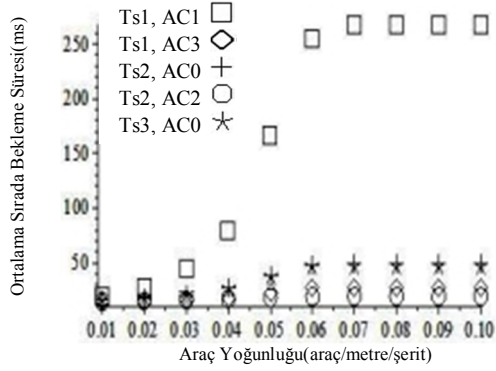
(e) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



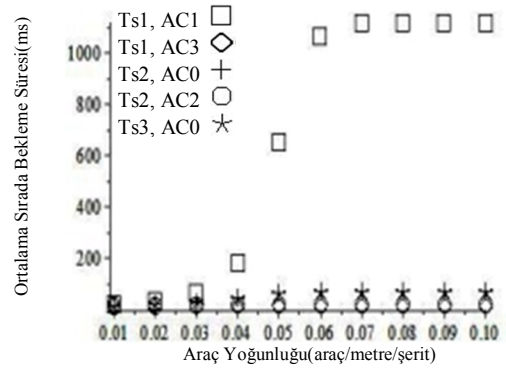
(f) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

Şekil 3.13. %30-%30-%40 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri

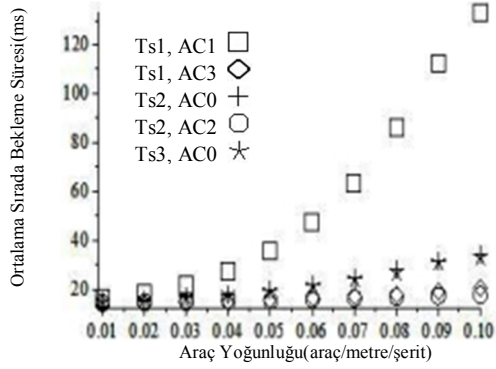




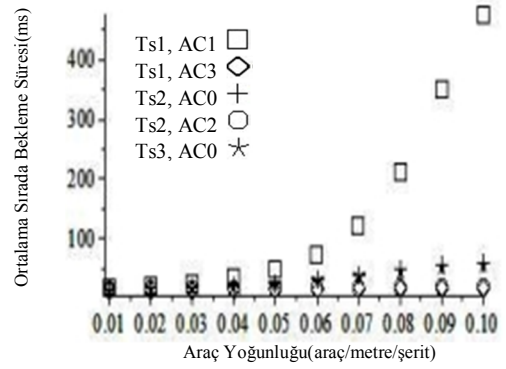
(a) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



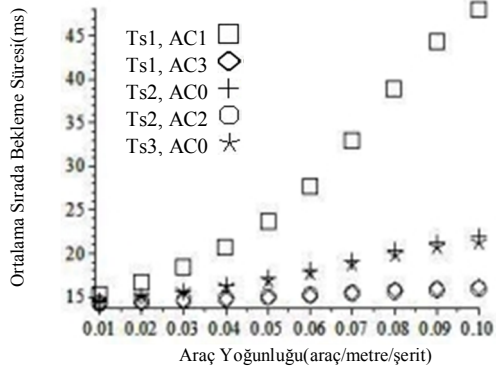
(b) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



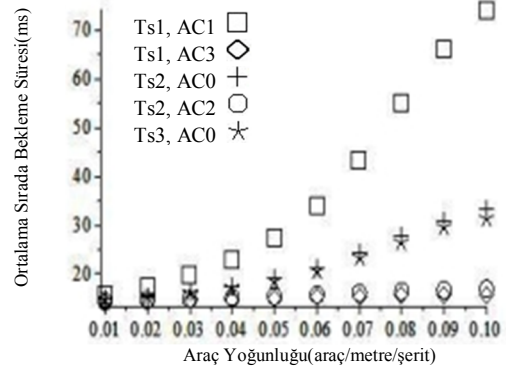
(c) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



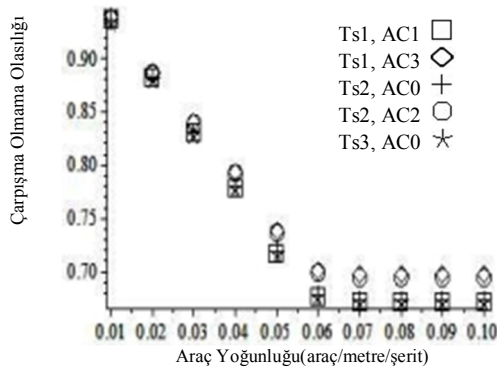
(e) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



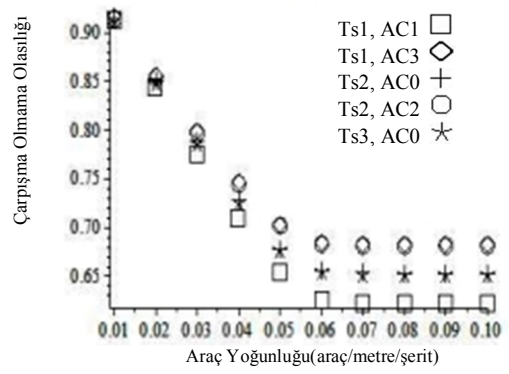
(f) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

Şekil 3.14. %30-%30-%40 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi

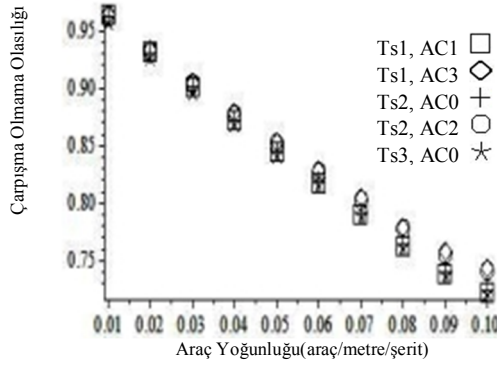




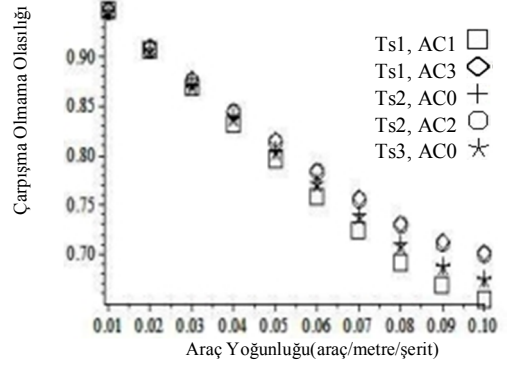
(a) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



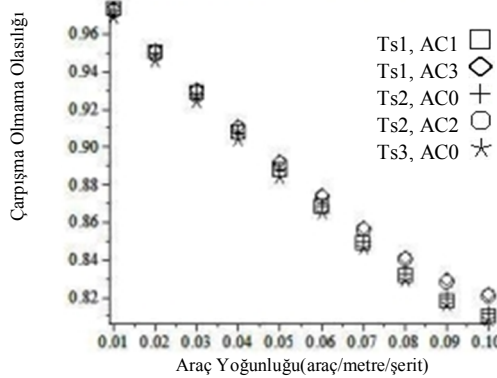
(b) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



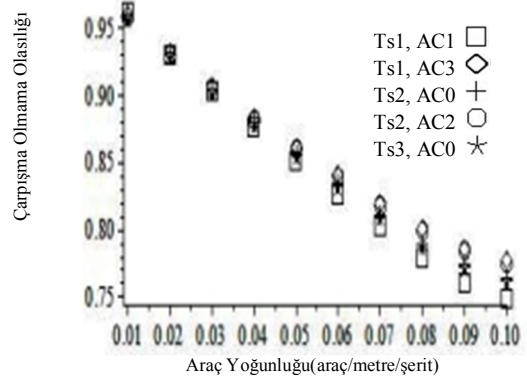
(c) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

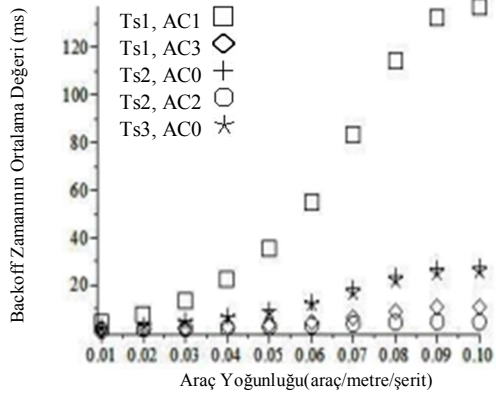


(e) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)

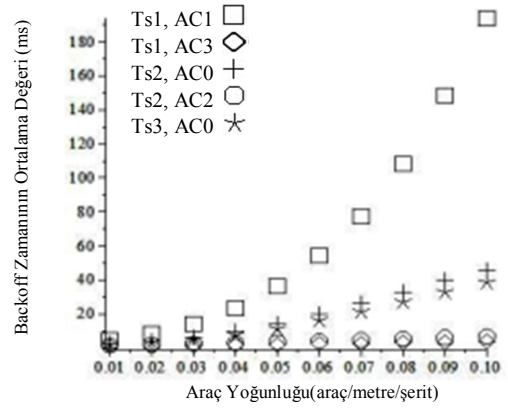


(f) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

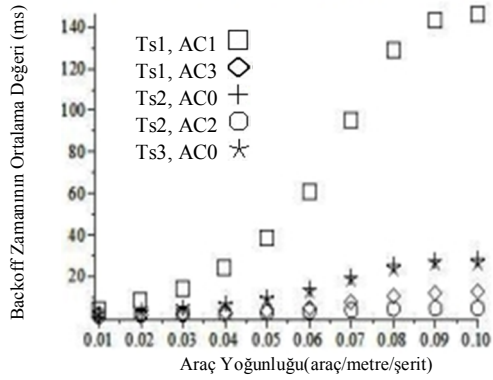
Şekil 3.15. %30-%30-%40 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı



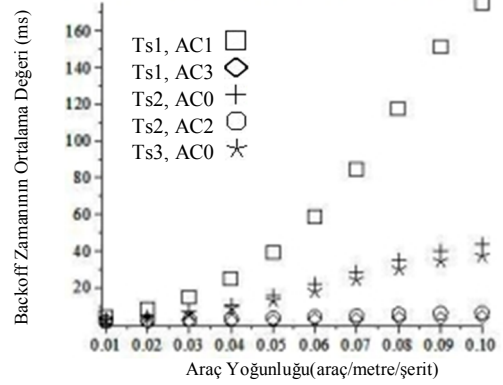
(a) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



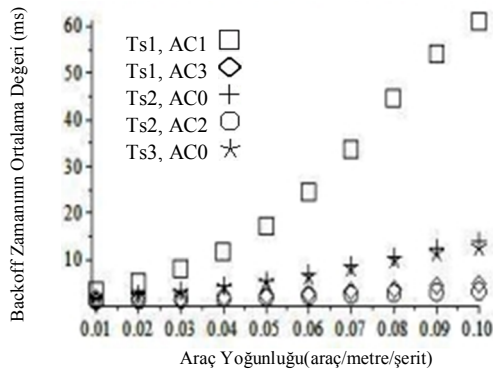
(b) L 900 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



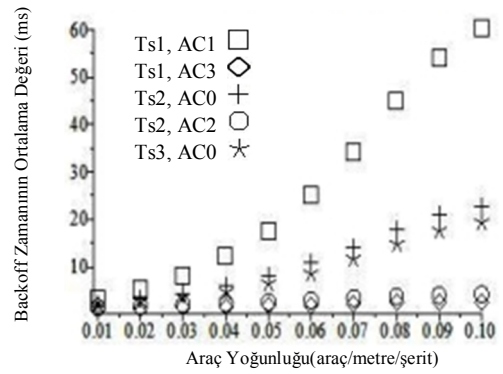
(c) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d) L 500 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

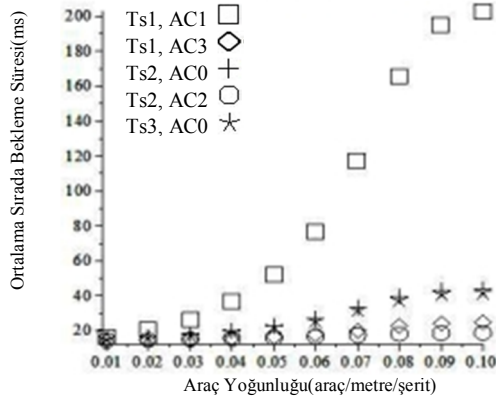


(e) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (CCH)

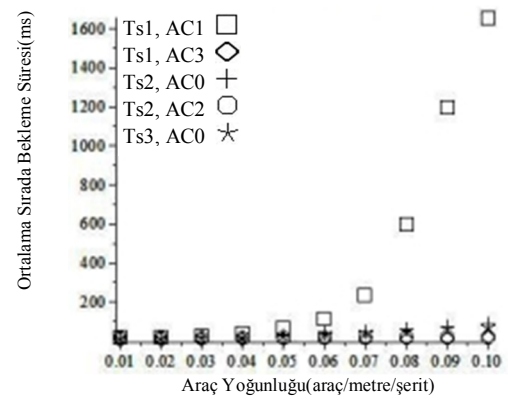


(f) L 350 metre için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

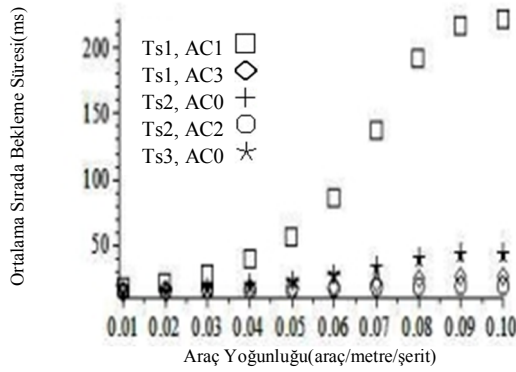
Şekil 3.16. %40-%40-%20 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri



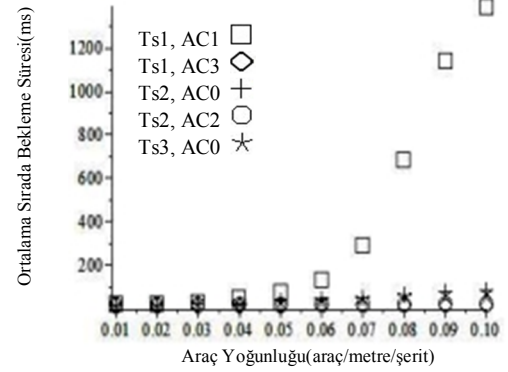
(a) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



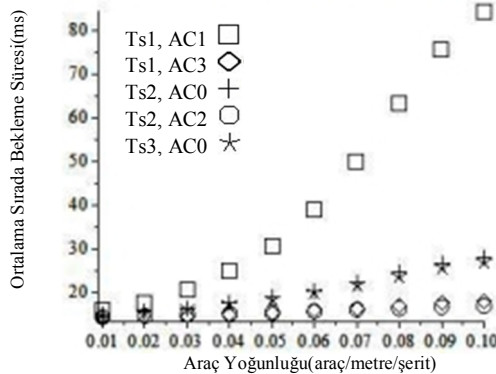
(b) L 900 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



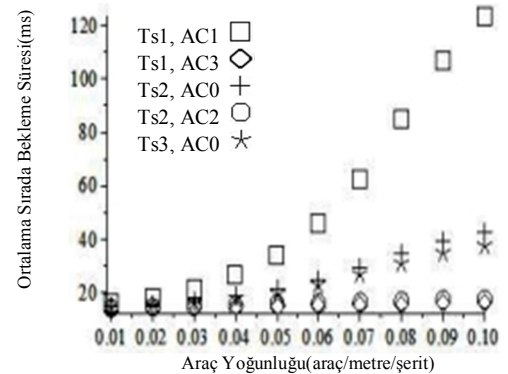
(c) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d) L 500 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

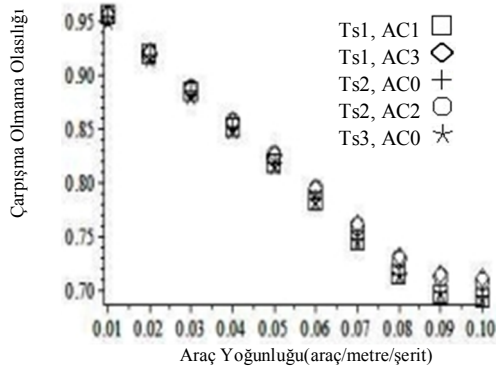


(e) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)

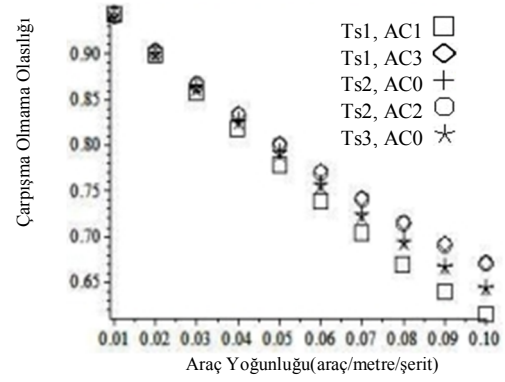


(f) L 350 metre için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

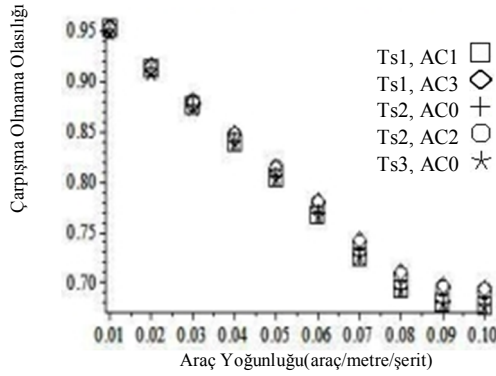
Şekil 3.17. %40-%40-%20 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi



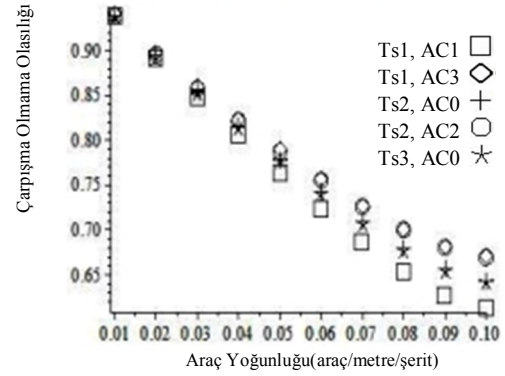
(a) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



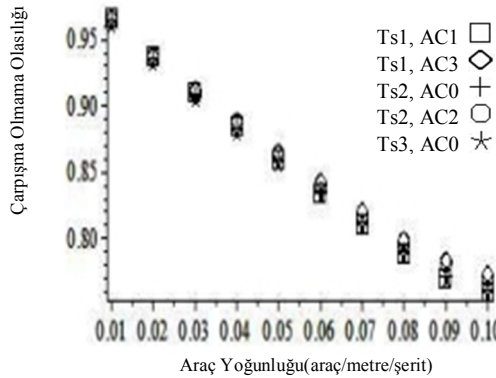
(b) L 900 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



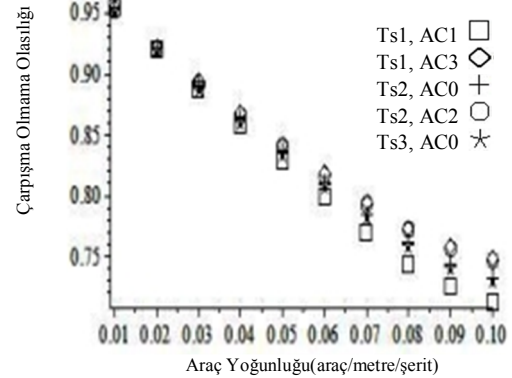
(c) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d) L 500 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



(e) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(f) L 350 metre için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

Şekil 3.18. %40-%40-%20 trafik kombinasyonları için L 900, 500 ve 350 metrede ki CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı

Şekil 3.13.(a,b) ve Şekil 3.14.(a,b) incelendiğinde sadece AC1 veri sınıfı L 900 metrede doyum noktasına ulaşmaktadır. Araç yoğunluğunun CCH'da 0,06 araç/metre/şerit ve SCH'da 0,07 araç/metre/şerit olduğu durumlarda bu veri sınıfının doyum noktasına ulaştığı anlaşılmaktadır.

Şekil 3.16.(a,b) ve Şekil 3.17.(a,b) incelendiğinde sadece AC1 veri sınıfı L 900 metrede doyum noktasına ulaşmaktadır. Araç yoğunluğu CCH'da 0,09 araç/metre/şerit ve SCH'da 0,07 araç/metre/şerit olduğu durumda doyum noktasına ulaştığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.16.(c,d) ve Şekil 3.17.(c,d) incelendiğinde sadece AC1 veri sınıfı L 500 metrede doyum noktasına ulaşmaktadır. Araç yoğunluğu CCH'da 0,08 araç/metre/şerit ve SCH'da 0,07 araç/metre/şerit olduğu durumda doyum noktasına ulaştığı görülmektedir.

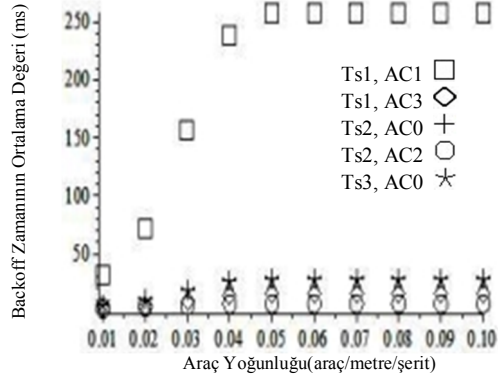
İkili veri sınıflarının popülasyon değerlerinin artması backoff zamanının ortalama değerinin ve ortalama sırada bekleme süresinin artışını göstermektedir.

### 3.4. Hata Oranı Değişiminin Hareketliliğin Etkisi

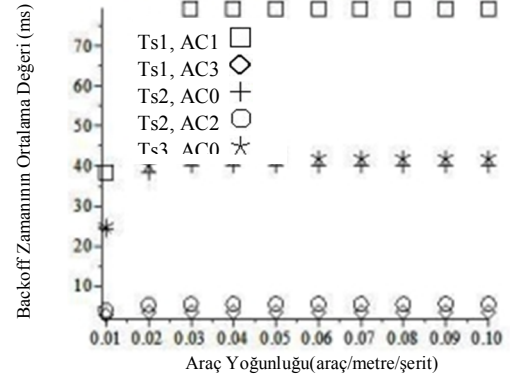
Bu bölümde IEEE 802.11p ağı üzerinde hata oranı (ber) değerinin değişiminin hareketliliğin etkisi araştırılmıştır. Hata oranı değerleri olarak  $ber=2*10^{-4}$ ,  $ber=2*10^{-5}$   $ber=2*10^{-6}$  kullanılmıştır. İletim alanı 500 ve 350 metrede, Tablo 3.7.'deki trafik kombinasyonları kullanılmış ve pencere boyutu 500 bayt olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.7. Hata oranı değişimi durumunda kullanılan trafik kombinasyonları

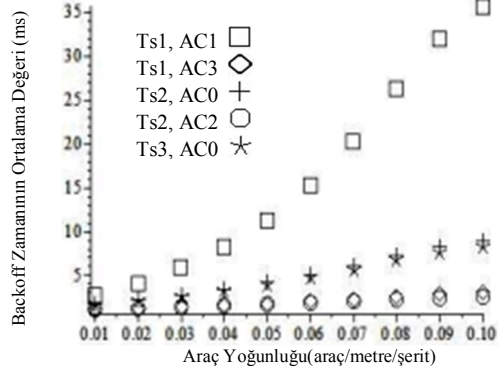
| Kullanılan Trafik Kombinasyonları |             |                 |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|
| Veri Kombinasyonu                 | Veri Sınıfı | Araç Sayı Oranı |
| 1                                 | AC1 ve AC3  | %20             |
| 2                                 | AC0 ve AC2  | %20             |
| 3                                 | AC0         | %60             |



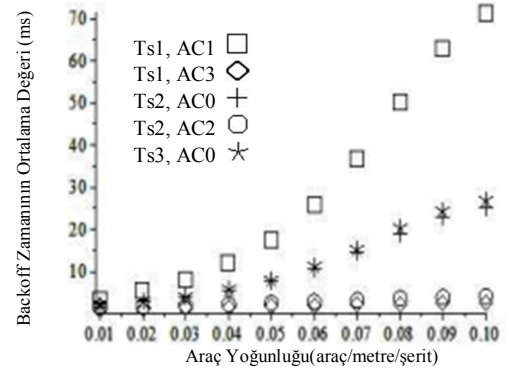
(a)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



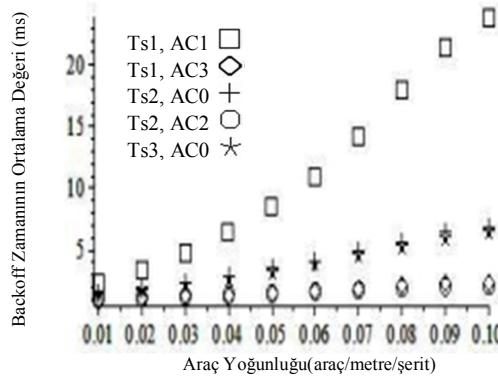
(b)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



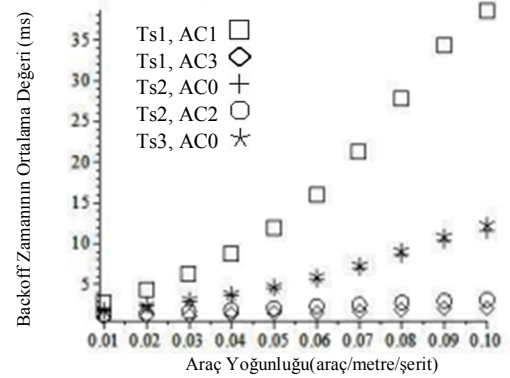
(c)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



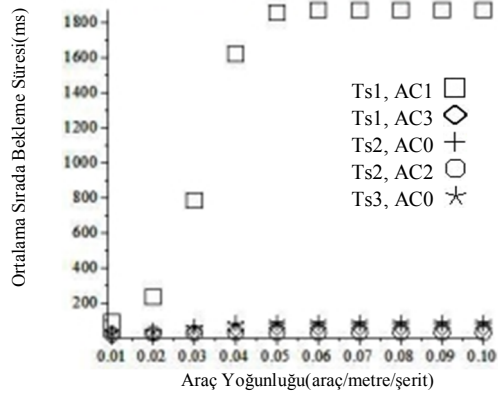
(e)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



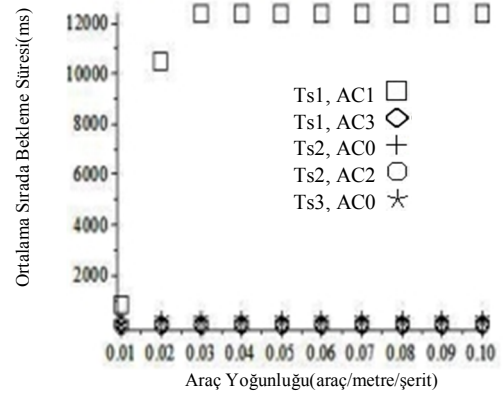
(f)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

Şekil 3.19. L 500 metre için CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri

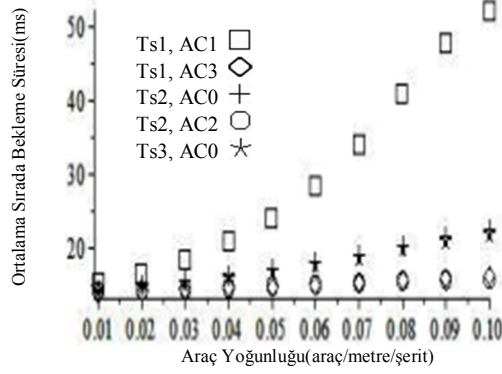




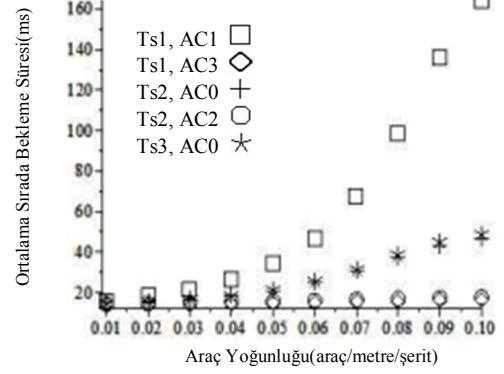
(a)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



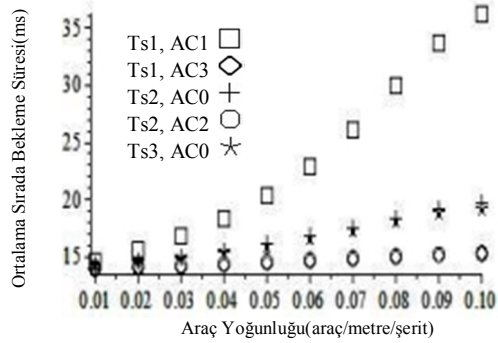
(b)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



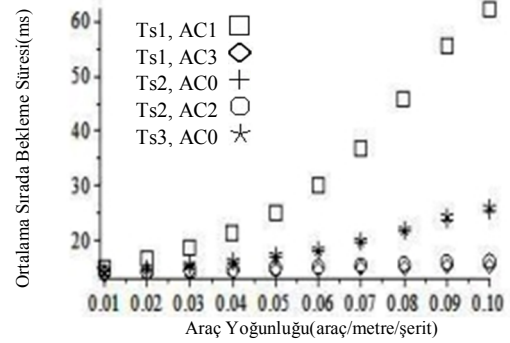
(c)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

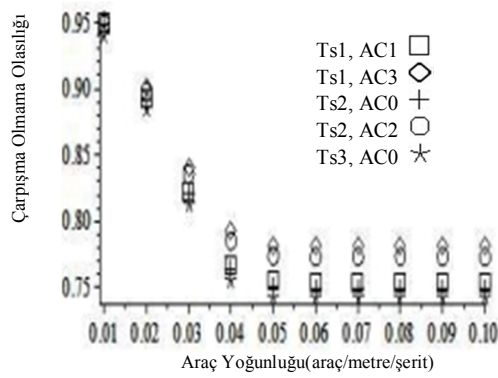


(e)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)

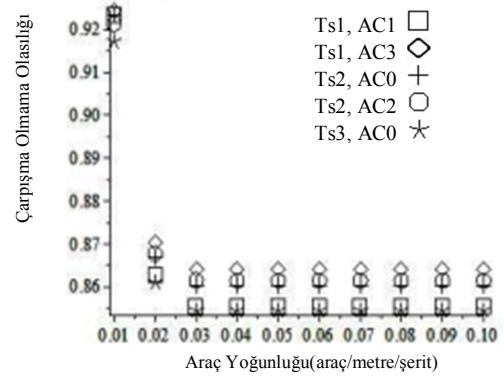


(f)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

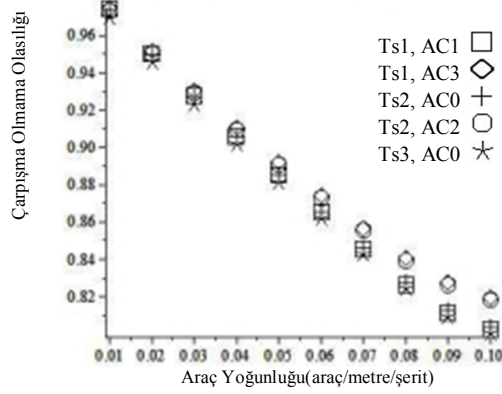
Şekil 3.20. L 500 metre için CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi



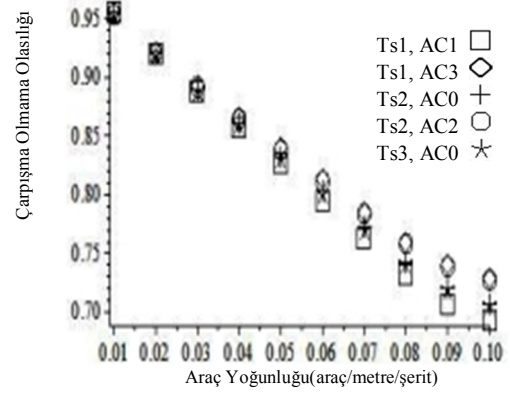
(a)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



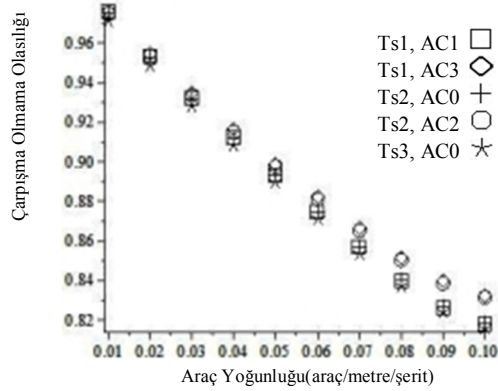
(b)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



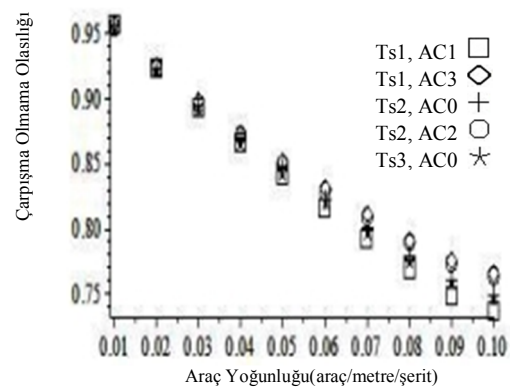
(c)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



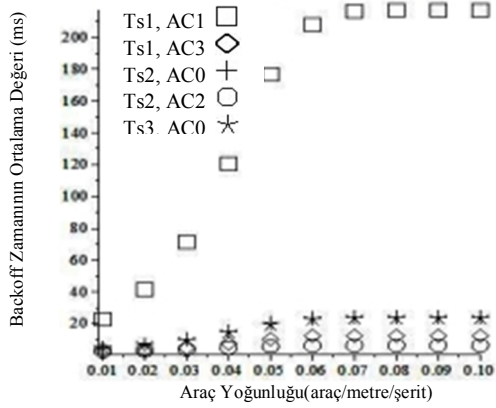
(e)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



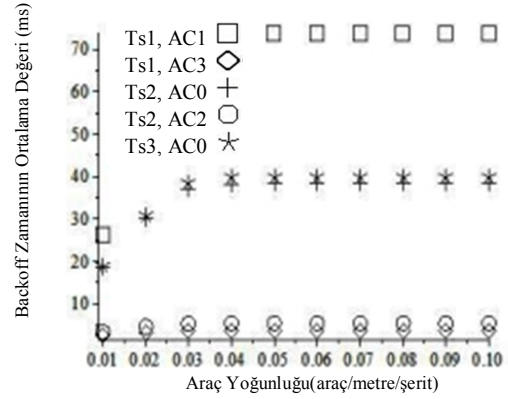
(f)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

Şekil 3.21. L 500 metre için CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı

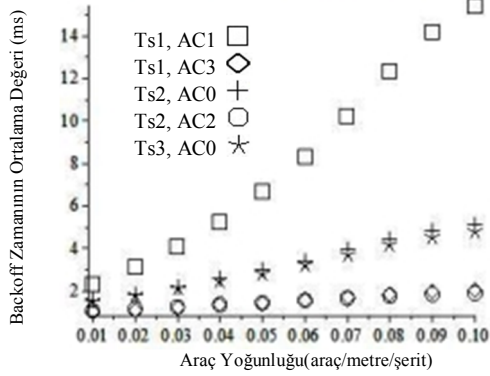




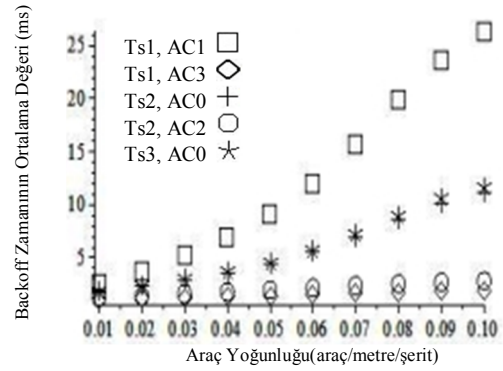
(a)  $2 \times 10^{-4}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



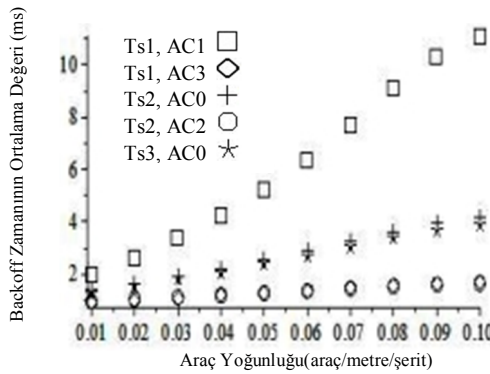
(b)  $2 \times 10^{-4}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (SCH)



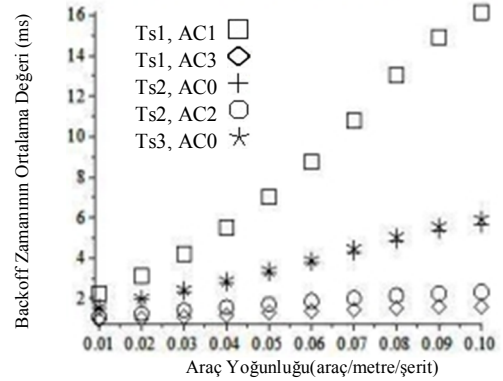
(c)  $2 \times 10^{-5}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (CCH)



(d)  $2 \times 10^{-5}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

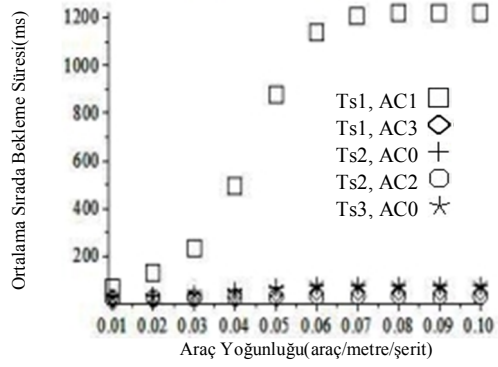


(e)  $2 \times 10^{-6}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (CCH)

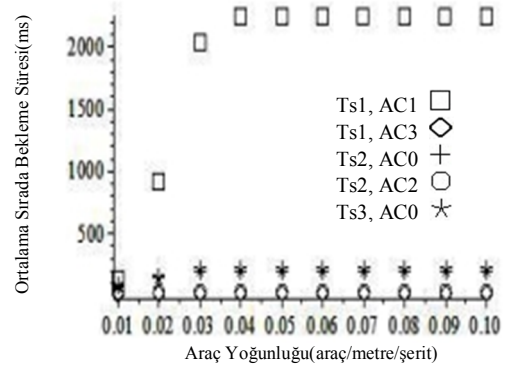


(f)  $2 \times 10^{-6}$  hata oranı için backoff zamanının ort. değeri (SCH)

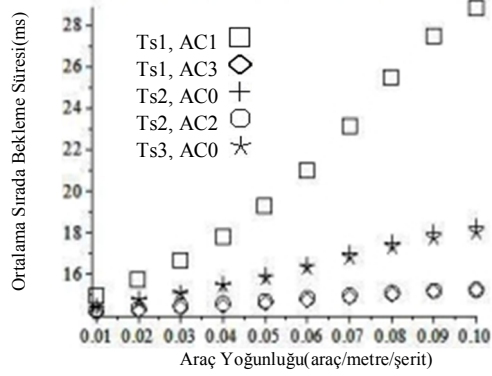
Şekil 3.22. L 350 metre için CCH ve SCH kanallarının backoff zamanının ort. değeri



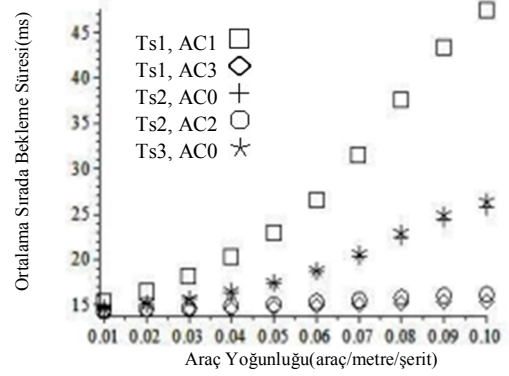
(a)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



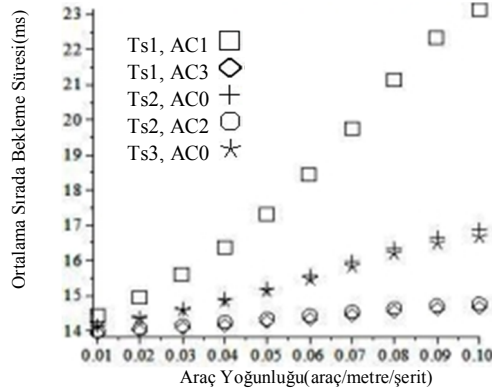
(b)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)



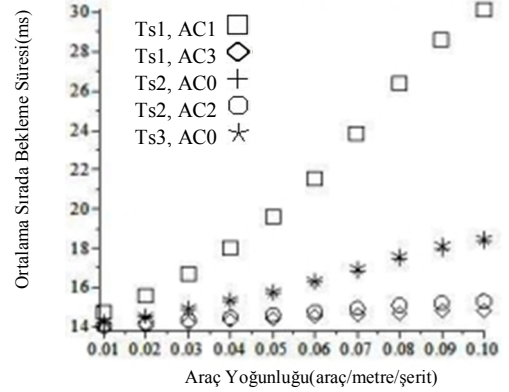
(c)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)



(d)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

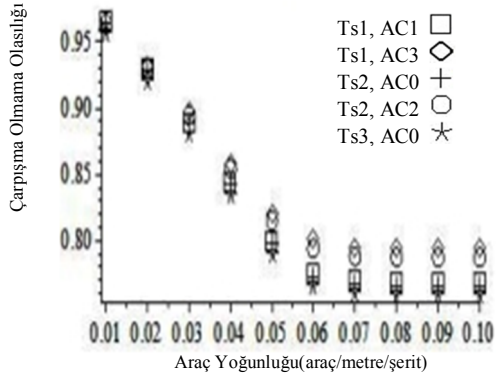


(e)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (CCH)

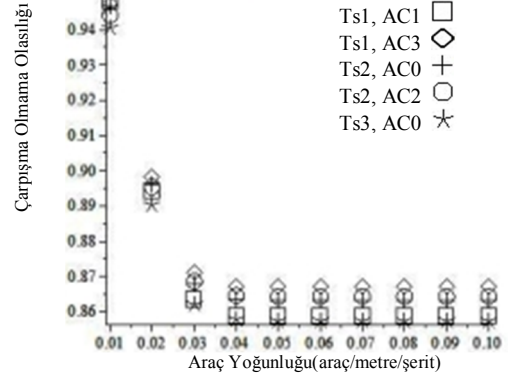


(f)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için ortalama sırada bekleme süresi (SCH)

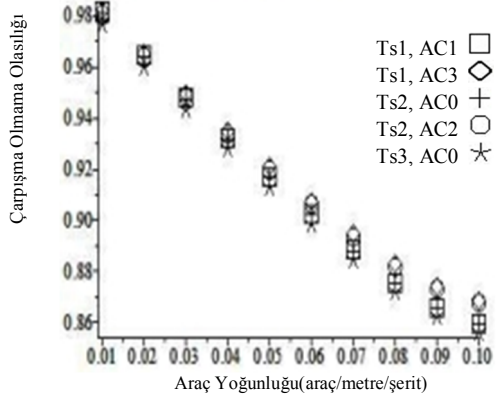
Şekil 3.23. L 350 metre için CCH ve SCH kanallarının ortalama sırada bekleme süresi



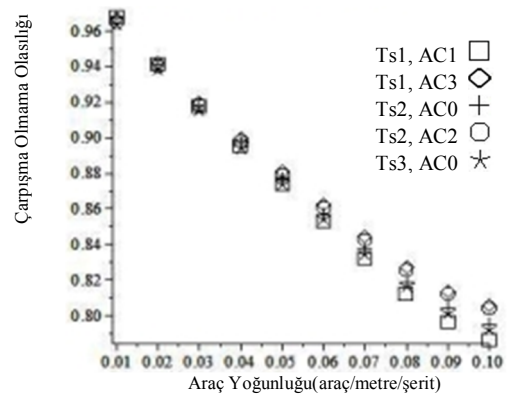
(a)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



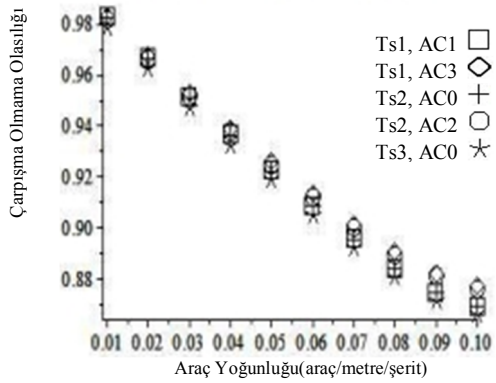
(b)  $2 \cdot 10^{-4}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



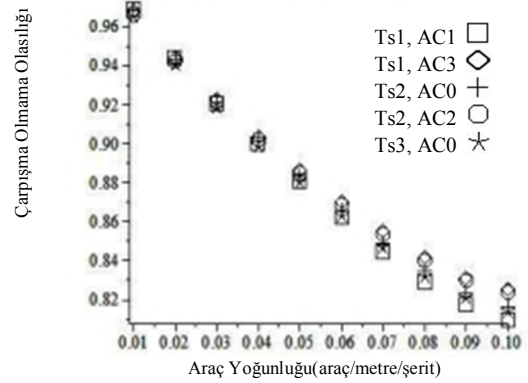
(c)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(d)  $2 \cdot 10^{-5}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (SCH)



(e)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (CCH)



(f)  $2 \cdot 10^{-6}$  hata oranı için çarpışma olmama olasılığı (SCH)

Şekil 3.24. L 350 metre için CCH ve SCH kanallarının çarpışma olmama olasılığı

Hata oranı  $2 \cdot 10^{-4}$  olduğu durumda Şekil 3.19.(a,b), Şekil 3.20.(a,b), Şekil 3.22.(a,b) ve Şekil 3.23.(a,b) incelendiğinde sadece AC1 veri sınıfı L 500 ve 350 metrede doyum noktasına ulaşmaktadır. L 500 metrede araç yoğunluğu CCH'da 0,02 araç/metre/şerit ve SCH'da 0,02 araç/metre/şerit olduğu durumda doyum noktasına ulaştığı anlaşılmaktadır. L 350 metrede araç yoğunluğunun CCH'da 0,03 araç/metre/şerit ve SCH'da 0,02 araç/metre/şerit olduğu durumlarda doyum noktasına ulaşıldığı anlaşılmaktadır.

Hata oranının artmasıyla backoff zamanının ortalama değerinin ve ortalama sırada bekleme süresinin azaldığı anlaşılmıştır. Hata oranının artması çarpışma olmama olasılığının çok hızlı bir şekilde düştüğünü göstermiştir.

## 4. BÖLÜM

### SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

#### 4.1. Sonuç

Farklı trafik akışı ve veri oranları, paket pencere boyutu, popülasyon ve hata oranı değişimine göre VANET’lerde hareketliliğin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada araç sayısı serbest akış modeli düşünülerek Poisson dağılımına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca RSU’da farklı iletim aralıkları için ağ doygunluk noktaları da incelenmiştir. Kanal durumlarının hataya yatkın oluşunu varsayarak, düğüm içerisinde her trafik sınıfına bakarak her pencere için backoff süresi, çerçeve servis süresi, bekleme süresi ve paketlerin çarpışma olmama durumundaki olasılık dağılımları hesaplanmıştır.

Popülasyon değeri %20-%20-%60 olduğu durumda en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Hata oranını artırmak backoff zamanın ortalama süresini ve ortalama sırada bekleme süresini azaltmış ve çarpışma olmama olasılığı artırmıştır. RSU’nun iletim aralığı arttığı durumda performansın azaldığı gözlenmiştir. Çünkü ağ üzerindeki araçların sayısını arttırmak bu sonuca neden olur. Bunun nedeni 900 metredeki araç sayısı ve bağlantı hızı ile 500 veya 350 metredeki araç sayısından ve bağlantı hızından farklı olmasından dolayı backoff zamanın ortalama süresi ve ortalama sırada bekleme süresi artmış ve çarpışma olmama olasılığı azalmıştır.

Araç yoğunluğundaki artışın bir RSU’nun kapsama alanındaki kablosuz ağın doyuma ulaşmasına ve OBU’lardaki (On board Unit) arabelleğin taşmasına neden olabileceği gösterilmiştir. Trafik yoğunluğunun artması hareketliliğin azaltmasına neden olmuştur. Trafik yoğunluğun artması ile backoff zamanın ortalama süresi ve ortalama sırada bekleme süresi artmış ve çarpışma olmama olasılığı azalmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlara bakılarak ağın doygunluk durumunu önlemek amacıyla OBU’larda kullanılan

veri tiplerine, araçlar arası minimum mesafeye ve yoldaki şerit sayısına bağlı olarak RSU'nun iletim kapsamının belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

#### **4.2. Tartışma ve Öneriler**

Çalışmamızda Poisson dağılımı kullanılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda Erlang veya Gamma dağılımı gibi diğer dağılımlar kullanılarak hareketliliğin etkisi üzerine çalışmalar yapılacaktır. Ayrıca VANET içerisindeki RSU'nun en üst düzey performansı için geliştirme çalışmaları yapılacaktır. RSU'nun üst düzey dağıtımı için farklı coğrafik alanlarda çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Paul, B., Ibrahim, M., Bikas, A.N., 2011. VANET routing protocols: pros and cons, **International Journal of Computer Applications**, **20** (3), 28-34.
2. Renkler, A., 2013. IEEE 802.11p Ağları İçin Performans Değerlendirmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 99s.
3. Kamini, K., Kumar, R., 2010. VANET parameters and applications: a review, **Global Journal of Computer Science and Technology**, **10**(7), 72-77.
4. Sevimli, K. K., Soytürk, M., 2010. Araçsal ağlar, pp. 1-8, *Akademik Bilişim 2010 Konferansı*, 10-12 Şubat, 2010, Muğla Üniversitesi
5. ETSI, E. E., 2010. 302 665 V1. 1.1: Intelligent Transport Systems (ITS), Communications Architecture. *European Standard (Telecommunications Series)(September 2010)*.
6. Martin, L., 2011. Core system concept of operations (ConOps), (Web page: <http://www.its.dot.gov/docs/CoreSystemConOpsRevE2.pdf>), (Date accessed: Kasım 2013).
7. Campolo, C., Iera, A., Molinaro, A., Paratore, S. Y., & Ruggeri, G., 2012. SMaRTCaR: An integrated smartphone-based platform to support traffic management applications. November 20-20, 2012, Dublin, Ireland. **In Vehicular Traffic Management for Smart Cities (VTM), First International Workshop on**, pp. 1-6.
8. IEEE 802.11p Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 2010.
9. FCC Report and Order 06-110: *Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850-5.925 GHz Band*, July 20, 2006.

10. Gallardo, J.R., Makrakis, D., Mouftah, H.T., 2009. Performance analysis of the EDCA medium access mechanism over the control channel of an IEEE 802.11p WAVE vehicular network, June 14-18, 2009, Dresden, Germany. **Proceedings of IEEE International Conference on Communications**, pp. 14-18.
11. Sert, E., 2010. Kablosuz ağ protokolleri, (Web sayfası: <http://www.hasanbalik.com/dersler/trakya/10-11Bahar/Eser%20Sert/Kablosuz%20A%C4%9F%20Protokolleri.docx>), (Erişim Tarihi: Kasım 2013).
12. <http://bidb.itu.edu.tr/seyirdefteri/blog/2013/09/07/kablosuz-a%C4%9F-standartlar%C4%B1> (Erişim Tarihi: Kasım 2013).
13. Bianchi, G., 2000. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function, **Selected Areas in Communications, IEEE Journal on** , **18** (3) : 535, 547.
14. Akın, G., Özay, B., Ketenci, S., 2008. Kablosuz ağlarda servis kalitesi, pp. 595-599. *Akademik Bilişim*, Şubat 1-2, 2007, Çanakkale.
15. IEEE 1609.0/D0.7, Draft Standard for Wireless Access in Vehicular, Environments (WAVE) – Architecture, January 2009.
16. Uzcategui, R.A., Acosta-Marum, G., 2009. WAVE: A Tutorial, **IEEE Communications Magazine**, **47** (5): 126–133.
17. Amadeo, M., Campolo, C., Molinaro, A., 2012. Enhancing IEEE 802.11p/WAVE to provide infotainment applications in VANETs. *Ad Hoc Networks*, 10(2), 253-269.
18. FCC Report and Order 03-324: *Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850-5.925 GHz Band*, December 17, 2003.
19. Morgan, Y. L. , 2010. Notes on DSRC & WAVE standards suite: Its architecture, design, and characteristics. **Communications Surveys&Tutorials, IEEE**, **12**(4), 504-518



20. Kumar, R., 2011. Performance Evaluation of 802.11p Vanets With Different Duty Cycles. Ryerson University, Computer Science, Master Thesis, Toronto, 107s.
21. Böhm, A., Jonsson, M., Uhlemann, E., 2013. Co-existing Periodic Beaconing and Hazard Warnings in IEEE 802.11p-based Platooning Applications. *Proceeding of the Tenth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking, Systems, and Applications*, pp: 99-102. ACM.
22. Tsuboi, T., Yamada, J., Yamauchi, N., & Hayashi, M., 2008. Dual receiver communication system for DSRC, pp. 459-464. *In Future Generation Communication and Networking, 2008. FGCN'08. Second International Conference on*, December 13-15, 2008, Hainan Island. **IEEE**.
23. Misic, J., Badawy, G., Misic, V.B., 2011. Performance characterization for IEEE 802.11p network with single channel devices. **Vehicular Technology, IEEE Transactions on**, **60** (4): 1775-1787.
24. "IEEE P802.11p/D3.0, Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)," Temmuz 2007.
25. Roess, R.P., Prassas, E.S., McShane, W.R., 2004. Traffic Engineering, 3rd edn. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 779 s.
26. Sanjoy, D., Lobiyal, D. K., 2012. Effect of realistic vehicular traces on the performance of broadcasting techniques in vehicular ad hoc networks. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, **4**(18), 3493-3500.
27. Böhm, A., Jonsson, M., Uhlemann, E., 2013. Performance comparison of a platooning application using the IEEE 802.11p MAC on the control channel and a centralized MAC on a service channel, pp. 545-552. *In Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, October 7-9, 2013, Lyon, France. **IEEE 9th International Conference on**.

28. Boban, M., Viriyasitavat, W., Tonguz, O., 2013. Modeling Vehicle-to-Vehicle Line of Sight Channels and its Impact on Application-Layer Performance. *Proceeding of the Tenth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking, Systems, and Applications*, pp: 99-102. ACM.
29. Araniti, G., et al., 2013. LTE for vehicular networking: A survey. **Communications Magazine, IEEE**, **51**(5): 148-157.
30. Ozturk, S., Misic, J., Misic, V. B., 2011. Video communications over IEEE 802.11p using single channel devices, pp.1238-1243. *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, July 4-8, 2011, Istanbul.
31. Ozturk, S., Misic, J., 2011. On non-saturation regime in IEEE 802.11p-based VANET with mobile nodes, pp. 740-744. *International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, September 11-14, 2011, Toronto, ON.
32. Ozturk, S., Misic, J., Misic, V. B., 2011. Reaching spatial or networking saturation in VANET. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking** **2011**(1): 1-12.
33. Ozturk, S., Misic, J., Misic, V. B., 2012. Capacity Limits in a Variable Duty Cycle IEEE 802.11p-based VANET. **Wireless Communications & Mobile Computing**, **12**(12): 1672-1684.
34. [http://cordis.europa.eu/telematics/tap\\_transport/research/projects/chauffeur.html](http://cordis.europa.eu/telematics/tap_transport/research/projects/chauffeur.html) (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
35. <http://www.cartalk2000.net> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
36. <http://www.car-to-car.org> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
37. <http://evita-project.org> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
38. <http://www.ict-itetris.eu> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).

39. <http://www.ertico.com/prevent> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
40. <http://www.safespot-eu.org> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
41. <http://www.sevecom.org> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
42. <http://www.coopers-ip.eu> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
43. <http://www.cvisproject.org> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
44. [http://www.cvisproject.org/en/links/pre-drive\\_c2x.htm](http://www.cvisproject.org/en/links/pre-drive_c2x.htm) (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
45. <http://geonet-project.eu> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).
46. <http://www.kocsistem.com.tr/tr/arac-ici-ve-araclar-arasi-iletisimde-otomotivde-gomulu-sistemler.aspx> (Erişim Tarihi: Ocak 2014).

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ömer Faruk SARITAŞ

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

Doğum Tarihi ve Yeri: 14 Mart 1985, Karaman

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 531 3288503

E-mail: omerfaruksaritas@gmail.com

Yazışma Adresi: Kapadokya Meslek Yüksekokulu 50420 Mustafapaşa Köyü

Ürgüp/NEVŞEHİR

### EĞİTİM

| Derece | Kurum                                           | Mezuniyet Tarihi |
|--------|-------------------------------------------------|------------------|
| Lisans | Erciyes Üniversitesi Bilgisayar<br>Mühendisliği | 2009             |
| Lise   | Karaman Anadolu Lisesi,<br>Karaman              | 2004             |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl         | Kurum                        | Görev     |
|-------------|------------------------------|-----------|
| 2009- Halen | Kapadokya Meslek Yüksekokulu | Öğr. Gör. |

### YABANCI DİL

İngilizce