ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TAŞIT AĞLARI İÇİN YENİ BİR KANAL ATAMA MEKANİZMASI İÇEREN MELEZ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ TASARIMI

Fikri AĞGÜN

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ocak, 2020

ANKARA

TAŞIT AĞLARI İÇİN YENİ BİR KANAL ATAMA MEKANİZMASI İÇEREN MELEZ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ TASARIMI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Doktora Tezi

Fikri AĞGÜN

Ocak, 2020

ANKARA

DOKTORA TEZİ SONUÇ FORMU

FİKRİ AĞGÜN tarafından **Doç. Dr. Shafqat Ur-REHMAN** danışmanlığında tamamlanan "**TAŞIT AĞLARI İÇİN YENİ BİR KANAL ATAMA MEKANİZMASI İÇEREN MELEZ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ TASARIMI**" başlıklı tezi okuduk ve bir doktora tezi için kapsam ve içeriğinin tam olarak yeterli olduğunu onaylıyoruz.

Doç. Dr. Shafqat Ur-REHMAN

Danışman

Prof. Dr. Fatih V. ÇELEBİ

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Serdar ÖZYURT

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Suat ÖZDEMİR

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Murat Hüsnü SAZLI

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanan bu tezde,

- Tüm veri, bilgi ve belgelerin akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde edildiğini,

- Tüm bilgi, belge ve değerlendirmelerin bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunulduğunu,

- Kullanılan tüm materyallerin tam olarak alıntılanmış olduğunu ve referans alındığını,

- Kullanılan materyallerde herhangi bir değişikliğin yapılmadığını,

- Sunulan tüm çalışmaların orijinal olduğunu,

beyan eder, yukarıdaki ifadelerin aksi bir durumda, yasal haklarımdan feragat etmeyi kabul edeceğimi bildiririm.

Tarih: 16.01.2020 **İmza:**

Adı Soyadı: Fikri AĞGÜN

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tez çalışması boyunca danışmanlığımı kabul ederek, süreç boyunca verdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Sayın Doç. Dr. Shafqat Ur-REHMAN'a şükranlarımı sunarım. Tüm süreç boyunca çalışmanın yükünü çeken ve her konuda bilgi ve desteğini esirgemeyip, gece gündüz demeden büyük emek harcayan kıymetli hocam ve ikinci danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Musa ÇIBUK'a, çalışmalarımız süresince yardımını ve desteğini sürekli hissettiğim değerli çalışma arkadaşım Arş. Gör. Davut Arı'ya, tez süresince izleme komitesi üyesi olarak eleştiri ve uyarılarıyla tez çalışmalarıma yön veren Sayın Prof. Dr. F. Vehbi ÇELEBİ hocama, ilgisi ve nezaketiyle motivasyonuma büyük katkıda bulunan tez izleme komitesi üyesi çok değerli hocam sayın Doç. Dr. Serdar ÖZYURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Doktora sürecinde gerek ders gerekse tez döneminde gösterdikleri kolaylık ve verdikleri desteklerden dolayı kıymetli müdürüm Öğr. Gör. Murat ÇELİK nezdinde Bitlis Eren Üniversitesi Adilcevaz MYO'daki çalışma arkadaşlarıma, desteklerini ve iyi niyetlerini esirgemeyen Enformatik Bölümü ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca bu zorlu süreçte sürekli yanımda olup beni pozitif yönde destekleyen, motive eden, manevi desteğini sürekli hissettiğim kıymetli eşim Fatma AĞGÜN'e ve zaman zaman ihmal etmek durumunda kaldığım ailemin değerli üyeleri Ahmet Bahadır AĞGÜN ve Burak Sinan AĞGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.

16 Ocak 2020 **Fikri AĞGÜN**

A HYBRID MEDIA ACCESS CONTROL PROTOCOL DESIGN FOR VEHICULAR NETWORKS WITH A NOVEL CHANNEL ALLOCATION MECHANISM

ABSTRACT

Recently, especially with emergence of an autonomous vehicle idea, Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs), which are mobile networks, are subject to intense interest of vehicle manufacturers and researchers. Some of the important problems of TTAs formed by very fast moving vehicles are network breaks due to rapid displacement, access collisions, interference problems that arise between communication channels and connection problems in transition to other networks. In order to solve the problems mentioned above, the designing of robust Media Access Control (MAC) protocols that provide effective media access and organize the network is an important issue.

In this thesis study, a robust VANET MAC protocol design which provides multichannel and reservation-based hybrid media access to overcome mentioned difficulties was realized. A MAC protocol that reduces access collisions and interferences and enables the vehicles to join the network rapidly thanks to the unique reservation algorithm and maintained its connection to the end of the track has been designed and simulated. In addition, the protocol allocates the channels of the DSRC standard, which is for VANETs. Also it provides multi-channel and hybrid communication by using FDMA, TDMA and CSMA access methods together.

It has been observed that ReMAC and SOMMAC protocols developed in this study provide a significant performance advantage in metrics selected according to VeMAC, CS-TDMA, CFR-MAC, TM-MAC, VAT-MAC protocols which are similar. In this sense, it can be said that this study contributed positively to the literature.

Keywords: Vehicular Ad-hoc networks, MAC protocol, multi-channel, reservation method, channel pre allocation.

TAŞIT AĞLARI İÇİN YENİ BİR KANAL ATAMA MEKANİZMASI İÇEREN MELEZ BİR ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ TASARIMI

ÖZ

Son zamanlarda, özellikle otonom araç fikrinin ortaya atılmasıyla birlikte Mobil taşıtların oluşturduğu ağlar olan Tasarsız Taşıt Ağları (TTA – Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs)) taşıt üreticileri ve araştırmacıların yoğun ilgisine maruz kalmaktadır. Çok hızlı hareket eden taşıtların oluşturduğu TTA'ların önemli sorunlarından bazıları hızlı yer değiştirme nedeniyle yaşanan ağ kopmaları, ağlar arası geçişlerde yaşanan bağlantı sorunları, erişim çarpışmaları ve iletişim kanalları arasında meydan gelen girişim problemleridir. Bahsedilen problemleri çözmek amacıyla yapılan çalışmaların en başında etkili ortam erişimi sağlayan ve ağı organize eden gürbüz Ortam Erişim Kontrol (OEK) protokollerinin tasarımı gelmektedir.

Bu tez çalışmasında da TTA'ların bahsedilen zorluklarının üstesinden gelebilmeyi hedefleyen çok kanallı ve rezervasyon tabanlı melez ortam erişimi sağlayan gürbüz bir OEK protokolü tasarımı gerçekleştirilmiştir. TTA'lara özel standart olan DSRC'ye ait frekansları FDMA, TDMA ve CSMA gibi erişim yöntemlerini karma bir şekilde kullanıp, ağdaki taşıtlara atayarak çok kanallı ve melez yapıyı gerçekleyen, erişim çarpışmaları ve girişimleri azaltan ayrıca yeni ve özgün bir rezervasyon algoritması sayesinde taşıtların ağa hızlı bir şekilde katılmasını sağlayan ve parkur sonuna kadar bağlantısını koruyan bir OEK protokolü tasarlanarak benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan ReMAC ve SOMMAC protokollerinin literatürdeki benzer protokoller olan VeMAC, CS-TDMA, CFR-MAC, TM-MAC, VAT-MAC protokollerine göre seçilen metriklerde büyük ölçüde performans üstünlüğü sağladığı gözlemlenmiştir. Bu anlamda söz konusu çalışmanın literatüre olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilmektedir.

Anahtar kelimeler: Tasarsız taşıt ağları, OEK protokolü, çok kanallı yapı, rezervasyon metodu, önceden kanal tahsisi.

İÇİNDEKİLER

DOKTORA TEZİ SONUÇ FORMU ii
ETİK BEYAN iii
TEŞEKKÜR iv
ABSTRACT v
ÖZ vi
TERMİNOLOJİ xi
TABLOLAR LİSTESİ xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ xv
BÖLÜM 1 - GİRİŞ 1
1.1 Tez Çalışmasının Amacı 1
1.2 Materyal ve Yöntem 3
1.3 Tezin Katkıları 4
1.3.1 Önceden Tahsis Yoluyla Hızlı Organize Olma 4
1.3.2 Çarpışmaların engellenmesi / azaltılması 5
1.3.3 Hattı verimli Kullanma (Utulity), iş çıkarma (Throughput) 5
1.3.4 Ortam erişim yöntemlerini birlikte kullanımı (Melez ortam erişimi) 5
1.4 Literatür Özetleri 6
1.5 Tez Organizasyonu 17
BÖLÜM 2 - TASARSIZ TAŞIT AĞLARI 19
2.1 TTA Mimarisi 21
2.2 TTA İletişim Teknolojileri ve Standartları 22
2.2.1 Kısa Mesafe İletişim Standartları 22
2.2.2 Orta Mesafe İletişim Standartları 23
2.2.3 Uzun Mesafe İletişim Standartları 24
2.3 TTA Türleri 25
2.4 TTA'ların Temel Zorlukları 26
2.5 TTA Uygulamaları 27
2.6 TTA'larda Kullanılabilen Protokol Türleri 28
2.7 TTA OEK Protokolleri 29
2.8 TTA OEK Protokollerinin Sınıflandırılması 31
2.8.1 Çekişme Tabanlı OEK Protokolleri 32
2.8.2 Gecikme Kısıtlı / Çekişmesiz OEK Protokolleri 32

2.8.3 Melez OEK Protokolleri 33
BÖLÜM 3 - REZERVASYON TABANLI MELEZ OEK PROTOKOLÜ (ReMAC) TASARIMI 34
3.1 Giriş 34
3.2 ReMAC Protokol Algoritması ve Bileşenleri 34
3.2.1 Kontrol ve Servis Kanalı Organizasyonu 39
3.2.2 Kanal ve Zaman Dilimi Atama mekanizması 45
3.3 ReMAC Benzetim Modeli 54
3.3.1 Proje Modeli 55
3.3.2 Düğüm Modelleri 57
3.3.2.1 YKB Düğüm Modeli 57
3.3.2.2 Taşıt Düğüm Modeli 58
3.3.3 Süreç Modelleri 59
3.3.3.1 YKB Süreç Modeli 60
3.3.3.2 Taşıt Süreç Modeli 61
3.3.4 Paket Yapıları 64
3.3.4.1 Taşıt Kanal Atama Tablosu (Vehicle Channel Allocation Table– VCAT) 65
3.3.4.2 Taşıt Durumu Bilgi Paketi (Vehicle Status Information Packet – VSIP). 66
3.3.4.3 YKB Olay Paketi (RSU Event Packet – RSUEP) 68
3.3.4.4 YKB'ler Arası Rezervasyon Paketi (Inter-RSU Reservation Packet – IRRP) 70
3.4 ReMAC Protokolü Geliştirme Adımları 72
3.4.1 Kontrol ve Veri Kanallarının Alt Kanallara Bölünerek Ayarlanması 72
3.4.2 İstek Yapan Taşıta Kanal Atamasının Yapılıp Tabloya Kaydedilmesi 75
3.4.3 YKB'nin Yapılandırma (VcapSingle) Paketlerini Oluşturup Taşıta Göndermesi 77
3.4.4 Taşıtların Yapılandırma Paketini Alarak Ağa Dâhil Olması, Kalp Atışı (HB) Paketlerini Oluşturup Göndermesi 78
3.4.5 YKB'lerin Kalp Atışı (RSUHB) Göndermesi ve Taşıtların YKB Kapsama Alanını Algılamaları 80
3.4.7 Taşıtların Yeni Bir YKB Bulduklarında Kopmak İstediklerini Bağlı Bulundukları YKB'lere Bildirmelerinin Sağlanması 82
3.4.8 Önceden Kanal Tahsisi (Rezervasyon) Mekanizması 84
3.4.9 Protokol Başarımı İçin Kullanılan İstatistik Grafiklerinin Tanımlanması 94

3.4.9.1 Global İstatistikler 94
3.4.9.1.1 Total_Joined_Vehicle Count_RSU Side 94
3.4.9.1.2 Total_Joined_Vehicle Count_VHC Side 94
3.4.9.2 Düğümlere Ait İstatistikler 95
3.4.9.2.1 Joined_Vehicle_Count 95
3.4.9.2.2 Joining_State 95
3.4.9.2.3 Busy 96
3.4.9.2.4 Collision_Status 96
3.4.9.2.5 Throughput 97
3.4.10 Benzetim Sonuçları 97
BÖLÜM 4 - BAŞARIM ANALİZİ 103
4.1 Giriş 103
4.1.1 Rezervasyonsuz Çalışan Mod (NR Mode) 103
4.1.2 Rezervasyonun Taşıtlar Tarafından Yürütüldüğü Mod (SR Mode) 104
4.1.3 Rezervasyonun YKB'ler Tarafından Yürütüldüğü Mod (RR Mode) 107
4.2 Başarım Değerlendirmede Kullanılan Metrikler 110
4.2.1 İki Atlamalı Komşuluktaki Doluluk (Two Hop Set Occupancy – THSO) …… 110
4.2.2 Ortam Erişim Çarpışmaları Oranı (Access Collision Rate - ACR) 111
4.2.3 Ağ Katılım Başarı Oranı (Success Ratio – SR) 111
4.2.4 Ağa Katılım Çarpışmaları (Initial Access Collisions -IAC) 112
4.2.5 Ortalama Normalleştirilmiş Verim (Average Normalized Throughput - ANT) 112
4.2.6 Ağ Katılım Gecikmesi (Joining Delay - JD) 112
4.2.7 Kontrol Kanalına Erişim Süresi (Access Time to CCH) 112
4.2.8 Kontrol Kanalındaki Çarpışma Sayısı (Access Collisions Count in CCH)…. 113
4.2.9 Kontrol Kanalındaki Paket İletim Oranı (Packet Delivery Ratio over CCH)…. 113
4.2.10 Taşıt Yoğunluğu (Vehicle Density-VD) 113
4.3 Başarım Karşılaştırmaları 113
4.3.1 Rezervasyon Modları Karşılaştırmaları 114
4.3.2 Kendi Kendine Organize Olan Modun Kullanıldığı Protokolün (SOMMAC) Benzer Protokoller ile Karşılaştırması 119
4.3.3 YKB Tabanlı Rezervasyonun Kullanıldığı Protokolün (ReMAC) Bilinen Benzer Protokoller ile Karşılaştırılması 124

BÖLÜM 5 - SONUÇ VE TARTIŞMA 131
KAYNAKLAR 135
ÖZGEÇMİŞ..... 140

TERMİNOLOJİ

Kısaltmalar

TTA	Tasarsız Taşıt Ağları
ATS	Akıllı Taşıma Sistemleri
ITS	Intelligent Transportation Systems
VANETs	Vehicular Ad-hoc NETworks
KAA	Kablosuz Algılayıcı Ağları
HAA	Hareketli Algılayıcı Ağları
HKAA	Hareketli Kablosuz Algılayıcı Ağları
THKAA	Tasarsız Hareketli Kablosuz Algılayıcı Ağları
WSNs	Wireless Sensor Networks
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
OEK	Ortam Erişim Kontrol
MAC	Media Access Control
YKB	Yol Kenarı Birimi
RSU	Road Side Unit
DSRC	Dedicated Short Range Communication
GPS	Global Positioning System
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment
SDMA	Space Division Multiple Access
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
ABF	Adaptive Broadcast Frame
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Carrier Avoidence
ACK	Acknowledgement
TTB	Tümleşik Taşıt içi Birim
OBU	On Board Unit
UB	Uygulama Birimi
AU	Application Unit
C2C-CC	Car to Car Communication Consortium
FCC	Federal Communications Commission

ASV	Advance Safety Vehicle Program
VII	Vehicle Infrastructure and Integration
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UWB	Ultra Wide Band
O-QPSK	Offset Quadrative Phase Shift Keying
WiMAX	Worldwide Interope rability for Microwave Access
GSM	Global System for Mobile Communications
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
WLAN	Wireless Local Area Network
MIMO	Multi Input Multi Output
TAH	Taşıtlar Arası Haberleşme
TH	Taşıtsal Haberleşme
V2V	Vehicle To Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure
I2I	Infrastructure To Infrastructure
TAB	Taşıt İçi İletişim Ünitesi
QoS	Quality of Service
SCH	Service Channel
CCH	Control Channel
SCCH	Scheduling Channel
SCCH_ODD	Scheduling Channel for ODD_ID
SCCH_EVEN	Scheduling Channel for EVEN_ID
HBCH_FW	Heart Beat Channel for ForWard Direction
HBCH_BW	Heart Beat Channel for BackWard Direction
JNCH	Joining Network Channel
VCAT	Vehicle Channel Allocation Table
VCAPSingle	Vehicle Channel Allocation Packet for a Single Vehicle
VCAPALL	Vehicle Channel Allocation Packet for ALL Vehicles
RSU_HB	Road Side Unit Heart Beat Packet
VHC_HB	Vehicle Heart Beat Packet
VLEAVE	Vehicle LEAVE Packet
VSIP	Vehicle Status Information Packet

RSUEP	Road Side Unit Event Packet
IRRP	Inter RSU Reservation Packet
DT	Drop Time
DVP	Drop Vehicles Period
RT	Reservation Tolerance
$T_{VCAPALL}$	VCAPALL Period
T_{VHB}	Vehicle Heart Beat Period
VIN	Vehicle Identification Number
VDIR	Vehicle DIRection
SRC_ID	Source ID
Dst_ID	Destination ID
ach	Allocated service channel
ach_ts	Allocated Service Channel time slot
cc_ts	Control Channel Time Slot
ns_ach	Next Station Allocated Service Channel
ns_ach_ts	Next Station Allocated Service Channel Time Slot
ns_cc_ts	Next Station Control Channel Time Slot
ns_id	Next Station Id
RSU_FFB	RSU Forward Frequency Band
RSU_BFB	RSU Backward Frequency Band
RSU_CFB	RSU Control Frequency Band
Vhc_FFB	Vehicle Forward Frequency Band
Vhc_BFB	Vehicle Backward Frequency Band
Vhc_CFB	Vehicle Control Frequency Band
NR_Mode	Non Reservation Mode
SR_Mode	Self Reservation Mode
RR_Mode	RSU Reservation Mode
THSO	Two Hop Set Occupancy
ACR	Access Collision Rate
SR	Success Ratio
IAC	Initial Access Collisions
ANT	Average Normalized Throughput
JD	Joining Delay
VD	Vehicle Density

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 TTA'larda haberleşme için kullanılabilen iletişim teknolojileri 25
Tablo 2.2 Taşıt ağı uygulamaları tablosu 28
Tablo 3.1 ReMAC frekans kanalları tablosu 43
Tablo 3.1 (devam) ReMAC frekans kanalları tablosu 44
Tablo 3.1 (devam) ReMAC frekans kanalları tablosu 45
Tablo 3.2 Projede kullanılan paket tipleri ve kodları 65
Tablo 3.3 Taşıt kanal atama tablosu (VCAT) yapısı 66
Tablo 3.4 Taşıt durumu bilgisi paketinde (VSIP) tutulan veriler 67
Tablo 3.5 YKB olay paketinde (RSUEP) tutulan veriler 68
Tablo 3.6 VLEAVE struct yapısı ve ayrıntıları 69
Tablo 3.7 VCAPSingle struct yapısı ve ayrıntıları 70
Tablo 3.8 YKB'ler arası rezervasyon paketinde (IRRP) tutulan veriler 71
Tablo 4.1 Rezervasyon modu benzetim parametreleri 116
Tablo 4.2 SOMMAC benzetim parametreleri 120
Tablo 4.3 ReMAC benzetim parametreleri 125

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 C2C-CC taslak referans mimarisi 22
Şekil 3.1 DSRC Spektrumu ve kanalları 36
Şekil 3.2 Taşıt hareket yönleri 38
Şekil 3.3 Temsili ağ yapısı 39
Şekil 3.4 Alt kanallara ayrılmış kontrol kanalı yapısı 40
Şekil 3.5 SCCH kanalları kullanım şekli 41
Şekil 3.6 Alt kanallara ayrılmış servis kanalları yapısı 42
Şekil 3.7 Rezervasyon işlemi adımları 48
Şekil 3.8 ReMAC kanal / zaman dilimi atama algoritması 50
Şekil 3.9 YKB akış diyagramı 53
Şekil 3.10 Taşıt akış diyagramı 54
Şekil 3.11 Proje coğrafik konum ve ortam modeli 55
Şekil 3.12 OPNET proje modeli 56
Şekil 3.13 YKB düğüm modeli 57
Şekil 3.14 YKB-YKB bağlantısı 58
Şekil 3.15 Taşıt düğüm modeli 59
Şekil 3.16 YKB süreç modeli 60
Şekil 3.17 Taşıt süreç modeli 62
Şekil 3.18 VSIP paket yapısı 67
Şekil 3.19 RSUEP paket yapısı 68
Şekil 3.20 VCAPALL yapısı 70
Şekil 3.21 IRRP paket yapısı 71
Şekil 3.22 YKB'lerin kullanmakta olduğu servis ve kontrol alt kanalları 73
Şekil 3.23 Taşıtların kullanmakta olduğu servis ve kontrol alt kanalları 74
Şekil 3.24 Örnek senaryo 75
Şekil 3.25 Taşıtların kanal istekleri ve YKB'ler tarafından kanal ataması yapılması 76
Şekil 3.26 Farklı yönlere giden taşıtların aynı YKB'nin kapsama alanına girmesi ... 77
Şekil 3.27 VCAPSingle paketinin oluşturulup taşıta gönderilmesi 78
Şekil 3.28 Taşıtın ağa katılması 78
Şekil 3.29 Taşıtın YKB'ye kalp atışı paketi göndermesi 79
Şekil 3.30 YKB'nin kalp atışı paketi göndermesi ve taşıtın bu paketi alması 80
Şekil 3.31 Taşıtın ağdan düşürülmesi 81

Şekil 3.32 Ağdan düşen taşıtın yeniden ağa bağlanma isteği göndermesi 82
Şekil 3.33 Taşıtın sonraki YKB'ye bağlanma aşamaları 83
Şekil 3.34 Taşıtın ağa katılma isteği 85
Şekil 3.35 YKB'nin kanal atamasını gerçekleştirip, rezervasyon isteği yapması 85
Şekil 3.36 YKB'nin sonraki YKB'den IRRP cevap paketini alması 86
Şekil 3.37 YKB'nin rezervasyon bilgilerini içeren yapılandırma paketini taşıta göndermesi 86
Şekil 3.38 Taşıtın rezervasyon bilgilerini aldıktan sonraki davranışı 87
Şekil 3.39 YKB'lerin VCAPALL paketi oluşturup taşıtlara göndermesi 87
Şekil 3.40 Benzetim sırasında YKB'lerde tutulan taşıt ve rezervasyon bilgileri 88
Şekil 3.41 Yeni YKB kapsama alanına giren taşıtın eskiden ayrılması ve yeni ağa bağlanması 89
Şekil 3.42 Taşıtın ayrılma isteğinin YKB tarafından yerine getirilmesi 89
Şekil 3.43 Rezervasyon öncesi ve sonrası elde edilmiş kanal bilgileri 90
Şekil 3.44 YKB3'e bağlı taşıt durumu 91
Şekil 3.45 YKB3 ve YKB'5 te bağlı taşıtların YKB4'teki rezervasyon durumları ... 91
Şekil 3.46 YKB4'teki taşıtlar için YKB3 ve YKB5'te yapılan rezervasyonlar 92
Şekil 3.47 YKB3 ve YKB5'teki taşıtlar için YKB2 ve YKB6'da yapılan rezervasyonlar 93
Şekil 3.48 Parkur uçlarındaki YKB'lere bağlı taşıt durumları 93
Şekil 3.49 YKB'tarafından görülen ağa bağlanmış toplam taşıt sayısı grafikleri 94
Şekil 3.50 Taşıtlardan alınan bilgilerle oluşturulmuş toplam taşıt sayısı grafikleri .. 95
Şekil 3.51 Herhangi bir anda bir YKB'ye bağlı taşıt sayısı grafiği 95
Şekil 3.52 Taşıtın herhangi bir anda ağa bağlı olup olmadığını gösteren grafik 96
Şekil 3.53 Taşıtın dinlediği kanalların meşguliyet durumunu gösteren grafik 96
Şekil 3.54 Taşıtın dinlediği kanalların çarpışma durumunu gösteren grafik 97
Şekil 3.55 Taşıtın dinlediği kanalların iş başarımını gösteren grafik 97
Şekil 3.56 Ağa katılmış taşıt grafikleri 98
Şekil 3.57 Ağa katılmış toplam taşıt sayısı grafikleri 99
Şekil 3.58 Taşıtların ağa katılma durum grafikleri 99
Şekil 3.59 Bir taşıt için kanal kullanım grafikleri 100
Şekil 3.60 Bir taşıt için kontrol alt kanallarındaki çarpışma grafikleri 101
Şekil 3.61 Bir taşıt için kontrol alt kanallarındaki iş başarımı grafikleri 102
Şekil 4.1 Rezervasyonsuz modda taşıtların ağlar arası geçişi 104
Şekil 4.2 SR modda taşıtların kendi ağlarını organize etmesi 105

Şekil 4.3 SOMMAC protokolü rezervasyon hareketleri..... 106
Şekil 4.4 SR Modda taşıtların bağlantı ve ağlar arası geçiş bölgeleri 106
Şekil 4.5 YKB tabanlı Rezervasyon modu rezervasyon işlem adımları..... 108
Şekil 4.6 RR Mode'da taşıtların bağlantı ve ağlar arası geçiş bölgeleri..... 108
Şekil 4.7 YKB tabanlı modda rezervasyon hareketleri..... 109
Şekil 4.8 Rezervasyon modları benzetim ağ yapısı 115
Şekil 4.9 Rezervasyonsuz ve rezervasyonlu senaryolarda taşıtların ağa bağlanma durumları..... 115
Şekil 4.10 Rezervasyonsuz ve rezervasyonlu durumlarda ağa bağlı toplam taşıt sayıları..... 116
Şekil 4.11 Farklı taşıt yoğunluğu ve rezervasyon modu senaryolarında taşıtların ağ bağlantılarında yaşadıkları ortalama gecikmeler 117
Şekil 4.12 Farklı taşıt yoğunluğu ve rezervasyon modu senaryolarında bütün taşıtların ağa bağlanıncaya kadar harcadıkları toplam süreler..... 118
Şekil 4.13 SOMMAC protokolünde NR ve SR mode'daki toplam ağ erişim gecikmeleri..... 120
Şekil 4.14 Farklı taşıt senaryolarında kontrol kanalına erişim sürelerinin karşılaştırılması..... 122
Şekil 4.15 Farklı taşıt senaryolarında kontrol kanalına meydana gelen erişim çarpışmaları..... 123
Şekil 4.16 Farklı taşıt senaryolarında kontrol kanalındaki başarılı paket iletim oranları 123
Şekil 4.17 Farklı taşıt yoğunluğu (THSO) senaryolarında erişim çarpışması oranları 126
Şekil 4.18 Farklı taşıt yoğunluğu senaryolarında ağa katılım başarım oranları 127
Şekil 4.19 Farklı taşıt yoğunluğu senaryolarında iş başarım karşılaştırmaları 128
Şekil 4.20 Farklı taşıt yoğunluğuna sahip şehir içi senaryolarında ortam erişim çarpışmaları sayıları..... 129
Şekil 4.21 Farklı taşıt yoğunluğuna sahip şehir içi senaryolarında ağa katılım gecikmeleri..... 130

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kablosuz haberleşme günümüzde gerek kolay kurulumu, gerekse kolay taşınabilirlik özelliği ile son zamanlarda ilgi gören bir haberleşme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kablosuz haberleşme, ağı oluşturan elemanların çeşitli yöntem ve protokoller ile bir araya gelip havadaki radyo dalgaları üzerinden karşılıklı bilgi alışverişi yapmak yoluyla gerçekleşen bir teknolojidir. Birçok alana uygulanan kablosuz haberleşme çeşitleri mevcuttur. Özellikle ulaşımı zor bir bölgenin izlenmesi, ortam hakkında fikir edinebilecek verilerin toplanması, çevre şartlarının analizi gibi işlemlerin yapılması amacıyla kablosuz ağların alt türü olan ve aktif olarak algılayıcı düğümlerin kullanıldığı Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) geliştirilmiştir. Günümüzde hemen hemen her alanda farklı özellikler ve isimlerle uygulandığı alan veya uygulamaya göre farklı isimler alabilen birçok KAA türü mevcuttur.

Bu tez çalışmasının ana konusunu teşkil eden ve taşıtlar arası haberleşmeyi amaçlayan Tasarsız Taşıt Ağları (TTA) da KAA'ların bir alt türüdür. TTA'lar bir Hareketli Kablosuz Algılayıcı Ağ (HKAA) türü olarak da ifade edilmekte olup taşıt güvenliğini, trafik verimliliğini artırmak ve taşıt içi bilgi/eğlence servisleri sağlamak için kullanılabilmektedirler [1] .

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Gelişen taşıt teknolojileri, trafik yoğunluğunun artması, insanların sürüş konforu, güvenlik gibi nedenlerle başlayan daha iyi şartlarda sürüş talebi, taşıtlar arası iletişimin ve akıllı trafik senaryolarının bilim çevrelerinde konuşulmaya başlanmasını sağlamıştır. Son yıllarda bu kapsamda KAA ve TTA'larda önemli gelişmeler yaşanmıştır [2]. TTA'ların kullanımı taşıt trafiği, fabrika üretim bantları, sağlık sektörü, askeri sistemler gibi birçok alanda giderek yaygınlaşmaktadır. Her alana özgü ağ tasarımı ve ilgili alanın kendi gereksinimleri göz önüne alınarak farklı iletişim teknolojileri, farklı tasarımlar, farklı erişim protokolleri ortaya çıkmaktadır.

TTA’larda, HKAA’lardan farklı olarak düğümlerin hareket yönü çoğunlukla bellidir, hızları daha yüksektir ve hızlı topoloji değişimleri söz konusudur. HKAA’larda olduğu gibi TTA'larda da gecikme (delay), verimlilik (efficiency), iş çıkarma oranı (throughput), bant genişliği (bandwidth), paket kayıp oranı (packet loss ratio), hızlı organize olma (fast organizing) ve çarpışma (collision), önemli ağ parametreleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Özellikle son zamanlarda artan taşıt trafiği ve sürücü ya da yolcuların sürüş, seyahat konforu gereksinimleri bu alanda birçok çalışma yapılmasına sebep olmuştur. Bahsedilen konfor ve güvenlik şartlarının sağlanmasında TTA’ların rolü büyüktür ve TTA’lar içinde de Ortam Erişim Kontrolü katmanı söz konusu kalite parametrelerinin iyileştirilmesinde hatırı sayılır bir öneme sahiptir. Talep edilen bu sürüş ve seyahat konforuna katkıda bulunmak amacıyla taşıtlar arası iletişimde yaşanan çarpışma, verilerin gerçek zamanlı iletilmesi, ortama erişim sırasında yaşanan gecikmeler, düşük verimlilik, ağın erken organize olamaması, gizli terminal ve etki altında kalmış uç düğüm gibi problemleri azaltabilecek veya tamamı ile ortadan kaldırabilecek OEK protokolü tasarımı yapılabileceği ayrıca genellikle belli olan taşıt yön bilgisi kullanılarak taşıtlara haberleşme kanalının önceden tahsis edilmesi yöntemiyle bu parametrelerde iyileştirme sağlanabileceği düşüncesi çalışmamızın temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

Önerilen tez çalışmasında; TTA’larda verimlilik, gecikme, hızlı organize olma gibi konularda daha iyi ortam erişim sonuçlarının üretilmesi hedeflenmektedir. Tez çalışmasında yönü belli olan taşıtlar arası bir ağda;

- Haberleşmeyi hızlı ve mümkün olduğunca önceden tahsisli kanallar üzerinden yapabilen,
- Ağa katılan ve ayrılan düğümlere bağlı olarak meydana gelen topoloji değişimlerini algılayıp hızlı organize olabilen,
- Taşıtlar arası iletişimin sağlıklı yapılabilmesine katkı sağlayacak,

yeni bir OEK protokolü tasarımının ve benzetiminin yapılması amaçlanmaktadır. Protokol tasarımı sonrasında performans ölçümleri bilgisayar benzetimi yöntemi

kullanılarak yapılacaktır. Hedeflenen protokol ve bu doğrultuda gerçekleştirilecek uygulamaların temel amaçları şunlardır:

1. Tasarsız taşıt ağlarında ihtiyaç duyulan, verimlilik, hızlı organize olma, gerçek zamanlı iletişim gibi kalite parametrelerinin iyileştirilmesini sağlamak,
2. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access (TDMA)), Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access (FDMA)), Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim (Carrier Sense Multiple Access (CSMA)) gibi çoklu erişim yöntemlerini gerekli durumlarda bir arada kullanarak çarpışmadan kaçınmayı ve çok hızlı hareket eden düğümlerin sağlıklı haberleşmesine altyapı oluşturmak,
3. Düğümlerin hızlı bir şekilde organize olup hızlı iletim gerçekleştirmelerine olanak sağlayacak şekilde düğümlere önceden tahsisli yol sunmak.
4. Tasarımı gerçekleştirilecek olan OEK protokolünü bilgisayar benzetimi yardımı ile modellemek ve benzer yapıda çalışan diğer protokoller ile karşılaştırmalı olarak başarım analizi gerçekleştirmek.

1.2. Materyal ve Yöntem

Genel olarak bilgisayar ağlarını ve kablosuz algılayıcı ağları değerlendirmede temel 3 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; ilk örnek (prototip), benzetim ve analitik yöntem olarak sıralanmaktadır. Tanımlanan yöntemlerin her birisi ağ değerlendirmesinde tek başına kullanılabilirler. Bununla birlikte, iki veya üç yöntemin beraber kullanımı da başarım değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Tez çalışmasında benzetim yöntemi kullanılmıştır.

Benzetimin gerçekleştirilmesinde, kablosuz ağların başarım değerlendirmesinde dünyada güvenirliği tartışmasız hale gelen RiverBed Firmasına ait OPNET Modeler benzetim programı kullanılmıştır.

Benzetim yöntemi ile başarımı doğrulanmış olan yeni OEK protokolünün üzerinde çalışılmış olan kalite parametreleri ayrıca literatürdeki eşlenik uygulamalar ile karşılaştırılarak başarım değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

1.3. Tezin Katkıları

Bu tez çalışması ile TTA'ların problemlerinden olan hızlı organize olamama, güvenli bilgi iletimi, iletim ve girişim çarpışmaları, yetersiz iletişim kanalı gibi problemler irdelenerek, bu problemlerden bir veya bir kaç tanesine çözüm üretebilecek veya var olan çözümleri iyileştirebilecek bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Bu tez çalışmada TTA'ların aşağıda listelenen problemlerinde iyileştirme yapmak hedeflenmiştir.

- Önceden tahsis yoluyla hızlı organize olma (fast organizing)
- Çarpışmaların engellenmesi / azaltılması (collision avoidance)
- Hattı verimli kullanma (utility)
- Yüksek oranda iş çıkarımı (high throughput)
- Ortam erişim yöntemlerini birlikte kullanılarak melez ortam erişimi sağlamak
- Yeni birçok kanallı iletişim yöntemi yaklaşımı ile gerçek zamanlı ve güvenilir haberleşmeye katkı sağlamak.

1.3.1. Önceden Tahsis Yoluyla Hızlı Organize Olma

Yapılan çalışmada taşıtların ağı kurmak üzere hızlı bir şekilde ve kısa sürede organize olmalarını sağlamak amacıyla çalışma yapılmıştır. Bu özellik sayesinde ağa girmek isteyen taşıtlar ağa normalden daha çabuk girmekte ve daha hızlı organize olabilmektedirler. TTA'larda, ortam erişim protokolü tasarımında birçok teknik ve yöntem kullanılarak ortama erişim hızının artırılması hedeflenir. Bir TTA'da, ağın hızlı organize olmasının, gerek gerçek zamanlı veri iletimine ve gerekse acil durum bilgi paylaşımına önemli faydalar sağlayabileceği aşikârdır. Bu bağlamda, hareket eden taşıtın yönü belli ise ve ağ Yol Kenarı Birimi (YKB – Road Side Unit (RSU)) tarafından yönetiliyorsa, sonraki istasyonlarda kanal tahsis işlemini, taşıt ilgili istasyona gelmeden yapabilmek yukarıda ifade edilen amaca hizmet edecek önemli bir iyileştirme olacaktır. Böylece, önceden tahsis işlemi ile ağın hızlı organize olması sağlanabilecek ve düğümlerin kanal elde etmek için çekişmesi veya zaman kaybetmesinin önüne geçilebilecektir. Literatür taramasında daha önce de gözlemlendiği üzere önceden tahsis dikkate alınarak yapılmış çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Bu durum bu alanda çalışılabileceği konusunda etkileyici olmuştur.

1.3.2. Çarpışmaların engellenmesi / azaltılması

Literatür çalışmalarının birçoğunda çarpışmaların azaltılması veya tamamen yok edilmesi için bir takım uygulamalar yapılmış olup, bizim de çalışmamızda başarı elde edebilmek için çarpışmaların azaltılması önemli bir yere sahiptir. Bu amaçla mümkün olduğunca TDMA ve FDMA gibi erişim tekniklerinin kullanılması ile hızlı hareket eden düğümlerin bulunduğu taşıt ağlarında oluşabilecek erişim ve girişim problemlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Aynı zamanda Atanmış Kısa Mesafe Haberleşme (Dedicated Short Range Communication (DSRC)) standardını göz önünde bulunduran çok kanallı haberleşmeyi destekleyen bir tasarım üzerinde çalışılmıştır.

1.3.3. Hattı verimli Kullanma (Utulity), iş çıkarma (Throughput)

Ağın performansını gösteren önemli parametreler olan hattı verimli kullanma ve yüksek oranda iş çıkarma böyle bir tasarımda büyük önem arz etmektedir. Burada TDMA ve FDMA mekanizmalarının bir arada kullanılması, çoklu kanal erişimi, gibi seçenekler ile bu parametrelerde önemli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Hattın heterojen ve güvenilir olmayan bir kablosuz ortam olması, taşıt ağının çok hızlı topoloji değiştirmesi, taşıtın ağda kalma süresinin hıza bağlı olarak çok kısa olabilmesi de bu parametreleri olumsuz etkilemektedir. Çalışma kapsamında elde edilen benzetim ara sonuçları değerlendirilerek bu parametrelerde bir takım iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, TDMA + FDMA veya CSMA + TDMA + FDMA gibi ortam erişim yöntemlerini birlikte kullanan melez bir yapı sayesinde söz konusu problemlerin azaltılmasına katkı sağlanmıştır.

1.3.4. Ortam erişim yöntemlerini birlikte kullanımı (Melez ortam erişimi)

Bu alanda yapılmış çalışmalar incelendiğinde TDMA, FDMA, ihtiyaç durumuna göre CSMA gibi mekanizmaların birlikte kullanılarak gerçek zamanlı ve güvenilir haberleşmeye katkı sağlayan çalışmaların az olduğu gözlemlenmiştir. Bu erişim yöntemlerinin efektif bir algoritma ile birleştirilerek kullanılması ortam erişim katmanında gerçek zamanlı iletişime önemli ölçüde katkı sağlayacağı öngörülmüş ve çalışmalar bu yönde devam ettirilmiştir. Bizim çalışmamızda üç mekanizmanın melez

olarak kullanıldığı bir tasarım hayata geçirilmiş ve uygulanan melez kanal erişimi istenen metrikler açısından olumlu sonuçların elde edilmesine sebep olmuştur.

1.4. Literatür Özetleri

Yapılmış olan bilimsel çalışmalar irdelendiğinde TTA için OEK katmanında çalışan ve taşıtların ortama erişimini düzenleyen birçok OEK protokolü tasarımı yapıldığı görülmektedir. Literatürde yapılmış olan birçok TTA OEK çalışmasında, ağın kalite parametrelerini geliştirmek ve yeni yaklaşımlarla ağ başarımını artırmak hedeflenmiştir. Temelde çekişme tabanlı protokoller (DSRC, IEEE 802.11p, WAVEtabanlı) önerilmiş olmakla beraber son zamanlarda, gerek taşıt sayısının artması gerekse karasal taşıt trafiğinin hızlı akması nedeniyle gecikmenin azaltılması, hızlı organize olma, gerçek zamanlı iletişim ihtiyacının karşılanması gibi nedenlerle faklı arayışlara girilmiş, çekişmesiz ve melez protokol tasarımları da literatürde yer almaya başlamıştır. Bu kısımda TTA OEK tasarımı alanında yapılmış olan çalışmaların bazıları ve sağladığı katkılara yer verilecektir.

Borgonovo F. ve diğ. önerdikleri ADHOC MAC protokolü zaman dilimli bir yapıda çalışmaktadır. Zaman dilimleri, her biri "N" tane dilimden oluşan sanal çerçeveler halinde gruplanmıştır. Dilimleme bilgisi, küresel konumlama Sistemi (Global Positioning System (GPS)) gibi dış kaynaklar tarafından sağlanmaktadır. Dilim ve çerçeve zaman eşitlemesi belli aralıklarla ağa paket gönderen terminaller içinden, ağa ilk giren terminal tarafından gerçekleştirilmektedir. Protokolün çalışması için, her aktif terminal de kullanılmak üzere sanal çerçeve içinde bir zaman dilimine karşılık gelen temel kanala (Basic Channel) ihtiyacı vardır. Bu kanal güvenilir yayım kanalıdır ve gizli terminal probleminden etkilenmemektedir. Bu kanal, dağıtık bir yolla RR-ALOHA protokolü ile sağlanır. ADHOC MAC protokolü tek frekans kanalı kullanan bir protokol olup, DSRC standartlarını desteklememektedir [3].

Katragadda ve diğ. "A Decentralized Location-based Channel Access Protocol for Inter-Vehicle Communication" isimli çalışmalarında konum tabanlı bir protokol önermişlerdir. Düğümler için kanal tahsisi, düğümlerin coğrafik konumlarına göre yapılmaktadır. Merkezi bir cihaza gerek yoktur. Coğrafik alan hücrelere bölünmüş ve her hücreye bir kanal atanmıştır. Bir hücreye giren düğüm, ilgili hücrenin kanalından

iletişim yapmaktadır. Protokol belli aralıklarla taşıtlara bulundukları konumlara göre kanal ataması yapmaktadır. Bu protokolde her bir taşıt veri iletişimi için adil bir şansa sahiptir [4].

2007 yılında Suthautchkan C. Ve Ganz A. tarafından "Secure Priority Based Inter-Vehicle Communication MAC Protocol for Highway Safety Messaging" isimli çalışma ile taşıtlar arası haberleşme için güvenli bir OEK protokolü önerilmiştir. Otoyol güvenlik haberleşmesi için mesaj önceliği mekanizması kullanmışlardır. OPNET kullanarak önceliği güvenlik olmayan temel bir protokolle karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlara göre güvenlik öncelikli taşıt haberleşeme sistemleri için tutarlı olduğu görülmüştür. Bu protokol OEK katmanına gelen her mesajı önceliğine göre tanımlı 4 kuyruktan birine atayarak iletişimin önceliği en yüksek olandan başlamak üzere yapılmasını sağlamaktadır. Yüksek öncelikli olan mesajını önce iletir ve bu mesajlar iletim kanalına daha hızlı erişirler. Yazarlar YKB tarafından ortamın kontrol edildiği bir ağda çalışıldığını varsaymıştır [5].

"A Novel Contention-Free Medium Access Control Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems" isimli çalışmalarında Masamura M. ve Okada, H. otoyollarda güvenli sürüşü sağlamak amaçlı bilgi paylaşımı yapan çarpışmasız bir OEK protokolü önermişlerdir. Ortama çarpışmasız erişim periyodik tek yollu bir jeton taşıma yöntemiyle sağlanmıştır. Jeton iletim / alım fazı hakkında bir çerçeve bilgisi içerir. Jeton bir yola girdiğinde jetonu elde den taşıt alma ve gönderme yapabilmektedir. Jeton iletim çevrimi, başka taşıtlardaki iletişim cihazlarıyla girişmemek üzere ayarlanmıştır. Ek olarak iletim bekleme süresini düşürmek için çoklu kanallar dinamik olarak her jeton taşıma işlemi için atanmıştır. Yazarlar uçtan uca taşıma gecikmesinin kabul edilebilir bir seviyede olacağını garanti etmişlerdir. Söz konusu protokol ile doğrusal ağlarda tek yönlü jeton iletimi ile kayıp paket ihtimalinin azaltılabileceği belirtilmiştir [6].

2007 yılında Yu, F. ve Biswas S. tarafından yapılan "A Self Reorganizing MAC Protocol for Inter-vehicle Data Transfer Applications in Vehicular Ad Hoc Networks" isimli yayında DSRC standardını kullanan bir OEK protokolü önerilmiştir. Bu protokol VeSOMAC olarak adlandırılmıştır. Bu protokolde Veri transfer uygulamalarında kendi kendine organize olabilen, TDMA tabanlı bir OEK protokolü

üzerinde çalışmışlardır ve yeni bir özellik olarak TDMA zaman dilimini değiştirmek için bant içi kontrol mekanizması kullanmışlardır. Bu mekanizma taşıt hareketlerine bağlı olarak hızlı topoloji değişimlerinde çalışabilen bir yaklaşımdır. Bu protokol hem eş zamanlı hem de eş zamanlı olmadan çalışabilmektedir. Eş zamanlı kipte, tüm taşıtların zamanlamaları merkezi olarak eşitlenmiştir. Eş zamanlı olmayan kipte ise her taşıt kendi çerçeve sınırlarını belirlemektedir. 802.11 OEK protokolü ile karşılaştırılmış ve dosya iletimi, hat başarımı ve paket kayıp oranı konusunda daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Bu protokollerde IEEE 802.11 türü çekişme tabanlı protokollerden farklı olarak VeSOMAC'in TDMA mekanizmasının daha iyi uygulama seviyesi ve dosya transfer performansı gösterdiği vurgulanmıştır. Ayrıca bu protokolün ani topoloji değişimlerinde hızlı protokol yaklaşımı ile TDMA slotlarını yeniden atayabildiği belirtilmiştir [7].

"Cluster-based medium access scheme for VANETs" simli yayında Günter F. ve diğ. kümeleme tabanlı bir OEK protokolü önermişlerdir. Küme başları ve küme elamanlarının bulunduğu, bant genişliği atamasının küme başları tarafından gerçekleştirildiği bir protokoldür. Yazarlar, bu yayında gizli terminal problemini azaltmayı ve adil bir paylaşım ortamı sağlamayı hedeflemişlerdir. TDMA çerçevesindeki zaman dilimlerinden birincisi, küme başı tarafından kullanılır ve küme elemanlarına çerçeve başlangıcını bildirir, ikinci dilim taşıt için kontrol mesajlarını taşır, diğer zaman dilimleri ise veri bağı fazı ve rastgele erişim fazı olmak üzere iki kısma bölünmüştür. Veri bağı fazı süresince taşıt, kendi zaman dilimini veri mesajları iletmek için kullanırken, rastgele erişim fazı taşıtın, ağa bağlanmak istediği durumlarda küme başına periyodik rezervasyon isteklerini göndermek için kullanılmaktadır. Bu protokol, tek frekans kanalı kullanmakta olup DSRC yapısı için uygun değildir. Farklı yönlere hareket eden taşıtlar olması durumunda oluşabilecek girişim problemlerine çözüm sunup sunmadığı konusunda da herhangi bir bilgi verilmemiştir [8].

Trafik güvenliği ile ilgili uygulamaları ve güvenlik gerektirmeyen uygulamaları desteklemeyi amaçlayan "Clustering-Based Multichannel MAC Protocols for QoS Provisionings Over Vehicular Networks" isimli yayınlarında Xi Zhang ve Hang Su, kümeleme tabanlı çok kanallı bir OEK protokolü (CBMMAC - Clustering Based

Multi-Channel MAC) önermişlerdir. Çekişmesiz ve çekişme tabanlı haberleşme protokollerini birleştiren bir yapı mevcuttur. DSRC'de tanımlı 7 kanalın, küme içi ve kümeler arası kontrol ve veri haberleşmesi için ayırarak kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca her taşıtın, iki adet alıcı/verici ile donatıldığı varsayılmıştır. Bu protokol, sadece tüm taşıtların aynı yönde hareket ettiği basit yol senaryoları için değerlendirilmiş olup, değişken ve farklı trafik senaryoları üzerinde çalışılmamıştır [9].

2009 yılında Ito, K. Ve diğ. "Periodic Broadcast Type Timing Reservation MAC Protocol for Inter-Vehicle Communications" isimli yayınlarında, taşıtlar arası haberleşme için trafik kazalarını azaltarak güvenli sürüşü sağlayacak güvenli bir OEK protokolü önermişlerdir. Bu tip sistemlerde Taşıyıcı algılamalı Çoklu Erişim / Çarpışmadan Kaçınma (CSMA/CA) yöntemini kullanan birçok OEK protokolü olduğundan bahsedilmiş ve bu yöntemin gizli terminal probleminden dolayı iletişim kalitesinde ciddi sorunlara sebep olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada periyodik yayım zaman rezervasyonu ile çok kanallı protokol önerilmiş ve protokole PB-TRAMA adı verilmiştir. Kendi kendine iletim zamanını kontrol eden, ağ yerleşim vektörü kullanarak çarpışmalardan kaçınan bir protokoldür. Benzetim sonuçlarına göre gizli terminal problemini çözdüğü ifade edilmektedir. Protokolün, zaman bölmede davranışının TDMA gibi olduğu, bir frekans kanalı kullandığı ve taşıtlar arsında slot senkronizasyonu yapmaya gerek olmadığı belirtilmektedir [10].

Amadeo, M. ve diğ. tarafından 2009 yılında yayınlanan "A WAVE-compliant MAC Protocol to Support Vehicle-to-Infrastructure Non-Safety Applications" isimli yayında, yazarlar Taşıt Ortamında Kablosuz Erişim (Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE)) tabanlı yeni bir OEK protokolü (W-HCF=Wave Based Hybrid Coordination Function) tasarlamışlardır. Güvenlikle ilgili olmayan uygulamaları desteklemek üzere geliştirilmiş IEEE 802.11p / WAVE ile tam uyumlu bir protokoldür. Bu protokol WAVE standardının çok kanallı yapısına uygun hale getirilmiştir. Güvenlikle ilgili olmayan uygulamalarda QoS parametrelerini sağlamayı hedeflemektedir. Bunu yapmak için WBSS (Wave mode Basic Service Set) başlangıç şemasını kullanır. Protokolde üç yollu el sıkışmalı bir kanal rezervasyon işlemi

kullanılmıştır. Servis kanalındaki veri iletimi kontrol edilmiş kanal erişim yordamına göre gerçekleştirilmektedir [11].

Zhang, J. ve diğ. 2009 yılında VC-MAC (Vehicular Cooperative MAC) adında yeni bir OEK protokolü önerilmiştir. İşbirlikçi iletişimin taşıtsal iletişime uygun hale getirilmesi ile elde edilmiş bir protokoldür. Özellikle geçit yolu dosya indirme senaryoları için geliştirilmiştir. Sistem başarımını maksimum yapmak için kablosuz ortamın yayım yapısını güçlendirmeyi hedeflemektedir. Kablosuz kanal güvensizliğinin üstesinden gelebilmek için mekânsal çeşitlilik ve kullanıcı çeşitliliği işbirlikçi aktarma tarafından kullanılmıştır. Yazarlar yayım mekanizmasını erişim noktalarındaki (AP) temel iletim moduna adapte ettiklerini belirtmişlerdir. Ağda iyi durumdaki düğümler veriyi doğru şekilde alırken, girişimden etkilenen bazı verileri alamamaktadırlar. Bu durumu düzeltmek için işbirlikçi iletişim kavramını geliştirmişlerdir. Bu yöntemde iyi durumda olan düğümlerin iletim yapamayanlara aktarma düğümü olarak yardım etmesi sağlanmıştır. Böylece daha önceki senaryoya göre daha az çarpışma ve girişim olduğu belirtilmiştir. Burada en uygun aktarma setini oluşturmak için iyi durumdaki düğümlerden seçim yapmaya çalışılmıştır. Optimal aktarım seti seçmenin daha iyi iş başarımı sağladığı belirtilmiştir. NS-2 ile yapılan benzetim sonuçlarına göre bu protokolün var olan protokollere oranla toplam sistem iş başarımında önemli artışa sebep olduğu belirtilmiştir [12].

Abdalla ve diğ. SOFT-MAC ismini verdikleri, SDMA (Space Division Multiple Access), OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), CSMA ve TDMA tekniklerini birleştiren melez yapıda bir OEK protokolü önermişlerdir. Trafikteki taşıtların konumlarına göre frekans ve zaman dilimi atamalarının önceden yapılmasını öngörmüşlerdir. Bu protokole göre, taşıtların coğrafik konumuna bağlı olarak hangi yolun, hangi frekans ve zaman dilimlerini kullandığına dair bilgiler daha önceden taşıtlara yüklenmekte, taşıtlar bir GPS aracılığı ile konumlarına bakarak, bu haritalardan kendi çevresindeki taşıyıcı frekansları ve zaman dilimlerini öğrenebilmektedirler. Bu protokolde, çarpışmasız iletişim sağlamak üzere TDMA ve eş zamanlı iletim için ise OFDMA ve SDMA teknikleri kullanılmıştır. Söz konusu protokol IEEE 802.11'e göre daha iyi iş başarımı sağlamasına karşın CDMA(Code Divison Multiple Access), FDMA, OFDMA gibi tekniklerin birlikte kullanımı,

protokolü yüksek miktarda iş yükü oluşturan, pahalı ve karmaşık bir protokol haline getirmiştir. Tüm taşıtların dijital yol haritası ile donatılmış olmalarını gerektirmesinden dolayı her taşıt ile uyumluluk konusunda bir takım sıkıntıları olabileceği düşünülmektedir [13].

"A Dedicated Multi-Channel MAC Protocol Design for VANET with Adaptive Broadcasting" isimli yayınlarında, Lu N. ve diğ. IEEE 802.11p standardına alternatif bir protokol tasarlamışlardır. Farklı trafik koşullarında güvenli uygulamalar için çarpışmasız ve gecikme kısıtlı iletişim sağlayan uyarlamalı bir yayım mekanizması kullanmışlardır. IEEE 802.11p'ye benzer mimaride olan yaklaşımda farklı olarak kontrol çevrimi, çekişme tabanlı rezervasyon periyodu ve uyarlanabilir yayım çerçevesi (ABF - Adaptive Broadcast Frame) olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur. ABF periyodunda her taşıt bir zaman dilimini ana iletim kanalı olarak seçer ve bu kanal güvenlikle ilgili mesajların iletimi için rezerve edilir. Rezervasyon periyodunda, taşıtlar güvenlik gerektirmeyen uygulamalar için CSMA/CA ile kanal tahsisi yapar. Buradaki uyarlanabilir yayım çerçevesi tüm ağ boyunca aynı olmayıp, her taşıt komşularına göre dinamik olarak bu çerçevenin uzunluğunu belirlemektedir. Bu yayın, sadece düz bir yolda taşıt sayısının az olduğu bir trafik senaryosu ile sınırlandırılmış olup, trafikteki hız farklılıkları, farklı trafik yoğunlukları, farklı yönlerde hareket eden taşıtların sebep olabileceği erişim ve girişim çarpışmaları gibi konularda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır [14].

Hafeez, A. H. ve diğ. "Clustering and OFDMA-based MAC protocol(COMAC) for vehicular ad hoc networks" isimli çalışmalarında ağdaki düğümlerin kendilerini dinamik olarak kümelere organize ettikleri bir OEK protokolü önermişlerdir. Küme başlarının yoldaki seyahat durumlarının durağanlığına göre belirlendiği bir protokoldür. Önerilen protokolün sürücü alışkanlıklarına adapte olabilir olduğu ve içinde tüm küme elemanlarının ilerideki hızlarını ve konumlarını tahmin etmeyi sağlayabilecek bir bulanık mantık çıkarım mekanizması içerdiği belirtilmektedir. Gizli terminal probleminden sakınmak için OFDMA kullanarak komşu kümelerdeki alt frekanslardan farklı frekansların atanması sağlanmaktadır. Sistem güvenirliğini artırmak, güvenlik uygulamaları için bekleme süresini azaltmak, yüksek dinamiklikte

ve yoğunluktaki ağlarda kümeleme yapabilmek bu protokolün önemli katkıları olarak sıralanmıştır [15].

"An IEEE 802.11p-Based Multichannel MAC Scheme With Channel Coordination for Vehicular Ad Hoc Networks" isimli çalışmalarında Wang Q. ve diğ. servis kanallarına çekişmesiz erişim için çok kanal koordinasyonlu bir OEK protokolü sunmuşlardır. Bu protokol her kanalın trafik yüküne bağlı olarak kontrol kanalı ile servis kanalları arasındaki zaman aralığının uzunluğunu dinamik olarak ayarlamaktadır. Bu amaçla, durağanlık ihtimalini belirlemek için bir Markov Zinciri Modeli kullanmışlardır ve son olarak kontrol kanalı ile servis kanalı arasındaki optimum oranı çıkarmışlardır. Optimum kontrol kanalı aralığını hesaplamak için güvenlik mesajları gönderen düğümlerin toplam sayısını kullanmışlardır fakat bu sayıyı dinamik değişen trafik şartlarında nasıl hesapladıklarını açıklamamışlardır. Ayrıca protokollerinin gizli terminal girişiminden nasıl kaçındığını açıklamamışlardır [16].

Chen, Y. ve Hung, K. "VC^2-MAC: A two-cycle cooperative MAC protocol in vehicular networks" isimli yayınlarında VC-MAC protokolünün geliştirilmiş hali olan bir protokol önermişlerdir. VC-MAC tek çevrimli bir aktarma mekanizması sunuyordu. Bu protokolde ise iki çevrimde aktarma sağlayarak, ilk çevrimde veri iletemeyen düğümlerin veri, iletebilmesine katkı sağlamayı hedeflemişlerdir. Böylece hem erişilebilirliği artırdıklarını hem de dosya indirme verimliliğini artırdıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca ağ erişim süresini ve paket taşmalarını da azalttıklarını ifade etmişlerdir [17].

2012 yılında Guo W ve diğ. ACFM adında uyarlanabilir, çarpışmasız bir OEK protokolü tasarımı yaptıklarını belirtmişlerdir. Dinamik TDMA tabanlıdır ve taşıt ağları için geliştirilmiş, yol kenarı biriminin ağı merkezi olarak yönettiği, uyarlanabilir ve zaman dilimi atama mekanizması kullanan çarpışmasız bir OEK protokolüdür. YKB'ler kontrol bilgisi yayımlama ve zaman dilimi atama ile görevlidirler. Her YKB kapsama alnındaki taşıtlar için zaman dilimi atama çevrimi gerçekleştirir. Her çevrim "N" adet çerçeveden oluşur. Burada N kapsama alanındaki taşıt sayısını ifade etmektedir. Zamanlama kullanılarak, aktif taşıtlar için etkili bir zaman dilimi kullanımını garanti etmeyi amaçlamışlardır. Her çerçeve de sabit sayıda (37) zaman dilimine ayrılmıştır. Bu dilimlerden birisi YKB tarafından kapsama alanındaki

taşıtlara kontrol mesajları göndermek için kullanılmaktadır. Diğer 36 zaman dilimi taşıtlar tarafında komşularına veri göndermek üzere kullanılmaktadır. Komşu bölgeler arasındaki girişimden sakınmak için aynı frekansın iki atlamalık mesafede kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir. Az yoğun trafikte ACFM protokolü zaman dilimi atama çevrimini daraltarak atanmamış dilim sayısının aşırı artmasını kontrol eder. Yoğun trafikte ise çevrimi genişleterek daha fazla kullanılabilir dilim sağlamaya çalışır. Adalet ve kanal doluluk oranı bu protokol ile sağlanabilmektedir. NS-2 ile yapılan benzetim ile diğer geleneksel OEK protokollerine göre bu protokolün gecikme ve paket kayıp oranları gibi parametrelerde daha iyi performansa sahip olduğu gösterilmiştir. Protokolün, ortalama gecikme ve paket kayıp oranlarında başarılı olduğu belirtilmiştir. Fakat tek bir frekans kanalı kullanmakta olup, DSRC'nin 7 kanalını kullanmamaktadır. Ayrıca sadece periyodik mesajlaşma ile sınırlı bir protokoldür ve güvenlik gerektirmeyen uygulamalar için uygun değildir [18].

"MAC Protocol Using Road Traffic Estimation for Infrastructure-to-Vehicle Communications on Highways" isimli yayında Kim K. ve diğ. otoyollarda baz istasyonu – taşıt haberleşmesi için yol trafiği tahminlerini kullanan bir OEK protokolü tasarlanmıştır. Bu protokol beklenen sistem iş başarımını maksimize ederken, düğüm iş başarımının adilliğini de artıracak bir protokol tasarımı yapılmıştır. Yol trafiği tahmini taşıma sistemlerindeki aralık dağıtım modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taşıtların ortamı adil kullanması açısından, taşınan paketleri sınırlamak için bir eşik değeri belirlenmiştir. Bu eşik değeri düğümlerin ulaşılabilir iş başarımı miktarı ve tahmini kalma süresine göre belirlenmiştir. Benzetim sonuçlarına göre bu protokol %21,3 daha iyi sistem başarımına sahip olduğu ve düğümler arasındaki iletilen paket sayılarının önemi Jain's Fairness Index'e göre 1'e yaklaştığı belirtilmiştir [19].

2013 yılında Omar, H. A. ve diğ. tarafından "VeMAC: A TDMA-Based MAC Protocol for Reliable Broadcast in VANETs" isimli yayında TTA'lar için yeni çok kanallı, çekişmesiz ve TDMA tabanlı OEK protokolü olarak tasarlanmış, VeMAC olarak adlandırılmıştır. Bu protokolde, taşıtların yol kenarı birimleri tarafından yönetildiği ve taşıtların farklı yönlere hareket edebildiği bir ağ senaryosu söz konusudur. Farklı yönlere giden taşıtlara ve YKB'lere ayrık zaman dilimi ataması gerçekleştirilerek girişim çarpışmalarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Her düğüm

iki alıcı ile donatılmış olarak varsayılmış, bir alıcı kontrol kanalını dinlerken diğer alıcının başka bir servis için kullanılması öngörülmüştür. Kontrol kanalında etkili tek-atlamalı ve çok atlamalı yayımı destekler. Bu işi içerik bilgilendirme ve gizli terminal problemini elimine ederek yapar. Protokolün ayrı yönlerde hareket eden taşıtlara ve YKB'lere ayrık zaman slotları atayarak kontrol kanalında düğüm hareketliliğine bağlı taşıma çarpışmalarını azalttığı belirtilmiştir. Şehir, otoyol benzetimleri ve analizlerine göre bu protokol kontrol kanalında AdHoc MAC protokolüne göre belirgin derecede daha fazla iş başarımı sağladığı vurgulanmıştır. TDMA tabanlı bir OEK protokolüdür. Kontrol kanalında gizli terminal problemi olmadan tek atlamalı bir yayım servisi sağlamaktadır. Etkili birçok atlamalı ağ yayım servisi kadar iyi çalıştığı belirtilmektedir. Birçok protokolden farklı olarak, bu protokol DSRC'nin kanallarını kullanarak girişim ve erişim çarpışmalarını azaltabilmektedir. Bu protokol birçok protokole ilham kaynağı olmuş ve birçok protokol, bu protokolün temellerini esas alarak geliştirilmiştir. Protokolde, bir yöne doğru giden taşıtlara ayrılan zaman dilimi bittiğinde yeni gelen düğüm karşı yönden gelen taşıtlara ayrılmış olan zaman dilimlerini almaya çalışabilir. Bu durumda ağda çeşitli problemlere sebep olabileceği düşünülmektedir [20].

Shao, C. ve diğ., 2014 yılındaki yayınlarında p-sürekli kanal erişim mekanizması ile zaman slotu atanan, çoklu öncelik destekli bir OEK protokolü tasarımı yapılmıştır. Bu protokol kontrol kanalındaki paketleri çoklu önceliğe göre ayırmaktadır. Kontrol kanalı ve servis kanallarının çevrimlerini ayarlamak ve farklı iletim önceliklerine sahip paketleri optimize etmek üzere analitik bir Markov zinciri modeli sunulmuştur. Ayrıca güvenlik paketlerinin güvenilir bir şekilde yayımlanmasını garanti etmek ve kontrol kanalındaki birçok "ACK" paketlerinin sebep olduğu çarpışmalardan kaçınmak için çekişmesiz bir "ACK" şeması önerilmiştir. Güvenli paketlerin öncelikli paketlerinin iletimi garanti edilmekte ve iş başarımı konusunda en uygun sistem performansını sağladığı benzetim sonuçlarından görülmektedir. Bu protokolde kullanılan şemanın var olan şemalara göre şu farklılıkları içerdiği belirtilmektedir. İlk olarak MP MAC kontrol kanalından alınan paketleri iki öncelik kategorisine ayırır. Olay tetiklemeli güvenlik uygulamalarından gelen mesajlar birinci öncelikli, geri kalan paketler ise ikinci öncelikli olarak işaretlenir. İkinci olarak kontrol kanalı ve servis kanalı arasında geçişi sağlamak üzere bir Markov modeli kullanılmaktadır. Üçüncü olarak persistent

MAC şemasına göre WAVE düğümleri veri iletmeye çalışmaktadır. Son olarak da çekişmesiz bir "ACK" şeması, güvenilir iletimi sağlamak ve kontrol kanalındaki çarpışmaları azaltmak için kullanılmaktadır [21].

"HER-MAC: A Hybrid Efficient and Reliable MAC for Vehicular Ad hoc Networks" isimli yayınlarında Dang D.N.M ve diğ. TTA için çok kanallı bir OEK protokolü tasarımı yapmışlardır. TDMA ve CSMA şemalarını destekleyen bir OEK protokolüdür. Bu protokolün taşıtlara kendilerine atanan zaman dilimi içerisinde güvenli mesajları çarpışmasız olarak iletebilmelerini sağlama imkânı verdiği belirtilmektedir. Ayrıca servis kanalı kaynaklarını tam kullanabilmek amacıyla kontrol çevrimi sürecinde güvenliksiz mesajların iletimi sağlanmaktadır. Bu protokol IEEE 1609.4 (WAVE) ile karşılaştırılmış olup, güvenli mesaj iletiminde daha iyi ve servis kanalı kullanımında daha etkili olduğu belirtilmiştir. Bu protokolde her düğümün bir half – duplex (yarı çift yönlü) alıcıya sahip olduğu ve alım ya da gönderim yapabileceği fakat aynı anda her ikisini yapamayacağı varsayılmıştır. Tüm düğümlerin zaman eşitlemesi için GPS kullandığı belirtilmiştir [22].

Zou R. ve diğ., CFR-MAC adını verdikleri yaklaşım ile girişim çarpışması problemini giderip, çarpışmasız kanal erişimi sağlamayı hedefleyen rezervasyon tabanlı bir OEK protokolü önermişlerdir. Protokol TDMA tabanlı olup, zamanlama mekanizması VeMAC tabanlıdır. Her çerçeve farklı yönlere giden taşıtlara atanmak üzere iki farklı zaman dilimi setine bölünmüştür. Farklı hızlarda hareket edildiğinde girişim olabileceğinden, problemin çözümü için her zaman dilimi seti, 3 farklı hız aralığını belirtmek üzere 3 alt kümeye bölünmüştür. Protokolün, erişim gecikmelerini ve çarpışmaları önemli ölçüde azalttığı söylenebilir. Kontrol kanalındaki güvenli mesajlaşmada girişim ve çarpışmaları azalttığından bahsedilmekte olup, güvenlik gerektirmeyen uygulamalar konusundaki davranışı hakkında bilgi verilmemiştir. Ayrıca TDMA ile zaman dilimlerine bölünen kanallarda VeMAC'e benzer olarak, çok yoğun ağ trafiğinde boş zaman dilimi kalmaması durumunda düğümler tarafından karşı yöne ait zaman dilimlerinin kullanımına teşebbüsün söz konusu olabileceği düşünülmektedir [23].

2015 yılında "Direction Aware Cluster-Based Multi Channel MAC Protocol For Vehicular Ad Hoc Networks" isimli yayınlarında Sidhik, A. ve diğ., TTA'lar için yön

tabanlı kümeleme yapabilen, çok kanallı bir OEK protokolü önermişlerdir ve DA-CMAC olarak adlandırmışlardır. Farklı yönlerde hareket eden taşıtların birbirleriyle haberleşme döngüleri diğerlerine göre daha kısadır. Bu kısa döngülere bağlı olarak yön tabanlı kümeleme yapılırsa yeniden ağ konfigürasyonu gerekmeyeceği böylece bu maliyetin düşeceği belirtilmiştir. Bu protokolde aynı yöne giden taşıtların gruplanarak bir küme halinde kontrol edilmesi, her kümede bir küme başı ve küme üyeleri olduğu varsayılmıştır. Küme başı olan düğüm her bir küme elemanı için belli ölçütlere göre öncelik belirler ve bu düğümlere öncelik sırası atar. Küme elemanlarının önceliklerini, bağlı komşular, ortalama hız değişimi, komşularla kendisi arasındaki ortalama mesafe gibi parametrelere göre hesaplar. Her küme bağımsız yönetilmekte ve taşıtların hareketlilik durumuna göre yeniden organize edilmektedirler. Küme başı kanal erişimlerini yönetir ve küme elemanlarına zaman dilimlerinin atamasını gerçekleştirir. DA-CMAC protokolü erişim ve girişim çarpışmalarını azaltmak için kanal içindeki zaman dilimlerini hareket yönüne göre iki gruba böler. Adil kanal kullanımı için her düğüm kontrol kanalı ve servis kanalı periyodunda tek bir zaman diliminde konumlandırılır. Yazarlar, benzetim sonuçlarına göre paket güvenilirliğinin arttığı ve çarpışmaların azaldığı belirtilmesine karşın, hareketli taşıtların hızlarının 40 km/s civarında alınmıştır. Bu hız değerinin gerçek bir otoyol senaryosunda daha fazla olduğu düşünülmekte, yüksek hızlarda aynı kararlılık ile çalışamayacağı öngörülmektedir [24].

Hadded, M. ve diğ., 2015 yılında yapmış oldukları yayında TTA için tamamen dağıtık ve konum tabanlı bir TDMA planlama şeması geliştirmişlerdir. DTMAC olarak adlandırılan protokolün temel hedefi CDMA ve OFDMA gibi pahalı ve karmaşık mekanizmaları kullanmadan, erişim ve girişim çarpışmalarını azaltmak ve iletim ortamına adil erişim sağlamaktır. Çalışma, tamamen YKB'den bağımsız ve TTA'nın doğasında olan özellikle ana yollardaki doğrusal yapısı göz önüne alınarak oluşturulmuş bir protokol önermektedir [25].

"An efficient TDMA-based variable interval multichannel MAC protocol for vehicular networks" isimli yayınlarında Babu, S. ve diğ., TDMA tabanlı değişken aralıklı çok kanallı bir OEK protokolü önerilmiştir. 802.11p/WAVE standardındaki tek alıcı/verici üzerinde çalışmak için tasarlanmıştır. Değişken aralıklı çoklu kanal atama şeması

yardımıyla TDMA kullanılmaktadır. Böylece kayıplı bir kablosuz ortamda etkili ve güvenilir bilgi yayım sevisi vermek hedeflenmiştir. Bu protokol ile çarpışmaların azalacağı ve bundan dolayı kontrol kanalının daha güvenilir olacağı vurgulanmıştır. Ayrıca maksimum kanal kullanımı sağlanarak, servis kanalı üzerinde yüksek iş çıkarma sağlandığı belirtilmiştir. Protokol VeMAC protokolü ile karşılaştırılmış ve çarpışma girişimlerine maruz kalan taşıt sayısında neredeyse %50 ye yakın bir düşüş sağladığı, bu düşüşün paket iletim oranını %25 oranında artırdığı belirtilmiştir [26].

Uyarlanabilir TDMA tabanlı bir protokol olan VAT-MAC, Cao S. Ve Lee V.C.S. tarafından önerilmiştir. Uyarlamalı zaman dilimi tahsis mekanizması ile her bir çerçevenin boyutu, maksimum zaman aralığı kullanımı için yeniden hesaplanır. Her zaman dilimi sonunda YKB ağa katılabilecek taşıt sayısını tahmin ederek optimum çerçeve uzunluğunu hesaplamaktadır. Yazarlar bu işlemi iş başarımını maksimize etmek için yaptıklarını söylemektedirler. Protokolün sistem ölçeklenebilirliğini ve iş başarımını artırdığını belirtmişlerdir [27].

1.5. Tez Organizasyonu

Tezin organizasyonu aşağıda özetlerine yer verilmiş olan bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci bölüm Giriş Bölümü olup, bu bölüm tez çalışmasına konu olan problemin tanımını, amacını, tez konusu ile ilgili yapılmış çalışmaların özetlerini, tezde kullanılan materyal ve yöntemi, tezin katkılarını ve tez organizasyonunu içermektedir.

İkinci bölüm, Tez konusuna temel teşkil eden TTA hakkında geniş bilgiye yer vermektedir. TTA'ların mimarisi, iletişim teknolojileri, standartları, kullanılan protokolleri, zorlukları hakkında ayrıntılı bilgiler içermektedir.

Üçüncü Bölüm, bu tez çalışmasında tasarımı yapılan OEK protokolünün, çalışma şekli, algoritması, akış diyagramları gibi protokol ayrıntılarını içermekte, tasarımdaki farklılıkları ayrıntılı olarak ortaya koymaktadır. Ayrıca protokolde geliştirilen tasarımlara ait ayrıntılı düğüm modelleri, uygulama kodları ve ekran görüntülerini içermektedir.

Dördüncü bölümde tasarlanmış olan OEK protokolünün OPNET ortamındaki benzetim adımlarına ve sonuçlarına yer verilmiştir. Yapılan benzetimlerde elde edilen sonuçlara göre performans analizlerine yer verilmiş, benzer OEK protokolleri ile karşılaştırmalı başarım analizi yapılmıştır.

Sonuçlar ve tartışmanın yapıldığı beşinci bölümde elde edilen sonuçlar gösterilmiş ve sonuçların katkısı tartışılmıştır.

Sonraki kısımlarda sırasıyla Kaynaklar ve Özgeçmiş bölümlerine yer verilmiştir.

BÖLÜM 2

TASARSIZ TAŞIT AĞLARI

Tasarsız bir ağ, dinamik olarak form değiştiren, telekomünikasyon ya da mobil haberleşme gibi bir altyapı ile merkezi yönetimi gerçekleştirilmeyen düğümler topluluğudur. Yollarda hareket halindeki taşıtların güvenlik ve verimliliklerini artırmak için Akıllı Taşıma Sistemleri (ATS - Intelligent Transportation System (ITS)) geliştirilmiştir. TTA'lar bu akıllı taşıma sistemlerinin önemli bileşenlerinden biridir ve araçlar arası haberleşmeyi de kapsamaktadır [28]. Tasarsız (AdHoc) ağların bir parçası olan Taşıt Ağları, TTA (VANET) olarak bilinir.

Taşıt Ağları, hayat kurtarma ve trafik akışını düzenlemeye yönelik geliştirilmiş ağlardır. Sabit bir altyapıya ihtiyaç duymamaları yanında, sistem performansını arttırmaya yönelik olarak hücresel ağ altyapısını ve yol kenarı birimleri gibi sabit altyapıyı da kullanabilirler [29]. TTA'lar, Tasarsız Hareketli KAA'ların (THKAA) bir alt sınıfıdır. Bu ağlarda taşıtlar yüksek hızlarda hareket ederler ve ağ topolojisi hızlıca değişir. Bu ağlar Akıllı Taşıma Sistemleri için gelecek vadeden bir yaklaşımdır [30].

Son zamanlarda TTA kelimesi yol kenarı altyapısına bağlı olmayan taşıtlar arası çok atlamalı ağlar için kullanılmaya başlanmıştır. Bu alandaki çalışmaların ana konusu hareket halindeki iki taşıt arasında veri transferi problemini çözmektir. Uygulamalarda bir aracın yer ve benzeri bilgilerini komşuları ile paylaşması kritik bir olaydır [31].

Taşıtlar arası haberleşme yeni yeni gelişmekte olan bir taşıt teknolojisi alanıdır. Bu ağları kullanmanın temel amacı kazasız bir çevre oluşturmaktır. Akıllı taşıma sistemleri geliştirmek için son yıllarda TTA alanında yeni mimariler, protokoller ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir [32].

Aynı zamanda taşıtlar arası haberleşme teknolojisi trafiği düzenleme, ulaşımı kolaylaştırma, arıza tespit, geçiş üstünlüğü olan araçların hızlandırılması vb. işlemleri de amaçlayan bir teknolojidir.

TTA'lar taşıt-taşıt ve taşıt-yol kenarı birimi arasındaki kablosuz yerel alan teknolojilerini de içerebilirler. Kendine özgü uygulamalar, lisanslı frekans bant aralığı, şarj edilebilir güç kaynağı ve çevre gibi faktörler TTA'ları kablosuz iletişimin ayrı bir alanı haline getirmiştir [33].

TTA'ların kendine has olarak, tahmin edilebilir hareket yönü, güvenli sürüş, yolcu konforu ve trafik verimliliğini artırma, ihmal edilebilir enerji kısıtı, anlık olarak değişebilen ağ topolojisi ve yoğunluğu, büyük ölçek, yüksek hesaplama kapasitesi gibi özellikleri ve amaçları vardır [34].

- **Tahmin edilebilir hareket yönü:** Hareket yönünün belli olması ve tahmin edilebilir olması yönü ile diğer hareketli ağlardan ayrılırlar.
- Güvenli sürüş, yolcu konforu ve trafik verimliliğini artırma: TAA'lar taşıtlar arası doğrudan haberleşme ve birçok uygulamanın çalışmasına olanak sağlamayı hedeflerler ve bu amaca yönelik olarak taşıtlar arasında veri alışverişini sağlayacak haberleşme yöntemleri barındırmaları öngörülür.
- **İhmal edilebilir enerji kısıtı:** Bu ağlarda enerji kritik bir özellik değildir, çünkü sistemin enerjisini sağlayan bir akü sistemi ve aküyü besleyen bir dinamo mekanizması taşıt içinde mevcuttur ve bu sistem taşıt içi TAA ünitesine sürekli enerji sağlayabilir.
- **Anlık olarak değişebilen ağ topolojisi ve yoğunluğu:** Taşıtların hızının yüksek olması ani ağ topolojisi ve yoğunluk değişimlerine sebep olmaktadır. Bu tip ağlarda ağın yaşam süresi, haberleşme radyosu kapsama alanı, taşıtların hareket yönü gibi nedenlere bağlıdır. Dolayısıyla, zaten hızlı hareket eden düğümlerin diğer şartlarda eklendiğinde ağ topolojisinde ani değişikliklere sebep olacağı aşikârdır. Bu nedenle ağın bu değişimleri algılayabilecek özellikte olması gereklidir.
- **Büyük ölçek:** Söz konusu hızlı hareket eden taşıtlar ve uzak mesafeler olduğunda bu hizmetleri sağlayabilecek bir ağın kapsama alanının da yeterince büyük olması gerekmektedir.
- **Yüksek hesaplama kapasitesi:** Bu ağlarda düğümler birçok algılayıcı ile donatılmış taşıtlardır. Dolayısı ile hesaplama yapan kaynakları oldukça fazladır.

2.1. TTA Mimarisi

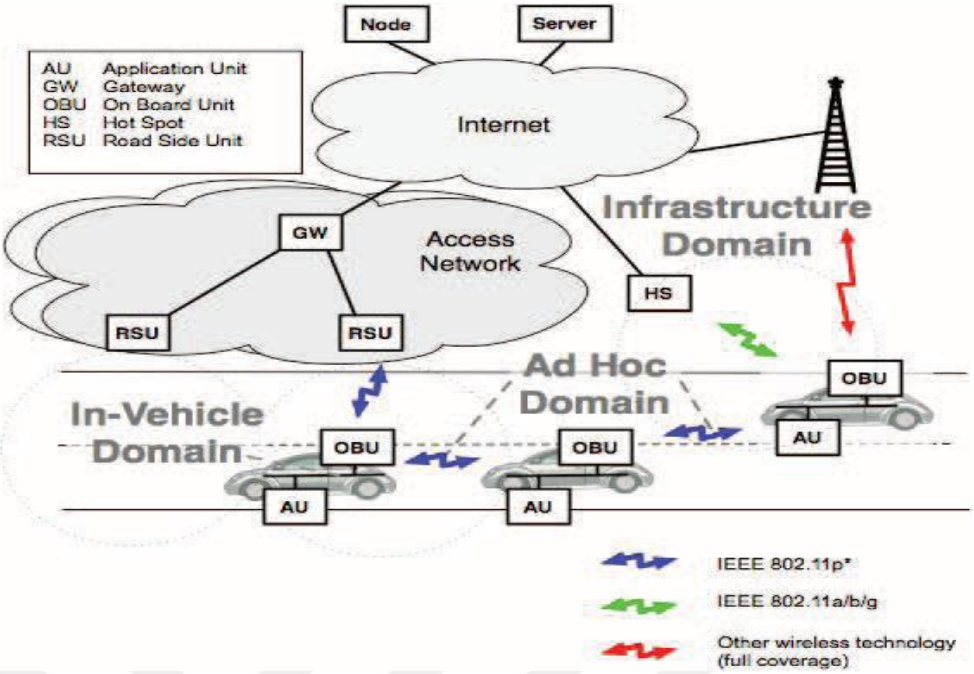
TTA sistemleri genel olarak, taşıtlar içerisinde bulunan Tümleşik Taşıt içi Birim (TTB - On Board Unit (OBU)), Uygulama Birimi (UB - Application Unit (AU)) ve Yol Kenarı Birimi (YKB - Road Side Unit (RSU)) olmak üzere üç bileşenden meydana gelir.

- **TTB:** Her taşıt (düğüm) bir grup algılayıcı ve bir TTB bulundurur. Bu birim taşıt içi algılayıcılardan gelen verileri toplayıp değerlendirerek elde ettiği bilgileri diğer taşıt veya YKB'lere kablosuz ortam üzerinden iletir. Bir TTB genellikle, kaynak komut işlemcisi, diğer TTB'lere bağlanmak için bir ara yüz, IEEE 802.11p radyo teknolojisi temelli kısa mesafe kablosuz haberleşme cihazı gibi bileşenlere sahiptir.
- **UB:** TTB'nin sunduğu hizmetleri çalıştıran cihazlardır. UB, TTB'ye kablolu veya kablosuz olarak bağlanabilir. Bu cihaz özel bir cihaz olabileceği gibi bir PDA da olabilir.
- **YKB:** Yol kenarlarında veya belirlenmiş yerlerde sabitlenmiş olarak bulunan taşıtlar(düğümler) arası haberleşme cihazlarıdır. Taşıt-taşıt haberleşme birliği (Car to Car Communication Consorsium (C2C-CC)) tarafından YKB'nin ana görevleri haberleşme kapsamını genişletmek, güvenlik uygulamalarını çalıştırmak, TTB'lere internet bağlantısı sağlamak olarak belirlenmiştir [34].

TTA'larda 3 tip etki alanı vardır. Bunlar;

- **Taşıt içi Etki Alanı (In vehicle Domain):** Bir TTB ve bir veya birden fazla UB'den oluşur.
- **Geçici Etki Alanı (Ad-Hoc Domain):** TTB barındıran düğümlerden ve yol üzerindeki YKB'lerden oluşur.
- **Baz İstasyonu Etki Alanı (Infrastructural Domain):** YKB'yi Baz İstasyonlarına veya internete bağlayan etki alanlarıdır.

Şekil 2.1'de TTA'lar için C2C-CC'nin belirlemiş olduğu genel taslak görülmektedir.



Şekil 2.1 C2C-CC taslak referans mimarisi [35]

2.2. TTA İletişim Teknolojileri ve Standartları

TTA'larda günümüz kablosuz erişim teknolojilerinin birçoğu kullanılabilmektedir. Bu ağlarda gerek taşıt içi iletişim sistemleri gerekse taşıtlar arası haberleşme ve gerekse de taşıt - yol kenarı istasyonu haberleşmelerinde kullanılabilen iletişim yöntemleri mevcuttur. TTA'larda iletişim standartları; kısa mesafe iletişim standartları, orta mesafe iletişim standartları ve uzun mesafe iletişim standartları olarak sınıflandırılabilir [35].

2.2.1. Kısa Mesafe İletişim Standartları

Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4), Infrared, Ultra Wideband (UWB) olarak sıralanabilir. ZigBee (IEEE 802.15.4) standardı 70 metre mesafeye kadar 250 kbps veri iletimi sağlayabilen ve 2.4 GHz serbest bandını kullanan bir standarttır. Bu standart Amerika'da 915 MHz ve Avrupa'da 868 MHz düşük frekans bantlarını kullanarak 40 kbps ve 20 kbps veri iletim oranlarına ulaşır. Bu teknoloji 100 m mesafeye kadar veri iletebilmek için düşük güçlü radyo sinyallerini O-QPSK (Offset Quadrative Phase Shift Keying) modülasyonu ile iletir [36]. Bu teknoloji WiFi ve

Bluetooth standartlarından daha ucuzdur. Taşıt - taşıt ve taşıt - Baz istasyonu uygulamalarını destekler, fakat bant genişliği isteyen VoIP, web tarama gibi uygulamalar için uygun değildir.

Bluetooth teknolojisi IEEE 802.15.1 standardıdır. Kısa mesafeli kablolu ağlara gereksinimi ortadan kaldırmayı hedefleyen bir iletişim standardıdır. Kullanımı kolay ve ucuzdur. Bir taşıt içerisinde telefon, mp3 oynatıcı gibi ihtiyaçlar için kullanılabilir. Veri iletim hızının 1 Mbps'ye ulaşabilmesi, bazı uygulamalar için yeterlidir. Bu avantajları göz önüne alınarak Taşıtlar Arası Haberleşme sistemleri üretilmiştir. Fakat iletişim mesafesinin kısa olması (10 m) bu standardın hızlı hareket eden hareketli taşıtlar arasında kullanılmasını zorlaştırmıştır.

Infrared (kızıl ötesi) teknolojisi görünmez ışık ile veri transferinin sağlandığı bir iletişim standardıdır. 300 – 400 GHz frekans bant aralığında çalışır. 115 Kbps'den 4 Mbps'ye kadar veri taşıyabilir. Fakat kızılötesi iletişimi araya giren engeller dolayısı ile etkilenebilir [35].

Ultra Wide Band (UWB) sistemler büyük bant genişlikli sistemler olarak bilinirler. Düşük güç, gürbüzlük ve 480 Mbps'ye kadar veri aktarım oranı sağlarlar. Bluetooth gibi 10 metrelik bir iletişim mesafesine sahiptirler. TTA'larda bu standart çarpışmadan kaçınma için kullanılabilir.

2.2.2. Orta Mesafe İletişim Standartları

DSRC, IEEE 802.11p, WAVE, Wlan olarak sıralanabilir. Taşıt - taşıt ve taşıt - yer istasyonu haberleşmelerinde Wlan veya WiFi kullanılabilecek standartlardandır. Kablosuz bağlantıyı sağlamak için IEEE 802.11 standartları kullanılabilir. IEEE 802.11a standardı 5 GHz bandında çalışan, kapalı alanda 38 m, açık alanda 140 m menzile sahip ve 54 Mbps veri aktarım oranına ulaşabilen bir standarttır. IEEE 802.11g ise 802.11a'dan farklı olarak 2.4 GHz bandında çalışan ve veri oranı 11 Mbps olabilen bir standarttır.

IEEE, 802.11 altında 802.11a/b/g gibi birçok standart geliştirmiştir ve bu standartlar 2,4 GHz, 5 GHz serbest bantlarında çalışmaktadırlar. Fakat bu standartların hiçbiri özel olarak TTA için tasarlanmış standartlar değillerdir. IEEE 802.11p, IEEE

802.11'in taşıtlardaki haberleşme cihazlarına kablosuz iletişimi eklemeyi amaçlayan bir iyileştirmesidir [37]. TTA'larda kullanılan en yaygın standart DSRC / IEEE 802.11p, WAVE standartlarıdır. DSRC Amerika'da FCC (Federal Communications Commission) tarafından sadece taşıt - taşıt, taşıt - yer istasyonu iletişimi için kullanılmak üzere geliştirilmiş kısa ve orta mesafeli bir iletişim standardıdır [10][39]. 5,9 GHz bandında çalışan, lisanslı 75 MHZ bant genişliğine sahip bir standarttır. Avrupa ve Japonya'da bu spektrum 5.8 GHz bandına yerleşmiştir. DSRC radyo teknolojisi IEEE 802.11p üzerine kurulmuştur. IEEE 802.11p, IEEE 802.11 standardının değiştirilmesi ile taşıt ağlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir standarttır ve DSRC spektrumunda çalışmak için tasarlanmıştır. DSRC de her kanal 10 MHz büyüklüğündedir ve 75 MHz spektrum 7 kanala bölünmüştür. Kanal numaraları 172-184 arasında değişir. Bu standartta 178. kanal kontrol kanalıdır (CCH) ve sadece güvenli haberleşeme için kullanılır. Diğer kanallar ise servis hizmetleri sunmak üzere servis kanalı olarak kullanılırlar [31][33][40].

İlerleyen zamanda IEEE 80211.p'yi içeren DSRC protokol yığını IEEE 1609 çalışma grubu tarafından standardize edilmiş ve WAVE olarak adlandırılmıştır. WAVE 200 Km/s hıza ulaşabilen taşıtlarda, 300 - 1000 m mesafede 27 Mbps veri aktarım oranı sağlayabilen bir iletişim standardıdır [34].

2.2.3. Uzun Mesafe İletişim Standartları

Hücresel teknolojiler ve Mobil WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) olarak sıralanabilirler. Hücresel teknolojiler 2G, 2.5G, 2.75G, 3G, 4G gibi sistemlerdir. Bu sistemlerin kapsama alanlarının daha geniş olması, uzak mesafe iletişimi desteklemesi Taşıtlar arası haberleşme sistemleri için özellikle büyük şehirler ve ana yollarda daha iyi bir çözüm olabilir. GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), HSDPA(High Speed Downlink Packet Access) gibi isimlerle de bilinen standartlardır. 9.6 Kbps'den 54 Mbps'ye kadar veri aktarım oranları elde edilebilmektedir.

Kullanılabilecek bir başka uzun mesafe iletişim standardı, Mobile WiMAX standardıdır. IEEE 802.16e standardının devamıdır. Bu standart MIMO (Multiple

Input Multiple Output) ve OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) kullanarak 35 Mbps veri aktarım oranı ve 15 km mesafeye ulaşabilen geniş bir kapsama alanı sağlar. TTA'larda haberleşme için kullanılabilen iletişim teknolojileri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 TTA'larda haberleşme için kullanılabilen iletişim teknolojileri

(a) Kısa Mesafe Haberleşme Teknolojileri	Bluetooth
	ZigBee
	Infrared
(b) Orta Mesafe Haberleşme Teknolojileri	DSRC, IEEE 802.11p, WAVE (IEEE 1609)
	Wlan / WiFi
(c) Uzun Mesafe Haberleşme Teknolojileri	Hücresel teknolojiler (GSM, GPRS, 3G, HSDPA …)
	WiMAX

2.3. TTA Türleri

Taşıtsal Haberleşme (TH - Vehicular Communication (VC)) sistemleri farklı yayınlarda farklı sınıflandırmalara tabi tutulmuş olmakla beraber, genel olarak, Taşıt - Taşıt (Vehicle to Vehicle (V2V)) , Taşıt – Yol Kenarı Birimi (Vehicle To Infrastructure (V2I)) ve YKB - YKB (Infrastructure To Infrastructure (I2I)) olmak üzere üç çeşittir [35].

Taşıt - Taşıt haberleşmesi taşıtların birbiriyle konuşması için tasarlanmıştır. Sistem genel güvenlik servisleri için 5.9 GHz bandında, IEEE 802.11p kablosuz protokol standardını kullanmaktadır. Bu teknoloji, güvenlik ve yakın taşıtlar arası kablosuz bilgi alış verişi için geliştirilmiştir. Alıp verilen bilgiler; taşıt pozisyonu, hız, dönme açısı, fren durumu, taşıt içindeki kişi sayısı gibi bilgiler olabilir [35].

Taşıt - Baz İstasyonu haberleşmesi, bir taşıtın genel olarak yol kenarı istasyonu ile bilgi ve veri alışverişi uygulamaları için haberleşmesine imkân veren bir mimaridir. Taşıt - Baz istasyonu haberleşmesi uzun mesafeli bir haberleşme sistemidir [37]. Bu haberleşeme sistemi; Taşıt içinde bir iletişim ünitesi (TTB), Bir yol kenarı birimi (YKB) ve iletişim için güvenli bir kanal gerektirir. Taşıt içi iletişim ünitesi (TTB) bu sistemin taşıt tarafını ifade eder. Mantıksal olarak bu üniteler bir radyo alıcısı

(genellikle DSRC), bir küresel konum belirleyici (GPS), bir uygulama işlemcisi, taşıt sistemleri için ara yüzler ve insan - makine ara yüzü gibi bileşenlerden oluşurlar. Taşıt içi iletişim ünitesi, taşıtlar ve yol kenarı üniteler ve birbirine yakın taşıtlar arasında haberleşmeyi sağlar. Taşıtlar arasındaki güvenlik uygulamalarını çalıştırmak için bu birimler durum mesajlarını düzenli olarak iletirler. Bir iç ünite kapasitesi ölçüsünde GPS verilerini ve diğer verileri birlikte hafızada tutabilir, yeterli hafıza kalmadığında en eskiyi silerek yeni bilgileri tekrar kaydedebilirler. Kavşaklara veya diğer yerlere sabitlenmiş olan yol kenarı üniteleri kendi kapsama alanındaki diğer taşıtlar için birer bağlantı ara yüzü olarak görev yaparlar [35].

YKB - YKB haberleşmesi, ağa bağlanabilecek taşıtların koordinasyonu ve yönetilmesi için YKB'ler arasında bilgilerin taşınması mantığı ile kurulan ağlardır. Ağdaki yönetim bilgileri komşu YKB'ler arasında tesis edilen bağlantı sayesinde iletilerek ağın merkezi olarak yönetilmesine katkı sağlanmış olur.

2.4. TTA'ların Temel Zorlukları

TTA'larda temel zorlukların başında, ağda bir haberleşme koordinatörünün belirlenememesi gelir. Bazı uygulamalar kendi mekanizmasını içermekte iken bazı uygulamaların merkezi bir haberleşme kullanması gereklidir. Birçok uygulama etraftaki birçok taşıta kendi bilgisini genel yayın yoluyla yaymaktadır. Bu da kontrol olmayan ortamda ciddi iletişim problemlerine sebep olmaktadır.

Diğer kablosuz ağlarda olduğu gibi, bu ağlarda da gizli terminal ve etki altında kalmış uç düğüm problemleri önemli zorluklardandır [33].

TTA tasarımında karşılaşılan temel zorluklar şöyle sıralanabilir [34][35]:

- **Sık Bağlantı Kopmaları / Bağlanabilirlik:** Bu ağların doğasında olan yüksek hareketlilik dolayısı ile yol kenarı istasyonu ile taşıtlar arasında sık sık bağlantı kopuklukları yaşanmaktadır.
- **Gecikme Kısıtları:** Acil durum mesajlarının zamanında iletilmesi birçok durumda çok fazla bilgi göndermekten daha değerlidir.
- **Güvenlik ve Gizlilik:** Taşıtlar arası haberleşmenin ana görevi, mesaj içeriğinin güvenliğini sağlamaktır. Verinin karşı düğüme iletiminin kontrolü bu tür

ağlarda çoğu zaman gerçekleşememektedir. Çünkü taşıtlar çok hızlı hareket etmekte ve kontrolün sağlanması için gereken sürede aracın ağı terk etmiş olma durumu söz konusu olmaktadır.

- **Bant Genişliği Kısıtlamaları:** Bant genişliğini etkin kullanmayı sağlayacak şey merkezi koordinasyondur. Bu sistemin etkin çalışmadığı ağlarda bant genişliği önemli bir problem haline gelmektedir.
- **Etkili Yarıçapın Küçük Olması:** Çok hızlı hareket eden düğümlerden oluşan bu ağlarda etkili yarıçapın küçük olması iletişim süresinin çok kısa olmasına bu da sağlıklı veri alışverişinin yapılamamasına sebep olur.
- **Değişken Ağ Yoğunluğu:** Bir TTA topolojisinde şehir merkezleri ve kavşaklarda küçük bir bölgede yüzlerce taşıt olabilir. Bu durumda çarpışmaları önleyecek ve taşıma hatalarından koruyacak etkili ortam erişim kontrol protokolü tasarlamak gereklidir. Bununla birlikte otoyollarda topoloji daha seyrek ve bağlantı daha kesiklidir. Her iki senaryoda da taşıtlar iyi bir veri transferi yapabilmek için ağ yoğunluğuna göre kendilerini adapte edebilmelidirler [41].
- **Ağ Bölünmesi:** Ağ bölünmesi, ağ tasarlayıcıları için önemli bir problemdir çünkü bölünme, bazı düğümlerin ulaşılmaz olmasına sebep olur. Bir düğüm üzerindeki topoloji bilgisine dayanan geleneksel protokol çözümleri TTA'lar için uygun değildir ve yeni yaklaşımlar gereklidir [42].

2.5. TTA Uygulamaları

TTA uygulamaları genel olarak Güvenlikle İlgili Uygulamalar (Safety Applications) ve Güvenlik Dışı Uygulamalar (Non-Safety Applications) olarak iki gruba ayrılırlar.

Güvenlik uygulamaları taşıtlar arası veya taşıt - yol kenarı birimi arası kablosuz haberleşmeyi kullanarak yol güvenliği ve kazalardan kaçınma üzerine yoğunlaşmıştır. Güvenlik dışı uygulamalar ise sürücülere eğlence ve servisleri sağlayan aynı zamanda trafik güvenliğini artırmak için trafik yönetimi ile ilgilenen ticaret ve kolaylık uygulamalarını içerir [30].

Ayrıca [37]'de TTA Uygulamalarını, Konfor Uygulamaları ve Güvenlik Uygulamaları olarak iki sınıflandırmışlardır. [43]'te yazarlar TTA uygulamalarını, Aktif Yol

Uygulamaları, Trafik Verimliliği ve Yönetimi Uygulamaları ve Bilgi Servisi Uygulamaları olmak üzere 3 gruba ayırmışlardır. İletişim türlerine göre de uygulamaların sınıflandırıldığı yayınlara rastlanmaktadır. Tanuja, K. ve diğ. [35]'te Taşıt-Taşıt uygulamalarını Yol Güvenliği Uygulamaları, Sürücü Yardımcı Uygulamalar ve Konfor Uygulamaları olarak 3 sınıfta Tablo 2.2 deki gibi sıralamışlardır.

Tablo 2.2 Taşıt ağı uygulamaları tablosu

Yol Güvenliği Uygulamaları	**Sürücü Yardımcı Uygulamalar**	**Konfor Uygulamaları**
• Çarpışmadan kaçınma • Sabit veya hareketli engellerden kaçınma • Gerekli bilgileri dağıtma	• Taşıt geçerken yardım • Düz veya oyulmuş şeritlerden koruma	• İnternete mobil erişim • Elektronik mesajlaşma • Taşıt içi konuşma • Ağ oyunları vb.

Bu uygulamalar yanında, gerek Amerika'da gerekse Avrupa ve Japonya'da taşıtlar arası haberleşme ağları alanında devlet destekli ve özel olmak üzere bir takım projeler yapılmış olup bazıları günümüzde de devam etmekte ve bu alanda yeni projeler de geliştirilmektedir.

İlk zamanlarda yapılan uygulamalar genellikle protokol yapısı (WAVE, IEEE 802.11p, DSRC) üzerine yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Şimdilerde ise ilgi mesajlaşma sistemleri ve uygulama altyapısına doğru kaymaktadır. BMW, Audi, Ford, General Motors, Daimler, Nissan, vb. birçok araba üreticisi yolcu güveliği için ATS (ITS) kullanmaktadır.

ABD'de VSC (Vehicle Safety Communication), Avrupa ülkelerinde C2C-CC, Japonya'da ASV (Advance Safety Vehicle Program) ve VII (Vehicle Infrastructure and Integration) gibi hükümet destekli uygulama projeleri bulunmaktadır.

2.6. TTA'larda Kullanılabilen Protokol Türleri

TAA'larda haberleşmeyi düzenlemek ve sağlamak üzere fiziksel katmanda, ortam erişim kontrol katmanında ve ağ katmanında birçok protokol geliştirilmiştir.

Araştırmacıların çoğu çarpışmadan kaçınmadan tümleşik bilgi servislerine kadar geniş bir yelpazede uygun bir OEK protokolü tasarımı üzerinde çalışmaktadırlar. TAA'larda iletim esnasında meydana gelebilecek çarpışmalardan sakınmak için, etkili ve güvenilir OEK protokollerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Fakat bu tür ağlardaki hızlı topoloji değişimi ve yüksek düğüm hareketliliği, çarpışmasız ve gecikmesiz ortam paylaşımını oldukça zorlaştırmaktadır [37].

OEK ve Fiziksel katmanın üstünde yer alan ağ katmanı, yönlendirme ve coğrafik adreslemeye dayalı çok atlamalı haberleşmeyi sağlar. Aynı zamanda taşıtlar arası haberleşmeye özgü olan sıkışıklık kontrolü ve taşıtların hareketiyle bilgilerin taşınması gibi fonksiyonların da çalışmasını sağlar [37]. Araştırmacılar tarafından taşıtların haberleşme ihtiyacını karşılamak üzere az yoğun ve çok yoğun ağ senaryolarında gereksinimleri karşılayacak birçok ağ katmanı yönlendirme algoritmaları ve şemaları [44–47] geliştirilmiştir. Ghori M. ve diğ. yayınlarında yönlendirme protokollerini proaktif, reaktif ve melez olmak üzere 3 gruba ayırmışlardır [48].

Yönlendirme, HAA ve TTA'larda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Birçok yönlendirme protokolü düğümler arası haberleşme için tasarlanmıştır. Yüksek hareketlilik nedeniyle TTA'larda yönlendirme, zor bir işlemdir. TTA'larda ağ yönetimi, trafik yönetimi, yayma, hareketlilik, topolojik değişme, QoS, hızlı veri transferi vb. birçok şey yönlendirme gerektirir. Yönlendirme protokolleri topoloji tabanlı, konum tabanlı, küme tabanlı, coğrafi konum tabanlı ve genel yayın (broadcast) tabanlı olmak üzere 5 gruba ayrılırlar [32].

Yönlendirme protokolleri ağ katmanında görev yapan protokoller olup bu protokoller haricinde TTA'larda düğümlerin ortama erişimini koordine eden ve ikinci katman olan veri bağı katmanında aktif olan ortam erişim kontrol protokolleri de mevcuttur. Ayrıca bu tezde üzerinde çalışılmış olan etkin bir ortam erişim kontrol protokolü tasarımı çalışmasının ana hedefini oluşturmaktadır.

2.7. TTA OEK Protokolleri

TTA'lar için tasarlanan OEK protokolleri, düğümlerin paylaşılan iletişim kanallarındaki yolunu belirlemekten ve aktif düğümlerin ortama erişimini koordine

etmekten sorumludurlar [1]. Günümüzde taşıtların birbiriyle(V2V) veya YKB ile (V2I) haberleşmesini sağlayabilen ve bunun için kablosuz bir ara yüz gerektiren iletişim teknolojileri mevcuttur. Bu iletişim teknolojileri yol güvenliğini sağlamayı, trafik verimliliğini artırmayı ve bir dizi güvenlik dışı uygulamayı etkinleştirerek sürücü ve yolcu konforunu sağlamayı amaçlamaktadır [35]. Bu tip ağlarda, merkezi koordinasyon zorluğu kablosuz bağlantıların değişken doğası, dinamik topoloji ve kısa süreli bağlantı gibi araç ortamının benzersiz özellikleri, çok kanallı koordinasyon, senkronizasyon ve erişimi zorlaştırmaktadır [49].

OEK protokolü, düğümlerin birbirlerinin kapsama alanı içinde iken aynı zaman diliminde veri iletmelerini sınırlar. Çünkü herhangi bir ön uyarı olmazsa, paket kayıplarına sebep olabilecek çarpışmalar meydana gelebilir. OEK protokolleri tüm düğümler için adil, verimli, çarpışmasız veya az çarpışmalı ve güvenilir olmalıdır. OEK protokollerinin TTA'ların öncelikli olarak şu üç temel problemi çözmesi beklenmektedir [28]:

- İletim Çarpışmaları (Transmission Collision)
- Gizli Terminal Problemi (Hidden Terminal Problem)
- Etki Altındaki Uç Düğüm Problemi (Exposed Terminal Problem)

MAC katmanı taşıt haberleşmesinde en önemli katmanlardan birisidir. Bu katman, bir ağdaki düğümler için adresleme ve kanal erişim seçenekleri sunarak düğümlerin bilgi kaybı olmadan birbirleriyle iletişim kurmasını sağlar ve ayrıca ortamı kullanırken çarpışmaları önlemeyi amaçlar [50]. Düğümlerin sık yer değiştirmesi ve hızlı hareket etmesi gibi nedenlerden dolayı geleneksel kablosuz ağlarda kullanılan MAC protokolleri VANET'lerin ihtiyacını doğrudan karşılayamamaktadırlar. Etkili bir MAC protokolü iletişim ortamını taşıtlar arasında adil ve verimli bir şekilde paylaştırmalıdır. Bu tip dinamik ağlarda iletişim kalitesini artırmak için, MAC protokolleri taşıtların hareketinden kaynaklı erişim çarpışmalarını, girişim ve gizli terminal/etki altındaki uç düğüm problemlerini göz önüne alacak yapıda olmalıdırlar [1][51].

TTA'larda etkili OEK protokolleri geliştirmede dikkate alınması gereken ve tasarımın başarımını doğrudan etkileyen bir takım zorluklardan bahsedilebilir. TTA OEK

protokollerinde karşılaşılabilecek zorluklar, yüksek hız, sık değişen ağ topolojisi, merkezi koordinasyon eksikliği, ölçeklenebilirlik, yayım desteği, gizli ve etki altında kalmış uç düğüm problemleri, farklı QoS gereksinimleri, zaman senkronizasyonu, çoklu kanal işlemleri ve ardışık kanal girişimi olarak sıralanabilir [52]. Bu zorlukların her biri OEK tasarımında başarımı etkilemekte ve protokolün verimliliğine doğrudan olumlu veya olumsuz katkıda bulunmaktadır. Başarılı bir OEK tasarımında bu parametrelerin dikkate alınarak incelenmesi ve bunları iyileştirecek çalışmaların yapılması gerekmektedir.

TTA OEK protokollerinin başarım ölçütleri diğer birçok kablosuz ağ yapısında olduğu gibi OEK protokolleri arasında karşılaştırma yapabilmek açısından önem arz etmektedir. Bir TTA OEK protokolünün başarımını ölçebilecek faktörler, erişim gecikmesi (access delay), paket kayıp oranı (packet loss ratio), iş çıkarma oranı (throughput), adalet (fairness), stabilite (stability), güvenlik uygulamaları desteği (safety applications), kullanıcı odaklı uygulama desteği (user applications) olarak sıralanabilirler [52].

2.8. TTA OEK Protokollerinin Sınıflandırılması

TTA OEK protokolleri çeşitli yayınlarda benzer şekilde sınıflandırılmışlardır. Park, K. ve diğ. [53]'te TTA OEK protokollerini TDMA Tabanlı, DSRC Tabanlı ve Yönlü Anten Tabanlı (Directional Antenna Based) olarak 3 sınıfa ayırmışlardır.

Jain, D. ve Shrivastava, G. [54]'te OEK protokollerini, Çekişme tabanlı (Contention-based) ve Çekişmesiz (Contention-free) yaklaşımlar olarak sınıflandırmışlardır.

Shukla, N. ve diğ. [28]'de TTA OEK protokollerini, IEEE 802.11p, AdHoc OEK Protokolleri, Yönlü Anten ve TDMA/ FDMA/ CDMA kullanan geliştirilmiş OEK Protokolleri olarak sınıflamışlardır.

Bibhu, V. ve Singh, D. K. OEK protokollerini, IEEE 802.11 MAC, IEEE 802.11p WAVE, AdHoc MAC ve Directional Antenna Based MAC olarak sınıflamışlardır [55].

Yanamandram, S. ve Shahnasser, H. [50]'da DSRC tabanlı OEK protokollerini incelemiş ve bu protokolleri, IEEE 802.11 OEK Katmanı, AdHoc OEK Protokolü ve Yönlü Anten Tabanlı OEK Protokolü olarak sınıflandırmışlardır.

Menauar, F. ve diğ. [56]'da, [50]'ye benzer bir sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir. TTA OEK Protokolleri için en kapsamlı ve uygun sınıflandırma Gillani, S. ve dig. tarafından "Vehicular Ad-hoc Networks for Smart Cities" isimli kitapta gerçekleştirilmiştir [1]. Söz konusu kaynaktaki sınıflandırmaya göre TTA OEK protokolleri:

- Çekişme Tabanlı OEK Protokolleri (Contention - based MAC Protocols)
- Gecikme kısıtlı / Çekişmesiz OEK Protokolleri (Delay Bounded / Contention Free MAC protocols)
- Melez OEK Protokolleri (Hybrid MAC Protocols)

şeklinde sınıflandırılmıştır.

2.8.1. Çekişme Tabanlı OEK Protokolleri

Çekişme tabanlı protokollerde, düğümler kanal erişimi için çekişmek zorundadırlar. En meşhur örneği olan CSMA protokolünde mücadeleyi kazanan düğüm, kendine atanan zaman diliminde paylaşılan ortamı kullanarak verisini gönderir. Bu tür protokollerde gecikme kaygısı yoktur. Dolayısıyla gerçek zamanlı güvenlik mesajlarının iletilmesi garanti edilemez. Bu protokollerin, patlamalı ağ trafiğinin olduğu durumlarda kullanışlı olduğu bilinmektedir. Çoklu ortam ve gerçek zamanlı veri trafiği için ise yeterince uygun görülmemektedirler. Çok kullanıcılı durumlarda, bu ağların verimliliği azalır. Artan yoğunlukla birlikte meydana gelen çarpışmalar önemli gecikmelere sebep olabilir. Güvenlik ile ilgili uygulamalarda, TTA OEK protokollerinin ortama erişim gecikmesini düşürmesi beklenmektedir.

2.8.2. Gecikme Kısıtlı / Çekişmesiz OEK Protokolleri

Çekişmesiz veya kontrollü erişim protokollerinde iletişim ortamına erişim, TDMA ve FDMA mekanizmalarında olduğu gibi, daha önceden tahsis edilmiş olarak gerçekleşir. Farklı TDMA tabanlı protokoller, zaman dilimlerini atamak için farklı metotlar

kullanmaktadırlar. Belirli bir zaman dilimi atama yaklaşımının hattın verimli kullanımını olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bununla birlikte girişim problemini ortadan kaldırarak güvenli haberleşmeye olanak sağlayabilen bu yaklaşımlar, OEK protokollerinde bazı servis kalitesi parametrelerini garanti edebilir. Bu protokollerin kusuru, düğümler arasında adil kanal dağıtımını sağlayacak merkezi bir sorumlunun olma gereksinimidir. Çekişmesiz protokoller QoS gereksinimlerini karşılayabilirler, fakat TTA'ların kendine has karakteristiklerine bağlı olarak, ağdaki düğümler arasında yüksek seviyeli bir koordinasyona ihtiyaç duyulabilir.

2.8.3. Melez OEK Protokolleri

Zamanlama ve çekişme tabanlı erişim yaklaşımları gibi birden fazla erişim metodunun bir arada kullanıldığı OEK protokolleridir. Örneğin, kontrol ortamına erişim için bazı durumlarda TDMA, bazı durumlarda CSMA/CA, bazı durumlarda farklı frekans kanallarını ağdaki düğümlere kullandırmayı hedefleyen, FDMA erişim metotlarının birlikte kullanıldığı OEK protokolü türleri melez olarak ifade edilebilir. Kullanılan erişim mekanizmalarının olumlu yönlerinin alınması, olumsuz yönlerinin en aza indirilmesi ile geliştirilirler. Örneğin çekişme tabanlı erişim yönteminin olaylara hızlı tepki verme yönü alınarak boşta dinlemedeki fazla enerji tüketimi zamanlama tabanlı erişim ile azaltılabilir.

OEK protokollerinin uygulama tabanlı olması, uygun yapıların birkaçının birlikte kullanılması gerekliliğini de beraberinde getirir. Melez yapılı sistemler kullanılarak zamanlama tabanlı yöntem hızlı tepki isteyen uygulamalarda, çekişme tabanlı yöntem de yoğun trafiğin olduğu uygulamalarda kullanılabilmektedirler.

Çekişme tabanlı sistemlerin patlamalı trafiğe sahip ağlardaki faydalı yanlarının kullanılması ve çekişmesiz protokollerin kanal tahsisi, atanmış iletişim yolu gibi gerçek zamanlı iletişime katkı sağlayan özelliklerinin kullanılması ile melez protokoller ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM 3

REZERVASYON TABANLI MELEZ OEK PROTOKOLÜ (ReMAC) TASARIMI

3.1. Giriş

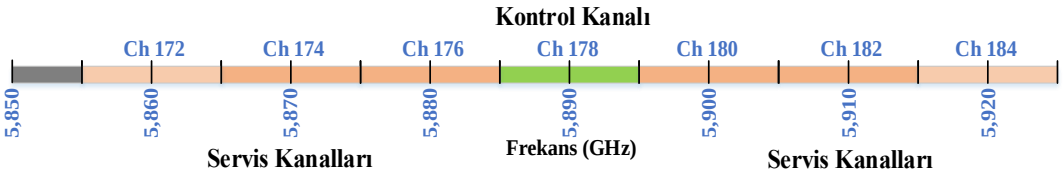
Bu bölümde tasarlanmış olan ReMAC protokolü ve temel özellikleri sunulmaktadır. ReMAC protokolü çok kanallı iletişimi destekleyen, ortam erişimi olarak melez bir erişim yöntemi kullanan, ağdaki taşıtlar için yapılan iletişim kanalı tahsislerini rezervasyona dayalı ve yön parametresini dikkate alarak önceden gerçekleştiren bu yolla ağın hızlı organize olmasına katkı sağlayan bir yöntem benimsemektedir. Gerçekleştirilen OEK tasarımında TTA'ların karakteristik özellikleri olan hızlı yer değiştirme, sık yaşanan ağ kopmaları, çok ani değişebilen ağ topolojisi ve ağın devamlılığının sürdürülebilme zorlukları göz önüne alınarak, hızlı kanal tahsisi yapabilen, etkili kanal kullanımı sunan, iş başarımı ve verimliliği ön planda tutan bir yaklaşımla ağ yönetimini sağlamak hedeflenmiştir. Bu bağlamda oluşturulan protokol algoritması olumsuzlukları ele alabilen, temel TTA zorluklarına çözüm sunan veya çözümü geliştiren bir yapıda tasarlanmıştır.

3.2. ReMAC Protokol Algoritması ve Bileşenleri

Çalışmada kullanılan tasarımda çok hızlı hareketin söz konusu olması, ağın topolojisinin çabuk değişmesi, düğümlerin ağda kalma sürelerinin kısa olması gibi nedenlerle hızlı organize olma, ağa çabuk katılma, ağdaki değişikliklerin erken fark edilmesi önem arz etmektedir. Bundan dolayı ağın merkezi olarak bir birim tarafından yönetildiği, kanal tahsis ve yönetim işlemlerinin tek elden yürütüldüğü Yol Kenarı Birimi (YKB – RSU) ve hızlı hareket eden düğümlerden oluşan bir ağ yapısının olduğu varsayılmıştır. Fakat YKB'lerin her zaman aktif olması, iletişim kopukluğunun az yaşanması da ele alınması gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. YKB ile haberleşirken bir algoritma kullanılması, YKB bağlantı sorunlarının olması

durumunda da farklı alternatifleri olan algoritmaların tasarlanması gerektiği düşünülmüş ve buna göre bir tasarım gerçekleştirilmiştir.

Düğümlerin ağa katılması senaryosunda dinamik veya duruma göre sabit boyutlu çerçeveler kullanılmıştır. Bu tip çalışmalarda genellikle düğümlerin ağa katılımı kurulum ve iletim aşaması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Kurulum aşamasında komşu tanıma, TDMA zaman dilimi tahsisi veya frekans kanalı tahsisi gibi işlemler yapılmakta, iletim aşamasında ise hazırlanmış iletişim kanalından veri iletimi gerçekleştirilmektedir. Söz konusu çalışmada da algoritma bu aşamalar dikkate alınarak tasarlanmıştır. TTA'larda genel itibarı ile taşıtların hareket yönü belirli olup buna bağlı olarak taşıtların ulaşacakları (özellikle YKB merkezli bir ağda) sonraki istasyon bilinmektedir. Bu nedenle, taşıtın önceki istasyondaki zamanlama ve kanal tahsis bilgisinin, sonraki istasyonun kapsama alanına girmeden önce sonraki istasyona aktarılabilmesi ve bu yolla önceden kanal tahsisi veya zamanlamanın yapılabilmesi ile önemli bir zaman kazanımı ve hızlı organize olma adına kayda değer bir iyileştirme sağlayabileceği düşünülerek algoritma tasarımı bu altyapı üzerine yani yön ve rezervasyon konsepti üzerine geliştirilmiştir. Çalışmamızda çok kanallı yapıyı sağlamak üzere DSRC standardı kullanılmıştır. Taşıt ağları özel frekans bandı, enerji kısıtı olmaması gibi özellikleri ile diğer kablosuz haberleşme ağlarından ayrılmaktadır [57]. Taşıt kullanıcılarının konfor ve güvenlik taleplerinin artması üreticilerin bu alanlarda önemli çalışmalar yapmasını tetiklemiştir. Taşıt haberleşmesinin önü Amerikan Federal İletişim Komisyonu'nun (FCC) 5 GHz spektrumunda 75 MHz'lik bir bandı DSRC için ayırması ile açılmıştır [49]. Taşıt ağları için protokol yığını, araçlar arasında ve araçlarla sabit YKB arasındaki iletişimle farklı özelliklerini göz önünde bulundurarak ilgilenmek zorundadır. VANET'i kurmak için herhangi bir koordinasyon veya önceden yapılandırma olmadığından, protokol tasarımında çeşitli zorluklar vardır [41]. Bu zorlukları aşmak için geliştirilmiş olan DSRC standardı Kablosuz LAN'lar için daha önceki standartlara dayalı olarak tasarlanmış IEEE 802.11p WAVE olarak ta bilinir [58]. DSRC'de frekans bandı her biri 10 MHz genişlikli altı servis kanalı (SCH) ve bir kontrol kanalına(CCH) bölünmüştür. Şekil 3.1 'de VANET'lerde kullanılan DSRC frekans yerleşimi görülmektedir.



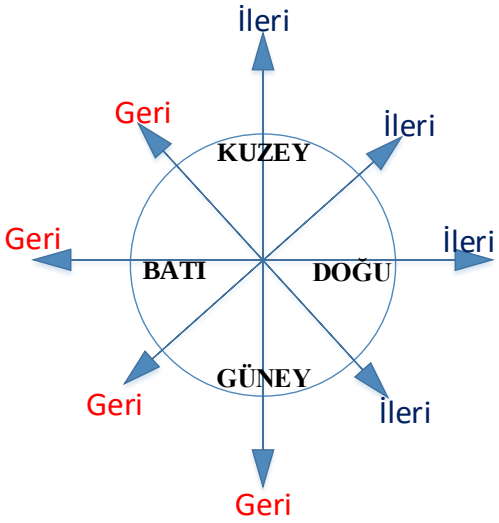
Şekil 3.1 DSRC Spektrumu ve kanalları [59]

DSRC standardı, 300 m'den 1 km'ye kadar bir iletişim mesafesi sağlar. V2V ve V2I iletişim bu aralıkta gerçekleşir. Standart, yarı - iki yönlü olup, 6-27 Mbps veri aktarım hızı sağlamaktadır [30].

Bu tez çalışmasında taşıtların ağa girme ve erken organize olma işlemlerini kolay gerçekleştirmeyi sağlayan ReMAC protokolü tasarlanmıştır. Protokolün ana hedefleri araçların çok kanallı ve karma medya erişim yöntemiyle ağa bağlanmasını sağlamak, kanal erişim çarpışmalarını ve girişimleri en aza indirmek, ağı hızla organize etmek, kanalları araç yönüne göre atamak ve erişim gecikmelerini en aza indirmek olarak sıralanabilir. ReMAC protokol senaryosunun farklı hızlarda ve iki farklı yönde hareket edebilen taşıtlar, çok şeritli iki yönlü bir otoyol ve bu otoyol boyunca belli aralıklarla yerleştirilmiş YKB'lerden oluştuğu varsayılmıştır. Önerilen protokol YKB ağına bağlanmış taşıtların yön bilgisine bakarak bir sonraki YKB'yi belirlemekte ve taşıt sonraki YKB'nin kapsama alanına girmeden önce sonraki istasyonda taşıt için kanal ataması yapılmasını sağlamaktadır. Böylece taşıt bir sonraki YKB'de hangi kanalları kullanacağını önceden bilerek kapsama alanına girmektedir. Dolayısı ile ilk YKB'den sonraki tüm YKB'lerin kapsama alanına girerken herhangi bir kanal isteme yordamı çalışmamakta, taşıt ağa bağlanmak için çekişme yapmamakta ve herhangi bir ağa katılma gecikmesi yaşanmamaktadır. Ağın yönetim ve organizasyonundan sorumlu olan YKB, kanal yerleşimlerini organize edip, taşıtlara duyurmaktadır. DSRC kanalları daha fazla taşıta atanmış kanal sağlamak üzere FDMA ile alt kanallara bölünmüştür. YKB, servis kanalı atamalarını bu kanallardan yapmaktadır. Ayrıca faklı yönlerde hareket eden taşıtlara atanmak üzere bu kanallar birbirine komşu olmayan iki faklı grup olarak kullanılmaktadır. Böylece farklı yönlere giden taşıtların kanal girişimlerinin azaltılması hedeflenmektedir. Taşıt sayısı ayrılmış kanal sayısından

fazla olması durumunda ise “en az kullanılan kanal” tespit edilerek bu kanal TDMA yöntemi ile zaman dilimlerine ayrılmaktadır. TDMA sayesinde kanalın birden fazla taşıt tarafından kullanımı sağlanmakta, zaman dilimi sayısı dinamik hale getirilerek ağa dâhil olabilecek maksimum taşıt sayısı da artırılmaktadır. DSRC standardında 178 numaralı kanal kontrol kanalıdır (CCH). Tasarlanan protokolde de bu kanal kontrol amaçlı kullanılmaktadır ancak, farklı kontrol işlemleri için alt kanallara bölünerek kontrol sinyallerini taşımak üzere organize edilmiştir.

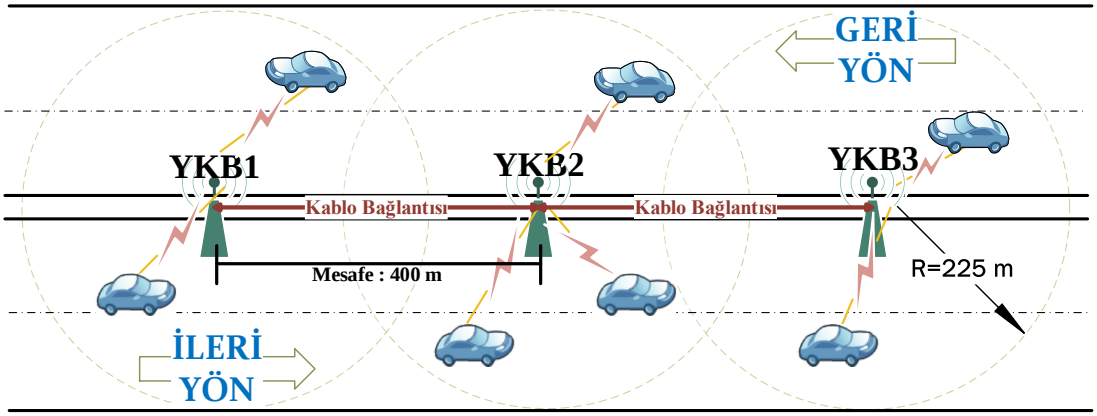
TTA’larda taşıtlar hızlı hareket ettiklerinden ağa giriş ve çıkışları arasındaki zaman oldukça kısa olmaktadır. Bu kısa süre içerisinde taşıtların ağa dâhil olup yeniden organize olması oldukça önemli bir görevdir. Ağın yöneticisi olan YKB’ler taşıtlara kanal tahsislerini bu kısa süre içinde yapabilecek ve ağın devamlılığını sağlayabilecek bir MAC protokolüne sahip olmalıdırlar. Bu bağlamda ağın koordinasyonu, devamlılığı, girişim ve çarpışmaların azaltılması, ağa erişim gecikmesinin azaltılması, yoğun taşıt trafiğinin kotarılması gibi parametreler OEK protokolü ile yakından ilgilidir. TTA’ların önemli problemlerinden olan gizli terminal probleminden dolayı iletim ortamına erişimi sağlayan CSMA metodu ağın performansında düşüşlere sebep olmaktadır. Bu problemi aşmak için araştırmacılar CSMA’ya bir alternatif olarak TDMA yöntemini geliştirmişlerdir. Ne var ki TDMA tabanlı protokoller iyi kurgulanmadıklarında ağın performansına negatif etki eden erişim ve girişim problemleri ile karşılaşılmaktadır [26]. Bu gibi performans düşüklüklerinin önüne geçmek için araştırmacılar tarafından ihtiyaç durumuna göre farklı erişim yöntemleri birlikte kullanılmakta, çok kanallı erişim imkânlarından faydalanılmaktadır. Üzerinde çalışılan sistem iki yönlü hızlı taşıt trafiğinin olduğu bir yolda, belli aralıklarla birbirine kablolu olarak bağlanmış YKB’lerden oluşmaktadır. Taşıt hareketleri iki yönlü olup, çalışmamızda ileri yön ve geri yön olarak ifade edilmektedir. Çalışmada kullanılan yönler VeMAC [20] çalışmasındakine benzer olarak alınmış olup, ***ileri*** yön ***sağ*** yönü, ***geri*** yön ise ***sol*** yönü ifade etmektedir. Şekil 3.2’de önerilen protokole ait taşıt yönleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Taşıt hareket yönleri

YKB'ler sabit istasyon olarak tanımlanmıştır ve her biri tekil bir kimlik numarasına (ID) sahiptirler. İletişimin sorunsuz ve hızlı olması için YKB'lerin birbirleri ile kablolu ara yüz üzerinden haberleştikleri varsayılmaktadır. Bir YKB komşu YKB'lerin ağlarına bağlanmak ve kontrol haberleşmesini sağlamak üzere iki adet kablolu ara yüze, taşıtlarla haberleşmek üzere de bir adet kablosuz ara yüze sahiptir.

Taşıtlar ağda hareket halindeki mobil düğümlerdir, konum bilgilerini elde edip paylaşabilmek için bir GPS cihazı ve haberleşmek üzere iki adet kablosuz ara yüz ile donatıldıkları varsayılmıştır. Taşıtlar ve YKB'ler kablosuz alıcı/vericilerde DSRC frekanslarını kullanarak birbirleriyle haberleşmektedirler. Taşıtlarda bulunan iki adet alıcı/vericiden biri sadece kontrol haberleşmesini sağlamak üzere CCH kanalını dinlemekte, diğeri ise bilgi ve eğlence hizmetleri için servis kanallarını dinlemektedir. Çarpışmasız kanal erişimini ve güvenilir paket iletimini sağlamak üzere DSRC kanalları önce FDMA ile eşit bant genişlikli alt frekans kanallarına, bu kanalların yetersiz kalması durumunda da her bir alt kanal TDMA ile zaman dilimlerine ayrılmaktadır. Servis kanallarında bu zaman dilimlerinin sayısı kanalı kullanan taşıt sayısına göre dinamik olarak ayarlanmaktadır. Protokolün tasarlandığı temsili ağ yapısı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Temsili ağ yapısı

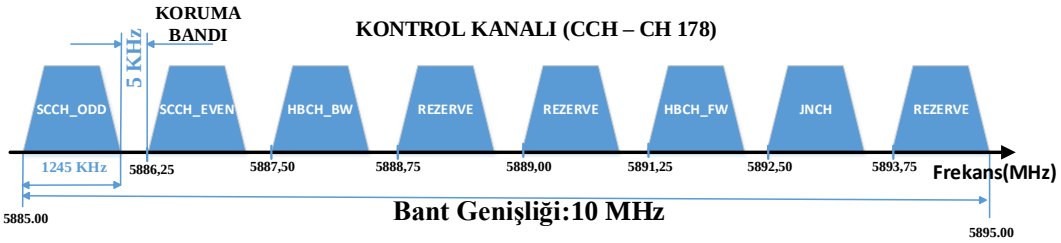
Kontrol kanalında zaman dilimleri atanırken iki tür iletim çarpışması olabilir. Bunlar ortam erişim ve birleşim çarpışmalarıdır. Erişim çarpışması iki ayrı taşıtın ağa dahil olabilmek için aynı zaman dilimini istemesi ile gerçekleşirken, birleşme çarpışmaları iki atlamalı komşuluktaki taşıtların ağa dahil olduktan sonra aynı zaman dilimini kullanmak istemeleri üzerine gerçekleşir [60].

ReMAC protokolü yön parametresini dikkate alarak karşılıklı yönlerden gelen taşıtların birbirlerinin kanallarını kullanmasını engellemek ve kanal girişimlerini önlemek üzere farklı yönlerdeki taşıtlar için birbirine komşu olmayan frekans kanallarını kullanmayı öngörmektedir. Ayrıca kontrol kanalında girişim ve çarpışmayı önlemek üzere CCH kanalı alt kanallara bölünmüştür.

3.2.1. Kontrol ve Servis Kanalı Organizasyonu

DSRC'de varsayılan olarak kontrol sinyalizasyonu için tanımlanmış olan CCH, ReMAC protokolünde de kontrol haberleşmesini sağlamak üzere kullanılmaktadır. Her iki yönden gelen taşıtlar ağ katılım isteklerini YKB'ye göndermek, durumları ile ilgili anlık bilgilendirme yapabilmek, hala ağda ve aktif olduklarını bildirmek üzere kontrol kanalını kullanmaktadırlar. Ayrıca, YKB'ler araçların kanal talebini almak, araç kalp atışlarını dinlemek ve araçlara atanan kanal bilgilerini iletmek için aynı kontrol kanalını kullanmaktadır. Hem taşıtlar hem de YKB'ler kontrol kanalını sürekli olarak kablosuz alıcı ile dinlemektedirler. 10 MHz bant genişliğine sahip olan kontrol

kanalı söz konusu farklı hizmetleri yerine getirebilmek üzere 8 alt frekans kanalına bölünmüştür. Bu frekans kanalları birbirlerinden 5 KHz'lik birer koruma bandı (guard band) ile ayrılmışlardır (Şekil 3.4).



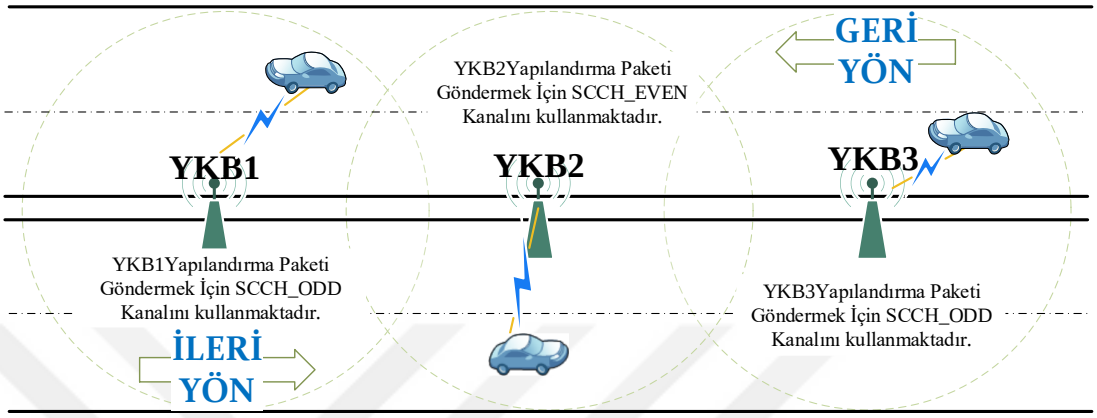
Şekil 3.4 Alt kanallara ayrılmış kontrol kanalı yapısı

Şekil 3.4'ten de görüldüğü üzere CCH, FDMA ile 1 adet ağa katılma kanalı (JNCH), 2 adet yapılandırma kanalı (SCCH_ODD, SCCH_EVEN), 2 adet kalp atışı sinyali kanalı (HBCH_BW, HBCH_FW) ve 3 adet ayrılmış kanal (REZERVE) olmak üzere 8 alt kanala bölünmüştür.

JNCH kanalı tüm taşıtların ilk kez ağa girecekleri zaman kullandıkları çekişmeli bir kanaldır. Ağa katılmak isteyen taşıtlar ağa katılma isteklerini YKB'ye JNCH üzerinden önerilen protokolde tanımlanmış CSMA mekanizmasını kullanarak göndermektedirler. Bu kanal sadece ağa katılma işlemi sırasında ağa katılım istek paketlerini göndermek için kullanılmakta olup, ağa katılım gerçekleştikten sonra taşıtlar bu kanalı kullanmayı bırakmaktadırlar. Böylece ağa katılmak isteyen yeni taşıtlar için kanal boşaltılmaktadır. JNCH kanalında kanal isteklerini göndermek üzere taşıtlar için ayrılmış 8 ms çerçeve boyutuna sahip, her biri 0,16 ms büyüklüğünde 50 adet zaman dilimi tanımlanmıştır. Ağa katılmak isteyen her düğüm yönüne bakılmaksızın istediği anda kanalı kullanabilmektedir. Fakat bunun için OEK protokolü içerisinde tanımlanmış olan CSMA algoritmasını kullanarak slot için çekişme yapması gerekir.

SCCH ODD ve SCCH_EVEN kanalları YKB'lerin taşıtlara atanmış kanal bilgilerini (VCAPSingle, VCAPALL), YKB kalp atışı sinyallerini (RSU_HB) ve taşıtın ağdan düştüğünü bildiren paketi (VLEAVE) göndermek için kullanılan kanallardır. Bu

kanallar girişim olmaması için komşu YKB'lerin farklı kanalları kullanmalarını sağlamak üzere iki ayrı kanal şeklinde organize edilmişlerdir. Kimlik numarası tek olan YKB'ler SCCH_ODD kanalını, çift olanlar ise SCCH_EVEN kanalını kullanmaktadırlar (Şekil 3.5).

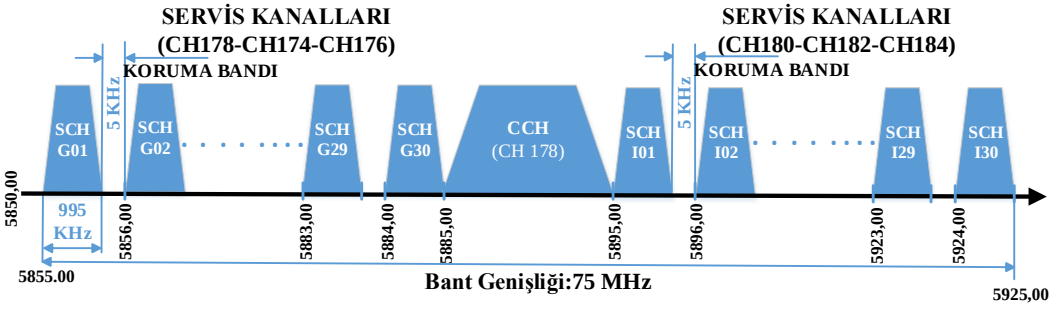


Şekil 3.5 SCCH kanalları kullanım şekli

Bir taşıt kanal isteğini JNCH üzerinden YKB'ye gönderdikten sonra YKB taşıt için uygun kanal atamasını gerçekleştirerek kendisine ayrılmış SCCH kanalından yapılandırma paketini taşıta gönderir. Bundan dolayı Tüm taşıtlar hem SCCH_ODD hem de SCCH_EVEN kanallarını dinlemektedirler. Taşıt bu kanallardan birisinden kendisine gelen yapılandırma paketini alıp kendisini atanmış kanallara ayarlayarak ağa katılmış olur.

Taşıtlar ağa katılımı gerçekleştirdikten sonra ağda olduklarını bildirmek üzere bir VHC_HB gönderirler. Bu paketi alan YKB taşıtın hala kapsama alanında olduğunu anlar ve atanmış servis kanallarının korunmasını sağlar. Ağa katılmayı tamamlayan taşıt, JNCH kanalını kullanmayı bırakarak, bu aşamadan sonra yönüne bağlı olarak kendisine atanmış kalp atışı kanalını kullanır (geri yönüne giden taşıtlar için HBCH_BW ve ileri yönünde hareket eden taşıtlar için HBCH_FW). Taşıtlar bu kanallara geçtikten sonra kendisine atanmış zaman diliminde kalp atışı paketlerini YKB'ye gönderir. Rezerve kanallar ise ileride ortaya çıkabilecek işlemlerde kullanılmak üzere boş bırakılmış kanallardır.

DSRC'de tanımlı CCH haricindeki diğer 10MHz'lik 6 kanal servis kanallarıdır (SCH). Önerilen protokolde multimedya servisleri ve diğer servis hizmetleri için taşıtlar veri kanalı olarak bu kanalları kullanmaktadırlar. Farklı yönlerde hareket eden taşıtlarda girişim ve çarpışmaları önlemek üzere kontrol kanalından önceki 172, 174 ve 176 numaralı kanallar geri yönüne doğru hareket eden taşıtların kullanımı için, CCH'den sonraki 180, 182, 184 numaralı kanallar ise ileri yönüne hareket eden taşıtların kullanımı için ayrılmıştır. Ayrıca hızlı/ etkili veri transferi sağlamak ve taşıtlara adanmış kanal sayısını artırmak üzere her bir servis kanalı FDMA ile 10 alt kanala bölünmüştür. Her alt kanal 995 KHz bant genişliğine sahiptir ve komşu iki alt kanal arasında 5 KHz'lik koruma bandı bulunmaktadır (Şekil 3.6). Böylece her bir yönde 30'ar adet olmak üzere toplamda 60 taşıta adanmış veri kanalı sunabilecek bir yapı kurulmuştur. Senaryomuza göre bir YKB'nin kapsama alanı yarıçapının 225 m olduğu göz önüne alındığında ve yüksek hızla hareket etmekte olan taşıtlardan 60 tanesinin aynı anda bir YKB'nin kapsama alanında olması ihtimali düşünüldüğünde, bu sayının kabul edilebilir bir sayı olduğu söylenebilir. Taşıt sayısının bu sayıdan fazla olması durumunda ise her bir alt kanal TDMA ile zaman dilimlerine ayrılmaktadır. Kanallarda uygulanan TDMA dinamik olarak yapılmakta, ihtiyaç oldukça kanallarda zaman bölmesi en az kullanılan kanal tespit edilerek yapılmaktadır. Böylece adil kanal kullanımı ve kanal doluluk oranı gözetilerek daha verimli bir kanal kullanımı sağlanmaktadır.



Şekil 3.6 Alt kanallara ayrılmış servis kanalları yapısı

Protokol tasarımında kullanılan frekans kanalları yukarıda da değinildiği üzere DSRC standardındaki 5,9 GHz bandındaki 75 MHz'lik bir frekans aralığıdır. Bu frekanslar yüksek frekanslar olduğundan orta mesafeli ağlarda hızlı ve etkili bir veri iletim

performansı sağlamaktadır. Bu amaçla tezde orta mesafeli bir iletişim standardı olan DSRC standardı seçilmiştir. Bu standarda ait frekans kanalları temel alınarak protokole özel olarak ihtiyaçlar doğrultusunda alt frekans kanallarına bölünerek kullanılmışlardır. DSRC uyumlu olarak tasarlanan ReMAC protokolünde kullanılan kontrol ve servis kanallarına ait ayrıntılı tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1 ReMAC frekans kanalları tablosu

	Kanal No	**Kanal İsmi**		**Frekans Aralığı(KHz)**		**Açıklama**
1	**CH172**	**GERİ YÖN SERVİS KANALI_1**	G01	5855,0000	5855,9950	Geri yönüne hareket eden taşıtlara atanmak üzere ayarlanmış veri kanallarıdır. DSRC'nin 172, 174 ve 176 numaralı 10 MHz'lik ilk üç kanalı her biri 995 KHz büyüklüğünde ve birbirinden 5 KHz'lik koruma bantları ile ayrılan toplam 30 adet alt frekans kanalına bölünmüştür. Bu kanallar sayesinde geri yönüne giden 30 adet taşıta adanmış veri iletim kanalı atanabilmektedir. Taşıt sayısı 30'dan fazla olması durumunda da en az kullanılan kanaldan başlamak üzere TDMA ile zaman dilimlemesi yapılarak bir yönde ki dinamik sayıda taşıtın ağa katılabilmesi sağlanmaktadır.
2			G02	5856,0000	5856,9950	
3			G03	5857,0000	5857,9950	
4			G04	5858,0000	5858,9950	
5			G05	5859,0000	5859,9950	
6			G06	5860,0000	5860,9950	
7			G07	5861,0000	5861,9950	
8			G08	5862,0000	5862,9950	
9			G09	5863,0000	5863,9950	
10			G10	5864,0000	5864,9950	
11	**CH174**	**GERİ YÖN SERVİS KANALI_2**	G11	5865,0000	5865,9950	
12			G12	5866,0000	5866,9950	
13			G13	5867,0000	5867,9950	
14			G14	5868,0000	5868,9950	
15			G15	5869,0000	5869,9950	
16			G16	5870,0000	5870,9950	
17			G17	5871,0000	5871,9950	
18			G18	5872,0000	5872,9950	
19			G19	5873,0000	5873,9950	
20			G20	5874,0000	5874,9950	
21	**CH176**	**GERİ YÖN SERVİS KANALI_3**	G21	5875,0000	5875,9950	
22			G22	5876,0000	5876,9950	
23			G23	5877,0000	5877,9950	
24			G24	5878,0000	5878,9950	
25			G25	5879,0000	5879,9950	
26			G26	5880,0000	5880,9950	
27			G27	5881,0000	5881,9950	
28			G28	5882,0000	5882,9950	
29			G29	5883,0000	5883,9950	
30			G30	5884,0000	5884,9950	

Tablo 3.1 (devam): ReMAC frekans kanalları tablosu

	Kanal No	Kanal İsmi		Frekans Aralığı(KHz)		Açıklama
31	CH178	KONTROL KANALI	SCCH_1	5885,0000	5886,2450	178 numaralı DSRC kanalı kontrol kanalıdır ve faklı işlemleri eş zamanlı yapabilmek üzere her biri 1245 KHz büyüklüğünde ve birbirinden 5 KHz'lik koruma bantlarıyla ayrılan 8 adet alt frekans kanalına bölünmüştür.
32			SCCH_2	5886,2500	5887,4950	
33			HBCH_1	5887,5000	5888,7450	
34			HBCH_2	5888,7500	5889,9950	
35			REZERVE	5890,0000	5891,2450	
36			REZERVE	5891,2500	5892,4950	
37			JNCH	5892,5000	5893,7450	
38			REZERVE	5893,7500	5894,9950	
39	CH180	İLERİ YÖN SERVİS KANALI_1	I01	5895,0000	5895,9950	DSRC'nin 180, 182 ve 184 numaralı kanalları servis kanalları olup, ReMAC protokolünde ileri yönüne giden taşıtlara veri iletim kanalı olarak atanan kanallarıdır. Bu kanallarda diğer servis kanalları gibi FDMA ile bölünmüş her biri 995 KHZ genişlikli 30 adet alt frekans kanalı olarak organize edilmişlerdir. İleri yönüne giden taşıtlara veri kanalı olarak atanmaktadırlar, yine ileri yönüne giden taşıt sayısının 30'dan fazla olması durumunda en az kullanılan kanaldan başlanmak üzere TDMA ile zamanda bölme yapılmaktadır.
40			I02	5896,0000	5896,9950	
41			I03	5897,0000	5897,9950	
42			I04	5898,0000	5898,9950	
43			I05	5899,0000	5899,9950	
44			I06	5900,0000	5900,9950	
45			I07	5901,0000	5901,9950	
46			I08	5902,0000	5902,9950	
47			I09	5903,0000	5903,9950	
48			I10	5904,0000	5904,9950	
49	CH182	İLERİ YÖN SERVİS KANALI_2	I11	5905,0000	5905,9950	
50			I12	5906,0000	5906,9950	
51			I13	5907,0000	5907,9950	
52			I14	5908,0000	5908,9950	
53			I15	5909,0000	5909,9950	
54			I16	5910,0000	5910,9950	
55			I17	5911,0000	5911,9950	
56			I18	5912,0000	5912,9950	
57			I19	5913,0000	5913,9950	
58			I20	5914,0000	5914,9950	
59	CH184	İLERİ YÖN SERVİS	I21	5915,0000	5915,9950	
60			I22	5916,0000	5916,9950	
61			I23	5917,0000	5917,9950	
62			I24	5918,0000	5918,9950	
63			I25	5919,0000	5919,9950	

Tablo 3.1 (devam): ReMAC frekans kanalları tablosu

	Kanal No	Kanal İsmi		Frekans Aralığı(KHz)		Açıklama
64			I26	5920,0000	5920,9950	
65			I27	5921,0000	5921,9950	
66			I28	5922,0000	5922,9950	
67			I29	5923,0000	5923,9950	
68			I30	5924,0000	5924,9950	

3.2.2. Kanal ve Zaman Dilimi Atama mekanizması

Gerçekleştirilen ReMAC protokolü YKB tarafından merkezi olarak yönetilen bir ağdaki taşıtlara kontrol ve servis kanallarını yön bilgisine bağlı olarak rezervasyon yöntemini kullanarak atayan ve kanal erişimlerini melez olarak gerçekleştirilen bir protokoldür. Taşıtlar ve YKB'lerin ağdaki davranışları şöyledir:

Ağ yönetim birimi olan YKB'ler birbirleri ile kablolu, taşıtlar ile kablosuz olarak haberleşmektedirler. YKB ilk uyandığı anda öncelikle dinleyeceği frekans kanallarını hazır hale getirmektedir. Bu aşamada RSU 8 kontrol alt kanalını ve 60 servis kanalını dinlemek üzere kendisini ayarlamaktadır. Ayrıca ağa dahil olacak taşıtların kanal atama bilgilerini tutmak üzere bir taşıt kanal atama tablosu (VCAT) oluşturur. Bu tabloda YKB'nin kapsama alanına girmiş veya girecek olan taşıtlara atanmış olan kontrol kanalı zaman dilimi bilgileri ve servis kanalı bilgileri tutulacaktır. Bir YKB, uyanık olduğu süre zarfında belli aralıklarla tüm taşıtların alabileceği RSU_HB paketini ağda yaymaktadır. Ayrıca JNCH kanalını dinleyerek ağa katılmak isteyen taşıtların katılım isteklerini almaktadır.

Taşıtlar ise ilk uyandıklarında radyo kanallarından birsini kontrol kanalını dinlemek üzere ayarlamakta, diğer radyosunu da veri haberleşmesi için her taşıta varsayılan olarak atanan veri kanalına ayarlamaktadır. İletişim kanallarını başlatan bir araç, çekişmeli kanal JNCH üzerinden CSMA yöntemini kullanarak YKB'ye taşıt durum bilgi paketleri (VSIP) göndermeye başlar. Böylece YKB'den kanal isteğinde bulunmuş olur. JNCH kanalını dinlemekte olan YKB, gelen VSIP paketlerini kontrol ederek kanal isteği yapan taşıtın yönüne uygun kanal grubundan bir veri kanalı ve uygun kalp atışı kanalından bir zaman dilimi ataması yapar. Bu atama bilgilerini kendi

üzerinde bulunan VCAT tablosuna yazar, hedefi istek yapan taşıt olan bir YKB Olay Paketi (RSUEP) hazırlar. Bu paketin *content_type* alanına "10" yazar, atanmış kanal bilgilerini (VCAPSingle) content alanına yerleştirir ve kendisine atanmış olan SCCH kanalından taşıta gönderir. YKB kendi ağına dahil olan bir taşıtın ağda olduğunu ondan gelen kalp atışı paketleriyle anlamaktadır. Gelen her kalp atışından sonra taşıtın VCAT tablosundaki varlığını teyit eder ve bilgilerini günceller ve gerekirse sonraki YKB'den bu taşıt için kanal rezervasyonu ister. Ayrıca her bir taşıt için bir ağdan düşme zamanı (drop_time) belirleyerek bu bilgiyi VCAT tablosunda tutar. Hesaplanan süre boyunca kalp atışı göndermeyen veya ağdan çıktığı için artık kalp atışları duyulmayan taşıtlar zamanı geldiğinde ağdan düşürülürler. Böylece, bu araçlar tarafından işgal edilen kanallar / zaman dilimleri tahliye edilecek ve bu kanallar / zaman dilimleri yeni giren araçlar için yeniden kullanılabilir olacaktır. Protokol ağdan düşme zamanını, YKB kapsama alanlarının büyüklüğü, taşıtların hızları gibi parametreleri göz önüne alarak aşağıdaki denklem ile hesaplamaktadır.

$$Drop\ Time\ (DT) = time\ (now) + Drop\ Vehicles\ Period\ (DVP) + Reservation\ Tolerance(RT) \quad \textbf{(3.1)}$$

$$DT = t + DVP + RT \quad \textbf{(3.2)}$$

t, simülasyonun o anki zamanını gösterirken, DVP taşıtların ağdan düşmemesi için iki kalp atışı arasındaki maksimum süreyi göstermektedir. Önerilen protokolde taşıt kalp atışı periyodu (T_{VHB}) 25 ms olarak belirlenmiş ve varsayım olarak 20 kalp atışı süresini aştığı zaman ağdan düşeceği kabul edilmiştir. Dolayısı ile DVP şöyle hesaplanmaktadır;

$$DVP = 20 * T_{VHB} + 0{,}001 \quad \textbf{(3.3)}$$

DT'nin bir diğer parametresi olan RT, bir taşıta rezervasyon yapıldığı durumda taşıtın rezervasyon yapılan YKB'nin kapsama alanına ulaşması için gerekli olan süreyi ifade etmektedir. Taşıtın kapsama alanını kat etme süresine eklenen bir tolerans değeri ile

hesaplanmaktadır. Bir taşıtın YKB kapsama alanını kat etme süresi t_v olarak alınacak olursa,

$$t_v = \frac{2r}{v_t} \quad \textbf{(3.4)}$$

Bu denklemde "*r*" YKB kapsama alanı yarıçapı, V_t ise taşıtın hızını ifade etmektedir.

RT ise şöyle hesaplanır;

$$RT = t_v + t_v * 10\% \quad \textbf{(3.5)}$$

Bu durumda DT'nin son hali;

$$DT = t + DVP + RT \quad \textbf{(3.6)}$$

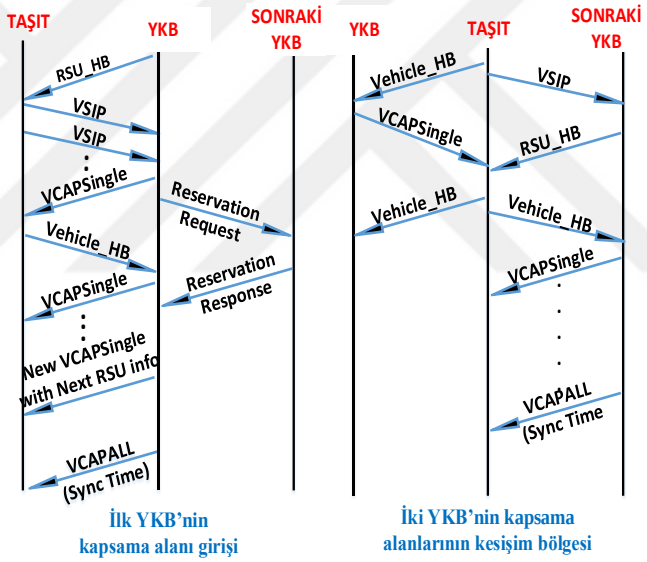
$$DT = t + (20 * T_{VHB} + 0{,}001) + (t_v + t_v * \%10) \quad \textbf{(3.7)}$$

olacaktır.

SCCH kanalını dinlemekte olan taşıt, kendisine gelen RSUEP paketlerinden *content_type* alanında "10" olan paketi (VCAPsingle) açarak kendisine atanmış olan kanal bilgilerini alır ve iletişime başlamak üzere kendisini belirtilen kanallara ayarlar. Bu aşamadan sonra artık çekişmeli kanal olan JNCH kanalından ayrılarak yönüne göre kendisine ayarlanmış HBCH kanalındaki zaman diliminde kalp atışı paketlerini bağlı bulunduğu YKB'ye gönderir.

Önerilen protokolün yeniliklerinden birisi de önceden tahsis(rezervasyon) mekanizmasıdır. YKB, kendi kapsama alanında olup, kanal ataması yaptığı bir taşıt için taşıtın gidiş yönündeki bir atlama sonraki komşu YKB ile kablolu bağlantı üzerinden iletişime geçerek söz konusu taşıt için bir kanal tahsisi yapmasını ister. Bu işlem için YKB'ler arası rezervasyon paketini (IRRP) kullanır. Komşu YKB kanal tahsisini yaptıktan sonra yine IRRP paketi ile atanmış kanal bilgilerini isteği yapan

YKB'ye iletir. Bağlı bulunulan YKB sonraki YKB'den gelen kanal bilgilerini kendi VCAT tablosundaki taşıta ait kayda ekleyerek taşıtın kanal bilgilerini günceller. Böylece artık taşıtın bir atlama sonraki YKB'nin kapsama alanında kullanacağı kanallar da belirlenmiş olur. Daha sonra bağlı bulunulan YKB taşıt için sonraki YKB bilgilerini de içeren yeni bir VCAPSingle paketi oluşturarak kendi zaman diliminde SCCH (Yapılandırma) kanalından taşıta gönderir. Taşıt YKB'den gelen VCAPSingle paketini aldığında artık sonraki YKB kapsama alanında kullanacağı kanalları da bilmektedir. Böylece kapsama alanından çıktığında sonraki YKB ye bağlanmak için bir çekişme yapmasına gerek kalmayacak, kanal erişim gecikmesi yaşamayacaktır. Taşıtın rezervasyon işleminin gerçekleşme adımlarını gösteren diyagram Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Rezervasyon işlemi adımları

Sonraki istasyonun kapsama alanına girdiğinde öncekinden kopup sonrakine bağlanma sürecinin daha hızlı ve sorunsuz gerçekleşmesi için her bir taşıt şöyle davranmaktadır:

Taşıt komşu YKB'lerin kesişim bölgesine geldiğinde her iki YKB'nin de kalp atışını duymaktadır. Bu durumda üyesi olduğu YKB'nin kapsama alanının sonuna yaklaştığını anlayan taşıt, sonraki YKB ağında kullanacağı kanalları ayarlayarak yeni

ağa bağlanmakta ve önceki YKB'ye de bir ayrılma paketi (VLEAVE) göndererek eski YKB ağından ayrılmaktadır. Böylece yeni ağa geçiş işlemi hızlı ve sorunsuz şekilde gerçekleşmektedir. Artık yeni YKB'nin kapsama alanında olan taşıt JNCH kanalını kullanmaya gerek kalmadan ağ bağlantısını devam ettirmiştir. Bu aşamadan sonra taşıt kendisine ayarlanmış zaman dilimlerinde kalp atışı sinyallerini yeni bağlandığı YKB'ye göndermektedir. Normal iletişim süreci haricinde gelişen olaylar sonucu bağlı bulunulan YKB'den kalp atışı alamayan veya herhangi bir nedenle bağlantısını kaybeden taşıt kendisini varsayılan kanallara ayarlar ve bir YKB kalp atışı aldığı anda ağa yeni girmiş taşıtlar gibi davranarak JNCH kanalından yeni kanal isteği yapar. Böylece bu taşıt için ağa katılma yordamı yeniden başlar. YKB'ler her 125 ms'de (VCAPALL_Period ($T_{VCAPALL}$)) bir defa kendi VCAT tablosundaki verileri kullanarak tüm üye taşıtların bilgilerini barındıran bir VCAPALL paketi hazırlar.

$$T_{VCAPALL} = 5 * T_{VHB} = 5 * 25\ ms = 125\ ms \quad \textbf{(3.8)}$$

Bu paketi RSUEP paketi içine yerleştirerek hedefte tüm taşıtlar olacak şekilde yayım yolu ile SCCH kanalından ağa yayımlar. Bu paketi alan taşıtlar kendi kanal bilgilerini yeniler varsa değişiklikleri algılar, meydana gelmiş kanal ve zaman dilimi değişimlerini alarak kendilerini senkronize ederler.

ReMAC protokolünde kontrol kanalı ve servis kanalı atamalarında taşıtların hareket yönü dikkate alınarak her yön için ayrılmış farklı frekans kanalları kullanılmaktadır. Farklı yönlerde hareket eden taşıtlara birbirlerine uzak olan frekanslardan atama yapılarak girişimlerin azaltılması hedeflenmiştir. Bir yöndeki araç sayısı 30'dan az ise, protokol her bir araca özel servis kanalları tahsis edebilir. Bir YKB'nin kapsama alanındaki aynı yöne hareket eden taşıt sayısı 30'dan fazla ise bu durumda en az kullanılan servis kanalı tespit edilmekte ve bu servis kanallarında zaman bölmesi yapılmaktadır. Kontrol kanalı ve servis kanallarının atanması işleminde kullanılan kanal seçim algoritması Şekil 3.8'de verilmiştir.

Servis kanallarında adil kullanımı ve maksimum verimi elde etmek üzere algoritmadan da görüleceği üzere dinamik bir kanal atama yöntemi kullanılmıştır. Taşıtların yön bilgisine bağlı olarak ilgili yöndeki kanallar öncelikle taşıtlara adanmış olarak

atanmaktadır. Aynı yöndeki taşıt sayısının mevcut kanal sayısını aşması durumunda ise kanallarda zaman bölmesi yapılmaktadır. Zaman bölmesinde öncelikle en az kullanılan kanallar, kanalı kullanmakta olan taşıt sayısına bakarak belirlenmektedir. Daha sonrasında ise en az kullanılandan başlamak üzere yeni gelen taşıtlara kanal içinde zaman dilimleri atanmaktadır. Bu zaman dilimleri de sabit genişlikli olmayıp, zaman dilimi boyutu periyodun o anki taşıt sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. ReMAC protokolünde adil kanal kullanımını ve verimi hedefleyen bu melez kanal atama mekanizması ile taşıtlara eşit erişim imkânı sunulmakta ve toplam iletişim kalitesine katkı sağlanmaktadır.

```
if ((vehicle_direction is BACKWARD)
      choose backward_frequency_band(bfb) for channel allocation
            else
     choose forward_frequency_band(ffb) for channel allocation
find least used channel by find_min_vehicle_count_in_ch_list(ch_list);
do {
            return first_empty_channel via check_best_ch_in_ch_table function;
            data_ch_id = check_best_ch_in_ch_table(ch_list, vehicle_count);
if (data_ch_id == 0) vehicle_count++;
} while(data_ch_id == 0);

if (checked channel is not empty)
{           //for data channel
            if (vehicle direction is BACKWARD)
                        ch = data_ch_id-1;
                        else        ch=data_ch_id-1-BFB_ch_count-CFB_ch_count;
            ch->vehicle_count++;

            //for control channel
            ch = choose control channel;
            ch->vehicle_count++;

            allocate data_ch_id for vehicle data_channel;
            //allocate data channel time slot for vehicle
            ach_ts = get_first_empty_ach_ts(data_ch_id, vehicle_id);
}
//find control_channel  id from direction;
cch_id = get_cch_id_from_direction (xvdir);

//allocate first empty slot from control channel for vehicle;
cc_ts = get_first_empty_cc_ts(vehicle_id, vehicle_direction);
```

Şekil 3.8 ReMAC kanal / zaman dilimi atama algoritması

n_{ch} toplam servis kanalı (her bir yön için n_{ch} = 30 dur.) sayısını, ***ach***, ağa yeni katılan taşıta atanmış servis kanalını, n_{vach} boş kanal sayısını ifade etmek üzere taşıtlar için

slot belirleme işlemi aşağıdaki formüllerle gerçekleştirilmektedir. Öncelikle boş kanal sayısı ($n_{emptych}$) bulunmalıdır. (Denklem 3.9).

$$n_{emptych} = \sum_{i=1}^{n_{ch}} i \,.\, x \begin{cases} x = 1 & , \text{ if channel is empty} \\ x = 0 & , \text{ if channel is not empty} \end{cases} \quad \textbf{(3.9)}$$

Bulunan boş kanal sayısı dikkate alınarak kanal atama mekanizması içerisinde tanımlanan ***get_first_empty_ch()*** ve ***get_least_used_ch()*** yardımıyla taşıta atanacak olan kanal (***ach***) Denklem 3.10'daki gibi bulunur.

$$ach = \begin{cases} get_first_empty_ch(), & n_{emptych} > 0 \\ get_least_used_ch(), & n_{emptych} = 0 \end{cases} \quad \textbf{(3.10)}$$

Eğer atanan kanal boş ise kanalda bulunan toplam taşıt sayısı (n_{vach}) 1 dir. Kanal boş değil ise kanalı kullanan toplam taşıt sayısı ***get_ch_count_in_sch()*** fonksiyonu yardımıyla bulunur (formül 11).

$$n_{vach} = \begin{cases} 1 & , \; n_{emptych} > 0 \\ get_ch_count_in_sch(ach) & , \; n_{emptych} = 0 \end{cases} \quad \textbf{(3.11)}$$

Taşıta atanmış servis kanalındaki zaman dilimi sayısı (n_{ts}) taşıtların sayısına göre dinamik olarak değişebilmektedir. Eğer yeni taşıt geldiğinde boş bir zaman dilimi var ise yeni bir zaman dilimi oluşturulmadan bu boş zaman dilimi taşıta atanmaktadır, boş bir zaman dilimi yok ise bu durumda çerçevenin sonuna yeni bir zaman dilimi eklenerek taşıt sayısı kadar zaman dilimi oluşturulmaktadır. Boş zaman dilimi kontrolü kanala tama mekanizması içerisinde tanımlanmış olan ***is_there_empty_slot_in_sch()*** fonksiyonu ile yapılmaktadır.

$$n_{vach} = \begin{cases} n_{vach} & , \; is_there_empty_slot_in_sch(ach) = False \\ ts_count_in_last_frame() & , \quad otherwise \end{cases} \quad \textbf{(3.12)}$$

Zaman dilimlerinin boyutu($\boldsymbol{l_{ts}}$) toplam çerçeve boyutunun($\boldsymbol{l_{fr}}$) zaman dilimi sayısına oranı ile bulunmaktadır.

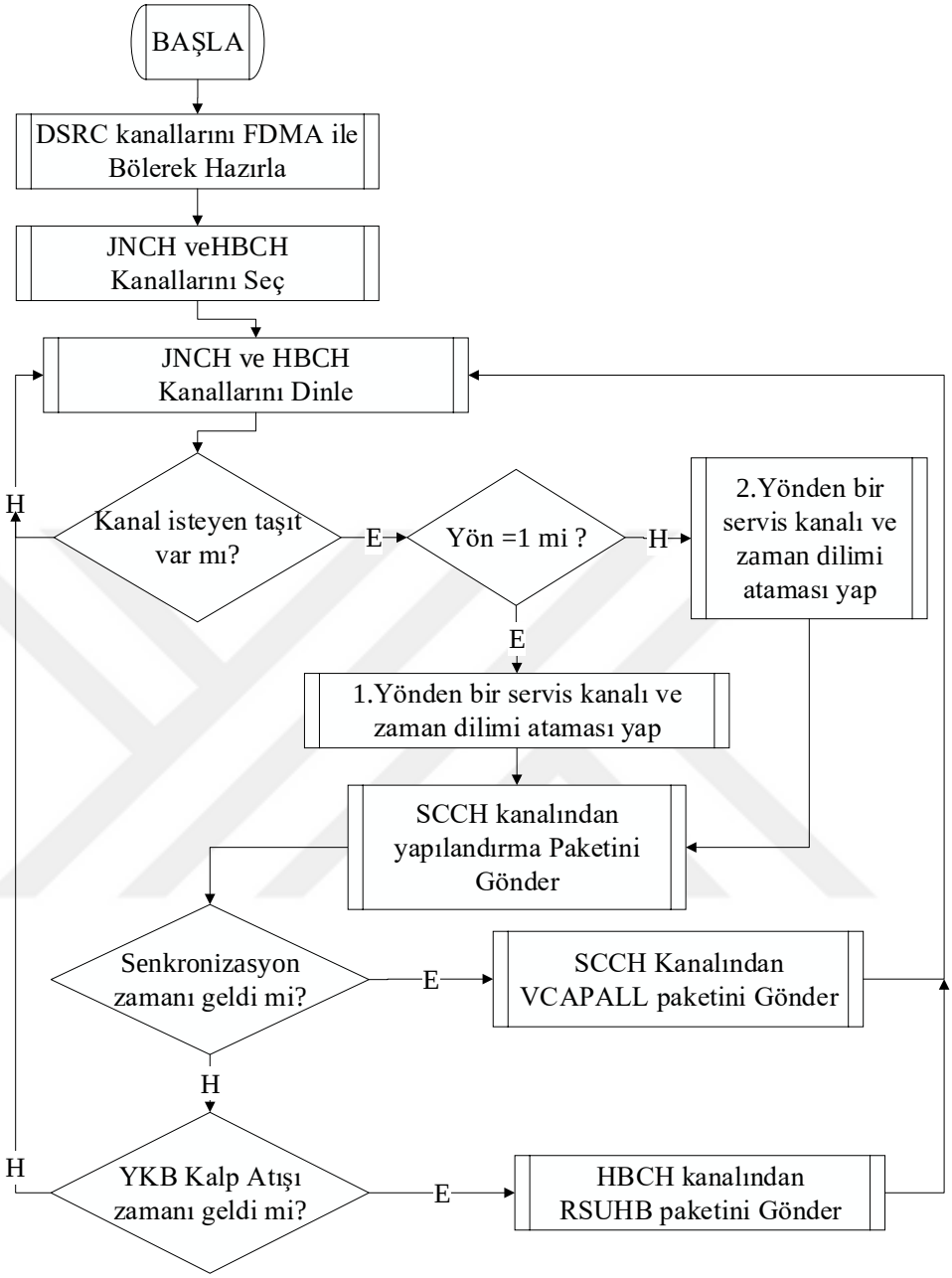
$$l_{ts} = \frac{l_{fr}}{n_{ts}} \tag{3.13}$$

Bir taşıtın servis kanalı içerisindeki zaman dilimi numarası ($\boldsymbol{o_{ts}}$) ise ***get_first_empty_slot_in_sch()*** ile bulunmaktadır. Hiç boş zaman dilimi yok ise taşıt sayısını ifade eden $\boldsymbol{n_{vach}}$ değeri yeni taşıtın zaman dilimi numarası olmaktadır.

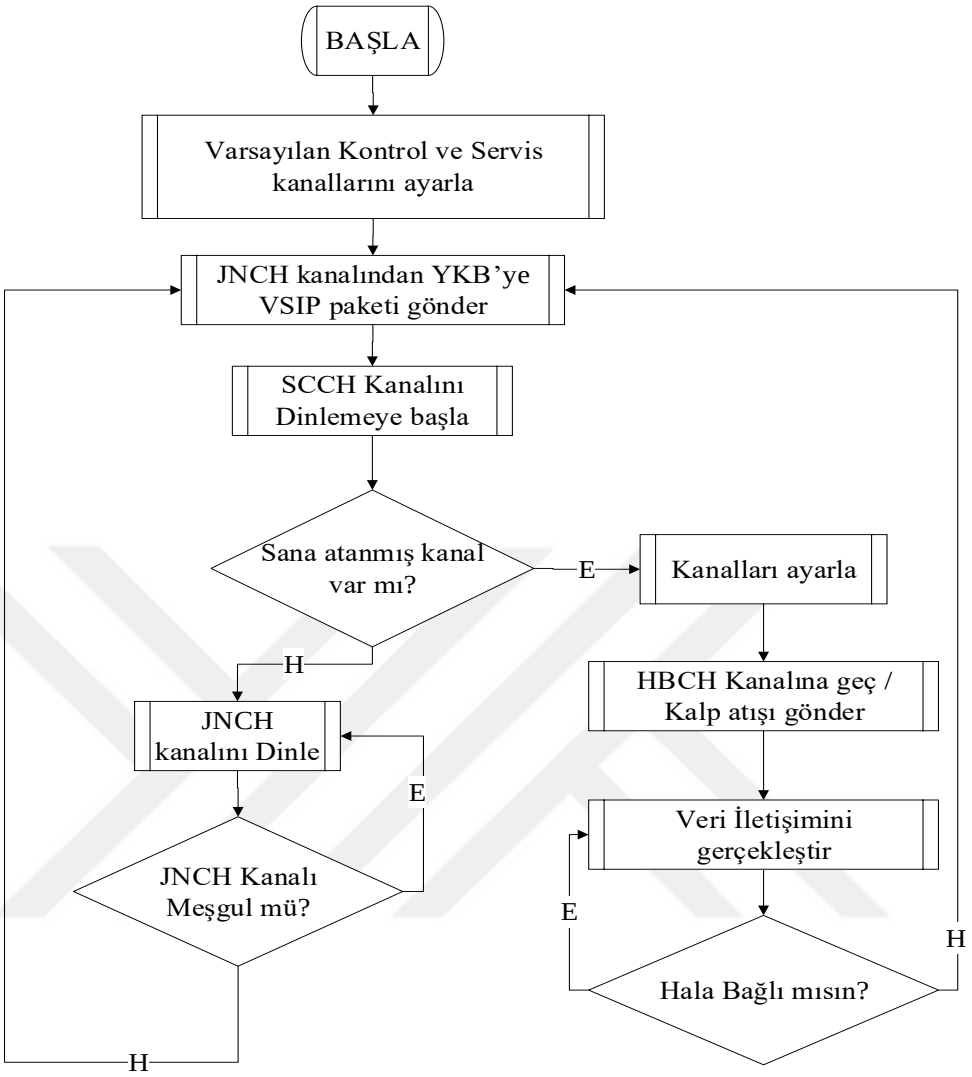
$$o_{ts} = \begin{cases} get_first_empty_slot_in_sch(ach), & is_there_empty_slot_in_sch(ach) = True \\ n_{vach}, & otherwise \end{cases} \tag{3.14}$$

Kontrol kanalındaki zaman dilimi atama işlemleri de servis kanallarındaki mantık ile gerçekleştirilmektedir.

ReMAC protokolünün çalıştığı ağ elemanları olan YKB ve taşıtlar ağın kurulması (kurulum fazı) ve iletimin gerçekleştirilmesi (iletim fazı) olmak üzere iki aşamalı olarak çalışmaktadırlar. Yukarıda kanal atama yöntemi ve kanal organizasyonları ile birlikte çalışma algoritmalarına yer verilmiş olan bu ağ elamanlarının, ağda oldukları sürece yürütmekte oldukları işlem adımlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamak üzere düğümlere ait akış diyagramları Şekil 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9 YKB akış diyagramı



Şekil 3.10 Taşıt akış diyagramı

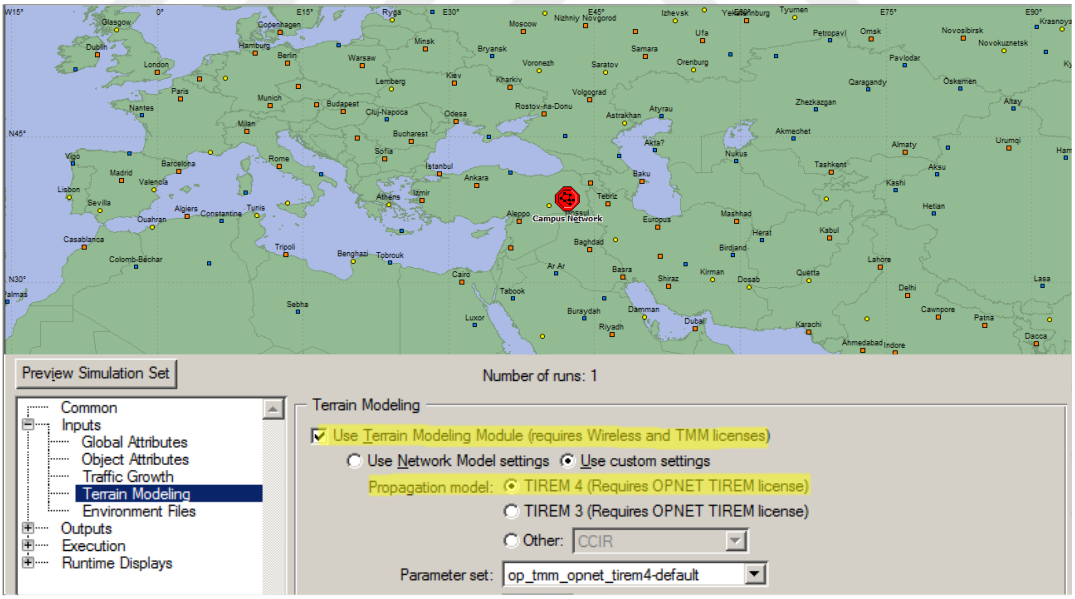
3.3. ReMAC Benzetim Modeli

Tez çalışması süresince geliştirilmiş olan ReMAC protokolünün benzetimi Riverbed firmasına ait OPNET Modeler ortamında yukarıdaki algoritmayı çalıştıracak bir ağ senaryosu kurgulanarak gerçeklenmiştir. Yapılan benzetim ile ortamda belirli bir rota boyunca farklı hızlarda ve yönlerde hareket edebilen taşıtların olduğu, bu taşıtların ağdaki organizasyonunu sağlayan birbirlerine kablolu altyapı üzerinden bağlanmış sıralı YKB'ler bulunan bir ağ modeli oluşturulmuştur. Öncelikle yukarıdaki algoritma

ve akış diyagramlarında gösterilen işlemleri gerçekleştirebilecek fiziksel özellikleri sağlayan proje ortamı, taşıt düğümleri ve YKB düğümleri tasarlanarak proje, düğüm ve süreç modelleri oluşturulmuştur. Bu ağ elemanları arasında protokolün sağlıklı çalışmasına katkı sağlayacak olan bilgi ve kontrol paketleri oluşturularak, yapılan benzetimde kullanılması için altyapı hazırlanmıştır. Bu bölümde söz konusu ağ modeline, ağ elamanlarının yapılarına, bu elemanların içyapısında bulunan durum makinalarıyla oluşturulmuş süreç modellerine ve protokolde kullanılan kontrol paketlerinin yapılarına ayrıntılı olarak değinilecektir.

3.3.1. Proje Modeli

Proje modeli OPNET ağ modelleme yazılımının projenin coğrafik olarak konumlandırıldığı bölgenin ortam ve çevre değişkenlerini dikkate alan yapısı dikkate alınarak oluşturulmaya çalışılmış olup, benzetim ortamı olarak çevre değişkenlerinin (ısı, rakım, nem vb.) proje ortamındaki haberleşmeye etkilerinin gerçeğe yakın şekilde uygulanabildiği TIREM4 hazır modeli seçilmiştir (Şekil 3.11).

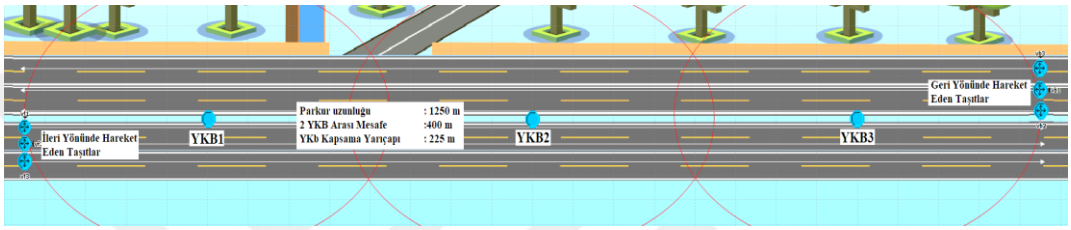


Şekil 3.11 Proje coğrafik konum ve ortam modeli

TIREM4, OPNET Modeler'de iletişime olan çevre etkilerinin coğrafik konuma göre yansıtılabildiği bir model olduğundan, bu projede gerçeğe yakın olabilmesi için

varsayılan ağ ortamı olarak seçilmiştir. Bu yazılımda başka bir model olan kayıpsız ortamda kullanılabilmesine karşın gerçek hayatta ortamın hiçbir zaman kayıpsız olmayacağı göz önüne alınarak bir kayıplı ortam modeli olan TIREM4 modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

OPNET ortamında oluşturulmuş olan temsili proje modeli Şekil 3.12'de verilmiştir. Projede ardışık olarak yerleştirilmiş ve birbirine kablolu ara yüz ile bağlanmış 3 adet YKB ve iki farklı yönde hareket eden 20 ile 300 arasında değişen sayıda taşıt bulunmaktadır.



Şekil 3.12 OPNET proje modeli

Taşıtlar YKB'ler ile kablosuz ara yüz üzerinden haberleşmektedirler. Kontrol sinyalleri kontrol kanalı üzerinden ve kendisine ayrılmış radyo vericiden kablosuz olarak YKB'lere iletilmektedir. Veri paketleri için ise her bir taşıt veri iletimine adanmış bir radyo verici barındırmaktadır. Rezervasyon işlemini sağlamak üzere YKB'lerde önceden tahsis gerçekleştirilmekte ve tahsis edilen kanal bilgileri YKB'ler arasında kablolu ara yüz üzerinden paylaşılmaktadır. Böylece kanal rezervasyon bilgilerini birbirlerine kablo üzerinden daha hızlı ve sorunsuz gönderebilmektedirler. Opsiyon olarak rezervasyon bilgilerinin taşıtlar tarafından kablosuz olarak taşınması da proje içerisinde var olup, B planı olarak kablolu altyapını çalışmaması durumunda ağın devamlılığını sağlamak adına rezervasyonların kablosuz olarak taşıtlar tarafından gerçekleştirildiği bir senaryoya da yer verilmiştir. Projede kullanılan parkur 1250 m uzunlukta olup, art arda yerleştirilmiş YKB'ler arasındaki mesafe anten güçleri göz önüne alınarak 400 m olarak belirlenmiştir. Komşu iki YKB arasındaki kapsama alanlarının kesişim bölgesi 50 m olup, bu bölgede taşıtların ağlar arası geçişleri sorunsuz olarak sağlanmaktadır. Taşıtlar ağ geçişlerini daha önce elde etmiş oldukları rezervasyon bilgilerine göre kendi başlarına gerçekleştirmekte, kendilerine bildirilmiş

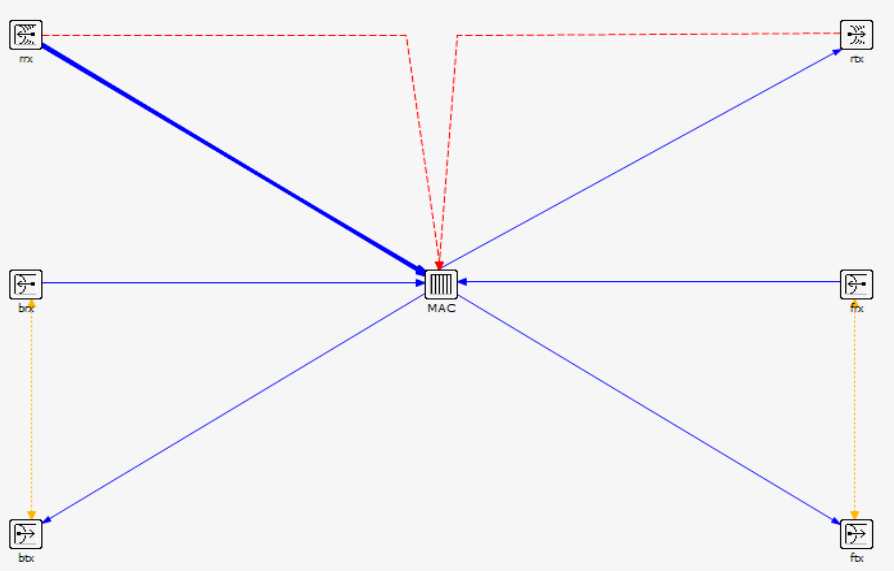
olan kanalları bu bölgenin girişinden itibaren kontrol haberleşmesi ve veri göndermek için seçmektedirler.

3.3.2. Düğüm Modelleri

Projede OPNET Modeler düğüm editörü kullanılarak ***YKB*** ve ***Taşıt*** adında iki adet düğüm tasarlanmıştır. Bu düğümlerden YKB, ağın yöneticisi konumundadır ve yerleştirildiği konumda hareketsiz olarak ağ yönetimini sürdürmektedir. Taşıt ise ağda hareket halinde bulunan mobil ağ elemanı olarak tasarlanmıştır. Düğüm modelleri, bir projede ağın elemanları olan sabit ve hareketli düğümlerin (YKB, Taşıt) davranış şekillerini, hangi fonksiyonları yerine getireceğini, hangi bileşenlerden oluştuklarını gösteren ve düğümün yapısının grafiksel olarak tanımlandığı modelledir.

3.3.2.1. YKB Düğüm Modeli

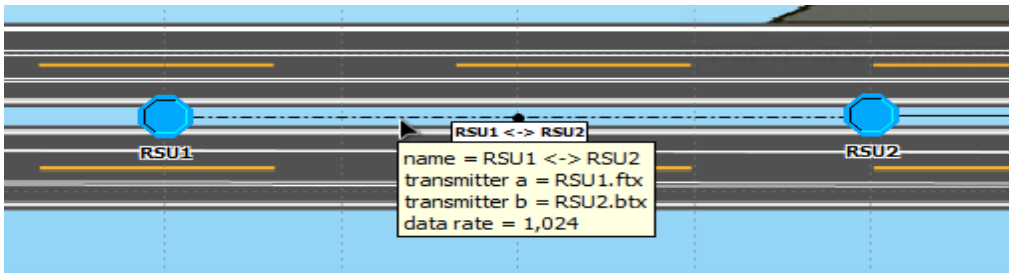
Şekil 3.13'te görüldüğü üzere YKB düğüm modeli 1 adet işlemci (MAC) ve bu işlemci tarafından kontrol edilen 3 adet alıcı/vericiden oluşmaktadır. Bu alıcı/vericilerden birisi kablosuz ortamı dinleyen rrx/rtx diğer ikisi de kablo ile komşu YKB'lere bağlanıp YKB'ler arası haberleşmeyi sağlayan brx/btx ve frx/ftx tir.



Şekil 3.13 YKB düğüm modeli

YKB, ortamdaki tüm taşıtları kontrol ve koordineden sorumlu olduğu için, tüm kablosuz kanalları ve kablolu kanalları dinlemektedir. Taşıtların kablosuz ortam üzerinden gönderdikleri kontrol ve veri sinyallerini alabilmek üzere rrx isimli alıcıdan tüm taşıtların kullandıkları ortak kanalları dinlemektedir. Bundan dolayı bu ara yüze toplam kablosuz kanal sayısı kadar (68 adet) sanal bağlantı oluşturulmuştur. Bu bağlantıların temsil ettiği kanallar Bölüm 3.2.1'de verilmiş olan Tablo 3.1'de gösterilmiş olup, TDMA yöntemiyle DSRC kanallarının alt frekans kanallarına bölünmesi yöntemiyle elde edilmiş kanallardır. Rtx vericisinden ise taşıtlara iletilecek kontrol paketlerini göndermektedir. Kapsama alanı içerisinde aktif olarak bulunan tüm taşıtlar bu vericiyi (rtx) dinlemekte ve bu kanaldan gelen paketlerdeki direktifleri alarak ağdaki rollerini sürdürmektedirler.

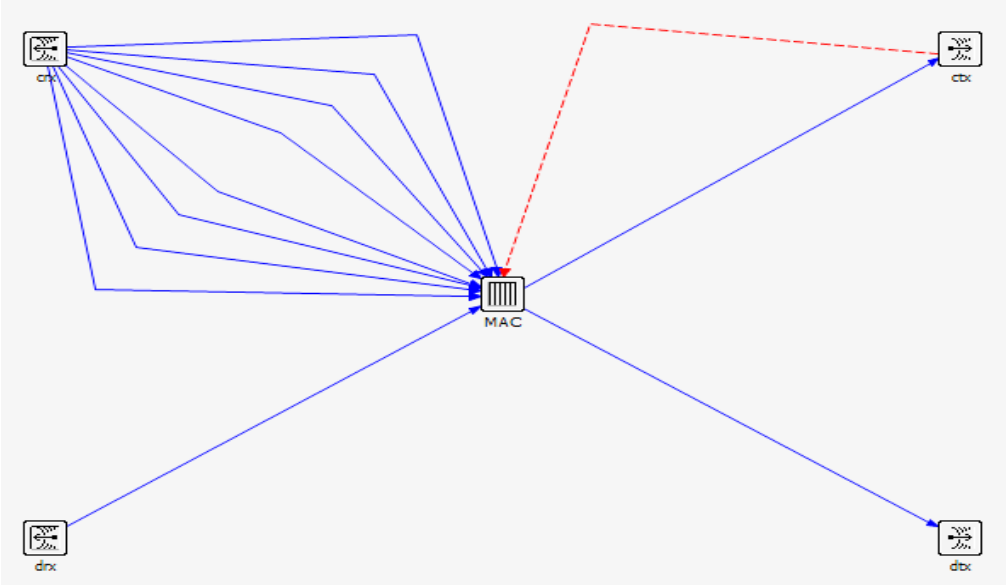
Ayrıca YKB'lerin birbirleri ile rezervasyon bilgilerini paylaşmak üzere kendisinden önceki ve kendisinden sonraki YKB'ye bağlanabilmesi için iki adet kablolu ara yüz tanımlanmıştır. Bu ara yüzlerden, taşıtlara ait rezervasyon bilgilerini taşıyan paketler YKB'ler arasında iletilebilmektedir. Brx/Btx ara yüzü geri yöndeki YKB'ye bağlanmak için, Frx/Ftx ara yüzü ise ileri yöndeki YKB'ye bağlanmak için organize edilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 YKB-YKB bağlantısı

3.3.2.2. Taşıt Düğüm Modeli

Taşıt düğüm modeli 1 adet işlemci ve 2 adet kablosuz alıcı/vericiden oluşmaktadır. Bu alıcı/vericilerden birisi kontrol haberleşmesi için kontrol kanalını dinlemek diğeri ise veri haberleşmesini yerine getirmede kullanılmak anılmak üzere organize edilmişlerdir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Taşıt düğüm modeli

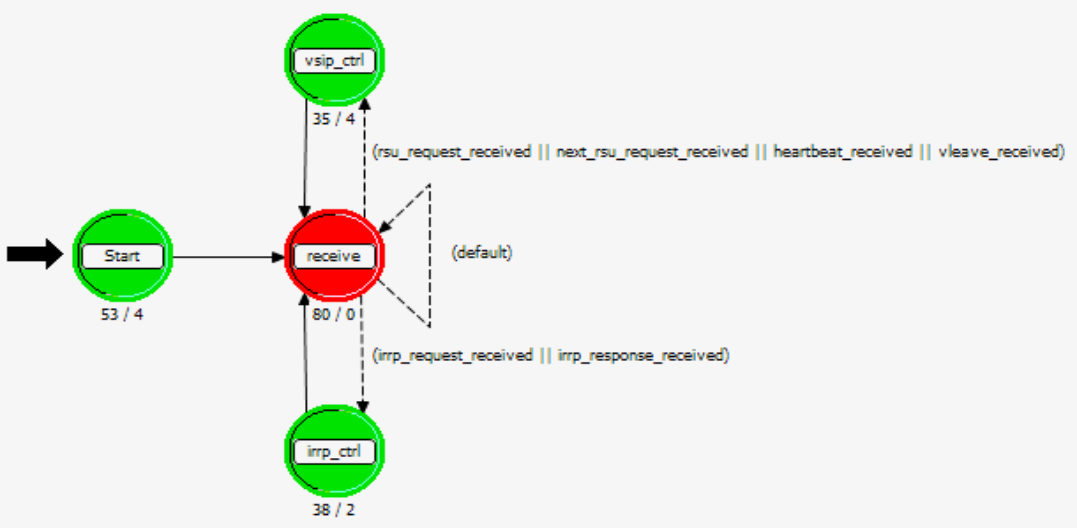
Taşıt modelindeki crx/cts ara yüzü kontrol kanalından veri alıp veri göndermek için kullanılan ara yüz olup, kontrol kanalının daha efektif kullanımı amacıyla oluşturulmuş olan 8 adet alt kanalı dinlemek üzere crx alıcısından işlemciye doğru kanal sayısı kadar fiziksel bağlantı oluşturulmuştur. Böylece her alt kanaldan gelen bilgi ayrı ayrı değerlendirilebilmektedir. Ctx vericisini ise tüm taşıtlar ağ bağlantı isteği sinyallerini YKB'ye göndermek için kullanmaktadırlar. Drx/Dtx ara yüzü ise taşıtların veri iletim ve veri alma ara yüzüdür. Bu ara yüze atanmış olan kanaldan gelen verileri almakta veya bu ara yüze atanmış veri kanalından servis verilerini göndermektedirler.

3.3.3. Süreç Modelleri

Süreç modelleri ağdaki tanımlanmış düğümlere ait süreçleri ifade eden OPNET modelleridir. Bu modellerde ilgili düğümün yapacağı işleri ifade etmek üzere durum makinaları kullanılır. Düğümler durum makinaları ile şematize edilerek gösterilen işlemleri yerine getirirler. Ağ elemanını hangi durumdan hangi duruma, hangi olay gerçekleşince geçeceğini ve düğümün yapacağı bütün işlerin sürekli bir döngü halinde ifade edilebildiği modellerdir.

3.3.3.1. YKB Süreç Modeli

Projemizde yönetici düğüm olarak belirlenmiş olan YKB'lere ait süreç modeli Şekil 3.16'te verilmiştir. Projede kullanılmak üzere tasarlanmış olan YKB süreç modelinde *start, vsip_ctrl, receive ve Irrp_ctrl* olmak üzere 4 durum makinası mevcuttur.



Şekil 3.16 YKB süreç modeli

Bu durumlar arasındaki geçişleri sağlamak üzere *irrp_request_received, irrp_response_received, rsu_request_received, next_rsu_request_received, heratbeat_received, vleave_received* gibi şartlar tanımlanmış olup bu şartların gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi durumlarına göre durum makinaları arasındaki geçişler sağlanarak düğümün çalışması gerçekleştirilmektedir.

"**Start**" durum makinasında, YKB ilk hazırlıkları gerçekleştirmektedir. Kullanacağı kanalları, kablosuz ara yüz kanal atamalarını gerçekleştirerek ağın çalışmaya hazır hale gelmesini sağlayacak fonksiyonları çalıştırmaktadır.

Bu modda iken eğer ağa kablolu ara yüzden(komşu YKB'den) gelen rezervasyon istek paketi var ise bu paketleri inceleyerek yapılması gereken işleme ait tanımlanmış fonksiyonu çalıştırmaktadır. Eğer taşıtlardan gelen bir ağa katılma isteği var ise bu durumda da taşıtlara kanal tahsisi işlemlerini gerçekleştiren fonksiyonları çalıştırarak taşıtların algoritmaya uygun kanal edinmelerini sağlamaktadır.

“Vsip_ctrl” durum makinası gelen paketin ağa katılma istek paketi olması durumunda girilen durumdur. Burada taşıtın gönderdiği ağa katılım isteği alınarak taşıt için bir kanal tahsisi gerçekleştirmek üzere taşıt bilgi tablosunu güncelleyen fonksiyon çağrılır ve taşıta kanal ataması gerçekleştirilir. Eğer taşıta daha önceden kanal tahsisi var ise var olan tahsisi güncelleyecek güncelleme fonksiyonuna görev devredilmektedir.

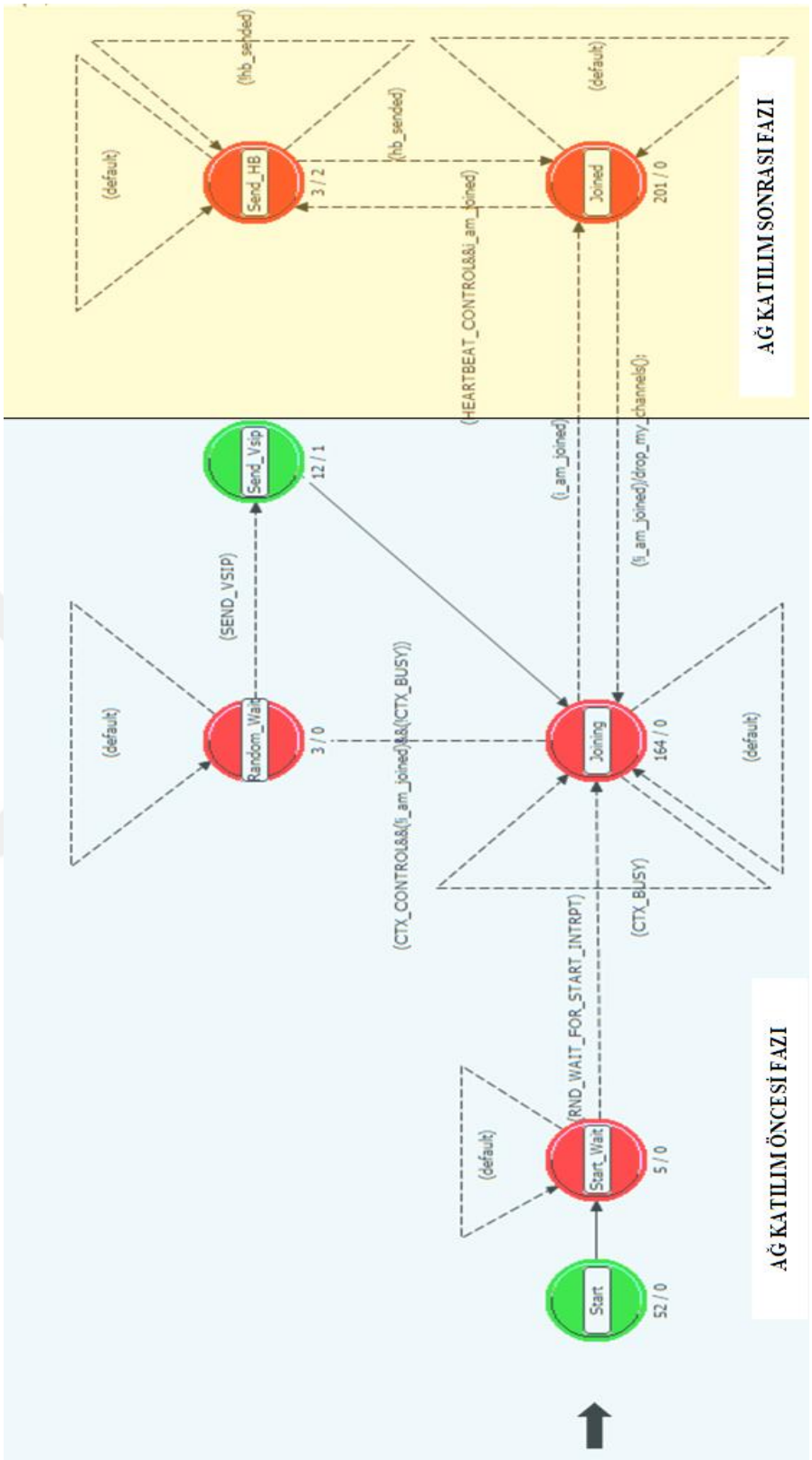
“Irrp_ctrl”, durum makinası ise komşu YKB’den gelen bir rezervasyon isteği olması durumunda kullanılan durum makinasıdır. Bu durumda gelen rezervasyon isteğini işletecek fonksiyonlar çağrılarak, YKB’nin istediği taşıt için kanal rezervasyonu gerçekleştirilmekte ve tekrar istek yapan YKB’ye bildirilmektedir.

3.3.3.2. Taşıt Süreç Modeli

Şekil 3.17 taşıtların çalışmasına ait süreç modelini göstermektedir. Taşıtların süreç modeli iki faz şeklinde gerçekleşmekte olup, ilk faz taşıtın ağa katılmadan önceki işlemleri ifade etmektedir, ikinci faz ise taşıtın ağa katıldıktan sonraki davranışlarını belirlemektedir. İlk fazda taşıtlar öncelikle bir ağa katılma işlemi için ilk giriş çarpışmalarını azaltmak üzere rasgele bir sıralama gerçekleştiren sıralama fonksiyonu ile ağa katılım teşebbüsü sırasını elde etmektedirler. Daha sonra sırası gelen taşıt ağa katılım isteğini çekişmeli kanal üzerinden YKB’ye göndermek üzere tanımlanmış CSMA yöntemini kullanarak ağa katılım durum makinasındaki ğa katılma durum (joining state) fonksiyonları çalıştırmaktadır.

Bu durum makinasında kanalın meşgul olma durumuna göre belli aralıklarla ağa katılım istekleri gönderen taşıtlar YKB’lerden aldıkları cevap paketlerine göre ağa dâhil olmaktadırlar. Başarılı bir şekilde ağa katılımı sağlayan yapılandırma paketini alabilen taşıtlar artık durumlarını ağa katılmış (joined) olarak değiştirerek ağa katılım sonrası fazına geçmektedirler.

Bu fazda taşıtlar artık ağa dâhil oldukları için çekişmeli kanal olan ağa katılım kanalını kullanmayı bırakarak, kendilerine tahsis edilmiş olan kalp atışı kanalından YKB’ye kalp atışı paketleri göndermektedir. Böylece çekişmeli kanal olan ağ katılım kanalı (JNCH) boşaltılarak yeni gelen taşıtların daha kolay ağa katılımları sağlanmaktadır.



Şekil 3.17 Taşıt süreç modeli

Taşıt süreç modelinde durumlar arasındaki şartlı geçişleri gerçekleştirmek üzere birçok şart (condition) tanımlanmış olup bu şartlar şunlardır:

- **RND_WAIT_FOR_START_INTERRUPT:** Taşıtın ağa bağlanma isteği göndermeden önce rastgele bir süre beklemesini sağlayan kesme işaretidir. Bu kesme geldiğinde rastgele beklemeyi tamamlayan taşıt ağa katılma durumuna (Joining State) geçer.
- **CTX_BUSY:** Taşıtların ağa katılma paketini gönderecekleri kanalın meşgul olduğunu belirten şart ifadesidir.
- **CTX_CONTROL:** Ağa katılma istek paketi gönderilen kanalın müsait olup olmadığını kontrol eden şart ifadesidir.
- **I_am_Joined:** Taşıtın ağa dâhil olduktan sonra yani kanal tahsisleri yapıldıktan sonra aktif olan şart ifadesidir.
- **SEND_VSIP:** Ağa katılmak için taşıtların katılma istek paketi gönderme durumuna geçmelerini sağlayan şart ifadesidir.
- **HEARTBEAT_CONTROL:** Kalp atışı sinyalinin gönderilip gönderilmediği test eden şart ifadesidir.
- **hb_sended:** Kalp atışı paketinin gönderilmiş olduğunu belirten şart ifadesidir.

Bu süreç modelindeki durumlar ve yaptıkları işler aşağıdaki gibidir;

Ağa katılım öncesi fazında ilk durum olan **“Start_Wait”** durum makinasında kapsama alanına giren taşıt ağa katılım paketi göndermeden önce geliş sırasını dikkate alan bir hesaplama ile rastgele bir süre bekletilerek tüm taşıtların aynı anda paket göndermesi engellenerek, ilk giriş anındaki çarpışmaların azaltılması hedeflenmektedir. Bu aşamadan sonra ağa katılım paketi gönderme sırası gelen taşıt ağa katılım durum makinasına geçer. Burada ağa katılım paketi göndermeye çalışır. Eğer kanal dolu ise rastgele bir süre beklemeyi sağlayan **“Random_Wait”** durumuna geçerek rastgele bir süre bekler ve daha sonra tekrar kanalı kontrol ederek kanal boş ise istek gönderme durumuna (**Send_Vsip state**) geçerek ağa katılım istek paketi (VSIP) gönderir. Daha sonra tekrar ağa katılım durumuna dönerek YKB den gelecek cevap paketini bekler. Eğer YKB kanal tahsis edip yapılandırma paketi gönderirse taşıt bu paketi alarak kullanacağı kanalları ayarlar, kendisini ağa girmiş kabul eder ve katılım sonrası faza

geçer. Eğer herhangi bir cevap paketi gelmezse bir süre bekleyerek tekrar ağa katılım paketi göndererek ağa katılım isteğinde bulunur.

Ağa katılım sonrası fazında taşıtlar artık ağda olduklarından kendilerine tahsis edilen kanalları kullanarak kontrol ve veri haberleşmesini gerçekleştirirler. İlk ağa katılım anında kullandıkları çekişmeli kanaldan ayrılarak kanalda kullandıkları zaman dilimini serbest bırakırlar. Böylece yeni gelecek taşıtlar için boş zaman dilimi oluşur. Ayrıca ağa katılmış olan taşıtlar belli aralıklar ile **"Send_HB"** durumuna geçerek hala ağda olduklarını bildirmek üzere YKB'ye bir kalp atışı paketi gönderirler. Bu kalp atışı paketini kendilerine tahsis edilmiş ve kontrol kanalının bir alt kanalı olan kanaldan kendi zaman dilimlerinde gönderirler. Taşıt kapsama alanında olduğu sürece bu kalp atışı paketlerini göndererek kendisinin hala kapsama alanında olduğunu YKB'ye bildirir. Böylece YKB kendisine bağlı olan taşıtları sürekli olarak takip edebilmektedir. Kapsama alanında çıktıklarında artık kalp atışları YKB'ye ulaşamayacağından YKB bu taşıtın ağdan düştüğünü veya kapsama alanında uzaklaştığını anlar. Bu taşıta tahsis edilmiş kanal ve zaman dilimlerini boşaltarak yeni gelecek taşıtlar için kaynak elde eder.

3.3.4. Paket Yapıları

Proje kapsamında kontrol haberleşmesinde kullanılmak üzere farklı paketler tanımlanmıştır. Söz konusu paketler YKB'ler ve taşıtlar arasında atanmış kanallar üzerinden iletilerek sağlıklı haberleşmeyi sağlamaktadırlar. Bu protokol tasarımında kullanılmak üzere tanımlanmış paketler Vehicle Status Information Packet (VSIP), RSU Event Packet (RSUEP), Inter RSU Reservation Packet (IRRP) paketleridir. Ayrıca YKB'lerin ağlarına kayıtlı taşıtların bilgilerini tutmak üzere her bir YKB'de tanımlı taşıt kanal yerleşim tablosu (Vehicle Channel Allocation Table - VCAT) isimli bir tablo tutulmakta olup, tüm taşıtlara ait aktif kanal ve rezerve edilmiş kanal bilgileri bu tabloda tutulmaktadır. YKB'ler taşıtlara gönderdikleri yapılandırma paketlerini bu bilgileri kullanarak oluşturmaktadırlar. Söz konusu paket ve tablolara ait ayrıntılı paket yapıları aşağıda verilmiştir. Projede kullanılmakta olan paketlerin birbirinden ayırt edilmesi amacıyla her pakette ortak olan bir paket tipi (TYPE) alanı tanımlanmıştır. Bu alandaki koda bağlı olarak paketin ne tür bir paket olduğu anlaşılmaktadır. Paket

tipini gösteren TYPE alanı 3 bit uzunluğunda bir alan olup paket tiplerine karşılık gelen kodlar Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Projede kullanılan paket tipleri ve kodları

Paket Tipi	Kodu (TYPE)	Açıklama
RESERVED	000	Rezerve edilmiştir
VSIP	001	Taşıt durumu bilgi paketi
RSUEP	010	YKB olay paketi
IRRP	011	YKB'ler arası rezervasyon paketi
DATA	100	Veri Paketi
RELAY	101	Aktarma paketi

3.3.4.1. Taşıt Kanal Atama Tablosu (Vehicle Channel Allocation Table– VCAT)

Bu tablo tüm YKB'ler taraşından oluşturulan ve taşıtların ağa bağlanması için taşıtlara atanmış olan kanal ve zaman dilimi bilgilerinin tamamını üzerinde bulunduran taşıt kanal bilgileri tablosudur. Tablo 3.3'te VCAT tablo yapısı gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda anlık olarak tüm taşıtların kullandıkları kanallara ait bilgiler haricinde taşıtlar için YKB'ler tarafından gerçekleştirilmiş olan rezervasyon bilgileri de tutulmaktadır. Bu bilgiler sayesinde taşıtlar bir sonraki YKB'nin kapsama alanına girdiklerinde hangi kanalı kullanmaları gerektiğini bilmektedirler. Tabloda tutulan taşıt son görülme zamanı bilgisi sayesinde de YKB'ler taşıtların ağda ve hala kapsama alanı içinde olduklarını anlamaktadır. Kapsama alanı dışına çıkan taşıtın son görülme zamanı kontrol edilerek belirlenen zamandan daha fazla zaman geçmiş ise taşıtın ağın dışına çıktığı veya ağdan düşmüş olduğu kabul edilir. Böylece o taşıtın kullanımı için ayrılmış olan kanallar taşıt ağdan düşünce serbest bırakılarak, ağa yeni giren taşıtlar için kaynak boşaltılmış olmaktadır. Bu tabloda bulunan bilgileri kullanmakta olan YKB'ler zamanı geldiğinde tüm taşıtlara veya ihtiyaç duyulduğunda taşıta özel yapılandırma paketleri oluşturarak göndermektedirler. Böylece ağa katılmak için taşıtların ihtiyaç duydukları güncel ağa katılma kanal bilgileri YKB'ler tarafından sağlanmaktadır.

Tablo 3.3 Taşıt kanal atama tablosu (VCAT) yapısı

Alan adı	Tipi	Açıklama	Tanımlanma şekli
vin	unsigned int	Taşıt kimlik numarası	typedef struct vcat_item { unsigned int vin; unsigned _int8 vdir; unsigned _int8 ach; unsigned _int8 ach_ts; unsigned _int8 cc_ts; unsigned _int8 ns_ach; unsigned_int8 ns_ach_ts; unsigned _int8 ns_cc_ts; unsigned _int8 ns_id; double vlst; double drop_time; unsigned int vhbc; unsigned int pk_count; char alloc_type; } vcat_item;
vdir	unsigned int	Taşıtın yönü	
ach	unsigned int	Taşıta atanmış veri kanalı	
ach_ts	unsigned int	Taşıta atanmış veri kanalı zaman dilimi	
cc_ts	unsigned int	Taşıta tanmış kontrol kanalı zaman dilimi	
ns_ach	unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'de kullanacağı veri kanalı	
ns_ach_ts	unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'de kullanacağı veri kanalı zaman dilimi	
ns_cc_ts	unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'de kullanacağı kontrol kanalı zaman dilimi	
ns_id	unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'sinin kimlik numarası	
vlst	Double	Taşıtın son görülme zamanı	
Drop_time	double	Taşıtın kapsama alanından tahmini çıkma zamanı	
vhbc	unsigned int	Taşıtın kalp atışı sayısı	
pk_count	unsigned int	Gönderilen/alınan toplam paket sayısı	
alloc_type	char	Kanal rezervasyon tipi	

Ayrıca bu tabloda bulunan kanal atama tipi parametresi sayesinde taşıtlar YKB rezervasyonlu, kendi kendine rezervasyon modu ve rezervasyonsuz mod olmak üzere 3 farklı çalışma modunda çalışabilmektedirler.

3.3.4.2. Taşıt Durumu Bilgi Paketi (Vehicle Status Information Packet – VSIP)

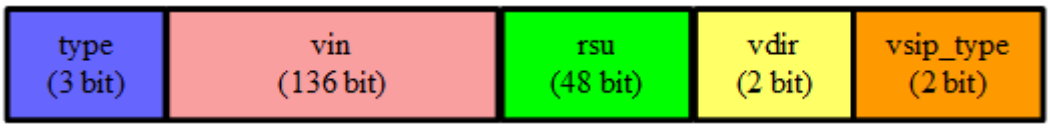
Bu paket ağa katılmak isteyen bir taşıtın durumunu bildiren bilgi paketi olup tip alanında "001" kodu bulunan paketlerdir. Ağda tip alanında 001 olan paketlerin VSIP

paketi olarak tanındığı Tablo 3.2'de gösterilmişti. VSIP paketleri 4 farklı işlem için kullanılabilmektedir. Bu amaçla VSIP_TYPE alanı tanımlanarak pakete farklı görevler yaptırılması hedeflenmiştir. Tablo 3.4'te VSIP paketinde tutulan verilere ait açıklamalara ve Şekil 3.18'de paket yapısına yer verilmiştir.

Bu paket, taşıtın ağa bağlı olmaması durumunda ağa bağlanma isteği yapmak için (VSIP_TYPE = 00) kullanılabilmekte, ağa bağlı ise sonraki YKB'ye rezervasyon isteği göndermek için (VSIP_TYPE = 01) kullanılabilir. Ayrıca taşıtın ağda olduğunu belirtmek üzere kalp atışı paketi olarak (VSIP_TYPE = 10) veya ihtiyaç durumunda bir YKB'nin ağından ayrılma isteğini belirtmek için (VSIP_TYPE = 11) kullanılabilmektedir.

Tablo 3.4 Taşıt durumu bilgisi paketinde (VSIP) tutulan veriler

Alan adı	**Boyutu**	**Açıklama**	
TYPE	3 Bit	Paket tipi (VSIP için 001)	
VIN	136 Bit	Taşıt kimlik numarası (Şasi Numarası)	
RSU	48 Bit	Taşıtın kapsama alanını içinde bulunduğu YKB numarası	
VDIR	2 Bit	Taşıt yönü	
VSIP_TYPE	2 Bit	00: RSU_REQUEST	YKB istek paketi
		01: NEXT_RSU_REQUEST	Sonraki YKB rezervasyon istek paketi
		10: HEARTBEAT	Kalp atışı paketi
		11: VLEAVE	YKB den ayrılma istek paketi



Şekil 3.18 VSIP paket yapısı

Bir taşıt eğer sonraki YKB'de kendisine rezervasyon yapılmış ise bağlı bulunduğu YKB'nin kapsama alanının sonuna geldiğinde sonraki ağa kesintisiz geçiş yapabilmek

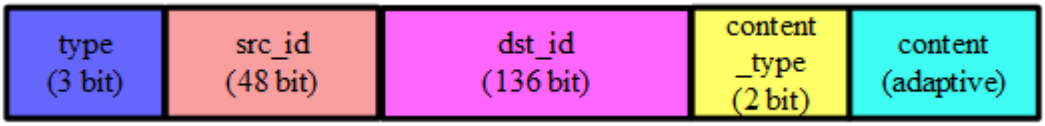
için VLEAVE paketini kullanarak mevcut bağlantısını kopartarak sonraki YKB'nin ağına bağlanmaktadır.

3.3.4.3. YKB Olay Paketi (RSU Event Packet – RSUEP)

Bu paket ağda YKB tarafından gerçekleştirilen olaylarda taşıt veya taşıtları bilgilendirmek amacıyla yapılacak işlemleri tanımlayan ve ***type*** alanında "010" kodu bulunan paketlerdir. Bu paket te VSIP paketinde olduğu gibi 4 farklı işlem için kullanılabilmektedir. Tablo 3.5, RSUEP paketinde tutulan verilere ait açıklamaları içermekte ve Şekil 3.19 paket yapısını göstermektedir.

Tablo 3.5 YKB olay paketinde (RSUEP) tutulan veriler

Alan adı	Boyutu	Açıklama	
TYPE	3 Bit	Paket tipi (RSUEP için 010)	
SRC_ID	48 Bit	YKB'nin Kimlik numarası	
DST_ID	136 Bit	Hedef taşıt ya da taşıtların Kimlik numarası	
CONTENT_TYPE	2 Bit	00: RSU_HB	YKB kalp atışı paketi
		01: VLEAVE	Taşıtı ağdan düşürme paketi
		10: VCAPSINGLE	Tek taşıt için yapılandırma paketi
		11: VCAPALL	Tüm taşıtlar için yapılandırma paketi
CONTENT	değişken	Seçilen pakete ait bilginin konulduğu alandır. Boyutu paketin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir.	



Şekil 3.19 RSUEP paket yapısı

Bu paketin gerçekleştirdiği 4 görevden birincisi kapsama alanındaki tüm taşıtların alabileceği YKB kalp atışı sinyalleri (RSU_HB) gönderecek yapıyı oluşturmaktır.

Content_type alanındaki değer “00” olması durumunda bu paket bir YKB kalp atışı paketi olarak işlem görmektedir. Kalp atışı paketleri content_type alanı “00” olup, content alanı boş olan RSUEP paketlerdir. YKB her 25 ms’de 1 defa kalp atışı paketi oluşturarak ağa yayım (broadcast) yöntemiyle göndermektedir. Böylece bu paketi alan taşıtlar yakınlarında bir YKB olduğunu anlamakta ve gerekliyse o YKB’ye bağlanabilmek için harekete geçmektedirler. Ayrıca bu paketi alan ağa bağlı taşıtlar hala kapsama alanı içinde olduklarını da anlamaktadırlar.

Content_type alanında “01” olan RSUEP paketleri, YKB’nin bir taşıtı ağdan düşürmek için kullandıkları VLEAVE veri yapısını (struct) içermektedir. RSUEP paketinde content alanına ağdan kopması istenen taşıta ait bilgileri içeren VLEAVE veri yapısı eklenir. Tablo 3.6, VLEAVE yapısını göstermektedir. Bu paketi alan taşıt bağlı olduğu YKB’nin ağından çıkıp başkasına bağlanması gerektiğini anlamaktadır. İhtiyaç durumunda RSU bir taşıtı ağdan atmak için bu paketi kullanabilmektedir.

Tablo 3.6 VLEAVE struct yapısı ve ayrıntıları

Alan adı	**Tipi**	**Açıklama**	**Tanımlanma şekli**
vin	Unsigned int	Taşıt kimlik numarası	typedef struct vleave_item { unsigned int vin; } vleave_item;

Content_type alanında “10” olan RSUEP paketleri YKB’nin kanal tahsisi yapmış olduğu taşıta gönderdiği ve taşıtın kullanacağı kanal ve zaman dilimlerine ait bilgilerin bulunduğu paketlerdir. Bu paketin content alanına ağa bağlanacak olan taşıta atanmış olan kanal bilgilerini içeren VCAPSingle liste yapısı eklenmektedir. Tablo 3.7’de VCAPSingle yapısına ait ayrıntılar verilmiştir. Bu paketi alan taşıtlar YKB’nin, taşıtın ağa katılma isteğini kabul ettiğini anlar ve paketi açarak paket içeriğindeki kendisine tahsis edilmiş olan kanalları ayarlayıp, ağa katılarak iletişime başlar.

Content_type alanında “11” olan paketler ise ağdaki tüm taşıtlara ait yapılandırma bilgilerini barındıran paketlerdir. Bu paketlerin content alanına VCAT tablosundaki bilgileri kullanarak her bir taşıt için oluşturulmuş VCAPSingle paketlerinin birleştirilmesi ile oluşan veri yapısı (Şekil 3.20) eklenmektedir.

Tablo 3.7 VCAPSingle struct yapısı ve ayrıntıları

Alan adı	Tipi	Açıklama	Tanımlanma şekli
vin	Unsigned int	Taşıt kimlik numarası	typedef struct vcap_list_item { unsigned int vin; unsigned _int8 ach; unsigned _int8 ach_ts; unsigned _int8 cc_ts; unsigned _int8 ns_ach; unsigned _int8 ns_ach_ts; unsigned _int8 ns_cc_ts; unsigned _int8 ns_id; } vcap_list_item;
ach	Unsigned int	Taşıta atanmış veri kanalı	
ach_ts	Unsigned int	Taşıta atanmış veri kanalı zaman dilimi	
cc_ts	Unsigned int	Taşıta tanmış kontrol kanalı zaman dilimi	
ns_ach	Unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'de kullanacağı veri kanalı	
ns_ach_ts	Unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'de kullanacağı veri kanalı zaman dilimi	
ns_cc_ts	Unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'de kullanacağı kontrol kanalı zaman dilimi	
ns_id	Unsigned int	Taşıtın sonraki YKB'sinin kimlik numarası	



Şekil 3.20 VCAPALL yapısı

YKB belli aralıklarla (her 125 ms'de bir defa) bu paketi hazırlayarak ağa yayım yoluyla gönderir. Ağdaki taşıtlar bu paketi aldıklarında kendi kanal bilgilerini güncellemektedirler, ayrıca varsa kanal ve zaman dilimi değişimlerinin gerçekleştirmektedirler. Böylelikle YKB her 125 ms'de bir defa olmak üzere ağın senkronizasyonunu sağlamaktadır.

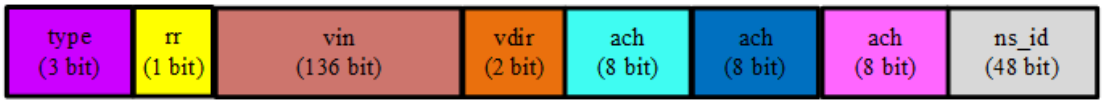
3.3.4.4. YKB'ler Arası Rezervasyon Paketi (Inter-RSU Reservation Packet – IRRP)

Bu paket rezervasyon işlemi sırasında YKB'ler arasında kablolu ara yüz üzerinden gidip gelen paketleridir. Bir YKB, bu paketi kendi kapsama alanında olan bir taşıt için

bir sonraki YKB'den kanal rezervasyonu isteyeceği zaman veya kendisine kanal isteği yapan komşu YKB'ye rezervasyon cevabı vereceği zaman kullanmaktadır. Type alanında "011" kodu bulunan paketlerdir. Tablo 3.8 IRRP paketinde tutulan verilere ait açıklamaları içermekte ve Şekil 3.20 paket yapısını göstermektedir.

Tablo 3.8 YKB'ler arası rezervasyon paketinde (IRRP) tutulan veriler

Alan adı	Boyutu	Açıklama	
TYPE	3 Bit	Paket tipi (IRRP için 011)	
RR	1 Bit	0: REQUEST	Rezervasyon isteği yapıldığını belirtir.
		1: RESPONSE	Rezervasyon isteğine cevap verildiğini belirtir.
VIN	136 Bit	Rezervasyon istenen taşıtın kimlik numarası	
VDIR	2 Bit	Taşıt yönü	
ACH	8 Bit	Taşıta atanan veri kanalı numarası	
ACH_TS	8 Bit	Taşıta atanan veri kanalı içindeki zaman dilimi numarası	
CC_TS	8 Bit	Taşıta kontrol kanalı zaman dilimi numarası	
NS_ID	48 Bit	Sonraki YKB'nin kimlik numarası	



Şekil 3.21 IRRP paket yapısı

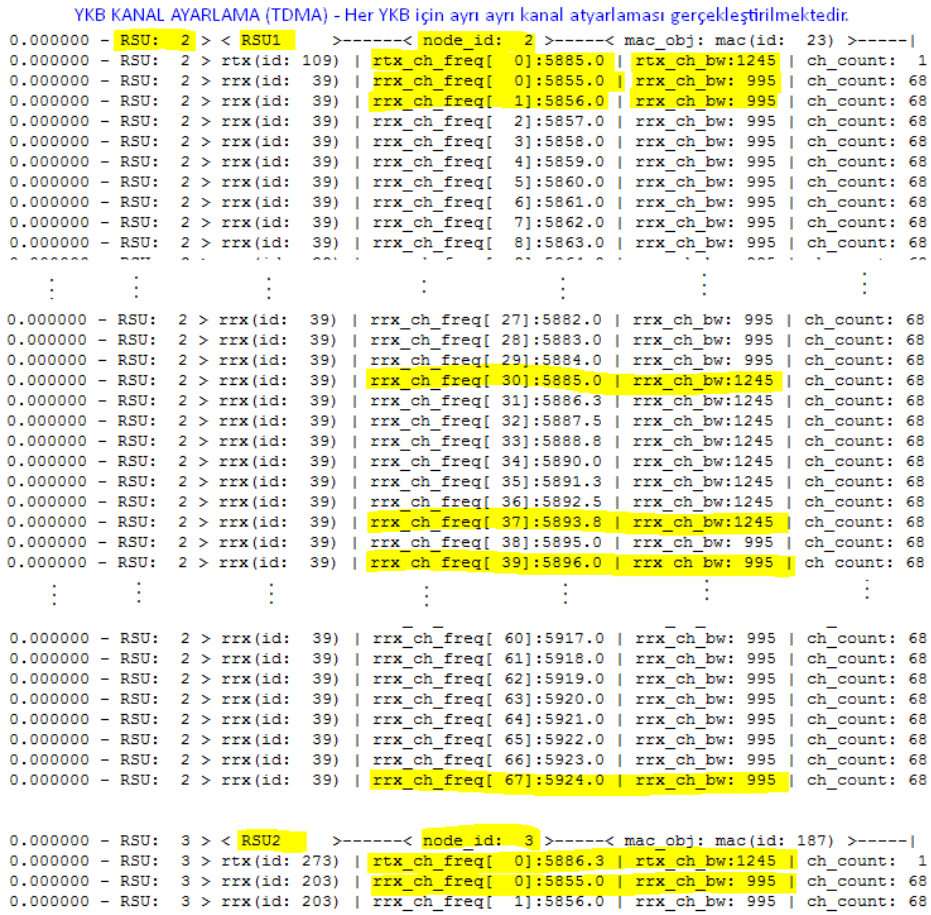
Bu paket içerisinde yer alan rr (Request/Response) alanı 0 ise YKB taşıt için kanal isteğinde bulunuyor demektir. Bu alan 1 ise YKB komşusuna taşıt için kullanılabilecek kanal bilgilerini göndermektedir. YKB komşusundan response paketini aldıktan sonra yeni bir VCAPSingle paketi oluşturarak üyesi olan taşıta göndermektedir. VCAPSingle paketini alarak sonraki istasyonda kullanacağı kanal bilgilerini alan taşıt, sonraki YKB'nin kapsama alanına girdiğinde kullanmakta olduğu kanalları serbest bırakıp, rezervasyon yolu ile kendisine ulaşan ve yeni YKB'nin kapsama alanında kullanacağı kanalları ayarlayarak yeni ağa sorunsuz geçiş yapmaktadır.

3.4. ReMAC Protokolü Geliştirme Adımları

Bu tez çalışmasının yukarıdaki 3.1, 3.2 ve 3.3 bölümlerinde anlatıldığı şekilde tasarlanmış olan proje modeli, düğüm modelleri, algoritma ve diğer bileşenler kullanılarak geliştirilmiş olup, yine OPNET ortamında çalıştırılarak testleri gerçekleştirilmiştir. Tezin bu bölümünde ortaya konan projenin çalışma aşamaları ve her aşamadaki ekran çıktıları paylaşılarak benzetim modelinin çalışma şekli anlatılmaktadır.

3.4.1. Kontrol ve Veri Kanallarının Alt Kanallara Bölünerek Ayarlanması

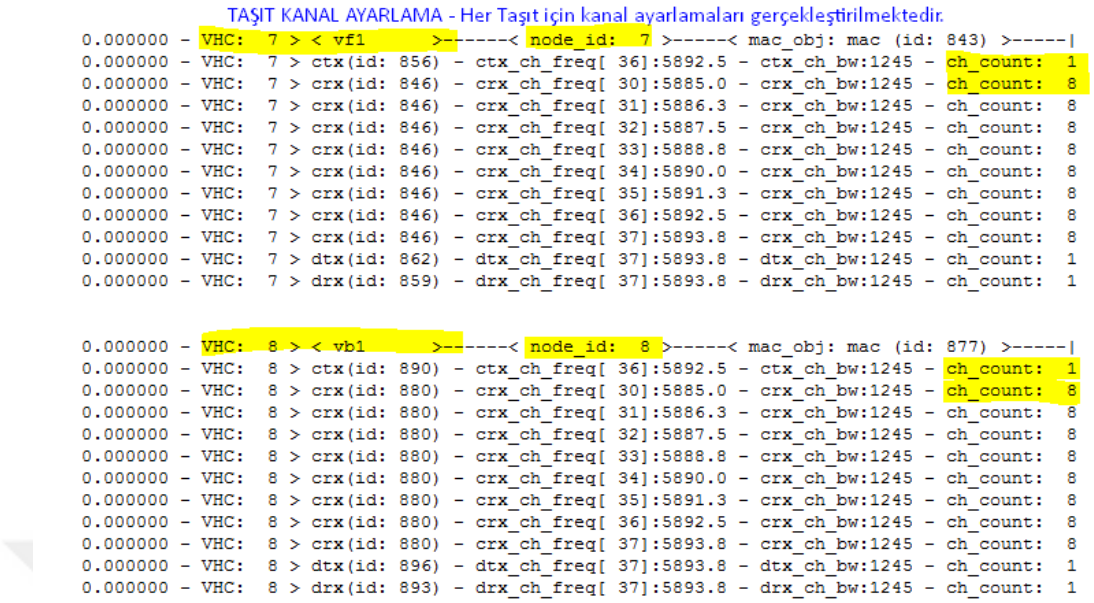
Benzetimin başlangıcında taşıtlar ve YKB'lerin hazırlanması amacıyla ilk ayarlama periyodu (initialization period) gerçekleştirilmekte olup, bu aşamada proje senaryosuna dâhil edilmiş tüm taşıtlar ve YKB'lerin dinleyeceği kanalların ayarlanması gerçekleştirilmektedir. Öncelikle DSRC'de tanımlı 6 adet veri kanallarının (SCH) her biri TDMA ile 995 KHz bant genişliğinde ve komşu iki kanal arasında 5 KHz koruma bandı olacak şekilde 10 adet alt frekans kanallarına bölünmektedir. Böylece toplamda 60 adet servis kanalı elde edilmektedir. Kontrol kanalı(CCH) ise yine TDMA ile her biri 1245 KHz bant genişliği ve 5 KHz koruma bandına sahip 8 alt kanala bölünmektedir. Bu işlemler YKB'nin işlem modeli olan RSU_process_model'in fonksiyon bloğunda (FB) tanımlanmış olan *set_RSU_BFB_ch_list(), set_RSU_FFB_ch_list(), set_RSU_CFB_ch_list() ve initialize_radios()* isimli fonksiyonlar ile gerçekleştirilmektedir. Söz konusu fonksiyonlar yardımıyla frekans bölmeleri gerçekleştikten sonra YKB 60 adet servis kanalı ve 8 adet kontrol alt kanalı olmak üzere toplamda 68 adet kanalı dinlemek üzere ayarlanmaktadırlar. Şekil 3.22'de her YKB için konsol ekranında görüntülenen atanmış servis ve kontrol kanalları gösterilmektedir. Yapılan kanal atamalarından da görülebileceği üzere YKB'ler tüm kanalları dinlemek üzere ayarlanmaktadırlar. Varsayılan olarak her YKB kontrol kanalında çekişmeli kanal olan JNCH kanalını dinlemek üzere ayarlanmaktadır. Çünkü taşıtlar ilk olarak bu kanalı kullanarak ağa katılma isteklerini göndermektedirler.



Şekil 3.22 YKB'lerin kullanmakta olduğu servis ve kontrol alt kanalları

Taşıtlar da 8 adet kontrol kanalını ve 1 adet varsayılan veri kanalını dinlemek üzere taşıt işlem modelinin (VHC_process_model) fonksiyon bloğunda tanımlanmış olan YKB'deki benzer fonksiyonlar (*set_vhc_BFB_ch_list(), set_vhc_FFB_ch_list(), set_vhc_CFB_ch_list(), initialize_vhc_radios()*) yardımıyla ayarlanmaktadırlar. Şekil 3.23'de her taşıt için konsol ekranında görüntülenen atanmış servis ve kontrol kanalları gösterilmektedir.

Taşıtlar için de varsayılan olarak ilk etapta ağa katılım isteği gönderebilecekleri JNCH kanalı, servis kanallarının ilki olan bir varsayılan veri kanalı ve YKB'nin kalp atışlarını duyabilecekleri HBCH kanalları ayarlanmaktadır.

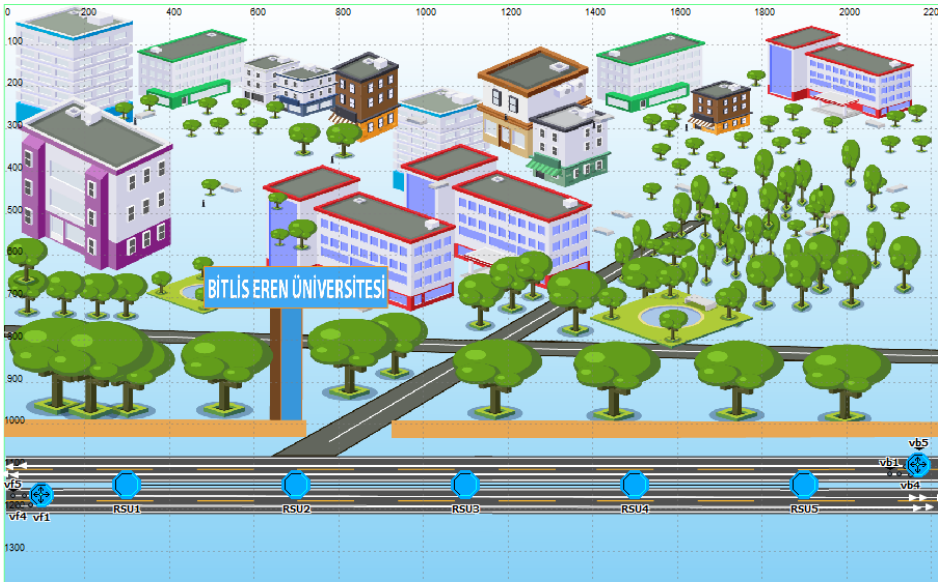


Şekil 3.23 Taşıtların kullanmakta olduğu servis ve kontrol alt kanalları

İlk kurulum aşaması sonrasında ağa katılmak isteyen taşıtlar protokolde tanımlanmış olan CSMA algoritması yardımıyla, çekişmeli kanal olan JNCH kanalını kontrol ederek, kanalı müsait buldukları anda bağlantı istek paketlerini (VSIP) göndermektedirler. Burada bağlantı isteği göndermek isteyen taşıtlar için tanımlanmış olan bir kuyruklama mekanizması yardımıyla, taşıtlar öncelikle bir CSMA kuyruğuna girmektedirler. Böylece CSMA yapmadan önce algoritmaya göre rastgele bir süre beklemektedirler. Böylece sıralı istek gönderme sağlandığından kanalı boş bulma olasılığı artmakta ağa katılım gecikmesinin azalmasına katkı sağlanmaktadır. Ağa katılma isteğini alan YKB'ler istek sırasını ve taşıtların yönlerini dikkate alarak her taşıta bir kanal ve zaman slotu ataması gerçekleştirmektedir. Algoritma gereği, taşıtların yönlerine göre servis kanallarından 30 tanesi geri yönüne giden taşıtlara diğer 30 tanesi de ileri yönüne giden taşıtlara atanmaktadır. Atanan bu kanal bilgileri YKB'lerde tutulan VCAT tablosuna yazılarak kayıt altına alınmakta, böylece taşıtların kanal yerleşimi bu tablodaki boş yerlere göre yapılmaktadır.

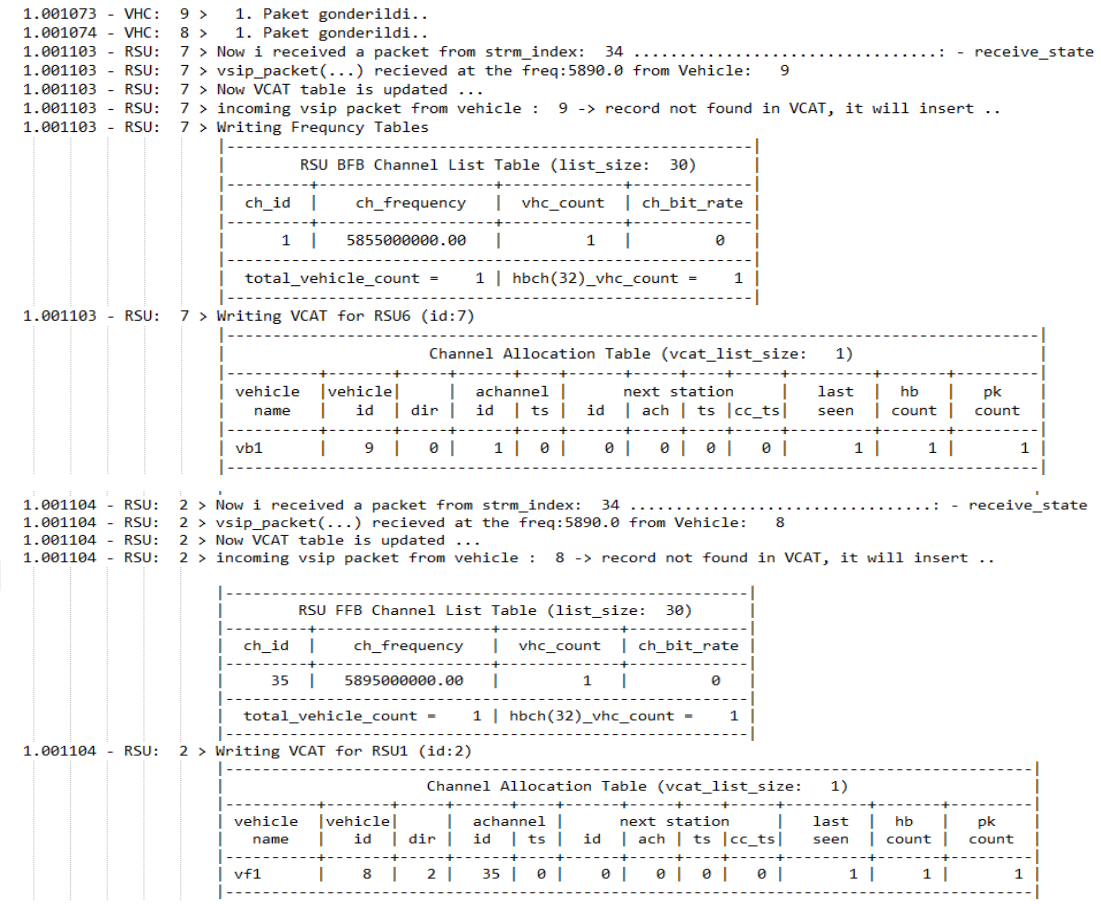
3.4.2. İstek Yapan Taşıta Kanal Atamasının Yapılıp Tabloya Kaydedilmesi

Tezin bu bölümünde Şekil 3.24'te gösterilen şekilde 5 YKB ve her yönde 5 olmak üzere toplam 10 taşıttan oluşan bir örnek senaryo oluşturulup benzetim gerçekleştirilerek protokolün çalışması adım adım gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.24 Örnek senaryo

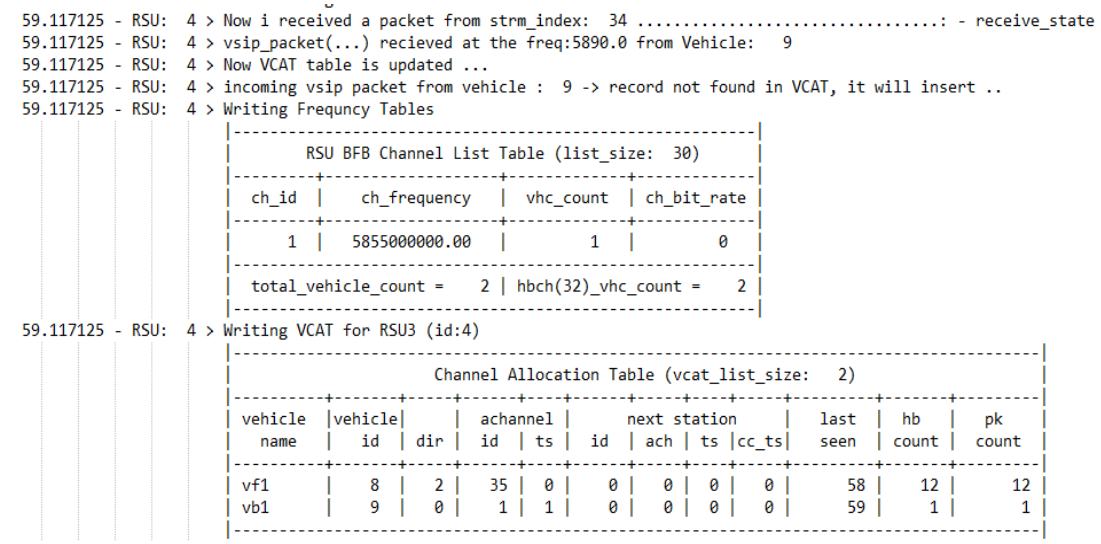
Örnek senaryo çalıştırıldığında, ilk gelen taşıt 9 numaralı taşıt olup, ağa katılma sinyali göndermekte ve bu paketi RSU7 isimli YKB almaktadır. YKB, istek paketi aldığı taşıtın frekans bilgilerini konsola yazıp, kontrol ettikten sonra, yönüne göre bu taşıta bir kanal ataması yapmakta ve bu atama bilgilerini VCAT tablosuna yazmaktadır. Burada taşıt geri yönüne giden bir taşıt olduğundan parkurun en sonundaki YKB'de bu işlem gerçekleşmekte ve ***geri yönüne*** ayrılmış olan kanallardan bir atama yapılmaktadır (Şekil 3.25). Yapılan atamayı görüntülemek üzere VCAT tablosu konsol ekranında gösterilmektedir. Tablodan, 9 numaralı taşıtın (vb1) geri yönüne giden kanallardan 1.inci kanalın 0.ıncı zaman dilimine atandığı görülmekte olup, taşıtın gönderdiği paket sayısı, kalp atışı sayısı ve son görülme zamanı (saniye olarak) tabloya kaydedilmektedir.



Şekil 3.25 Taşıtların kanal istekleri ve YKB'ler tarafından kanal ataması yapılması

Sonraki istasyon bilgileri şu an için boş olarak görünmektedir. İlerleyen aşamalarda rezervasyon yönteminin anlatıldığı kısımda bu alanların nasıl doldurulduğuna değinilecektir. Aynı şekilde ***ileri yönüne*** giden ilk taşıt olan vf1 isimli ve kimlik numarası 8 olan taşıt, ileri yöndeki ilk YKB olan RSU2'ye bağlanmak için istek göndermekte ve bu isteği YKB tarafında cevaplanarak, taşıta atanan kanallara ait bilgiler RSU2 isimli YKB'nin VCAT tablosuna yazılmaktadır.

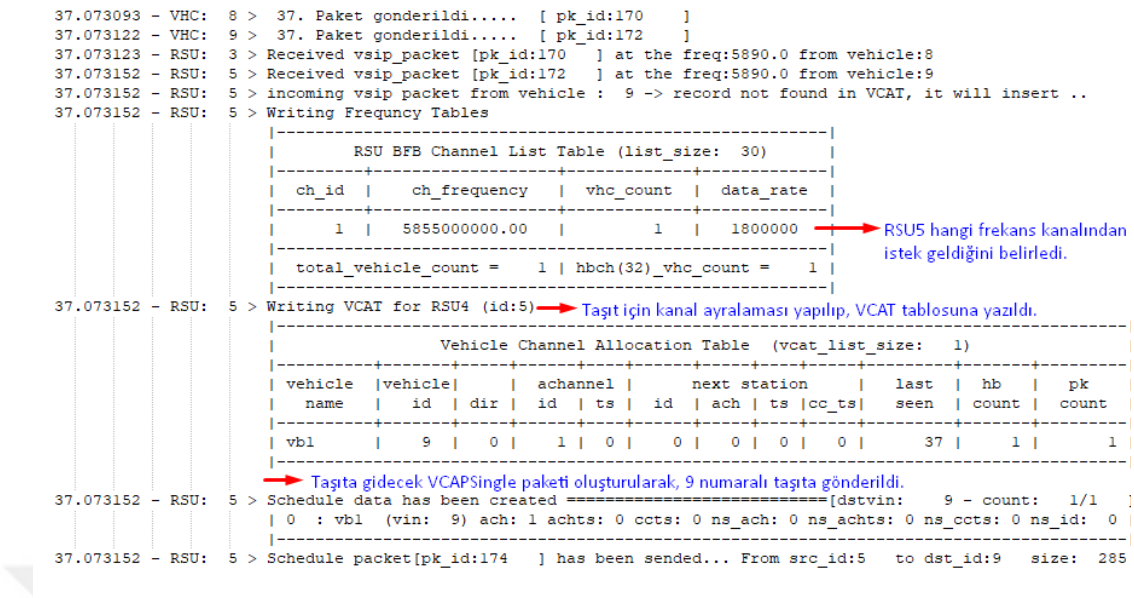
Benzer şeklide benzetimin ilerleyen safhalarında bu taşıtlar aynı YKB'nin kapsama alanına girmekte ve RSU4 tarafından bu taşıtlara yönlerine uygun olarak kanal ve zaman dilimi ataması gerçekleştirilmektedir. Benzetimin 59,117125'inci saniyesinde bu taşıtların aynı YKB'nin kapsama alanında olduğu ve kanal atamalarının yapılmış olduğu görülmektedir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Farklı yönlere giden taşıtların aynı YKB'nin kapsama alanına girmesi

3.4.3. YKB'nin Yapılandırma (VcapSingle) Paketlerini Oluşturup Taşıta Göndermesi

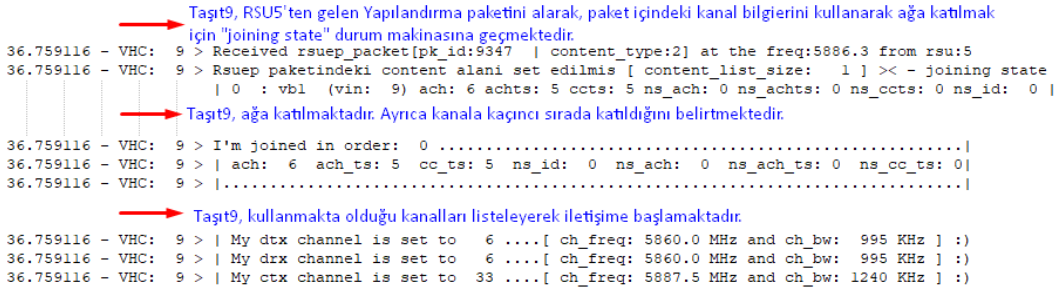
Bu aşamada kanal ayarlaması gerçekleşen taşıtlara, hangi kanal ve slotun ayarlandığını bildiren bir yapılandırma (schedule) paketi (Şekil 3.27) gönderilmekte ve taşıtın bu paketi alıp açarak, hangi kanal ve zaman dilimlerini kullanacağını öğrenmesi sağlanmaktadır. Burada öncelikle YKB, kendi tablosunda bulunan taşıta ayırmış olduğu kanallara ait bilgileri kullanarak, önceki bölümde ayrıntısı anlatılmış olan VCAPSingle paket yapısına uygun olarak taşıta özel bir yapılandırma paketi hazırlamaktadır. Daha sonra bu paket bir RSUEP paketinin içine yerleştirilerek kontrol kanalındaki SCCH alt kanalından taşıta gönderilmektedir. Ekran çıktısından anlaşılacağı üzere kapsama alanına girip kanal isteğinde bulunan bir taşıta önce kanal ayarlaması yapılmakta, daha sonra atanan kanal VCAPSingle paketi olarak hazırlanmakta ve taşıta gönderilerek, taşıtın kullanacağı kanal bilgilerine erişmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.27 VCAPSingle paketinin oluşturulup taşıta gönderilmesi

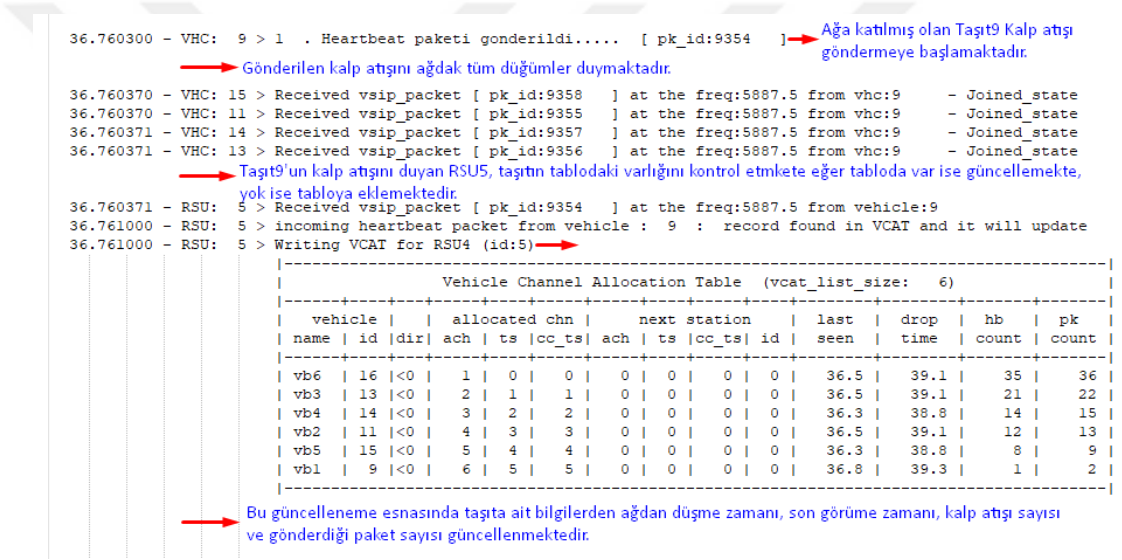
3.4.4. Taşıtların Yapılandırma Paketini Alarak Ağa Dâhil Olması, Kalp Atışı (HB) Paketlerini Oluşturup Göndermesi

Bu aşamada, taşıtlar dinledikleri SCCH kanalından gelen VCAPSingle paketlerini alıp, eğer paket kendilerine gelmiş ise açarak içindeki kanal atama bilgilerini kontrol etmektedirler ve paket içerisindeki iletişim kanalı ve zaman slotu bilgilerini alarak kendilerini ilgili kanallara ayarlamaktadır (Şekil 3.28). Kanal bilgisini ayarlayarak ağa katılma işlemini gerçekleştiren taşıt, artık kanal isteği için kullanmakta olduğu çekişmeli JNCH kanalını serbest bırakarak, kendisine ayrılan servis kanallarını kullanmaktadır.



Şekil 3.28 Taşıtın ağa katılması

Ayrıca, kontrol sinyallerini göndermek için ise hareket yönüne göre ayarlanmış kontrol HBCH kanalı içerisindeki kendisine atanmış olan zaman dilimini kullanarak kontrol sinyallerini YKB'ye göndermektedir. Artık kanal tahsisleri gerçekleşen taşıt, kendi kanallarını kullanmakta ve iletişim gerçekleştirebilmektedir. Bundan sonraki süreçte taşıtlar artık kapsama alanı içinde olduklarını, ağa bağlı bulunduklarını veya hâlâ hayatta olduklarını bildirmek üzere bir klap atışı paketini YKB'ye göndermektedirler. Bu paket önceki bölümde anlatılmış olan yapıda bir kalp atışı paketidir ve taşıtlar bu paketi kontrol kanalının alt kanalı olan HBCH (HBCH_BACKWARD veya HBCH_FORWARD) kanalından kendine ayrılmış zaman diliminde bağlı oldukları YKB'ye göndermektedirler (Şekil 3.29).

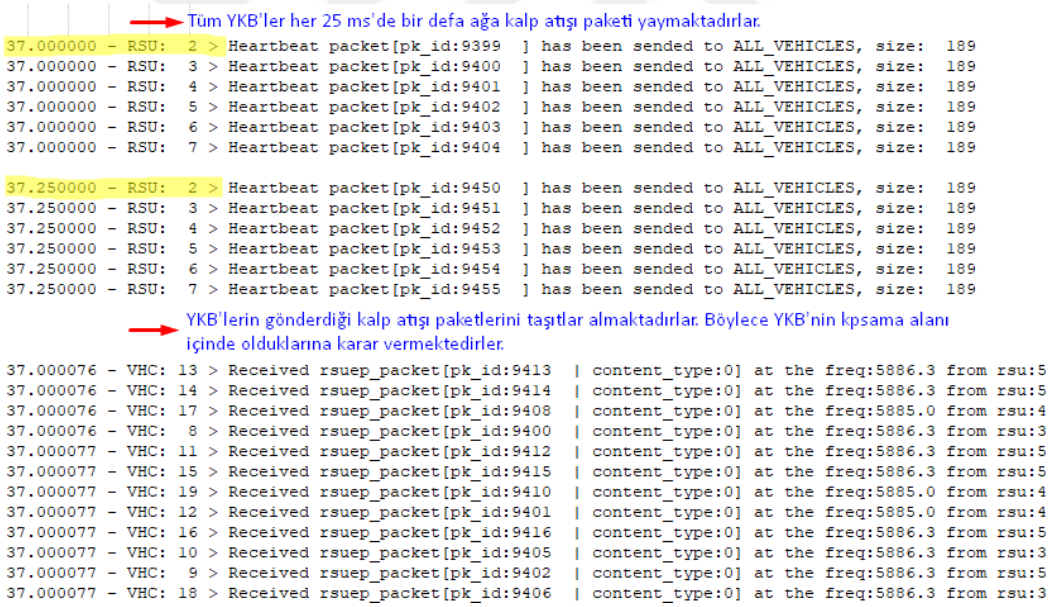


Şekil 3.29 Taşıtın YKB'ye kalp atışı paketi göndermesi

Kalp atışı sinyalini alan YKB bu taşıtın VCAT tablosundaki varlığını kontrol edip, tabloda var ise taşıta ait son görülme zamanı (last_seen_time), kalp atışı alınmaması durumunda ağdan düşmesi gereken zaman (drop_time), kalp atışı sayısı(HB_Count) ve gönderdiği paket sayısı (pk_count) gibi bilgilerini güncellemektedir. Böylece taşıtın bilgileri sürekli olarak tabloda güncel tutulmakta, kalp atışına bağlı olarak ağdan düşmesi veya ağda kalması kontrol edilmektedir.

3.4.5. YKB'lerin Kalp Atışı (RSUHB) Göndermesi ve Taşıtların YKB Kapsama Alanını Algılamaları

Ağ yöneticisi konumunda olan YKB kendisine yaklaşmakta olan taşıtlara veya kapsama alanındaki taşıtlara belli aralıklarla kalp atışı göndermesi sağlanarak, bu kalp atışlarını almaya başlayan taşıtların artık yeni bir YKB'nin kapsama alanına girdiklerini anlamaları amaçlanmıştır. Ayrıca bir taşıtın hali hazırda hangi YKB'nin kapsama alanı içinde olduğunu tespit edebilmesi hedeflenmiştir. YKB kalp atışı paketleri daha önceki bölümde anlatıldığı üzere bir tür RSUEP paketidir. Bu paket belli aralıklarla tüm taşıtların algılaması için yayım (broadcast) yoluyla SCCH kanalında gönderilen bir pakettir. YKB'ler her 25 ms'de bir defa bu paketi göndermektedirler (Şekil 3.30). Bu paketi alan taşıt, paketin içine bakarak gönderen YKB'yi öğrenmekte ve hangi YKB'nin kapsama alanında olduğuna karar vermektedir.

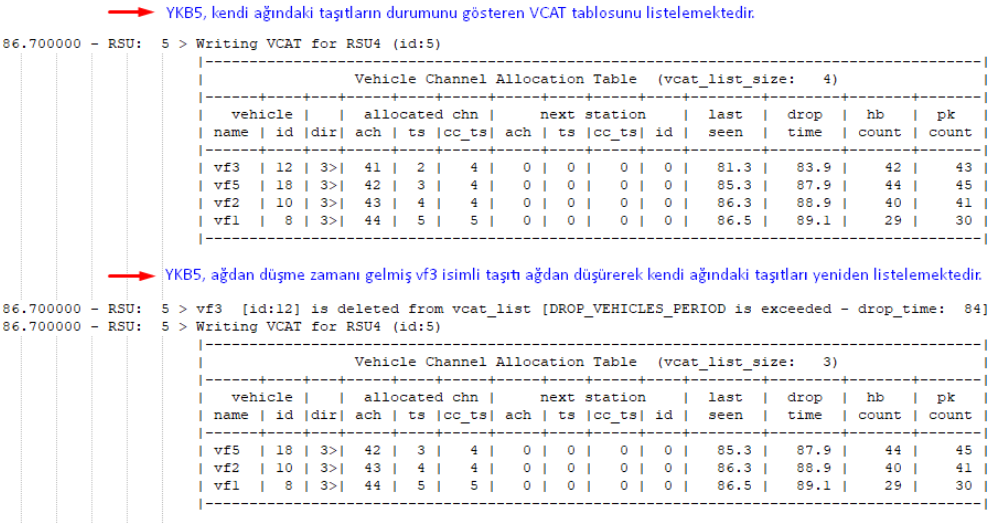


Şekil 3.30 YKB'nin kalp atışı paketi göndermesi ve taşıtın bu paketi alması

3.4.6. YKB'lerin Kapsama Alanından Çıkan veya Ağdan Kopan Taşıtları Ağdan Düşürmesi:

Bu aşamada, taşıtların YKB 'lerdeki VCAT tablosu kayıtları incelenerek, ağdan düşme zamanı gelen veya başka bir deyişle VCAT tablosunda belirtilen süreye kadar

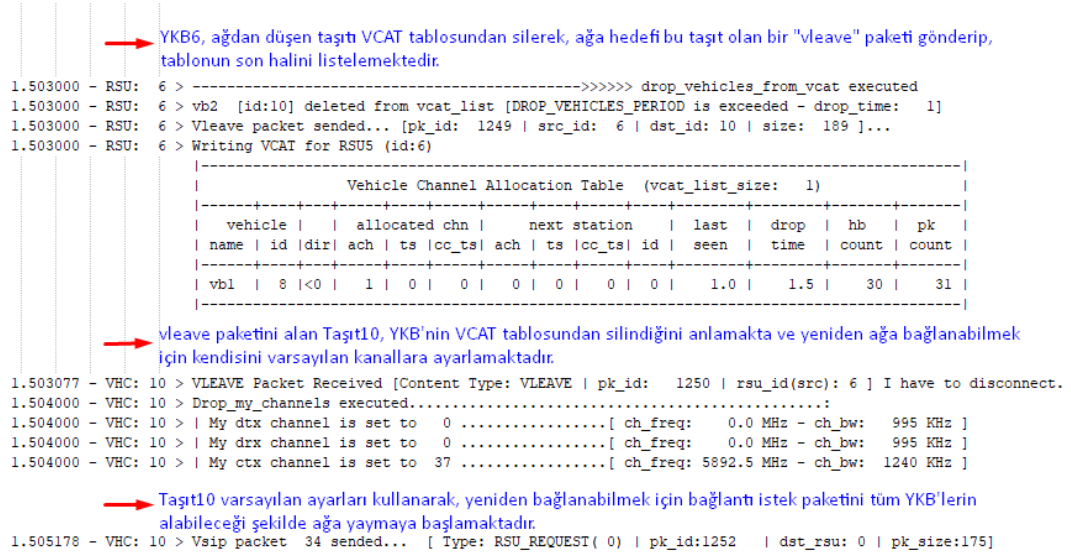
(drop_time) kalp atışı göndermeyen taşıtların artık kapsama alanında olmadıklarına veya bir sorunla karşılaşıp ağdan düştüğüne karar verilmektedir. Bu taşıtlar, taşıt işlem modelinin fonksiyon bloğunda tanımlanmış olan "*drop_vehicles_from_vcat()*" fonksiyonu yardımıyla VCAT tablosundan silinerek ağdan düşürülmektedir. Bu sayede YKB'lerin kullandırmakta olduğu kanallarda boş yere işgal edilen kanalın önüne geçilerek, bu kanalları ağa yeni dâhil olan taşıtlara kullandırmanın yolu açılmaktadır. Böylece kaynak israfının önüne geçilerek kaynakların verimli kullanımı adına kazanım sağlanmaktadır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Taşıtın ağdan düşürülmesi

Konsol çıktısından da anlaşıldığı üzere ID'si 12 olan taşıt belirli bir süre boyunca (83.9'uncu saniyeye kadar) kalp atışı göndermediğinden hemen bir sonraki adımda RSU5'in VCAT tablosundan silinmiştir. Böylece daha önce kullanmakta olduğu kanal boşaldığından yeni gelen taşıtlar tahsis edilebilmektedir. Bu taşıt artık kalp atışı gönderse bile tabloda olmadığından bu taşıt için yeni bir kanal atama işlemi başlayacaktır.

Ağdan düşürülen taşıta YKB bir "Vleave" paketi göndermektedir, bu paketi alan taşıt artık o ağdan düşürüldüğünü anlamaktadır. Daha sonra kendi iletişim kanallarını varsayılan kanal ayarlarına döndürerek, ağa bağlanmak için yeniden ağa katılım istek paketi (VSIP) göndermektedir.

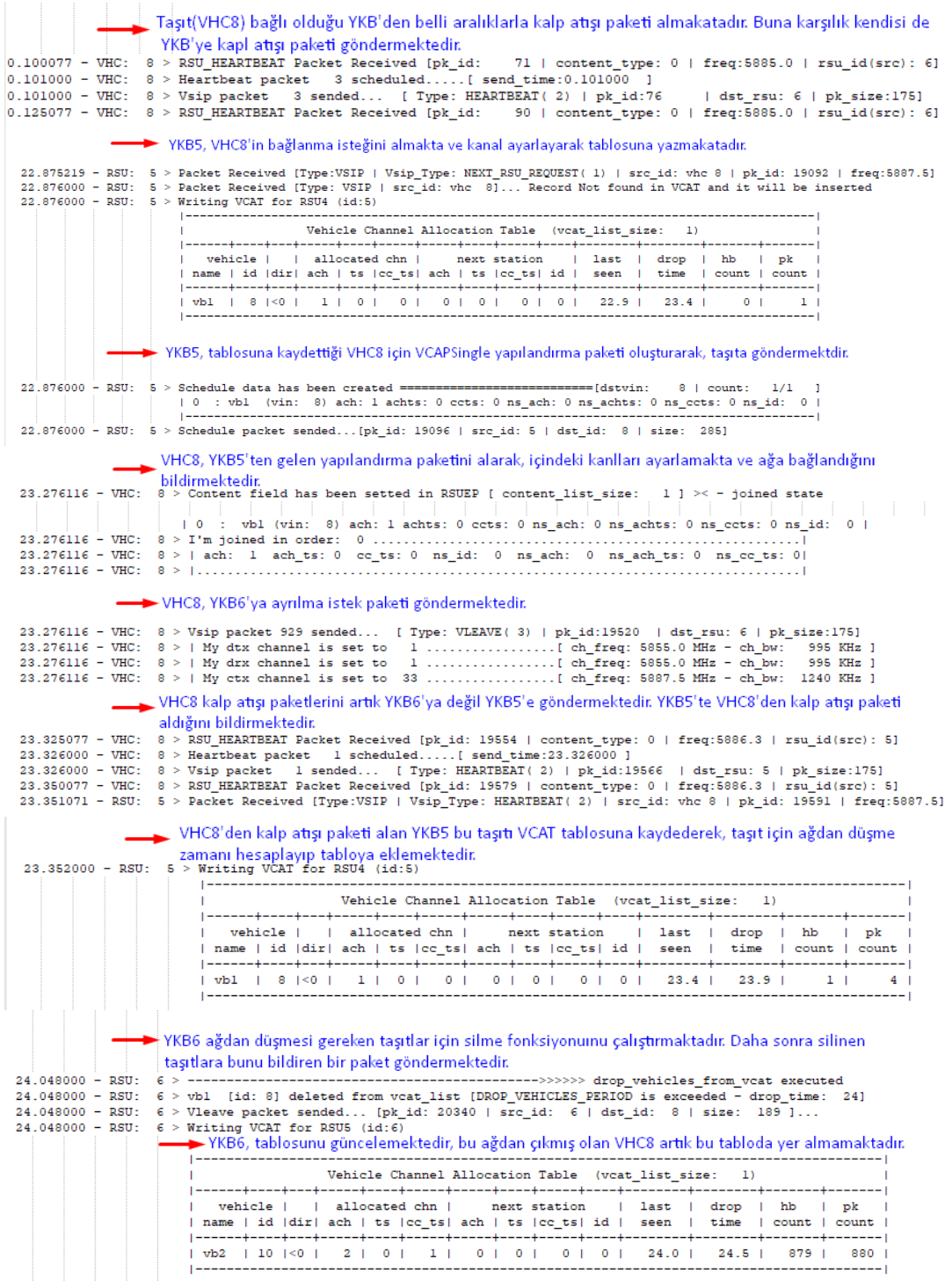


Şekil 3.32 Ağdan düşen taşıtın yeniden ağa bağlanma isteği göndermesi

3.4.7. Taşıtların Yeni Bir YKB Bulduklarında Kopmak İstediklerini Bağlı Bulundukları YKB'lere Bildirmelerinin Sağlanması

Benzetimin bu kısmında taşıtların çevredeki YKB kapsama alanlarını sezip ona göre hareket etmelerini sağlamak amaçlanmıştır. Bunun için YKB kalp atışı mekanizması kullanılmıştır. Taşıtlar bağlı bulundukları YKB'den belli aralıklarla kalp atışı paketi almaktadırlar. Bununla birlikte, yaklaşım sayesinde hareket halindeki taşıtlar hareket yönünde ki yeni YKB'ye yaklaştıklarında (komşu YKB'lerin kesişim bölgesine girildiğinde) yeni YKB'den de kalp atışı paketi alabilmektedir. Her iki YKB den kalp atışı paketi alan taşıt, artık komşu iki YKB'nin kapsama alanlarının kesişim bölgesine geldiğini ve bağlı bulunduğu YKB'nin kapsama alanı sonuna yaklaştığını anlamaktadır. Bu durumda taşıt, bağlı bulunduğu YKB'ye ondan ayrılmak istediğini belirten bir paket (VLEAVE) göndererek o ağdan ayrılıp, kapsama alanı daha güçlü olan yeni YKB'ye bağlanmaktadır. Böylece ağlar arası geçişlerde (handover) gecikme olmadan kendi kendine sorunsuz geçişler sağlanmaktadır.

Bu mekanizma sayesinde taşıtların ağlar arasında ağdan kopmadan ve ekstradan bir çekişme yapmadan geçiş gerçekleştirilerek bu tez çalışmasının hedeflerinden birisi olan ağın hızlı organize olma performansına doğrudan katkı sağlanmaktadır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Taşıtın sonraki YKB'ye bağlanma aşamaları

Bu aşamadaki işlem şöyle gerçekleşmektedir: Taşıtın YKB'den ayrılmasını sağlamak üzere YKB'ye gönderilen VSIP paketinin vsip_type alanının değeri "11" yapılarak bu VSIP paketinin bir ayrılma istek paketi (VLEAVE) olduğu YKB'ye anlatılmaktadır.

Konsol çıktısından da anlaşılacağı üzere öncelikle taşıt komşu YKB'den gelen RSUHB paketini aldığında o YKB'ye bağlanmak için harekete geçmektedir. Bu isteği alan YKB, taşıt için kanal tahsislerini yapmakta ve taşıta VCAPSingle ile göndermektedir. Bu paket ile yeni ağa bağlanan taşıt, eski YKB'den kopmak için VLEAVE paketi göndermekte ve yoluna yeni YKB'nin ağının bir üyesi olarak devam etmektedir.

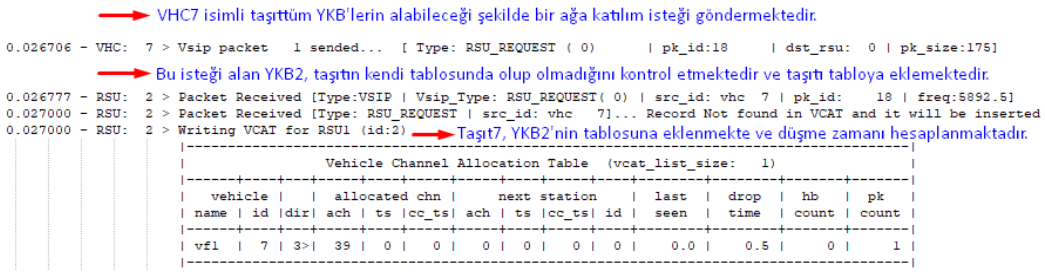
YKB'ler ise kapsama alanından çıkmış, ağdan düşürülme zamanı gelmiş veya diğer ağa geçmek üzere ağdan ayrılma isteği göndermiş taşıtları tablosundan silmek üzere belli aralıklarla tablodan taşıt silme fonksiyonunu çalıştırarak tablolarını güncellemektedirler. Böylece tablolarında gereksiz yere bulunun ve kanal kullanıyormuş gibi görünen taşıtlar tablodan silinerek kullanmakta oldukları kanallar yeni gelen taşıtlar tarafından kullanılmak üzere boşaltılmaktadır.

3.4.8. Önceden Kanal Tahsisi (Rezervasyon) Mekanizması

Tez çalışmasının en önemli amaçlarından ve yeniliklerinden birisi rezervasyon metodudur. Bu metot sayesinde taşıtların ağa erken adapte olması, ağın hızlı bir şeklide organizasyonu, tasarlanan protokolün mevcut rakiplerine göre daha iyi performans göstermesi sağlanmaktadır. Bu bahsedilen mekanizmanın projeye eklenmesi ile ağdaki bir taşıt, henüz bir YKB'nin kapsama alanında iken bir sonraki YKB'ye kanal isteğinin iletilmesi sağlanmış, sonraki YKB'nin de taşıta uygun kanal ayarlaması gerçekleştirilmiştir. Bu özellik sayesinde taşıtın YKB'ler arası geçişi sorunsuz ve çaba harcamadan gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Böylece taşıt en fazla zaman kaybına uğradığı yer olan YKB'ler arası geçişte çok kısa sürede kanal ayarlarını almıştır. Böylece sonraki ağa hızlı geçiş ve erken ağ organizasyonu gerçekleştirilmiştir.

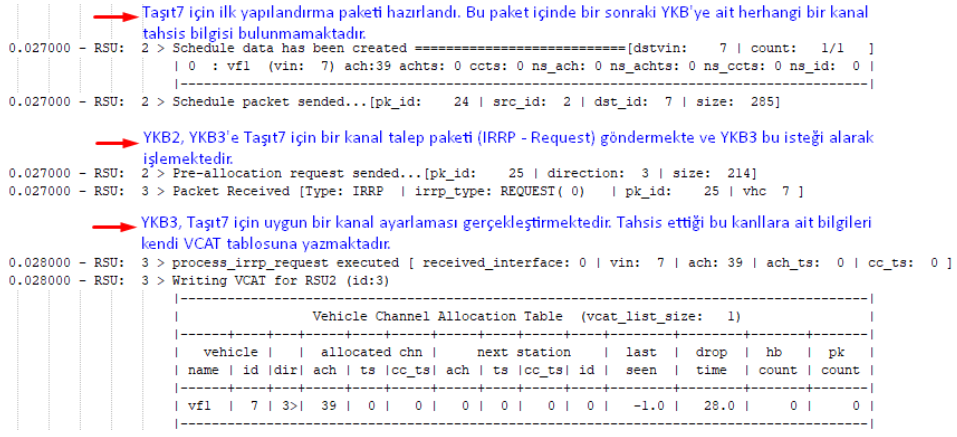
Tez çalışmasının bu bölümünde Bölüm 3.2.2'de ayrıntıları verilmiş olan rezervasyon mekanizmasının çalışma şekli ve ağdaki taşıtların rezervasyon metodunu nasıl kullandıkları örnek bir benzetim senaryosunun adımları gösterilerek anlatılacaktır. Benzetim boyunca taşıtların konsol çıktısı yoluyla hareketleri izlendiğinde önceden kanal tahsis işlemlerinin nasıl gerçekleştiği görülebilmektedir. Aşağıda VHC7 isimli taşıtın ağa katılma ve rezervasyon hareketlerini gösteren konsol çıktısı örnekleri verilmiştir.

Öncelikle benzetim başladığında, ağa katılmak isteyen taşıtlar kendilerine varsayılan olarak ayarlanmış JNCH kanalından tüm YKB'lerin duyabileceği ağa katılma istek paketleri (VSIP) gönderilmektedirler. Bu isteği duyan YKB istek yapan taşıta cevap vererek taşıtın ağa katılma işlemini başlatmaktadır (Şekil 3.34).



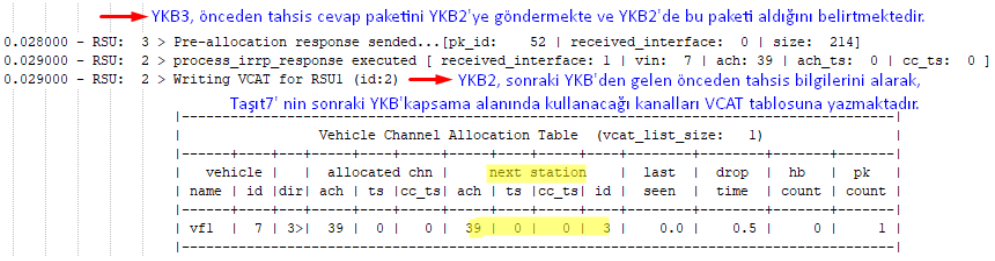
Şekil 3.34 Taşıtın ağa katılma isteği

YKB, taşıtı tablosuna ekledikten sonra, taşıt için yapılandırma paketini oluşturup taşıta göndermektedir. Hemen sonrasında da YKB, taşıtın gideceği yöndeki sonraki YKB'ye taşıt için kanal rezervasyonu isteğini (IRRP) göndermektedir. Bu iş için YKB'ler arasında sağlanmış olan kablolu bağlantı ara yüzü kullanılmaktadır. Kablolu bağlantı üzerinden gönderilen rezervasyon istek paketini alan sonraki istasyon, taşıt için kanal ve zaman dilimi ayarlaması yapıp, bunu kendi taşıt kanal atama tablosuna (VCAT) yazmaktadır (Şekil 3.35).



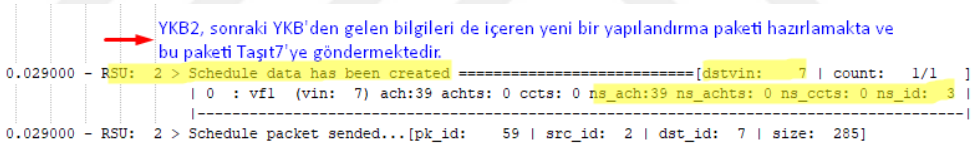
Şekil 3.35 YKB'nin kanal atamasını gerçekleştirip, rezervasyon isteği yapması

Daha sonra YKB3 kendisine doğru gelmekte olan taşıt için ayırdığı bu kanal bilgilerini bir IRRP cevap paketi ile YKB2'ye göndermektedir. YKB2 gelen paketteki bilgileri alarak kendi VCAT tablosundaki VHC7'ye ait kaydı güncellemektedir. Böylece taşıtın bir sonraki YKB'nin (YKB3) kapsama alanında kullanacağı kanal bilgilerini de elde etmiş olmaktadır (Şekil 3.36).



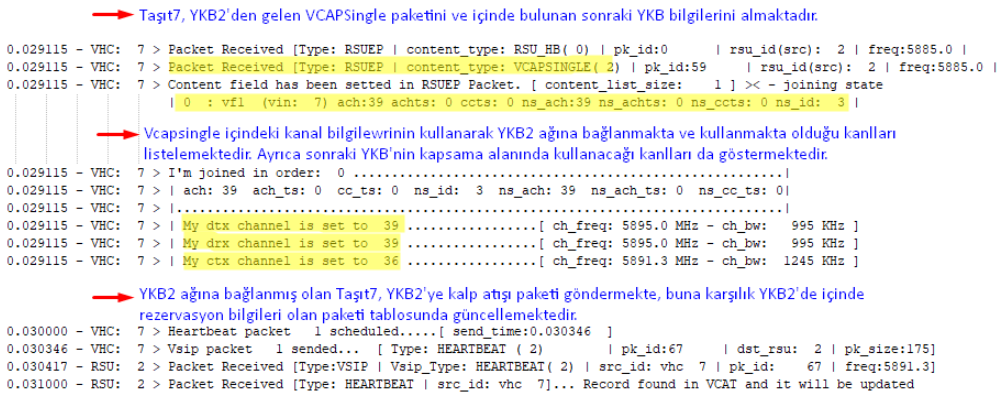
Şekil 3.36 YKB'nin sonraki YKB'den IRRP cevap paketini alması

Sonraki adımda, YKB2, VHC7'ye sonraki istasyon kanal bilgilerinin de olduğu yeni bir yapılandırma paketi hazırlayıp göndermektedir (Şekil 3.37).



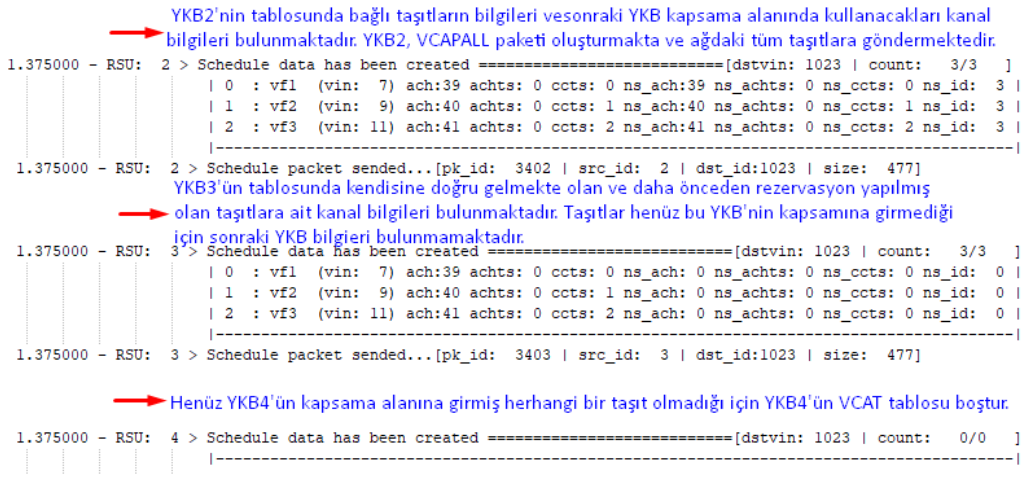
Şekil 3.37 YKB'nin rezervasyon bilgilerini içeren yapılandırma paketini taşıta göndermesi

Şekillerdeki benzetim saatlerinden de görüleceği üzere taşıtın ağa katılma isteği göndermesi ve YKB'nin taşıtı ağa dâhil edip, taşıt için rezervasyon yapması, rezervasyon bilgisinin taşıta bildirilmesi gibi işlemleri benzetimin 0,026706'ıncı saniyesi ile 0,029000'ıncı saniyesi arasında gerçekleşmektedir. Yani tüm bu işlemler için yaklaşık 3 ms harcanmaktadır. Bu süre de oldukça iyi bir performans anlamına gelmektedir. YKB2'nin gönderdiği yapılandırma paketini alan VHC7 paket içindeki bilgileri alarak, kendisini hem sonraki istasyonda kullanacağı kanal bilgilerini hem de mevcut kanal bilgilerini güncellemektedir (Şekil 3.38). Bu aşamadan sonra VHC7 mevcut kanalları kullanarak YKB2'nin ağına bağlı durumunu korumakta ve kapsama alanı içerisinde sonraki YKB'ye doğru hareket etmektedir.



Şekil 3.38 Taşıtın rezervasyon bilgilerini aldıktan sonraki davranışı

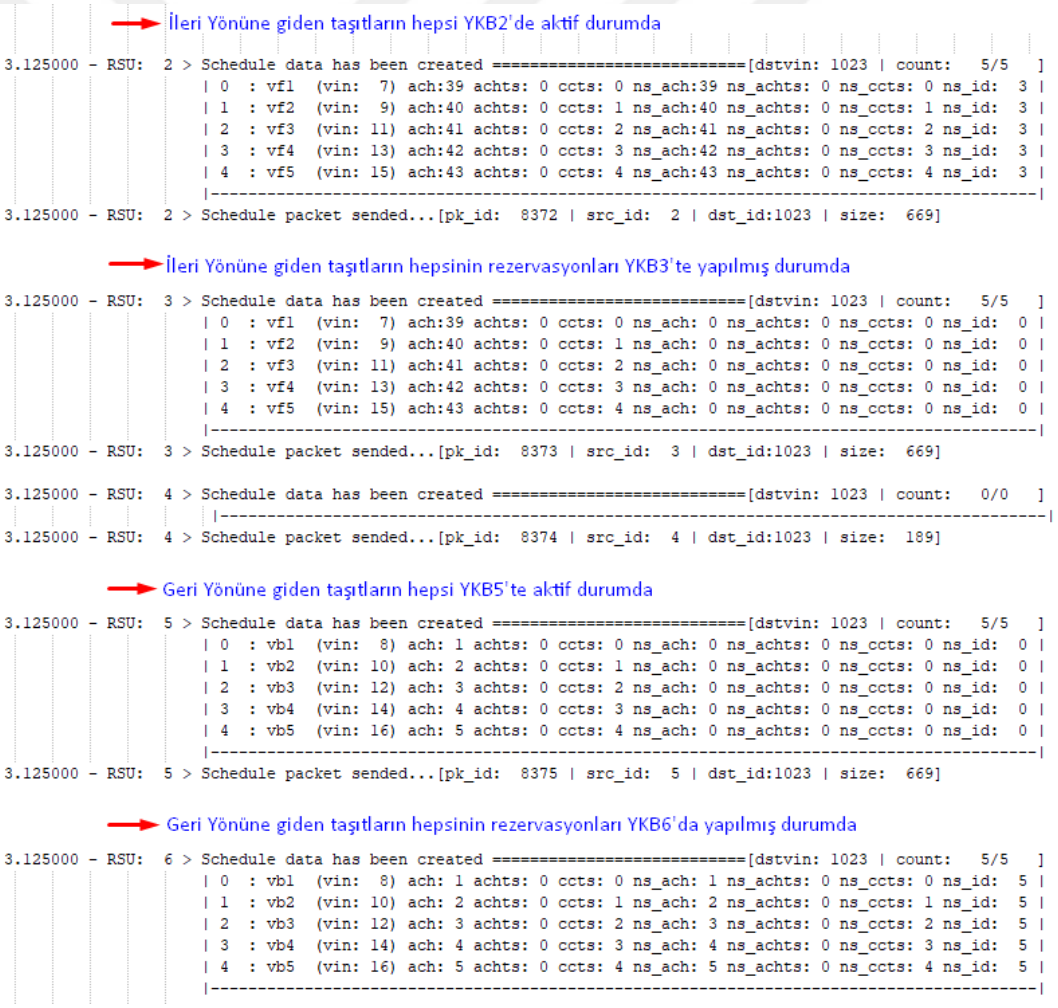
Yukarıda VHC7 isimli taşıt için anlatılan işlemler YKB'lerin kapsama alanına giren diğer taşıtlar için aynı şekilde gerçekleşerek her taşıt için sonraki YKB'de kanal rezervasyonları yapılmaktadır. Sonuç olarak benzetimin 1,375'inci saniyesinde YKB2'nin ve YKB3'ün tutmuş oldukları VCAT tablosu aşağıdaki şekilde oluşmaktadır. Tablodan anlaşılacağı üzere YKB2'de her üç taşıt kapsama alanında ve ağa bağlı durumdadır. Ayrıca bu taşıtların sonraki YKB'de kullanacakları kanal ve slot numaraları da belirlenmiş durumdadır. YKB3'ün tablosu incelendiğinde söz konusu taşıtların henüz YKB3 kapsama alanına girmedikleri görülmekte, fakat YKB2'den gelen isteklerle oluşturulmuş bir VCAT tablosu görülmektedir. Dikkat edilirse bu tabloda sonraki istasyon bilgileri boş olarak gözükmektedir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 YKB'lerin VCAPALL paketi oluşturup taşıtlara göndermesi

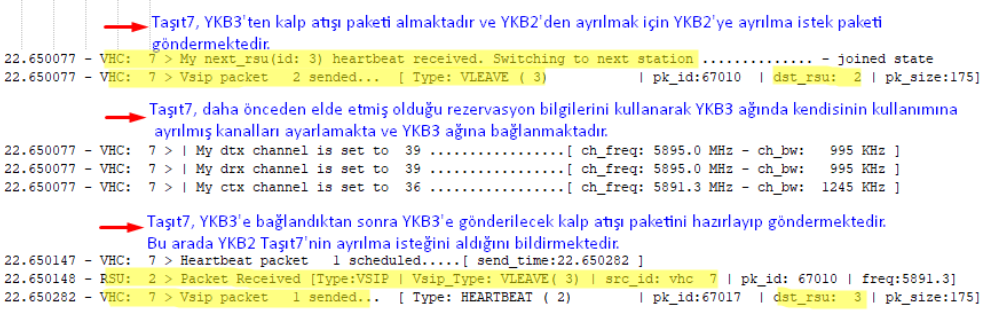
İlerleyen aşamada taşıtlar YKB3'ün kapsama alanına girip ağa bağlandıktan sonra YKB4'ten kanal isteği yapılarak doldurulacaktır. Senkronizasyonu sağlamak üzere her YKB belli aralıklarla kendi tablosundaki tüm taşıtların bilgilerini içeren bir yapılandırma paketi (VCAPALL) oluşturup, o an kendisine bağlı olan tüm taşıtlara göndermektedir.

Benzetimin 3,125'inci saniyesinde ***İleri yönlü*** giden taşıtların hepsinin aktif olarak YKB2'ye bağlı oldukları, ***Geri yönlü*** giden taşıtların hepsinin de YKB6'ya bağlı oldukları gözlemlenmektedir. Ayrıca ileri yönüne giden taşıtların kanal ve zaman dilimi rezervasyonları YKB3'de, geri yönüne giden taşıtların rezervasyonları da YKB5'de gözlemlenebilmektedir (Şekil 3.40).

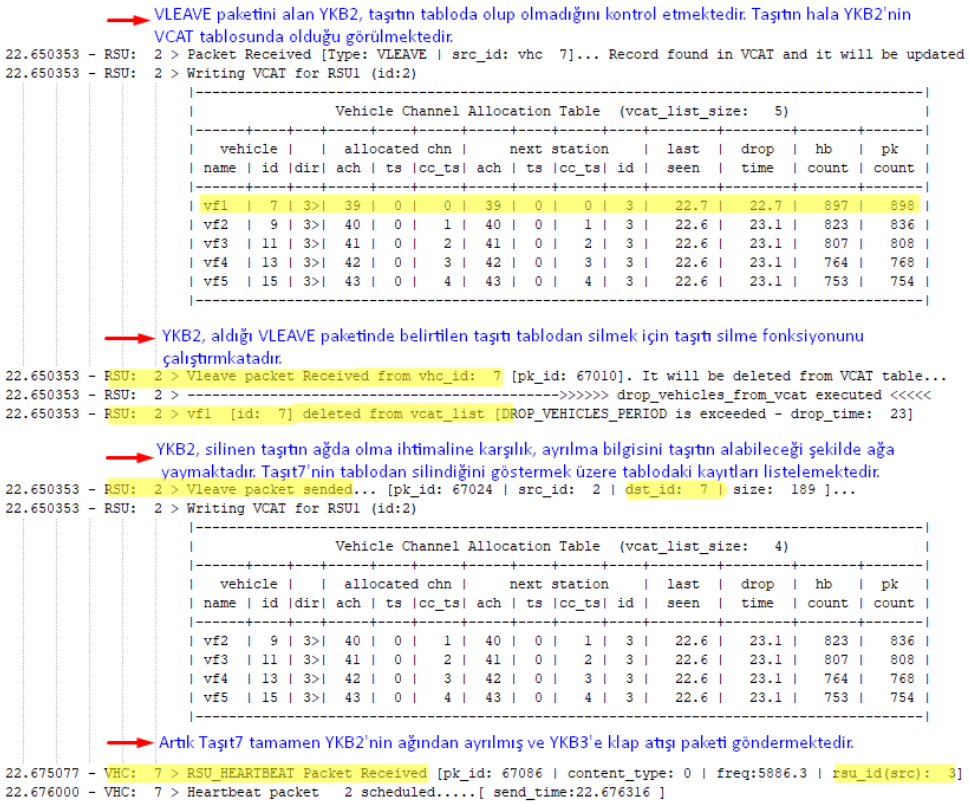


Şekil 3.40 Benzetim sırasında YKB'lerde tutulan taşıt ve rezervasyon bilgileri

VHC7 YKB2'nin kapsama alanında olduğu sürece ağa bağlı kalma durumu devam etmektedir. Yaklaşık 20 saniye süren kapsama alanı geçiş süresi sonunda, VHC7 YKB2 ve YKB3'ün kapsama alanlarının kesişim bölgesine geldiğinde artık YKB3'ün de kalp atışlarını duymaktadır. YKB3'ten sinyal almaya başlayan taşıt ilk sağlıklı sinyali aldığı anda, YKB2'ye bir ayrılma istek paketi(VLEAVE) gönderip, YKB2'den kopmak istediğini bildirmektedir (şekil 3.41).



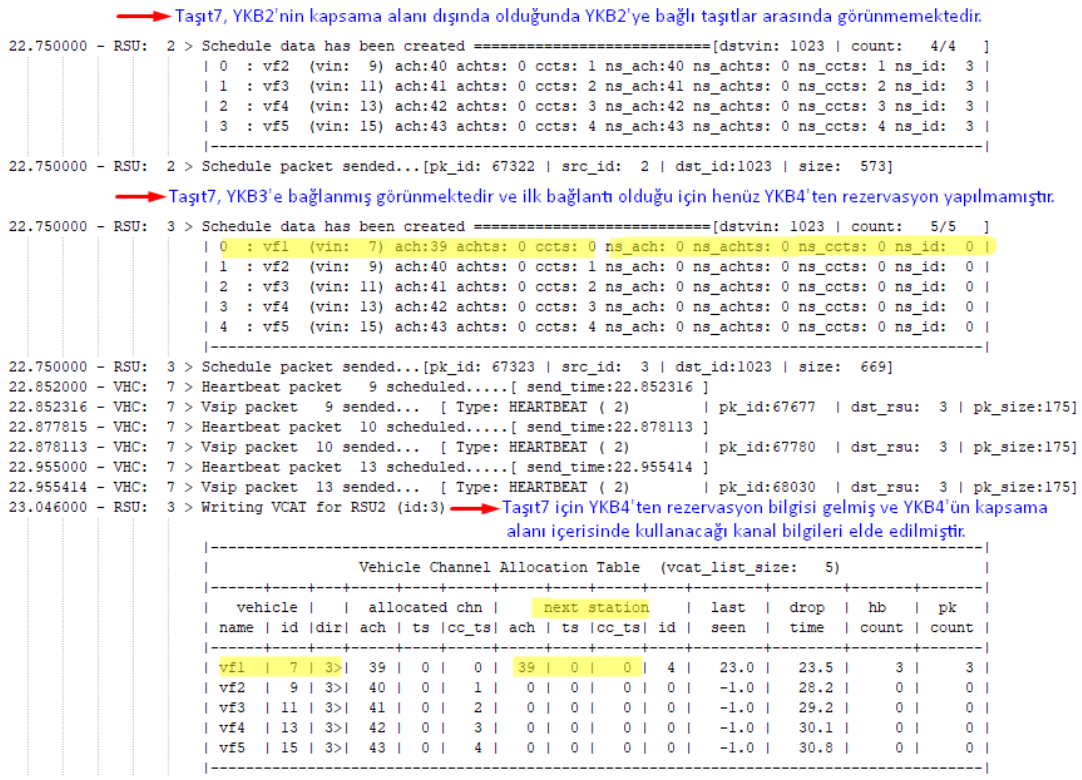
Şekil 3.41 Yeni YKB kapsama alanına giren taşıtın eskiden ayrılması ve yeni ağa bağlanması



Şekil 3.42 Taşıtın ayrılma isteğinin YKB tarafından yerine getirilmesi

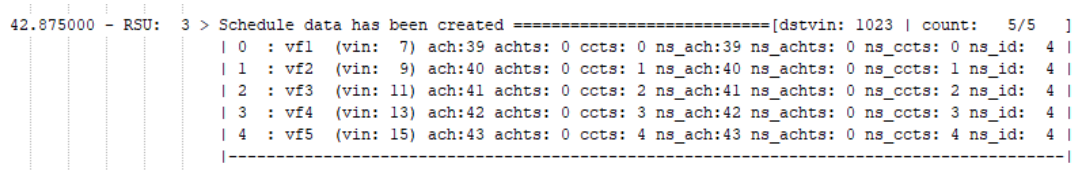
Bu aşamadan sonra YKB2 aldığı VLEAVE paketine bakarak, ayrılmak isteyen taşıtın tablosundaki durumunu kontrol etmektedir. Eğer tabloda var ise tabloyu güncelleyeceğini belirtmekte ve ayrılma isteği gönderen taşıtı tablodan silmek için *drop_vehicles_from_vcat()* fonksiyonunu çalıştırılarak taşıtı tablodan silmektedir. Şekil 3.42'de VHC7'den ayrılma isteği alan YKB2'nin VCAT tablosunun durumu ve istek işlendikten sonraki durumu gösterilmektedir.

Sonraki senkronizasyon anı incelendiğinde, YKB'ler zamanı geldiğinde tüm taşıtlara ait kanal bilgilerini barındıran yapılandırma paketlerini oluşturup göndermektedirler. YKB2 ve YKB3'e bağlı taşıtlar incelendiğinde VHC7'nin artık YKB2'nin kapsama alanından çıkmış, YKB3'ün kapsama alanına girmiş olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.43).



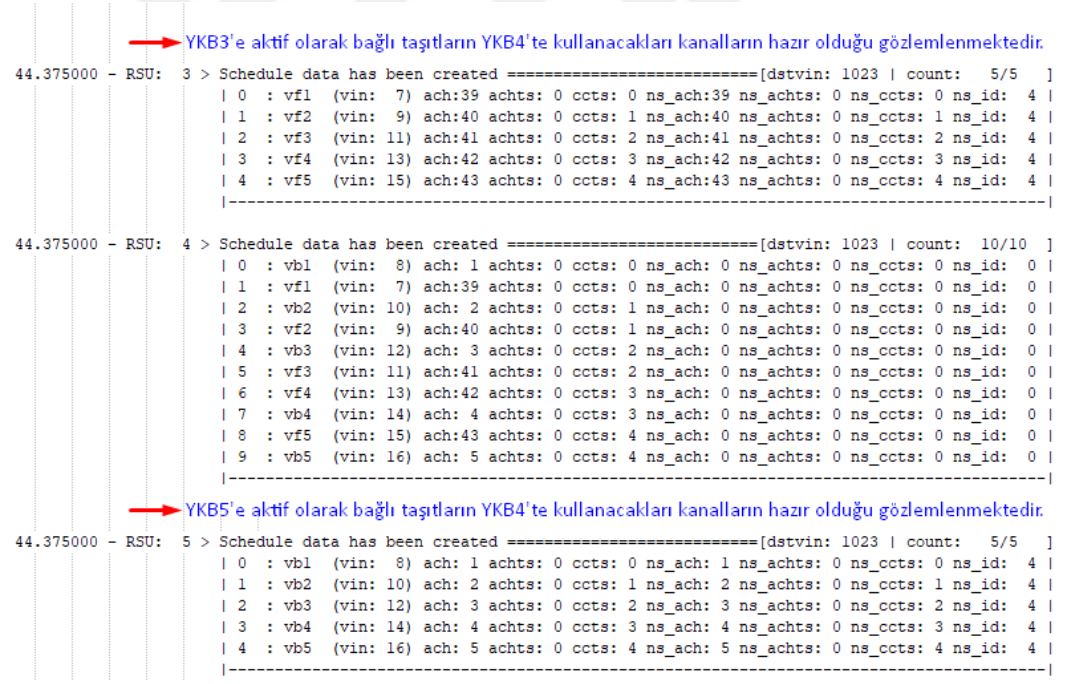
Şekil 3.43 Rezervasyon öncesi ve sonrası elde edilmiş kanal bilgileri

Benzetimin 42,875'inci saniyesi itibarı ile beş taşıtın YKB3'ün kapsama alanında oldukları ve her biri için sonraki istasyon bilgilerinin tamamlanmış olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 YKB3'e bağlı taşıt durumu

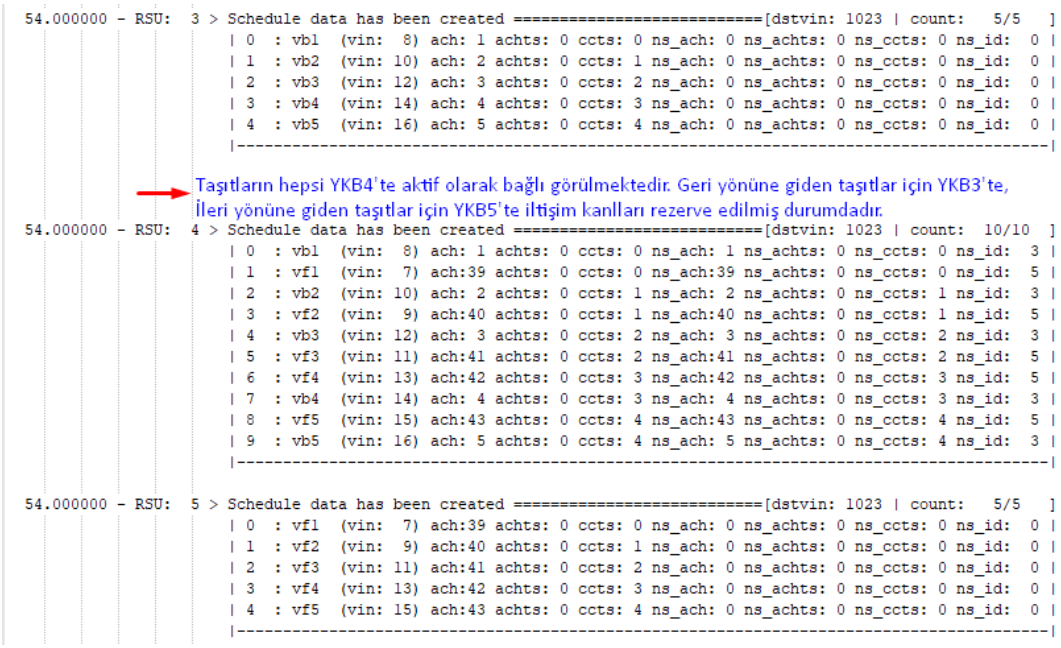
Benzetimin 44,375'inci saniyesinde hem ileri yönde giden taşıtlar hem de geri yönde giden taşıtlar en ortadaki YKB olan YKB4'te kanal rezervasyonu yapılmış olarak görülmektedirler. Henüz taşıtlar bu YKB'nin kapsama alanına girmemiş olmalarına rağmen, komşu YKB'lerden gelen isteklere bağlı olarak tüm taşıtlara YKB4'te kanal ve zaman dilimi rezervasyonları yapılmıştır. İleri yönde giden taşıtlar aynı saniyede YKB3'ün kapsama alanında ve aktif durumda, geri yönde giden taşıtlar ise aynı saniyede YKB5'in kapsama alanında ve aktif durumdadırlar (Şekil 3.45).



Şekil 3.45 YKB3 ve YKB'5 te bağlı taşıtların YKB4'teki rezervasyon durumları

Benzetim saati saniye 54,000'da tüm taşıtların YKB4'ün kapsama alanında ve aktif oldukları görülmektedir. Ayrıca aynı saniyede 44. saniyedeki olayın tersine olacak şekilde, ileri yönüne giden taşıtlar için YKB5'te, geri yönüne giden taşıtlar için ise

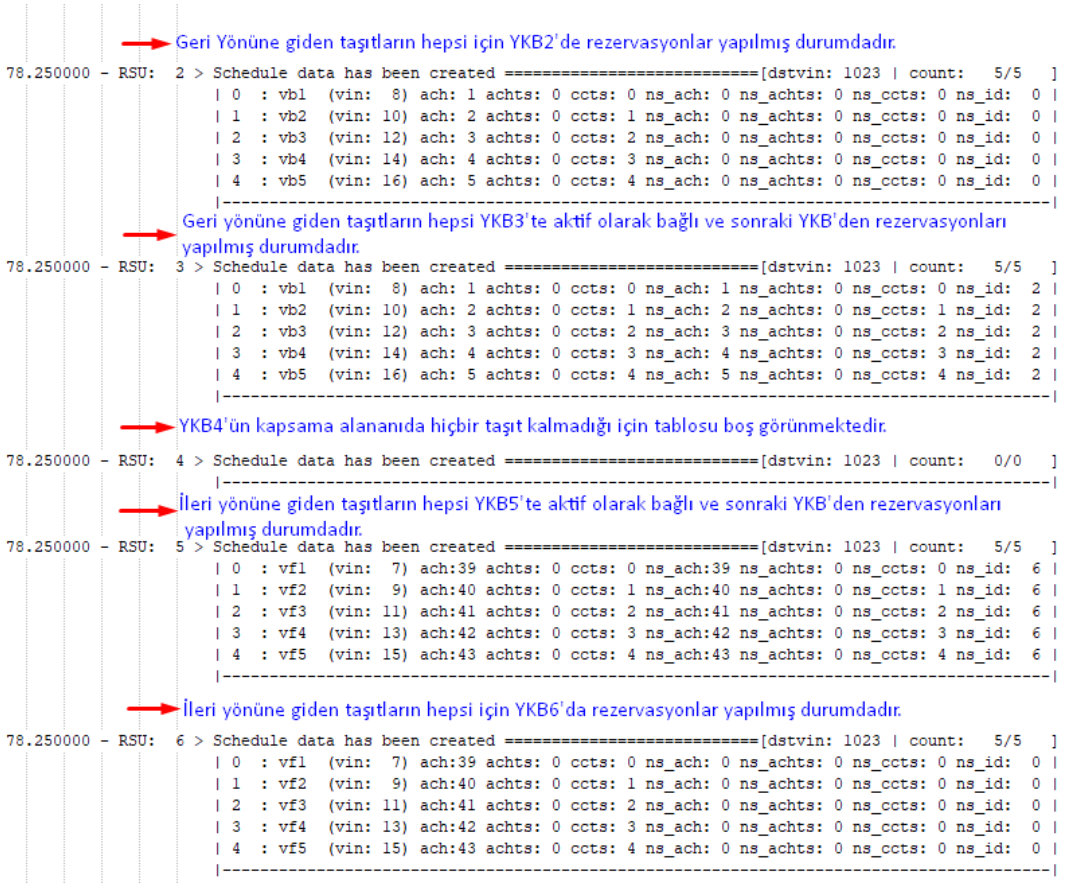
YKB3'te kanal ve zaman dilimi rezervasyonlarının yapıldığı görülmektedir (Şekil 3.46).



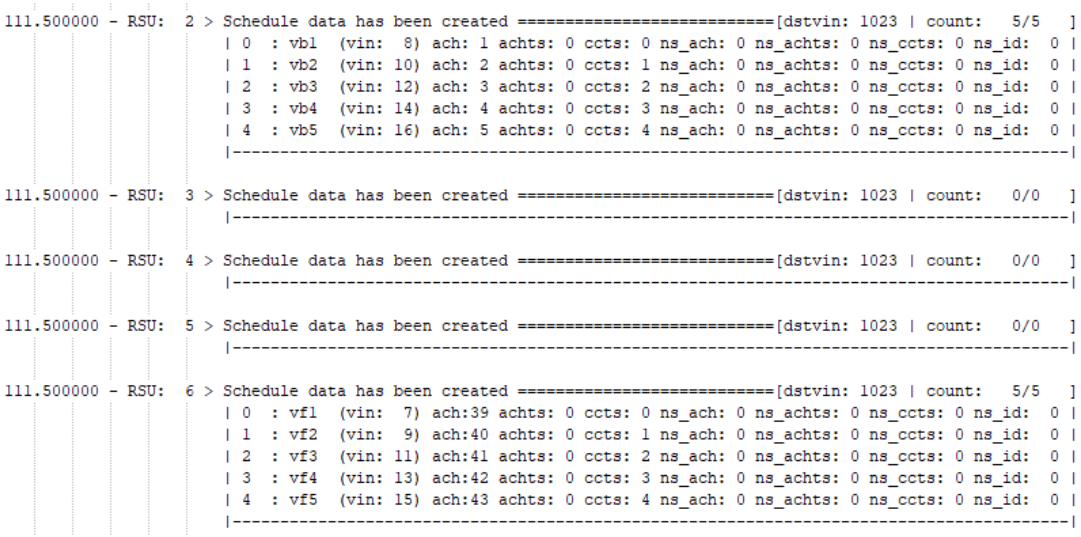
Şekil 3.46 YKB4'teki taşıtlar için YKB3 ve YKB5'te yapılan rezervasyonlar

Benzetimin 78,250'inci saniyesinde ileri yönlü giden taşıtların hepsinin aktif olarak YKB5'e bağlı oldukları, geri yönlü giden taşıtların hepsinin de YKB3'e bağlı oldukları gözlemlenmektedir. Tüm taşıtlar YKB4'ün kapsama alanından çıktıklarından YKB4'ün VCAT tablosu boş, Buna karşın ileri yönüne giden taşıtların kanal ve zaman dilimi rezervasyonları YKB6'da, Geri yönüne giden taşıtların rezervasyonları da YKB2'de gözlemlenebilmektedir (Şekil 3.47).

Benzetimin 111,500'üncü saniyesinde artık parkur sonuna yaklaşan taşıtların hepsi en uçlardaki YKB'lerin tablolarında bulunmaktadırlar. İleri yönlü taşıtların hepsi YKB6'da, geri yönlü taşıtların hepsi de YKB2'de ağa bağlı oldukları gözlemlenmektedir. Tablolar incelendiğinde Bu YKB'ler en uçtaki YKB'ler olduklarından herhangi bir taşıt için sonraki YKB rezervasyonu yapılmamaktadır (Şekil 3.48) .



Şekil 3.47 YKB3 ve YKB5'teki taşıtlar için YKB2 ve YKB6'da yapılan rezervasyonlar



Şekil 3.48 Parkur uçlarındaki YKB'lere bağlı taşıt durumları

Protokolün benzetim ortamında ki çalışma prensipleri 10 taşıtlık bir senaryoda sadece 1 taşıta ait hareket dökümleri konsol çıktıları ile desteklenerek anlatılmıştır. Benzer şekilde tüm taşıt ve YKB'ler geliştirilmiş protokolü kullanarak çok yüksek hız ve yoğunluğa sahip senaryolarda da sağlıklı bir şekilde çalışmaktadır.

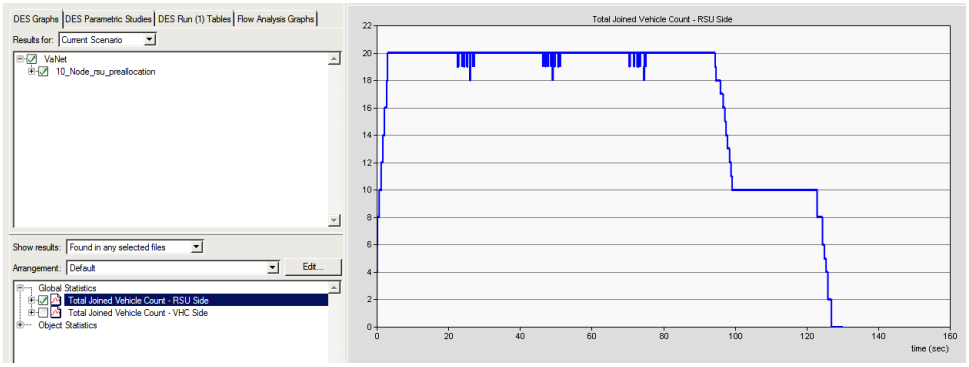
3.4.9. Protokol Başarımı İçin Kullanılan İstatistik Grafiklerinin Tanımlanması

Benzetim boyunca ağda olan olayları gözlemleyebilmek, protokolün verimliliğini ölçebilmek ve birtakım istatistiksel bilgiler toplayabilmek adına bir takım istatistik tanımlamaları yapılmıştır. Bu istatistikler Global ve lokal (düğümlere ait) istatistikler olarak tanımlanabilmektedirler. Benzetimde kullanılan başlıca istatistikler aşağıda sıralanmıştır.

3.4.9.1. Global İstatistikler

3.4.9.1.1. Total_Joined_Vehicle Count_RSU Side

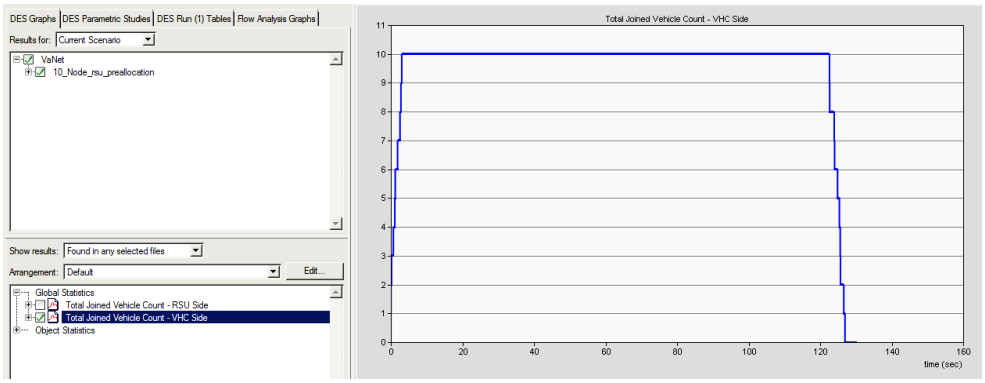
Herhangi bir anda YKB'ye bağlanmış olarak görünen toplam taşıt sayısını göstermektedir. YKB'ler bu istatistikleri VCAT tablolarındaki kayıtlara bakarak oluşturmaktadır (Şekil 3.49).



Şekil 3.49 YKB'tarafından görülen ağa bağlanmış toplam taşıt sayısı grafikleri

3.4.9.1.2. Total_Joined_Vehicle Count_VHC Side

Herhangi bir anda YKB'lere bağlanmış olan toplam taşıt sayısını göstermektedir. Bu istatistik taşıtlar tarafından yapılan "Ben bu YKB'ye bağlıyım" şeklindeki anonslar sonucu oluşturulan istatistiklerdir. (Şekil 3.50).

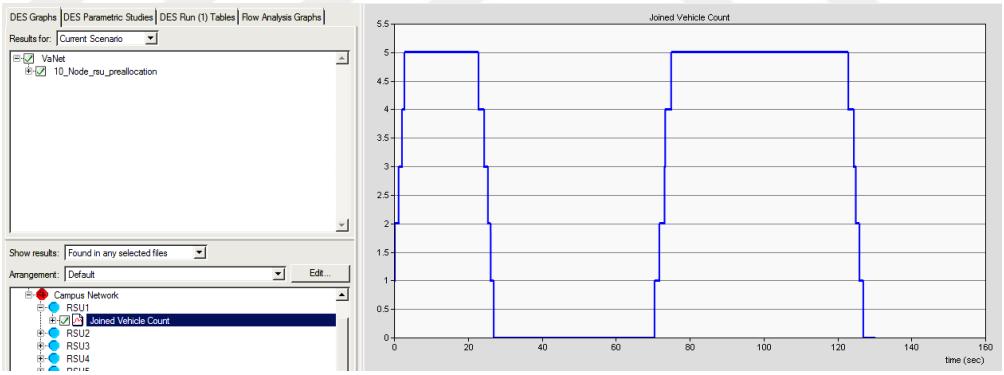


Şekil 3.50 Taşıtlardan alınan bilgilerle oluşturulmuş toplam taşıt sayısı grafikleri

3.4.9.2. Düğümlere Ait İstatistikler

3.4.9.2.1. Joined_Vehicle_Count

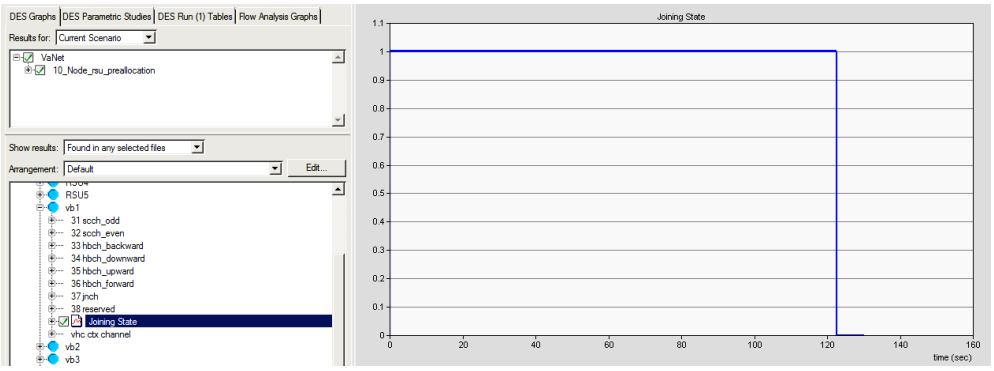
Bir YKB'ye herhangi bir anda bağlanmış olan toplam taşıt sayısını gösteren istatistiktir. YKB'nin VCAT tablosundaki taşıt sayılarını esas alarak oluşturulmuştur (Şekil 3.51).



Şekil 3.51 Herhangi bir anda bir YKB'ye bağlı taşıt sayısı grafiği

3.4.9.2.2. Joining_State

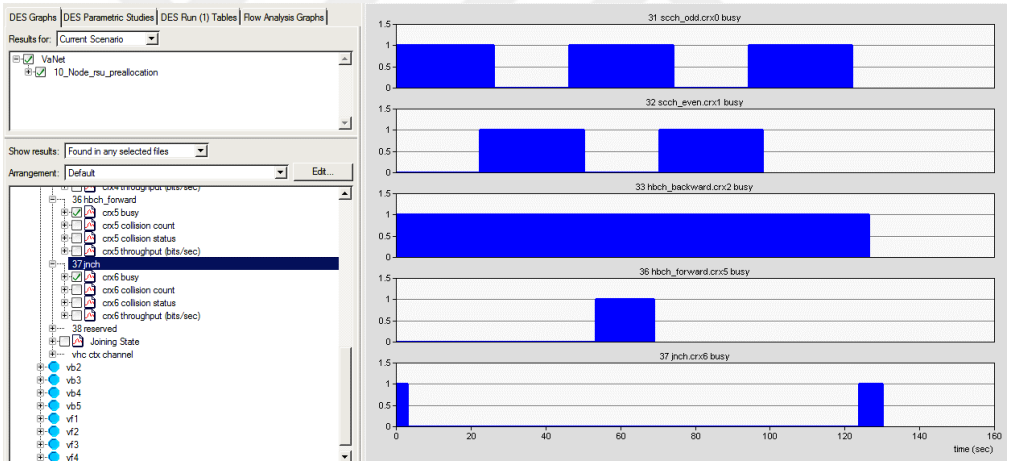
Taşıtların herhangi bir anda ağa bağlı olup olmadıklarını gösteren istatistiktir (Şekil 3.52).



Şekil 3.52 Taşıtın herhangi bir anda ağa bağlı olup olmadığını gösteren grafik

3.4.9.2.3. Busy

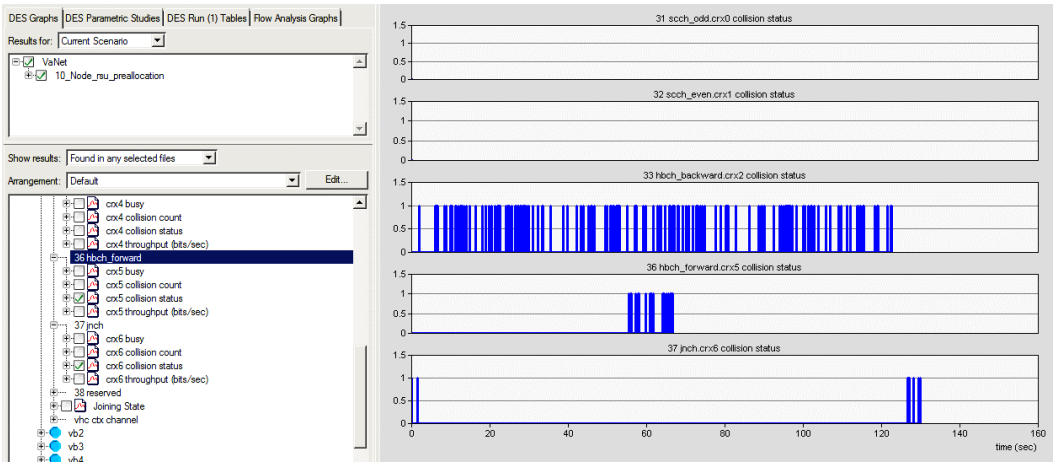
Taşıtın dinlemekte olduğu kontrol kanalına ait meşgul olma durumunu gösteren istatistiktir (Şekil 3.53).



Şekil 3.53 Taşıtın dinlediği kanalların meşguliyet durumunu gösteren grafik

3.4.9.2.4. Collision_Status

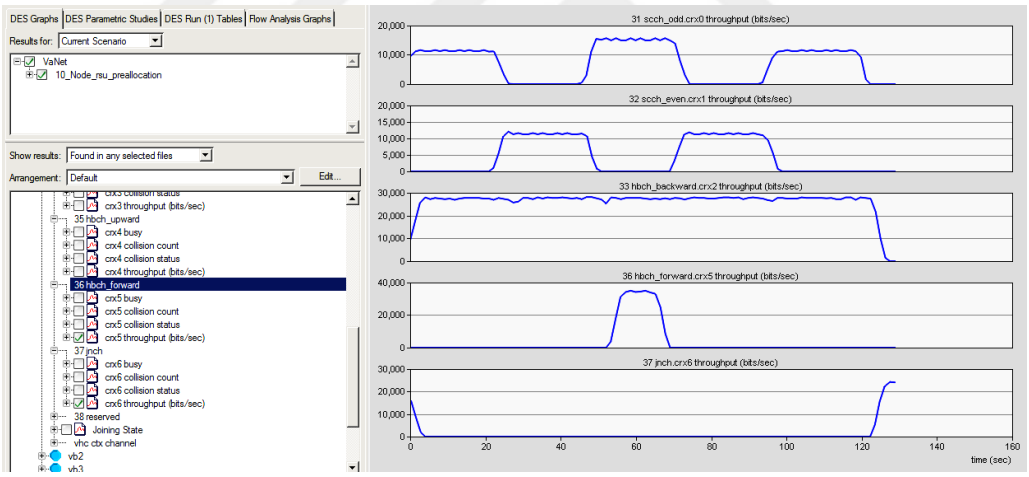
Taşıtın dinlemekte olduğu kontrol kanalının çarpışma durumunu gösteren istatistiktir (Şekil 3.54).



Şekil 3.54 Taşıtın dinlediği kanalların çarpışma durumunu gösteren grafik

3.4.9.2.5. Throughput

Taşıtın dinlediği kontrol kanalına ait iş başarımını gösteren istatistiktir. (Şekil 3.55).

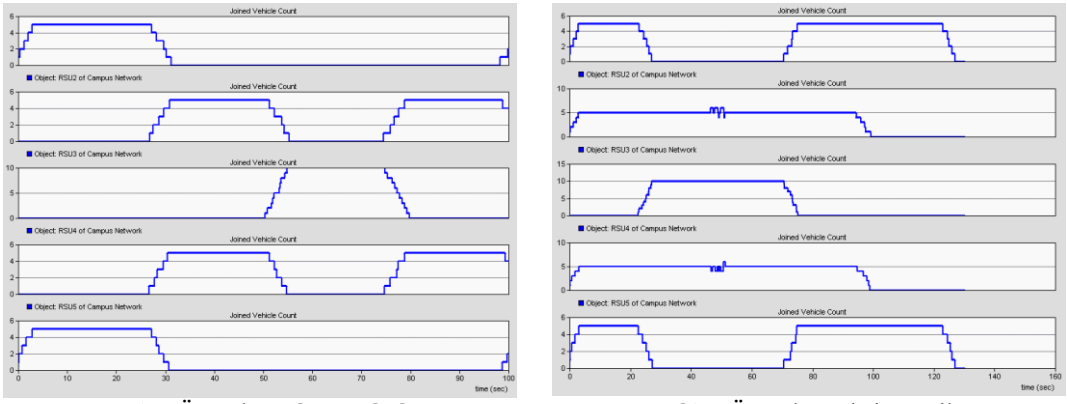


Şekil 3.55 Taşıtın dinlediği kanalların iş başarımını gösteren grafik

3.4.10. Benzetim Sonuçları

Tez çalışmasının bu aşamasında, yapılan benzetimde elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Benzetim, hem önceden tahsis mekanizması kullanılarak, hem de önceden tahsis mekanizması olmadan çalıştırılmış olup, her iki durum için taşıtların ağa bağlanma durum grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca taşıtların kullanmakta olduğu kontrol kanalarının çarpışma (collision) , iş başarım (throughput), meşguliyet (busy)

grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.56'da benzetim boyunca taşıtların YKB'lerdeki ağa bağlanmış toplam taşıt sayıları grafiği gösterilmiş olup, önceden tahsisin yapıldığı ve yapılmadığı durumlar için grafikler ayrı ayrı çizdirilerek rezervasyon yönteminin farkı ortaya konmuştur.



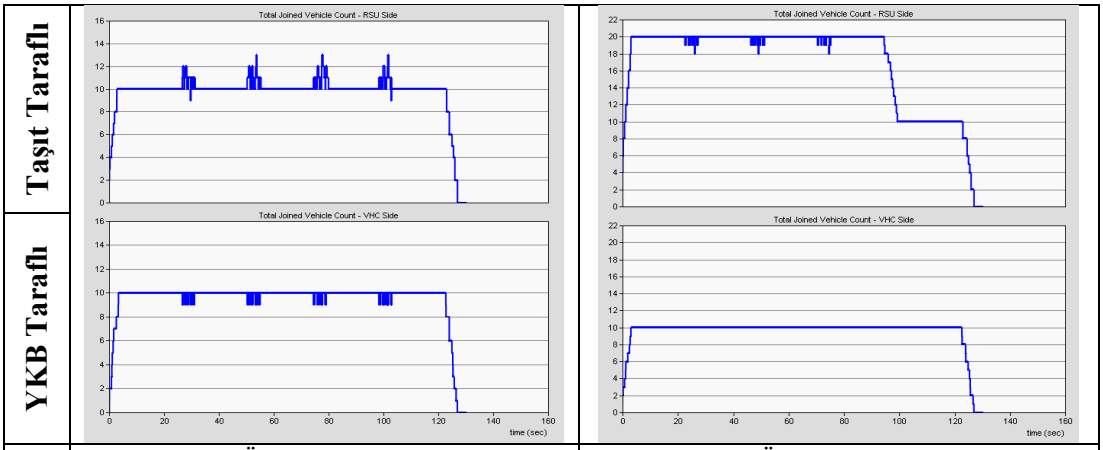
a) Önceden tahsis yok iken b) Önceden tahsis var iken

Şekil 3.56 Ağa katılmış taşıt grafikleri

Grafikler incelendiğinde önceden tahsis mekanizmalı senaryoda taşıtların YKB geçişlerinde ağdan düşmeden ağa bağlı olarak yollarına devam ettikleri görülmektedir. Böylece her taşıt aktif bulunduğu YKB'nin kapsama alanından çıkarken yeni YKB'ye bağlanmak için fazladan zaman ve çaba harcamamaktadır.

Şekil 3.57'de taşıt taraflı ve YKB'taraflı olarak ağa katılmış toplam taşıt sayıları grafikleri hem önceden tahsis mekanizmalı hem de önceden tahsis mekanizmasının olmadığı durumlar için gösterilmiştir.

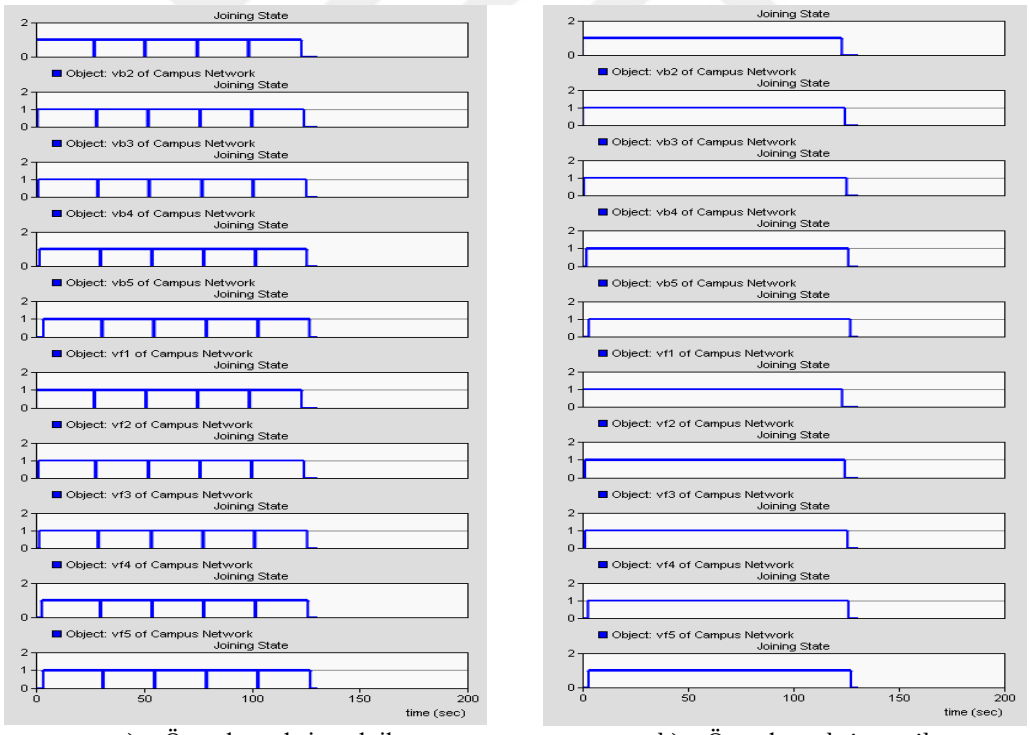
Taşıt taraflı ve YKB taraflı Ağa Katılmış Toplam Taşıt sayısı grafiklerinden de görüldüğü üzere taşıtlar YKB geçişlerinde ağdan düşmediklerinden parkurun başında ağa bağlandıkları andan itibaren parkur sonundaki son YKB'nin kapsama alanından çıkıncaya kadar ağa bağlı kalma durumlarını korumaktadırlar. Bu durum Önceden tahsis mekanizmasının başarısını göstermektedir.



a) Önceden tahsis yok iken b) Önceden tahsis var iken

Şekil 3.57 Ağa katılmış toplam taşıt sayısı grafikleri

Benzer şekilde her taşıt için ayrı ayrı ağa katılma ve ağdan düşme durumlarını gösteren Ağa Katılma Durum Grafikleri Şekil 3.58'de verilmiştir.



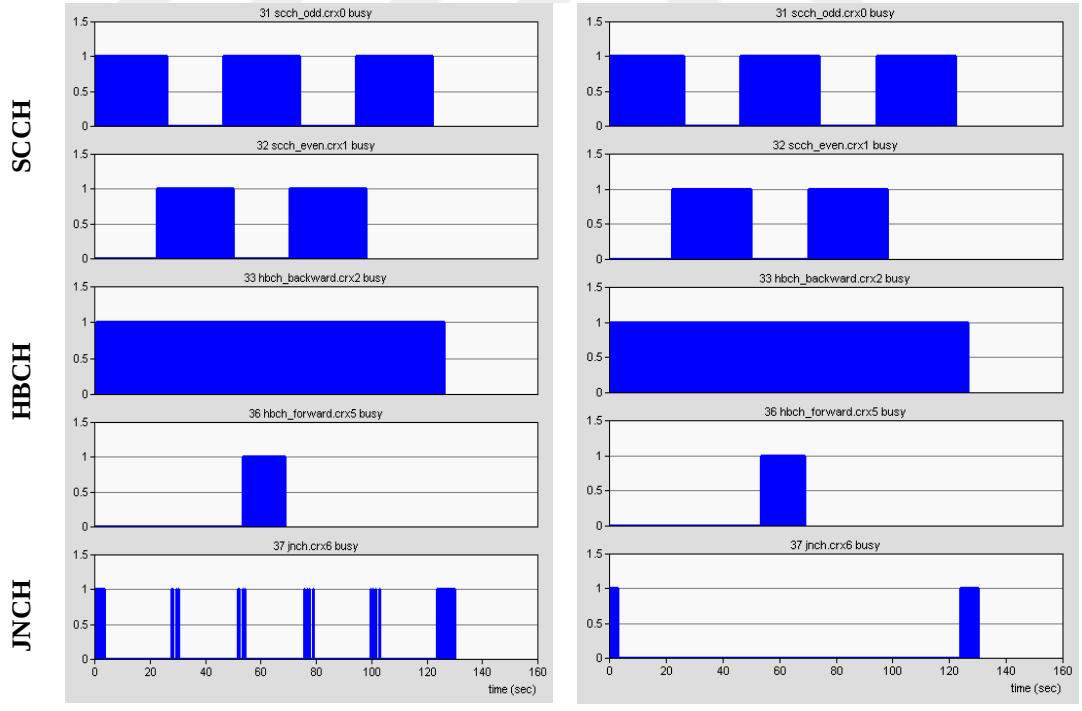
a) Önceden tahsis yok iken b) Önceden tahsis var iken

Şekil 3.58 Taşıtların ağa katılma durum grafikleri

Grafikler incelendiğinde, her bir taşıt önceden tahsis olmayan senaryoda bir YKB'nin kapsama alanını sonunda ağdan düşmekte ve sonraki YKB'nin ağına bağlanmak için ekstradan zaman ve çaba harcamaktadır. Fakat ön tahsisli senaryoda, ilk YKB'nin kapsama alanında iken ağa bağlanan taşıt, bağlantısı hiç kopmadan ağın en sonundaki YKB'nin kapsama alanından çıkıncaya kadar yoluna kesintisiz devam edebilmektedir. Bu süreçte taşıtlar geçiş noktalarındaki ağdan düşme, tekrar ağa bağlanmak için çekişmeli kanalı kullanarak istek gönderme, isteğin algılanıp cevap verilmesi ve tekrar ağa bağlanma gibi birçok işten ve bu işler için gereken zaman kaybından kurtulmaktadır.

Benzetim sonucunda elde edilen grafiklerden olan meşguliyet durumu, çarpışma ve iş başarımı grafikleri taşıtlar için ayrı ayrı tutulmakta olduğunda bu kısımda sadece bir taşıt için bu grafiklerin nasıl oluşturulduğunu göstermek adına örneklere yer verilmiştir.

Taşıtların kanal kullanımlarını gösteren meşguliyet grafikleri Şekil 3.59'da verilmiştir.

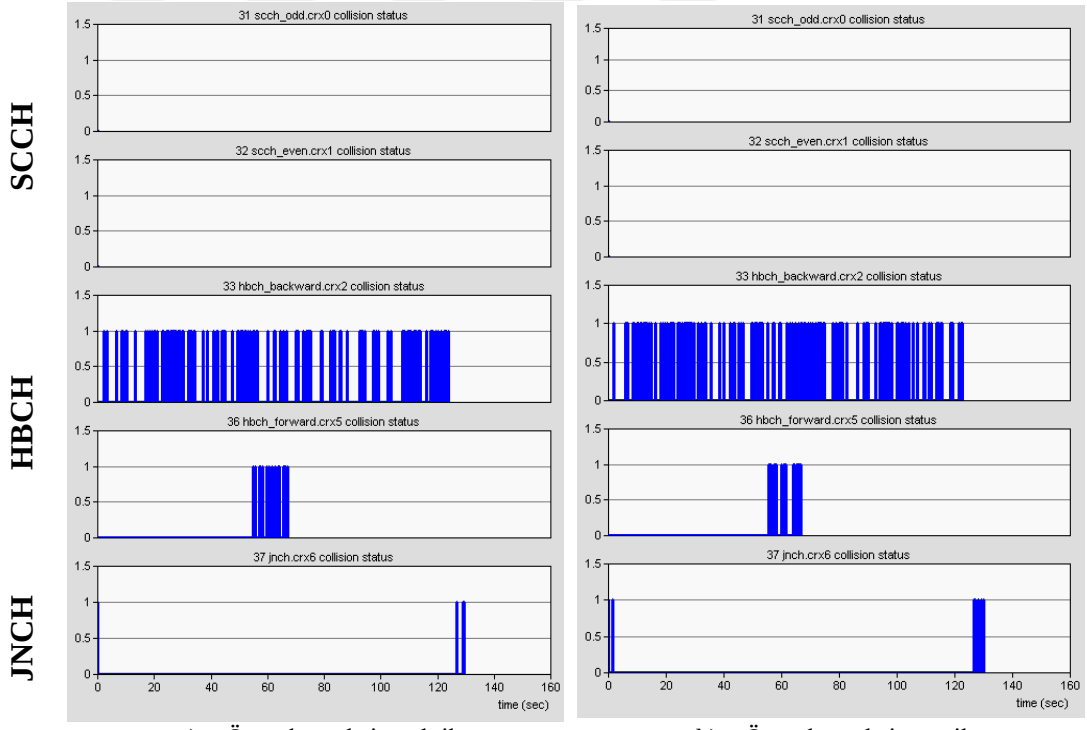


a) Önceden tahsis yok iken b) Önceden tahsis var iken

Şekil 3.59 Bir taşıt için kanal kullanım grafikleri

Grafikler incelendiğinde, taşıtın içinde bulunduğu YKB kapsama alanına göre yapılandırma paketleri alıp göndermek için SCCH_ODD ve SCCH_EVEN kanallarını yoğun kullandığı, çekişmeli kanal olan JNCH kanalını sadece ağa bağlanması gerektiği durumda kullandığı ağa bağlandıktan sonra artık JNCH kanalını kullanmadığı gözlemlenebilmektedir. Ayrıca Önceden tahsis olmayan senaryoda her YKB'nin kapsama alanı girişinde bu kanalın kullanılmakta olduğu görülmesine karşın, ön tahsisli senaryoda bu kanalın sadece ilk ağa girişte ve en son ağdan düşüldüğünde kullanıldığı görülmektedir. Bu durum da ağa katılmak isteyen yeni taşıtlar için çekişmeli kanalın mümkün olduğunca boş kalmasını ve ulaşılabilir olmasını kolaylaştırmaktadır.

Şekil 3.60'da taşıtların kontrol kanalında paket gönderirken yaşadıkları çarpışmalara ait grafiklere yer verilmiştir.



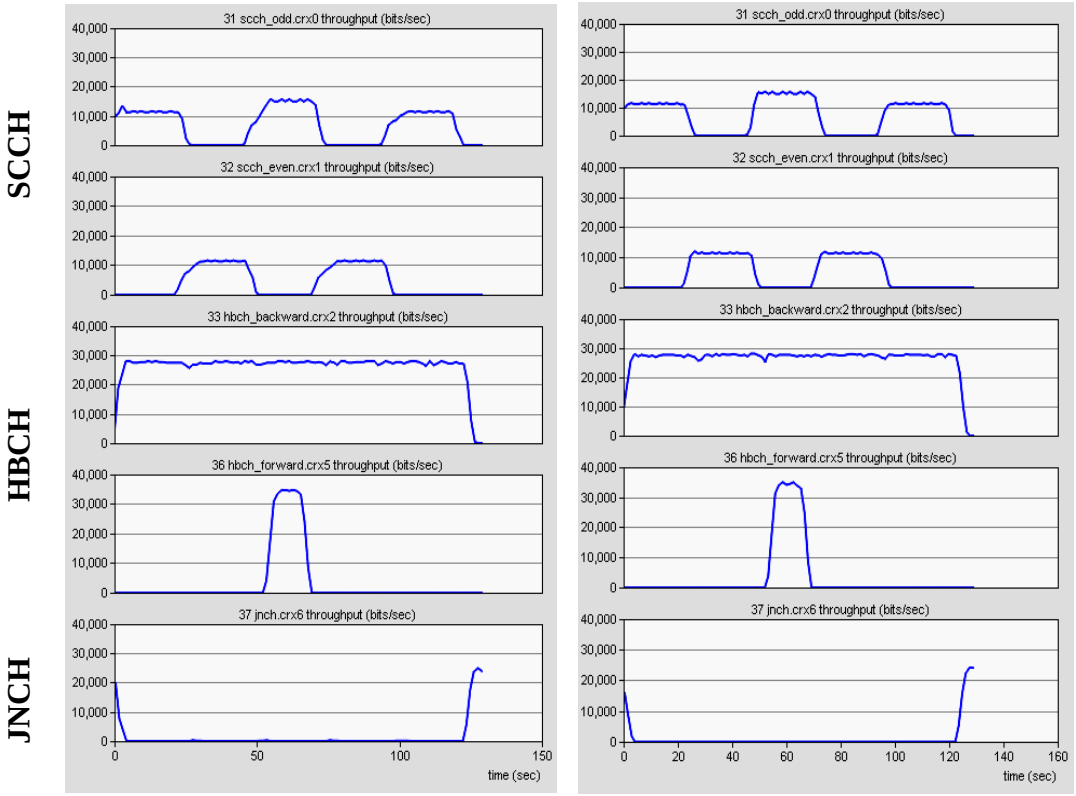
a) Önceden tahsis yok iken b) Önceden tahsis var iken

Şekil 3.60 Bir taşıt için kontrol alt kanallarındaki çarpışma grafikleri

Bu grafikler incelendiğinde yapılandırma paketi gönderme kanalında çarpışmaların olmadığı, ağa katılma kanalında (JNCH) sadece ağa katılmaya çalışıldığı süreçte

yaşanan normal seviyedeki çarpışma durumları ve yine kalp atışı kanallarında kabul edilebilir seviyedeki çarpışmalar gözlemlenmektedir.

Şekil 3.61'de taşıtların kontrol alt kanallarındaki iş başarımı grafiklerine yer verilmiştir.



a) Önceden tahsis yok iken b) Önceden tahsis var iken

Şekil 3.61 Bir taşıt için kontrol alt kanallarındaki iş başarımı grafikleri

BÖLÜM 4

BAŞARIM ANALİZİ

4.1. Giriş

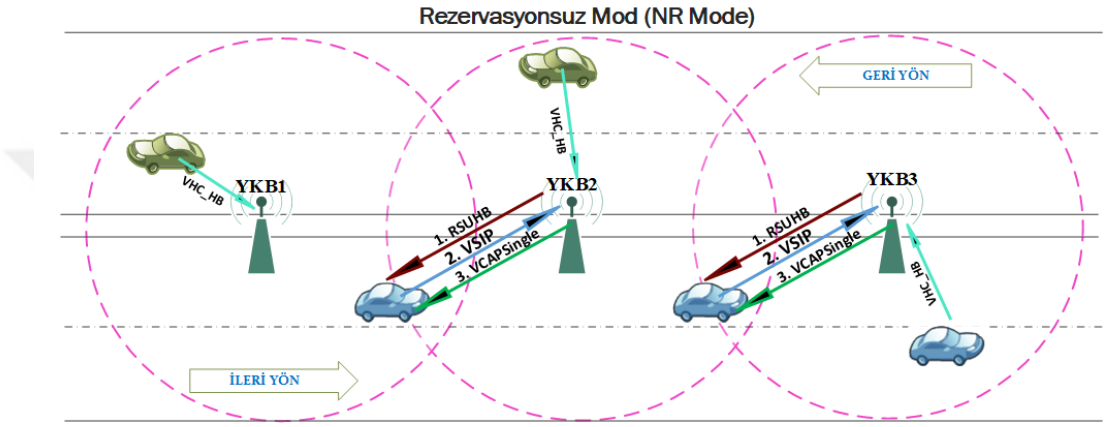
Tez çalışması boyunca geliştirilen ve benzetimi gerçekleştirilen çok kanallı ve rezervasyon tabanlı OEK protokolü, temel hedeflerimizden en önemlisi olan önceden kanal tahsis mekanizmasının (rezervasyon) başarımının ve ağ kurulumu üzerindeki etkilerinin daha iyi görülmesi açısından 3 farklı rezervasyon modunu destekleyecek şekilde tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Söz konusu protokolün rezervasyona bağlı modları şunlardır:

- Rezervasyonsuz çalışan mod (Non Reservation Mode (NR Mode))
- Rezervasyonun taşıtlar tarafından yürütüldüğü mod (Self Reservation Mode (SR Mode))
- Rezervasyonun YKB'ler tarafından yürütüldüğü Mod (RSU Reservation Mode (RR Mode))

4.1.1. Rezervasyonsuz Çalışan Mod (NR Mode)

Bu modda, ağdaki düğümlerde ve YKB'lerde aktif olarak çalışan protokol, ortama erişim ve kanal tahsis işlemlerinde herhangi bir önceden tahsisi işlemi gerçekleştirmemekte olup, tamamen geleneksel ağlarda olduğu gibi, taşıtlar YKB'nin kapsama alanına girdiği anda taşıt için kanal tahsisi gerçekleşmektedir. Taşıt kapsama alanından çıktığında bağlı olduğu ağdan kopup diğer ağa bağlanmaktadır. Bu süreçte komşu YKB'lerin kapsama alanları arasındaki geçişlerde herhangi bir aksiyon gerçekleşmemekte olup, taşıt bağlı olduğu YKB'nin ağından çıktığından dolayı ağdan düştükten sonra diğer YKB'ye bağlanmak için aksiyon almaktadır. Tabi bu durum her YKB'kapsama alanı girişinde taşıtın kanal elde edebilmek için çekişme yapmasını ve zaman harcamasını gerektirmektedir. Şekil 4.1'de rezervasyonsuz modda taşıtın ağlar arası geçişleri ve yeni ağa bağlanma adımları gösterilmektedir.

Bu modda çalışan protokolün geleneksel protokollere göre farkı ve daha iyi olan yönü ise kanal tahsis işlemleri için çoklu kanal (multichannel) kullanılmasıdır. Kontrol ve veri haberleşmesinde kullanılan kanalların DSRC uyumlu çoklu kanallar olması sayesinde aynı anda birçok taşıt ağa bağlanma işlemlerini yürütebilmekte ve haberleşmesini sağlayabilmektedir. Geleneksel protokollerin tek kanallı yapıda olması dolayısı ile bu çalışmada önerilen rezervasyonsuz mod geleneksel protokollerden daha iyi bir ağ kurulum performansı göstermektedir.

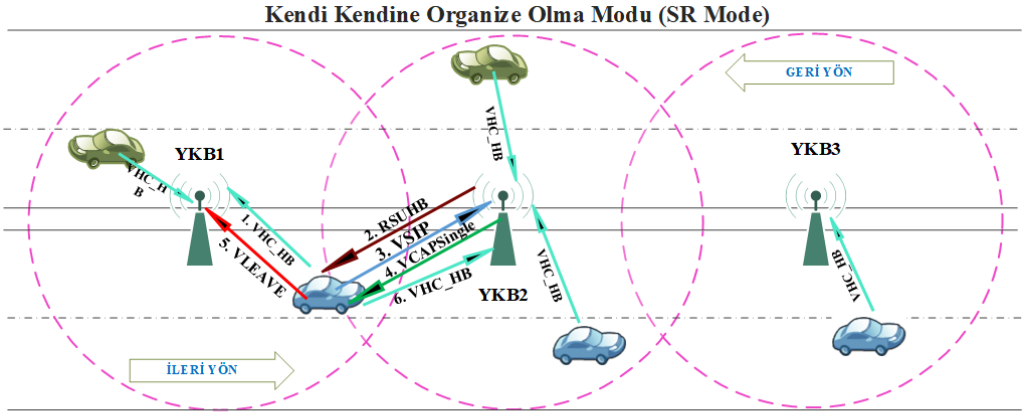


Şekil 4.1 Rezervasyonsuz modda taşıtların ağlar arası geçişi

4.1.2. Rezervasyonun Taşıtlar Tarafından Yürütüldüğü Mod (SR Mode)

Bu modda çalışan protokol, rezervasyonsuz moda göre farkı bahsedilen önceden tahsisi mekanizmasını taşıtların kendilerinin yönetmesidir. Bir anlamda taşıtların kendi kendine organize olması (self organizing) demektir. Bu modda taşıtlar komşu YKB'lerin kapsama alanlarının kesişim bölgesine ulaştığında ağdan kopmayı beklemeden kendisi için sonraki YKB'den kanal isteğinde bulunmaktadır. Bu isteğine sonraki YKB olumlu cevap verdiğinde, bağlı olduğu YKB'den bağlantısını sonlandırarak yeni YKB'nin ağına dâhil olmaktadır. Böylece taşıt herhangi bir kopma yaşamadan sonraki ağa geçmekte ve iletişiminde herhangi bir kesinti olmamaktadır. Tasarlanan protokolün kendi kendine organize olan modda çalışan hali, Kendi Kendine Organize Olan Çok Kanallı OEK Protokolü (Self Organizing Multi Channel MAC - SOMMAC) olarak adlandırılmıştır. Bundan sonraki kısımda SOMMAC olarak ifade edilecektir. Şekil 4.2 SOMMAC protokolü kullanan taşıtların komşu YKB'lerin

kesişim bölgesinde kendi rezervasyonlarının kendilerinin nasıl yaptığını göstermektedir.



1. Taşıt YKB1'in kapsama alanında olduğundan YKB1' e kalp atışı paketi gönderiyor.

2. Taşıt YKB2'nin kapsama alanına girdiği için YKB2' den Kalp atışı paketi alıyor.

3. Taşıt YKB2'ye bağlanmak için bağlantı istek paketi gönderiyor.

4. YKB2 taşıta kanal ataması yaparak bunu bir yapılandırma paketi ile taşıta gönderiyor.

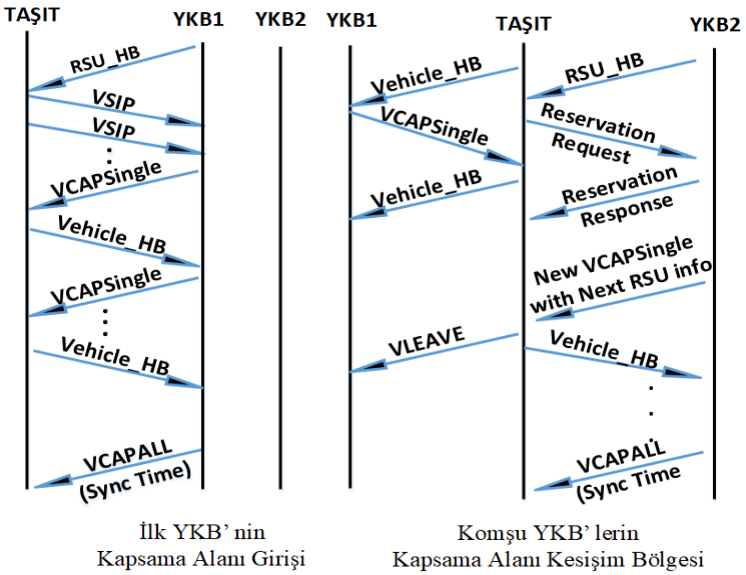
5. YKB2 ağına bağlanan taşıt, YKB1'e ayrılma isteği gönderiyor.

6. Taşıt artık kalp atışı paketlerini Yeni YKB2' ye gönderiyor.

Şekil 4.2 SR modda taşıtların kendi ağlarını organize etmesi

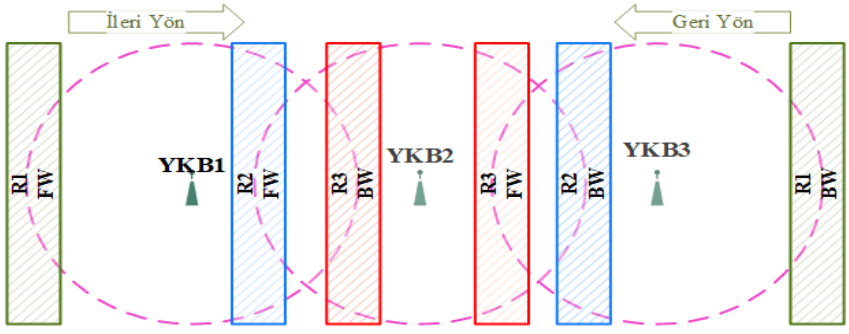
Protokol algoritmasına göre her YKB SCCH kanalından kendisini ağdaki taşıtlara duyurmak için belli aralıklarla RSUHB paketi göndermektedir. Taşıtlar da sürekli SCCH kanallarını dinlemektedirler. Bir taşıt hareket halinde iken bağlı olduğu YKB haricinde başka bir YKB'den RSUHB paketi algıladığında yeni YKB'ye yaklaştığını ve komşu iki YKB'nin kesişim bölgesinde olduğunu anlar. Kalp atışını duymakta olduğu YKB'ye bir ağa bağlanma isteği gönderir. Bu isteği alan RSU diğer taşıtlarda olduğu gibi taşıtın tablodaki varlığını kontrol eder. Tabloda olmayan bu taşıta servis kanalı ve kontrol kanalından bir zaman dilimi ataması yapar. Daha sonra bu bilgileri bir VCAPSingle paketi ile taşıta gönderir. Kendisine atanan kanalları öğrenen taşıt, kanalları ayarlayarak yeni YKB ağına bağlanmış olur. Bu arada eskiden bağlı olduğu YKB'ye bir ayrılama istek paketi (VLEAVE) göndererek YKB'nin kendisini tablosundan silmesini sağlar. Böylece eski YKB'de kaplamakta olduğu yeri de boşaltarak yeni gelen taşıtlara yer açmış olur. Daha da önemlisi taşıt bir ağdan diğerine hiçbir kopma yaşamadan ve fazladan kanal için çekişme yapmadan geçmiş olur.

Taşıtın rezervasyon işlemi sırasında gerçekleştirmiş olduğu paket harekelerine ait çizelge şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 SOMMAC protokolü rezervasyon hareketleri

Kendi kendini organize eden taşıtların kapsama alanlarının hangi bölgesinde nasıl davrandıkları Şekil 4.4'teki bağlantı ve ağlar arası geçiş (handover) bölgeleri şemasında gösterilmektedir.



R1FW, R2FW,R3FW : İleri yönüne hareket eden taşıtlar için sırasıyla Birinci, İkinci ve Üçüncü bölge

R1BW, R2BW,R3BW : Geri yönüne hareket eden taşıtlar için sırasıyla Birinci, İkinci ve Üçüncü bölge

Şekil 4.4 SR Modda taşıtların bağlantı ve ağlar arası geçiş bölgeleri

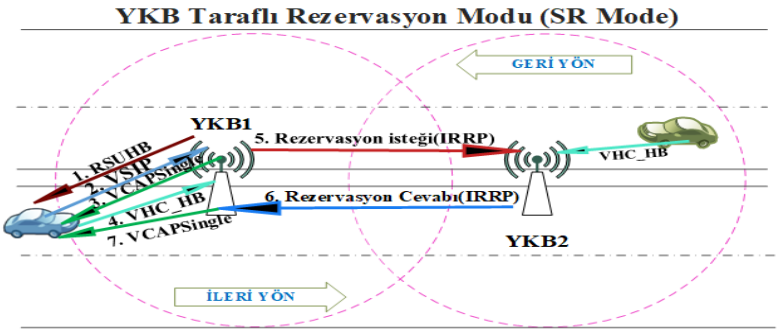
Şemadan da görülebileceği üzere, taşıtların yönüne göre dahil oldukları ilk kapsama alanı R1 ile gösterilmektedir. Bu bölgeler (R1FW, R1BW) taşıtların ilk kez ağa bağlanmaya çalıştıkları bölge olup, sadece CSMA algoritmasının etkin olduğu bölgedir. Bu bölgelerde taşıtların ağa bağlanma şekilleri rezervasyonsuz moddaki gibidir. R2 ve R3 ile gösterilen bölgeler taşıtların ağa ilk bağlantısının daha önceden gerçekleşmiş olduğu ve bir YKB'nin kapsama alanından diğerine geçmeye çalıştıkları bölgelerdir (handover region). Yani kendi kendine rezervasyon modu kullanılarak taşıtların ağlar arası geçişinin sağlandığı bölgedir. Bu bölgede tüm geçişlerin sağlanması için gereken süre kendi kendini organize den taşıtlarda kullanılan SOMMAC protokolünün ağa katılım performansını göstermektedir.

4.1.3. Rezervasyonun YKB'ler Tarafından Yürütüldüğü Mod (RR Mode)

Bu modda taşıtların sonraki YKB'ye bağlanmaları için gerekli olan kanal rezervasyonlarını bağlı oldukları YKB'ler gerçekleştirir. Bunun için komşu YKB'ler birbirleri arasında bulunan kablolu ara yüzü kullanmaktadırlar (Şekil 3.3).

Taşıtlar bir defa ağa bağlandıktan sonra komşu YKB kapsama alanları arasındaki geçişlerde kopma yaşamadan diğer ağa geçmek için kendileri veya bağlı oldukları YKB'ler ağı hızlı organize edecek bir rezervasyon işlem bloğunu işletmektedirler. Bu işlem bloğunun ayrıntılarına yukarıdaki bölümlerde yer verilmiştir. Eğer taşıtlar ağ geçişlerinde erken kanal edinememişler ise öncelikle bağlı olduğu YKB'den bağlantısı kopacak daha sonra ağdan koptuğunu anlayarak tekrar bağlanma isteği gönderecektir. Bu isteğin cevaplanabilmesi için de tam olarak sonraki YKB'nin kapsama alanına girmiş olması gerekmektedir. Sonuçta rezervasyon isteği olmayan taşıt bir ağdan diğerine geçerken ağdan düşecektir. Bu durum da ağın devamlılığının sekteye uğraması ve veri kaybı anlamına gelmektedir. Bu geçişi sorunsuz sağlamak hiç ağdan düşmeden handover yapabilmek için rezervasyon mekanizması önemlidir. YKB tabanlı rezervasyon modunda taşıtlar bir YKB'nin kapsama alanına girdiğinde bir bağlanma isteği gönderir. Bağlanma isteğini alan YKB taşıta kanal ataması gerçekleştirdikten hemen sonra, kablolu bağlantı üzerinden bir sonraki YKB'den bu taşıt için bir kanal rezervasyonu ister. Sonraki YKB kendisine gelen bu isteğe uygun kanal ayarlayarak cevap verir. Bu rezervasyon cevabını alan YKB, üyesi olan taşıta aldığı bu kanal bilgilerini yeni bir yapılandırma paketi ile bildirir. Böylece taşıt henüz

bir YKB'nin kapsama alanından çıkmadan önce bir sonraki YKB'de kullanacağı kanalları öğrenmektedir. Dolayısı ile diğer YKB'nin kapsama alanına girdiğinde hiç zaman kaybetmeden ve kanal istemesine gerek kalmadan sonraki ağa dahil olmaktadır. YKB'lerin rezervasyon işlem adımları Şekil 4.5'de verilmiştir.



1. Taşıt YKB1'den bir kalp atışı paketi alıyor ve kapsama alanına girdiğini anlıyor.

2. Taşıt bağlanmak istediği YKB1'e bağlantı istek paketi gönderiyor.

3. YKB1, taşıta kanal ataması yaparak yapılandırma paketi ile gönderiyor.

4. Taşıt YKB1 Ağına dahil olup kalp atışı paketi gönderiyor.

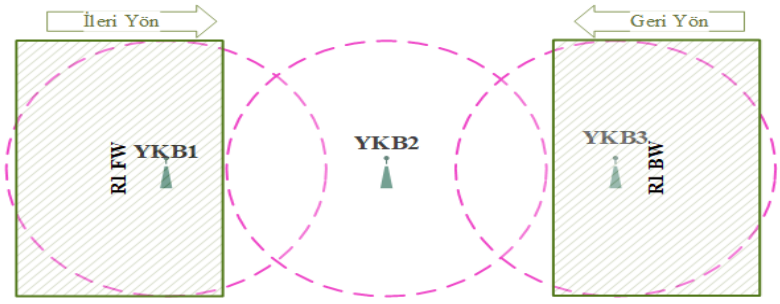
5. YKB1, taşıt için YKB2'den kanal isteğinde bulunuyor.

6. YKB2, YKB1'e taşıt için ayırdığı kanallara ait bilgileri gönderiyor.

7. YKB1, taşıta YKB2'den gelen kanal bilgilerini gönderiyor.

Şekil 4.5 YKB tabanlı Rezervasyon modu rezervasyon işlem adımları

Kendi kendine organize olmayı sağlayan SR Mode'a benzer şekilde RR Modda bağlantı ve ağlar arası geçiş (handover) bölgeleri Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



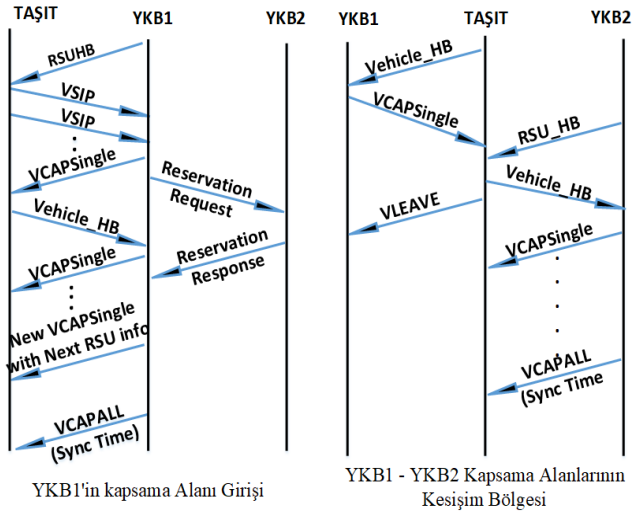
R1FW: YKB1 İçin ileri yönüne hareket eden taşıtlara YKB2 den rezervasyon isteme bölgesi

R1BW: YKB3 İçin Geri yönüne hareket eden taşıtlara YKB2 den rezervasyon isteme bölgesi

Şekil 4.6 RR Mode'da taşıtların bağlantı ve ağlar arası geçiş bölgeleri

Şekilden görüldüğü üzere, YKB'ler taşıt ağa girdikten hemen sonra rezervasyon yapmaya başlamaktadırlar ve bu süreç taşıt sonraki YKB'nin kapsama alanına ulaşıncaya kadar devam etmektedir. R1_FW ileri yönüne hareket eden taşıtlara YKB1 tarafından rezervasyon yapılabilecek alanı göstermektedir. Benzer şekilde geri yönüne giden taşıtlar için R1_BW alanı YKB3 tarafından rezervasyon yapılabilecek bölgedir. Ayrıca tüm YKB'lerde bu şekilde bir rezervasyon aralığı mevcuttur. Bu bölge rezervasyonun rahatlıkla yapılabilmesini sağlayacak büyüklükte bir alan olup, ağın organizasyonu için gerekli zaman kazanımını sağlayabilmektedir. Söz konusu rezervasyon işlemi için harcanan zaman hakkında ayrıntılı bilgiler Bölüm 3.4.8'de konsol çıktıları ile desteklenerek verilmiştir.

YKB tabanlı rezervasyon modunda rezervasyon işlemleri taşıt ilk YKB'nin kapsana alanına girip aynı YKB'nin ağına bağlanmasından hemen sonra başlamaktadır. Dolayısı ile taşıt YKB'nin kapsama alanı içinde hareket halinde iken YKB taşıt için sonraki YKB'lerden kanal talebinde bulunarak taşıtın uğraşmasına gerek kalmadan sonraki ağdaki iletişim altyapısını hazırlamaktadır. Taşıtın YKB'nin kapsama alanını kat etmesi için gereken süre rezervasyon işlemine fazlasıyla yetmektedir. Dolayısı ile kapsama alanı sonuna gelen taşıt sonraki ağa geçiş için hiçbir emek harcamasına gerek kalmamaktadır. Taşıtın rezervasyon işlemi sırasında ağda gerçekleştirilmekte olan harekelerine ait şema Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 YKB tabanlı modda rezervasyon hareketleri

4.2. Başarım Değerlendirmede Kullanılan Metrikler

Geliştirilmiş olan protokolün performans değerlendirilmesi literatürde yer alan ve benzer ağ TTA OEK protokolü tasarımları gerçekleştirilmiş olan VeMAC, CFR MAC, VAT-MAC, TM-MAC ve CS-TDMA protokolleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırmalarda söz konusu protokollerde kullanılan metrikler kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Tasarlanan OEK protokolünün farklı modları farklı protokollerde öne çıkan özelliklerle karşılaştırılmak suretiyle bu tez çalışmasında ortaya konulan OEK protokolünün başarımı gösterilmeye çalışılmıştır. Tez çalışması performans analizinde kullanılmış olan metrikler şunlardır:

- İki Atlamalı Komşuluktaki Doluluk (Two Hop Set Occupancy – THSO)
- Ortam Erişim çarpışmaları oranı (Access Collision Rate - ACR)
- Ağ Katılım Başarı Oranı (Success Ratio - SR)
- Ağa Katılım Çarpışmaları (Initial Access Collisions (IAC))
- Ortalama Normalleştirilmiş Verim (Average Normalized Throughput - ANT),
- Ağ Katılım Gecikmesi (Joining Delay - JD)
- Kontrol Kanalına Erişim Süresi (Access Time to CCH)
- Kontrol kanalındaki Çarpışma Sayısı (Access Collisions Count in CCH)
- Kontrol kanalındaki Paket İletim Oranı (Packet Delivery Ratio over CCH)
- Taşıt Yoğunluğu (Vehicle Density - VD)

Bu kısımda tüm benzetim senaryolarını ve çalışma modlarını içine alacak şekilde performans değerlendirilmesinde kullanılan metrikler hakkında ayrıntılı bilgiye yer verilmiştir.

4.2.1. İki Atlamalı Komşuluktaki Doluluk (Two Hop Set Occupancy – THSO)

THSO, VeMAC ve CFR MAC 'de olduğu gibi hesaplanmıştır. İki atlama mesafesindeki tüm taşıtların kullanmış olduğu zaman dilimi sayısının toplam zaman dilimi sayısına oranı ile hesaplanmaktadır (Denklem 4.1).

$$THSO = N_v * \left(\frac{2R}{L_h * S_0} \right) \quad \textbf{(4.1)}$$

THSO, taşıt yoğunluğunu ifade eden bir parametre olup, N_v iki atlama mesafedeki toplam taşıt sayısı, R iletişim mesafesi, L_h otoyol uzunluğu ve S_0 çerçevedeki toplam zaman dilimi sayısıdır.

4.2.2. Ortam Erişim Çarpışmaları Oranı (Access Collision Rate - ACR)

İki atlama seti (THS) mesafedeki taşıtlarda bir zaman diliminde meydana gelen ortalama çarpışma sayısını göstermektedir. Bu parametre referans CFR MAC protokolünde olduğu gibi hesaplanmaktadır. Düşük değer, erişim çarpışmalarının düşük olduğu ve protokolün ağa katılan taşıtlarda daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir. n_{cc}, bir THS'deki çarpışma sayısını ve n_t, zaman dilimlerinin sayısını göstermektedir. Bu durumda ACR Denklem 4.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$ACR = \frac{\sum n_{cc}}{n_{ts}} \quad \textbf{(4.2)}$$

4.2.3. Ağ Katılım Başarı Oranı (Success Ratio – SR)

Bir zaman dilimi elde edebilmiş taşıt (ağa bağlanabilmiş taşıt) sayısının ağdaki toplam taşıt sayısına oranını göstermektedir. VAT-MAC protokolünde olduğu gibi hesaplanmaktadır. Performans oranının 1'e yaklaşması, kapsama alanı içindeki ağa bağlı taşıt sayısının artması anlamına gelmektedir. n_{cv}'nin ağa bağlı taşıt sayısını ve n_v'nin ağdaki tüm taşıtların sayısını gösterdiğinden hareketle SR, Denklem 4.3'de olduğu gibi hesaplanmaktadır.

$$SR = \frac{\sum n_{cv}}{\sum n_v} \quad \textbf{(4.3)}$$

4.2.4. Ağa Katılım Çarpışmaları (Initial Access Collisions -IAC)

Ağa bağlanmak için bir kanal isteyen taşıtlar olduğunda ortaya çıkan çarpışmaların sayısını ifade etmektedir. Çarpışmaların sayısı ne kadar düşük olursa, ağın performansı o kadar iyi olur ki bu da OEK protokolünün daha verimli olduğu anlamına gelmektedir. n, ağdaki taşıt sayısını ve cc_n, n numaralı taşıtın çarpışma sayısını göstermek üzere IAC aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Denklem 4.4).

$$IAC = \sum_{i=1}^{n} cc_n \tag{4.4}$$

4.2.5. Ortalama Normalleştirilmiş Verim (Average Normalized Throughput - ANT)

Ağ verimliliği anlamına gelmektedir. Protokole ait tüm senaryolarda kontrol kanalı için normalleştirilmiş ortalama verim değerlerini göstermektedir.

4.2.6. Ağ Katılım Gecikmesi (Joining Delay - JD)

Ağdaki taşıtların ağa bağlanıncaya kadar geçirdiği ortalama süreyi ifade etmektedir. Bu sürenin kısalığı, ağın daha erken organize edildiği anlamına gelmektedir, yani taşıtlar ağa daha hızlı bağlanmaktadırlar. Bu parametre OEK protokolünün en önemli performans ölçütlerinden birisidir. Denklem 4.5'de n, ağdaki taşıt sayısını ve t_c, n numaralı aracın ağa katılma gecikmesini temsil etmektedir.

$$JD = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_c}{n} \tag{4.5}$$

4.2.7. Kontrol Kanalına Erişim Süresi (Access Time to CCH)

Ağa katılmak isteyen bir taşıtın kalp atışı paketlerini aldığı YKB'ye ağ bağlantı istek paketi (VSIP) göndermek için CSMA ile JNCH kanalının boş olduğu anı tespit edip ilk VSIP paketi göndermeye başladığı ana kadar geçen süreyi ifade etmektedir.

4.2.8. Kontrol Kanalındaki Çarpışma Sayısı (Access Collisions Count in CCH)

Benzetim süresi boyunca kontrol kanalının alt frekans kanalı olan JNCH kanalında meydana gelen toplam erişim çarpışması sayısını ifade etmektedir. *n* ağdaki taşıt sayısını, *c* de yaşanan her bir çarpışmayı ifade etmek üzere kontrol kanalında meydana gelen erişim çarpışmaları sayısı Denklem 4.6'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$Access\ Collision\ Count\ = \sum_{i=1}^{n} c \qquad \textbf{(4.6)}$$

4.2.9. Kontrol Kanalındaki Paket İletim Oranı (Packet Delivery Ratio over CCH)

Kontrol kanalında iletilmekte olan kontrol, yapılandırma, kalp atışı gibi paketlerin alıcıya sağlıklı olarak ulaşanlarının sayısının, benzetim boyunca kontrol kanalından iletilmiş olan toplam paket sayısına oranı ile hesaplanmaktadır.

4.2.10. Taşıt Yoğunluğu (Vehicle Density - VD)

Ağdaki taşıt yoğunluğunu ifade eder. Bazı senaryolarda, taşıt/m ve bazı senaryolarda taşıt / km olarak ifade edilir.

4.3. Başarım Karşılaştırmaları

Tez çalışmasının bu kısmında, ayrıntıları yukarıdaki bölümlerde anlatılmış olan OEK protokolünün farklı senaryolarda benzetimi yapılarak literatürde bulunan benzer protokoller ile karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Öncelikle tez çalışmasının en önemli amaçlarından olan önceden kanal tahsisi ile ağın erken organizasyonunu sağlayan rezervasyon modları karşılaştırılmış olup, rezervasyon yönteminin taşıt ağlarında ağın kurulumu, erken organizasyonu, erişim gecikmeleri ve girişimlerin azaltılması gibi hayati konularda ne kadar etkili olduğu gösterilmiştir. Protokollerde bu yöntemin kullanılması sonucu elde edilebilecek kazanımlar ortaya konulmuştur.

İkinci kısımda tasarlanmış OEK protokolünün modlarından birisi olan ve taşıtların kendi kendine organize olmasını sağlayan SR Mode adı verilen rezervasyon metodunu kullanan SOMMAC (Self-organizing Multi Channel MAC) protokolünün farklı

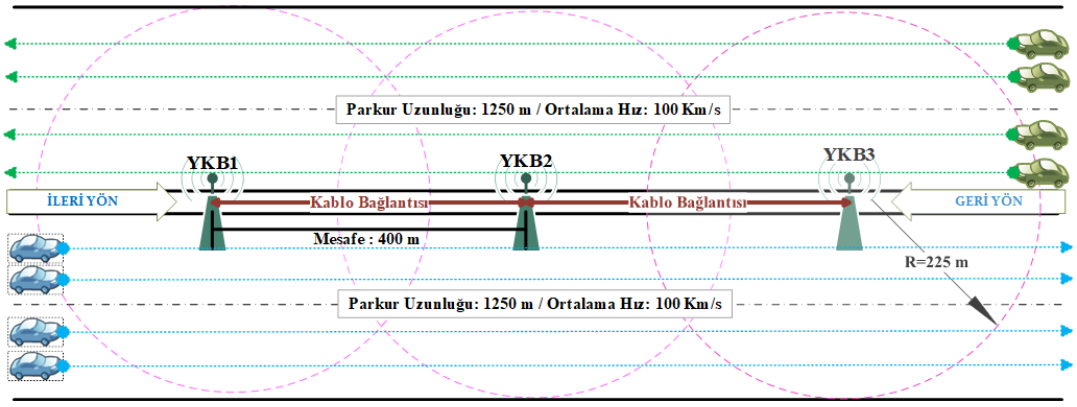
benzetim senaryolarında çalışması irdelenmiştir. SOMMAC protokolünün literatürdeki benzer protokollere göre elde ettiği başarımın değerlendirmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır.

Başarım karşılaştırmasının son kısmında ise en fazla kazanımı sağlayan rezervasyon modu olan YKB tabanlı rezervasyon modunda (RR Mode) çalışan ve bu çalışmada ReMAC olarak adlandırılan protokolün kullanıldığı benzetim senaryoları gerçekleştirilmiştir. Yapılan birçok farklı hız ve taşıt yoğunluğundaki benzetimlerin sonuçları SOMMAC'te olduğu gibi literatürdeki benzer protokollerle başarım karşılaştırmasına tabi tutularak yeni protokolün başarım değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Rezervasyon Modları Karşılaştırmaları

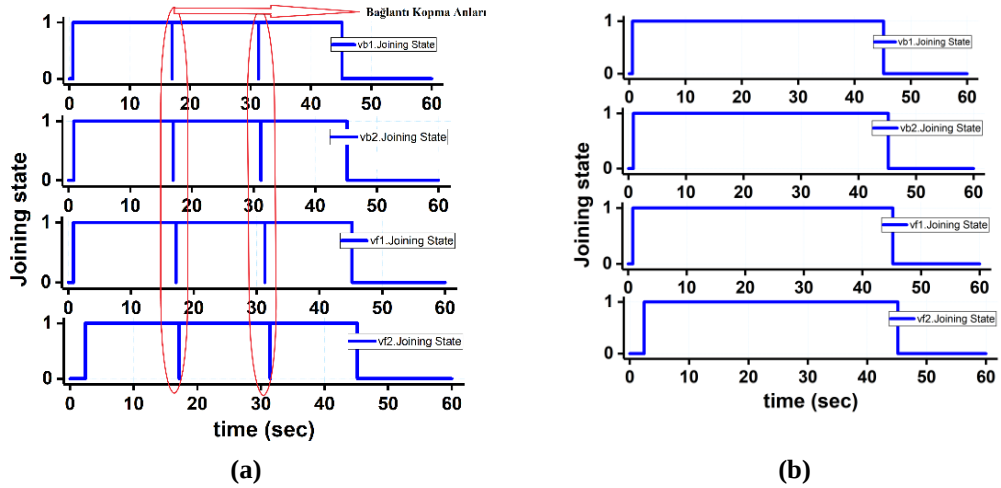
TTA'ların önemli sorunlarından birisi ağın erken kurulumu, yani hızlı organize olma sorunudur. Bu sorun ağa katılmak isteyen taşıtların ağ bağlantısını sağlayıncaya kadar harcadıkları sürenin uzun olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Erişim gecikmesi olarak ta adlandırılan bu süre ne kadar düşük olursa, ağ o kadar hızlı kurulabilir demektir. Ağ kurulumunu gerçekleştiren OEK protokollerinde bu metrikleri dikkate alan algoritmalar sayesinde ağ kurulumunun hızlandırılması mümkün olabilmektedir. Tez çalışmasının bu kısmında geliştirilmiş olan, ağın hızlı organizasyonuna katkı sağlayacak ve erişim gecikmelerini azaltabilecek bir rezervasyon algoritması OEK protokolü içinde kullanılarak erişim gecikmesi performansları test edilmiştir. Farklı senaryolar üzerinde gerçekleştirilen benzetim sonuçları incelenerek, rezervasyon yönteminin erişim gecikmesi ve ağ kurulumu üzerine pozitif etkileri tartışılmıştır. Protokolün üç farklı rezervasyon modunda çalışabilecek şekilde tasarlanmış olduğu yukarıdaki bölümlerde anlatılmaktadır. Benzetimlerde kullanılan temsili ağ yapısı Şekil 4.8'deki gibidir.

Öncelikle geliştirilmiş olan rezervasyon metodunun taşıtların ağa bağlanma durumlarına nasıl etki ettiğini göstermek üzere bir benzetim yapılmıştır. Sonraki adımlarda ise üç farklı rezervasyon modunda benzetim yapılmış olup tüm modların ağa katılma gecikmeleri belirlenerek birbiri arasındaki farklılıklar incelenmiş ve değerlendirilmiştir.



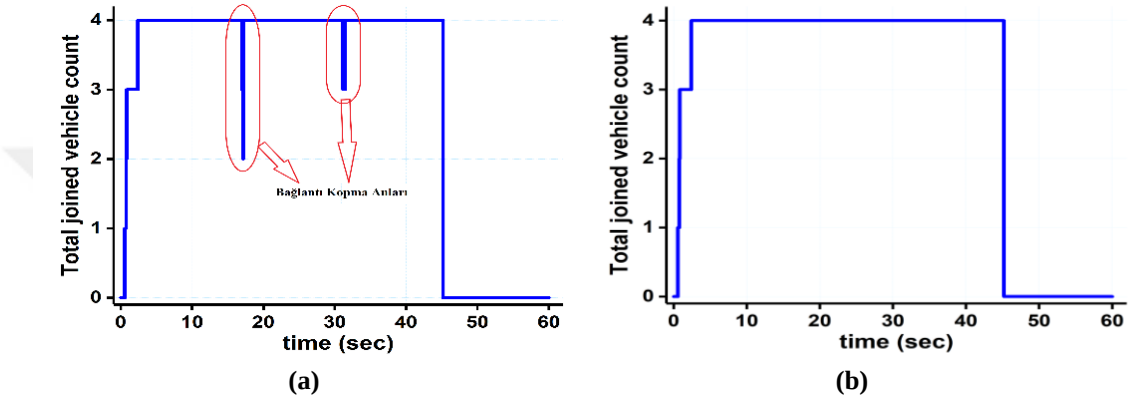
Şekil 4.8 Rezervasyon modları benzetim ağ yapısı

Şekil 4.9'da rezervasyonsuz(a) ve rezervasyonlu(b) ağa bağlanma performansını gösterilmektedir. Rezervasyon olmayan durumda taşıtların YKB kapsama alanları arasındaki geçişlerde ağdan düşüp tekrar bağlandıkları ve rezervasyon kullanıldığı durumda ise YKB'lerin kapsama alanları arası geçişlerde taşıtların ağdan kopmadan devam edebildikleri görülmektedir. Bu durum taşıtların her kapsama alanı geçişinde ağdan düşerek yeniden çekişme yapması ve bu çekişme sonucunda bir zaman kaybı yaşaması anlamına gelmektedir. Rezervasyon mekanizması sayesinde bu durumun yaşanmıyor olması ağın daha istikrarlı ve kayıpsız sürmesi ayrıca ağın hızlı organizasyonuna katkı sağlaması anlamına gelmektedir.



Şekil 4.9 Rezervasyonsuz ve rezervasyonlu senaryolarda taşıtların ağa bağlanma durumları

Şekil 4.9 ve 4.10 için benzetimler 3 ardışık YKB'nin ve 4 adet taşıtın bulunduğu bir ortamda gerçekleştirilmiş olup, şekilden de görüldüğü üzere ağa bağlı taşıtlar YKB'lerin geçiş bölgelerinde ağdan düşerek yeniden sonraki YKB ağına bağlanmışlardır. Fakat rezervasyonlu modda taşıtların parkur sonuna kadar ağdan düşmedikleri görülebilmektedir. Aynı durum benzetimin herhangi bir anında ağa bağlı görünen toplam taşıt sayısı grafikleri (Şekil 4.10a ve 4.10b) incelendiğinde de gözlemlenmektedir.



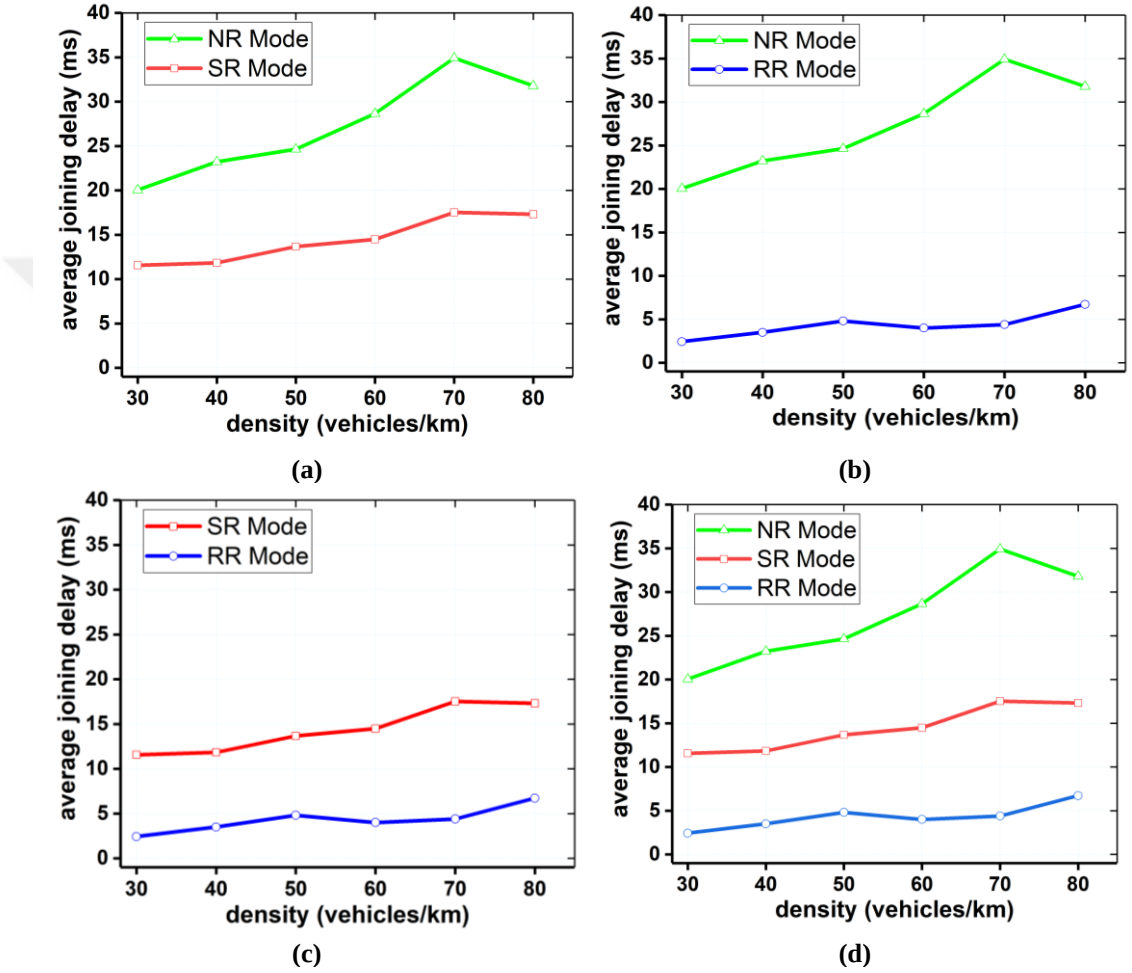
Şekil 4.10 Rezervasyonsuz ve rezervasyonlu durumlarda ağa bağlı toplam taşıt sayıları

Rezervasyon modlarının benzetim senaryolarında birlikte kullanılması ile elde edilen performans farklılıkları irdelenerek rezervasyon metodunun performansa etkisini tartışmak amacıyla Şekil 4.8'de verilen ağ senaryosu ve Tablo 4.1'de verilen benzetim parametreleri ile çeşitli benzetimler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1 Rezervasyon modu benzetim parametreleri

Parametre	**Değer**
Trafik yoğunluğu (Traffic density (vehicles / km))	30 – 80
Zaman dilimi boyutu (Slot Length (ms))	0.16
Çerçeve boyutu (Frame length (ms))	8
Ortalama hız (Mean speed (km /h))	100
Benzetim süresi (Simulation time (sn))	60
Kapsama alanı boyutu (Transmission range (m))	400
Parkur uzunluğu (Highway Length (m))	1250

Gerçekleştirilen benzetim sonucunda öncelikle tüm taşıt yoğunluğu senaryolarında (30 – 80 taşıt/km) taşıtların ağa bağlanmak için üç farklı rezervasyon modunda harcadıkları ortalama süreler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar öncelikle ikişerli olarak (Şekil 4.11a, 4.11b, 4.11c) yapılmış ve Şekil 4.11d'de tüm modlara ait gecikme grafikleri tek bir grafik üzerinde birleştirilmiştir.

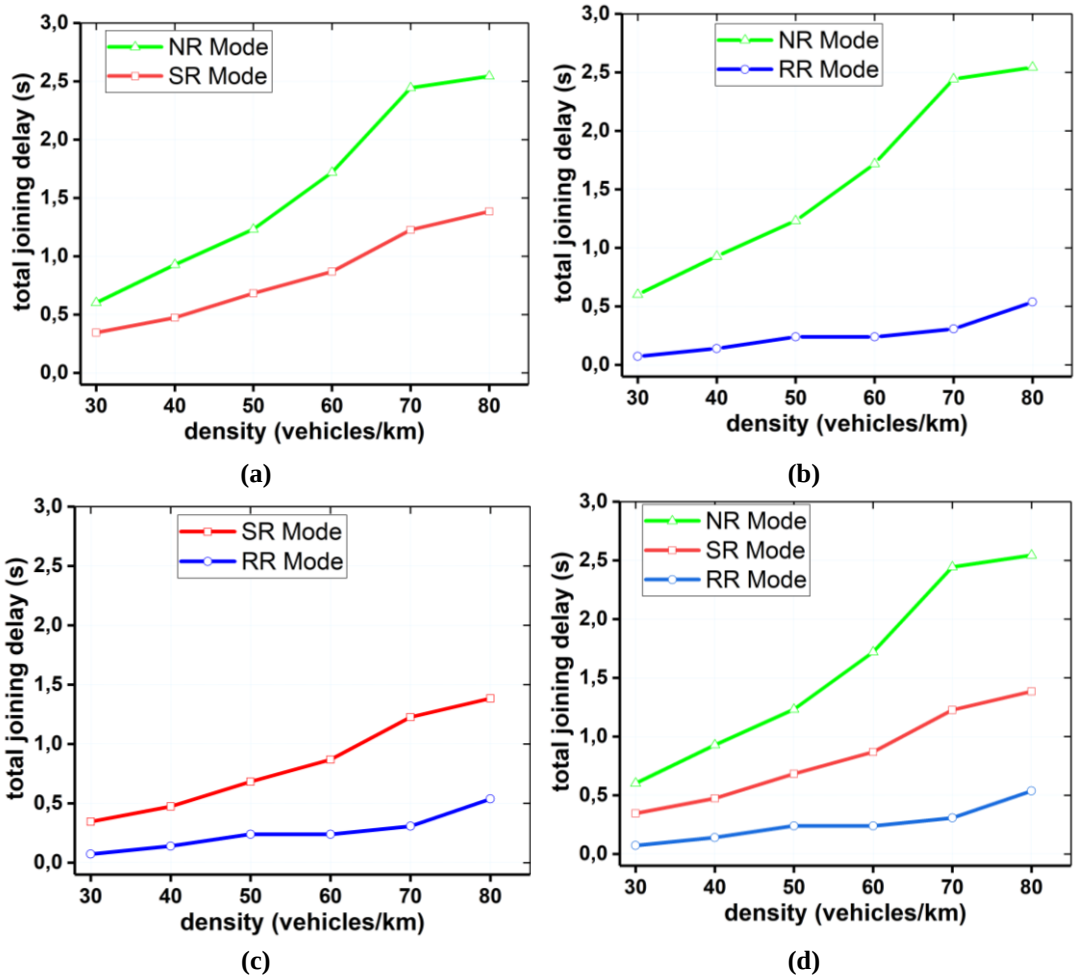


Şekil 4.11 Farklı taşıt yoğunluğu ve rezervasyon modu senaryolarında taşıtların ağ bağlantılarında yaşadıkları ortalama gecikmeler

Grafikten görüldüğü üzere NR Mode (Non – Reservation Mode), taşıtların ağa bağlanırken bölgede en fazla ortalama gecikmenin yaşandığı moddur. Taşıtların kendi rezervasyonlarını gerçekleştirdikleri mod olan SR Mode (Self – Reservation Mode) NR moda göre daha iyi ortalama ağ erişim gecikme süresine sahip iken, rezervasyon işleminin RSU tarafından yürütüldüğü RR Mode(RSU Reservation Mode) en iyi ağ

erişim gecikmesine sahiptir. Grafik incelendiğinde NR Mode tüm senaryolarda ortalama 27,22 ms ortalama erişim gecikmesine sahip iken, SR Mode'da 14,39 ms ortalama erişim gecikmesi oluşmaktadır. Bu durumda SR Mode kullanan bir protokolde taşıtlar NR Mode kullanan protokole göre %47,13 daha iyi ağ erişim süresine sahiptir. RR Mode'da ise ortalama erişim gecikmesi 4,31 ms olup, SR Mode'dan %70,04 ve NR moddan %84,16 daha iyi ağ erişim performansına sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.12'de tüm rezervasyon modlarında ve tüm farklı taşıt yoğunluğu senaryolarında ki tüm taşıtların ağa bağlanıncaya kadar harcadıkları toplam süreleri göstermektedir.



Şekil 4.12 Farklı taşıt yoğunluğu ve rezervasyon modu senaryolarında bütün taşıtların ağa bağlanıncaya kadar harcadıkları toplam süreler

Yapılan ikili karşılaştırmalardan görüldüğü üzere rezervasyonlu modlar rezervasyonsuz moddan daha az toplam erişim gecikmesine sahiptir. Farklı olarak rezervasyonların kablolu ara yüz üzerinden ve YKB'ler tarafından yapıldığı RR Mode'da en düşük ağ erişim gecikmesi gerçekleşmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm yoğunluk senaryolarında ortalama toplam erişim gecikmeleri NR, SR ve RR Mode'da sırasıyla 1,58 sn, 0,83 sn ve 0,26 sn olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda rezervasyonlu senaryolar rezervasyonsuz senaryolarda göre ağ erişim gecikmelerinde çok daha üstün bir performans gösterdiği gözlemlenebilmektedir. SR Mode toplam ağ erişim gecikmesinde NR Mode'dan %47,4 daha üstün performans gösterirken, RR Mode'da SR Mode'dan %68,7 daha iyi performans göstermektedir.

Ağ erişim gecikmeleri üzerine gerçekleştirilmiş olan bu çalışma göstermiştir ki çok hızlı hareket ve yer değiştirmenin olduğu, mikro saniyelerin önem arz ettiği taşıt ağlarında etkili bir OEK şeması içinde kullanılan rezervasyon metodu ağ kurulumunu oldukça hızlandırabilmektir. Bu sayede taşıtların özellikle farklı ağlar arasındaki geçişlerinin (handover) sorunsuz ve çok hızlı gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Ağın devamlılığı sağlanabilmekte ağ geçişlerindeki bağlantı kopmaları ve tekrar bağlanma sürecinde meydana gelen veri kayıpları oldukça azaltılabilmektedir. Bu anlamda etkili rezervasyon metotlarının önemi de ortaya çıkmaktadır.

4.3.2. Kendi Kendine Organize Olan Modun Kullanıldığı Protokolün (SOMMAC) Benzer Protokoller ile Karşılaştırması

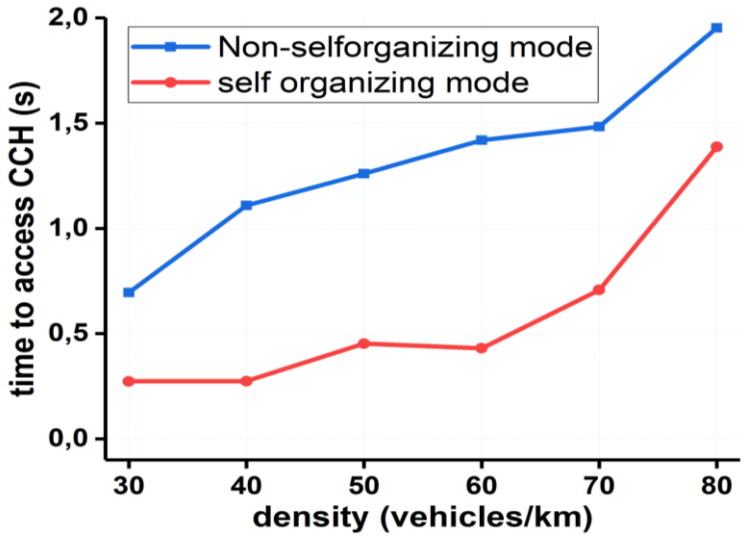
Özellikle kendi kendine organize olan ağlarda OEK şemasının yetenekli olması gerekir ki tüm taşıtların hızlı bir şekilde ağa bağlanması ve koordinasyon sağlansın. VANET'lerde taşıtların hızlı yer değiştirmesi nedeniyle iki YKB arası geçişler oldukça kısa sürede gerçekleşir ve çoğu zaman bu süre taşıtların yeniden kanal edinmesine yetmez. Bu da ağda paket kayıplarına ve performans düşüklüğüne neden olur. Tezin bu bölümünde, mobil taşıtların komşu iki YKB'nin kapsama alanlarının kesişim bölgesinde iken kendi kanal rezervasyonlarını yaparak, ağdan kopmadan sonraki YKB'ye geçişinin hızlı bir şekilde olmasını sağlayan ve SR Mode'un kullanıldığı SOMMAC protokolünün performans karşılaştırmasına yer verilmiştir.

Performans karşılaştırması için SOMMAC protokolü önceki bölümde belirtilen 3 YKB'li ve 30-80 taşıt/km arasında değişen taşıt yoğunluklu senaryolarda kullanılarak, benzetimler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer protokoller olan VeMAC ve CS-TDMA gibi protokoller ile karşılaştırılarak performans başarımı değerlendirilmiştir. Benzetimlerde kullanılan benzetim parametreleri karşılaştırma yapılan protokollere uygun olması açısından Tablo 4.2'deki gibi seçilmiştir.

Tablo 4.2 SOMMAC benzetim parametreleri

Parametre	Değer
Trafik yoğunluğu (Traffic density (vehicles / km))	30 – 80
Zaman dilimi boyutu (Slot Length (ms))	0,16
Çerçeve boyutu (Frame length (ms))	8
Ortalama hız (Average speed (km /h))	100
Benzetim süresi (Simulation time (sn))	90
Kapsama alanı boyutu (Transmission range (m))	400
Parkur uzunluğu (Highway Length (m))	1250

Şekil 4.8'de verilen ağ konfigürasyonu ve Tablo 4.2'de verilen benzetim parametreleri ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

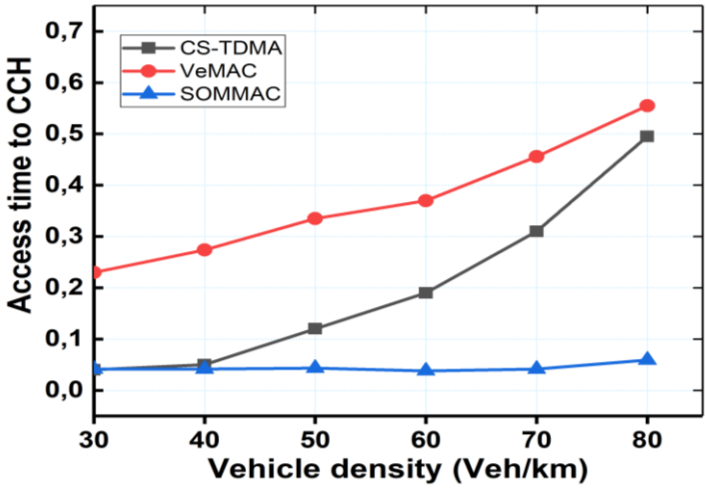


Şekil 4.13 SOMMAC protokolünde NR ve SR mode'daki toplam ağ erişim gecikmeleri

Şekil 4.13'de tüm senaryolar için taşıtların parkur boyunca sıralanmış olan YKB'lerin kapsama alanlarına ilk giriş ve komşu YKB'lerin kesişim bölgelerindeki ağa dâhil olması (kontrol kanalına erişim) için gereken toplam süreleri göstermektedir. İlk YKB'lerin kapsama alanlarının girişinde tüm taşıtların ağa bağlanması için geçen süre en düşük taşıt yoğunluklu senaryoda 0,69 sn olup, bu süre rezervasyonsuz modun gecikme performansını göstermektedir. Aynı senaryoda SR Mode'un kullanıldığı komşu YKB'lerin kapsama alanlarının kesişim bölgelerinin başlangıcı olan bölgelerde gecikmeler sırasıyla 0,23 sn ve 0,31 sn olarak (ortalama 0,27 sn) olarak ölçülmüştür. En yoğun senaryoda NR Mode'da gecikme 1,95 sn iken, SR Mode gecikmeleri ortalama olarak 1,38 sn olmuştur. Grafikten de görüldüğü üzere SOMMAC protokolünün ağa ilk katılım gecikmeleri oldukça az olup, YKB'ler arası geçiş süreleri oldukça azalmıştır. Bu durumda tüm senaryolar dikkate alındığında, önerilen SOMMAC protokolünün SR Mode sayesinde ağın hızlı organize olmasına ortalama %63,46 oranında olumlu etki ettiği gözlemlenmektedir. Bu bölümdeki grafiklerde SOMMAC protokolünün VeMAC ve CS-TDMA protokollerinin Kontrol Kanalına Erişim Süresi (Access Time to CCH), Kontrol kanalındaki Çarpışma Sayısı (Access Collisions Count in CCH) ve Kontrol kanalındaki Paket İletim Oranı (Packet Delivery Ratio over CCH) gibi metriklerle karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Şekil 4.14'te SOMMAC protokolünün taşıtları ağa katma sürelerine ait performansı gösterilmektedir. Tüm taşıtlar için ağa katılım süresi diğer protokollerde taşıt yoğunluğuna bağlı olarak artış gösterirken, SOMMAC'te bu süreler birbirine yakın ve diğer protokollerden daha az olarak gerçekleşmektedir. Ağa katılım süresi ortalaması VeMAC'te 0,37 sn, CS-TDMA'de 0,2 sn ve SOMMAC'te 0,044 sn olarak gerçekleşmektedir. Bu fark protokoller arasındaki ağa katılım algoritması, çerçeve yapıları ve zaman dilimi boyutu ile ilgili olup, VeMAC'te çerçeve boyutu 100 ms, zaman dilimi boyutu 1 ms'dir ve her taşıt bir çarpışma yaşadığında ağa katılma isteğini göndermek için bir sonraki çerçeveyi beklemektedir, bu durum da gecikmeyi artırmaktadır. CS-TDMA de ise zaman dilimi boyutu 0,016 ms olup, sonraki çerçeve beklenmeden çarpışma olduğu anda yeniden katılım isteği aynı çerçeve içinde gönderilmektedir, bu durumda da erişim çarpışmaları daha fazla olup ağa katılımı kısmen geciktirmektedir. SOMMAC'te ise CSMA mekanizması iki aşamalı olup

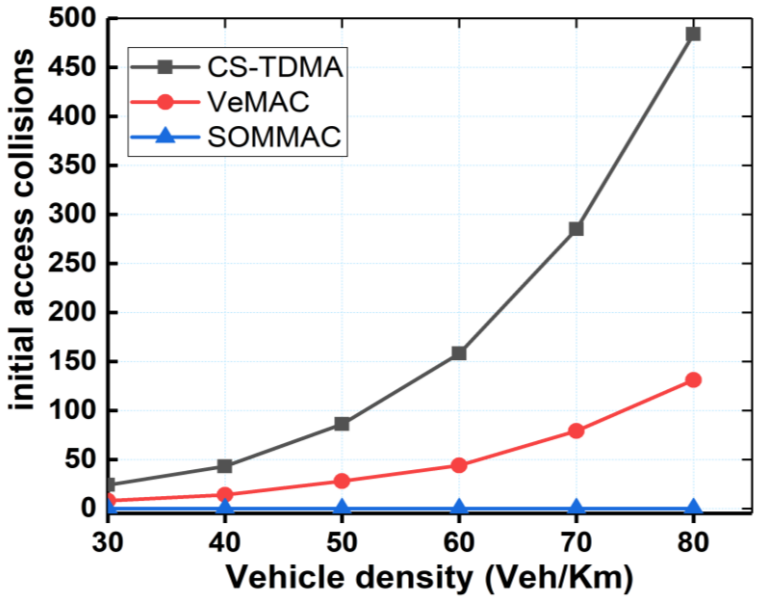
taşıtlar öncelikle ağa katılma isteklerini gönderme kuyruğuna girmekte ve daha sonra ağa katılım istekleri için ikinci CSMA döngüsüne girmektedirler.



Şekil 4.14 Farklı taşıt senaryolarında kontrol kanalına erişim sürelerinin karşılaştırılması

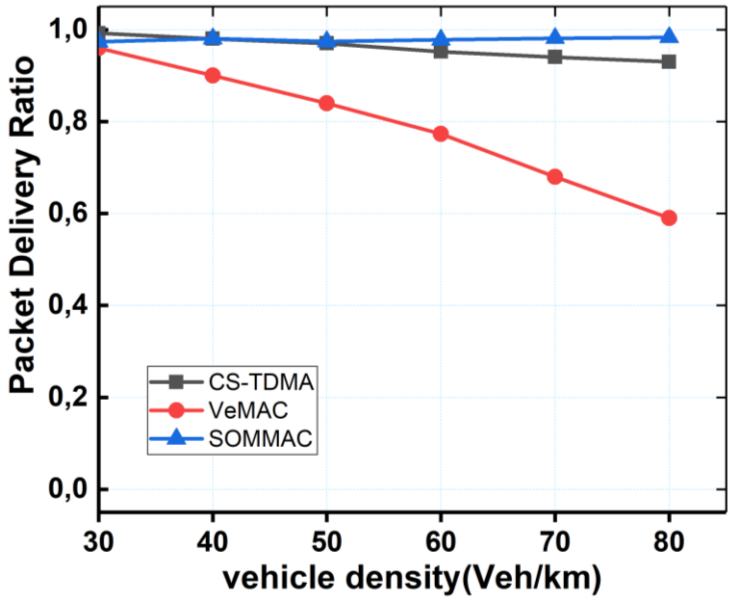
Geliştirilmiş olan OEK protokolünde zaman dilimi boyutu 0.16 ms olup, çerçeve boyutu 8 ms'dir. Dolayısı ile diğerlerine göre bir sonraki çerçeveye çok daha erken geçilmekte sonraki çevrim daha erken başlamaktadır. Bu durum ağa erişimi hızlandırmaktadır. Elde edilen sonuçlar SOMMAC'in VeMAC'a göre %89,1, CS-TDMA'e göre %78 daha iyi ağa katılım süresi performansına sahip olduğunu göstermektedir.

Önerilen şemanın kontrol kanalına erişim sırasında meydana gelen çarpışma sayıları (initial access collisions – IAC) performansı Şekil 4.15'te gösterilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere referans protokollerde çerçeve yapıları ve kullanılan CSMA algoritmasından kaynaklı olarak erişim çarpışmaları yaşanmakta ve taşıt yoğunluğuna göre bu çarpışmalar artmaktadır. SOMMAC şemasında ise gürbüz CSMA mekanizması sayesinde ağa katılım çarpışmasız olarak sağlanmaktadır. Kontrol kanalının alt kanalı olan JNCH kanalı sadece ağa katılım anında kullanılmakta ve taşıt ağa katıldığı anda bu kanalı boşaltarak başka kanala geçmektedir, bu durumda kanalda sürekli olarak boş zaman dilimi bulunmakta ve taşıtlar çok hızlı ve çarpışmasız şekilde zaman dilimi edinerek ağa katılma isteklerini gönderebilmektedirler.



Şekil 4.15 Farklı taşıt senaryolarında kontrol kanalına meydana gelen erişim çarpışmaları

Protokollerin kontrol kanalındaki başarılı paket iletim oranlarına (Packet Delivery Ratio – PDR) ait karşılaştırma Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Farklı taşıt senaryolarında kontrol kanalındaki başarılı paket iletim oranları

Grafik incelendiğinde, SOMMAC'in kontrol kanalındaki başarılı paket iletim performansı referans protokollerden daha iyi olduğu gözlemlenebilmektedir. Diğer protokollerde kanal sıkışıklığı nedeniyle artan taşıt yoğunluğunda paket iletim oranları düşme eğiliminde iken önerilen şemada bu oran tüm yoğunluk senaryolarında %97'nin üzerinde olduğu ve SOMMAC'in kontrol kanalı paket iletim oranı performansı en iyi olan yaklaşım olduğu görülmektedir.

Bu bölümde taşıt ağlarında, taşıtların kendi başlarına kanal rezervasyonu işlemini yönettiği çok kanallı bir MAC protokolünün başarım değerlendirmesi yapılmıştır. SOMMAC protokolü ile ağı oluşturan taşıtların ağa bağlanmalarını ve farklı YKB ağları arasındaki geçişleri (handover) hızlandıracak bir ağa katılım algoritması gerçekleştirilmiştir. Yapılan benzetimlerden SOMMAC'in referans olarak alınan VeMAC ve CS-TDMA protokollerine göre söz konusu metriklerde daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

4.3.3. YKB Tabanlı Rezervasyonun Kullanıldığı Protokolün (ReMAC) Bilinen Benzer Protokoller ile Karşılaştırılması

YKB merkezli TTA'larda ağ kurulumu ve organizasyonu işlemlerini yürüten en önemli YKB bileşenlerinden birisi etkili ve gürbüz bir OEK protokolüdür ve ağın performansı bu OEK protokolü ile doğrudan ilgilidir. Araştırmacılar VANET'lerdeki hızlı organize olamama, sık yaşana ağ kopuklukları, çarpışma ve girişim gibi problemleri çözmek ve ağın etkinliğini artırmak için birçok OEK protokolü geliştirmiş ve uygulamışlardır. İlgili çalışmalar kısmında bir bölümüne değinilmiş olan bu OEK protokolleri CSMA, FDMA ve TDMA gibi ortam erişim yöntemlerini tek başına veya karma olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada sözü edilen zorluklarının üstesinden gelmek ve ağ performansını iyileştirmek üzere çoklu iletişim kanalını destekleyen, yön ve YKB tabanlı rezervasyon gerçekleştiren melez bir OEK (ReMAC) protokolü önerilmiştir. Önerilen protokolde geliştirilmiş rezervasyon metodu ile ağın hızlı bir şeklide kurulup taşıtların sonraki YKB ağına herhangi bir kopma olmadan aktarılması ve çoklu kanal yöntemi ile çarpışma ve gecikmelerin minimize edilmesi hedeflenmiştir.

ReMAC'in elde ettiği başarının tespiti için gereken performans karşılaştırması literatürde bilinen ve kullandıkları metrikler bakımından ReMAC'e en uygun olan VeMAC, CFR MAC, VAT-MAC ve TM-MAC protokolleri ile gerçekleştirilmiştir. Benzetimde kullanılmak üzere bölüm 4.3.1'de belirtilen ve Şekil 4.8'de şeması verilen 3 YKB'li ağ yapılandırması kullanılmıştır. ReMAC protokolünün hem otoyol hem de şehir içi senaryolarında başarım değerlendirmesini yapabilmek üzere bu iki farklı ortam için ayrı ağ yapılandırmaları seçilerek benzetimler gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde kullanılan benzetim parametreleri karşılaştırma yapılan protokollere uygun olması açısından hem otoyol hem de şehir ortamları için ayrı ayrı olmak üzere Tablo 4.3'deki gibi seçilmiştir.

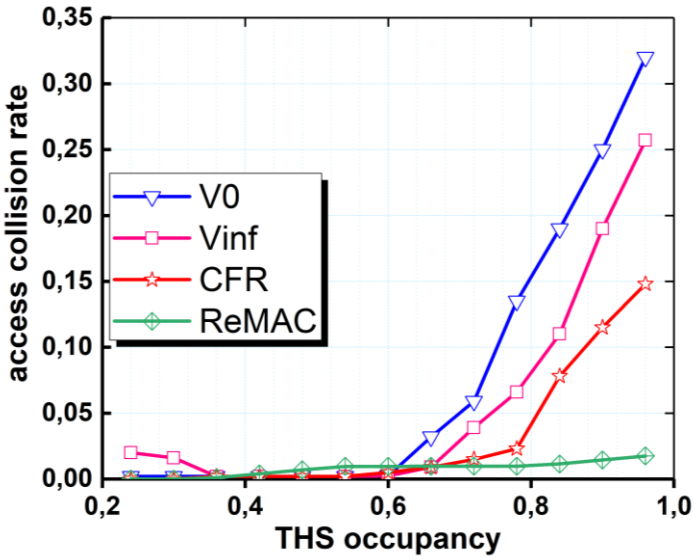
Tablo 4.3 ReMAC benzetim parametreleri

Parametre	**Otoyol Senaryosu**	**Şehir Senaryosu**
Parkur uzunluğu (Highway Length(km))	1,25	1,25
Her bir yöndeki şerit sayısı (Number of lanes)	4	4
Ortalama hız (Mean speed (km /h))	100	50
Zaman dilimi boyutu (Slot Length (ms))	0,16	0,16
Çerçeve boyutu (Frame length (ms))	8	8
Benzetim süresi (Simulation time(sn))	90	120
Trafik yoğunluğu (Traffic density (vehicles / km))	80 – 300 artım 20	30 – 80 artım 10
İki atlamalı komşuluktaki doluluk (THSO)	0,24 – 0,96 artım 0,6	-
Kontrol kanalı bant genişliği (MHz)	10 (8 x 1,25)	10 (8 x 1,25)

ReMAC protokolü daha yüksek hızlarda çalışabilmesine rağmen karşılaştırmaya tabi tutulduğu protokoller ile eşit şartları sağlamak üzere taşıt hızları ortalama olarak 100 km/h olarak belirlenmiştir. Ayrıca kontrol kanalının DSRC'de tanımlı bant genişliği 10 MHz olmasına karşın önerilen protokolde bu kanal 8 alt kanala bölünmüş ve bu alt kanallar farklı işlemler için özelleştirilmiştir. Önerilen protokolün kontrol kanalı yapısı Bölüm 3.2.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Kontrol kanalı (CCH) 8 alt kanaldan oluşmaktadır ve her biri 1,245 MHz bant genişliğine sahiptir. Bazı karşılaştırmalar bu

bant genişlikleri ve veri hızı değerleri dikkate alınarak yapılacaktır. Diğer protokollerde kontrol kanalı işlemleri için CCH'nin tüm bant genişliği (10 MHz) TDMA ile zaman dilimlerine bölerek kullanılırken ReMAC protokolünde kontrol işlemleri FDMA ile bölünmüş ve göreve adanmış alt kanallarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu alt kanallarda ihtiyaç durumunda birden fazla taşıta hizmet verebilmek için TDMA ile zaman dilimleri oluşturulabilmektedir. ReMAC protokolünde çekişmeli kanal olan JNCH kanalında zaman dilimi boyutu 0,16 ms olup bir çerçevede 50 adet zaman dilimi bulunmaktadır. JNCH haricindeki diğer kontrol alt kanallarında bir çerçevedeki zaman dilimi sayısı, kanalı kullanan taşıt sayısına göre dinamik olarak ayarlanmaktadır. Bu şartlarda OPNET Modeler ile yapılan benzetimlerin sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Şekil 4.17 ReMAC'in erişim çarpışmaları performansını göstermektedir. Grafik, ilgili yayındaki (CFR-MAC) [23] karşılaştırma grafiğine ReMAC'in erişim çarpışma oranı grafiği eklenerek elde edilmiştir.

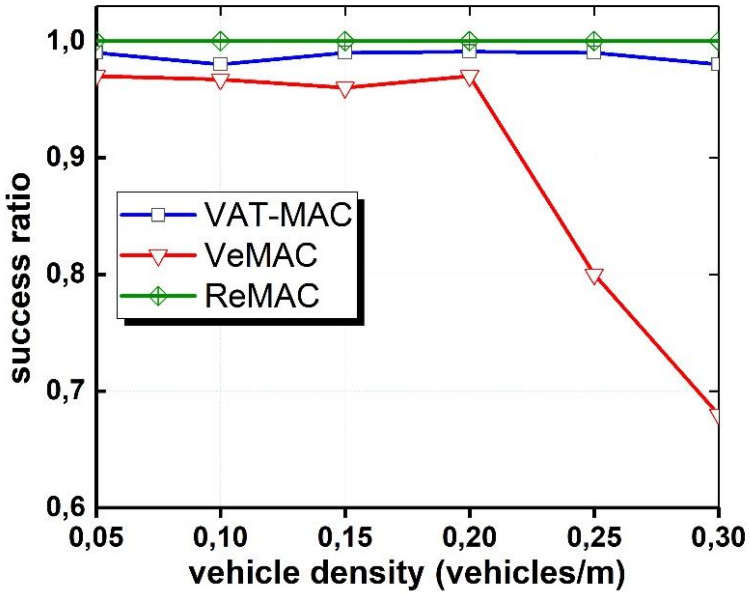


Şekil 4.17 Farklı taşıt yoğunluğu (THSO) senaryolarında erişim çarpışması oranları

Bu grafikte VeMAC'a ait iki şemanın grafiğine yer verilmiş olup $V_o \rightarrow \tau = 0$, $V_inf \rightarrow \tau = \infty$ durumunu ifade etmektedir. Grafikten görüldüğü üzere ReMAC protokolündeki erişim çarpışma oranları VeMAC ve CFR-MAC protokollerine göre genel olarak daha az olmakla beraber, yüksek taşıt yoğunluklarında söz konusu

protokollerden çok daha başarılıdır. Erişim çarpışmaları değeri en iyi olan CFR-MAC protokolünde ortalama çarpışma oranı 0,0308 iken ReMAC protokolünde bu oran 0,007995 olmaktadır. Bu da ReMAC protokolünün erişim çarpışmaları oranında karşılaştırılan protokollerin en iyisinden %74,08 daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.18, protokolün farklı taşıt yoğunluklarındaki ağa katılım başarım oranlarını göstermektedir.

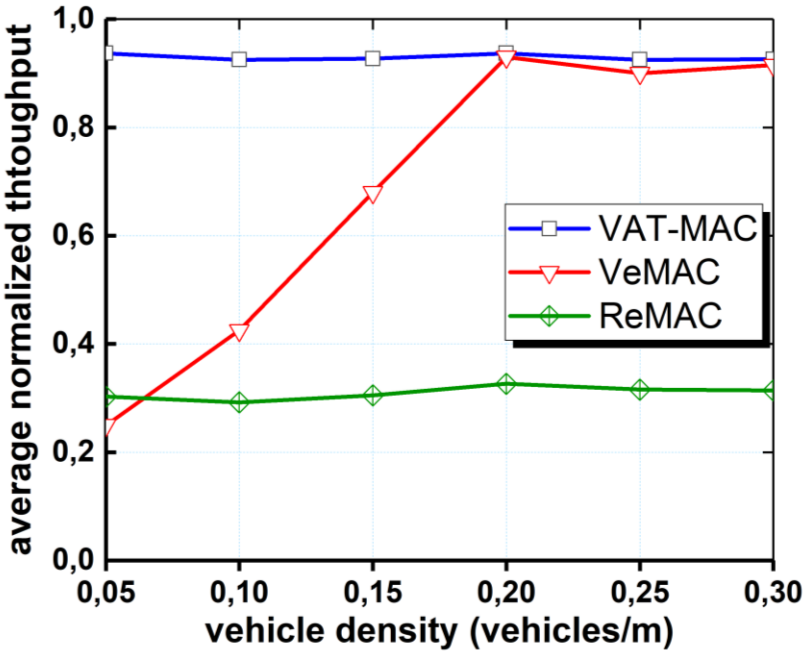


Şekil 4.18 Farklı taşıt yoğunluğu senaryolarında ağa katılım başarım oranları

Grafikten de görüldüğü gibi ReMAC protokolü daha küçük bant genişlikli bir ağa katılım kanalı (JNCH – 1245 KHz) kullanmasına karşın bütün senaryolarda ağa katılım oranları %99,9 seviyesindendir. ReMAC protokolü grafikte görülen VAT-MAC'e ve VAT-MAC'in kendisini karşılaştırdığı VeMAC, ATSA v e ACFM'e göre tüm yoğunluk senaryolarında en iyi performansı göstermektedir.

ReMAC protokolünün VATMAC[17] yayınındaki protokollere göre normalize edilmiş ortalama iş başarımı (throughput) performansı karşılaştırmasını Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Farklı taşıt yoğunluklarında elde edilmiş olan ortalama normalleştirilmiş iş başarımı grafikleri incelendiğinde tüm protokollerde iş başarımı

değeri 1'e yaklaşırken ReMAC protokolünde tüm senaryolarda %30 seviyesinde kalmaktadır. Bu durum ReMAC protokolünün tasarım mantığıyla ilgili olup, her senaryoda kanalın kullanım oranı daha stabil kalmakta dolayısı ile taşıt yoğunluğunun artması durumunda da tüm taşıtları ağda tutup sorunsuz haberleşmeyi sağlayabilmektedir. VAT-MAC'teki kontrol paket boyutunun 1000 byte olması, buna karşın ReMAC'te 200 bit olmasından dolayı iş başarım değerinin düşük çıktığı gözlemlenmektedir.

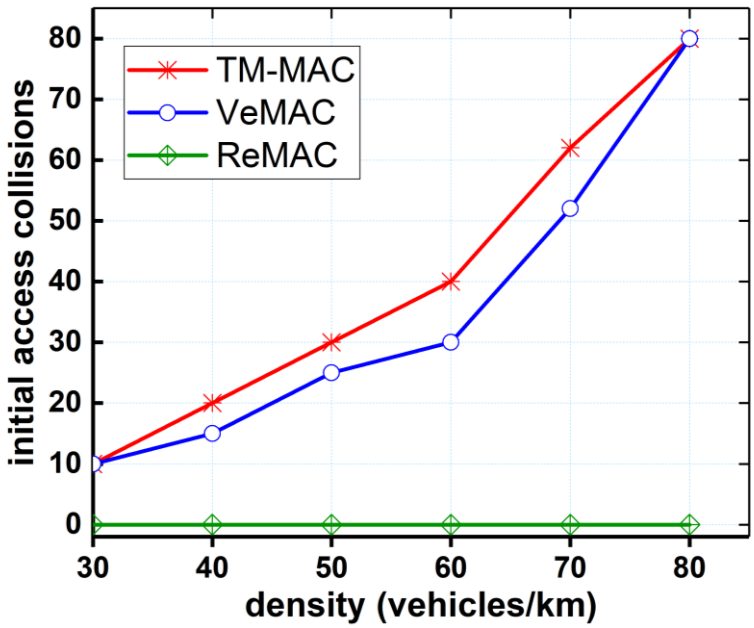


Şekil 4.19 Farklı taşıt yoğunluğu senaryolarında iş başarım karşılaştırmaları

Ayrıca paketlerin gönderilme sıklıklarının da bu grafiği etkilediği düşünülmektedir. Ek olarak, referans protokollerde bu değerlerin kontrol kanalı için mi yoksa servis kanalı için mi olduğundan da bahsedilmemiştir. Bu protokoller tüm kontrol işlemleri için birleşik 10 MHz bir kanal kullanırken ReMAC'te farklı kontrol işlemleri için adanmış alt kanallar bulunmaktadır. Bu durum protokolün daha esnek davranabilmesini sağlamakta ve grafikten anlaşılacağı üzere çok daha yoğun ağ trafiğinde de ağ hizmetlerini sorunsuz yerine getirebilecek kapasitesi olduğunu göstermektedir. Grafikte 300 taşıtlık senaryoda tüm protokollerin tam doluluğa

ulaştığı görülmekte olup, ReMAC için bu oranın çok daha fazla olabileceği görülebilmektedir.

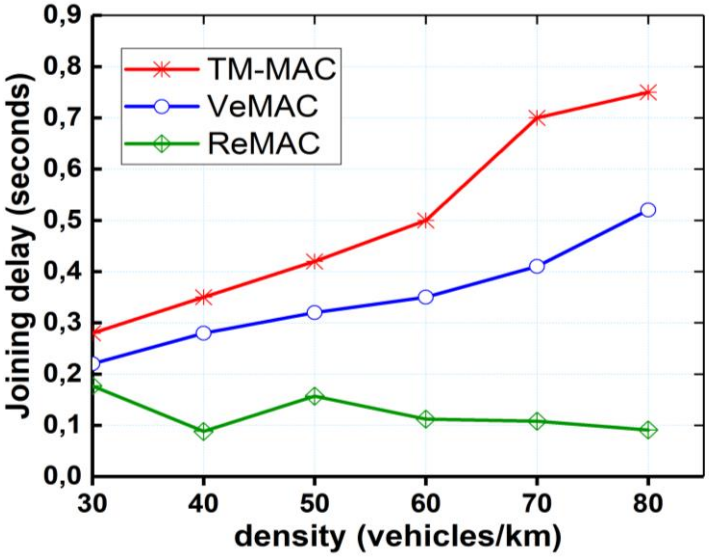
Şekil 4.20 ve 4.21 ReMAC protokolünün şehir senaryolarında da etkili bir protokol olabileceğini göstermek üzere VeMAC ve TM-MAC protokolleri ile karşılaştırmasına yer verilmiştir. Şekil 4.20 farklı taşıt yoğunluğu senaryolarında taşıtların ağa erişirken çekişme tabanlı ağa katılım kanalında yaşadıkları çarpışmaların sayılarını göstermektedir. Grafik incelendiğinde gerek VeMAC gerekse TM-MAC protokollerinde taşıt yoğunluğunun artmasına bağlı olarak erişim çarpışması sayılarının arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20 Farklı taşıt yoğunluğuna sahip şehir içi senaryolarında ortam erişim çarpışmaları sayıları

VeMAC ‘te ortalama çarpışma sayısı 40,3 ve TM-MAC’te 35,3 iken ReMAC’te bu değer 0 olup herhangi bir senaryoda erişim çarpışması gözlemlenmemiştir. Bu durum ReMAC’in şehir senaryosunda ağa erişimi çarpışmasız gerçekleştirebildiği anlamına gelmektedir.

Şekil 4.21’de şehir senaryosunda protokollerin taşıt yoğunluğuna bağlı olarak taşıtları ağa dâhil edinceye kadar geçen süreleri göstermektedir.



Şekil 4.21 Farklı taşıt yoğunluğuna sahip şehir içi senaryolarında ağa katılım gecikmeleri

Grafik incelendiğinde taşıtların ağa dâhil olma gecikmelerindeki performansı en iyi olan protokol ReMAC olarak gözlemlenmektedir. Tüm yoğunluk senaryolarında erişim gecikmesi ortalaması VeMAC'te 0,5 sn ve TM-MAC 'te 0,35 sn iken ReMAC'te 0,122 sn olarak gerçekleşmiştir. Karşılaştırılan protokollerden en iyi olan TM-MAC'e göre ReMAC'in erişim gecikmelerinde % 65,09 daha iyi performans gösterdiği gözlemlenebilmektedir.

Bu bölümde, VANET'ler için rezervasyon tabanlı melez ortam erişim mekanizması içeren ReMAC protokolünün literatürdeki benzer protokollerle şehir ve otoyol senaryolarında karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçları incelendiğinde söz konusu ReMAC protokolünün etkili bir kanal atama mekanizması sağladığı, ortama erişimi sorunsuz ve nerdeyse çarpışmasız olarak gerçekleştirebildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu protokol çoklu kanal yapısını desteklemekte, taşıtların hareket yönünü dikkate alarak YKB kapsama alanlarına girmeden önce kanal rezervasyonlarını sorunsuz gerçekleştirerek, hızlı ağ organizasyonuna büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Orijinal rezervasyon mekanizması sayesinde, taşıtların ağa bağlanma gecikmelerini oldukça azalmaktadır. Performans karşılaştırmasına tabi tutulduğu protokollere göre büyük oranda üstün performansa sahip olduğu yapılan benzetim sonuçlarından anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, hızlı yer değiştiren düğümlerin bulunduğu TTA'lar için ortam erişimini kontrol ve koordine eden çok kanallı yapıyı destekleyen rezervasyon tabanlı bir OEK protokolü tasarımı ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Hızlı düğüm hareketliliği ve ağlar arası geçişte sık ağ kopuklukları yaşanan bu tip mobil algılayıcı ağların en önemli zorluklarının başında ağın erken organize olması ve sağlanmış olan ağ bağlantısının uzun süre korunabilmesi gelmektedir. Bununla birlikte gerçekleştirilmekte olan iletişimin kablosuz ortamda girişimlerden etkilenmeden, erişim çarpışmalarından uzak yapılması da bu alandaki önemli zorluklardandır.

Temelde TTA'larda erken ağ organizasyonu, ağlar arası sorunsuz geçiş, iletişim ortamına erişimde yaşanan girişim ve ortama erişim çarpışmalarının azaltılması konsepti üzerine kurulu olarak yapılan bu tez çalışması uzun ve özverili bir çalışma periyodu sonunda başarıya ulaşmıştır. Geliştirilen özgün ve gürbüz OEK protokolü içerisinde yer alan ortama erişim algoritmaları, yeni metotlar içeren özgün rezervasyon algoritması ve kullanılan çoklu kanal standardı olan DSRC'ye getirilen yeni bir yaklaşım sayesinde hedeflenen melez OEK protokolü ortaya konarak yukarıda bahsedilen kazanımlara ulaşılmış olup, literatürde yer edinmiş benzer protokollere göre daha üstün performans verileri elde edilmiştir. Ayrıntıları tezin yukarıdaki bölümlerinde anlatılmış olan OEK protokolü sayesinde aynı anda bir otoyol veya şehir senaryosunda 20 – 240 Km/s aralığındaki hızlarda hareket halindeki en az 60 adet taşıta eş zamanlı olarak kanal atamaları (adanmış olarak) kolaylıkla yapabilmekte, taşıtların çok kısa sürede ağa dâhil olup, parkur sonuna kadar ağdan kopmadan iletişimlerini sürdürebilmelerine imkân verebilmektedir. Ağı yöneten YKB'lerin 400 m'lik kapsama alanı içerisindeki asgari 60 adet taşıtı aynı anda kontrol ve koordine edebilen ReMAC protokolü, ekstra durumlarda (taşıt sayısının 60'tan fazla olduğu durumlarda) B planı olarak TDMA'yı devreye sokup, servis ve kontrol kanalları içinde zaman bölmesi yaparak çok daha fazla taşıta aynı anda hizmet verebilecek kapasiteye ulaşabilmektedir. Ayrıca taşıtların birbirlerinin kanallarını kullanmaya çalışmalarını

engellemek üzere farklı yönlerde hareket halindeki taşıtların birbirine uzak farklı frekans bantlarını kullanmaları sağlanmış, frekanslar arası girişimler de bu yolla azaltılmıştır. Kontrol kanalı ağa katılma fazı ve iletim fazı şeklinde düşünülmüş iletişim boyunca farklı fazlar da farklı kanalları kullanmak üzere alt kanallara bölünmüş, her bir alt kanal farklı fazlardaki farklı görevleri yapmak üzere özelleştirilmiştir. Böylece ağa katılmak isteyen taşıtlar sadece ağa katılım kanalını (JNCH) kullanırken, ağa katıldıktan sonra bu kanalı kullanmayı bırakarak kontrol haberleşmesi için farklı kanalları kullanmaktadırlar. Böylece ağa katılımlarda taşıtlar daha kolay bir şekilde JNCH kanalını boş olarak bulabilmektedirler. Bu da ağa katılım hızını büyük oranda artırmaktadır.

Protokolün başka bir artısı da, ağdaki taşıtları senkronize yöntemidir. Benzer ağlarda genellikle bu iş için GPS kullanılmakta iken, geliştirilen protokolde bu işlem GPS ‘den bağımsız olarak YKB tarafından belli aralıklarla taşıtlara gönderilen senkronizasyon paketleriyle (VCAPALL) gerçekleştirilmektedir. Böylece özellikle tünel gibi kapalı olup GPS’nin hizmet veremediği yerlerde protokol rahatlıkla çalışabilmektedir.

Geliştirilmiş olan protokol rezervasyon işlemlerini YKB’ler arası varsayılan olarak kabul edilen kablolu bağlantı üzerinden gerçekleştirebilmekle (RR Mode) birlikte, ikinci alternatif olarak kablonun arızalanması veya olmaması durumunda ağı kendi kendine organize edebilecek, taşıtlar tarafından rezervasyon işleminin yapılabildiği (SR Mode) şekilde de çalışabilmektedir.

Bu tez çalışması sürecinde geliştirilmiş ve benzetimi yapılmış olan çeşitli algoritmalar ve çalışma modlarına ilişkin aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Taşıtların rezervasyonsuz ve rezervasyonlu ortam erişim yordamlarının hızlı ağ kurulumuna etkilerini incelemek üzere yapılan benzetimler sonucunda, taşıtların kendi rezervasyonlarını kablosuz ağ üzerinden yaptıkları SR Mode’un ağ kurulumunu rezervasyonsuz moda (NR Mode) göre %47,4 daha erken tamamlayabildiği görülmektedir. En iyi ağ kurulum performansı ise rezervasyon işleminin kablolu altyapı üzerinden YKB tarafından yönetildiği durumda (RR Mode) gerçekleşmektedir. YKB tabanlı rezervasyon senaryosu NR Moda göre %84,16 ve SR moda göre %70,04 daha iyi taşıt başı ortalama erişim gecikmesi performansı ortaya koymuştur. Yapılan

çalışma göstermiştir ki çok hızlı hareket ve yer değiştirmenin olduğu, mikro saniyelerin önem arz ettiği taşıt ağlarında etkili bir OEK şeması içinde kullanılan rezervasyon metodu ağ kurulumunu oldukça hızlandırabilmektir. Bu sayede taşıtların özellikle farklı ağlar arasındaki geçişlerinin (handover) sorunsuz ve çok hızlı gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Ağın devamlılığı sağlanabilmekte ağ geçişlerindeki bağlantı kopmaları ve tekrar bağlanma sürecinde meydana gelen veri kayıpları oldukça azaltılabilmektedir. Bu anlamda etkili rezervasyon metotlarının OEK protokollerinde kullanılmasının önemi de ortaya çıkmaktadır.

Benzetim sonuçlarının ikinci kısmı olan rezervasyonun taşıtlar tarafından yapıldığı protokolde SOMMAC, ağa katılım zamanlarında en iyi performansı gösteren CS-TDMA'e göre %78 daha hızlı bağlanma performansı göstermiştir. Ağa katılım çarpışmalarında rakiplerinin çarpışma sayısı 500'e ulaşırken SOMMAC protokolünde ortama erişim çarpışmalarının neredeyse hiç yaşanmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca SOMMAC en yoğun senaryoda %97,3 paket iletim performansı ile referans protokollerden daha yüksek bir performans göstermektedir. Sonuçlardan anlaşıldığı üzere, SOMMAC rakiplerine göre oldukça başarılı bir kendi kendine organize olma performansı göstermiş olup, kayda değer ağ katılım performansı sergilemiştir. İyi organize edilmiş bir protokol olması dolayısı ile ağa katılım performansının kendi kendine organize olma mekanizması olmayan ağlara göre ortalama %63.46 daha iyi olduğu görülmektedir.

Üçüncü kısım benzetimlerde, YKB tabanlı rezervasyonu kullanan ReMAC protokolü erişim çarpışmaları oranında referans alınan CFR-MAC ve VeMAC (V0,Vinf) protokollerinin en iyisine göre %74,08 daha iyi performans göstermiştir. VATMAC ve VeMAC protokollerinde yüksek taşıt yoğunluklarında ağa katılma oranları düşerken ReMAC'te tüm senaryolarda ağa katılma oranında %99,9 luk bir başarım sağlanmıştır. Ayrıca geliştirilen protokolün ortalama iş başarım değerlerinde diğer protokollere göre en az 3 kat daha fazla taşıt trafiğini kotarabilecek yetenekte olduğu gözlemlenmektedir. ReMAC'in şehir senaryolarındaki başarımını gösteren VeMAC ve TM-MAC karşılaştırmaları sonucunda erişim çarpışmalarında neredeyse çarpışmasız ve ağa katılma gecikmelerinde ise %65,09 daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere ReMAC protokolü önerdiği yeni

melez kanal atama mekanizması ile ağın erişim gecikmelerini ve çarpışmaları azaltmakta, daha fazla taşıtın hızlı ve sorunsuz olarak ağa katılmasını sağlamakta, taşıt yönüne göre farklı FDMA kanalları kullanarak Taşıt - YKB arası kontrol haberleşmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca protokol çok hızlı değişen taşıt konumu ve topoloji şartlarına uyum sağlayabilmekte, yüksek hızlarda çalışma kararlılığını korumaktadır. Buna bağlı olarak da ağın verimi ve iş başarımı da diğer protokollere göre daha iyi olmaktadır. Yapılan performans karşılaştırmalarından ReMAC protokolünün hem otoyol hem de şehir senaryolarında başarılı bir protokol olduğu görülmektedir, bu anlamda literatüre olumlu katkılar yapacağı aşikârdır.

Gelecek süreçte, tasarlanmış ve benzetimi yapılmış olan OEK protokollerinin otoyol ve özellikle şehir içi trafik senaryolarında daha etkin olabilmesi adına kavşak noktalarında sorunsuz haberleşmeyi ve ağ organizasyonunu destekleyebilecek, iki olan yön kavramının dört yöne çıkarılarak dört yönlü taşıt trafiğini kontrol edebilecek bir şema üzerinde çalışılması planlanmaktadır. Ayrıca ortaya konmuş protokollerin üzerinde çalıştığı ve otonom araç fikrine katkı sağlayacak ilk örnek (prototip) çalışmasının gerçekleştirilmesi de gelecekte üzerinde çalışılacak konular arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Gillani, S. A., Shah, P. A., Qayyum, A. ve Hasbullah, H. B. MAC Layer Challenges and Proposed Protocols for Vehicular Ad-hoc Networks. Vehicular Ad-hoc Networks for Smart Cities, (306), 3–13, 2015

[2] Akyildiz, I., Melodia, T. ve Chowdhury, K. A survey on wireless multimedia sensor networks. Comput. Networks, *51* (4), 921–960, 2007

[3] Borgonovo, F., Capone, A., Cesana, M. ve Fratta, L. ADHOC: A new, flexible and reliable MAC architecture for ad-hoc networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, *2* 965–970, 2003

[4] Katragadda, S., Murthy, C. N. S. G., Rao, M. S. R., Kumar, S. M. ve Sachin, R. A decentralized location-based channel access protocol for inter-vehicle communication. The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, VTC 2003-Spring., 1831–1835, 2003

[5] Suthaputchakun, C. ve Ganz, A. Secure Priority Based Inter-Vehicle Communication MAC Protocol for Highway Safety Messaging. 4th International Symposium on Wireless Communication Systems, 518–523, 2007

[6] Masamura, M., Okada, H., Makido, S., Yamazato, T. ve Katayama, M. A Novel Contention-Free Medium Access Control Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems. IEEE Internatonal Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, 1–6, 2007

[7] Yu, F. ve Biswas, S. A Self Reorganizing MAC Protocol for Inter-vehicle Data Transfer Applications in Vehicular Ad Hoc Networks. 10th International Conference on Information Technology (ICIT 2007), 110–115, 2007

[8] Günter, Y., Wiegel, B. ve Großmann, H. P. Cluster-based medium access scheme for VANETs. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 343–348, 2007

[9] Hang Su ve Xi Zhang. Clustering-Based Multichannel MAC Protocols for QoS Provisionings Over Vehicular Networks. IEEE Trans. Veh. Technol., *56* (6), 3309–3323, 2007

[10] Ito, K., Suzuki, N., Makido, S. ve Hayashi, H. Periodic Broadcast Type Timing Reservation MAC Protocol for Inter-Vehicle Communications. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2009), 1–6, 2009

[11] Amadeo, M., Campolo, C., Molinaro, A. ve Ruggeri, G. A WAVE-Compliant MAC Protocol to Support Vehicle-to-Infrastructure Non-Safety Applications. IEEE International Conference on Communications (ICC Workshops 2009), 1–6, 2009

[12] Zhang, J., Zhang, Q. ve Jia, W. VC-MAC : A Cooperative MAC Protocol in Vehicular Networks. Ieee Trans. Veh. Technol., *58* (3), 1561–1571, 2009

[13] Abdalla, G. M., Abu-Rgheff, M. A. ve Sidi-Mohammed, S. Space-Orthogonal Frequency-Time medium access control (SOFT MAC) for VANET. Global Information Infrastructure Symposium, 1–8, 2009

[14] Lu, N., Ji, Y., Liu, F. ve Wang, X. A dedicated multi-channel MAC protocol design for VANET with adaptive broadcasting. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, (2008), 2010

[15] Abdel Hafeez, K., Zhao, L., Liao, Z. ve Ma, B. Clustering and OFDMA-based MAC protocol (COMAC) for vehicular ad hoc networks. EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., *2011* (1), 1–17, 2011

[16] Wang, Q., Leng, S., Fu, H., Zhang, Y. ve Member, S. An IEEE 802 . 11p-Based Multichannel MAC Scheme With Channel Coordination for Vehicular Ad Hoc Networks. Intell. Transp. Syst. IEEE Trans., *13* (2), 449–458, 2012

[17] Chen, Y.-S. ve Hung, K.-W. VC2-MAC: A two-cycle cooperative MAC protocol in vehicular networks. Comput. Commun., *35* (7), 861–874, 2012

[18] Guo, W., Huang, L., Chen, L., Xu, H. ve Xie, J. An Adaptive Collision-Free MAC protocol based on TDMA for Inter-Vehicular communication. International Conference on Wireless Communications Signal Processing (WCSP), 1–6, 2012

[19] Kim, K., Lee, J. ve Lee, W. A MAC Protocol Using Road Traffic Estimation for Infrastructure-to-Vehicle Communications on Highways. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., *14* (3), 1500–1509, 2013

[20] Omar, H. A., Zhuang, W. ve Li, L. VeMAC: A TDMA-based MAC protocol for reliable broadcast in VANETs. IEEE Trans. Mob. Comput., *12* (9), 1724–1736, 2013

[21] Shao, C., Leng, S., Zhang, Y. ve Fu, H. A multi-priority supported medium access control in Vehicular Ad Hoc Networks. Comput. Commun., *39* 11–21, 2014

[22] Dang, D. N. M., Dang, H. N., Do, C. T. ve Hong, C. S. HER-MAC: A Hybrid Efficient and Reliable MAC for Vehicular Ad hoc Networks. 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 186–193, 2014

[23] Zou, R., Liu, Z., Zhang, L. ve Kamil, M. A Near Collision Free Reservation based MAC Protocol for VANETs. IEEE WCNC, *2* 1538–1543, 2014

[24] Sidhik, A., Mammu, K., Hernandez-jayo, U. ve Sainz, N. Direction Aware Cluster-Based Multi Channel MAC Protocol For Vehicular Ad Hoc Networks. 11th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking

and Communications (WiMob), 549–556, 2015

[25] Hadded, M., Laouiti, A., Zagrouba, R. ve Muhlethaler, P. A Fully Distributed TDMA based MAC Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks. HAL, 2015

[26] Babu, S., Patra, M. ve Murthy, C. S. R. An efficient TDMA-based variable interval multichannel MAC protocol for vehicular networks. Wirel. Networks, *22* (4), 1365–1380, 2016

[27] Cao, S. ve Lee, V. C. S. A Novel Adaptive TDMA based MAC Protocol for VANET. IEEE Commun. Lett., *22* (3), 614–617, 2017

[28] Shukla, N., Katiyar, P., Devgan, N., Kumar, N. ve Dinker, A. G. Comparison of the MAC Protocols in Vehicular Ad-Hoc Network. Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng., *3* (5), 9543–9548, 2014

[29] Sevimli, K. K. ve Soytürk, M. Araçsal Ağlar. in Akademik Bilişim 2010, 1–8, 2010

[30] Mahendri ve Sawal, N. A Survey on Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs). Internetional J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol., *4* (5), 1909–1914, 2015

[31] Sichitiu, M. L. ve Kihl, M. Inter-vehicle communication systems: a survey. IEEE Commun. Surv. Tutorials, *10* (2), 88–105, 2008

[32] Khilar, P. M. ve Bhoi, S. K. Vehicular communication: a survey. IET Networks, *3* (3), 204–217, 2014

[33] Hartenstein, H. ve Laberteaux, K. P. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. IEEE Commun. Mag., *46* (6), 164–171, 2008

[34] Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M. M., Al-Bayatti, A. H. ve Zedan, H. A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. J. Netw. Comput. Appl., *37* 380–392, 2014

[35] Tanuja, K., Sushma, T. M., Bharathi, M. ve Arun, K. H. A Survey on VANET Technologies. Internetional J. Comput. Appl. (0975 - 8887), *121* (18), 1–9, 2015

[36] Ramya, C. M., Shanmugaraj, M. ve Prabakaran, R. Study on ZigBee technology. 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICECT 2011), *6* 297–301, 2011

[37] Bi, J. Research on Vehicular Ad Hoc Networks. Chinese Control and Decision Conference, 4430–4435, 2009

[38] Kenney, J. B. Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States. Proc. IEEE, *99* (7), 1162–1182, 2011

[39] Zeadally, S., Hunt, R., Chen, Y.-S., Irwin, A. ve Hassan, A. Vehicular ad hoc

networks (VANETS): status, results, and challenges. Telecommun. Syst., *50* (4), 217–241, 2012

[40] Yick, J., Mukherjee, B. ve Ghosal, D. Wireless sensor network survey. Comput. Networks, *52* (12), 2292–2330, 2008

[41] Da Cunha, F. D., Boukerche, Z., Villas, L., Carneiro Viana, A. ve Loureiro, A. A. F. Data Communication in VANETs: A Survey, Challenges and Applications. [Research Report] RR-8498, INRIA Saclay, 1–26, 2014

[42] Guo, J. ve Balon, N. Vehicular Ad Hoc Networks and Dedicated Short-Range Communication. (6439) University of Michigan., 2006

[43] Karagiannis, G. *et al.* Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. IEEE Commun. Surv. Tutorials, *13* (4), 584–616, 2011

[44] Ghosh, T. *et al.* Hybrid Routing Approach Depending on Different Message Types in VANET. *3* (5), 335–338. 2018

[45] Zhang, X., Wang, Z. ve Jiang, X. A Realistic Spatial-Distribution-based Connectivity-Aware Routing Protocol in Multilevel Scenarios of Urban VANETs. IEEE Commun. Lett., *PP* (c), 2018

[46] Jadhao, A. P. ve Dr.D.N.Chaudhari. Security Aware Routing Scheme In Vehicular Adhoc Network. 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), 1374–1379, 2018

[47] Sivakumar, T., Manoharan, R. ve Kuppusamy, K. S. A stable routing protocol for vehicular ad hoc networks. 1st Int. Conf. Networks Soft Comput. ICNSC 2014 - Proc., 2014

[48] Ghori, M. R., Sadiq, A. S. ve Ghani, A. VANET Routing Protocols : Review , Implementation and Analysis. J. Phys. Conf. Ser., 1–14, 2018

[49] Campolo, C. ve Molinaro, a. Multichannel communications in vehicular Ad Hoc networks: a survey. IEEE Commun. Mag., *51* (May), 158–169, 2013

[50] Yanamandram, S. ve Shahnasser, H. Analysis of DSRC based MAC protocols for VANETs. 2009 Int. Conf. Ultra Mod. Telecommun. Work., 9–14, 2009

[51] Booysen, M. J., Zeadally, S. ve Rooyen, G. Van. A Survey of Media Access Control (MAC) Protocols for Vehicular Ad-hoc NETworks (VANETs). IET Commun., *5* (11), 1619–1631, 2008

[52] Hadded, M., Muhlethaler, P., Laouiti, A., Zagrouba, R. ve Saidane, L. A. TDMA-Based MAC Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey, Qualitative Analysis, and Open Research Issues. IEEE Commun. Surv. TUTORIALS, *17* (4), 2461–2492, 2015

[53] Park, C.-K. Survey of MAC Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks. Smart Comput. Rev., *2* (5), 286–295, 2012

[54] Jain, D. ve Shrivastava, G. Media Access Protocol in Vehicular Ad-Hoc Networks : A Survey. Int. J. Adv. Comput. Res., *3* (3), 246–250, 2013

[55] Bibhu, V. ve Singh, D. K. Survey of MAC Layer Protocols for vehicular Ad Hoc Network. Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci., *4* (2), 11–18. 2012

[56] Menouar, H., Filali, F. ve Lenardi, M. A survey and qualitative analysis of MAC protocols for vehicular ad hoc networks. IEEE Wirel. Commun., *13* (October), 30–35, 2006

[57] Ağgün, F., Çibuk, M. ve Rehman, S. U. A New Multi-Channel Media Access Control Protocol Approach for Vehicular Networks. Sci. Eng. J Fırat Univ, *29* (2), 251–258, 2017

[58] Jiang, D. ve Delgrossi, L. IEEE 802 . 11p : Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments. IEEE Vehicular Technology Conference, 2036–2040, 2008

[59] Khairnar, V. D. ve Kotecha, K. Performance of Vehicle-to-Vehicle Communication using IEEE 802.11p in Vehicular Ad-hoc Network Environment. Int. J. Netw. Secur. Its Appl., *5* (2), 143–170, 2013

[60] Borgonovo, F., Campelli, L., Cesana, M. ve Fratta, L. Impact of user mobility on the broadcast service efficiency of the ADHOC MAC protocol. IEEE Vehicular Technology Conference, *61* (4), 2310–2314, 2005

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fikri AĞGÜN

Doğum Tarihi : 15.04.1980

Telefon : (530) 227 01 66

E-Mail : faggun@gmail.com, faggun@beu.edu.tr



EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Selçuk Üniversitesi - Bilgisayar Mühendisliği (1997 – 2001)

Yüksek Lisans : Yüzünücü Yıl Üniversitesi - Biyometri ve Genetik – Biyoistatistik (2008 - 2011)

İŞ DENEYİMİ

Öğr. Gör. : Yüzüncü Yıl Ünv. Van MYO (2004 – 2011)

Öğr. Gör. : Bitlis Eren Üniversitesi Adilcevaz MYO (2011 - …)

İLGİ ALANLARI

-Bilgisayar Ağları

-Tasarsız Taşıt Ağları

-Kablosuz Algılayıcı ağlar

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR / SUNUMLAR

1. Ağgün, F., Cibuk, M., Rehman, S. U. ve Arı, D. Investigation Of The Effects Of Traffic Density And Speed Variations On The Network Stability In Road Side Unit Centric Vehicle Networks. in International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Thecnology (IMESET'17), 2017

2. Ağgün, F., Çibuk, M. ve Rehman, S. U. A New Multi-Channel Media Access Control Protocol Approach for Vehicular Networks. Sci. Eng. J Fırat Univ, 29 (2), 251–258. 2017

3. Ağgün, F., Cibuk, M., Rehman, S. U. ve Arı, D. Investigation of the Effects of Reservation Method on Access Delays : A VANET MAC Application. in International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing IDAP'18, 2018

4. Çibuk, M. ve Ağgün, F. Karasal taşıt ağları için geliştirilmiş ortam erişim kontrol protokolelleri üzerine bir inceleme. DÜMF Mühendislik Derg., 9 (1), 121–131. 2018

5. Aggun, Fikri; CIBUK, Musa; Ur-REHMAN, S. A New Self-Organizing Multi-channel MAC Schema for RSU-centric VANETs. Acta Phys. Pol. A, 2020 ***(29.12.2019 'da Kabul Alındı, SCI-E)***

6. Aggun, Fikri; CIBUK, Musa; Ur-REHMAN, S. ReMAC: A Novel Hybrid and Reservation-Based MAC Protocol for VANETs. Turk J Elec Eng ve Comp Sci ***(30.12.2019 da Revizyon yapıldı.)***

DİĞER YAYINLAR / SUNUMLAR

1. Çınar, H., Çıbuk, M. ve Ağgün, F. Kablosuz Algılayıcı Ağ ve Hareketli Elektronik Cihazlarda Kullanılabilecek Enerji Üretim Yöntemleri. Int. Conf. Nat. Sci. Eng., 1467–1476. 2016

2. Geylani, M., Cibuk, M., Çınar, H. ve Ağgün, F. Geçmişten Günümüze Hücresel Haberleşme Teknolojilerinin Gelişimi(Evolutıon Of The Cellular Communıcatıon Technology From Past To Present). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Derg., *18* (54), 606–623. 2016

3. Çıbuk, M., Arı, D. ve Ağgün, F. Relay Mechanism with Three-way Handshake for Wireless Sensor Networks. Int. Adv. Technol. Symp., *90* (434), 3459–3466. 2017 doi:10.2993/0278-0771-28.2.278

4. Arı, D., Cibuk, M. ve Ağgün, F. Priority-based Relay Mechanism for Multi-hop Wireless Sensor Networks. in International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Thecnology (IMESET'17), 1–2. 2017

5. Çıbuk, M., Arı, D. ve Ağgün, F. A New Joining Algorithm for Multi-hop Non-mobile Wireless Sensor Networks. in The 4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering - ICCESEN-2017, 2017

6. Çıbuk, M., Arı, D. ve Ağgün, F. Network Joining Algorithm with a New Relay Mechanism for Vehicle Networks. Int. Adv. Technol. Symp., *90* (434), 3451–3458. 2017

7. Arı, D., Çıbuk, M. ve Ağgün, F. Effect of relay-priority mechanism on multi-hop wireless sensor networks. Bitlis Eren Univ. J. Sci. Technol., *7* (2), 145–153. 2017

8. Arı, D., Çibuk, M. ve Ağgün, F. Doğrusal Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Yeni Bir Zaman Dilimleme Metodu. in 1st International Engineering And Technology Symposium(1st IETS), (October), 1166–1170. 2018

9. Ari, D., Cibuk, M. ve Ağgün, F. The Comparison of Energy Consumption of Different Topologies in Multi-hop Wireless Sensor Networks. in International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing IDAP'18, 1–5. 2018