

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇLAR İÇİN BİR TRAFİK IŞIK BİLGİLENDİRME SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Begüm ÖZYILMAZ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

ARALIK, 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇLAR İÇİN BİR TRAFİK IŞIK BİLGİLENDİRME SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Begüm Özyılmaz
(504141304)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selçuk PAKER

ARALIK, 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504141304 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Begüm ÖZYILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ARAÇLAR İÇİN BİR TRAFİK IŞIK BİLGİLENDİRME SİSTEMİ TASARIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selçuk PAKER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mesut KARTAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet Korhan TANÇ
Biruni Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Kasım 2017
Savunma Tarihi : 22 Aralık 2017



ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bana rehberlik eden tez danışmanım Prof. Dr. Selçuk PAKER'e, hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen Olcay KORKMAZ'a ve aileme sonsuz teşekkürler.

Kasım 2017

Begüm ÖZYILMAZ
Mühendis





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Orjinal Katkı.....	3
2. TASARSIZ TAŞIT AĞLARI.....	5
2.1 Araçlar Arası Haberleşme	5
2.2 Araç-Altyapı Haberleşmesi	6
2.3 Tasarsız Taşıt Ağlarında Haberleşme Birimleri.....	7
2.3.1 Yol kenarı birimi	7
2.3.2 Araç birimi	7
2.3.3 Uygulama birimi	8
2.4 Tasarsız Taşıt Ağlarında Kablosuz Haberleşme Standartları.....	8
2.4.1 Hücresel ağlar (2G, 3G, 4G)	9
2.4.2 Wi-Fi	10
2.4.3 WiMAX	10
2.4.4 Tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü	11
2.4.5 WAVE.....	11
3. TAHSİS EDİLMİŞ KISA MESAFELİ İLETİŞİM PROTOKOLÜ	13
3.1 IEEE 802.11 Ailesi.....	13
3.1.1 Tarihsel Gelişimi.....	13
3.1.2 802.11 MAC ve fiziksel katman	14
3.2 WAVE Mimarisi	15
3.2.1 WAVE fiziksel katman	18
3.2.2 WAVE MAC katmanı.....	19
3.2.3 WAVE kanal tahsisi.....	20
3.2.4 WAVE kanal koordinasyonu	22
3.2.5 WAVE profil değerleri.....	23
4. TRAFİK IŞIKLARI İÇİN ÖNERİLEN SİSTEM	25
4.1 Önerilen Haberleşme Protokolü	25
4.2 Tasarsız Taşıt Ağlarında Mesaj Yapıları.....	26
4.2.1 Sinyal faz ve zaman mesajı (SPaT).....	26
4.2.2 Harita mesajı (MAP).....	29

4.3 Önerilen Mesaj İçeriği	30
4.3.1 SAE J2735 mesaj takımlarında içerik değiştirme yöntemleri	31
4.3.2 Mesajın oluşturulması	32
5. BAŞARIM ÖLÇÜTLERİ VE SENARYO SONUÇLARI	35
5.1 Başarım Ölçütleri	35
5.2 Bir Trafik Işığı Senaryosu	40
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	47



KISALTMALAR

AU	: Application Unit
CCH	: Control Channel
CCK	: Complementary Code Keying
DCF	: Distributed Coordination Function
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum
GLOSA	: Green Light Optimal Speed Advisory
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global System for Mobile Communications
HALL	: High Availability Low Latency
ITS	: Intelligent Transportation Systems
LLC	: Logical Link Control
MAC	: Medium Access Control
MAN	: Metropolitan Area Network
MANET	: Mobile Ad Hoc Network
MIMO	: Multiple-Input Multiple Output
MLME	: MAC Layer Management Entity
NAV	: Network Allocation Vector
OBU	: On Board Unit
OFDM	: Ortogonal Frequency Division Multiplexing
PCF	: Point Coordination Function
PDR	: Packet Delivery Ratio
PLCP	: Physical Layer Convergence Protocol
PLME	: Physical Layer Management Entity
PMD	: Physical Medium Dependent
RSU	: Roadside Unit
SCH	: Service Channel
SME	: Station Management Entity
SPAT	: Signal Phase and Timing
TCP	: Transmission Control Protocol
VANET	: Vehicular Ad Hoc Networks

WAVE : Wireless access in vehicular environments
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN : Wireless Local Area Network
WSM : WAVE Short Message



SEMBOLLER

P_t	: Araçlar için gönderilen gücü
P_r	: Araçlar için alınan gücü
λ	: Paket gönderme oranı
N_{tr}	: İletim mesafesindeki araç sayısı
β	: Trafik yoğunluğu
N_{ph}	: Gizli istasyon alanındaki araç sayısı
p_{dc}	: Çakışma olasılığı
ρ	: Kuyruk faktörü
τ	: Düğümün rastgele bir yuvada yayın yapma olasılığı
p_b	: Paket ulaştığı anda kanalın meşgul olma olasılığı
W	: Çakışma penceresi boyutu
t_{difs}	: Periyot (Distributed Inter-Frame Space - DIFS)
$P_{uygulama}$: Uygulamanın güvenliği



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : VANET’te kullanılan haberleşme standartları.	11
Çizelge 3.1 : WAVE protokol yığnında tanımlı standartlar.	17
Çizelge 3.2 : 802.11a ile 802.11p’nin karşılaştırılması.	24
Çizelge 3.3 : WAVE.	24
Çizelge 4.1 : SPaT mesajında hareket ve yön kodlamaları.	28
Çizelge 5.1 : Performans analizi için seçilen haberleşme parametreleri.	37
Çizelge 5.2 : SPaT mesajını etkileyen gecikme faktörleri.....	41



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Tasarsız taşıt ağlarında haberleşme türleri.	8
Şekil 2.2 : LTE ve 802.11p'nin tasarsız taşıt ağlarında kullanımı.	9
Şekil 2.3 : Tasarsız taşıt ağlarındaki kablosuz haberleşme standartları.....	10
Şekil 3.1 : MAC ve fiziksel katman gösterimi.	15
Şekil 3.2 : WAVE protokol yığnında var olan standartlar.	16
Şekil 3.3 : TCP ve WAVE Protokol yığnlarının birlikte gösterimi.....	17
Şekil 3.4 : WAVE Protokol yığnı katman gösterimi.	19
Şekil 3.5 : WAVE Service Message (WSM) çerçeve formatı.....	20
Şekil 3.6 : Avrupa için WAVE kanal tahsisi.	21
Şekil 3.7 : ABD için WAVE kanal tahsisi.....	21
Şekil 3.8 : CCH ve SCH periyotları.	22
Şekil 4.1 : Kavşak modeli.....	27
Şekil 4.2 : Bir kavşağın MAP verisini hazırlayabilmek için yapılmış ön çalışma. ...	29
Şekil 4.3 : Sinyal faz ve zaman mesajının gönderim diyagramı.....	30
Şekil 5.1 : Performans analizi yapılacak olan örnek kavşak.	35
Şekil 5.2 : RSU için gizli istasyon gösterimi.....	36
Şekil 5.3 : Trafik ışığı senaryosunda kullanılacak kavşak.....	40



ARAÇLAR İÇİN BİR TRAFİK IŞIK BİLGİLENDİRME SİSTEM TASARIMI

ÖZET

Akıllı ulaşım sistemleri, trafik yoğunlununun her geçen gün daha da arttığı günümüzde, karayollarında trafiğin güvenliğini artırmak, sürüş konforu sağlamak ve verimliliği artırmak için çözümler aramaktadır. Özellikle son on yılda yapılan çalışmalarla yeni standartlar önerilmiş ve bu standartların gelişimine ağırlık verilmiştir. Araçların trafikte sürücülerden bağımsız bir şekilde veri toplayıp, bu verileri analiz etmesi yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Araçların birbirleriyle olan veri iletişimini kolaylaştırmak ve daha geniş alandan bilgi toplayabilmelerini sağlayabilmek adına tasarsız taşıt ağları (Vehicle Ad-hoc Networks -VANET) kavramı öne sürülmüştür. Tasarsız taşıt ağları trafikte var olan gerek araç gerek altyapı birimlerinin birbirleriyle kablosuz haberleşmesine olanak sağlayarak, trafikte dinamik bir ağ yapısı oluşturulmasını sağlamıştır. Tahsis edilmiş kısa mesafe protokolü (Dedicated Short Range Communication - DSRC), araçlar için özelleştirilmiş bir iletişim protokolü olup son dönemde akıllı ulaşım sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tez kapsamında tasarsız taşıt ağlarında bir kablosuz haberleşme protokolü olan tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü yığımına dayalı bir çözüm önerilmiştir. Tez çalışmasında karayolları için bir kavşak modeli ele alınarak kavşağa yaklaşmakta olan araçlar için trafik ışık bilgilendirme sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde yol kenarı sabit biriminden yayınlanacak olan mesajın içeriği bu tez kapsamında önerilmiştir. Önerilen mesajda, tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü için oluşturulmuş, SAE J2735 standart sözlüğündeki mesaj takımları referans alınmıştır. Bu sözlükte yer alan sinyal faz ve zaman (Signal Phase and Timing - SPAT) mesajı geliştirilerek önerilen sistemdeki kavşak modeli için uyarlanmıştır. Bunun yanında yine SAE J2735 sözlüğünde yer almakta olan Harita (MAP) mesajı kavşağın sabit konumunu göndermek üzere kullanılmıştır. Bahsi edilen bu mesajlar yol kenarı biriminden yayınlanacak olup, mesajların açık alanda kapsama alınanda olan araçlara ulaştırılması hedeflenmiştir. Çalışmada, önerilen sistemin başarımlarını analiz etmek için paket teslim oranı, gizli istasyon olma olasılığı, gizli istasyon hesaba katılarak paket teslim oranı hesabı yapılmıştır. Önerilen model bir trafik ışığı senaryosu oluşturularak incelenmiş ve uygulama başarımlarını çıkarılmıştır. Bu tez kapsamında önerilen mesaj paketinin alıcıdaki analizleri, kullanımı ve getireceği kazanımlar disiplinler arası bir çalışma gerektiğinden tez kapsamına dahil edilmemiştir. Bölüm birde tezin amacı ve daha önce bu konuyla ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiş, bölüm ikide tasarsız taşıt ağları kavramından bahsedilmiş, üçüncü bölümde tezin dayanağını oluşturan tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü yığını incelenmiş, bölüm dördte trafik ışıkları için bir sistem önerilmiş ve bölüm beşte önerilen sistemin analizleri yapılmıştır.



A TRAFFIC LIGHTING INFORMATION SYSTEM DESIGNING FOR VEHICLES

SUMMARY

Intelligent Transportation Systems (ITS) are seeking solutions to increase the safety of traffic on roads, to provide driving comfort and, to increase efficiency, as traffic intensity is increasing day by day. New standards have been proposed, especially in the last ten years, and the development of these standards has been emphasized. In order to facilitate data communication between vehicles and to enable them to collect information from a wider area, Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) has been put forward. Vehicular Ad Hoc Networks have enabled the creation of a dynamic network structure in traffic by allowing both vehicle and infrastructure units to communicate wirelessly with each other. In this thesis, under Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) family, Dedicated Short Range Communication (DSRC) protocol stack will be used as a wireless communication protocol. In this thesis, an urban interchange model for highways will be discussed using these protocols. Traffic light information system for vehicles will be designed and the contents of the message to be issued from roadside fixed unit will be proposed in this thesis. In the proposed message, the message sets in the SAE J2735 dictionary for the Dedicated Short Range Communication (DSRC) protocol stack are referenced. This signal is adapted for the proposed intersystem model by improving the Signal Phase and Timing (SPAT) message. In addition, the MAP message, which is also included in the SAE J2735 dictionary, is used to send the fixed position of the cross. These messages, whose content is being proposed, is broadcasting from the roadside unit, aimed at delivering these messages to vehicles in the open field with line of sight. As the performance analysis of the proposed system, the package delivery rate, probability of being a hidden station, package delivery ratio by adding hidden station account was done. The proposed model was investigated by creating a traffic light scenario and the application performance ratio was calculated. The thesis does not include the message package proposed in this thesis because the analysis, use and yield gains of the recipient are required to be interdisciplinary. The thesis does not include the message package proposed in this thesis because the analysis, use and yield gains of the recipient are required to be interdisciplinary. In section 1, the purpose of the thesis and the previous work on this topic are given, in section 2 the concept of vehicle ad-hoc networks is mentioned, in section 3 the dedicated short range communication protocol stack which constitutes the thrust bearing is examined, in section 4, a system has been proposed, and the system proposed in chapter 5 has been analyzed.



1. GİRİŞ

Günümüzde kentleşmenin ve kentsel nüfus yoğunluğunun sürekli artması ile beraber ulaşım problemleri giderek artmaktadır. 1990'lerden bu yana hızla gelişmekte olan akıllı ulaşım sistemleri ile ulaşım problemlerine çözümler aranmaktadır. Bir yerden başka bir yere en kısa sürede ve en az maliyetle güvenli bir şekilde ulaşım, akıllı ulaşım sistemlerinin temel hedefidir. Akıllı ulaşım sistemleri ile hızlı akan kentsel yaşamda, sürücülerin hedeflerine zamanında ve güvenli bir şekilde ulaşması ve bunu yaparken de yakıt tasarrufu sağlaması amaçlanmıştır.

Akıllı ulaşım sistemlerinde, araçların ve yol üzerinde bulunan sabit yapıların birbirleriyle haberleşmesiyle gerçek zamanlı yol durum bilgisi, acil durum çağrısı, yol çalışması, kaza bilgisi gibi mesajlar iletilebilmektedir. Örneğin; ambulans, itfaiye, polis gibi öncelikli araçlar, diğer araçlara yayın yaparak, trafiğin akışını anlık olarak düzenleyebilmekte ya da kaza sonrası, kaza yapan araç diğer araçlara acil yardım çağrısı yayımlayabilmektedir. Bu bilgi alışverişi genel olarak trafiğin güvenliğini artırırken, kaza yapma olasılığını da düşürmektedir.

Akıllı ulaşım sistemlerinde araçlar, birbirleriyle haberleşebildiği gibi yol üzerindeki sabit yapılarla da etkileşim içerisinde. Bu sabit yapılar, bazı akıllı ulaşım sistemlerinde genel bir trafik yönetim merkeziyle iletişimde olurken, bazı sistemlerde ise direkt yönetici olarak davranabilmektedir. Kimi akıllı ulaşım sistemlerinde ise trafikteki karmaşık kavşaklar, yol kenarındaki kontrol birimleriyle etkileşim halinde olabilmektedir.

Akıllı ulaşım sistemlerinde iletilen mesajların en az kayıp, düşük gecikme, hızlı iletim gibi bir takım başarımlarını sağlayabilmesi için çeşitli haberleşme protokolleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında, akıllı ulaşım sistemleri için özel olarak geliştirilmiş olan tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü kullanılarak, bir kavşak modelindeki trafik ışıklarıyla araçların tek yönlü iletişimi için bir paket önerisi yapılacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Tezin amacı, bir kavşakta bulunan trafik ışıklarıyla kapsama alanındaki araçların tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokol yığına dayalı önerilen bir sistemle haberleşmesi ve oluşturulan bir test senaryosuna göre başarı oranlarının hesaplanmasıdır. Önerilen sistemde her kavşak için bir yol kenarı birimi bulunacak ve bu birimden yayınlanacak olan mesajın içeriği oluşturulacaktır. Bu birim sayesinde kavşaktaki tüm ışıkların sinyalizasyon bilgileri, süreleri ve kavşağın konum bilgisi kapsama alanındaki araçlarla paylaşılacaktır. Sinyalizasyon bilgisinde ışığın mevcut durumu, bir sonraki duruma kalan süre, ışığın diğer durumlarının bilgisi ve süresi bulunmaktadır. Tüm bu bilgilerin gönderimi için WAVE protokol yığını temelli bir paket içeriği önerilecektir. Bu bilgiler araçlara, aracın kendi konum bilgisiyle birlikte kullanılarak uygun hızını saptayabilmesi için servis edilecektir.

Bu tez kapsamında veri iletimi, yol kenarı biriminden araca olmak üzere tek yönlü incelenmiş ve aynı zamanda trafik ışığının adaptif olarak sinyal değiştirmeyeceği varsayılmıştır. Yol kenarı biriminden gönderilen sinyalin alıcı tarafındaki analizi bu tez kapsamına dahil edilmemiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Akıllı ulaşım sistemleri trafiğin temel öğelerinin birbirleriyle haberleşmesini ve bu sayede çeşitli kazanımlar elde etmeyi hedefler. Bu kazanımlardan bazıları trafiğin güvenli akışının sağlanması, kazaların en aza indirilmesi, yakıt tüketiminin azaltılıp verimliliğin artırılması ve buna bağlı olarak da karbon emisyonunun azaltılmasıdır. Yapılan araştırmalar temelde en uygun haberleşme standardını aramakta olup, bu kazanımları bir başarı ölçütü olarak göstermektedir. Bu çalışmalarda asıl incelenmekte olan araçların birbirleriyle ve trafik ışığı gibi etraftaki sabit yapılarla haberleşmesinin nasıl sağlanacağıdır.

Akıllı ulaşım sistemleri, hem araçlar arası hem araç-altyapı hem de araç içi kablosuz çözümler aramaktadır. Araç-altyapı haberleşmesi için Bhover tarafından yapılan çalışmada Wi-Fi, ZigBee, hücresel haberleşme ve DSRC&WAVE protokollerinin kullanımı ve gelişimi incelenmiştir [1].

Akıllı ulaşım sistemleri için, geçmişi son on yıla dayanan DSRC & WAVE standart takımı, yapısı, modeli ve karakteristikleri Morgan çalışmasında 2010 yılında

incelenmiştir. IEEE 802.11p standardı temel alınarak kentsel yaşamda araç ve altyapı haberleşme uygulaması 2012 yılında yapılmıştır. Bu protokolde güvenlik uygulamaları için vazgeçilmez olan mesaj kayıplarını azaltmak için çalışmalar Mohammad A tarafından yapılmıştır [2].

Akıllı ulaşım sistemlerinde araç-altyapı haberleşmesinin bir örneği de araç ve trafik ışığının haberleşmesidir. Trafik ışığı bazı uygulamalarda bir yönetici ekipman tarafından kontrol edilmektedir. 2011 yılında yapılan bir çalışmada trafiğin gerçek zamanlı durum bilgisi araçlar vasıtasıyla kablosuz olarak yönetici ekipmana iletilir. Yönetici ekipman trafik ışıklarının, trafik yoğunluğuna göre adaptif olarak değişmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada trafik ışıklarıyla kavşak modellemesi kablosuz sensör ağları altyapısı ile tasarlanmıştır [3].

Trafiğin güvenli akışını sağlamak için 2016 yılında yapılan bir çalışmada görünür ışık teknolojisi kullanılmıştır. Bu sistemde trafik ışıklarında LED teknolojisi kullanılarak, trafik ışığı ile araçlar haberleşmektedir [4].

Yapılan bir diğer çalışma, araçların trafikte bekleme süresini azaltıp, dur kalk oranlarını en aza indirmeyi amaçlayan GLOSA (Green Light Optimal Speed Advisory) projesidir. Bu çalışmada trafik ışığının sadece yeşil durumuna odaklanılmış, araçların sürekli yeşil ışıkla karşılaşabilmesi için optimum hız önerileri yapılmıştır [5-6].

1.3 Orjinal Katkı

Bu tez kapsamında bir kavşaktaki trafik ışıklarının mevcut ve sonraki durumlarının ve kavşağın sabit konum bilgisinin yol kenarı birimi vasıtasıyla araçlara WAVE protokolü üzerinden yeni bir mesaj içeriği ile gönderilmesi önerilmiştir. Referans mesaj yapısı olarak SAE J2735 standart sözlüğü kullanılmıştır. Bu sözlükte önceden tanımlı olan bir mesaja içerik eklenerek yeni bir mesaj yaratılmıştır. Önerilen mesaj yapısı bu yönüyle önceki çalışmalardan ayrılmaktadır. Standart mesaj yapısı ışığın tüm faz bilgilerini içermezken bu tez kapsamında tüm faz bilgileri araçlara gönderilmiş ve başka uygulamalarda da kullanılabilmesi için gerekli içeriğin araçla paylaşılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada mesajın sadece araca gönderilmesi irdelenmiş, mesajın alıcı tarafta nasıl işleneceği kapsam dışı bırakılmıştır.



2. TASARSIZ TAŞIT AĞLARI

Tasarsız ağlar (Ad hoc networks) sabit bir kablo altyapısı ve erişim noktası olmadan kendiliğinden yapılanan ağlardır. *Ad hoc* kelimesi latince kökenli olup ‘bir amaç için’ anlamına gelmektedir. Bu ağlar birbirine kablosuz olarak bağlanmış birçok düğümden oluşurlar. Tasarsız ağlarda merkezi sunucu bulunmaz ve ağdaki düğümler dinamik olarak yerleşir. Bu sayede ağda bulunan düğümler verilerini iletebileceği birden fazla yol bulurlar. Hızlı ve düşük maliyetli kurulumlarından ötürü, acil iletişim gerektiren askeri ve doğal afet yönetimi uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

Araçlarda bulunan kablosuz cihazların artması sonucu, tüm bu iletişimleri bir ağda toplama ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacı karşılamak için geliştirilen tasarsız taşıt ağları (vehicular ad hoc networks (VANET)), hareket halindeki araçlardan oluşturulan geçici ağlardır. VANET, akıllı ulaşım sistemlerinin (intelligent transportation systems (ITS)) bütün uygulamalarında rol oynayan güvenli bir ağ yapısıdır. VANET, mobil geçici ağların (mobile ad hoc network (MANET)) bir alt kümesi olup trafik güvenliğini ve verimliliğini arttırmayı amaçlar.

Bölüm 2.1 ve 2.2’de anlatılacak araçlar arası ve araç-altyapı haberleşmeleri birlikte tasarsız taşıt ağlarını oluştururlar. Trafikte bulunan her araç ve altyapı birimi ağda bulunan bir düğüme (node) veya yönlendiriciye (router) karşılık gelir. Bir araç ağdan düştüğünde herhangi bir araç ağı tamamlayarak haberleşmeyi devam ettirir. Araçlar hızlı ve yön değiştirerek hareket ettiklerinden ağ yapısı sürekli olarak değişir. Haberleşme birimleri güçlerini araçtan aldıklarından ağda bulunan düğümlerin pil bitme gibi sorunları yoktur.

2.1 Araçlar Arası Haberleşme

Araçlar arası haberleşme, sürücünün trafikle ilgili tek başına elde edemeyeceği bilgileri diğer araçlar yardımıyla elde etmesine olanak sağlar. Diğer bir deyişle sürücü kendi gözüyle göremediğini diğer sürücüler sayesinde görür, kendi aracından alamayacağı bilgileri diğer araçlar sayesinde alır. Bu teknolojiyle birlikte motorlu

taşıtlar kendi aralarında iletişim sağlayarak birbirlerini yol durumu, hız, konum, trafik işaretleri, yaklaşan acil yardım araçları gibi parametrelerden haberdar ederler.

Araçlar arası haberleşmede her araç kendi verilerinin yanı sıra yönlendirici görevi ile diğer araçların verilerini de paylaşırlar. Bu sayede daha güvenli ve konforlu bir ulaşım sağlanabilir.

Araçlar arası haberleşme özellikle görüş açısının düştüğü yağmurlu ve sisli havalarda daha fazla önem kazanmaktadır. Araçların konum ve hız bilgilerini paylaşmaları sayesinde bu tip havalarda sürücü etrafı hakkında bilgi sahibi olur ve hızını buna göre ayarlayabilir. Diğer taraftan araçlar arası haberleşme sayesinde ambulansların zamanında hastaneye yetişmesi sağlanabilir. Acil olarak hastaneye yetişmesi gereken ambulans bir mesaj yayımlayarak diğer araçları durumdan haberdar edebilir. Var olan bir kazanın paylaşılması, trafik yoğunluğu bilgisinin verilmesi, çarpışma önleyici sistemler, adaptif hız kontrolü gibi uygulamalar da araçlar arası haberleşmeye verilebilecek örneklerdendir.

2.2 Araç-Altyapı Haberleşmesi

Araç-altyapı haberleşmesinde yol kenarlarında bulunan birimler trafik ve yol hakkında bilgi toplayarak bu bilgileri araçlarla paylaşır. Yol kenarı birimleri koordinatör görevi görerek araçlara sürüş konusunda öneriler de verebilir. Altyapı ünitesinin araçlara mesajı kablosuz olarak iletilebileceği gibi yol üzerlerinde bulunan trafik bilgilendirme ekranları sayesinde de iletilebilir. Bu birimler sayesinde araçlar tarafından toplanılan bilgiler de paylaşılır ve böylelikle bir ağ yapısı elde edilmiş olur. Araç-altyapı haberleşmesinin en büyük kazanımlarından biri de veri analizlerine olanak sağlamasıdır. Örneğin trafikte bulunan araçların CO₂ emisyonu altyapı üniteleri sayesinde ölçülerek analiz edilebilir. Trafik ışıkları uyarı sistemleri, yol ve hava durumu bilgilerini içeren uygulamalar araç-altyapı haberleşmesinin yaygın örneklerindedir.

2.3 Tasarsız Taşıt Ağlarında Haberleşme Birimleri

VANET mimarisinde sistemin ana bileşenleri yol kenarı birimi (roadside unit (RSU)), araç birimi (on board unit (OBU)) ve uygulama birimidir (application unit (AU)).

2.3.1 Yol kenarı birimi

Yol kenarı birimleri adından da anlaşılacağı üzere trafikte yol kenarları, trafik ışıkları, park alanları ve kavşaklar gibi sabit yerlere yerleştirilmiş birimlerdir. Bu birimler bir tasarsız taşıt ağını tamamlayacak şekilde yerleştirilirler. Ağın verimliliği, yol kenarı birimlerinin yerleşimiyle direkt olarak ilişkilidir.

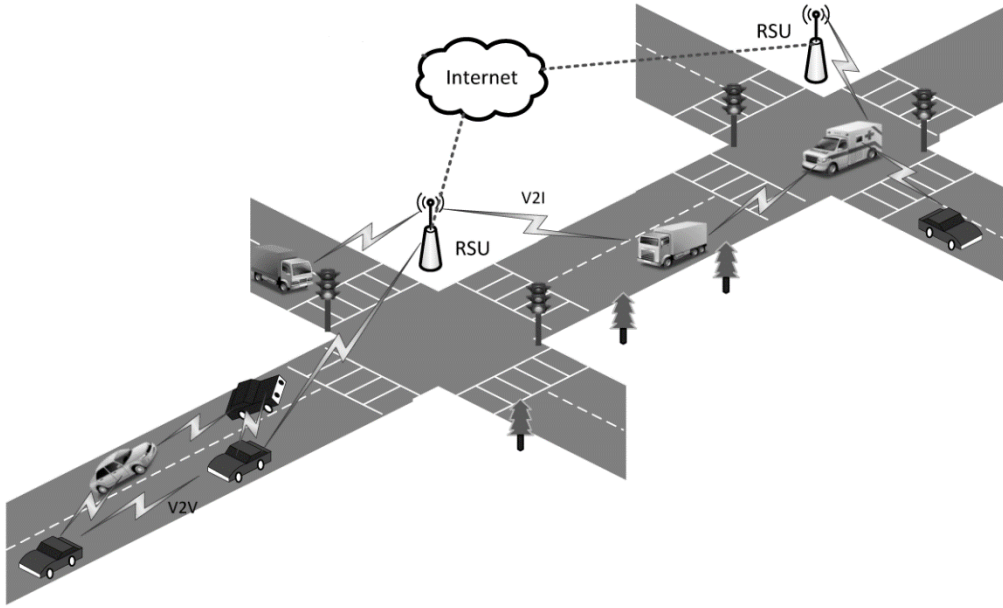
Yol kenarı birimlerinin görevleri, araç birimleri arasındaki haberleşme kapasitesini genişletmek, diğer yol kenarı birimleriyle haberleşerek veri yönlendirmek, araç birimlerine internet bağlantısı sunmak olarak sıralanabilir. Bu birimlerden genellikle trafikte seyir eden tüm araçları ilgilendiren mesajlar yayımlanır. Bu mesajlar, trafik ışığı gibi araç birimlerinin analiz edebileceği türden veriler içerebileceği gibi trafik yoğunluk bilgisi gibi hali hazırda analiz edilmiş, sürücüyü ikaz eden verilerden de oluşabilir.

2.3.2 Araç birimi

Araç birimi; kontrol birimi, haberleşme birimi ve sensörlerden oluşan ve aracın üzerinde yer alan bir cihazdır. Kontrol birimi; toplanan verilerin analizini yapmak ve gönderilecek olan verileri hazırlamakla görevlidir. Aracın trafikteki hızlanma, yavaşlama, takip mesafesi koruma gibi önerileri kontrol birimi tarafından yapılır. Haberleşme birimi ise belirlenen standartlarda verilerin alınması ve gönderilmesinde rol oynar. Hem araçlar arası haberleşmeyi hem de altyapı haberleşmesini sağlayabilmek için birden fazla haberleşme standardıyla donatılmış olabilir. Birim üzerinde bulunan sensörler aracın çeşitli yerlerinden sıcaklık, gaz yoğunluğu, hız gibi değerlerini toplar. Araç birimi aracın kendisine ait olan verileri göndermenin yanı sıra diğer araçlardan gelen verileri de yönlendirerek VANET ağının sorunsuz bir şekilde çalışmasına yardımcı olur. Araç birimleri aynı zamanda uygulama birimlerinin haberleşme arayüzü olarak çalışırlar.

2.3.3 Uygulama birimi

Uygulama birimleri aracın içerisinde yer alan ve araç biriminin elde ettiği verileri kullanarak uygulamaya geçiren birimlerdir. Bu birimler güvenlik uygulamalarına özelleşmiş birimler olabileceği gibi araç biriminin verilerini gösteren navigasyon ekranı gibi ekranlar da olabilir. Bir araç birimine birden fazla uygulama birimi bağlanabilir. Uygulama birimleri araç birimine kablolu ya da kablosuz olarak bağlıdır. Hatta bazı durumlarda uygulama birimi de araç biriminin üzerinde yer alabilir. Uygulama birimleri VANET ağlarına yalnızca araç birimi üzerinden erişebilirler. Şekil 2.1’de örnek bir haberleşme topolojisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Tasarsız taşıt ağlarında haberleşme türleri.

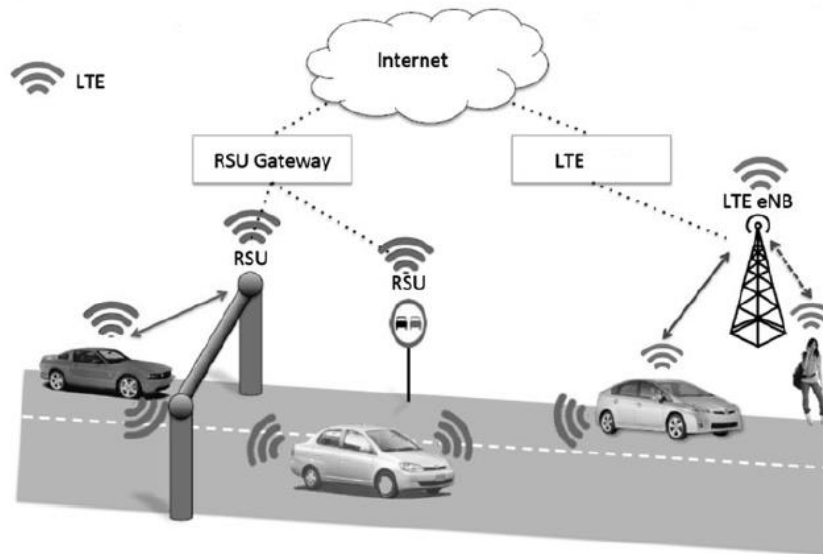
2.4 Tasarsız Taşıt Ağlarında Kablosuz Haberleşme Standartları

Araçlarda bulunan CAN BUS, RS-232 gibi kablolu haberleşme sistemleri daha çok aracın içerisinde yer alan sensörlerin bilgilerini okumaya yöneliktir. Bu iletişim protokollerinin ana amacı aracın kendi verilerini toplamaktır. Araçlarda kullanılan kablosuz haberleşme sistemleri ise daha çok trafik güvenliğini ve verimliliği arttırmayı amaçlar. Trafik kazalarını azaltmak, yakıt tüketimini düşürmek, istenilen hedefe seçenekler arasında en hızlı ve güvenli şekilde ulaştırmak araçlarda kablosuz haberleşme sistemlerinin en önemli çalışma alanlarıdır. Bu sistemlerde aracın kendi verilerinin yanı sıra, trafikteki diğer araçların ve yol kenarlarında bulunan ünitelerin de verileri toplanır.

Tasarsız taşıt ağlarında araçlar, diğer araçlarla ya da bir altyapı sistemiyle iletişim kurabilmek için kablosuz haberleşme standartlarını kullanırlar. Bu haberleşmenin hangi standartlarda olacağı uygulamaya, altyapının türüne, istenen veri hızına ve mesajın aciliyetine göre değişiklik gösterir. Bütün standartların ortak amacı ise yol güvenliği ve verimliliğini arttırmaktır. Tezin bu bölümünde yer alan alt başlıklarda tasarsız taşıt ağlarında en yaygın kullanılan beş haberleşme standardı hakkında bilgi verilmiştir.

2.4.1 Hücresel ağlar (2G, 3G, 4G)

Hücresel ağlar GSM (global system for mobile communications – mobil iletişim için küresel sistem) ile birlikte hayatımıza giren ve akabinde veri hızlarının artmasıyla GPRS (general packet radio service), 3G, 4G gibi isimleriyle bildiğimiz yaygın kullanım alanları olan ağlardır. 2G iletişiminde 9.6 Kbps hız ile haberleşme sağlanırken günümüzde 4G'nin bir türü olan LTE (long-term evolution) ile 100 Mbps hız ile haberleşme sağlamak mümkündür. Hücresel ağların artan veri hızları tasarsız taşıt ağlarında da kullanımlarını arttırmıştır. Son dönemde üzerinde çalışılan otonom araçların kullanımında haberleşme standardı olarak LTE denenmektedir. Ayrıca yol kenarı birimlerinin merkezi şebeke bağlantıları için de hücresel ağlardan yararlanılmaktadır. Ağda yaşanan gecikmeler ise taşıt ağlarında kullanım için bir dezavantajdır.



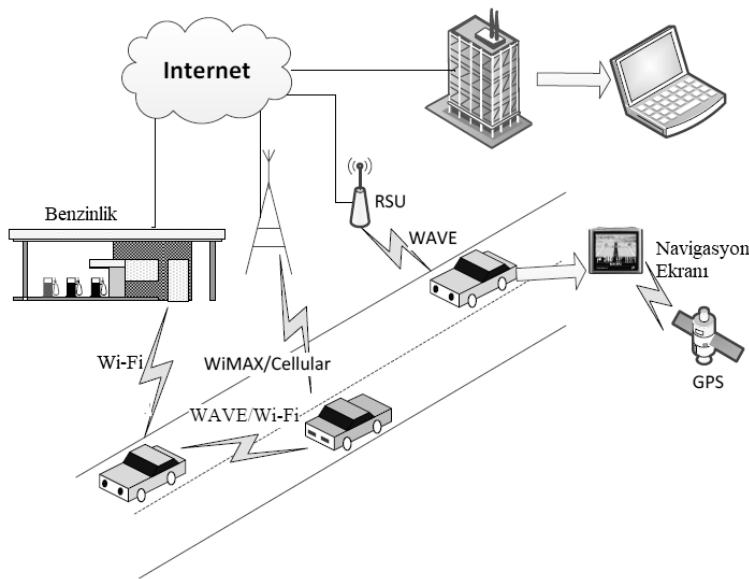
Şekil 2.2 : LTE ve 802.11p'nin tasarsız taşıt ağlarında kullanımı.

2.4.2 Wi-Fi

Kablosuz bağlantı alanı (wireless fidelity (Wi-Fi)) IEEE 802.11 ağ standartlarını temel alan 2.4 GHz'de tanımlanmış bir kısa mesafe (yaklaşık 200m) iletişim protokolüdür. Kısa mesafe için tanımlanmış bir protokol olmasından ötürü araçlar arası haberleşmede araç-altyapı haberleşmelerine göre daha yaygındır. Kişisel telefonlar, Wi-Fi bağlantılarıyla sayesinde bazı uygulamalarda araç ünitesi olarak kullanılabilirler. Wi-Fi ile aynı frekans bandında Bluetooth, Zigbee gibi haberleşme protokolleri bulunduğu için girişime açıktır.

2.4.3 WiMAX

WiMAX (worldwide interoperability for microwave access), hücresel ağlar ile WLAN (wireless local area network) standartları arasındaki boşluğu gidermek için tasarlanmış bir haberleşme teknolojisidir. Geniş menzilli kablosuz ağ standardı (WiMAX) IEEE 802.16 ağ standartlarını temel alan bir genişbant kablosuz erişim teknolojisidir. 802.16e, 10 km kapsama alanı ve 10 Mbps veri aktarım hızıyla taşıtlarda kullanılabilecek önemli bir iletişim seçeneğidir. Birbirini direkt olarak göremeyen cihazlar 2-11 GHz aralığında iletişim kurarken, direkt olarak gören cihazlar ise 66 GHz gibi yüksek bir frekansta iletişim kurabilirler. Geniş menzilden dolayı araç-altyapı haberleşmelerinde tercih edilir.



Şekil 2.3 : Tasarsız taşıt ağlarındaki kablosuz haberleşme standartları.

2.4.4 Tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü

Tahsis edilmiş kısa mesafe iletişim protokolü IEEE 802.11p ağ standartlarını temel alan, 5.9 GHz bandında tanımlanmış ve araçlar için tahsis edilmiş bir kısa mesafe iletişim protokolüdür. Araçlar arası haberleşmenin yanısıra köprü ve otoyollarda ücret toplama sistemlerinde de kullanılır. Amerika, Avrupa ve Japonya’da bölgesel olarak özelleştirilmiştir. Özellikle düşük gecikme süresi nedeniyle tercih edilirler. Bu protokol ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 3’te verilmiştir.

2.4.5 WAVE

WAVE, IEEE 802.11p ve IEEE 1609 standartlarından yararlanılarak oluşturulan global bir standarttır. DSRC bandında çalışmak üzere tasarlanmış olan WAVE, temel olarak DSRC parametrelerini kullansa da IEEE 1609 standart ailesiyle birleştirilerek daha güvenli hale getirilmiştir. WAVE ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 3’te verilmiştir. Çizelge 2.1’de VANET’te kullanılan tüm bu haberleşme standartlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1 : VANET’te kullanılan haberleşme standartları.

Özellikleri	LTE	Wi-Fi	WiMAX	WAVE
Kapsama Alanı	<12km	1km	<5km	<1km
Aktarım Hızı	20 – 1000 Mbps	<54 Mbps	<70 Mbps	<27 Mbps
Spektrum	800, 900, 1800, 2100, 2600 MHz	2.4 GHz (b/g), 5.2, 5.8 GHz (a)	2.3, 2.5, 3.5, 5 GHz	5.9 GHz (ABD) 5.8 GHz (Japonya, Avrupa)
Dezavantajları	Yüksek kurulum maliyetleri, Ölçeklenebilirlik	Kısa/orta mesafe iletişim, Aynı bantı paylaşan standartlar tarafından girişim	Yüksek kurulum maliyetleri, Ölçeklenebilirlik	Kısa/orta mesafe iletişim
Avantajları	Yüksek aktarım hızı, Geniş kapsama alanı	Düşük kurulum maliyetleri	Yüksek aktarım hızı, Geniş kapsama alanı	Düşük kurulum maliyetleri



3. TAHSİS EDİLMİŞ KISA MESAFELİ İLETİŞİM PROTOKOLÜ

Tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü, düşük gecikme süreli güvenli iletişim sunması itibariyle araçlar arası haberleşme sistemlerinde ve araç-altyapı haberleşme sistemlerinde kullanılan bir protokoldür.

WAVE protokolü ise ortama erişim (medium access control (MAC)) ve ağ (network) katmanlarında tanımlı IEEE 1609.x standart ailesinden oluşmaktadır. WAVE, IEEE 802.11 standardının üstüne inşa edilmiş olup, güvenlik mesajları için hızlı ve güvenli veri alışverişini amaçlar. WAVE ve DSRC çoğu zaman birbirlerinin yerine kullanılsa da WAVE, DSRC'nin çekirdeğini oluşturur. DSRC protokolüyle WAVE protokolünü karşılaştırmak gerekirse DSRC daha genel bir protokoldür.

DSRC kısa mesafede düşük maliyetli çözüm, çift yönlü açık görüş hattı (Line-of-Sight) ve yeterli miktarda bant genişliği sunmaktadır. Hücresel haberleşmede veya WiMAX'de bant genişliği yüksek olsa da, bu bant genişliği coğrafi olarak geniş bir alanda kullanıldığından, bant verimliliği düşmektedir. DSRC'deki açık görüş hattı (Line-of-Sight) kısıtlamasının etkilerini mümkün olduğunca azaltmak için ise DSRC ekipmanları daha yüksek irtifada kullanılmaktadır.

3.1 IEEE 802.11 Ailesi

3.1.1 Tarihsel Gelişimi

IEEE 802.11 standardı 1997 yılında tamamlanmıştır. Başlangıçta, bu standartların 2.4 GHz'de lisanssız ISM (industrial, scientific, and medical) bandında çalışmasına karar verilmiştir.

1999'da iki standart daha 802.11 ailesine dahil olmuştur. Bunlar 802.11a ve 802.11b'dir. Yapılan iyileştirmelerle 802.11b'nin veri hızı 2.4 GHz spektrumunda 11 Mbps'ye kadar çıkmıştır. Modülasyon türü olarak tamamlayıcı kod anahtarlama (complementary code keying (CCK)) kullanılmıştır. IEEE 802.11a standardında ise 5.2 GHz'de dikey frekans bölmeli çoklama (ortogonal frequency division multiplexing (OFDM)) kullanılarak 54 Mbps'lere varan daha yüksek veri hızı elde edilmiştir.

IEEE 802.11n, 2003 yılının sonlarına doğru oluşturulmuştur. IEEE 802.11n veri hızının en az 100 Mbps olmasını amaçlar. Bu 802.11a/g ile elde edilen 54 Mbps hızı ikiye katlar ve yüksek veri hızlı kullanıcı uygulamalarını desteklemeyi hedefler. Bu uygulamalara kullanıcılar için yüksek kaliteli video aktarımı, ağ iletişimi hizmet kalitesinin (QoS) iyileştirilmesi örnek verilebilir.

802.11 ailesinin diğer üyeleri 802.11e, 802.11y, 802.11k, 802.11r standartlarıdır. Bu standartlarla ağ iletişimi hizmet kalitesinin artırılması ve radyo kaynak yönetiminin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

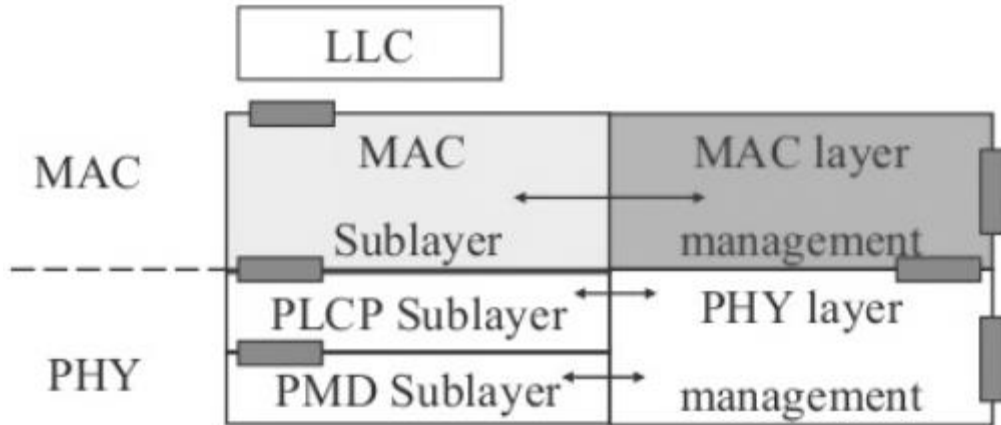
802.11 ailesinin bir diğer standardı IEEE 802.11p'dir. IEEE 802.11p standardı için 5.9 GHz bandı (5.850 – 5.925 GHz) tahsis edilmiştir. Bu protokol DSRC/WAVE'in temelini oluşturur. Yüksek hızlı, düşük gecikmeli olması sebebiyle akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılması amaçlanmıştır. Bölüm 3.4'de bu standart detaylı olarak anlatılacaktır.

3.1.2 802.11 MAC ve fiziksel katman

Düşük ve orta menzilli kablosuz haberleşme standartlarında kullanılmakta olan kablosuz yerel alan ağları (wireless local area networks), IEEE 802.11 protokolü, yerel alan ağları (local area network) ve metropol alan ağı (metropolitan area network (MAN)) olarak standartlaşan 802 ailesine dayanmaktadır. 802 ailesi ortak bir mantıksal bağlantı kontrolü (logical link control (LLC)) katmanına sahiptir ve bu katman 802.2'de standartlaşmıştır. LLC katmanının altında MAC ve fiziksel katman bulunmaktadır. IEEE 802.11 standardı hem fiziksel katmanda hem MAC katmanında tanımlanmıştır. MAC katmanının altında iki alt katman tanımlanır. Bunlar dağıtık koordinasyon fonksiyonu (distributed coordination function (DCF)) ve noktasal koordinasyon fonksiyonu (point Coordination Function (PCF)) olarak isimlendirilirler. MAC katmanında kontrol ve yönetim işlemleri yapılır. Bu işlemleri yapan katmanlar istasyon yönetim birimi (station management entity (SME)) ve MAC katman yönetim birimi (MAC layer management entity (MLME)) olarak adlandırılır. DCF ve PCF, MAC katmanına kolayca erişmek ve girişimleri önlemek için kullanılmaktadır. DCF, iki farklı erişim yöntemi kullanır. Bunlar çarpışmadan kaçınılmalı taşıyıcı algılamalı çoklu erişim (carrier sense multiple access/collision avoidance - CSMA/CA) ve RTS/CTS (request to send and clear to send) yöntemleridir. CSMA/CA erişim yönteminde bir düğüm, veri iletilirken öncelikle

ortamı dinler. Eğer ortam müsaitse veri iletilir, aksi takdirde bekler. RTS/CTS yönteminde, düğüm önce veriyi iletmek için talep gönderir (RTS) ve verinin gönderilebileceğine dair onay (CTS) bekler. RTS/CTS, girişimleri önlemek için rastgele bir periyotta bekleyen sinyalleri geri çekme (back-off) mekanizmasına sahiptir. RTS mesajı, düğümün ortamı ne kadar süreyle meşgul edeceği bilgisini de içermektedir.

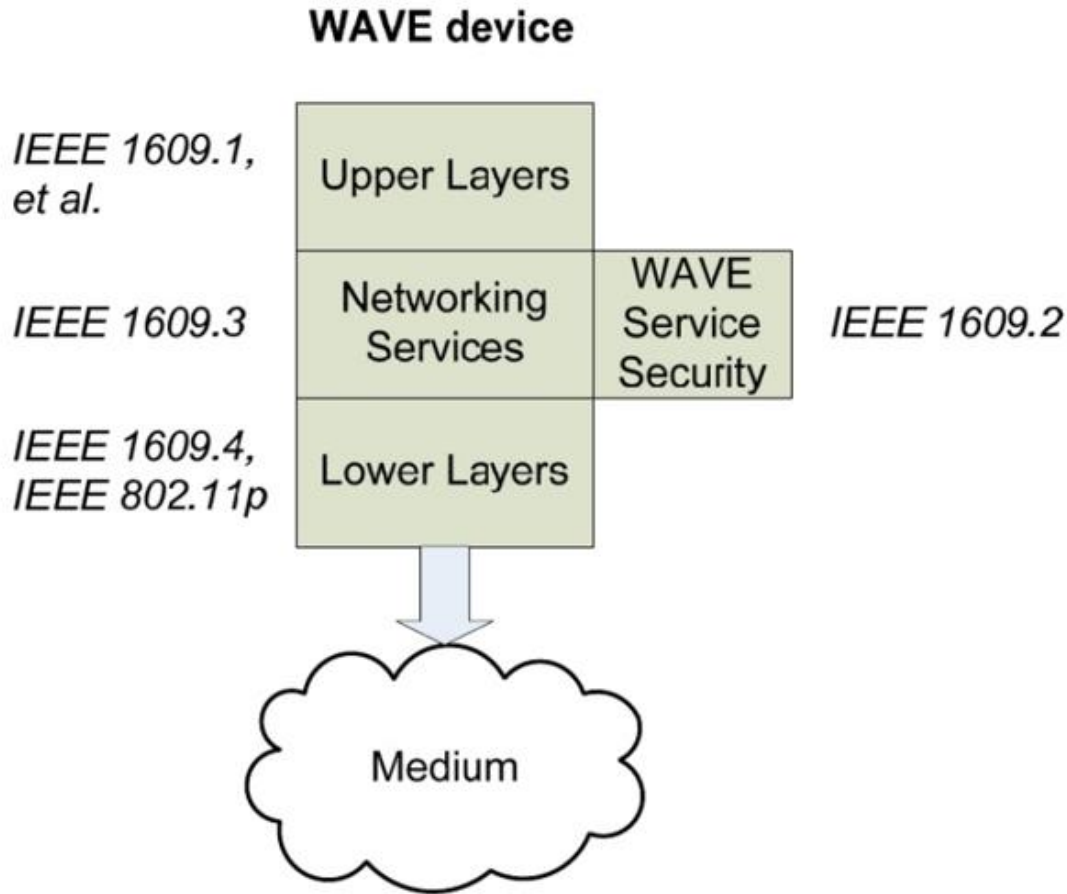
IEEE 802.11 WLAN protokolünde fiziksel katman, fiziksel katman uyumluluk protokolü (physical layer convergence protocol (PLCP)) ve fiziksel ortam bağımlı bileşen (physical medium dependent (PMD)) olarak iki bölüme ayrılır. Bunlardan PLCP gönderilen ve alınan veri için uygun çerçeve formatlarını belirler. PMD ise direkt olarak fiziksel ortamla etkileşimde bulunur ve en genel bit iletim fonksiyonlarını uygular. Genel olarak kodlama ve modülasyondan sorumlu alt katmandır. Fiziksel katman yönetim varlığı (physical layer management entity (PLME)) ise bu iki alt katmanın kontrolünden sorumludur.



Şekil 3.1 : MAC ve fiziksel katman gösterimi.

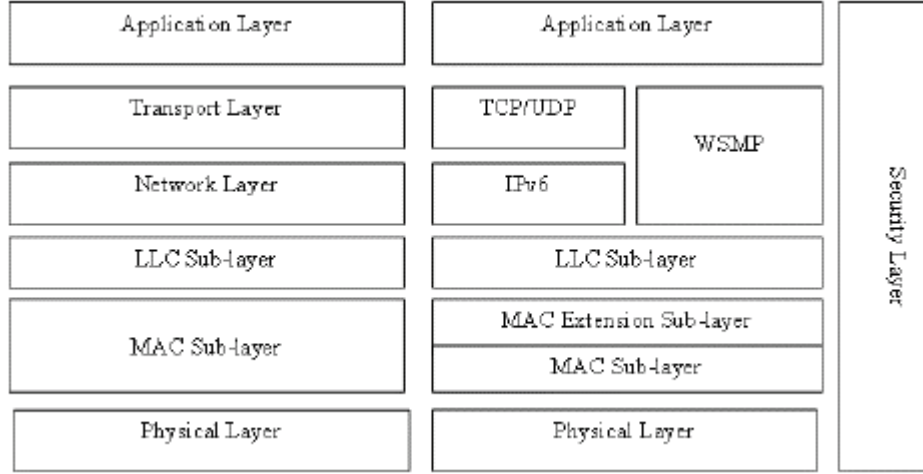
3.2 WAVE Mimarisi

WAVE mimarisinde birçok standardın bir arada kullanıldığı görülmektedir. OSI (open systems interconnection) modeli açısından düşünüldüğünde DSRC ekipmanları arasında kablosuz haberleşme esnasında fiziksel katmanda IEEE 802.11 ve IEEE 802.11p standartları beraber kullanılmaktadır. DSRC'nin MAC katmanında ise IEEE 1609.x standartları kullanılır. Kullanılan standartların katmanlara dağılımı genel hatlarıyla Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : WAVE protokol yığnında var olan standartlar.

WAVE genel olarak OSI modeli temel alınarak incelendiğinde diğer protokollerle benzerlikler gösterir. Bu bağlamda, WAVE protokol yığını ile iletim kontrol protokolü (transmission control protocol (TCP)) yığınının karşılaştırılması Şekil 3.3'te görülmektedir. TCP ve WAVE yığın modellerinin ikisi de aynı fiziksel katman ve veri bağlantı katmanına (data link layer) sahiptir. Bu iki protokol ağ katmanında (network layer), taşıma katmanında (transport layer) ve güvenlik katmanında (security layer) farklılık göstermektedirler. WAVE protokol yığınının fiziksel katmanında IEEE 802.11p, MAC katmanında IEEE 1609.4 standartları kullanılır. IEEE 1609.3 standardı hem Internet Protocol version 6 (IPv6) hem WAVE kısa mesaj yığını (WAVE short message protocol (WSMP)) desteklerken, IEEE 1609.2 standardı güvenlik fonksiyonlarını desteklemektedir. Şekil 3.3'de TCP ve WAVE protokol yığınlarının katmanları gösterilmiştir. Çizelge 3.1'de ise WAVE protokol yığnında bulunan standartlar ve tanımları bulunmaktadır.



Şekil 3.3 : TCP ve WAVE Protokol yığınlarının birlikte gösterimi.

Çizelge 3.1 : WAVE protokol yığında tanımlı standartlar.

WAVE Standartları	Kullanımı	Tanımı
IEEE P1609.0	Mimari	Çok kanallı WAVE modülleri için gerekli servis ve mimarileri tanımlar
IEEE P1609.2	Uygulama ve Yönetim Mesajları için Güvenlik Servisleri	WAVE Yönetim ve uygulama Mesajlarının güvenlik methodlarını oluşturur, ayrıca çekirdek güvenlik fonksiyonlarını destekler
IEEE 1609.3-2010	Ağ Servisi (Networking Service)	TCP/IP de içeren üst katman standart mesajlarını destekler
IEEE 1609.4-2010	Çok Kanallı Operasyonlar (Multi-Channel Operation)	5.9 GHz'deki DSRC uygulamaları için geçerli pek çok mesaj formatıdır

Çizelge 3.1 (devam) : WAVE protokol yığnında tanımlı standartlar.

WAVE Standartları	Kullanımı	Tanımı
IEEE 1609.5	İletişim Yönetimi (Communitation Manager)	Araçlarla araçlar arası ya da araçlarla yol kenarı sabitlerinin kablosu haberleşmesini destekleyen Yönetim servisleri
IEEE 1609.11-2010	Veri Değişim Protokolü (Data Exchange Protocol)	Elektronik ödeme ekipmanlarındaki Teknik uyumlula ilgili temel standart
IEEE 1609.12	Belirliyiçi Dağılım (Identifier Allacotion)	IEEE 1609 standart serisindeki WAVE belirleyicilerin dağılımı

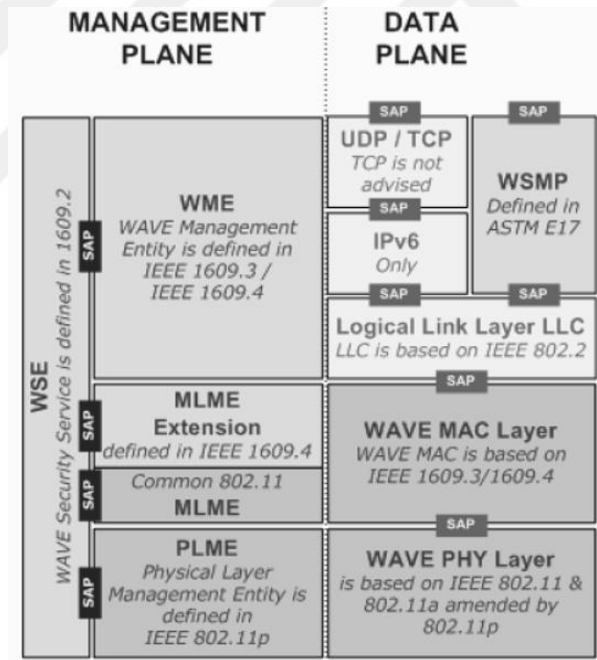
3.2.1 WAVE fiziksel katman

Fiziksel katman MAC katmanı ile ortam arasındaki arayüz olup, çerçevelerin alınıp gönderilmesini sağlar. Fiziksel katman, donanımsal özellikleri, bit dönüşümü, sinyal kodlaması ve formatlanmasından sorumludur. IEEE 802.11p'deki fiziksel katman özellikleri IEEE 802.11a ile benzer olup, Bölüm 3.1.2'de 802.11 ailesi için detaylı olarak açıklanmıştır. IEEE 802.11p MAC katmanı çoklu kanal operasyonlarını gerçekleştirmek için IEEE 1609 ailesinin 1609.4 standardı ile geliştirilmiştir. MAC katmanı, 802.11e'deki önceliklendirilmiş gelişmiş dağıtık kanal erişim (enhanced distributed channel access (EDCA)) şemasına sahiptir. Bu şema çarpışmadan kaçınılmalı taşıyıcı algılamalı çoklu erişim (CSMA/CA) temeline dayanır. Temel EDCA erişim şemasında, tek bir istasyonda farklı sıralarda bekleyen paketler ulaştığında, sanal bir çözüm fonksiyonu ile paketler önceliklendirilir. Düşük öncelikli paketler tekrardan gönderilir ya da maksimum tekrardan gönderilme sayısına ulaştığında paket kullanımdan düşer. Protokol paket veri birimi (protocol packet data unit (PPDU)) başlangıç sinyali (preamble), sinyal alanı ve taşıma kapasitesi gibi bilgiler barındırır. Başlangıç sinyali fiziksel çerçevenin başıdır. Bu sinyal doğru anteni seçmek, doğru frekansı belirlemek için kullanılır. Kullanılan doğru örnekleme

ve demodülasyon ile alıcı ve verici arasındaki senkronizasyon sağlanmış olur. Kanal durum bilgisi (channel state information), pilot semboller ile iyileştirilir.

3.2.2 WAVE MAC katmanı

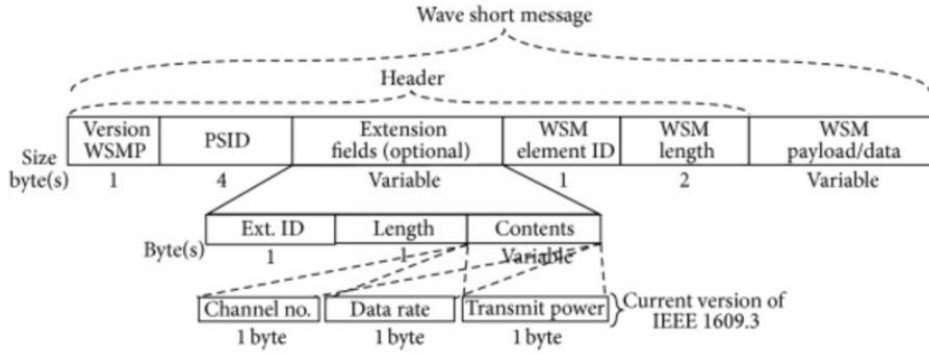
Kompleks DSRC mimarisi iki temel blokta incelenebilir. Bu bloklar, Şekil 3.4’de gösterildiği gibi yönetim düzlemi ve veri düzlemidir. Veri düzlemi verinin işlenmesinden sorumludur. Çerçeve başlıklarının eklenip çıkarılması gibi veri aktarım işlemleri bu blokta temsil edilir. Veri düzlemi DSRC’ye özgü WAVE Short Message Protokol (WSMP) içerirken, UDP/TCP gibi DSRC dışı protokolleri de desteklemektedir. Veri servis erişim noktaları (data service access points (SAP)) katmanlar arasındaki geçişlerdeki arayüzleri tanımlar. Yönetim düzlemi, senkronizasyon, kanal değişimi gibi haberleşme emirlerini barındırır. WAVE güvenlik birimi (WAVE security entity (WSE)), anahtar yönetim ve şifreleme mekanizmasını sağlar.



Şekil 3.4 : WAVE Protokol yığını katman gösterimi.

IEEE 1609.4 standardı IEEE 802.11 MAC alt katman yönetim birimi uzantısında kanal koordinasyonunu (CCH SCH modları arasında geçiş) sağlar. MLME hem veri hem yönetim düzleminde servis sağlar. WAVE için üç çeşit çerçeve yapısı mevcuttur. Bunların ilki kontrol çerçevesidir. Kontrol çerçevesi IEEE 802.11 standardında kullanılır. İkinci çerçeve yapısı yönetim çerçevesidir. Üçüncü çerçeve yapısı ise veri

çerçevesidir. Veri çerçevesi WSMP veri, IP veri iletisine (datagram) sahiptir. WSMP çerçevesi, WAVE servis mesajlarını içerir. Hem kontrol kanalı hem servis kanalı tarafından iletilebilir. IP veri iletisi ise sadece servis kanalıyla iletilebilir. Şekil 3.5'te WSMP çerçeve formatı görülmektedir.



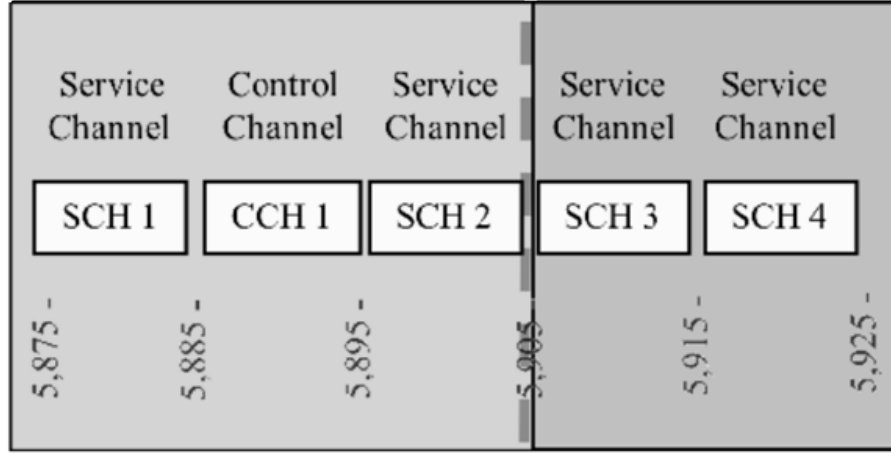
Şekil 3.5 : WAVE Service Message (WSM) çerçeve formatı.

Veri, mantıksal bağlantı kontrolü (LLC) katmanına geldikten sonra, kanal yönlendiricileri başlıktaki protokol etiketi (ethertype) alanını kontrol eder. WSMP veri iletisinde ise veri önceliklendirilir ve kanal belirleyici tarafından sıraya sokulur. Eğer veri IP veri iletisi ise iletim farklı olacaktır. Tüm IP verisi, yönetim bilgi tabanı (Management Information Base - MIB) verici profiline göre SCH numarası, güç seviyesi ve veri hızı ile birlikte kaydedilir. LLC kanal yönlendirici tarafından IPv6 datagramına iletilir ve karşılık gelen servis kanallarına yönlendirilir. Bu prosedür yüksek katmanda, fiziksel katmandaki iletim parametrelerinin kontrolünü sağlar. Kanal seçiciler de kanal uygun olmadığında veri akışının kesilmesini sağlayabilmektedir.

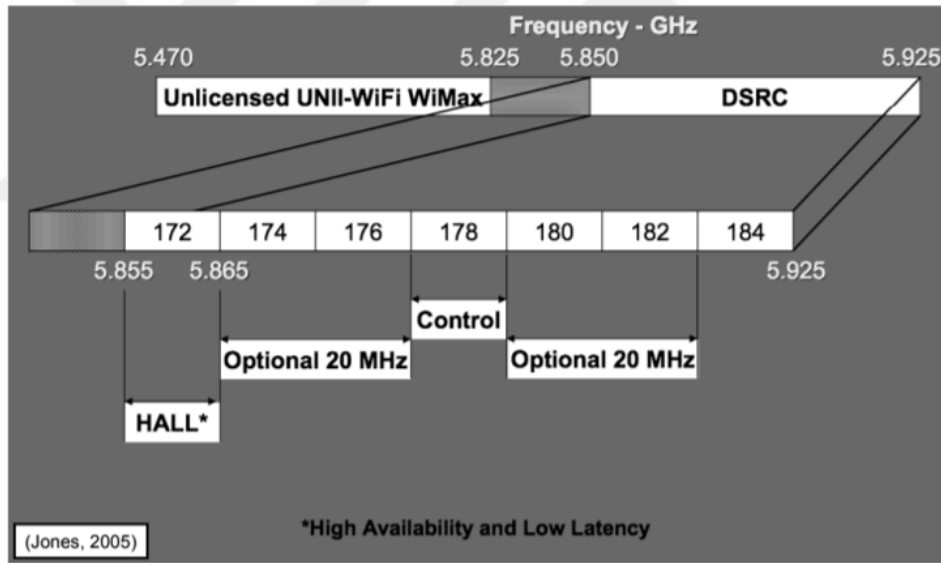
3.2.3 WAVE kanal tahsisi

WAVE'in çalışmakta olduğu 5.9 GHz spektrumu Şekil 5'te görüldüğü gibi 10 MHz'lik kanallara ayrılmıştır. WAVE modülü belli bir süre boyunca bir kontrol kanalı (control channel (CCH)) ve en az bir servis kanalı (service channel (SCH)) kullanmaktadır. Yüksek elverişli düşük gecikmeli (high availability low latency (HALL)) kanalı yüksek öncelikli mesajlar için ayrılmıştır. Çoğu prototipte bu kanal 172. kanaldır (5.855MHz-5.865MHz). Kanal 178 (5.885MHz-5.895MHz) ise kontrol kanalı olarak kullanılır ve güvenlik uygulamaları için ayrılmıştır. Avrupa için bu standardizasyon işlemi çoğunlukla Car-2-Car Communication Consortium (C2C-CC)

tarafından yürütölmekte olup, ETSI tarafından standartlaştırılır. Avrupa için 5.8 GHz bandı kullanılmakta olup, toplam bant genişliği 20 MHz'dir. Japonyada da 5.8 GHz bandı kullanılırken, bant genişliği 80 MHz'dir.



Şekil 3.6 : Avrupa için WAVE kanal tahsisi.



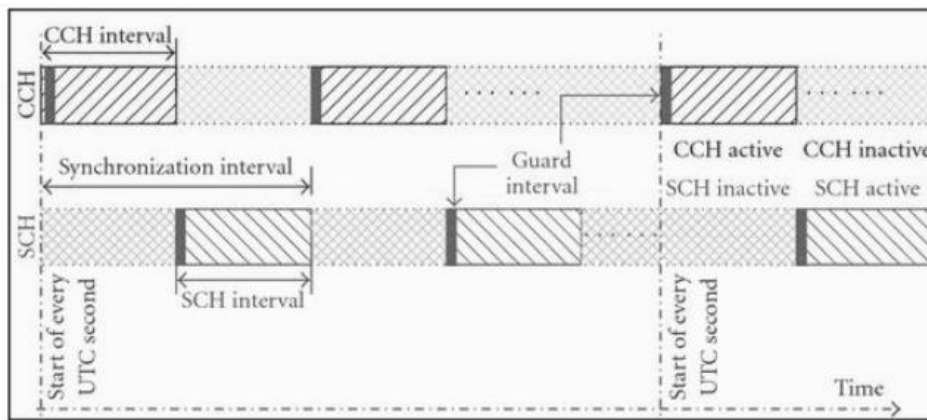
Şekil 3.7 : ABD için WAVE kanal tahsisi.

WAVE modelinde, yol kenarı birimi veya araç birimi alınan mesajı güvenlik mesajı olup olmadığına göre ayırır ve karşılık gelen uygun kanalı bulur. Araç birimi öncelikle güvenlik uygulamalarını, daha sonra kanal değiştirerek güvenlik dışı uygulamaları gerçekleştirir. Böylelikle sürekli kontrol kanalı ve servis kanalları arasında dolaşmış olur.

3.2.4 WAVE kanal koordinasyonu

WAVE modülleri olan yol kenarı birimi ve araç birimi, tek kanallı ya da çok kanallı olmak üzere iki çeşittir. Tek kanallı WAVE modülünde veri alışverişi ya da dinleme işlemi sadece bir kanal üzerinde yapılır. Çok kanallı WAVE modülünde ise RSU veya OBU olduğu farketmeksizin bir kanalda veri alışverişi yapılırken, başka kanaldan aktif olarak dinleme işlemi yapılmaktadır. Tek kanallı WAVE modülü, çok kanallı WAVE modülüne kıyasla daha düşük maliyetlidir. Çok kanallı bir modül ile (OBU/RSU), tek kanallı bir modül (OBU/RSU) haberleşebilir. Bu durumda bu iki modülün senkronizasyonu çok önemlidir. WAVE modülünün kontrol kanalını kullandığı zaman aralığına kontrol kanalı zaman aralığı olarak, servis kanalını kullandığı zaman aralığı ise servis kanalı zaman aralığı olarak Şekil 3.8’de taralı bölgeleri temsil edecek şekilde gösterilmiştir. Kontrol kanalı zaman aralığından servis kanalı zaman aralığına ya da servis kanalı zaman aralığından kontrol kanalı zaman aralığına geçişlerde belirli periyot beklenmektedir. Bu periyoda güvenlik zamanı (guard interval (GI)) denilmektedir. Verimli bir senkronizasyon mekanizmasında güvenlik zamanı mümkün mertebe en aza indirgenmeye çalışılmaktadır.

Güvenlik zamanı farklı WAVE cihazlarının koordinasyonu için de kullanılmaktadır. Öte yandan bu sürede WAVE cihazı veri alışverişi yapamamaktadır. Bu esnada diğer cihazlarından gönderilen veriler alınamayacağından, kanal meşgül olduğunu yayınlar ve bu süre zarfında rastgele olarak diğer cihazlardan gönderilen veriler geri çekilir (back-off mechanism).



Şekil 3.8 : CCH ve SCH periyotları.

3.2.5 WAVE profil değerleri

WAVE, IEEE 802.11a'daki OFDM mekanizmasına dayanır. Fakat IEEE 802.11p, IEEE 802.11a'ya göre fiziksel katmanda farklılıklar göstermektedir. Çizelge 3.3'te bu farklılıklar karşılaştırılmıştır. IEEE 802.11 standardında üç farklı fiziksel mod kullanılır. Bunlar 20 MHz, 10 MHz ve 5 MHz modlarıdır. Bu modlar farklı örnekleme (clock) hızlarına sahiptir. IEEE 802.11a'da genelde 10 MHz band genişliğinde tam zamanlı (full clocked) mod kullanılır. IEEE 802.11p'de 10 MHz'de ise yarım zamanlı (half clocked) mod kullanılır. 802.11p'de kullanılan bu mod, band genişliği, sembol uzunluğu ve frekans gibi parametreleri etkilemektedir. IEEE 802.11p'de 10 MHz'lik band genişliğinin kullanımı, 20 MHz'lik bant genişliği kullanımına kıyasla, sinyalin snmlemelere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. İsteğe bağlı 20 MHz'lik kullanımı, kanal 175 (kanal 174 ile 176'nın birleşimi) ve kanal 181 (kanal 180 ile 182'nin birleşimi) kullanılarak veri hızı 54 Mbps'a kadar çıkabilmektedir. IEEE 802.11p'de taşıyıcı aralığı (carrier spacing) IEEE 802.11a'ya kıyasla yarıya düşmüştür. Sembol uzunluğu snmlemelere karşı daha dayanıklı sinyal etmek için 802.11p'de 802.11a'nın iki katına çıkmıştır. Frekans izelge 3.2'de görüldüğü gibi bölgesel yasal otoritelere bağlı olarak 5.8 ile 5.9 GHz arasında değişmektedir. IEEE 802.11p ile 120km/sa hızla giden bir araç için mezil 1000m'ye kadar çıkabilmektedir. Veri iletim hızı 0-60km/sa hızla giden bir araç için 9, 12, 18, 24, and 27 Mbps, 60-120km/sa hızla giden araç için ise 3, 4.5, 6, 9, and 12 Mbps'tır. Sistemde 52 alt taşıyıcı olup, BPSK, QPSK, 16-QAM, or 64-QAM modülasyon türünü kullanır. Konvolüsyon kodlamasında ise kodlama hızı 1/2, 2/3 ya da 3/4 olarak değişir.

Çizelge 3.2 : 802.11a ile 802.11p'nin karşılaştırılması.

Parametre	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	802.11'deki Değişim
Bit hızı (Mbit/s)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	Yarılanır
Modülasyon	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	Aynı
Kod hızı	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4	Aynı
Sembol süresi	4 µs	8 µs	İki katına çıkar
Koruma süresi	0.8 µs	1.6 µs	İki katına çıkar
FFT periyot	3.2 µs	6.4 µs	İki katına çıkar
Başlama süresi (preamble duration)	16 µs	32 µs	İki katına çıkar
Alt taşıyıcı aralığı	0.3125 MHz	0.15625 MHz	Yarılanır

Çizelge 3.3 : WAVE.

Modülasyon Türü	BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM
Kodlama hızı	1/2, 3/4	1/2, 3/4	1/2, 3/4	2/3, 3/4
Kodlanmış bit hızı (Mbps)	6	12	24	36
Veri hızı (Mbps)	3, 4.5	6, 9	12, 18	24, 27
Her OFDM sembolü için Veri bitleri	24, 36	48, 72	96, 144	192, 216

4. TRAFİK IŞIKLARI İÇİN ÖNERİLEN SİSTEM

Tezin bu bölümünde araç-altyapı haberleşmesinin en çok kullanılan örneklerinden trafik ışıkları-araç haberleşmesi için önerilen sistem anlatılacaktır. Bu sistem araçlara trafik ışıklarının mevcut ve gelecek durumları hakkında bilgi verecektir. Bu sayede araçlar hem daha güvenli bir şekilde seyir edebilecek hem de yakıt tüketimlerini düşürme imkanı bulacaklardır.

Tezin devamında, önerilen sistem için yol kenarı birimi ile araç birimi arasındaki haberleşmenin nasıl olacağı anlatılacak ancak araç birimi üzerinde verilerin nasıl değerlendirileceği çalışmanın kapsamı dışında tutulacaktır. Tasarsız taşıt ağlarında kullanılan mesaj setleri ve bu mesaj setlerinin kullanım alanları da bu bölümde anlatılacaktır.

4.1 Önerilen Haberleşme Protokolü

Literatürdeki çalışmalarda, trafik ışığı ile araçların haberleşmesinde Görünür Işık Haberleşmesi (visible light communication (VLC)) protokolünün yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemlerde trafik ışıklarında LED (light emitting diode) kullanılarak ışığın saçılmasına göre mesafe tahmini yapılmıştır. Haberleşmenin çok kısa mesafede mümkün olabilemesi, bant genişliğinin sınırlı olması, veri hızının düşük olması VLC standardının başlıca dezavantajlarıdır. Bu dezavantajlardan dolayı önerilen sistemde VLC protokolü kullanılmamıştır.

DSRC protokolünün de ait olduğu IEEE 802.11 ailesinin bir üyesi olan Wi-Fi de trafik ışığı-araç haberleşme uygulamalarında görülmektedir. Wi-Fi standardı, 2.4 GHz bandında çalışmakta olan diğer kablosuz sensör ağları dolayısıyla girişime fazlasıyla açıktır. Aynı zamanda çok yaygın olarak kullanıldığından trafikte kullanılan mesajların ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle hem 2.4 GHz bandı hem de Wi-Fi standardı yüksek öncelikli trafik uygulamaları için yetersiz kalmaktadır.

Trafik ışıkları-araç haberleşmesi için önerilen sistemde tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolü kullanılacaktır. Tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim protokolünün

seçilmesinin temel nedenleri, protokolün özel olarak trafikte bulunan birimlerin haberleşmesi için geliştirilmiş olması ve güvenlik uygulamalarını desteklemesi olarak sıralanabilir. DSRC protokolünün kullanmakta olduğu frekans aralığı akıllı ulaşım sistemleri için lisanslı olarak tahsis edilmiştir. Protokol bu sayede trafik uygulamaları için güvenli haberleşme ağı sunabilmektedir. Aynı zamanda DSRC protokolü, gelen mesajları güvenlik mesajı olup olmamasına göre önceliklendirebilmektedir. Önerilen sistemde trafik ışığı ile araçların haberleşmesi hayati önem taşıdığından mesajlar yüksek öncelikli olacaktır. Protokol, bu mesajlar için düşük gecikmeli iletim sunabilmekte ve mesaj iletimi milisaniyeler içerisinde gerçekleşebilmektedir. Düşük maliyetli ve kolay kurulum sağlayan bir ağ yapısına sahip olması da DSRC protokolünün önerilen sistemde tercih edilme sebeplerindedir.

4.2 Tasarsız Taşıt Ağlarında Mesaj Yapıları

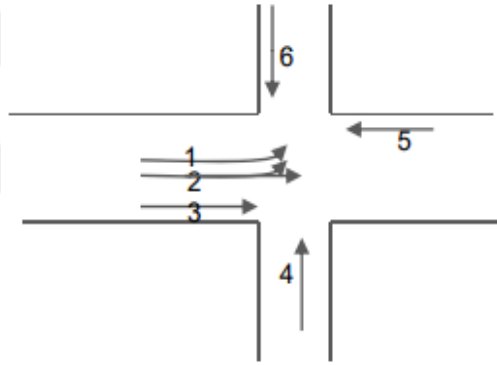
Tasarsız taşıt ağlarında dört temel mesaj türü mevcuttur. Bunlardan en öncelikli olan mesaj acil durum ve uyarı mesajıdır. Bu mesaj, kritik acil servis bilgilerini içermektedir. Kaza bilgisi, ambulans, itfaiye ya da polis aracının yaklaştığı bilgisi bu mesaj tipi ile gönderilir. Yol çalışması ve trafik sıkışıklığı bilgisi de uyarı mesajlarına örnektir. İkinci mesaj türü, yönlendirme ve güvenlik mesaj türüdür. Bu mesaj sürüş bilgisini ve yönlendirici protokollerin kullandığı parametreleri içerir. Aracın hızı, pozisyonu, yönü, ve kimliği güvenlik uygulamaları için gerekli mesaj içeriklerini oluşturur. Diğer bir mesaj türü, kişiler arası mesaj türü olarak isimlendirilmektedir. Bu mesaj sürücü bilgisini ve araçtaki yolcu profillerini içermektedir. Son mesaj türü ise bilgi ve eğlence içerikli mesaj türüdür. Bu mesaj yol boyunca sağlanan servis ve hizmet bilgisini içerir. Ayrıca ağ içerisinde bulunan diğer araçlar tarafından önerilen servis ve bilgiler bu mesajın içeriğini oluşturur. Bu mesajlara örnek olarak en yakın benzin istasyonu bilgisi, en yakın mola yeri bilgisi verilebilir.

4.2.1 Sinyal faz ve zaman mesajı (SPaT)

Sinyal faz ve zaman mesajı bir kavşaktaki trafik ışıklarının mevcut durumlarını içeren bir bilgilendirme mesajıdır. Bu mesajın içerisinde hangi trafik ışığının hangi şeritler için ne kadar süreyle geçerli olduğu iletilir. Aynı trafik ışığına bağlı olan şeritler mesaj içerisinde birleştirilerek gönderilir. SAE mesaj setlerinde tanımlı bir

sinyal faz ve zaman mesajının içermesi gereken bilgiler şu başlıklar altında özetlenebilir:

- DSRC mesaj numarası (DSRCmsgID)
- Kavşak numarası (Intersection ID)
- Kavşak durumu
- Şeritlerin birbirleriyle ilişkisi
- Kavşağa çıkan şeritler ve şeritlerin numaraları
- Mevcut sinyal durumu
- Bir sonraki sinyale kadar olan zaman
- Sarı ışık süresi



Şekil 4.1 : Kavşak modeli.

Şekil 4.1’de görülen kavşak için SAE mesaj setine uygun bir sinyal faz ve zaman mesajı hazırlanmak istensin. Bu durumda 1 ve 2 numaralı şeritler sola döndüğünden aynı trafik ışıklarını dikkate alacaklardır. Aynı şekilde 2 ve 3 numaralı şeritler de kavşaktan karşıya düz olarak ilerleyebilirler. Bu bilgiler ışığında örnek alınan kavşak için SPaT mesajının içeriği:

DSRC Mesaj numarası = 0x0c (SPaT mesajı olduğunu belirtir)

Kavşak numarası (bu kavşağa özgü bir numara)

Durumlar

Durum1

1,2 (şerit numaraları)

Kavşaktan sola (hareket yönü)

Işığın mevcut durumu = Yeşil

Bir sonraki sinyale kadar olan süre = 10 saniye

Sarı ışık = 2 saniye
Durum 2
2,3 (şerit numaraları)
Kavşaktan düz (hareket yönü)
Işığın mevcut durumu = Yeşil
Bir sonraki sinyale kadar olan süre = 15 saniye
Sarı ışık = 2 saniye
Durum 3
4 (şerit numarası)
Kavşaktan düz (hareket yönü)
Işığın mevcut durumu = Kırmızı
Bir sonraki sinyale kadar olan süre = 20 saniye
Sarı ışık = 2 saniye
Durum 4
5 (şerit numarası)
Kavşaktan düz (hareket yönü)
Işığın mevcut durumu = Kırmızı
Bir sonraki sinyale kadar olan süre = 38 saniye
Sarı ışık = 2 saniye
Durum 5
6 (şerit numarası)
Kavşaktan düz (hareket yönü)
Işığın mevcut durumu = Kırmızı
Bir sonraki sinyale kadar olan süre = 20 saniye
Sarı ışık = 2 saniye

şeklinde olacaktır. SAE mesaj kümelerinde hareket yönü ve ışığın durumunu aynı anda gönderebilmek için sekiz byte'lık sabit kodlamalar tanımlanmıştır. Bu içeriklere ilişkin bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : SPaT mesajında hareket ve yön kodlamaları.

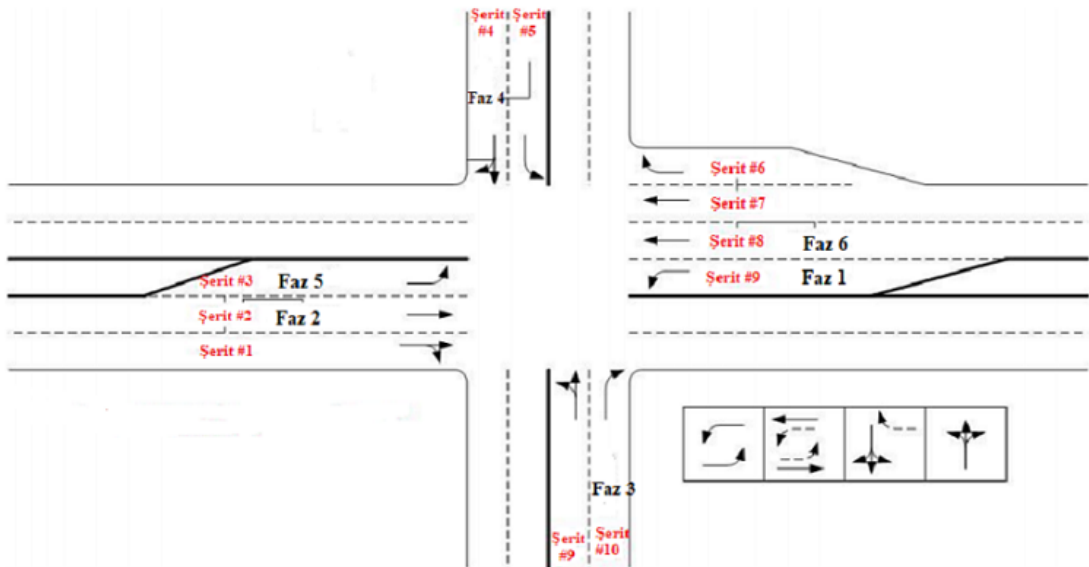
Durum	Yeşil	Sarı	Kırmızı	Yanıp Sönmekte
Düz	0x00000001	0x00000002	0x00000004	0x00000008
Sola dönüş	0x00000010	0x00000020	0x00000040	0x00000080
Sağa dönüş	0x00000100	0x00000200	0x00000400	0x00000800
Düz ok	0x00001000	0x00002000	0x00004000	0x00008000
Hafif sola dönüş	0x00010000	0x00020000	0x00040000	0x00080000
Hafif sağa dönüş	0x00100000	0x00200000	0x00400000	0x00800000
U Dönüşü	0x01000000	0x02000000	0x04000000	0x08000000

4.2.2 Harita mesajı (MAP)

SAE mesaj setlerinde tanımlı olan harita (MAP) mesajı bir kavşak veya yolun belli bir kısmı için coğrafi konum bilgilerini içerir. Trafik ışıklarıyla haberleşmede bu mesaj içeriğinden SPaT ile birlikte faydalanılırsa kavşağın ve kavşağa çıkan şeritlerin geometrik düzeni sağlıklı bir şekilde oturtulmuş olur. Bir MAP mesajının içermesi gereken bilgiler şu şekildedir:

- Referans noktasının 3 boyutlu konumu
- Kavşağa gelen doğrultular ve doğrultuların sayısı
- Şerit numaraları
- Şerit genişliği ve özellikleri
- Şeritler için izin verilen doğrultular

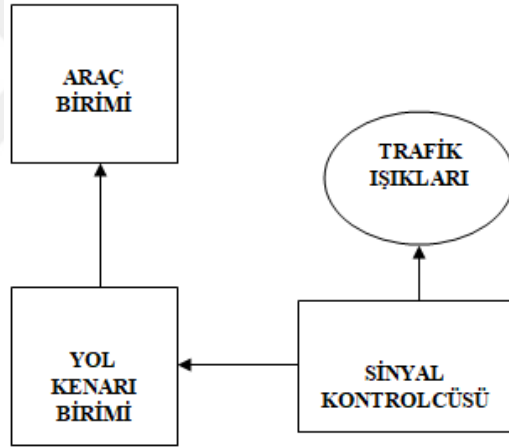
Bir MAP mesajı SPaT mesajının aksine sabit içeriğe sabittir. Kavşağa çıkan şerit sayılarında veya doğrultularında değişiklik yapıldığında MAP mesajının içeriği değiştirilmelidir. Şekil 4.2’de MAP mesajını hazırlayabilmek için gerekli olan içerikler kavşak üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Bir kavşağın MAP verisini hazırlayabilmek için yapılmış ön çalışma.

4.3 Önerilen Mesaj İçeriği

Trafik ışıkları-araç haberleşmesinde SPaT ve MAP mesajları genelde birlikte kullanılır. Yeşil ışık için uygun hız önerisi, yaya uyarı sistemleri gibi uygulamalar SPaT mesajlarından trafik ışığının durumunu ve süresini, MAP mesajlarından da aracın ilgili objeye olan uzaklığını alırlar. Bu iki mesaj farklı periyotlarda gönderilirler. SPaT mesajı 10 Hz güncelleme aralığıyla gönderilirken, MAP mesajı 1 Hz güncelleme aralığıyla gönderilir [8]. SPaT mesajları için önerilen kanal kontrol kanalı (178. Kanal) iken MAP mesajları için önerilen kanal servis kanalıdır. [8]. SPaT mesajı için gerekli olan trafik ışığı bilgisi sinyal kontrolcüsü tarafından sağlanır. Sinyal kontrolcüsü yol kenarı birimine (RSU), bağlı bulunduğu trafik ışıklarındaki faz bilgilerini sürekli olarak aktarır. Gönderilen SPaT ve MAP mesajlarının analizi ise araç üzerinde bulunan araç birimi tarafından yapılır. Şekil 4.3'te bu akışı gösteren bir diyagram verilmiştir.



Şekil 4.3 : Sinyal faz ve zaman mesajının gönderim diyagramı.

SAE topluluğunun hazırladığı DSRC mesaj takımında, SPaT mesajı, bölüm 4.3.1'de anlatıldığı üzere, trafik ışığının mevcut durumunu, kalan süresini ve sarı ışık süresini gönderir. Bu tez çalışmasında, trafik ışığının mevcut durumunun yanında tüm fazlarının SPaT mesajının içeriğine eklenmesi önerilmiştir. Bu sayede araç, hızını sadece mevcut duruma bağlı kalmadan tüm fazları dikkate alarak kontrol etme şansını elde edecek bu da hem yaya güvenliğine hem de yakıt tüketimine olumlu yönde etki edecektir. Kavşağın referans konumu sürekli değişen bir veri olmadığından ve bu referans konum bilgisi uygulama için yeterli olduğundan, tez çalışmasında MAP mesajının içeriğine bir ekleme yapılmamış ve orijinal hali referans alınmıştır.

4.3.1 SAE J2735 mesaj takımlarında içerik değiştirme yöntemleri

SAE topluluğu tarafından hazırlanan DSRC mesajlarının içeriği veya isimleri, topluluk tarafından hazırlanan uygulama dokümanına [7] uygun bir şekilde değiştirilebilir.

SAE J2735 mesajlarının orijinal içeriklerine eklenti yapmanın beş farklı yolu vardır.

1. Yeni içerik orijinal mesaja eklenir ve yerel mesaj olarak etiketlenir.
2. Yeni içerik orijinal mesaja eklenir ve etiketin değiştirilmesi dikkate alınmaz.
3. Yeni içerik orijinal mesaja eklenir, etiketi ve mesajın ismi değiştirilir.
4. Var olan içerik aynı etiketle tekrar tanımlanır, yeni içerikle birlikte uzunluğu değiştirilir.
5. Yeni içerik orijinal mesaja eklenir ve XML tanımlamaları tekrar yapılır.

SAE J2735 mesaj setlerinde 0-127 arasındaki etiketler standart kullanımlara ayrılmıştır. 128-255 arası etiketler ise yerel içerikleri etiketlemek için kullanılır. Bir mesajın yerel veya standart olarak etiketlenmesi alıcı taraf için önemli değildir.

Önerilen bu beş farklı yöntemden ilki, yerel içerik eklemek için uygun görölmüştür. Bu yöntemde eklenecek olan içerik, var olan mesajın sonuna eklenerek yerel olarak etiketlenir. İçerik yerel olarak eklendiğinden etiket 128-255 arası herhangi bir değer olarak belirlenebilir.

İkinci yöntemde ise eklenecek olan içerik, orijinal mesajın içeriğiyymiş gibi değerlendirilerek 0-127 arasında etiketlenir veya hiç etiketlenmez. Bu yöntem SAE topluluğunun ileriye yönelik mesaj düzeltmeleri için ayrılmış olduğundan yalnızca topluluğun kendisi tarafından kullanılabilir.

Topluluk tarafından önerilen üçüncü yöntem yeni bir içerikle yeni bir mesaj oluşturmanın en kolay yoludur. Eklenen içerik hem yerel olarak 128-255 arasında hem de ileriye yönelik mesaj düzeltmeleri için topluluk tarafından 0-127 arasında etiketlenebilir. Oluşturulan mesaja diğer yöntemlerin aksine yeni bir isim verilir. Böylelikle hem orijinal mesaj hem de yeni elde edilen mesaj ayrı ayrı kullanılabilir. İlk iki yöntemde mesajın ismi değiştirilmediğinden orijinal mesaj yeni haliyle kullanılmak durumundadır. Bu yöntem kullanılarak değiştirilen mesaj, daha önceden yerleştirilmiş yol kenarı ve araç birimleri için birşey ifade etmez. Yöntemin amacı

SAE J2735 standart mesaj setinin gelecek versiyonlarında kullanılacak mesaj içerikleri oluşturmaktır [8]. Tüm bu sebeplerden ötürü tez çalışmasında içerik eklemek için üçüncü yöntem kullanılmıştır.

Dördüncü yöntemde eklenecek olan içerik orijinal mesajın mevcut bir elemanın içerisine eklenir. Elemanın uzunluğu değiştirilir ancak etiketi değiştirilmez. Oluşturulan yeni mesaj alıcı tarafta karışıklığa yol açacağından yöntem SAE topluluğu tarafından her uygulama için önerilmez. Beşinci yöntem ise XML genişletmek için önerilmiştir.

4.3.2 Mesajın oluşturulması

Bölüm 4.3.1’de sinyal faz ve zaman mesajının SAE J2735 standardındaki orijinal içeriği verilmiştir. Orijinal içerikte bulunan mevcut durumun yanına tüm sinyal faz durumları eklenerek yeni bir mesaj oluşturulmuştur. Bu yeni mesaj oluşturulurken, Bölüm 4.4.1’de anlatılan üçüncü yöntemle göre var olan mesajın sonuna yeni içerik eklenmiş ve mesajın ismi “extended_SPAT” değiştirilmiştir. Eklenen içerik mevcut standartlarda yer almadığından yerel olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle yeni mesajın etiket numarası 128 olarak belirlenmiştir. SAE topluluğunun J2735 uygulama dokümanına uygun olarak hazırlanan yeni mesaj şu şekilde olacaktır:

```
DSRC Mesaj numarası (1 byte)
Kavşak numarası (2 byte)
Kavşak durumu (1 byte)
-Durumlar
  --Durum1
  Şerit numarası/numaraları (1 byte)
  Işığın geçerli olduğu hareket yönü ve mevcut durumu (4 byte)
  Bir sonraki sinyale kadar olan süre (2 byte)
  Sarı ışık durumu (4 byte)
  Sarı ışık süresi (2byte)
  --Durum2
  Şerit numarası/numaraları (1 byte)
  Işığın geçerli olduğu hareket yönü ve mevcut durumu (4 byte)
  Bir sonraki sinyale kadar olan süre (2 byte)
  Sarı ışık durumu (4 byte)
  Sarı ışık süresi (2byte)
...
  --Durum1 ek içerik
  Şerit numarası/numaraları (1 byte)
  Şeridin hareket yönü & Işığın bir sonraki durumu (4 byte)
  Bir sonraki sinyale kadar olan süre (2 byte)
  --Durum2 ek içerik
```

Şerit numarası/numaraları (1 byte)
Şeridin hareket yönü & Işığın bir sonraki durumu (4 byte)
Bir sonraki sinyale kadar olan süre (2 byte)

...

Oluşturulan yeni mesaj, orijinal mesaja göre kavşaktaki her durum için yedi byte daha uzundur. Kavşaktaki her birim durum için, tüm fazların bilgisi yirmi byte ile ifade edilir. Her mesajın başında ise DSRC numarası, kavşak numarası ve bu kavşağın durumu dört byte ile verilmelidir. Bu durumda gönderilecek olan SPaT mesajının uzunluğu

$$4 + (20 \cdot \text{kavşaktaki durum sayısı}) \text{ (byte)} \quad (4.1)$$

olarak formüle edilebilir. Hazırlanan yeni mesaj “extended_SPAT” adıyla, orijinal SPaT mesajı ile aynı amacı taşıdığından kontrol kanalı üzerinden 100 ms’de bir gönderilecektir.

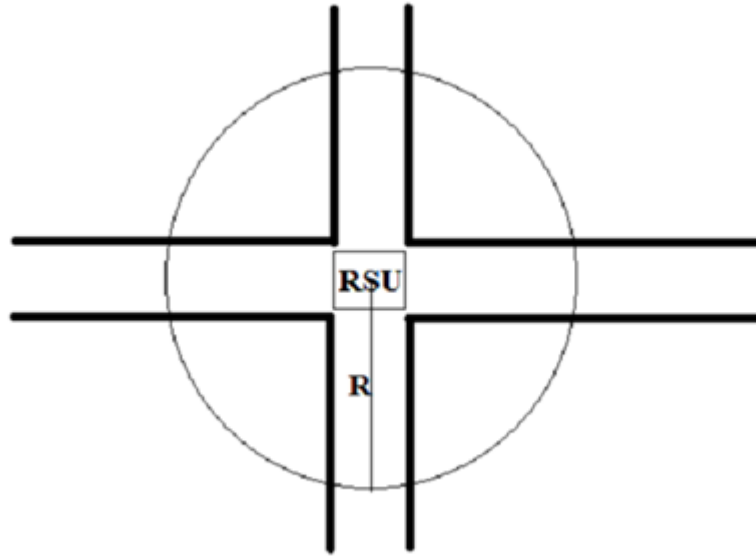


5. BAŞARIM ÖLÇÜTLERİ VE SENARYO SONUÇLARI

Bu bölümde DSRC protokolünün kullanıldığı trafik ışıkları haberleşmesindeki başarımlar ölçütleri incelenmiş ve Bölüm 4’te önerilen yeni mesaj içeriği için bir trafik ışığı senaryosu oluşturulmuştur. Bu incelemelerde tüm araçlar için gönderme (P_t) ve alma (P_r) güçleri eşit kabul edilmiştir. Aynı zamanda MAC katmanının, kanal erişimi için dağıtık eşgüdüm fonksiyonunu (DCF) kullandığı varsayılmıştır. Senaryo sonuçları modülasyondan bağımsız olarak incelenmiş, farklı modülasyon çeşitleri için ne gibi sonuçlar doğuracağı bu tez çalışmasının kapsamı dışında bırakılmıştır.

5.1 Başarım Ölçütleri

Şekil 5.1’de görülen kavşakta trafik ışıkları bilgisini gönderecek olan RSU kavşağın merkez noktasına yerleştirilmiştir. Tezin devamında bu RSU’nun bulunduğu tasarsız taşıt ağının o andaki durumu için maddeler halinde belirtilen varsayımlar yapılarak performans analizi yapılacaktır.

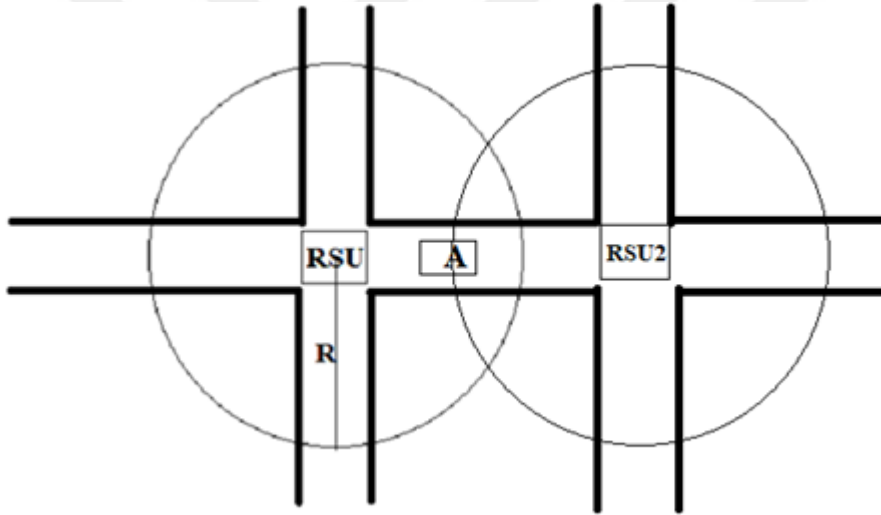


Şekil 5.1 : Performans analizi yapılacak olan örnek kavşak.

- Ağdaki her düğümün iletim mesafesi ve taşıyıcı algılama aralığı aynıdır. Bu mesafeler R ile kilometre cinsinden ifade edilmiştir.

- Her bir düğümdeki veri paketleri Poisson dağılımına göre hazırlanır ve λ ile paket/saniye olarak ifade edilir.
- R yarıçapı içerisinde kanal durumu idealdir. Paket kayıpları paket çakışmalarından dolayı oluşur.
- Her bir iletimde bir paket gönderilir.
- Her bir düğüm M/G/1 kuyruk modeline göre modellenmiştir.

Gizli istasyonlar iletim ağlarında sıklıkla karşılaşılan ve performansı etkileyen faktörlerdir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi A düğümüne yayın yapmak isteyen R iletim mesafesine sahip RSU2 olsun. RSU, A düğümüyle iletişime hazırlanırken RSU2, A düğümüne veri göndermeye çalıştığında gizli istasyon problemiyle karşılaşmış olur. Bu durumda RSU için potansiyel gizli istasyon alanı $[R, 2R]$ olur.



Şekil 5.2 : RSU için gizli istasyon gösterimi.

RSU'nun iletim mesafesindeki araç sayısı N_{tr} ile ifade edilsin. İletim mesafesindeki araç sayısı, β trafik yoğunluğunu göstermek üzere

$$N_{tr} = 1 + 2\beta R \quad (5.1)$$

formülüyle bulunur. Potansiyel gizli istasyon alanındaki araç sayısı N_{ph} ise

$$N_{ph} = 2\beta R \quad (5.2)$$

denklemlerle elde edilir. $N_{tr} - 1$ adet araç veya yol kenarı birimi aynı yarıktaki (slot) iletim yapmaya kalkarsa ağda çakışma olur. Bu çakışma

$$p_{dc} = (1 - (1 - \rho)(1 - p_b))(1 - (1 - \rho\tau)^{N_{tr}-1}) \quad (5.3)$$

denklemiyle hesaplanır. Denklemdaki ρ , M/G/1 kuyruk modelinde kuyruk kullanım faktörünü ifade ederken, τ ise bir düğümün rastgele bir yuvada iletim yapmaya çalışma olasılığını belirtir. p_b ise yeni bir paket ulaştığı anda kanalın meşgul olma olasılığıdır. Bir paketin, iletim mesafesindeki tüm araçlar tarafından alınma olasılığı paket teslim oranı (packet delivery ratio, PDR) olarak ifade edilir. Bu oran

$$PDR = 1 - p_{dc} \quad (5.4)$$

olarak hesaplanır. W , çekişme penceresi (backoff window) boyutu olmak üzere

$$\tau = \frac{1}{\left(\frac{W-1}{2}\right)+1} \quad (5.5)$$

denklemiyle bulunur.

Çizelge 5.1 : Performans analizi için seçilen haberleşme parametreleri.

Parametre	Değer
Trafik yoğunluğu β	100 araç/kilometre
Çekişme penceresi W	16
Kuyruk kullanım faktörü ρ	0,3
Kanalın meşgul olma olasılığı p_b	0,1
Paket oranı λ	10 paket/saniye
Veri hızı	6 Mbps
t_{difs}	64 μs

Çizelge 5.1’de performans analizi için seçilen haberleşme parametreleri verilmiştir.

Bu parametrelere göre RSU’nun iletim mesafesindeki ortalama araç sayısı N_{tr}

$$N_{tr} = 1 + 2\beta R = 1 + 2(100)(0,2) = 41 \quad (5.6)$$

olacaktır. Potansiyel gizli istasyon alanındaki araç sayısı ise

$$N_{ph} = 2\beta R = 2(100)(0,2) = 40 \quad (5.7)$$

olarak hesaplanır. Çakışma olasılığı ise

$$p_{dc} = (1 - (1 - 0,3)(1 - 0,1))(1 - (1 - ((0,3)(0,117))^{41-1})) = 0,2812 \quad (5.8)$$

olduğundan paket teslim oranı

$$PDR = 1 - p_{dc} = 1 - 0,2812 = 0,7188 \quad (5.9)$$

bulunur. Yapılan hesaplamadaki çakışma olasılığı gizli istasyon olmadığı durumlar için geçerlidir. Gizli istasyon olduğu durumlarda paket teslim oranını hesaplamak için iki ayrı durumun göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlardan ilki RSU iletme başladığı anda hiçbir gizli istasyonun iletim durumunda olmamasıdır. Bu durum H_1 olarak ifade edilecektir. İkinci durum ise RSU iletme başladıktan sonra bitirene kadar hiçbir gizli terminalin iletime başlamama durumudur. Bu durum ise H_2 olarak ifade edilecektir. N_{ph} sayıda gizli istasyon aracının λ paket/saniye oranla iletim yaptığı düşünülürse T iletim zamanı olmak üzere tüm mesajların iletilmesi $N_{ph}\lambda T$ kadar zaman alacaktır. Bu mesajlar iletilirken gizli istasyonlar nedeniyle bazı paketlerde çakışmalar olacaktır. p_{dc} çakışma olasılığı olmak üzere $N_{ph}\lambda p_{dc}$ üst üste binen paket sayısı olacaktır. Üç veya daha fazla paket içeren iletimlerde çakışma olmadığı varsayılırsa [9] H_1 durumunun oluşma olasılığı

$$P(H_1) = 1 - N_{ph} \lambda T (1 - p_{dc}/2) \quad (5.10)$$

şeklinde hesaplanır.

H_2 , gizli istasyonların herhangi birinin $t_{data} - t_{difs}$ periyodunda bir paket üretmeme durumunu içerir. Bu durumun olasılığı

$$P(H_2) = e^{-\lambda N_{ph}(t_{data} - t_{difs})} \quad (5.11)$$

denklemleriyle bulunur. Denklemlerdeki t_{data} iletim zamanını, t_{difs} DIFS (distributed inter-frame space) periyodunu ifade eder. Gizli istasyon durumları da hesaba katıldığında çakışma olasılığı

$$p_c = 1 - (1 - p_{dc}) \cdot P(H_1) \cdot P(H_2) \quad (5.12)$$

paket teslim oranı ise

$$PDR = 1 - p_c \quad (5.13)$$

olarak hesaplanır.

WAVE protokolüne göre hazırlanmış bir paketin iletim zamanı olan T , iletim gecikmesi, yayılım gecikmesi ve DIFS periyodunun toplamına eşittir. Paketin iletim gecikmesi

$$\text{iletim gecikmesi} = \frac{\text{paket boyutu}}{\text{veri iletim hızı}} \quad (5.14)$$

ile bulunur. Yayılma gecikmesi ise

$$yayılma\ gecikmesi = \frac{iletilecek\ mesafe}{yayılma\ hızı} \quad (5.15)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Şekil 5.1’de verilen kavşak senaryosunda trafik ışıkları için sekiz durum olduğu varsayılın. Bu sekiz durum için üretilecek olan “extended_SPAT” mesajı denklem 4.1’de verildiği üzere

$$4 + (20 \cdot (kavşaktaki\ durum\ sayısı)) = 4 + (20 \cdot 8) = 164\ byte \quad (5.16)$$

olacaktır. Çizelge 5.1’de verilen haberleşme parametreleri 29 byte sabit başlıkla (header) değerlendirildiğinde

$$iletim\ gecikmesi = \frac{paket\ boyutu}{veri\ iletim\ hızı} = \frac{(164+29) \cdot 8}{6 \cdot 10^6} = 257,33\ \mu s \quad (5.17)$$

$$yayılma\ gecikmesi = \frac{iletilecek\ mesafe}{yayılma\ hızı} = \frac{200\ m}{2 \cdot 10^8\ m/s} = 1\ \mu s \quad (5.18)$$

olarak hesaplanır. Bu bilgilerden yararlanarak H_1 durumunun olasılığı

$$P(H_1) = 1 - N_{ph} \lambda T \left(1 - \frac{p_{dc}}{2}\right) = 1 - 40 \cdot 10 \cdot 322,33 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{0,2812}{2}\right) = 0,89 \quad (5.19)$$

H_2 durumunun olasılığı

$$P(H_2) = e^{-\lambda N_{ph}(t_{data} - t_{difs})} = e^{-10 \cdot 40 \cdot (322,33 - 64) \cdot 10^{-6}} = 0,90 \quad (5.20)$$

olarak bulunur.

Gizli istasyonlar hesaba katıldığında çakışma olasılığı

$$p_c = 1 - (1 - p_{dc}) \cdot P(H_1) \cdot P(H_2) = 1 - (1 - 0,2812) \cdot (0,89) \cdot (0,90) = 0,42 \quad (5.21)$$

paket teslim oranı

$$PDR = 1 - p_c = 1 - 0,42 = 0,58 \quad (5.22)$$

olarak elde edilir.

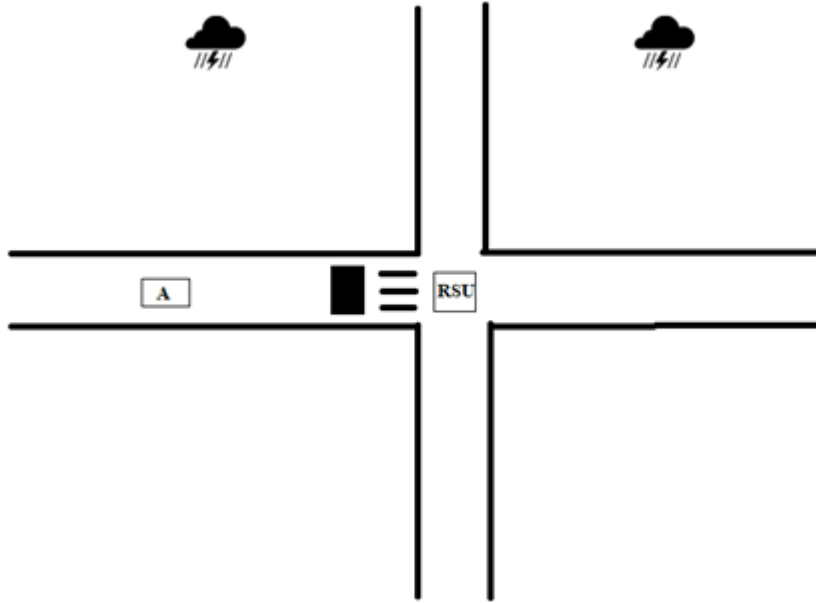
Paket teslim oranı haberleşmenin güvenilirliğini ortaya koyar. Bir uygulamanın güvenilirliği ise [10]

$$P_{uygulama} = 1 - (1 - PDR)^N \quad (5.23)$$

ile hesaplanır. Denklemden N ifadesi, t tolerans zamanında gönderilen mesajların sayısını ifade eder. Tolerans zamanı aracın hızına ve kavşağa gelmeden durabileceği güvenli mesafeye göre hesaplanır. Aracın bu zaman içerisinde istenilen mesajı alması gerekir. Aksi durumda uygulama başarısız olur.

5.2 Bir Trafik Işığı Senaryosu

Şekil 5.3'te görülen kavşağa A aracının 90 km/sa hızla yaklaştığı varsayalım. Kavşaktaki trafik ışıkları için sekiz durum olduğu ve haberleşme parametreleri olarak Çizelge 5.1'deki parametrelerin kullanıldığı kabul edilsin. Yayın yapan RSU'nun yaya geçidine olan uzaklığı 10 metre, iletim mesafesi 200 metre olarak düşünülün. Senaryonun analizi yağışlı havaya göre yapılacaktır. RSU, tez çalışmasında önerilen "extended_SPAT" mesajını 100 ms aralıklarla göndermektedir.



Şekil 5.3 : Trafik ışığı senaryosunda kullanılacak kavşak.

Saatte 90 km/sa hızla giden bir aracın yağışlı havada tamamen durma mesafesi 120 metreye kadar çıkabilir [11]. Bu durumda A aracı

$$\text{iletim mesafesi} - \text{yaya geçidine uzaklık} - \text{durma mesafesi} = 200 - 10 - 120 = 70 \text{ metre} \quad (5.24)$$

içerisinde "extended_SPAT" mesajını almalıdır ki güvenli bir şekilde yaya geçidine gelmeden durabilsin. Çizelge 5.2'de bir sinyal faz ve zaman mesajına etkileyen gecikme faktörleri verilmiştir [12].

Çizelge 5.2 : SPaT mesajını etkileyen gecikme faktörleri.

Gerçekleşen Olay	Gerçekleştiği Yer	Geçen Zaman
Mesajın üretilmesi	İşlemci	12 ns
Modeme gönderilmesi	İşlemci	180 ns
MAC katman gecikmesi (MAC access delay)	Verici	Trafik yoğunluğuna bağlı
İletim gecikmesi (193 byte veri)	Verici	257,33 µs
Yayımla gecikmesi	RF yayılma	1 µs (@ 200 m)
DIFS	Verici	64 µs
Mesajın alınması ve demodülasyonu	Alıcı	10 ns
Mesajın tanınıp ilgili işlemciye iletilmesi	İşlemci	40 ns
Mesajın yorumlanıp ilgili birime iletilmesi	İşlemci	120 ns

Çizelge 5.2'deki insan tepkisi, sürücü fren yapmadan önceki tepki süresidir. Bu süre içerisinde araç

$$90 \text{ km/sa} = 25 \text{ m/s} \quad (5.25)$$

$$\frac{25 \text{ m}}{\text{s}} \cdot 2 \text{ s} = 50 \text{ m} \quad (5.26)$$

yol alır. Tepki süresi boyunca araç ilerleyeceğinden “extended_SPAT” mesajını bu 50 metre içerisinde almak, araç açısından birşey ifade etmeyecektir.

$$70 - 50 = 20 \text{ metre} \quad (5.27)$$

Bu durumda aracın güvenli bir şekilde tamamen durabilmesi için 20 metre içerisinde RSU'dan gelen mesajı alması gerekir. RSU'dan çıkan mesaj Çizelge 5.2'de verilen gecikmelere maruz kalır. 100 araç/km trafik yoğunluğu için MAC katman gecikmesi 35 ms alınmıştır [13]. Bu gecikmelerle birlikte 100 ms iletim periyodu süresince araç

$$\left(25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot (155,322 \cdot 10^{-3} \text{ s}) = 3,88 \text{ metre} \quad (5.28)$$

yol alır. A aracının 20 metre içerisinde “extended_SPAT” mesajını alması için

$$N = \frac{20}{3.88} \approx 5$$

hakkı vardır. Bu durumda t tolerans zamanında gönderilebilecek mesaj sayısı

$$N = 5$$

olarak bulunmuş olur. Bölüm 5.1’de bulunan paket teslim oranı bu kavşak için de kullanılırsa uygulama başarı oranı

$$P_{uygulama} = 1 - (1 - PDR)^N = 1 - (1 - 0.58)^5 = 0,987 \quad (5.29)$$

olarak elde edilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde 2016 yılı içerisinde 1.182.491 adet trafik kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların %89,6'sı sürücü %8,7'si yaya kaynaklıdır [14]. Sadece bu veriler bile dünyada ve ülkemizde akıllı ulaşım sistemlerinin neden giderek önem kazandığını açıklamaya yetmektedir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların tümü trafiğin daha güvenli ve konforlu bir şekilde sağlanmasına katkıda bulunmak içindir. Bu bağlamda bir kavşakta bulunan trafik ışıkları için DSRC protokolüyle haberleşen bir sistem önerilmiştir.

Önerilen sistemdeki mesaj içeriği SAE J2735 sözlüğünden referans alınmış ve daha hassas bilgi sağlayabilmek adına genişletilmiştir. İlerleyen çalışmalarda, önerilen mesaj içeriğindeki bilgiler referans alınarak çevresel ve aracın fiziksel koşullarına göre aracın optimum hızı hesaplanabilir. Aracın dur kalk sayısı en aza indirgenerek verimliliğin artırılması sağlanabilir ve hatta buna bağlı olarak karbon emisyonun azalma oranı incelenebilir.

Önerilen sistemin uygulama başarımları oranı kötü hava koşullarında bile 0,987 olarak hesaplanmış ve güvenlik uygulamaları için önerilen 0,99 başarımları oranı neredeyse sağlanmıştır. Sistemin ön plana çıkan iki limiti bulunmaktadır. Bunlardan ilki, önerilen mesaj içeriğinin yeni bir isimle tanımlanmasından dolayı var olan WAVE modüllerinde çözümlenemeyecek olmasıdır. Bu durum trafikte kurulmuş vaziyette bulunan birimlere yazılım güncellemesi yapılarak aşılabilir. Sistemin belirgin diğer limiti ise yalnızca önceden zamanlanmış trafik ışıkları için geçerli olmasıdır. Trafik ışık sürelerinin dinamik olarak değiştiği adaptif trafik ışıkları bu çalışmanın kapsamının dışında bırakılmıştır. İlerleyen çalışmalarda sistem adaptif trafik ışıkları özelinde incelenip geliştirilebilir.

Tez kapsamında yapılan performans analizlerinde kanalın meşgul olma olasılığı, kuyruk kullanım faktörü gibi bazı parametreler gerçekleştirilmiş uygulamalardan yararlanılarak seçilmiş, özel olarak hesaplanmamıştır. Aynı şekilde iletim mesafeleri tüm araçlar için aynı kabul edilmiş, alıcı-verici modüllerin gücü özel olarak hesaba katılmamıştır. Bunlara ek olarak başarımları ölçütleri, kullanılan modülasyon türlerine

göre ayrı olarak incelenememiştir. WAVE standartlarında kullanılan modülasyon türleri ise bölüm 3.4.4'te anlatılmıştır. İlerleyen çalışmalarda performans analizleri daha detaylı yapılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Bhover, S. U., Tugashett, A. ve Rashinkar, P.** (2017). V2X Communication Protocol in VANET for Co-Operative Intelligent Transportation System, International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA 2017).
- [2] **Morgan, Y. L.** (2010). Notes on DSRC & WAVE Standards Suite: Its Architecture, Design, and Characteristics, IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol. 12, No. 4, Fourth Quarter 2010.
- [3] **Zhou, B., Jiannong, C. ve Wu H.** (2011). Adaptive Traffic Light Control of Multiple Intersections in WSN-based ITS.
- [4] **Yeasmin, N., Zaman, R. ve Mouri, I. J.** (2016). Traffic Control Management and Road Safety Using Vehicle to Data Transmission Based on LI-FI Technology, International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology (IJCEIT), Vol.6, No.3/4.
- [5] **Katsaros, K., Kernchen, R., Dianati, M. ve Rieck, D.** (2011). Performance study of a Green Light Optimized Speed Advisory (GLOSA) Application Using an Integrated Cooperative ITS Simulation Platform.
- [6] **Lebre, M., Mouel, F., Menard, E., Garnault, A., Bradai, B. ve Picron V.** (2015). Real scenario and simulations on GLOSA traffic light system for reduced CO2 emissions, waiting time and travel time, 22nd ITS World Congress, Bordeaux, France.
- [7] SPaT Implementation Guidance Version 1.0 (2016) National Connected Vehicle SPaT Deployment Challenge Implementation Guidance
- [8] **SAE International.** (2010) DSRC Implementation Guide A guide to users of SAE J2735 message sets over DSRC
- [9] **Hassan, M.I., Vu, H.L. ve Sakurai, T.** (2011). Performance Analysis of the IEEE 802.11 MAC Protocol for DSRC Safety Applications, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 60, NO. 8
- [10] **Azimi, R.** (2015) *Co-operative Driving at Intersections using Vehicular Networks and Vehicle-Resident Sensing* (Doctoral dissertation). Retrieved from <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=dissertations>
- [11] *DURMA MESAFELERİ.* (2017). Retrieved November 10, 2017, from <http://www.tutev.org/Icerik.asp?SayfaID=62>
- [12] **U.S. Department of Transportation.** (2011) SIGNAL PHASE AND TIMING (SPAT) APPLICATIONS, COMMUNICATIONS

REQUIREMENTS, COMMUNICATIONS TECHNOLOGY
POTENTIAL SOLUTIONS, ISSUES AND RECOMMENDATIONS,
Final Report — April 3, 2012,

- [13] **Yao, Y., Rao, L., Liu, X. ve Zhou, X.** (2013). Delay Analysis and Study of IEEE 802.11p based DSRC Safety Communication in a Highway Environment, 2013 Proceedings IEEE INFOCOM.
- [14] **TUIK.** (2017, Haziran 21). Karayolu Trafik İstatistikleri,2016. Sayı: 24606. Retrieved from <http://www.tuik.gov.tr/PdfGetir.do?id=24606>



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Begüm Özyılmaz
Doğum Tarihi ve Yeri : 02/02/1991, İzmir
E-posta : begum.ozyilmaz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fakülte, Bölüm
- **Yükseklisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015 - P.I.WORKS