

V2X Haberleşmesinin ADAS Senaryoları Üzerindeki Etkisi: Anahtar Performans Göstergelerinin Analizi

Impact of V2X Communication on ADAS Scenarios: Analysis of Key Performance Indicators

Harun Kutucu¹, Ufuk Bolat¹, Hakan Yılmaz¹, Namık Zengin¹

¹AVL Research and Engineering
Istanbul, Turkey

{harun.kutucu,ufuk.bolat,hakan.yilmaz,namik.zengin}@avl.com.tr

Özetçe

Bağlantılı sistemler ve akıllı ulaşım teknolojileri trafik güvenliğini artırma, trafik akışını optimize etme ve sürüş deneyimini iyileştirme gibi konularda önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerin tasarımında V2X iletişimi de son dönemde bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. V2X, araçların diğer araçlarla, yol kenarı altyapısıyla ve yayalarla gerçek zamanlı bilgi alışverişi yapmasına olanak tanır, ve bu sayede işbirliğine dayalı farkındalığı ve proaktif karar alma süreçlerini kolaylaştırır. Bu çalışmada, V2X iletişiminin, İşbirlikçi Farkındalık Mesajı (CAM) ve Basit Güvenlik Mesajı (BSM) gibi çeşitli mesajların dağıtımındaki rolü anlatılmaktadır. 802.11p ve C-V2X olmak üzere iki farklı iletişim protokolü ele alınarak, 802.11p protokolünün senaryolar üzerindeki performansı analiz edilmiştir. Bu protokollerin etkinliğini değerlendirmek için ağ konfigürasyonları ns-3 programında uygulanarak, SUMO programı aracılığıyla oluşturulan yol birleşim ve park senaryoları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Devamında, herhangi bir Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri (ADAS) senaryosuna uygun olacak şekilde 802.11p protokolü kullanılarak konfigüre edilebilen bir ağ simülatörü oluşturulmuş ve V2X simülasyonları gerçekleştirilerek belirlenen anahtar performans göstergelerine (KPI) göre sistemin haberleşme performansı farklı senaryolarda incelenmiştir. Bunun yanında, haberleşme gecikmesinin iletilen konum bilgileri üzerindeki etkisi esmini programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Abstract

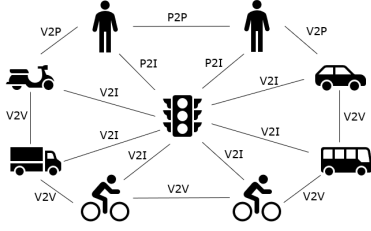
Connected systems and intelligent transportation technologies play an important role in increasing traffic safety, optimizing traffic flow and improving the driving experience. V2X communication has recently emerged as a solution in the design of these systems. V2X allows vehicles to exchange real-time information with other vehicles, roadside infrastructure and pedestrians, facilitating collaborative awareness and proactive decision-making. This paper describes the role of V2X communication in the distribution of various messages such

as the Cooperative Awareness Message (CAM) and the Basic Safety Message (BSM). Two different communication protocols, 802.11p and C-V2X, are considered and the performance of 802.11p protocol over the scenarios are analyzed. In order to evaluate the effectiveness of these protocols, network configurations were implemented in ns-3 and simulations were performed for road convergence and parking scenarios which are created through SUMO. Subsequently, a network simulator that can be configured using the 802.11p protocol to suit any Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) scenario was created and V2X simulations were performed to analyze the communication performance of the system in different scenarios according to the key performance indicators (KPIs). Additionally, esmini software was used to examine the impact of communication latency on the transmitted position information.

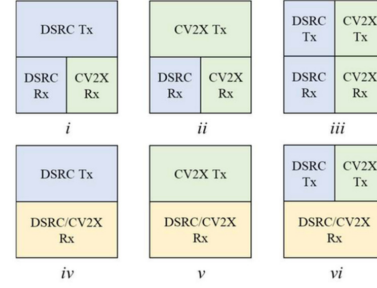
1. Giriş

Akıllı ulaşım sistemleri, araçlardan ve yol kenarı birimlerinden güncel ve gerçek zamanlı gözlemsel bilgileri kullanarak karayolu trafiğinin ve hava durumu hizmetlerinin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu hizmetler yalnızca seyahatte kolaylık sağlamakla kalmaz, aynı zamanda trafik güvenliğini arttırmakta da oldukça önem arz etmektedir [1]. Ayrıca toplanan gerçek zamanlı bilgiler, tehlikeli durumlara ilgili uyarıların oluşturulabilmesi için, İşbirliğine Dayalı Akıllı Taşımacılık Sistemi (C-ITS) adı verilen ortak bir araç platformu kullanılarak, uyarı mesajlarını araçlara gönderilebilir. C-ITS sistemi araç bilgilerini (hız, konum, güvenlik mesajları vs.), diğer araçlar ve yol altyapısı arasında işbirlikçi bir şekilde paylaşır. Kullanılan bu mimari, trafik kazalarından kaynaklanan ölümleri kritik ölçüde azaltmaktadır [2].

Şekil 1'de C-ITS mimarisinde kullanılan çeşitli iletişim türleri gösterilmiştir. Bunlar; araçtan araca (V2V), araçtan altyapıya (V2I), araçtan yayaya (V2P), yayadan yayaya (P2P) ve yayadan altyapıya (P2I). V2X kavramı, araçların çevresindeki diğer araçlarla, altyapıyla (yol işaretleri, trafik ışıkları, vs.), yayalarla ve diğer iletişim cihazlarıyla (akıllı telefonlar, akıllı ev cihazları vs.) iletişim kurabildiği bir teknoloji alanını ifade eder. V2X güvenlik uygulamalarının etkili olabilmesi için, güvenlikle ilişkili olan CAM mesajlarının, yarı çift yönlü yayın ile-



Şekil 1: C-ITS mimarisi



Şekil 2: V2X hibrit mimariler [10]

tişimleri yoluyla 150 – 300 m aralığında ve en fazla 100 ms’de iletilmesi ve alınması gerekmektedir [3].

Literatürdeki V2X uygulamaları için, 802.11p ve C-V2X olmak üzere, iki farklı iletişim protokolü bulunmaktadır. 5G iletişim standartlarını kullanan C-V2X daha uzun mesafelerde iletişim olanağı sağlarken, 802.11p ise daha kısa mesafelerde daha güvenli iletişim için kullanılmaktadır [4]. Yol güvenliğini iyileştirmeye yönelik uygulamalar, çarpışma uyarısı ve acil olay bilgilendirmesi gibi durumlarda 802.11p protokolü uygulanmaktadır [5, 6]. LTE ağı kullanılarak yapılan ilk V2X uygulamaları 2015’ten beri 3GPP 14. yayını baz alınarak uygulanmaktadır [7]. İlgili yayında V2X çoğunlukla, CAM, BSM veya Dağıtılmış Çevresel Bildirim Mesajı (DENM) gibi temel yol güvenliği hizmetleri ve veri taşıma hizmeti sağlamak için kullanılmaktadır. Araç grubu oluşturma (platooning), ileri sürüş gibi uygulamalar içeren V2X senaryolarını desteklemek için sonraki yıllarda [8] çeşitli geliştirmeler dahil edilmiştir [9].

Dolayısıyla günümüzde V2X alanında 802.11p, C-V2X kullanılmakta, bazı uygulamalarda ise göndericiden çıkan ve alıcıya iletilen mesajların farklılaşması özelinde hibrit mimariler de ortaya çıkmaktadır [10]. Literatürde her iki protokol kullanılarak yapılan farklı çalışmalar da [11] bulunmaktadır. İşbirlikçi farkındalık için 802.11p ve C-V2X arasındaki performans karşılaştırması da spesifik senaryolar için incelenmiştir [12]. Araçtan her şeye ve kısa mesafe iletişiminin karşılaştırılıp [13] iki protokolün birbiri arasındaki farklar analiz edilmiştir. V2X protokolleri kullanımı sırasında araçtan araca gönderilen BSM çıktıları için, C-V2X ve 802.11p protokollerinin performans analizi yapılmıştır [14]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde her iki teknolojinin performans çıktıları, tek bir V2X protokolünün çeşitli C-ITS kullanım durumlarının gereksinimlerini karşılayamayacağını göstermektedir [15]. Bu yüzden hibrit mimari yapıları kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 2’de örnek hibrit mimari yapıları gösterilmiştir. Buraya göre, göndericinin yolladığı mesajlar farklı protokollerle yollanabildiği gibi, alıcılar da mesajları farklı protokollerle veya hibrit yapıda alabilmektedir.

Bu bilgilerden yola çıkıldığında iletilen mesajların kalitesinin protokollere bağlı olarak değişebildiği bunun da V2X tabanlı sistemlerin performansını etkilediği söylenebilir. Haberleşme performansının simülasyon ortamında incelenebilmesi için bu çalışmada SUMO [16], ns-3 [17] ve esmini [18] programları kullanılmıştır. Bu programların ücretsiz bir şekilde kullanıma açık olmaları, kapsayıcı dokümantasyonlarının olması ve daha önce V2X projelerinde kullanılmış olmaları, bu projede kullanılmalrı için temel motivasyonu oluşturmuştur. SUMO, kullanım kolaylığı ile ön plana çıkarken, ns-3 gerek karma-

şık yapısı gerekse V2X özelinde hazırlanmamış olması sebebi ile zorlayıcı olabilmektedir. esmini ise senaryo dosyalarının simülasyonunda kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen V2X simülasyonları sonrasında ise, sonuçları değerlendirmek için çeşitli KPI’lar kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak mesafe, gecikme, veri hacmi [19], uyarı alma oranı, kanal yoğunluk durumu [20] ve paket hata oranı, sinyal-gürültü oranı [21] verilebilir.

Bu çalışmada, öncelikle belirlenen ADAS senaryoları için ilgili kullanım senaryoları oluşturulmuş ve devamında bu kullanım senaryolarının koşulları dikkate alınarak V2X gereksinimleri oluşturulmuştur. Sonraki aşamada SUMO kullanılarak yol ve trafik koşulları senaryolara adapte edilmiş ve ns-3 programıyla entegrasyon sağlanmıştır. Son olarak ns-3 ortamında haberleşme ağının davranışı incelenmiş ve haberleşme ağının performans etkisi esmini simülasyonlarıyla değerlendirilmiştir. ns-3 çıktılarından özellikle paket iletim oranı ve gecikme gibi KPI değerleri için farklı senaryo yapılarında performans değişimi gözlenmesinin nedenleri de incelenmiştir.

Çalışmanın sonraki kısımlarında öncelikle Bölüm 2’de genel durumda kullanılan V2X protokollerinden bahsedilmiş ve devamında problemin tanımlanması ve gereksinimlerin oluşturulması Bölüm 3’te anlatılmıştır. Daha sonra sırasıyla Bölüm 4 ve 5’te simülasyon çalışmalarından bahsedilmiş ve çıktılar analiz edilmiştir. Son bölümde ise sonuç kısmı ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. V2X Protokolleri

Güncel durumda kısa mesafe için 802.11p ve daha uzun mesafeler için C-V2X olmak üzere iki haberleşme protokolü bulunmaktadır. 802.11p ile genel olarak daha kısa mesafede, daha az gecikmeli haberleşme sağlanabilirken, daha az verinin yüksek doğrulukla paylaşılmasına olanak sağlanmaktadır. Diğer yandan C-V2X daha yeni bir teknoloji olmakla birlikte, daha geniş alanlarda kullanılabilirken aynı zamanda daha fazla veri alışverişini de mümkün kalmaktadır ancak beklendiği üzere mesaj iletimindeki gecikme seviyeleri artmaktadır [22].

2.1. 802.11p Protokolü

802.11p, V2X çalışmalarında kullanılan kablosuz bir iletişim protokolüdür. Araçlar arasında kısa menzilli (yaklaşık 1 km’ye kadar [23]) ve yüksek hızlı veri transferini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. 802.11p, IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) 802.11 standardı kapsamında özel olarak araç-

lar arası iletişim için oluşturulmuştur [24]. Araçlar, diğer araçlarla, yayalarla, trafik işaretleriyle ve diğer altyapı unsurlarıyla iletişim kurarak güvenli ve verimli bir yolculuk sağlamak için 802.11p'yi kullanır. Trafik kazalarını azaltma, trafik yönetimini geliştirme, otonom araçları koordine etme ve yolculara daha iyi bilgi ve eğlence sağlama gibi çeşitli uygulamaları destekler. 802.11p, 5.9 GHz frekans bandında çalışır ve özel olarak trafik yönetimi ve güvenliği için ayrılmış bir banttır. Kısa mesafeli olması, araçların birbirleriyle hızlı ve güvenli bir şekilde iletişim kurmasını sağlar. KPI değerlendirmelerinde, bu çalışmada 802.11p protokolü kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

2.2. C-V2X Protokolü

C-V2X teknolojisi daha uzun mesafeler için geçerli bir protokol olmasının yanında 802.11p protokolüyle kıyaslandığında, daha geniş kapsama alanı ve daha iyi iletişim kapasitesi sunar [25]. Sonraki çalışmalarda C-V2X ve hibrit protokollerin de performansı incelenecek ve 802.11p ile edilen çıktılarla karşılaştırılacaktır.

3. Problemin Tanımlanması ve Gereksinimlerin Oluşturulması

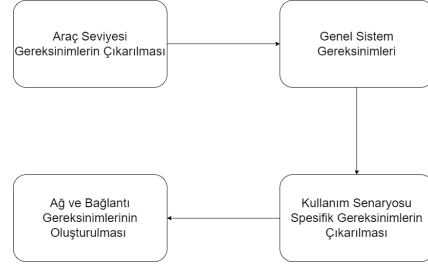
3.1. Kullanım Senaryolarının Tanımlanması

V2X kullanım senaryoları, güvenliğe, trafik verimliliğine ve bilgi-eğlence hizmetlerine odaklanır. Bunun için temel işlev ve performans gereklilikleri Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü Akıllı Taşıma Sistemleri (ETSI) tarafından tanımlanmıştır [26]. Bu kullanım senaryoları uyarı vermek ve çevresel farkındalığı arttırmak amacıyla periyodik olarak CAM ve DENM mesajlarını 1 Hz'lik bir frekansla yayınlamak için olası kaza durumları için sürücülerini uyarırlar. V2X kullanım senaryoları, parametreler ve servisler göz önünde bulundurularak 3GPP standartında tanımlanmışlardır [27]. Bu senaryolar için maksimum tolere edilebilir gecikme 100 ms ve paket kabul oranı %95 civarında olmalıdır.

Yukarıda anlatılanlar gözönünde bulundurularak, yol birleşim ve park senaryoları SUMO ortamında oluşturulmuştur [16]. Senaryonun hedefi, senaryodaki aktörler, ön koşul, son koşul ve tetikleyici olaylar gözönünde bulundurularak kullanım senaryoları ve olası diğer senaryolar türetilmiş ve devamında kullanım senaryolarındaki değişkenler parametrik olarak tanımlandıktan sonra, farklı değerler kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

3.2. Gereksinimlerin Oluşturulması

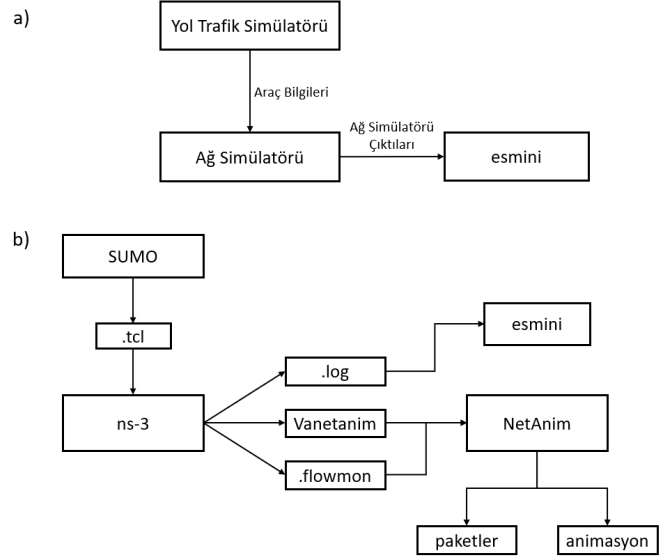
Sistem mühendisliği yaklaşımlarında bilindiği üzere kullanım senaryoları tanımlandıktan sonra sistem seviyelerine göre gereksinimler oluşturulmaktadır. Bu aşamada da sistem davranışı ve V2X haberleşmesi ile ilgili gereksinimler oluşturulmuş ve buna bağlı olarak gereksinimlerin sağlanıp sağlanmadığı simülasyon aşamasından sonra gözlemlenmiştir. Gereksinimlerin oluşturulma akışı Şekil 3'te gösterilmiştir. Araç seviyesi gereksinimleri oluşturulduktan sonra sistem gereksinimlerine geçilmiş ve devamında V2X haberleşmesi ile ilgili ağ ve bağlantı gereksinimleri ETSI ITS [26] göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.



Şekil 3: Gereksinimlerin çıkarılması

4. Simülasyon Çalışmaları

Simülasyon çalışmalarında yol trafik simülatörü olarak SUMO, ağ simülatörü olarak ns-3 ve V2X haberleşmesinin araçların konumlarına olan etkilerini analiz etmek için de esmini kullanılmıştır. Kullanım senaryoları ve gereksinimlerin oluşturulmasının ardından belirlenen park ve yol birleşim senaryoları SUMO ve ns-3 ortamlarına adapte edilmiştir. Şekil 4'te bu süreçteki akış şeması gösterilmektedir. İlk olarak belirlenen kullanım se-



Şekil 4: Simülasyon Akışı : a) Genel görünüm b) NetAnim dahil görünüm

naryolarının oluşturulması için SUMO kullanılarak belirlenen yol ve trafik yapısı oluşturulmuştur. SUMO'dan alınan hız ve konum bilgileri V2X haberleşmesini gerçekleştirmek için ns-3'e aktarılmış ve devamında SUMO'da oluşturulan senaryolarındaki haberleşme, ns-3 programıyla simüle edildikten sonra haberleşme çıktılarını içeren bir dosya elde edilmiştir. Ek olarak, haberleşmenin görsel olarak takibini yapmak için ns-3'ün grafik kullanıcı arayüzü NetAnim kullanılmıştır. ns-3'ten elde edilen vanetanim ve flowmon isimli dosyalar ile haberleşmeye dair bilgiler NetAnim'e aktarılıp, haberleşmenin görsel simülasyonu takip edilebilir. Son olarak haberleşme çıktılarına bağlı olarak kullanım senaryoları esmini ortamına aktarılmış ve V2X haber-

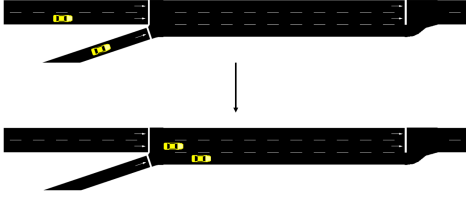
leşme performansının araç konumlarına etkisi incelenmiştir.

5. Simülasyon Çıktılarının Analiz Edilmesi

Bu bölümde sırasıyla yol birleşim ve park senaryolarında ns-3 simülasyonları gerçekleştirilerek 802.11p protokolünün V2X mesajlarının iletilmesindeki performansı değerlendirilmiştir.

5.1. Yol Birleşim Senaryosu

Yol birleşim senaryosu, trafikte de sıkça karşılaşılan ana yola bağlanma senaryolarını ifade eder. Yolun sağ tarafından yola katılacak olan aracın, katılacağı şeritte seyir halinde olan araçla iletişimde olması, buna bağlı olarak da kendi şeridinde seyir halinde olan hedef araca yola bağlanma isteğini bildirmesi gerekmektedir. Şekil 5'te yol birleşim senaryosunda yer alan iki araç SUMO ortamında görülmektedir. Bu senaryoda, yola katılacak olan ana aracın, bu bilgiyi, belirlenen gereksinimlere göre bildirmesi ve haberleşme protokolünün bunu desteklemesi beklenmektedir.



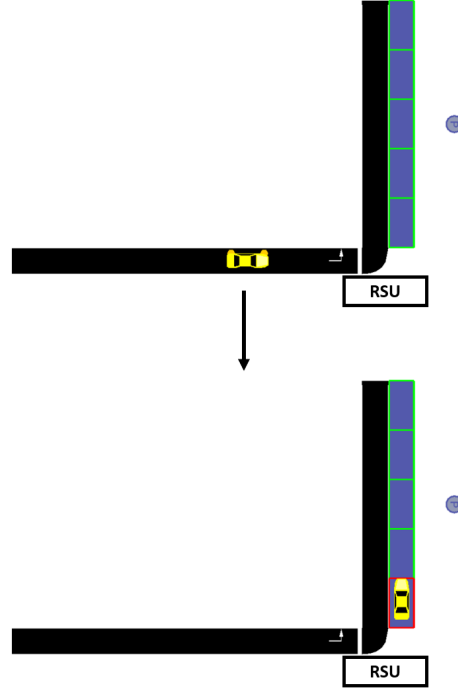
Şekil 5: Yol birleşim kullanım senaryosunun gösterimi

5.2. Park Senaryosu

Park senaryosunda ise V2X kullanımındaki amaç, park bölgesine giriş halinde olan araçlara uygun park slotu bilgilerinin iletilmesini sağlamaktır. Yol birleşim senaryosu ile kıyaslandığında güvenliyse daha çok sürüş konforuna etki etmektedir. Şekil 6'da park bölgesine giren bir araç ile park bölgesinde yer alan uygun park alanlarını bildiren Alıcı-Verici Ünitesini (RSU) gösteren bir park senaryosunun SUMO ortamındaki görünümü verilmiştir.

5.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi

Üst kısımda açıklanan yol birleşim senaryolarının ns-3 çıktıları, belirlenen KPI'lara göre karşılaştırılmıştır. Tablo 1'de park senaryosu ile yol birleşim senaryolarının ns-3 ortamındaki çıktılarının yollanan, alınan, kayıp paket, verimlilik ve gecikme metriklerine göre performansı incelenmiştir. Her iki simülasyon da araç sayısının iki olduğu koşulda gerçekleştirilmiş ve yollanan paketlerde kayıp görülmemiştir. Verimlilik seviyeleri de hemen hemen aynı iken, mesaj gecikme seviyelerinde fark gözlemlenmektedir. Yol birleşim senaryosunda gecikmenin fazla olması, senaryonun belirli anlarında araçlar arasındaki mesafenin, park senaryosuna göre daha fazla olmasıyla ilişkiliyken, yollanan paket sayısı arasındaki farkın sebebi ise simülasyon süresine bağlıdır. Bunlara ek olarak, yollanan paket sayısında kayıp olmaması, senaryolardaki araçlar arasında mesafenin 802.11p protokolünün sınırları içinde olduğunun da göstergesidir. Özetle,



Şekil 6: Park kullanım senaryosunun gösterimi

park senaryosu ile yol birleşim senaryoları arasında toplam paket teslim oranı %100 olarak eşit olsa da, toplam gönderilen paket oranları, gecikme gibi faktörlerde farklılıklar görülmektedir.

Sonraki aşamada Tablo 2'de ise yol birleşim senaryosunda araç sayısının artırılmasının simülasyon sonuçları üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. İki aracın yer aldığı ilk senaryoda paket teslim oranı %100 olarak tespit edilmiştir. Araç sayısı dörde çıkarıldığında paket teslim oranı %100 olmaya devam etmesine rağmen gecikme değerinin yaklaşık üç kat arttığı görülmektedir. Araç sayısındaki artışa rağmen RSU paketleri başarılı şekilde göndermeye devam etmiş ancak RSU ve araç kanalları üzerinde yoğunluğunun artması sebebiyle gecikme artmıştır. Devamında yol birleşim senaryosunda araç sayısının sırasıyla sekiz ve on altıya çıkarıldığı senaryolarda da araçlarının yarısı ana yolda, diğerleri ise yan yolda kalmaya devam etmiştir. Bu senaryoların sonucunda görüldüğü üzere araç sayısı arttıkça paket teslim oranı düşmüş olup aynı zamanda gecikme süresi de daha yüksek oranda artmıştır. Bunun sebebi olarak dört araç senaryosunda da vurgulandığı üzere gecikmedeki temel sebep RSU ve araçlar arasındaki haberleşmede kullanılan haberleşme kanalları üzerindeki yoğunluktur. Araç sayısının sekiz ve on altıya çıkarıldığı durumlarda paket teslim oranının önemli ölçüde düşmesinin sebebi ise araç sayısı arttıkça araçlar arası mesafenin, haberleşme sırasındaki kompleksliğin ve iletişim kanalındaki yoğunluğun artmasıdır.

5.4. Esmini Simülasyonlarının Analizi

Son kısımda ise ağ simülatöründen toplanan KPI'ların senaryolar üzerindeki etkisinin incelenmesi için öncelikle esmini ortamında senaryolar oluşturulmuş, sonrasında ise bilginin geç

Tablo 1: Park ve Yol Birleşim Senaryolarının Kıyaslanması

Senaryo	Yollanan Paketler	Alınan Paketler	Kayıp Paketler	Kayıp Oranı [%]	İletim Oranı [%]	Verimlilik [kpbs]	Gecikme [ns]
Park	119	119	0	0	100	2.8993	3.71e07
Yol Birleşim	147	147	0	0	100	2.8947	4.49e07

Tablo 2: Yol Birleşim Senaryolarının Araç Sayısına Göre Kıyaslanması

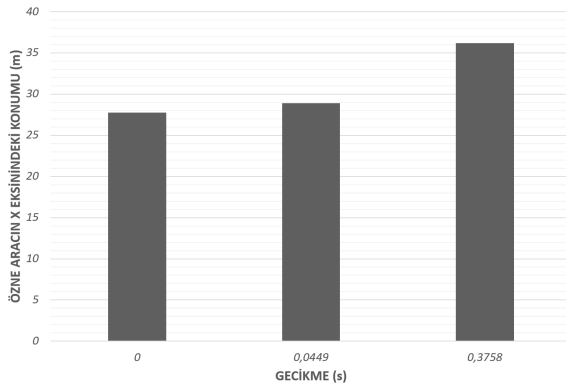
Senaryo	Yollanan Paketler	Alınan Paketler	Kayıp Paketler	Kayıp Oranı [%]	İletim Oranı [%]	Verimlilik [kpbs]	Gecikme [ns]
2 Araç	147	147	0	0	100	2.8946	4.49e07
4 Araç	357	357	0	0	100	2.8911	1.219e06
8 Araç	854	770	84	9	90	2.5968	3.758e06
16 Araç	2175	1811	364	16	83	2.3489	6.18e05

iletmesine bağlı olarak araçların daha geç veya erken hareket etmelerinin buldukları konum özelinde nasıl bir etkiye sahip olduğu analiz edilmiştir. Şekil 7’de esmini ortamında hazırlanmış olan yol birleşim senaryosu görülmektedir.



Şekil 7: esmini üzerinde yol birleşim senaryosunun gösterimi

Şekil 8’de , yol birleşim senaryosu sırasında ana aracın bilgi gönderdiği andaki konumu ile hedef aracın ilgili mesajı aldığı andaki konum farkı görülmektedir. V2X mesajı gönderildiği sı-

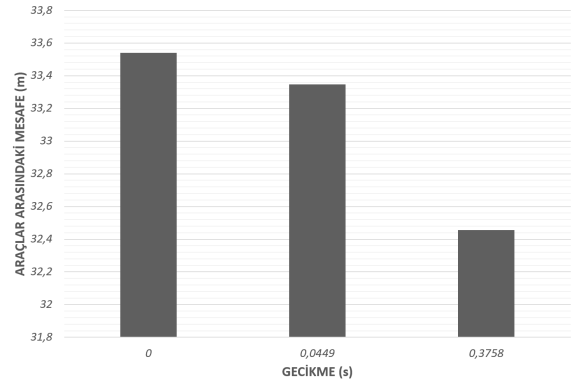


Şekil 8: Ana Aracın Gecikme Değerlerine Göre Konumu

rada ana araç X ekseninde 27.75 metrede bulunmaktadır. Hiçbir gecikmenin gerçekleşmediği koşulda, hedef araç V2X mesajını aldığı anda ana aracın konumu hala aynı olacaktır. Ancak ns-3 çıktılarından alınan gecikme sürelerinin etkisi hesaba katıldığı zaman bu durum değişiklik göstermektedir. Gecikmenin 0.045 s olduğu durumda ana aracın gönderdiği anlık konum bilgisi, hedef araç tarafından 1.11 metre hatalı görülecektir. Gecikme 0.37

s olduğu durumda ise hata seviyesi 7.33 metrelere varmaktadır.

Şekil 9, yan yoldaki aracın alınan V2X bilgisine göre ana yola katılma durumunu göstermektedir. Ana yoldaki araçtan ge-



Şekil 9: Yol birleşim senaryosu sonucu araçlar arası mesafe

çiş izni alan yan yoldaki araç ve ana yoldaki araç arasındaki mesafe, gecikme olmadığı durumda 33.54 metre olarak görülmektedir. Bu mesafe, yan yoldaki aracın ana yola çıktığı andaki mesafedir. İkinci durumda 0.045 saniye gecikme dahil edildiğinde, yan yoldaki araç geçiş izni bilgisini daha geç aldığından dolayı araçlar arasındaki mesafe 33.345 metreye düşmektedir. Son olarak ise 0.3758 saniye gecikme olduğu durumda araçlar arasındaki mesafe 32.456 metre olmaktadır.

6. Sonuç

Bu çalışmada V2X haberleşmesinin seçilen ADAS senaryoları üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. İlk olarak yol birleşim ve park kullanım senaryolarının seçimi yapılmış olup bu senaryoların V2X haberleşmesine uygun şekilde gerçekleştirilmesi için gereksinimler çıkarılmıştır. Bu aşamayı takiben SUMO kullanılarak ilgili senaryolar hazırlanmış ve senaryolarda yer alan araçların hız ve konum bilgileri elde edilerek ns-3 simülöründe haberleşme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda farklı senaryolarda, araçlar arası mesafenin ve araçların sayısının paket kayıp oranı ve gecikme süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre araçlar arasında artan mesafeye ve artan araç sayısına bağlı olarak paket kayıp oranının ve gecikmenin arttığı gözlemlenmiştir. Bu değişimin ADAS senaryoları üzerindeki etkisini inceleye-

bilmek adına esmini ortamında yol birleşim kullanım senaryosu oluşturulmuş olup gecikmenin olduğu ve olmadığı durumlarda araçlar arasındaki mesafe incelenmiştir. Gecikmenin gerçekleştiği koşulda araçlar arası mesafenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, C-V2X protokolü simülasyonları da bu çalışmaya dahil edilerek, iki protokolün birbirine göre avantajları ve dezavantajları karşılaştırılacaktır. Ayrıca, ağ haberleşme simülatörü ve diğer simülasyon programlarını birbirine entegre hale getirmek için bir eş zamanlı simülasyon platformu oluşturulacaktır.

7. Kaynakça

- [1] A. Vinel, "3GPP LTE versus IEEE 802.11 p/WAVE: Which technology is able to support cooperative vehicular safety applications," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 125–128, 2012.
- [2] T. Sukuvaara and P. Nurmi, "Wireless traffic service platform for combined vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communications," *IEEE Wireless Communications*, vol. 16, no. 6, pp. 54–61, 2009.
- [3] ETSI TC ITS, "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions," Technical Report ETSI TR 102 638 V1.1.2, 2015.
- [4] S. K. Yetkin, M. Eren, N. Zengin, E. A. Rencüzoğulları, M. Tomruk, and H. Yılmaz, "V2X communication based system development: Application on intersection assist with co-simulation," in *2022 IEEE 21st International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*. IEEE, 2022, pp. 138–145.
- [5] D. Jiang, V. Taliwal, A. Meier, W. Holfelder, and R. Herrtwich, "Design of 5.9 ghz DSRC-based vehicular safety communication," *IEEE wireless communications*, vol. 13, no. 5, pp. 36–43, 2006.
- [6] Q. Xu, T. Mak, J. Ko, and R. Sengupta, "Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC," in *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, 2004, pp. 19–28.
- [7] 3GPP, "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Release Description; Release 14," Technical Report 3GPP TR 21.914 Version 14.0.0 Release 14, 2018.
- [8] 3GPP, "Study on New Radio (NR) Access Technology," Technical Report 3GPP TR 21.915 Version 1.1.0 Release 15, 2018.
- [9] 3GPP, "Study on Enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services," Technical Report 3GPP TR 22.886, 2016.
- [10] K. Ansari, "Joint use of DSRC and C-V2X for V2X communications in the 5.9 ghz ITS band," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 213–224, 2021.
- [11] G. A. Association *et al.*, "V2X functional and performance test report; test procedures and results," *5GAA, Munich, Germany, Tech. Rep. 5GAA P-190033*, 2019.
- [12] G. Cecchini, A. Bazzi, B. M. Masini, and A. Zanella, "Performance comparison between IEEE 802.11p and LTE-V2V in-coverage and out-of-coverage for cooperative awareness," in *2017 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*. IEEE, 2017, pp. 109–114.
- [13] T. V. Nguyen, P. Shailesh, B. Sudhir, G. Kapil, L. Jiang, Z. Wu, D. Malladi, and J. Li, "A comparison of cellular vehicle-to-everything and dedicated short range communication," in *2017 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*. IEEE, 2017, pp. 101–108.
- [14] J. Thota, N. F. Abdullah, A. Doufexi, and S. Armour, "Performance of car to car safety broadcast using cellular V2V and IEEE 802.11P," in *2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. IEEE, 2018, pp. 1–5.
- [15] D. Cavalcanti, D. Agrawal, C. Cordeiro, B. Xie, and A. Kumar, "Issues in integrating cellular networks WLANs, and MANETs: A futuristic heterogeneous wireless network," *IEEE Wireless communications*, vol. 12, no. 3, pp. 30–41, 2005.
- [16] D. Krajzewicz, "Traffic simulation with SUMO - Simulation of urban mobility," *Fundamentals of traffic simulation*, pp. 269–293, 2010.
- [17] G. Carneiro, "NS-3: Network simulator 3," in *UTM lab meeting April*, vol. 20, no. 1, 2010, pp. 4–5.
- [18] E. Knabe *et al.*, "Environment simulator minimalistic (esmini)," *Accessed on*, vol. 20, 2021.
- [19] A. Haliti, "Update and evaluate vehicular simulation framework for LTE and 802.11 p in OMNeT++," 2018.
- [20] M. Karoui, A. Freitas, and G. Chalhoub, "Performance comparison between LTE-V2X and ITS-G5 under realistic urban scenarios," in *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*. IEEE, 2020, pp. 1–7.
- [21] V. Mannoni, V. Berg, S. Sesia, and E. Perraud, "A comparison of the V2X communication systems: ITS-G5 and C-V2X," in *2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*. IEEE, 2019, pp. 1–5.
- [22] G. Naik, B. Choudhury, and J.-M. Park, "IEEE 802.11 bd & 5G NR V2X: Evolution of radio access technologies for v2x communications," *IEEE access*, vol. 7, pp. 70 169–70 184, 2019.
- [23] Y. Wang, X. Duan, D. Tian, G. Lu, and H. Yu, "Throughput and delay limits of 802.11 p and its influence on highway capacity," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp. 2096–2104, 2013.
- [24] K. Wevers and M. Lu, "V2x communication for ITS-from IEEE 802.11 p towards 5G," *IEEE 5G Tech Focus*, vol. 1, no. 2, pp. 5–10, 2017.
- [25] J. Zagajac, "The C-V2X proposition," in *5GAA Washington DC Workshop*, 2018.
- [26] ETSI TC ITS, "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions," Technical Report ETSI TR 102 638 V1.1.2, 2015.
- [27] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Study on LTE Support for V2X Services (Release 14)," Technical Report 3GPP TR 22.885 V1.0.0, September 2015.