

Trafik Sinyalizasyon Sistemine Entegre Edilebilen V2I modülü Tasarımı

V2I module Design that can be integrated into the Traffic Signaling System

*Burak Seyit KARA¹, Sezai ÜNVER¹, Furkan Enes KOÇAK¹, Furkan ACILAR¹,
Seyit Alperen ÇELTEK², Akif DURDU³*

¹MOSAŞ Akıllı Ulaşım ve Tartım Sistemleri A.Ş.

b.kara@mosas.com.tr
s.unver@mosas.com.tr

²Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman.
salperencektek@kmu.edu.tr

³Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
adurdu@ktun.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmanın amacı, trafik yönetimi ve güvenliği için akıllı ulaşım sistemlerini geliştirmek için bir Vehicle-to-Infrastructure (V2I) tabanlı modülün tasarımı ve geliştirilmesidir. Mevcut trafik sinyalizasyon sistemlerine entegre edilebilen bu modül, araçlarla gerçek zamanlı iletişim kurarak trafik verilerinin alınmasını ve paylaşılmasını sağlamaktadır. Bu sayede, trafik akışının daha verimli bir şekilde yönetilmesi, seyahat sürelerinin kısaltılması ve trafik sıkışıklığının azaltılması hedeflenmektedir. Proje kapsamında, Bluetooth tabanlı bir V2I modülü tasarlanmıştır. Bu modül, araç yoğunluğunu daha doğru bir şekilde tespit etmek için mevcut trafik dedektörleriyle birlikte kullanılmaktadır. Düşük maliyetli ve esnek kurulum özellikleri sayesinde, mevcut dedektörlerin zorlu montaj işlemi gerektirdiği durumlarda avantaj sağlamaktadır. Çalışmanın performansı, Kilis ilinde bir kavşak üzerinde gerçekleştirilen simülasyonlarla değerlendirilmiştir. Bu çalışma, trafik sıkışıklığının azaltılması, seyahat sürelerinin kısaltılması ve yol güvenliğinin artırılması gibi kazanımlar, ekonomik ve ulusal açıdan önemli faydalar sunmaktadır.

Abstract

This study aims to design and develop a Vehicle-to-Infrastructure (V2I) based module to develop intelligent transportation systems for traffic management and safety. This module, which can be integrated into existing traffic signaling systems, communicates with vehicles in real-time, allowing traffic data to be received and shared. In this way, it is aimed to manage traffic flow more efficiently, shorten travel times and reduce traffic congestion. Within the scope of the project, a Bluetooth-based V2I module was designed. This module is used with existing traffic detectors to more accurately detect vehicle density. Thanks to its low cost and flexible installation

features, it is advantageous when existing sensors require complex assembly. The performance of the study was evaluated with simulations performed on an intersection in Kilis. This study offers significant economic and national benefits, such as reducing traffic congestion, shortening travel times, and increasing road safety.

1. Giriş

Akıllı ulaşım sistemleri, son yıllarda trafik yönetimi ve güvenliği konusunda önemli gelişmeler kaydetmektedir [1]. Trafikteki araç gruplarının davranışlarına bağlı olarak karar verebilen akıllı trafik ışıklarının, aynı zamanda araçlarla haberleşebilir hale getirilmesi büyük bir önem taşımaktadır [2]. Bu sayede, trafik akışının daha verimli bir şekilde yönetilmesi ve trafik sıkışıklığının azaltılması mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, mevcut akıllı ulaşım sistemlerinin verimliliğini artırarak trafik yönetimini daha etkin hale getirmeyi amaçlayan araçtan-altyapıya teknolojisi (Vehicle-to-Infrastructure, V2I) tabanlı bir modülün tasarımı ve geliştirilmesi ele alınmaktadır.

Bu çalışma ile kavşak kontrol cihazlarına V2I haberleşmesine uygun modüllerin eklenmesi planlanmaktadır. Bu modüller, araçlarla iletişim kurarak trafik sinyal kontrolü için gerekli verileri almayı ve paylaşmayı sağlayacaktır. Ayrıca, kavşaklardaki trafik verilerinin araçlarla güvenilir bir iletişim yoluyla paylaşılması, araçlardan elde edilen ortalama hız bilgisinin ve araç etiketlerine (ID) dayalı acil durum bilgilerinin akıllı kavşakların karar mekanizmalarına etkisinin araştırılması hedeflenmektedir.

Projenin yenilikçi yönleri arasında, mevcut sinyalizasyon sistemlerine entegre edilebilen bluetooth tabanlı bir V2I modülünün tasarımı yer almaktadır. Bu modül, araç yoğunluğunu daha doğru bir şekilde tespit etmek için mevcut

trafik dedektörlerine ek olarak kullanılacaktır. Düşük maliyetli ve esnek kurulum özellikleri sayesinde, mevcut dedektörlerin zorlu montaj işlemi gerektirdiği durumlarda avantaj sağlayacaktır. Önerilen modül ile araç sayısı, araç ID'si ve araç ortalama hızı gibi bilgiler elde edilebilecektir. Bu sayede, trafik kontrol merkezlerinde sadece aktif trafiğin gözlemlenmesi için kullanılan bu özellik, araçlarla da paylaşılabilir.

Bu çalışmada, V2I teknolojisi temel alınarak trafik sinyalizasyon sistemlerine entegre edilebilen bir modül tasarımı sunulacak ve modülün trafik yönetimi üzerindeki etkileri incelenecektir. Proje kapsamında önerilen modülün tasarımı, prototip imalatı, performans testleri ve uygulama arabirimi geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, ulusal ve uluslararası mevcut düzeyin analiz edilmesi, standardizasyon çabalarının değerlendirilmesi ve önerilen çözümün bu alandaki yenilikçi yönlerinin vurgulanması da projenin bir parçası olacaktır.

Bu makale şu şekilde planlanmıştır; Bölüm 2'de önerilen yönteme neden ihtiyaç duyulduğu literatürdeki ilgili çalışmalar kaynak gösterilerek ifade edilmiştir. Trafik sinyalizasyon sistemlerine entegre edilebilen V2I modülünün tasarımı ve geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen projenin ayrıntıları Bölüm 3'de sunulmaktadır. Bölüm 4'de ise önerilen tasarımdan gelen verilere göre yapılan trafik sinyal kontrolünün sonuçları verilmiştir. Bu çalışma, önerilen çözümün potansiyel kazanımları ile makale Bölüm 5'te sonlandırılmıştır.

2. Literatür Taraması ve Motivasyon

Akıllı ulaşım sistemleri, günümüzde yoğunlaşan trafik sorunlarının çözümüne yönelik olarak sürekli olarak gelişim göstermektedir [3],[4]. Karayolu trafiğinin yönetimi ve kontrolü, artan araç sayısı ve karmaşık trafik akışı nedeniyle giderek daha büyük bir önem kazanmaktadır [5].

Günümüzde trafik sinyalizasyon sistemleri, genellikle sabit zamanlı veya döngüsel zamanlama prensiplerine göre çalışmaktadır. Bu durum, trafik yoğunluğu, saat dilimleri ve diğer değişkenlere bağlı olarak trafik sıkışıklığına ve uzun bekleme sürelerine yol açabilmektedir [6]. V2I modülü, araçlarla gerçek zamanlı iletişim kurarak, trafik sinyallerinin akıllı bir şekilde yönetilmesini sağlar. Böylece, trafik akışı daha verimli bir şekilde düzenlenir ve seyahat süreleri kısaltılır.

Bu projenin temel amacı, mevcut akıllı ulaşım sistemlerinin verimini artırmak için V2I tabanlı bir modülün geliştirilmesidir. Bu modül, trafik sinyalizasyon sistemlerine entegre edilerek, araçların anlık trafik verilerini alarak karar mekanizmalarını optimize etmek ve trafik akışını düzenlemek amacıyla taşımaktadır. Bu şekilde, trafik sıkışıklığının azaltılması, seyahat sürelerinin kısaltılması ve yol güvenliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Geleneksel trafik kontrol yöntemleri, genellikle karayolu trafik dedektörleri ve görüntü işleme tekniklerine dayanmaktadır. Bu yöntemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin, trafik dedektörlerinin kurulumu maliyetli ve zorlu bir süreç olabilirken, görüntü işleme tabanlı sistemlerin karmaşıklığı ve hesaplama süresi gibi sınırlamaları vardır [7]. Bu nedenle, projemizde bluetooth tabanlı V2I modülünün kullanılması, trafik verilerinin daha doğru ve hızlı

bir şekilde toplanmasını sağlayarak, mevcut yöntemlere göre daha avantajlı bir çözüm sunmaktadır.

Ayrıca, bu projenin bir diğer önemli ihtiyaç noktası, yol güvenliği ve acil durumlara ilgilidir. Trafik verilerinin araçlarla güvenilir bir iletişim yoluyla paylaşılması, araçların anlık hız bilgisi ve acil durum etiketleri gibi önemli bilgilerin akıllı kavşakların karar mekanizmalarına etkilerini değerlendirmektedir [8]. Bu sayede, özellikle ambulans, polis ve jandarma gibi acil durum araçlarına öncelikli geçiş imkanı sağlanarak, yol güvenliği ve acil müdahale süreçleri iyileştirilebilmektedir [9].

Son olarak, projenin tasarımı ve hedefleri, mevcut trafik kontrol yöntemlerinde yaşanan bazı problemlerin çözülmesini hedeflemektedir. Geleneksel trafik kontrol sistemleri genellikle tek yönlü iletişim üzerine kuruludur ve trafik verilerini sadece merkezi kontrol merkezlerine aktarır. V2I modülü, araçlarla iki yönlü iletişim kurarak, trafik verilerinin daha doğru, güncel ve geniş kapsamlı bir şekilde paylaşılmasını sağlar. Böylece, trafik kontrol merkezleri daha verimli kararlar alabilir ve trafik akışını daha etkin bir şekilde yönetebilir.

3. Materyal ve Metod

Bu bölümde, V2I modülünün tasarımı ve geliştirilmesi için kullanılan yöntemler ve kullanılan malzemeler detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Çalışmamızda, akıllı ulaşım sistemlerine entegre edilebilen bir V2I modülünün tasarımı ve prototip imalatı hedeflenmektedir. Modül, araçlarla trafik sinyalizasyon sistemleri arasında veri alışverişini sağlayarak, trafik akışının optimize edilmesine ve yol güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın donanım ve yazılım geliştirme süreci, V2I modülünün başarılı bir şekilde çalışabilmesi için gereken bileşenlerin tasarımını içermektedir. Donanım kısmında, bir Roadside Unit (RSU) ve On-Board Unit (OBU) olmak üzere iki ana bileşen bulunmaktadır. RSU, trafik sinyal kontrol merkezine bağlıdır ve araçlarla iletişim kurabilen sabit bir altyapı oluşturur. OBU ise araca monte edilen ve diğer OBU'lar ve RSU'lar ile bilgi alışverişini yapan bir cihazdır. Bu proje kapsamında sadece (Standart bir OBU ile sorunsuz haberleşebilen) RSU tasarımı gerçekleştirilmiştir.

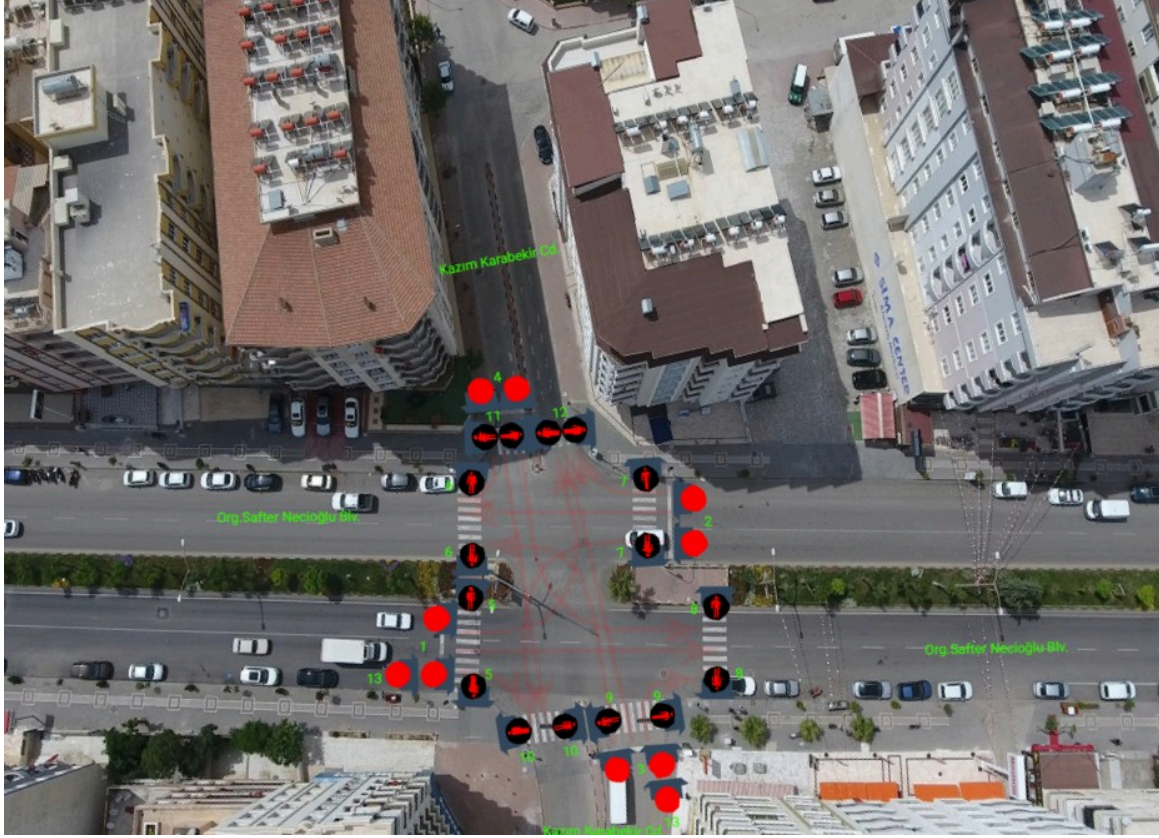
RSU'nun donanım bileşenleri, trafik verilerinin toplanması, işlenmesi, iletişimi ve kontrolü için gerekli olan temel özellikleri sağlar. Bu bileşenlerin doğru bir şekilde tasarlanması ve entegrasyonu, RSU'nun etkin ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar ve akıllı trafik yönetim sistemine önemli katkılar sunar. RSU'nun temel bileşenleri şu şekildedir;

- Mikrokontrolör veya İşlemci: RSU'nun temel işlevlerini gerçekleştirebilmesi için uygun bir mikrokontrolör veya işlemci seçimi önemlidir. Bu bileşen, RSU'nun veri işleme, iletişim ve kontrol yeteneklerini sağlar.
- Haberleşme Modülleri: RSU'nun iletişim yeteneklerini sağlamak için uygun haberleşme modülleri entegre edilir. Bu modüller, araçlarla ve diğer RSU'larla kablosuz iletişim kurmayı sağlar.
- GPS Modülü: RSU'nun konumunu belirlemek için GPS (Global Positioning System) modülü kullanılabilir. Bu modül, RSU'nun coğrafi konumunu doğru bir şekilde

belirlemek ve trafik verilerini konum bazında analiz etmek için kullanılır.

- Bluetooth Sensörü: RSU'nun trafik verilerini toplama ve analiz etmesi için kullanılmıştır. Bu sensörler, gerçek zamanlı veri toplama ve trafik durumunu izleme imkanı sağlar.

- Bellek: RSU'nun işlem yapabilmesi ve verileri depolayabilmesi için yeterli bellek kapasitesi gereklidir. Bu, veri alışverişi, trafik yönetimi algoritmaları ve diğer işlemler için kullanılır.



Şekil 1. Uygulama yapılan Kavşağa Ait Görsel

- Güç Kaynağı: RSU'nun enerji ihtiyacını karşılamak için uygun bir güç kaynağı kullanılır.
- Harici Antenler: RSU'nun kablosuz iletişim performansını artırmak için harici antenler kullanılabilir. Bu antenler, daha geniş bir iletişim menzili, daha güçlü bir sinyal alımı ve daha iyi bir veri aktarımı sağlar. Antenlerin tasarımı ve konumlandırılması, RSU'nun etkinliğini ve performansını önemli ölçüde etkiler [10].

RSU ve OBU arasındaki veri iletişimini sağlamak için uygun protokollerin kullanılması gerekmektedir. Özel kısa menzilli iletişim (DSRC) protokolü, gerçek zamanlı iletişim için minimum gecikme süresi ve güvenli veri alışverişi sağlama özellikleriyle sık olarak tercih edilen bir protokoldür. DSRC (Dedicated Short-Range Communication), trafik yönetimi ve araç iletişimi için özel olarak tasarlanmış bir kablosuz iletişim protokoldür. DSRC, araçlar arasında ve araçlar ile yol altyapısı (RSU'lar gibi) arasında güvenilir ve hızlı veri iletişimini sağlamak için kullanılır [11].

DSRC, 5.9 GHz frekans bandında çalışır. Bu frekans aralığı, özel olarak trafik yönetimi ve araç iletişimi için ayrılmıştır. Bu frekans bandı, düşük gürültü seviyelerine ve geniş bant genişliğine sahiptir, bu da daha yüksek veri hızlarının iletimini mümkün kılar.

DSRC'nin temel özelliklerinden biri, çoklu erişim yeteneğidir. Bu protokol, Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) yöntemini kullanarak aynı frekans bandında birden fazla cihazın iletişim yapmasına olanak tanır. Bu sayede, aynı anda birden çok araç iletişim kurabilir ve trafik verilerini paylaşabilir [12].

DSRC, veri güvenliği konusunda da önemli bir rol oynar. Protokol, mesajların şifrelenmesi, kimlik doğrulama mekanizmaları ve veri bütünlüğünün sağlanması gibi güvenlik önlemlerini içerir. Bu sayede, yetkisiz erişim ve veri manipülasyonu gibi güvenlik tehditlerine karşı koruma sağlanır.

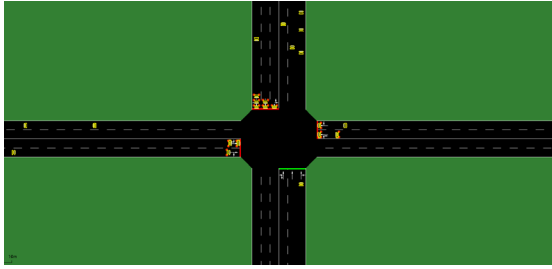
4. Uygulama ve Sonuçlar

Bu çalışmada tasarlanan RSU modülü ile araçlardan hız bilgisi elde edilmektedir. Elde edilen hız bilgisi "Gecikme tabanlı Trafik sinyal Kontrol" [13] yönteminde kullanılmıştır.

Gecikme tabanlı trafik sinyal kontrol yöntemi trafik sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan bir yaklaşımdır. Gecikme tabanlı kontrol yöntemi, gerçek zamanlı trafik verilerini kullanarak kararlar alır. Bu veriler, trafik dedektörleri, kameralar, sensörler veya diğer trafik gözlemleme teknolojileri aracılığıyla elde edilebilir. Bu çalışmada tasarlanan V2I modülü kullanılarak araçlardan elde edilen hız bilgisi kullanılarak yeşil ışık süreleri ve sinyal döngü süreleri otomatik olarak ayarlanır.

Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için Kilis ilinin bir kavşağından alınan veriler kullanılarak SUMO trafik simülöründe simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de uygulama yapılan kavşağa ait görsele yer verilmiştir. Uygulama yapılan kavşağın SUMO simülörüne ait görseline Şekil 2'de yer verilmiştir.

Oluşturulan senaryo üzerinde, önerilen yöntemden elde edilen hız verisine dayalı gecikme tabanlı trafik sinyal kontrol yönteminin performansı test edilmiştir. Aynı senaryo, karşılaştırma yapmak amacıyla klasik bir Webster tabanlı sabit zamanlı kontrolör ve aktüatör tabanlı bir kontrol yöntemi ile de test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı kontrol yöntemlerinin etkinliği arasında karşılaştırma yapmamızı sağlamıştır. Şekil 3'te karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir. Bu çalışmada yapılan performans değerlendirmesi gecikme süresi, bekleme süresi, durma sayısı, seyahat süresi ve hız gibi performans ölçütleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Uygulama Yapılan Kavşağa ait Simülör Görsele

Şekil 3'te A_Kilis_7919, D_Kilis_7919 ve S_Kilis_7919 sırasıyla aktüatörlü, gecikme tabanlı ve sabit zamanlı trafik sinyal kontrolörlerini temsil etmektedir. Sabit zaman tabanlı kontrol için Webster yöntemi uygulanmıştır. Webster tabanlı trafik sinyal kontrolü, trafik akışını düzenlemek ve kavşaklardaki sinyalizasyonu optimize etmek amacıyla kullanılan bir akıllı trafik yönetim sistemi yöntemidir. Yöntem, trafik yoğunluğu, kavşaklardaki araç sayısı, sinyal döngü süresi gibi parametreleri göz önünde bulundurarak trafik sinyallerinin yeşil ışık sürelerini belirler. Bu yeşil ışık süreleri genellikle önceden belirlenmiş sabit değerlerdir ve trafik akışındaki değişikliklere yanıt vermez. Bu çalışma için Webster yöntemi günün en yoğun dönemi için çalıştırılmış, faz süreleri ve döngü süreleri ona göre hesaplanmıştır.

Aktüatör tabanlı kontrol için kavşağa yerleştirilmiş dedektörlerden gelen veriler kullanılmaktadır. Sabit zamanlı kontrol planındaki yeşil süreler ek olarak dedektörden "araç var" verisi geliyorsa aktif yeşil süresi belirli bir süre kadar (bu çalışmada 2 sn) uzatılmaktadır.

Gecikme zamanlı kontrol ise trafik sinyallerinin yeşil veya kırmızı sürelerini, geçiş yapmak üzere olan veya yaklaşmakta olan araçların hızlarına göre hesaplar. Bu yöntemde,

yavaşlayan veya duran trafiği azaltmak için yaklaşan araçların hızlarına göre yeşil süreleri uzatılabilir. Örneğin, hızlı seyahat eden bir araç yaklaşıyorsa, sinyal yeşil süresi uzatılarak aracın kesintisiz bir şekilde geçmesi sağlanabilir. Böylece, trafik akışı daha verimli hale gelir ve trafik sıkışıklığı azalır. Çalışma sonuçları irdelendiğinde, tüm performans kriterlerinde en kötü sonucun sabit zamanlı kontrolde olduğu görülmektedir. Sabit zamanlı trafik sinyal kontrol yöntemi, trafik akışını optimize etmek için kullanılan diğer yöntemlere kıyasla daha basit ve daha az karmaşık bir yaklaşımdır. Ama, bu yöntem trafik durumunu gerçek zamanlı olarak takip etme ve buna göre sinyal zamanlamasını ayarlama yeteneğine sahip değildir. Günün en yoğun saatine göre yapılan trafik faz programı zamanlama, aşırı doymuş trafik koşullarında verimli çalışsa da, doymuş ve doymamış trafik rejiminde verimi düşmektedir.

Aktüatör tabanlı kontrolün sonuçları incelendiğinde sabit yöntemle kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini ifade etmek mümkündür. Aktüatör tabanlı kontrol yöntemi, dedektörden gelen veriyle trafik sinyal kontrolünü esnetebilir, bu özelliğinden dolayı verimli ve dinamik bir yaklaşım sunar. Dedektörden gelen veriye göre sinyal planında anlık değişiklikler yapılırsa da, bu değişiklikler sınırlıdır. Ayrıca aktüatör tabanlı kontrolde verim, temel sinyal planı, kullanıcı belirlediği maksimum süre, minimum süre ve ek süreler ile doğrudan ilişkilidir.

Şekil 3'te gecikme tabanlı kontrolün, diğer iki kontrol yöntemine göre trafik akışını daha etkili bir şekilde düzenleyerek seyahat süresini azalttığı, dur-kalk sayısını azalttığı ve trafik sıkışıklığını önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir.

Bekleme süresi, karayolu üzerindeki bir aracın trafik sinyalleri önünde beklemek zorunda kaldığı (Araç hızının 0.1 m/sn'den düşük olduğu) süreyi ifade eder. Ortalama bekleme süresi performans kriteri sonuçlarına bakıldığında gecikme tabanlı kontrol ile 11.68 sn olan süre 6.64 sn seviyelerine düşürülmüştür. Bu iyileştirme gecikme tabanlı kontrolün, kırmızı ışıkta beklenen süreyi ya da başka bir deyişle trafik sinyallerinin geçiş akışını düzenlemek için ayarladığı yeşil süreleri daha optimal bir şekilde ayarladığının göstergesidir.

Bekleme süresi, trafik sinyal kontrol yöntemlerinin performansını değerlendirmek için kullanılan önemli bir gösterge olmakla birlikte, trafik yönetimi açısından tek başına yeterli değildir. Diğer performans ölçekleriyle birlikte, örneğin ortalama seyahat süresi, ortalama hız, trafik yoğunluğu gibi faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir. Ortalama seyahat süresi kriterine bakıldığında ise gecikme tabanlı kontrol ile 42 sn'den 35 sn'ye bir iyileştirme göze çarpmaktadır.

Ortalama seyahat süresi bir belirli bir güzergahta seyahat eden araçların ortalama olarak ne kadar süre harcadığını temsil eder. Bir trafik sinyal kontrol yönteminin amacı, trafik akışını optimize etmek ve seyahat süresini mümkün olduğunca azaltmaktır. Daha iyi bir trafik sinyal kontrolü, araçların daha hızlı ilerlemesini ve yolculuk süresinin kısalmasını sağlar. Daha düşük ortalama seyahat süresi, trafik sinyal kontrolünün etkin olduğunu ve trafik akışının daha hızlı ve kesintisiz ilerlediğini gösterir. Bu da trafik sıkışıklığının azaldığı, yolculukların daha verimli olduğu anlamına gelir. Şekil 3'te verilen ortalama hız sonuçları da (7.91 m/sn'den 9.44 m/sn'e) seyahat süresinin azaltılmasını destekler niteliktedir.

	A_Kilis_7919	D_Kilis_7919	S_Kilis_7919
Toplam Araç Miktarı	10086	10086	10086
Toplam Kalkış Gecikmesi	53	61	5705
Ortalama Kalkış Gecikmesi	0.01	0.01	0.57
Toplam Bekleme Süresi	117819	66953	406916
Ortalama Bekleme Süresi	11.68	6.64	40.34
Toplam Durma Sayısı	7526	4413	12471
Ortalama Durma Sayısı	0.75	0.44	1.24
Toplam Seyahat Süresi	429414	359021	753372
Ortalama Seyahat Süresi	42.58	35.60	74.69
Toplam Seyahat Uzunluğu	3077434	3077434	3077392
Ortalama Seyahat Uzunluğu	305.12	305.12	305.12
Ortalama Seyahat Hızı	7.91	9.44	5.69

Şekil 3. Uygulama Yapılan Kavşağa ait Karşılaştırma Sonuçları.

Durma sayısı, belirli bir süre boyunca belirli bir güzergahta seyahat eden araçların trafik sinyalleri önünde durma sayısını ölçer. Bu ölçek, trafik sinyallerinin uygun şekilde ayarlanması, trafik yoğunluğu, sinyal planlaması ve trafik akışının verimliliği gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Analiz sonuçlarına bakıldığında durma sayısının 0.75'ten 0.44'e düşürüldüğü ölçülmüştür. Daha düşük durma sayısı, trafik sinyal kontrolünün etkin olduğunu ve trafik akışının daha sürekli olduğunu göstermektedir. Bu, trafik sıkışıklığının azaldığı, araçların daha akıcı bir şekilde ilerlediği ve yolculukların daha verimli olduğu anlamına gelir. Gecikme tabanlı kontrol yöntemi, araçların hızlarına göre trafik sinyallerini ayarladığı için araçların daha az dur-kalk yapması sağlanmıştır.

Çalışma sonuçlarına bakıldığında tüm performans kriterlerinde gecikme tabanlı kontrol yönteminin bariz bir üstünlüğü vardır. Ancak, gecikme tabanlı kontrolün uygulanabilir olması için karayolu üzerindeki araçların hız bilgisine ihtiyaç vardır. Gelen aracın hızını yüksek doğruluk ve düşük maliyetle bir şekilde ölçmek ve bu ölçüme göre sinyal planlarını güncellemek için bu çalışma da V2I tabanlı ölçüm modülü tasarlanmıştır. Tasarlanan bu modülün prototiplerine ait görsele Şekil 4'te yer verilmiştir.

5. Değerlendirme ve Tartışma

Bu çalışmada, trafik sinyalizasyon sistemlerinin verimliliğini artırmak ve trafik yönetimini daha etkin hale getirmek amacıyla araçtan-altyapıya (V2I) teknolojisi tabanlı bir modülün tasarımı ve geliştirilmesi ele alınmıştır. Tasarlanan V2I modülü, araçlarla iletişim kurarak gerçek zamanlı trafik verilerini toplamayı ve paylaşmayı sağlamaktadır. Bu sayede, trafik sinyal kontrolünün daha optimize edilmesi ve trafik akışının daha verimli bir şekilde yönetilmesi mümkün olmaktadır.

Çalışmanın sonuçları, gecikme tabanlı trafik sinyal kontrol yönteminin diğer yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Gecikme tabanlı kontrol yöntemi,

araçların hızlarına göre trafik sinyallerini ayarlayarak trafik akışını daha etkin bir şekilde düzenlemektedir. Bu yöntem sayesinde seyahat süreleri kısalmışken, beklemler ve durma sayıları azalmaktadır. Trafik sıkışıklığı önemli ölçüde azalmakta ve yolculuklar daha akıcı hale gelmektedir.



Şekil 4. Tasarlanan Modülün Pilot Kavşağa Uygulanması

Önerilen V2I modülü, mevcut trafik kontrol sistemlerine entegre edilebilen bir Bluetooth tabanlı çözüm sunmaktadır. Düşük maliyetli ve esnek kurulum özellikleri sayesinde mevcut dedektörlerin zorlu montaj işlemi gerektirdiği durumlarda avantaj sağlamaktadır. Modül, araç sayısı, araç kimlikleri ve araçların ortalama hızı gibi bilgileri elde

etmektedir. Bu veriler, trafik kontrol merkezlerinde kullanıldığı gibi araçlarla da paylaşarak yol güvenliği ve acil durum müdahale süreçleri gibi alanlarda önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, trafik yönetimi ve güvenliği konusunda önemli bir adım olduğunu göstermektedir. Gecikme tabanlı trafik sinyal kontrol yöntemi ve V2I tabanlı modül tasarımı, trafik sıkışıklığının azaltılması, seyahat sürelerinin kısaltılması ve yol güvenliğinin artırılması gibi ekonomik ve ulusal kazanımlar sağlamaktadır. Ayrıca, geliştirilen teknoloji ve yöntemlerin ulusal ve uluslararası düzeyde standardizasyon çalışmalarına katkıda bulunması hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve geleceğin şehirlerinde daha verimli ve güvenli bir ulaşım sağlanması için önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Gelecekte, V2I teknolojisinin daha yaygın olarak kullanılması ve trafik sinyal kontrol sistemlerinin daha akıllı hale gelmesi beklenmektedir. Bu çalışma, bu alandaki araştırmaların ve uygulamaların ilerlemesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Teşekkür

Yazarlar, bu projeye 7220246 hibe numarası ile mali destek sağladığı için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) minnettedir.

Kaynakça

- [1] I. Abu-Shawish, S. Ghunaim, M. Azzeh, and A. Nassif, 'Metaheuristic Techniques in Optimizing Traffic Control Lights: A Systematic Review', *International Journal of Systems Applications*, 2020.
- [2] F. Alanazi, 'A Systematic Literature Review of Autonomous and Connected Vehicles in Traffic Management', *Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, p. 1789, 2023.
- [3] S. A. Celtek and A. Durdu, 'A Novel Adaptive Traffic Signal Control Based on Cloud/Fog/Edge Computing', *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, vol. 20, no. 3, pp. 639–650, 2022.
- [4] S. A. Celtek, A. Durdu, and M. E. M. Ali, 'Evaluating action durations for adaptive traffic signal control based on deep Q-learning', *International journal of intelligent transportation systems research*, vol. 19, no. 3, pp. 557–571, 2021.
- [5] M. E. M. Ali, A. Durdu, S. A. Celtek, and A. Yılmaz, 'An adaptive method for traffic signal control based on fuzzy logic with webster and modified webster formula using SUMO traffic simulator', *IEEE Access*, vol. 9, pp. 102985–102997, 2021.
- [6] M. E. M. Ali, A. Durdu, S. A. Celtek, and S. S. Gultekin, 'Fuzzy logic and webster's optimal cycle based decentralized coordinated adaptive traffic control method', *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 26, no. 4, pp. 57–64, 2020.
- [7] J. Guerrero-Ibáñez, S. Zeadally, and J. Contreras-Castillo, 'Sensor technologies for intelligent transportation systems', *Sensors*, vol. 18, no. 4, p. 1212, 2018.
- [8] K. S. Arikumar, S. B. Prathiba, S. Basheer, R. S. Moorthy, A. Dumka, and M. Rashid, 'V2X-Based Highly Reliable Warning System for Emergency Vehicles', *Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, p. 1950, 2023.
- [9] F. Weinert and M. Düring, 'Development and assessment of cooperative V2X applications for emergency vehicles in an urban environment enabled by behavioral models', in *Modeling Mobility with Open Data: 2nd SUMO Conference 2014 Berlin, Germany, May 15-16, 2014*, Springer, 2015, pp. 125–153.
- [10] M. W. Lee, F. Abushakra, Z. Choffin, S. Kim, H.-J. Lee, and N. Jeong, 'A Compact Ultra-Wideband Monocone Antenna with Folded Shorting Wires for Vehicle-to-Everything (V2X) Applications', *Sensors*, vol. 23, no. 13, p. 6086, 2023.
- [11] E. Moradi-Pari, D. Tian, M. Bahramgiri, S. Rajab, and S. Bai, 'Dsrc versus lte-v2x: Empirical performance analysis of direct vehicular communication technologies', *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 5, pp. 4889–4903, 2023.
- [12] J. B. Kenney, 'Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States', *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162–1182, 2011.
- [13] R. Oertel and P. Wagner, 'Delay-time actuated traffic signal control for an isolated intersection', in *Proceedings 90th Annual Meeting Transportation Research Board (TRB)*, 2011.