



# VISSIM Simülasyonuna Dayalı Akıllı Kavşak Sinyal Kontrolü: Ankara Örneği

Cenk FİDAN<sup>1</sup> , Ebru ARIKAN ÖZTÜRK<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Ankara, Türkiye / Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik Enerjisi Üretim, İletim ve Dağıtım Programı, Ankara, Turkey

## Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 30/04/2025  
Düzeltilme: 26/08/2025  
Kabul: 23/09/2025

## Anahtar Kelimeler

Akıllı Ulaşım Sistemleri  
Akıllı Kavşak  
VISSIM

## Article Info

Research article  
Received: 30/04/2025  
Revision: 26/08/2025  
Accepted: 23/09/2025

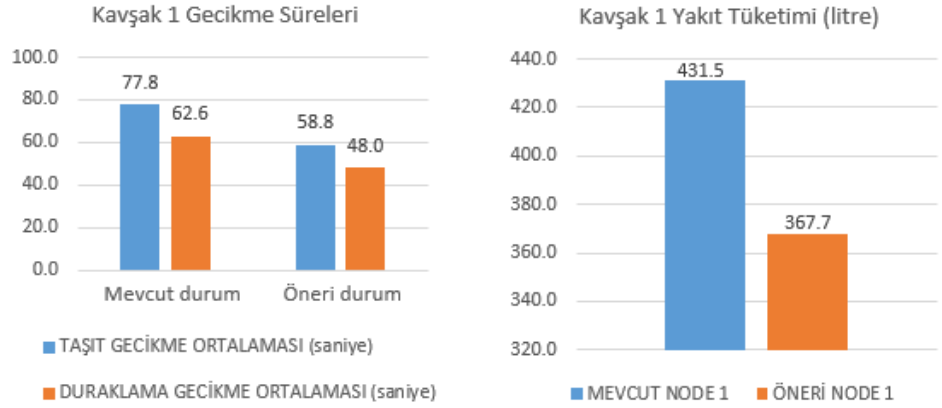
## Keywords

Intelligent Transportation  
Systems  
Smart Intersection  
VISSIM

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, akıllı kavşak sistemlerinin; hizmet seviyesi, kuyruk uzunluğu, duraklama sayısı ve süresi, ortalama gecikme, emisyon değerleri, yakıt tüketimi gibi farklı performans göstergeleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. / In this study, the effects of smart intersection systems on various performance indicators-such as level of service, queue length, number and duration of stops, average delay, emissions, and fuel consumption- were analyzed.

**Şekil A:** 1 numaralı kavşağın performans göstergelerindeki değişim / **Figure A:** Change in performance indicators of intersection 1



## Önemli noktalar (Highlights)

- Taşıt başına ortalama gecikme süreleri tüm kavşaklarda azalmıştır. / Average delay per vehicle decreased at all intersections.
- Yakıt tüketimi ve emisyonlarda önemli miktarda azalma gerçekleşmiştir. / Fuel consumption and emissions were significantly reduced.
- Tüm kavşaklarda kuyruk uzunlukları azalmıştır. / Queue lengths decreased at all intersections.

**Amaç (Aim):** Bu çalışmada, yeni Ankara Adliyesi'nin hizmete girmesinden sonra trafik sıkışıklığında önemli bir artış beklenen Yenimahalle İlçesi'ndeki dört kavşağın akıllı kavşak olarak yönetilmesi durumunda sağlanacak iyileştirmelerin ortaya konulması amaçlanmaktadır. / This study aims to demonstrate the potential improvements that can be achieved by managing four intersections in the Yenimahalle District as smart intersections, where a significant increase in traffic congestion is expected following the commissioning of the new Ankara Courthouse.

**Özgünlük (Originality):** Çalışma, farklı geometrilere sahip dört gerçek kavşak üzerinde uygulanmış ve akıllı kavşak sistemlerinin çeşitli trafik ve çevresel performans göstergeleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. / The study was conducted on four real intersections with different geometries and analyzes the effects of smart intersection systems on various traffic and environmental performance indicators.

**Bulgular (Result):** Kavşakların akıllı kavşak olarak yönetilmesinin, gecikme sürelerinde, kuyruk uzunluklarında ve yakıt tüketiminde önemli iyileştirmeler sağlayacağı belirlenmiştir. / It was determined that managing the intersections as smart intersections would result in significant improvements in delay times, queue lengths, and fuel consumption.

**Sonuç (Conclusion):** Bulgular, akıllı kavşak sistemlerinin potansiyel faydalarını doğrulamakta ve trafik yönetiminde bu tür yenilikçi yaklaşımların yaygınlaştırılmasının önemini ortaya koymaktadır. / The findings confirm the potential benefits of smart intersection systems and highlight the importance of adopting such innovative approaches in traffic management.



## VISSIM Simülasyonuna Dayalı Akıllı Kavşak Sinyal Kontrolü: Ankara Örneği

Çenk FİDAN<sup>1</sup> , Ebru ARIKAN ÖZTÜRK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Ankara, Türkiye / Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik Enerjisi Üretim, İletim ve Dağıtım Programı, Ankara, Turkey

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 30/04/2025  
Düzeltilme: 26/08/2025  
Kabul: 23/09/2025

### Anahtar Kelimeler

Akıllı Ulaşım Sistemleri  
Akıllı Kavşak  
VISSIM

### Öz

Günümüzde, kentsel alanlarda yaşayan nüfusun hızla artması, bununla birlikte özel araç sayısı ve araç kullanımındaki artış, kentsel hareketlilik talebini artırmıştır. Bu hareketlilik, özellikle sinyalizasyon kavşaklarında; trafik sıkışıklığı, gecikme ve beklemler, trafik kazaları ve çevresel kirlilik gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Gün içerisinde trafik akımındaki dalgalanmalar, sabit zamanlı olarak yönetilen kavşaklarda gereksiz beklemlere, yakıt sarfiyatına, zaman kayıplarına, hatta zaman zaman sürücülerin kural ihlallerine neden olabilmektedir. Bir Akıllı Ulaşım Sistemi uygulaması olan trafik uyarmalı sistemler, gerçek zamanlı trafik değerlerine göre süre ataması yaptıkları için, gecikmeleri minimuma indiren ve kavşak performansını artıran, günümüzde yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Bu çalışmada, Ankara Yenimahalle ilçesinde yer alan ve farklı geometriye sahip dört kavşağın, trafik uyarmalı (akıllı kavşak) olarak çalıştırılması durumunda, sağlanacak faydaların ortaya konulması amaçlanmaktadır. Çalışmada, kavşak performanslarının karşılaştırılabilmesi için VISSIM programı kullanılmıştır. Belirlenen kavşakların önceki ve sonraki durumları programa girilerek sabah zirve saatleri için simülasyonlar gerçekleştirilmiş, mevcut durum ve yeni durum karşılaştırması yapılarak meydana gelen iyileşmeler tespit edilmiştir. İncelenen kavşakların akıllı kavşak olarak yönetilmeleri durumunda; gecikme süreleri, kuyruk uzunlukları ve yakıt tüketiminde önemli iyileşmeler sağlanacağı tespit edilmiştir.

## VISSIM-Based Smart Traffic Signal Control at Intersections: The Case of Ankara

### Article Info

Research article  
Received: 30/04/2025  
Revision: 26/08/2025  
Accepted: 23/09/2025

### Keywords

Intelligent Transportation  
Systems  
Smart Intersection  
VISSIM

### Abstract

The rapid increase in urban population, along with the rising number of private vehicles and their usage, has significantly elevated the demand for urban mobility. This increased mobility, particularly at signalized intersections, has brought challenges such as traffic congestion, delays, waiting times, traffic accidents, and environmental pollution. Fluctuations in traffic flow during the day often lead to unnecessary delays, fuel consumption, time losses, and occasionally traffic rule violations at fixed-time controlled intersections. Traffic-responsive systems, an application of Intelligent Transportation Systems (ITS), are widely used today as they assign signal timings based on real-time traffic data, minimizing delays and enhancing intersection performance. This study aims to demonstrate the benefits of operating four intersections with different geometries in Yenimahalle, Ankara, as traffic-responsive (smart) intersections. The VISSIM software was utilized to compare intersection performances. Simulations were conducted for morning peak hours by inputting the previous and proposed states of the selected intersections into the program. Improvements achieved were identified by comparing the current and optimized scenarios. The findings revealed that managing these intersections as smart intersections would result in significant improvements in delay times, queue lengths, and fuel consumption.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusu 2019 yılında 7.7 milyar kişiye ulaşırken, 2030 yılında 8.5 ila 8.6 milyar kişiye ulaşması beklenmektedir [1]. Nüfus artışı ve ekonomik kalkınmayla birlikte, motorlu taşıt sayısı

ve kullanım oranı artarken, etkin trafik yönetiminin sağlanamaması ile enerji tüketimi artmakta, artan taşıt sahipliği sera gazı salınımını artırmakta, trafikte geçirilen sürenin artması ile yaşanan zaman kaybı büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır [2]. Özellikle karayolu ağırlıklı gelişen ulaştırma

sistemlerinde hareketlilik sonucu trafik sıkışıklığı, kazalar, çevre kirliliği gibi pek çok önemli sorun ortaya çıkmaktadır. Bu olumsuz etkileri azaltmak, aynı zamanda insan öncelikli bir ulaşım sisteminin gelişmesine destek vermek üzere “Sürdürülebilir Ulaşım” kavramı ortaya çıkmış olup, ulaşımında sürdürülebilirlik kentlerin ortak hedefi haline gelmiştir. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için etkin ve verimli Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) geliştirilmesi ve uygulanması yoluna gidilmiştir [3].

Şehir içi ve şehirlerarası çeşitli noktalarda veya tüm yol boyunca ulaşım akışını, güvenliğini, düzenlemesini etkileyen çeşitli faktörleri iyileştirmek amacı ile kullanılan AUS uygulamaları, gelişen teknoloji ile birlikte yenilenmekte ve sağladığı faydalar artmaktadır [4]. Özellikle kavşak bölgelerindeki sorunları çözmek, gecikme sürelerini azaltmak ve trafik akışını güvenli hale getirmek üzere AUS uygulamalarının kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ve ayrılması ile oluşan ortak alanlardır. Yol ağlarının birbirleriyle kesişimlerini düzenleyen kavşaklar, karayolunun önemli bir unsuru olup, farklı geometriye (3-4-5, çok kollu, dik/farklı açılı, eş düzey/düzyay ayırmalı, yuvarlak adalı kavşak vb.), ve farklı işletim sistemine (sinyalize / sinyalize olmayan) sahip olabilir. Artan nüfus ve hareketlilikle birlikte dünyanın pek çok kentinde kentsel alan genişlemekte ve yayılmakta, buna paralel olarak yol ağları genişlemekte dolayısıyla kavşak sayısı her geçen gün artış göstermektedir.

Sinyalize olmayan kavşaklar, özellikle düşük yoğunluklu trafik bölgelerinde veya kırsal alanlarda tercih edilmekle birlikte, artan araç sayısı ve karmaşık trafik desenleri nedeniyle güvenlik ve verimlilik sorunlarına yol açabilmektedir [5]. Bu nedenle, geleneksel “dur” ve “yol ver” işaretlerine ek olarak, teknolojik çözümlerle desteklenen yeni kontrol yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir kavşağın sinyalize olarak yönetilmesi, çakışan trafik hareketlerini etkili bir şekilde ayırarak trafik güvenliğini artırabilir. Ancak sinyalizasyon, kavşak yönetimi için verimsizliğe neden olan yeşil zaman kaybına da yol açabilir. Bu nedenle, araştırmacılar kavşak yönetimi için sinyalsiz yöntemleri araştıran çalışmalara odaklanmaya başlamıştır [6]. Bu çalışmalarda; kamera ve sensör verilerini analiz eden yapay zekâ destekli karar sistemleriyle geçiş önceliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, araç-altyapı (V2I), araç-araç (V2V), araç-yaya (V2P) iletişimi ile çift yönlü veri alışverişi

sağlanarak trafik akışının düzenlenmesi ve çarpışmaların önlenmesi hedeflenmektedir [7, 8, 9, 10].

Otonom araç teknolojisi, sürüş ve yol güvenliğini artırma, güvenli ve kolay park etme, trafik sıkışıklığını ve kazaları azaltma, trafik akışını düzenleme ve iyileştirme, olumsuz çevresel etkileri azaltma ve enerji tasarrufu gibi birçok avantaj sunmaktadır [11, 12, 13]. Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE), 0’dan 5’e olmak üzere 6 seviyeli bir otonom sürüş sınıflandırma sistemi yayınlamıştır [14]. Dünya genelinde Seviye-4 (yüksek otonom) ve Seviye-5 (tam otonom) araçların kamuya açık yollardaki test çalışmaları hızla devam etmektedir. Yakın gelecekte trafik sistemleri hem otonom hem de geleneksel araçlardan oluşacaktır. Bağlantılı ve Otonom Mobilite (Connected and Automated Mobility CAM) ise akıllı araç teknolojilerini, altyapıyı ve iletişimi bir araya getirerek yol kullanıcıların ve araçların iletişim ve etkileşim kurmasını sağlayan bir mobilite vizyonudur. Yol ağının önemli bir bileşeni olan kavşakların, CAM sürecine hazır olması gerekmektedir. Bu bağlamda “Kooperatif Kavşak Yönetimi” kavramı karşımıza çıkar. Kooperatif kavşak yönetimi, otonom ve bağlantılı araçların birbirleriyle koordineli biçimde geçiş yapmasına olanak tanır [15, 16].

Chen vd., (2020), akıllı araçların, sinyalize olmayan şehir içi kavşaklardan daha güvenli ve verimli bir şekilde geçmelerine yardımcı olmak amacıyla, kavşaklardaki trafik karmaşıklığını ve araçlar arasındaki etkileşimi dikkate alan, oyun teorisine dayalı bir karar verme modeli geliştirmiştir. Geliştirilen model ile taşıtlar arasındaki çatışmaların azaldığı ve kavşağı geçerken harcanan zamandan %15 tasarruf edildiği bulunmuştur [17]. Hızarcı vd., (2023), sinyalize olmayan kavşaklarda sürücüler için kritik aralık kabul değerlerinin hesaplanabilmesi için yeni bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada, kritik aralık kabul değerinin, düşük ana yol hacim değerleri altında önemli oranda değişkenlik gösterdiği; ancak ana yol trafik akımı yüksek değerlere ulaştığında sürücülerin daha kısa aralıkları kabul ettikleri tespit edilmiştir [18].

Sinyalize olmayan bir kavşakta meydana gelen kazaları azaltmak için kullanılan AUS uygulamalarından biri Kavşak Çatışma Uyarı Sistemi’dir (Intersection Conflict Warning System ICWS). ICWS, kavşağa yaklaşan araçları algılayan etkinleştirilmiş bir uyarı işareti ve sensörlerden oluşur. Tali yoldaki sürücüler ana yoldaki araçlar konusunda uyarır ve ana yoldaki sürücüler tali yoldaki araçlar konusunda bilgilendirir. Sistem, çatışmaların azalmasına, yaklaşım hızlarının

düşmesine ve sürücünün geçiş yapacağı boşluğu daha iyi seçebilmesine olanak sağlar [19].

Kavşaklarda kullanılan sinyalizasyon sistemleri kontrol türlerine göre sabit zamanlı ve trafik uyarımlı sistemler olarak gruplandırılır. Sabit zamanlı kontrol sisteminde, kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt trafiğine, önceden belirlenmiş sürelerle uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilir. Yeşil süreler ortalama trafik yükü değerlerine göre belirlenir. Günün değişik saatlerinde farklı devre süreleri kullanılan sabit zamanlı kontrol sistemlerinde, bu devre süreleri trafik akımlarında meydana gelen değişiklikleri iyileştirememekte ve gereksiz beklemelere neden olarak gecikmeyi artırmaktadır. Bu durum, hem zaman hem de ekonomik kayıplara neden olmakta, sabırsız sürücülerin kural ihlali yapmalarına zemin hazırlamakta, ayrıca çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu olumsuz durumların bertaraf edilmesine olanak sağlayabilecek gerçek zamanlı trafik değerlerine göre süre ataması yaparak gecikmeleri en aza indiren trafik uyarımlı kontrol sistemlerinde ise taşıtların geçiş sıraları ve süreleri algılayıcılar tarafından belirlenen trafik verilerine göre düzenlenmektedir. Bu kavşaklarda; algılayıcılar, kameralar ve diğer dijital teknolojileri kullanılmakta olup trafik ışığı süreleri; trafik miktarı, kuyruklanma gibi parametrelere göre gerçek zamanlı olarak en uygun şekilde belirlenmekte, trafik akımının anlık değerlerine göre ışık süreleri atanmaktadır. Bu sistem; yarı trafik uyarımlı, tam trafik uyarımlı ve adaptif olmak üzere üç türlü uygulanabilmektedir [20].

Yarı uyarımlı sinyal kontrolünde, kavşaktaki tali yollardan talep kabul edilecek şekilde sensörler yerleştirilir. Genellikle ana yol üzerindeki akım yönlerine sürekli olarak geçiş hakkı verilir. Tali yol/yolların herhangi birinden geçiş talebi uyarısı alınmadıkça sinyallerde bir değişiklik olmaz [21]. Tam uyarımlı sinyal kontrol sistemi ise sabit zamanlı kontrol sistemine, hareketle kontrol edilen bir mantık katmanı ekleyen bir kontrol tekniğidir. Bu sistem, kavşaktaki sinyal süreleri ile bitişik kavşaklardaki koordineli fazlar arasındaki temel zaman ilişkilerini düzenler. Her kavşak, günün farklı talep desenlerine göre programlanmış bir dizi sinyal planına sahiptir [22]. Tam uyarımlı sinyal kontrolünde kavşağın tüm yaklaşım kollarında araçlar ve yayalar için algılayıcılar bulunur. Geçiş hakkı, sıra ve süreleri, uyarı alınan yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Bu sistemde, her yaklaşım kolu için minimum yeşil süre hesaplanmakta, mevcut faz durumuna göre yaklaşım kollarındaki algılayıcılardan alınan

verilere göre yeşil süre uzatılmaktadır. Önceden belirlenen maksimum yeşil süreye ulaşıldığında veya taşıt geliş aralıklarında artış gözlemlendiğinde faz sona ermekte ve bir sonraki faza geçilmektedir. Tam uyarımlı kontrol sistemi, trafik taleplerinin ve düzenlerinin gün boyunca büyük ölçüde değiştiği izole kavşaklar için idealdir [23].

Adaptif sinyal kontrol sistemi, trafik kontrol sistemlerinin en gelişmiş biçimini temsil eder. Sistem birden fazla kavşaktan gelen verileri kullanarak tüm trafik ağı genelini analiz eder. Bu sayede, ağ genelindeki sinyal zamanlamalarını optimize ederek tıkanıklığı daha etkili bir şekilde yönetir. Adaptif bir trafik sinyal kontrol sisteminin temel ilkesi, trafik taleplerindeki dinamik değişikliklere yanıt verebilmesidir. Bu sistemde, döngü uzunluğu, yeşil süreleri, faz sıraları ve ofset gibi parametrelerden en az biri ayarlanmalıdır. Trafik uyarımlı sinyal kontrolünün aksine, ayarlanabilir parametreleri hesaplamak (sinyal planını optimize etmek), mevcut yeşil fazı devam ettirmek veya başka bir faza geçmeye karar vermek için tüm kavşağın durumunu hesaba katmaktadır [24]. Model tabanlı adaptif bir sinyal kontrol sistemini tasarlamak için, dinamik trafik atama, karma tamsayı doğrusal programlama ve Petri ağları gibi teknikler kullanılır [25]. Bulanık mantık, metasezgisel, dinamik programlama, takviyeli öğrenme, derin takviyeli öğrenme gibi teknikler ise makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan adaptif sinyal kontrol teknikleridir [26, 27].

Miller, sinyal zamanlamasını dinamik olarak optimize etmeye yönelik kontrol algoritmasını öneren ilk araştırmacıdır [28]. Bu prensipten yola çıkarak, diğer araştırmacılar çeşitli dinamik trafik kontrol sistemleri geliştirmiştir. 1. Nesil kontrol sisteminde geçmiş trafik verilerine dayalı olan trafik sinyali kontrol planları, gün içindeki saatlere bağlı olarak çevrimdışı bir şekilde geliştirilir. 2. Nesil kontrol sisteminde, döngü süresi, faz süreleri ve ofsetler gibi parametreler çevrimiçi trafik verilerine göre dinamik olarak ayarlanarak sinyal süreleri optimize edilmektedir. 3. Nesil trafik sinyal kontrolü, merkezi olmayan bir sistemdir. Bu nesildeki sistemler model tabanlıdır ve çoğu dinamik programlamaya dayanmaktadır. 4. Nesil ise ağ trafiğinin entegre yönetimini gerçekleştirebilen ve kendi kendine öğrenen bir sistemdir [24]. 1. Nesil kontrol sistemine örnek olarak TRANSYT (Traffic Network Study Tool), 2. Nesil kontrol sistemine örnek olarak SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique), 3. Nesil kontrol sistemine örnek olarak OPAC (Optimal Progression and Arrival Control), RHODES (Real-Time

Hierarchical Optimized Dynamic Evaluation System) ve 4. Nesil kontrol sistemine örnek olarak INSYNC (Adaptive Traffic Signal System) verilebilir [29].

Bağlantılı ve otonom araçlarla (Connected and Automated Vehicle CAV) ilgili ilerlemelerin etkisiyle, sinyalizasyon olmayan kavşaklarda olduğu gibi sinyalizasyon kavşaklarda da bağlantılı ve otonom sürüşe yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar, bağlantılı ve otonom sürüşün sinyalizasyon kavşaklarda verimi iyileştirdiğini, gecikmeleri azalttığını ve emisyonları azalttığını ortaya koymaktadır [30, 31, 32, 33, 34].

Akıllı kavşak kavramı, uyarmalı ve adaptif trafik sinyal kontrolünü kapsayan bir terimdir. Gecikmeleri azaltmak, kavşak kapasitesini ve performansını artırmak, yakıt tüketimi ve gaz salınımını azaltmak, zaman kaybını azaltarak zamanın ekonomik değerini artırmak, taşıt işletme maliyetleri ile çevresel maliyetleri azaltmak gibi faydalar sağlayan akıllı kavşaklar, birçok ülkede

hem kentsel hem de kent dışı yol ağlarında tercih edilmekte, her geçen gün kullanımı artmaktadır. Gerek trafik uyarmalı gerekse adaptif kontrol sistemleri üzerine yapılan araştırmalar günümüzde hâlâ yoğun biçimde sürdürülmektedir [35]. Tablo 1’de sinyal kontrol sistemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Bu çalışmada; mevcut durumda trafik sıkışıklığı yaşanan, yeni yapılacak olan Ankara Adalet Sarayı sonrası trafik sıkışıklığının ciddi miktarda artacağı öngörülen, Ankara İli Yenimahalle İlçesi’nde yer alan 2’si sinyalizasyon dört kavşağın, akıllı kavşak şeklinde çalıştırılması durumunda sağlanacak faydalar ve iyileşmeler ortaya konulmaktadır. Çalışmada, kavşak performanslarının karşılaştırılabilmesi için VISSIM programı kullanılmış olup, kavşakların önceki (sabit zamanlı) ve sonraki (trafik uyarmalı) durumlarına ait sabah zirve saatleri için benzetim gerçekleştirilmiş, mevcut durum ve yeni durum karşılaştırması yapılarak meydana gelen iyileşmeler tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Trafik sinyal kontrol sistemlerinin karşılaştırması (Comparison of traffic signal control systems)

	<b>Sabit Zamanlı</b>	<b>Yarı Uyarmalı</b>	<b>Tam Uyarmalı</b>	<b>Adaptif</b>
<b>Algılayıcı kullanımı</b>	Gerekmez	Sadece tali yolda	Tüm yaklaşımlarda (ana ve tali yollar)	Geniş alan kapsayacak şekilde sensör kullanımı (kamera, dedektör, radar vb.)
<b>Yeşil süre</b>	Önceden belirlenmiş, sabit	Ana yol sabit, tali yol dinamik	Tüm yönler için trafik talebine göre dinamik	Tüm yönlerde gerçek zamanlı olarak optimize edilmiş
<b>Zaman planı</b>	Günün saatine göre plan değişimi	Sınırlı düzeyde dinamik değişim	Tüm zamanlarda sensör verisine göre gerçek zamanlı dinamik değişim	Sürekli izlenen trafiğe göre gerçek zamanlı dinamik değişim (sinyal planlarını kendisi üretir)
<b>Kullanım alanı</b>	Düşük yoğunluklu, sabit trafik desenli kavşaklar	Orta trafik yoğunluklu kavşaklar	Yoğun ve değişken trafik akışına sahip kavşaklar	Geniş alanlı, yoğun ve değişken trafik akışına kavşaklar
<b>Maliyet</b>	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
<b>Verimlilik</b>	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek

Çalışmanın katkısı ve yenilikçi yönü şöyle özetlenebilir:

- Çalışma, Yeni Ankara Adalet Sarayı’nın hizmete girmesiyle önemli miktarda taşıt trafiği artışı beklenen ve farklı geometrilere sahip dört gerçek kavşak üzerinden gerçekleştirilmiş olup, uygulama odaklı bir değerlendirme içermektedir.
- Çalışmada akıllı kavşak sistemlerinin; hizmet seviyesi, kuyruk uzunluğu, duraklama sayısı ve

süresi, ortalama gecikme, emisyon değerleri, yakıt tüketimi gibi farklı performans göstergeleri üzerindeki etkileri çok boyutlu olarak analiz edilmiş olup, geleneksel trafik kontrol yaklaşımlarına kıyasla daha etkin ve yenilikçi bir çözüm önerisi sunmaktadır.

- VISSIM mikroskobik benzetim modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar, yerel yönetim ve karar vericiler için bilimsel temelli bir karar destek aracı niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma, Doç.Dr. Ebru Arıkan Öztürk danışmanlığında Cenk Fidan tarafından hazırlanan “Akıllı Kavşak Kontrol Sistemi Uygulamaları: Ankara Örneği” başlıklı Yüksek Lisans tezi esas alınarak hazırlanmış olup, 28-29 Aralık, 2024 tarihinde gerçekleşen 6. BİLSEL Uluslararası Dünya Bilim ve Araştırma Kongresi’nde sözlü olarak sunulmuş, özet olarak bildiri kitabında yer almıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Akıllı sinyal (trafik uyarımlı ve adaptif) kontrolü üzerinde literatürde birçok önemli çalışma bulunmaktadır. Akıllı kavşak kullanımının sağladığı avantajları ortaya koyan literatürdeki çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Samadi vd., (2012) çalışmalarında, İran’ın Mashhad şehrindeki 3 bulvarda (Jomhoori Blvd., Ferdowsi Blvd., Sajjad Blvd.) yer alan kavşakların, mevcut durumu ve SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) ile dinamik olarak çalıştırılması durumunda sabah ve akşam zirve saatler ile zirve dışı saatlerdeki gecikme analizini yapmıştır. Çalışmada; zirve ve zirve dışı saatlerde taşıt başına ortalama gecikmede %7-%14,5 arasında azalma, yakıt tüketiminde %3,7-%15,9 arasında azalma, CO salınımında %4,4-%21,9 arasında azalma, ve HC salınımında ise %4,5-%21,3 arasında azalma olduğu belirlenmiştir [36].

Yılmaz (2012) çalışmasında, AUS uygulamalarının kullanılması durumunda yakıt, taşıt yıpranma, kaza, zaman ve çevre olmak üzere 5 farklı alanda maliyet tasarrufu yapılabileceğini belirtmiştir. Çalışmada AUS uygulamalarına yapılacak 16,4 milyar TL yatırım ile karayolu ulaştırması kaynaklı maliyetlerin yaklaşık 33 milyar TL azaltılmasının mümkün olduğu ifade edilmiştir [37].

Gündoğan vd., (2014), ISBAK’ın TUBİTAK desteği ile geliştirdiği Adaptif Trafik Yönetim Sistemi (ATAK)’ın performansını incelemek amacıyla İstanbul’da gerçekleştirdikleri çalışmada; ATAK kullanılan izole kavşakta periyot süresinde yaklaşık %10, koordineli kavşaklarda (5 kavşak) ise seyahat süresinde yaklaşık %15 ve karbon salınımında yaklaşık %10 oranında azalma olduğunu belirlemiştir [38].

Swaminathan vd., (2014), Hinditan-Chennai şehrinin ana arterlerden biri olan Anna Salai’deki sinyalizasyon beş kavşağın dinamik şekilde yönetilmesini VISSIM ile benzetim yapılarak gecikmede %20-%39 azalma olduğunu belirlemiştir [39].

Bayrak vd., (2014) çalışmalarında, Çorum’da bulunan 6 adet dinamik kavşağın verimlilik analizlerini incelemiştir. Kavşaklardan alınan veriler ile öncelikle sabit zamanlı ışık süreleri ile hesaplamalar yaparak daha sonrasında kollardaki değişken taşıt yoğunluğuna göre ayarlanan dinamik kavşak sonrasındaki verimlilik sonuçları karşılaştırılarak bir kavşağın sabit zamanlıdan dinamik hale geçmesi sonrasında yaklaşık %48’lik bir iyileşme sağlandığı ve hizmet seviyesinin ise D’den C’ye yükseldiği tespit edilmiştir [40].

Shi vd., (2016) çalışmalarında, aynı zaman aralığında daha fazla taşıtın geçişini sağlayabilmek için faz diyagramını dinamik olarak ayarlayabilen ve yeşil ışık süresini gerçek zamanlı trafik hacmine göre kontrol edebilen bir algoritma tasarlamıştır. Önerilen algoritmada ilk taşıtın bekleme süresi kontrol parametresi olarak kabul edilerek her yöndeki taşıt kuyruğunun ihtiyaç duyduğu geçiş süresi belirlenmektedir ve belirlenen süreler göre faz diyagramının öncelik sırası belirlenerek faz döngüsü ayarlanmaktadır. Çalışmada, önerilen algoritmanın mevcut algoritmalara göre daha yüksek taşıt geçiş hızı sağladığı tespit edilmiştir [41].

Erol (2018) çalışmasında, Denizli’deki Emniyet Kavşağı (sinyalizasyon) ve Albayrak Kavşağı’nın (modern dönel kavşak) VISSIM programında benzetimlerini yaparak kavşak performans değerlerini analiz etmiştir. Çalışmada, Emniyet Kavşağı’nda sinyal sürelerinin iyileştirilmesi, faz planının değiştirilmesi ve kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumlarının, Albayrak Kavşağı’nda ise kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunun performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kavşak kontrol türünün değiştirilmesinin performans parametrelerine etkisinin oldukça fazla olduğu, modern dönel kavşağın sinyalizasyon kavşağına oranla daha az gecikme değeri verdiği belirlenmiştir [42].

Uludamar ve Tüccar (2018) çalışmalarında, trafik akışını kontrol etmek ve şehir içindeki zaman kayıplarının azaltılmasında, trafik ışıklarının zamanlamasının büyük önem taşıdığından bahsetmiştir. Çalışmada, farklı zamanlamaları kullanarak bir kavşaktaki kuyruk uzunluğu, araç gecikmeleri, gaz salınım ölçümleri için VISSIM benzetim programı kullanılmış olup, Adana şehir merkezinde yer alan bir kavşakta kuyruk uzunlukları, araç gecikmeleri ve gaz salınımları üzerinde iyileştirici bir etki sağlandığı bulunmuştur [43].

Promraksa vd., (2019), Tayland’ın Khon Kaen Eyaleti’nin Phol şehrindeki 3 kavşağın tam uyarımlı sistemle çalışmasını VISSIM ile inceledikleri

çalışmada, ortalama gecikmede %44,7 ve CO<sub>2</sub> salınımında %8,7 oranında azalma tespit etmiştir [44].

Muresan vd., (2019), yeni bir derin öğrenme modeli kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, tek bir kavşakta dokuz haftalık verileri simüle ederek, yarı trafik uyarmalı ve sabit zamanlı trafik kontrol durumlarını karşılaştırmıştır. Simülasyon analizi, aktifleştirilmiş kontrolle karşılaştırıldığında ortalama %32'lik ve sabit zamanlı kontrolle karşılaştırıldığında %37'lik bir gecikme azaltımı göstermektedir [45].

Chen vd., (2019), arterlerde sinyal koordinasyonu için pekiştirmeli öğrenme tabanlı yeni bir adaptif sinyal kontrol yöntemi geliştirmeyi hedeflemiştir. Bu kapsamda oluşturulan algoritma, gerçek zamanlı trafik verileri kullanılarak test edilmiştir. Trafik simülasyon yazılımı SUMO ile elde edilen deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin sabit zamanlı denetim ve mevcut sinyal kontrol yöntemlerine kıyasla bekleme sürelerini sırasıyla yaklaşık %15 ve %24 oranında azaltabildiğini ortaya koymuştur [46].

Çakıcı (2020), sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerini azaltmaya yönelik "Sinyal Süresi ve Faz Planı Optimizasyonu Tabanlı Denetim (SFOTD)" modelini geliştirmiştir. Üç ve dört kollu kavşaklar için 42 trafik hacim senaryosunun VISSIM simülasyon programında analiz edildiği çalışmada, ortalama gecikmelerin üç kollu kavşaklarda optimum sabit zamanlı denetime (OSZD) göre %45, trafik uyarmalı denetime (TUD) göre %35; dört kollu kavşaklarda ise OSZD'ye göre %30, TUD'ye göre %15 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir [35].

Jamal vd., (2020), Suudi Arabistan'ın Dhahran şehrindeki izole sinyalize kavşaklarda akıllı trafik kontrolü için metasezgisel tabanlı bir model geliştirmiştir. Modelde faz ve devre sürelerini optimize etmek için genetik algoritma (GA) ve diferansiyel evrim (Differential Evolution DE) kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, hem GA hem de DE'nin mevcut koşullara göre gecikmeyi %15-%35 oranında azalttığını göstermiştir [47].

Çakıcı ve Murat (2021), sinyalize ve yuvarlak adalı kavşakta taşıt başına düşen ortalama gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlayan bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Oluşturulan modelde, fazlara ait sinyal süreleri ve devre süresi Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Modelin etkinliği gerçek trafik verileri ile VISSIM simülasyon programında test edilmiş, mevcut duruma kıyasla taşıt başına ortalama gecikmenin %30,32 oranında azaldığı tespit edilmiştir [48].

Nie vd., (2021), farklı trafik koşullarında (düşük yoğunluk, doymun akıma yakın ve doymun akımın üstü) kullanılmak üzere gerçek zamanlı bir trafik ışığı kontrol algoritması geliştirmiştir. Bu algoritmayı VISSIM benzetim programında test ederek, Çin'in Shandong Eyaleti Jinan şehrindeki Jingba ve Weiyi yollarının kesişimindeki bir kavşak için sabit zamanlı ve dinamik trafik ışığı kontrolü açısından gecikme analizi yapmışlardır. Çalışma sonucunda, taşıt başına ortalama gecikmelerde düşük trafik yoğunluğunda %68,27, doymun akıma yakın yoğunlukta %49,46, yüksek yoğunlukta ise %39,35 oranında iyileşme sağlandığı belirlenmiştir [49].

Wu vd., (2022), oyun teorisi destekli takviyeli öğrenme stratejilerini kullanarak geliştirdikleri algoritmaların, geleneksel sinyal kontrol sistemlerine kıyasla iyileştirmeler göstererek ağ gecikmesinde %22,1 ve tıkanıklık süresinde %9,7 azalma sağladığını ortaya koymuştur [50].

Çakıcı vd., (2022), çalışmalarında trafik uyarmalı kontrol sistemi için etkin bir kontrol mantığı ve akış şeması oluşturmayı amaçlamıştır. Analizler sonucunda, trafik uyarmalı kontrol sisteminin sinyalize kavşak yaklaşımlarındaki trafik taleplerindeki dalgalanmalara uyum sağlayabildiği belirlenmiştir. Ayrıca ortalama araç gecikmeleri, yakıt tüketimleri ve egzoz emisyonlarında önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir [51].

Balaban ve Arıkan Öztürk (2022), önceki durumunda sabit zamanlı olarak çalıştırılan, daha sonra tam trafik uyarmalı trafik ışığı sistemine dönüştürülen bir kavşakta, taşıt başına düşen ortalama gecikme süresindeki değişimi inceledikleri çalışmalarında, taşıt başına ortalama gecikmede %35 azalma sağlanabileceğini ayrıca, yıllık 78 bin litre yakıt ve 190 ton CO<sub>2</sub> salınımı tasarrufu sağlanabileceğini bulgulamıştır [20].

Özkul (2023), İstanbul Zeytinburnu ilçesi 10.yıl arterinde bulunan Mevlana Kapı, Silivri kapı ve Belgradkapı sinyalize kavşakların, koordineli olarak çalıştırılması ve farklı senaryolar ile akıllı kavşak olarak işletilmesi durumunda kavşak performans göstergelerindeki değişimi, Aimsun mikro simülasyon programı kullanılarak incelemiştir. Çalışma sonucunda araç başına gecikmelerde %10'dan %97'ye kadar, toplam seyahat sürelerinde %9'dan %67'ye kadar, ortalama hız değerlerinde %5'den %67'ye kadar, CO<sub>2</sub> değerlerinde %1'den %18'e kadar, NOx değerlerinde %4'den %16'ya kadar, Yakıt tüketim değerlerinde %1'den %32'ye kadar iyileştirme sağlanabileceği tespit edilmiştir [52].

Duraku ve Boshnjaku (2024), sabit zamanlı ve yarı trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerini karşılaştırmayı amaçladıkları çalışmalarında, gerçek verileri kullanarak sinyal planlarını optimize etmiş ve VISSIM simülasyonlarıyla test etmişlerdir. Karşılaştırma için kuyruk uzunluğu ve gecikme dikkate alınmıştır. Sonuçlar; yarı trafik uyarmalı olarak işletilen kavşakta kuyruk uzunluklarının %39,6 ve araç gecikmelerinin ise %51,3 oranında azaldığını, trafik akışında önemli bir iyileşme olduğunu ortaya koymuştur [53].

Yaman (2024), çalışmasında Bursa şehir merkezinde bulunan farklı geometriye ve trafik akım koşullarına sahip 8 kavşağı, VISSIM ile sabit zamanlı ve tam trafik uyarmalı olarak modelleyerek sonuçları karşılaştırmıştır. Gecikme, durma sayısı, kuyruk uzunluğu ve yakıt tüketimi (CO, NO<sub>x</sub>, VOC) analizlerinde, incelenen tüm kavşaklarda iyileşme tespit edilmiştir. Gecikmedeki iyileşmenin en fazla olduğu kavşak Çalı Alaaddinbey Hasanağa Kavşağı (%47), durma sayısındaki iyileşmenin en fazla olduğu kavşak/lar Eğitim Caddesi Kavşağı (%41), Çalı Yolu Beşevler Girişi Kavşağı (%41), kuyruk uzunluğundaki iyileşmenin en fazla olduğu kavşak Hasanağa Kavşağı (%67) ve yakıt tüketimindeki iyileşmenin en fazla olduğu kavşak Çalı Yolu Beşevler Girişi Kavşağı (%39) olarak bulgulanmıştır [54].

### 3. YÖNTEM (METHODOLOGY)

Analitik modeller, bir kavşağın performansını genel olarak değerlendirmesine yardımcı olur. Ancak simülasyon araçları, dinamik trafik analizi için çeşitli kullanım durumlarının incelenmesin de son derece faydalıdır. CORSIM, AIMSUN, Paramics, MATSim, VISSIM ve SUMO popüler mikro simülasyon araçlarından bazılarıdır [55].

VISSIM, PTV GmbH tarafından geliştirmiş olan, yaya akışını ve kent içi trafiği modellemek için kullanılan davranış tabanlı mikroskobik bir benzetim modelidir. VISSIM, trafik akışındaki araç takibi ve şerit değiştirme gibi karmaşık hareketleri modelleyerek, gerçek zamanlı trafik durumlarını analiz eder.

VISSIM ile trafik performansı; gecikme, seyahat süresi, hız, emisyon, yakıt tüketimi gibi faktörler üzerinden değerlendirilebilir [56]. VISSIM, trafik simülatörü ve sinyal durum üretici olmak üzere iki bileşenden oluşur. Trafik simülatörü, Wiedemann araç takip modeli ve şerit değiştirme mantığıyla çalışan bir simülasyon sistemidir. Sinyal durum üretici ise, simülatörden alınan saniyelik verilerle bir sonraki saniye için sinyal durumlarını belirleyen kontrol programıdır. Simülasyon sonuçları,

istatistiksel verilerle gerçek zamanlı trafik değişimini görsel olarak yansıtır.

VISSIM, sinyalize kavşaklarda trafik akışı benzetimi için güçlü bir sinyal kontrol mekanizması sunar. Sinyal kontrolü, sabit zaman dilimleri veya uyarmalı sinyal kontrolü ile yapılabilir. Sabit ışık zamanları, önceden belirlenmiş sürelerle yönetilirken, uyumlu trafik ışığı kontrolü gerçek zamanlı trafik yoğunluğuna göre değişir.

Çalışma kapsamını; Ankara Yenimahalle ilçesinde yer alan, farklı geometriye sahip ve birbirleri ile bağlantılı sinyalize dört kavşak oluşturmaktadır. Çalışma kapsamındaki kavşaklar şunlardır (Şekil 1):

- Kavşak 1: Şehit Cem Ersever Caddesi, Bağdat Caddesi ve 95. Sokak kesişimindeki sinyalize kavşak,
- Kavşak 2: Şehit Cem Ersever Caddesi, Ahmet Refik Caddesi ve 98. Sokak kesişimindeki sinyalize kavşak,
- Kavşak 3: Ahmet Refik Caddesi ile Ahmet Hamdi Caddesi kesişimindeki kavşak,
- Kavşak 4: Ahmet Hamdi Caddesi ile 95. Sokak kesişimindeki kavşak.

Çalışmada, incelenen kavşakların önceki (sabit zamanlı) ve sonraki (trafik uyarmalı) durumlarına ait aşağıdaki kavşak performans değerlerinin karşılaştırılabilmesi için VISSIM benzetim programı kullanılmıştır.

- Kavşak hizmet seviyesi
- Kuyruk uzunluğu
- Duraklama süreleri ve adetleri
- Taşıt başına ortalama gecikme
- Gaz salınımı ölçüm değerleri
- Yakıt tüketimi

### 4. ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

Eylül 2024 tarihinde temeli atılan ve 2027'de bitirilmesi planlanan, toplam 745.900 m<sup>2</sup> alana sahip yeni Ankara Adalet Sarayı'nın; hukuk, başsavcılık, ceza ve icra olmak üzere 4 ana bloktan oluşması planlanmaktadır. Yerleşkede 588 duruşma salonu, 810 hakim odası, 756 mahkeme kalemi odası, 572 Cumhuriyet savcısı odası yer alacak olup, 1968'i açık ve 2212'si kapalı olmak üzere 4180 araçlık otopark olması planlanmaktadır [57]. Bölgede yoğun konut kullanımları söz konusudur. Önemli trafik çekimi oluşturan Etlik Şehir Hastanesi de bölgeye yakın konumdadır. Ayrıca, alana yakın mesafede yer alan Fatih Sultan Mehmet Bulvarı ve İvedik Caddesi yoğun taşıt trafiğine



**Tablo 2.** Sabah zirve saat trafik sayımları (Morning peak hour traffic volumes)

1 Nolu Kavşak Sabah Zirve Saat Trafik Sayımları (OEB)				
	1	2	3	4
1	3	969	3	236
2	102	37	140	673
3	133	162	0	173
4	28	487	13	5
2 Nolu Kavşak Sabah Zirve Saat Trafik Sayımları (OEB)				
	1	2	3	4
1	0	107	437	533
2	172	0	51	792
3	118	39	0	53
4	56	394	63	0
3 Nolu Kavşak Sabah Zirve Saat Trafik Sayımları (OEB)				
	1	2	3	4
1	0	81	488	17
2	51	0	554	8
3	258	84	0	16
4	9	12	25	0
4 Nolu Kavşak Sabah Zirve Saat Trafik Sayımları (OEB)				
	1	2	3	
1	0	653	38	
2	88	0	199	
3	61	402	0	

1 – 1 U Dönüşü, 1 – 2 Sağa Dönüşü, 1 – 3 Düz Geçiş, 1 – 4 Sola Dönüş

Çalışma alanında Ankara Adalet Sarayı'nın hizmete girmesiyle birlikte bölgeye çekilecek yeni trafik miktarını belirlemek üzere, Ankara Sıhhiye Adliyesi Destek Hizmetleri Daire Başkanlığı yetkilileri ile Mayıs 2024 tarihinde görüşülmüş, mevcut yerleşkeye gelen ve yeni yerleşkeye gelmesi beklenen günlük kişi sayısına ilişkin bilgiler alınmıştır. Yeni yapılacak olan Adalet Sarayı ile mevcut durumda Sıhhiye'de bulunan Adliye binasının toplu taşıma olanakları birbirine benzerdir. Her iki yerleşkenin bulunduğu alanda metro, belediye otobüsleri ve minibüs ile erişim imkanı söz konusudur. Dolayısıyla, yeni yapılacak olan Adalet Sarayı'nın hizmete girmesiyle bölgeye çekilecek yeni trafiğin belirlenmesinde, mevcut Adliye'nin günlük ziyaret sayısı ile adliye personel sayısı bilgilerinden faydalanılmıştır.

2018 yılı verilerine göre Ankara'da bir iş gününde yapılan yolculukların %56,5'si toplu taşıma araçları ile %43,5'ü ise özel taşıma araçları ile gerçekleştirilmektedir. Toplu taşıma yolculuklarının %21,2'si EGO otobüsleri, %31,3'ü dolmuş-minibüs, %7,0'si ise özel halk otobüsleri, %12,8'i metro-ankaray, %23,2'si servis araçları ve kalan kısım diğer toplu taşıma araçları ile gerçekleştirilmektedir [59]. Bu oranlar, yeni Ankara

Adalet Sarayı'nın hizmete girmesiyle yerleşkeye gelmesi beklenen kişi sayısı bilgileri ve 2014 Ankara Ulaşım Ana Planı ortalama araç doluluk bilgileri dikkate alınarak, yerleşkeye günlük 17510 motorlu taşıt yolculuğu ekleneceği öngörülmektedir. 2014 Ankara Ulaşım Ana Planı verilerine göre, bu yolculukların %20'sinin sabah 08:00-09:00 saatleri arasında gerçekleşeceğinden hareketle, 3502 taşıtın çalışma alanındaki kavşakları kullanacağı hesaplanmıştır.

## 5.2. Mevcut Durum Analizi (Current Situation Analysis)

Mevcut trafik koşulları ve sinyalizasyon süreleri dikkate alınarak yapılan modelleme sonuçları Tablo 3'de görülmektedir. Tablo 3 incelendiğinde 1 numaralı kavşağın E hizmet seviyesinde, 2 numaralı kavşağın F hizmet seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu kavşaklarda hizmet seviyelerinin düşük olmasının en önemli sebebi, hizmet düzeyi değerlendirmesinin önemli bileşenlerinden biri olan gecikme sürelerinin yüksek olması sayılabilir. Ayrıca kuyruk uzunluklarının fazla olması (taşıtların tek bir faz döngüsü içinde kavşağı terk edememeleri, dolayısıyla yüksek kuyruk uzunluklarının oluşması), önemli etkenler arasında sayılabilir.

**Tablo 3.** Mevcut durum kavşak performans değerleri (Intersection performance values for the existing condition)

Kavşaklar	Kavşak Hizmet Seviyesi (Level of Service LOS)	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (metre)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu (metre)	Taşıt Başına Ortalama Duraklama (adet)	Taşıt Başına Ortalama Gecikme (saniye)	Duraklama Gecikme Ortalaması (saniye)	CO Emisyonu (gram)	Nox Emisyonu (gram)	VOC Emisyonu (Gram)	Yakıt Tüketimi (litre)
Kavşak 1	LOS_E	74,5	502,0	1,6	77,8	62,6	7968,6	1550,4	1846,8	431,5
Kavşak 2	LOS_F	81,5	504,7	1,5	82,1	68,2	6963,8	1354,9	1613,9	377,1
Kavşak 3	LOS_A	0,16	30,1	0,1	2,2	0,4	827,6	161,0	191,8	44,8
Kavşak 4	LOS_B	3,9	170,2	0,8	14,0	7,2	2014,0	391,8	466,8	109,1

Tablo 3 incelendiğinde, en yüksek ortalama kuyruk uzunluğunun ve maksimum kuyruk uzunluğunun 2 nolu kavşakta olduğu görülmektedir. 1 nolu kavşakta en yüksek trafik hacmi batı-doğu aksında olurken, en yüksek kuyruk uzunluğu ise kuzey-güney aksında meydana gelmektedir. Bu durumun, trafik hacimleri ile uyumlu bir kavşak geometrisinin olmaması ve/veya trafik hacimleri ile uyumlu bir sinyalizasyon sisteminin olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Taşıt başına ortalama duraklama sayılarında değerin 1'den yüksek olması, taşıtların kavşağı tek bir faz döngüsü içerisinde terk edemediklerini göstermektedir. Duraklamalar sıfıra yaklaştıkça kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin verimliliğinden bahsedilebilir, ancak duraklama sayılarının 1 den yüksek olduğu durumlarda, taşıtların birden fazla kez kırmızı ışıkta beklediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Taşıt başına ortalama gecikme değerlerine bakıldığında, sinyalize olan 1 ve 2 numaralı kavşaklardaki gecikmenin fazla olduğu görülmektedir. Bu gecikmelerin en önemli sebebi kavşakların sinyalize olması ve kavşaklardaki trafik hacimlerinin yüksek olmasıdır. Aynı zamanda bu kavşaklardaki faz düzenlerinin trafik hacimleriyle uyumlu çalışmaması da gecikmeleri artırmaktadır. Duraklama gecikme ortalamaları incelendiğinde de, taşıt başına ortalama gecikmede olduğu gibi, sinyalize olan 1 ve 2 numaralı kavşaklardaki ortalama gecikmenin fazla olduğu görülmektedir. Emisyon değerlerine bakıldığında, 1 ve 2 numaralı kavşakların trafik hacimlerinin yüksek olması, bu kavşaklarda oluşan bekleme süreleri, birden fazla kez yaşanan duraklamalar ve trafiğin dur-kalk şeklinde işlemesinden dolayı yüksek değere sahip olduğu

görülmektedir. Yakıt tüketimleri incelendiğinde, 1 ve 2 numaralı sinyalize kavşaklarda araçların duraklama süreleri ve sayıları ile doğru orantılı olarak daha yüksek yakıt tüketiminin meydana geldiği anlaşılmaktadır.

### 5.3. Trafik Uyarı Durum Analizi (Öneri Durum) (Traffic-Actuated Condition Analysis-Proposed Status)

Çalışmanın bu aşamasında, mevcut durumda 2'si sabit zamanlı olarak yönetilen 4 kavşak VISSIM ile dinamik kavşak olarak modellenmiş, modellenme için yazılımda aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır:

- Aktif Trafik Yönetimi (ATM) Modülü: Dinamik ışık kontrol, VISSIM'in trafik ışık kontrol planlarının adaptif şekilde tanımlanmasına olanak tanıyan araçları kullanarak modellenmiştir. Bu kapsamda, "Vehicle Actuated Programming (VAP)" özelliği veya "External Signal Control" seçenekleri kullanılarak ışık sürelerinin trafik yoğunluğuna bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır.
- Gerçek Zamanlı Veri Entegrasyonu: Kavşaklardaki anlık araç sayısını ve hareketlerini ölçmek için, yazılım içinde algılayıcılar tanımlanmış ve bu algılayıcılar üzerinden toplanan veriler dinamik ışık kontrol sürelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.
- Koordineli Trafik Akışı: Ana arterlerdeki kavşaklar arasında koordinasyon sağlanmış ve belirli bir trafik yönünde kesintisiz akışın sağlanması hedeflenmiştir. Bu koordinasyon, "Green Wave" (yeşil dalga) prensibine göre modellenmiştir.

- Öncelik Algoritmaları: Toplu taşıma araçları ve acil durum araçlarına öncelik tanınması için ışık kontrol algoritmalarında bu tür araçları tanımlayan özel parametreler kullanılmıştır.

Kavşakların akıllı kavşak şeklinde çalışması sonucunda oluşan performans değerleri Tablo 4’de görülmektedir. Tablo 4 incelendiğinde mevcut durumda F hizmet seviyesindeki 2 numaralı kavşağın D hizmet seviyesine yükseldiği, 4 numaralı kavşağın hizmet seviyesinin de B’den A’ya yükseldiği anlaşılmaktadır. 1 numaralı kavşak performans değerlerinde iyileşmeler olsa da, hizmet seviyesinde bir iyileşme gerçekleşmemiştir.

Tablo 4 incelendiğinde, en yüksek ortalama kuyruk uzunluğunun 1 numaralı kavşakta meydana geldiği, maksimum kuyruk uzunluğunun ise 2 nolu kavşakta

oluştugu görülmektedir. Taşıt başına ortalama duraklama sayılarında 1 ve 2 nolu kavşak değerleri (1,1) aynı olup, mevcut durumdaki değerlerden daha düşük olduğu, yani 1 ve 2 numaralı kavşaklarda duraklama sayılarında iyileşme meydana geldiği anlaşılmaktadır. Taşıt başına ortalama gecikme değerleri ve duraklama gecikme ortalamalarında, mevcut durumdakinden farklı olarak, en fazla gecikme 1 numaralı kavşakta gerçekleşmiştir. Emisyon ve yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında, 1, 2 ve 4 numaralı kavşaklarda tüm emisyon türlerinde ve yakıt tüketiminde mevcut duruma göre önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. 3 numaralı kavşakta ise mevcut durumdaki değerlere çok yakın emisyonların olduğu, yakıt tüketiminde belirgin bir azalma meydana gelmediği anlaşılmaktadır.

**Tablo 4.** Trafik uyarımlı durum kavşak performans değerleri (Intersection performance values for the traffic-actuated condition)

Kavşaklar	Kavşak Hizmet Seviyesi (Level of Service LOS)	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (metre)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu (metre)	Taşıt Başına Ortalama Duraklama (adet)	Taşıt Başına Ortalama Gecikme (saniye)	Duraklama Gecikme Ortalaması (saniye)	CO Emisyonu (gram)	Nox Emisyonu (gram)	VOC Emisyonu (Gram)	Yakıt Tüketimi (litre)
Kavşak 1	LOS_E	49,7	248,0	1,1	58,8	48,0	6789,2	1320,9	1573,5	367,7
Kavşak 2	LOS_D	43,5	320,1	1,1	52,1	42,4	5478,6	1065,9	1269,7	296,7
Kavşak 3	LOS_A	0,15	20,2	0,08	1,9	0,2	824,5	160,4	191,1	44,6
Kavşak 4	LOS_A	2,1	127,0	0,5	5,6	1,8	1551,1	301,8	359,5	84,0

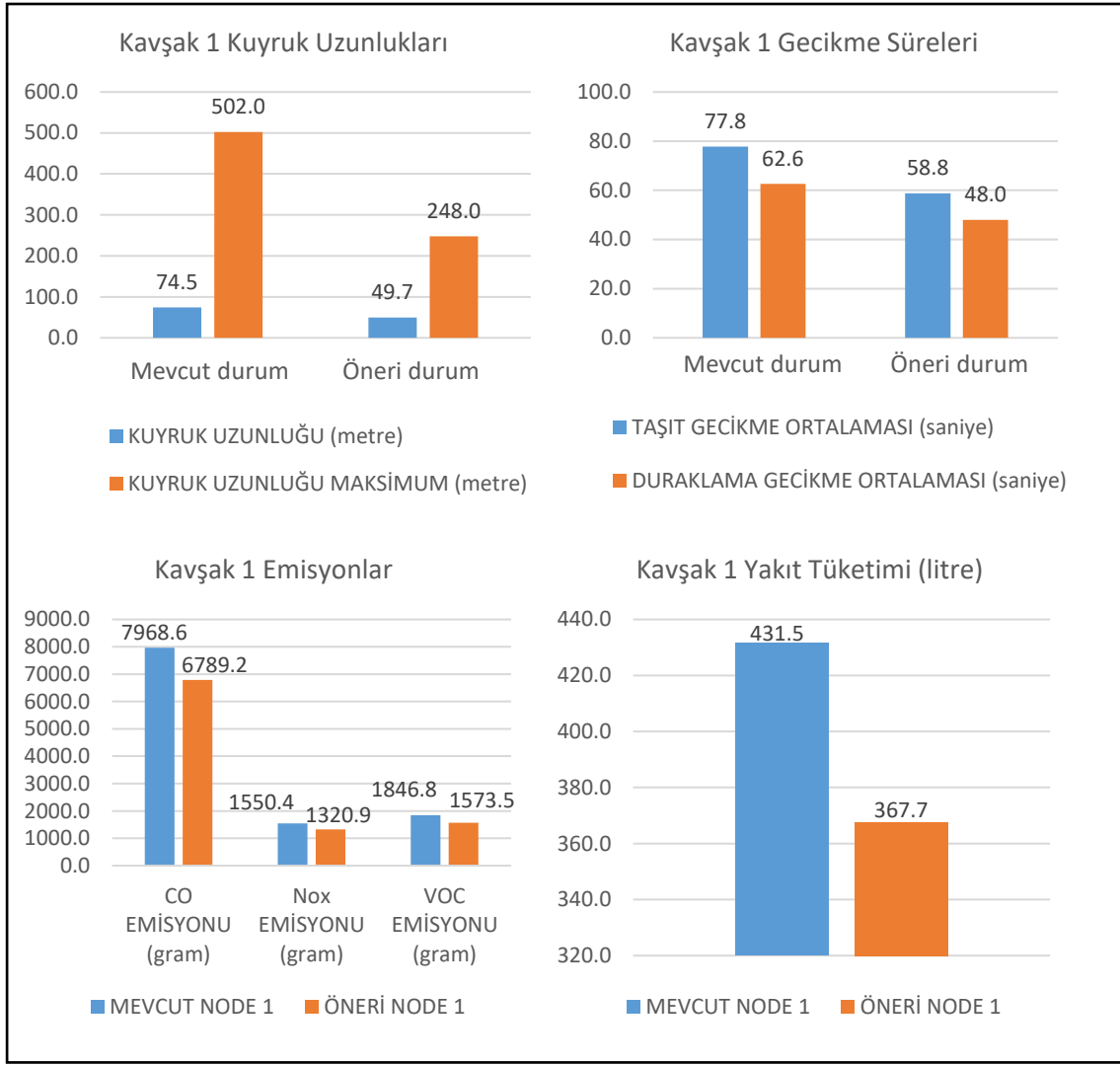
#### 5.4. Mevcut-Öneri Durum Karşılaştırması (Comparison of Current and Proposed Situation)

Çalışma kapsamında incelenen dört kavşağın, mevcut durumu ile trafik uyarımlı olarak işletilmesi (önerilen durum) durumuna ait performans göstergelerindeki değişim, Şekil 2-5’te grafikler halinde sunulmaktadır.

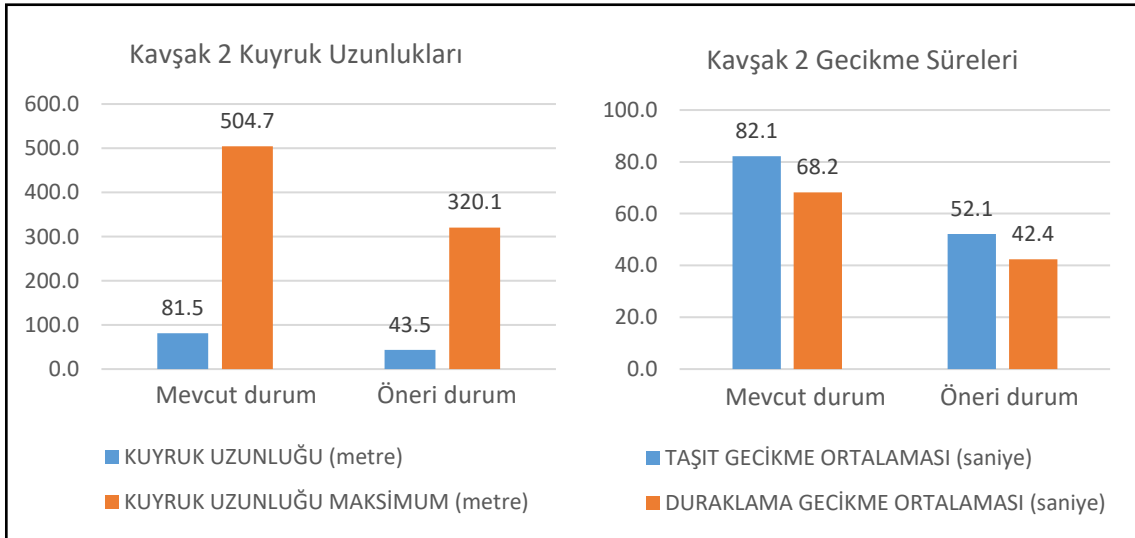
#### 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Akıllı kavşak sistemleri, trafik akışını iyileştirme, gecikme sürelerini azaltma ve çevresel etkileri en aza indirme konularında sağladığı katkılar ile ön plana çıkmaktadır. Geleneksel sabit zamanlı ışık kontrol sistemlerinden farklı olarak, gerçek zamanlı veri analizine dayalı dinamik ışık kontrolü ile trafik yoğunluğuna uyum sağlayan bu sistemler, özellikle

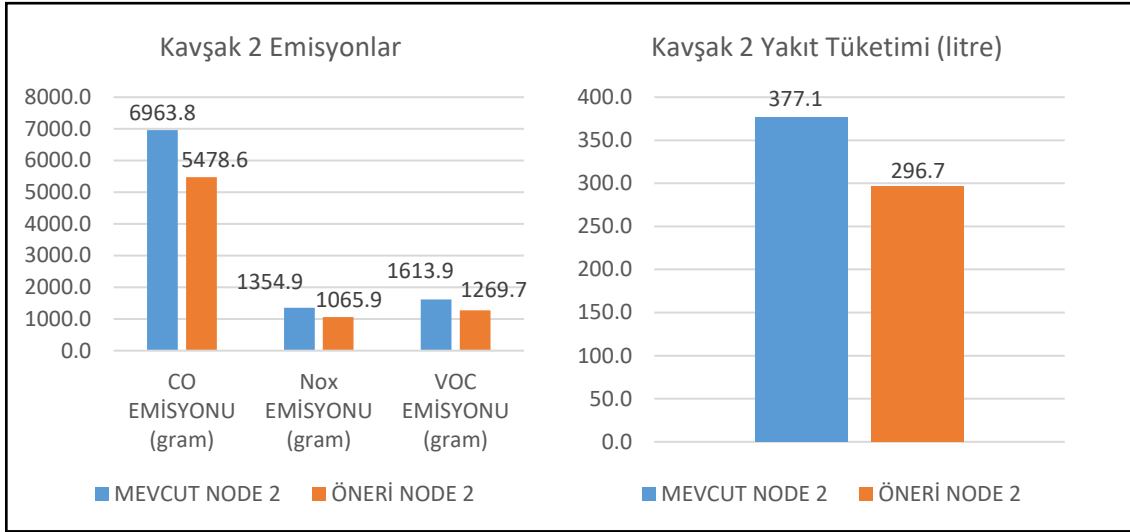
yoğun saatlerde trafik akışını optimize etmektedir. Bunun sonucunda taşıt gecikmelerinde ve duraklamalarda önemli düşüşler sağlanırken, toplam seyahat süresi de gözle görülür şekilde azalmaktadır. Ayrıca, yakıt tüketimindeki azalma ve karbon salınımlarının düşmesi gibi çevresel faydalar da literatürde sıkça vurgulanmaktadır. Akıllı kavşak sistemlerinin bir diğer önemli faydası ise yol güvenliği üzerindeki olumlu etkisidir. Yaya ve bisiklet kullanıcılarının daha güvenli bir şekilde trafikte yer almasını sağlayan bu sistemler, hem bireylerin hem de toplumun trafik güvenliği açısından kazanç elde etmesine olanak tanımaktadır.



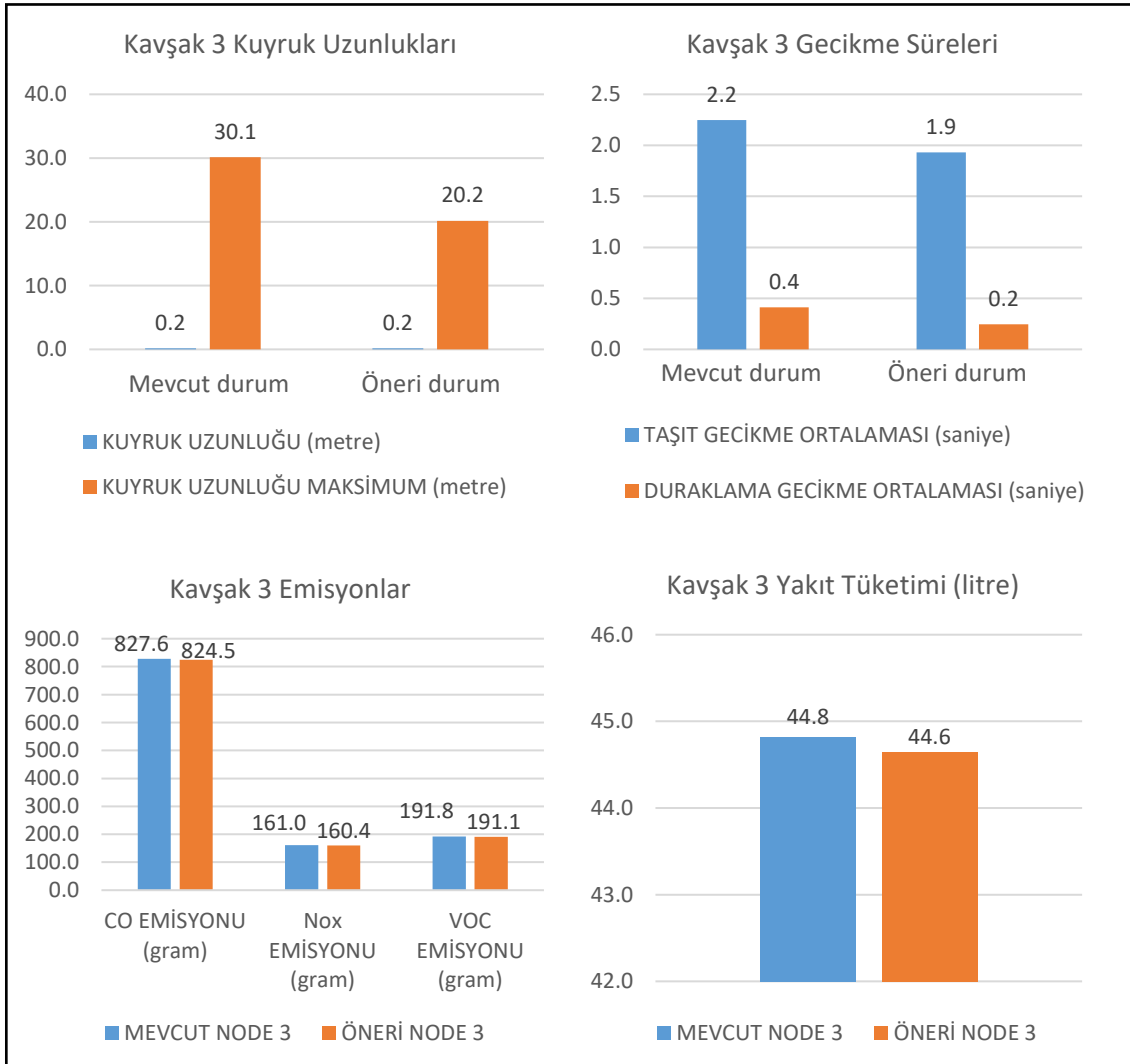
**Şekil 2.** 1 numaralı kavşağın performans göstergelerindeki değişim (Change in performance indicators of intersection 1)



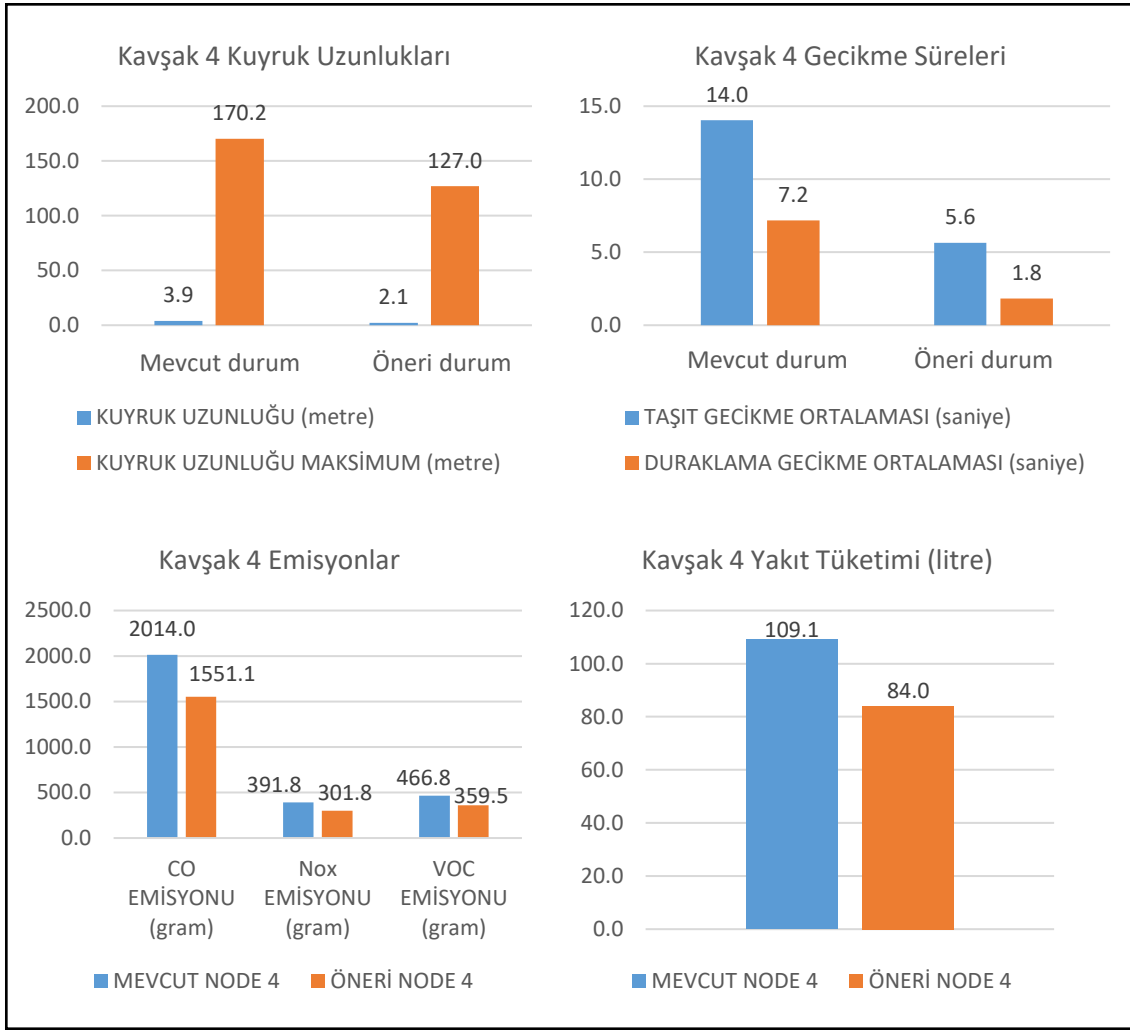
**Şekil 3.** 2 numaralı kavşağın performans göstergelerindeki değişim (Change in performance indicators of intersection 2)



Şekil 3. Devam (Continue)



Şekil 4. 3 numaralı kavşağın performans göstergelerindeki değişim (Change in performance indicators of intersection 3)



**Şekil 5.** 4 numaralı kavşağın performans göstergelerindeki değişim (Change in performance indicators of intersection 4)

Çalışmada, yeni Ankara Adalet Sarayı yerleşkesinde yer alan sinyalize dört kavşağın akıllı kavşak şeklinde çalıştırılması durumunda, kavşak performans değerlerinin tümünde iyileşme gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Bu iyileşmelere ilişkin temel sonuçlar şöyledir:

- *Kavşak hizmet seviyesi:* 1 ve 3 numaralı kavşakların hizmet seviyesi değişmemiş, 2 numaralı kavşak F hizmet seviyesinden D'ye, 4 numaralı kavşak ise B hizmet seviyesinden A'ya yükselmiştir.
- *Kuyruk uzunluğu:* Ortalama kuyruk uzunluğun ve maksimum kuyruk uzunluklarında tüm kavşaklarda azalma meydana gelmiştir. Kuyruk uzunluğu değerlerinde, özellikle 1 ve 2 numaralı kavşaklarda önemli miktarda iyileşme söz konusudur.
- *Duraklama süreleri ve adetleri:* Duraklama süreleri ve adetlerinde de tüm kavşaklarda azalma meydana gelmiştir.
- *Taşıta başına ortalama gecikme:* Kavşak performansı için önemli bir kriter olan taşıta başına ortalama gecikme değerleri tüm kavşaklarda azalmıştır. Özellikle yüksek trafik hacmine sahip 1 ve 2 numaralı kavşaklarda meydan gelen azalma önem arz etmektedir.
- *Gaz salınımı ölçüm değerleri:* CO, Nox ve VOC emisyonlarında 1, 2, ve 4 numaralı kavşaklarda önemli miktarda azalma söz konusudur.
- *Yakıt tüketimi:* Yakıt tüketiminde de emisyon değerlerinde olduğu gibi 1, 2, ve 4 numaralı kavşaklarda önemli miktarda azalma söz konusudur.

Çalışmada elde edilen bulgular, akıllı kavşak sistemlerinin potansiyel faydalarını doğrulamakta ve trafik yönetiminde bu tür yenilikçi yaklaşımların yaygınlaştırılmasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Yapılan benzetim analizlerinde görülmüştür ki, sinyalize kavşaklar sabit faz düzeni yerine dinamik kavşak kontrol sistemi ile çalıştırıldığında; duraklamalar ve kuyruk

uzunlukları azalmakta buna bağlı olarak gecikme süresi, yakıt tüketimi ve gaz salınımları da düşmektedir. Yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde gözlemlenen bu azalma, olumsuz çevresel etkilerin azaltılabileceğini ve enerji verimliliğinin artırılabilirliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca sağlanan tüm iyileşmelerin, önemli düzeyde ekonomik fayda sağlama potansiyeli söz konusudur.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declare that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Cenk FİDAN:** Trafik sayım ve saha çalışmalarını gerçekleştirmiş, VISSIM analizlerini yapmıştır.

He conducted the traffic counts and field studies and performed the VISSIM analyses.

**Ebru ARIKAN ÖZTÜRK:** Bulguların yorumlanmasına destek vermiş, makalenin gözden geçirilmesi ve düzenlenmesine katkıda bulunmuştur.

She provided support for the interpretation of the findings and contributed to the review and editing of the manuscript.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Anadolu Ajansı. Erişim tarihi: 15.01.2025. <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/dunya-nufusu-2030da-8-6-milyara-ulasacak/858027>
- [2] Lee W.H., ve Chiu C.Y. (2020). Design and implementation of a smart traffic signal control system for smart city applications. *Sensors*, 20(2), 508. <https://doi.org/10.3390/s20020508>
- [3] Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Değerlendirme Endeksi Geliştirme AR-GE Projesi Sonuç Raporu (2018). Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneği (AUSDER). [https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file\\_25-aus-degerlendirme-endeksi-gelistirme-ar-ge-projesi-sonuc-raporu-915.pdf](https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file_25-aus-degerlendirme-endeksi-gelistirme-ar-ge-projesi-sonuc-raporu-915.pdf)

- [4] Çapalı B. (2009). Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Türkiye'deki uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Li Y., Hao H., Gibbons R., Medina A. (2021). Understanding gap acceptance behavior at unsignalized Intersections using naturalistic driving study data. *Transportation Research Record*, 2675(9), 1345-1358. <https://doi.org/10.1177/036119812110071>
- [6] Xu B., Li S.E., Bian Y., Li S., Ban X.J., Wang J., Li K. (2018). Distributed conflict-free cooperation for multiple connected vehicles at unsignalized intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93, 322-334. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.06.004>
- [7] Zhou J., Shen Z., Wang X., Wang L. (2024). Unsignalized Intersection Management Strategy for Mixed Autonomy Traffic Streams. *Electrical Engineering and Systems Science*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.03499>
- [8] Xiao G., Liu K., Sun N., Zhang Y. (2024). Game-Based Vehicle Strategy Equalization Algorithm for Unsignalized Intersections. *World Electric Vehicle Journal*, 15(4), 146. <https://doi.org/10.3390/wevj15040146>
- [9] Shi Y., Liu Y., Qi Y., Han Q. (2022). A Control Method with Reinforcement Learning for Urban Un-Signalized Intersection in Hybrid Traffic Environment. *Sensors*, 22(3), 779. <https://doi.org/10.3390/s22030779>
- [10] Chen J, Sugumaran V, Qu P. (2022). Connected and automated vehicle control at unsignalized intersection based on deep reinforcement learning in vehicle-to-infrastructure environment. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 18(7). <https://doi.org/10.1177/155013292211140>
- [11] Szűcs H., Szűcs J. (2024). The Environmental Sustainability Potential of Autonomous Vehicles: An Overview. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 52(3), 246–256. <https://doi.org/10.3311/PPtr.23933>
- [12] Guériau, M., & Dusparic, I. (2020). *Quantifying the impact of connected and autonomous vehicles on traffic efficiency and safety in mixed traffic*. IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rhodes, Greece. DOI: 10.1109/ITSC45102.2020.9294174.

- [13] Ye, L., Yamamoto, T. (2019). Evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on traffic safety. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 526, 121009. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.245>
- [14] SAE (Society of Automobile Engineers). (2021). SAE Levels of Driving Automation. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>
- [15] Al-Sharman M., Edes L., Sun B., Jayakumar V., Daoud M.A., Rayside D., Melek W. (2023). Autonomous Driving at Unsignalized Intersections: A Review of Decision-Making Challenges and Reinforcement Learning-Based Solutions. *Computer Science, Robotics*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.13144>
- [16] Zhuang H., Lei C., Chen Y., Tan X. (2023). Cooperative Decision-Making for Mixed Traffic at an Unsignalized Intersection Based on Multi-Agent Reinforcement Learning. *Applied Sciences*, 13(8), 5018. <https://doi.org/10.3390/app13085018>
- [17] Chen X., Sun Y., Ou Y., Zheng X., Wang Z. and Li M.(2020). A Conflict Decision Model Based on Game Theory for Intelligent Vehicles at Urban Unsignalized Intersections. *IEEE Access*, 8, 189546-189555. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3031674
- [18] Hızarcı S., Tanyel S., DüNDAR S., Gökaşar I., Şengöz B., Topal A. (2023). Işıksız Kavşaklarda Kritik Aralık Kabulü İçin Yeni Bir Yaklaşım. *Turkish Journal of Civil Engineering*, 34(4), 105-132. <https://doi.org/10.18400/tjce.1314559>
- [19] Rachakonda Y., & Pawar D.S. (2023). Evaluation of intersection conflict warning system at unsignalized intersections: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 10 (4), 530-547. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.04.003>
- [20] Balaban, S. & Arıkan Öztürk E. (2022). Tam Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon Sisteminde Gecikme Sağlayan İyileşmeler. *Kent Akademisi*, 15(2), 564-577. <https://doi.org/10.35674/kent.1058968>
- [21] Gülsün, B., & Gonca, C. K. (2019). Adaptif trafik yönetim sistemleri. *OHS Academy*, 2(1), 32-40.
- [22] Xu H., Zhang K., Zhang D. Zheng Q. (2022) Traffic-Responsive Control Technique for Fully-Actuated Coordinated Signals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(6), 5460-5469. DOI: 10.1109/TITS.2021.3054054.
- [23] US-DOT (U.S. Department of Transportation). (2008). Traffic Signal Timing Manual. Federal Highway Administration, Publication Number: FHWA-HOP-08-024. [https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/fhwa\\_hop\\_08\\_024.pdf](https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/fhwa_hop_08_024.pdf)
- [24] Ali M.E.M. (2021). Akıllı Şehirler İçin Koordineli Adaptif Trafik Sinyalizasyon Kontrolü. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] Michailidis P., Michailidis I., Lazaridis C.R., Kosmatopoulos E. (2025). Traffic Signal Control via Reinforcement Learning: A Review on Applications and Innovations. *Infrastructures*, 10(5), 114. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10050114>
- [26] Politi R.R. (2025). Yapay Zeka Yöntemleri ile Yakın Mesafeli Kavşaklarda Sinyal Optimizasyonu. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] Agrahari A., Dhabu M.M., Deshpande P.S., Tiwari A., Baig M.A., Sawarkar, A.D. (2024). Artificial Intelligence-Based Adaptive Traffic Signal Control System: A Comprehensive Review. *Electronics*, 13(19), 3875. <https://doi.org/10.3390/electronics13193875>
- [28] Miller A.J. (1963). Settings for fixed-cycle traffic signals. *Operational Research Quarterly*, 14(4): 373-386. <https://doi.org/10.2307/3006800>
- [29] Wang Y., Yang X., Liang H. and Liu Y. (2018). A Review of the Self-Adaptive Traffic Signal Control System Based on Future Traffic Environment. *Journal of Advanced Transportation*, 1096123:12 <https://doi.org/10.1155/2018/1096123>
- [30] Güler E. (2023). Işıklı Kavşakların Başarımının Belirlenmesinde Yeni Bir Model Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31] Ma C., Yu C., Yang X. (2021). Trajectory planning for connected and automated vehicles at isolated signalized intersections under mixed traffic environment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 130, 103309. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103309>
- [32] Filocamo B., Ruiz J.A., Sotelo M.A. (2020). Efficient Management of Road Intersections for Automated Vehicles-The FRFP System Applied to the Various Types of Intersections and Roundabouts. *Applied Sciences*, 10(1), 316. <https://doi.org/10.3390/app10010316>

- [33] Bento L.C., Parafita R., Rakha H.A., Nunes U.J. (2019). A study of the environmental impacts of intelligent automated vehicle control at intersections via V2V and V2I communications. *Journal of Intelligent Transportation Systems Technology, Planning, and Operations*, 23 (1), 41-59. <https://doi.org/10.1080/15472450.2018.1501272>
- [34] Jing P., Huang H., Chen L. (2017). An Adaptive Traffic Signal Control in a Connected Vehicle Environment: A Systematic Review. *Information*, 8(3), 101. <https://doi.org/10.3390/info8030101>
- [35] Çakıcı Z. (2020). Sinyalize Kavşaklar İçin Optimizasyon Tabanlı Trafik Yönetim Modeli. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] Samadi S., Rad A.P., Kazemi F.M. & Jafarian H. (2012). Performance evaluation of intelligent adaptive traffic control systems: A case study. *Journal of Transportation Technologies*, 2:248-259. <http://dx.doi.org/10.4236/jtts.2012.23027>
- [37] Yılmaz Ö. (2012). Karayolu Ulaşımında Akıllı Ulaştırma Sistemleri. Uzmanlık Tezi, Kalkınma Bakanlığı Yayın No: 2840. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Karayolu-Ulasiiminda-Akilli-Ulastirma-Sistemleri-Ozhan-Yilmaz.pdf>
- [38] Gündoğan F., Karagöz Z., Koçyiğit N., Karadağ A., Ceylan H. & Murat Y.Ş. (2014). An evaluation of adaptive traffic control system in Istanbul, Turkey. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 2(3): 198-201. [https://www.jtle.net/uploadfile/2014/0604/2014\\_0604034552236.pdf](https://www.jtle.net/uploadfile/2014/0604/2014_0604034552236.pdf)
- [39] Swaminathan N., Rathinavel N., Duraisamy S. & Karuppanan G. (2014). Design of vehicle actuated signal using simulation. *GRADEVINAR*, 66(7): 635-641. <https://doi.org/10.14256/JCE.1008.2014>
- [40] Bayrak C., ve diğ. (2014). İllerde Dinamik Kavşak Yönetiminin Etkileri: Çorum Örneği, ISSD Akademik yayımlar. [https://www.issd.com.tr/wp-content/uploads/2024/03/İllerde\\_Dinamik\\_Kavsak\\_Yonetiminin\\_Etkileri.pdf](https://www.issd.com.tr/wp-content/uploads/2024/03/İllerde_Dinamik_Kavsak_Yonetiminin_Etkileri.pdf)
- [41] Shi M., Jiang H., & Li S. (2016). *An intelligent traffic-flow-based real-time vehicles scheduling algorithm at intersection*. 14th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV). 13-15th November 2016 Phuket, Thailand. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7838779>
- [42] Erol D., (2018). Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] Uludamar E. ve Tüccar, G. (2018). Comparison of Traffic Densities at Different Signalization Timings In Roundabouts. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7:1, 217-223. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.386593>
- [44] Promraksa T., Satiennam T. & Satiennam W. (2019). Vehicle actuated signal control for low carbon society. *International Journal of GEOMATE*, 16(55): 86-91. <https://doi.org/10.21660/2019.55.4766>
- [45] Muresan M., Fu L., & Pan, G. (2019). *Adaptive Traffic Signal Control with Deep Reinforcement Learning An Exploratory Investigation*. 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1901.00960>
- [46] Chen P., Zhu Z., Lu G.(2019). *An Adaptive Control Method for Arterial Signal Coordination Based on Deep Reinforcement Learning*. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Auckland, New Zealand. DOI: 10.1109/ITSC.2019.8917051.
- [47] Jamal A., Tauhidur Rahman M., Al-Ahmadi H.M., Ullah I., Zahid M. (2020). Intelligent Intersection Control for Delay Optimization: Using Meta-Heuristic Search Algorithms. *Sustainability*, 12(5), 1896. <https://doi.org/10.3390/su12051896>
- [48] Çakıcı Z. ve Murat Y.Ş. (2021). Sinyalize Dönel kavşaklarda diferansiyel gelişim algoritması ile sinyal süre optimizasyonu. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(2): 635-651. <https://doi.org/10.31202/ecjse.861429>
- [49] Nie C., Wei H., Shi J. & Zhang M. (2021). Optimizing actuated traffic signal control using license plate recognition data: Methods for modeling and algorithm development. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9(2021)100319. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100319>
- [50] Wu Q., Wu J., Shen J., Du B., Telikani A., Fahmideh M., Liang, C. (2022). Distributed agent-based deep reinforcement learning for large scale traffic signal control. *Knowledge-*

- Based Systems*, 241, 108304.  
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108304>
- [51] Çakıcı Z., Murat Y.S., Aydın M.M. (2022). Design of an efficient vehicle-actuated signal control logic for signalized intersections. *Sharif University of Technology Scientia Iranica Transactions A: Civil Engineering*, 29(3), 1059-1076. DOI: 10.24200/SCI.2021.57231.5126
- [52] Özkul T. (2023). 10.Yıl Arterindeki 3 Eş Düzey Sinyalize Kavşağın Akıllı Kavşak Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [53] Duraku R. and Boshnjaku D. (2024). Enhancing Traffic Sustainability: An Analysis of Isolation Intersection Effectiveness through Fixed Time and Logic Control Design Using VisVAP Algorithm. *Sustainability*, 16: 2930. <https://doi.org/10.3390/su16072930>
- [54] Yaman T. (2024). Farklı Trafik Uyarımlı Sinyalize Kavşakların Performanslarının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [55] Agrahari A., Dhabu M.M., Deshpande P.S., Tiwari A., Baig M.A., Sawarkar A. D. (2024). Artificial Intelligence-Based Adaptive Traffic Signal Control System: A Comprehensive Review. *Electronics*, 13(19), 3875. <https://doi.org/10.3390/electronics13193875>
- [56] PTV VISSIM, Erişim tarihi: 21.03.2025. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>
- [57] T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. “Yeni Ankara Adalet Sarayının Temeli Törenle Atıldı”. Erişim tarihi: 16.12.2024. <https://csb.gov.tr/yeni-ankara-adalet-sarayinin-temeli-torenl-atildi-bakanlik-faaliyetleri-40266>
- [58] Önder M., Keçel S., Önder H.G., Ulvi H. (2014). Ankara Ulaşım Ana Planı Hane Halkı Araştırması Sonuçları. Gazi Üniversitesi Ankara Ulaşım Ana Planı Çalışması. <https://kudem.gazi.edu.tr/view/page/189765?siteUri=kudem>
- [59] Aslan C. (2019). Kent İçi Ulaşım Hizmetleri Memnuniyet Araştırması: Ankara İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.