

Araştırma Makalesi

Yeşil dalga uygulamalarında ışıklı kılavuz sistem kullanımının değerlendirilmesi

Halil Kara¹, Gürcan Sarısoy², Yavuz Delice^{3*}

¹ Program of Transportation and Logistics Engineering, Department of Transportation Engineering, Institute of Graduate Studies, Yalova University, Yalova, Turkey

^{2,3} Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering, Yalova University, Yalova, Turkey

*Correspondence: yavuz.delice@yalova.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1096477

Özet: Mevcuttaki yeşil dalga uygulamalarında, sürücülerin uygulamaya olan farkındalığının kavşak girişlerindeki ya da koridorlardaki trafik levhaları ile sağlandığı görülmektedir. Bu durum yeşil dalga uygulamaları için sürücü farkındalığını daha da arttıracak sistemleri gündeme getirmektedir. Öneri kapsamında, koridor içerisinde kaldırım ya da aydınlatma direkleri gibi yol unsurlarının üzerine yerleştirilen led işaretçiler sayesinde sürücüler kılavuz ışıkları döngüsü içerisinde yeşil ışığın içinde kaldıkları takdirde kavşaklarda kırmızı ışıkta beklemeden geçiş yapabilmektedirler. Böylece klasik yeşil dalga uygulamalarına göre sürücülerin ışıklı kılavuz ile belirlenen hıza daha yüksek oranda uymaları sağlanarak kavşaklardaki bekleme sürelerinin, gecikme sürelerinin, durma sayılarının ve bunlara bağlı egzoz emisyonlarının ve yakıt sarfiyatlarının azaltılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında Yalova ilinde koordineli işletilmesi planlanan üç kavşağın trafik sayımları yapılarak çözümlenmiştir. Mevcut durum Vissim mikro-simülasyon yazılımında modellenmiş ve kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Bu model üzerinde, klasik yeşil dalga uygulaması ve ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenen yeşil dalga uygulaması olmak üzere iki farklı senaryonun analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre; çalışılan koridor klasik yeşil dalga uygulamasında D hizmet seviyesindeyken, ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenen yeşil dalga uygulamasında C hizmet seviyesine yükselmiştir. Benzer şekilde tüm koridorda ortalama gecikme değerinde %28, ortalama durma sayısında %6, emisyon ve yakıt değerlerinde %8 oranında iyileşme görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeşil dalga uygulaması, ışıklı kılavuz sistemi, sinyal koordinasyonu, sinyalizasyon sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri

Evaluation of light guiding system usage in green wave applications

Abstract: In current green wave applications, it is seen that the awareness of the drivers for the application is provided by the traffic signs at the intersection entrances or corridors. This situation brings up systems that will increase driver awareness for green wave applications. According to the research, thanks to the led markers placed on the infrastructure elements of pavement or lighting poles in the corridor, drivers can cross intersections without waiting at the red light if they stay within the green light within the guide lights loop. Thus, it is aimed to reduce waiting times, delay times, stopping numbers, and associated exhaust emissions and fuel consumption at intersections by ensuring that drivers comply with the speed determined by the light guide at a higher rate compared to conventional green wave applications. In this context, the traffic counts of three intersections planned to be operated in Yalova province were analyzed within the scope of the study. The current situation has been modeled in Vissim micro-simulation software and calibrated. In this model, two different scenarios were analyzed, namely the conventional green wave application and the green wave application supported by a light guide system. Consequently, the corridor was at service level D in the conventional green wave application and increased to service level C in the green wave application supported by the light guide system. Similarly, in the whole corridor, an improvement of 28% in the average delay value, 6% in the average number of stops, and 8% in emission and fuel values were observed.

Keywords: Green wave application, light guide system, signal coordination, signalization systems, intelligent transportation systems

* Corresponding author.

E-mail address: yavuz.delice@yalova.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5293-9832; 0000-0002-7399-104X; 0000-0002-2646-567X

Received 31.03.2022; accepted 23.08.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Kentlerde nüfusun ve otomobil sahipliğinin artması; gecikmelerin, uzun kuyrukların ve trafik kazalarının artmasında etkili olmaktadır. Özellikle, büyükşehirlerde iş ve okul yolculuklarının yapıldığı zirve saatlerde kavşaklarda uzun kuyruklar oluşmakta, bu durum gecikme sürelerini artırmaktadır. Trafik tıkanıklığı genellikle aynı yolun kavşaklarda farklı doğrultulardan gelen taşıtların sıra ile kullanılması sonucu olmakta ve yolun kapasitesinin taşıt gelişlerini taşıyamaması ile ortaya çıkmaktadır (Kocadağ, 2017). Nüfusu az olan şehirlerde, ancak mevsimsel olarak taşıt sayısının değişkenlik gösterdiği yazlık bölgelerde de benzer sıkıntılar yaşanabilmektedir.

Trafikte yaşanan sıkıntıları en aza indirmek için akıllı ulaşım sistemlerini destekleyen birçok yöntem kullanılmaktadır. Trafik sinyalizasyonunda yeşil dalga uygulamasının kullanılması özellikle kent içindeki ardışık sinyalizasyon kavşaklarının artması ile önem kazanmıştır. Bu tür uygulamalarda temel hedef, seçilen ana arterlerde belli bir hızla yolculuk eden taşıtların, art arda gelen sinyalizasyon kavşaklarda, kırmızı ışığa yakalanmadan geçebilmelerini sağlamaktır. Fakat günümüzde uygulanan yeşil dalga uygulamasının sürücüler tarafından farkındalığı, kavşak girişlerindeki ve koridorlar üzerindeki trafik levhalarından ibarettir. Koridor boyunca bir bilgilendirme olmadığı için sürücüler hızları ile bu sisteme uymakta zorluk çekmekte ve genellikle uygulamadan habersizce yolculuk etmektedirler. Bunun sonucunda da yeşil dalga uygulaması istenilen verim düzeyinde işletilememektedir.

Çalışma kapsamında, kavşaklar arasında aydınlatma direkleri üzerinde tasarlanan akıllı kılavuz ışıkları ile sürücülerin yeşil dalga sistemine uygun hızla hareket etmelerinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kılavuz ışıklarının, kablosuz bir şekilde kavşaklara bağlanarak dinamik olarak çalışması düşünülmektedir. Kılavuz ışıklarının, kavşaklar arasında aydınlatma direkleri üzerine yerleştirilecek led göstergeler kullanılarak sinyal programı ile koordineli bir şekilde çalışması planlanmaktadır. Kılavuz ışıkları döngü şeklinde kırmızı ve yeşil renkte değişim sağlayarak, sürücülerin yeşil dalga sistemine uymalarını artırması açısından görsel destek niteliğindedir. Bu durumun; koridor bazında gecikme sürelerini en aza indirmesi, kuyrukları kısaltması, yakıt sarfiyatını azaltması, çevreye zararlı olan gazları optimum seviyeye indirmesi beklenmektedir. Böylece, kavşakların daha verimli kullanılması ve hizmet seviyelerinde iyileşme görülmesi sağlanacaktır. Bu öneri yapısı çalışmayı literatürdeki diğer yeşil dalga uygulamalarından ayırmaktadır. Ayrıca; ışıklı kılavuz sisteminin, yeşil dalga koridorlarının bulunduğu yol kesimlerinde elektronik denetim sistemi (EDS) gibi caydırıcı uygulamaların yerine sürücülerini teşvik edici uygulama olarak kullanılması hedeflenmektedir. Burada amaç kurallara uymayanı cezalandırmak değil; kurallara uymaya da sonucun değişmeyeceğini, yani sürücünün daha hızlı gitmekle erişim süresini kısaltamayacağını fark ettirmektir.

Çalışma kapsamında, Yalova ili şehir merkezinden Yalova Üniversitesi istikametine doğru koordineli olarak işletilmesi planlanan üç kavşak belirlenmiştir. Saha verileri zirve saatlerde kavşaklardan çekilen görüntülerden elde edilmiştir. Sayımlar, mikro-simülasyon programına veri girdisi (taşıtların sayıları, taşıt kompozisyonları, dönüş oranları vb.) oluşturmak için çözümlenmiştir. Bu veriler ile mevcut durum Vissim mikro-simülasyon programı ile modellenerek, kalibre edilmiştir. Klasik yeşil dalga uygulaması ve ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenen yeşil dalga uygulaması kalibre edilen bu model üzerine kurularak analizler yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

1.1. Literatür araştırması

Eşdüzey kavşaklarda; sinyal süresi optimizasyonları, yeşil dalga uygulamaları ve simülasyon ortamında kavşakların modellenip çözüm önerilerinin irdelenmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, ışıklı kılavuz sistemi çerçevesinde değerlendirilebilecek çalışmalar son derece azdır. Bu çerçevede, ilgili çalışmalar kronolojik sıraya göre verilmiştir.

2004 yılında Kopenhag şehrinde Nørrebrogade, Østerbrogade ve Farimagsgade caddeleri üzerinde bisiklet kullanıcıları için yol üzerine yerleştirilmiş led işaretçiler ile yeşil dalga sistemi uygulanmıştır. Bu led sistemi kırmızı ve yeşil renkte bir döngü şeklinde bisiklet kullanıcılarını bilgilendirerek yeşil dalga sistemine dahil olmalarını sağlamaktadır. Nüfusunun %36'sının işe veya okula bisikletle gittiği Kopenhag şehrinde bu yeşil dalga sistemi ortalama hızın 15,1 km/sa'ten 20,7 km/sa'e yükselmesini sağlamıştır (Url-1). Gösterilen çalışma sahada uygulanmış bir proje olup alınan faydalar açısından değerlendirildiğinde bisiklet kullanıcıları için faydalı olduğu görülmüştür. Benzer çalışmanın araç

kullanıcıları için de yapılması durumunda, trafik sıkışıklığının hafifletilmesinde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir.

2017 yılında ledli sinyalizasyon direklerinin sürücü davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada; Adana, Afyonkarahisar ve Ordu illerinde 830 sürücüye anket yapılmış ve 18 odak görüş çalışması düzenlenmiştir. Anket sonuçlarında katılımcıların %94'ü ledli sinyalizasyon direklerinin geleneksel sisteme göre daha önceden fark edildiğini belirtmiştir. Sürücülerin %86'sı ledli sinyalizasyon direklerinde eskisine göre daha çabuk ışığa uygun hareket edebildiğini, %85'i bu sistemle sinyalizasyonu uzaktan daha iyi fark edebildiğini söylemiştir (Şenbil vd. 2017).

2017 yılında yapılan çalışmada Vissim ile 4 adet kavşaktan oluşan bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Sürücülerin görsel bir sistem tarafından yönlendirildiği koridorda, kılavuz hızı 40 – 90 km/saat arasında belirlenmiştir. Burada taşıtların üzerine çeşitli donanımlar eklenmeden, trafiği toplu olarak düzenlemek amaçlanmıştır. Belirlenen koridorda yeşil dalga sisteminin uygulanmasıyla, yollarda belirli bir hızla ilerlemekte olan yeşil dalga kılavuzu, sürücülerini kırmızı ve yeşil ledli işaretçilerle uyarmaktadır. Sürücülerin belirlenen kılavuz hızıyla ilerlemeleri sağlanarak kavşak noktalarında oluşan taşıt yoğunluğu azaltılmak istenmektedir. Böylece kavşağa yaklaşan taşıtlar duraksamadan yollarına devam edebilmekte, dönecek taşıtlar ise mecburen biraz bekletilerek kılavuza dahil edilmektedir. Bu çalışmada hem dönüşlü hem dönüşsüz durumlar ayrı ayrı modellenerek kılavuzlu ve kılavuzsuz yeşil dalga sistemleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kılavuzlu yeşil dalga sisteminin kılavuzsuz yeşil dalga sisteminden çok daha verimli olduğu ve trafik akışını hızlandırdığı görülmüştür (Kocadağ, 2017). Yapılan çalışmada sürücülerin yeşil dalga farkındalığını arttıracak donanımsal olarak sürücülerini görsel işaretçilerle uyaran bir sistem düşünülmüş ve yeşil dalganın verimini yükselterek performans değerlerinin artırılması hedeflenmiştir.

Literatür araştırmasında yeşil dalga uygulamasının ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenmesine yönelik çalışmaların çok sınırlı kaldığı görülmüş olup, çalışma ile ilişkisi bulunan sinyal optimizasyonu ve yeşil dalga uygulamalarına yönelik çalışmalar da kronolojik sıraya göre verilmiştir.

2006 yılında İstanbul, Bahçelievler ilçesinde Adnan Kahveci Bulvarı üzerindeki beş kavşakta trafik sayımları yapılmış, sinyal optimizasyonu ve koordinasyonu yazılım programlarıyla (Synchro, Signal2000 ve SimTraffic) modellenmiştir. Bu çalışmada geliştirilen üç farklı sinyal koordinasyonu senaryosu, sanal ortamda uygulanarak en verimli koordinasyon metodolojisi bulunmuştur. Sonuç olarak, belirlenen sinyal koordinasyonunun uygulanması durumunda toplam trafik gecikmesinde %60'a, yakıt tüketiminde ve karbonmonoksit emisyonunda ise %30'a varan azalmaların oluşabileceği öngörülmüştür (Avrenli, 2006). Geliştirilen sinyal koordinasyonu, trafikte gecikmelerin ve emisyonların düşürülmesinde etkili olmaktadır. Ancak bazı durumlarda, teorik olarak alınacak fayda ile gerçekteki fayda arasında fark olabilmektedir. Bu durumlarda; istenilen düzeydeki işletme sonucuna ulaşabilmek için, ek teknolojik fikirler üretilmelidir.

2011 yılında Çin'in Şangay şehrinde bulunan Huaihai yolu üzerindeki trafik sıkışıklığını azaltmak için üç kavşakta yeşil dalga uygulaması yapılmıştır. Bu kavşaklar Huaihai yolu ile JieFang, QianJin ve Yan'an yolları kesişimidir. Yeşil dalga planlanmasında Webster metodu kullanılmış, performans değerlendirmesi için mikro-simülasyon (Vissim) programından faydalanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; koordinesiz işletilen bu kavşaklarda yeşil dalga uygulaması yapılmasının ortalama gecikme değerinde %20 azalma ve ortalama hız değerinde de %19 artış sağladığı görülmüştür. Ayrıca bunlara bağlı olarak toplam seyahat süresinde de azalma olmuş ve genel koridordaki trafik sıkışıklığı azalmıştır (Zhou, 2011). Yapılan çalışmada yeşil dalga uygulaması ile alınan faydalardan bahsedilmiş olup sürücülerin yeşil dalga farkındalığını arttıracak uygulamalardan bahsedilmemiştir. Bu gibi uygulamalar yeşil dalgadan alınacak faydayı daha da arttırarak kent içi hareketliliğe katkı sağlayan ve sürücüyü bilinçlendiren uygulamaların yaygınlaştırılması açısından önemlidir.

2014 yılında Arnavutluk'un Tirana şehrinde yüksek trafik hacimli Ruruga e Kavejis arteri üzerinde sinyal koordinasyonu yapılması amaçlanmıştır. Artere ilişkin gerekli sayımlar 2014 yılında sabah, öğlen ve akşam zirve saatlerinde yapılmış olup sinyal optimizasyonu ve koordinasyon yapısı için Synchro programı kullanılmış ve mikro-simülasyon programında (Corsim) modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sinyal koordinasyonu ile CO, NOx, VOC emisyonları ve yakıt tüketimi değerlerinin %17, toplam seyahat süresinin %19 ve toplam gecikmenin ise %29 oranında azaldığı görülmüştür

(Barhani, 2017). Yapılan çalışmada belirli bir arterde yeşil dalga ile alınabilecek faydalar özetlenmiştir. Yeşil dalga uygulamalarında istenilen sonucun büyük oranda alınması açısından sürücünün tüm koridor boyunca hız kurallarına uymasını sağlayacak teknolojilerin araştırılması da gereklidir.

2017 yılında Avusturya'nın Kapfenberg şehrini Bruck an der Mur'a bağlayan yol üzerinde koordineli olarak işletilmeyen kavşaklarda yeşil dalga uygulanmasının emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın analizinde Vissim programının yanında emisyonların daha iyi ölçülmesi için HBEFA ve CAR2 programları da kullanılmıştır. Sonuçlara göre koordineli olarak işletilmeyen kavşaklarda yeşil dalga uygulaması yapıldığında CO değerinde %40, HC değerinde %33, NOx değerinde %61, PM değerinde %52, SO2 değerinde %44 ve CO2 değerinde %44 azalma görülmüştür. Sonuç olarak emisyonların azaltılmasında yeşil dalga uygulamasının olumlu etkisi olmuştur (Kiers ve Visser, 2017). Bu olumlu etkiyi daha da arttırmak için yeşil dalga uygulamasına uyum sağlayan sürücü sayısını arttıracak sistemlerin benimsenmesi önem taşımaktadır.

2018 yılında Eskişehir'de trafik yoğunluğunun fazla olduğu Nayman ve Kırım komşu kavşakları incelenmiştir. Kavşak analizi ve modellemesi Sidra Intersection 7 adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu doğrultuda, iki kavşakta sinyal koordinasyonu sağlanarak mevcut duruma göre gecikme sürelerinde %42'lik bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca komşu iki kavşak arası mesafe ve kavşakların devre sürelerinin kavşaklardaki toplam gecikme üzerine etkisi araştırılmıştır. Bunun sonucunda kavşaklar arası mesafe arttıkça ya da azaldıkça kavşaklardaki gecikme sürelerinde artış gözlenmiştir (Tekin Karagöz, 2018). Gecikme değerlerinin artmasındaki önemli nedenlerden biri de yeşil dalga koridoru boyunca bir bilgilendirme olmadığı için sürücülerin belirtilen hıza yeterince uyamamasıdır. Bundan dolayı koordinasyon istenildiği gibi sağlanamadığından kavşaklardaki beklemler artmakta ve sonuç olarak gecikme süreleri yükselmektedir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla sürücülerin koridor boyunca istenilen hıza uymaya teşvik eden uygulamalar tercih edilmelidir.

2019 yılında Afganistan'ın Mezar-ı Şerif şehrinde Marmul caddesi üzerinde bulunan sinyalizasyon olmayan iki kavşakta geometrik düzenleme ve sinyal koordinasyonu ile öncesi-sonrası analizleri Vissim ve Sidra yazılımları ile yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geometrik düzenlemeden önce birinci ve ikinci kavşak arasında koordinasyon sağlanması durumunda koridor için toplam taşıt gecikmelerinde %3'e varan düşüşler görülmüştür. Geometrik düzenlemeden sonra ise koridor için toplam taşıt gecikmelerinde %9'a varan düşüşler olmuştur (Ahadi, 2019). Çalışmada geometrik düzenleme ve sinyal koordinasyonu ile öncesi-sonrası analizi yapılarak taşıt gecikmelerindeki değişimler gözlenmiştir. Geometrik düzenlemenin ve sinyal koordinasyonunun iyileşmeler üzerinde olumlu sonuçları görülmektedir. Fakat sinyal koordinasyonu uygulamalarında sürücülerin hız limitine yeteri kadar uyamaması bu olumlu sonuçları istenilen düzeye çıkaramamaktadır. Sürücülerin koridor boyunca görsel işaretçilerle uyarılması koridor performans değerlerini arttıracak ve en önemlisi sürücü davranışlarını kurallara uyma yönünde etkileyerek bilinçli sürücü sayısının artmasına katkıda bulunacaktır.

2019 yılında Denizli ili Ulus Bulvarı üzerindeki Tiyatro ve Havuzlu Köşk sinyalizasyon kavşakları arasında koordinasyon kurularak minimum gecikmenin sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda kavşakların trafik hacim değerleri belirlenmiş, kavşakların optimum devre süreleri hesaplanmış ve ofset sürelerine bağlı olarak gecikme değerleri ölçülmüştür. Çalışmada Vissim yazılımı kullanılarak koordinasyon sağlanmıştır. Çalışma sonucunda kavşaklar arasında minimum gecikmeyi sağlayan koordinasyon yapılmış, bu sayede gecikmelerde zirve saatte %15, zirve dışı saatte ise %32 iyileşme olmuştur (Yiğit 2019). Çalışmada iki kavşak arasında koordinasyon sağlanarak minimum gecikme olması amaçlanmıştır. Ancak, bazı durumlarda koridor boyunca bilgilendirme olmadığı için sinyal koordinasyonuna sürücüler hızları ile istenilen uyumu sağlayamayabilirler. Bundan dolayı da sinyal koordinasyonundan alınacak verim düşmekte, teorikte hesaplanan gecikme değerlerine ulaşamamaktadır. Bu soruna çözüm getirmesi açısından sürücülerin sinyal koordinasyonuna uyumunu arttıracak görsel işaretçilerin üzerinde durulmalıdır.

2021 yılında yapılan bir çalışmada, yeşil dalga koridoru üzerine yerleştirilecek veri toplama noktaları, hız tespit noktaları ile kavşak kontrol cihazlarının haberleşmesi sağlanarak kavşakların faz sürelerinin trafik yoğunluğuna göre değişimi ile koridordaki diğer taşıtların bekleme süreleri azaltılmaya ve trafik güvenliği artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, SUMO yazılımı kullanılarak 10.000 araçlık bir yol

simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda, geleneksel yeşil dalga uygulamasına göre, bekleme süresinde %20 azalma, ortalama hızda %20 artma görülmüştür (Kart vd. 2021).

Çalışmalarda daha çok sinyal düzenlemeleri ve yeşil dalga uygulamaları gibi metotlarla kavşaklardaki hizmet düzeylerinin ve çevresel etkilerin azaltılması planlansa da günümüzde, artık sürücülerin sistemlere uyma farkındalığını arttıracak yöntemler ile alınacak faydaların en iyi düzeye ulaşması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, Yalova ilinde Termal Yolu caddesi koridorunda yeşil dalga uygulamasının ışıklı kılavuz ile desteklenerek uygulanması düşünülmüştür. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde kılavuzlanmanın, yol üzerindeki şerit çizgileri üzerine yerleştirilen led işaretçiler (kedi gözü) ile yapıldığı görülmüştür. Fakat yol şerit çizgileri üzerindeki led işaretçiler (kedi gözü) gündüz saatlerinde sürücülerin uyarılmaları için yeterli değildir ve sürücülerin şerit değiştirirken sürüş konforunu olumsuz etkileyen taşıt lastiği ve yol kaplaması ömürlerini kısaltan bir uygulama olacağı düşünülmüştür. Bu durumlar göz önüne alınarak kılavuzların yol kaplaması üzerinde değil yol çevresinde bulunmasının daha uygun olacağı düşünülmüş, bu yüzden led ışıkların aydınlatma direkleri üzerine yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bu çalışma ile sürücülerin yeşil dalga uygulamasına olan farkındalığının daha da artacağı öngörülmektedir. Böylece mevcutta uygulanan yeşil dalga uygulamasına göre sürücülerin ışıklı kılavuz ile uyarılarak, belirlenen hızda daha yüksek oranda uymaları sağlanacak ve kavşaklardaki bekleme süreleri en aza indirilecektir. Ayrıca ışıklı kılavuz, sürücülerin hız kurallarına uyma yönünde teşvik edici ve sürücülere hızlı gitme ile erişim süresini kısaltamayacağını fark ettiren bir uygulamadır.

2. Materyal ve metot

Çalışma için hazırlanan iş akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Buna göre;

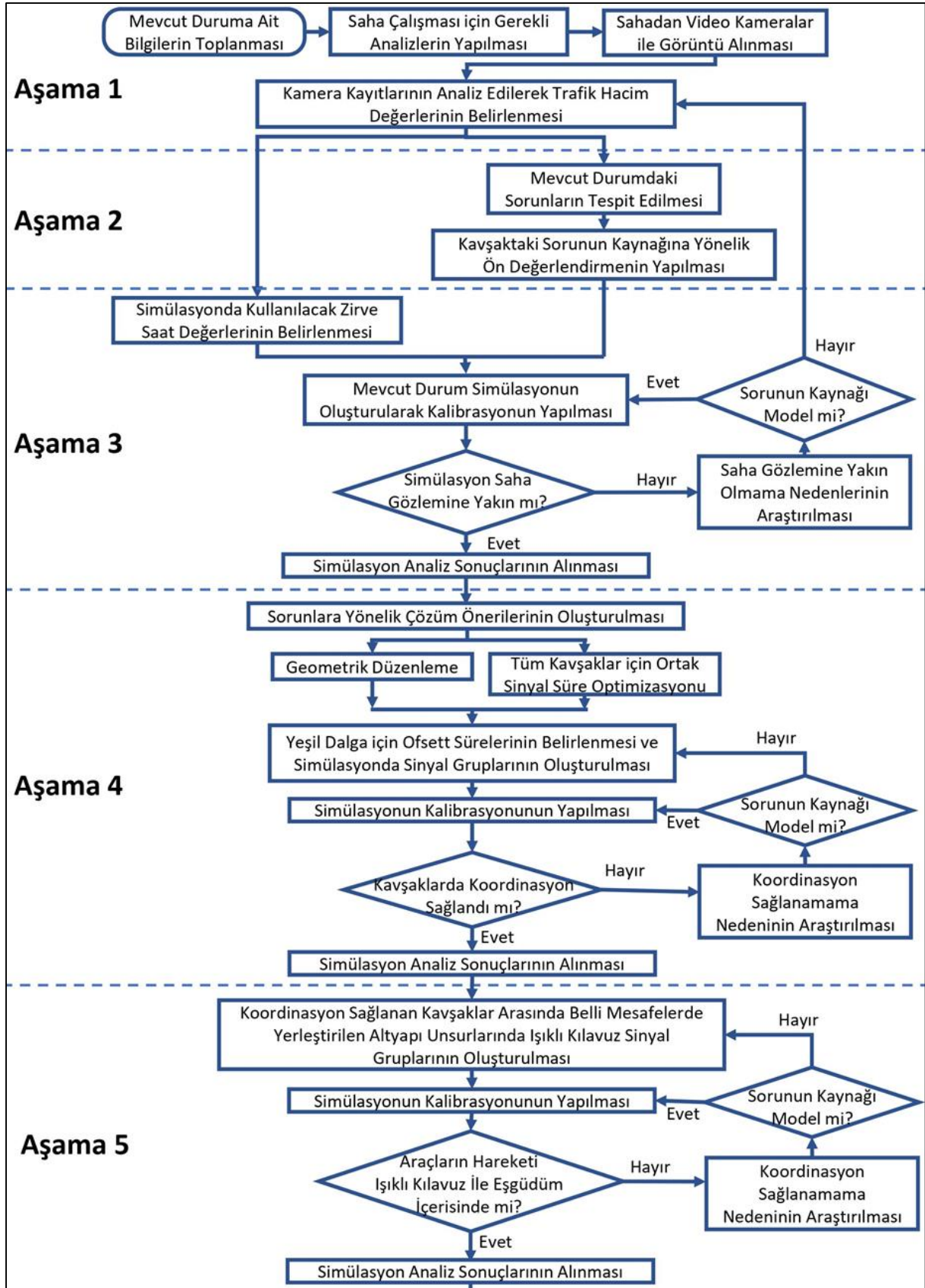
Aşama 1’de ışıklı kılavuz fikrinin sanal ortamda gerçek veriler ile modellenmesi için belirlenen gerçek koridora ait saha çalışması yapılmış olup zirve saatlerde video kayıt yöntemi ile taşıt sayımı gerçekleştirilmiştir. Mikro-simülasyon programına veri girişi için bu video kayıtları çözümlenerek taşıt hacimleri belirlenmiştir.

Aşama 2’de çözümlenmesi yapılan video kayıtlarından kavşakların mevcut durumdaki sorunlarına yönelik ön değerlendirmede bulunulmuştur.

Aşama 3’te koridordaki kavşaklara ait sinyal planları temin edilerek, mevcut veriler ile mikro-simülasyon programında (Vissim) model oluşturulmuş ve kalibrasyonu yapılmıştır.

Aşama 4’te öneri için ilk olarak imar planlarına uygun olacak şekilde geometrik düzenleme yapılmıştır. Yeşil dalga planı için sinyal optimizasyon programı (Sidra Intersection 8) kullanılarak optimum süreler elde edilmiş ve yeşil dalga sinyal planı oluşturulmuştur. Birinci senaryoda klasik yeşil dalga modeli uygulanmış olup, burada sürücülerin yeşil dalgaya uyma hareketi programda tanımlı olan ‘Wiedemann 74’ sürücü davranış modeli kullanılarak sistem tarafından stokastik bir hareket ile sağlanmıştır. ‘Wiedemann 74’ trafik akış modeli, psiko-fiziksel bir algoritmaya dayanmaktadır.

Aşama 5’te ikinci senaryoda ise sürücülerin ışıklı kılavuz ile yani görsel işaretçilerle yeşil dalgaya daha uygun hareket edeceği öngörülmüş ve sürücülerin ışıklı kılavuza göre hareket ettiği bir senaryo ile öngörülen maksimum fayda ortaya konulmuştur. Işıklı kılavuza sürücülerin ne kadarının uyacağı konusunda bir araştırma olmadığı için gerçekte alınacak faydanın birinci ve ikinci senaryodan alınan faydalar arasında olacağı düşünülmektedir.

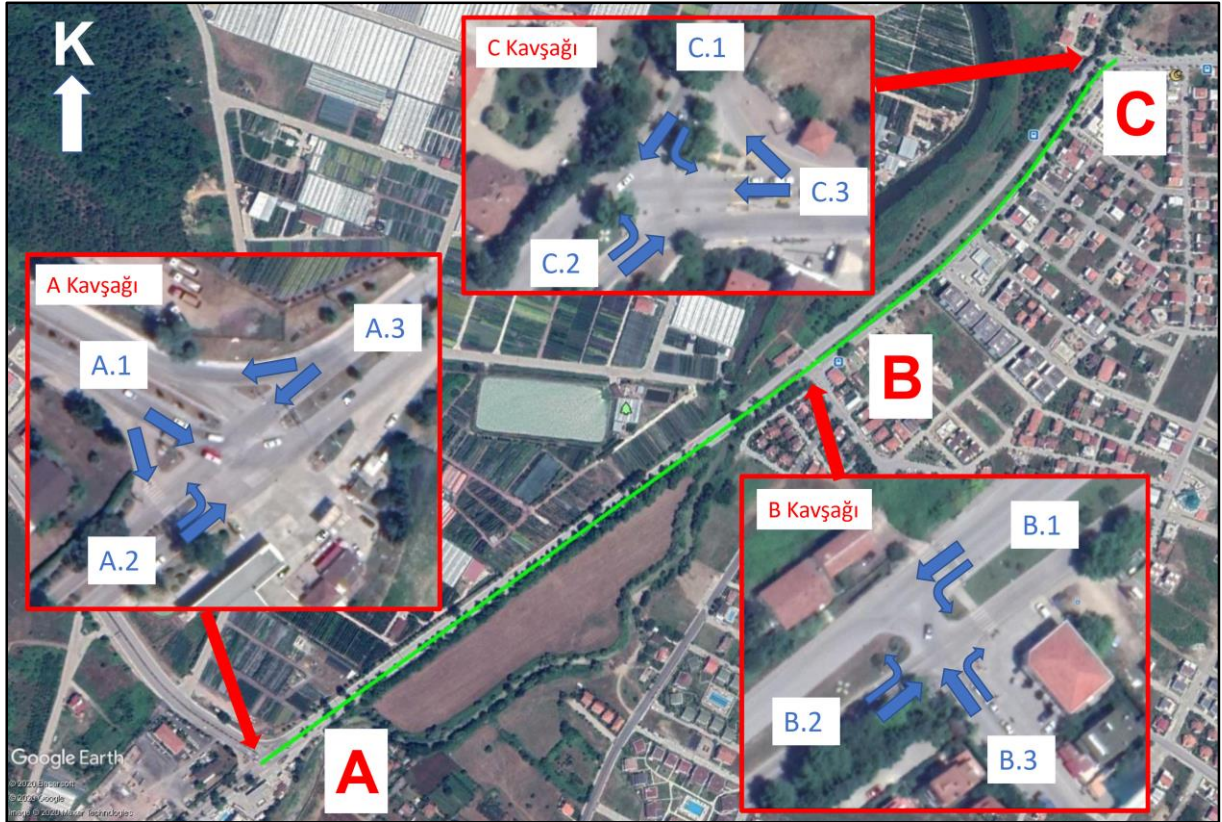


Şekil 1. Yeşil dalga uygulamalarında ışıklı kılavuz sisteminin kullanımı için öneri iş akış şeması

2.1. Çalışma alanı

Yalova ilinde önemli bir aks olan Termal Yolu caddesi, Termal ve Çınarcık gibi turizm alanları ve Üniversite kampüsü ile Yalova merkezini bağlayan önemli bir konumdadır. Çalışma için koridorun seçilme nedenleri arasında koridorun yoğun kullanılması, yeşil dalga uygulaması için yol üzeri parkların olmaması ve ara katılımların çok az olması bulunmaktadır. Tüm koridor ve üzerinde bulunan kavşaklar Şekil 2’de verilmiştir. Bu kavşaklar;

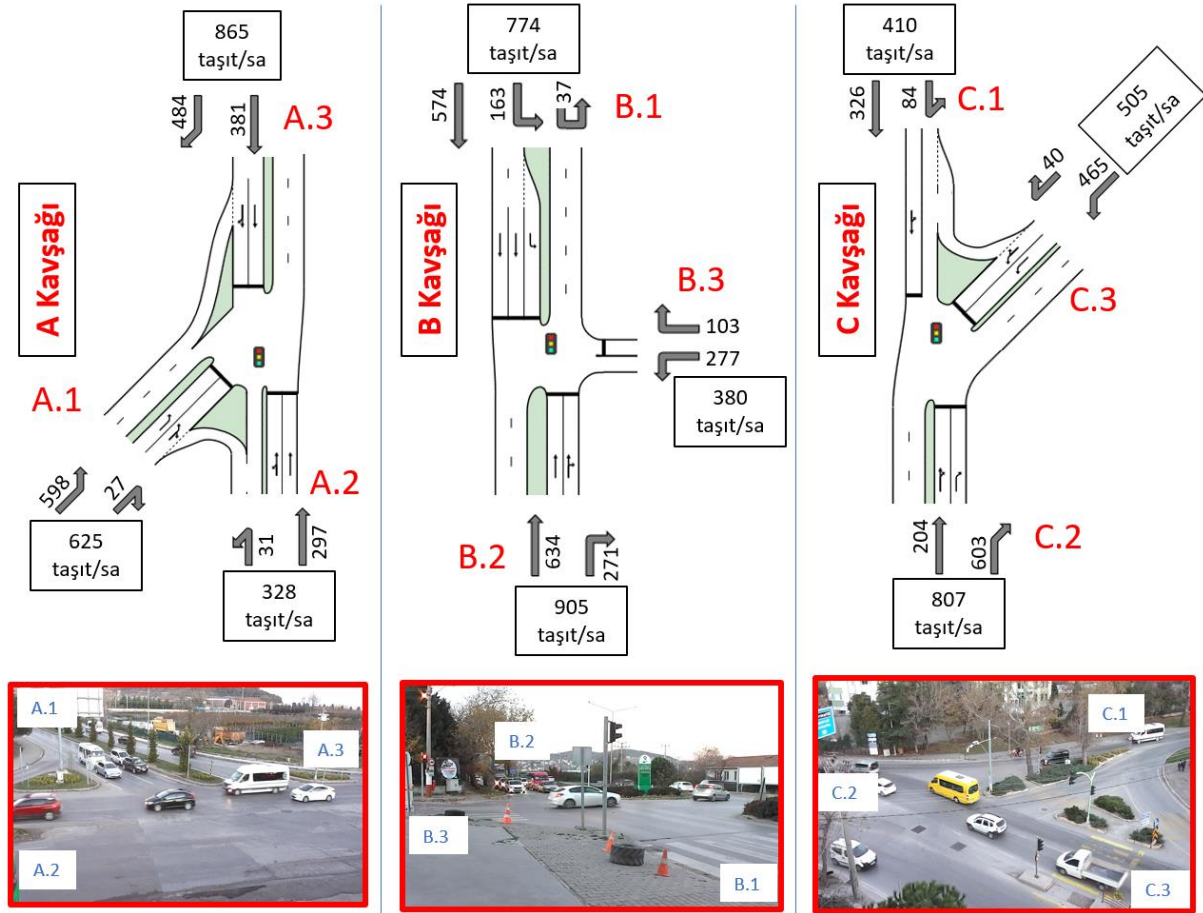
- A Kavşağı: Termal Yolu caddesi ile Yalova-Çınarcık yolu kesişimi
- B Kavşağı: Termal Yolu caddesi ile Fetih caddesi kesişimi
- C Kavşağı: Termal Yolu caddesi ile Şehit Ömer Faydalı caddesi kesişimidir



Şekil 2. Çalışma alanı uydu görüntüsü

2.2. Saha çalışması

Çalışma kapsamında belirlenen koridordaki kavşaklar üzerinde veri toplanması amacıyla taşıt sayım çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda 18.12.2019 tarihinde zirve saatlerde (07:00-09:00, 12:00-14:00, 17:00-19:00) kavşakların video kaydı alınmıştır. Kavşaklarda altı kişilik bir ekip ile çalışılmış ve video kayıtların eş zamanlı olarak alınması sağlanmıştır. Video kayıtların çözülmesi; kavşak kollarına yaklaşan taşıtların türleri ve sayıları, dönüş oranları ve ortalama hızın belirlenmesi ile tamamlanmıştır. Buna göre, kavşakta zirve saat değeri belirlenmiş ve akım yönlerine göre taşıt hacimleri Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Akım yönlerine göre zirve saatteki taşıt hacimleri ve kavşakların görüntüleri

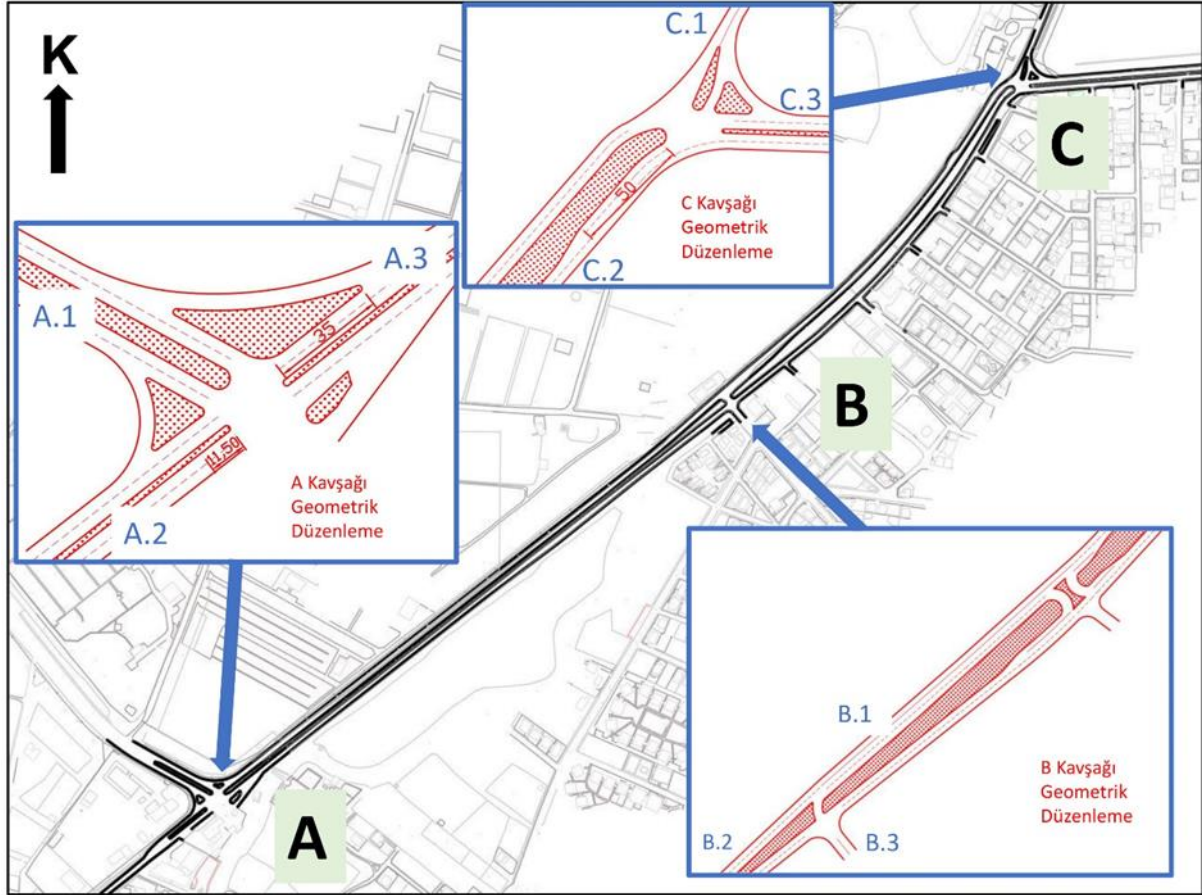
Zirve saat taşıt hacimlerinin akım kolu bazlı taşıt türleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Taşıt türlerine göre zirve saatteki taşıt hacimleri

Akım Kolu	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	B.3	C.1	C.2	C.3
Otomobil, Taksi	481	249	639	609	716	302	360	648	385
Kamyonet, Minibüs, Servis	122	69	205	147	164	70	47	134	103
Ağır Taşıt	12	3	10	6	11	5	1	11	5
Otobüs	10	7	11	12	14	3	2	14	12
Toplam (taşıt/sa)	625	328	865	774	905	380	410	807	505

2.3. Mevcut durum gözlenen sorunlar ve öneriler

Saha çalışması kapsamında sayımlar yapıldıktan sonra kavşaklarda gözlemlenen sorunlara yönelik geometrik düzenlemeler önerilmiştir. A, B ve C kavşaklarının bulunduğu ve toplam dokuz kavşak koluna sahip koridorda sağa dönüşler, U dönüşleri vb. geometrik düzenlemeler yapılmıştır. Şekil 4’te bu geometrik düzenlemelere yönelik çalışma daha detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 4. Kavşaklara ait mevcut durum ve öneri geometrik düzenlemeler

Gerekli incelemeler yapıldığında kavşak geometrileri ile ilgili şunlar önerilmiştir:

- Taşıtlar A.3 kavşak kolundan A.2 kavşak koluna gidiş istikametinde kırmızı ışıkta beklerken geriye doğru büyüyen kuyruklanma, A.3 kavşak kolundan A.1 kavşak koluna dönüş yapan taşıtlara engel olmaktadır. Bundan dolayı A.3 kavşak kolundan A.1 kavşak koluna dönüş yarıçapı 120 metreye çıkarılıp, dönüş adası büyütülmüş, böylece kırmızı ışıkta 35 metrelik kuyruklanma uzunluğu elde edilmiştir.
- A.2 kavşak kolunun orta refüjü, sinyal planında koruma süresinden süre kazanmak için A.1 kavşak kolunun aksını karşılayacak şekilde 11,5 metre kavşak içine uzatılmıştır.
- B kavşağı mevcut durumda üç fazda çalışmaktadır. Burada, B.3 kavşak kolundan B.2 kavşak koluna olan dönüşler ve B.1 kavşak kolundan B.1 kavşak koluna olan dönüşler ileriden açılan papyon şeklindeki U dönüşü ile sağlanmıştır. B.3 kavşak kolundan B.2 kavşak koluna açılan U dönüşü ile B.2 kavşak kolunun sola dönüş şeridi birleştirilerek o alandaki yol 3 şeride çıkarılmıştır. B.3 kavşak kolundan B.2 kavşak koluna dönüşler yapılan düzenleme ile kavşak dışına çekildiğinden faz sayısı ikiye düşmüş ve mevcut yeşil süreler artmıştır.
- U dönüşlerinin açılması ile B.1 kavşak kolundan B.3 kavşak koluna sola dönüş, güvenli bir dönüş için B.3 kavşak kolunun aksını karşılayacak şekilde düzenlenmiştir.
- C Kavşağında C.2 kavşak kolundan C.1 kavşak koluna mevcut sola dönüş cebi olmadığı için C.2 kavşak kolundan C.3 kavşak koluna dönüşleri tek şeride düşmektedir. Bundan dolayı C.2 kavşak kolu sağ taraftan genişletilerek 50 m uzunluğunda sola dönüş cebi oluşturulmuştur.

2.4. Simülasyonun modellenmesi

Mikro-simülasyon programları trafikte yer alan taşıtlar, yollar, duraklar, yayalar ve bunların teknik fonksiyonları ile gerçek bir trafik ortamı oluşturarak çözüm aşamasında katkılar sağlamaktadır. Bu

çalışmada da Vissim mikro-simülasyon programından faydalanılmıştır. Vissim ulaşım sistemlerinin modellenmesi ve analizi için geliştirilmiş davranış tabanlı ve ayrık zamanlı bir mikroskobik simülasyon programıdır. Karlsruhe Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen program, ulaşım ağının alt yapısını, trafik akışını ve ilgili kontrol parametrelerine yönelik verileri canlı olarak simüle edebilme özelliklerine sahiptir (Yiğit, 2019). Ayrıca program içerisindeki trafik akış modeli sayesinde sahadan alınan verilerin simülasyon ortamındaki uyumu gerçekliğe yakın olacak şekilde kalibre edilebilmektedir.

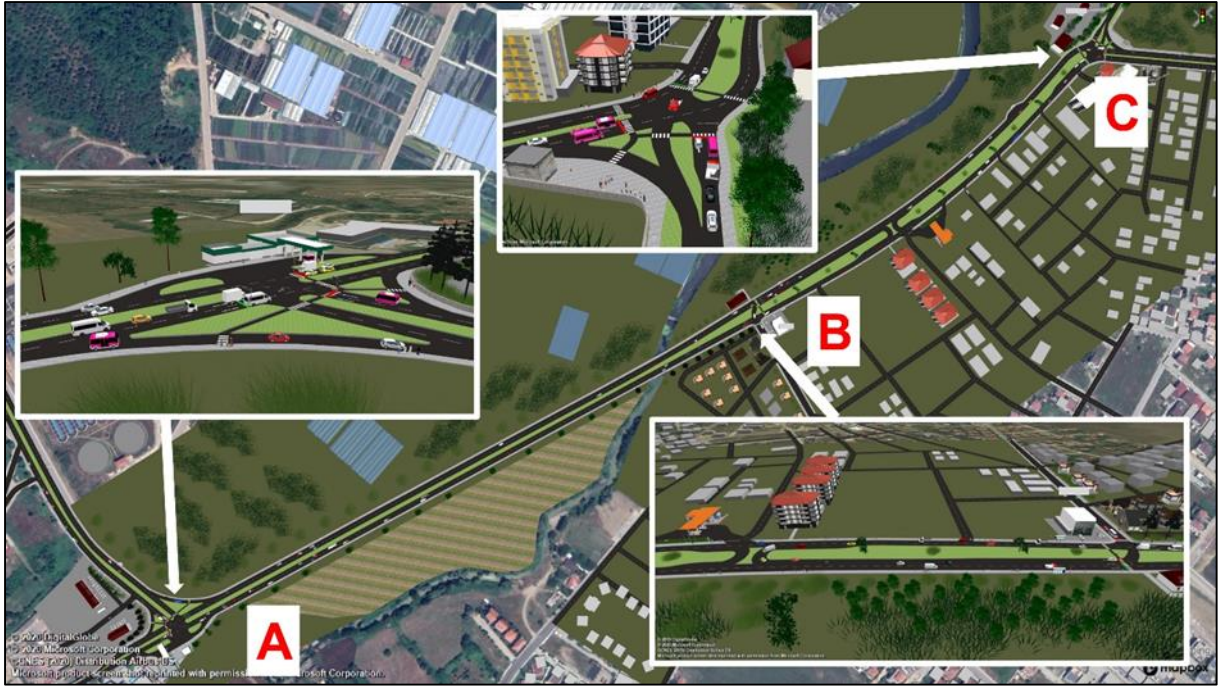
Vissim ile koridorun mikro-simülasyonu oluşturulmuştur (Şekil 5). Geometrik düzenlemeler modelde yapıldıktan sonra, programa taşıt verileri girilerek rotalar oluşturulmuş ve ek ayarlamalar ile simülasyonun doğruluğu kontrol edilmiştir. Kalibrasyon işlemi için Geoffrey E. Havers istatistikinden (GEH) yararlanılmıştır. GEH, çalışma için hazırlanan simülasyon modelinin kullanılabilirliğini saptamak için yapılmakta ve gözlemlenen taşıt hacimleri ile modelde gerçekleşen taşıt hacimlerini karşılaştırmaktadır. GEH formülü Denklem 1’de verilmiştir (Jehani vd., 2015).

$$GEH = \sqrt{\frac{2*(Model-Gözlem)^2}{Model+Gözlem}} \quad (1)$$

Modelin tutarlılığı için gerekli olan GEH güven aralığında ($GEH < 5$) kalınmış olup, kalibrasyon ile simülasyonun saha gözlemine yakınlığı toplam taşıt sayısı açısından %95 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Akım kollarına göre GEH değerleri ve kalibrasyon kontrolü

Kavşak No	Akım No	Yön Açıklaması	Gözlem Değeri (taşıt)	Simülasyon Değeri (taşıt)	GEH Değeri	GEH<5
A	A1	A1-A2	27	29	0,38	Evet
		A1-A3	598	610	0,49	Evet
	A2	A2-A1	31	27	0,74	Evet
		A2-A3	297	282	0,88	Evet
	A3	A3-A1	484	497	0,59	Evet
		A3-A2	381	383	0,10	Evet
B	B1	B1-B1	37	35	0,33	Evet
		B1-B2	574	568	0,25	Evet
	B2	B1-B3	163	174	0,85	Evet
		B2-B1	634	609	1,00	Evet
	B3	B2-B3	271	281	0,60	Evet
		B3-B1	103	95	0,80	Evet
C	C1	B3-B2	277	293	0,95	Evet
		C1-C2	326	342	0,88	Evet
	C2	C1-C3	84	91	0,75	Evet
		C2-C1	204	187	1,22	Evet
	C3	C2-C3	603	593	0,41	Evet
		C3-C1	40	38	0,32	Evet
		C3-C2	465	472	0,32	Evet



Şekil 5. Kavşaklara ait mikro-simülasyon görselleri

2.5. Yeşil dalga uygulaması

Sahadaki uygulamada yeşil dalga planı tek yönlü olarak tasarlanmıştır. Burada kavşak geometrileri ve kavşağa yaklaşan taşıt sayıları dikkate alınarak performans açısından en faydalı sonuca ulaşmak hedeflenmiştir. Bundan dolayı planda A.1 yönünden (Yalova Üniversitesi ve Çınarcık ilçesi tarafından) ve A.2 yönünden gelen (Termal ilçesi tarafından) taşıtların B ve C kavşaklarından geçerek Yalova Merkez yönüne ilerlemesi tek yönlü yeşil dalga planı ile sağlanmıştır (Şekil 6).

Yeşil dalga uygulaması için ofset sürelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için kavşaklar arası mesafe ve bölgedeki hız sınırı bilinmelidir. Bu çalışmada kavşaklar arası mesafe Şekil 5'te de görüldüğü gibi A ve B kavşakları arası yaklaşık 840 m, B ve C kavşakları arası yaklaşık 560 m'dir. Bölge şehir içi bir konumda olduğundan kabul edilen hız sınırı değeri 50 km/sa'dır. Ofset süresinin hesabında Denklem 2 kullanılmıştır.

$$OS = \frac{\Delta L}{v} \quad (2)$$

OS: Ofset süresi (s)

ΔL : Kavşaklar arası mesafe (m)

v: Hız (m/s)

Ofset süreleri teorikte, A ve B kavşakları arası 60 sn, B ve C kavşakları arası 40 sn olarak hesaplanmıştır. Burada belirlenen teorik sürelerin pratikte sahada test edilerek onaylanması gerekmektedir. Bundan dolayı sahadan edinilen tecrübeler, sürücülerin yavaşlama, hızlanma özellikleri de dikkate alınarak ofset sürelerinde 5 sn'lik bir azaltma yapılmıştır. Sahada uygulanacak yeni ofset süreleri A ve B kavşakları arası 55 sn, B ve C kavşakları arası 35 sn olarak belirlenmiştir. Belirlenen koridora ait yeşil dalga uygulamasına ait bilgiler ve yeşil süreler Şekil 6'da görülmektedir.

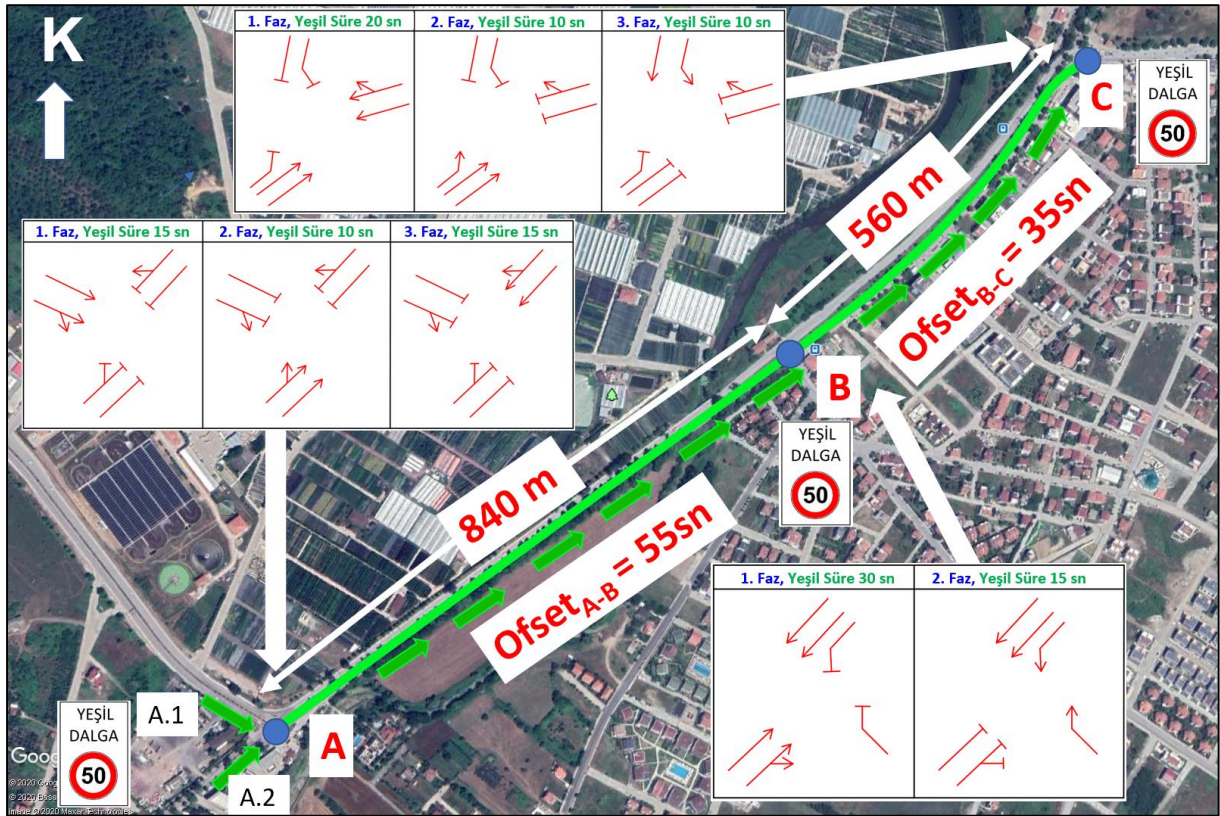
Çalışma gerçek sahada yapıldığı için mevcutta her bir kavşak aslında tekil olarak çalışmaktadır. Bu çalışma kapsamında zirve saat taşıt hacimleri, sinyal süre optimizasyon programına girilerek Avustralya metoduna göre her kavşağın süreleri tekil olarak optimize edilmiştir. Her kavşağa ait optimizasyon sonuçları incelendiğinde, mevcutta uygulanan kavşak sinyal sürelerinin gereğinden fazla uzun olduğu, trafiği olumsuz yönde etkilediği ve olması gereken sinyal sürelerinin ise mevcut sürelerin çok altında kaldığı görülmüştür. Buna göre, yeşil dalga ofset süresi ve optimizasyon sonuçları dikkate alındığında

koordinasyonun optimum olarak sağlanabilmesi için her bir kavşağın devre süresi 55 sn olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Ayrıca bu durumun performans değerlendirmesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Tablo 3. Mevcut ve öneri devre süreleri

	A Kavşağı	B Kavşağı	C Kavşağı
Mevcut Durum Devre Süreleri (s)	84	98	110
Öneri Devre Süreleri (s)	55	55	55

Stokastik bir hareket ile sağlanan klasik yeşil dalga uygulamasında Wiedemann sürücü davranış modeli, 1974'te Wiedemann tarafından geliştirilen psikolojik ve fiziksel sürücü davranışlarını içeren her bir sürücü ve taşıtı karakterize eden özelliklere sahiptir. Bu özellikler taşıtın teknik özellikleri, sürücü-taşıt ünitelerinin davranışı ve karşılıklı etkileşimi olarak açıklanmaktadır (PTV Group, 2018).



Şekil 6. Tek yönlü yeşil dalga uygulaması detaylı gösterim

2.6. Işıklı kılavuz sistemi

Yeşil dalga uygulamalarında tüm taşıtlar yeşil dalga için hız sınırına uyduğunda taşıtlar arasında bir kümelenme ile hareket söz konusudur. Fakat bazı sürücüler bu hız sınırına uymadığı için bu kümelenme bozulmakta ve bu durum diğer sürücülerin yeşil dalgaya uymasını olumsuz etkilemektedir. Mikro-simülasyonda trafik akış modeli, sürücü-taşıt birimlerini temel elemanlar olarak tanıyan olasılıksal ve süre kademesine dayanan mikroskobik bir modeldir. Bu model içerisinde temel olarak sürücünün dört farklı seyir durumu olduğu varsayımı kabul edilmiştir. Bunlar; serbest sürüş, yaklaşma, takip ve frenlemedir. Bu seyir durumlarının ana fikri; birbirini takip eden taşıtlardan daha hızlı olanının, algılama eşiği içinde bir taşıtın olmaması durumunda serbest sürüş hızını koruması; önündeki daha yavaş seyreden bir taşıtın algılama eşiği içine girdiği andan itibaren de hızını azaltmaya başlaması şeklinde özetlenebilmektedir. Buna göre taşıt hızının azalma süreci, önündeki taşıtın hızına yaklaşıncaya

kadar devam etmektedir. Öndeki taşıtın algılama mesafesinden çıkması halinde ise, hız tekrar artmaya başlamaktadır. Sonuçta taşıt davranışı hızlanma ve yavaşlamaların bu şekilde birbirini takip ettiği bir iteratif yaklaşımla belirlenmektedir (Kobal 2011).

Serbest sürüşte sürücü belirlenen hıza ulaşmaya ve o hızı korumaya çalışmaktadır. Belirlenen bir hızda bir taşıtın maksimum hızlanması, maksimum ve minimum hız aralığında gerçekleşmektedir. Buradaki maksimum-minimum aralıklar, Wiedemann 74 yöntemi kapsamında gerçek taşıtlar üzerinde yapılan ölçümler ve araştırmalar neticesinde fonksiyonlar ile programda tanımlanmıştır. Mikro-simülasyon programı, belirlenen hız dağılımı (Desired Speed Distribution) ile taşıt kompozisyonları, yaya kompozisyonları, düşük hız bölgeleri, belirlenen hız sınırları, toplu taşıma hatları ve park alanları için kullanıcının tanımlanmasına da imkân sağlamaktadır (PTV Group, 2013).

Türkiye’de sürücülerle yapılan bir araştırmaya göre sürücülerin %94 ‘ü ledli sinyalizasyon direklerinin sürücülerin önceden dikkatini çekerek ışığı fark edip algılamalarını kolaylaştırdığı, %86’sı ışığa uygun davranma davranışını artıracak görüşünü belirtmişlerdir (Şenbil vd., 2017). Bu bilgilerle yeşil dalga ışıklı kılavuz ile desteklendiğinde sürücüler kavşaklar arasında çok sayıda noktada bilgilendirildiği için yeşil dalga hızına daha uygun hareket edeceği öngörülmüştür. Işıklı kılavuz ile ilgili sürücüler ile bir araştırma ve anket çalışması olmadığı ve saha uygulaması da olmadığı için çalışmada 50 km/sa hızın üst limitinde (58 km/sa), %5 oranında daralmaya (3 km/sa) gidilmiştir. Bu değişim sürücülerin ışığa uygun hareket edeceği (Şenbil vd., 2017) ve görsel işaretlerin sürücülere hızlarını artırmalarının kendilerine fayda sağlamadığını yargısına dayanmaktadır. Ancak bu sistemin uygulamadaki faydasının tam olarak anlaşılabilmesi, sürücüler ile ışıklı kılavuz hakkında yapılacak anketler (belirlenen hıza uyma düzeylerin tam olarak saptanması) ile sağlanmalıdır.

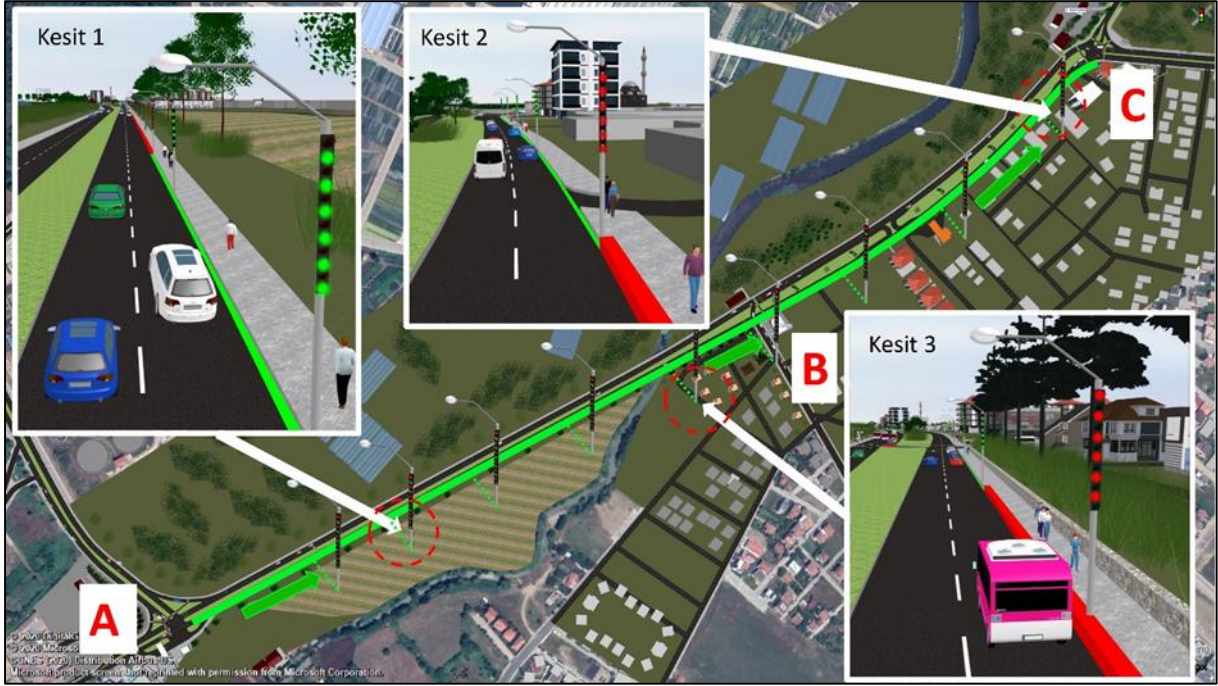
Işıklı kılavuz sinyal planlaması yeşil dalga sinyal planına uyacak şekilde dinamik bir yapı şeklinde modellenmiştir. Bu dinamik yapı oluşturulurken kılavuz ışıklarının kırmızı ve yeşil olarak yanma sıralaması ve süreleri kavşaklar arasındaki ofset süresi ve aydınlatma direği sayısına bağlıdır. Bu kriterler göz önünde bulundurularak ışıklı kılavuz planlaması yapılmış ve simülasyon üzerinde test edilip doğruluğuna karar verilmiştir. Mevcut durumda her 35 metrede bulunan aydınlatma direkleri üzerine yapılması planlanan ışıklı kılavuz için mikro-simülasyonda 38 adet aydınlatma direği kullanılmıştır. Burada aydınlatma direkleri üzerine sinyalizasyon aydınlatmasında kullanılan lambalardan daha ucuz ve az enerji tüketen yeni nesil led lambalar kullanılacaktır. Fakat mikro-simülasyon programında yeni nesil ledli sinyalizasyon modeli olmadığı için ışıklı kılavuz, sinyal grubu başlıkları ile modellenmiştir (Şekil 7). Yapılan saha çalışmaları sonucunda önerilen çalışma pilot bir bölgede yapılarak daha detaylı olarak irdelenmesi gereken bir yapıda olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışma bu yönde yapılacak ileri araştırmalara zemin hazırlamaktadır.

Otomobillerin otonom yapıya giderek yaklaşması ve yol altyapısı ile taşıt arasındaki iletişim kanallarının (V2I: Taşıttan Altyapıya) her geçen gün artması gibi sebeplerle bu çalışmanın ilerleyen zamanlarda daha da gelişmesi beklenmektedir. Ancak bu teknolojiler gelişene kadar sürücülerin farkındalığını arttıracak hibrit çözümlere de ihtiyaç duyulacaktır.

Yeşil dalganın ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenmesinde sürücü koridor içerisinde üç farklı durumla karşılaşabilir (Şekil 7). Bunlar;

- Kesit 1 (Kırmızı döngünün sürücünün önünde olması): Kırmızı döngü sürücünün önünde olduğu için sürücü yeşil döngünün içinde kalarak yeşil dalgaya kolayca uyum sağlayacaktır ve hızını arttırmayacaktır.
- Kesit 2 (Kırmızı döngünün sürücünün arkasında olması): Kırmızı döngü arkada kaldığı zaman sürücü yeşil döngünün içinde kaldığı için hızını sabit tutarak devam edecektir. Eğer yavaşlarsa da yeşil döngünün dışında kalacağı farkında olacaktır.
- Kesit 3 (Sürücünün kırmızı döngü içerisinde kalması): Kırmızı döngünün içerisinde kalan taşıtlar çoğunlukla işletme hızı düşük olan minibüslerdir. Bu taşıtların kırmızı döngü içinde kalma olasılıkları

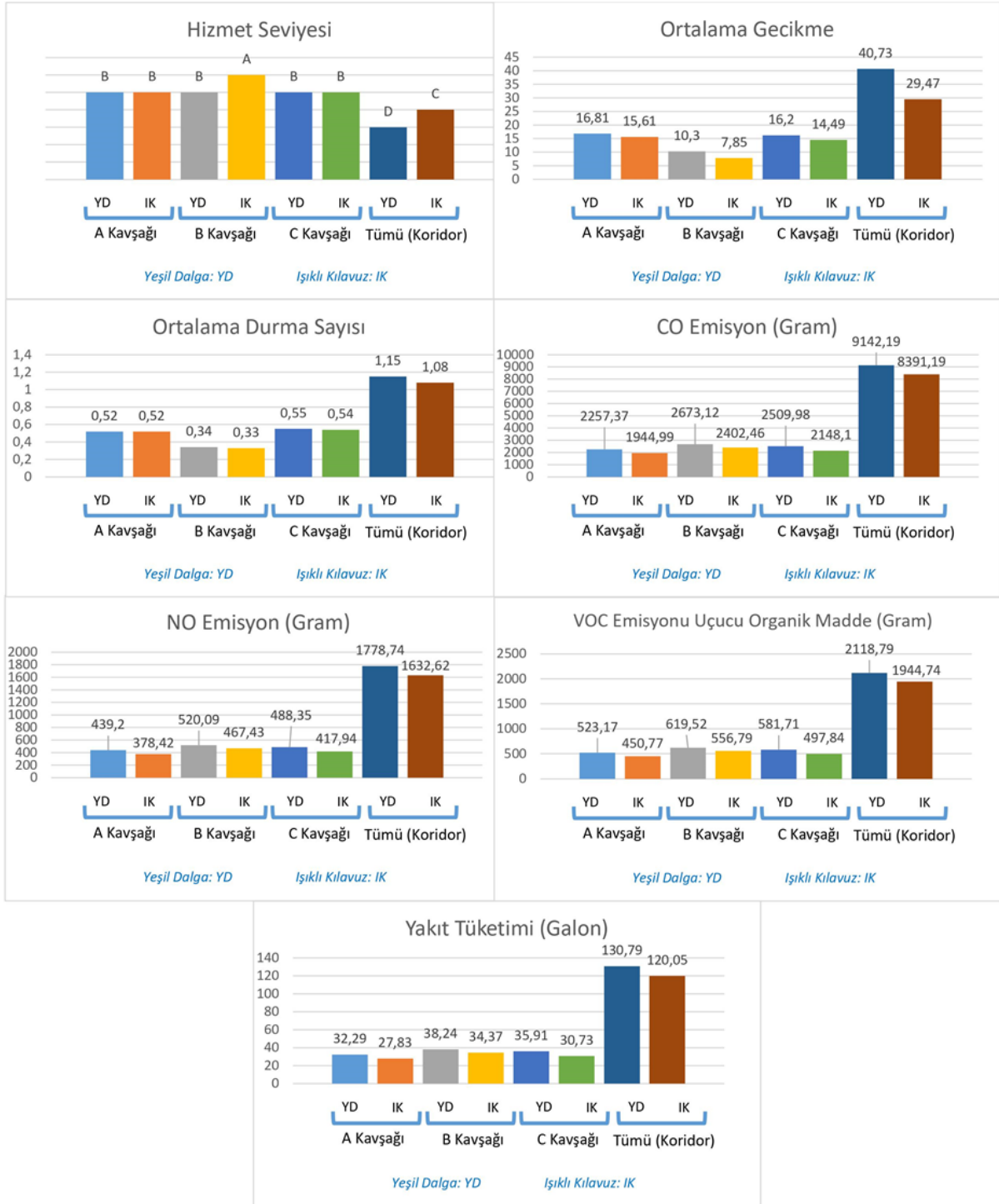
yüksektir. Bireysel taşıt kullanıcıları, kırmızı döngü içerisinde kaldığı zaman belirtilen hız sınırı içerisinde yeşil döngüye geçebilecektir. Fakat sürücülerin bu hareketlerinin trafik güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde olması istenmektedir. Bu yüzden gerekli denetimlerin yapılması ve bu konu özelinde ek araştırmalar yapılması gerekmektedir.



Şekil 7. Işıklı kılavuz mikro-simülasyon modellemesi

3. Bulgular

Performans ölçümü için koridor Vissim mikro-simülasyon programı ile analiz edilerek değerlendirme alınmıştır. Bu değerlendirmede, klasik yeşil dalga ile yeşil dalganın ışıklı kılavuz ile desteklenmesi durumları karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede kullanılan; hizmet seviyesi, ortalama gecikme (sn), ortalama durma sayısı, CO emisyon (gram), NO emisyon (gram), VOC emisyonu uçucu organik madde (gram) ve yakıt tüketimi (galon) parametreleri dikkate alınmıştır. Yapılan analizler bir saatlik simülasyon sonuçlarıdır. Buna göre genel olarak koridor bazında, yeşil dalganın ışıklı kılavuz ile desteklenmesi, klasik yeşil dalgaya göre ortalama gecikme değerlerini yaklaşık %28 oranında azaltmış ve hizmet seviyesini de D seviyesinden C seviyesine yükseltmiştir. Belirtilen parametrelere yönelik analiz sonuçları daha detaylı olarak Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. Mikro-simülasyon değerlendirme sonuçları

Şekil 8’de görüldüğü üzere her bir kavşaktaki ve koridordaki ortalama gecikme değerlerinde azalma görülmüş ve buna bağlı olarak B kavşağı ve genel koridorda da hizmet seviyelerinde iyileşme olmuştur. Ancak A ve C kavşağındaki gecikmelerdeki iyileşme, hizmet düzeylerinin bir üst sınıfa geçmesinde etkili olmamıştır. Ortalama durma sayısı değerlerinde, B ve C kavşağı ile tüm koridorda iyileşme olmasına karşın A kavşağında belirgin bir değişim olmamıştır. Doğaya salınan CO, NO ve VOC emisyonları birbiri ile doğru orantılı olarak salınan emisyonlardır. Bu değerlerde tüm kavşaklarda önemli derecede azalma olması ile genel koridorda da %8’lik bir azalma olmuştur. Yakıt değerleri de tüm kavşaklarda azalma göstermiş ve tüm koridorda %8’lik bir azalma elde edilmiştir.

4. Tartışma ve sonuç

Günümüzde simülasyon programları ile çalışmalar görselleştirilerek gerçeğe yakın analizler yapılabilmektedir. Bu çalışmada da Wiedemann 74 sürücü davranış modeline dayanan Vissim mikro-simülasyon programından faydalanılmış olup, modeller klasik yeşil dalga uygulaması ve ışıklı kılavuz ile desteklenen yeşil dalga uygulaması şeklindedir. Işıklı kılavuz ile desteklenen yeşil dalga uygulaması ile amaç; yeşil dalganın farkındalığını arttırarak, performans değerlerinde en iyi faydayı almak ve kavşaklarda görülen kazaların önüne geçip can ve mal kaybını önlemektir. Ayrıca diğer bir amaç; sürücülere yeşil dalga koridorlarında hız kurallarına uymayı cezai işlem yaparak sağlamak değil, sürücülerin hız kurallarına uymasını teşvik etmek ve bunun farkındalığını arttırmaktır. Kısaca kurallara uymayan sürücülerini cezalandırmak yerine, sürücülerin hızlı giderek varış süresini kısaltamayacağını fark ettirmektedir.

Hizmet düzeyi açısından değerlendirildiğinde, kavşaklarda ortalama gecikme sürelerinin azaldığı görülmüş ve buna bağlı olarak B kavşağı ve koridor üzerinde hizmet düzeyleri iyileşmiştir. A ve C kavşağında hizmet seviyesinin yükselmemesi; burada iyileşme olmadığı anlamına gelmemelidir, çünkü gecikme değerlerinde azalma görülmüştür. Ortalama durma sayısı değerlerinde de kavşaklarda ve koridorlarda azalmalar görülmekte ve bu da hareketliliği artırması yönünden önemli olup, kavşaklardaki kapasite yönetimini de olumlu etkilemektedir.

Egzoz emisyonlarının çevreye ve doğaya verilen zararı açısından değerlendirildiğinde, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşım sektörü, elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en fazla sera gazı saldıran sektördür (Özen ve Tüdeş Yaman 2013). Ülkemiz bu duruma kayıtsız kalmayıp Kyoto protokolünü 2009 yılında imzalamış ve buna göre sera gazı arttırıldığında para ödeme ve azaltıldığında ise para kazanılmaktadır. Yapılan bir saatlik analiz sonuçları neticesinde emisyon değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmektedir. Bu sonuçlar yıllık bazda değerlendirildiğinde, çevreye ve doğaya verilen zararın önüne geçilmesinin yanı sıra ülke ekonomisine de yapılan katkıdan dolayı önem taşımaktadır.

Yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında kavşaklarda durma sayılarının ve gecikme sürelerinin azalması, yakıt tüketimine de olumlu olarak yansımıştır. Bu olumlu sonuçlar hem bireysel taşıt kullanıcısının tasarruf etmesini sağlayacak hem de ülke ekonomisine olan katkıyı arttıracaktır.

Çalışma belli bir koridoru kapsamakla birlikte, ilerleyen aşamalarda, kavşak kontrol cihazlarının bir sonucu ile haberleşmesi ve taşıtların hızları, sinyal durumları vb. verilerin de navigasyon uygulamaları ile paylaşılması sayesinde, sürücünün daha kolay yönlendirilmesi sağlanabilir. Bu şekilde hem sürücü daha az dur-kalk yapmış olacak hem de navigasyon altyapısının daha kararlı sonuçlar sunmasına katkı sağlanacaktır. Benzer şekilde ilerleyen dönemlerde, yol altyapısı ile otonom taşıtların haberleşmesi (V2I: Taşıttan Altyapıya) ve bu verinin de yine otonom taşıtlar arasında paylaşılması (V2V: Taşıttan Taşıta), kent içi hareketliliğe katkıda bulunacaktır. Ancak bu sistemler tam olarak uygulamaya geçene kadar, hibrit çözümler ile sürücülerin trafikteki davranışları iyileştirilmelidir.

Sonraki çalışmalara yol gösterici olmak adına, ışıklı kılavuz ile desteklenen yeşil dalgada, sürücülerin yüzde kaçının bu uygulamaya uyacağı ve koridor içerisinde, örneğin; kırmızı döngünün içinde kaldığında sürücünün ne tür davranış sergileyeceğinin araştırılması ve bununla ilgili bir sürücü davranış modelinin geliştirilmesi, bu uygulamadan daha sağlıklı sonuçlar alınması açısından önemli konulardan biridir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

2019-2020 eğitim öğretim yılında, Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği bölümünde lisans bitirme tezi olarak yapılan ‘Yeşil Dalga ile İşletilen Kavşaklarda Işıklı Kılavuz Uygulama Projesi’ bu makalenin içeriğini oluşturmaktadır. Bu kapsamda her iki çalışma aşamasında PTV Group tarafından sağlanan Vissim programı kullanılmıştır (Vissim mikro-simülasyon programının lisansı, 18.11.2019 – 18.11.2020 tarihleri arasında sağlanmıştır). Bundan dolayı, bu çalışmaya katkıda buldukları için PTV Group’a teşekkür ederiz.

Yalova Belediyesi, Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'nden ilgili kavşaklara ait hali hazır haritalar ve sinyal planları temin edilmiştir. Çalışmaya verdikleri destekler için Yalova Belediyesi, Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Ahadi, S., (2019). Vissim Yazılımı Kullanarak Mezar-ı Şerif (Afganistan) Örnek Çalışması İçerikli Kavşak Gecikme Analizleri. *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 160s.*

Avrenli, K. A., (2006). Arterial Signal Coordination and Optimization: A Case Study in Istanbul. *Master's Thesis, Boğaziçi University Institute for Graduate Studies, Istanbul, 158s.*

Barhani, E., (2017). Signal Coordination of Oversaturated High Volume Arteries: A Case Study of Outer Ring in Tirana. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6, 1, 152-160.

Çelik, Y. and Karadeniz, A., (2018). Urban Traffic Optimization with Real Time Intelligence Intersection Traffic Light System. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6, 3, 214-219.

Çetinkaya, G., (2008). Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 80s.*

Dağüstü, H. Ş., (2010). Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü için Bir Sinyal Zamanlama Modeli. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 137s.*

Jehani, M., James, P., Saka, Anthony A. and Ardeshiri, A., (2015). Traffic Recovery Time Estimation Under Different Flow Regimes in Traffic Simulation. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2,5, 291-300.

Kart, Ö., Genç, O. Ç. & Basciftci, F., (2021). Speed Compatible Green Wave Corridor with The Internet of Things. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS)*, 411-416.

Kiers, M. and Visser, C., (2017). The Effect of a green wave on traffic emissions. *11. FH-Forschungsforum "Research – Innovation – Value" Conference, Krems, Austria.*

Kobal, B., (2011). Boğaziçi Köprüsü Üzerindeki Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması, *Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 101s.*

Kocadağ, N. Y., (2017). Trafikte Kılavuzlu Yeşil Dalga. *Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 101s.*

Murat, Y. Ş., (1996). Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 170s.*

Özen, M., ve Tüdeş-Yaman, H., (2013). Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafiği CO2 Emisyonlarının Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17, 3, 56-64.

PTV Group, (2018). Vissim 10 User Manuel, Karlsruhe, Germany.

Şenbil, M., Yasak, Y., Çubuk, M., K., Arıkan Öztürk, E. ve Hatipoğlu, S., (2017). Ledli Sinyalizasyon Direklerinin Yol Kullanıcıları Üzerindeki Etkisinin Araştırılması Çalışması, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şehir ve Bölge Planlaması Bölümü, Trafik Planlaması ve Uygulaması Ana Bilim Dalı, Ankara, 58s.

Tekin Karagöz, G., (2018). Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 80s.*

Utomo, E., Ramadhan, F. and Imran, A., (2020). Vissim simulation-based analysis for improving traffic conditions in Bandung Indonesia. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*, 21, 3, 5.1-5.6.

Üçer, F., (2000). Balıkesir İlindeki Önemli Kavşakların Kapasite Yönünden Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 282s.*

Yiğit, H. İ., (2019). Koordine Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modellemesi: Ulus Bulvarı Örneği, Denizli. *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale, 89s.*

Zhou, J., (2011). Traffic Signal Coordination Control of City Arterial Road that Based on Graphic Method. *2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, Heilongjiang, China.

Url-1 <<https://www.centreforpublicimpact.org/case-study/green-waves-bicycles-copenhagen>>, erişim tarihi 01.10.2021.