

Araştırma Makalesi / Research Article

Katlı Kavşak Düzenleme Önerilerinde Simülasyon Programı Kullanım Sürecinin İrdelenmesi**Burak ŞİŞMAN¹, Gürcan SARISOY², Yavuz DELİCE^{3*}**¹ Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Programı, Yalova / Türkiye.² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova.³ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova.

e-posta: burak.sisman@outlook.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5163-8325>

e-posta: gurcan.sarisoy@yalova.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7399-104X>

*Sorumlu yazar e-posta: yavuz.delice@yalova.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2646-567X>

Geliş Tarihi: 03.05.2021

Kabul Tarihi: 24.12.2021

Öz

Mikro-simülasyon programları, kavşakta yapılmak istenen düzenlemeleri hayata geçirmeden önce bilgisayar ortamında modelleyerek ve belirli kavşak iyileştirme parametrelerini esas alarak faydaları analiz etmeyi sağlamaktadır. Gelişen teknoloji de kavşak çözümlene ve önerilerinin yapılmasında, mikro-simülasyon programlarının kullanımının pozitif etkisini giderek artırmaktadır. Bu programlar ile mevcut ve düzenleme yapılan duruma ait kavşakların hizmet düzeyleri belirlenerek, analizler yapılmakta ve planlanan düzenlemelerin vereceği sonuçlar kontrol edilebilmektedir. Sonuç çıktıları; hizmet düzeyi, ortalama gecikme, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, yakıt tüketimi ve zararlı gaz salınım miktarı gibi birçok parametreden oluşmaktadır. Bu doğrultuda, kavşak düzenleme önerilerinde her bir sonuç çıktısının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında; Yalova ili Otogar katlı kavşağı üzerinde mevcut durumda yaşanan problemler belirlenmiş ve bu problemlerin çözümünde PTV Vissim mikro-simülasyon programı kullanılarak öneriler sunulmuştur. Yapılan saha sayımları ve gözlemler ile kavşağa ait bilgiler edinilmiş, mevcuttaki trafik sıkışıklığı ve trafik güvenliği problemlerini önleyecek çözümler mikro-simülasyon programı ile bilgisayar ortamında irdelenmiştir. Mevcut durumda yaşanan problemlere ek olarak, kavşak yakınında inşaatı devam eden hastane ve alışveriş merkezi gibi çekim alanları düşünülerek, artması öngörülen taşıt hacminin etkileri de göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada verilen iki öneriden daha iyi olan seçeneğin mikro-simülasyon sonuçlarına göre; kavşağın hizmet düzeyi F seviyesinden A seviyesine yükselirken, ortalama gecikme süresinde %93, ortalama hız değerinde %173, ortalama kuyruk boyunda %98, yakıt tüketiminde ve zararlı gaz salınımında %65 oranlarında iyileşmeler elde edilmiştir. Ayrıca, mikro-simülasyon programı ile katlı kavşak düzenlenmesi sürecinde geliştirilen iş akış şemasının kullanılması çalışmanın özgün yönlerinden biridir. Katlı kavşaklardaki yapılan iyileştirmelerin, göreceli olarak diğer kavşaklarda yapılan düzenlemelere göre ilgili bölgelere daha çok fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler

Katlı Kavşak;
Simülasyon; Mikro-Simülasyon; Hizmet Düzeyi; Ortalama Gecikme

Investigation of Simulation Program Usage in Interchange Design Alternatives**Abstract**

Micro-simulation programs enable to analyze the benefits by modeling in a virtual environment and based on certain intersection improvement parameters before implementing the designs to be made at the intersection. The developing technology also gradually increases the positive effect of the usage of micro-simulation programs in making intersection analysis and design alternatives. With these programs, the service levels of the current and designed intersections are determined and analyzed. Thus, the results of the planned designs can be controlled. Result outputs, it consists of many parameters such as service level, average delay, average speed, average queue length, the amount of fuel consumption and harmful gas emissions. Accordingly, it is aimed to improve each result output in the intersection design alternatives. Within the scope of the study, the current problems on the Yalova

Keywords

Interchange;
Simulation; Micro-Simulation; Level of Service; Average Delay

City Bus Terminal Interchange were determined. Designs were presented to solve these problems by using PTV Vissim micro-simulation program. Data about the interchange were obtained through field counts and observations. Solutions to prevent current traffic congestion and traffic safety problems were examined in a virtual environment with a micro-simulation program. In addition to the current problems, the effects of the foreseen increase in vehicle volume were also considered, considering the attraction areas such as hospitals and shopping centers that are under construction near the interchange. According to the micro-simulation results of the option that is better than the two alternatives given the research, while the service level of the intersection increased from F to A, improvements were achieved by 93% in average delay time, 173% in average speed, 98% in average queue length, and 65% in fuel consumption and harmful gas emissions. In addition, the usage of the workflow diagram developed in the process of designing interchanges with the micro-simulation program is one of the original aspects of the study. It is foreseen that the improvements made in the interchanges will provide more benefits to the regions compared to the designs made in other intersections.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Kentlerdeki nüfus artışı, iş ve yerleşim alanlarının çoğalmasına, buna bağlı olarak yolculukların artmasına ve yol ağlarının genişlemesine neden olmaktadır. Bunların neticesinde bazı kavşaklarda trafik sorunları meydana gelebilmektedir. Kavşak çevresinde çekim merkezlerinin olması, kavşaklardaki trafik ve güvenlik sorunlarını da giderek artırmaktadır. Bu kavşaklardaki problemlerin çözümünde mikro-simülasyon programlarının kullanılması, düzenleme önerilerinin yapılmasında en uygun ve en doğru sonuçların elde edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu sayede kavşağın mevcut durumu bilgisayar ortamında incelenmekte ve düzenleme önerilerinin geliştirilme süreci daha verimli hale gelmektedir.

Eşdüzey kavşaklar ile sağlanamayan yüksek kapasiteli ve kesintisiz akım geçişleri, katlı kavşaklar ile sağlanabilmektedir. Katlı kavşaklar, eşdüzey kavşaklara göre taşıt geçişlerinin daha kontrollü ve sistemli şekilde yapıldığı karayolu unsurlarıdır. Bu kavşakların amaçları arasında; trafik güvenliğinin artırılması ve taşıt geçişlerinin kontrollü şekilde yapılarak birbirini etkilememesi bulunmaktadır. Katlı kavşaklar şehir merkezlerine göre daha çok kırsal kesimlerde iyi bir hizmet vermektedir. Bunun en büyük sebebi olarak şehir merkezlerinde yeterli kavşak alanının bulunmaması ve buna bağlı olarak da bağlantı yollarının trafik güvenliğini tehlikeye sokabilmesidir. Aynı zamanda yaya geçitleri anlamında da oldukça güven problemi arz eden bu kavşak türleri şehir dışı bağlantı yollarında tercih edilip uzun yıllar hizmet verebilmektedir (Namlı

2015). Ayrıca yeni yerleşim yerlerinin planlanması yapılırken mutlaka ileriye dönük trafik tahminleri yapılarak tasarlanan katlı kavşakların performans değerlendirmeleri incelenmelidir.

Katlı kavşaklar için oluşturulan simülasyonlar, eşdüzey kavşaklara göre daha kapsamlıdır. Sürücü taleplerinin rahatlıkla karşılanabilmesi ve anayol akımının kesintiye uğramaması için katlı kavşaklar tercih edilebilmektedir. Eşdüzey kavşaklara göre yüksek taşıt hacmine sahip katlı kavşak simülasyonlarında elde edilen sonuçların iyileştirilmesi bölgeye önemli katkılar sunmaktadır. Bu yüzden, bu kavşakların planlanması yapılırken trafik simülasyon çözümleri üzerinde daha fazla durulmuş ve çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda katlı kavşakların performans çıktıları arasında; hizmet düzeyi, ortalama gecikme, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, yakıt tüketimi ve zararlı gaz salınım miktarı gibi parametreler bulunmaktadır. Taşıt geçişlerinin kontrollü şekilde sağlandığı bu kavşaklarda; gecikme süresinin, kuyruk boyunun ve ortalama durma sayısının düşmesi, ortalama hız değerinin ise artması beklenmektedir. Transit geçişlerin simülasyonda yer alması da kavşağı kullanan toplam taşıt hacmini yükseltmektedir. Bu durum, yakıt sarfiyat değerlerinde ve toplam seyahat süresinde artışa neden olmaktadır.

Simülasyon tekniği, ulaşım planlaması ve kavşak düzenlemesinde etkin şekilde kullanılmaktadır. Bu teknik, kavşak düzenleme önerileri için test niteliği taşımaktadır. Bu sayede sunulan öneriler içerisinde

en uygunu tespit edilerek gerekli projelendirmeler yapılabilmektedir.

Çalışmada, mikro-simülasyon programı ile katlı kavşak düzenlenmesi süreci için bir iş akış şeması önerilmiş ve tasarım süreci bu şemaya göre gerçekleştirilmiştir. İş akış şemasının test edilmesi için belirlenen Yalova Otogar katlı kavşağı geometrik olarak diamond (elmas) kavşak yapısındadır. Bu kavşak modelinde katılım, ayırım ve kesişim noktalarının olması taşıt geçişlerinde gecikmeleri ve kavşağın tasarım kriterlerine göre güvenlik problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Öneri geliştirme sürecinde, video çekimler kullanılarak zirve saat taşıt hacim değerleri hesaplanmış ve mevcut durumdaki güvenlik problemleri saptanmıştır. Sonrasında, yapılması devam eden ya da planlanan çekim merkezlerinin de trafik etkisi dikkate alınarak her bir akım koluna ait taşıt hacimleri PTV Vissim mikro-simülasyon programına girilmiş ve kavşağın mevcut durumu analiz edilmiştir. Mevcut durumda gözlemlenen problemler simülasyon üzerinde de görülmüş, bu problemlerin çözümü adına araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Kavşakta yaşanan problemlerin çözümü için farklı türdeki katlı kavşak yapıları öneri olarak sunulmuş, mikro-simülasyon programı ile bu öneriler irdelenmiş ve en uygun olan öneri belirlenmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

Kavşak düzenlemesi üzerine mikro-simülasyon programları kullanılarak mevcut durum analizleri ile öneriler geliştirilmesi kapsamında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, literatürde yer alan çalışmalar kronolojik sıraya göre verilmiştir.

2005 yılında İstanbul ili, Kadıköy ilçesi Altunizade Kavşağı'nda gerçekleştirilen çalışmada, trafik problemlerinin çözümünde kent içi ve kent dışı alanlarda karayollarının kesişme şekillerine göre; yüksek güvenli ve trafik kapasitesine sahip kavşak sistemleri ile bağlantı yolları incelenmiştir. Bağlantı kollarından bu kavşağa geçiş yapmak isteyen taşıtlar, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nü kullanmak isteyenler için trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Çevrede bulunan alışveriş merkezi de bu kavşağın talep edilmesine yol açmaktadır. Çevresel etkenlerden ve çekim merkezlerinden dolayı kavşak

tasarımının değiştirilmesi planlanmıştır. Bu tasarımların belirlenmesinde; mevcut arazi kullanımının, yol ağının incelenmesinin ve yapılan sayım sonuçlarının etkili olduğu belirtilmiştir. Sorunların çözümüne yönelik kavşak ve bağlantı yollarının düzenlenmesi yapılmış olup, belirtilen bölgeyi kapsayacak bir kavşak tasarımı hazırlanmıştır. Bu sayede trafik yoğunluğunun azaltılması hedeflenmiştir. İlk olarak yonca kavşak yapısı uygun olarak görülmüş, fakat arazi koşullarının elverişli olmaması nedeniyle tasarımın yarım yonca kavşak yapısı ile değiştirilmesine karar verilmiştir (Tunalıoğlu 2005). Yapılan bu çalışmada yüksek taşıt hacmine bağlı olarak kavşağın geometrisinde düzenlemeler yapıldığı görülmüştür.

2010 yılında İstanbul ili, Üsküdar ilçesinde yapılan çalışmada Nuhkuyusu Caddesi üzerindeki kavşaklar incelenmiştir. Bu cadde üzerinde yer alan 9 kavşak için Synchro ve Sim Traffic programları kullanılarak mevcut durum analizleri yapılmış ve 2 farklı senaryo çerçevesinde çözüm önerileri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu öneriler sayesinde hizmet seviyesi F olan bir kavşağın sinyal optimizasyonu ile C seviyesine, aynı kavşağın geometrik düzenleme ile B hizmet seviyesine yükseldiği görülmüştür. Ortalama gecikme süresinde %60 oranında iyileşme olmuştur. Eşdüze 9 kavşak için mikro-simülasyon çıktılarına göre uygun öneriler seçilerek fayda-maliyet analizleri yapılmıştır (Ocakdan 2010).

2010 yılında yapılan çalışmada şehir içi sinyalize olmayan kavşaklarda meydana gelen kazaların nedenleri araştırılmıştır. İnsan unsuru ve araç unsuru dışındaki yol ve çevre unsurları, özellikle kavşak geometrik yapısının kazalar üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemelerde kavşak geometrilerinin neden olduğu kazalarda; kavşağın kol sayısı, kavşak kolları arasındaki yatay açı, görüş uzunluğu ve görüş engelleri, ayırma adaları, sola ve sağa dönüş şeritlerinde var olan yol tasarım problemlerinden söz edilmiştir. Bu çalışma ile şehir içi sinyalize olmayan kavşaklarda güvenlik analizi yapılmış ve ilgili eksikliklerin giderilmesi amaçlanmıştır (Saplıoğlu ve Karşahin 2010). Kavşak tasarımları yapılırken yaya ve sürücü güvenliği ön planda tutularak çözümler üretilmelidir. Güvenlik problemi

yaşanan kavşaklar üzerinde yapılabilecek geometrik düzenlemeler ile bu güvenlik sorunlarının önüne geçilmesi mümkündür.

2016 yılında Erzurum ilinde yapılan çalışma kapsamında, Atatürk Üniversitesi kampüsündeki en yoğun trafik hacmine sahip ve yıllık ortalama 15 kazanın olduğu Teknokent kavşağı incelenmiştir. Sahadan elde edilen taşıt verileri kullanılarak kavşağın simülasyonu PTV Vissim programı ile yapılmıştır. Kavşak için sinyal programları ve geometrik düzenlemeler önerilmiş ve uygulanmıştır. Yapılan çalışmadan itibaren bir buçuk yıl süreyle kavşakta trafik kazası meydana gelmemiştir (Bayrak vd. 2016).

2016 yılında Hindistan'ın Bangalore bölgesinde Vijayanagar ve Attiguppe kavşaklarında inceleme yapılmıştır. Video kameralar yardımıyla yapılan çekimler ile taşıt hacimleri elde edilmiştir. Kavşaklardaki sinyal süreleri ve taşıt hacimleri veri olarak PTV Vissim simülasyon programına girilmiştir. Geliştirilen kavşak önerilerinde maksimum kuyruk boylarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre, Vijayanagar kavşağında kuyruk boyu %76 oranında azaltılmıştır (Jagali and Kadam 2016).

2017 yılında Almanya'nın Bavyera eyaletinde bir otoyol üzerinde yapılan çalışmada, toplanan taşıt verileriyle beraber üç saatlik bir mikro-simülasyon analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizin kalibrasyonu için taşıtların seyahat süreleri göz önünde bulundurulmuştur. PTV Vissim mikro-simülasyon programında yapılan bu analizde 500 bağlantı, 113 düğüm ve 1820 başlangıç-bitiş elemanı kullanılmıştır. Model için önerilen kalibrasyon ve doğrulama yöntemlerinin otomobil ve ağır taşıtlar için %97 oranına yaklaştığı görülmüştür (Karakikesa *et al.* 2017).

2018 yılında Denizli ili, Emniyet kavşağında yapılan çalışmada kent içi ulaşım ağlarında sıklıkla kullanılan ışıklı ve modern dönel kavşakların performansları PTV Vissim programı ile incelenmiştir. Performans iyileştirmesi amacıyla öncelikle kavşağa ait mevcut ışık süreleri TRANSYT-7F programında en optimum seviyeye getirilmiş, sonrasında ise mevcut faz planı değiştirilerek elde edilen parametre değerleri karşılaştırılmıştır. Emniyet kavşağı modern dönel

kavşak olarak değiştirilerek simülasyonu yapılmış ve performans parametre değerleri belirlenmiştir. Halihazırda modern dönel kavşak olarak hizmet veren Albayrak kavşağının mikro-simülasyon programındaki analizinde sürücü davranışlarını temsil eden parametre değerlerinin en uygun değerlerini belirleyebilmek amacıyla iki seviyeli bir çözüm algoritması geliştirilmiş ve kalibrasyonu yapılmıştır. Albayrak kavşağının da simülasyonu yapılmış, ayrıca söz konusu kavşak ışıklı kavşak olarak mikro-simülasyon programında modellenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modern dönel kavşakların trafik hacminin belli değerlerine kadar gecikme ve hız parametreleri açısından ışıklı kavşaklara oranla performansının daha iyi olduğu görülmüştür (Erol 2018).

2018 yılında Erzurum ilinde gerçekleştirilen çalışmada Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü tarafından Erzurum-Bingöl devlet yolu üzerinde ve Atatürk Üniversitesi kampüsünü bu yola bağlayan yol kesimi üzerinde yapılması planlanan kavşağın çevre ve bölge trafiğine etkisi araştırılmıştır. Erzurum ilinde TÜİK verilerine göre taşıt sayısındaki mevsimsel artış %18 olup bu sayı her yıl artmaktadır. Buna karşın mevcut yolların kapasiteleri sabit kalmaktadır. Bu durum, yolların yetersiz kalmasına neden olmakta, trafik yoğunluğunun artması ile seyahat süresi, gecikme ve egzoz emisyonlarının artmasını da beraberinde getirmektedir. Toplanan taşıt verileri ile mevcut ve öneri durum, PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile modellenmiş ve seyahat süresi, gecikme, kuyruk uzunlukları ile CO, NOx, VOC ve yakıt tüketimleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, seyahat süresi ve gecikmelerde %35, kuyruk uzunluklarında %83, egzoz emisyonlarında ise yaklaşık %23'e varan oranlarda azalma gözlenmiştir (Bayata ve Bayrak 2018).

2019 yılında Kocaeli ili, Gölcük ilçesi, D-130 karayolunda, Karaağaç caddesi yakınlarında bulunan üst geçitten başlayarak yaklaşık 3,8 km devam ederek Kazım Karabekir caddesi hizasında son bulan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde 4 sinyalize kavşak bulunmaktadır. Koridor üzerinde yaşanan trafik sıkışıklığı PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Mevcut

trafik sayımları ile koridor boyunca mikro-simülasyon modeli oluşturulmuş, mevcut duruma ait sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen öneriler için aynı trafik hacimleri kullanılarak simülasyonlar yapılmış ve performans sonuçları alınmıştır. Buna göre, ortalama gecikmede %53, ortalama hızda %45 oranında bir iyileşme gözlenmiştir (İlcalı ve Saraç 2019).

2019 yılında Sakarya ili, Serdivan ilçesinde yapılan çalışmada taşıtların yoğun olduğu kavşaklar seçilmiştir. Sapak Cami kavşağı ve D-100 Dörtüyl Sanayi kavşağı üzerinde analizlerde bulunulmuştur. Kavşak sayımları gerçekleştirilerek kavşak kollarındaki taşıt hacimleri tespit edilip PTV Vissim mikro-simülasyon programında belirlenen kavşaklara aktarılmıştır. Kavşaklar ile ilgili senaryolar geliştirilmiş ve bu senaryolar üzerine analizler yapılmıştır. İncelenen bir dönel kavşağın bölgedeki önemli merkezleri birbirine bağlaması ve ilerleyen dönemlerde yakınına yapılacak alışveriş merkezi inşaatıyla daha da talep alacağı öngörülmektedir. Yapılan çalışma içerisinde çekim merkezlerinin o bölgedeki trafiğe etkisi de incelenmiştir. Bu merkezlerin oluşturduğu ve gelecekte oluşturacağı etki için taşıt hacmi %30 oranında artırılmış ve simülasyonlar oluşturulmuştur. Böylece gelecekte kavşakta yaşanabilecek problemler ile ilgili çıktılar elde edilerek, bu çıktılar üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır (Camcı 2019).

2019 yılında Amerika'nın Batı Virginia eyaletinin Morgantown şehrinde West Wirginia Üniversitesi kavşağında yapılan bir araştırmada, kentin önemli bir arterinde yer alan yaya geçidi üzerinde; yaya güvenliğinin yanı sıra en büyük sorunun trafik sıklığı olduğu belirtilmiştir. Bu araştırmada kullanılan PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile geometrik düzenlemeler yapılarak trafik sıklığını gidermede yapılabilecek iyileştirmeler değerlendirilmiştir. Bu iyileştirmeler yapıldığında simülasyon sonuçlarına göre; ortalama seyahat süresinin %50'ye kadar, ortalama gecikmelerin %66'ya kadar iyileştirildiği görülmüştür (Frosch *et al.* 2019).

2020 yılında Endonezya, Batı Java, Bandung'da bulunan Pasteur bölgesindeki karayolu ağında bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın nedeni

olarak bölgede yaşanan yoğun trafik sıklığı gösterilmektedir. Bu trafik sıklığının mevcut trafik performansının değerlendirilmesinde mikro-simülasyon programı kullanılmıştır. Bu bölgede trafik sıklığını azaltmak için karayolu ağı üzerinde önerilerde bulunulmuştur. Karayolu ağındaki önerilerin performansını değerlendirmek için PTV Vissim mikro-simülasyon programı kullanılmıştır. Mevcut ve öneri kavşaklar arasında karşılaştırma yapmak için ortalama seyahat süresi, ortalama seyahat hızı ve maksimum kuyruk uzunluğu göstergeleri irdelenmiştir. Ortalama seyahat süresi incelendiğinde, %47 oranında iyileştirme olduğu görülmektedir. Ortalama seyahat hızı incelendiğinde ise bazı yol kesimlerinde %300 iyileştirme, bazılarında ise %30 iyileştirme sağlanmıştır. Maksimum kuyruk uzunluğunda %80 iyileştirmelerin olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre, mikro-simülasyon sonucunda elde edilen veriler ile karayolu ağındaki önerilerin trafik durumunu iyileştirebileceği görülmektedir (Utomo *et al.* 2020).

2020 yılında Erzurum ili, Tebriz Kapı kavşağında yapılan çalışmada mikro-simülasyon programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kavşakta gecikme sürelerinin azaltılması ve kavşağın performansının artırılması amaçlanmıştır. Trafik sayımları sonucu elde edilen veriler mikro-simülasyon programı olan AIMSUN programına girilerek mevcut durum modellenmiş ve ortalama gecikme süreleri saptanmıştır. Mevcut durumdaki sorunlara çözüm önerisi olarak kavşak türünün değiştiği 2 farklı senaryo sunulmuştur. İlk senaryo olan modern dönel kavşak tasarımı AIMSUN programında modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre kavşaktaki ortalama gecikme süresinde %78'e varan bir azalma görülmüştür. İkinci senaryo olarak farklı düzey kavşak önerisi sunulmuş ve AIMSUN programında modellenerek sonuçlar analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ortalama gecikme süresinde %87 oranında bir iyileşme görülmüştür. Bu sonuçlara göre farklı düzey kavşaklarda daha iyi bir sonuç alınmış, fakat farklı düzey kavşak tasarımının maliyeti yüksek olması sebebiyle dönel ada tasarımı tavsiye edilmiştir (Baş vd. 2020).

2020 yılında Çin’de, Weibin ve Fengcheng caddelerinin kesişiminde iki farklı kavşakta yapılan çalışmada şehir içi yollardaki trafik sıkışıklığını incelemek amaçlanmıştır. Toplanan veriler ile PTV Vissim mikro-simülasyon programında mevcut durum analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut duruma ait maksimum kuyruk uzunluğu ve ortalama durma süresi gibi çıktılar elde edilmiştir. Mikro-simülasyon çalışmasının kavşak optimizasyonu için etkili bir yöntem olduğu sunulmuştur (Kaixi and Meiqi 2020).

2020 yılında Hindistan’da yapılan araştırmada PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile kentlerde yaşanan trafik sıkışıklığının çözümü konusu ele alınmıştır. Artan nüfus ve gelişen şehirler ile şehir içi trafik sıkışıklığı ciddi bir sorun haline gelmektedir. Trafik sıkışıklığı çözümünde yolların ve kavşakların genişletilmesi ya da sinyalizasyon ile yönetilmesi sağlanmaktadır. Mikro-simülasyon programları ile trafik tıkanıklık analizleri yapılabilmektedir. Mikro-simülasyon programında yapılan analizlerle trafik sıkışıklığını azaltmak için uygun öneriler sunulabilmektedir. Mikro-simülasyonlarda temel amaç, çalışma alanını incelemek ve bunun bir modelini hazırlamaktır. Bu araştırmada yol hacminin trafik yönüne göre etkilenme düzeyi irdelenmiştir. Elde edilen güncel veriler ile modelden elde edilen veriler karşılaştırılmış, trafik sıkışıklığının nedenleri belirlenerek sorunların çözümleri için gerekli öneriler ortaya konmuştur (Kumar 2020).

2. Materyal ve Metot

Bu bölüm üç başlıkta incelenmiş olup; çalışmada kullanılan programlara yönelik bilgiler, süreç önerisi ve çalışmanın gerçekleştirildiği kavşağa ait bilgiler detaylıca verilmiştir.

2.1 Kullanılan Programlara Ait Bilgiler

Kavşağın mevcut durum ve düzenleme önerilerinin modellenmesi ve analizinde PTV Vissim mikro-simülasyon programı v10 sürümü kullanılmıştır. AutoCAD 2020 programı ile kavşağın öneri geometrik düzenlemeleri çizilmiştir. Ayrıca Autocad 2020 programının eklentisi olan ‘Vehicle Tracking’ ile kavşak içi taşıt dönüşlerinin uygunluğu kontrol edilmiştir.

2.2 Süreç Önerisi

Katlı kavşak öneri projesi geliştirme sürecinin 5 adımdan oluştuğu kabul edilmiş ve bu adımlar Şekil 1’de görülen iş akış şemasında verilerek ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

- *Mevcut durum ve trafik sayım verilerinin toplanması:* Mikro-simülasyon programları ile mevcut durumda toplanan veriler sanal ortama aktarılarak gerçeği en iyi derecede yansıtan modeller oluşturulabilmektedir. Bir kavşağın analizi ve düzenlenmesinde kullanılan veriler ilgili idareden ve sahada yapılan çalışmalardan elde edilmektedir. Trafik sayımlarını elde etmek amacıyla saha çalışmalarında video kamera tekniği ile gün içerisinde ilgili kavşak için belirlenen zaman dilimlerinde kayıtlar alınmaktadır. Kavşak fiziki yapısına göre kavşağın tüm kollarını görebilmesi amacıyla kamera çekimi öncesi kavşağın analizi yapılarak, kamera veya kameraların kurulması gereken yerler saptanmaktadır. Kamera ile gerçekleştirilen trafik çekimleri ofis ortamında sayılarak veri setleri elde edilmektedir. Bu sayımlar gerçekleştirilirken; taşıtların sınıflarına ve 15 dakikalık periyotlar halinde sayıma dikkat edilmektedir. Böylece ilgili kavşağı yoğunlukla tercih eden taşıt türlerine ve zirve saat değerlerine daha rahat şekilde ulaşılmaktadır.
- *Mevcut durumdaki sorunların tespiti:* Saha çalışması veya ofis ortamında gerçekleştirilen sayımlar esnasında gözlemlenen kavşağın mevcut durumundaki sorunlar tespit edilerek bu sorunların çözülmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Kavşağın geometrik tasarımı ile ilgili ortaya çıkan sorunların yanında, kavşağın yüksek taşıt hacmine sahip olması ve yol hacminin bu kapasiteyi kaldırmaması bazı güvenlik zafiyetlerini ortaya koyabilmektedir. Yapılan gözlemler ile kavşak içerisindeki kesişme noktaları özellikle incelenmeli ve bu kesişme noktalarının nasıl ortadan kaldırılabilirliği ya da daha güvenli taşıt geçişlerinin nasıl sağlanabileceği üzerine çalışmalar yapılmalıdır.
- *Mevcut durumun mikro-simülasyon programında modellenmesi, kalibrasyonu ve*

sonuçların elde edilmesi: Hesaplanan zirve saat değerleri simülasyonda kullanılmaktadır. Model içerisine girilen zirve saat değerlerinin mevcut durumdaki taşıt yoğunluğunu doğrular ve planlanan çekim merkezlerinin yaratacağı ek trafiği yansıtır nitelikte olması gerekmektedir. Mevcut durum kalibrasyonu için birçok yöntemden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden Geoffrey E. Havers istatistiği (GEH) ile simülasyon içerisindeki her bir akım kolundan geçen taşıt hacimleri ile sahada gözlemlenen taşıt hacimleri kullanılarak GEH değeri hesaplanmaktadır (Baş vd. 2020). Elde edilen bu değer ile oluşturulan mevcut durum simülasyonunun kalibrasyonu kontrol edilerek tamamlanmaktadır. Mevcut durum analizinin doğru şekilde yapılması gerçek durum ile simülasyonun benzer yapıda olmasına bağlıdır. Yapılan analizler ile simülasyon sonucunda ortalama gecikme, durma, hız, kuyruk boyu, zararlı gazların emisyonu ve yakıt tüketimi gibi parametreler elde edilerek gecikme süresine bağlı olarak kavşağın mevcut durumdaki hizmet düzeyi belirlenmektedir.

- *Tespit edilen sorunlara yönelik çözüm önerilerinin oluşturulması:* Mevcut durumda tespit edilen sorunların ortadan kaldırılması amacıyla geliştirilen öneriler ile kavşağın performansı ve hizmet düzeyi arttırılabilmektedir. Düzenlemeler kavşağın geometrisinde; halihazır haritalar ve çevresel etkenler dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu düzenlemeler kavşağı yoğun olarak tercih eden taşıt türlerine göre ilgili standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Öneri olarak geliştirilen geometrik düzenlemeler çizilerek PTV Vissim mikro-simülasyon programına altlık olarak atılabilmektedir. AutoCAD programında çizilen geometrik kavşak tasarımları, kavşağı kullanan ve tasarımı etkileyen taşıta göre yine AutoCAD programın eklentisi olan 'Vehicle Tracking' içerisinde kontrol edilip, geometrik açıdan uygunluğu test edilebilmektedir. Altlık olarak mikro-simülasyon programına aktarılan bu düzenlemeler yine elde edilen taşıt verileri ile simülasyonu yapılarak simülasyon sonucunda,

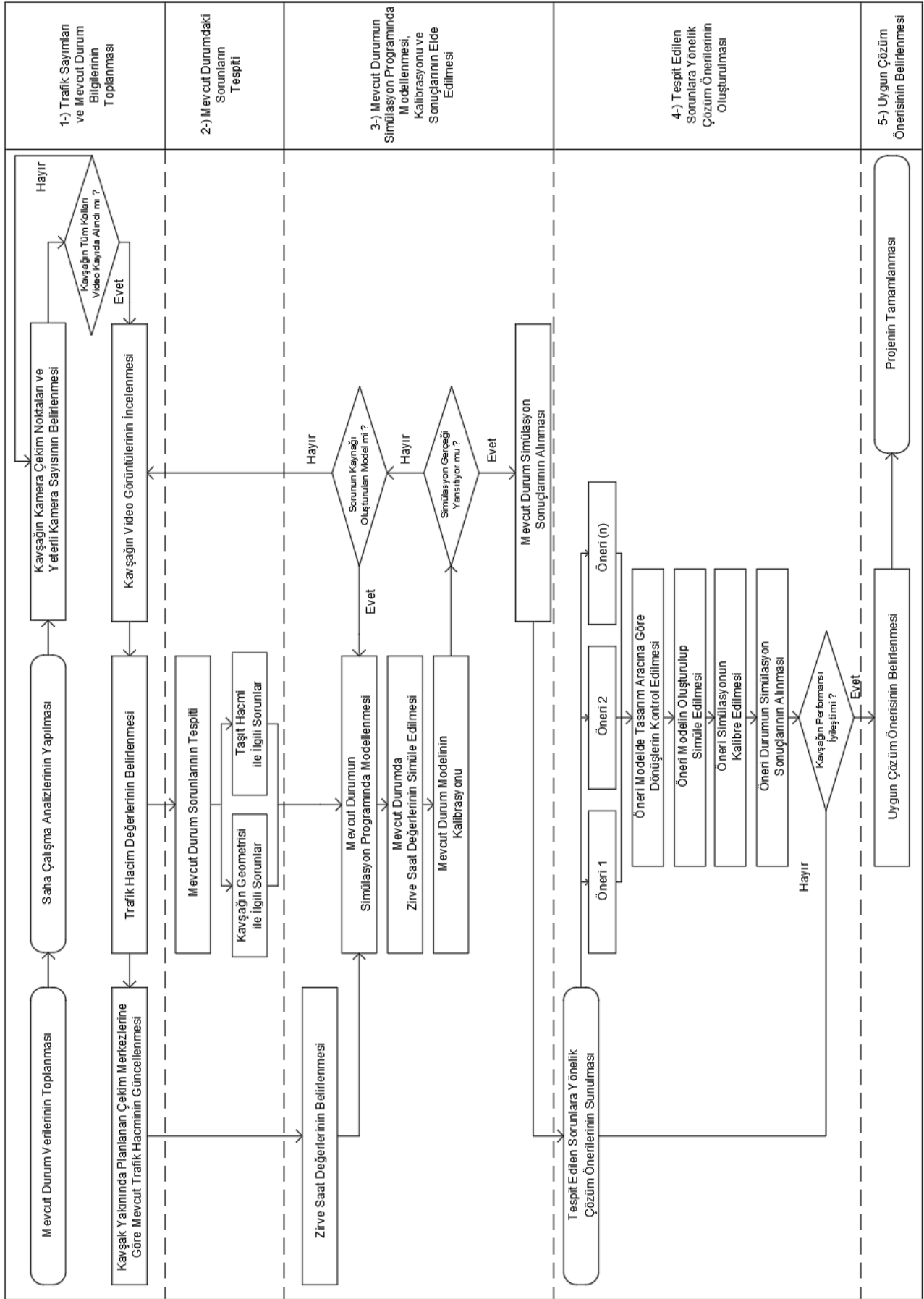
bir önceki adımda belirtilen kavşak performans parametreleri elde edilmektedir.

- *Uygun çözüm önerisinin belirlenmesi:* Geliştirilen önerilerin mevcut durum ile kıyaslanmasının yanı sıra kendi aralarında da kavşak performans parametreleri ve kavşağın hizmet düzeyi dikkate alınarak karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar ile en uygun çözüm önerisi belirlenmektedir. Belirlenen çözüm önerisinin uygun maliyetli ve çevreci bir seçim olması oldukça önemlidir.

2.3 Kavşağa Ait Bilgiler

Katlı kavşaklar için önerilen iş akış şemasının Yalova ilinde denenmesi için ilk olarak kavşak seçimi yapılmıştır. Belirlenen kavşağın kuzeyinde Yalova il merkezi, güneyinde Bursa ili, doğusunda oto sanayi alanı ve batısında devlet hastanesi, trafik bölge şube müdürlüğü ve alışveriş merkezi gibi önemli çekim merkezleri bulunmaktadır. Bu kavşak Yalova ili açısından oldukça kritik bir öneme sahip Yalova Otogar katlı kavşağıdır. Şekil 2'de görüldüğü üzere 5 farklı akım koluna sahip sinyalizasyon olmayan bir kavşaktır. Her bir akım kolu detaylıca incelendiğinde;

- 1 numaralı akım, Yalova-Bursa yönünü temsil etmekte olup, iki şerit olarak işletilmektedir. Bununla birlikte, Yalova yönünden Otogar kavşağına katılan ve ayrılan yan yol (Y1) ortalama çıkışta %5,8; inişte %3,7 eğime sahiptir.
- 2 numaralı akım, Bursa-Yalova yönünü temsil etmekte birlikte iki şerit olarak işletilmektedir. Bursa yönünden Otogar kavşağına katılan ve ayrılan yan yol (Y2) tek şerit olup çıkışta ortalama %3,4; inişte %4,1 eğime sahiptir.
- 3 numaralı akım, otogar arka girişi/çıkışı temsil etmekte olup yalnızca 1 numaralı akım tarafından taşıt girişi bulunmaktadır. Çift yön ve her yöne tek şerit olarak işletilen bu akım; Otogara gelen toplu taşıma minibüslerine ve yolcu araçlarına hizmet vermektedir.
- 4 numaralı akım, Radar caddesini temsil etmektedir. Çift yön ve her yöne tek şerit olarak işletilen bu kol, ortalama %11,7 eğime sahiptir.
- 5 numaralı akım, Kirazlı Köyü yönünü temsil etmekte olup çift yön ve her yöne tek şerit olarak işletilmektedir.



Şekil 1. Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şeması



Şekil 2. Yalova otogar katlı kavşağı uydu görüntüsü (Int Kyn. 1)

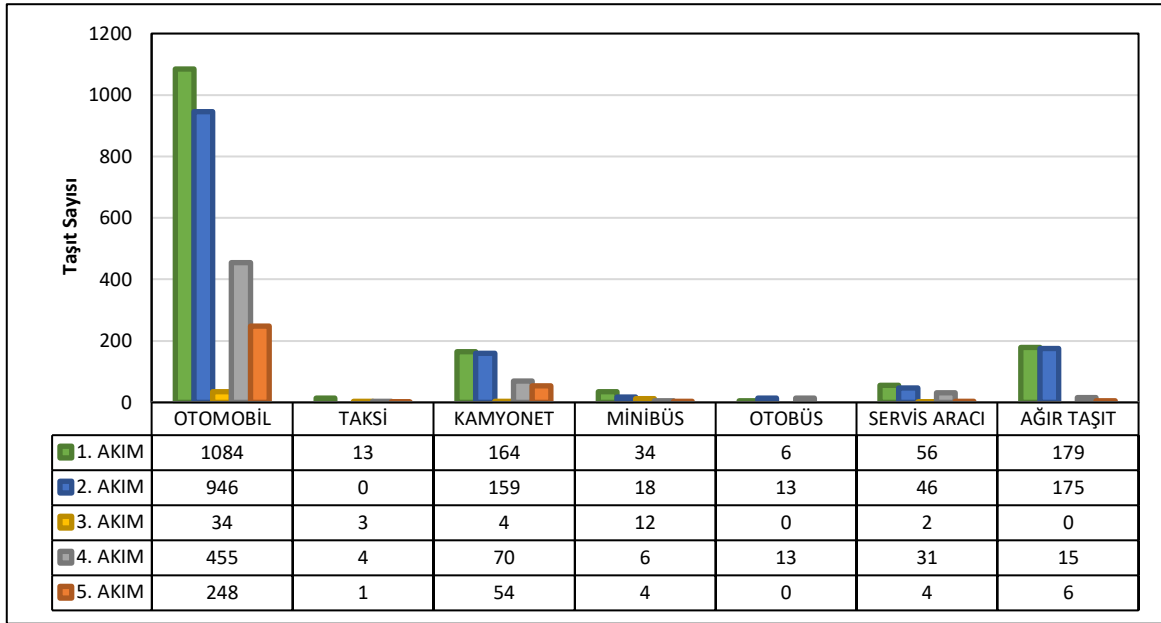
3. Bulgular

İş akış şemasında verilen beş adım, bu bölüm altında belirlenen kavşak üzerinde test edilmiş ve ayrıntılı olarak sunulmuştur.

3.1 Mevcut Durum ve Trafik Sayım Verilerinin Toplanması

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının birinci adımınıdır. Belirlenen çalışma sınırları içerisindeki kavşağın simülasyon girdilerinin belirlenmesi için halihazır haritaların alınması ve taşıt hacminin saptanması gerekmektedir. Halihazır haritalar çalışmanın gerçekleştirildiği il ya da ilçe belediyesinden temin edilebilmektedir. Bunun yanında kavşaktaki taşıt hacminin belirlenmesi trafik sayımı ile gerçekleşmektedir. Günümüzde trafik sayımları dedektör, sensör, drone ve kamera vb. birçok yöntem ile yapılabilmektedir. Bu kapsamda Yalova Otogar katlı kavşağının mevcut durumunun PTV Vissim mikro-simülasyon programında modellenmesi ve taşıt girdilerinin sağlanabilmesi için taşıt sayımında video çekim metodu

kullanılmıştır. Bu metot ile taşıt hacminin belirlenmesinin yanı sıra kavşakta gün içindeki taşıt hareketleri, yapılan ihlaller ve sorunlar kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu doğrultuda 18 Aralık 2019 Çarşamba günü trafiğin yoğun olduğu saatlerde; sabah (07.00-09.00), öğle (12.00-14.00) ve akşam (17.00-19.00) olmak üzere toplam altı saatlik video çekimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için iki farklı kamera kurularak eş zamanlı olarak kavşağın görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntüler ofis ortamında kavşaktaki beş akım kolu dikkate alınarak incelenmiştir. Her bir akım taşıt türlerine göre (otomobil, taksi, kamyonet, otobüs, servis aracı, ağır taşıt vb.) sınıflandırılmıştır. Trafik hacim değerleri on beş dakikalık periyotlar halinde sayılarak günün sabah, öğle ve akşam zaman dilimleri için zirve saat değerleri tespit edilmiştir. Kavşak en fazla taşıta akşam zirve saatinde hizmet vermektedir, bu yüzden analizlerde de bu zaman dilimindeki taşıt hacimlerinden yararlanılmıştır. Kavşağın mevcut durumuna ait geometrik yapı, her bir kolundan geçen taşıt hacimleri ve taşıt rotaları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Yalova otogar katlı kavşağı akım kollarına göre türel dağılım

3.2 Mevcut Durumdaki Sorunların Tespiti

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının ikinci adımıdır. Kavşak düzenleme çalışmalarının asıl amacı, mevcut durumda yaşanan sorunların tespit edilerek bu sorunları ortadan kaldırmak ve kavşağın performansını iyileştirmektir. Tespit edilen bu sorunlara karşı geliştirilen öneriler maliyet ve çevre açısından da uygun olmalıdır. Bahsedilen bu bilgiler kapsamında Yalova Otogar katlı kavşağının mevcut durumunda yaşanan sorunlar, incelenen kamera görüntüleri ve sahada yapılan gözlemler sonucu belirlenmiştir (Şekil 5). Buna göre başlıca sorunlar:

- İki kritik noktada taşıt geçişleri sürücülerin inisiyatifine bırakılarak güvensiz bir geçiş sağlanmıştır.
- Kesişim noktalarında taşıt talebinin yükseldiği zamanlarda taşıt geçişleri esnasında yoğunluklar yaşanmaktadır. Geçişlerde yaşanan aksamalar ile

Y1 (Yalova yönünden gelen taşıtların geçiş yaptığı yan yol üzerinde), Y2 (Bursa yönünden gelen taşıtların geçiş yaptığı yan yol üzerinde) ve 4 (Radar Caddesi üzerinde) numaralı akımlarda taşıt kuyrukları meydana gelmektedir.

- 5 numaralı akımdan çıkan taşıtların Bursa yönüne (2 numaralı akım) geçememesi sebebiyle kural ihlali yaparak Y2 yan yolunu kullanması (ters yön) trafikteki kaza riskini artırmaktadır.
- Geometrik olarak görüş problemlerine sahip olan bu kavşakta, taşıtların geçişi esnasında kör noktalar bulunmaktadır. Bu durum kavşağın güvensiz olduğunu göstermektedir.

Bahsedilen bu sorunların yanı sıra kavşak çevresinde olan, yapımı devam eden ve yapılması planlanan çekim merkezlerinin kavşak üzerindeki etkisi göz önüne alınarak mevcut durumda yaşanan problemlerin artacağı öngörülmektedir.



Şekil 5. Yalova Otogar katlı kavşağındaki akım kesişmeleri ve güvenlik sorunları (Int Kyn. 1)

3.3 Mevcut Durumun Mikro-Simülasyon Programında Modellenmesi, Kalibrasyonu ve Sonuçların Elde Edilmesi

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının üçüncü adımındır. Bu adımda, kavşağın mevcut durumunun mikro-simülasyon programında modellenmesi gerekmektedir. Bu süreçte, ilgili idareden temin edilen halihazır haritalar altlık olarak kullanılarak kavşağın modellenmesi yapılmıştır. Bu model oluşturulurken kavşağın çevresindeki yolculuk çekim merkezleri de simülasyonda yer almalıdır. Sonrasında, birinci adımda belirlenen akşam zirve saat değerleri simülasyon programına girilmektedir. Simülasyonun gerçekteki durumu yansıtması amacıyla modelin kalibrasyonu yapılmalıdır. Kalibrasyon aşamasında yöntem olarak GEH istatistiği kullanılmıştır. GEH istatistiği trafik mühendisliğinde talep-tahmin modellerinde gözlem ve tahmin değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Çalışmada da akım kollarında

gözlemlenen taşıt değerleri (gözlem), simülasyon programındaki taşıt değerleri (model) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada GEH istatistiği değeri kullanılmış olup, bu değerın hesabında Denklem (1) kullanılmıştır.

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

Gözlem ve simülasyon taşıt değerleri her bir akım kolu için belirlenmiş, GEH değerleri hesaplanmış ve kalibrasyon için sınır kriter ($GEH < 5$) kontrol edilmiştir (Çizelge 1). Kalibrasyonun sağlanması için gerekli olan GEH değer aralığında kalınmış olup modelin kalibrasyonu tamamlanmıştır. Mevcut durum kalibre edildikten sonra her bir akım kolundaki trafik hacmi %30 artırılarak mikro-simülasyon programında analiz işlemine başlanmıştır. Bu işlem kavşak yakınında planlanan çekim merkezlerine göre mevcut trafik hacminin güncellenmesidir.

Çizelge 1. Akım kollarına göre GEH değerleri ve kalibrasyon kontrolü

Akım No	Yön Açıklaması	Gözlem Değeri (taşıt)	Simülasyon Değeri (taşıt)	GEH Değeri	GEH<5
1	(1-2) Yalova - Bursa	862	858	0.14	EVET
	(1-3) Yalova - Otogar Arka Giriş	29	31	0.37	EVET
	(1-Y1) Yalova - Otogar Kavşağı Yan Yol	645	603	1.68	EVET
2	(2-1) Bursa - Yalova	944	956	0.39	EVET
	(2-2) Bursa - Bursa	62	65	0.38	EVET
	(2-4) Bursa - Radar Caddesi	309	288	1.22	EVET
	(2-Y2) Bursa - Otogar Kavşağı Yan Yol	42	44	0.30	EVET
3	(3-Y1) Otogar Arka Giriş - Otogar Kavşağı Yan Yol	55	60	0.66	EVET
	(4-Y2) Radar Caddesi - Otogar Kavşağı Yan Yol	437	445	0.38	EVET
4	(4-2) Radar Caddesi - Bursa	157	161	0.32	EVET
	(5-1) Kirazlı Köyü - Yalova	317	310	0.40	EVET
Y1	(Y1-Y2) Otogar Kavşağı Yan Yol - Otogar Kavşağı Yan Yol	200	205	0.35	EVET
	(Y1-2) Otogar Kavşağı Yan Yol - Bursa	24	21	0.63	EVET
	(Y1-4) Otogar Kavşağı Yan Yol - Radar Caddesi	442	434	0.38	EVET
Y2	(Y2-1) Otogar Kavşağı Yan Yol - Yalova	557	580	0.96	EVET
	(Y2-5) Otogar Kavşağı Yan Yol - Kirazlı Köyü	112	110	0.19	EVET

Sabah, öğle ve akşam yapılan trafik çekimleri arasından daha çok trafik yoğunluğunun yaşandığı akşam saati analiz edilmiş ve bu simülasyonların sonucunda bazı parametreler (ortalama gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama

kuyruk boyu, maksimum kuyruk boyu, yakıt tüketimi, CO, NO ve VOC gibi zararlı gaz emisyon değerleri) ve bu parametreler içerisinde gecikme süresine göre kavşağın mevcut durumdaki hizmet düzeyi elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Yalova Otogar katlı kavşağı mevcut durum simülasyonu

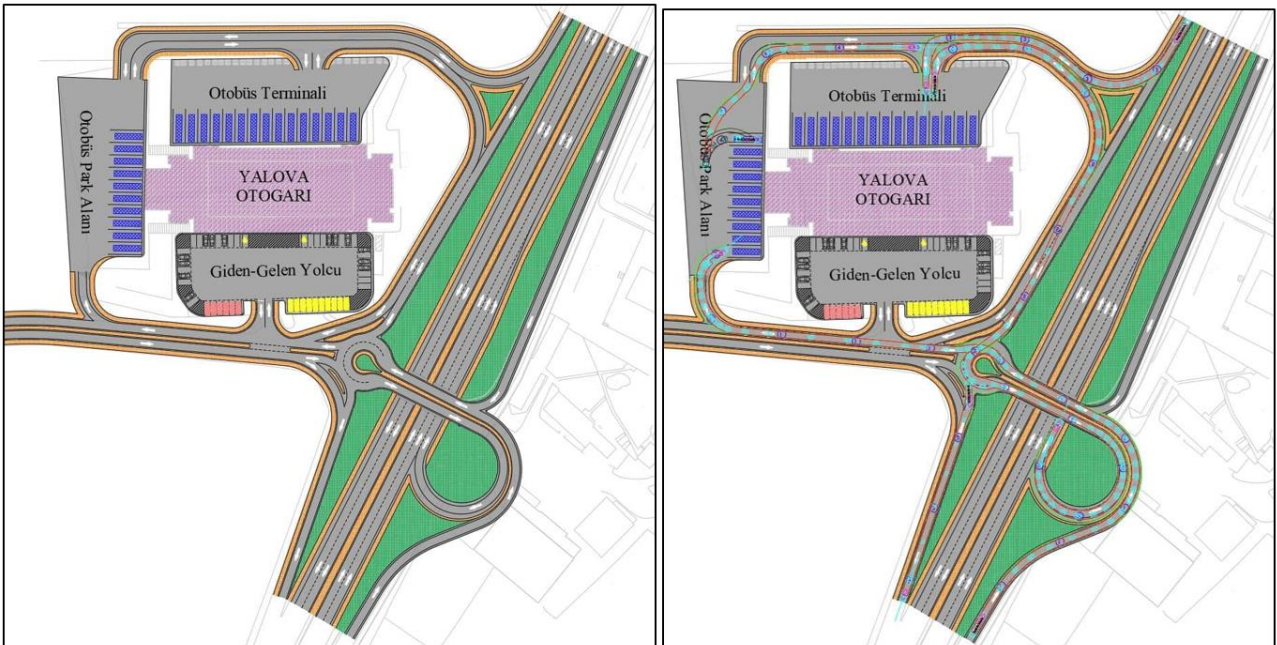
3.4 Tespit Edilen Sorunlara Yönelik Çözüm Önerilerinin Oluşturulması

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının dördüncü adımıdır. Katlı kavşaklarda yapılan çalışmalar, eşdüzey kavşaklara göre daha maliyetli olmakta ve daha geniş alanları kapsamaktadır. Bu doğrultuda, oluşturulan önerilerin uygunluğunun kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Çalışmada, ikinci adımda bahsedilen sorunlar değerlendirilip bu sorunların ortadan kaldırılması üzerine öneriler geliştirilmiştir. Mevcut durumda yaşanan sorunların yanı sıra, gelecekte yaşanması öngörülen sorunların da ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Çözüm önerileri içerisinde dönel ada uygulaması bulunmakta olup, taşıt geçişleri katılım ve ayırım olarak düzenlenmiştir. Önerilen dönel ada ile kavşağı kullanan taşıtların hızları azaltılmış ve geçişler esnasında güvenlik seviyesi artırılmıştır. Ayrıca kavşağa yakın konumda bulunan şehirlerarası otoyolda otobüs giriş, çıkış yerleri yeniden düzenlenerek kavşak daha güvenli bir hale getirilmiştir. Çevresel koşullar ve kavşak

güvenliği ele alınarak dönel ada uygulamasının içerisinde uygulandığı iki alternatif çözüm önerisi sunulmuştur.

3.4.1 Trompet Kavşak Önerisi

Dördüncü adım kapsamında yapılan birinci kavşak düzenleme önerisidir. Trompet kavşak önerisi ile ikinci adımda belirlenen güvenlik problemlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Taşıt geçişlerinin sistematik hale getirilmesi ile sürücü inisiyatifine bakılmaksızın köprü üzerine çıkan taşıtlar ile anayola bağlanmak isteyen taşıtlar birbirinden ayrılmıştır. Anayola bağlanmak isteyen taşıtlar için katılım şeridi oluşturulmuş ve anayol üzerindeki akıma olan etki en aza indirilerek güvenli katılım sağlanmıştır. Bu kavşak düzenleme önerisi, AutoCAD ortamında çizilerek 'Vehicle Tracking' eklentisi ile kavşağı sıkça kullanan taşıt türlerine göre kontrol edilmiştir. Böylece kurpların ve dönüş yarıçaplarının taşıtlar açısından uygun olduğu görülmüştür. Katlı kavşak düzenleme önerisi ve ilgili kontroller Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Trompet kavşak önerisi ve kontrolleri

Kontrollerin ardından kavşak düzenleme önerisi, PTV Vissim mikro-simülasyon programında modellenmiştir. Trafik sayım kameraları ile elde edilen taşıt hacimleri, gelecek öngörüler de dikkate alınarak %30 oranında artırılarak modele girilmiştir. Kavşak önerisi için hazırlanan simülasyon çalıştırılarak performans parametreleri (ortalama

gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, maksimum kuyruk boyu, yakıt tüketimi, CO, NO ve VOC gibi zararlı gaz emisyon değerleri) belirlenmiştir. Trompet kavşak önerisine ait simülasyon görüntüsü Şekil 8'de görülmektedir.

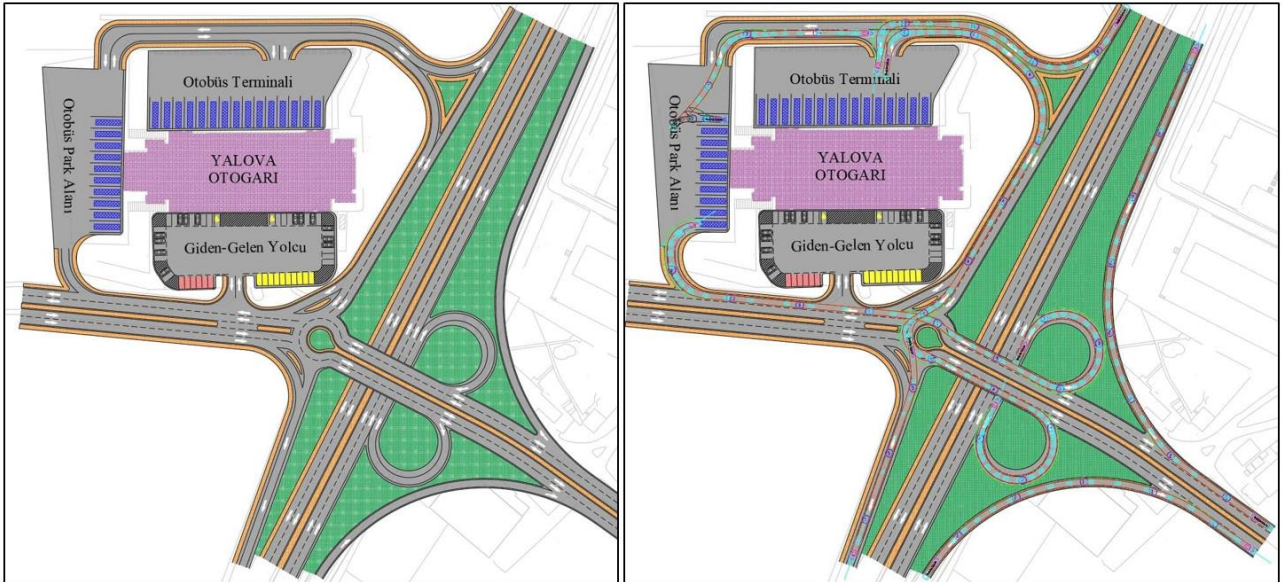


Şekil 8. Trompet kavşak öneri simülasyonu

3.4.2 Yarım Yonca Kavşak Önerisi

Dördüncü adım kapsamında yapılan ikinci kavşak düzenleme önerisidir. Yarım yonca kavşak önerisi ile ikinci adımda belirlenen güvenlik problemlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Sürücü taleplerine göre yapılan ihlaller göz önüne alındığında Kirazlı köyünden gelen taşıtlar için bu yönde bir ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda yarım yonca kavşak önerisi geliştirilmiş ve Kirazlı köyüne bağlantı sağlanmıştır. Bununla beraber birinci öneride olduğu gibi taşıt geçişleri

sürücülerin inisiyatifine bırakılmadan sistematik hale getirilmiştir. Yine birinci önerideki gibi köprü üzerinden transit geçişe, yani anayola bağlanmak isteyen taşıtlar için katılım şeridi oluşturulmuş ve anayol üzerindeki akıma olan etki en aza indirilerek güvenli katılım sağlanmıştır. Bu kavşak düzenleme önerisi, AutoCAD ortamında çizilip Vehicle 'Tracking eklentisi' ile kavşağı genellikle kullanan taşıt türlerine göre kontrol edilmiştir. Böylece kurpların ve dönüş yarıçaplarının taşıtlar açısından uygun olduğu belirlenmiştir. Kavşak düzenleme önerisi ve ilgili kontroller Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 96. Yarım yonca kavşak önerisi ve kontrolleri

Kontrollerin ardından geliştirilen yarım yonca önerisi, PTV Vissim mikro-simülasyon programında modellenmiştir. Trafik sayım kameraları kullanılarak elde edilen taşıt hacimleri gelecek öngörülerini de düşünülerek %30 oranında artırılmış ve modele girilmiştir. Kavşak önerisi için hazırlanan simülasyon çalıştırılarak performans parametreleri (ortalama

gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, maksimum kuyruk boyu, yakıt tüketimi, CO, NO ve VOC gibi zararlı gaz emisyon değerleri) saptanmıştır. Yarım yonca kavşak önerisine ait simülasyon görüntüsü Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 70. Yarım yonca kavşak öneri simülasyonu

3.5 Uygun Çözüm Önerisinin Belirlenmesi

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının beşinci ve son adımıdır. Bu adımda, PTV Vissim mikro-simülasyon programından alınan sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede sabah, öğle ve akşam yapılan simülasyonlar arasında taşıt hacminin en yüksek olduğu akşam (%30 trafik hacmi artırılmış) simülasyon sonuçları kullanılmıştır. Sonuç çıktılarında; ortalama gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, maksimum kuyruk uzunluğu, CO emisyonu, NO emisyonu, VOC emisyonu uçucu organik madde gibi zararlı gazlar ve yakıt tüketimi kriterleri dikkate alınmıştır. Sinyalize olmayan bir kavşağın ortalama gecikme süresine göre hizmet düzeyinin belirlenmesi aşamasında ise Çizelge 2'den yararlanılmıştır.

Çizelge 2. Hizmet Düzeyi Kriterleri (HCM, 2010)

Sinyalize Olmayan Kavşaklar için Hizmet Düzey Kriterleri	
Hizmet Düzeyi	Ortalama Gecikme (saniye)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

PTV Vissim mikro-simülasyon programından alınan simülasyonun sonuçları Çizelge 3'te gösterilmiştir. Burada mevcut durumun, trompet ve yarım yonca kavşak önerilerinin simülasyon sonuçları özetlenmiştir. Çizelge 2'de verilen bilgilere göre, mevcut durum simülasyonunun F, trompet kavşak öneri simülasyonunun B, yarım yonca kavşak öneri simülasyonunun da A hizmet düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Simülasyon çıktılarına göre yarım yonca kavşak önerisi mevcut kavşak için daha uygun bir öneridir.

Çizelge 3. Simülasyon sonuçları

Performans Parametreleri	Mevcut Durum	ÖNERİ 1	ÖNERİ 2
		Trompet Kavşak Önerisi	Yarım Yonca Kavşak Önerisi
Hizmet Düzeyi	F	B	A
Ortalama Gecikme (saniye)	80,3	13,9	5,3
Ortalama Durma Sayısı	3,7	0,7	0,2
Ortalama Hız (km/sa)	16,4	38,8	44,8
Ortalama Kuyruk Boyu (m)	58,3	16,8	0,9
Maks. Kuyruk Uzunluğu (m)	393,4	260,6	80,7
CO Emisyon (gram)	13544,8	6426,5	4793
NO Emisyon (gram)	2635,3	1250,4	932,5
VOC Emisyonu (gram)	3139,1	1489,4	1110,8
Yakıt Tüketimi (galon)	193,8	91,9	68,6

Simülasyon çıktıları incelendiğinde elde edilen sonuçlar özetlenerek sıralanmıştır.

- Hizmet düzeyi seviyelerini belirleyen ortalama gecikme süreleri incelendiğinde; mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %83 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca önerisi arasında %93 oranında azalma olduğu görülmektedir.
- Ortalama durma sayısı değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %81 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %95 oranında azalma görülmektedir.
- Ortalama hız değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %137 oranında artma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %173 oranında artma görülmektedir.
- Ortalama kuyruk boyu değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %71 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %98 oranında azalma görülmektedir.
- Maksimum kuyruk boyu değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %34 oranında azalma, mevcut durum ile

yarım yonca kavşak önerisi arasında %79 oranında azalma görülmektedir.

- Geliştirilen kavşak düzenleme önerileri sonucunda zararlı gazların (CO, NO ve VOC) emisyonunda ve yakıt tüketimi değerlerinde önemli derecede azalma sağlanmıştır. Zararlı gazların emisyon ve yakıt tüketim değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %53 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %65 oranında azalma görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bir bölgede istenilen ulaşım yapısının kurulması için kritik noktalar olan kavşakların uygun tasarlanması gerekmektedir. Taşıt geçişlerinin çok sık olduğu, talebin yükseldiği noktalarda eşdüze kavşakların yerine katlı kavşaklar tasarlanmaktadır. Bu kavşaklarda taşıt geçişlerinin birbirinden en az etkilenecek şekilde sağlanması temel amaçtır. Fakat zaman içerisinde bu katlı kavşaklarda da trafik hacmi ve çevresel etkenlerden dolayı performans düşüklüğü meydana gelebilmektedir. Bu durumlarda kavşaklarda yapılan trafik sayımları ve gözlemler ile kavşağın tasarımında değişiklikler yapılmaktadır. Bu değişiklikler yapılırken belirli bir düzen göz önünde bulundurularak öneriler sunulması faydalı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında da geliştirilen iş akış şemasına göre kavşak düzenleme önerileri simülasyon programı kullanılarak modellenmiş, analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ile uygun kavşak tasarımına karar verilmiştir.

Çalışma Yalova ili, merkez ilçesi, D575 karayolu üzerinde bulunan Yalova Otogar katlı kavşağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada önerilen iş akış şemasında beş farklı adım bulunup, her bir adımda yapılması gerekenler ayrıntılı şekilde belirtilmiştir. Bu öneri iş akış şeması seçilen kavşakta test edilerek geçerliliği doğrulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre kavşaktaki gecikme süreleri, mevcut durum ile iki öneri arasında ayrı olarak karşılaştırılmıştır. Mevcut durumun birinci öneri (trompet kavşak) ile karşılaştırılması sonucunda ortalama gecikme süresinde %83 oranında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bununla beraber mevcut durumun ikinci öneri (yarım yonca

kavşak) ile karşılaştırılması sonucunda ortalama gecikme süresinde %93'lük bir iyileşme sonucuna varılmıştır. Kavşakta yaşanan gecikme süreleri, kavşağın hizmet düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, mevcut durumda F hizmet düzeyine sahip olan Otogar katlı kavşağı, trompet kavşak önerisiyle B, yarım yonca önerisiyle A seviyesine yükselmiştir. Buna göre yarım yonca kavşak önerisinin daha uygun bir seçenek olduğu belirlenmiştir.

Kavşak düzenleme önerilerinde kavşağın çevreye olan etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Trafik yoğunluğu ve gecikme sürelerinin azaltılarak hizmet düzeyinin iyileştirilmesinin yanında, çevreci bir kavşak olma özelliği sağlanması da oldukça önemlidir. Yapılan çalışmayla birlikte, zararlı gaz salınımının trompet kavşak düzenleme önerisi ile %53, yarım yonca kavşak düzenleme önerisi ile ise %65 oranında azaldığı görülmüştür. Kavşağın çevreye olan etkisinin yanı sıra, bu kavşağı tercih eden sürücüler için yakıt tüketimi de oldukça önemlidir. Benzer oranda faydalar yakıt tüketiminde de sağlanmıştır.

Yalova Otogar katlı kavşağında yapılan bu çalışma içerisinde kritik öneme sahip olan iş akış şeması tasarımcılara yol gösterici niteliktedir. Bununla beraber; geliştirilen önerilerin, kavşağı tercih eden taşıt türlerine göre tasarlanması ve taşıt dönüşlerinin kontrol edilebildiği programlardan yardım alınması gerekmektedir. Ayrıca, katlı kavşak düzenleme önerilerinde kullanılan iş akış şemasının ilerleyen çalışmalar ile daha da geliştirilmesi sağlanmalıdır.

Teşekkür

2019-2020 eğitim öğretim yılında, Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği bölümü tarafından, lisans bitirme tezi olarak yapılan, 'Yalova Otogar Kavşağının Düzenlenmesi ve Vissim Simülasyon Programı ile Analizi' bu makalenin içeriğini oluşturmaktadır. Bu kapsamda her iki çalışma aşamasında PTV Group tarafından sağlanan Vissim programı kullanılmıştır (PTV Vissim mikro-simülasyon programının lisansı, 01.11.2019 – 31.10.2020 tarihleri arasında sağlanmıştır). Bundan dolayı, bu çalışmaya katkıda buldukları için PTV Group'a teşekkür ederiz.

Çalışma kapsamında Autodesk tarafından sağlanan Autocad programının ve Vehicle Tracking eklentisinin ücretsiz öğrenci versiyonu kullanılmıştır. Bundan dolayı,

bu çalışmaya katkıda buldukları için Autodesk şirketine teşekkür ederiz.

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

5. Kaynaklar

Bayata H.F. ve Bayrak O.Ü., 2018. Yeni yapılması planlanan bir kavşağın mikro-simülasyon ile değerlendirilmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11(3)**, 550-559.

Bayrak, O.Ü., Bayata, H.F., Hattatoğlu, F. ve Çolak, M.A., 2016. Mikrosimülasyon kullanılarak bir kavşağın trafik yönetim ölçümlerinin değerlendirilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **6(3)**, 87-96.

Baş, F.İ., Çolak, M.A., Demiriz, A.O., Bayata, H.F., Bayrak, O.Ü., Keleş, Ö.F., Mazlum, Y., Gürel, M.O. ve Demircioğlu M.S., 2020. Kent içi kavşakların mikro simülasyon yöntemiyle modellenmesi: Erzurum ili örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 444-451.

Camcı, A., 2019. Kavşak tasarımında trafik simülasyon tekniklerinin kullanımı ve Sakarya için uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 79.

Erol, D., 2018. Kent içi ışıklı ve dönel kavşak uygulamalarının performans kriterlerine etkisi: Denizli örneği. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 89.

Frosch, C., Martinelli, D. and Unnikrishnan, A., 2019. Evaluation of Shared Space to Reduce Traffic Congestion. *Journal of Advanced Transportation*, **2019**, 1-10.

İlçali, M. ve Saraç, S., 2019. Trafik sıklığının azaltılmasında ulaşım çözümlerinin etkisi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, **2 (2)**, 93-107.

Jagali, R. P. and Kadam, M. R. L., 2016. Traffic queuing analysis on chord road, Vijayanagar, Bengaluru using PTV Vissim software. *GRD Journals: Global Research and Development Journal for Engineering*, **1(9)**, 14-19.

- Kaixi, Y. and Meiqi, L., 2020. Traffic simulation, optimization and evaluation of adjacent intersections based on VISSIM model. *Applied Science and Innovative Research*, **4(2)**, 53-59.
- Karakikes. I., Spangler, M. and Margreiter, M., 2017. Designing a Vissim-Model for a motorway network with systematic calibration on the basis of travel time measurements. *Transportation Research Procedia*, **24**, 171–179.
- Kumar, J.L., 2020. Study of Heterogeneous Traffic and Modelling using VISSIM. Hyderabad, Telangana, India.
- Namlı, R., 2015. Köprülü kavşaklar ve trafik güvenliği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, **31(2)**, 129-134.
- National Research Council, 2010. Highway capacity manual 2010. 5th ed., Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Ocakdan, S., 2010. Arterlerin yeniden yapılandırılmasında simülasyon tekniği ile karar verme ve bir kavşak uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 116.
- Saplıoğlu, M., ve Karaşahin, M., 2010. Şehir içi kontrolsüz eşdüzey kavşak kazalarını etkileyen unsurların değerlendirilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **2(2)**, 26-49.
- Tunalıoğlu, N., 2005. Katlı kavşakların ve bağlantı yollarının planlanması örnek uygulama olarak Altunizade katlı kavşağı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 116.
- 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(4)**, 5.1-5.6.

İnternet kaynakları

1-<https://earth.google.com/> (22.12.2021)

2-<https://yalovaism.saglik.gov.tr/TR-80832/400-yatakli-devlet-hastanesi.html> (22.12.2021)