

Sinyalize kavşaklarda ülkelere göre gecikme ve kuyruk uzunluğu denklemleri geliştirilmesinin gerekliliği üzerine bir araştırma

A study on the necessity of developing delay and queue length equations according to countries at signalized intersections

Metin Mutlu AYDIN^{*1,a}, İbrahim AYDOĞDU^{2,b}, Mehmet Sinan YILDIRIM^{3,c}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55200, Samsun

² Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 07000, Antalya

³ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45110, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 20.09.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

Öz

Dünya genelinde artış gösteren araç sayısına bağlı olarak gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki sinyalize kavşaklarda gözlemlenen karmaşa ve tıkanıklık problemleri, kavşakların yeniden düzenlenmesi konusuna olan ilgiyi arttırmaktadır. Kavşak geometrilerinin o ülkelerin koşulları değerlendirilerek tasarlanması ve bu geometrik tasarıma yönelik gecikme, kuyruk uzunluğu vb. hesap yöntemlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, şehiriçi kavşaklarda geometrik problemler bulunan Antalya/Türkiye’de yer alan 6 farklı sinyalize kavşak için incelenmiştir. Analizler kapsamında literatürde en çok kullanılan gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinden olan HCM (2010) ve Avustralya (Akçelik) yöntemlerinin geometrisi hatalı kavşaklar için performans değerlendirilmesi yapılarak gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin kendi trafik kültürüne uygun sinyalize kavşaklar tasarımlarının gerekli olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kavşak bazlı ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük hataya (%64.5) sahip olan yöntemin HCM 2010, kuyruk uzunluğu hesabı içinse ortalama en düşük hataya (%40.9) sahip olan yöntemin ise yine HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin seçilen gecikme yöntemlerine göre kavşaklardaki mevcut durumu daha düşük hata ile ölçtüğü görülse de yine de bu hata miktarlarının oldukça yüksek olması, seçilen yöntemlerin Türkiye’deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermektedir. Bu durum, bu çalışma kapsamında önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik ve sürücü disiplinsizliklerinin bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Araç gecikmesi, İlegal şerit oluşumu, Kuyruk uzunluğu, Sinyalize kavşak.

Abstract

Due to the increasing number of vehicles in the world, the confusion and congestion problems observed at signalized intersections in undeveloped and developing countries caused an increase in interest for rearrangement. The design of intersection geometries is very important to develop delay and queue length calculation methods considering conditions. In this study, the situation in Antalya/Turkey, which has geometric problems at urban intersections, has been examined for six signalized intersections. Additionally, HCM (2010) and Australia (Akçelik) methods, which are widely used delay and queue length methods, are examined for the calculation problems at intersections for undeveloped and developing countries considering their traffic culture. According to the results, when the intersection-based MAPE values are averaged for six intersections, the method with the lowest average error (64.5%) for delay is found in HCM 2010, and the method with the lowest average error (40.9%) for queue length is found HCM 2010 again. It is seen that selected queue length methods measure the current situation at intersections with less error than used delay methods, but the fact that value of errors are quite high. It indicates that the selected methods are not directly applicable for intersections. Results clearly reveal the necessity to develop specific delay and queue length methods for undeveloped and developing countries where there are geometric indiscipline at intersection legs.

Keywords: Vehicle delay, Illegal lane configuration, Queue length, Signalized intersection.

^a Metin Mutlu AYDIN; metinmutluaydin@gmail.com, Tel: (0506) 269 91 49, ^aorcid.org/0000-0001-9470-716X

^b orcid.org/0000-0002-8281-2365

^c orcid.org/0000-0001-5347-2456

1. Giriş

1. Introduction

Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde ne yazık ki şehiriçi yolların planlanma ve inşa aşamalarında, gerek plancıların bilgi eksikliği ve tecrübesizliği gerekse karar vericilerin politik davranması sonucu plansız, düzensiz ve işlevsiz yollar ve kavşaklar inşa edilmektedir. Özellikle belirli bir standarda göre inşa edilmeyen bu yollar ve kavşaklar günümüz şartlarında gerekli hizmeti verememektedir. Dolayısıyla bu yol ve kavşaklarda uzun kuyruklar, kural ihlalleri, trafik kazaları, agresif sürücü davranışları vb. işletim ve güvenlik problemleri sıklıkla gözlemlenmektedir. Bu problemler, sürücüleri agresif davranma ve kurallara uymama konusunda daha fazla teşvik etmekte ve bunun sonucunda da her gün onlarca trafik kazası meydana gelmektedir.

Son yıllarda Dünya’da artış gösteren araç sayısına bağlı olarak bu ülkelerdeki sinyalize kavşaklarda gözlemlenen yoğun karmaşa ve tıkanıklık problemleri, kavşakların yeniden düzenlenmesi konusuna olan ilgiyi arttırmaktadır. İlgide artış olmasına rağmen yetkililerin tasarım ve standartlar konusunda bilgi ve deneyim eksikliğinin bulunması, onları yalnızca kapasiteyi arttırıcı çözümler üretmeye teşvik etmektedir. Bu kısıtlı çözümler yukarıda değinildiği gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu tür problemlerin bulunduğu ülkelerdeki şehiriçi sinyalize kavşaklarda geometriden kaynaklanan ve sık görülen problemlerin başında, kavşak kollarındaki illegal ek şerit oluşumu, yetersiz ve düzensiz şerit genişlikleri, sağa/sola dönüş ceplerinin yetersiz veya hiç olmaması, kavşak ada çapının yetersiz boyutta olması vb. geometriden kaynaklı sorunlar gelmektedir. Kavşaklardaki geometriden kaynaklı tüm bu sorunlar kavşak kollarında aşırı kuyruk oluşumuna, kavşak içerisinde karmaşaya ve doğal olarakta kazalara neden olmaktadır. Kavşak kollarındaki şerit sayısı ve genişliğinin düzensiz olduğu bu tür ülkelerde iki şeritli olan kavşak kolunda bazen iki bazen ise illegal şerit oluşumu ile üç şeritten oluşan taşıt kuyruğu görülebilmektedir. Bu uzun kuyruk uzunlukları ve meydana gelen gecikmeler, kavşaklardaki geometri hatalarından kaynaklı illegal ek şerit oluşumu ve bunun trafik akımı üzerinde olumsuz etkilerinden kaynaklanabilmektedir. Ayrıca geometri hatalarının yanı sıra, devre süresinin optimum süre bazlı tasarlanmaması, mevcut araç kompozisyonu, sürücü davranışları, ilk kalkış kaybı, düzensiz şerit değiştirme vd. etmenlerde bu karmaşayı daha büyük bir hale dönüştürebilmektedir. Bu durum gelişmiş ülkelere önerilen gecikme, kuyruk

uzunluğu vb. modellerin bu tür ülkelerdeki hesaplamalarda kullanabilir olmadığını net şekilde göstermektedir. Dolayısıyla şehiriçi kavşaklarında geometrik problemler bulunan bu tür ülkelerde, kavşak geometrilerinin o ülkelerin kültürel, eğitim, sosyoekonomik koşullarının değerlendirilerek tasarlanması ve bu geometrik tasarıma yönelik gecikme, kuyruk uzunluğu vb. hesap yöntemlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında öncelikle, şehiriçi kavşaklarda geometrik problemler bulunan Türkiye için literatürde en çok kullanılan gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinden olan [Highway Capacity Manual \(HCM, 2010\)](#) ve [Avustralya \(Akçelik, 1980\)](#) yöntemlerinin geometrisi hatalı kavşaklar için performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonraki adımda ise gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin öncelikle kendi trafik kültürüne uygun sinyalize kavşaklar tasarımları gerektiği ve sonrasında ise kendilerine özgü hesap yöntemleri geliştirmelerinin gerekliliği analiz sonuçları ile ortaya konulmuştur.

2. Literatür taraması

2. Literatur review

Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde şehiriçi yollarda yer alan sinyalize kavşaklarda standartlara uygun olarak tasarlanmadan inşa edilmiş birçok (sinyalize ve sinyalize olmayan dönel, dört kollu, T, Y vb.) kavşak türünü görmek mümkündür. Bu kavşakların birçoğunda yanlış tasarımdan kaynaklanan güvenlik (karmaşa, kural ihlali, şerit disiplinsizliği, kazaya sebebiyet verme vb.) ve performans (kapasite kaybı, kuyruk oluşumu, gecikme vb.) sorunları sıklıkla gözlemlenmektedir. Mevcut çalışmalarda, pek çok ülkede kavşakların tasarım ve inşa aşamasında standartlara uyulmamasından dolayı sürücülerin algı ve davranışlarının güçleştiği gözlemlenmiştir ([Arıkan Öztük vd., 2007](#), [Günay vd., 2013](#), [Aydemir, 2006](#), [Vrieling vd., 2014](#), [Wood vd., 2015](#), [Elvik, 2003](#), [Flannery, 2001](#), [Persaud vd., 2001](#), [Gross vd., 2013](#), [Aydın, 2017](#), [Aydın vd., 2017](#)). Yapılan araştırmalardan kavşakların tasarım ve işletmesinde belirli bir standardın olmamasının, düzensizliğe ve kavşak içerisinde bir kaosa yol açarak sürücüler üzerinde stres, agresiflik vb. olumsuz davranışlara ve dolayısıyla da kazalara neden olduğu belirlenmiştir ([Devin vd., 2011](#), [Bao & Boyle, 2009](#), [Keay vd., 2009](#), [Takemoto vd., 2008](#), [Braitman vd., 2007](#)). Örneğin, bu sorunların görüldüğü ülkelere birisi olan Türkiye’de 2019 yılında meydana gelen trafik kazaları incelendiğinde, meydana gelen kazaların yaklaşık olarak %22’sinin şehiriçi kavşaklarda olduğu görülmektedir ([TÜİK, 2019](#)). Bu sonuç,

Türkiye’deki kavşakların geometrik disiplinsizliğe sahip olması ve sürücülerin bilgisizliği ve kurallara itaat etmeme eğiliminin ne kadar çok sayıda kazaya sebebiyet verdiğini ve bunun da daha çok kent merkezlerinde olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de kavşak tasarım sorunlarını ve sürücü davranışlarını inceleyen, bu sorunlara dikkat çeken az sayıda da olsa bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, [Saplıoğlu & Karaşahin \(2010\)](#) şehiriçi sinyalize olmayan kavşak kazalarının oluşmasına sebep olan unsurlara dikkat çekmek için (insan unsuru ve taşıt unsuru hariç) yol ve çevre unsurlarının özellikle kavşak geometrik özellikleri ile kazalar üzerindeki etkilerinin tümünü ayrıntılı olarak incelemiştir. Elde edilen çalışma sonuçlarından, Türkiye’de şehiriçi sinyalize olmayan kavşak geometrisi ve güvenliği ile ilgili az sayıda çalışmanın mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu durumun en önemli sebebi olarak kavşak geometrilerinin ayrıntılı olarak kaza tutanaklarında yer almaması ve kavşaklarda gerekli tasarım esaslarının uygulanmamasının olduğunu belirtmişlerdir. Benzer bir amaç taşıyan bir başka çalışmada ise [Yüksel \(2007\)](#), şehiriçi yollarda geometrik tasarımı hatalı, belirli bir standarda uymayan ve sürücülerin algılamasını güçleştiren kavşakların bulunduğu dikkat çekerek, bunun yerine gelişmiş ülkelerde aktif olarak kullanılan ve birçok pozitif yönü bulunan modern dönel kavşakların kullanılmasını önermiştir. Ayrıca [Yüksel \(2007\) çalışmasında](#), sinyalize ve kontrolsüz kavşakların modern dönel kavşaklara dönüştürülmesi ile kavşaklara giriş hızlarının düşeceğini, sürücülerin hız yapması veya kırmızı ışıkta aniden durmalarının engellenerek, muhtemel çarpışmaların şiddetinin azaltılabileceğini belirtmiştir. Bir başka çalışmada ise [Aydemir \(2006\)](#), yanlış sinyalize dönel kavşak tasarımı ile durma noktalarının arttığını ve bunun sonucunda gecikme süreleri, kazaların sayısı, sıkışıklık ve sürücü hatalarının sayısında belirgin bir artış görüldüğünü ifade etmiştir. Ayrıca [Aydemir \(2006\) çalışmasında](#), kanunla belirlenmiş olan kavşaklardaki geçiş üstünlüğü kuralının Türk sürücüler tarafından bilinmediğini ve hem tasarım hem de bilgi eksikliğinin kavşakların en büyük problemi olduğunu açıklamıştır. [Aydar \(2011\)](#) ise karayolundaki kavşakların tipine karar verme sürecinde kapasite, güvenlik ve maliyet (K-G-M) parametrelerini optimize eden bir model geliştirmiştir. Bu model ile kent dışı kavşaklar incelenerek bu kavşak türlerinin eksiklikleri, yetersizlikleri ve aksaklıkları önemle dikkate alınmış; bu kavşaklarda hangi yollar izlenerek incelenen kavşaklardaki sorunların nasıl çözüleceğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda,

Türkiye’de mevcut eşdüzey kavşak uygulamalarından farklı düzey kavşak uygulamalarına hemen geçilmesinin ve bu geçişin belirli insanların arzu ve isteğine bırakılmasının çok olumsuz sonuçlara neden olacağına dikkat çekmiştir. Bir başka çalışmada ise [Tuncuk & Karaşahin \(2005\)](#), sinyalize olmayan eşdüzey kavşakların güvenliğini araştırmıştır. Yaptıkları çalışmada, dönel kavşakların anayoldaki hareketlilik, aynı yönde duran/ yavaş hareket eden taşıtlar ile devam eden taşıtlar arasında hız farkının çok olmasından kaynaklı sinyalizasyonlu kavşaklardan daha tehlikeli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu nedenle Türkiye’de, şehiriçi hemzemin kavşakların iyileştirilmesinde emniyet, ekonomi, kapasite ve çevreye uygunluğunun sırasıyla göz önünde bulundurulması gerekliliğini belirtmişlerdir.

Başka ülkelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde de benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Örneğin, [Al-Ghamdi \(2003\)](#) tarafından Suudi Arabistan’da yapılan çalışmada şehiriçi sinyalize kavşaklarda meydana gelen kazaların sebebini araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan kavşaklardaki kazaların önlenmesi için yol geometrisinin, üzerinde gerekli olan trafik kontrol cihazlarının yerleştirilmesiyle birlikte geometrisinin yeniden düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bir başka çalışmada ise [Devin vd. \(2011\)](#), kavşaklarda meydana gelen kazaların birçoğunun sinyal kontrollü kavşaklarda meydana geldiğini belirlemişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar ile kavşakların doğru geometriye sahip olmasının önemine dikkat çekmişlerdir.

Sinyal kontrollü kavşaklarda meydana gelen kazalarda ana sorun olarak durma ([Bao & Boyle, 2009](#), [Keay vd., 2009](#)) ve kavşakta yol verme problemlerinin etkili olduğu görülmüştür ([Takemoto vd., 2008](#)). Yapılan çalışmalar, meydana gelen çarpışma tiplerinin sürücü hatalarının türü ve kavşak tasarımı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. [Bao & Boyle \(2009\)](#), [Keay vd. \(2009\)](#), [Takemoto vd. \(2008\)](#) ve [Wang & Abdel-Aty \(2007\)](#) ise bu kazaların temel nedeninin sürücülerin sinyalize kavşaklarda geometriden kaynaklı görüş kabiliyetinin zayıf olması ya da yol hakkı kurallarına riayet etmemesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar kavşaklarda sıkça meydana gelen arka-ön çarpışmaların kavşaklardaki tasarım eksiklikleri ve sürücülerin dikkatsizliğinden kaynaklandığına özellikle dikkat çekmişlerdir.

Sinyalize kavşaklarda, geometriden kaynaklı problemlerin görüldüğü birçok ülkede kavşakların

performansını arttırmak için uygulanan şerit sayısının artırılması ya da standartlara uygun olmayan geometrik düzenlemeleri yapılmaktadır. Gelişmiş ülkeler kategorisindeki ülkelerde ise, kavşaklarda geometri problemi olmadığından bir koridor boyunca sinyalizasyon kavşakların sinyalizasyon sistemini en efektif hale getirecek çalışmalar yapılarak kavşak performansını artırma yoluna gidilmektedir (Wang & Abdel-Aty, 2007, Wong, 1996, Wong & Yang, 1997). Yapılan mevcut araştırmalar göstermektedir ki gelişmiş ülkelerde standartlara uygun olarak inşa edilen kavşak geometrilerinde pek fazla sorun olmaması, kurallara uyan sürücü profilinin bulunması, kollardaki şerit kullanımının düzenli olması, herhangi bir dış nedenle ilk kalkış süresinde kayıpların az olması vb. nedenler araştırmacıları daha iyi bir sinyalizasyon tasarımı yaparak bisikletliler, yayalar ve taşıtların hareketlerini düzenlemeye ve karmaşa noktalarını azaltarak trafik kapasitesini maksimize etmeye itmiştir. Bu amaçla gelişmiş ülkelerdeki araştırmalar, kavşak geometrisini değiştirmek yerine daha fazla sayıda kavşağın işletimsel ve güvenlik performansını incelemek ve en iyilemek üzerine odaklanmıştır. Fakat sinyalizasyon kavşaklarında geometrik hatalar bulunan ülkeler için bu tür bir araştırma potansiyeli henüz mümkün değildir. Çünkü kavşak geometrisindeki hatalar, hatalı sürücü davranışları vb. sorunlar düzeltilmeden sinyalizasyon sisteminde yapılacak her türlü düzenleme, o kavşağın mevcut kapasitesini sadece bir süreliğine arttıracak ve yalnız o günü geçici olarak kurtarmaya yarayacaktır. Bu durum güvenlik, şerit kullanımını düzenleme, stresi azaltma vb. diğer sorunları çözmeye katkı sağlamayarak mevcut sorunların daha fazla görülmesini devam ettirecektir. Diğer yandan gelişmiş ülkeler tarafından önerilen sinyalizasyon kavşakları için geliştirilen gecikme, kuyruk uzunluğu, kapasite vb. hesap yöntemleri ve modellerin istediği parametrelerin şehiriçi kavşaklarında geometrik hatalar ve agresif sürücü davranışlarını bulunan ülkelerdeki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğunu ölçmede yetersiz kaldığı; gerçek saha sonuçları ile hesap sonuçları arasında ciddi farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu durum çalışma kapsamında

önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerin ve buna ilaveten hatalı sürüş davranışlarının bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

3. Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi

3. Data collection and evaluation

3.1. İncelenen kavşaklar ve verilerin elde edilmesi

3.1. Examined intersections and data obtaining

Çalışma kapsamında önceki bölümde belirtilen problemlerden kaynaklı oluşan tüm sorunları irdeleyebilmek için pilot kent olarak, Antalya şehir merkezinde yer alan sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan kavşaklar seçilmiş ve bu kavşaklardan çalışma için gerekli olan tüm veriler yapılan saha gözlemleri yardımıyla toplanmıştır. İncelenecek kavşakların seçilmesinde aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Yaklaşım kollarında kırmızı ışıpta illegal ek şerit oluşumu görülen,
- Dört kollu ve ana arterler üzerinde yer alan,
- Sinyalizasyon dönel veya dönel olmayan,
- Yaklaşım kollarında şerit sayısı ve genişliği problemi olan,
- Standartlara uygun olarak tasarlanmamış,
- Yaklaşım kollarında ve kavşak içerisinde karmaşanın fazla olduğu,
- Hatalı dönüş cebi tasarımları olan,
- Eşdüzey ve birbiriyle izole.

Çalışma kapsamında pilot kent olarak seçilen Antalya/Türkiye’de yukarıda belirtilen kriterleri sağlayan ve aynı yol ağı üzerinde yer alan altı adet kavşak belirlenmiştir. Bu kavşakların harita üzerindeki konumları Şekil 1’de gösterilmiştir. Belirlenen bu altı farklı kavşağa ait geometrik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında incelenen altı adet sinyalize kavşağın konumları

Figure 1. The locations of six signalized intersections examined within the scope of the study

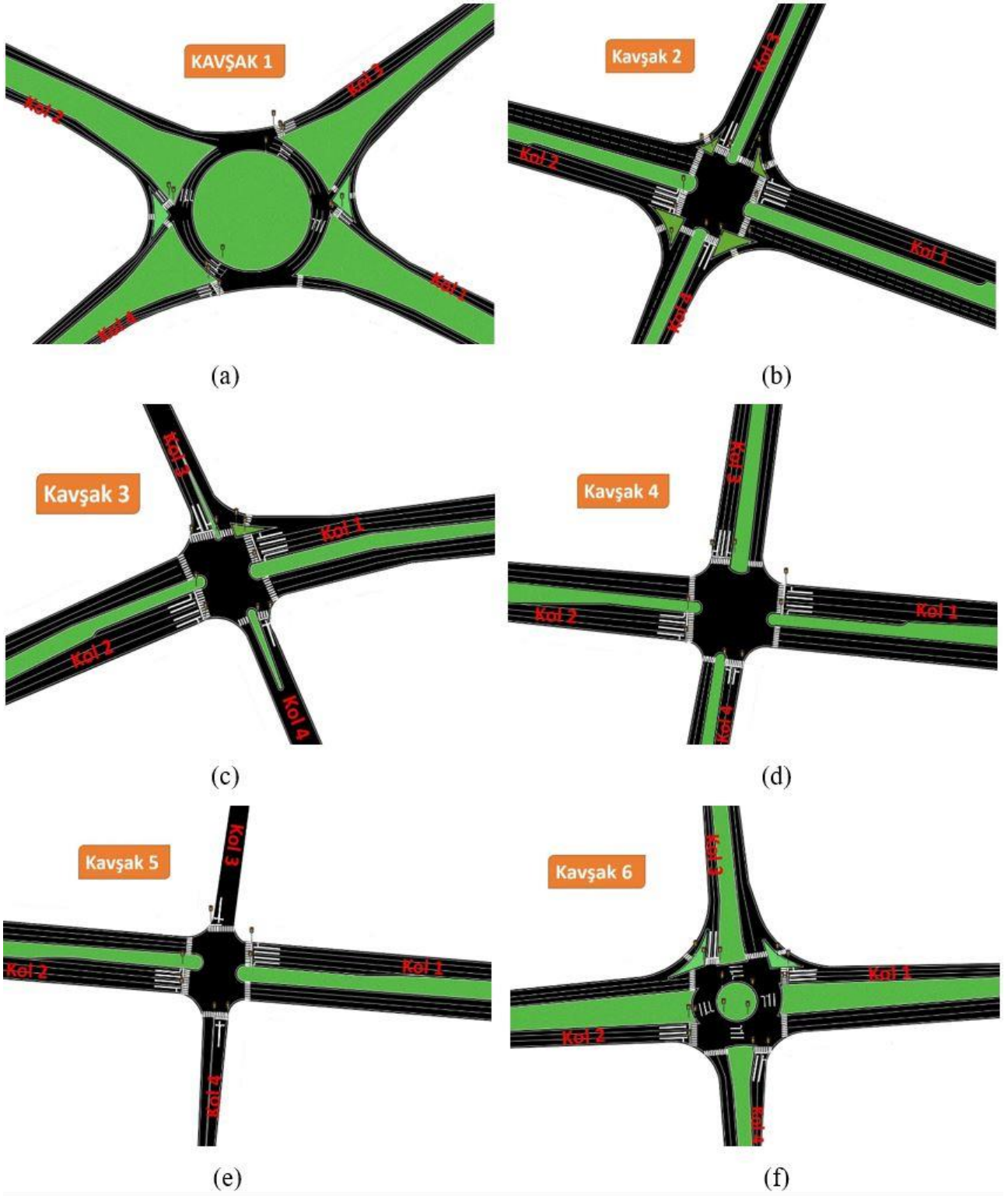
Tablo 1. Belirlenen altı farklı kavşağa ait geometrik özellikler

Table 1. Selected six different intersections' geometric features

Kavşak No	Kol No											
	1			2			3			4		
	\sum_{sg}	$YA_{(R/L)}$	\sum_{pg}	\sum_{sg}	$YA_{(R/L)}$	\sum_{pg}	\sum_{sg}	$YA_{(R/L)}$	\sum_{pg}	\sum_{sg}	$YA_{(R/L)}$	\sum_{pg}
1	6.8	2.60/2.90	10.75	7.3	1.50/1.00	10.25	11.05	1.60/1.15	14.4	10.3	2.00/1.40	14.3
2	15	0.30/0.50	17	12	0.70/0.55	14	7.5	0.5/0.5	8.95	7.3	0.70/0.65	9.1
3	14.2	0.60/0.55	16.1	12.9	0.60/0.55	14.8	11.1	0.35/0.35	11.25	5.5	0.40/0.40	6.75
4	13.4	1.00/0.95	16.1	12.65	0.80/0.80	15	9.2	0.50/0.45	10.75	6.75	2.6/0.40	10.25
5	12.65	0.40/0.40	14.2	13	0.35/0.35	14.45	5.2	0.3	5.8	7.25	0.45/0.25	8.4
6	10	0.80/0.80	12.2	11.4	0.9/0.8	13.7	9.45	0.6/1.00	12.1	8.8	0.50/0.75	10.5

Tablo 1'de geometrik özellikleri verilen bu kavşaklara ait şematik görseller ise Şekil 2'de verilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 2'den de görüleceği üzere çalışma kapsamında, Türkiye'de en yaygın

olarak kullanan 4 kollu sinyalize (Kavşak No: 2,3,4 ve 5) ve 4 kollu sinyalize dönel (Kavşak No: 1 ve 6) kavşaklar çalışma kapsamında incelenmektedir.



Şekil 2. Altı farklı sinyalize kavşağın tasarım özelliklerine ait görseller
Figure 2. Images of the design features of six different signalized intersections

Şekil 2’de görselleri verilen bu kavşaklara ait yapısal özellikler ve kollarda görülen ek şerit oluşumlarına ait sonuçlar ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü üzere altı kavşakta birbirlerinden farklı sayıda şerit sayıları mevcut olsa da kavşak kollarındaki yol geometrisinin olanak sağlaması nedeniyle illegal

ek şerit oluşumları görülmektedir. Örneğin Tablo 2 irdelendiğinde, 2 numaralı kavşağın 1 numaralı kolunda 2 adet illegal ek şerit oluşumu olduğu görülmektedir. Illegal ek şerit oluşumlarının ise 1 ve 4 numaralı şeritlerde meydana geldiği ve bu şeritlerin incelenen kavşak kolundaki bankete komşu olan 1 numaralı şerit ile sola dönüş için

kullanılan 4 numaralı şerit olduğu belirlenmiştir. Tablo 2 detaylı olarak incelendiğinde, illegal ek şerit oluşumlarının kolların orta şeritlerinde değil

daha çok iç ve dış kenarlarda yer alan şeritlerinde görüldüğü bilgisine ulaşılmaktadır.

Tablo 2. İncelenen altı farklı kavşağa ait yapısal özellikler ve kollarında görülen illegal ek şerit oluşumu
Table 2. Structural features of examined six different intersections and illegal additional lane formation in their legs

Kavşak No	Kollardaki Toplam Şerit Sayısı				Kollardaki Ek Şerit Sayısı (L_N)			
	Kol-1	Kol-2	Kol-3	Kol-4	Kol-1	Kol-2	Kol-3	Kol-4
1	2	2	3	3	1 (L_1)	1 (L_1)	1 (L_1)	1 (L_1)
2	4	4	2	2	2 (L_1 ve 4)	-	1 (L_1)	1 (L_1)
3	4	4	2	2	2 (L_1 ve 4)	-	-	-
4	4	4	3	2	1 (L_1)	-	-	1 (L_1)
5	4	4	1	2	-	-	1 (L_1)	-
6	3	3	2	2	1 (L_1)	-	1 (L_1)	1 (L_1)

L_N : Illegal ek şeritin görüldüğü şerit numarasıdır.

Altı adet kavşak belirlendikten sonra, bu kavşaklardaki geometri kaynaklı ve işletim özellikleri üzerinde etkili olan tüm eksiklikler ve sorunlar kavşak bazlı olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Belirlenen bu eksikler ve görülen sorunların

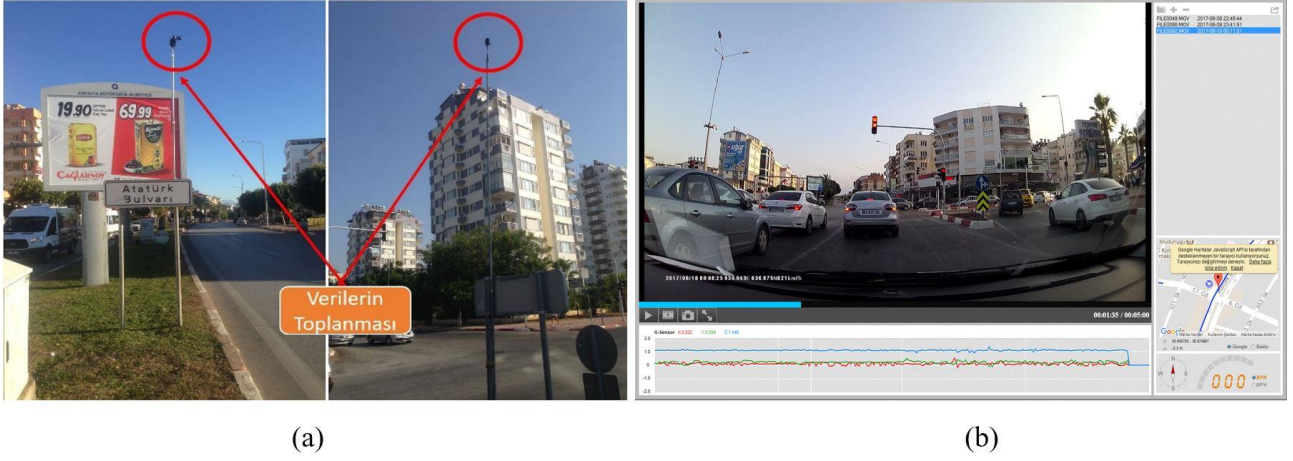
özellikle kavşak kollarında illegal şerit oluşumuna ve şerit değiştirmelere neden olarak çalışmanın araştırma konusu olan ve mevcut denklemlerin tam olarak hesaplayamadığı gecikme ve kuyruk uzunluklarına neden olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. İncelenen altı adet sinyalizasyon kavşağında belirlenen eksiklikler ve sorunlar
Table 3. Identified deficiencies and problems in the examined six signalized intersections

No	Kavşaklarda Gözlemlenen Problemler	Görüldüğü Kavşaklar (Kavşak No)
1	Şerit genişlikleri birbirinden farklı ve standartlara uygun değildir.	1-2-3-4-5-6
2	Refüj tasarımları orantısız ve uygun geometriye sahip değildir.	3-4-5
3	Kol 2 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmektedir.	3-4-6
4	Kol 3 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmektedir.	1-3-4
5	Kol 4 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmektedir.	1-3-4-6
6	Tüm kollardaki sağa dönüş cepleri için ek şerit gerekmektedir.	1-4-6
7	Kol 1'de ek şerit oluşmaktadır.	2-3-4-5
8	Kol 2 için sola dönüş ceplerinin uzunlukları yetersiz ve ek şerit oluşumuna neden olmaktadır.	2-3-4-5
9	Şerit genişlikleri kollarda ve dönel ada etrafında orantısız dağılmaktadır.	1-6
10	Tüm kollarda ek şerit oluşmaktadır.	1
11	Mevcut sağa dönüş ceplerinin tasarımı yanlış ve bu yüzden efektif değildir.	1-6
12	Kol 1 için sola dönüş ceplerinin uzunlukları yetersizdir ve bu yüzden ek şerit oluşmaktadır.	3-4
13	Kol 3'de ek şerit oluşmaktadır.	1-2-5
14	Kol 4'de ek şerit oluşmaktadır.	1-2-4-6
15	Ada içerisindeki fazla şerit genişliği karmaşaya sebep olmaktadır.	1
16	Refüj tasarımları orantısızdır ve uygun bir geometriye sahip değildir.	2
17	Kol 3'de hiçbir şerit çizgisi yoktur ve şerit genişliği oldukça fazladır.	5

İncelenen kavşakların hizmet performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılacak analizlerde kullanılacak veriler, kavşaklarda trafik akımının en fazla olduğu durum göz önüne alarak elde edilmiştir. Bu amaçla saha verileri hafta içi

(Pazartesi ve Cuma günleri) zirve saatler olan sabah ve akşam saatlerinde (07:30-09:00 ve 17:30-19:00) ve her bir sinyalizasyon kavşak için iki haftada toplam dört gün olmak üzere video çekimler yapılarak elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İncelenen kavşaklardan (a) video kamera yardımıyla saha verilerinin (b) gezgin araç ile gecikme verilerinin elde edilmesi

Figure 3. Field delay data from the examined intersections (a) with the help of video camera (b) traveling vehicle method

Arazi gözlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmış ve sayaç programları yardımıyla analizlerde kullanılmak üzere sayısal verilere dönüştürülmüştür. Yapılan video kamera çekimleri ve arazi gözlemlerinden, analizlerde kullanılmak üzere öncelikle her bir kavşak kolu için aşağıdaki veriler şerit bazlı incelemeler ile elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgilerin analizler için önemli olanları Tablo 4’te özet olarak verilmiştir.

- Devre süresi ve faz süreleri (sn),
- Yeşil süre başlangıcı ve sonundaki kuyruk uzunlukları (taşıt),
- Şerit genişlikleri/sayısı,
- Ek şerit oluşumu ve ek şeridi kullanan taşıt sayıları,
- Trafik hacmi (taşıt/saat),
- Rastgele seçilen taşıtlar için kontrol gecikme değerleri (sn),
- Her bir kavşak kolu için toplam analiz süresi (saat).

3.2. Sinyalize kavşakların performanslarının değerlendirilmesi

3.2. Evaluation of signalized intersections' performance

Araziden video kameralar yardımıyla toplanan ve sonrasında bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal forma dönüştürülen veriler kullanılarak HCM (2010) tarafından önerilen performans ölçüm yöntemleri ile kavşakların mevcut performans

hesaplamaları yapılmıştır (Wong vd., 2006). Çalışmada ilk olarak Denklem 1 yardımıyla kavşakların kapasitesi hesaplanmıştır.

$$c = \sum s \frac{g}{C} \quad (1)$$

Burada;

- c : Kapasite (taşıt/saat),
- s : Doygun akım oranı,
- g : Efektif yeşil süre (sn),
- C : Devre süresidir (sn).

Denklem 2 yardımıyla ise kavşaklardaki Hacim / Kapasite oranı kullanılarak kavşak kolunun ve kavşağın performansları belirlenmiştir.

$$X = \frac{v}{c} = \frac{v}{s \frac{g}{C}} = \frac{vC}{sg} \quad (2)$$

Burada;

- X : Herhangi bir kavşak kolundaki (v/c) oranı,
- v : Herhangi bir kavşak kolundaki hacim (taşıt/saat),
- s : Herhangi bir kavşak kolundaki doymuş akım oranı (taşıt/saat),
- g : Herhangi bir kavşak kolundaki efektif yeşil süre (saniye),
- C : Devre süresi (saniye).

Çalışma kapsamında incelenen kavşaklardaki kontrol gecikmesi, Şekil 3(b)’de görüldüğü gibi Kebab vd. (2007)’nin çalışmasında olduğu gibi 2 yöntem (gezen gözlem aracı ve kamera verilerinden rastgele seçilen araçlar) birlikte kullanılarak ve iki yöntemden elde edilen gecikme sürelerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Bu

kapsamda ilk olarak, pilot bir araç zirve saatlerde incelenen kavşak kollarından her bir kol için minimum 25 maksimum 35 olmak üzere geçişler gerçekleştirilmiştir. Yani gözlem aracı, incelenen kavşaklarda trafiğin içerisine karışarak bazen kuyruğun en önünde bazen ortasında bazen sonunda yer alacak şekilde bir dağılım gerçekleştirilerek kavşak kollarındaki kontrol gecikmelerini belirlemeye çalışılmıştır. Bu kapsamda gezen gözlem aracı içerisine yerleştirilen araç içi kameradaki süreler ve cihazın GPS özelliği sayesinde gözlem aracının kavşak kollarından rastgele geçişine ait konum ve süre bilgileri kullanılarak hem yolculuk süreleri hem de kontrol gecikmelerine ait verileri elde edilmiştir. Sonrasında kamera görüntülerinden tüm kavşaklar

ve bu kavşaklardaki her bir kol için minimum 100 maksimum 150 araç olmak üzere rastgele araçlar seçilmiştir (o koldaki araç kompozisyonuna dikkat edilerek araçlar belirlenmiştir). Elde edilen gezen araç ve rastgele seçilen araçların kontrol gecikmesi değerlerinin ortalaması alınarak gecikme analizlerinde kullanılmıştır. Yapılan analizlerden incelenen her bir kavşak kolu için elde edilen performans sonuçları Tablo 4'te verilen şekilde elde edilmiştir. Tablo 4'ten de görüldüğü üzere incelenen altı farklı sinyalizasyon kavşak türü için de kavşak kollarının hizmet düzeyleri ne yazık ki oldukça düşüktür. Bu sonuç, kavşaklarda geometrik ve sinyalizasyon açısından iyileştirmeler yapılması gerektiğini oldukça net şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 4. İncelenen altı farklı sinyalizasyon kavşağına ait performans sonuçları
Table 4. Performance results of examined six different signalized intersections

Kavşak No	Kol No	Ek (İllegal) Şerit No	Toplam Şerit Sayısı (Ek Şeritler Dahil)	Devre Süresi (sn.)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt/devre)	Hacim/Kapasite	Kontrol Gecikmesi (sn.)	(LOS)
1	1	1	3	157	27	0.76	163.9	F
	2	1	3		21	0.91	113.3	F
	3	1	4		32	0.84	90.3	F
	4	1	4		32	0.83	106.3	F
2	1	2	6	210	7	0.63	96.9	F
	2	0	4		11	0.70	114.3	F
	3	1	3		9	0.57	125.4	F
	4	1	3		4	0.73	109.3	F
3	1	2	6	160	13,2	0.58	85.5	F
	2	0	4		10,5	0.91	96.5	F
	3	0	2		11,5	0.84	100.6	F
	4	0	2		7,5	0.57	123.4	F
4	1	1	5	144	6,2	0.69	93.8	F
	2	0	4		6	1.07	92.0	F
	3	0	3		5	0.62	103.8	F
	4	1	3		6	0.39	104.6	F
5	1	0	4	140	7	0.78	91.2	F
	2	0	4		9	1.05	80.4	F
	3	1	2		6	0.93	103.1	F
	4	0	2		3	0.54	104.4	F
6	1	1	4	90	4	0.77	52.7	D
	2	0	3		5	0.76	53.3	D
	3	1	3		4	0.38	43.1	D
	4	1	3		4	0.80	62.8	E

LOS: Hizmet seviyesi.

4. Metot

4. Method

Çalışma kapsamında doygun altı ve doygun üstü akımlar için kavşaklarda gecikme değeri (kontrol gecikmesi) ve her bir kol için devre başına ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) hesaplamalarında

sıkça kullanılan iki farklı yöntem seçilmiştir. Burada ana amaç, arazi gözlemleri ile kavşaklardan elde edilen mevcut gecikme değeri ve kuyruk uzunlukları ile seçilen bu yöntemler ile hesaplanacak gecikme değeri ve kuyruk uzunluklarını karşılaştırmaktır. Böylece, literatürde mevcut olan bu yöntemlerin pilot kent

olarak seçilen Antalya şehiriçi yol ağlarında yer alan kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğunu hesaplamada ne kadar efektif olup olmadığı (ne kadar doğru hesapladığı) kolaylıkla görülebilecektir. Bu amaçla gecikme (ortalama kontrol gecikmesi) ve kuyruk uzunluğu hesaplarında kullanılmak üzere sırasıyla [Highway Capacity Manual \(2010\)](#) ve [Avustralya \(Akçelik\) \(1980\)](#) yöntemleri seçilmiştir.

4.1. HCM 2010'a göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı

4.1. Calculation of delay and queue length according to HCM 2010)

HCM 2010'a göre gecikme parametresi yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi olarak isimlendirilen üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu üç bileşenin toplamı ise kontrol gecikmesini oluşturmaktadır. [HCM \(2010\)](#)'a göre taşıt başına kontrol gecikmesi (d) aşağıda verilen Denklem 3 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (3)$$

Burada;

- d : Taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/taşıt),
- d_1 : Uniform varışlar kabulüyle uniform gecikme (sn/taşıt),
- d_2 : Rastgele varışların ve doymuş akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenik gecikme değeridir. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, her bir şerit grubu için başlangıçta kuyruk bulunmadığını varsaymaktadır (sn/taşıt),
- d_3 : Başlangıç kuyruk gecikmesi (sn/taşıt).

Uniform gecikme (d_1) aşağıda verilen Denklem 4 yardımıyla, eklenik gecikme (d_2) ise Denklem 5 yardımıyla ve başlangıç kuyruk gecikmesi (d_3) ise Denklem 6 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d_1 = \frac{0.5 \times C \times (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \times \frac{g}{C}]} \quad (4)$$

Burada;

- C : Devre süresi (sn),
- g : Efektif yeşil süre (sn),
- X : hacim/kapasite oranı (doymuşluk derecesi).

$$d_2 = 900 \times T \times [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \times K \times L \times X}{C \times T}}] \quad (5)$$

Burada;

- T : Analiz periyodu (saat),
- K : Eklenik gecikme düzeltme faktörü (Ön zamanlı ise=0,5),
- L : Ölçüm düzeltme faktörü (İzole kavşak ise=1),
- c : Şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat),
- X : hacim/kapasite oranı (doymuşluk derecesi).

$$d_3 = \frac{3600}{v \times T} \times \left(t_A \times \frac{Q_b + Q_e - Q_{eo}}{2} + \frac{Q_e^2 + Q_{eo}^2}{2 \times c_A} - \frac{Q_b^2}{2 \times c_A} \right) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Q_e &= Q_b + t_A \times (v - c_A) \\ \text{eğer } v \geq c_A \text{ ise } Q_{eo} &= T \times (v - c_A) \\ t_A &= T \\ \text{eğer } v < c_A \text{ ise } Q_{eo} &= 0,0 \text{ taşıt} \\ t_A &= Q_b / (c_A - v) \leq T \end{aligned}$$

Burada;

- v : Akım oranı talebi (taşıt/saat),
- t_A : Analize periyodu boyunca karşılaşılmayan talebin düzeltme süresi (saat),
- c_A : Ortalama şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat),
- Q_b : Analiz periyodunun başlangıcında mevcut olan mevcut başlangıç kuyruğu (taşıt),
- Q_e : Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu (taşıt),
- Q_{eo} : Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu eğer $v \geq c_A$ ve $Q_b = 0.0$ (taşıt).

[HCM \(2010\)](#)'a göre kavşak kollarındaki taşıt gelişlerinin rastgele ve düzensiz olduğu durum için kollarındaki kuyruk uzunluğu Denklem 7 ile hesaplanabilmektedir.

$$N_f = q_r \times r + q_g \times (t_f - d_a) \quad (7)$$

Burada;

- N_f : Kuyruk uzunluğu (taşıt/devre),
- q_r : Efektif kırmızı sürede gelen akım oranı (taşıt/sn),
- q_g : Efektif yeşil sürede gelen akım oranı (taşıt/sn),
- d_a : İvmelenme-ters ivmelenme gecikmesi (sn),
- t_f : Servis süresi (sn),
- r : Efektif kırmızı süredir (sn).

4.2. Avustralya (Akçelik)'e göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı

4.2. Calculation of delay and queue length according to Australia/Akçelik

Akçelik yöntemine göre gecikme ise aşağıda verilen Denklem 8 ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada Akçelik (1980) tarafından önerilen sadeleştirilmiş gecikme denklemi yerine hesaplamalarda bu çalışma kapsamında gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülen sadeleştirmeden önceki yani doygun altı ve üstü akımlara göre ayrı hesap yapan denklemler kullanılmıştır.

$$D_u = \begin{cases} \frac{q \times c \times (1-u)^2}{2(1-y)} & \text{eğer } X < 1 \\ 0.5 \times q \times r & \text{eğer } X \geq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$D_0 = N_0 \times X \\ d = D_u + D_0$$

Burada;

d : Toplam gecikme (sn),
 D_u : Uniform gecikme (sn),
 D_0 : Doygunüstü akım gecikmesi (sn),
 $q \times c$: Her devre süresi içerisinde gelen ort. taşıt sayısı (q =taşıtlar/sn biriminde akım),
 C : Devre süresi (sn),
 u : Yeşil süre oranı (g/C),
 y : Akım oranıdır (q/s).

Avustralya (Akçelik) yöntemine göre taşıt başına ortalama gecikme değerini hesaplayabilmek amacıyla ilk olarak bir trafik akımından kaynaklı olarak oluşan kuyruk uzunluğu değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu yöntemle göre kuyruk uzunluğu Denklem 9 yardımıyla hesaplanabilmektedir (Akçelik, 1980):

$$N_0 = \frac{Q \times T_f}{4} \left(Z + \sqrt{Z^2 + \frac{12(X+X_0)}{Q \times T_f}} \right) \quad (9)$$

Burada;

N_0 : Taşıtlar cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır),
 Q : Kapasite (taşıtlar/saat),
 T_f : Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre),
 $Q \times T_f$: T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,
 X : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),
 Z : $X - 1$,
 x_0 : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesidir ve $X_0 > X$ ise N_0 değeri 0 olmaktadır.

Gecikme yönteminde olduğu gibi kuyruk uzunluğu için de Akçelik (1980) tarafından önerilen sadeleştirilmiş kuyruk uzunluğu denklemi yerine doygun üstü ve altı akımları ayrı ayrı inceleyen ve aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır. Bu yöntemle göre Denklem 10'da verilen kuyruktaki ortalama taşıt sayısı (N_r), Denklem 11 ve Denklem 12'nin toplamı ile elde edilmektedir.

$$N_r = N_u + N_0 \quad (10)$$

$$N_u = \begin{cases} q \times r & \text{eğer } X < 1 \\ Q \times r & \text{eğer } X \geq 1 \end{cases} \quad (11)$$

$$N_0 = \frac{Q \times T_f}{4} \left(Z + \sqrt{Z^2 + \frac{12 \times (X + x_0)}{Q \times T_f}} \right) \quad (12)$$

Burada;

N_r : Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı,
 N_u : Uniform bileşen,
 Q : Kapasite (taşıtlar/sn),
 q : Akım oranı (taşıtlar/sn),
 N_0 : Ortalama doygunüstü akım için taşıtlar cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır),
 T_f : Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre),
 $Q \times T_f$: T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,
 X : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),
 Z : $x - 1$,
 x_0 : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesidir ve $X_0 > X$ ise N_0 değeri 0 olmaktadır.

5. Verilerin analizi, bulgular ve tartışma

5. Analysis of data, findings and discussion

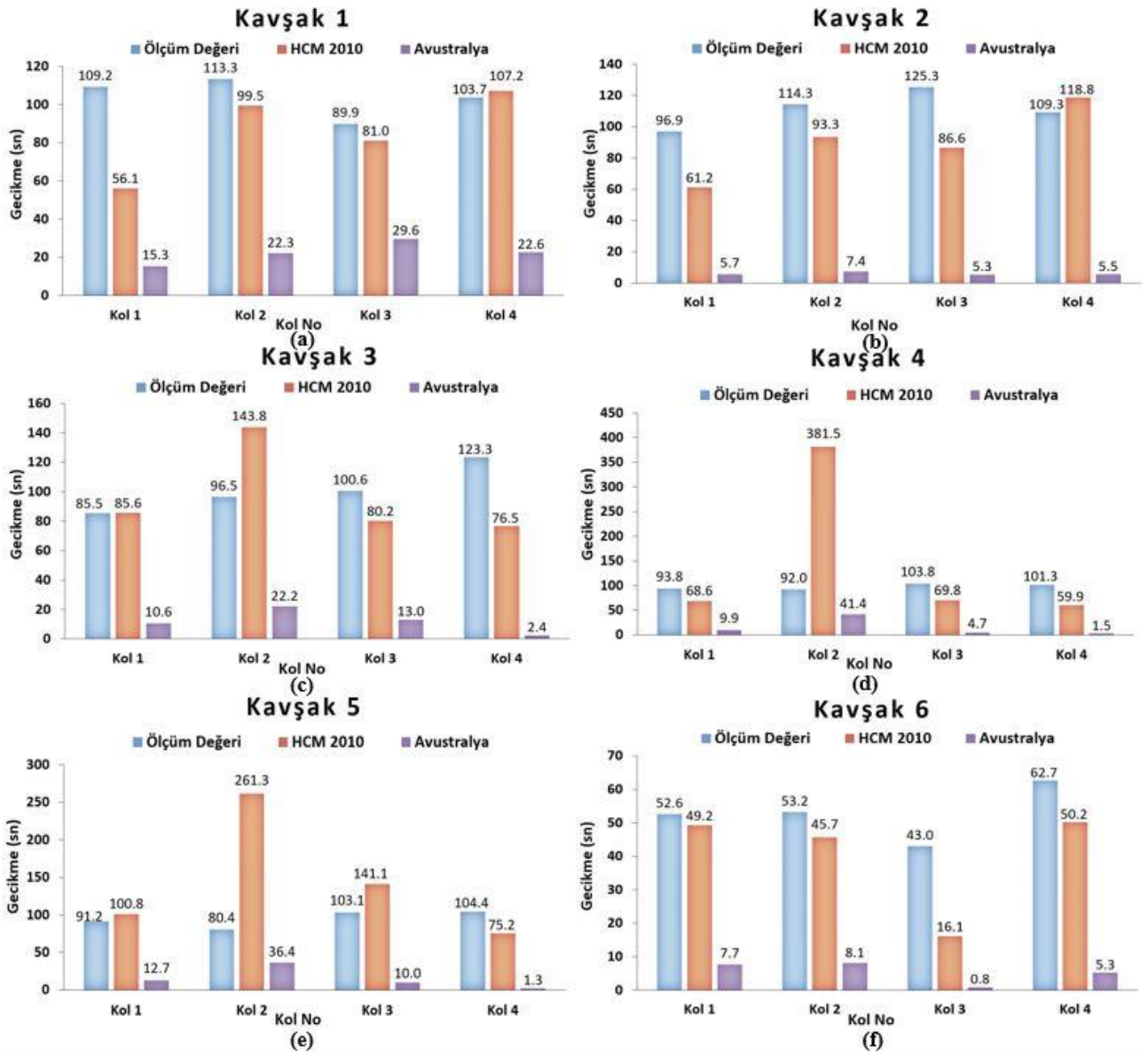
İncelenen altı farklı sinyalizasyon kavşağına ait mevcut gecikme (sn/taşıtlar) ve kuyruk uzunluğu (taşıtlar/devre) değerleri ile seçilen iki yöntem kullanılarak hesaplanan değerler sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te detaylı olarak verilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde gecikme değeri için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen ortalama değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen altı farklı sinyalizasyon kavşağındaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya (MAPE %)

hataya (%64.5) sahip olan yöntemin HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu da seçilen pilot kentte incelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerini seçilen iki farklı yöntem içerisinde en iyi HCM 2010 yönteminin hesapladığını göstermiştir. Şekil 4 daha detaylı irdelendiğinde, ortalama gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki bu yüksek yüzdesel hata miktarı seçilen gecikme yöntemlerinin Türkiye’deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermiştir. Bu sonuç, Türkiye’ye özgü yeni bir yöntemin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Çünkü önerilen mevcut hesap yöntemlerinin içerdiği parametreler incelendiğinde bu parametreler içerisinde illegal şerit oluşumu ve buna bağımlı/bağımsız nedenlerle görülen hatalı sürücü davranış faktörü gibi gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde görülen farklı faktörleri kapsamadığı görülmektedir. Çünkü kavşak kollarındaki geometri bozuklukları ve buna ek olarak hatalı davranışlar gösteren sürücü profili bir araya geldiğinde bu durum, kavşak kollarında kontrolsüz şerit değiştirmeler, en öne geçme isteği vb. nedenlerle ilk kalkışta kayıplar, geriye doğru şok dalgası etkisi vb. diğer olumsuz durumlara neden olabilmektedir. Özellikle bu sorunların kavşağın ana kollarında görülmesi sorunların büyüklüğünü daha da arttırmaktadır. Özetle oluşan bu durum saha gözlemindeki gecikme değerlerine yansımakta fakat önerilen yöntemler içerisinde bulunmayabilmektedir.

Şekil 4’te görülen analiz sonuçları incelendiğinde bazı kavşaklardaki kollarda sahadan gözlem yoluyla hesaplanan ortalama gecikme değerleri ile hesaplanan değerlerin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Bu durum Şekil 5’te verilen kuyruk uzunluğu değerleri için de geçerlidir. Bu durum üzerinde aynı anda bir veya birkaç parametrenin etken olduğu söylenebilmektedir. Örneğin illegal ek şerit

oluşmaması, sürücülerin sabırsız davranmaması ve kurallara riayet etmesi, ağır araç oranı, ilk kalkış kaybının yöntemlerde öngörülenlere yakın olması, kol içerisinde ve önünde araç parklanması olmaması gibi bu nedenlerin başlıcaları arasında gösterilebilmektedir. Her ne kadar bazı kollarda yakın değerler gözlemlense de kavşaklardaki sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde hesap yöntemleri ile saha gözlemleri ile elde edilen ortalama gecikme değerleri arasında yine de önemli farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır (kuyruk uzunluğu değerleri için de geçerlidir). Bu çalışma kapsamında da literatürde yaygın şekilde olduğu gibi kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplamaları bir bütün olarak irdelenmiştir. Saha gözlemleri ile elde edilen ortalama değerler ile hesap değerleri arasında bu derece önemli farklılıklar çıkması üzerinde illegal ek şerit oluşumu ve buna ilaveten hatalı sürücü davranışları ve bu iki ana parametrenin tetiklediği ve yukarıda belirtilen birçok karmaşa durumunun meydana gelmesi ve mevcut hesap yöntemlerinin bunu tam olarak değerlendirememesinin etkisinin olduğu öngörülmektedir.

Kavşak türüne göre ölçüm ve hesap yöntemleri arasındaki gecikme değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, dört kollu sinyalize dönel kavşaklardaki (Kavşak No: 1 ve 6) saha ölçüm değerleri ile HCM 2010 değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuca göre HCM 2010 yönteminin dört kollu sinyalize dönel kavşaklardaki gecikme değerlerini, dört kollu sinyalize kavşaklara (Kavşak No: 2,3,4 ve 5) göre daha yakın şekilde hesapladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuç, HCM 2010 yönteminin ülkemizde geometri ve işletim problemleri olan dört kollu sinyalize dönel kavşaklarda, dört kollu sinyalize kavşaklara göre daha doğru hesaplamalar yaptığını göstermektedir.



Şekil 4. İncelenen altı farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt)

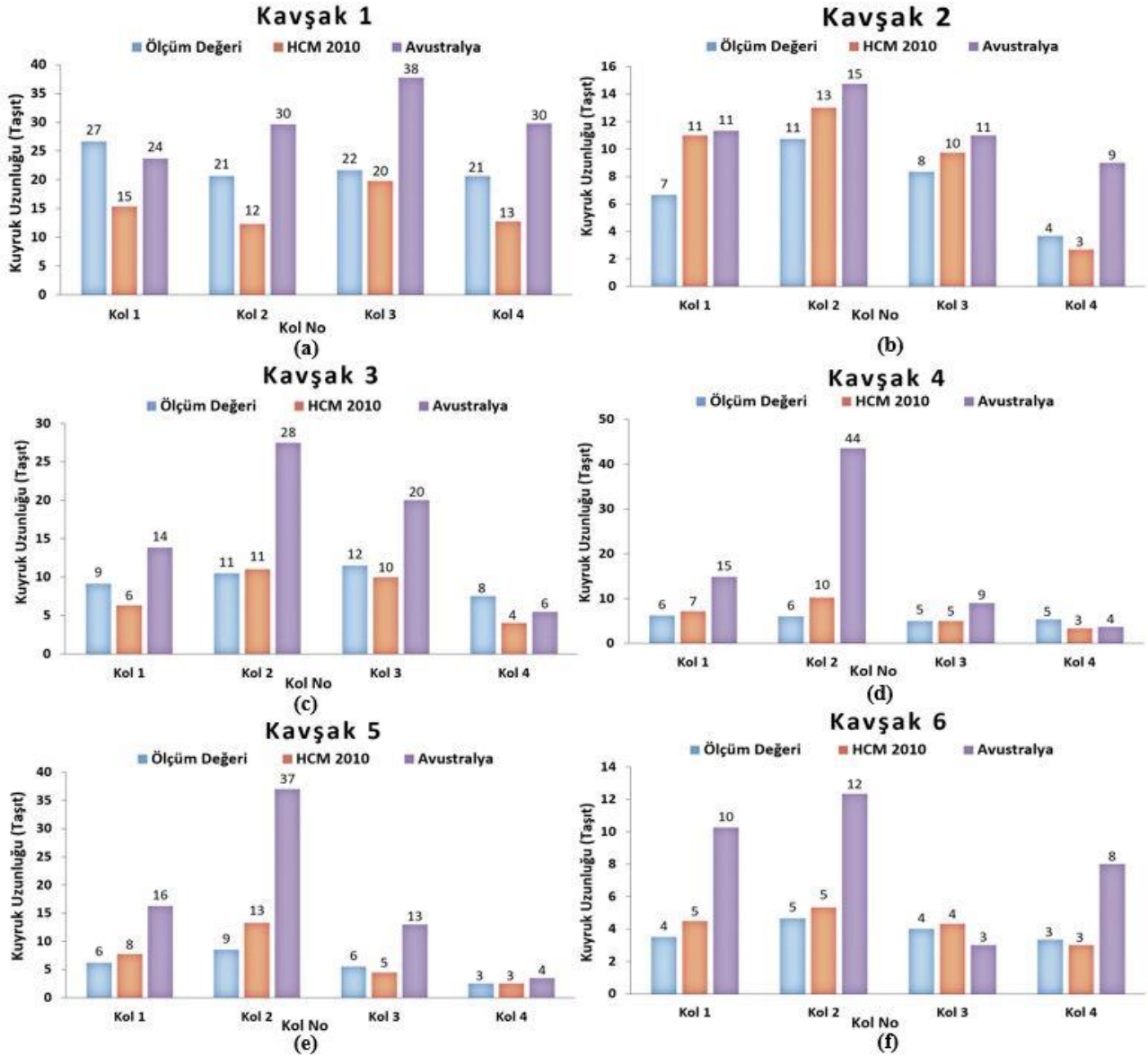
Figure 4. Comparison of the measured and calculated delay values of six different signalized intersections (sec/vehicle)

Benzer şekilde Şekil 5 incelendiğinde ise kuyruk uzunluğu hesabı için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen hesap değerleri ile arazi gözlemleri ile elde edilen ortalama gerçek değerler arasında gecikme değerlerine göre daha az farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birisinin gecikmede olduğu gibi yine farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen altı farklı sinyalize kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında kuyruk uzunluğu için ortalama en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya (MAPE %) hataya (%40.9)

sahip olan yöntemin HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Seçilen pilot kentte incelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalize kavşak kollarındaki kuyruk uzunluklarının seçilen yöntemler içerisinde en iyi HCM 2010 yönteminin hesapladığını göstermiştir. Şekil 5’te görülen araziden ölçülen ortalama gerçek değerler ile seçilen yöntemler kullanılarak elde edilen hesap değerleri detaylı olarak incelendiğinde, ölçülen ortalama değerler ile hesaplanan değerler arasındaki bu yüksek yüzdesel hata miktarı seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin de gecikmede olduğu gibi Türkiye’deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermiştir. Elde edilen bu sonuç, gecikme hesabında olduğu

gibi kuyruk uzunluğu hesabı içinde Türkiye'ye özgü yeni yöntemler geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymakta ve bu çalışmanın amacını desteklemektedir. Hem gecikme hem de kuyruk uzunluğu için hesaplanan bu farklılıklar, Türkiye vb. yol ve sürücü karakteristiklerine sahip ülkelerde zaman zaman illegal ek şerit oluşumunun olduğu ve bu durumun agresif sürücü profili ile mevcut trafik akım karakteristiğini değiştirdiği kavşaklarda en doğru gecikme ve kuyruk uzunluğu

hesabını yapacak; içerisinde bu tür ülkelerdeki yukarıda belirtilen özel durumları kapsayacak yeni bağıntıların geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle bu tür ülkelerde, içerisinde o ülkenin sinyalize kavşaklarında yaygın olarak görülen her türlü parametreyi (sürücü profili, hatalı geometri, kavşak içi parklanma, hatalı devre süresi tasarımı vb.) de içeren özgün yöntemlerin geliştirilmesi doğru hesaplamalar yapılabilmesi için oldukça önemlidir.



Şekil 5. İncelenen 6 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt)

Figure 5. Comparison of the measured and calculated queue length values of examined 6 different signalized intersections.

Kavşak türüne göre ölçüm ve hesap yöntemleri arasındaki kuyruk uzunluğu değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, dört kollu sinyalize dönel kavşaklardaki (Kavşak No: 1 ve 6) ve dört kollu sinyalize kavşaklardaki (Kavşak No: 2,3,4 ve 5)

saha ölçüm değerleri ile HCM 2010 ve Avustralya yöntemine ait hesap değerlerinin birbirinden farklı olduğu ve bunun kavşak türü ile doğrudan bir ilişkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

6. Sonuçlar ve öneriler

6. Conclusions

Çalışma kapsamında Türkiye'deki şehiriçi kavşak kollarında mevcut olan geometrik disiplinsizlikler tanısız bazlı olarak incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle sinyalizasyon kavşaklardaki mevcut geometri problemlerinin olduğu kavşaklardaki işletim performansları incelenmiştir. Sinyalizasyon kavşak kollarındaki hizmet seviyelerinin (LOS) durumu kavşakların mevcut (geometrik disiplinsizlik, karmaşa ve ek şerit oluşumu görülen) durumuna göre değerlendirildiğinde, 6 numaralı kavşağın D ve geriye kalan diğer tüm sinyalizasyon kavşakların ise en kötü hizmet seviyesi olan F hizmet seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kavşaklarda illegal ek şerit oluşumlarının görülmesinin, kavşakların mevcut işletim performanslarını arttırmak yerine daha da kötüleştirdiğini görülmüştür. Yani özetle, kavşak kollarında görülen illegal ek şerit oluşumlarının bile kavşaklarda iyi bir hizmet seviyesi görülmesi üzerinde pozitif bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Başka bir açıdan değerlendirildiğinde ise, Türkiye'deki şehiriçi sinyalizasyon kavşakların daha iyi bir hizmet seviyesine sahip olması için ek şerit oluşumuna izin verilerek kavşak kollarındaki şerit sayılarının artırılmasının, bu kavşakların işletim performanslarında bir artışa değil aksine bazı kavşaklarda taşıt hareketlerinde karmaşaya sebep olduğu görülmüştür. İncelenen kavşaklar daha önce de belirtildiği üzere Antalya şehir merkezinde yer alan ana arterler üzerinde yer almakta olup bugüne kadar kavşaklardaki işletim performanslarını arttırmak için yetkililerce sinyal planları üzerinde birçok kez değişiklik yapılmıştır. Fakat ne kadar çok ve farklı değişiklik yapılmış olsa da yapılan hiçbir değişiklik bu kavşaklarda düşük hizmet seviyelerinin görülmesi sorununu çözememiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, incelenen bu tür geometrik disiplinsizliklerin olduğu kavşaklarda yapılacak farklı sinyal planlamalarının tek başına sorunu bu çözemeyeceğini tekrardan göstermiştir. Bu sorunu çözmek için kavşağı kullanan sürücülerin kurallara uyma, agresiflik vb. karakteristik özelliklerine göre kavşak geometrisinde tanısız bazlı düzenlenmeler yapılmasının gerekliliği oldukça açıktır.

Kavşakların mevcut performanslarının belirlenmesinden sonraki adımda ise yine çalışmanın amaçlarında da değinildiği üzere literatürde mevcut olan ve gelişmiş ülkeler tarafından şehiriçi kavşaklardaki mevcut durum göz önüne alınarak önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin, Türkiye gibi şehiriçi kavşaklarında geometri problemleri

bulunan ülkeler için doğru sonuçlar vermeyeceğinin ispatlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla kavşaklarda doymun altı ve doymun üstü durumlar için gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan ve literatürde çok kullanılan yöntemlerden olan iki farklı yöntem (HCM 2010 ve Avustralya) seçilmiştir. Seçilen bu yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen altı farklı sinyalizasyon kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük hataya (%64.5) sahip olan yöntemin HCM 2010, kuyruk uzunluğu hesabı içinse ortalama en düşük hataya (%40.9) sahip olan yöntemin ise yine HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin seçilen gecikme yöntemlerine göre kavşaklardaki mevcut durumu daha düşük hata ile ölçtüğü görülse de yine de bu hata miktarlarının oldukça yüksek olması seçilen yöntemlerin Türkiye'deki sinyalizasyon kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermektedir. Bu durum, bu çalışma kapsamında önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerin bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu çalışma büyük ölçekteki bir çalışma dizisinin mevcut sorunu hesapla ortaya koyan ilk parçasıdır. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki bir diğer çalışmada ise, gelişmekte olan ülkeler adına pilot ülke olarak seçilen Türkiye için yeni modifiye hesap yöntemleri oluşturulacaktır. Sonrasındaki çalışmada ise kavşaklardaki mevcut geometrileri Türkiye'deki mevcut duruma göre yeniden düzenleyen (geometrik tasarım yapan) bir bilgisayar programı geliştirilecektir. Bu çalışmanın gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki sorunu bilimsel olarak ortaya koyması, bu çalışmanın devamı niteliğindeki ve bu çalışma grubunun parçaları olan diğer çalışmalar için önemli bir bilimsel altlık olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Acknowledgment

FDK-2017-2457 kodlu bu proje Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya

çıkmasında verdiği destekten ötürü Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, mevcut çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Mevcut çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

References

Akçelik, R. (1980). Time-dependent expressions for delay, stop rate and queue length at traffic signals. *Internal Report AIR 367-1*, Australian Road Research Board, Vermont South, Australia.

Al-Ghamdi, A. S. (2003). Analysis of traffic accidents at urban intersections in Riyadh. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 717–724. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00050-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00050-7)

Arıkan Öztürk, E., Çubuk, M. K., Arslan, D., & Yüksel, E. (2007). Modern dönel kavşakların kapasite ve güvenlik yönünden incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 917–926.

Aydar, R. (2011). *Karayolu kavşaklarının tipine karar verme sürecinde kapasite, güvenlik ve maliyet (KGM) parametrelerini optimize eden bir modelin geliştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Aydemir, T. (2006). *Başlangıç-son matrisinin İzmir'deki dönel kavşak giriş kapasitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Aydın, M. M. (2017). *Şehiriçi kavşaklardaki geometrik disiplinsizliğin optimize edilerek irdelenmesi* [Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Aydın, M. M., Yıldırım, M. S., Saphioğlu, M., & Ünal, A. (2017). Şehiriçi yollardaki geometri

problemlerinin sınıflandırılması ve çözüm önerileri geliştirilmesi. *II. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi* (pp.1240-1246), Antalya.

Bao, S., & Boyle, L. (2009). Age-related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accident Analysis and Prevention*, 41(1), 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.007>

Braitman, K., Kirley, B., Ferguson, S., & Chaudray, N. (2007). Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Injury Prevention*, 8(3), 65–72. <https://doi.org/10.1080/15389580701272346>

Devin, A., Candappa, N., Corben, B., & Logan, D. (2011). Designing safer roads to accommodate driver error. *Project 09-006RSC, Curtin–Monash Accident Research Center*, Curtin University, Bentley, Perth, Western Australia.

Elvik, R. (2003). Effects of road safety of converting intersections to roundabouts: review of evidence from non-us studies. *Transportation Research Record*, 1847, 1–10. <https://doi.org/10.3141%2F1847-01>

Flannery, A. (2001). Geometric design and safety aspects of roundabouts. *Transportation Research Record*, 1751(2001), 76–81. <https://doi.org/10.3141%2F1751-09>

Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., & Srinivasan, R. (2013). Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 50(2013), 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.012>

Günay, B., Aydın, M. M., & Akgöl, K. (2013). Modern dönel kavşaklara sorunsuz bir dönüşümün bilimsel metodolojisi, *Karayolu 3. Ulusal Kongresi (YTMK)* (pp. 345–358), Ankara.

Highway Capacity Manual (HCM) (2010). *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, D.C.

Keay, L., Jasti, S., Munoz, B., Turano, K., Munro, C., & Duncan, D. (2009). Urban and rural differences in older drivers' failure to stop at stop signs. *Accident Analysis and Prevention*, 41(5), 995–1000. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.004>

Kebab, W., Dixon, M., & Abdel-Rahim, A. (2007). Field measurement of approach delay at signalized intersections using point data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2027(2007): 37–44. <https://doi.org/10.3141%2F2027-05>

Persaud, B. N., Retting, R., Garder, P., & Lord, D. (2001). Observational before–after study of u.s.

- roundabout conversions using the empirical bayes method. *Transportation Research Record*, 1751(2001), 1–8. <https://doi.org/10.3141%2F1751-01>
- Saplıoğlu, M., & Karaşahin, M. (2010). Şehirçi kontrolsüz eşdüzey kavşak kazalarını etkileyen unsurların değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi International Technologic Sciences*, 2(2), 26-49.
- Takemoto, M., Kosaka, H., & Nishitani, H. (2008). A study on the relationships between unsafe driving behaviors and driver's inner factors when entering a non-signalized intersection. *Journal of Computers*, 9(3), 39–49.
- Tuncuk, M., & Karaşahin, M. (2005). Şehirçi eşdüzey kavşak geometrilerinin ve kazalara etkilerinin incelenmesi. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi* (pp. 470-483), Antalya.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). Trafik Kaza İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21611> [Son erişim tarihi: 06.05.2019].
- Vrieling, J. H., de Waard, D., & Brookhuis, K. A. (2014). Driving behaviour while driving through two types of road works. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(3), 141–148. DOI: 10.5923/j.ijtte.20140303.01
- Wang, X. & Abdel-Aty, M. A. (2007). Right-angle crash occurrence at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2219(2007), 156–168. <https://doi.org/10.3141%2F2019-19>
- Wong, C. K., Wong, S. C., & Tong, C. O. (2006). A lane-based optimization method for the multi-period analysis of isolated signal-controlled junctions. *Transportmetrica*, 2(1), 53–85. <https://doi.org/10.1080/18128600608685655>
- Wong, S. C. (1996). Group-based optimisation of signal timings using the transyt traffic model. *Transportation Research Part B*, 30(3), 217–244. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00028-3)
- Wong, S. C., & Yang, H. (1997). Reserve capacity of a signal-controlled road network. *Transportation Research Part B*, 31(5), 397–402. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(97\)00002-7](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(97)00002-7)
- Wood, J. S., Gooch, J. P., & Donnell, E. T. (2015). Estimating the safety effects of lane widths on urban streets in Nebraska using the propensity scores-potential outcomes framework. *Accident Analysis & Prevention*, 82(2015), 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.06.002>
- Yüksel, E. (2007). *Modern dönel kavşakların kapasite ve trafik güvenliği yönünden incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].