

Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi

İlgin GÖKAŞAR¹

ÖZ

Trafik kaza-olayları otoyollardaki trafik sıkışıklığının önemli nedenlerindedir ve esnek trafik kontrol yöntemleri gerektirmektedir. Şerit kontrol sistemleri (ŞKS), otoyollardaki şerit kullanımını yönetmek için kullanılan trafik yönetim teknolojisidir. Bu teknolojide, her şerit üzerinde şerite özel bir elektronik tanıtlı ile sürücülere Değişken Hız Sınırı (DHS) veya şerit kapatılması bilgisi iletilerek trafik yönetimi yapılmaktadır. Bu çalışmada, D100 Karayolu'nda bulunan bir yol ağında tek bir şeridin kaza sonucu kapanması durumunda, 141 senaryoda, farklı uyum, talep ve konumlarda ayrı ayrı ve birlikte ŞKS ve DHS uygulamalarının mikroskobik olarak etkinliği ölçülmüştür. ŞKS'nin tek başına uygulandığı en iyi senaryoda ortalama seyahat süresi %16.76 azalırken, ortalama seyahat hızı %20.19 artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şerit kontrol sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri, kaza-olay yönetimi.

ABSTRACT

The Investigation of The Effect of Lane Control Systems on Traffic Management

Traffic incidents are one of the major causes of traffic congestion requiring flexible traffic control methods. Lane control systems (LCSs) are a form of traffic management technology for managing lane use on freeways. This is accomplished by posting speed limits or notices to vacate/change a lane on an electronic sign above each lane. In this study, the effectiveness of LCS and speed limit implementations is tested using 141 scenarios including different compliance rates, traffic demands and LCS locations in a single-blocked-lane incident case on a microsimulation model of a network in D100 Highway in Istanbul. The best scenario (LCS implementation only) decreased the average travel time by 16.76%, and increased the average speed by 20.19%.

Keywords: Lane control systems, intelligent transportation systems, incident management.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 17.04.2015 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

¹ Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - ilgin.gokasar@boun.edu.tr

1. GİRİŞ

Büyükşehir merkezlerinde trafik yoğunluğundaki artış, üretkenlik kaybı, yakıt israfı, uzun gecikme saatleri ve artan hava kirliliği ile milyonlarca dolarlık zarara sebebiyet vermektedir [1]. Trafik kaza-olayları gibi tekrarlanmayan olayların etkisinin azaltılması, ortalama seyahat süresinde azalma, yakıt tasarrufu, araç egzoz emisyonunda azalma ve seyahat güvenliğinde iyileştirme gibi olumlu sonuçları doğurmaktadır. Dahası, tekrar etmeyen trafik sıkışıklığındaki azalma, bütün sistemdeki trafik akışını arttırarak, otoyol ağının genel verimliliğini arttırabilir. Otoyollardaki şerit kullanımını yönetmek için kullanılan trafik yönetim teknolojilerinden biri olan Şerit Kontrol Sistemleri (ŞKS), öncelikli olarak trafik kazalarını etkin bir biçimde yönetimi için şeritleri kapatmak ve çalışma (bakım-onarım) alanlarının güvenliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır [2]. Bu amacı:

- Bir kaza esnasında, otoyol kullanıcılarının, kazazedelerin ve olaya müdahale eden ekiplerin güvenliğinin sağlanması ve ikincil kaza risklerinin azaltılması amacıyla şeridin acilen kapatılmasını sağlayarak,
- Yoldaki bakım-onarım çalışmaları esnasında trafik kontrolüne yardımcı olarak,
- Şerit ayrımlarını veya fonksiyonlarını yol çalışması esnasında veya kaza sonrasında değiştirerek,
- Polis kontrol noktalarının bulunduğu yerlerde uygulamaların güvenli bir biçimde gerçekleştirilmesi için şerit kullanımı kısıtlayarak gerçekleştirir.

ŞKS, caddelerde ve otoyollarda belirli şeritlerin kullanımına izin veren veya kullanımını yasaklayan ya da kullanımını geçici olarak durduran tepe sinyalleri olarak tanımlanmaktadır. Bu işaretlerde yolun kapalı olduğunu gösteren bir kırmızı çarpı, şeridin ileride kapalı olduğunu belirten sarı veya yeşil çapraz ok ve şeridin açık olduğunu belirten aşağı yönde yeşil bir ok kullanılmaktadır [2].

ŞKS uygulamalarının bazı faydaları şöyle sıralanmaktadır [3]:

- Birincil ve ikincil kazaların sayı ve şiddetlerinde azalma.
- Trafik akış dengesinde iyileşme (araç hızlarında daha az değişim), takip mesafesi iyileştirmesi ve araç geçişinde artış.
- Seyahat sürelerinde, enerji tüketiminde ve kirlilik emisyonunda azalma.
- Araç kuyruğu uzunluklarında azalma.
- Yol bakım çalışmalarının güvenliği ve verimliliğinde iyileşme.
- Acil durum araçlarının (itfaiye, ambulans, polis) ulaşımında iyileşme.

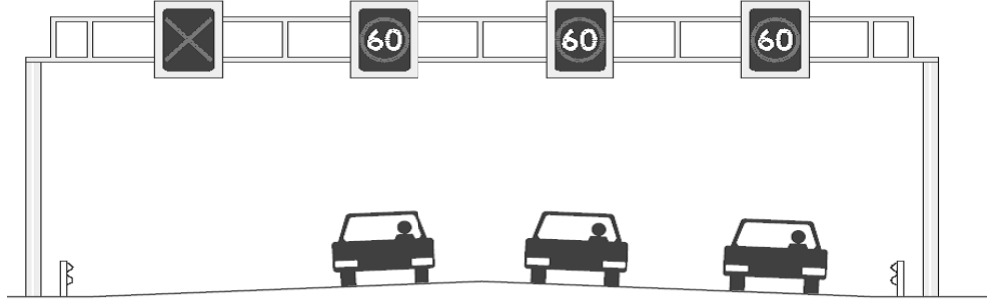
ŞKS, bakım aktivitelerinin güvenli olarak yapılmasında ve kazaların doğru bir şekilde yönetilmesinde esneklik sağlamaktadır. Bir kaza olduğu durumda, o şerit kırmızı bir çarpı gösterilerek kapatılır. Ayrıca, sürücülere kaza yerine ulaşmadan şeritlerini değiştirmeleri yönünde uyarı verilir. Bu genellikle komşu şeridi işaret eden bir çapraz ok ile sağlanır.

ŞKS'ler genellikle iki yönlü işletilen şeritlerin kontrolünde de kullanılırlar; ama aynı zamanda tek yönlü işletilen otoyol şerit uygulamalarında da kullanılabilirler. Ücretli

geçiş turnikeleri, yüksek işgaliyeli araç (YİA) şeritleri ve otopark kontrolleri bunlara örnek olarak verilebilir. ŞKS ayrıca otoyollardaki hız dalgalanmalarını düşürmek ve otoyol ağındaki trafik akışını iyileştirmek için değişken hız sınırı (DHS) işaretleri kullanarak hız limitleri önerebilmektedir.

Bir şerit kazadan dolayı kapandığı zaman, ŞKS kapanan şeridi gösterip açık şeride yönlendirme yaparak araç birikmesini azaltmaktadır. ŞKS sistemi ayrıca çalışma bölgesindeki ve zor hava koşullarındaki verimliliği ve trafik güvenliğini arttırmaktadır.

4 şeritli ŞKS ekranları Şekil 1'de görülmektedir. En soldaki kırmızı çarpı işareti sürücülere şeridin kapalı olduğu konusunda uyarılmaktadır. Hız limiti işaretleri sürücülere gösterilen hızın altında seyretmeleri konusunda uyarılmaktadır. Bu sayede, sürücüler yolun ilerleyen kısımlarındaki kaza, çalışma bölgesi veya yol kesişimi gibi durumlardan haberdar olmaktadır.



Şekil 1. 4 Şeritli ŞKS ekranları (TRUMM, 2010).

ŞKS ekranları genellikle hızlanma-yavaşlama rampalarında, otoyolun tehlikeli kısımlarında, alternatif otoyol çıkışlarında, tüneller ve ücretli geçiş gişelerinde kullanılmaktadır. ŞKS şu amaçlarla kullanılabilir:

- Şeritlerin açılması ve kapatılması.
- Değişken trafik kısıtlamalarının (otobüs, kamyon) sağlanması.
- Değişken hız limitlerinin sağlanması.
- Kaza şeridi sinyalizasyonu.

Her bir ŞKS bağımsız bir cihaz olarak kullanılabilirdiği gibi kontrol birimini, güç ünitesini ve iletişim birimini paylaşan bir ağı parçası olarak da kullanılabilir. Kontrol ve güç kaynağı birimleri ve haberleşme için çalışan arayüzlerle beraber otoyol kenarındaki dolaplarda yer alabilir.

Sürücünün ŞKS'yi görmeye başladığı mesafeye "okunabilirlik mesafesi" denir. Sürücünün ŞKS'yi okumaya başladığı mesafeye "okuma mesafesi" denir. Okunabilirlik ve ŞKS

tabelalarının aralık mesafeleri göz önüne alındığında ŞKS'nin kurulum yerleri aşağıdaki kısıtlara bağlı olmalıdır [3]:

- Katılım sıklığı.
- Görüş mesafesi.
- Diğer önemli sürüş karar alma noktalarının yerleri.
- Diğer bilgi kaynaklarının yerleri (rehber işaretler, Dinamik Mesaj İşaretleri, vb.).

Otoyol yönetimi ve işlemleri el kitabı son raporunda ŞKS'lerin 0,8 ile 1,6 km arası aralıklarla yerleştirilmesi gerektiği fakat bu yerleştirme esnasında özel geometrik durumlar ve sürücülerin karar alma mesafeleri göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, maliyet kısıtlamaları da ŞKS yerlerini önemli ölçüde etkilemektedir.

2. AVRUPA'DA VE AMERİKA'DA ŞKS UYGULAMALARI

Amerika'da ve Avrupa'nın birçok ülkesinde ŞKS kullanımı, trafiğin akışını arttırmış, trafik yoğunluğunu azaltmış ve bazı durumlarda kaza sayılarında fark edilebilir bir azalma sağlamıştır. ŞKS teknolojisi Dünya'da 30 yıldır uygulanmaktadır. ŞKS teknolojilerinin Amerika'nın dışında çok daha yaygın bir kullanımı vardır [4]. ŞKS trafik akışını en uygun hale getirerek yolun verimliliğini artırma amacını 3 şekilde gerçekleştirir:

- Günlük trafik koşullarında değişken hız limitleriyle.
- Kazalar ve yol çalışmaları gibi tekrarlanmayan şartlar altında şerit kapatma ve yönlendirmeleriyle.
- Sis, sağanak yağmur veya buzlanma gibi zorlu hava koşullarında sürücülerin erkenden uyarılmasıyla.

Smulders [5] ve Van Den Hoogen ve Smulders'ın [6] iddiasına göre değişken hız sınırlarının (DHS) Hollanda'da uygulanmasından sonra araçların hız farklılıkları daha tekdüze bir dağılım göstermiştir. Coleman ve diğ. [3] FHWA raporunda DHS uygulamasının Hollanda, Almanya, İsveç ve Avustralya'daki deneyimlerini anlatmıştır. Bu rapora göre, DHS'nin yollara uygulanmasıyla birlikte seyahat süreleri yüzde 5 ile 15 arasında düşmüştür. Trafik sıkışıklığı kaynaklı kazalar da DHS uygulaması sayesinde %25 ile %50 arasında azalmıştır. Hollanda'da A16 karayolunda bir sis uyarı sistemi yer almaktadır. Hava sisli olduğu zaman, DHS farklı görüş mesafeleri için farklı hız limitlerini göstermektedir. Bu uygulama sayesinde, ortalama hızlar sisli hava koşullarında saatte 8 ila 10 km azalmıştır.

Minneapolis'te I-94 otoyolunda şerit kontrol sinyalleri kullanımı trafik yoğunluğunu yüzde 7 ile 11 oranında azaltmıştır [7].

Schaefer ve diğ. [8] farklı sürücü uyum oranlarıyla trafik talebinin çok, orta ve az olduğu durumlarda Hollanda ve Almanya'da ŞKS uygulamalarını bir benzetim modeliyle test etmiştir. Sürücülerin %30 uyum oranının kaza nedeniyle olan trafik sıkışıklığında hiç azalmaya sebep olmadığı, %70 uyum oranı ise trafik sıkışıklığı kaynaklı gecikmeleri 45 dakikaya kadar azalttığı gözlemlenmiştir.

Boston'daki merkezi tünel projesinde ŞKS uygulamaları yol kapasitesinde arttırma yapılmadan verimli şekilde şerit değişimine olanak sağlamıştır [9]. Ayrıca ŞKS tasarımlarının kaza yönetimi ve rota rehberliği için değerlendirmiştir. ŞKS'nin etkisinin geometrik özelliklere, yönel taleplere ve sürücülerin uyum durumlarına çok duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Lin ve diğ. [10] yaptıkları çalışmaların sonucunda, DHS ile kontrol edilen çalışma bölgeleri yakınlarında ortalama hızların DHS olmayan durumlara göre beklendiği kadar değişim göstermediğini, fakat DHS kontrollü çalışma bölgesinden geçen araçların hızlarının daha tekdüze bir dağılım sergilediği belirtmiştir.

Seul'de tünel girişlerinin ve köprülerin trafiğini kontrol etmek için ŞKS sistemi yerleştirilmiştir. Kore Otoyol A.Ş. akıllı ulaşım sistemleri ana planında yeni ŞKS'lerin geliştirilmesi üzerine vurgu yapmıştır. Yeni Zelanda Ulaştırma Ajansı seyahat sürelerini, enerji tüketimini azaltmayı ve kirliliği önlemeyi, aynı zamanda trafik akışını ve otoyol güvenliğini iyileştirmeyi planlamaktadır Ajans, 2010 yılının Mart Ayı'ndan beri ŞKS'leri gelişmiş trafik yönetim sisteminin bir parçası olarak kullanmaktadır.

Yeni Zelanda Ulaştırma Ajansı 2016'ya kadar uygulanacak olan ŞKS'ler ile sürücülerin hızlı ve güvenli şerit değiştirmelerini ve kazaların hızlı ve güvenli olarak kaldırılmasını amaçlamaktadır.

3. İSTANBUL'DA ŞKS UYGULAMALARI

İSBAK A.Ş. ve Trafik Kontrol Merkezi tarafından ilk olarak İstanbul'da D100 Karayolu'nda Şubat 2009'da ŞKS'nin uygulanması konusunda çalışmalar başlatılmıştır. D100 Karayolu Ankara'yı Edirne'ye bağlayan şehirlerarası bir yol olarak tasarlanmıştır. Fakat son yıllarda D100 Karayolu bu önemine rağmen şehir içi bir yola dönüşmüştür. Dahası yolun kontrolü bahsedilen değişimden ötürü Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne verilmiştir. D100 Karayolu, Atatürk Havalimanı ile Zincirlikuyu arasında gündüz vakti çok yoğun trafik yüküne sahiptir. Yolun yüksek oranda kullanımı yüksek sayıda kazaya sebep olmaktadır. ŞKS'nin D100 Karayolu'ndaki uygulama amaçları şöyle sıralanmaktadır [11]:

- D100 Karayolu'nda otoyol güvenliği iyileştirilmesi.
- Birincil ve ikincil kazaların önlenmesi.
- Katılım ve çıkış hız limitlerinin düzenlenmesi.
- Trafik hareketliliğin arttırılması.
- Trafik kontrol merkezindeki operatörler için bilgi ve destek sistemi kurulması.

ŞKS uygulamasının ilk denemeleri D100 Karayolu'nda Mayıs 2009'da başlamış ve genel kullanımı da Kasım 2009'da başlamıştır. Ek olarak, ŞKS sistemleri tünel yönetim sisteminin bir parçası olarak, Kagithane-Piyalepaşa ve Bomonti-Dolmabahçe tünellerinde uygulanmıştır. ŞKS ayrıca Dolmabahçe-Beşiktaş ve Bakırköy-Yenikapı güzergâhlarında da uygulanmıştır. ŞKS buralarda yolun kısıtlı genişliğinden dolayı bölünemeyen ortak ikinci şerit kullanımını düzenlemeye yardımcı olmaktadır.

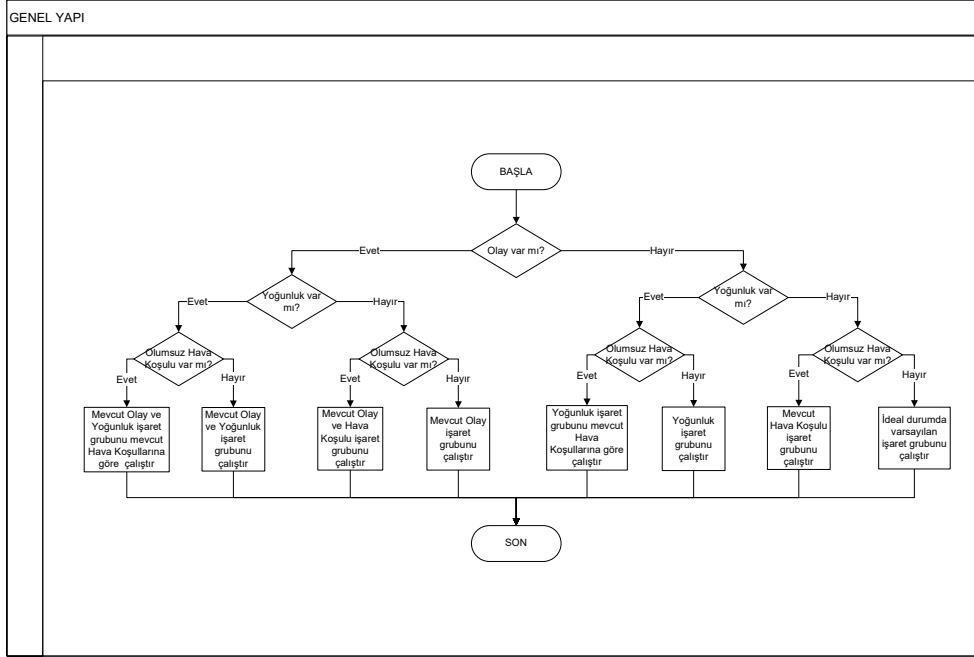
ŞKS'nin diğer uygulaması Avcılar Beylikdüzü arasındadır. Uygulamada her iki şeride de 22 tane ek ŞKS ekranı kurulması planlanmaktadır. Ayrıca, Trafik Kontrol Merkezi Atatürk Havalimanı ile Zincirlikuyu arasındaki güzergâhta ŞKS sayısını artırarak sistemin verimli çalışmasını sağlamayı planlamaktadır.

3.1. İstanbul'da Uygulanan ŞKS Senaryoları

İstanbul'da uygulamaya konulan ŞKS senaryoları 3 ana gruba ayrılmıştır.

- Trafik sıkışıklığı.
- Zorlu hava koşulları (örn. kar, yağmur veya sis).
- Kaza, çalışma bölgesi ve DHS.

Bu durumlardan bir veya birkaçı Trafik Kontrol Merkezi'ndeki operatörler tarafından gözlemlendiğinde Şekil 2'deki karar akış şeması takip edilmektedir. Kaza, trafik yoğunluğu veya zorlu hava koşullarından herhangi biri oluştuğunda sistem uygun senaryoyu etkinleştirerek trafikteki sürücüleri bilgilendirmektedir. Ayrıca, bu senaryolar hangi şerit veya şeritlerin bu duruma maruz kaldığı bilgisine göre değişmektedir.



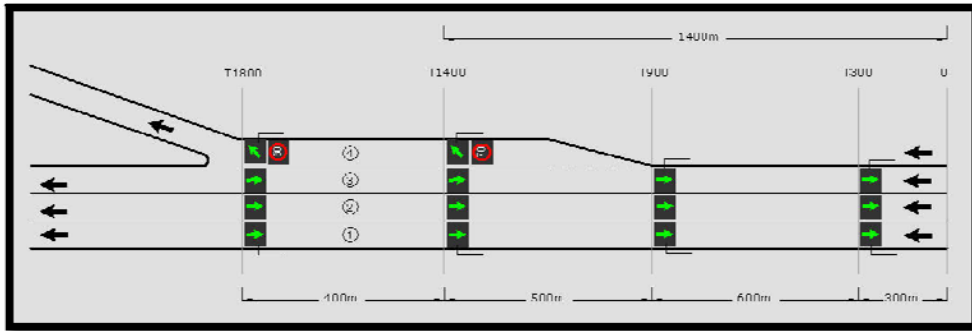
Şekil 2. İstanbul'da uygulanan ŞKS senaryoları [11].

3.2. İstanbul'da Uygulanan ŞKS Verileri ve Bileşenleri

Cep telefonlarıyla, trafik ve hava sensörleriyle yol hakkında elde edilen bilgiler uygun senaryolarla eşleştirilerek ilgili ŞKS uyarı işaretleri gösterilir. Trafik Kontrol Merkezi OKAUS (Otomatik Kaza Uyarı Sistemi) adı verilen ve video görüntülerini işleyerek kazaları tespit eden bir sisteme sahiptir. Fakat İstanbul'daki video görüntü işleyicisi çok az sayıda olduğu için sistem sadece tünellerde kullanılmaktadır.

Trafik Kontrol Merkezi'ndeki ŞKS operatörleri kameraları gözlemleyerek sahadaki görevlilerin, polisin ya da halkın telefonla yaptığı uyarıları değerlendirir. Ek olarak, gerçek zamanlı trafik ölçümlerindeki ani artış ve azalmalar operatörlerin sorunlu bölgelere trafik kameraları yardımıyla odaklanmasını sağlamaktadır. Operatör sorunu onayladığı zaman ŞKS aktif hale gelmektedir. Trafik Kontrol Merkezi ayrıca bağımız veya diğer asfalt sensörleriyle birlikte çalışabilen hava durumu sensörlerine sahiptirler. Bu sensörler asfaltın ıslaklık ve kuruluk durumu gibi yol koşullarını ve hava koşullarını kontrol ederek hava durumu hakkında bilgi verirler. Fakat bu sensörlerin bakım sorunu vardır. Hava sensörleri İstanbul'daki hava kirliliği sebebiyle kolayca zarar görebilmektedir. Bu faktörler sensörlerin yanlış sonuçlar vermesine yol açabilmektedir. Bu sorunla başa çıkmak için, operatörler bölgeleri kameralarla izlemekte veya Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne danışmaktadır.


ŞKS'nin düzgün çalışabilmesi için bazı unsurlara ihtiyaç duyulur. ŞKS yazılımı senaryolara dayanarak, elle veya otomatik olarak çalışmaktadır. ŞKS'de otomasyon mantığı bulunmaktadır, bu nedenle senaryo şemasından adımlar takip edilip bütün girdi ve çıktılar hiyerarşik olarak düzenlenmelidir. Ayrıca, benzer durumlarda aynı senaryoyu kullanmak için her bir senaryo adlandırılıp kayıt edilmelidir. Bu kayıtlara, her bir senaryo için ŞKS üzerindeki uyarı işaretleri, senaryonun adımları ve kim tarafından ne zaman tasarlandığı, operatöre iletilen sistem hataları kaydedilmelidir. Böylece, sistemin hiyerarşisi ve bütünleşmesi sağlanıp, ŞKS işaretlerinin değişiminin kontrolü için kurallar belirlenir. Ancak, belirlenen ŞKS senaryolarının verimliliği trafik benzetim yazılımları ile test edilmelidir. Elde edilen benzetim sonuçları değerlendirilerek bu uygulamadan daha çok yarar sağlanabilir.



Şekil 3. ŞKS'nin lokasyona göre adlandırılması [11].

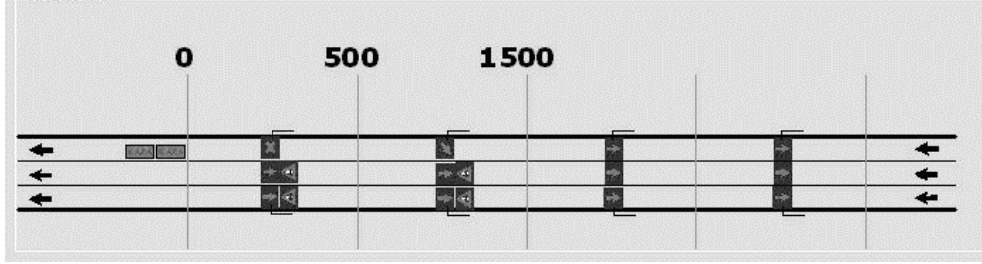
Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi

ŞKS ekranları otoyol üzerindeki geçitlere, üst geçitlere yerleştirilir. ŞKS’de gösterilen işaretler kullanımlarına göre çeşitlilik gösterir. İşaret grupları belirli kurallara göre adlandırılır. Bu ekranlar yerlerine ve trafiğin akış yönüne göre adlandırılır. Örneğin, Edirne’deki başlangıç noktasından 300 metre ilerdeki bir ekranın ismi T300B’dir (B: Batı) (Şekil 3). ŞKS şeritleri soldan sağa doğru adlandırılır. Örneğin ikinci şerit üzerindeki ŞKS T300B2 olarak adlandırılır.

İşaret grubundaki kodlar soldan başlar. Örneğin  şeklindeki işaret grubu (0.1.1) olarak gösterilir.

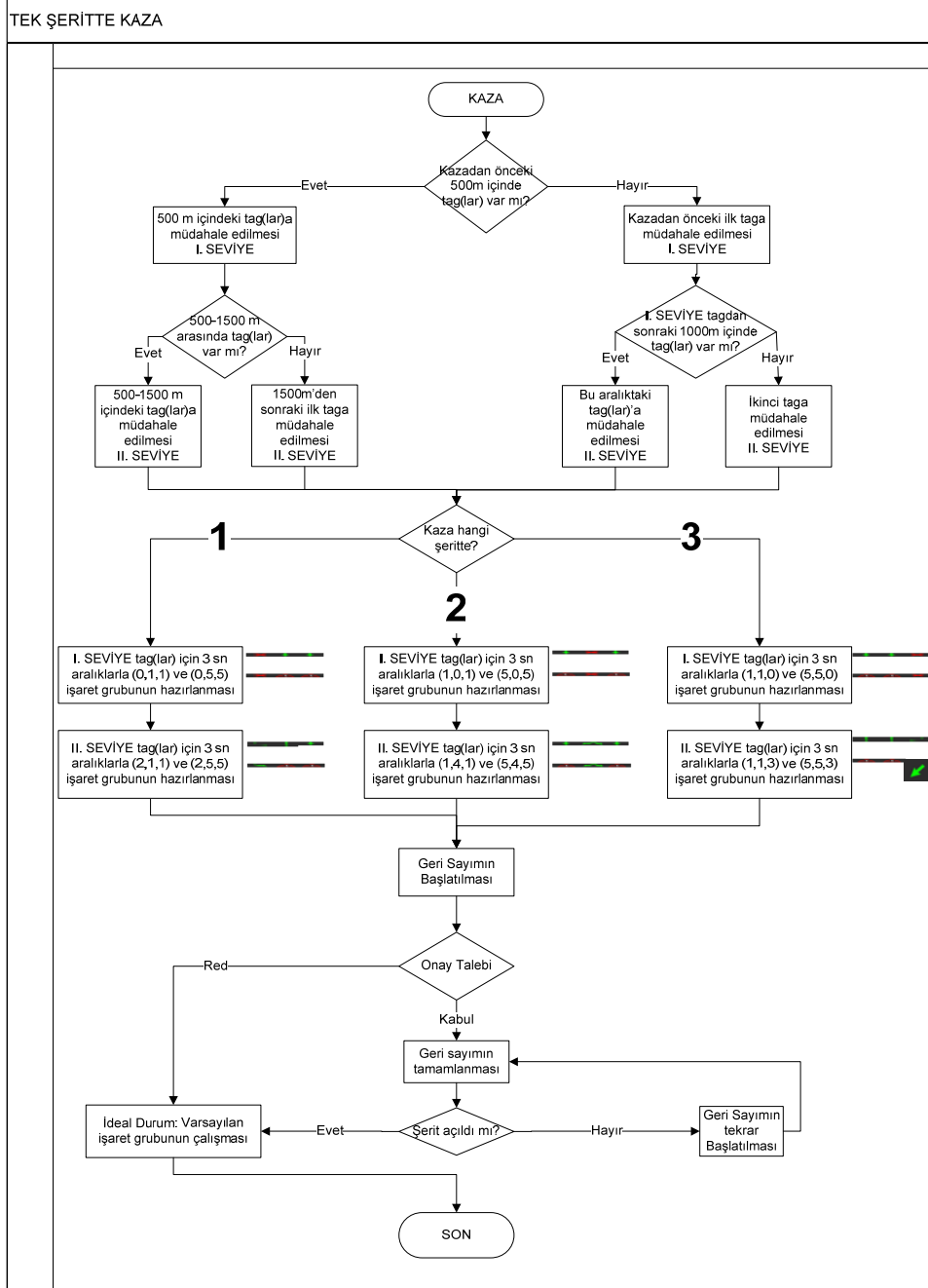
3.3. Tek Şeridin Kapandığı Kaza Senaryosu

Şekil 4’te tek şeridin kapandığı kaza senaryosu gösterilmiştir. Kaza (art arda iki dikdörtgen şekli ile gösterilmiştir) yolun 0 ile 500 metre mesafeleri arasında en sağdaki şeritte meydana gelmiştir. Tek şeridin kapandığı kaza durumundaki ŞKS adımları Şekil 5’teki akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 4. Tek şeridin kapandığı durumda ŞKS kontrolünün şeması [11].

Birinci adımda sistem kazaya 500 metre mesafe içerisinde ŞKS olup olmadığını kontrol eder. Sistem birinci adımda ŞKS bulsa da bulmasa da ikinci adımda kazaya 1500 metre mesafe içerisinde ŞKS olup olmadığını kontrol eder. Bu kontrollerden sonra sistem kapanan şeridi arar. Kapanan şerit belirlendikten sonra her seçenek için 3 senaryo oluşturulur. Bu seçenekler Şekil 5’de gösterilmektedir. Daha sonra operatörler, bölgenin kazanın etkilerinden temizlendiğini gözlemlediğinde, kontrolü sona erdirir. Sonunda ŞKS ekranı başlangıç durumuna döner. Örneğin, yolda ortalama yoğunlukta trafik olduğunda, kapalı şerit ve kötü hava koşulları yoksa ŞKS ekranı ideal durumu (yeşil ok) gösterir.



Şekil 5. Tek şeritte meydana gelen kazanın ŞKS akış şeması [11].

4. ŞKS'LERİN PARAMICS BENZETİMİ: D 100 KARAYOLU, İSTANBUL ÖRNEĞİ






Ulaşım planlaması ve trafik mühendisliği alanlarında kullanılan yaygın uygulamaların (örneğin; akıllı ulaşım sistemleri, yüksek işgaliyeli araç şeritleri, otoyol trafik yönetimi, vb.) modellenmesi için 90'lerden beri çok çeşitli mikroskobik benzetim araçları kullanılmaktadır. Bir şehrin ulaşım ağının mikroskobik benzetimi, şehrin ulaşım altyapısı ve ulaşım araçları arasındaki etkileşimi mikroskobik detay ile değerlendirebilme fırsatı sağlar.

Bir modelleme çalışmasında belirli bir benzetim aracının seçimi o projenin özelliklerine bağlıdır. PARAMICS iyi görselleri, yeterli raporlama seçenekleri ve analitik yetenekleri ile daha önce birçok çalışmada yararlı bir araç olduğu kanıtlanmış bir mikroskobik trafik benzetim yazılımıdır. PARAMICS, çeşitli senaryoların etkinliğinin ölçülmesi ve bunların sonuçlarının karşılaştırılması için çok sayıda raporlama seçenekleri sunmaktadır. Değişken hız limiti, yüksek işgaliyeli araç ücretlendirmesi, kaza-olay yönetimi gibi birçok uygulama PARAMICS'in araç trafiğini şerit/bağ tabanlı kısıtlayabilme özelliği ve kullanıcı tanımlı sürücü özellikleri kullanılarak kolay bir şekilde modellenebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada tek şeridin kapandığı kaza durumundaki ŞKS uygulaması, D100 Karayolu'nda bulunan test ağının kalibre edilmiş PARAMICS modeli kullanılarak test edilmiştir. Özellikle İstanbul ve Türkiye'deki sürücülerin davranışlarını temsil etmesini sağlamak amacıyla, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi'nden ŞKS'lerin uygulamaya koyulmadan önceki (Nisan 2009), uygulanmasından sonraki (Kasım 2009) ve uygulanmasından yaklaşık bir sene sonraki (Nisan 2010) verileri temin edilip senaryoların ayrı ayrı kalibrasyonları yapılmıştır.

PARAMICS model kalibrasyonu değişkenleri arasında genel maliyet katsayısı, geribildirim periyodu, sürücüler tarafından algılanan yolculuk maliyetinin rastlantısalılığı, sürücü karakteristikleri, araçlar arasındaki ortalama süre mesafesi, sürücü tepki süresi ve araçlar arası süre mesafesi yer almaktadır. Bu parametreler PARAMICS el kitabında listelenmiştir (PARAMICS Kullanım Kılavuzu, 2011). Bu çalışmadaki modelin genel davranışı, araçlar arası ortalama süre mesafesinin (a) ve ortalama sürücü tepki süresinin (b) ayarlanmasıyla kalibre edilmiştir. Araçlar arası ortalama süre mesafesi, sistemdeki bir araçla onu izleyen araç arasındaki zamansal mesafenin ortalama miktarıdır ve saniyeyle ölçülür. Ortalama sürücü tepki süresi, öndeki aracın hızının değişmesiyle takip eden aracın tepki vermesi arasında geçen zamandır ve saniyeyle ölçülür (PARAMICS Kullanım Kılavuzu, 2016).

D100 Karayolu'nun Avrupa yakasındaki kısmında bulunan 10 km uzunluğundaki yol ağında 7 tane ŞKS ekranı bulunmaktadır. ŞKS'ler arasındaki mesafe D100 Karayolu boyunca oldukça gelişigüzedir. Ayrıca, D 100 Karayolu boyunca sürekli değişen şerit sayısı ve birçok birleşme ve dağılma bölgeleri bulunmaktadır. Yoldaki geometrik değişimler ŞKS uygulamasının tüm etkilerini gözlemlemeyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma için ŞKS'lerin işleyişi yol ağının trafik akışının bu tip değişimlerle etkilenmediği şehrin Avrupa yakasındaki son (Mecidiyeköy girişi) kısmında değerlendirilmiştir.

Çalışma ağı Şekil 6'da görüldüğü üzere Çağlayan Köprülü Kavşağı'ndan başlayıp Mecidiyeköy girişinden önce sona ermektedir. 2.5 kilometre uzunluğundaki çalışma ağındaki şerit sayısı 3 adettir. Şekil 6'da tek şeridin kapanmasına neden olan kazanın yeri,

Tek şeridin kapatıldığı kaza senaryosu durumunda kazaya en yakın ŞKS ekranı şöyle görünmektedir: . En yakın ikinci ŞKS ekranı ise şöyle görünmektedir: . Bu çalışmada 3 farklı ŞKS ikonu kullanılmıştır. Aşağıyı gösteren yeşil bir ok  şeridin trafik akışına açık olduğunu göstermektedir. Kırmızı bir çarpı  şeridin çift yönlü trafik akışına kapatıldığını göstermektedir. Çapraz yeşil bir ok  ise şeridin ilerde kapatıldığını ve işaret edilen yöne doğru trafiğin birleşeceğini göstermektedir.

Sürücülerin uyum oranı ŞKS'lerin test edilen trafik talebinde etkisinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Jha ve diğ. [12] 1999 yılında Merkezi Hat Tüneli projesinde en iyi sonuçları kırmızı çarpı işareti için %100, şerit değişimi için %80 uyum oranı kullanarak yakalamıştır.

Yüzde 100 uyum oranı durumunda bütün sürücüler kırmızı çarpı işaretinde durmakta ve uygun boşluk bulup şerit değişimi yapmaktadırlar. Yüzde 80 uyum oranında ise sürücülerin %20'si (uyumsuz sürücüler) kaza yerine ulaştıktan sonra şerit değiştirmektedirler. Schaefer ve diğ. (1998) ŞKS'yi test ederken kırmızı çarpı ve şerit değişimi işareti için %70 ve %30'luk uyum oranları kullanarak en iyi başarımlar ölçtülerini sağlamıştır.

Trafik talebi kapasitenin üstünde olduğu durumlarda kazanın etkisi açık bir şekilde incelenememektedir. Schaefer ve diğ. (1998) bir kazadan sonra uzun kuyrukların oluştuğu durumda, trafik benzetiminin sonuçlarının geçerliliğini yitirdiğini göstermişlerdir. Bu nedenle, ŞKS ekranları bu çalışmada yolun kapasitesinin altında trafik talep seviyelerinde test edilmiştir.

5. BENZETİM SONUÇLARI

Bu çalışmada, seçilen yol ağında 3 şeritten birinin kapanmasına sebep olan kaza durumunda ŞKS'lerin işleyişi kapasitenin altında üç ayrı trafik talebinde:

1. Kaza, ŞKS ve DHS'nin olmadığı,
2. Kazanın olduğu, ancak ŞKS ve DHS'nin olmadığı,
3. Kazanın yakınındaki ŞKS'de (ŞKS2) %100 ve %80, diğer ŞKS'de (ŞKS1) %30 ve %70 uyum seviyelerinin olduğu,
4. İki ŞKS arasındaki mesafelerin 558 m, 647 m, 703 m, 913 m, 1123 m olduğu 5 durum,
5. ŞKS ve DHS ayrı ayrı ve birlikte uygulandığı durumlar

olmak üzere 141 senaryo ile test edilmiştir. Bütün benzetimler her senaryo için 3 farklı seed değeri (mikroskobik benzetimi model değişkeni) ile test edilmiş ve sonuçların ortalamaları bu kısımda sunulmuştur. Benzetim süresi bir saattir. Yol ağının saatlik araç verilerinin %60 (1. Trafik talebi), %70 (2. Trafik talebi) ve %90'ı (3. Trafik talebi) kullanılarak senaryolar için üç trafik talebi oluşturulmuştur.

Değerlendirmede kırmızı çarpı işareti ve şerit değişimi işareti için iki farklı sürücü uyum oranı kullanılmıştır. Yüzde 100'lük uyum tüm sürücülerin trafik kurallarına uyduğu mükemmel bir dünyayı temsil ederken, yüzde 30, 70 ve 80 oranları daha gerçekçi senaryoları temsil etmektedir. Uyumlu bir sürücü şeridin ilerde kapandığı mesajını

gördüğünde şerit değiştirmek için uygun boşluk aramakta ve kırmızı çarpı işaretini gördüğünde şeridini değiştirmektedir. Uyumsuz sürücü ise ŞKS uyarısını yok sayarak kazayı görene kadar şerit değiştirmemektedir.

PARAMICS'teki şerit kısıtlamaları seçeneği şerit kapatmalarda ve araçları şerit değiştirmeye zorlamada kullanılmıştır. Her bir senaryo için kaza anından kazanın temizlendiği ana kadar geçen süre 20 dakika olarak belirlenmiştir. Benzetimin zaman çizelgesi şöyledir:

00:00:00 Benzetim başlar.

00:15:17 Kaza olur.

00:20:00 ŞKS uyarısı başlar.

00:35:17 Şeridin tekrar trafiğe açılması (kazaya karışan araçların yoldan çekilmesi).

00:40:00 ŞKS uyarısı sona erer.

01:00:00 Benzetim sona erer.

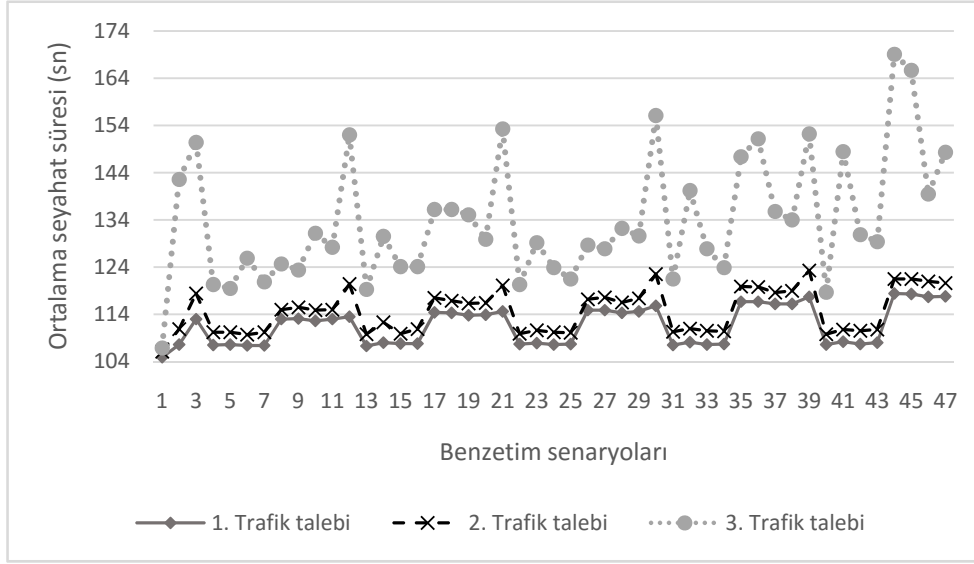
İncelenen 141 benzetim senaryosunun bir kısmı Tablo 1'de verilmiştir. 1. senaryo yol ağında kaza, ŞKS ve DHS'nin olmadığı, 2. senaryo kazanın olduğu ancak herhangi bir ŞKS ve DHS uygulamasının bulunmadığı durumdur. 3. ve 11. senaryo arasındaki 9 adet senaryo, 3 trafik talebi seviyesi ve 5 farklı ŞKS konumu için tekrar edilmiştir. Farklı sürücü uyum oranları ve DHS uygulamaları bu 9 senaryoyu belirlemektedir. Bu senaryolarda kazaya 552m mesafede bulunan ŞKS2'nin yeri sabit tutulup, ŞKS1'in yeri değiştirilmiştir. Kırmızı çarpı görüntüsü kazaya en yakın ŞKS'de (ŞKS2) kullanılmaktadır. 4, 5, 8 ve 9. senaryolarda kırmızı çarpı işaretine %100 sürücü uyum oranı, 6, 7, 10 ve 11. senaryolarda ise %80 uyum oranı kullanılmıştır. Kazaya doğru akan trafik yönünde en yakın ikinci ŞKS (ŞKS1) ekranında şerit değişimi sinyali kullanılmaktadır. ŞKS1'in işaretlerine sürücüler, 4, 6, 8 ve 10. senaryolarda %30, 5, 7, 9 ve 11. senaryolarda %70 oranında uyum sağlamıştır. DHS 3. senaryoda tek başına, 8, 9, 10 ve 11. senaryolarda ŞKS ile birlikte uygulanmıştır.

Tablo 1. Benzetim senaryoları

No	Kaza	ŞKS	DHS	ŞKS1 Uyumu (%)	ŞKS2 Uyumu (%)	ŞKS1 Yeri (Nokta)	ŞKS2 Yeri (Nokta)	ŞKSler Arası Mesafe (m)	ŞKS1 Üzerinde DHS (km/s)	ŞKS2 Üzerinde DHS (km/s)
1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
2	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
3	1	0	1	-	-	341	115	558	70	50
4	1	1	0	30	100	341	115	558	-	-
5	1	1	0	70	100	341	115	558	-	-
6	1	1	0	30	80	341	115	558	-	-
7	1	1	0	70	80	341	115	558	-	-
8	1	1	1	30	100	341	115	558	70	50
9	1	1	1	70	100	341	115	558	70	50
10	1	1	1	30	80	341	115	558	70	50
11	1	1	1	70	80	341	115	558	70	50

Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi

Test edilen her trafik talebinde, DHS'nin tek başına uygulandığı tüm senaryolarda ŞKS'ler arasındaki uzaklık arttıkça seyahat süresinin de arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 8 ve 9). Bu uzaklık arttıkça hızlı araçların önlerindeki daha yavaş araçlar arkasında daha uzun mesafeler yol alması, şerit değiştirme potansiyellerinin artması, dolayısıyla ortalama seyahat süresinin artmasına neden olarak gösterilebilir. DHS'nin diğer trafik kontrol yöntemleri ile beraber (örneğin katılım yönetimi) uygulanması yol ağının durumunu iyileştirebilir. Ancak, bu iyileştirme birçok unsura bağlıdır. Örneğin, yüksek trafik hacminin olduğu durumlarda DHS uygulaması trafik sıkışıklığını azaltmak yerine sadece trafiğin sıkışma zamanını ileriye öteleyebilir [13, 14, 15]. Aynı şekilde, bu durum Şekil 8'de görülmektedir. En yüksek trafik talebinde (3. Trafik talebi) ortalama seyahat süresi diğer iki trafik talebine göre daha fazla artmıştır.

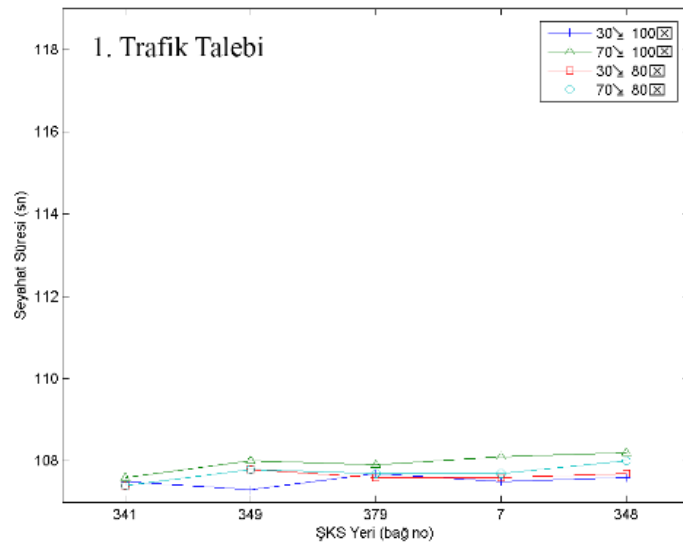


Şekil 8. Benzetim senaryolarının ortalama seyahat süreleri.

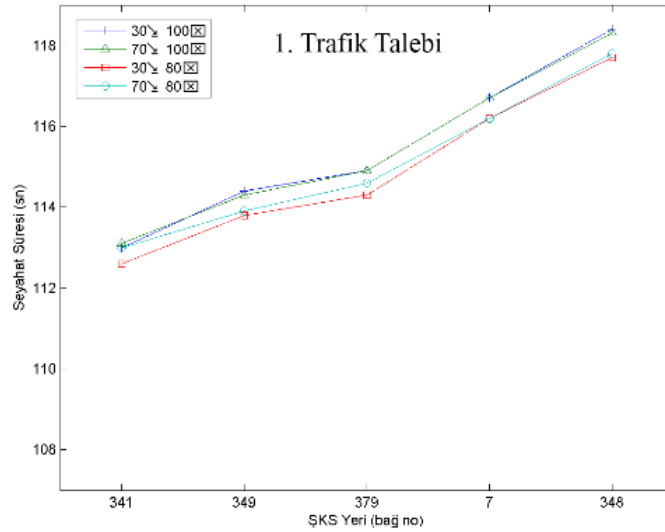
Şekil 9'da test edilen tüm trafik talebi seviyeleri için ŞKS'nin tek başına ve DHS ile birlikte uygulandığı 120 senaryonun farklı ŞKS konumları için karşılaştırılması gösterilmektedir. ŞKS gibi uyarı mesajlarının uygun sayı ve konumları yolun geometrisi, araçların kaza bölgesine yaklaşım hızları gibi birçok unsur ile ilişkilidir [16, 17]. Uyarı işaretlerinin olmaması durumunda sürücüler yavaşlamaya daha geç başlayıp, hızlarını daha uzun bir mesafede düşürürler [18]. Daha önce uyarı işaretlerinin konumları ile ilgili yapılan çalışmalarda işaretler arasındaki mesafe ile sürücülerin uyumlarının ters orantılı olduğu anlaşılmıştır. Bu konuda yapılan anketler sonucunda, sürücülerin işaretler arasındaki uzaklık arttıkça yavaşlamak için bir neden görmeyip, bu işaretlerin yararını sorguladıkları ve güvenilirliğinden şüphe ettiklerini ortaya çıkmıştır [19]. Literatürdeki benzetim çalışmalarında erken uyarı işaretlerinin araçların kazanın hemen öncesindeki şerit değiştirme sıklığını azalttığı, yüksek trafik talebinin olduğu durumlarda ise ortalama seyahat sürelerini arttırdığı sonucu elde edilmiştir [20, 21, 22]. Artan seyahat süreleri de

sürücülerin kaza öncesindeki şerit kapama uyarısına uyum oranlarını kötü yönde etkilemiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da (Şekil 9a, c, e), test edilen senaryolarda ŞKS'lerin arasındaki uzaklık arttıkça şerit değiştirme işaretine daha az sürücü uyumunun olduğu durumlarda ortalama seyahat süreleri azalmıştır. Ayrıca, trafik talebi seviyesi arttıkça bu durum daha açık bir şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 9e).

ŞKS ile DHS'nin beraber uygulandığı (Şekil 9b, d, f) özellikle trafik talebinin az olduğu senaryolarda ortalama seyahat sürelerinde bir iyileşme sağlanamamıştır. Bu senaryolar, en yüksek trafik talebi seviyesinde ortalama seyahat süresinde, kazanın olduğu duruma göre iyileşme sağlayabilmiştir.

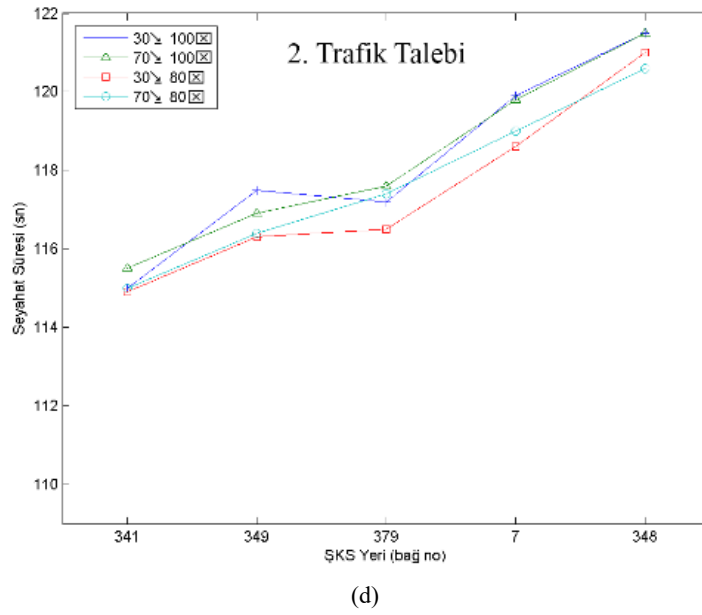
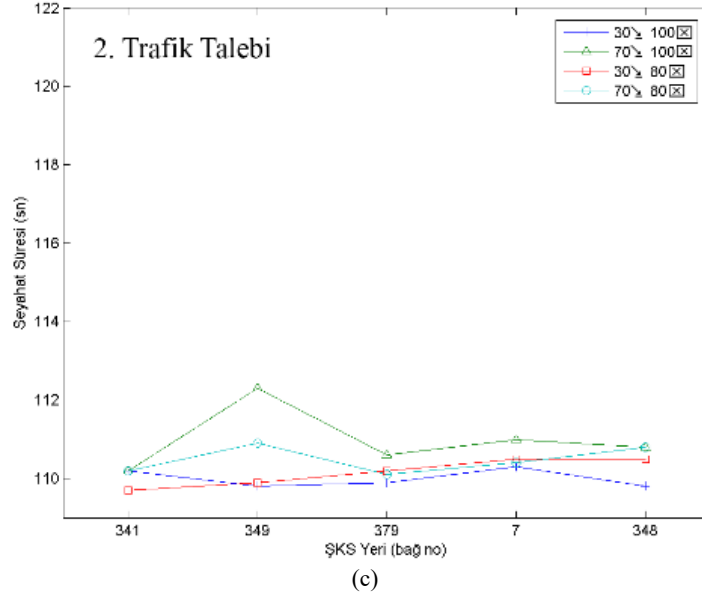


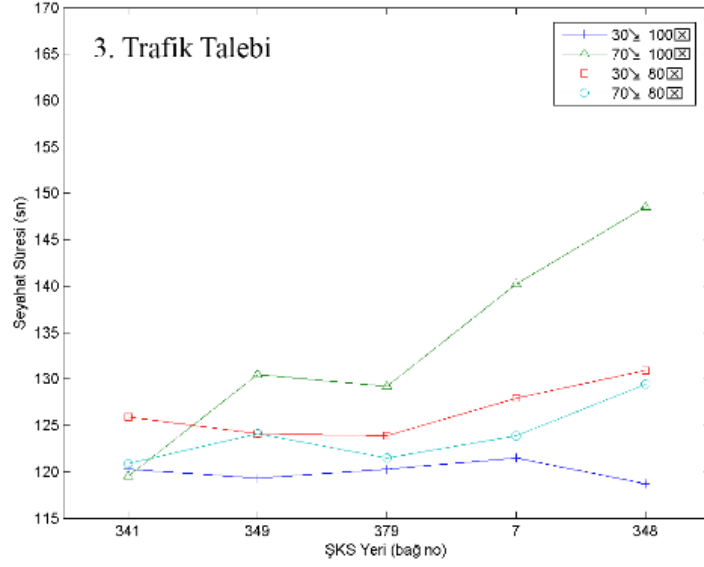
(a)



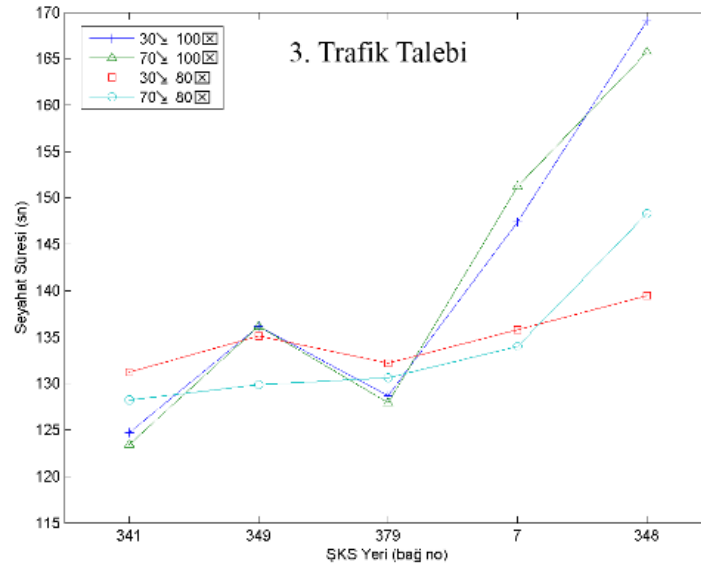
(b)

Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi





(e)

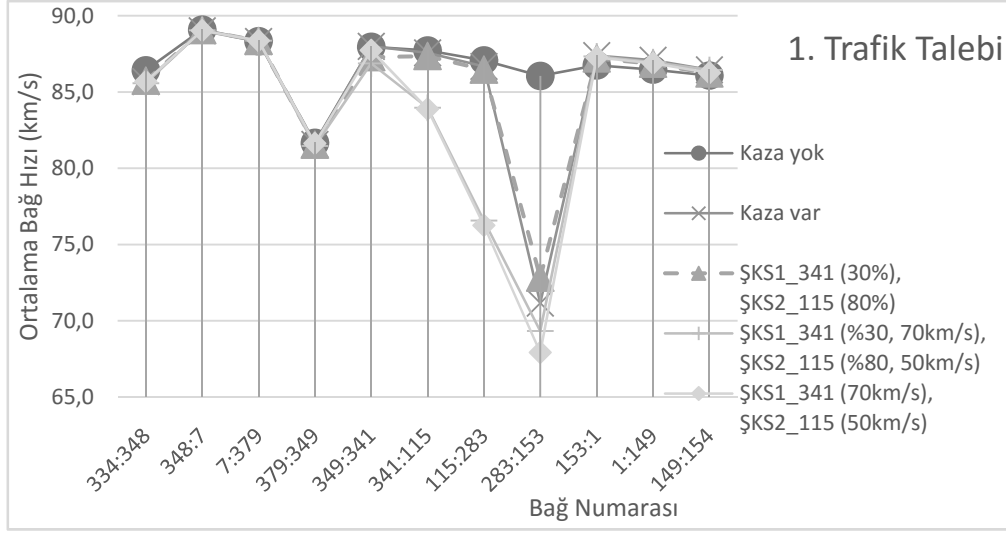


(f)

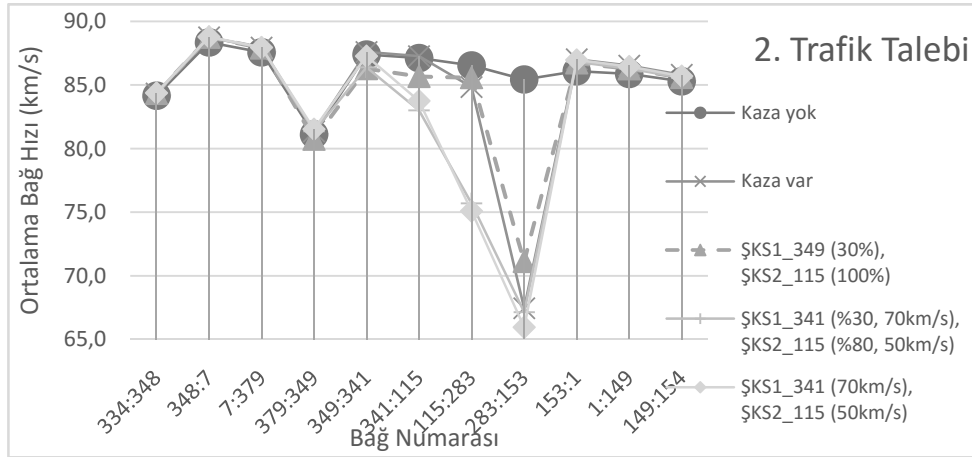
Şekil 9. Tüm trafik talep seviyeleri için sadece ŞKS (a,c,e) ve ŞKS+DHS (b,d,f) uygulamalarının ŞKS konumlarına göre ortalama seyahat süreleri (sn)

Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi

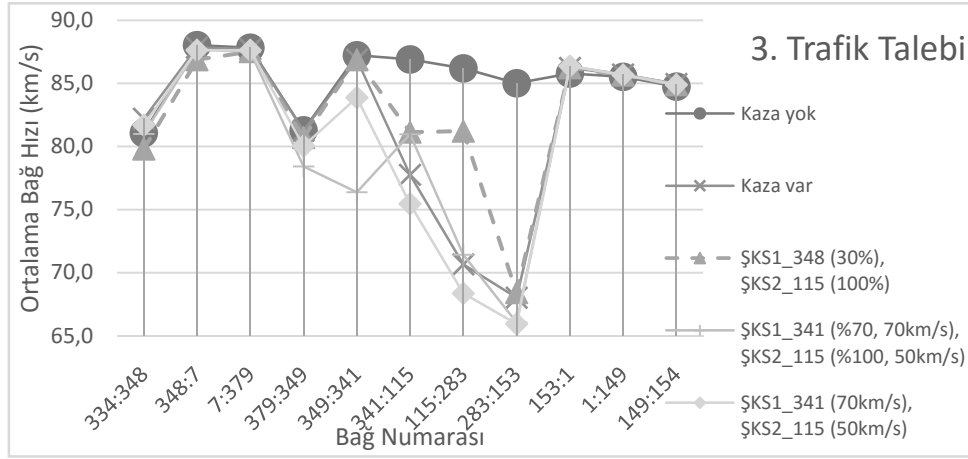
Tüm sonuçlar, kazanın olduğu ancak herhangi bir ŞKS ya da DHS uygulamasının olmadığı senaryonun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Test edilen 141 senaryonun sonuçlarına göre her bir trafik talebi seviyesi için en iyi ŞKS, en iyi DHS ve en iyi birlikte uygulanan ŞKS ve DHS uygulaması seçilip Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de yol ağındaki her bir bağ üzerindeki ortalama hızları karşılaştırılmıştır. Tüm trafik talebi seviyeleri için farklı sürücü uyum ve ŞKS konum birleşimleri arasında tek başına ŞKS uygulama senaryoları en başarılı ölçütleri sağlamıştır.



Şekil 10. 1. Trafik talebinde en iyi ŞKS, ŞKS+DHS, DHS senaryolarının ortalama bağ hızları.



Şekil 11. 2. Trafik talebinde en iyi ŞKS, ŞKS+DHS, DHS senaryolarının ortalama bağ hızları (Şekil 11).



Şekil 12. 3. Trafik talebinde en iyi ŞKS, ŞKS+ DHS, DHS senaryolarının ortalama bağ hızları

Birinci trafik talebinde en iyi senaryoda ŞKS1'in kazaya uzaklığı 1110m'dir. ŞKS1 ile ŞKS2 arasında 558m bulunmaktadır. Bu senaryoda kullanılan sürücü uyumları ŞKS1 için %30, ŞKS2 için ise %80'dir (Şekil 10).

İkinci trafik talebinde en iyi senaryoda ŞKS1'in kazaya uzaklığı 1199m'dir. ŞKS1 ile ŞKS2 arasında 647m bulunmaktadır. ŞKS1'e %30, ŞKS2'ye %100 sürücü uyumunun olduğu bu senaryoda diğer senaryolara göre daha iyi başarımlar sağlanmıştır (Şekil 11).

Üçüncü trafik talebinde en iyi senaryoda ŞKS1'in kazaya uzaklığı 1675m'dir. ŞKS1 ile ŞKS2 arasında 1123m bulunmaktadır. Ayrıca, ŞKS1'e %30, ŞKS2'ye %100 sürücü uyumunun olduğu bu senaryoda diğer senaryolara göre daha iyi başarımlar sağlanmıştır (Şekil 12).

Kaza 283 ve 153 numaralı noktalar arasındaki bağda gerçekleşmektedir. Üç trafik talebi seviyesinde, üç uygulama kaza öncesindeki bağ hızlarını yaklaşık olarak aynı seviyede tutmuştur (Şekil 10-12). Ancak kazanın gerçekleştiği bağ ve hemen öncesinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Daha önce DHS uygulamasının neden olduğu gecikmelerle de açıklanabileceği gibi özellikle birinci ve ikinci trafik talebi seviyesinde kazanın hemen öncesinde (bağ 115-283) ortalama bağ hızı, ŞKS ve DHS'nin beraber uygulandığı ve sadece DHS'nin uygulandığı durumda yaklaşık %11 azalmıştır. Diğer bir taraftan, birinci ve ikinci trafik talebi seviyesinde sadece ŞKS uygulaması ile kazanın hemen öncesinde ortalama hız yaklaşık %1 azalırken, kazanın hemen sonrasındaki bağda (153-1) ortalama hız ikinci trafik talebi seviyesinde %5 artmıştır. Üçüncü trafik talebi seviyesinde üç uygulamada daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Örneğin, sadece ŞKS'nin uygulandığı senaryo kazanın hemen öncesindeki bağda ortalama hızı %15 arttırmıştır. ŞKS ve DHS'nin beraber uygulandığı senaryoda ise kazanın hemen öncesindeki bağda ortalama hız yaklaşık %3 artmıştır. Ancak DHS'nin tek başına uygulanması durumunda ortalama bağ hızları, kazanın hemen öncesinde ve sonrasında %3 azalırken diğer bağlarda yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi

Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te 141 senaryo arasında her bir trafik talebi seviyesi için en iyi ŞKS, en iyi DHS ve en iyi ŞKS ve DHS uygulamalarının tüm yol ağı boyunca ortalama seyahat hızları ve ortalama seyahat süreleri karşılaştırılmıştır.

Trafik talebinin düşük seviyelerinde (Tablo 2 ve Tablo 3), tek başına ŞKS ve tek başına DHS uygulamaları ve iki kontrolün birlikte kullanıldığı tüm senaryolarda ortalama seyahat hızı ve süresinde iyileşme sağlanamamıştır. Ancak test edilen en yüksek trafik talebi seviyesinde (Tablo 4) ŞKS'nin tek başına ve DHS ile birlikte uygulanması kaza durumuna göre iyileşmeler sağlamıştır. Kazanın olduğu durum ile karşılaştırıldığında ŞKS'nin tek başına uygulandığı senaryo ortalama seyahat süresini %16,76 azaltırken, ortalama seyahat hızını %20,19 arttırmıştır. ŞKS ve DHS'nin birlikte uygulandığı senaryo ile ortalama seyahat süresini %13,46 azaltıp, ortalama hızı %15,49 arttırmıştır.

Tablo 2. 1. Trafik talep seviyesi için en iyi ŞKS, ŞKS+DHS, DHS senaryolarının ortalama seyahat süreleri ve ortalama hızları

1. Trafik talebi	Ortalama seyahat süresi (sn)	%	Ortalama hız (km/s)	%
Kaza yok, ŞKS ve DHS yok	104,9		86,8	
Kaza var, ŞKS ve DHS yok	107,6	-	84,7	-
ŞKS1_341 (%30),ŞKS2_115 (%80)	107,4	-0,19%	84,8	0,12%
ŞKS1_341 (%30, 70km/s),ŞKS2_115 (%80, 50km/s)	112,6	4,65%	80,9	-4,49%
ŞKS1_341 (70km/s),ŞKS2_115 (50km/s)	113	5,02%	80,6	-4,84%

Tablo 3. 2. Trafik talep seviyesi için en iyi ŞKS, ŞKS+DHS, DHS senaryolarının ortalama seyahat süreleri ve ortalama hızları

2. Trafik talebi	Ortalama seyahat süresi (sn)	%	Ortalama hız (km/s)	%
Kaza yok	106,1		85,9	
Kaza var	110,9	-	82,2	-
ŞKS1_349 (%30),ŞKS2_115 (%100)	109,8	-0,99%	83	0,97%
ŞKS1_341 (%30, 70km/s),ŞKS2_115 (%80, 50km/s)	114,9	3,61%	79,3	-3,53%
ŞKS1_341 (70km/s),ŞKS2_115 (50km/s)	118,4	6,76%	76,9	-6,45%

Tablo 4. 3. Trafik talep seviyesi için en iyi ŞKS, ŞKS+DHS, DHS senaryolarının ortalama seyahat süreleri ve ortalama hızları

1. Trafik talebi	Ortalama seyahat süresi (sn)	%	Ortalama hız (km/s)	%
Kaza yok	106,9		85,2	
Kaza var	142,6	-	63,9	-
ŞKS1_348 (%30),ŞKS2_115 (%100)	118,7	-16,76%	76,8	20,19%
ŞKS1_341 (%70, 70km/s),ŞKS2_115 (%100, 50km/s)	123,4	-13,46%	73,8	15,49%
ŞKS1_341 (70km/s),ŞKS2_115 (50km/s)	150,4	5,47%	60,6	-5,16%

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında ŞKS ve DHS uygulamaları, İstanbul'da D100 Karayolu'nun seçilen bir kısmında bir şeridin bir süre kaza nedeniyle kapanması durumunda test edilmiştir. Kaza olmadan ve kaza durumunda ŞKS ve DHS uygulamalarının olmadığı temel senaryolar dâhil olmak üzere toplamda 141 senaryo değerlendirildi. Bu senaryolarda farklı ŞKS konumları, trafik talepleri ve sürücü uyumları kullanılmıştır.

Özet olarak, bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ŞKS ve DHS'nin değerlendirilmesinde mikroskobik benzetim etkin bir araç olarak yarar sağlamıştır.
- Tüm senaryoların benzetim modellerinde, ŞKS kullanımının erken uyarı sayesinde düzenli şerit değişimini sağladığı, yüksek uyum oranlarında ise şerit kapasitelerinin tam olarak kullanılamamasına neden olduğu gözlemlenmiştir.
- Benzetim modelinin başarımlar ölçütlerinin değerlendirilmesi sonucunda sürücülerin ŞKS'nin şerit değiştirme işaretine az oranda uyumu ile trafiğin akışının iyi yönde etkilendiği anlaşılmıştır.
- Ancak, trafik talep seviyesi arttıkça, kazaya yakın konumda bulunan ŞKS'ye uyumun 100% olduğu durumlar ortalama seyahat sürelerini ve hızlarını iyileştirmiştir.
- Test edilen tüm senaryoların başarımlar ölçütleri, kazanın olduğu duruma göre karşılaştırıldığında, yüksek trafik talep seviyesinde daha fazla iyileştirme sağlanmıştır.
- Test edilen senaryolar içerisinde, mevcut trafik talebinin %90'ında ŞKS'nin tek başına uygulandığı ve ŞKS'ler arasındaki mesafenin 1123m olduğu, kazaya yakın ŞKS'ye %100, diğer ŞKS'ye %30 uyumun olduğu senaryo en başarılı sonucu sağlamıştır. Bu senaryo kazanın olduğu duruma göre ortalama seyahat süresini %16,76 azaltırken, ortalama seyahat hızını %2,19 arttırmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, özellikle ülkemizdeki ŞKS uygulamasının potansiyel etkinliğinin daha iyi anlaşılabilmesi için önemli bir yere sahip olacağı düşünülmektedir.

Teşekkürler

Bu araştırma, Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (**Proje No: 09A401P**) fonu tarafından desteklenmiştir. Proje süresince her türlü trafik verisini sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Müdürlüğü ve İSBAK A.Ş. Trafik Bölümüne teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1] Collier, T., Goodin, G., Managed Lanes:A Cross-Cutting Study, HWA-HOP-05-037, Federal Highway Administration (FHWA), Washington, DC., ABD, 2004
- [2] Department of Transport and Main Roads, Traffic and Road Use Management Manual (TRUM), Queensland, Avustralya, 2013
- [3] Coleman, J. A., Paniati, J. F., Cotton, R. D., Parker Jr, M. R., Covey, R., Pena Jr, H., Graham, D., Robinson, M. L., McCauley, J., Taylor, W. C., Morford, G., FHWA Study Tour for Speed Management and Enforcement Technology, özet raporu, Federal Highway Administration (FHWA), Washington, DC., ABD, 1995
- [4] Richard, T., Jaisung, C., Evaluation of pictograms in dynamic lane control systems in the Republic of Korea, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 9, 2, 56-61, 2009
- [5] Smulders, S., Control of freeway traffic flow by variable speed signs, Transportation Research Part B: Methodological, 24, 2, 111-132, 1990
- [6] Van den Hoogen, E., Smulders, S. Control by variable speed signs: Results of the Dutch experiment, Seventh International Conference on 'Road Traffic Monitoring and Control', Londra, İngiltere, 1994
- [7] Carlson, G. C., Lari, A. Z., Evaluation of the Use of Downward Yellow Arrows in the I-94 Lane Control Signal System, Minnesota Department of Transportation, Minnesota, ABD, 1982
- [8] Schaefer, L., Upchurch, J., Ashur, S. A., An evaluation of freeway lane control signing using computer simulation, Mathematical and computer modelling, 27, 9, 177-187, 1998
- [9] Ben-Akiva, M., Cuneo, D., Hasan, M., Jha, M., Yang, Q. Evaluation of freeway control using a microscopic simulation laboratory, Transportation research Part C: emerging technologies, 11, 1, 29-50, 2003
- [10] Lin, P. W., Kang, K. P., Chang, G. L., Exploring the effectiveness of variable speed limit controls on highway work-zone operations, Intelligent transportation systems, 8, 3, 155-168, 2004

- [11] İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş., Şerit yönetim sistemi senaryo ve analiz çalışmaları, 2009
- [12] Jha, M., Cuneo, D., Ben-Akiva, M. Evaluation of freeway lane control for incident management, *Journal of transportation engineering*, 125, 6, 495-501, 1999
- [13] Neudorff, L. G., Randall, J. E., Reiss, R., Gordon, R, *Freeway Management and Operations Handbook*, Sonuç raporu, FHWA-OP-04-003, Federal Highway Administration (FHWA), Washington, DC., ABD, 2003
- [14] Ullman, G.L., Parma, K.D., Peoples, M. D., Trout, N.D., Tallamraju, S.S., *Visibility, spacing, and operation of freeway lane control signals*, Araştırma raporu, FHWA/TX-97/1498-3F, Texas Department of Transportation, Texas, ABD, 1996.
- [15] Zhicai J., Xiaoxiong, Z., Hongwei Y., *Simulation research and implemented effect analysis of variable speed limits on freeway*, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Washington D.C., USA, Ekim 3-6, 2004.
- [16] Pesti, G., Wiles, P., Cheu, R.L., Songchitruksa, P., Shelton, J., Cooner, S., *Traffic control strategies for congested freeways and work zones*, FHWA/TX-08/0-5326-2, Ekim 2008.
- [17] Kathmann, T. *Assessment of the Effectiveness of Active Speed Warning Signs – Use of Inductive Loop Data or Empirical Data?*, Proceedings of International Conference: Traffic Safety on Three Continents, Moscow, 2001.
- [18] Pesti, G. *Alternative Way of Using Speed Trailers: Evaluation of the D-25 Speed Advisory Sign System*, Compendium of Papers CD-ROM, Paper 05-2735, 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 9-13, 2005.
- [19] McCoy, P.T., and G. Pesti. *Effectiveness of Condition-Responsive Advisory Speed Messages in Rural Freeway Work Zones*, Transportation Research Record, No. 1794, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2002, pp. 11-18.
- [20] Mousa, R.M., N.M. Roupail, and F. Azadivar. “Integrating Microscopic Simulation and Optimization: Application to Freeway Work Zone Traffic Control.” *Transportation Research Record*, No. 1254, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1990.
- [21] Nemeth Z.A., and N.M. Roupail. “Lane Closures at Freeway Work Zones: Simulation Study.” *Transportation Research Record*, No. 869, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1982.
- [22] McCoy, P.T., G. Pesti, and P. Byrd. *Alternative Driver Information to Alleviate Work-Zone-Related Delays*. Final Report. NDOR SPR-PL-1(35)P513. Transportation Research Studies, Şubat 1999.
- [23] PARAMICS Kullanım kılavuzu.

