

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

İlgin GÖKAŞAR*
Ömer Faruk AYDIN**

ÖZ

Artan trafik sıkışıklığı dünya çapında büyük şehirlerde kaçınılmaz bir durumdur. Bu çalışmanın amacı, Fatih Sultan Mehmet (FSM) Köprüsü'nün 2012 yılındaki bakım çalışmaları sırasında uygulanan trafik yönetim stratejilerini değerlendirmektir. Bu amaçla, çalışma bölgesindeki trafik değişkenleri ve zirve saatleri, ücret politikasının ve gişe sayısının trafiğe etkisi, araç sınıfları, alternatif yollardaki trafik ve kaza sayılarındaki değişimler çözümlenmiştir. Bulunan sonuçlara göre; bakım çalışmalarıyla araçların ortalama hızı %40 azalırken, önlemlerin alınmasıyla birlikte %58 artış göstermiştir. Bakım çalışmalarının ilk zamanlarında hızlar günde 14 saat 20 km/sa'nın altında devam ederken, alınan önlemlerden sonra sadece 2 saat 20 km/sa'nın altında ilerlemiştir. Gişe ve FSM köprüsünde oluşan kaza sayısı da alınan önlemlerle bakım çalışmalarından sonra %80'e varan oranda azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çalışma alanları, trafik yönetim stratejileri, trafik detektörleri, trafik akış çözümlenmesi.

ABSTRACT

Evaluation of Traffic Management Strategies Implemented During the FSM Bridge Maintenance

Rising traffic congestion is an inescapable condition in large metropolitan areas across the world. The goal of this study is to evaluate the traffic management strategies implemented during the maintenance of the FSM Bridge in 2012. To this end, the analysis of traffic parameters and peak-hours of the study area, the effect of the number of toll booths and toll policies on the traffic, the changes in vehicle classes, traffic flow on the alternative routes and the number of incidents are performed. It is demonstrated that while average speeds are decreased by 40% due to work zone, average speeds are increased by 58% after the implementation of the management strategies. While at the first stage of the maintenance constructions, vehicles traveled 14 hours a day at speeds below 20 km/h; the time spent at this speed is reduced to only 2 hours a day after the implementation of work zone

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 08.02.2013 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2014 gününe kadar tartışmaya açıktır.

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

** Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - farukaydin21@gmail.com

management strategies. After the construction with the implemented measures, the number of accidents at toll booths and on the FSM Bridge is decreased by nearly 80%.

Keywords: Work zones, traffic management strategies, traffic detectors, traffic flow analysis.

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan dünyada nüfus ve taşıt sayısının hızla artmasıyla birlikte trafik büyük kentlerin en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, İstanbul'daki motorlu araç sayısı yılda ortalama %14 civarında artmaktadır [1]. Trafik; ulusal kaynakların tüketimine, zaman kaybına, yakıt israfına, verimliliğin düşmesine ve insanların psikolojik yorgunluğuna neden olmaktadır. Bir çalışmada, yakıt ve zaman israfı bakımından trafiğin Türkiye'ye maliyeti 3.12 milyar \$ olarak hesaplanmıştır [2].

Yapılan araştırmalara göre, trafik sıkışıklığına neden olan bazı etkenler arasında; darboğaz (şişe boynu), trafik olayları (kazalar, yolda kalan araçlar, vb.), yol bakım çalışmaları, hava koşulları ve özel olaylar gelmektedir. 2004 yılında Almanya için yapılan bir araştırmada tüm trafik sıkışıklığına %32 darboğazların, %33 trafik olaylarının, ve %31 yol bakım çalışmalarının neden olduğu saptanmıştır [3].

Yol bakım çalışmaları, trafiğe kendi etkisinin yanı sıra; darboğaz ve kazalara sebebiyet verdiği için trafik sıkışıklığına neden olan etkenlerin başında gelmektedir [4]. Yol bakım çalışmaları sırasında sürekli değişen yol koşulları, kapanan şeritler ve değişen alternatif yollar, trafik koşullarını önceden tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır. Etkili bir çalışma alanı trafik yönetim planı hazırlayabilmek için, iyi bir trafik çözümlemesi yapmak ve geçmiş çalışmalardaki tecrübelerden faydalanmak gereklidir. İyi bir trafik çözümlemesi ise ancak kaliteli, güvenilir ve eksiksiz trafik akış değişkenleri arşivi oluşturmakla mümkündür.

Trafik çözümlemesi için gerekli trafik akış değişkenlerini toplayabilmek, gerçek zamanlı trafik yönetimini başarabilmek, sürekli değişen trafik koşulları hakkında sürücülere bilgilendirmek, yönlendirmek ve yol güvenliğini sağlamak amacıyla Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kullanılmaktadır. AUS; ulaşım problemlerini çözebilmek için teknoloji, insan davranışları, sosyo-ekonomik ve politik sistemleri hesaba katarak, bilgi teknolojileri ve ileri ulaşım metotlarını entegre etmek olarak tanımlanmaktadır [5].

2012 yılında FSM Köprüsü tabliye galvanizleme ve mastik asfalt döşenmesi işi için bakım çalışmasına alınmıştır. İlk belirlenen bakım alanı trafik stratejilerinin yetersiz kalmasından ötürü, inşaat başlangıcından 24 gün sonra yeni trafik yönetim stratejileri uygulanmaya başlanmıştır. Bu makalenin ana amacı; FSM Köprüsü 2012 bakım çalışmaları sırasında izlenen trafik yönetim stratejilerini değerlendirmek, uygulanan stratejilerinin etkisini ölçmek için bu kararlardan öncesi ve sonrası trafik durumunu karşılaştırmak ve yapılan trafik çözümlemesi sonuçlarına dayanarak gelecekte uygulanacak çalışma alanı trafik yönetim stratejileri için öneriler sunmaktır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için:

- (1) Çalışma alanı trafik yönetimi üzerine literatür taraması yapılmıştır.
- (2) Dünya'da otoyollarda kullanılan trafik izleme sistemleri üzerine araştırma yapılmıştır.

- (3) İstanbul'daki trafik yönetim merkezleri ve sorumlulukları incelenmiştir.
- (4) FSM'nin 2012 bakım çalışmaları sırasındaki trafik durumunun çözümlenmesi yapılmıştır.
- (5) Bu çalışma alanında uygulanan trafik yönetim stratejileri değerlendirilerek gelecekteki benzer çalışma alanları için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR

2.1. Çalışma Alanı Trafik Yönetimi

Çalışma alanı trafik yönetimi; trafik gecikmelerini en aza indirmek, yol güvenliğini sağlamak, inşaatı zamanında tamamlamak ve kesintisiz bir trafik akışı sağlamak için gereklidir [6]. Çalışma alanı trafik stratejileri geliştirmek için gerekli olan yol kapasitesi tahmini için bazı analitik formüller geliştirilmiştir [7, 8, 9, 10]. Ancak çalışma alanına etki eden çok sayıda etkenin bulunmasından dolayı bu formüllerin güvenilirliği azdır. Ayrıca, çalışma alanı yol kapasite tahmini ve olay tabanlı mantık yürütme için bilgisayar modelleri geliştirilmiştir [11, 12, 13]. Bunlara ek olarak, çalışma alanı trafik yönetimi zafiyetinin getirdiği ekonomik yük ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır [14, 15].

Yol bakım çalışma alanına etki eden çok sayıda bilinmeyen etkenler sebebiyle; etkili bir çalışma alanı trafik yönetimi stratejisi geliştirmek için, örnek durum çözümlenmesi sonuçlarından faydalanarak çözüm üretilmelidir [13]. Çalışma alanı trafik yönetim stratejisi planlama aşamasında ise; şerit kapatma süresini belirlemek için gerekli olan kuyruk uzunluğu, seyahat süresi ve gecikme bilgilerini sağlayan bir trafik çözümlenmesi gereklidir [14].

Çalışma alanı trafik akışını gözlemlemek için bazı performans göstergeleri arasında trafik akış miktarı, araçların ortalama hızı, işgalie, yoğunluk, kuyruk uzunluğu, olay ve kaza sayısı, kazalara müdahale süresi, sürücü memnuniyeti, ekonomik yük ve aynı anda devam eden diğer çalışma alanlarına etkisi [6] yer almaktadır.

Son olarak, çalışma alanı trafik yönetimi için gerçek-zamanlı trafik izleme önemli bir yer tutar. Bakım çalışma alanı trafik koşulları her an değişime açıktır. Bu sebeple, sürücüler anlık olarak oluşan trafik koşulları hakkında bilgilendirilmelidir [17]. AUS teknolojileri, sürücüleri bilgilendirmek ve onları alternatif yollara yönlendirmek konusunda kullanılır. AUS, aynı zamanda kaza-olayları belirleme ve bunlara kısa zamanda müdahale imkanı da sağlar.

2.2. Çalışma Alanı Trafik Yönetiminde AUS Uygulanması: ABD Durum Çözümlenmeleri

Yol bakım çalışma alanlarında kullanılacak trafik yönetim teknolojilerinin geliştirilmesi için örnek durum çözümlenmeleri önemlidir. AUS, trafik verileri toplama ve gerçek-zamanlı trafiği izleyerek müdahale etme imkanı sağlar. Bu bağlamda Amerikan Federal Otoyollar Kuruluşu (Federal Highway Administration), geçmiş çalışma alanı trafik çözümlenmeleri hakkında devamlı çalışmalar yapmakta; ayrıca, raporları internet üzerinden yayınlamaktadır [5].

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

Bu bölümde ABD’de çalışma alanlarında uygulanan trafik yönetim stratejileri üzerine 3 adet örnek durum çözümlemesi sonuçları verilmiştir.

İlk durum çalışması Washington’da 2006 yılında DC-295 yolunda yapılan bakım çalışmasıdır. Columbia Eyaleti Ulaşım Departmanı, sürücülere yol üzerinde ve web sitesi yardımıyla gerçek-zamanlı trafik bilgilerini vermek amacıyla AUS kullanmıştır. Sürücüleri gecikmeyi, hız limitlerini ve alternatif yolları bildirmek için Değişken Mesaj Sistemleri (DMS) kullanılmıştır. Yapılan çözümlemelerde, bu çalışmalarla trafik hacminde ortalama %52 oranında azalma görülmüştür [18].

İkinci durum çalışması 2004 yılında Michigan Kalamazoo US-131 yolunda yapılan bakım çalışmasıdır. 2004’de yapılan bu çalışma sırasında Dinamik Şerit Birleştirme Sistemi kuruldu. Bu sistemin amacı; şerit birleşimi gereken yerlerde, önceden şerit birleşmesini sağlayarak düzgün bir trafik akışını sağlamaktır. Kapalı döngü sistemi sayesinde; bir detektör yoğunluk algıladığında daha gerideki mesaj alıcılarına mesaj göndererek sürücülerin uyarılması sağlanıyor. Çözümleme sonuçlarına göre kullanılan bu sistem sayesinde tehlikeli şerit birleşmelerinde ciddi bir azalış gözlemlenmiştir [18].

Üçüncü durum çalışması Arkansas I-30 LittleRock-Benton yolunda yapılan bakım çalışmasıdır. Bu bakım çalışması sırasında 47 araç detektörü, 4 radyo vericisi, 15 DMS ve 8 kamera içeren geniş bir AUS sistemi kurulmuştur. Bu uygulamalar sonucunda sürücüler üzerinde yapılan anket sonuçlarına göre sürücülerin %82’si AUS’nin yoğun trafik koşullarında trafikte hareket kabiliyetlerini geliştirdiğini, sürücülerin %49’u kendisini trafikte daha güvende hissettiğini belirtmiştir [18].

2.3. Dünyada ve İstanbul’da Trafik Ölçüm Detektörleri ve Veri Arşivlenmesi

Trafik ölçüm detektörleri AUS’nin temel bileşenlerinden biridir. Trafik akış bilgilerinin toplanması, gerçek-zamanlı görüntülenmesi ve bu bilgilerin ilerde yapılacak olan çalışmalar için arşivlenmesinde kullanılır. Trafik ölçüm detektörlerinin önemli kullanım alanlarından biri de kaza tespit sistemidir. Kaza tespit işlemi; görüntü işleme teknolojisi (image processing) yardımıyla veya trafik merkezlerinde çalışan personel tarafından canlı izlenerek tespit edilebilir.

Şehirler hızla büyürken trafik ölçüm detektörlerinin önemi de artmaktadır. Dünyada bunun çeşitli uygulamaları vardır. Her tip detektör artı ve eksileriyle değerlendirilip kurulacağı yerin özellikleri dikkate alınarak seçilmelidir. İyi bir trafik izleme sistemi, kesintisiz, doğru ve güvenilir veri sağlayan detektörlerin kurulumuyla mümkündür.

Gerçek-zamanlı trafik izleme kadar, trafik akış verilerinin arşivlenmesi de büyük önem taşır. Veri toplayan merkezler arşivleme hakkında iyi bilgi sahibi olmalıdır. Önemli trafik verilerinin arşivlenmemesi, ilerde yapılacak olan trafik çözümlemelerinin eksik kalmasına ve güvenilirliklerinin azalmasına sebep olur.

ABD, Japonya, Almanya, Hollanda, İngiltere, Yunanistan, Danimarka ve Hindistan otoyollarında kullanılan trafik ölçüm detektörlerinin araştırılması ve İstanbul’daki detektörlerle karşılaştırılması ayrıca bu çalışma kapsamında yapılmıştır [4]. İstanbul’a yerleştirilen detektörler diğer ülkelerdekilerle kıyaslandığında, İstanbul’da detektör çeşitliliği anlamında bir eksiklik olmadığı görülmektedir. Ancak, detektörlerin yerleşimi ve

sayısı yeterli değildir [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. İstanbul'da kullanılan detektörler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. İstanbul'da kullanılan mevcut trafik ölçüm detektör tipleri ve özellikleri [4]

Detektör	Artılar	Eksiler
Kamera	Gerçek-zamanlı trafik izleme Kaza tespit olanağı Geçiş alanı algılayabilme Şerit ve ışık ihlali tespit sistemi Kurulumu kolay ve ekonomik	Kötü hava koşullarından ve kirli havadan etkilenir Kötü yerleştirme ve sık bakım veri kaybına sebep olur
Döngü Detektörleri	İyi bilinen mekanizma Geniş uygulama alanı Güvenilir veri toplama Araç tipi tespit edebilme Veri toplamak için verimli	Kurulum için asfalt kesilmeli Bakım ve kurulum için şerit kapatma Yol ömrünü kısaltır Yeri değiştirilemez Genelde birden fazla kurulmalıdır
Radar Alıcılar	Havaya karşı duyarsızdır Direkt hız tespiti Çok şeritte kullanılabilir	Duran araçları algılamaz Tipi amacına uygun olarak seçilmeli
ESS (Hava tespit antenleri)	Kurulumu kolay	
Buzlanma Erken Uyarı Sistemi	Yollarda buzlanmayı önceden tespit	Kurulum için asfalt kesilmeli

Trafik detektörlerinin akış verileri toplaması ve bu verilerin arşivlenme biçimi hakkında yapılan araştırmada İstanbul'da veri arşivleme konusunda sıkıntılar yaşandığı görülmüştür [4]. İstanbul'da bu detektörlerle toplanan trafik akış verileri, trafik çözümlemesi kısmında anlatılmıştır.

2.4. İstanbul'da Trafik İzleme ve Yönetim Kuruluşları

İstanbul'da trafik izleme teknolojileri ve AUS; İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından takip edilmektedir. Trafik Kontrol Merkezi (TKM), İBB'nin bir kuruluşu olup, İstanbul trafiğini izleyerek sürücülere gerçek-zamanlı trafik bilgilerini ulaştırmaktadır. Aynı zamanda trafik akış verilerini toplayıp, sinyalizasyon sürelerini ayarlama görevi vardır. Diğer yandan KGM İstanbul otoyollarından sorumludur. Trafik Yönetim Merkezi (TYM) aracılığıyla otoyollardaki trafiği gerçek-zamanlı izleyerek sürücülere bilgi aktarır. TYM'nin ana işlevi, kameralarda

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

tespit ettiği kazaları, otoyollardaki KGM'nin kaza müdahale araçlarına bildirerek mümkün olduğu kadar kesintisiz bir trafik akışı sağlamaktır. Bunun yanı sıra TYM'nin kullandığı ASELSAN üretimi trafik yönetim yazılımı, trafik akış verilerini otomatik olarak arşivler.

TKM yol detektörleri, kameraları, loop detektörleri ve radarları aracılığıyla trafik bilgilerini toplar. Radar tabanlı RTMS (Radar Microwave Sensor)'lerin kullanımı yaygın olmakla birlikte RTMS'lerin uygun olmadığı yerlerde görüntü işleme (Image Processing) teknolojisini kullanan TERRA detektörlerden yararlanılmaya başlanmıştır. TKM tarafından kullanılan bazı AUS uygulamaları; değişken mesaj sistemleri (DMS), elektronik denetleme sistemi (EDS), trafik yoğunluk haritası, akıllı telefon uygulamaları, trafik çözümleme sistemleri, güzergah belirleme ve tahmini seyahat süresi hizmetleri olarak sıralanabilir. TKM aynı zamanda çağrı merkezi ile sürücülere trafik yoğunluk bilgilerini verir. TKM'nin kullandığı trafik ölçüm detektörlerinin sayısı Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. İstanbul'daki mevcut trafik ölçüm detektörleri[4]

Gözlem Kamerası	670	430	240
RTMS	508	508	
TERRA	247	7	240
EDS (Toplam)	191		
EDS (Kırmızı Işık)	123		
EDS (Emniyet şeridi)	18		
EDS (tramvay yolu)	15		
EDS (Hız koridoru)	11		
EDS (Ters Yön)	1		

*Bu değerler 2013 Ocak ayına aittir.

TYM kullandığı trafik ölçüm aletleri ve temel görevleri ile TKM ile büyük benzerlik göstermekte; ancak, iki merkez sahip oldukları detektör sayısı ve sorumlu olduğu yol alanı bakımından farklılıklar göstermektedir. TYM, otoyollar üzerinde 20'den fazla kamerası, gişelere yerleştirilmiş loop detektörleri, Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) teknolojileri ile gerçek zamanlı trafik gözlemi yapar ve veri toplar. TYM çağrı merkezi ile sürücülere alternatif yol tayini konusunda yardımcı olurken VMS aracılığıyla yoldaki sürücülere yoğunluk ve tahmini seyahat sürelerini bildirir. TYM, yalnızca KGM'nin sorumluluk alanı olan devlet yollarında etkindir [4, 28, 29].

3. FSM KÖPRÜSÜ BAKIM ÇALIŞMASI DURUM ÇÖZÜMLEMESİ

3.1. Bakım Çalışmalarına ve Çalışma Alanına Genel Bakış

İstanbul'da kıtaları birbirine bağlayan iki köprü bulunmaktadır. Boğaziçi Köprüsü'nden sadece otomobiller geçerken, diğer araç sınıfları karşıya geçmek için FSM'yi kullanmak

zorundadır. FSM Köprüsü 1988’de hizmete girerek, günde ortalama tek yönde 120.000 araç taşımaktadır. Çelik tabliye ile inşa edilen FSM 10 yılda bir bakım çalışmasına ihtiyaç duymaktadır [29].

Bakım çalışmaları sırasında, FSM Avrupa girişinde 21 adet gişe bulunmaktaydı. OGS ve Kartlı Geçiş Sistemi (KGS) olmak üzere çift ödemeli geçiş sistemi bulunan köprülerde, gişelerin sebep olduğu trafik sıkışıklığının önüne geçmek için 19 Temmuz’da köprü geçişleri bedava yapıldı.

Bu makalede 18 Haziran-22 Ağustos 2012 tarihinde yapılan bakım çalışmasının trafik çözümü yapılmıştır. KGM’nin kontrolünde gerçekleşen bu çalışma; mevcut asfaltın sökülmesi, çelik tabliyeye gerekli tamirat, yalıtım ve galvaniz işlerinin yapılması ve mastik asfalt döşenmesi işlerinden oluşmuştur. Yalıtım işlerinin nemsiz ve sıcak bir ortamda, mastik asfaltın gündüz yapılması gereklidir. Bakım sürecince ortalama 2 şerit trafiğe kapatılırken, bu rakam bazı dönemlerde daha da yukarıya çıkmıştır [29].

18 Haziran’da başlayan çalışmalar, Transit European Motorway (TEM) trafiğini büyük ölçüde etkilemiştir. Yaşanan trafik sıkıntısının sürücüler için dayanılmaz boyutlara ulaşması nedeniyle 12 Temmuz tarihinde yeni çalışma alanı yönetim stratejileri belirlenmiştir. Valilik, Emniyet ve İBB tarafından kriz masasında geliştirilen, yeni çalışma alanı yönetim stratejilerinde trafikle ilgili alınan kararlar şöyledir:

- (1) 21 olan gişe sayısı 11’e indirilmiştir.
- (2) Otobüsler için gece 12:00-5:00 arası Boğaziçi Köprüsünden geçiş izni verilmiştir.
- (3) Hafriyat kamyonlarının FSM’yi kullanımı yalnızca 12:00-5:00 arası ile sınırlandırılmıştır.
- (4) Küçüksu-İstinye vapur seferleri başlatılmıştır.

3.2. Veri Toplama Süreci

FSM Köprüsü bir yönde 4 şerit olmak üzere, TEM’in bir parçası olarak hizmet vermektedir. KGM’nin sorumluluğunda olan TEM ve FSM Köprüsü, TYM ve TKM tarafından izlenir. Avrupa’dan Asya’ya ilerlerken FSM’nin girişinde gişeler bulunmaktadır. Bu gişelerde, geçen araçların sınıfını ayırt etmek amacıyla KGM’ye bağlı loop detektörleri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, TEM’den RTMS’ler yardımıyla gerçek-zamanlı trafik akış verileri toplanır. Trafik gözlem kameralarından trafik akış verileri elde edilememektedir. Ancak, görüntü işleme teknolojisi ile çalışan TERRA kameraları, devamlı ve güvenilir trafik akış verisi sağlar. İstanbul’a alınan TERRA’lar henüz kurulum aşamasında olduğundan, FSM Köprüsü durum çözümü sırasında faydalanılabilecek mevcut TERRA verisi bulunmamaktadır.

Arşivlenen trafik akış verileri, genelde RTMS’ler ve loop detektörler tarafından toplanır. Loop detektörlerden alınan veriler, TYM’nin kullandığı ASELSAN tarafından yazılan bir yazılımla otomatik olarak saklanır. Hız ve işgaliye verileri 5, 30, 60 dakika aralıklarla toplanır. Ancak veriler toplandıktan 2 hafta sonra sistem yalnızca 60 dakikalık verileri tutar. KGM, loop detektörlerden alınan verileri sadece köprüden geçen araçların sınıfını tespit ederek doğru geçiş ücretini bulmak için kullanır.

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

RTMS'ler saatlik hız, işgaliye ve trafik akış miktarı değerlerini verir. Radar teknolojisiyle çalışan bu sistemler, kirli hava koşullarından olumsuz etkilenir. Ayrıca, yol üzerinde değişen şerit sayısı, ek şerit uygulamaları ve şerit disiplini olmadan ilerleyen araçlar da RTMS'de veri kaybına yol açar. İstanbul'a alınan yeni nesil RTMS'lerin sıcak havaya dayanıksız olması da RTMS'lerin arızalanmasına ve sık sık bakım ihtiyacı duyulmasına yol açar [28, 29]. TEM üzerine konuşlanan RTMS detektörlerin yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. TEM üzerinde konuşlanmış RTMS'lerin yerleri[4]

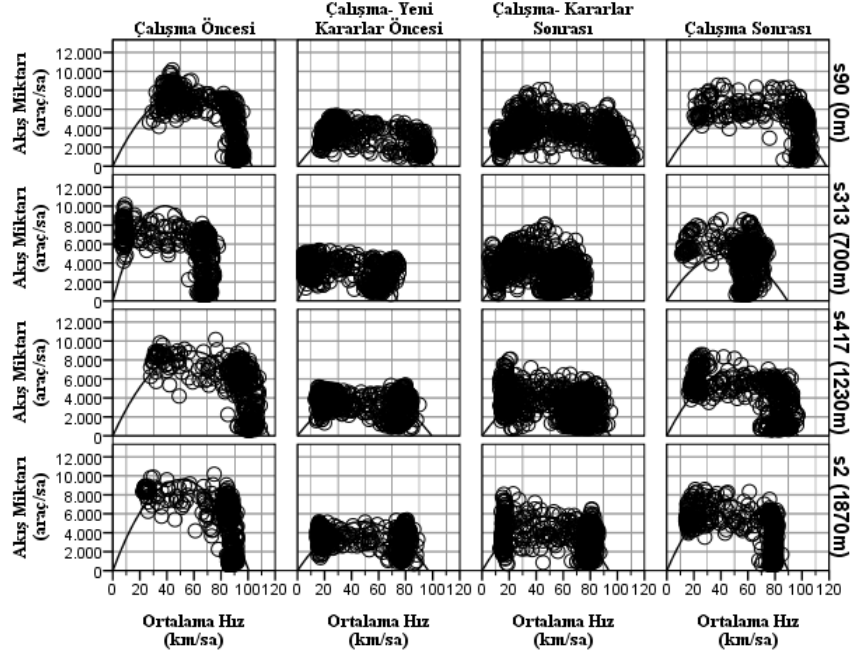
Bu çalışmada, KGM'den alınan gişelerden geçen saatlik araç sayıları ve sınıfları, TKM'den alınan RTMS saatlik hız ve işgaliye ölçümleri kullanılmıştır. RTMS'ler isimlendirilirken parantez içinde köprüye olan yaklaşık uzaklıkları verilmiştir. Örneğin s313 (700m) gösterimi s313 detektörünün köprüye yaklaşık 700 metre uzakta olduğunu bildirir. Veriler karşılaştırma yapabilmek için 4 dönemde incelenmiştir:

- (1) Bakım çalışmasından önce,
- (2) Bakım çalışması dönemi içinde trafikle ilgili alınan yeni kararlardan önce,
- (3) Bakım çalışması dönemi içinde alınan trafikle ilgili yeni kararlardan sonra,
- (4) Bakım çalışması sonrası.

Bu dönemler; (1) 1 Haziran-17 Haziran, (2) 18 Haziran-11 Temmuz, (3) 12 Temmuz-19 Ağustos ve (4) 22 Ağustos-10 Eylül tarihlerinde olmuştur. 19-21 Ağustos bayram dolayısıyla dikkate alınmamıştır. Yaz mevsimi trafik koşulları diğer dönemlerle farklılık göstereceğinden, çalışmadan önce ve çalışmadan sonra dönemleri için seçilen zaman aralıkları yaz aylarından seçilmiştir.

3.3. Kritik Trafik Akış Değerlerinin Belirlenmesi

Şekil 2'de Levent-FSM arasında kalan TEM yolu üzerindeki dört RTMS'den alınan hız değerleri ve gişelerden alınan akış miktarı değerlerinin grafikleri dönemlere göre verilmiştir. Ortalama hızlar ve akış miktarlarına çizilen ikinci dereceden eğilim çizgileri orijin noktasından geçmektedir. Bu eğilim çizgilerinin denklemleri %95 güven seviyesinde yapılan regresyon çözümlenmeleri ile bulunduktan sonra kritik trafik akış değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 3).



Şekil 2. Ortalama Hız- Akış Miktarı grafiğinin dönemlere ve detektörlere dağılımı

Çizelge 3. Kritik Trafik Akış Değerleri

		s90	s313	s417	s2	Ortalama
Serbest Akış Hızı (km/sa)	Çalışma Öncesi	102,94	77,21	115,61	100,62	99,09
	Çalışma- Yeni Kararlar Öncesi	100,93	73,98	99,28	96,71	92,72
	Çalışma- Yeni Kararlar Sonrası	114,34	80,22	94,83	93,78	95,79
	Çalışma Sonrası	117,93	89,31	96,94	89,75	98,48
Maksimum akış miktarı (araç/sa)	Çalışma Öncesi	7722	10027	8942	9602	9073,17
	Çalışma- Yeni Kararlar Öncesi	4791	5498	4588	5161	5009,35
	Çalışma- Yeni Kararlar Sonrası	5017	4260	4739	5692	4927,18
	Çalışma Sonrası	7086	4993	6823	7442	6586,01
Sıkışma Yoğunluğu (araç/km)	Çalışma Öncesi	300	519	309	382	377,65
	Çalışma- Yeni Kararlar Öncesi	190	297	185	213	221,36
	Çalışma- Yeni Kararlar Sonrası	176	212	200	243	207,66
	Çalışma Sonrası	240	224	282	332	269,30

Kritik trafik akış değerleri Çizelge 3'te gösterilmiştir. Buna göre, serbest akış hız değerleri 90 km/sa ile 100 km/sa değerleri arasındadır.

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

Bakım çalışmalarının başlangıcı ile %6 oranında düşen hız değerleri, yeni çalışma alanı trafik yönetim uygulamaları ile bakım çalışmaları sonrasında göre %3.31 artmıştır. Sıkışma yoğunluğuna (jam density) bakıldığında ise bu değer bakım çalışmaları başlangıcı ile birlikte %37 azalmıştır. Ortalama maksimum akış miktarı ise bakım çalışmalarının başlangıcı ile birlikte %44.79 düşmüştür. Yeni çalışma alanı trafik uygulamaları ile akış miktarında istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlemlenmezken, bakım çalışmaları sonrası dönemde %33.67 oranında bir artış gözlemlenmiştir.

s90, s313 ve s417 detektörlerinin gişeler bölgesine çok yakın olmasından dolayı bu bölgedeki türbülans hesaplanan değerlerinin güvenilirliğini etkileyebilir. Bu yüzden s2 detektöründen alınan veriler incelendiğinde bulunan sonuçlardan biri şöyledir: Çalışma sonrası dönemde, maksimum akış miktarında artış gözlemlense de, bu değer çalışma başlamadan önceki dönem için hesaplanan maksimum akış değerinden %22.5 düşüktür. Bunun sebebi muhtemelen; gişe sayısının azaltılmasından dolayı darboğazın trafik üzerine etkisinin de azalmasından kaynaklanmaktadır. Gişe sayısı azaltılmadan önceki dönemde oluşan darboğaz yüzünden, araçların yüksek hızlarda gişelere yaklaşıp, gişeler bölgesinde trafik sıkışıklığına takıldığı gözlemlenmiştir. Sonraki dönemde gişe sayısının azaltılmasıyla, seyahat eden araçların hızları eskisi kadar dalgalanma yapmazken, gişe bölgesinde ortalama hızlar yükselmiş ve gişeye uzak bölgelerde ortalama hızlar düşmüştür. Gişeye uzak bölgelerdeki ortalama hız değerlerindeki düşüşler, akış miktarı-hız grafiği eğilim çizgisinin daha yassı olmasına ve maksimum kapasite değerlerinin daha düşük çıkmasına sebep olmuştur.

3.4. Ortalama Trafik Akış Değişkenlerinin Çözülmesi

Bu bölümde ortalama hız, işgalie ve akış miktarı değerlerinde dönemlere göre yaşanan değişimler incelenmiştir. Bu değişimlerin istatistiksel testleri SPSS programı ile yapılmıştır. SPSS, IBM tarafından geliştirilmiş bir istatistiksel çözümleme programıdır. 4 dönem üzerindeki değişimlerin istatistiksel olarak önemli olup olmadıklarını anlamak için ANOVA ve Tukey testleri %95 güven seviyesinde yapılmıştır. TEM'in Levent-FSM arasında kalan yol kesitinde trafik akış değişkenlerinin ortalamaları ve standart sapmaları Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Trafik akış değişkenlerinin ortalamaları ve standart sapmaları

		Çalışma Öncesi	Çalışma- Yeni Kararlar Öncesi	Çalışma- Yeni Kararlar Sonrası	Çalışma Sonrası
Akış Miktarı (araç/sa)	Ortalama	5368	3428	3355	4326
	Std. Sapma	2589	1101	1430	2071
Hız (km/sa)	Ortalama	69	41	65	87
	Std. Sapma	22	26	33	24
İşgalie %	Ortalama	21	39	30	18
	Std. Sapma	15	18	22	16

Çizelge 4’te görüldüğü gibi ortalama akış miktarı çalışmaların başlamasıyla birlikte düşmüştür. Yeni kararlarla aynı seyirde devam etmiştir. Çalışmaların bitmesiyle yükselme görülse de eski seviyesini yakalayamamıştır. Ortalama hız değerleri, çalışmaların başlangıcıyla düşerken, akış miktarından farklı olarak yeni kararlarla büyük oranda yükselmiştir. Çalışmaların bitmesiyle eskisinden daha yüksek hız değerlerine ulaşmıştır. İşgaliye değerleri ise hız değerleriyle ters orantılı bir ilişki göstermiştir.

Yapılan istatistiksel testlerin sonuçları şöyledir:

- Ortalama akış miktarlarının çalışmaya bağlı olarak değişimleri istatistiksel olarak önemliken; alınan yeni çalışma alanı trafik yönetim kararlarında yaşadığı değişim istatistiksel olarak önemsizdir. Ortalama akış miktarı; çalışma başlangıcıyla %36.14 düşmüş; çalışma süresi içinde alınan, gişe sayısının azaltılması, otobüs ve kamyonlarının FSM geçiş sürelerinin güncellenmesi kararlarından sonra önemli bir değişim olmamış; çalışmanın sona ermesiyle yeni kararların sonrasına göre %28.94 oranında artmıştır.
- Ortalama hız değerlerindeki değişimlerin tamamı istatistiksel olarak önemlidir. Ortalama hız değeri; çalışma başlangıcıyla %40.58 düşmüş; çalışma süresi içinde alınan, gişe sayısının azaltılması, otobüs ve kamyonlarının FSM geçiş sürelerinin güncellenmesi kararlarından sonra yeni kararların öncesine göre %58.54 artmış; çalışmanın sona ermesiyle yeni kararların sonrasına göre %33.84 oranında artmıştır.
- Ortalama işgaliye değerlerindeki değişimlerin tamamı istatistiksel olarak önemlidir. Ortalama işgaliye değeri; çalışma başlangıcıyla %85.71 artmış; çalışma süresi içinde alınan, gişe sayısının azaltılması, otobüs ve kamyonlarının FSM geçiş sürelerinin güncellenmesi kararlarından sonra kararların öncesine göre %23.07 azalmış; çalışmanın sona ermesiyle yeni kararların sonrasına göre %40.0 oranında azalmıştır.

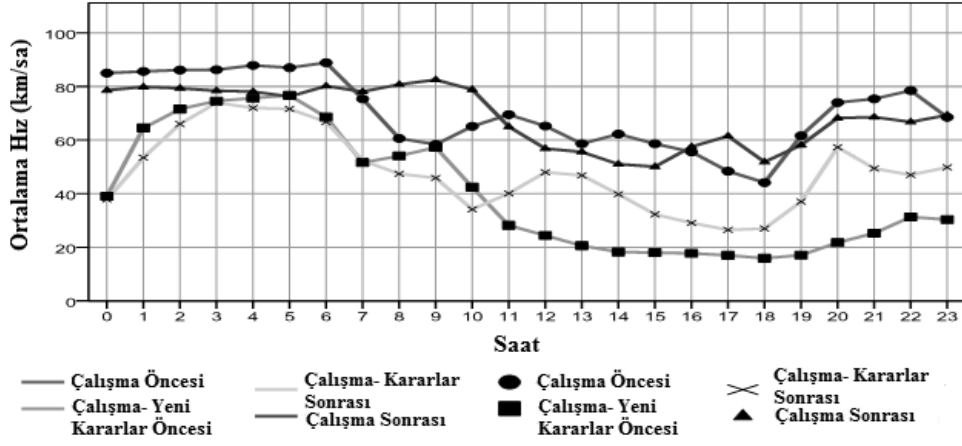
Bu bilgilere dayanarak şu sonuçlara varılabilir:

- (i) Şeritlerin kapanması ortalama akış ve hız değerleri düşmesine neden olmuştur.
- (ii) Alınan yeni çalışma alanı yönetim kararları, ortalama hızın artmasında etkili olmuştur; ancak akış miktarına etki etmemiştir.
- (iii) Çalışma sonrasında FSM’ye olan talep azalmıştır; ancak bu düşüşün sebebi ve devamlılığı bilinmemektedir.

3.5. Zirve Saatleri Çözümlemesi

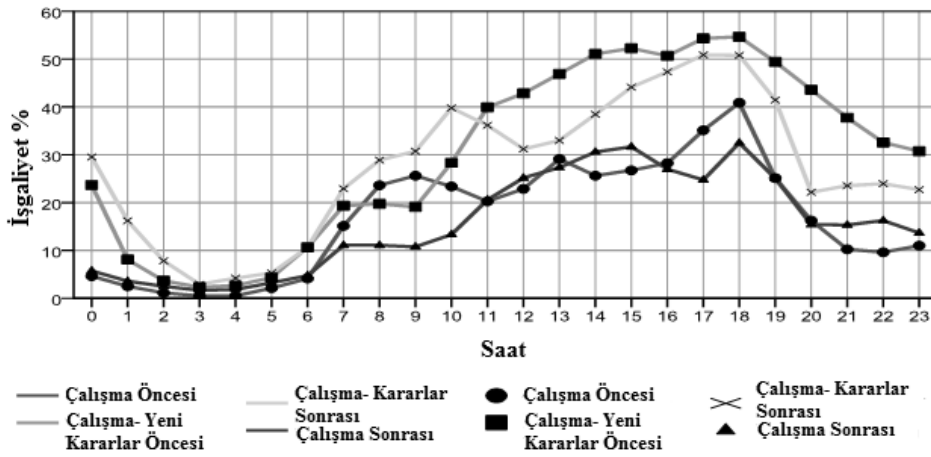
Trafik koşullarının olumluluğunun en önemli ölçütlerinden biri zirve saat yoğunluklarıdır. Gün içinde koşullar ne kadar iyi olursa olsun zirve saatlerinde yaşanan yoğunluk ciddi sıkıntılar doğurmaktadır. Sürücülerin belleğinde gün boyu trafik koşullarını değil, trafiğin en kötü koşulları yer edinir [30]. Gişeler ve çevresindeki detektörlerden (s2 (1870m), s417 (1230m), s313 (700m) ve s90 (0m)) alınan, Perşembe günlerinin saatlik ortalama hız ve işgaliye değerlerinin dağılımları incelenmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4).

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği



Şekil 3. Gişе ve çevresinde Perşembe günü saatlik ortalama hızların dönemlere göre dağılımı

Şekil 3'e bakıldığında çalışmanın başlamasıyla hızların düştüğü ve uzun saatler boyu çok düşük hızlarda hareket edildiği veya dur-kalk yapıldığı görülüyor. Yeni çalışma alanı trafik yönetim stratejilerinin hayata geçirilmesiyle hızların arttığı ve yavaşta olsa trafiğin aktığı söylenebilir.



Şekil 4. Perşembe günü saatlik ortalama işgaliye değerlerinin dönemlere göre dağılımı

Şekil 4'te işgaliye değerlerinin gün içinde yüksek seviyelere çıktığı, ancak gece saatlerinde düşük olduğu görülmektedir. Gün içinde araçların ortalama hızlarının 20 km/sa'ın altında ve 40 km/sa'ın altında seyrettiği saatler Çizelge 5'te verilmiştir.

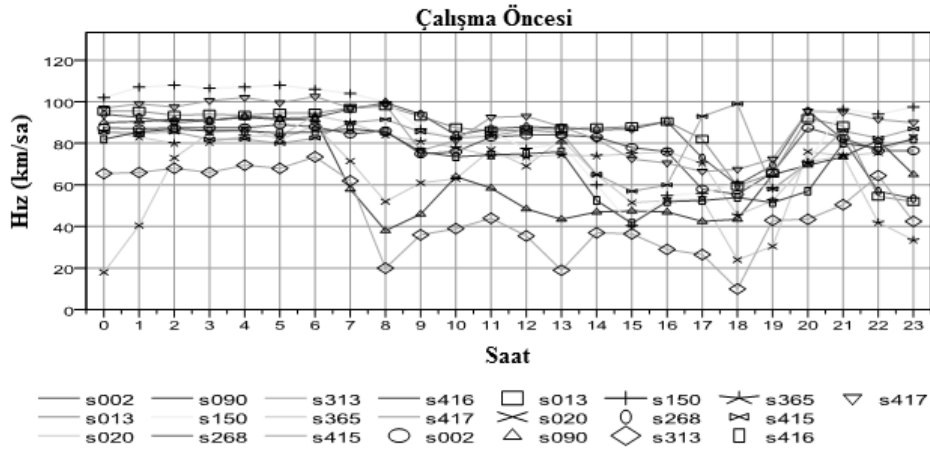
Çizelge 5. Levent-FSM yolu ortalama hızların 20 km/sa'in ve 40 km/sa'in altında olduğu saatler

	Hızın 20 km/sa'in Altında Seyrettiği Saatler	Saat Sayısı	Hızın 40 km/sa'in Altında Seyrettiği Saatler	Saat Sayısı
Çalışma Öncesi	8:00, 13:00, 18:00	3	08:00-10:00, 12:00-18:00	10
Çalışma- Yeni Kararlar Öncesi	10:00-23:00	14	07:00-0:00	18
Çalışma- Yeni Kararlar Sonrası	16:00-17:00	2	07:00-19:00, 21:00-1:00	18
Çalışma Sonrası	-	-	14:00	1

Çizelge 5'e bakıldığında, yeni çalışma alanı yönetim stratejilerinin ortalama hızların üzerinde artış sağladığını ve hızların 20 km/sa'in altına düştüğü saat sayısını 14'ten 2'ye indirdiği gözlemlenmektedir. Diğer yandan, araçların 40 km/sa'in altında seyrettiği saat sayısı değişmemiştir. Buna göre, yeni alınan kararların yoğun saatlerde ortalama hız seviyesi 20 km/sa ile 40 km/sa aralığına çektiği sonucu çıkarılabilir.

3.5. Kuyruk Uzunluğu Çözümlemesi

Kuyruk uzunluğu, trafik sıkışıklığının boyutunu ölçmek için önemli bir değişkendir. FSM Bakım Çalışması durum çözümlemesi için kayıtlı bir kuyruk uzunluğu bilgisi bulunmamakla birlikte; yaklaşık kuyruk uzunluğu RTMS verilerinden elde edilen hız verileri kullanılarak tahmin edilebilir [32].



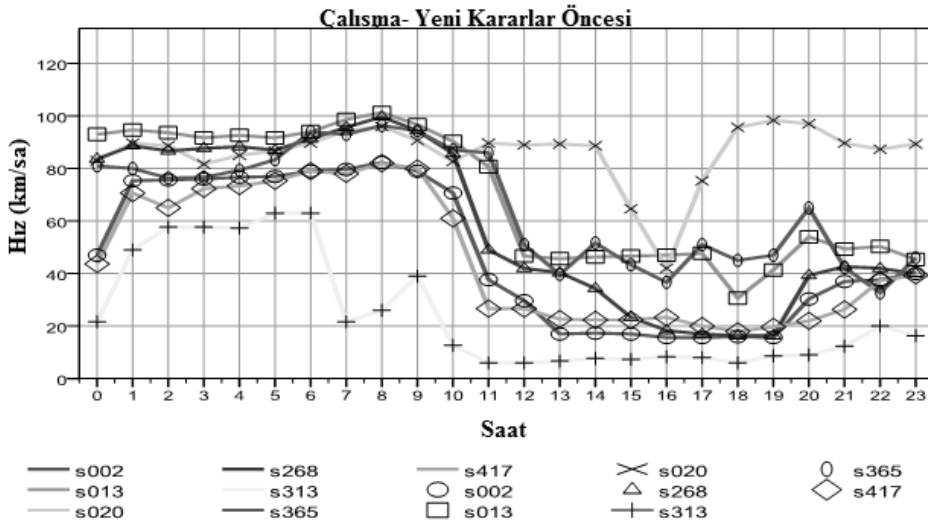
Şekil 5. Çalışma öncesi Perşembe günleri ortalama hızların detektörlere göre dağılımı

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

TEM üzerinde konuşlanmış farklı RTMS'lerden alınan hız verileri karşılaştırılarak, saatlere göre trafiğin nerede yavaşlamaya başladığı; dolayısıyla, yaklaşık kuyruk uzunluğu tahmin edilebilir. Çalışma bölgesinde Perşembe günlerinde, hafta içi ortalama trafik akış değerleri gözlemlendiği için çözümleme için Perşembe günleri seçildi [4]. Her dönem için Perşembe günleri ortalama saatlik hızların detektörlere göre dağılımı Şekil 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir.

Şekil 5'de saat 7:00-21:00 aralığına bakıldığında, s313 (700m) kodlu detektörün diğer detektörlerde ölçülen değerlerden daha düşük değerler verdiği görülmektedir. Bu, araçların gişe bölgesine kadar hızlı seyrettiğini ve gişelere gelince yavaşladığı anlamına gelmektedir. Bunun üç muhtemel sebebi şu şekilde sıralanabilir:

- (1) Araçların çok sayıda gişe olmasından kaynaklanan darboğaza girmesi,
- (2) İki çeşit ödeme sisteminin bulunmasından dolayı şerit değiştirmeye çalışmaları,
- (3) Gişelerde dar alandan geçmek için yavaşlamak istemeleri.

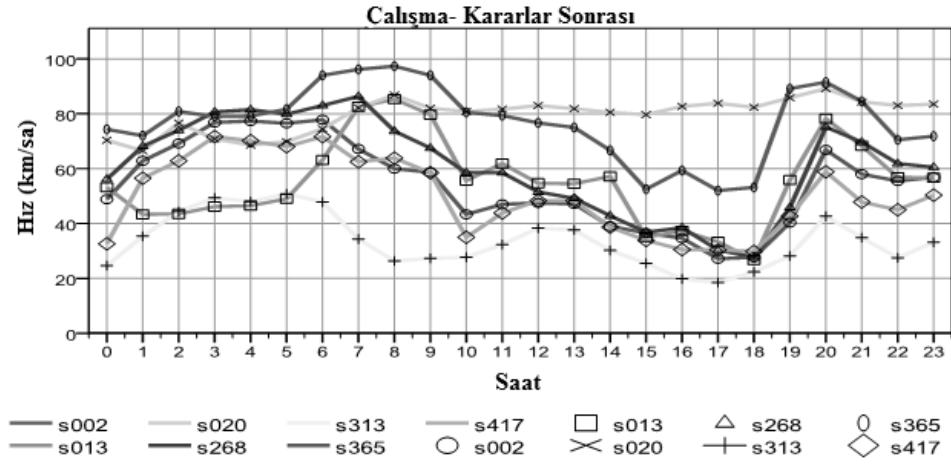


Şekil 6. Çalışma ilk aşaması Perşembe günleri ortalama hızların detektörlere göre dağılımı

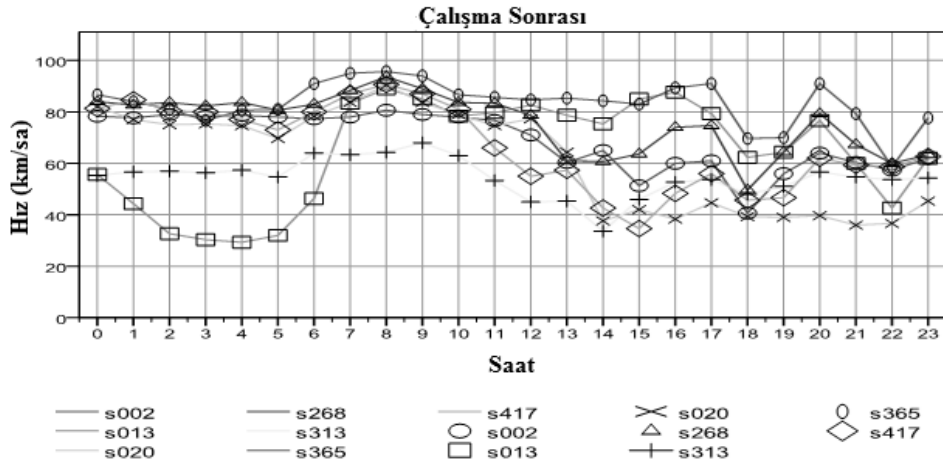
Şekil 6'da çalışma başladıktan sonra, gişelerdeki yoğunluğun sabah 7'den başlayarak gece yarısına kadar devam ettiği gözlenmektedir. Saat sabah 11'e geldiğinde, yoğunluk s2 (1870m) detektörünün kontrol ettiği bölgeye ulaşmıştır. Saat 12:00 ile 23:00 arasında, hızlar s365'in olduğu bölgeye kadar 50 km/sa'in altında seyretmektedir. Diğer bir deyişle, trafik yoğunluğu Seyrantepe'ye kadar uzanmış; kuyruk uzunluğu 5 km'ye çıkmıştır.

Şekil 7'de çalışma alanı için yeni trafik kararları alındıktan sonra, gişelerdeki ortalama hızın 20 km/sa'in üzerine çıktığı görülmüştür. Diğer detektörlerin verilerine bakarak, hızların gerilerden daha yumuşak düşüş yaparak gerilediği söylenebilir. Yani araçlar,

eskiden olduğu gibi hızlı bir şekilde gelip gışelerde yığılmak yerine, daha düşük bir hızda sürekli seyretmektedir.



Şekil 7. Çalışma son aşama Perşembe günleri ortalama hızların detektörlere göre dağılımı



Şekil 8. Çalışma sonrası Perşembe günleri ortalama hızların detektörlere göre dağılımı

Şekil 8’de bakım çalışmasından sonraki ortalama hızlar gözlemlendiğinde, detektörlerde kaydedilen hızların arasındaki fark, inşaat öncesi döneme göre ciddi oranda azalmıştır. Bakım öncesi dönemle bakım sonrası dönem arasında değişen tek etken; gişe sayılarının 21’den 11’e düşürülmesidir. Buna göre; gişe sayısının düşürülmesi, yol üzerinde ortalama hızlardaki dalgalanmayı azaltmıştır.

3.6. Gişe Ücretlerinin Trafığe Etkisinin Çözümlemesi

FSM Köprüsü, önceki bölümlerde bahsedildiği üzere iki çeşit ödeme sistemi bulunan geçiş ücreti olan bir köprüdür. Bakım çalışmaları sırasında mevcut ödeme sistemlerinden OGS elektronik geçiş sistemi, KGS ise elektronik kart okutulması sistemidir. Araçlar ödeme sistemlerine uygun olan gişeden geçmek zorundadır. Bu durum da zorunlu şerit değiştirmelere sebep olmaktadır.

Çalışmalar başladığı sırasında FSM girişinde 21 adet olan aktif gişe sayısı 12 Temmuz'da, gişelerde oluşan darboğaz etkisini azaltmak amacıyla 11'e indirilmiştir.

19 Temmuz tarihinde, çalışmalar sırasında gişelerde yaşanan yoğunluğu kaldırabilmek için çalışmalar bitene kadar köprülerden gişe ücretleri kaldırılmıştır.

Paralı yolların trafiğe etkisi hakkında yapılan çalışmalar; paralı yollara olan talebin azalmasına bağlı olarak, yolları ücretli yapmanın trafiği rahatlatacağını öne sürmüştür [31]. İstanbul'da ise bu düşüncenin tam tersi bir hamle yapılmıştır. Bu bölümde gişe ücretlerinin ücretsiz yapılmasının trafiğe olan etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma için gişe sayısının 21'den 11'e indirildiği 12 Temmuz ile gişelerden geçişin ücretsiz yapıldığı 19 Temmuz arasındaki 5 günlük trafik verileri denek alınmıştır. Bu 5 gün, geçişlerin ücretsiz yapıldıktan sonraki 3 haftanın, haftanın aynı günlerine denk gelen zaman dilimleri ile karşılaştırılmıştır. Gişe ve çevresindeki dört RTMS (s2 (1870m), s417 (1230m), s313 (700m) ve s90 (0m))'den alınan veriler kullanılmıştır. Bu tarihlerdeki trafik akış değişkenlerinin ortalamaları Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Gişelerin ücretli ve ücretsiz olduğu haftaların trafik akış değişkenleri

	Ortalama Akış Miktarı (araç/sa)	Ortalama Hız (km/sa)	Ortalama İşgaliyet (%)
Ücretli Geçiş	3224	65	12
Ücretsiz 1. hafta	3067	54	23
Ücretsiz 2. hafta	3015	57	20
Ücretsiz 3. hafta	3530	63	19

Gişelerin ücretli olduğu 12 Temmuz-19 Temmuz tarihleri ile sonraki haftanın aynı günlerine gelen ücretsiz geçiş günleri arasındaki fark T-testi ile karşılaştırılmıştır. Yapılan test sonucunda hız ve işgaliye değerlerindeki değişimin %95 güven seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Akış miktarındaki değişim ise istatistiksel olarak önemli değildir. 4 haftayı kıyaslamak için yapılan Welch ve Games-Howell testleri sonucunda hız ve işgaliye değerlerinin ücretsiz 1. haftadan 2. haftaya geçerken yaşadığı değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu; ücretsiz 2. haftadan 3. haftaya geçerken oluşan değişimin ise önemsiz olduğu anlaşılmıştır. Akış miktarlarında ise tek istatistiksel önemli değişim ücretsiz 2. haftadan 3. haftaya geçişte yaşandığı görülmüştür. Yapılan T-test sonucu, gişelerin ücretli olduğu hafta ile gişelerin ücretsiz olduğu 3. hafta arasında hız değerlerindeki değişimin önemsiz olduğu; ancak, işgaliye ve akış miktarlarındaki artışın önemli olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; gişelerin ücretli olduğu hafta;

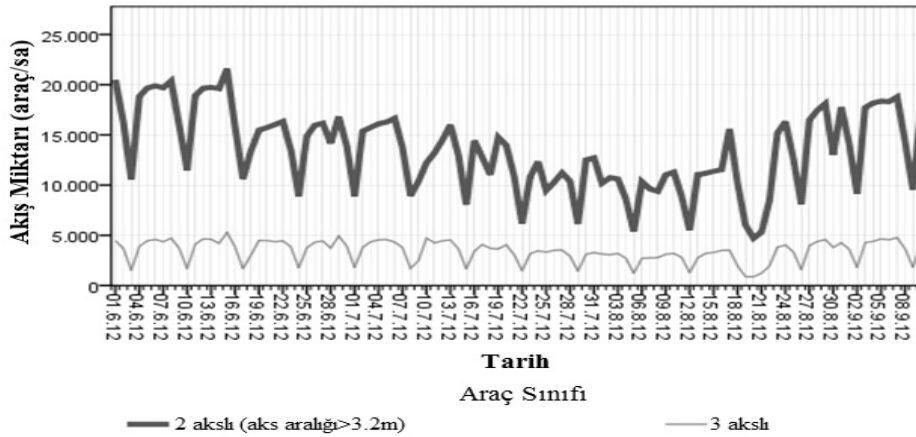
- Gişelerin ücretsiz yapıldığı ilk hafta ile kıyaslandığında, ortalama hızda %16.92 düşüş, ortalama işgaliye değerinde %91.67 artış,
- Gişelerin ücretsiz yapıldığı ikinci hafta ile kıyaslandığında, ortalama hızda %12.31 düşüş, ortalama işgaliye değerinde %66.67 artış,
- Gişelerin ücretsiz yapıldığı üçüncü hafta ile kıyaslandığında, ortalama hızda %3.1 düşüş, ortalama işgaliye değerinde %58.33 artış gözlemlenmiştir.

Bu durum, daha önce ortaya atılan “yolların paralı olması talebi azaltacağından, trafiği rahatlatacaktır” görüşünü haklı çıkarmıştır.

3.7. FSM'den Geçen Araç Sınıflarının Çözümlemesi

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi otomobil hariç karşıya geçmek isteyen araçların tek seçeneği FSM Köprüsünden geçmektir. 12 Temmuz'da geliştirilen yeni çalışma alanı trafik yönetimi stratejileri gereği otobüslerin gece 12:00-5:00 arası Boğaziçi Köprüsü'nden geçişine izin verilirken, hafriyat kamyonlarının 12:00-5:00 arası harici köprülerden geçişi yasaklanmıştır. Bu bölümde bu kuralların trafikteki büyük araç sayısında değişime neden olup olmadığı incelenecektir. Ancak, bu kuralın yürürlüğünün gişe sayısının azaltılmasıyla aynı güne denk gelmesi dolayısıyla, bunun trafiğe etkisi incelenememiştir.

FSM'den geçen araçların sınıfları ve sayıları KGM tarafından arşivlenmektedir. KGM sınıflandırmayı aks sayısına göre yapmaktadır. KGM'nin araç sınıflandırması şu şekildedir: (1) aks aralığı 3,2m'den küçük 2 akslı araçlar, (2) aks aralığı 3,2m'den büyük 2 akslı araçlar, (3) 3 akslı araçlar, (4) 4-5 akslı araçlar, (5) 6 ve daha fazla akslı araçlar, (6) motosikletler. Kamyon ve otobüslerin dahil olduğu FSM'den geçen 2. ve 3. sınıf araçlar Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. FSM'den geçen günlük 2. ve 3. sınıf araç sayısının günlere göre dağılımı

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

Şekil 9'da görüldüğü gibi çalışmaların başlamasıyla aks aralığı 3,2 m'den büyük 2 akslı araç sayılarında ciddi bir azalma görülmüştür. 12 Temmuz'da çıkan yeni çalışma alanı yönetim planının yürürlüğe girmesiyle bir düşüş daha gözlemlenmiştir. Bu değişimin istatistiksel olarak önemini ölçmek için T-test yapılmış ve %95 güven seviyesiyle bu değişimin önemli olduğu görülmüştür. Yeni uygulama ile; aks aralığı 3.2m'den büyük 2 akslı günlük geçen araç sayısında %23.6 azalma görülürken, 3 akslı günlük geçen araç sayısında %15.7 azalma tespit edilmiştir.

3.8. Alternatif Yolların Çözümlemesi

Önemli çalışma alanı stratejilerinden biri araçları alternatif yollara yönlendirerek, çalışma alanındaki trafik sıkışıklığını önlemektir. FSM'den çıkış yollarının büyük bir kısmında izleme sistemi bulunmaması sebebiyle FSM'den yönelen araçlar tespit edilememiştir. Ancak, karşıya geçişlerde FSM'nin tek alternatifin Boğaziçi Köprüsü olduğu bilinmektedir. Bu bölümde çalışmaların ve yeni alınan çalışma alanı trafik yönetimi kararlarının Boğaziçi'nden geçen günlük araç sayısına etkisi incelenmiştir.

Boğaziçi Köprüsü'nden geçen günlük araç sayısının dönemlere göre ortalamaları ve standart sapmaları Çizelge 7'de gösterilmiştir.

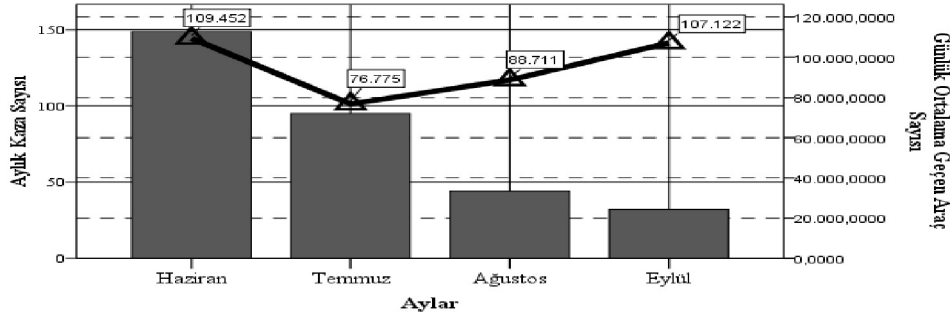
Çizelge 7. Boğaziçi'nden geçen günlük ortalama araç sayıları ve standart sapmaları

	Ortalama Kapasite	Standart Sapma
Çalışma Öncesi	102660	2403,13
Çalışma- Yeni Kararlar Öncesi	110697	5231,52
Çalışma- Yeni Kararlar Sonrası	101520	6958,17
Çalışma Sonrası	91672	4794,48

Çizelge 7'ye göre, çalışmanın başlamasıyla Boğaziçi'nden geçen günlük araç sayısında artış görülmektedir. Yeni alınan kararlarla beraber düşen sayı; çalışmanın bitmesiyle en düşük seviyeye inmiştir. Bu değişimlerin istatistiksel olarak önemini anlamak için yapılan ANOVA ve Tukey sonuçları bu değişimlerin tamamının önemli olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, sürücüler çalışmanın başlamasıyla alternatif yola yönelmiş, FSM'de yeni alınan kararlarla trafik koşullarının iyileşmesiyle, yönelim azalmıştır. Çalışma sonrası, Boğaziçi'nden geçen araç sayısı çalışma öncesinden de düşük seviyeye inmiştir; ancak, aynı zamanda FSM'nin de kapasitesinin düşmesi, bu düşüşün mevsimsel olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

3.9. Gişeler ve Köprüde Yaşanan Kazaların Çözümlemesi

Bu bölümde FSM gişelerinde ve köprü üzerinde 2012 yaz döneminde meydana gelen kaza sayıları incelenmiştir. FSM gişelerinde ve köprü üzerinde meydana gelen aylık kaza sayıları ve aynı aylarda günlük geçen ortalama araç sayısı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. FSM Gişeler ve köprü üzerinde meydana gelen aylık kaza sayıları

Şekil 12’de görüldüğü gibi, yaz boyunca aylık kaza sayılarında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. 18 Haziran’da başlayan çalışmalardan kaynaklanan trafik hızındaki düşüş, köprü üzerindeki kazaların azalışındaki sebep olarak görülmektedir. Temmuz’dan Ağustos’a trafik akış miktarı artmasına karşın gişelerde meydana gelen kazaların %70 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. 12 Temmuz’da gişe sayılarının indirilmesiyle küçülen darboğazın bu düşüşte etkili olduğu düşünülmektedir. KGM mühendislerinin görüşüne göre [29], gişelerde meydana gelen kazaların ana sebebi uzun araçların gişelerde şerit değiştirmek zorunda kalan küçük araçları fark etmeyerek çarpmasıdır. Çalışma sonrası gişe sayısının azaltılmış şekliyle bırakılmasıyla kaza sayılarındaki azalma kalıcı olmuştur.

4. SONUÇ VE TAVSİYELER

Bu çalışmadan çıkan ana sonuçlar aşağıda verilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak tavsiyeler de italik fontta eklenmiştir.

1. Trafik izleme sistemleri hakkında bir araştırma yapılmıştır. İstanbul’da kullanılan trafik ölçüm detektörleri incelenmiştir. İstanbul’da çeşitli trafik ölçüm detektörleri olmasına karşın, bu detektörlerin sağladığı veriler sürekli ve güvenilir veri verme konusunda yeterli değildir. *İstanbul’a uygun trafik ölçüm detektörlerinin seçilmesi, geliştirilmesi ve konuşlandırma planı yapılması hakkında, bu konuda uzmanlaşmış ve İstanbul koşullarını iyi bilen özel bir birim kurulmalıdır.*
2. Veri arşivleme üzerine bir araştırma yapılmıştır. İstanbul’da veri toplayan ve arşivleyen iki kuruluş mevcuttur. Ancak toplanan veriler saat tabanlı arşivlenmektedir. Toplanan veriler sağlıklı bir trafik çözümlemesi için yetersizdir. Trafik ölçüm detektörlerinin bütün özellikleri kullanılmamakta, yalnızca anlık ihtiyaca göre hareket edilmektedir. Kuruluşlar arası bilgi alışverişinde de sıkıntı yaşandığı görülmüştür. İstanbul gerçek-zamanlı trafik izleme ve sürücülerini anlık bilgilendirme konusunda başarılı, trafik çözümlemesine bağlı gelecek trafik yönetimi planlamasında başarısız bir izlenim vermektedir. *Bu sebeplerden İstanbul’a şu görevleri yerine getirecek ayrı bir trafik birimi gerekmektedir: (1) Bütün birimlerden trafik verilerini toplama, (2) toplanan verileri düzenli bir şekilde arşivleme, (3) bu bilgilerin araştırmacılara ulaştırmasını sağlama, (4) İstanbul trafiği hakkında yapılan araştırmaları toplayıp, bunlardan faydalanma, (5) gelecek için trafik yönetim planlaması*

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

yapmak. Bu birim tamamen alanında uzman trafik mühendisleri tarafından idare edilmelidir.

3. Çalışma alanı trafik yönetim stratejileri üzerine çalışma yapıldı. Çalışma alanlarında önceden trafik yönetim planlaması yapmak için kapasite tahmini ve strateji geliştirme hakkında yapılan araştırmalar irdelendi. FSM Köprüsü durum çözümlemesinde ilk yönetim planlamasının yetersiz olduğu ve çalışma başladıktan 24 gün sonra etkili bir plan yapılabildiği anlaşılmıştır. *İlerdeki çalışmalarda deneme-yanılma metodundan çok, önceki çalışmalardan edinilen tecrübelerden faydalanılması önemlidir. Bunun için, yapılan çalışmalarda trafik çözümlemesi yapılmalı ve bu durumlarda yaşanan tecrübeler raporlanarak, ilerdeki planlamalarda kullanılmak üzere arşivlenmelidir.*

4. ABD’de daha önce yürütülmüş çalışmalarda yaşanan çalışma alanı trafik durumları hakkında yapılmış trafik çözümlemeleri incelenmiştir. *İlerde yapılacak olan çalışmalarda bu tarz benzer çalışmalar araştırılıp, geçmiş tecrübelerden faydalanılması önemlidir.*

5. FSM Köprüsü bakım çalışmasında uygulanan çalışma alanı trafik yönetimi stratejilerinin çözümlemesi yapılmıştır. Trafik akış değişkenleri saatlik ve günlük olarak ele alınmıştır. Çalışma 4 dönemdeki trafik bilgilerinin karşılaştırılması ile yapılmıştır. Bu dönemler; (1) çalışma öncesi, (2) çalışma sırasında yeni çalışma alanı trafik yönetimi stratejileri uygulanmadan önce, (3) çalışma sırasında yeni stratejiler uygulandıktan sonra ve (4) çalışma sonrası şeklinde oluşturulmuştur. Yapılan istatistiksel testlerin sonuçları şöyledir:

- Ortalama akış miktarlarının bakım çalışmasına bağlı olarak değişimleri istatistiksel olarak önemliyken, alınan yeni çalışma alanı trafik yönetim kararlarında yaşadığı değişim önemsizdir. Ortalama akış miktarı çalışma başlangıcıyla %36.14 düşmüş; çalışma süresi içinde alınan, gişe sayısının azaltılması, otobüs ve kamyonlarının FSM geçiş sürelerinin güncellenmesi kararlarından sonra önemli bir değişim olmamış; çalışmanın sona ermesiyle %28.94 oranında artmıştır. Çalışma sonrası dönemde, maksimum akış miktarında artış gözlenirse de, bu değer çalışma başlamadan önceki dönem için hesaplanan maksimum akış değerinden %22.5 düşüktür. Bunun sebebi muhtemelen; gişe sayısının azaltılmasından dolayı darboğazın trafik üzerine etkisinin de azalmasından kaynaklanmaktadır. Gişe sayısı azaltılmadan önceki dönemde oluşan darboğaz yüzünden, araçların yüksek hızlarda gişelere yaklaşıp, gişeler bölgesinde trafik sıkışıklığına takıldığı gözlemlenmiştir. Sonraki dönemde gişe sayısının azaltılmasıyla, seyahat eden araçların hızları eskisi kadar dalgalanma yapmazken, gişe bölgesinde ortalama hızlar yükselmiş ve gişeye uzak bölgelerde ortalama hızlar düşmüştür. Gişeye uzak bölgelerdeki ortalama hız değerlerindeki düşüşler, akış miktarı-hız grafiği eğilim çizgisinin daha yassı olmasına ve maksimum kapasite değerlerinin daha düşük çıkmasına sebep olmuştur.
- Ortalama hız değerlerindeki değişimlerin tamamı istatistiksel olarak önemlidir. Ortalama hız değeri; çalışma başlangıcıyla %40.58 düşmüş; çalışma süresi içinde alınan, gişe sayısının azaltılması, otobüs ve kamyonlarının FSM geçiş sürelerinin güncellenmesi kararlarından sonra %58.54 artmış; çalışmanın sona ermesiyle %33.84 oranında artmıştır.

- Ortalama işgaliye değerlerindeki değişimlerin tamamı istatistiksel olarak önemlidir. Ortalama işgaliye değeri çalışma başlangıcıyla %85.71 artmış; çalışma süresi içinde alınan, gişe sayısının azaltılması, otobüs ve kamyonlarının FSM geçiş sürelerinin güncellenmesi kararlarından sonra %23.07 azalmış; çalışmanın sona ermesiyle %40.0 oranında azalmıştır.

Sonuç olarak; (i) akış miktarları, hız ve işgaliye değerlerinin sadece şerit sayısı ile etkilendiği, (ii) hız ve işgaliye değerlerinin 12 Temmuz'da alınan yeni kararlarla önemli oranda iyileştiği belirlenmiştir.

6. Zirve saatlerinin dönemlere göre değişimi incelenmiştir. Çalışmaların başlamasıyla birlikte ortalama hızlar günde 18 saat 40 km/sa'in altında; günde 14 saat 20 km/sa'in altında seyretmiştir. Yeni trafik yönetim planıyla birlikte ortalama hızlar günde sadece 2 saat 20 km/sa'in altına düşmüştür.

7. Kuyruk uzunluğunu belirleyebilmek için bir çalışma yapılmıştır. Kuyruk uzunluğuyla ilgili verilerin bulunmaması dolayısıyla; kuyruk uzunluğu, TEM üzerindeki kameralardan alınan verilere dayanarak hızın düştüğü yerler tespit edilerek tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, çalışma başladıktan sonra kuyruğun Seyrantepe'ye yani 5 km'ye kadar ulaştığı görülmüştür. *Kuyruk uzunluğu ve seyahat süreleri gibi bilgiler trafik çözümlemesi için önemlidir. Bu bilgiler toplu taşıma araçlarındaki mevcut GPS araçlarından rahatlıkla toplanıp arşivlenebilir.*

8. Gişe sayılarının çokluğundan kaynaklanan darboğaz çözümlenmiştir. Araçlar gişelere varana kadar yüksek hızda seyredip gişelerde takılmakta, gişelerden sonra tekrar hızlanmaktadır. Gişelere gelmeden önceki detektörlerde saat 9:00-15:00 arası ortalama hızlar 70-90 km/sa arasında seyrederken, gişelerde ortalama hız 40 km/sa dolaylarında seyretmektedir. Bu durum, gişe sayısının azaltılmasıyla bir miktar değişmiş, yol boyunca daha homojen bir hız dağılımı görülmüştür. *Düzenli bir trafik akışını sağlamak için, FSM girişindeki gişe sayısının fazla olduğu görülmüş; en etkili gişe sayısının belirlenmesi için simülasyona dayalı çalışma yapılması gerektiği belirlenmiştir.*

9. Gişelerdeki trafik sıkışıklığı detaylı olarak incelenmiştir. Darboğazın trafik sıkışıklığına neden olan tek etken olmadığı; iki ödeme metodu bulunmasının da ciddi bir etken olduğu görülmüştür. Farklı ödeme yöntemleri, araçları şerit değiştirmeye zorlamaktadır. Buna ek olarak, gişelerde meydana gelen kazaların büyük oranda uzun araçların, şerit değiştirmeye çalışan otomobilleri fark etmemesinden kaynaklandığı görülmüştür. FSM'den geçen uzun araçların sayısındaki azalma ve gişe sayılarının düşürülmesi kaza sayısını %80 oranında azaltmıştır. Şerit değiştirmelerin önüne geçebilmek için tek ödeme sistemine geçilmesi faydalı görünmektedir. İki farklı elektronik geçiş sisteminin uygulanması dahi şerit değiştirmelerin önüne geçmeyeceğinden; böyle bir sistemin, trafiğe ve yol güvenliğine muhtemel etkisi kısıtlı olacaktır.

10. Gişelerden geçiş ücretlerinin kaldırılmasının trafiğe etkisi çözümlenmiştir. Sonuç olarak, gişelerin ücretli olduğu hafta;

- Gişelerin ücretsiz yapıldığı ilk hafta ile kıyaslandığında, ortalama hızda %16.92 düşüş, ortalama işgaliye değerinde %91.67 artış,

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

- Gişelerin ücretsiz yapıldığı ikinci hafta ile kıyaslandığında, ortalama hızda %12.31 düşüş, ortalama işgaliye değerinde %66.67 artış,
- Gişelerin ücretsiz yapıldığı üçüncü hafta ile kıyaslandığında, ortalama hızda %3.1 düşüş, ortalama işgaliye değerinde %58.33 artış gözlemlenmiştir.

Ücretsiz geçişin trafiğe negatif etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Gişelerdeki ücretleri zirve saatlerde artırarak, köprülere olan talebi düşürmek yönünde bir karar trafiğe olumlu etki edebilir.

11. Otobüs ve hafriyat kamyonlarının FSM'den geçişi ile ilgili alınan yeni kararın etkili olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan istatistik testler sonucu, bu karar sonrası köprüden geçen aks aralığı 3,2 m'den büyük 2 akslı ve 3 akslı araçların sayısında önemli bir azalma olduğu görülmüştür. Yeni uygulama ile; aks aralığı 3.2m'den büyük 2 akslı günlük geçen araç sayısında %23.6 azalma görülürken, 3 akslı günlük geçen araç sayısında %15.7 azalma tespit edilmiştir. Bu azalmanın trafiğe olan etkisi alınan yeni kararın, gişe sayısının azaltılmasıyla aynı gün uygulanması sebebiyle tespit edilememiştir. Ancak, bu kararın trafiği ve yol güvenliğini olumlu etkilediği düşünülmektedir. *İstanbul Avrupa Yakası'nda bulunan otopark Asya Yakası'na taşınmalıdır. Otoparkın mevcut konumu dolayısıyla, otobüslerin büyük bir yoğunluğu köprülerden geçmek zorunda olduklarından, köprü trafiğine ciddi bir yük eklenmektedir. Otoparkın Anadolu yakasına taşınmasıyla, köprülerden geçen otobüs miktarı ciddi oranda düşecektir.*

Semboller

- AUS : Akıllı Ulaşım Sistemleri
İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
KGS : Kartlı Geçiş Sistemi
OGS : Otomatik Geçiş Sistemi
RTMS : Remote Traffic Microwave Sensors
TKM : Trafik kontrol Merkezi
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
TYM : Trafik Yönetim Merkezi

Teşekkür

İBB Trafik Kontrol Merkezi'ne ve Karayolları Genel Müdürlüğü'ne sağladıkları trafik akış verileri, kaza bilgileri ve iş programından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] TÜİK, Taşıt Türleri ve Motorlu Kara Taşıtları Sayısı, Ulaşım İstatistikleri, Ankara, İstanbul, 2012.
- [2] Ergün G., Şahin, N., Development of Traffic Congestion Management Strategies: Strategic Plan Studies, İstanbul, 2006.
- [3] ACEA, Basic Survey on Congestion in Europe, European Automobile Manufacturers Association, Brussels, 2004.
- [4] Aydın, Ö.F., Evaluation of Work Zone Management Strategies: FSM Bridge Case Study, Master Thesis, Boğaziçi University, 2013.
- [5] Leung H., El Faouzi N.E., Kurian A., “Intelligent Transportation System (ITS)”, Information Fusion, 01/2011; 12:2-3, 2011.
- [6] Federal Highway Administration (FHWA), “Work Zone Mobility and Safety Program”, Washington, D.C., USA, 2011.
- [7] Martinelli, D.R., Xu, D., “Delay Estimation and Optimal Length for Four-Lane Divided Freeway Work Zones”, Journal of Transportation Engineering 122(2), 114-122, 2006.
- [8] Jiang, Y., “Traffic Capacity, Speed and Queue Discharge Rate of Indiana’s Four-Lane Freeway Work Zones”, Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board 1657, 10-17, 1999.
- [9] Sconfeld, P., Chien, S., “Optimal Work Zone Lengths for Two-Lane Highways”, Journal of Transportation Engineering 125(1), 21-29, 1999.
- [10] Chitturi, M., Benekohal, R., Kaja-Mohideen, A.Z., “Methodology for Computing Delay and User Costs in Work Zones”, Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board 2055, 31-38, 2008.
- [11] Adeli, H., Jiang, X., “Neuro-Fuzzy Logic Model for Freeway Work Zone Capacity Estimation”, Journal of Transportation Engineers, ASCE, 2003.
- [12] Jiang, X., Adeli, H., “Object-Oriented Model for Freeway Work Zone Capacity and Queue Delay Estimation”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 19, 144-156, 2004.
- [13] Karim, A., Adeli, H., “CBR Model for Freeway Work Zone Traffic Management”, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 134-145, 2003.
- [14] Vidya R., Santhakumar S.M., Mathew S., “Impact of Work Zones on Speed Variation During Widening of the Highway – A Case Study”, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), India, 2012.
- [15] Carr, R.I., “Construction Congestion Cost – CO3 User Manual.”, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, 1998.
- [16] Edara P.K., Cottrell B. H. Jr., “Estimation of Traffic Mobility Impacts at Work Zones: State of the Practice.”, TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM, Virginia, 2006.

Trafik Yönetim Stratejileri: FSM Köprüsü Bakım Çalışmaları Örneği

- [17] Jackson, J., “Dynamic Work Zone Management”, Institute of Transportation Engineers, ITE Journal, May 2010, 80, 5, pg. 26-33, 2010.
- [18] Federal Highway Administration (FHWA), “Benefits of Using Intelligent Transportation Systems in Work Zones – A Summary Report”, Report No. FHWA-HOP-08-021, Washington, D.C., USA, 2008.
- [19] Research and Innovative Technology Administration (RITA), “Deployment Statistics – Freeway Management”, Washington, D.C., USA, 2012.
- [20] Klein, L.A., “Data Requirements and Sensor Technologies for ITS”, Norwood, MA, Artech House, 2001.
- [21] Hollborn, S., “Intelligent Transport System in Japan”, Technische Universität Darmstadt, July 2002, Germany, 2002.
- [22] Federal Highway Administration (FHWA), “Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management”, Report No FHWA-PL-07-012, Washington, D.C., USA, 2007.
- [23] Egnatia, “Driving on the Egnatia Motorway, Traffic Data”, Egnatia Odos A.E., Greece, 2012.
- [24] Sparmann, J., “Freeway Operation in Germany: Experiences in Hessen”, Presentation to First International Symposium on Freeway and Tollway Operations, Athens, Greece, 2006.
- [25] Helleman, B., “Hard Shoulder Running (HSR) in the Netherlands” Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Public Works and Water Management, AVV Transport Research Centre, Rotterdam, The Netherlands, Presentation to PCM Scan Team, 2006.
- [26] England Highway Agency, “Active Traffic Management (ATM) Project M42 Junctions 3A-7”, Highway Agency, England, 2012.
- [27] Sen, R., Raman, B., “Intelligent Transportation Systems for Indian Cities”, Indian Institute for Technology, Bombay, India, 2012.
- [28] Trafik Kontrol Merkezi, İstanbul, 2012.
- [29] Trafik Yönetim Merkezi, Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü Fatih Sultan Mehmet Köprüsü Bakım İşletme Başmühendisliği, İstanbul, 2012.
- [30] Federal Highway Administration (FHWA), “Traffic Detector Handbook” Third edition Volume 1, Publication No.FHWA-HRT-06-108, Washington, D.C., USA, 2006.
- [31] Downs A., “Traffic: Why It’s Getting Worse, What Government Can Do”, Brookings Institution Policy Brief, January 2004, pp.1-8, 2004.
- [32] Federal Highway Administration (FHWA), “Comparative Analysis Report: The Benefits of Using Intelligent Transportation Systems in Work Zones”, Report Number FHWA-HOP-09-002, Washington, D.C., USA, 2008.