

TAM ADAPTİF TRAFİK YÖNETİM ALGORİTMASI İLE SİNYALİZE KAVŞAKLARIN AKILLANDIRILMASI : KONYA İHSANIYE KAVŞAĞI ÖRNEĞİ

Hayri BÜYÜKÇAY¹
Şule YÜCEL²

ÖZET

Günümüzde pek çok sinyalize kavşak sabit süreli olarak yönetilmektedir. Kavşaklara yerleştirilecek sensörler (manyetik dedektör, kamera gibi) ile araç yoğunluklarının algılanması ve kavşağın bu yoğunluk değerlerine göre adaptif olarak yönetilmesi, çok daha verimli bir yaklaşımdır. Bu bildiride, tam adaptif yönetim için bir yöntem önerilmiştir. Sinyalize kavşakların tam adaptif olarak yönetimini sağlayan bu yöntem, kavşağa yerleştirilen kameralardan gelen anlık verileri ve geçmiş verilerini kullanarak, bir sonraki döngüye ait tüm olası senaryoları analiz eder. En düşük ortalama bekleme süresini veren senaryo işleme konarak, eklenecek/çıkarılacak yeşil ışık süresi ve (istenirse) bir sonraki aktif faz belirlenir. Önerilen yöntemin uygulama noktalarından biri olan Konya İhsaniye Kavşağı'nda gerçek veriler ışığında ve benzetim ortamında araçların kavşakta ortalama bekleme süresinin yaklaşık %40 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler / Kavramlar: Kavşak yönetimi, tam adaptif, sabit süreli, anlık araç sayısı, servis vektörü, talep oranı.

GİRİŞ

Dünya nüfusu, gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut alt yapılar, artan nüfusla ortaya çıkan ihtiyaçları karşılamakta zorlanmaktadır. Karşılanamayan bu ihtiyaçların insan hayatı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için birçok alanda iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu alanların en önemlilerinden biri şüphesiz trafiktir. Nüfus artışına paralel olarak trafikteki taşıt sayısı da artmaktadır.

Taşıt kullanımının artmasıyla birlikte, özellikle büyük şehirlerde yoğun trafiğin ortaya çıkardığı birçok sorun, acilen önüne geçilmesi gereken bir hal almıştır. Trafik yoğunluğu, ulaşım süresinin artmasına, fazla yakıt tüketilmesiyle yüksek enerji maliyetlerine ve egzoz gazı salınımıyla çevre kirliliğine sebep olmaktadır. TÜİK tarafından yayınlanan motorlu kara taşıtları sayısının yıllara göre dağılımını gösteren istatistiki veri Şekil 1'de görselleştirilmiştir. Bu verilere göre, 2013 yılı Şubat ayı itibarıyla toplam motorlu taşıt sayısı 17,191,105'dir. (tuik.gov.tr, 2013)

Bilindiği üzere, ülkemizde trafik ışıkları sadece zaman ayarlı olarak çalışmaktadır. Bu durum;

- i. Araçların trafikte daha uzun kalmasına sebep olarak, trafik yoğunluğunu kabul edilemez hale getirmekte,
- ii. Zaman kaybına yol açmakta,
- iii. Yakıt tüketimini artırmakta,

¹ İnşaat Yüksek Mühendisi, Konya Büyükşehir Belediyesi, Konya, TÜRKİYE, e-mail: hasibmim@gmail.com

² Sistem Mühendisi, Integrated Systems & Systems Design (ISSD), Ankara, TÜRKİYE, e-mail: sule.yucel@issd.com.tr

- iv. Çevre kirliliğine olumsuz katkıda bulunmakta,
- v. Kırmızı ışıkta gereksiz beklemlerin neden olduğu kırmızı ışık ihlallerini ve trafik kazalarını artırmaktadır.

Şekil 1. Motorlu kara taşıtları istatistiği (tuik.gov.tr, 2013)



Öte yandan, günümüz teknolojisi, düşük maliyetli kameraların, yüksek işlem gücüne sahip işlemcilerin ve sayısal devrelerin, görüntü işlemeye dayalı akıllı sinyalizasyon sistemlerinin tasarımında kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle son yıllarda hızla gelişen görüntü işleme teknikleri ve başarılı uygulamalar da bu fikri güçlendirmektedir. Bu uygulamaların sinyalizasyon sistemlerinde kullanılması halinde, trafik ışıklarının kavşaklardaki araç yoğunluğuna bağlı değişken zamanlı olarak çalışması sağlanabilmektedir.

Akıllı Trafik kontrol sistemlerinde teknoloji kullanımına literatürde geniş yer verilmiştir. Dubai’de çeşitli gözleyici kameralar ve algılayıcı sistemlerinden oluşan akıllı bir trafik sistemi farklı konumlara yerleştirilmiştir (ameinfo.com, 2010). Kazalar, trafik yoğunluğu vb. ulaşımı ile ilgili bilgiler tespit edilerek merkezi bir sisteme gönderilmekte, böylece trafik yoğunluğunun ilk aşamada %15 azalacağı belirtilmektedir. Benzer sistemlerin olduğu ülkelerde trafik yoğunluğunun %30 azaldığı not edilmektedir. Chicago’da Lake County merkezinde video kameralarla trafik hızını tespit eden ve trafik yoğunluğunu hesaplayarak kavşaklarda trafik işaretlerini düzenleyen bir sistem kurulmuştur (Varon, 2006). Kavşaklara birden fazla video kamera yerleştirmek yerine 360 derece bakış alanı olan şaşı-göz tek bir kamera çözümü Tennessee’de bir teknoloji firması tarafından önerilmiş ve ürün haline getirilmiştir (aldiscorp.com, 2009).

Avusturya Klagenfurt Üniversitesi yöneticiliğinde yürütülen EVis projesi kapsamında araştırma alanları, öğrenmeye ve saha adaptasyonuna dayalı görüntülemeli tabanlı tespit ve sınıflandırma yöntemleri geliştirilmesi, radar, kızılötesi ve benzeri algılayıcılardan elde edilen verilerin uygun tekniklerle tümleştirilmesi ve geliştirilen algoritmaların dağıtık gömülü platformlarda uygulanmasına ilişkin yöntem ve tekniklerin geliştirilmesini içermektedir (Rinner, 2010).

Akıllı trafik ışıklandırma sisteminin bir parçası olmamakla birlikte, çalışma (Escalare vd., 1997)'de araçlara yerleştirilen video kamerayla trafik işaretleri tespit edilip sınıflandırılarak sürücüler için güvenli sürüş ortamı sağlanmaya çalışılmaktadır. Trafik işaretleri renk eşikleme kullanılarak tespit edilmekte, işaretlerin şekil özellikleri kullanarak yapay sinir ağları kullanılarak işaretler sınıflandırılmaktadır. Çalışma (Koller vd., 1994)'de Kalman süzgeci kullanarak adaptif şekilde arkaplanı modelleyen yöntem kullanarak araçlar tespit edilmektedir. Böylece farklı ortam şartlarında başarılı şekilde arkaplan kestirilmektedir. Arkaplan farkına dayalı olarak araçların çevritleri çıkarılmaktadır. Çalışma(Serrano vd., 2005)'te iki kameradan oluşan bilgisayar tabanlı bir akıllı trafik sinyalizasyon prototipi ileri sürülmektedir. Prototipte, kameralardan biri yolu diğeri ise yayaları izlemektedir. Önerilen algoritma kullanılarak uygun şekilde sinyalizasyon gerçekleştirilmektedir.

Akıllı trafik sistemlerinin teknoloji kullanımı ile bir bütün olarak düşünülmesi gereken diğer bileşeni kontrol/yönetim algoritmaları konusunda da pek çok çalışma yapılmıştır. Trafik uyarmalı sinyal sistemleri için adaptif bir kontrol algoritması öneren (Zeng ve Recker, 2013), eklenik taşıt kuyruğu hesabı ile faz sırası, maksimum/minimum yeşil süresi ve süre artırımını parametrelerini optimize etmeye çalışmıştır. Çalışma (Binbin vd., 2010)'de kablosuz sensörler ile gerçek zamanlı trafik bilgisi olarak, trafik hacmi, bekleme süresi, araç yoğunluğu gibi faktörler inceleyen adaptif bir kontrol algoritması önerilmiştir. Sabit zamanlı ve trafik uyarmalı algoritmalarla karşılaştırıldığında, önerilen yöntemin ortalama bekleme süresini daha etkili şekilde düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Çalışma (Sha'Aban, 2002)'de, yeni bir evrimsel yaklaşımla online trafik kontrolünün yapılması amaçlanmıştır. Sistem performansı simülasyon ortamında test edilmiş, önerilen yöntemin bazı durumlarda sabit süreli, optimize süreli ve trafik uyarmalı sistemlere göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma (Cai, 2009) adaptif trafik sinyal kontrolü konusunda yazılmış bir tez olup, "Tahmini Dinamik Programlama" algoritması ile izole kavşaklarda ve trafik ağında gerçek zamanlı trafik sinyal kontrolü yapmayı hedeflenmiştir. Çalışma (Wei vd., 2006), gerçek-zamanlı trafik sinyal kontrol algoritmasıyla kuyruk uzunluğunu minimize etmeyi amaçlamaktadır. Ortalama bekleme süresinin analiziyle, önerilen sistemin diğer trafik uyarmalı sistemlere göre %10-16 daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Birden fazla kavşağın adaptif sinyal kontrolü için bir algoritma öneren çalışma (Faye vd., 2012)'in, değişen trafik koşullarına daha hızlı adapte olduğu gözlenmiştir. Çalışma (Rowe, 1991)' da Los Angeles trafik gözlem ve kontrol sistem örneği verilmiş, (Basic vd., 2012)'de ise mevcut adaptif sinyal kontrol teknolojilerinin (SCATS, SCOOT, ACS Lite vs.) performansları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, sinyalizasyon bir kavşağın tam adaptif yönetilmesini sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Yöntemin örnek bir uygulaması Konya İhsaniye Kavşağı'nda gerçekleştirilmiş, iyileştirme sonuçları hem gerçek veriler üzerinden, hem de benzetim ortamından alınan sonuçlar üzerinden tartışılmıştır.

1. YÖNTEM

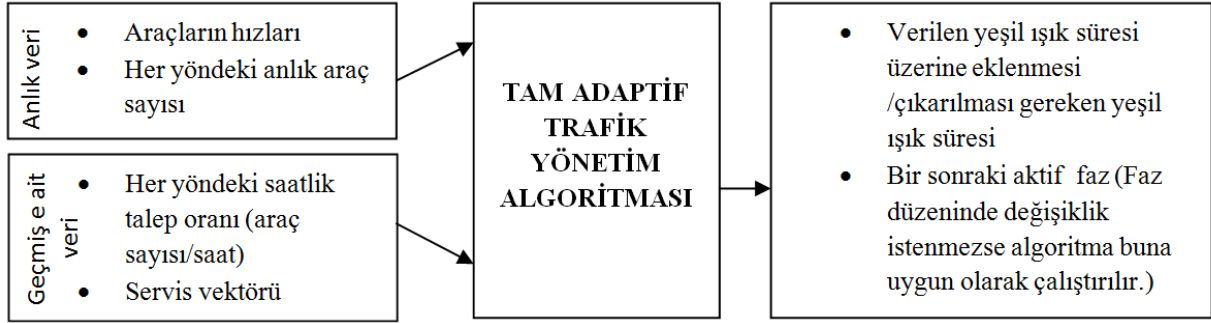
Sinyalizasyon kavşaklarının tam adaptif olarak yönetimini sağlayan bu yöntem, kavşağa yerleştirilen kameralardan gelen anlık ve geçmişe ait veriler kullanarak, bir sonraki döngüye ait tüm olası senaryoları analiz eder. En düşük ortalama bekleme süresini veren senaryo işleme konarak, eklenecek/çıkarılacak yeşil ışık süresi ve (istenirse) bir sonraki aktif faz belirlenir.

“Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması” adı verilen bu yöntemin iki temel amacı vardır:

- i. Kavşak göbeğinden birim zamanda geçen araç sayısını maksimize etmek,
- ii. Ortalama bekleme süresini minimize etmek.

Söz konusu yöntemin girdilerini, anlık veriler ve geçmişe ait veriler olarak sınıflandırmak mümkündür. Yöntemin çıktıları, idari birimlerin kararlarına ve kavşak yapısına göre değiştirilebilir yapıdadır. (Şekil 2)

Şekil 2. Tam adaptif trafik yönetim algoritması girdi ve çıktıları



Yöntemin Girdileri

Yöntemin ihtiyaç duyduğu veriler iki yolla sağlanır :

- a. kavşağa yerleştirilen sensörler yardımıyla anlık trafik verisinin alınması,
- b. kavşağın geçmişe ait verilerinin sistem hafızasında tutulması, belirli periyotlarla güncellenmesi ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılması.

Anlık Veriler

Yöntemin ihtiyaç duyduğu anlık veriler, ortalama araç hızı ve her yöndeki anlık araç sayısıdır. Bir yönden tahmin edilen sayıdan fazla sayıda araç gelirse, gelen aracı geçirip geçirmeme kararı verilirken araç hızlarına bakılır. Gelen aracın hızı tespit edilerek kavşağı ne kadar sürede terk edeceği hesaplanır, eğer ortaya çıkan senaryo diğerlerinden daha verimli ise uygulanır, değilse o yön kapatılarak aracın geçmesine izin verilmez.

Her yöndeki anlık araç sayısı, yani kuyrukta bekleyen araç sayısı, hangi yöne ne kadar yeşil süre verileceği kararı alınırken kullanılan esas veridir. Kuyrukta bekleyen araç sayılarının faz değişimine göre çizdirilmiş grafiği Şekil 4’te verilmiştir. Anlık verilerin nasıl üretildiği konusunun detayı bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

Geçmişe Ait Veriler

Yöntemin ihtiyaç duyduğu geçmişe ait veriler, her yöndeki saatlik talep oranı ve servis vektörüdür. Saatlik talep oranı, bir yöne yeşil ışık yanıyorken, o yönden gelmeye devam eden araç sayısının tahmininde kullanılır.

Yapılan kavşak etütleri sırasında alınan sayımlar, geçmişe ait talep oranını veren çalışmalardır. İhsaniye Kavşağı’na ait sayım verileri Tablo 1’de verilmiştir. Verilen değerler saatlik olup, koyu renkle gösterilmiş sayılar, ilgili yönün belirtilen zaman aralığındaki saatlik talep değerine karşılık gelmektedir.

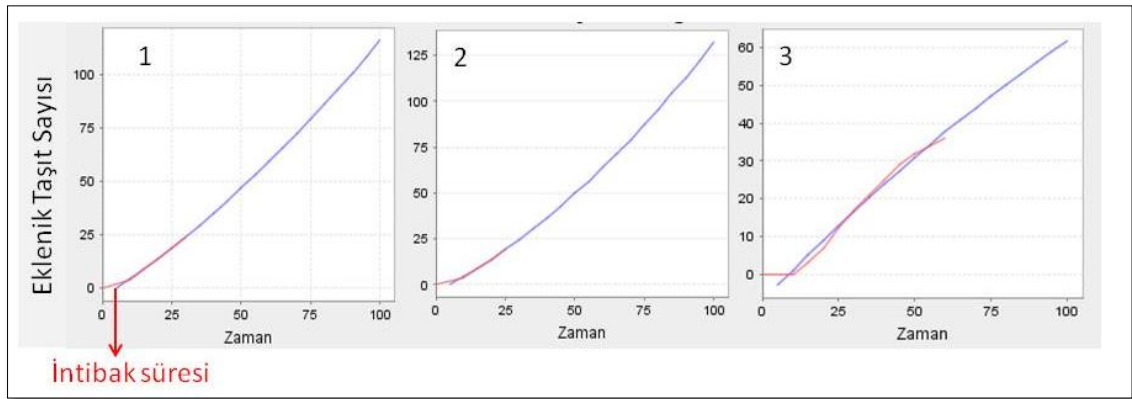
Tablo 1 İhsaniye Kavşağı saatlik sayım verileri

	Vatan Caddesi Geliş				Vatan Caddesi Gidiş				Millet Caddesi				Yahya Çvş Caddesi geliş				Yahya Çvş Caddesi gidiş				
	2	3	4	Σ	1	3	u	Σ	1	2	4	Σ	1	2	3	Σ	1	2	3	4	Σ
08:00-10:00	225	40	255	520	720	245	80	1045	-	420	15	435	675	280	30	985	160	65	165	85	520
10:00-17:00	325	20	225	570	500	190	140	830	-	280	40	320	270	110	50	430	200	90	180	70	540
17:00-20:00	425	40	475	940	450	325	225	1000	420	30	-	450	335	155	65	555	165	90	215	90	560

Servis vektörü, araçların yeşil ışık yanmasından itibaren oluşturdukları hareket karakteristiğini açıklayan bir veri olup, farklı koşullarda çok farklı sonuçlar verebileceği için ölçümü oldukça kritiktir. Servis vektörünün ölçüleceği yönün mutlaka doymun akıma ulaşmış olması gerekir. Ayrıca, farklı hava koşulları, yoğun saatler gibi etkenler servis vektörünü çok az da olsa değiştirebildiği için, servis vektörünün hem kaydedilmiş verilerini kullanmak, hem de anlık veriyle güncelleme yapmak gerekmektedir. Burada kullanılacak anlık veri, işgaliye değeri (yönün doymun akımda olduğunun kontrolü için) ve geçen araç sayısıdır.

Kavşakta ilk kez çalışmaya başlandığında servis değerlerinin kalibre edilmesi gereklidir. Bunun için, talep ve servis değerlerini kullanarak gelecek değerlerle ilgili tahminde bulunan “Eklenik Taşıtl Sayısı” yöntemi kullanılmıştır. (Bertini, 1999) İhsaniye Kavşağı'nın üç yönüne ait, “Eklenik Taşıtl Sayısı Yöntemi” ile oluşturulmuş eklenik taşıtl sayısı grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Burada geçen **İntibak süresi**, sürücünün yeşil ışık yandıktan sonra aracı hareket ettirmesine kadar geçen refleks süresidir.

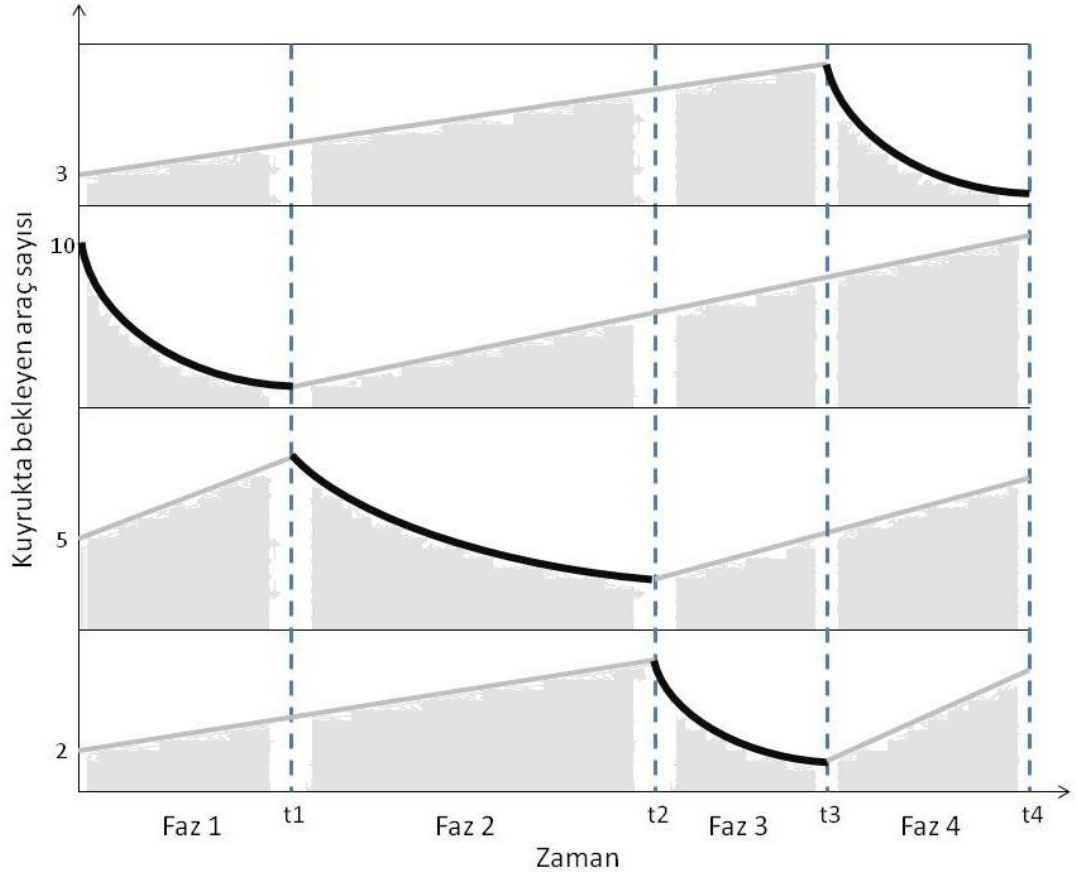
Şekil 3 İhsaniye Kavşağı eklenik taşıtl sayısı eğrileri



Yöntemin İşleyişi

Önerilen yöntemin temel çalışma prensibi, farklı senaryolar içinden en optimum olanına karar vermektir. Şekil 4'teki kuyrukta bekleyen araç sayısı grafiğinde, başlangıç fazı 1 olup, faz geçişinin ne zaman yapılacağına, tüm grafiklerin altında kalan alana bakılarak karar verilir. Tüm aşamalarda amaç, grafiklerin altında kalan alanı minimumda tutmaktır. (Denklem (1))

Şekil 4 Kuyrukta bekleyen araç sayılarının fazlara göre değişimi



*Bu şekilde, t4, döngü süresine, gri ile taralı alan ise kavşaktaki toplam bekleme süresine karşılık gelmektedir.

Yukarıda anlatılan durum, faz sırasının değiştirilmemesi halinde geçerlidir. Eğer faz sırası da değiştirilecekse, yukarıdaki grafik tüm olası faz sıraları için çizdirilir ve hedef fonksiyonunu minimum yapan faz sıralaması seçilir. Hedef fonksiyonu, denklem (1)'de verilmiştir.

$$\min f(i) = \min f(i) = \frac{\text{toplam bekleme süresi}(i)}{\text{Döngü süresi}(i)} = \frac{\text{taralı alan}}{t_4} \quad (1)$$

(i: olası senaryo indeksi)

Yöntemin Çıktıları

Yöntem, her saniye hangi yöne yeşil yakmalıyım sorusunun cevabını verdiği için, ürettiği çıktı, bir döngü sonunda verilen yeşil süre üzerine eklenmesi/çıkarılması gereken süre olacaktır. Eğer kavşakta faz sırasında değişiklik yapılması isteniyorsa, bir sonraki aktif faz kararı ikinci çıktı olacaktır. Eğer faz sırasının sabit olması isteniyorsa bu çıktı üretilmez.

2. KONYA İHSANIYE KAVŞAĞI UYGULAMASI

“Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması”nın ihtiyaç duyduğu girdileri üretebilmek ve algoritmanın çıktılarını kavşağa yansıtılabilmek için ilgili kavşağa akıllı bir sistemin kurulması gereklidir. Kurulacak akıllı sistem, yöntemin ihtiyaç duyduğu girdileri üretir, yöntemin üzerinde çalışacağı platformu ve yöntemin ürettiği çıktıların kavşağa yansıtılmasını sağlar.

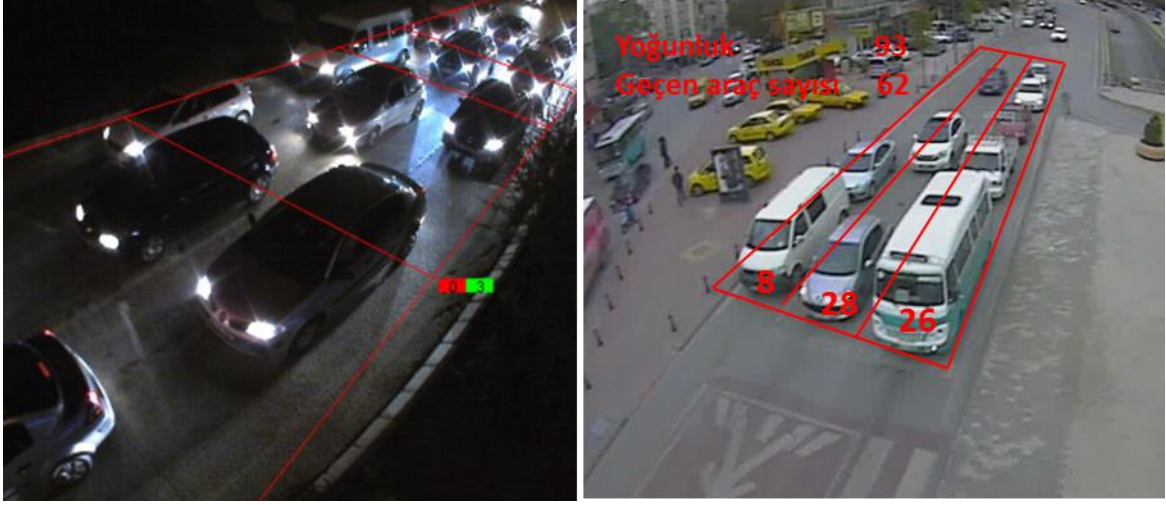
Yöntemin girdilerinden biri olan anlık verilerin (araçların hızları, her yöndeki anlık araç sayısı) verilerinin elde edilebilmesi için, kavşağa sensörler takılmalıdır. İhsaniye Kavşağı örneğinde sensör olarak kameralar kullanılmıştır. Kameraların asılması için, 8m yüksekliğinde, salınımaya dayanıklı özel direkler kullanılmış, altyapı ve yol imkanları uygun olduğu yerlerde direklerin her yönün solundaki refüjlere dikilmesine özen gösterilmiştir. Her bir kameranın açısı ve görüş alanı, direk yerleri ve yükseklikleri özel bir arayüz kullanılarak hesaplanmaktadır. Arayüz gerekli hesaplamaları yaparken, ilgili yöndeki araçların %8'in altında bir hata oranlarıyla sayılabilmelerini ve büyük taşıtların küçük taşıtları gölgeleme (occlusion) etkisini minimuma indirmeyi amaçlamaktadır. Bahsedilen arayüze ait bir görsel Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5 Kamera ayarlama programı arayüzü



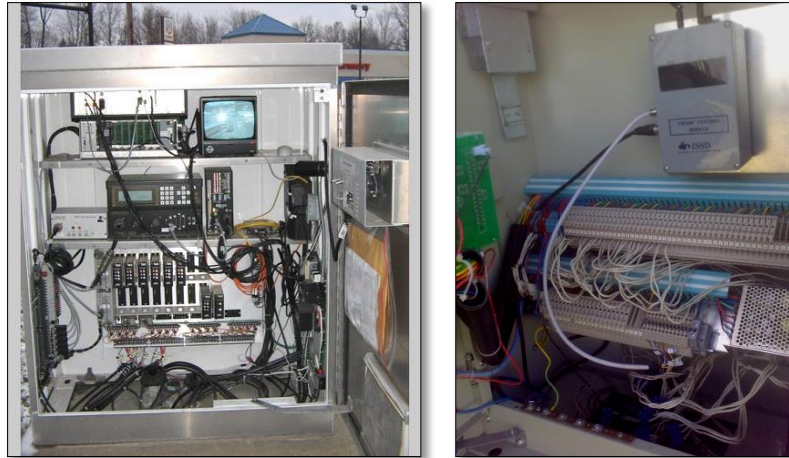
Kameralardan alınan görüntüler, görüntü işleme için özelleşmiş gömülü platformlarda gerçek zamanlı olarak işlenerek araç hızı, araç sayısı, işgaliye oranı, kuyruk uzunluğu gibi anlık trafik verileri üretilmektedir. Sistemin tüm aydınlanma ve hava koşullarına adapte olması ve dış ortamda düşük hata oranlarıyla çalışabilmesi, kavşağın verimli bir şekilde yönetilmesindeki kritik unsurlardır. Görüntü işleme konusundaki uzmanlıklar, bu kısımda büyük bir rol üstlenmektedir. İhsaniye Kavşağı'na ait gündüz ve gece sayım görüntülerinin örnekleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6 Gece ve gündüz görüntülerinde araç sayma işlemi



Sistemin diğer bileşeni, tüm kameralardan elde edilen verilerin toplandığı merkezi bir ünedir. Bu ünite, “Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması”nın ihtiyaç duyduğu geçmişe ait veriyi (saatlik talep oranı ve servis vektörü) hafızasında tutarak, söz konusu algoritmanın çalışırken girdi olarak kullanmasını sağlar. Ayrıca önerilen yöntem, merkezi ünitenin sunduğu gömülü platformda çalışmaktadır ve algoritmanın çıktıları da yine merkezi ünite tarafından alınarak kavşağa yansıtılır. Önerilen yöntemin çıktıları olan eklenecek/çıkarılacak yeşil süresi ve bir sonraki aktif faz bilgileri, bir arayüz birimi yardımıyla Kavşak Kontrol Cihazı’na (Şekil 7) iletilir. Böylece, verilerin “Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması” tarafından yorumlanması sonucunda verilen karar kavşağa / trafik ışıklarına yansıtılmış olur.

Şekil 7 Kavşak Kontrol Cihazı Örnekleri



Kavşakların adaptif yönetilmesinin yanısıra, sistemin sürekli olarak ürettiği trafik verileri Ulaşım Ana Planı'nın oluşturulması için kullanılabilir ve ayrıca istendiğinde tüm bu veriler Trafik Kontrol Merkezi gibi uzak bir noktaya aktarılabilir. Sistemin uzaktan erişime açık mimaride olması sayesinde de, kavşakların acil durumlarda (kaza gibi) Trafik Kontrol Merkezleri tarafından uzaktan kumanda edilmesi de mümkün olabilmektedir.

3. BULGULAR

Şekil 8’de İhsaniye Kavşağı’na yerleştirilen kameraların yerleri kamera sembolü ile gösterilmiştir. İhsaniye Kavşağı’ndaki altyapısal kısıtlar sebebiyle iki direk kullanılmış; direklerden birine takılan iki kamera “Vatan Caddesi gidiş” ve “Yahya Çavuş geliş” yönlerini, diğerine takılan üç kamera ise “Vatan Caddesi geliş”, “Yahya Çavuş gidiş”, “Millet Caddesi geliş” yönlerini görecek şekilde ayarlanmıştır.

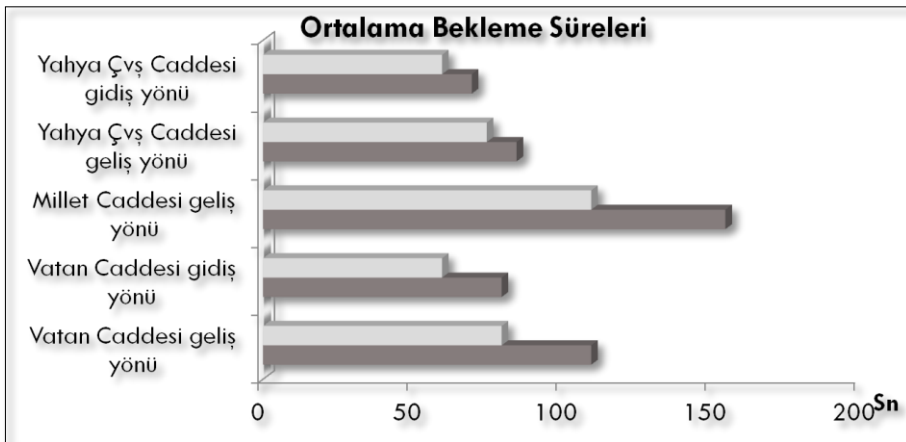
“Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması”nın, akşam zirvesinde her yöndeki ortalama bekleme süresinde oluşturduğu iyileştirme analizi Şekil 9’da verilmiştir.

Önerilen yöntemin günün farklı zaman dilimlerindeki etkisini gözlemek amacıyla bir analiz daha yapılmış olup, sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Şekil 8 İhsaniye Kavşağı kamera yerleşimleri



Şekil 9 İhsaniye Kavşağı yönlere göre iyileştirme sonuçları



Tablo 2 İhsaniye Kavşağı performans analizi sonuçları

Ortalama bekleme süresi (sn)			
	Eski durum	Yeni durum	İyileşme oranı
Sabah zirvesi	115	70	%39
Gün içi	88	63	%28
Akşam zirvesi	145	88	%39

*Faz düzeni bozulmadan

Sonuçların doğrulanması amacıyla, gerçek verilerle yapılan performans analizi, benzetim ortamında da yapılmıştır. PTV Vision Suite trafik simülasyonu kullanılarak İhsaniye Kavşağı'nın bir benzetimi yapılmıştır. Mevcut sinyal programı ve kavşak sayım verileri benzetim ortamına girilerek, kavşağın mevcut durumu oluşturulmuştur. Ardından, "Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması" simülasyon programına bir ek modül olarak kodlanmış, kavşağın bu module göre çalışması sağlanmıştır. PTV Vision Suite trafik simülasyonu kullanılarak yapılan benzetimin görseli Şekil 10'da verilmiştir.

Şekil 10 İhsaniye Kavşağı benzetim ortamı çizimi



İhsaniye kavşağının mevcut ve akıllandırılmış hali, bazı performans parametreleri dikkate alınarak Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. Benzetim ortamında yapılan analiz sonuçları, %30'lara varan iyileşmeye işaret etmektedir. Bu sonuç, gerçek verilerle yapılan analiz sonuçlarıyla uyum göstermektedir.

Tablo 3 Performans parametrelerinin simülasyon ortamında karşılaştırılması

	Sabit süreli durum	Dinamik kontrol durumu
Kavşakta bir aracın ortalama oyalanma süresi [saniye]	91,349	60,746
Kavşaktaki toplam gecikme [saat]	82,671	55,464
Kavşaktaki toplam seyahat süresi [saat]	116,572	89,671
1 saat boyunca kavşağın hizmet ettiği toplam araç sayısı	3258	3287
Toplam duraklama sayısı	4342	3201

Bir araca düşen ortalama duraklama sayısı	1,333	0,974
Ortalama hız [km/saat]	15,186	19,899
Toplam duraklama gecikmesi [saat]	69,319	45,736
Ortalama duraklama gecikmesi [saniye]	76,595	50,091

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sabit süreli yönetim yerine önerilen bu yöntemin Konya'nın en merkezi kavşaklarından biri olan İhsaniye Kavşağı'nda uygulanmasıyla, özellikle zirve saatlerinde kavşaktaki ortalama bekleme sürelerinde dikkate değer oranlarda azalma gözlenmiştir. Söz konusu yöntem kavşaklara uygulanırken, sürelerin adil dağıtılması ve kullanıcı konforunun her yönde en üst düzeyde tutulması esas alınmıştır. Kavşaktaki yakıt tüketiminin ve CO² salınımının azalması ve kavşakta daha güvenli bir trafik akımının sağlanması, söz konusu yöntemin vurgulanması gereken önemli sonuçlarıdır. Ayrıca, sürücülerin trafikte geçirdiği süre azaldığı için, hem sürücü psikolojisine hem de iş hayatına olan olumsuz etkilerin minimize edilmesi de sistemin olumlu etkilerindedir.

Mevcut istatistikler incelendiğinde, sistemin uygulandığı ışıklı kavşaklarda, kırmızı ışık ihlallerinin ve meydana gelen kazaların sayısının azaldığı görülmektedir. Yani, önerilen sistemin sadece zamanın verimli kullanılması konusunda değil, trafik güvenliğinin sağlanmasında da olumlu katkıları olduğu kaçınılmaz bir gerçektir.

KAYNAKÇA

- Basic, Eç, Jesus, Y.D., Rahman A. (2012), “*Adaptive Signal Control Technology: Current Practice and Comparison*”, University of Connecticut.
- Bertini, R.L. (1999), “*Time-Dependent Traffic Flow Features at a Freeway Bottleneck Downstream of a Merge*”, University of California.
- Binbin Z., Jiannong C., Xiaoqin Z. Hejun W. (2010), “*Adaptive Traffic Light Control in Wireless Sensor Network-based Intelligent Transportation System*”, IEEE.
- Cai C. (2009), “*Adaptive Traffic Signal Control Using Approximate Dynamic Programming*”, Centre for Transportation Studies, University College London.
- Escalare A. , Moreno L. E., Salichs M.A., Armingol JM (1997), “*Road traffic sign detection and classification*”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 848-859.
- Faye S., Chaudet C. Demeure I. (2012), “*A Distributed Algorithm for Multiple Intersections Adaptive Traffic Lights Control using a Wireless Sensor Networks*”, Proceedings of the first workshop on Urban networking, 13-18.
- (<http://www.aldiscorp.com/solutions/gridsmart/>, 5.6.2009)
- (<http://www.ameinfo.com/85148.html>, 10.11.2010)
- (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13485>, 17.04.2013)
- Koller D., Weber J., Huang T., Malik J., Ogasawara G., Rao B., Russell S. (1994), “*Towards Robust Automatic Traffic Scene Analysis in Real-Time*”, Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control, 3776 – 3781.
- Rinner, Bernhard (2010), “*Autonomous Traffic monitoring by Embedded Vision*” <http://pervasive.uni-klu.ac.at/evis> (01.01.2011)

- Rowe E. (1991), "*The Los Angeles Automated Traffic Surveillance and Control (ATSAC) System*", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 40(1),16-20.
- Sha'Aban J., Tomlinson A., Heydecker B., Bull L. (2002), "*Adaptive Traffic Control Using Evolutionary Algorithms*", Procs 9th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, 372-377.
- Serrano A., Conde C. ve Rodríguez-Aragón L. J. (2005), "*Computer Vision Application: Real Time Smart Traffic Light*", Lecture notes on Computer Science, EUROCAST, s. 525–530.
- Varon, Roz (2006), "Lake Co. traffic system tracks problems, fixes them" <http://abclocal.go.com/wls/story?section=resources/traffic&id=3945960>, (4.7.2007)
- Wei C., Xiaolan L., Wenfeng Z. (2006), "*An Optimal Adaptive Traffic Signal Control Algorithm for Intersections Group*", Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 8683-8686.
- Zheng X., Recker W. (2013), "*An adaptive control algorithm for traffic-actuated signals*", Transportation Research Part C, 93-115.