

Sinyal Faz Diyagramının Kavşak Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Antalya Örneği

Doç. Dr. Halit ÖZEN

YTÜ İnşaat Fak. İnşaat Müh. Böl.
Davutpaşa Kampüsü, 34210
Esenler-İstanbul
Tel: (212) 383 51 83
Ulaştırma Anabilim Dalı
ozen@yildiz.edu.tr

İnş. Müh. Ezgi Nur ÜNLÜ

Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği
Ulaştırma Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Öğrencisi
unluezginur@gmail.com

Öz

Kent içinde trafik kaynaklı yaşanan gecikmelerin büyük bir bölümü, farklı yönlerdeki akımların kesişmesinden oluşan kavşaklarda oluşmaktadır. Kavşaklar, ana ve tali yollardaki kesişen trafik akımlarının sürekliliğinin, güvenliğinin, hız kontrolünün ve yeterli hizmet seviyesinin sağlanması, gecikmelerin ve taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması amacıyla, arazi şartları, trafik hacmi ve trafik güvenliği dikkate alınarak, eşdüzey (hemzemin) veya farklı düzeyli olarak tasarlanmaktadır.

Kavşak denetim biçimi kavşak kapasitesi ve kavşakta harcanan veya oluşan gecikmelerde büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca, kavşakların katlı olarak inşa edilmeleri durumunda ise taşıtlar için bir veya daha fazla kol için kesişmeler ortadan kalkıp kavşak kesintisiz hale gelirken özellikle yaya mesafelerinin uzamasına dolayısıyla yayalar açısından bir gecikmenin oluşmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, seçilen eş düzey kavşak için trafik hacimleri toplanmış ve bu veriler kullanılarak mevcut kavşağın benzetim modeli kalibre edilmiştir. Kalibre edilen benzetim modeli üzerinde mevcut durum için kavşak performans göstergeleri hesaplanmıştır. Kavşak performans göstergeleri, kavşak denetim veya sinyal sisteminde değişiklikler yapılarak tekrar hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, hali hazırda mevcut olan kavşak için farklı faz diyagramları oluşturularak, kapasite analizleri benzetim modeli yardımıyla yapılmış ve getireceği faydalar net olarak ortaya çıkartılmış ve kavşakların değerlendirilmesine yönelik bir yöntem ortaya koyulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kavşak, Hemzemin Kavşak, Gecikme, Benzetim Modeli

Kavşak Trafik Hareketleri

Kavşak denetim sistemlerini tanımadan önce eşdüzey kavşaklarda denetim ihtiyacı doğuran kesişmeler veya çakışmalar gibi sebepleri incelemek gerekir. Karayolu Tasarım El Kitabı'na göre bir eşdüzey kavşakta dört çeşit olası trafik hareketi bulunabilir. Bunlar:

- Ayrılma
- Katılma
- Kesişme
- Örülme

Ayrılma, anayol trafiğinde aynı yöndeki taşıtların anayoldan tali yola geçişleridir. Katılma, tali yoldaki taşıtların aynı yöndeki anayol trafiğine geçişleridir. Ayrılma ve katılmalar sağa, sola, çatal veya çoklu şekilde olabilir. Kesişme, farklı yöndeki trafik akımlarının bir noktada çakışmasıdır. Kesişmeler dik veya verevdir. Örülme ise, aynı yöndeki ayrılma ve katılma hareketlerinin kesişmesi veya çakışması ile oluşur.

Çakışmalar ayrılma, katılma ve kesen trafiğin karşılaştığı noktalardır. Eşdüzey kavşaklardaki çakışmalar dört çeşittir (KGM, 2006).

Bunlar:

- Ayrılma
- Katılma
- Doğrusal geçişler
- Dönüşler

Kavşaklardaki çakışmaların sayısı;

- Kavşağa yaklaşan tek yön veya iki yönlü yolların sayısına
- Her bir yaklaşımdaki taşıt sayısına
- Sinyalizasyona
- Trafik hacmine
- Sol ve sağ dönüş trafik oranına bağlıdır.

Kavşak Denetim Sistemleri

Kavşaklarda, denetim, temel olarak pasif ve aktif olmak üzere iki farklı şekilde sağlanmaktadır. Bu denetim sistemlerine ilişkin detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

Pasif Denetim

Bu denetim sisteminde belirgin bir denetim söz konusu değildir. Bu tip kavşaklarda denetim yatay ve düşey trafik işaretleri ile sağlanmaktadır.

Uyarı, rehber gibi işaret levhaları yardımıyla kavşakta bir denetim sistemi sağlanabilmektedir. Yol ver kontrolü, iki yönlü dur kontrolü ve her yönde dur kontrolü bu denetim biçimine birer örnektir.

Yol ver kontrollü kavşaklarda, tali yollardan kavşağa katılan taşıtlar “YOL VER” işaretini gördüklerinde yavaşlayarak ana yoldaki akımı gözleyerek kavşağa yaklaşan taşıt varsa geçiş hakkını ona bırakmak zorundadır. Ancak durma zorunluluğu yoktur. Dolayısıyla tali yoldan bu tip bir kavşağa yaklaşırken hızlarını çevre görüş şartlarına ve

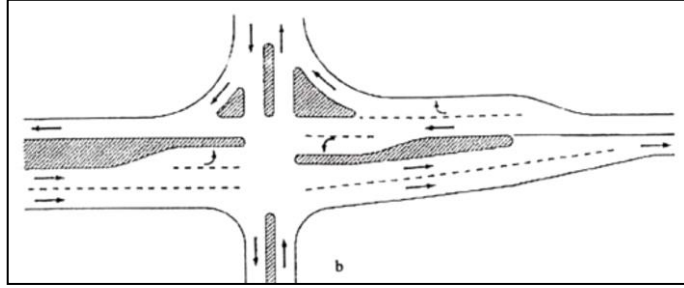
anayoldaki trafiğe göre ayarlayıp durmadan sürekli bir hareketle kavşağa girebilirler (Turan, 1992).

Dur kontrollü kavşaklarda, tali yolda DUR işareti varsa kurallara göre, tali yol sürücüleri anayola girmeden durmak ve anayolu iyice denetlemek zorundadır, yol güvenliyse kavşağa girebilecektir (Turan, 1992).

Yatay ve Düşey İşaretlemeli Kavşaklar, düşey işaretlemelere ek olarak yatay işaretlemelerle kavşak denetiminin sağlandığı denetim sistemidir.

Kısmi Denetimli Kavşaklarda, sürücüler kesişmelerin önlenmesi için kanalize edilerek veya dönel adalar aracılığıyla yönlendirilirler (NPTEL, 2007).

Kanalize edilmiş kavşak, Şekil 1’de gösterildiği gibi, taşıtların veya yayaların düzenli ve güvenli hareketlerini sağlamak üzere birbirleri ile kesişen hareketlerin yardımcı şeritler, yükseltilmiş adalar, tarama, çizgi ve diğer trafik işaretleri gibi elemanlar ile yönlendirilmesi ve düzenlenmesidir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005) .



Şekil 1 Kavşağın Adalar ile Kanalize Edilmesi

Dönel ada kavşak, taşıtların bir dönel ada çevresinde aynı yönde akması ile kesişim kontrolünün sağlanması yöntemidir. Bu kontrolün temel ilkesi, dönel ada aracılığıyla sağa dönüş ve düz gidiş kesişmeleri gibi ciddi kesişmeleri katılma, örülme ve ayrılma gibi daha hafif kesişmelere dönüştürmektir.

Aktif Denetim

Bu denetim sisteminde sinyalizasyon veya farklı düzeyde kavşaklar karşımıza çıkmakta olup, sinyalize veya farklı düzeylerde kavşaklarda taşıt hareketlerinin denetlendiği sistemlerdir.

Sinyalize kavşaklar, geçiş düzeninin ve sırasının, farklı anlamları olan ışıklı ve renkli işaretlerle sağlandığı kavşaklardır. Sinyalize kavşaklarda aşağıdakilerden en az birinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

- Kesişen akımlardan veya geometrik özelliklerden dolayı oluşan gecikmeleri, sıkışmaları ve tıkanıklıkları önlemek,
- Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda güvenli bir geçiş düzeni sağlamak ve kaza ihtimalini azaltmak,
- Taşıt ve yaya yoğunluklarını göz önünde tutarak, akım yönlerine geçiş hakkı veya önceliği verirken uyumlu bir zaman dağıtımı yapmak,
- Yüklü trafik yoğunluğu olan bir yol üzerindeki taşıtları zaman zaman durdurarak tali yollardaki trafiğe ve yayalara da geçiş olanağı sağlamak.

Trafik Benzetim Modeli

Trafik benzetim modeli (simülasyonu), bir kararı hayata geçirmeden önce benzetim ortamında uygulayarak, sağlanacak faydayı, belirlenen performans parametrelerini esas alarak analiz etmeyi sağlar (<http://www.issd.com.tr/tr/19571/Trafik-Simulasyon-Calismalari>).

Kapsamlı bir trafik analizi ile problemin çözümü ve benzetim modelinin geliştirilmesi 7 ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Çalışma amacının, kapsamının ve yaklaşımının belirlenmesi
2. Veri Toplama ve Hazırlık
3. Temel model geliştirilmesi
4. Hata Kontrolü
5. Kalibrasyon
6. Alternatiflerin Analizi
7. Sonuç Raporu ve Teknik Dokümantasyon

Veri toplama ve hazırlık aşamasında, aşağıdaki girdilere ihtiyaç duyulmaktadır;

- Geometri (Uzunluklar, şeritler, eğrilik)
- Denetim Sistemleri
- Mevcut Talep (Dönüş Hacimleri, çıkış-hedef (O-D) tablosu)
- Kalibrasyon verileri (Kapasiteler, seyahat süreleri, kuyruklanmalar)
- Transit, bisiklet ve yaya verileri

Mevcut Model Geliştirilmesinde, modellenmesi istenilen kavşak, mevcut verilerle (hacim, geometri, denetim sistemi vb.) benzetim yazılımında modellenir. Sonrasında, kavşak için planlanan alternatif seçenekler (başka bir denetim sistemi veya farklı geometri gibi) bu mevcut durum simülasyonu çalıştırdıktan sonra elde edilecek verilerle (gecikme, maliyet, kuyruklanma vb.) karşılaştırılmaktadır.

Kalibrasyon, benzetim modelinden, mevcut trafik koşullarına en yakın sonucu alabilmek için mevcut koşullardan elde edilen hacim, geometri, izleme aralığı gibi parametrelerin girilmesi işlemidir. Mevcut durum benzetim modeli oluşturulurken sonuçların gerçekçi olabilmesi adına bu parametrelerin doğru büyük önem taşır.

Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Çalışmada, Antalya'da Atatürk Bulvarı –Gazi Mustafa Kemal Bulvarı kesişiminde yer alan, 4 kollu, sinyalize eşdüzey bir kavşak seçilmiştir. Kavşağın hava fotoğrafındaki görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Kavşağın bulunduğu bölge, merkezi bir yer olup güney batı- kuzey doğu yönünde trafiği Kuzey Batı-Güney Doğu yönündeki trafiğe göre daha yoğun çalışmaktadır.



Şekil 2 Kavşak Hava Fotoğrafı

Söz konusu kavşak üzerinde otomobil, minibüs, halk otobüsü, kamyon, körüklü otobüs ve motosiklet taşıt türleri için 15'er dakikalık periyotlar halinde trafik sayımları yapılmıştır. Kavşak trafik sayımları, kavşak kollarına verilen numaralandırma sistemine göre matris halinde Tablo 1'de hazırlanmıştır.

Kavşak yaklaşım kollarının giriş, çıkış, sağ ve sola dönüş şerit sayıları ve genişlikleri gibi geometrik özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

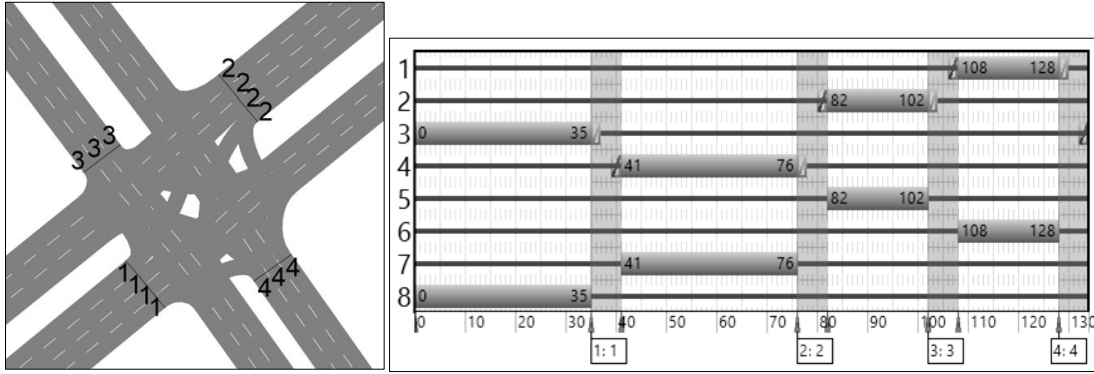
Söz konusu kavşağa ilişkin sinyal planı Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere kavşak sinyal planı 4 fazlı olup, sinyal devre süresi 134 saniyedir.

Tablo 1 Sayım Verileri

Otomobil						Minibüs					
	1	2	3	4	Toplam		1	2	3	4	Toplam
1	3	866	247	47	1163	1	4	97	35	4	140
2	623	98	76	179	976	2	92	9	10	16	127
3	40	348	3	243	634	3	12	39	1	20	72
4	56	20	87	6	169	4	8	3	42	3	56
Toplam	722	1332	413	475	2942	Toplam	116	148	88	43	395
Halk Otobüsü						Otobüs-Kamyon					
	1	2	3	4	Toplam		1	2	3	4	Toplam
1	0	23	7	0	30	1	1	24	8	0	33
2	37	0	4	2	43	2	28	0	2	5	35
3	7	3	0	5	15	3	0	2	0	1	3
4	1	7	9	0	17	4	0	0	3	0	3
Toplam	45	33	20	7	105	Toplam	29	26	13	6	74
Körüklü Otobüs-Tır						Motosiklet					
	1	2	3	4	Toplam		1	2	3	4	Toplam
1	0	6	0	0	6	1	0	18	6	0	24
2	8	0	0	0	8	2	36	0	3	5	44
3	0	2	0	1	3	3	0	10	0	7	17
4	0	0	3	0	3	4	3	0	2	0	5
Toplam	8	8	3	1	20	Toplam	39	28	11	12	90

Tablo 2 Kavşak Geometrisi

Yaklaşım Kolu	Kol Numarası	Giriş Şerit Sayısı	Çıkış Şerit Sayısı	Yaklaşım Kolu Şerit Genişliği (m)	Sağa Dönüş Şerit Sayısı	Sola Dönüş Şerit Sayısı	Düz Gidiş Şerit Sayısı
Güney Batı	1	4	3	3,5	1	1	3
Kuzey Doğu	2	4	3	3,5	1	1	3
Kuzey Batı	3	3	3	3,5	1	1	3
Güney Doğu	4	3	3	3,5	1	1	3



Şekil 3 Kavşak Mevcut Sinyal Diyagramı

Kavşak Performans Göstergelerinin Hesaplanması

Sinyalize kavşak izole olarak varsayılp benzetim modeli oluşturulmuş, kavşağa ilişkin gecikme ve ortalama gecikme değerlerine göre sinyalize ve sinyal olmayan kavşaklarda hizmet düzeyleri HCM 2000'e göre belirlenmiştir. Sinyalize olan ve olmayan kavşaklara ilişkin hizmet düzeyleri ortalama gecikmelere bağlı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 Hizmet Düzeyleri Kriterleri

Sinyalize Kavşaklar için Hizmet Düzeyi Kriterleri		Sinyalsiz Kavşaklar için Hizmet Düzeyi Kriterleri	
Hizmet Seviyesi	Ortalama Gecikme (s/ta)	Hizmet Seviyesi	Ortalama Gecikme (s/ta)
A	≤ 10	A	0-10
B	> 10-20	B	> 10-15
C	> 20-35	C	> 15-25
D	> 35-55	D	> 25-35
E	> 55-80	E	> 35-50
F	> 80	F	> 50

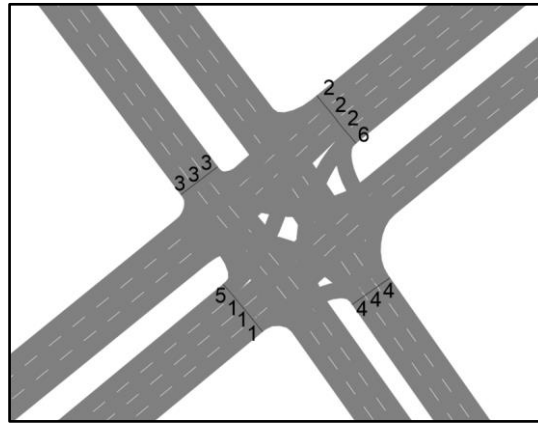
Mevcut durum için benzetim modeli çalıştırılmış ve her bir akım yönü için ortalama gecikmeler ile toplam gecikmeler Tablo 4'te hazırlanmıştır.

Tablo 4 Kavşak Mevcut Benzetim Modeli Gecikmeleri

Taşıt Hareketleri	Taşıt Gecikmeleri (saniye/taşıt)						
	TÜMÜ	Otomobil	Minibüs	Halk Otobüsü	Otobüs-Kanyon	Tır-Körüklü Otobüs	Motosiklet
1-1	313,16	354,2	247,56	0	411,47	0	0
1-2	270,56	271,41	265,07	275,01	291,56	136,44	285
1-3	281,45	278,71	272,49	367,6	267,41	0	348,79
1-4	263,11	255,77	505,34	0	0	0	0
2-1	88,48	89,61	85,84	96,45	75,51	101,42	76,01
2-2	80,87	80,26	88,55	0	0	0	0
2-3	101,92	104,14	85,06	87,56	38,41	0	117,92
2-4	91,53	93,83	74,54	0	88,07	0	84,28
3-1	44,53	47,27	29,79	46,55	0	41,01	0
3-2	59,32	58,39	65,57	0	1,62	0	70,36
3-3	59,36	52,81	72,45	0	0	0	0
3-4	41,29	41,7	32,31	38,55	50,99	0	54,91
4-1	44,86	41,8	55,15	83,69	0	0	66,49
4-2	34,27	31,66	70,13	32,85	0	0	0
4-3	41,86	42,18	47,93	25,23	0	53,38	39,23
4-4	35,21	55,52	31,15	0	0	0	0
Toplam	137,25	139,62	126,43	131,45	154,88	101,75	111

Farklı Faz Diyagramlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, mevcut kavşakta uygulanan faz ve devre süresinden farklı olarak iki farklı senaryoya göre benzetim modeli çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Senaryolarda kullanılan sinyal numara ve konumları Şekil 3'te gösterilmiştir.

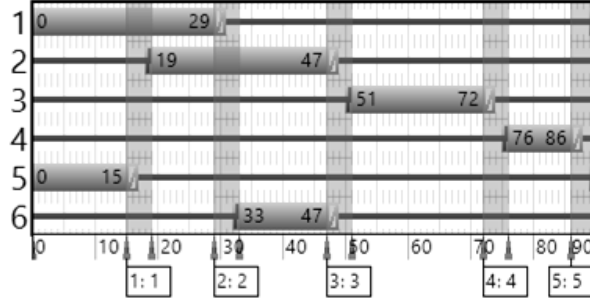


Şekil 3 Senaryolarda Kullanılan Sinyal Numaraları Konumları

Senaryo 1'de, 1 ve 2 numaralı kollardan sola dönüş sinyalleri kapatılarak beraber çalıştırıldığı 5 fazlı bir sinyal planı uygulanmıştır (Tablo 5 ve Şekil 4). Bu senaryoda, kavşak geometrisi değiştirilmeden, benzetim modeli çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5 Senaryo 1 Faz Planı

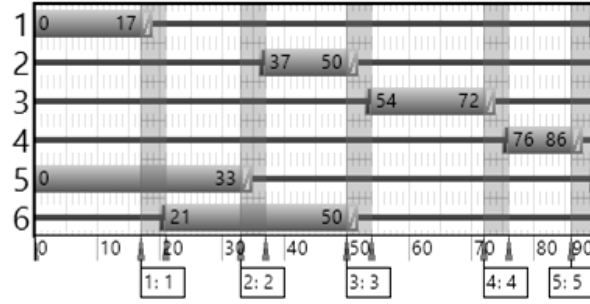
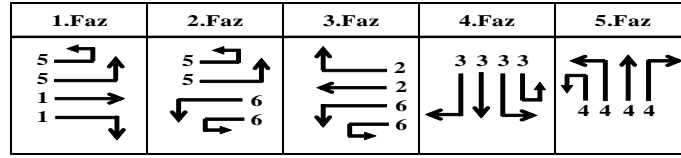
1.Faz	2.Faz	3.Faz	4.Faz	5.Faz



Şekil 4 Senaryo 1 Sinyal Planı

Senaryo 2’de ise Senaryo 1’deki gibi aynı devre süresine sahip, ancak bu sefer 1 ve 2 numaralı kollardan düz gidişler kapatılarak sola dönüşleri birlikte çalıştırılan 5 fazlı bir sinyal planına göre benzetim modeli çalıştırılarak çıktılar elde edilmiştir (Tablo 6 ve Şekil 5).

Tablo 6 Senaryo 2 Sinyal Faz Planı



Şekil 5 Senaryo 2 Sinyal Planı

Benzetim modelinden elde edilen gecikmeler sırasıyla Senaryo 1 ve Senaryo 2 için Tablo 7 ve Tablo 8’de gösterilmiştir.

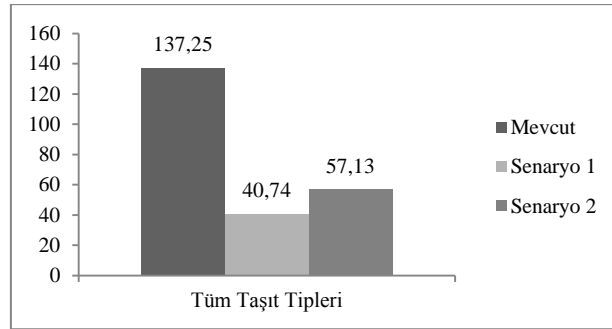
Tablo 7 Senaryo 1 Benzetim Modeli Gecikmeleri

Taşıt Gecikmeleri (saniye/taşıt)							
Taşıt Hareketleri	TÜMÜ	Otomobil	Minibüs	Halk Otobüsü	Otobüs-Kamyon	Tır-Körüklü Otobüs	Motosiklet
1-1	107,88	124,96	97,55	0	80,91	0	0
1-2	27,01	27,26	22,8	29,97	25,38	31,43	30,23
1-3	89,23	89,8	86,11	79,95	94,45	0	91,28
1-4	28,04	29,66	6,45	0	0	0	0
2-1	29,05	28,85	30,38	29,45	26,67	26,27	30,8
2-2	65,5	67,03	46,56	0	0	0	0
2-3	30,57	31,01	25,99	29,76	19,52	0	32,08
2-4	68,47	70,06	61,71	0	48,19	0	71,2
3-1	29,76	29,33	27,56	39,61	0	21,2	0
3-2	58,18	59,04	50,71	0	122,53	0	53,39
3-3	67,96	85,16	33,56	0	0	0	0
3-4	29,58	29,45	30,68	38,59	30,73	0	22,36
4-1	38,75	37,64	58,52	19,16	0	0	43,68
4-2	42,54	40,63	7	53,65	0	0	0
4-3	36,92	33,77	40,86	48,89	0	37,92	50,23
4-4	36,49	63,54	31,07	0	0	0	0
Toplam	40,74	41,2	39,96	37,27	37,43	29,94	38,35

Tablo 8 Senaryo 2 Benzetim Modeli Gecikmeleri

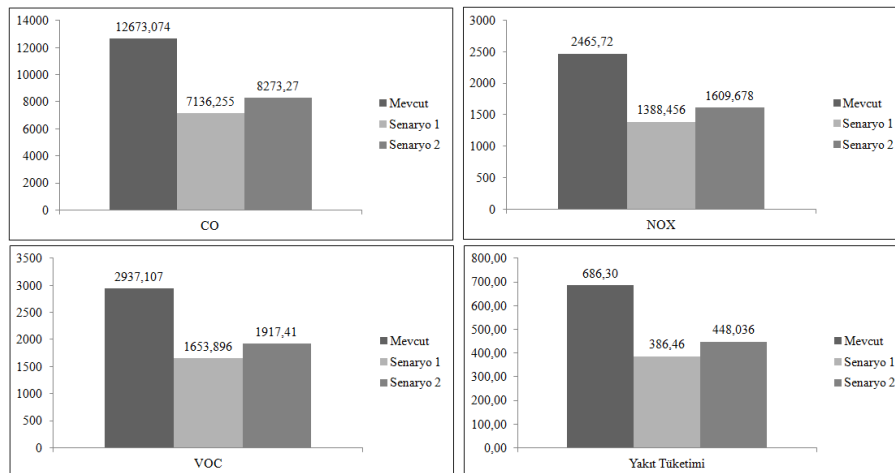
Taşıt Gecikmeleri (saniye/taşıt)							
Taşıt Hareketleri	TÜMÜ	Otomobil	Minibüs	Halk Otobüsü	Otobüs-Kamyon	Tır-Körüklü Otobüs	Motosiklet
1-1	17,32	11,52	27,35	0	0,41	0	0
1-2	40,63	41,44	36,59	35,08	31,82	40,69	36,84
1-3	23,92	24,95	18,2	17,13	24,63	0	26,95
1-4	39,19	40,04	27,9	0	0	0	0
2-1	94,04	95,87	93,07	90,01	81,25	93,94	80,84
2-2	16,05	16,29	12,85	0	0	0	0
2-3	112,81	115,73	94,83	100,17	119,86	0	110,75
2-4	26,25	26,23	31,8	0	21,76	0	16,32
3-1	33,45	33,11	31	43,07	0	24,32	0
3-2	93,89	95,21	86,84	0	42,07	0	84,03
3-3	101,16	133,46	36,56	0	0	0	0
3-4	32,45	32,08	33,28	41,38	35,65	0	34,04
4-1	38,75	37,64	58,52	19,16	0	0	43,68
4-2	42,69	40,86	7	53,65	0	0	0
4-3	36,93	33,79	40,86	48,89	0	37,92	50,23
4-4	36,49	63,54	31,07	0	0	0	0
Toplam	57,13	56,97	56,26	61,19	51,2	60,03	64,16

Mevcut durum, Senaryo 1 ve 2 için toplam ortalama gecikmeler Şekil 6 üzerinde çizilmiştir. Şekil incelenirse, mevcut durum için ortalama gecikme değeri 137,25 saniye iken senaryo 1 için 40,74 ve senaryo 2 için ise 57,13 saniyedir.



Şekil 6 Ortalama Gecikme Sürelerinin Karşılaştırılması

Mevcut durum ve senaryolar için yakıt tüketimi ve emisyon değerleri toplu olarak Şekil 7'de verilmiştir. Şekil incelenirse, mevcut durum için yakıt tüketimi 686,3 litre iken senaryo 1 için 386,46 litre ve senaryo 2 için ise 448,036 litre olduğu görülmektedir. CO emisyonu, mevcut durumda 12673,074 gram, Senaryo 1'de 7136,255 gram ve Senaryo 2'de ise 8273,27 gram'dır.



Şekil 7 Yakıt Emisyon Değerleri ve Yakıt Tüketimi Karşılaştırmaları

Sonuç

Bu kavşakta, kavşak geometrisi değiştirilmeden, sadece sinyal devre süresi ve faz planı değiştirilerek taşıt gecikmelerinin nasıl etkilenebileceğini inceleyebilmek için benzetim modelleri oluşturulmuştur. Önce mevcut sinyal planı ile benzetim modeli çalıştırıldı ve taşıt gecikmeleri elde edilmiştir. Sonra birbirinden farklı iki senaryo üretildi ve elde edilen tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk senaryoda, ikinci fazında 1 ve 2 numaralı kollardan sola dönüşlerin kapatılıp karşılıklı düz gidişlerin ve sağa dönüşlerin aktifleştirildiği 5 fazlı 90 saniye devre süreli bir sinyal planı çalıştırıldı ve bir gecikme değeri elde edilmiştir. Aynı devre süresinde düz gidiş ve sağa dönüşlerin karşılıklı açıldığı faz yerine bu sefer sola dönüşler karşılıklı aktifleştirilmiştir ve bu sonucun ilk senaryoya karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak, sola dönüş hareketi yoğun olmadığından ikinci senaryodaki gibi sola dönüşler için ayrı faz oluşturulmasının gecikme süresini ilk senaryoya göre arttırdığı anlaşılmıştır. Ancak yine de kavşak geometrisinde büyük değişiklikler yapılmadan da hizmet seviyesinin yükseltilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Sinyal planlarında yapılan değişiklikler ile kavşakta oluşan büyük gecikme ve kuyruklanmaların azaltılması sağlanmıştır. Böylece daha düşük maliyet farkıyla daha iyi performans elde edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Bu sayede herhangi bir kavşağın geometrisinde veya denetim biçiminde bir değişiklik yapılmasından önce yeterli çalışmaların yapılması ve elde edilen sonuçlara göre karar verilmesinin uygun olacağına dair bir örnek çalışma gerçekleştirilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan VISSIM 9 yazılımı için PTV Group'a teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

Çakıcı, Z. ve Murat, Y. Ş. (2015) Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi. 11. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı

Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005

Transportation Research Board, (2000) The Highway Capacity Manual

Turan, B. (1992) Kavşak Kapasitesine Sinyalizasyonun Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

FHWA-HRT-04-040 (2004) Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Research, Development and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, Georgetown Pike, McLean, VA 22101-2296

Mathew, T. V. ve Rao, Krishna K. V. (2007), Chapter 34: Microscopic Traffic Flow Modeling, Introduction to Transportation Engineering, NPTEL

<http://www.issd.com.tr/tr/19571/Trafik-Simulasyon-Calismalari>