

Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi

Ziya ÇAKICI, Yetiş Şazi MURAT

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü - Denizli

Tel: (0 258) 296 34 66, (0 258) 296 33 57

E-Posta: zcakici@pau.edu.tr, ysmurat@pau.edu.tr

Öz

Sinyalize dönel kavşaklar, ülkemizde ve gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda karşılaşılan trafik yönetimi yaklaşımlarından birisi olmasına rağmen, bu tip kavşakların tasarımları ve işletim performansları ile alakalı akıllarda halâ birçok soru işareti bulunmaktadır. Depolama alanının yeterliliği ve/veya boyutları, sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri vb. konular bunlardan yalnızca birkaçıdır. Çalışma kapsamında, sinyalize dönel kavşaklar ele alınmıştır. Oluşturulan 4 farklı senaryo için, farklı trafik hacimleri ve sola dönüş oranlarına sahip 50 farklı durum, ortalama taşıt gecikmesi performans kriteri dikkate alınarak VISSIM programı ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analizlerde, Avustralya – Merlbourne’ den, geometrisi standartlara uygun olan örnek bir sinyalize dönel kavşak baz alınarak sirkülasyon şerit sayısının iki ve üç şeritten oluşması durumları irdelenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin ve sola dönüş hacimlerinin artması durumunda ortalama taşıt gecikmelerinin önemli düzeyde arttığı, buna karşılık oluşturulan örnek durumlar için farklı faz planları ve sinyal sürelerinin uygulanması ile birlikte ortalama taşıt gecikmelerinin önemli oranda azaltılabileceği sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, sirkülasyon şeridi sayısının ikiden üçe çıkartılması durumunda, sirkülasyon şeritlerindeki örülme bölgelerinden dolayı, ortalama taşıt gecikmelerinin çok az da olsa arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kavşak, Sinyalize Dönel Kavşak, Gecikme, VISSIM, Simülasyon

Giriş

Kavşaklar, farklı yönlerden gelen trafik akımlarının kesiştiği, birleştiği/örüldüğü ve ayrıldığı alanlardır. Bu alanlarda, farklı manevralardan dolayı trafik kazası görülme olasılığı da oldukça yüksektir. Karayollarının bu riskli alanlarında trafik kazalarını önlemek amacı ile, çeşitli trafik denetimi teknikleri uygulanmaktadır. Sinyalizasyonlu denetimler, trafik akımları yönlendirme adası/adaları oluşturularak gerçekleştirilen denetimler vb. bu uygulamalardan yalnızca birkaçıdır.

Kavşak tipi seçiminde ve tasarımında, trafik güvenliği kriteri oldukça önemli bir unsur olmasına rağmen, kavşağın işletim performansının da göz önünde bulundurulması

gerekmektedir. Tasarımdaki amaç, hizmet düzeyi ve kapasitesi oldukça yüksek, buna karşılık gecikme ve olumsuz çevresel etkilerin minimuma indirildiği bir tasarım olmalıdır.

Özellikle ülkemizde ve gelişmekte olan ülkelerde, kavşaktaki trafik akımlarının düzenli bir şekilde yönlendirilmesi için öngörülen uygulamalardan birisi de sinyalize dönel kavşak uygulamalarıdır. Sinyalizasyonlu yapısı, trafik akımlarının geçiş sırası ve geçiş düzeni dikkate alındığında sinyalize kavşakları andıran sinyalize dönel kavşaklar, genel olarak, trafik kültürünün ve temel trafik eğitiminin yetersiz olduğu ülkelerde karşımıza çıkmaktadır. Dönel kavşağa ilave olarak sinyalizasyon uygulaması yapılmasının öncelikli sebebi, dönel kavşaklarda ada etrafında sirküle olan akım ile yaklaşım kollarındaki akımların birbirleri ile çakışmalarını ve kaza olasılığını minimum düzeye indirmektir (Bai ve diğ., 2010). Diğer bir deyişle sinyalize dönel kavşak uygulaması ile kavşaktaki trafik güvenliğinin artırılması amaçlanmaktadır.

Ülkemizde ve dünyada her ne kadar sayıları artmış olsa da, bir çok trafik mühendisinin aklında sinyalize dönel kavşaklar ile alakalı pek çok soru bulunmaktadır. Bu tip kavşakların kavşak kapasitesini ve hizmet düzeyini, gecikmeyi, çevreyi, ekonomiyi nasıl ve ne derece etkilediği akıllardaki sorulardan yalnızca birkaçıdır (Çakıcı, 2014).

Literatürde sinyalize kavşaklar ve dönel kavşaklar ile alakalı birçok çalışma olmasına rağmen, sinyalize dönel kavşaklar üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Brabender ve Vereeck (2007) dönel kavşağın kazaları büyük oranda azalttığını fakat bu durumun ana yoldaki ve diğer yollardaki hız sınırı ile bağlantılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışma sonucunda, trafik güvenliği açısından bakıldığında, en güvenli kavşakların sinyalize dönel kavşaklar olduğunu belirtmişlerdir. Qian ve diğ. (2008) yapmış oldukları çalışmada, sola dönüşlerde ada etrafında depolamanın yapıldığı sinyalize dönel kavşaklar ile kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalar sonucunda, düzenli ve fazla trafik akımının bulunduğu kavşaklarda taşıt kesilmesi ve kavşak tıkanıklığı problemlerini ortadan kaldırmak için sinyalize dönel kavşak uygulamasının etkin bir çözüm olduğunu ortaya koymuşlardır. Maher (2008) sinyalize dönel kavşaklarda karmaşık kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen cross-entropy yöntemini kullanarak sinyal süresi optimizasyonu için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Bai ve diğ. (2010), nümerik hesaplama ve deneysel trafik mühendisliği yöntemlerini uygulayarak, sinyalize dönel kavşakta merkez adanın yarıçapı ve devre sürelerinin ortalama taşıt gecikmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Johnnie ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, sinyalize dönel kavşaklardaki ve dönel kavşaklardaki hizmet düzeyini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada dönel kavşak uygulaması ile hizmet düzeyinin artırılabilirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Tracz ve Chodur (2012) trafik hacminin yoğun olduğu kent içi arterlerdeki sinyalize dönel kavşaklarda uygulanan farklı tip faz planlarının avantajlarını ve dezavantajlarını incelemişlerdir. Ma ve diğ. (2013) sinyalize dönel kavşaklardaki sinyal süreleri ve yatay işaretlemelerin aynı anda belirlenebildiği bir optimizasyon modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar, dönel kavşak işletimini optimize etmek için, kapasite maksimizasyonunu, devre süresi uzunluğu minimizasyonunu ve gecikme minimizasyonunu formüle etmişlerdir.

Görüldüğü üzere, sinyalize dönel kavşakların performansları ve bu tip kavşakların optimum işletilmesi üzerine yapılmış çalışma sayısı yetersizdir. Yapılan çalışma kapsamında, bu tip kavşakların optimum işletilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde sinyalize dönel kavşak tasarımında dikkate alınması gereken hususlar, bu tip kavşaklarda uygulanan faz planları ve sinyalize dönel kavşaklar için

geliştirilen sinyal süresi hesabı yaklaşımı aşamalarına yer verilirken, ikinci bölümde gecikme performans kriteri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, dört farklı senaryo altında VISSIM simülasyon programı ile incelenen 50 farklı örnek duruma ait analiz sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve bulgular değerlendirilmiştir.

Sinyalize Dönel Kavşaklar

Sinyalize kavşaklar ve dönel kavşakların kombinasyonu sonucu ortaya çıkan sinyalize dönel kavşaklar, hem kavşak yaklaşım kollarında hem de merkez ada etrafındaki bazı noktalarda sinyalizasyon sistemlerinin bulunduğu ve trafik akımlarının kavşaktan geçiş önceliğinin bu sinyalizasyon sistemleri ile belirlendiği eşdüzey kavşaklardır.

Sinyalize Dönel Kavşak Tasarımında Dikkate Alınması Gereken Hususlar

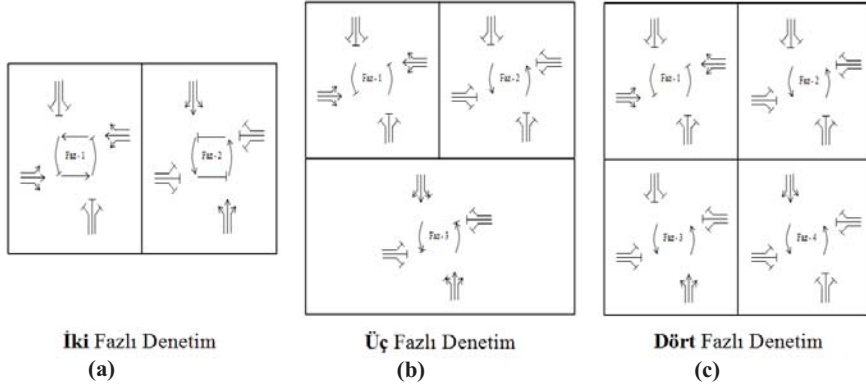
Sinyalize dönel kavşakların tasarımı ve işletilmesi aşamasında tasarımcının geometrik özellikler, trafik özellikleri ve sinyal süresi tasarımı ile ilgili bazı faktörleri kesinlikle göz önünde bulundurması gerekmektedir. Kavşağın geometrik özellikleri, kavşağın geometrik elemanlarının standartlara uygun olup olmamasını ve merkez ada etrafındaki taşıt depolama alanının boyutlarını içermektedir. Trafik açısından, kavşak yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimlerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt kompozisyonlarının ve söz konusu taşıtların hareket yönlerinin belirlenmesi, sinyalize dönel kavşakların performansını önemli ölçüde etkileyen sola dönüş hareketi yapan taşıtların sayılarının ve cinslerinin (ağır taşıt, normal taşıt) tespit edilmesi hususları dikkate alınmalıdır. Sinyal süreleri ve faz tasarımı açısından ise, merkez ada etrafındaki ve kavşak yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin kavşak performansı açısından uygunluğu, mevcut faz tasarımının yeterliliğinin irdelenmesi önem arz etmektedir.

Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan Faz Planları

Sola dönüşlerde taşıt depolamasının söz konusu olduğu sinyalize dönel kavşaklarda trafik denetimi genellikle iki, üç ya da dört fazlı olarak gerçekleştirilmektedir. İki fazlı denetimde, kavşağın karşılıklı yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı anda geçiş hakkı tanınmaktadır (Şekil 1.a). Sola dönüş hareketlerinin her iki fazda da engellendiği bu yöntemde, taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı oldukça düşüktür.

Üç fazlı denetim, kavşak yaklaşım kollarındaki trafiğin dengeli olarak dağılmadığı durumlarda uygulanmaktadır. Üç fazlı denetimde trafik hacminin yüksek olduğu yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı fazda geçiş hakkı verilmekte ve bu yaklaşım kollarındaki sola dönen taşıtların herhangi bir kazaya sebep olma olasılığını ortadan kaldırmak için, bu fazda sola dönüş hareketi yapan taşıtlar merkez ada etrafında depolanmaktadır. Trafik hacmi fazla olmayan diğer yaklaşım kollarındaki akımlara ise kesişme olasılıklarının düşük olmasından dolayı aynı fazda geçiş hakkı verilmektedir (Şekil 1.b).

Kavşakta bulunan tüm yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin yüksek olduğu durumlarda veya yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısının fazla olduğu durumlarda ise, dört fazlı trafik denetimi tekniği uygulanmaktadır (Şekil 1.c).

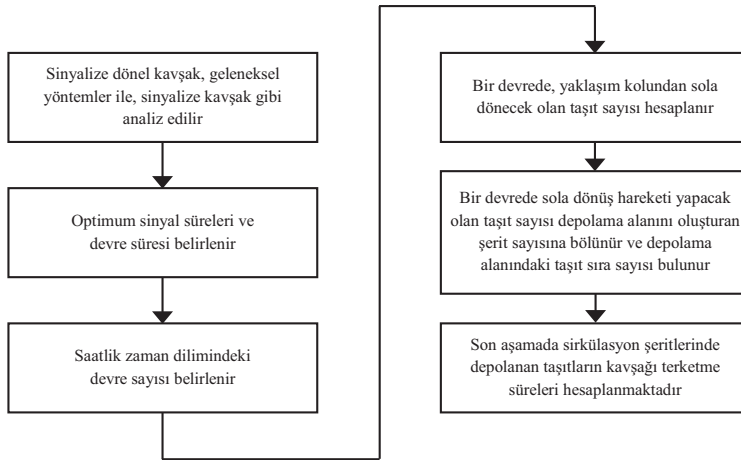


Şekil 1 Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan Faz Planları

Sinyalize Dönel Kavşaklar için Sinyal Süre Hesabı Yaklaşımı

Sinyalize dönel kavşak tasarımında en önemli noktalardan birisi de taşıt depolama alanındaki sinyal sürelerinin belirlenmesidir. Gelişigüzel ve kavşaktaki trafik koşulları dikkate alınmaksızın belirlenen sinyal süreleri, hem kavşak yaklaşım kollarında hem de merkez ada etrafında bulunan taşıtların kavşakta uzun süre beklemelerine sebep olabilmektedir.

Mevcut paket programlar (SIDRA, TRANSYT vb.) ile sinyalize dönel kavşaklarda sinyal süreleri tayini ve optimizasyonu yapılmadığı için, çalışma kapsamında yeni bir sinyal süre hesabı yaklaşımı geliştirilmiş ve aşamaları Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2 Sinyalize Dönel Kavşaklar için Geliştirilen Sinyal Süresi Hesabı Yaklaşımı

Şekil 2’ deki akış diyagramından yola çıkarak, merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi, Çakıcı (2014) tarafından geliştirilen Denklem 1 ile kolayca hesaplanabilmektedir.

$$\phi = \alpha + [(n - 1) \times \lambda] + \varepsilon \quad (1)$$

Burada; ϕ merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresini (sn); α sinyalizasyon sisteminin ön kısmındaki taşıtların başlangıç hareket kayıplarını (sn) – (2.5-3.0 sn); n depolama alanındaki taşıt sıra sayısını; λ taşıtların kavşağı terketme süresini (sn) – (2.0-2.5 sn); ε 2.0 – 3.0 sn aralığında sabit değeri (sn) temsil etmektedir.

Sinyalize dönel kavşakta, merkez ada etrafındaki sinyal süresinin Denklem 1 ile hesaplanmasının ardından kavşak devre süresi de kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Kavşak Performans Kriteri: Gecikme

Gecikme, sinyalize kavşaklardaki taşıtların sinyalizasyon sistemleri, diğer taşıtlar ve kavşağın geometrik özellikleri nedeniyle kaybettiği zaman olarak tanımlanmakta olup sinyalize kavşakların performansının ve hizmet düzeyinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmeleri yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmeleri olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Dion ve diğ., 2004). Yavaşlama gecikmesi, kavşağa yaklaşan taşıt sürücüsünün sinyalizasyon sisteminden dolayı hızını yavaşlatmaya başladığı andan itibaren, sinyalizasyon sistemi nedeni ile durmaya başladığı ana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Durma gecikmesi, taşıtın sinyalize kavşakta kırmızı sinyal süresince durmasından dolayı kaybettiği zaman olarak tanımlanırken, hızlanma gecikmesi ise, sinyalizasyon sistemi kırmızıdan yeşile döndükten sonra taşıtın tekrar hızlanması için gereken süre olarak belirtilmektedir.

Gecikme performans parametresinin doğru olarak tahmin edilebilmesi için analitik ve gözlemsel birçok yöntem geliştirilmiş olup (Akçelik, 1988; Mousa, 2002; Akgüngör, 2004; Murat, 2006; Chaudhry ve Ranjitkar, 2013) bu konudaki çalışmalar hızlanarak devam etmektedir.

Analizler

Bu çalışmada ele alınan 50 farklı örnek durum, 4 farklı senaryo altında, düşük ve yüksek trafik talepleri için, depolama şerit sayısının 2 ve 3 şeritten oluşması durumları dikkate alınarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan dönel kavşağın geometrik yapısı ile ilgili bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Analizlerde Kullanılan Dönel Kavşağın Geometrik Özellikleri

Yaklaşım Kolu	Giriş Şerit Sayısı	Çıkış Şerit Sayısı	Yaklaşım Kolu Şerit Genişliği (m)	Sirkülasyon Şerit Sayısı	Sirkülasyon Şerit Genişliği (m)
Batı	3	3	3.5	3	4.0
Kuzey	2	2	3.5	2	4.0
Doğu	3	3	3.5	3	4.0
Güney	2	2	3.5	2	4.0

Öncelikli olarak, 50 farklı örnek durum, oluşturulan 4 farklı senaryo dikkate alınarak ve Tablo 1’de gösterildiği gibi depolama şerit sayısının 2 olması kabulü yapılarak analiz edilmiştir. Daha sonra ise tüm yönlerdeki depolama şerit sayısının 3 olması durumu göz önünde bulundurulmuş ve Tablo 2’de gösterilen farklı trafik talepleri için analizler tekrarlanmıştır.

Tablo 2 Örneklerin Oluşturulmasında Kullanılan Farklı Trafik Hacimleri

Hareket Yönü	Başlangıç - Varış	Düşük Talep			Yüksek Talep		
		Otomobil (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)	Toplam Taşıt (ta/sa)	Otomobil (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)	Toplam Taşıt (ta/sa)
Düz Giden	B – D	848	105	953	1015	101	1116
	D – B	994	86	1080	1293	82	1375
	K – G	182	20	202	231	10	241
	G – K	86	4	90	90	3	93
Sağa Dönen	B – G	11	0	11	20	0	20
	D – K	66	4	70	157	18	175
	K – B	49	0	49	45	2	47
	G – D	35	0	35	41	1	42
Sola Dönen	B – K	86	21	107	101	25	126
	D – G	102	26	128	138	34	172
	K – D	22	6	28	26	6	32
	G – B	11	3	14	12	3	15
Toplam (ta/sa)		2493	274	2767	3169	285	3454
B: Batı Yaklaşım Kolu – D: Doğu Yaklaşım Kolu – K: Kuzey Yaklaşım Kolu – G: Güney Yaklaşım Kolu							

Tablo 2’de verilen ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki toplam taşıt sayıları %50 ve %25 oranında azaltılmış ve artırılmıştır (diğer yaklaşım kollarındaki taşıt sayılarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır), aynı zamanda ana akımlardaki sola dönüşler %10-%50 aralığında artırılmıştır ve böylece 50 farklı örnek durum elde edilmiştir. Oluşturulan 50 farklı örnek durumdan bazılarında ait, kavşak yaklaşım kolu bazlı hacim değişimleri ve sola dönüş oranları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3 Oluşturulan 50 Örnek Durum için Hacim Değişimi ve Sola Dönüş Oranları

Senaryo No	Kavşak Yaklaşım Kolu	Hacimdeki Oransal Değişim (%)	Sola Dönüş Oranı (%)	Senaryo No	Kavşak Yaklaşım Kolu	Hacimdeki Oransal Değişim (%)	Sola Dönüş Oranı (%)
1	B – D	%50 Azaltılmış	%10	29	B – D	Değişme yok	%50
	K – G	Değişme yok	%10		K – G	Değişme yok	%10
7	B – D	%50 Azaltılmış	%40	34	B – D	%25 Artırılmış	%20
	K – G	Değişme yok	%10		K – G	Değişme yok	%60
12	B – D	%25 Azaltılmış	%10	37	B – D	%25 Artırılmış	%40
	K – G	Değişme yok	%60		K – G	Değişme yok	%10
15	B – D	%25 Azaltılmış	%30	42	B – D	%50 Artırılmış	%10
	K – G	Değişme yok	%10		K – G	Değişme yok	%60
19	B – D	%25 Azaltılmış	%50	47	B – D	%50 Artırılmış	%40
	K – G	Değişme yok	%10		K – G	Değişme yok	%10
24	B – D	Değişme yok	%20	50	B – D	%50 Artırılmış	%50
	K – G	Değişme yok	%60		K – G	Değişme yok	%60
B: Batı Yaklaşım Kolu – D: Doğu Yaklaşım Kolu – K: Kuzey Yaklaşım Kolu – G: Güney Yaklaşım Kolu							

Senaryolar

Senaryo 1: İlk senaryoda, oluşturulan tüm örnek durumların analizinde, Şekil (1.c)’de gösterilen dört fazlı plan uygulanmıştır. Uygulanan sinyal süreleri, Denizli’ de bulunan Pekdemir Kavşağı’ndan alınmış olup, Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4 Senaryo 1’de Fazlarda Uygulanan Sinyal Süreleri

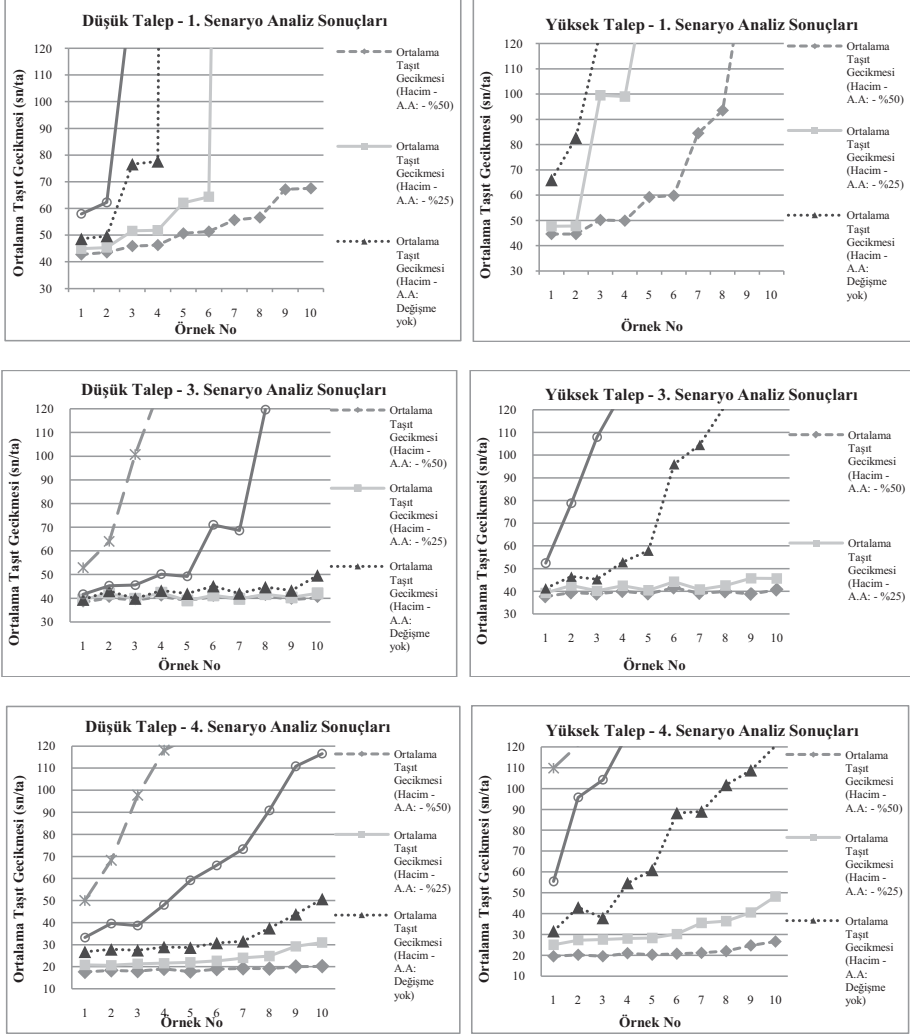
Faz No	Sinyal Yerleşimi	Yeşil Süre (sn)	Faslı Yeşil Süre (sn)	Sarı Süre (sn)	Kırmızı Süre (sn)	Devre Süresi 140 sn
1	Batı	35	5	2+2 = 4	96	
	Doğu	45	5	2+2 = 4	86	
2	Ada	69	5	2+2 = 4	62	
3	Güney	18	5	2+2 = 4	113	
4	Kuzey	15	5	2+2 = 4	116	
Sarı Süre: 2+2 = 4 sn (Her fazın başlangıcında ve bitişinde) Ortak Kırmızı Süre: 4+4 = 8 sn (Her faz geçişinde)						

Senaryo 2: Senaryo 2’de, Senaryo 1 sonunda elde edilen ve ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn’nin üzerinde olduğu örnek durumlar aynı faz planı ve Çakıcı (2014) tarafından geliştirilen sinyal süresi hesabı yaklaşımı uygulanarak yeniden analiz edilmiştir. ortalama gecikme değerleri 120 sn’ nin altına düşürülebilen örnek durumlara ait sinyal süreleri ve ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5’ de sunulmuştur.

Senaryo 3: Senaryo 3’de, sinyalizasyon dönel kavşakta depolama durumunun kavşak performansına etkisinin incelenmesi amacı ile kavşak üç fazlı sinyalizasyon kavşak olarak yeniden analiz edilmiştir. Trafik hacimlerinin yoğun olduğu yaklaşım kolları ayrı birer faz olarak düşünülmüştür ve ana akımların bulunmadığı diğer yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri saatlik 350 ta/sa’ in altında olduğu için bu yaklaşım kollarına aynı anda geçiş hakkı verilmiştir. Analizlerde, sinyalizasyon kavşağın devre süresi Senaryo 1’dekine benzer şekilde 140 sn olarak alınmış ve SIDRA programı kullanılarak elde edilen sinyal süreleri VISSIM programına aktararak 50 farklı örnek durum için ortalama taşıt gecikmesi elde edilmiştir.

Senaryo 4: Senaryo 4’de, Senaryo 3’de olduğu gibi 3 fazlı denetim tekniği kullanılmış ve merkez ada etrafında depolamanın yapılmadığı varsayılmıştır. Ancak bu senaryodaki analizlerde, Senaryo 3’den farklı olarak, SIDRA programı vasıtası ile elde edilen optimum sinyal süreleri (ortalama taşıt gecikmesini minimize edecek şekilde atanan sinyal süreleri) kullanılmıştır. Daha sonra, Senaryo 3’ e benzer şekilde, SIDRA programı kullanılarak elde edilen sinyal süreleri VISSIM programına aktararak 50 farklı örnek durum için ortalama taşıt gecikmesi elde edilmiştir.

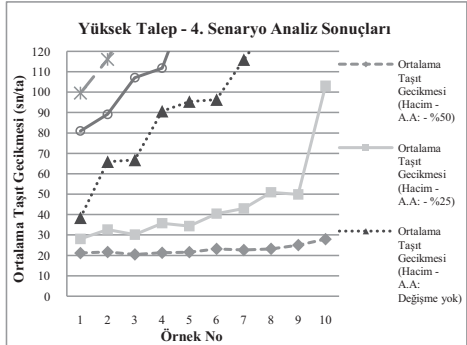
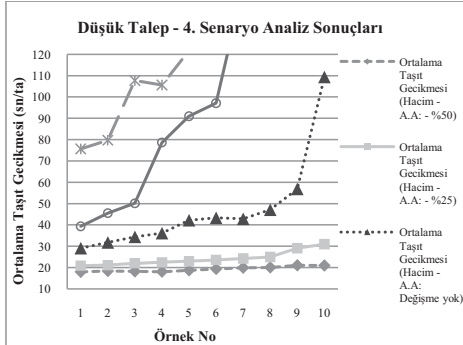
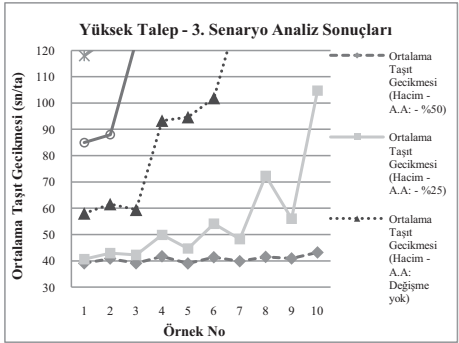
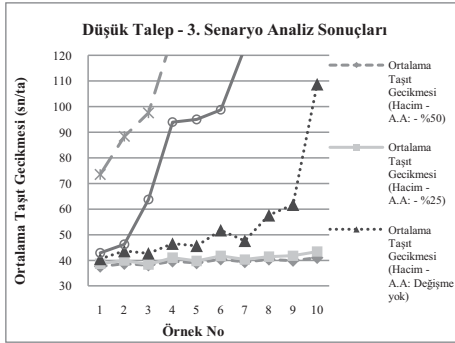
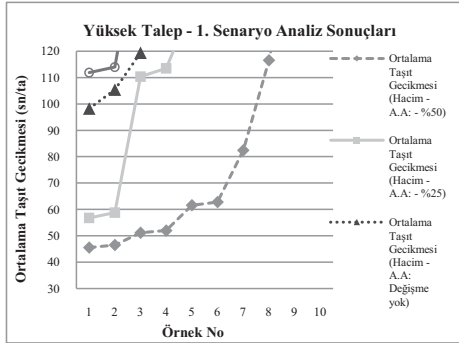
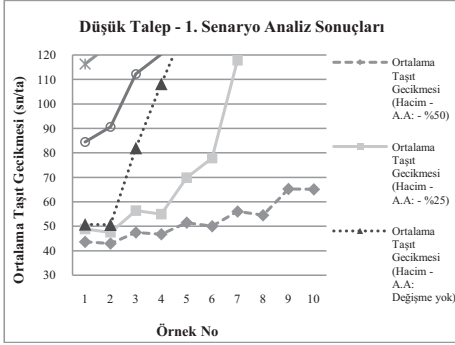
Şekil 3’ de sinyalizasyon dönel kavşağın 2 adet depolama şeridinden oluşması durumunda, Düşük ve Yüksek trafik talepleri için oluşturulan 50 farklı örnek duruma ait 1 – 3 ve 4. Senaryolarda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 4’ de ise sinyalizasyon dönel kavşağın, 3 adet depolama şeridinden oluşması durumunda göz önünde bulundurulmuş senaryolar sonucu elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmiştir.



Ortalama Gecikmesi 120 sn/ta' dan Daha Az Olan Örnek Durum Sayıları (Depolama = 2 Şerit)				
Düşük Talep	1. Senaryo: 22	2. Senaryo: 32	3. Senaryo: 41	4. Senaryo: 44
Yüksek Talep	1. Senaryo: 14	2. Senaryo: 23	3. Senaryo: 31	4. Senaryo: 33

A. A: Kavşaktaki ana akımlardaki trafik hacmi değişimleri

Şekil 3. Depolamanın 2 Şerit Olması Durumunda 1 – 3 ve 4. Senaryolarda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri



Ortalama Gecikmesi 120 sn/ta' dan Daha Az Olan Örnek Durum Sayıları (Depolama = 3 Şerit)				
Düşük Talep	1. Senaryo: 25	2. Senaryo: 31	3. Senaryo: 39	4. Senaryo: 40
Yüksek Talep	1. Senaryo: 17	2. Senaryo: 23	3. Senaryo: 29	4. Senaryo: 33
A. A.: Kavşaktaki ana akımlardaki trafik hacmi değişimleri				

Şekil 4. Depolamanın 3 Şerit Olması Durumunda 1 – 3 ve 4. Senaryolarda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Tablo 5 Senaryo 2’de Elde Edilen Yeni Sinyal Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Depolama Şerit Sayısı	Örnek Durum	Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Senaryo No	Batı - Doğu Yeşil Süre (sn)	Ada Yeşil Süre (sn)	Kuzey Yeşil Süre (sn)	Güney Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)	
Depolama Şerit Sayısı = 2	Düşük Talep	A. A: -%25	7	17 – 21	53	12	8	90	51.54	
			8	18 – 22	57	15	9	95	55.48	
			9	18 – 22	57	12	8	95	84.68	
			10	18 – 23	61	15	9	100	118.17	
		5	26 – 30	54	13	8	100	101.64		
		6	29 – 33	56	14	9	105	107.91		
	Düşük Talep	A. A: %0	3	43 – 52	57	15	9	125	111.44	
			4	43 – 52	62	18	11	130	116.66	
		A. A: +%25	1	48 – 56	48	12	8	120	47.12	
			2	46 – 54	55	16	11	125	55.96	
		Yüksek Talep	A. A: -%50	9	14 – 19	50	12	9	85	47.72
				10	14 – 19	55	14	10	90	51.42
	A. A: -%25		5	25 – 32	52	12	8	100	72.27	
			6	23 – 30	59	16	11	105	116.91	
	A. A: %0		3	40 – 50	59	15	9	125	110.64	
			4	41 – 51	63	17	11	130	117.01	
	A. A: +%25	1	42 – 57	52	13	8	125	77.07		
		2	41 – 55	59	17	11	130	101.22		
Depolama Şerit Sayısı = 3	Düşük Talep	A. A: -%25	8	18 – 22	52	13	9	90	71.40	
			9	21 – 25	49	10	8	90	119.70	
		A. A: %0	5	33 – 37	52	12	9	105	98.56	
			6	33 – 37	57	15	11	110	114.41	
		A. A: +%25	4	47 – 55	59	16	11	130	102.35	
	Yüksek Talep	A. A: +%50	2	45 – 54	55	16	11	125	81.73	
			9	16 – 20	49	10	8	85	76.49	
		A. A: -%50	5	25 – 33	51	12	8	100	110.55	
			6	25 – 32	57	15	11	105	114.78	
		A. A: %0	4	39 – 47	57	15	11	120	102.96	
			1	45 – 60	54	14	9	130	88.87	
		A. A: +%50	2	46 – 61	58	16	11	135	109.45	
Sarı Süre: 2+2 = 4 sn (Her fazın başlangıcında ve bitişinde)										
Ortak Kırmızı Süre: 4+4 = 8 sn (Her faz geçişinde)										
A.A : Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri										

Sonuçlar

Bu çalışmada, yapılan analizlerin sonuçları iki kısımda değerlendirilmiştir. Öncelikli olarak, depolama şerit sayısı farketmeksizin elde edilen genel sonuçlardan bahsedilmiştir. Sonraki aşamada depolama şerit sayısının kavşak performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Talebin düşük ve yüksek olması durumları için yapılan analizler sonucunda elde edilen genel sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Toplam trafik hacminin artması, ortalama taşıt gecikmelerini de arttırmıştır.
2. Toplam trafik hacminin aynı olması durumunda, hem ana akımdaki hem de diğer akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça, kavşaktaki ortalama gecikmeler artmıştır.
3. Senaryo 1'e göre, ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn' nin üzerinde olduğu örnek durumların nedeni olarak, sinyal sürelerinin dengesiz dağılımı ve merkez ada etrafındaki yeşil sürenin, yeterli olmaması gösterilebilir.
4. Senaryo 2'de, geliştirilen sinyal süresi hesabı yaklaşımı ile, bazı örnek durumlara ait ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılabilmesi mümkün hale gelmiştir.
5. Senaryo 3 ve 4' de ana akımlardaki sola dönüş hareketlerinde depolamanın yapılmadığı durumlarda, ortalama gecikme değeri 120 sn' nin altında olan örnek durum sayısı artmıştır.
6. Senaryo 4'de optimum devre süreleri kullanıldığı için, örnek durumlara ait ortalama gecikmeler oldukça düşüktür. Ortalama gecikmesi 120 sn' nin altında olan örneklerin en fazla görüldüğü senaryodur. Toplam trafik hacmi arttıkça optimum devre süreleri de artmıştır. Ayrıca toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlarda sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısındaki artış ile birlikte optimum devre süreleri artış göstermiştir.

Bu çalışmanın ana amaçlarından birisi de depolama şerit sayısının sinyalizasyon dönemi kavşak performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlar ışığında, depolamanın yapıldığı şerit sayısının kavşak performansına etkileri ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Depolama şerit sayısının 2 olması durumunda, ana akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça depolama alanı yetersiz kalmış, bu durum ortalama taşıt gecikmelerinin artmasına ve kavşağın tıkanmasına sebep olmuştur.
2. Depolama şerit sayısının 3 olması durumunda, depolama alanı arttığı için, ortalama gecikmelerde ani bir artış görülmemiş, gecikmeler kademeli bir şekilde artış göstermiştir. Ayrıca, ana yaklaşım kollarında en sağ şeritte bulunan taşıtlar da sola dönüş hareketi yapmakta olup bu taşıtlar orta ve sol şeritte hareketlerine devam eden taşıtların hareketlerini kısıtlamaktadır. Bu yüzden ortalama taşıt gecikmelerinde artış görülmüştür.

Teşekkür

Yazarlar, analizlerde kullandıkları VISSIM programı için Planung Transport Verkehr AG' ye ve SIDRA programı için Dr. Rahmi AKÇELİK' e teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

- Akcelik, R. (1988) The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Intersections, Institute of Transportation Engineers, 58 (3), pp. 23-27.
- Akgüngör, A. P. (2004) Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Tahmininin Matematiksel Modellenmesi I: Farklı Çözümleme Süreleri için Zamana Bağlı Yeni Bir Gecikme Modeli, Teknoloji, 7 (3), pp. 369-379.
- Bai, Y., Chen W., Xue K. (2010) Association of Signal-Controlled Method at Roundabout and Delay, 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 1, Changsha, IEEE, pp. 816-820.
- Brabender, B. D., Vereeck L. (2007) Safety Effects of Roundabouts in Flanders: Signal Type, Speed Limits and Vulnerable Road Users, Accident Analysis & Prevention, 39 (3), pp. 591-599.
- Chaudhry, M. S., Ranjitkar, P. (2013) Delay Estimation at Signalized Intersections with Variable Queue Discharge Rate, Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 9, pp. 1764-1775.
- Çakıcı, Z. (2014) Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dion, F., Rakha, H., Kang, Y. S. (2004) Comparison of Delay Estimates at Under-Saturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections”, Transportation Research Part B: Methodological, 38 (2), pp. 99-122.
- Johnnie, B.E., Ahmed, A., Iman, A. (2012) Extent of Delay and Level of Service at Signalized Roundabout, International Journal of Engineering & Technology, 2 (3), pp. 419-424.
- Ma, W., Liu, Y., Head, L., Yang, X. (2013) Integrated Optimization of Lane Markings and Timings for Signalized Roundabouts, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 36, pp. 307-323.
- Maher, M. (2008) The Optimization of Signal Settings on a Signalized Roundabout Using the Cross-Entropy Method, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 23 (2), pp. 76-85.
- Murat, Y. S. (2006) Comparison of Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Approaches in Vehicle Delay Modeling, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 14 (5), pp. 316-334.
- Mousa, M. R. (2002) Analysis and Modeling of Measured Delays at Isolated Signalized Intersections, Journal of Transportation Engineering, 128, pp. 347-354.
- Qian, H., Li, K., Sun, J. (2008) The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout, 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2, Hunan, IEEE, pp. 538-542.
- Tracz, M., Chodur, J. (2012) Performance and Safety of Roundabouts with Traffic Signals, SIV-5th International Congress – Sustainability of Road Infrastructures 2012 (Procedia-Social and Behavioral Sciences), 53, pp. 788-799.