DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNYALİZE KAVŞAK YAKLAŞIMLARINDAKİ ŞERİT SEÇİM DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

Onur ÇEVİK

Ekim, 2011

İZMİR

SİNYALİZE KAVŞAK YAKLAŞIMLARINDAKİ ŞERİT SEÇİM DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı

Onur ÇEVİK

Ekim, 2011

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ONUR ÇEVİK, tarafından **DOÇ. DR. BURAK ŞENGÖZ** yönetiminde hazırlanan **"SİNYALİZE KAVŞAK YAKLAŞIMLARINA ŞERİT SEÇİM DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ

Yönetici

Doç. Dr. Zeki KIRAL

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Serhan TANYEL

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın ilk kelimesinden tamamlandığı son güne kadar benden desteğini esirgemeyen sevgili eşim Sevgül ÇEVİK' e göstermiş olduğu sonsuz sabır, bana aşılamış olduğu başarı azmi, verdiği sevgi ve hayatıma kattığı eşsiz anlam için teşekkür ederim. Yürümeye başladığım ilk adımdan hayatımın tüm zorlu basamaklarını çıkarken aldığım tüm kararlarda bana desteklerini asla esirgemeyen Sevgili Annem Hülya ÇEVİK' e ve Sevgili Babam Kadir ÇEVİK' e melek kanatlarını üzerimden eksik etmedikleri için hayata gözlerimi açtığım ilk günden gözlerimi yumacağım son güne kadar şükranlarımı sunuyorum. Sevgili kardeşim Umur Yılmaz ÇEVİK, varlığın bile yeter canım kardeşim.

Yüksek Lisans öğrenimim süresince bilgi ve birikimleriyle bana destek olan Sn. Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ' e ihtiyaç duyduğum her an yanımda olduğu için sonsuz teşekkür ederim. Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim süresince bana olan inancını asla kaybetmeyen, ışığıyla yolumu sürekli aydınlatan Sn. Doç. Dr. Serhan TANYEL' e göstermiş olduğu tarifsiz sabır ve samimi ilgi için teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezimin yazım aşamasında bilgi ve birikimlerinden yararlandığım Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Ana Bilim Dalı Araştırma Görevlisi Sn. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ' ye, Doktora öğrencisi Kiarash GHASEMBLOU' ya, İnşaat Yük. Mühendisi Gülden CANSEVEN' e, Bahçeşehir Üniversitesi Ulaştırma Uygulama Merkezi (UYGAR) üyelerinden Edip DEMİR' e, tez çalışmamın veri toplama aşamasında hazırlamış olduğu bilgisayar programından faydalandığım okul arkadaşım İnşaat Mühendisi İbrahim AYDEMİR' e teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca tez çalışmamın kavşak gözlem sürecinde kamera kayıtlarından yararlandığım Bodrum Belediyesi' ne ve Bodrum Emniyet Müdürlüğü' ne teşekkür ederim.

SİNYALİZE KAVŞAK YAKLAŞIMLARINDAKİ ŞERİT SEÇİM DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

ÖZ

Ulaşım, insanoğlunun var oluşundan bugüne kadar güncel yaşam içerisinde her zaman aynı önemi taşımıştır. Ulaşım sorunu ise gelişen sanayileşme sayesinde gerek bireysel taşıtlar gerekse gelişen toplu taşıma araçları yardımıyla çözüme varmıştır. İnsanoğlu ulaşım sorununu çözüme vardırırken, nüfus artışı, taşıt fazlalığı ve çeşitliliği, daha büyük bir sorunu, trafik sorununu gün yüzüne çıkartmıştır.

Şehir içi trafiklerinde çözümlenmesi gereken en kilit noktalar farklı yönden gelen akımların kesiştiği kavşak alanlarıdır. Kavşak alanlarının çözümlenmesinde ülkemizde genellikle sinyalizasyon sistemlerinden yararlanılmaktadır. Fakat yanlış projelendirilmiş kavşak yapıları ve sinyalizasyon sistemleri yarardan çok zarar vermekte, kavşak kapasitesini düşürmekte, gecikmelere sebep olmakta daha önemlisi kazalara sebebiyet verip can ve mal güvenliğini tehlikeye atmaktadır.

Ülkemizde trafik sağdan ilerlediği için sinyalize kavşakların kapasitesinin belirlenmesinde sola dönüş faktörü önemli bir rol oynamaktadır. Sola dönen araçlar kavşak içerisinde gecikmelere sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle sinyalize kavşaklarda sola dönüş yapan araçların kavşak kapasitesine olan etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında Bodrum merkezde bulunan ve günün pik saatlerinde şehrin en yoğun trafiğine maruz kalan Otogar Kavşağından günün belli saatlerinde alınan veriler doğrultusunda sola dönen araçlar incelenmiştir. Ayrılma hallerinin kuyruk oluşumları, gecikme süreleri ve doygun akım hacimleri ele alındığında kavşak modellenmesinde büyük önem taşıdığı, sağa ayrılma hale göre sola ayrılma halinin daha spesifik çözümlemeler gerektirdiği ortaya çıktığından elde edilen veriler ile sola dönüş eğilimi gösteren araçlar incelenmiş ve elde edilen veriler kavşak modellenmesinde kullanılarak sonuç ve öneriler kısmında yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sinyalizasyon, sinyalize kavşak, gecikme, doygun hacim, ayrılma hali

MODELLING OF LANE-CHOISE BEHAVIOR AT SIGNALIZED INTERSECTION APPROACHES

ABSTRACT

Transportation has the same importance of humanity life for every time. The cause of transportation has been solved by personal cars and mass transportation vehicles. Over population, increasing and variety of vehicles causes traffic problem as more important problem than transportation problem.

The basic matter of the traffic in city is intersection area which crossing of different direction volume. The signalisation systems are being used for solving of the intersection problems. But wrong designed intersections and signalisation systems are damaging more than advantage. It causes decreasing intersection capacity and delaying. And it endangers security of life and property by causing accidents.

The factor of turning left side has an important role for determination of the signalised intersection capacity in our country. The vehicles turning left cause delay on intersection. Because of that, the effects of vehicles turning left side at signalized intersections are researched.

The vehicles which are turning left side is researched by data of bus station intersection in the city Of Bodrum that is subjected to more intensive traffic for pig hours in a day. The vehicles which are turning left side is researched and the data is interpreted by using for designing of intersections, because periods of delay, volume of saturated flow and forming of tail situation of separating formation has more importance on designing of intersections and the situation of separating left side needs more specific analysis than situation of separating right side.

Keywords: signalisation, signalised intersection, delay, saturated flow, the situation of separating

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SONUÇ FORMU……....ii
TEŞEKKÜR……...iii
ÖZ ……..…….....iv
ABSTRACT…….....v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ……..……..….1

BÖLÜM İKİ – TRAFİK AKIMLARI VE KAVŞAK SİSTEMLERİ……...3

2.1 Eşdüzey Kavşaklar…….3
2.1.2 Eşdüzey Kavşakların Düzenlenmesi ve Planlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar……...3
2.2 Eşdüzey Kavşak Türleri…….5
2.2.1 Denetimli Eşdüzey (Sinyalize) Kavşaklar…….5
2.2.1.1. Sinyalizasyon Sisteminin Oluşturulması……...6
2.2.1.1.1 Sinyalizasyon Sistemi…….……...……7
2.2.1.1.1.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri……9
2.2.1.1.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi…..…….……..9
2.2.1.1.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi…...…….……10
2.2.1.1.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi……..10
2.2.1.1.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi…..…...……..11
2.2.1.1.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri…….....……..11
2.2.1.2 Sinyalize Kavşaklar İle İlgili Bazı Tanımlar ……...13
2.2.2 Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklar…...……13
2.2.3 Dönel Kavşaklar……...……15

BÖLÜM ÜÇ - SİNYALİZE KAVŞAKLARIN VERİM VE KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ……...……17

3.1 Genel……...……17
3.2 Kayıp Zamanlar ve Etkin Yeşil Faz……...……..17

3.3 Doygun Akım ve Doyma Derecesi……..……...19
3.3.1 Ülkelere Göre Doygun Akım Değerleri…….……...……...24
3.4 Sinyalize Kavşaklarda Kapasite……...……25
3.5 Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Değişimi……..27
3.6 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyleri……...…….29
3.7 Kapasiteyi Etkileyen Faktörler……...……..31
3.7.1. Geometrik Özellikler……...……31
3.7.1.1 Yaklaşım Yönünün Genişliği…….…...……...31
3.7.1.2 Yaklaşım Yönünün Eğimi…..…….…….32
3.7.1.3 Park Eden Araçlar……32
3.7.2. Trafik Özellikleri……...……..33
3.7.2.1 Araç Kompozisyonu……..……..33
3.7.2.2 Dönüş Yapan Araçlar…….……34
3.7.2.3 Yayalar…….……35
3.8 Gecikme…….……36
3.8.1 Gecikme Hesabı……..…….……39

BÖLÜM DÖRT - SİNYALİZE ARTERLERDE ARAÇ TAKİP ARALIKLARININ İNCELENMESİ…….…….…...48

4.1 Genel……48

BÖLÜM BEŞ – GÖZLEMSEL ÇALIŞMALAR ……..……..……..51

5.2 Gözlemlerin Yapılışı.....52
5.3 Gözlem Yerinin Tanıtımı.....53
5.4 Sinyalize Kavşaklarda Sola Dönen Araç Etkisinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler.....55
5.4.1 G_EOB Yöntemi.....55
5.5 Gözlem Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....57
5.5.1 Otogar Kavşağı Artemis Caddesi Bağlantısı.....58
5.5.2 Otogar Kavşağı Cevat Şakir Caddesi Sol Şerit Bağlantısı.....62
5.5.3 Otogar Kavşağı Birleştirilmiş Veriler……...66

BÖLÜM ALTI - SONUÇ VE ÖNERİLER.....71

KAYNAKLAR.....73

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Ulaşım insan hayatındaki en önemli etkenlerden bir tanesidir. Sürekli ilerleme gösteren teknoloji çağı ve insan nüfusundaki artış insanları ulaşım sektörünü de doğru orantılı olarak etkilemektedir. Ulaşım sektörünün hızlı gelişimi trafik sorununu da beraberinde getirmektedir. Trafik sorunları enerji ve zaman kaybına yol açmakta, bu da insan yaşamında sosyo ekonomik etkiler ortaya çıkartmaktadır.

Ülkemizde insan nüfusunun hızlı artış göstermesi ve yabancı sermayenin ülkemizde etkin hale gelmesinden sonra trafikteki araç sayısı hızlı artış göstermiş, alt yapı bakımından hazır olmayan şehir merkezlerinde trafik sorununun baş göstermesine sebebiyet vermiştir.

Gelişmiş ve büyümekte olan kentlerde, mevcut sorunlara bir de artan otomobil sahipliği, çarpık kentleşme ve kent içi yol altyapısına yapılan plansız müdahaleler eklenmiş, ulaşım problemi iyice başa çıkılması zor bir hal almıştır. Ulaşım talebindeki hızlı artış özellikle şehir içi ulaşımında trafik problemlerini de beraberinde getirmiştir. Sanayi, teknoloji ve ekonomideki gelişmeler sonucunda motorlu araç miktarındaki hızlı artış, trafik tıkanıklığı ve trafik kazaları başta olmak üzere birçok sorun yaratmış, bu sorunlara çözüm arayışı trafik mühendisliğinin doğmasına neden olmuştur. Trafik mühendisliği "Kent içi ve kent dışı yolların trafik işletmesi ve bu yolların şebekeleri, terminalleri, bitişik arazileri ve diğer ulaşım türleri ile olan ilişkilerinin planlanması ve geometrik tasarımı için uğraşan ulaşım mühendisliğinin bir uygulaması" olarak tanımlanmaktadır (Tunç, 2003).

Şehir içi trafik akım özelliklerinin incelenmesi, çeşitli akım yönetim şekillerinin oluşturulması ve kavşak düzenleme uygulamaları trafik mühendisliğinin ana çalışma konuları arasında yer almaktadır. Bu çalışmalar sayesinde akım hareketinin devamlılığının sağlanması, gecikme miktarlarının kabul edilebilir düzeylerde tutulması, yaya güvenliğinin sağlanması ve trafik kazalarının önlenmesi amaçlanmaktadır (Çalışkanelli, 2010).

Şehir içi kavşaklarda en sık kullanılan yönetim şekli sinyalizasyon sistemleridir. Sinyalizasyon sistemleri hem yaya ve taşıt güvenliğini sağlamak hem de kavşak kapasitesini arttırmak amacıyla oluşturulmaktadır. Ancak yanlış tasarlanan sinyalizasyon sistemleri kazalara sebep olmakta, kavşak kapasitesini düşürmekte, yaklaşım kollarındaki kuyruklanma ve gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır (Çalışkanelli, 2010).

Şehirlerde özellikle pik saatlerde, karayolu trafiğinde sıkışıklıklar ve tıkanmalar yaşanmaktadır. Bu durum en belirgin olarak kavşaklarda görülmektedir. Sinyalize kavşaklarda iki farklı yönde akan trafik her ne kadar sinyalizasyon ile yönlendirilse de trafik zaman zaman durmak zorunda kalmaktadır. Özellikle günün pik saatlerinde yoğun akım koşullarından dolayı iyice yavaşlayan trafik akımlarının kesiştiği sinyalize kavşaklarda tıkanmaların önüne geçilememekte gecikmeler kaçınılmaz hale gelmektedir. Trafikteki araç kompozisyonu içinde yer alan araçların kavşaktan çıkış doğrultuları (doğru gidiş, sola dönüş, sağa dönüş) kavşakların kapasitelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Trafik akımına ağır araçların da katılmasıyla, akım içerisindeki araçlar arasında olumsuz etkileşimler kavşaklarda kapasitenin düşmesi, verimlilik ölçütlerinde kötüleşmenin görülmesi gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Kavşakların ülkemiz trafik koşullarına uygun düzenlenmesi ve/veya sinyalizasyon sistemlerinin etkin olarak saptanabilmesi için, araçların kavşaktan çıkış doğrultularının ve etkilerinin incelenmesi gereği doğmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, sinyalize arterlerde hareket etmekte olan araçlar arasındaki takip aralığı değerlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Takip aralığı değerleri araçların kavşaktan çıktıktan sonraki doğrultularına incelenmiştir. İncelemeler araçlar sinyal-dur çizgisinden ayrıldıktan sonra, sinyal-dur çizgisine varmadan önce ve sinyal dur-çizgisinde yapılmıştır. İncelemeler kapsamında araçların sola dönüş hareketlerine göre arter üzerindeki takip aralığı değerlerinin modellenmesi, serbest ve grup halinde hareket eden araç oranlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM İKİ
TRAFİK AKIMLARI VE KAVŞAK SİSTEMLERİ

2.1 Eşdüzey Kavşaklar

Karayolu ulaştırma sisteminin altyapısını farklı doğrultudaki yollar ve bu yollar üzerinde hareket eden trafik akımları oluşturur. Farklı yönlerden gelen bu trafik akımlarının ortaklaşa kullanmak zorunda oldukları yol alanlarına kavşak adı verilir. Ortak kullanılan bu alanlar trafik akımlarının kesişmelerini önlemek için farklı düzeylere alınmışlar ise katlı kavşak, aynı düzeyde oluşturulmuşlar ise eşdüzey kavşak adını alırlar.

Kavşak noktaları ortak kullanım özellikleri sebebi ile özellikle şehir içi ulaşımında trafiğin durma ve yavaşlamalarla en çok gecikmeye uğradığı, güvenlik düzeyinin en aza indiği ve kaza olasılığının en yoğun bulunduğu bölgelerdir (Gedizlioğlu, 1979; Yayla, 2004). İstatistiklere göre hemen her ülkede, kent içi ve kırsal yollarda trafik kazalarının %40 -%60'ı birden fazla yolun birleşmesi ya da kesişmesi ile oluşan eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan, özellikle kent içi ulaşımda, gecikmelerin %70'inden fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır (Yayla, 2004).

2.1.2 Eşdüzey Kavşakların Düzenlenmesi ve Planlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar

Eşdüzey kavşak düzenlemeleri, özellikle kavşak bölgesinin topografik durumu; kavşaklardaki görüş uzunlukları, kavşağın inşa maliyeti, kavşağı birleştiren yolların eğimleri ve birleşme açıları açısından oldukça önemlidir. Bu sebeplerle, eşdüzey kavşaklar, çevre koşulları ile uyum gösterecek, tesis ve bakım masrafları az olacak, buna karşılık yüksek kapasite sağlayacak şekilde planlanıp inşa edilmelidir (Yayla, 2004).

Yukarıda bahsedilenler ışığında eşdüzey kavşak planlamasında dikkat edilmesi gereken hususlar şöyle sıralanabilir (Yayla, 2004).

• Planlama sırasında, kavşağa girecek sürücüleri şaşırtacak karışık düzenlemelerden kaçınılmalıdır. Sürücü, diğer yollardan gelen taşıtlar ile bu taşıtların hangi yönlere gidebileceğini yeterli mesafeden açık bir şekilde görüp anlayabilmelidir.

• Trafik akımlarının kavşak içindeki hareketleri kesin bir şekilde sınırlandırılmalı, birleşme, ayrılma ve kesişme açıları güvenliği ve kapasiteyi arttıracak şekilde düzenlenmelidir.

• Eşdüzey kavşaklardaki köşe yarıçapları taşıtların sürekli bir hareketle kolayca dönebilmelerine yeterli olmalıdır. Köşelerde otobüs ve kamyon gibi ağır taşıtlar için 10,0 m, otomobille için 5,0 m lik dönüş yarıçapları yeterli olmaktadır. Dönüşlerde, taşıtların diğer şeride taşmaması için kavşağın bulunduğu şeritlerde genişletme yapılabilir.

• Farklı yollardan kavşağa yaklaşan taşıt sürücüleri birbirleri kolaylıkla görebilmelidir. Eğer kavşak noktasında gerekli görüş uzunlukları herhangi bir nedenle sağlanamıyorsa, kavşağa yaklaşım kollarında hız sınırlaması yapılmalıdır. Yollardan birinin mutlak geçiş üstünlüğü varsa, yanyolun kavşağa birleşen yerine “DUR” veya “YOL VER” işaretleri konulmalı, ayrıca kaplama üzerine “DUR” çizgisi çizilmelidir.

• Kapasite ve özellikle güvenlik açısından eşdüzey kavşaklarda işaretleme ve aydınlatmaya özel önem verilmelidir.

2.2 Eşdüzey Kavşak Türleri

Eşdüzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine, diğer bir deyişle geometrik durumlarına, ayrıca kavşaklardaki denetim tarzına göre değişik tiplere ayrılırlar (Tanyel, 2001).

Eşdüzey kavşaklar denetim şekillerine bağlı olarak üç ana gruba ayrılabilir:

1-Denetimli eşdüzey (sinyalize) kavşaklar

2-Denetimsiz eşdüzey kavşaklar

3-Dönel Kavşaklar

2.2.1 Denetimli Eşdüzey (Sinyalize) Kavşaklar

Kavşaktan hangi trafik akımının hangi sırayla geçeceğinin açık ve net olarak, ışıklı özel donanımlarla belirtildiği kavşaklara sinyalize denetimli kavşaklar adı verilir. Bu tip kavşaklar, trafik talebinin fazla olduğu yollarda kullanılır. Bu tip kavşaklarda düzenli bir akım elde edilebildiğinden kapasiteyle birlikte güvenlikte artmaktadır. Trafik akımında düzenin sağlanmasıyla birlikte karşı karşıya ve yandan çarpma gibi kaza türlerinde büyük oranda azalma görülür. Meydana gelen kazalar genellikle arkadan çarpma kazalarıdır fakat taşıtlar arasındaki hız farkı az olduğundan meydana gelen zarar ve ölüm riski düşüktür (Yayla, 2004; Gedizlioğlu, 2002).

Sinyalize kavşaklar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çoğunda kentsel alanlarda kullanılan en yaygın trafik kontrol şeklidir (Hossain, 2001).

Trafik akımlarını düzenlemek, kavşaklarda güven, konfor ve kapasite gereklerini sağlamak için kurulmalarına rağmen sinyalize kavşakların bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır. Bunlar kısaca şu şekilde sıralanabilir.

• Sabit yatırım masrafı

• İşletme, bakım ve onarım masrafları

• Anayolda seyreden araçların gereksiz yere durdurulup bekletilmesi sonucu enerji, zaman ve amortisman masrafları

• Seyahat konforunun azalması

• Çevre kirliliğinin artması (Murat, 1996)

2.2.1.1 Sinyalizasyon Sisteminin Oluşturulması

Genel olarak sinyalizasyon sistemleri kontrolsüz kavşaklarda kontrolü sağlamak ve aynı zamanda kavşakta meydana gelebilecek kazaları önleyerek, gecikmeleri azaltmak amacı ile kullanılır. Bununla birlikte gerekli kriterlere uyulmadan kurulan bir sinyalizasyon sistemi hem gecikmelerin uzamasına, hem de kaza sayısının artmasına neden olabilir. Fakat bazı durumlarda sinyalizasyon sisteminin yapılmaması daha kötü sonuçlar doğurabilir.

Bu durumlar şu şekilde sıralanabilir;

• Yan yoldan kavşağa katılmak isteyen araçlar, gerekli zaman boşluklarını bulanmamakta, anayoldan gelen araçlar buna izin vermemektedir.

• Kavşaklardaki işaretlemelere rağmen, ulaşım güvenliği sağlanamamakta, sürekli veya birbirine benzer karakteristikte kazalar oluşmaktadır.

• Kavşaklardaki trafik hareketleri beklemelere, sıkışıklıklara, tıkanıklıklara ve gecikmelere yol açmakta; dolayısıyla kavşağın ekonomik kullanımı azalmakta, enerji ve zaman kayıpları oluşmaktadır.

• Kavşak kapasitesinden yeterince yararlanılamamaktadır.

• Yayalar emniyetle hareket olanağı bulamamaktadır (Ayfer, 1977).

Bir kavşakta sinyalizasyon tesisinin kurulabilmesi için kesişen trafik yükleri veya kaza sayılarının belirli bir değere ulaşması gerekir. Bu nedenle;

- Şehir içi yollarda şerit başına düşen taşıt sayısının 750 taşıt/saat'i geçmesi halinde,
- Şehir dışı yollarda ana arterde 500 taşıt/saat'i, tali yollarda 125 taşıt/saat'i geçmesi halinde,
- Sinyalize tesis kurulduğunda bir yıl boyunca önlenebilecek trafik kaza sayısının en az 5 olması durumunda,
- Yaya yoğunluğu olarak, günün en kalabalık 8 saati boyunca saatte ortalama 250'den fazla yayanın bir yolu geçmesi ve bu yoldan kavşağa gelen taşıt trafiğinin 600 taşıt/saat'i geçmesi halinde, söz konusu kavşağın sinyalizasyonu gerekmektedir (Varlıorpak, 1982).
- Yukarıda belirtilen durumlardan biri ya da bir kaçı kavşakta gözlenir ise, bu kavşağın sinyalize edilmesi gerekebilir. Bu sayede aşağıda belirtilen faydalar sağlanabilir.
- Ulaşım güvenliği artar.
- Kapasite kullanımında artış gözlenir.
- Gecikme sürelerinde azalmalar gözlenir.
- Yavaşlama ve durmalar sebebi ile meydana gelen karbon monoksit fazlalığı ve gürültünün azalması sebebiyle çevre şartlarının iyileşmesi sağlanmış olur (Ayfer,1977).

2.2.1.1.1 Sinyalizasyon Sistemi Sinyaller. Bir diğer deyişle ışıklı işaretler, yollar üzerinde ve özellikle kavşaklarda düzenli ve güvenli bir akım sağlamak için kullanılan trafik kontrol gereçleridir.

İlk olarak 1868 yılında Londra'da el ile yönetilen semaforlar biçiminde kullanılan trafik sinyalleri gece görünümlerini sağlamak amacı ile gaz lambaları ile aydınlatılmıştır. Kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi 1914 yılında A.B.D.'de Cleveland'da kurulmuş, 1920 yılında Detroit'te sarı ışıklar da kullanılmıştır. 1924 yılından sonra Avrupa ülkelerinde de kullanılmaya başlayan ışıklı sinyaller özellikle 1950 yılından sonra büyük gelişme göstermiştir.

Her hangi bir yerde sinyalizasyon tesisi kurulması, aşağıdaki maddelerden en az birinin gerçekleştirilmesi amacını güder;

a) Kesişen akımlardan veya geometrik özelliklerden dolayı oluşan gecikmeleri, sıkışmaları ve tıkanıklıkları önlemek,

b) Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda güvenli bir geçiş düzeni sağlamak ve kaza ihtimalini azaltmak,

c) Taşıt ve yaya yoğunluklarını göz önünde tutarak, akım yönlerine geçiş hakkı veya önceliği verirken uyumlu bir zaman dağıtımı yapmak,

d) Yüklü trafik yoğunluğu olan bir yol üzerindeki taşıtları zaman zaman durdurarak tali yollardaki trafiğe ve yayalara da geçiş olanağı sağlamak.

Trafik güvenliği ve kontrolü için kullanılan yatay ve düşey işaretlemelerde (yol çizgilerinde ve trafik levhalarında) olduğu gibi, ışıklı işaretlerin de aşağıdaki dört niteliğe sahip olmaları gereklidir:

1. Sürücü ve yayaların dikkati çekilmelidir.
2. Basit ve kesin anlamları olmalıdır.
3. Sürücü ve yayaların saygı göstermeleri ve uymaları sağlanmalıdır.
4. Özellikle sürücülere intikal ve reaksiyon için yeterli zaman tanınmalıdır.

Trafik sinyalizasyonu sistemlerinin gerek projelendirilmesi gerekse uygulaması oldukça basit görünmekle birlikte küçümsenmemeli, kullanılacak cihaz ve gereçler ihtiyaca uygun biçimde titizlikle seçilmeli, ne yetersiz ne de fazla olmamalıdır.

Zaman dağıtımlarında taşıt ve yaya güvenliğine titizlik gösterilmeli, değişik akım yönlerine verilen geçiş hakkı süreleri yönlerin yoğunluklarının birbirlerine olan oranları ve sinyalize edilmiş tesisten geçiş süreleri ile uyumlu olmalıdır. Zaman dağıtımlarında özellikle akım değerlerinin saatlik, günlük, aylık, mevsimlik değişimleri göz önünde tutulmalı, ayrıca zaman aşımı nedeniyle akım özelliklerinin değişmesi üzerine sürekli bir revizyon yapılmalıdır. Gereksiz olarak kurulmuş, elemanları yanlış yerleştirilmiş veya uyumsuz işletilen bir sinyalizasyon tesisi gecikmeleri büyük ölçüde artırabilir ve bunun sonucu olarak sürücü ve yayaları ışıklara uymamaya alıştırabilir, hatta zorlayabilir.(Ayfer, 1977)

Sinyalize denetimli kavşaklarda ne kadar çok faz düzenlenmek zorunda kalınırsa kapasite de o kadar azalır. Bu tür kavşaklarda sinyalizasyonun trafik talebine uygun

olarak düzenlenmesi gerekir; yanlış sinyalizasyon sürücülerin itaatsiz davranmalarına neden olabilir (Wilshire, 1992).

Sinyalizasyon sistemleri iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

1. İzole sinlalizasyon sistemleri,
2. Koordine sinyalizasyon sistemleridir.

Bu sistemler, alt bölümlerde sırasıyle ifade edilmeye çalışılacaktır.

2.2.1.1.1.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri. İzole sinyalize kavşaklar, yakınlarındaki diğer sinyalize kavşaklar ile herhangi bir bağıntısı bulunmayan ve bu kavşaklardan etkilenmeyen sinyalize kavşaklardır. İzole sinyalize kavşaklar dört değişik sinyalizasyon sistemi ile oluşturulabilir.

Bu sinyalizasyon sistemleri ;

1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi,
2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi,
3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi,
4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi, olarak ifade edilir.

2.2.1.1.1.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi. Sabit zamanlı sistemler, önceden zamanları saptanan bir programla faz sıralarının düzenlendiği sistemlerdir (Varlıorpak, 1982). Diğer bir deyişle, bu sistemler kavşağa farklı yönlerden yaklaşan taşıt ve yaya trafiğine önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı vermektedir. Çeşitli yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek geçiş hakkı süreleri (yeşil süreler) ortalama trafik yükü değerine göre saptanır. Bu nedenle bu sistemin başarılı olabilmesi için mümkün mertebe çok sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir. Hemen hemen her kavşaktaki trafik akımları günün her saatinde farklı özellikler göstermektedir. Bu nedenle, sabit zamanlı bir sinyalizasyon sisteminde bu farklı özellikler dikkate alınmalı ve günün belirli saatlerinde değişen ayrı ayrı birkaç program uygulanmalıdır.

Sabit zamanlı sinyalize kavşaklar sürekli olarak kontrol altında tutulmalı, mevsimlere göre ve zamanla değişen trafik koşullarına uygun olarak zaman

programları düzeltilmelidir. Aksi takdirde, bu kavşaklarda gereksiz beklemeler oluşabilmektedir.

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin avantajları;

• Trafik hacimlerinin sık sık ve düzensiz değişimler göstermediği kavşaklarda,

• Anayol-tali yol kavşaklarında anayoldaki trafiğinin süre olarak kesintisiz ve devamlı bir akıma kavuşturulmasında daha verimli olmaları (Varlıorpak, 1982), olarak ifade edilebilir.

2.2.1.1.1.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi, devre süresi ile kırmızı ve yeşil ışık süreleri kavşağa giren ve dedektörler yardımı ile belirlenen trafik yoğunluklarına göre ayarlanan sistemdir (Yayla, 1993). Bu sistem genel olarak iki türlü uygulanmaktadır:

Yarı-Trafik Uyarmalı Sistemler: Bu sistemlerde dedektör sadece tali yolda kullanılmakta ve böylelikle ana yoldaki trafiğin minimum gecikme ile yolu kullanması planlanmaktadır. Tali yoldaki yeşil zaman, taşıtların dedektörden geçişi ile uzamakta ancak maksimum periyodu geçmemektedir. Bu sistemde tali yoldan kavşağa giren taşıtlar ana yoldaki trafik için belirsiz ve şaşırtıcı bir durum yaratmaktadır. Bu nedenle, yarı-trafik uyarmalı sistemlerde kaza oranları diğerlerine nazaran daha fazladır (Varlıorpak, 1985).

Tam-Trafik Uyarmalı Sistemler: Bu tip sinyalizasyon sistemlerinde kavşaktaki bütün yollardan sürekli olarak uyarı alınır ve geçiş hakkı, devre ve faz süreleri bütün yollardan gelen trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Tam-trafik uyarmalı sistemler, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladıklarından, toplam gecikmeleri minimuma indiren en ideal sistemler olarak görülebilir (Şazi, 2000).

2.2.1.1.1.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi. Yaya uyarmalı sinyalizasyon tesisleri, genellikle kavşaklarda, bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kurulmaktadır. Kavşaklardan uzak olan ve yaya akımının

düşük olduğu bölgelerdeki yaya geçitlerinde sürekli olarak ya da günün belirli saatlarinde, yayalara güvenli geçiş hakkı sağlamak üzere yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi uygulanabilir. Bu sistemlerde taşıtlara verilen geçiş hakkı yayaların GEÇ butonuna basarak yaptıkları uyarı ile kesilir.

Yaya uyarmalı sistemler kavşaklarda da kullanılabilir. Bu uyarılar, tam ve yarı trafik uyarmalı olarak düzenlenmiş bir sistemin kapsamına alınabileceği gibi, sabit zamanlı olarak çalışan kavşaklarda da yararlı olabilir. Özellikle bazı sabit zamanlı kavşaklarda, zaman kaybını önlemek ve gecikmeleri azaltmak için yayalardan herhangi bir talep gelmediği sürece bazı yaya cepheleri sürekli olarak kırmızı ışıklı sinyal vermektedir. Bu geçitleri kullanmak isteyen yayalar, geçiş hakkı sağlamak için butona basmak ve beklemek zorundadırlar.

2.2.1.1.1.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi. Herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda çizelgesine bağlanarak ışıklı sinyallerin dışarıdan yönetilmesini sağlar. Bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş bulunan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerden büyük sapmalar ve dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır. Bu sistem taşıt ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekte, fakat talepler dışarıdan gözlem ile belirlenmektedir.

2.2.1.1.1.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri. Ana yolların birbirine çok yakın sinyalize kavşaklarında, trafik akımının her kavşakta ayrı ayrı kesintiye uğramasının ve gecikmelerinin önlenmesi amacıyla bu kavşakların kendi aralarında koordine edilmeleri gerekmektedir. Koordine sistemler genellikle anayol üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğini de zorlamaksızın, birim zaman içinde mümkün olan en yüksek sayıda aracın durmadan geçirilmesi amacıyla düzenlenmektedir. Ayrıca birbirne çok yakın olan sinyalize kavşaklarda biriken araç kuyruklarının kavşak alanlarına taşmamaları için de bir koordinasyon tesis edilebilir. Koordine sistemler öncelikle anayol trafiği için uygulanmakla birlikte, bazı durumlarda bütün yönlerdeki toplam gecikmenin minimuma indirilmesi olanakları da araştırılır. Bu sistemler ayrıca ardışık sinyalize kavşakları bulunan bir yol şebekesinin bütün akımları için bilgisayar kontrollü olarak düzenlenebilir.

Böylece araçların durma, bekleme ve yol verme zamanları ayarlanmaya çalışılır. Bu sayede:

• Ulaşım güvenliğinin artması,

• Kapasite kullanımı,

• Bekleme zamanlarının azalması,

• Ekonomiklik,

• Ulaşım akımlarının iyileşmesi, bunun sonucu olarak da seyehat süresinin azalması ve konforun artması, yakıt tasarrufları,

• Durma ve bekleme yüzünden meydana gelen karbondioksit fazlalığı ve durma kalkmalardan meydana gelen gürültünün azalması sayesinde çevre şartlarının iyileşmesi sağlanmış olur.

İki kavşağın sinyalize edilirken aralarında bir koordinasyon kurulabilmesi için, kavşakların birinde kırmızı ışıklı sinyalde bekledikten sonra geçiş hakkı elde ederek diğer kavşağa doğru yaklaşan araçların dalga hareketlerinin bozulmaması, diğer bir deyişle iki kavşak arasındaki trafik akımının gelişigüzel dağılmış değil gruplar halinde olmaları durumunun sağlanmasıdır.

Sinyalize edilen iki kavşak arasındaki uzaklık 750 m den az ise, dalga hareketleri bozulmayacağından, bu kavşaklar arasında bir koordinasyon kurulması gerekebilir. Koordine sistemler daha uzak kavşaklar arasında da kurulabilmekle birlikte, bunun başarısı dalga hareketinin bozulmamasını sağlamak için araç hızlarının istenilen mertebede tutulabilmesi olanağına bağlıdır (Ayfer, 1977).

Koordine sinyalizasyon sistemi değişik şekillerde uygulanabilir:

a) Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem,

b) Alternatif Sistem,

c) Progresif (Kesintisiz) Sistem,

d) Bölge Trafik Kontrol Sistemi.

2.2.1.2 Sinyalize Kavşaklar İle İlgili Bazı Tanımlar

Faz: Kavşakta en az bir akıma geçiş hakkının verildiği toplam süreye faz denir. Bir akımın ilk yeşil almaya başladığı andan itibaren diğer akımın yeşil almasına kadar geçen süre bir fazdır.

Devre: Kavşakta her akıma en az bir defa geçiş hakkının verildiği toplam süreye devre denir.

Yeşil süre: Bir fazda, yeşil sinyalin verilme süresine yeşil süre adı verilir.

Kırmızı Süre: Bir fazda, kırmızı sinyalin verilme süresine kırmızı süre adı verilir.

Sarı Süre: Bir fazda, sarı sinyalin verilme süresine sarı süre adı verilir.

Yeşiller Arası Süre: Kavşaktaki akımlardan birine verilen yeşil sinyalin bittiği andan yani faz değişim noktasından, diğer faz için yeşil sinyalin verilmeye başlandığı ana kadar geçen süreye yeşiller arası süre denir. Yeşiller arası süre, iki faz arasındaki, tüm kırmızı ve sarı sürelerin toplamıdır (Kutlu, 1964; Gedizlioğlu,2002).

2.2.2 Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklar

Farklı doğrultudaki taşıt hareketlerinin ışıksız trafik işaretleri ile düzenlendiği kavşaklar denetimsiz eşdüzey kavşak adını alırlar. Denetimsiz eşdüzey kavşakların düzenlenmesinde, kavşağa bağlanan yollardan birisi, hacim ya da geometrik özelliklerine göre diğerlerinden daha önemli kabul edilir ve "anayol" adını alır. Diğeri ya da diğerleri "yanyol" adını alırlar (Gedizliolu, 1979).

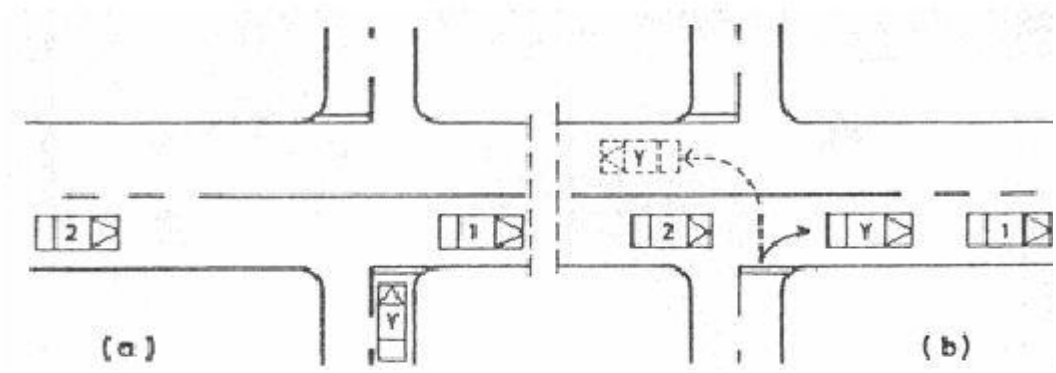
Denetimsiz kavşaklarda, trafik düzeninin sağlanması için kavşağın anayol yaklaşımına kavşağa gelinmekte olduğunu belirten bir tehlike uyarı işareti ve bu yolun anayol olduğunu belirten bir bilgi işareti konur. Yanyolda ise bu düzenleme "yol-ver" veya "dur" işareti konularak sağlanır.

Yanyolda “yol-ver” işareti varsa yanyol sürücüleri, kavşağa yaklaşırken hızlarını azaltıp anayolu gözlemek, anayolda kavşağa yaklaşan taşıt varsa ilk geçiş hakkını bu taşıtlara bırakmak zorundadır. Ancak durma zorunluluğu yoktur. Dolayısıyla yanyol sürücüleri, bu tip bir kavşağa yaklaşırken hızlarını görüşe ve anayoldaki trafik durumuna göre ayarlayıp durmadan sürekli bir hareket ile kavşağa girebilirler.

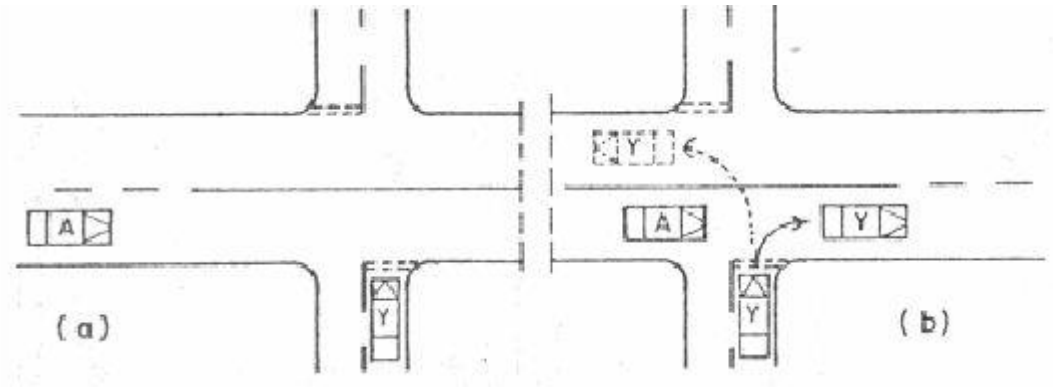
Yanyol girişinde “dur” işareti varsa, yanyol sürücüsü kavşağa giriş noktasında tam olarak durmak ve anayolu iyice denetlemek zorundadır (Gedizlioğlu, 1979).

Yanyoldan kavşağa yaklaşan bir taşıt sürücüsü için kavşak içinde üç çeşit manevra söz konusudur. Bunlar; sağa dönüşle anayoldaki yakın şerit akımına katılma, sola dönüşle anayol yakın şerit akımını kesip uzak şerit akımına katılma ya da her iki yöndeki anayol akımını keserek karşıdaki yanyol akımına girme şeklinde olabilir (Varlıorpak, 2003).

Yanyoldan kavşağa yaklaşan sürücü kavşağa daha önce giriş yapmış bir anayol sürücüsü varsa bu taşıtın kavşağı boşaltmasını bekleyecek ve bir sonraki anayol taşıtını gözlemleyecektir. İki anayol sürücüsü arasındaki bu aralık, yanyol sürücüleri için “araya giriş” aralığı olarak tanımlanır. Yanyol sürücüsü, kavşağa geldiğinde kavşakta taşıt yok fakat anayolda yaklaşmakta olan bir taşıt var ise anayoldaki taşıt ile arasındaki uzaklığın yapmak istediği manevra için yeterli olup olmadığına karar verip kavşağa bu koşul altında giriş yapar. Bu durumda da anayol taşıtının kavşağa, dolayısıyla yanyol taşıtına olan uzaklığına “öne giriş” aralığı adı verilir (Gedizlioğlu, 1979). Araya giriş ve öne giriş aralıkları, şekil 2.4 ve şekil 2.5 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Denetimsiz kavşaklarda araya giriş aralığı (Gedizlioğlu, 1979)



Şekil 2.5 Denetimsiz kavşaklarda öne giriş aralığı (Gedizlioğlu, 1979)

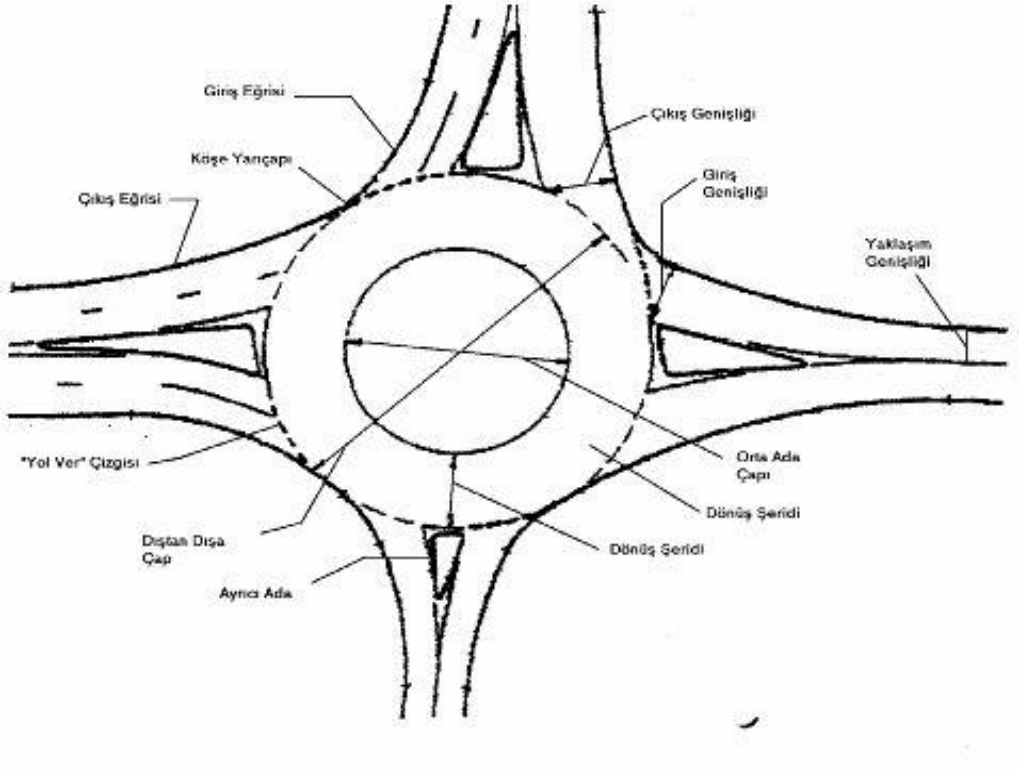
2.2.3 Dönel Kavşaklar

Tanım olarak dönel kavşak, merkezi bir trafik adası etrafında trafiğin saat yönünün tersine (eğer trafik sağdan akıyorsa) veya saat yönünde (eğer trafik soldan akıyorsa) hareket ettiği, yönlendirilmiş kavşaklardır (Janssens, 1994).

Dönel kavşakların geometrik özellikleri, kavşak performansı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Kavşağın iyi projelendirilmesi durumunda, kapasitesi ve güvenliğinde belirgin bir artış görülecektir. Dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınacak geometrik elemanlardan bazıları Şekil 2.6 üzerinde gösterilmiştir.

Dönel kavşakların en önemli özelliği, kavşağa girişte araçların yavaşlamaya ya da durmaya mecbur edilmeleri ve kavşakta dönüş hareketi yapan ana akım içinde buldukları bir aralıkta giriş yapabilmeleridir. Bu amaçla, kavşak girişlerinde

sürücülerin rahatça görebilecekleri yerlere "yol-ver" işaretlerinin konulması ve kaplama üzerine de bekleme hattını belirten çizgilerin çizilmesi büyük önem taşımaktadır (Tanyel, 2001).



Şekil 2.6 Dönel kavşaklarda dikkate alınan geometrik elemanlar (Taekratok, 1998)

BÖLÜM ÜÇ
SİNYALİZE KAVŞAKLARIN VERİM VE KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

3.1 Genel

Sinyalize kavşaklar, karayolu trafik ağı içerisinde karışıklıkların yoğun olarak bulunduğu bölgelerde düzenlendiğinden kavşak verimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Kavşak sinyalizasyonu mevcut trafik akımı şartlarına uygun olarak düzenlenmiş ise belirli hareketleri yasaklayarak kavşak verimini arttırır, araçların güvenli bir şekilde hareket etmesini ve karışıklıkların kontrol altına alınmasını sağlar.

Bu bölümde, bir sinyalize kavşağın verim ve kapasitesinin belirlenmesi, bunları etkileyen faktörler ifade edilmeye çalışılacaktır.

3.2 Kayıp Zamanlar ve Etkin Yeşil Faz

Trafik ışıkları ile belirli yönlerdeki araç trafiği periyodik olarak durdurularak, trafik ışıkları bazı fazlarda (kırmızı faz) hareketi yasaklar. Böylece, araç hareketleri ancak devrenin bir bölümünde mümkün olur. Akım içinde araçların durdurulduğu her an kayıp zaman kaynağı olarak nitelendirilebilir.

Sinyalize kavşaklarda kayıp zamanın iki bileşeni vardır. Bu bileşenlerden ilki, araçların yeşil ışık başlangıcında kalkış ve ilk hareketi arasında yarattığı kayıp zamandır ve kavşaktaki araçların toplam başlangıç kayıp zamanı olup, aşağıda belirtilen bağıntı ile ifade edilebilir:

$$l1 = \sum_{I=1}^{N} li \qquad (3.1)$$

Bu bağıntıda;

l1 : Toplam başlangıç kayıp zamanı (sn) ve "1" alt indisi kayıp zamanın ilk bileşeni olduğunu,

li : i'inci aracının ilk harekete geçişi sırasında yarattığı kayıp zamanı (sn), ifade etmektedir.

Trafik akımdaki bir araç durdurulduğunda, zıt yöndeki trafik akımının kavşağa girmesine izin verilmeden önce güvenli bir zaman aralığı gereklidir. Bu zaman aralığına kavşak tahliye zamanı adı verilmektedir (HCM, 1985).

Pratikte, bu aralık sarı ve her yönde kırmızı süreyi de içeren değişim aralığı olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, sürücüler bu zaman aralığını gözlemez ve bir bölümü sırasında kavşağı kullanmaya devam ederler. Kavşak tahliye kayıp zamanı, l2 , değişim zaman aralığının sürücüler tarafından kullanılmayan bölümünü ifade etmektedir. Böylece toplam kayıp zaman aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$LT=l1+l2 \quad (3.2)$$

Doygun akım ile kayıp zamanlar arasında bir ilişki vardır. Belirli bir şerit ya da hareket için araçlar yeşil fazın bir bölümünde doygun akım oranında kavşağı kullanırlar. Sinyalize kavşaklarda sadece araçların hareketine olanak veren zaman aralığına etkin yeşil faz ya da araç fazı adı verilmekte olup, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$g=G+CI - LT \quad (3.3)$$

Burada;

g : Etkin yeşil fazı (sn),

CI : Değişim aralığını (sn),

LT : Toplam kayıp zamanı (sn) değerlerini, ifade etmektedir.

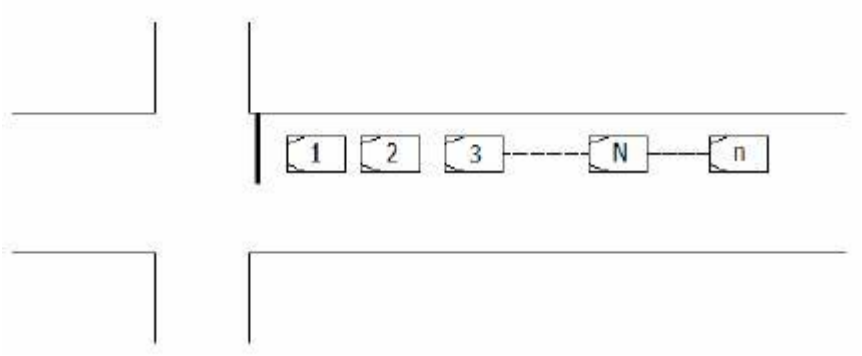
Bir saatteki toplam kayıp zaman ile yeşil zaman arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılacak olursa: Bir sinyalize kavşakta belirli bir yöndeki/yönlerdeki trafik akımı 60 saniyelik toplam devre uzunluğunda ise her hareket bir saat içerisinde 60 kez duracaktır. Her bir faz için kayıp zaman 60 ×(l1 + l2) olarak hesaplanabilir. Devre uzunluğu 30 sn olsaydı, trafik akımı bir saatte 120 kez duracaktı ve kayıp zaman 120×(l + l2) saniye olacaktı. Devrenin bu bölümünde, gelen araçlar durmak zorunda kalacak ve kavşak dur çizgisinin arkasında oluşacak kuyruğa katılarak bir sonraki etkin yeşil fazı bekleyecektir.

3.3 Doygun Akım ve Doyma Derecesi

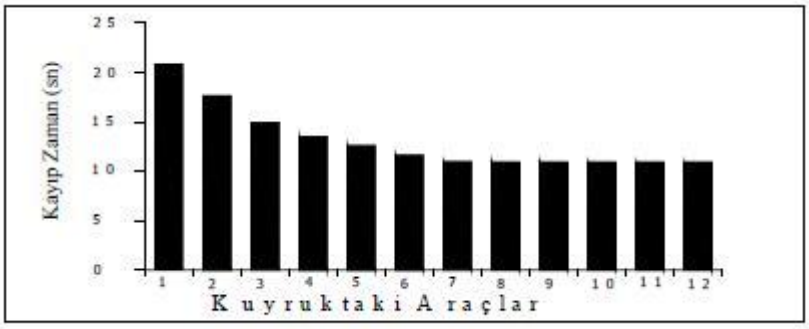
Sinyalize bir kavşakta geçiş hakkı için beklemekte olan araçlar, yeşil ışık yandığında normal kavşağı boşaltma hızlarına erişene kadar bir miktar zaman kaybeder. Ancak, baştaki birkaç araçtan sonra kuyruk hemen hemen sabit bir akışla boşalmaya başlar. Bu nedenle yeşil zaman başlangıcında, sinyalize kavşak yaklaşımında araçların oluşturduğu başlangıç kuyruğunun dinamiği dikkate alınmalıdır. Bu durum Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Araçlar arasındaki aralık değerleri, öndeki aracın arka tamponunun kavşak dur çizgisinden geçişi ile takip eden aracın arka tamponunun geçişi arasındaki zaman farkı, kaydedilerek kuyruğun boşalma şekli gözlenebilir. Başlangıç aralığı, yeşil zamanın başlangıcı ile, ilk aracın arka tamponunun dur çizgisinden geçişi arasında geçen süredir. Başlangıç aralığının uzunluğu, kuyruktaki ilk araç sürücüsünün yeşil ışığın yandığını fark ederek kavşağa doğru harekete geçme süresi ile orantılı olarak değişmektedir. Kuyruktaki ikinci araçta benzer bir süre geçirir. Fakat, ikinci aracın reaksiyon ve harekete geçme süreci birinci aracın hareketine başladığı anda oluşabilir.

İkinci aracın hızlanmak için ilave bir araç uzunluğu mesafesi olduğundan birinci araca göre daha hızlı hareket edip, buna bağlı olarak aralık değeri daha kısa olacaktır. Birbirini bu şekilde takip eden her araç için aralık değerleri bir önceki araca göre daha kısa olur. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi N adet (bu sayı genellikle 4-6 arasında değişmektedir) araçtan sonra başlangıç reaksiyon ve hızlanma etkisi kaybolur (HCM,1985). Böylece, birbirini takip eden araçlar, kuyruk başındaki araç geçinceye kadar dur çizgisinden ileriye doğru istedikleri hızda, üniform hareketli kuyruk gibi, hareket eder. Bu araçların aralık değerleri hemen hemen sabit bir değer alır. Sabitleşen bu aralık değerine doygun aralık adı verilmektedir. Şekil 3.2'de kavşağa giren araçların kuyruktaki konumlarına bağlı olarak ortalama aralık değerleri görülmektedir (HCM, 1985).



Şekil 3.1 Sinyal yaklaşım araç kuyruğu (HCM, 1985)

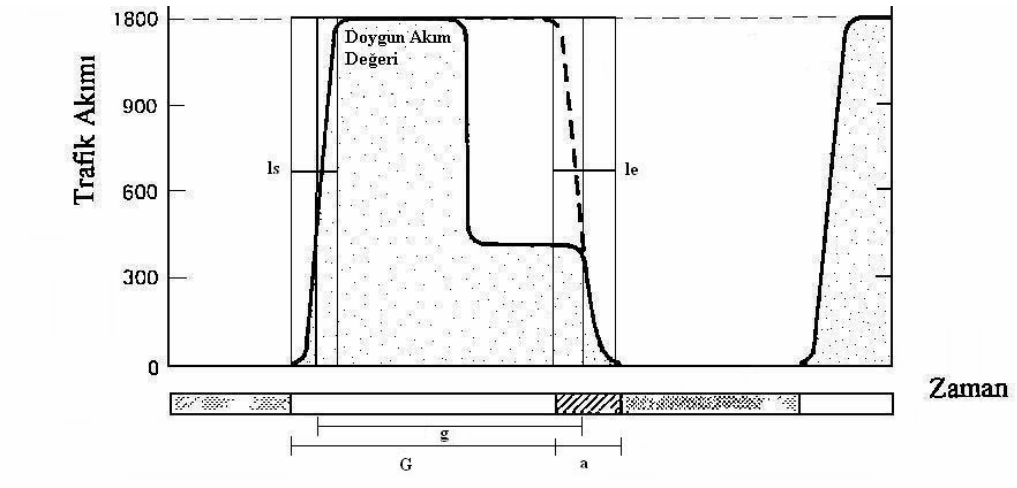


Şekil 3.2 Doygun akım oranı ve kayıp zaman (HCM, 1985)

Sinyalize bir kavşakta trafik akım değerinin zaman içerisindeki değişimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Gedizlioğlu, 2002). Şekilde, faz süreleri yatay eksen üzerinde, trafik akım değerleri ise düşey eksen üzerinde gösterilmiştir. Kırmızı sinyali yandığı süre boyunca, geçişe izin verilmediğinden, araçlar dur çizgisinin gerisinde birikmeye başlarlar ve kuyruk oluşur. Yeşil faza geçildiği zaman, araçlar harekete geçerler ve kuyruk boşalmaya başlar. Araçlar ilk olarak harekete geçtikleri zaman, akımın boşalma değeri en yüksek değerinde bir süre sabit kalır; bu sabit değer doygun akım değeridir. Doygun akım, hâkim yol ve trafik şartlarında, her zaman yeşil sinyalin verildiği ve zaman kaybının olmadığı kabul edilerek, bir kavşak yaklaşımından geçebilecek kuyruklanmış taşıtların, bir saatlik en yüksek akım değeridir (Sönmez,2005).

Doygun akım değeri, kuyruk eriyene kadar veya sarı sinyal verilene kadar devam edebilir. Eğer kuyruk biterse trafik akım değeri, gelen taşıtların akım değerine düşer. Trafik akımının zaman içerisinde bu değişimi Şekil üzerinde dolu çizgiyle

gösterilmiştir. Eğer kuyruk bitmezse, sarı faza geçilene kadar, akımın boşalma değeri, doygun akım seviyesinde kalır ve yeşil ışık tümüyle kullanılır. Sarı ışık yandığı zaman trafik akım değeri azalmaya başlar ve kırmızı faza geçildiğinde sıfıra düşer. Bu durum Şekil üzerinde kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Her devre süresince, gelen trafik akımına bağlı olarak, bu değişim kendini tekrar eder (Sönmez, 2005).



Şekil 3.3 Sinyalize bir kavşakta trafik akım değerinin zaman içerisindeki değişimi

Şekil 3.3'de taralı alan geçen taşıt sayısını gösterir. Dolu ve kesikli çizgi arasında kalan alan ise eğer kuyruk devam etseydi, geçirilebilecek ek taşıt sayısını gösterir. Taralı alanın, toplam alana oranı, yeşil süreden yararlanma derecesini gösterir. Kapasiteyi hesaplayabilmek için, doygun akım değerinin ve doygun akım değerine ulaşılan zaman diliminin bilinmesi gerekir (May, 1990, Webster, 1968).

Bir devre süresi içinde bir yönden kavşağa girerek kavşağı geçebilecek maksimum otomobil birimi sayısı Şekil 3.3. de görülen eğrinin altında kalan alana eşittir. Bir diğer deyişle, söz konusu yaklaşım yönü taşıtlarla dolu olduğu takdirde Şekil 3.3' deki eğrinin altında kalan alanların bir saatlik yeşil süreyi dolduracak şekilde toplamları O.B./st. Olarak o yaklaşım yönünün kapasitesini verir.

$$K_i = (S_i \times G_i) / C \qquad (3.4)$$

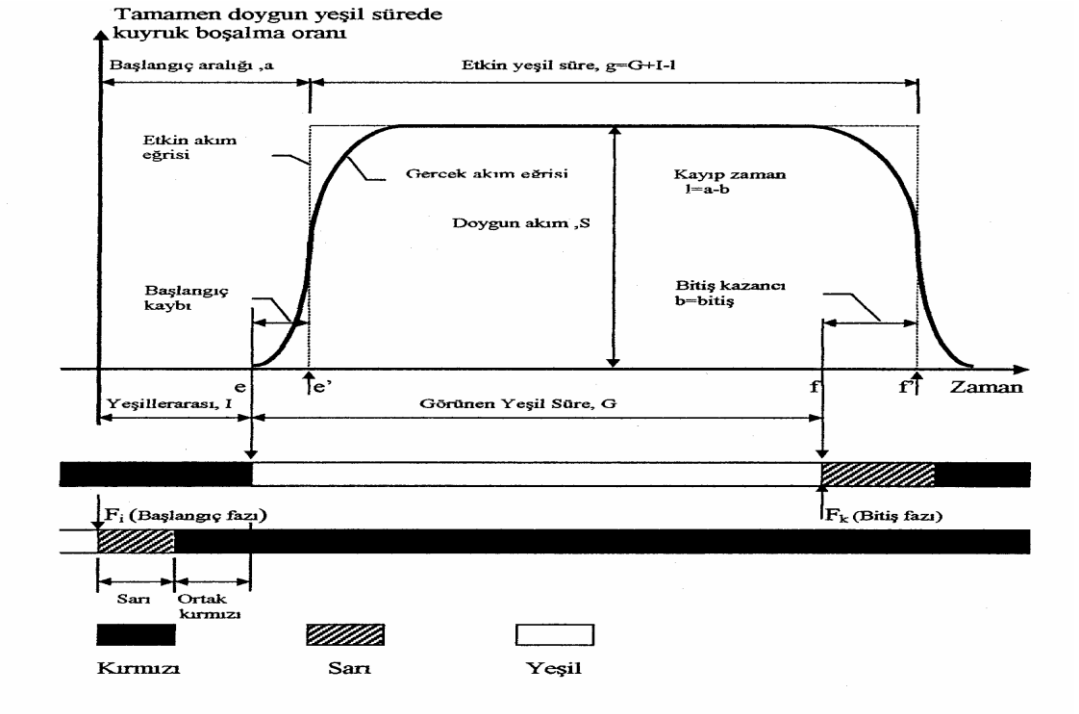
K_i = i fazında etkili akım içindeki yönün kapasitesi

S_i = i fazında etkili akım içindeki yönün doygun akımı

G_i = i fazında etkili akım içindeki yönün yeşil süresi

C = Devre süresi

Doygun akımı ifade ederken geleneksel olarak kullanılan (Wardrop 1952, Webster 1958, Webster ve Cobbe 1966, Miller 1968, Allsop ve Murchland 1978, Akçelik 1981) aşağıdaki şekli de çizmek mümkündür (Murat, 2001).



Şekil 3.4 Doygun akım için temel model ve tanımlamalar

Temel modele göre yaklaşım kolunda bekleyen taşıtlar yeşil ışık yandığı zaman hızla harekete geçerler ve sabit bir oranda kavşağa giriş yaparlar. Taşıtların kavşağa giriş yaptığı bu sabit oran doyma akımı veya doygun akım olarak adlandırılır. Başlangıçta kuyrukta bekleyen taşıtların hareketi yavaştır ve taşıtlar sabit bir oranda harekete geçinceye kadar ilk harekete geçişlerden dolayı bir kayıp söz konusu olmaktadır. Bu kayıp süre başlangıç kaybı olarak anılmaktadır. Şekil 3.4' de başlangıç kaybı gerçek akım eğrisi ile etkin akım eğrisi arasında başlangıçta meydana gelen fark ile ifade edilmektedir (ee'). Benzer şekilde doyma akımına ulaşıldıktan sonra yeşil ışığın sönmesi ve sarı ışığın yanması halinde hala kavşakta hareket eden taşıtların bulundukları akım kolunun yeşiline ekledikleri süre bitiş kazancı olarak nitelendirilmektedir. Şekil 3.4' de gerçek akım eğrisi ile etkin akım

eğrisi arasında bitiş noktalarında gözlemlenen fark son kazancını ifade etmekte ve ff' olarak gösterilmektedir (Akçelik, 1981).

Akım karakteristiklerinden olan yeşil süre kayıp zamanı, başlangıç kaybı ve son kazancı arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.4'de akım kayıp zamanı yeşiller arası süreye başlangıç gecikmesinin eklenip bitiş kazancının çıkarılmasıyla bulunabilir. Buna göre akım kayıp zamanı;

$$L = I + ee' - ff' \tag{3.5}$$

olarak yazılabilir.

Akım için etkin yeşil süre; görünen yeşil süreden başlangıç kaybının çıkarılıp son kazancının eklenmesiyle hesaplanır. Şekil 3.4 için etkin yeşil süre ifadesi;

$$G = G - ee' + ff' \tag{3.6}$$

olmaktadır.

Doygun akımın ölçüm yapılarak belirlenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemleri, genel olarak doygun taşıt gözlem yöntemi ve doygun süre gözlem yöntemi olmak üzere iki başlıkta ele almak mümkündür. ABD'de doygun taşıt gözlemi, Avustralya'da ise doygun süre gözlemi kullanılmaktadır. Doygun akım ile ilgili değerler, gözlem yapılan ülkelerin trafik koşullarına göre değişiklikler göstermektedir. Şekil 3.4'e göre kısaca doygun akımı, 1 saatlik etkin yeşil sürede geçen taşıt sayısı olarak tanımlamak mümkündür.

3.3.1. Ülkelere Göre Doygun Akım Değerleri

Tablo 3.1'de çeşitli ülkelerin kabul ettiği temel doygun akım değerleri görülmektedir.

ÜLKE	**DURUM**	**DOYGUN AKIM**	**GELİŞTİREN**
İngiltere	İdeal	2080 PCE	Kimber 1986
Kanada	Maksimum	1900 PCE	Teply 1991
Avustralya	Maksimum	2475 PCE	Troutbeck 1994
Avusturya	İdeal	2000 PCE	Troutbeck 1994
İsrail	Ortalama	2176 PCE	Hakkert 1994
Polonya	İdeal	1890 PCE	Tracz, Tarko 1991
Yugoslavya	İdeal	2290 PCE	Stanic 1994
G.Afrika	İdeal	1928 PCE	Stander 1994
Endonezya	İdeal	600 PCE/m	Bang 1994
Almanya	İdeal	2000 PCE	Brilon 1994
Hong Kong	İdeal	1895 PCE	Lam 1994
Litvanya	Maksimum	2045 PCE	Noreika 1994
Japonya	İdeal	2000 PCE	Fujiwara 1994
ABD	İdeal	1900 PCE	TRB 1994
Finlandiya	Ortalama	1940 PCE	Niittymaki 1995

Her hangi bir yaklaşım yönündeki gerçek otomobil birimi yoğunluğunun yaklaşım yönü kapasitesine olan oranına Doyma Derecesi adı verilir. Trafik sinyalizasyonunda

yaklaşım yönündeki şeritlerin aynı oranda yüklendiği kabul edildiğinden herhangi bir yaklaşım yönündeki genel doyma derecesi ile şeritlerin doyma dereceleri aynı olur.

$$k_i = Q_i / K_i = Q_i / (G_i / C \times K_i) \quad (3.7)$$

Denklem 3.4 ün değerleri yukarıdaki denklemde yerine konulduğunda doyma derecesi daha pratik bir biçimde ifade edilmiş olur (Ayfer,1977).

$$k_i = (Q_i x C) / (G_i \times S_i) \quad (3.8)$$

k_i = i yaklaşım yönünün doyma derecesi

S_i = i yaklaşım yönünün doygun akım değeri

G_i= i yaklaşım yönünün yeşil süresi

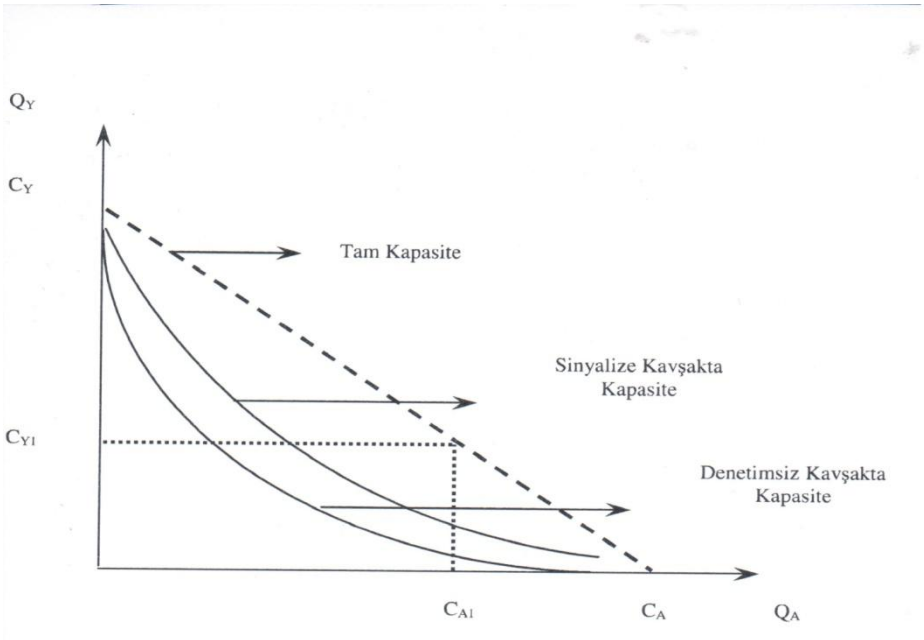
Q_i = i yaklaşım yönünün toplam O.B. hacmi

C = Devre süresi

3.4 Sinyalize Kavşaklarda Kapasite

Belirli geometrik ve trafik özellikleri olan sinyalize bir kavşakta, bir yönden gelerek kavşağı geçebilecek taşıtların sayısı bu yöne ayrılan yeşil sürenin devre süresine olan orana bağlıdır. Kavşaktaki trafik akımının sinyalizasyon projesinde kullanılan değerleri gerçekleştirmesi halinde, bütün etkili akım yönlerindeki trafik, kapasite değerlerine erişir. Etkili akım içinde olmayan trafik akımları ise kapasitelerinin altında kalır.

Sinyalize kavşaklarda, kırmızı ışıkta taşıtlar biriktirilip, yeşil ışıkta düzenli olarak hareket etmeleri sağlandığı için kapasite kaybı kontrol edilebilir ve kavşak daha fazla kullanılır. Bu da denetimsiz kavşaklara göre %50'lere varan oranda kapasite artışı sağlanmasına neden olur. Kavşak türlerine göre kapasitenin değişimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir (Gedizlioğlu,2002).



Şekil 3.5 Kavşaklarda kapasite (Gedizlioğlu,2002)

Sinyalize bir kavşağın kapasitesi bütün akım yönlerinden geçirilebilecek toplam taşıt sayısı olarak düşünülmemelidir. Kavşak kapasitesi, etkili akım yönlerinden kavşağa girerek geçirilebilecek toplam otomobil birimi sayısıdır. Kavşak geometrisi ve faz düzeni belirli olduğu takdirde, sinyal devresindeki kayıp zaman sabit olacaktır. Kayıp zamandan arta kalan süre (etkili akımın yeşil süreleri toplamı) faydalı zamandır ve fazlar arasında bölüşülür. Sinyalize kavşağın kapasitesi ise etkili akımın toplam yeşil süresinin devre süresine bölümü ile doğru orantılı olur.

$$G = \sum_{i=1}^{N} Gi = C - ts \quad (3.9)$$

K Kavşak kapasitesi = SxG/C (3.10)

C= Devre süresi

t_s= Kayıp zaman

G_i= i fazının yeşil süresi

n= Faz sayısı

G= Yeşil süreler toplamı

G/C= Yeşil / Devre süresi oranı

S= Ortalama Doygun Akım

Denklem 3.9 daki G denklemi Denklem 3.10 daki yerine konacak olur ise;

Kapasite = S x $(C-t_s)/ C = S x (1-(t_s/C))$ (3.11)

Bu denklemden anlaşılacağı üzere sinyalize bir kavşağın devre süresi arttıkça kapasitede artacaktır. Bunun nedeni kayıp zaman süresinin sabit olması ve dolayısı ile faydalı zamanın devre süresi ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Öte yandan, yukarıdaki denklemlerden kavşak kapasitesinin Doygun Akım adı verilen parametreye bağlı olduğu görülmektedir. Kavşak kapasitesi anlamını açılamak için verilen denklem 3.10 ve 3.11 deki S değeri ortalama doygun akım olarak tanımlanmıştır. Ancak, her yaklaşım yönünün kendine özgü geometrik ve trafik özellikleri nedeni ile farklı bir doygun akım değeri olacağını düşünmek gerekir. Bu durumda kavşak kapasitesinin aşağıda verilen Denklem 3.12 ile hesaplanması gerçeğe daha yakın olacaktır.

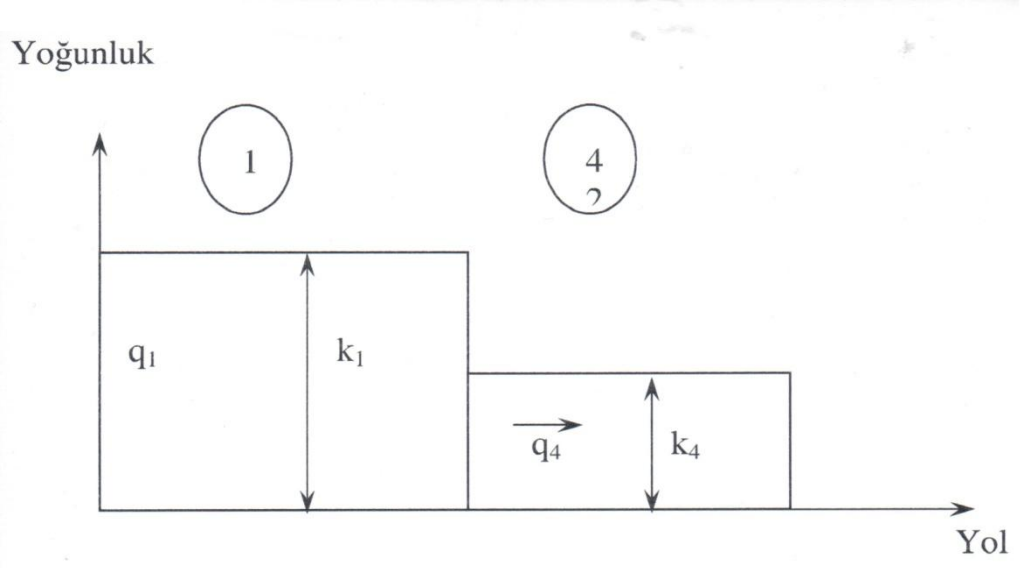
Kavşağın toplam kapasitesi (K) ise bütün fazlardaki kapasite değerlerinin toplamıdır;

$K = \sum_{i=1}^{N} Ki = \frac{1}{C} \text{x} \sum_{1}^{N} (SiXGi)$ (Ayfer, 1977) (3.12)

Sinyalize denetimli kavşaklarda ne kadar çok faz düzenlenmek zorunda kalınırsa kapasite de o kadar azalır. Bu tür kavşaklarda sinyalizasyonun trafik talebine uygun olarak düzenlenmesi gerekir; yanlış sinyalizasyon sürücülerin itaatsiz davranmalarına neden olabilir (Wilshire, 1992).

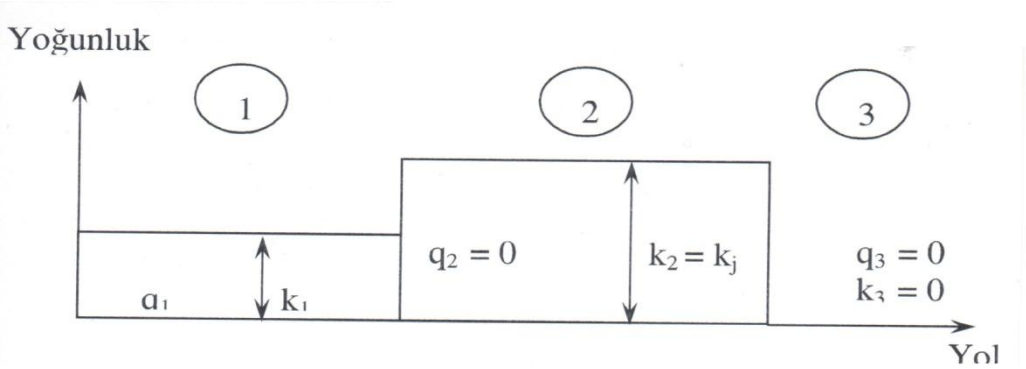
3.5 Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Değişimi

Bir sinyalize kavşakta, kırmızı ışıkta durmakta olan bir trafik akımı, yeşil ışıkla birlikte harekete geçmeden hemen önce, dur çizgisinin gerisindeki ve ilerisindeki akım- yoğunluk durumu Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Huber,1982).



Şekil.3.6 Duran trafik akımına ait akım-yoğunluk durumu (Huber,1982)

Başlangıçta, trafik akımının durduğu kesitten sonra q3, k3 akım durumu, kesit arkasında q2, k2 akım durumu ve ona yaklaşıp kuyruğa giren q1, k1 akım durumu vardır. 2 durumunda trafik akımı dur çizgisinin gerisinde tıkanma yoğunluğunda bulunmaktadır ve trafik hacmi sıfırdır. 3 durumunda ise kavşağın ileri kesimlerinde hiç taşıt bulunmadığından hacim ve yoğunluk sıfırdır. Taşıtların kavşaktan ayrılmalarıyla birlikte, 3 durumunda sıfır olan trafik hacmi ve yoğunluğu artar ve 4 akım-yoğunluk durumu meydana gelir (Huber,1982).



Şekil 3.7 İlk harekete başlayan trafik akımına ait akım-yoğunluk durumu (Huber,1982)

3.6 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyleri

Sinyalize kavşaklarda kapasite kadar önemli olan diğer bir kavramda hizmet düzeyidir. Hizmet düzeyi gecikme kavramı ile tanımlanabilir. Gecikme; sürücünün rahatsızlığı, gerilimli ve sinirli hali, yakıt tüketimi ve kayıp zamanının ölçülmesi ile ifade edilebilir. Özellikle hizmet düzeyi kriteri, her bir araç için 15 dakikalık analiz zaman aralığında ortalama duruş gecikmesinin ölçülmesiyle tanımlanabilir. Gecikmeler yerinde ölçülebilir veya tahmin edilebilir. Gecikme kompleks bir ölçümdür ve ilerleme hareketinin kalitesi, devre uzunluğu, yeşil oran ve problemdeki yaklaşım kolunun v/C oranı gibi bir çok değişkene bağlıdır. Genel olarak hizmet düzeyleri; A en iyi, F en kötü durumu ifade etmek üzere A' dan F' ye doğru sınıflandırılır (HCM, 1997). Bu hizmet düzeyleri kısaca:

A Hizmet Düzeyi: Serbest akım halidir. İşletmenin gecikmeleri oldukça düşüktür. Her bir araç için gecikme 10 sn' den daha azdır. Birçok araç yeşil zamanda geçmekte ve ilerleme hareketi oldukça iyi gerçekleşmektedir. Araçların bir çoğu hiç durmamaktadır. Kısa devre uzunluklarının düşük gecikmelere katkısı söz konusudur.

B Hizmet Düzeyi: Bu hizmet düzeyinde her bir araç için gecikmeler 10,1 sn ile 20 sn arasındadır. İlerleme hareketi iyi durumdadır. Devre uzunluğu kısaltılmalıdır. A hizmet düzeyine kıyasla daha fazla araç durmaktadır.

C Hizmet Düzeyi: Bu hizmet düzeyinde her bir araç için 20,1 sn ile 35 sn arasında gecikmeler söz konusudur. Bu gecikmelerin sebebinin kötü ilerleme ve uzun devre süresi olduğu söylenebilir. Özel devre bozuklukları gözlenebilmektedir. Duran araç sayısı bu düzeyde belirginleşmektedir fakat hala durmadan geçen araçlar mevcuttur.

D Hizmet Düzeyi: Bu hizmet düzeyinde her bir araç için 35,1 sn ile 55 sn arasında gecikmeler görülmektedir. D hizmet düzeyinde tıkanmaların etkisi belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Gecikmenin artması, yetersiz ilerleme, uzun devre süresi ve yüksek v/C oranının bir sonucu olduğu söylenebilir. Bu düzeyde, duran

(bekleyen) araç sayısı iyice artmıştır. Devre bozuklukları artık dikkate alınacak düzeye gelmiştir.

E Hizmet Düzeyi: E hizmet düzeyinde, gecikme süreleri her bir araç için 55,1 sn ile 80 sn gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu düzey kabul edilebilir gecikmelerin sınırı olarak kabul edilebilir. Kötü ilerleme hareketi, uzun devre süresi ve yüksek v/C oranı gecikme sürelerinin artmasına neden olmaktadır. Devre bozuklukları daha sık görülmektedir.

F Hizmet Düzeyi: En olumsuz koşulları ifade eden hizmet düzeyidir. Her bir araç için 80 saniyeyi aşan gecikmeler yaşanmaktadır. Bu durum bir çok sürücü için kabul edilemez olarak nitelendirilmektedir. Yüksek gecikme değerlerinin ana sebebi doygunluğun aşılmasıdır. Aynı zamanda 1'in altında ama yüksek v/C oranı sebebiyle devre bozuklukları gözlenmektedir. Araçların ilerleyişi iyice kötü bir hal almaktadır.

Tablo 3.2 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyi Gecikme İlişkisi (HCM,1997)

Hizmet Düzeyi	**Her Araç İçin Duruş Gecikmesi (sn)**
A	<10,00
B	10,10-20,00
C	20,10-35,00
D	35,10-55,00
E	55,10-80,00
F	>80,00

3.7 Kapasiteyi Etkileyen Faktörler

Sinyalize kavşaklarda kavşak kapasitesini etkileyen faktörler iki ana grupta toplamak mümkündür. Bu faktörler özetlenecek olursa;

1. Geometrik özellikler:
a) Yaklaşım yönünün genişliği,
b) Yaklaşım yönünün eğimi,
c) Park eden araçlar,

2. Trafik Özellikleri:
a) Araç komposizyonu,
b) Dönüş yapan araçlar,
c) Yayalar, olup bunlar sırasıyla ele alınıp değerlendirilirse şunlar söylenebilir.

3.7.1 Geometrik Özellikler

3.7.1.1 Yaklaşım Yönünün Genişliği

Sinyalize kavşaklarda, bir yaklaşım yönünün kapasitesi şerit sayısından çok, yaklaşım yönünün genişliğinden etkilenmektedir. Özellikle yüksek trafik yoğunluğunun olduğu pik saatlerde araçların şerit çizgilerine uymadıkları ve mevcut yaklaşım genişliğini en verimli şekilde kullanmak amacıyla sıkıştıkları görülmektedir. Yaklaşım yönü genişliği Wi olan bir kavşakta bu yönün doygun akım değerlerinin yaklaşık olarak bulunması için aşağıdaki ilişkiler kullanılabilir (Salter, 1974):

Wi = 4,00 - 5,00m Si = (400 + 25Wi) × Wi (3.13a)
Wi = 2,75 - 4,00m Si = (960 +115Wi) × Wi (3.13b)
Wi = 5,00 -18,00m Si = 525Wi (3.8c)

Bu bağıntılardaki doygun akım değerlerine erişilebilmesi için;

1. Araç kompozisyonun %100 otomobillerden oluşması,

2. Görüş olanakları normal, hava açık, zeminin kuru olması,

3. Yaklaşım yönünde dur çizgisinin 50-60 m gerisine kadar park eden aracın bulunmaması,

4. Yaklaşım yönündeki bütün araçların aynı yöne gitmesi gibi koşulların gerçekleşmesi gerktiği söylenebilir.

3.7.1.2 Yaklaşım Yönünün Eğimi

Kavşak dur çizgisi ile bunun yaklaşık olarak 100 m gerisine kadar olan yaklaşım yönünün yokuş aşağı olması halinde kapasitenin arttığı, yokuş yukarı olması halinde ise azaldığı görülmüştür (Ayfer, 1977). Buna göre;

i. Çıkış halindeki eğimin %1'i için doygun akımda %3 azalma olmaktadır.

ii. Yaklaşım yönü yokuş aşağı olduğu takdirde aynı oranda (%3 oranında) bir artma olduğu kabul edilebilir.

3.7.1.3 Park Eden Araçlar

Sinyalize bir kavşağın gerek yaklaşım yönünde gerekse araçların tahliye yönünde kavşağa çok yakın bir mesafede park etmiş olan herhangi bir araç, kullanılan yol genişliğinin kaybına ve dolayısıyla kapasitenin düşmesine neden olabilir. Yaklaşım yönünün yüklü olmadığı saatlerde park eden araçların etkisi önemsenmeyecek kadar az olabilir. Fakat, doygun akımın gerçekleştiği saatlerde, park etmiş araçlar yol genişliğini kendi kapladıkları fiziksel genişlikten çok daha fazla daraltabilirler.

Yaklaşık olarak kavşak dur çizgisinin 50-60 m gerisine park eden araçların bulunması kavşak kapasitesinin düşmesine neden olabilir.

3.7.2 Trafik Özellikleri

3.7.2.1 Araç Kompozisyonu

Sinyalize olmayan kavşaklarda olduğu gibi, sinyalize alanlarda da trafik akımı içerisinde farklı araç tiplerinin olması kavşak verimini etkilemektedir. Bir otobüs otomobilden daha geniş, daha uzun ve daha ağır olduğu için yaklaşım kolu üzerinde daha büyük bir alan kapladığı gibi, daha ağır hareket etmesi ve kalkış ivmesinin otomobillere nazaran daha düşük olması nedenleriyle trafik akımı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bir otomobilin bir diğerine oranla otobüs, kamyon .... gibi bir ağır aracı geçmesi daha zor olacaktır. Bir ağır aracın arkasındaki otomobil kavşak yakınında ve içinde hızını izlediği aracın hızına göre ayarlamak durumunda olduğundan normalden fazla gecikebilir. Bunların yanısıra, bir otomobil sürücüsü, gerek güvenlik gerekse görüş açısının artması için ağır araç ile arasında fazla aralık değeri bırakmak isteyebilir.

Bütün bu faktörler, ağır araçların yol ve sinyalize tesis verimine olumsuz etkilerde bulunmasına yol açmaktadırlar. Değişik araçların trafik üzerindeki etkisini daha kolay tanımlayabilmek amacıyla bir otomobil bir birim araç olarak alınmaktadır.

Mevcut trafik şartları ve yol özellikleri altında herhangi bir aracın trafik akımı içinde yerini aldığı otomobil sayısına o aracın otomobil birimi eşdeğeri denilmektedir ve literatürde kısaca PCE (Passenger Car Equivalent) olarak gösterilir. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde otomobil birimi eşdeğeri kısaca PCE olarak ifade edilecektir.

Araçların PCE değerlerinin yalnız kendi hareketlerine değil, içinde bulundukları akımın kompozisyonuna ve yoğunluğuna da bağlı olduğu söylenebilir. PCE değerleri değişik geometrik ve trafik özellikleri olan kavşaklarda birbirinden farklı olacağından, kurulacak her sinyalize tesis için özel bir inceleme yapılması daha anlamlı olabilir. PCE değerlerinin hangi yöntemler

kullanılarak hesap edilebileceği bir dördüncü bölümde açıklanmaya çalışılacaktır.

3.7.2.2 Dönüş Yapan Araçlar

Sağa ve sola dönüş yapan araçların kavşak kapasitesi üzerindeki etkilerinin, bu dönüşler için sığınma veya ayrılma şeridi bulunup bulunmadığına ve sola dönüşlere açık olan fazda karşı akıma da geçiş hakkı verilip verilmediğine bağlı olarak değişeceği söylenebilir.

Karşı akımın olmadığı sola dönüşler için Webster tarafından yapılan deneylerde 90° lik bir dönüş için ayrılmış trafik şeritlerinin doygun akım değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir (Varlıorpak, 1982):

Tek şerit için : $S = \frac{1800}{1+\frac{1,5}{r}}$ (O.B./saat) (3.14a)

İki şerit için : $S = \frac{3000}{1+\frac{1,5}{r}}$(O.B./saat) (3.14b)

Bu bağıntılarda; (r) dönüş yarıçapı, (S) doygun akım değerlerini ifade etmektedir.

Karşı akımın bulunması halinde sola dönüş hareketlerinin kapasite üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Ayfer, 1977).

• Karşı akımın geçiş önceliği olduğundan sola dönecek olan araçlar gecikebilir,

• Sığınma şeridi yoksa, en soldaki şeritte bulunup düz gidiş yapacak araçlar da sola dönecek araçlar ile birlikte gecikebilirler. Bazı doğru gidiş yapacak araçlar şerit değiştirmek zorunda kalırlar ve bazıları da gecikmemek için en sol şeride girmeyebilirler. Sığınma şeridi bulunması halinde bu etkiler görülmemektedir,

• Yeşil ışık sonuna kadar kavşak içinde kalmış olan sola dönüş yapacak araçlar, bir sonraki fazdaki akıma geçiş hakkı verildiğinde henüz kavşağı boşaltmamış durumda iseler, karşı akımın gecikmesine neden olabilirler. Sağa dönüş akımı için

ayrılma şeridi bulunması halinde bağıntı (3.14a) ve (3.14b) da görülen ifadeler kullanılabilir. Ayrılma şeridi bulunması halinde, yaklaşım yönünün en sağşeridindeki araçların %10'undan fazlası sağa dönüş hareketi yapıyor ise, sağa dönüş yapan her aracın 1,2 ×PCE değeri kadar etkide bulunacağı kabul edilebilir. Sağa dönüş yapan araçların sayısı %10'dan daha az ise, herhangi bir ayarlama yapmaya gerek duyulmamaktadır.

3.7.2.3 Yayalar

Yayalar genel olarak kavşak kapasitesini üç olumsuz yönde etkilemektedirler. Bunlar:

1. Sinyalize bir kavşakta yaya akımının yüksek olması, yaya geçidinin çok uzun olması ya da yaya için ayrılan yeşil sürenin küçük olması nedelerinden en az biri dolayısıyla yaya yeşil süresinin arttırılarak g/C oranının düşürülmesi,
2. Yayaların kavşaklarda kendilerine ayrılmış geçitlerden ve yeşil ışığı beklemeksizin geçmeleri nedeniyle araçları hızlarını düşürmeye ve hatta duraklamaya zorlamaları,
3. Genellikle sağa dönüş yapan ve bazı durumlarda sola dönüş yapan araçların zorunlu olarak yayalarla birlikte aynı anda geçiş hakkına sahip olmaları ve trafik kuralları uyarınca yayalara ilk geçiş hakkını vermeleri gerektiğinden gecikmeleri, şeklinde özetlenebilir.

Bu faktörlerden birincisi (g/C) oranını değiştirdiğinden kapasite üzerindeki etkisi hesaplanabilir. İkinci faktörün etkisini kesinlikle saptamak mümkün olmamaktadır; ancak kapasiteyi yaklaşık bir oranda düşürdüğü ileri sürülebilir. Üçüncü faktörün etkisini belirlemek için ise kavşakta etüd yapılarak bu koşullar altında dönüş yapan araçların PCE değerlerinin bulunması gerekmektedir.

Bazı ülkelerin uygulamalarında, özellikle yayaların durumu gözönünde tutularak kavşak kapasitesi hesaplanırken bir çevresel etki katsayısı dikkate alınmaktadır.

Çevresel etki katsayısı ise doğrudan doğruya doygun akım değerine uygulanmakta ve dolaylı olarak kapasiteyi etkilemektedir. Yaya aktiviteleri ve akımı etkileyen diğer çevre koşullarının etkisi ise üç grupta toplanabilir. Bunlar (Varlıorpak, 1982):

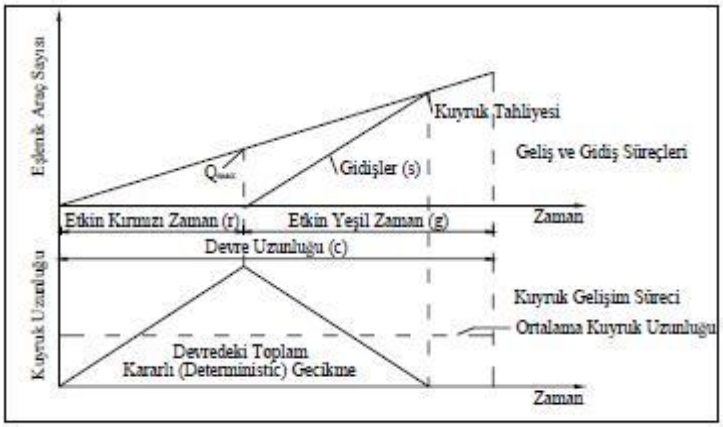
1. İyi çevre için doygun akım oranı 1,20,
2. Uygun çevre için doygun akım oranı 1,00,
3. Elverişsiz çevre için ise doygun akım oranı 0,85, faktörleri ile çarpılarak çevre koşulları hesaba katılmış olacaktır.

3.8 Gecikme

Bir aracın, kendi kontrolünde olmayan nedenler ile kaybettiği zamana gecikme adı verilmektedir. Yol üzerindeki gecikmeler, trafik yoğunluğunun yüksek olması ve dolayısıyla araçların hızlarının ve birbirlerini geçebilme olanaklarının azalmasından ileri gelebildiği gibi, güzergah üzerindeki herhangi bir engel de araçları yavaşlatarak ve hatta durmalarını gerektirerek gecikmelerine sebep olabilir. Bir yol üzerindeki kavşaklar ve yaya geçitleri ile duran ve/veya park eden araçlarda trafik için birer engel olarak görülürler.

Trafik gecikmeleri ve oluşan kuyruklar, şerit uzunluklarının yeterliliklerinin değerlendirilmesinde, kavşağın hizmet düzeyinin ve yakıt tüketiminin belirlenmesinde kullanılan ana verimlilik ölçütleri olarak görülebilirler. Genel olarak, kavşaklarda kullanılan gecikme modelleri trafik akımının akışkan ve rastgele özelliklerini yansıtan gecikmenin; kararlı (deterministic) ve rastgele (sthocastic) bileşenleri olarak tanımlanabilirler (Rouphail et al., 1995). Sinyalize kavşaklarda, gecikmenin kararlı bileşeni trafik ışıkları sonucu zorunlu olarak meydana gelen gecikme olarak ifade edilebilir ve bu gecikmeye sabit gecikme adı verilmektedir.

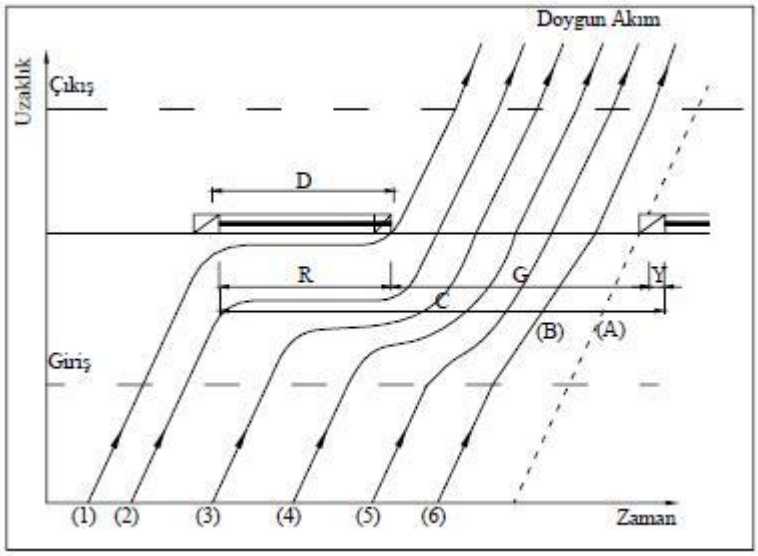
Gecikmenin rastgele (sthocastic) bileşeni ise, trafiği oluşturan elemanların birbirleriyle olan etkileşiminden kaynaklanmaktadır ve işletme gecikmesi olarak ifade edilir. Şekil 3.8'de gecikmenin kararlı (deterministic) bileşeni görülmektedir.



Şekil 3.8 Gecikmenin kararlı bileşeni (Rouphail et al., 1995)

Şekil 3.9' da araçların bir yaklaşım yönü boyunca konumları ile zaman ilişkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu şekildeki "giriş" noktaları yaklaşım yönündeki araçların sinyalize tesisten etkilenmeye başladıkları, "çıkış" noktaları da araçların normal hızlarını kazandıkları noktaları ifade etmektedir. Giriş ve çıkış noktaları arasında sinyalize bir kavşağın bulunmaması durumunda, araçlar (A) hattının gösterdiği gibi herhangi bir sabit gecikmeye uğramayacaklardır. Kavşağın bulunması durumunda ise, araçların durması veya birikmesi sözkonusu olmasa bile, sürücülerin genellikle hızlarını düşürmelerinden ötürü, (B) hattı ile gösterildiği şekilde bir gecikme yaşanabilir.

Gecikmenin, araçların trafik koşulları ve ışıklı sinyaller nedeniyle giriş ve çıkış noktaları arasında harcadıkları zaman ile aynı noktalar arasında normal akış koşulları arasında harcayacakları zaman farkı olduğu söylenebilir. Şekil 3.5'te (1), (2) ve (3) numaralı araçlar yavaşlamakta, kırmızı ışıkta durmakta ve sonra yeniden harekete geçmekte, bu manevraları sırasında gecikmektedirler. (4) ve (5) numaralı araçlar önlerindeki araçların hızlarının düşük olması nedeniyle yavaşlamak zorunda kalarak gecikmektedirler. (6) numaralı araç ise, yukarıda açıklandığı gibi yavaşlamakla birlikte normal akış hızı içinde kavşaktan gecikmeden geçebilmektedir. Şekil üzerinde (1) numaralı aracın toplam gecikmesi "D" ile gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Gecikme (Ayfer, 1977)

Sinyalize bir tesiste araçların işletme gecikmesine uğrama nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Sinyalize bir kavşakta, araçlar kırmızı ışıkta durduktan sonra tekrar harekete geçmeleri sırasında önlerindeki araçla aralarında güvenli bir aralık kadar zaman kaybederler,

2. Araçlar, kırmızı ışıkta servis görmek için beklerlerken kırmızı sinyal boyunca diğer araç ve yayaları bekleyerek zaman kaybederler,

3. Araçlar, kavşak yakınında park etmiş, duraklamış olan veya dönüş yapan araçların engellemeleri nedeniyle manevra yapmaları zorlaştığından zaman kaybederler,

4. Yaya akımının çok yoğun olduğu bölgelerde tesis edilmiş olan kavşaklarda yayaların yeşil ışığı beklemeksizin geçmeleri nedeniyle araçları hızlarını düşürmeye ve hatta duraklamaya zorlamaları nedeniyle zaman kaybederler,

5. Kavşak yaklaşımında veya kavşak içinde ağır araçların bulunması halinde diğer araçlar, ağır araçların düşük manevra ve hızlanma kabiliyetleri nedeniyle zaman kaybederler.

3.8.1 Gecikme Hesabı

Gecikme hesabı için geliştirilen bir çok model bulunmaktadır. Sabit zamanlı sinyallerdeki beklenen gecikme ilk olarak 1956 yılında Beckman tarafından gelişlerin Binom dağılımına uyduğu ve servisin üniform olduğu kabulü ile aşağıdaki gibi bulunmuştur (Rouphail et al., 1995):

$$d=\frac{(c-g)}{(cx\left(1-\frac{q}{s}\right))}x(\frac{Qo}{q}+\frac{(c-g+1)}{2}) \quad (3.15)$$

Bu bağıntıda;

C : Devre uzunluğu,

g : Etkin yeşil zaman,

q : Geliş trafik akım oranı,

s : Yeşil zaman içerisinde kuyruktan ayrılan akım oranı,

Q0 : Bir önceki devreden beklenen kuyruk uzunluğu, değerlerini ifade etmektedir.

Bir önceki devreden beklenen kuyruk uzunluğunun bu bağıntıda kullanılmış olması ve gelişlerin binom dağılımına uyduğu kabulü bu formülün pratikte kullanılabilirliğini azaltmıştır (Rouphail et al., 1995). Darroch , sabit zamanlı sinyal devresine gelen araçların akımını incelemiş ve geliş sürecini dağılım indeksi ile Poisson sürecine aşağıdaki gibi genellemiştir (Darroch, 1964):

$$I=\frac{var\,(A)}{qh} \quad (3.16)$$

Burada;

var(.) : (.) değerinin varyansı,

q : Geliş trafik akım oranı,

h : Araçlar arasındaki aralık değeri,

A : h aralığında gelişlerin sayısı, (qh), değerlerini ifade etmektedir.

Gidiş süreci, fleksibl servis mekanizması ile tanımlanabilir ve karşı akımın

neden olduğu ilave kuyruk uzunluğu dağılımını tanımlayarak karşı akımın etkilerini de içerir. Bu yaklaşımla, beklenen kuyruk uzunluğu ve beklenen gecikme açıklanmaya çalışılsa da, ortaya çıkan modeller oldukça karışık görülmüştür. Bu bağlamda, bu bağıntıların pratik bir anlamı yoktur. McNeil (1968), genel geliş süreci ve sabit gidiş zamanı kabulü ile beklenen sinyal gecikmeleri için bir model geliştirmiştir. Bu modelde sinyal devresindeki toplam araç gecikmesi iki bileşenin toplamı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Ruophail et al., 1995):

$$W = W1 + W2 \tag{3.17}$$

Burada;

W : Toplam gecikme,

W1 : Kırmızı fazda yaşanan toplam gecikme,

W2 : Yeşil fazda yaşanan toplam gecikme, değerlerini ifade etmektedir.

(3.17) bağıntısındaki gecikmenin W1 ve W2 bileşenleri ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$W1 = \int_0^{c-g} [Q(o) - A(t)]dt \tag{3.18}$$

$$W2 = \int_{c-g}^{c} Q(t)dt \tag{3.19}$$

Burada;

Q(0) : Başlangıç kuyruk uzunluğu,

A(t) : t zamanındaki eşlenik gelişler,

Q(t) : t zamanındaki araç kuyruğu, değerlerini ifade etmektedir.

Daha sonra (3.17) bağıntısının beklenen değeri alınarak (E(W)), ortalama araç gecikmesi d, E(W) değerinin ortalama devredeki araç sayısına bölünmesiyle aşağıda ifade edilmiş olan değer bulunmaktadır (Rouphail et al., 1995):

$$d = \frac{(c-g)}{[2c\times(1-q/s)]}\times\left[c-g+\frac{2}{q}Q_0+\frac{1}{S}\left(1+\frac{I}{(1-q/s)}\right)\right] \quad (3.20)$$

Bu bağıntı Darroch tarafından, gidiş sürecinin kararlı (deterministic) olduğu kabulüyle bulunmuştur. "Binom dağılımına uyan gelişler için Beckham (1956) tarafından düzenlenmiştir. McNeil (1968) tarafından geliştirilmiş ve daha sonra McNeil ve Weiss, Compound Poisson geliş süreci ve genel gidiş sürecini dikkate alarak aşağıdaki hale getirmişlerdir" (Rouphail et al., 1995):

$$d = \frac{(c-g)}{2c\times(1-q/s)}\left\{(c-g)+\frac{2}{q}\left[1+\frac{(1-q/s)\times\left(1-B^2\right)}{2s}\right]\times Q_0+\frac{1}{s}\left(1+\frac{I+B^2q/s}{1-q/s}\right)\right\} \quad (3.21)$$

Başlangıç kuyruğunun sıfır olduğu Q0 = 0, ve trafik akımında rastgele hareketlerin bulunmadığı durumda, I=0, yukarıdaki bağıntı uygulanırsa gecikmenin kararlı bileşeni elde edilir. Bağıntı (3.21) nın genel durumu için yeşil fazın başlangıcındaki ortalama kuyruk uzunluğunun bilinmesi gerekir. Başlangıçtaki kuyruk uzunluğu genellikle bilinmediğinden pratikte bu formülün kullanılması pratik olmayabilir (Rouphail et al., 1995).

Yaygın olarak kullanılan ilk gecikme formülü, 1958'de Webster tarafından teorik ve nümerik simulasyon yaklaşımlarının kombinasyonu olarak elde edilmiştir (Webster, 1958).

$$d = \frac{c(1-g/c)^2}{2[1-(g/c)X]}+\frac{X^2}{2q(1-X)}-0.65\left(\frac{c}{q^2}\right)^{1/3}X^{2+5(g+c)} \qquad X=\frac{q}{s} \quad (3.22)$$

(3.22) bağıntısını ilk kısmı, trafiğin sabit gecikmelerini, ikinci kısmı ise gelişlerin rastgele olduğu andaki gecikmeleri temsil etmektedir. Bu ikinci kısım, rastgele gecikme (işletme gecikmesi) olarak bilinir. Webster bağıntısının

geliştirilmesinde başlıca iki kabul bulunmaktadır (Ayfer, 1977). Bunlar:

1. Araçlar kavşağa rastgele aralıklarla yaklaşmaktadırlar. Diğer bir deyişle gelişler Poisson dağılımına uymaktadır.

2. Yeşil ışık yandığı zamanda kuyruktaki araçlar doygun akım koşulları altında tahliye olmaktadır.

Araçlar sadece etkin yeşil zaman servis gördüğü için kapasite oranını aşacağından bu son kabul gerçek durumu yansıtmayabilir. Bu nedenle üçüncü kısımda simulasyon deneyleri gözönünde bulundurularak düzeltme yapılmıştır. Son yıllarda Webster'ın gecikme hesabı bazı düzeltmelere uğramıştır. Ancak ana yapısı değişmemiştir. Webster gecikme formülünün TRB, 1994 HCM'de görülen hali şöyle tanımlanabilir .

$$D = D_1 x D_F + D_2 \tag{3.23}$$

$$D_1 = 0.76 \times 0.5 \times c \times \frac{[1-(g/c)]^2}{[1-(g/c)\times X]} \tag{3.24}$$

$$D_2 = 173 \times X^2 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (16 \times X/c)} \right] \tag{3.25}$$

Burada;

D : Webster gecikmesi (sn),

D1 : Uniform gecikme (sn),

DF : Koordinasyon ve sinyal tipini dikkate almak için kullanılan gecikme faktörü,

D2 : Artış gecikmesi (sn),

c : Devre uzunluğu (sn),

g : Etkin yeşil zaman (sn),

X : Doygunluk oranı (doyma derecesi), değerlerini ifade etmektedir.

Diğer bir gecikme hesabı rasyonel gecikme hesabıdır. Bu hesaba göre, bir

aracın gecikmesi ve harekete geçiş sırasında yaşanan gecikmeler dikkate alınmaktadır.Burada, kırmızı ışıklı sinyalde durdurularak geciktirilen araç sayısı ve gecikme süreleri aşağıdaki parametrelere bağlıdır (Ayfer, 1977):

1. Kırmızı ışık süresi,
2. Trafik akımındaki yaklaşım aralıkları,
3. Kuyruktaki araçların harekete geçiş yeteneği.

Herhangi bir yaklaşım yönüne geçiş hakkı vermeyen süre bu yaklaşım yönünün kırmızı ile (kırmızı+ sarı) sürelerinin toplamıdır.

$$R = C - (G + Y) \quad (3.26)$$

Burada;

R : Geçiş hakkı olmayan süre,

C: Devre süresi,

G : Yeşil süre,

Y : Sarı süre, değerlerini ifade etmektedir.

Sinyalizasyon projelerinde devre süresi ve yeşil süreler saptanırken araçların sarı ışıkta geçemeyecekleri kabul edilir. Bu kabul oldukça yerindedir. Çünkü Şekil 3.4'te görüldüğü gibi bir sinyal devresindeki etkin yeşil süre yaklaşık olarak gerçek yeşil süreye eşit olarak kabul edilebilir. Bu bağlamda, bağıntı (3.26) daki sarı süre ihmal edilerek geçiş hakkı olmayan süre şu şekilde ifade edilebilir (Ayfer, 1977):

$$R = G - C \quad (3.27)$$

Bir şerit boyunca araçların ortalama aralık değerlerinin A olduğu yaklaşım yönünde kırmızı ışık yandığı andan itibaren hiçbir aracın geçmediği kabul edilirse: kavşakta ilk duracak olan aracın yeşil sinyal başlangıcına kadar olan gecikmesi ortalama olarak (R -A/2) olacağı söylenebilir. İkinci araç ise A saniye daha geç geleceğinden (R - A/2 - A) kadar gecikecektir. Böylelikle kavşağa i sırasında gelecek olan araç için bu gecikme (R -(2i -1)× A/2) olarak kabul edilebilir. Herhangi bir x aracının kuyruktan kalkıştaki gecikmesi de dx olursa, bir aracın

toplam gecikmesi şu şekilde gösterilebilir (Ayfer, 1977):

$$D_i = R - \frac{(2i-1)}{2} xA + \sum_{x=1} dx \qquad (3.28)$$

Burada;

Di : Sırası i olan aracın toplam gecikmesi,

A : Ortalama aralık,

dx : Sırası x olan aracın harekete geçiş gecikmesi, değerlerini ifade etmektedir.

Bu bağıntıdaki gecikme, kırmızı ışıklı sinyalde durmuş olan bütün araçların yeşil süre içinde geçebileceğini göz önünde tutmaktadır. Eğer sinyalize tesiste aşırı bir birikme olup da bir araç ilk yeşil ışıklı sinyalde geçemezse gecikme süresine ayrıca beklemiş olduğu devre sürelerini eklemek gerekmektedir. Bu durumda i, söz konusu aracın son yeşil ışıkta geçmeyi bekleyen önündeki araç sayısının bir fazlası olacaktır.

Sinyalize bir tesiste durmuş olan araçların tekrar harekete geçmeleri ve hız kazanmaları sırasındaki gecikmelerini saptamak için çeşitli araştırmalar yapılmış ve birbirinden farklı olmakla beraber benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılmış bulunan araştırmaların sonuçlarında kavşaktaki dur çizgisine yakın olan araçların diğerlerinden daha çok geciktiği ve 5. veya 6. sırada bulunan araçtan itibaren harekete geçme dolayısıyla oluşan gecikmenin sabitleştiği görülmektedir.

Tablo 3.3'deki yaklaşık ortalama değerlere itibar edilmesi halinde bağıntı (3.28) deki dx değerleri ve toplamları Tablo 3.4'te gösterilen biçimde düzenlenebilir.

Tablo 3.3 Araçların harekete geçişlerindeki gecikmeler (Ayfer, 1977)

Araç sayısı (x)	Greenshields	Pavel	Fisher	Glück+ Schelke	Yaklaşık (*) Ortalama
1	3,8	3,4	3,2	0,8	3,5
2	3,1	3,1	2,3	2,6	2,8
3	2,7	2,5	2,1	2,3	2,4
4	2,4	2,2	2,0	2,1	2,2
5	2,2	2,1	1,9	2,0	2,1
6	2,1	2,0	1,9	1,9	2,0
7	2,1	2,0	1,9	1,8	2,0
8	2,1	2,0	1,9	1,8	2,0
*Ortalamaların alınışında Glück+Schelke sonuçlarının ilk değeri ihmal edilmiştir.					

*Ortalamaların alınışında Glück+Schelke sonuçlarının ilk değeri ihmal edilmiştir

Tablo 3.4 Araçların harekete geçiş gecikmesi değerleri ve toplamları (Ayfer, 1977)

i	d_x	$\sum_{x=1}^{i} d_x$
1	$3,5 = 2,0 + 1,5$	$2,0 + 1,5 = 2i + 3,0 - 1,5$
2	$2,8 = 2,0 + 0,8$	$4,0 + 2,3 = 2i + 3,0 - 0,7$
3	$2,4 = 2,0 + 0,4$	$6,0 + 2,7 = 2i + 3,0 - 0,3$
4	$2,2 = 2,0 + 0,2$	$8,0 + 2,9 = 2i + 3,0 - 0,1$
5	$2,1 = 2,0 + 0,1$	$10,0 + 3,0 = 2i + 3,0 - 0,0$
6	$2,0 = 2,0 + 0,0$	$12,0 + 3,0 = 2i + 3,0 - 0,0$
i	2,0	$2i + 3,0 = 2i + 3,0 - h$

Buradaki “h” değeri ilk dört aracın gecikme farkı faktörüdür. Bu durumda herhangi bir “i” sırasında bulunan aracın harekete geçişlerden ötürü toplam gecikmesi aşağıdaki bağıntı yardımıyla gösterilebilir:

$$\sum_{x=1}^{i} d_x = 2i + 3 - h$$

i = 1	2	3	4	≥5
h = 1,5	0,7	0,3	0,1	0

(3.29)

Bir yaklaşım yönünün herhangi bir j şeridi üzerinde bir sinyal devresindeki kırmızı süre boyunca mj sayıda araç birikiyorsa, bu şeritteki bütün araçların toplam gecikmesi aşağıdaki bağıntı ile gösterilebilir.

$$D_j = \sum_{i=1}^{mj} Di \qquad (3.30)$$

Bağıntı (3.28) ve (3.29) daki değerler bağıntı (3.30) da yerine konacak olursa gecikme bağıntısı şu biçimi alır:

$$Dj = m_j \times R_j - \sum_{i=1}^{mj} \frac{2i-1}{2} \times A_j + \sum_{i=1}^{mj} (2i + 3 - h) \qquad (3.31)$$

Bu bağıntı sadeleştirilirken üçüncü terimdeki h yalnız m<5 için belli değerlerde geçerli olacağından serinin dışında kalır ve aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$D_j = (R_j + 4) \times m_j + \left(1 - \frac{1}{2} A_j\right) \times m_j^{\,2} - h$$

Bu bağıntıda;

Dj : j şeridi üzerinde araçların toplam gecikmesi,

Rj : j şeridindeki araçlara geçiş hakkı vermeyen süre ,

mj : j şeridinde biriken araçların sayısı (O.B.),

Aj : j şerindinde ortalama aralık,

h : Gecikme farkı faktörü (mj . 5, h= 0), değerlerini ifade etmektedir.

Bir yaklaşım yönü üzerindeki şerit sayısı b ise, daha doğru bir deyişle yaklaşım yönü üzerindeki araçlar kırmızı ışıklı sinyalde b sırası oluşturuyorsa, yaklaşım yönünün tüm gecikmesi DT bütün araçların gecikme toplamına eşit olacaktır.

$$D_T = \sum_{j=1}^{b} Dj \qquad (3.33a)$$

Gerçekte her şerit üzerinde biriken araç sayısı birbirinden farklıdır. Sinyalizasyon hesapları yapılırken genellikle kırmızı ışıklı sinyalde durdurulan araçların otomobil birimi olarak şeritler üzerinde eşit sayıda biriktiği kabul edilir ve bağıntı (3.28a) aşağıdaki şekilde uygulanabilir:

$$DT = b \times D\,j \qquad (3.33b)$$

Bir sinyalize kavşağın toplam gecikmesi de her fazın etkili akım yönlerindeki gecikmelerin toplamına eşit olacaktır.

$$D_n = \sum_{i=1}^{n} Dti \qquad (3.33c)$$

Burada;

Dn : Kavşaktaki toplam gecikme,

Dti : Etkili akım içindeki i yönünün toplam gecikmesi,

n : Faz sayısı, değerlerini ifade etmektedir.

Gecikme hesabının rasyonel yöntemle yapılmasının başlıca sakıncası, yukarıda da bahsedildiği gibi araç aralıklarının yaklaşık olarak eşit kabul edilmesi olduğu söylenebilir. Bu durum, sinyalize kavşaklardaki araçların gecikmelerinin deneysel yöntemlerle saptanmasını ve ampirik bağıntılarla formüle edilmesini gerekli kılmıştır.

BÖLÜM DÖRT
SİNYALİZE ARTERLERDE ARAÇ TAKİP ARALIKLARININ İNCELENMESİ

4.1 Genel

Araçlar arasındaki takip aralıklarının modellenmesi trafik mühendisliğinin en temel konularından bir tanesidir. Trafik akımındaki takip aralığı değerleri;

• Denetimsiz kavak ve dönel kavşak kapasite analizlerinde özellikle yanyol araçlarına ait kabul aralıklarının belirlenebilmesinde,

• Sinyalize kavşak noktalarında kırmızı süre boyunca oluşan kuyruklanma sürecinin ve yeşil süre boyunca oluşan boşaltım sürecinin incelenmesinde,

• Sinyal noktalarındaki gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin incelenmesinde,

• Sinyalizasyon sistemlerinin koordinasyonu gibi çalışmalarda kilit rol oynamaktadır.

Birbiri ardı sıra hareket eden araçlar arasındaki takip aralığı değeri, sabit konum yaklaşımı ya da sabit zaman yaklaşımı kullanılarak incelenebilir. Genel tanımlar ışığında birbirini takip eden araçlar arasındaki aralık değeri iki şekilde ifade edilebilir:

1-Mesafe cinsinden aralık değeri (s)

2-Zaman cinsinden aralık değeri (t)

Mesafe cinsinden aralık (s), "x" aracının ön tamponu ile takip eden "x+1" aracının ön tamponu arasındaki mesafedir (Şekil 4.1). Zaman cinsinden aralık (t) değeri için ise çalışmanın amacına bağlı olarak farklı tanımlamalar yapılabilmektedir. Sinyalize arterlerdeki takip aralıklarının incelenmesi planlanan çalışmanın bu aşamasında araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değeri (t) "x" aracının ön tamponunun belirli bir noktayı geçtiği anla, takip eden "x+1" aracının ön tamponunun aynı noktayı geçtiği an arasındaki zaman farkı şeklinde belirlenmiştir (Şekil 4.2). Zaman cinsinden aralık değeri, mesafe cinsinden aralık değerine oranla çalışmalarda daha fazla dikkate alınmaktadır (Tanyel, 2001). Bunun sebebi şu şekilde sıralanabilir:

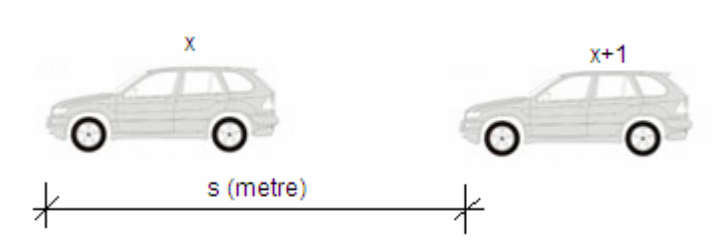
i-İnceleme yapılan trafik akımına ait zaman cinsinden aralık değerlerinin ortalaması biliniyor ise söz konusu akıma ait hacim değeri bulunabilmektedir. Zaman cinsinden aralık değeri ile hacim değeri arasında aşağıdaki doğrusal ilişki bulunmaktadır.

$$q = \frac{l}{t} \tag{4.1}$$

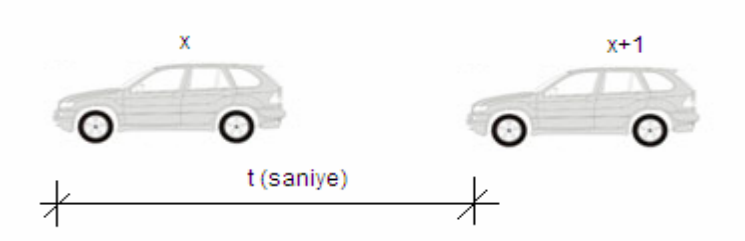
Burada q; hacim (araç/zaman), t : ortalama zaman cinsinden aralık (saniye) değeridir. Benzer bir ilişki yoğunluk ile uzunluk cinsinden mesafe değeri arasında da bulunmaktadır. Ancak hacim değeri, trafiği tanımlamak için daha anlamlı ve daha kolay ölçülebilir bir parametredir.

ii- Trafik çalışmalarında kullanılan veriler genellikle arazi üzerinde çıplak göz ve çeşitli ekipmanlar kullanılarak ya da video kamera yardımı ile çekim yaparak elde edilmektedir. Mesafe cinsinden aralık verilerini bu gözlemler yardımı ile elde edebilmek zaman cinsinden aralık değerini belirleyebilmekten çok daha zordur.

iii- Mesafe cinsinden aralık değeri, hız sabit kabul edilerek hız ve zaman cinsinden aralık değerleri yardımıyla hesaplanabilir (Tanyel, 2001).



Şekil 4.1 Mesafe cinsinden aralık (metre)



Şekil 4.2 Zaman cinsinden aralık (saniye)

Genel takip aralığı tanımlamaları ışığında, çalışmanın ilerleyen aşamalarında trafik akımlarını incelemek amacıyla oluşturulmuş olan akım modelleri ve bu modelleme çalışmalarında kullanılan bazı istatistiksel dağılımlar incelenmiştir.

Trafik akımlarının modellenmesinde iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Makroskopik Trafik Akım Modelleri
2. Mikroskopik Trafik Akım Modelleridir.

Her iki modelde de çe_itli istatistiksel da_ılımlar kullanılmaktadır. Makroskopik modellerde, Poisson, Binom veya Negatif Binom da_ılımları kullanılırken; Mikroskopik modellerde araçlar arasındaki aralıkları incelemek amacıyla, Negatif Üssel, Ötelenmi_ Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III gibi dağılımlar kullanılmaktadır (Tanyel, 2001).

BÖLÜM BEŞ
GÖZLEMSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Genel

Trafik etütleri, bir kent veya belirli bir bölge için trafik ve ulaşım durumunun incelenmesi, tek yönlü yolların planlarının hazırlanması, anayollar, otoyollar gibi bölgesel yol planlama işlerinin yürütülmesi, genel yolcu aktarım sisteminin ve servislerinin etüt edilmesi, trafik kazalarının önlenmesi, trafik sıkışıklıklarının azaltılması, trafik kapasitesinin arttırılması gibi değişik amaçlarla yapılan çalışmaların bütünüdür. Ulaştırmanın hızlı, konforlu ve güvenli bir biçimde yapılabilmesinde trafik etütleri önemli bir role sahiptir. Bir trafik etüdünün hazırlanabilmesi için istatistik verilere ihtiyaç vardır. Bu verilerin elde edilebilmesi için trafik sayım ve gözlemlerin yapılması gerekir. Trafik etütlerinin dayandığı ana noktalar trafik sayım ve gözlemleri ile elde edilen sonuçlardır. Bu nedenle herhangi bir yere ait doğru ve sağlıklı bir trafik etüdünün yapılabilmesi için trafik sayım ve gözlemlerinin doğru ve kurallara uygun olarak yapılması gerekir (Kutlu,1964; Gedizlioğlu,2002).

Trafik etütlerinin faydalı olabilmeleri için, trafik sayım yeri, zamanı, süresi ve sayılacak trafik ünitelerinin doğru olarak tayin edilmesi, kullanılacak araç ve gereçlerin etüdün amacına göre en az hatayı verecek olanlardan seçilmeli ve sayım yöntemi uygun bir biçimde belirlenmelidir (Sönmez, 2005).

Trafik birimlerinin belirli bir zaman içinde sayılarak kaydedilmesine veya bu birimlerin bazı hareketlerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan gözlemlere trafik sayımı denir. Trafik sayımları belirli bir kesit üzerinde durularak veya hareketli bir araç içerisinde yapılabilir.

Trafik gözleminden elde edilen verilerin işlenmesi amacıyla çeşitli föyler ve tablolar kullanılır. Bunlar dört ana başlık altında toplanabilir:

- İzahat Föyü: Bu föy, sayım yapılan istasyonu, sayılan trafik ünitelerini ve trafik akımlarını, sayım gün ve saatlerini, sayım sürelerini ve diğer gerekli bilgileri açıklayacak şekilde düzenlenen krokili ve açıklamalı föylerdir. İzahat föylerinde sokak adları ve akım yönleri de belirtilir.

- Sayım Föyü: Sayım memurlarının trafik sayımı sırasında gözlem sonuçlarını işaretleyecekleri föylerdir.

- Sayım Toplama Tabloları: Sayım ve gözlem boyunca elde edilen sonuçları tablo halinde göstermek için bu tablolardan yararlanılır.

- Sayım Grafikleri: Sayım toplama tablolarından yararlanılarak hazırlanırlar. Trafik etüdü ile sayımlar arasında bağlantı kurulmasında yardımcı olurlar.

Trafiğe katılan yayalar, otomobiller, otobüsler, troleybüs ve tramvaylar, kamyonlar, kamyonetler, römorklu araçlar, bisikletler, motosikletler, arabalar v.s. gibi elemanlara "trafik ünitesi" adı verilir. Trafik sayım ve gözlemlerinde etütlerin özelliğine bağlı olarak bu trafik birimlerinden bazıları seçilmesi gerekir.

Trafik sayım ve gözlemelerinin yapılacağı, önceden kararlaştırılan kesitlere "sayım istasyonları" denir. Sayım istasyonlarının yerinin seçimi, sayım sonuçlarının faydalı olabilmesi ve gerçeği yansıtması bakımından büyük bir öneme haizdir.

Genellikle bu istasyonlar kavşakların giriş-çıkışlarına yerleştirilirler. Bu şekilde yapılmasının amacı trafik akım rejiminde homojenliğin bozulmamasının sağlanmasıdır (Kutlu,1964; Gedizlioğlu,2002).

5.2 Gözlemlerin Yapılışı

Çalışmada kullanılan veriler çalışma sırasında seçilen sinyalize kavşağın gözlemlenmesi sonucu elde edilen verilerdir. Bodrum şehir merkezinde seçilen kavşakta yapılan gözlemler, kavşak yakınında yüksek bir noktadan ve video kamera

kullanılarak, kavşakta gözlenmesi önceden planlanmış olan yaklaşım kolunda kayıt yapılmak suretiyle elde edilmiştir. Video çekimleri, video veya bilgisayar yardımıyla çeşitli defalar seyredilerek her fazda oluşan kuyruk uzunlukları ve kuyruk tahliyesi sırasında araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri gözlenmiştir. Bu yolla toplanan veriler çalışmanın temelini oluşturmuştur.

5.3 Gözlem Yerinin Tanıtımı

Gözlemlerin yapıldığı kavşak olan Otogar kavşağı Bodrum ilçe merkezinde bulun maktadır.

Bu kavşağın seçilmesinde etkili olan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

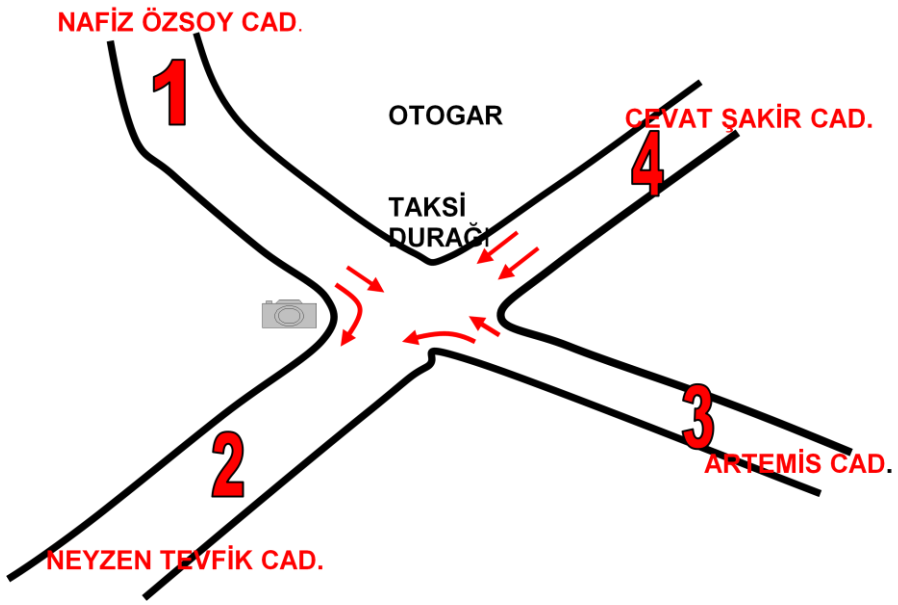
1. Kavşak önemli arterler üzerinde yer almaktadır.
2. Kavşakta video kamerayla çekim yapılma olanağı bulunmaktadır.
3. Kavşakta gözlem yapıldığı tarihlerde sinyalizasyon sistemi bulunmaktadır.

Bodrum ilçesi ülkemizin ve Muğla ilinin turizm merkezi konumundadır. Günümüzde ülke turizminin önde gelen merkezleri göz önünde bulundurulduğunda ilçe bazında bu yükü çeken en önemli ilçe merkezinin Bodrum olduğu düşünüldüğünde Bodrum şehir merkezi trafiğinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Bodrum otogarı konum itibari ile ilçe merkezinde bulunmakta ve Bodrum dahil onbir belde merkezine hizmet vermektedir. Ayrıca ilçe merkezinde ana arterlerin kesişiminde bulunmaktadır.

Otogar kavşağı sadece hususi otomobillere hizmet vermemekte, kavşakta yoğun bir biçimde toplu taşıma araçları, servis araçları ve mal naklini sağlayan kamyon ve kamyonetlere hizmet vermektedir.

Otogar kavşağı ile ilgili gözlemlere dayanılarak yapılan sayımlar Ek 1'de yer almaktadır.



Şekil 5.1 Otogar Kavşağı Krokisi



Şekil 5.2 Otogar Kavşağı Uydu Fotoğrafı

5.4 Sinyalize Kavşaklarda Sola Dönen Araç Etkisinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler

Sola dönen araçların trafik performansına etkileri genellikle PCE değeri kullanılarak ifade edilir. PCE değeri, mevcut yol ve trafik koşulları altında, trafik akımı içindeki bir aracın yerini aldığı kabul edilen otomobil sayısıdır (Yayla, 1993). Sinyalize kavşaklarda PCE değerini belirlemek amacıyla kullanılan bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar:

1. Webster Yöntemi,
2. Regresyon Yöntemi,
3. Aralık Oranı Yöntemi (Headway Ratio Method),
4. HCM Yöntemi,
5. G_EOB Yöntemi, olarak sıralanabilir.

5.4.1 G_EOB Yöntemi

Benekohal&Zhao, ağır araçların gecikme üzerinde yarattığı etkileri dikkate alabilmek amacıyla, gecikme temeline dayanan EOB değerini hesaplamak için G_EOB (Delay Based Passenger Car Equivalent) yöntemini geliştirmişlerdir. G_EOB en basit haliyle, ağır araçların neden olduğu gecikmenin otomobil gecikmesine oranı olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir .

$$G_EOB=1+\frac{\Delta di}{do}$$

Burada;

Δdi : i tipi aracın neden olduğu ilave gecikme,

d0 : Sadece otomobillerden oluşan trafik akımındaki ortalama araç gecikmesi, değerlerini ifade etmektedir.

$$G_EOB = 1 +\frac{(dt-do)}{d(PH-do)}$$

Burada;

Dt : Karışık trafik durumu için toplam gecikme (sn),

D0 : Baz trafik durumu için toplam gecikme (sn),

d0 : Baz trafik durumu için ortalama gecikme (sn/araç),

PH : Sola Dönen araç yüzdesi,

V : Toplam trafik hacmi (araç/saat),

Vt : Toplam sola dönen araç hacmi (araç/saat), değerini göstermektedir.

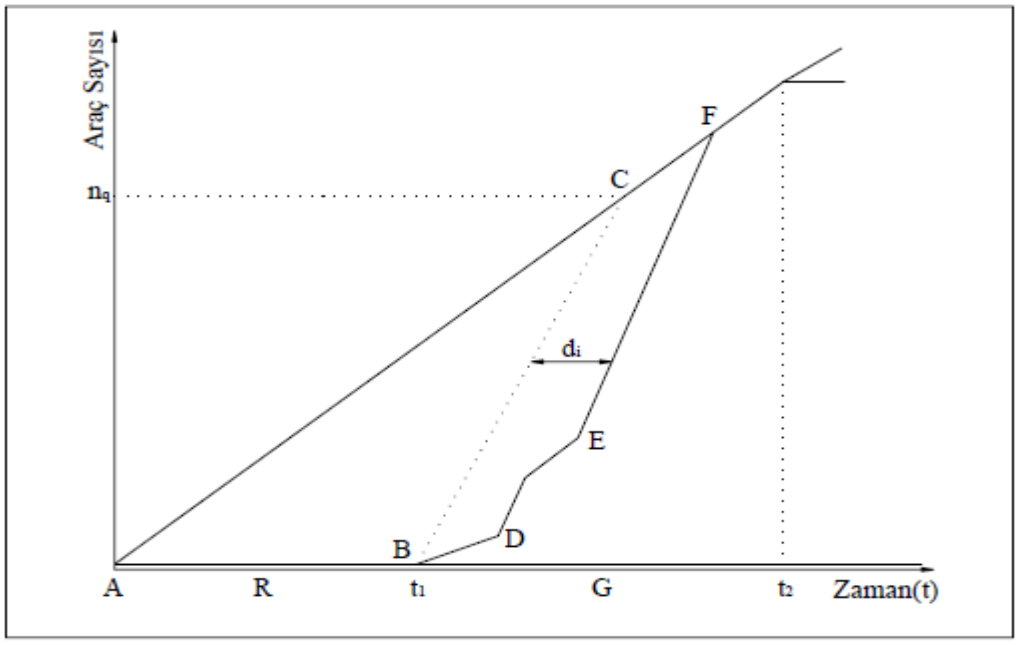
Kavramsal olarak, Şekil 5.2'de görülen diyagram otomobil trafiğinin gecikmesini ABC üçgeninin alanı olarak vermektedir (t1× nq / 2) . Ağır araçların kuyruğa katılması ile üçgensel şekil ABDEF poligonuna dönüşmektedir. BDEFC poligonunun alanı ise ağır araçların neden olduğu ilave ortalama gecikmeyi vermektekdir (Zhao& Benekohal, 1996):

$$\Delta d = \frac{\sum \Delta di}{nt} = \frac{A_{BDEFC}}{nt}$$

Burada;

ΣΔdi : Ağır araçların neden olduğu toplam ilave gecikme,

nt : Devrede geçen araç sayısı, değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 5.3 Sinyalize kavşak yaklaşımındaki kuyruklanma (Benekohal&Zhao, 1996)

Çalışmamızda Zhao& Benekohal ın hazırlamış olduğu Ağır Araç/ Zaman diyagramı ve bağlantılı denklemler Sola Dönen Araç/ Zaman ilişkisi şeklinde değerlendirilmiştir.

Baz trafik durumu için geliş oranı, doygun akım oranı ve sinyal bilgileri bilindiği takdirde ortalama kuyruk uzunluğu (kuyruktaki araç sayısı) nq aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$n_p = \frac{Rx\,q_s}{(s-q)}$$

$$d_0 = \frac{D_0}{n_0} = 0{,}5x\frac{R^2}{n_0}xq\frac{s}{(s-q)}$$

$$d_0^q = \frac{D_0}{n_q} = 0{,}5x\frac{R^2}{n_q}xq\frac{s}{(s-q)} = 0{,}5xR$$

$$\Delta d = \sum_{j=p}^{m}\sum_{k=p}^{j}(h_k^t - h_k^0)$$

Sonuç olarak, Benekohal&Zhao G_EOB yöntemi ile buldukları EOB değerlerinin sabit olmayıp, trafik hacmine ve ağır araç yüzdesine bağlı olarak küçük ağır araçlar için 1,00-1,37, kombine ağır araçlar için ise 1,00-2,18 arasında değiştiğini bulmuşlardır.

5.5 Gözlem Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bodrum merkezde yer alan ve bir çok farklı arterden gelen akımların kesişiminde bulunan otogar kavşağından günün pik saatlerinde farklı günlerde alınan veriler değerlendirildiğinde otogar kavşağına bağlanan Cevat Şakir Caddesi'nin (Şekil 5.1, 4. Arter) sol şeridinin ve Artemis Caddesi'nin (Şekil 5.1, 3. Arter) sola dönüş ve doğru akımlarında kullanılabilir veriler eldilmiştir.

Bu arterlerden alınan veriler sinyalden çıkan araç durumuna göre gruplandırılarak, ortalama takip aralıkları ile eş değer otomobil birimleri (EOB) hesaplanarak tablo üzerinde gösterilmiştir.

5.5.1 Otogar Kavşağı Artemis Caddesi Bağlantısı

Otogar kavşağına bağlanan Artemis Caddesinden alınan gözlem sonuçlarında elde edilen takip aralıklarının ortalama değerleri sinyalden çıkan ilk aracın ve onu takip eden araçların tüm olasılıklarının yer aldığı tabloda işlendiğinde elde edilen Eş Değer Otomobil Birimi (EOB) değerleri incelendiğinde, Sinyalden Çıkan İlk Aracın Sola Dönen Araç Olan Olması durumunda elde edilen EOB değerinin en yüksek 1,050 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 de elde edilen EOB değerleri Grafik 5.1 de yerine konulduğunda ve regresyon analizleri yapıldığında lider konumdaki aracın sola dönen araçların Eş Değer Otomobil Değerinin 1,01 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2 de lider konumdaki aracın doğru giden araç olması durumu göz önünde bulundurularak tüm varyasyonlara göre hesaplamalar yapılmış ve en yüksek EOB değerinin 1,062 olduğu görülmüştür. Sinyalden çıkan ilk aracın doğru giden araç olması durumunda elde edilen EOB değerleri Şekil 5.4 te yerine konulduğunda ve regresyon analizleri yapıldığında ortalama sola dönen araçlar için EOB değerinin 1,04 olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

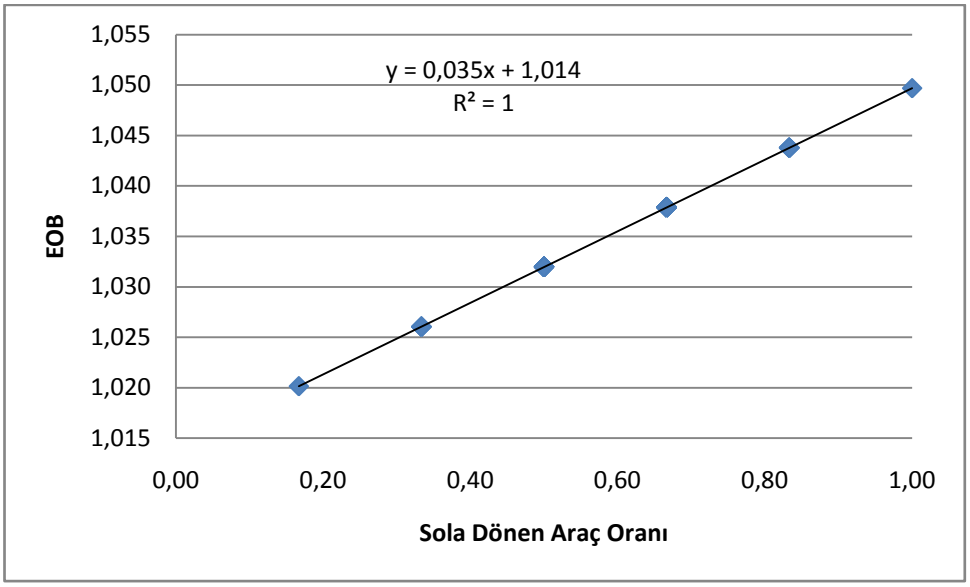
Tüm bu veriler eşliğinde sola dönen araçların gecikmeyi %1 ila %4 oranında arttırmak suretiyle etkilediği sonucuna varılmaktadır. Artemis Caddesinden Otogar Kavşağına dahil olan araçlardan sinyalden ilk çıkan kuyruk lideri aracın manevra eğilimi göz önünde bulundurulduğunda doğru giden aracı takip eden sola dönen araçların sebep olduğu gecikmenin, sola dönen aracın lider olması durumuna kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 Artemis Cad. EOB hesap tablosu (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın solan dönen araç olması durumu)

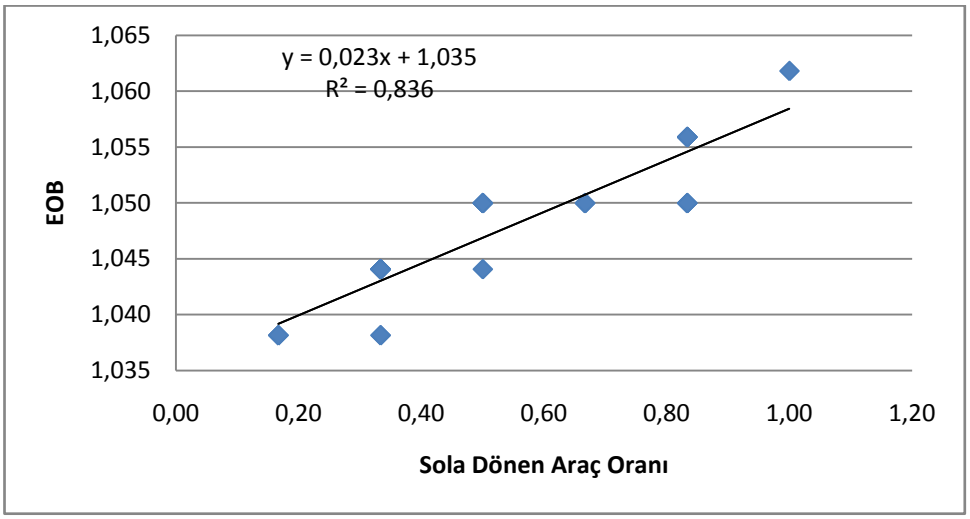
Kuyruk No	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	5.Araç	6.Araç	Toplam	EOB
Baz	70,407638	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	80,836	1,000
Sinyal DUR Çizgisinde Duran ilk Aracın Solan Dönen Araç Olması Durumu								
1	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	82,464	1,020
2	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	82,941	1,026
3	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	82,941	1,026
4	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	82,941	1,026
5	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	82,941	1,026
6	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	82,941	1,026
7	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	83,419	1,032
8	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	83,419	1,032
9	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	83,419	1,032
10	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	83,419	1,032
11	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	83,419	1,032
12	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	83,419	1,032
13	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	83,419	1,032
14	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	83,419	1,032
15	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	83,419	1,032
16	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	83,419	1,032
17	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	83,897	1,038
18	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	83,897	1,038
19	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	83,897	1,038
20	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	83,897	1,038
21	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	83,897	1,038
22	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	83,897	1,038
23	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	83,897	1,038
24	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	83,897	1,038
25	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	83,897	1,038
26	**69,42832**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	83,897	1,038
27	**69,42832**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	84,374	1,044
28	**69,42832**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	84,374	1,044
29	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	84,374	1,044
30	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	84,374	1,044
31	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	84,374	1,044
32	**69,42832**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	84,852	1,050

Tablo 5.2 Artemis Cad. EOB hesap tablosu (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın doğru giden araç olması durumu)

Kuyruk No	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	5.Araç	6.Araç	Toplam	EOB
Baz	70,407638	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	80,836	1,000
Sinyal DUR Çizgisinde Duran ilk Aracın Doğru Giden Olması Durumu								
33	70,407638	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	83,921	1,038
34	70,407638	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	83,921	1,038
35	70,407638	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	83,921	1,038
36	70,407638	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	83,921	1,038
37	70,407638	2,6070444	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	83,921	1,038
38	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	84,398	1,044
39	70,407638	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	84,398	1,044
40	70,407638	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	84,398	1,044
41	70,407638	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	84,398	1,044
42	70,407638	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	84,398	1,044
43	70,407638	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	84,398	1,044
44	70,407638	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	84,398	1,044
45	70,407638	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	84,398	1,044
46	70,407638	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	84,398	1,044
47	70,407638	2,6070444	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	84,398	1,044
48	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	84,876	1,050
49	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	84,876	1,050
50	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	84,876	1,050
51	70,407638	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	84,876	1,050
52	70,407638	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	84,876	1,050
53	70,407638	**3,084758**	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	84,876	1,050
54	70,407638	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	84,876	1,050
55	70,407638	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	84,876	1,050
56	70,407638	2,6070444	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	84,876	1,050
57	70,407638	2,6070444	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	84,876	1,050
58	70,407638	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	85,354	1,056
59	70,407638	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	85,354	1,056
60	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	**3,084758**	85,354	1,056
61	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	**3,084758**	85,354	1,056
62	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	2,6070444	85,354	1,056
63	70,407638	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	**3,084758**	85,831	1,062



Şekil 5.4 Artemis Cad. EOB/sola dönen araç oranı grafiği (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın sola dönen araç olması durumu)



Şekil 5.5 Artemis Cad. EOB/sola dönen araç oranı grafiği (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın doğru giden araç olması durumu)

Tablo 5.3. Sola dönen araç oranına göre doygun akımdaki değişme

%sola Dönen	EOB1	EOB2	FL1	FL2	B.D.A	S1	S2
0,000	1,036	1,035	1,000	1,000	1900,000	1900,000	1900,000
0,010	1,036	1,036	1,000	1,000	1900,000	1899,323	1898,648
0,050	1,036	1,036	0,998	0,998	1900,000	1896,566	1893,116
0,100	1,037	1,038	0,996	0,996	1900,000	1893,011	1885,918
0,200	1,038	1,040	0,992	0,992	1900,000	1885,542	1870,607
0,300	1,040	1,042	0,988	0,987	1900,000	1877,604	1854,114
0,400	1,041	1,045	0,984	0,982	1900,000	1869,210	1836,491
0,500	1,043	1,047	0,979	0,977	1900,000	1860,374	1817,792
0,600	1,044	1,049	0,974	0,971	1900,000	1851,109	1798,073
0,700	1,045	1,051	0,969	0,965	1900,000	1841,428	1777,390
0,800	1,047	1,054	0,964	0,959	1900,000	1831,346	1755,805
0,900	1,048	1,056	0,958	0,952	1900,000	1820,879	1733,377
1,000	1,050	1,058	0,953	0,945	1900,000	1810,041	1710,167

5.5.2 Otogar Kavşağı Cevat Şakir Caddesi Sol Şerit Bağlantısı

Otogar kavşağına bağlanan Cevat Şakir Caddesinden alınan gözlem sonuçlarında elde edilen takip aralıklarının ortalama değerleri sinyalden çıkan ilk aracın ve onu takip eden araçların tüm olasılıklarının yer aldığı tabloda işlendiğinde elde edilen Eş Değer Otomobil Birimi (EOB) değerleri incelendiğinde, Sinyalden Çıkan İlk Aracın Sola Dönen Araç Olan Olması durumunda elde edilen EOB değerinin en yüksek 1,058 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3 de elde edilen EOB değerleri Grafik 5.3 de yerine konulduğunda ve regresyon analizleri yapıldığında lider konumdaki aracın sola dönen araçların Eş Değer Otomobil Değerinin 1,03 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3 de lider konumdaki aracın doğru giden araç olması durumu göz önünde bulundurularak tüm varyasyonlara göre hesaplamalar yapılmış ve en yüksek EOB değerinin 1,058 olduğu görülmüştür. Sinyalden çıkan ilk aracın doğru giden araç olması durumunda elde edilen EOB değerleri Grafik 5.4 de yerine konulduğunda ve

regresyon analizleri yapıldığında ortalama sola dönen araçlar için EOB değerinin 1,03 olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tüm bu veriler eşliğinde Cevat Şakir Caddesi sol şeritten gelen ve sola dönen araçların gecikmeyi %3 oranında arttırmak suretiyle etkilediği sonucuna varılmaktadır. Cevat Caddesinden Otogar Kavşağına dahil olan araçlardan alınan verilere göre sinyalden ilk çıkan kuyruk lideri aracın manevra eğilimi göz önünde bulundurulduğunda bu caddeden Otogar Kavşağına dahil olan kuyruk liderinin manevra eğiliminin kavşakta oluşan gecikmeyi değiştirmediği görülmektedir.

Tablo 5.4 Artemis Cad. EOB hesap tablosu (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın solan dönen araç olması durumu)

Kuyruk No	**1.Araç**	**2.Araç**	**3.Araç**	**4.Araç**	**5.Araç**	**6.Araç**	Toplam	EOB
Baz	69,853434	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	81,436	1,000
Sinyal DUR Çizgisinde Duran ilk Aracın Sola Dönen Araç Olması Durumu								
1	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	84,275	1,035
2	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	84,646	1,039
3	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	84,646	1,039
4	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	84,646	1,039
5	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	84,646	1,039
6	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	84,646	1,039
7	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	85,016	1,044
8	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	85,016	1,044
9	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	85,016	1,044
10	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	85,016	1,044
11	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	85,016	1,044
12	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	85,016	1,044
13	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	85,016	1,044
14	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,016	1,044
15	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,016	1,044
16	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,016	1,044
17	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	85,387	1,049
18	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	85,387	1,049
19	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	85,387	1,049
20	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,387	1,049

Tablo 5.4 (Devam)

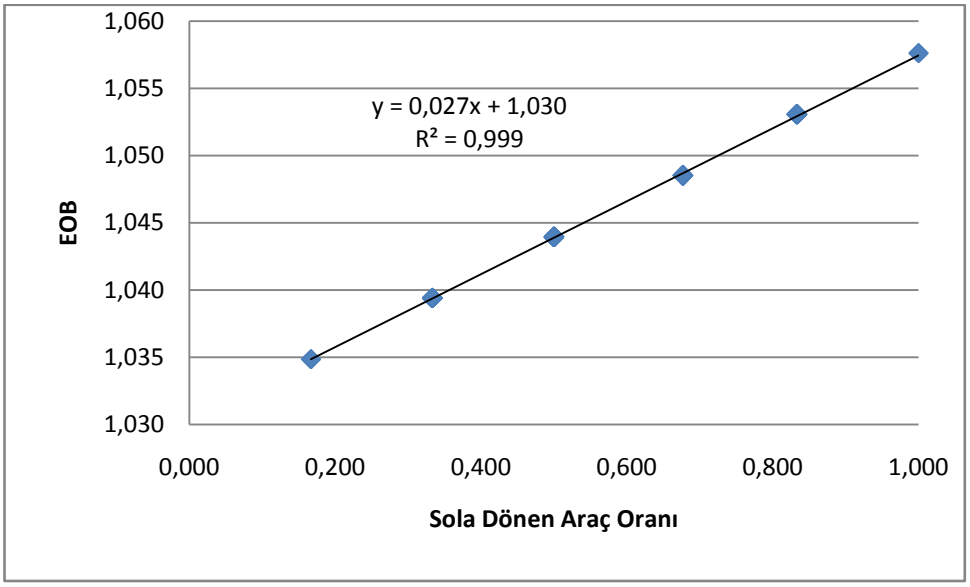
21	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,387	1,049
22	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,387	1,049
23	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,387	1,049
24	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,387	1,049
25	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,387	1,049
26	**69,79658**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	85,387	1,049
27	**69,79658**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	85,757	1,053
28	**69,79658**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	85,757	1,053
29	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,757	1,053
30	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,757	1,053
31	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,757	1,053
32	**69,79658**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	86,128	1,058

Tablo 5.5 Artemis Cad. EOB hesap tablosu (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın doğru giden araç olması durumu)

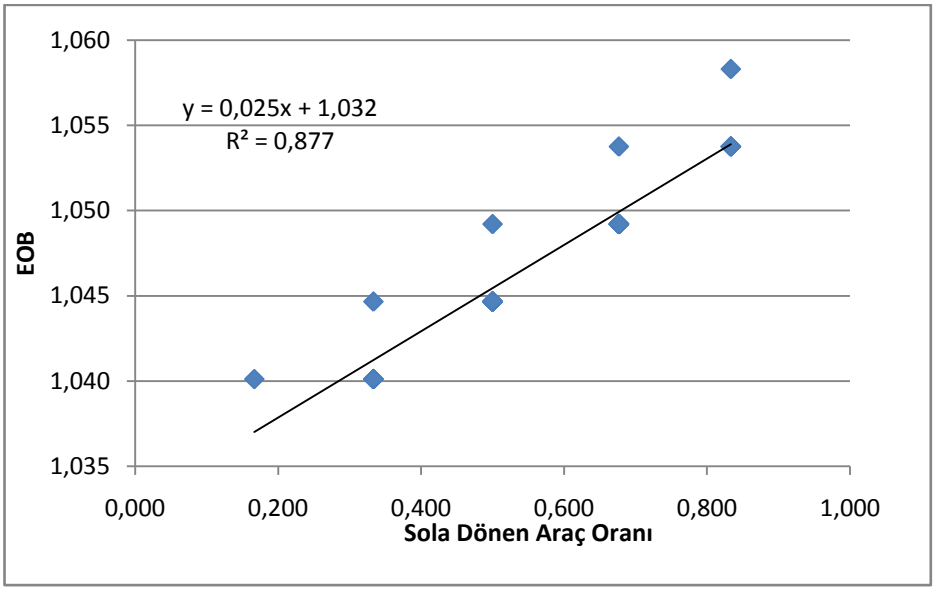
Kuyruk No	**1.Araç**	**2.Araç**	**3.Araç**	**4.Araç**	**5.Araç**	**6.Araç**	**Toplam**	**EOB**
Baz	69,853434	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	81,436	1,000
Sinyal DUR Çizgisinde Duran ilk Aracın Doğru Giden Olması Durumu								
33	69,853434	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	84,702	1,040
34	69,853434	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	84,702	1,040
35	69,853434	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	84,702	1,040
36	69,853434	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	84,702	1,040
37	69,853434	2,8956739	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	84,702	1,040
38	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	85,073	1,045
39	69,853434	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	85,073	1,045
40	69,853434	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	85,073	1,045
41	69,853434	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	85,073	1,045
42	69,853434	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	85,073	1,045
43	69,853434	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	85,073	1,045
44	69,853434	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	85,073	1,045
45	69,853434	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,073	1,045
46	69,853434	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,073	1,045
47	69,853434	2,8956739	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,073	1,045
48	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	85,444	1,049
49	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	85,444	1,049
50	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	85,444	1,049
51	69,853434	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,444	1,049

Tablo 5.5 (Devam)

52	69,853434	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,444	1,049
53	69,853434	**3,266286**	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,444	1,049
54	69,853434	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,444	1,049
55	69,853434	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,444	1,049
56	69,853434	2,8956739	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,444	1,049
57	69,853434	2,8956739	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	85,444	1,049
58	69,853434	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	85,814	1,054
59	69,853434	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	85,814	1,054
60	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	**3,266286**	85,814	1,054
61	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	**3,266286**	85,814	1,054
62	69,853434	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	**3,266286**	2,8956739	85,814	1,054



Şekil 5.6 Cevat Şakir Cad. EOB/sola dönen araç oranı grafiği (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın sola dönen araç olması durumu)



Şekil 5.7 Cevat Şakir Cad. EOB/sola dönen araç oranı grafiği (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın doğru giden araç olması durumu)

Tablo 5.6. Sola dönen araç oranına göre doygun akımdaki değişme

%sola Dönen	EOB1	EOB2	FL1	FL2	B.D.A.		S1	S2
0,00	1,030	1,033	1,000	1,000	1900,00	1900,00	1900,00	1900,00
0,01	1,031	1,033	1,000	1,000	1900,00	1900,00	1899,42	1899,37
0,05	1,032	1,034	0,998	0,998	1900,00	1900,00	1896,99	1896,77
0,10	1,033	1,035	0,997	0,996	1900,00	1900,00	1893,73	1893,31
0,20	1,036	1,038	0,993	0,992	1900,00	1900,00	1886,49	1885,72
0,30	1,039	1,040	0,989	0,988	1900,00	1900,00	1878,29	1877,25
0,40	1,041	1,043	0,984	0,983	1900,00	1900,00	1869,17	1867,93
0,50	1,044	1,045	0,978	0,978	1900,00	1900,00	1859,15	1857,78
0,60	1,047	1,048	0,973	0,972	1900,00	1900,00	1848,26	1846,83
0,70	1,049	1,051	0,967	0,966	1900,00	1900,00	1836,53	1835,12
0,80	1,052	1,053	0,960	0,959	1900,00	1900,00	1824,00	1822,66
0,90	1,055	1,056	0,953	0,952	1900,00	1900,00	1810,71	1809,50
1,00	1,058	1,058	0,946	0,945	1900,00	1900,00	1796,69	1795,67

5.5.3 Otogar Kavşağı Birleştirilmiş Veriler

Artemis Caddesinden gelen akım ile Cevat Şakir Caddesinden gelen akımdan alınan veriler birleştirilip sinyalden çıkan ilk aracın ve onu takip eden araçların tüm

olasılıklarının yer aldığı tabloda işlendiğinde elde edilen Eş Değer Otomobil Birimi (EOB) değerleri incelendiğinde, Sinyalden Çıkan İlk Aracın Sola Dönen Araç Olan Olması durumunda elde edilen EOB değerinin en yüksek 1,053 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.5 te elde edilen EOB değerleri Grafik 5.5 te yerine konulduğunda ve regresyon analizleri yapıldığında lider konumdaki aracın sola dönen araçların Eş Değer Otomobil Değerinin 1,02 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.6 da lider konumdaki aracın doğru giden araç olması durumu göz önünde bulundurularak tüm varyasyonlara göre hesaplamalar yapılmış ve en yüksek EOB değerinin 1,060 olduğu görülmüştür. Sinyalden çıkan ilk aracın doğru giden araç olması durumunda elde edilen EOB değerleri Grafik 5.6 da yerine konulduğunda ve regresyon analizleri yapıldığında ortalama sola dönen araçlar için EOB değerinin 1,04 olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tüm bu veriler eşliğinde sola dönen araçların gecikmeyi %2 ila %4 oranında arttırmak suretiyle etkilediği sonucuna varılmaktadır.

Tablo 5.7 Otogar kavşağı birleşik veriler EOB hesap tablosu (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın solan dönen araç olması durumu)

Kuyruk No	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	5.Araç	6.Araç	Toplam	EOB
Baz	70,130536	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	81,142	1,000
Sinyal DUR Çizgisinde Duran ilk Aracın Solan Dönen Araç Olması Durumu								
1	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	83,373	1,027
2	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	83,789	1,033
3	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	83,789	1,033
4	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	83,789	1,033
5	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	83,789	1,033
6	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	83,789	1,033
7	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	84,204	1,038
8	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	84,204	1,038
9	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	84,204	1,038
10	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	84,204	1,038

Tablo 5.7 (Devam)

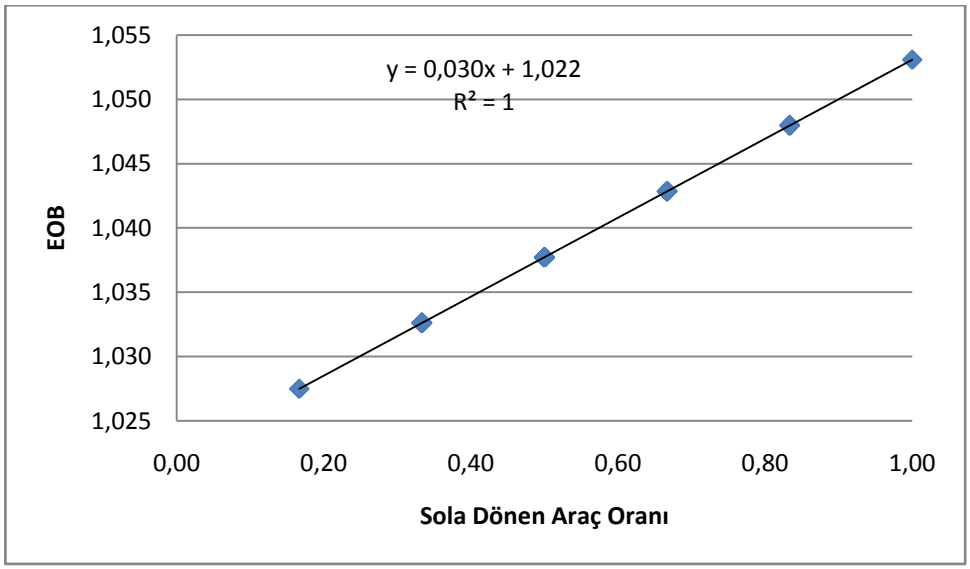
11	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	84,204	1,038
12	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	84,204	1,038
13	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	84,204	1,038
14	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	84,204	1,038
15	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	84,204	1,038
16	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	84,204	1,038
17	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	84,619	1,043
18	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	84,619	1,043
19	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	84,619	1,043
20	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	84,619	1,043
21	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	84,619	1,043
22	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	84,619	1,043
23	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	84,619	1,043
24	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	84,619	1,043
25	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	84,619	1,043
26	**69,60869**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	84,619	1,043
27	**69,60869**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,034	1,048
28	**69,60869**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,034	1,048
29	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	85,034	1,048
30	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	85,034	1,048
31	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	85,034	1,048
32	**69,60869**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,449	1,053

Tablo 5.8 Otogar kavşağı birleşik veriler EOB hesap tablosu (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın solan dönen araç olması durumu)

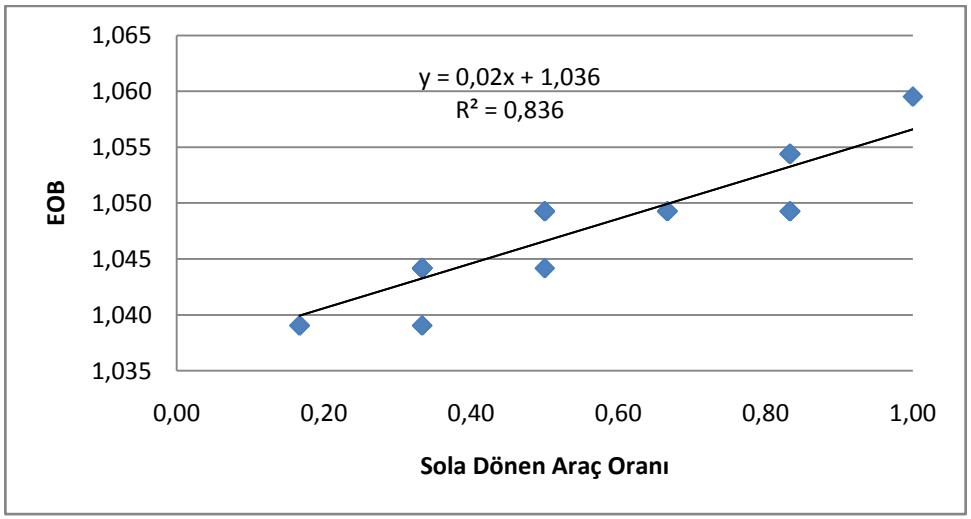
Kuyruk No	**1.Araç**	**2.Araç**	**3.Araç**	**4.Araç**	**5.Araç**	**6.Araç**	**Toplam**	**EOB**
Baz	70,130536	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	81,142	1,000
Sinyal DUR Çizgisinde Duran ilk Aracın Doğru Giden Araç Olması Durumu								
33	70,130536	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	84,310	1,039
34	70,130536	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	84,310	1,039
35	70,130536	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	84,310	1,039
36	70,130536	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	84,310	1,039
37	70,130536	2,7529451	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	84,310	1,039
38	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	84,726	1,044
39	70,130536	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	84,726	1,044
40	70,130536	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	84,726	1,044

Tablo 5.8 (Devam)

41	70,130536	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	84,726	1,044
42	70,130536	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	84,726	1,044
43	70,130536	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	84,726	1,044
44	70,130536	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	84,726	1,044
45	70,130536	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	84,726	1,044
46	70,130536	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	84,726	1,044
47	70,130536	2,7529451	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	84,726	1,044
48	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	85,141	1,049
49	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	85,141	1,049
50	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	85,141	1,049
51	70,130536	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	85,141	1,049
52	70,130536	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	85,141	1,049
53	70,130536	**3,168082**	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	85,141	1,049
54	70,130536	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	85,141	1,049
55	70,130536	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	85,141	1,049
56	70,130536	2,7529451	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	85,141	1,049
57	70,130536	2,7529451	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,141	1,049
58	70,130536	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,556	1,054
59	70,130536	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,556	1,054
60	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	**3,168082**	85,556	1,054
61	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	**3,168082**	85,556	1,054
62	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	2,7529451	85,556	1,054
63	70,130536	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	**3,168082**	85,971	1,060



Şekil 5.8 Otogar kavşağı birleşik veriler EOB/sola dönen araç oranı grafiği (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın doğru giden araç olması durumu)



Şekil 5.9 Otogar kavşağı birleşik veriler EOB/sola dönen araç oranı grafiği (sinyal DUR çizgisinde duran ilk aracın doğru giden araç olması durumu

Tablo 5.9 Sola dönen araç oranına göre doygun akımdaki değişme

%sola Dönen	EOB1	EOB2	FL1	FL2	B.D.A	S1	S2
0,00	1,02	1,04	1,00	1,00	1900,00	1900,00	1900,00
0,01	1,02	1,04	1,00	1,00	1900,00	1899,57	1898,87
0,05	1,02	1,04	1,00	1,00	1900,00	1897,73	1894,17
0,10	1,03	1,04	1,00	1,00	1900,00	1895,17	1887,89
0,20	1,03	1,04	0,99	0,99	1900,00	1889,22	1874,00
0,30	1,03	1,04	0,99	0,99	1900,00	1882,15	1858,40
0,40	1,03	1,04	0,99	0,98	1900,00	1874,00	1841,16
0,50	1,04	1,05	0,98	0,98	1900,00	1864,80	1822,34
0,60	1,04	1,05	0,98	0,97	1900,00	1854,58	1802,03
0,70	1,04	1,05	0,97	0,97	1900,00	1843,37	1780,31
0,80	1,05	1,05	0,96	0,96	1900,00	1831,21	1757,26
0,90	1,05	1,05	0,96	0,95	1900,00	1818,13	1732,98
1,00	1,05	1,06	0,95	0,95	1900,00	1804,20	1707,55

BÖLÜM ALTI
SONUÇ VE ÖNERİLER

Gözlemsel çalışmalar yardımıyla, sola dönen araçların sinyalize kavşak kapasitesi üzerindeki etkisini ifade eden EOB değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmanın bu bölümünde, elde edilen sonuçlar özetlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada sola dönen araçlar için bulunan EOB değerleri, tüm araçların baz durum olarak kabul edilen, sinyal dur çizgisinde bekleyen ilk aracın doğru giden araç olması durumuna göre bulunan EOB değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Bu nedenle, bir aracın kavşak verimliliği ve kapasitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi açısından, araç büyüklüklerinin, araç konumlarının, hızlanma ve manevra kabiliyetlerinin yanısıra manevra eğilimlerinin de etkili olduğu söylenebilir.

Sinyalize kavşaklarda, kırmızı fazda oluşan kuyruklara sola dönen araçların katılmasıyla bu araçların arkasında kalan diğer araçların ilave gecikmelere maruz kaldığı anlaşılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, kavşağa bağlanan her iki cadde için, kuyruk liderinin doğru giden araclardan oluşan ve hep doğru giden araçlardan oluşan kuyruğa sadece bir sola dönen aracın katılması durumunda kuyruktaki araçların ortalama gecikme değerlerinin yaklaşık %4, iki adet sola dönen aracın katılması durumunda %4 ve sola dönen aracların yüzdesinin %50 olması durumunda ise %5 oranında arttığı söylenebilir. Sola dönen araçların neden olduğu bu ilave gecikmeler kavşak tahliye süresini arttırmakta ve dolayısıyla kapasitenin düşmesine neden olmaktadır. Sola dönüşlerin de dikkate alındığı Regresyon yöntemi ile bulunan EOB değerlerinin, bu çalışmada kuyruk liderinin doğru giden olması durumunda kuyruk liderinin sola dönen olmasına nazaran daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun nedeninin sürücü özelliklerinden, araç performansından, yol geometrisinden ve/veya sola dönüşler için ayrı bir şerit bulunmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Regresyon yönteminde sırasıyla kuyruk liderinin sola dönen olması durumu ve doğru giden olması durumu için belirlenen EOB değerleri 1,02; 1,04 olarak hesaplanmıştır.

EOB değerinin, kavşak özelliklerine, araçların kuyruk içerisindeki konumlarına, kuyruk araç kompozisyonuna, dönüş yapan araç hacmine, sürücü özelliklerine, yaya akımına ve hatta araçların performansına göre de değişebileceği söylenebilir. Bu nedenle, kurulacak her sinyalize tesis için özel bir inceleme yapılması önerilmektedir.

Otogar kavşağı, yaya akımının, şehrin ana girişi olan iki adet kavşaktan gelen akımların ve şehrin diğer bölgelerinden gelip Kale, Marina ve Çarşı güzergahına gitmek isteyenlerin kesiştiği tek ve en önemli nokta olması nedeniyle sabırsız sürücüler, kavşakta ışıklı işaretleri gözetmeksizin bazen sarı fazın başlangıcında, bazen de kırmızı fazın sonlarına doğru harekete geçmektedirler .Ayrıca kavşakta, minibüslerin ve servis araçlarının yolcu ve yük indirip bindirmeleri için cep yapılabilecek alan olmadığı görülmüştür.

Çalışmada doğru giden ve sola dönen araçlar gözlenebilmiştir. Sola dönüş yapan araçların, sinyalize kavşak kapasitesine diğer manevra eğiliminde olan araçlara oranla daha fazla etki edebileceği düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda çeşitli kavşaklarda gözlemler yapılmak suretiyle gözlem sayısı da arttırılarak, değişik kavşak geometrilerine göre sola dönen araçların kavşak kapasitesine etkisi incelenebilir. Ayrıca, ülkemiz şartlarına uygun bir simulasyon programı kullanılarak daha çok veri elde edilmesi yoluna gidilmesinin çalışmanın devamının oluşturulması açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akçelik, R. (1981). Traffic signals: capacity and timing analysis. *Australian Road Research Board, Research Report,* 123.

Ayfer, M. Ö. (1977). *Trafik sinyalizasyonu*. Ankara: Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü.

Çalışkanelli, S. P.& Tanyel, S. (2010). Investigation of vehicle bunching at signalized arterials in *Turkey. Canadian Journal of Civil Engineering*, 37 (3), 380-388.

Darroch, J.N. (1964). On the traffic light queue. *Ann. Math. Statist*., 35, 380-388

Gedizlioğlu, E. (1979). *Denetimsiz kavşaklarda yan yol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gedizlioğlu, E.(2002). *Trafik yönetimi ders notları*. İstanbul.

Highway Capacity Manual (HCM). (1985). Transportation Research Board, *Natioanal Research Council, Special Report* 209, Washington D.C.

Hossain, M.(2001). Estimation of saturation flow at signalised intersections of developing cities: a micro-simulation modelling approach, *Pergamon Transportation Research Part A*, Department of Civil Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh,123-141.

Huber, M.J. (1982). *Traffic Flow Theory. Transportation and Traffic Engineering Handbook*, pp. 437-469 Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, New Jersey.

Janssens, R. (1994). Evaluating the performance of a roundabout, CEEC's Training Seminar on Road Development and Safety for Managerial Staff from Central and Eastern European Countries. Brussles. Belgium, October 3-14.

Kutlu, K. (1964). *Trafik tekniği*. İstanbul: İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.

May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Murat, Ş. Y. (1996). *Denizli şehir içi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi.

Murat, Ş.Y. (2001). *Sinyalize kavşaklarda bulanık mantık tekniği ile trafik uyumlu sinyal devre modeli.* Doktora tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Nıttymaki, J., & Pursula, M. (1996). Saturation flows at signal-group-controlled traffic signals. *Transportation Research Record* 1572, Paper No: 970233.

Rouphail, N.,Tarko, A.,&Li, J. (1995). Traffic flow at signalized intersections. *Traffic flow theory in a state of art report*, 9-1 – 9-32.

Salter, F.S. (1974). *Highway traffic analysis and design*. London : Pergamon Press. Sönmez, C. (2005). *Sinyalize kavşaklarda trafik akımının modellenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Tanyel, S. (2001). *Türkiye'deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi.* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Webster, F.V. (1958). Traffic signal settings. *Road Research Laboratory Technical Paper* No. 39, HMSO, London.

Webster, F. V., & Cobbe, B. M. (1966). Traffic signals, *Road Research Technical* Paper No. 56. London: Her Majesty's Stationary Office.

Wilshire, R.L. (1992). Traffic signals. *In Traffic enginnering handbook* (278-309), Institute of Transportation Engineers. New Jersey: Prentice Hall.

Varlıorpak, Ç. (2003). *Trafik I ders notları*. İzmir.

Varlıorpak, Ç. (1982). *Trafik ders notları*. İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Matbaası.

Yayla, N. (2004). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Yayla, N. (1993). *Türkçe-İngilizce karayolu ve trafik terimleri sözlüğü*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.

Zhao, W.,&Benekohal, F.R. (1996). Development of methodology for measuring delay-based passenger car equivalent for heavy vehicles at signalized intersections.Urbana : University of Illinois.