



**T.C. İSTANBUL T CARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN B LİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRÜCÜ VE YAYA DAVRANIŞLARININ KAVŞAK KAPASİTESİNE
ETKİSİ**

Erdal DEM RKAN

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa ILICALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ ANAB LİM DALI
İSTANBUL - 2020**

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

19.02.2020



Erdal DEMİRKAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	4
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
3. TRAFİK AKIMI VE KAVŞAK SİSTEMLERİ.....	10
3.1 Eş Düzey Kavşaklar	10
3.1.1 Eş düzey kavşakların düzenlenmesi ve planlanmasında dikkat edilecek hususlar.....	11
3.2 Eş Düzey Kavşak Türleri	12
3.2.1 Denetimli eş düzey (sinyalize) kavşaklar	12
3.2.2 Denetimsiz eş düzey kavşaklar	18
3.2.3 Dönel kavşaklar	20
4. SİNYALİZE KAVŞAKLARIN VERİM VE KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ....	24
4.1 Genel	24
4.2 Kayıp Zamanlar ve Etkin Yeşil Faz	24
4.3 Doygun Akım ve Doyma Derecesi.....	25
4.4 Sinyalize Kavşaklarda Kapasite.....	31
4.5 Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Değişimi	33
4.6 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyleri	34
4.7 Kapasiteyi Etkileyen Faktörler	37
4.7.1 Geometrik özellikler	38
4.7.2 Trafik özellikleri	38
4.8 Gecikme	39
4.8.1 Sinyalize kavşaklarda gecikme hesabı.....	39
5. KAVŞAKLARDA SÜRÜCÜ VE YAYA DAVRANIŞININ KAVŞAK KAPASİTESİNE ETKİSİ.....	42
5.1 Giriş	42
5.2 Kavşaklarda Kapasiteyi Etkileyen Çevresel Parametreler.....	43
5.2.1 Araçlara ilişkin karakteristik özellikler	44
5.2.2 Sürücü karakteristikleri	45
5.2.3 Yaya karakteristikleri.....	46
5.2.4 Bisiklet karakteristikleri	46
5.2.5 Otobüs ve hafif raylı araç karakteristikleri.....	47
5.3 Davranışların Modellenmesinde Geliştirilen Yöntemler	47
5.4 Kavşaklarda Geri Sayım Savaşlarının Sürücüler Üzerinde Yaptığı Etkiler	52
6. ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN KAVŞAK VE ANALİZLERİ.....	55
6.1 Vissim Benzetim Programı.....	55
6.2 Sürücü Davranış Senaryoları (SDS)	58

6.3 Minibüs Davranış Senaryoları (MDS).....	62
6.4 Yaya Etkisi Senaryoları (YES)	65
6.5 Sistem Performans Göstergeleri	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜRÜCÜ VE YAYA DAVRANIŞLARININ KAVŞAK KAPASİTESİNE ETKİSİ

Erdal DEMİRKAN

İstanbul Ticaret Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ILICALI

2020, 77 sayfa

Yaşam kalitesini etkileyen faktörlerin başında ulaşım gelmektedir. Nüfus ve taşıt sayısındaki hızlı artışların trafikte geçirilen zamanı arttırması teknolojik faaliyetlerin ve hızlı kentleşmenin olumsuzlukları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi için biyolojik, psikolojik ve sosyal açıdan oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan insan incelenerek doğru tasarım ve planlamalar yapılmaya çalışılmıştır. Böylece işlevsellik yönünden isabetli projelerin oluşturulması amaçlanmıştır. Polis ya da ışıklı levhalar yardımıyla oluşturulan sinyalize kavşaklarda da işlevsellik açısından sürücü ve yaya davranışları incelenerek kavşağın etkin kullanımı sağlanmak istenmiştir. Trafikte insan faktörü doğrudan gözlem ile ölçülebileceği gibi matematiksel ve benzetim modellemeleri ile de yapılabilmektedir ancak doğrudan yöntemin zaman, maliyet ve güvenlik açısından zor koşullar içermesi araştırmacıları matematiksel ve benzetim modellemelerine itmiştir. VISSIM, kontrol parametrelerinin monitörden canlı olarak izlenebilme imkanının yanında gerçek değerler kullanılarak elde edilen akım parametrelerinin sanal ortamda üretilebilmesini sağlayan davranış tabanlı bir benzetim modelidir (PTV AG, 2000). Bu çalışmada, trafikte yaya ve sürücü davranışlarının sinyalize kavşaklara etkisi kapasite ve çevre parametreleri dikkate alınarak analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Gecikme süresi, kavşak kapasitesi, sinyalize kavşak, sürücü davranış özellikleri, Vissim.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

IMPACT OF DRIVER AND PEDESTRIAN BEHAVIORS ON JUNCTION CAPACITY

Erdal DEMİRKAN

**Istanbul Commerce University
Institute of Science Sciences
Department of Urban Systems and Transportation Management**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ILICALI

2020, 77 pages

Transportation is one of the main factors affecting quality of life. The fact that the rapid increase in population and number of vehicles increases the time spent in traffic is the disadvantages of technological activities and rapid urbanization. In order to overcome these negativities, human being, which has a very complex structure in terms of biological, psychological and social aspects, has been examined and correct designs and plans have been tried to be made. Thus, it is aimed to create appropriate projects in terms of functionality. In the signalized intersections created with the help of police or lighted signs, it was aimed to ensure the effective use of the intersection by examining the driver and pedestrian behavior in terms of functionality. The human factor in traffic can be measured by direct observation or by mathematical and simulation modeling. However, the fact that the direct method contains difficult conditions in terms of time, cost and security has pushed researchers to mathematical and simulation models. VISSIM is a behavior-based simulation model that enables the realization of current parameters using virtual values as well as the ability to monitor control parameters live on the monitor (PTV AG, 2000). In this study, the effect of pedestrian and driver behavior on traffic on signalized intersections will be analyzed by considering capacity and environmental parameters.

Keywords: Delay time, intersection capacity, signalized intersection, driver behaviour properties, Vissim

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ILICALI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Dr. Fatih GÜNDOĞAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen yüksek lisans sınıf arkadaşlarım Fatih KARAMAN'a ve Ömer Faruk KAYA'ya, İsbak AŞ Etüt Proje ve Ulaşım Planlama Şefliğindeki mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterip, desteğini esirgemeyen sevgili eşim Hüsnîye DEMİRKAN'a, hayatıma değer katan oğlum Taha'ya, kızım Berra'ya ve benden ömrüm boyunca desteğini esirgemeyen annem Ayten DEMİRKAN'a, babam Zekeriya DEMİRKAN'a, kız kardeşim Aslı DEMİRKAN'a, erkek kardeşim Ramazan DEMİRKAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Erdal DEMİRKAN
İSTANBUL, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3-1 Yaya butonu	16
Şekil 3-2 Denetimsiz kavşaklarda araya giriş.....	20
Şekil 3-3 Denetimsiz kavşaklarda öne giriş.....	20
Şekil 3-4 Üç kollu yarım dönel kavşak.....	21
Şekil 3-5 Dört kollu eliptik dönel kavşak.....	22
Şekil 3-6 Dört kollu mini dönel kavşak	23
Şekil 3-7 Modern dönel kavşak.....	23
Şekil 4-1 Sinyalize kavşakta doygun akımın oluşumu	26
Şekil 4-2 Sinyalize kavşakta doygun aralık gelişimi	27
Şekil 4-3 Kavşak tiplerine bağlı olarak kapasite değişimi	33
Şekil 4-4 Duran trafik akımına ait akım-yoğunluk durumu.....	33
Şekil 4-5 İlk harekete başlayan trafik akımına ait akım-yoğunluk durum.....	34
Şekil 4-6 Farklı türlere ait hizmet düzeyleri	35
Şekil 5-1 Kabul edilebilir boşluk kapasitesi	48
Şekil 6-1 Kavşak üzerinde bulunan yaklaşım kollarına göre taşıt dağılımı	57
Şekil 6-2 Her bir yaklaşım kolundaki akım numaraları.....	57
Şekil 6-3 Simülasyon çalışmasından bir kesit	58
Şekil 6-4 Sürücü davranışları sekmesi	59
Şekil 6-5 Araçtan araca iletişim	60
Şekil 6-6 SDS simülasyon sonuçları.....	61
Şekil 6-7 Minibüs davranışları gösterimi	62
Şekil 6-8 MDS simülasyon sonuçları	64
Şekil 6-9 Kırmızı ışık ihlali gösterimi.....	65
Şekil 6-10 YES simülasyon sonuçları	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4-1 Kullanılan şerit ve çevre türleri.....	27
Çizelge 4-2 Kavşaklardaki doymun akım oranları	29
Çizelge 4-3 Doymun akım hesap yöntemleri.....	31
Çizelge 5-1 Farklı araç tipleri için tipik motorlu taşıt özellikleri.....	45
Çizelge 6-1 Her bir yaklaşım kolundaki taşıt hacimleri.....	58
Çizelge 6-2 Mevcut durum ile optimum senaryonun karşılaştırılması	68
Çizelge 6-3 Elde edilen toplam fayda	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO	Karbon Monoksit
EGM	Emniyet Genel Müdürlüğü
HCM	Highway Capacity Manual
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
JGM	Jandarma Genel Müdürlüğü
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
MDS	Minibüs Davranış Senaryosu
MNB	Minibüs
NO	Azot Oksit
SDS	Sürücü Davranış Senaryosu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UYM	Ulaşım Yönetim Merkezi
V2V	Vehicle to Vehicle
YES	Yaya Etkisi Senaryosu

1. GİRİŞ

İnsan, taşıt ve eşyanın amaçlarına yönelik yer değiştirmesi veya bunun sağlanması anlamına gelen ulaşım, kişileri hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkileyen bir hizmet türüdür. Bu hizmetin ihtiyaç olduğunda kullanılması için depolanması mümkün olmadığından üretimi ile insanın kullanımına sunulması aynı anda olmaktadır. Ulaştırma işletmelerinde insanların ihtiyacını karşılamak amacıyla sunulan hizmet maliyeti, hizmetin sağlanması sürecinde gerçekleşen sabit ve değişken maliyetlerin toplamı olarak tanımlanabilmektedir Gross vd. (2006). Ulaşım ihtiyaçlarının belirlenmesi ve planlaması için gereken maliyetleri minimize eden doğru bir analiz gerek sektörler gerekse ülke ekonomisine olumlu yönde etki eden önemli bir parametredir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte nüfus ve şehirleşmenin artması trafiği ekonomik, güvenli ve hızlı biçimde düzenleme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda ulaşım ve trafik mühendisliği adında iki kavram karşımıza çıkmaktadır. Kara, hava, deniz gibi ulaşım türlerini planlama, tasarlama ve yönetme alanında çalışan ulaşım mühendisliği bilimsel çalışmaları kullanarak ihtiyaç ve çevreye uyumu dikkate alan çalışmalar yapmaktadır. Trafik mühendisliği ise yolların, caddelerin otoyolların veya yol ağlarının planlanması, geometrik tasarımı ve trafiğin düzenlenmesini ve diğer ulaşım türleri ile ilişkisini içermektedir (Murat, 2012). Trafik planlamasında güvenlik, konfor ve kapasite kullanımı dikkate alındığından mevcut yöntemler incelenirken yeni yöntemler de araştırılmakta ve uygulama çalışmaları yapılmaktadır.

Trafiğin mikro uygulaması olan kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ve ayrılması ile oluşan ortak alanlardır. Bu alanlar hem insan hem de taşıt yoğunluğunun fazla olduğu yerlerdir. EGM ve JGM verilerine göre 2018 yılında yerleşim yeri içinde 139.922 kaza gerçekleşmiştir. Bu kazaların %39,24'ü kavşaklarda gerçekleşmişken yerleşim yeri dışında gerçekleşen 186.532 kazanın %14,18'i kavşaklarda meydana gelmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018). Bu oranlar kavşakların planlamasında en küçük detayların dahi incelenerek planlamanın yapılması gerektiğini ortaya

koymuştur. 15 milyonun üzerinde nüfusa sahip olan İstanbul'da karayolu taşımacılığının toplam taşımacılığın yaklaşık %90'ını oluşturduğu düşünüldüğünde kavşakların öneminin daha fazla ortaya çıktığı görülmektedir.

Kavşak planlaması yapılırken ele alınması gereken en önemli parametrelerden biri sürücü davranışlarıdır. Davranış, bir organizmanın belli bir ortamdaki tepkilerine, bireyin içinde bulunduğu doğal ya da toplumsal ortamın uyarılarına tepki gösterme, yanıt verme biçimine verilen addır (Cevizci, 1996). Dolayısıyla davranış sadece organizmanın bilinçli hareketleri değil, aynı zamanda onun gözlenebilen veya içsel dünyasında yaşadığı tüm duygulanma, hissetme, algılama, kavrama, düşünme, hznlenme, merak etme gibi tüm bilinçli zihinsel, bilişsel ve duygusal etkinlikleridir (Cüceloğlu, 1992). Davranışı bütün bu etkilerini dikkate alarak inceleyen bilim olan psikolojinin birçok alt bilim dallarından biri de trafik psikolojisidir. İnsanı trafik ortamında tüm yönleriyle ele alan kuramsal ve uygulamalı bir bilim olan Trafik Psikolojisi, yaya ve sürücülerin trafikteki davranışlarının altında yatan psikolojik süreçleri inceler.

Sanayileşme ile birlikte kentlerdeki nüfus artışı ve buna bağlı olarak taşıt sayısının artması ulaşımı olumsuz etkilemiş ve bir sorun haline getirmiştir. Bu sorun maddi ve manevi büyük kayıpların yaşanmasına sebep olmuştur. Son on yılda meydana gelen kazalarda sürücü, yaya ve yolcuları kapsayan insan faktörünün etkisinin %98 olduğu geri kalan kısmın ise taşıt ve yol kusurundan kaynaklandığı tespit edilmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018). İnsan faktöründen kaynaklanan bu kazaların nedenlerini araştırıp czm nerileri oluşturmak trafik psikolojisinin başlıca konusunu oluşturmaktadır. Sürücüleri, beceri ve stil başlıklarında inceleyen trafik psikologları, beceri düzeyini bilişsel ve psiko-motor alanında analiz ederken, sürücülük stillerini duyuşsal alanda incelemektedirler. Ülkemizde yapılan bir çalışmada sürücülük becerisi yüksek olan ancak hız ihlali yapma, yeterli takip mesafesi bırakmama gibi davranışları nedeniyle güvenli sürücülük stiline sahip (agresif) olmayan sürücülerin daha fazla kaza yaptıkları ve ceza aldıkları bulunmuştur (Sümer ve zkan, 2002). Başka bir çalışmada ise hız ihlali nedeniyle ehliyeti alınmış sürücülerin, alkol

nedeniyle alınmış sürücülere oranla bilişsel ve psiko-motor testlerde daha başarılı olduklarını belirtmişlerdir. Bu bulgular sürücülerin hız davranışlarının altında bilişsel ve motor yetersizliklerden çok kişilik özelliklerinin, trafik kurallarına ilişkin tutum ve inançların yattığını düşündürmektedir (Amado vd. 2004).

Trafik hacimleri, doymun akım değeri, faz sayısı, faz planları ve minimum süreler kavşaklardaki performans analizlerindeki giriş parametrelerini oluşturmaktadır. Bu parametrelerin tespiti doğrudan saha çalışması ile yapıldığından oldukça yüksek maliyetleri ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle alternatif bir yol olan matematiksel yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda Webster, Akçelik ve HCM yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Kavşak sistemlerindeki başarımın değerlendirilmesi için kullanılan matematiksel modellemeler, trafik unsurlarında zamanla meydana gelen büyük değişimler nedeniyle hem daha fazla zaman hem de daha yüksek maliyetlere sebep olmuştur. Bu olumsuzlukları gidermek için simülasyon programları geliştirilerek güvenli bir ortamda daha hızlı fakat düşük maliyetli dönütler elde edilmek istenmiştir. VISSIM, bu simülasyon programlarından biridir. Kavşağın geometrik düzenlemesi, trafik hacim artışı, taşıt sayısı, parklanma, toplu taşıma güzergahı ve durak yerleri, sinyal süreleri, arterin ortalama hızı gibi veriler elde edilir. Kavşağın mevcut çalışma şeklini tespit etmek için kullanılan bu veriler, oluşturulan yeni tasarım ve senaryoların bugün ve gelecekteki durumunu gözlemlemeyi sağlamaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Ulaştırma, maliyeti yüksek olan sektörlerin başında gelmektedir. Ulaştırma türleri içinde karayolu maliyetleri; yol yapım maliyeti, kaplama maliyeti, yol bakım maliyeti, yol kullanıcı maliyeti ve diğer maliyetler adı altında karşımıza çıkmaktadır. Bu maliyetleri en aza indirmek için doğru bir planlama yapmak gerekmektedir. Hem geleneksel yöntemler hem de benzetim programları,

tasarımı yapılan hizmeti farklı açılardan inceleyerek maliyetleri minimize etmeyi hedefleyen sistemlerdir.

Bu çalışma; Webster, HCM ve Akçelik matematiksel yöntemleri ile Vissim benzetim modelini kullanarak sinyalize kavşaklarda insan faktörünün kavşak başarımındaki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda Vissim programında çeşitli senaryolar oluşturulmuş ve incelemesi yapılmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde ulaşım, trafik, kavşak ve insan faktörleri genel olarak değerlendirilip konunun amacı ve kapsamına yer verilmiştir.

İkinci bölümde trafik akımlarının aynı düzlemde birleştiği yerler olan kavşaklar, eş düzey kavşak başlığında incelenmiş, söz konusu kavşakların düzenlenmesi ve planlanmasına ilişkin faktörler üzerinde durulmuştur. Taşıt hareketlerinin polis, otomatik veya zamana bağlı ışıklı işaret sistemleri aracılığıyla yönetildiği denetimli (sinyalize) kavşaklar ile taşıt hareketlerinin ışısız trafik levhaları ile düzenlendiği denetimsiz (sinyalize olmayan) kavşaklar incelenmiştir. Ayrıca gerek kent içi gerekse kent dışı yollarda hız, güvenlik ve taşıt parametrelerinin kontrolünün daha etkin sağlandığı dönel (yuvarlak ada) kavşaklara da değinilmiştir.

Üçüncü bölümde ise sinyalize kavşakların verim ve kapasitelerinin belirlenmesinde önemli parametreler olan etkin yeşil faz, doymuş akım ve gecikme sürelerinin matematiksel hesaplamaları üzerinde durulmuştur. Kapasiteyi etkileyen faktörler ise geometrik ve trafik özellikleri kapsamında incelenmiştir.

Trafik ortamını oluşturan parametrelerin ortak noktası biyolojik, psikolojik ve sosyal yapısı gereği oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan insandır. Webster,

HCM ve Akçelik modellemeleri kullanılarak hem yaya hem de sürücü davranışları dördüncü bölümde ele alınmıştır.

Beşinci bölümde trafik benzetim programlarından Vissim tanıtılarak sinyalize kavşaklarda sürücü davranışları, agresiflik yönünden oluşturulan senaryolar çerçevesinde incelenmiştir. Burada bahsedilen agresiflik kavramı; sürücünün taşıt izleme mesafesinin diğer sürücülere kıyasla daha kısa, şerit değiştirme özelliğinin iyileşmesi ve olaylara karşı intikal reaksiyon süresinin daha kısa olmasıdır. Dolayısı ile trafik akımı üzerindeki etkisinin olumlu olması durumunu ifade etmektedir. Toplu taşımada kullanılan ticari minibüslerin kavşak yaklaşım kollarındaki beklemelerinin kavşak kapasitesine etkisi ise minibüs sayıları artırılarak oluşturulan dört senaryo ile analiz edilmiştir. Ayrıca kırmızı ışık ihlali yapan yayaların sinyalize kavşakta neden olduğu durumlar tasarlanan senaryolar kapsamında ele alınmıştır. Analizde yaya ve sürücü davranışları, gecikme ve durma süreleri ile taşıt hızı dikkate alınarak toplam gecikme ve seyahat süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca taşıt emisyon değerleri tespit edilerek çevreye etkisi incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise simülasyon programında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş eksikliklerin giderilmesi için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ulaşım hizmetinin depolanamayan bir hizmet olmasına vurgu yapılmış ve ulaşım maliyetlerini oluşturan maliyetlerin neler olduğu ele alınmıştır Gross vd. (2006).

Ulaşım ve trafik mühendisliği kavramları ele alınmıştır. Her iki kavramın da birbirleri ve konu ile alakalı ilişkileri incelenmiştir (Murat, 2012).

Kavşak planlamasında dikkat edilmesi gereken parametreler ele alınmıştır. Bu parametreler arasında en önemli etkilerden birini sürücü davranışlarının oluşturduğu vurgulanmıştır. Davranış olgusunun ne olduğu ve nasıl olduğundan söz edilmiştir (Cevizci, 1996).

Davranışın psikolojik olarak tanımlaması yapılmıştır (Cüceloğlu, 1992).

Trafik psikolojisine değinilmiştir. Trafik psikolojisinde sürücülerin bilinçli ve/veya bilinçsiz yaptıkları hareketleri ve bu hareketlerin neticeleri incelenmiştir. Kurallara uymayan, takip mesafesi ve hız gibi konularda güvenli sürüş sergilemeyen kişilerin daha yüksek kaza oranlarının olduğunu tespit eden bir çalışma ortaya konulmuştur (Sümer ve Özkan, 2002).

Hız ve alkol nedeniyle ehliyetine el konulan sürücülerin psiko-motor teste tabi tutulduğu bir çalışma yapılmıştır. Test sonucunda hız nedeniyle ehliyetine el konulan sürücülerin daha başarılı olduğuna vurgu yapılarak hız davranışlarının kişilik özelliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Amado vd. 2004).

Trafik mühendisliğinde kavşak teriminin ne olduğu açıklanmıştır. Kavşak türleri belirtilmiş ve denetimli kavşaklarda, kavşak türüne göre denetimin nasıl yapılması gerektiği ele alınmıştır. Ayrıca kavşaklarda sinyalizasyon ve uygulama yöntemleri belirtilmiştir. Sinyalizasyonun gerekliliği ve olumlu, olumsuz yönleri ele alınmıştır (Alçelik, 2010).

Kavşak noktalarının dünya genelinde trafiğe olan etkileri belirtilmiştir. Trafikte hem en yoğun noktaların hem de kazaların en çok meydana geldiği noktaların yolların kesişimi olan kavşak noktalarında meydana geldiği belirtilmiştir (Gedizlioğlu, 1979).

Kavşak noktaların önemi vurgulanan çalışmada, kavşak tipleri ve tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar ele alınmıştır (Çalışkanelli, 2010).

Kavşak ve kavşak türleri tanımlanmıştır. Kavşak kurulumunda dikkat edilmesi gereken husus ve kriterler ortaya koyulmuştur. Kavşakların türüne göre hangi yollarda uygulanabileceği ve uygulanan kavşağın türü ile uygulandığı yola bağlı olarak ortaya çıkabilecek etkiler belirtilmiştir (Yayla, 2004).

Sinyalizasyon sisteminin hiç uygulanmadığı kavşaklarda oluşan olumsuz durumlar ele alınmıştır (Ayfer, 1977).

Sinyalizasyon sistemleri izole ve koordine sinyalizasyon sistemleri olarak iki grupta incelenmiş ve özellikleri, olumlu-olumsuz etkileri belirtilmiştir (Dülger, 2009).

Progresif sistemi verimli olarak işletebilmek için taşıtların grup (küme) biçiminde hareket edebilmesi ve grup hızının arter boyunca korunması önemlidir. Literatürde bu sistemleri tasarlamak ve etkin biçimde işletmek amacıyla geliştirilmiş çeşitli yöntem ve yazılımlar ele alınmıştır (Asya Trafik, 2019).

Yan yollardan kavşağa doğru yaklaşan bir sürücünün, kavşakta üç tip manevra yapabileceği belirtilerek bu manevralar hakkında bilgi verilmektedir (Varlıorpak, 2003).

Kayıp zamanlar, etkin yeşil faz, doygun akım ve doyma derecesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

Doygun akımın, trafikteki süreci ve meydana gelişi grafiksel olarak gösterilmiştir (Bester ve Meyers, 2007).

Doygun akım konusu ele alınarak bir bağıntı ortaya konulmuştur (Webster ve Cobbe, 1966).

Çeşitli anket tekniklerini uygulayarak, son otuz yılda Sırbistan'da sinyalize kavşaklarda doyumluk akış hızı olgusunu incelemiş ve sonuçlarının sentezlenmesi araştırılmıştır (Stanić vd. 2011).

Sinyalize bir kavşakta kırmızı işaret ile duran bir akım için, yeşil ile harekete geçmeden önce, dur çizgisinin gerisindeki ve ilerisindeki yoğunluk durumu incelenmiştir (Homburger vd. 1982).

Genellikle sürücü davranışının, kapasitenin ana belirleyicisi olduğu göz ardı edilmektedir. Kapasite ile sürücü tepki süresi, sıkışma aralığı ve doyumluk hızı gibi davranış parametreleri arasında doğrudan bir ilişki olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Akçelik, 2008).

Sinyalize kavşaklarda, sürücü ve trafik davranışları yoğunlukla sinyal fazlarının geçişlerinde, örneğin sarı veya yeşilin başlangıcı ile ilgilidir. Karar verme ve trafik akış varyasyonları, sinyal fazlarının geçişlerinde karmaşıktır. Güvenlik ve verimlilik sorunları da bir sinyal döngüsündeki bu süreçlere odaklanmıştır. (Yang, 2012).

1950'lerde Webster, önceden zamanlanmış yalıtılmış kavşak işlemleri üzerine bir dizi deneyler yapmıştır (Cheng vd. 2003).

Geri sayım sayaçlarının kapasitesi üzerinde “az etkisi” olduğunu ancak Malezya'da kırmızı ışık geçiş ihlallerinin sayısını yüzde 50 oranında azalttığını tespit etmiştir (Kidvai vd. 2005).

Geri sayım zamanlayıcılarının sürücünün durdurma eğilimini azalttığını, ikilem bölgesini 28 metre uzattığını ve yeşil fazın sonunda daha yüksek geri dönme çarpışma oranlarına yol açtığını tespit etti. Geri sayım sayaçları başlangıç süresini ve doymuş akışı azaltmasına rağmen önemli bir güvenlik artışı gözlenmemiştir. (Chiou ve Chang, 2010).

Geri sayım zamanlayıcılarının başlangıç kayıp süre üzerinde sınırlı bir etkisi olmakla birlikte, kuyruk boşaltma oranının iyileştirilmesinde önemli etkide olduğu saptanmıştır. İlginç bir şekilde, geri sayım zamanlayıcılarının kurulumundan sonra kırmızı ışık ihlallerinin sıklığının arttığı gözlemlenmiştir. (İbrahim vd. 2008).

Geri sayım sayaçlarının kavşaklar üzerinde zamana bağlı etkilerini inceledi. (Lum ve Halim, 2006).

Bangkok'ta geri sayım sayaçları yaklaşık bir saniye kadar başlangıç kayıp zamanını azalttığı sonucunu elde etmiştir, aynı zamanda az bir miktar kavşak kapasitesini arttırdığını gözlemlemiştir (Limanond vd. 2009).

Geri sayım sayaçlarının ilerleme dağılımı üzerindeki etkisini incelemiştir (Sharma vd. 2009).

Bir geri sayım zamanlayıcısına benzer şekilde işlev gören, yanıp sönen bir sarı sinyalin etkilerini incelemek için bir sürüş simülatörü kullanmış ve sonuçları incelenmiştir (Newtonvd, 1997).

3. TRAFİK AKIMI VE KAVŞAK SİSTEMLERİ

3.1 Eş Düzey Kavşaklar

Trafik akımlarının farklı doğrultularda olması, karayolu yolu ulaştırma sistemlerinin alt yapısını oluşturmaktadır. Her ne kadar akımlar farklı yönlerde olsa dahi birlikte kullanılması gerektiği yerlere ihtiyaç doğmaktadır. Bu ihtiyacın karşılandığı alanlara kavşak adı verilmektedir. Eğer kavşaklar farklı yükseklik düzeylerinde ise bu tür kavşaklara katlı kavşaklar, aynı düzeyde seyir gösteriyorsa eş düzey kavşaklar olarak adlandırılmaktadırlar.

Kavşak alanı olarak tabir edilen bölge, kavşağa giden yollardaki geometri değişiminden başlayarak çıkışındaki yolların geometrik değişimlerinin bittiği yerlerin sınırladığı alanı teşkil etmektedir. Bu alan içerisinde kavşağa gelen yollar genel olarak 3 veya 4 kollu olmaktadır (Alçelik, 2010).

Kavşaklar, birçok tasarım hesaplarına konu olduğundan dolayı çok kritik bir öneme sahiptir. Kavşaklar sadece iki akımın birleşmesinden değil bunların dönüşlerini de içeren alanlar olarak bilinirler.

Kavşakların oluşturduğu bölgeler, karayolu bütünlüğünde bakıldığında en güvensiz, gecikmelerin en yoğun yaşandığı, trafiğin en çok meşgul olduğu ve hatta en çok trafiğin durma noktalarıdır (Gedizlioğlu, 1979). İstatistikler göstermektedir ki dünya ülkelerinin çoğunda, şehirlerarası veya şehir içi yollarda trafik kazalarının yaklaşık yarısı, birden fazla yolun birleşimi veya kesişimi yüzünden oluşan eş düzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Bir başka gösterge, trafikte oluşan gecikmelerin ve zaman kayıplarının %70 inden fazlası yine eş düzey kavşaklarda meydana gelmektedir (Çalışkanelli, 2010).

3.1.1 Eş düzey kavşakların düzenlenmesi ve planlanmasında dikkat edilecek hususlar

Eş düzey kavşak tasarımları, özellikle kavşak alanlarındaki topoğrafik durum, görüş mesafeleri, kavşak yapım maliyeti, kavşağı oluşturan yolların eğimleri ve birleşme açıları konularında oldukça önemlidir. Bu sebeplerle, eş düzey kavşaklar, çevre koşulları ile uyum gösterecek, tesis ve bakım masrafları az olacak, buna karşılık yüksek kapasite sağlayacak şekilde planlanıp inşa edilmelidir (Çalışkanelli, 2010).

Kavşak planlamasında dikkat edilmesi gereken hususlar (Yayla, 2004) tarafından aşağıda belirtilmiştir;

- “Planlama sırasında, kavşağa girecek sürücülerini şaşırtacak karışık düzenlemelerden kaçınılmalıdır. Sürücü, diğer yollardan gelen taşıtlar ile bu taşıtların hangi yönlerde 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”.

- “Eş düzey 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 yarı çapları yeterli olmaktadır. Dönüşlerde, taşıtların diğer şeride taşmaması için kavşağın bulunduğu şeritlerde genişletme yapılabilir.”

- “Farklı yollardan kavşağa yaklaşan taşıt sürücülerini 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, yan yolun kavşağa birleşen yerine “DUR” veya “YOL VER” işaretleri konulmalı, ayrıca kaplama üzerine “DUR” çizgisi çizilmelidir.”

- “Kapasite ve özellikle güvenlik açısından eş düzey kavşaklarda işaretleme ve aydınlatmaya özel önem verilmelidir.”

3.2 Eş Düzey Kavşak Türleri

Farklı istikametteki trafik akımlarının ortak olarak kullandıkları yol alanına eş düzey kavşak denilir (Yayla, 2004).

Eş düzey kavşakları (Alçelik, 2010), 3 grupta incelemiştir:

1. Denetimli eş düzey (sinyalize) kavşaklar
2. Denetimsiz eş düzey kavşaklar
3. Dönel Kavşaklar

3.2.1 Denetimli eş düzey (sinyalize) kavşaklar

Denetimli eş düzey kavşaklar isminden de anlaşılacağı üzere polis veya ışıklı işaret sistemleri eşliğinde yönetilmektedir. Bu tür kavşaklarda denetim üç şekilde yapılabilir (Alçelik, 2010);

El ile kumanda: Yetkili bir görevli tarafından idare edilen denetim türüdür.

Otomatik ışıkla kumanda: “Kavşağa yaklaşma yönünde belli bir uzaklığa yerleştirilen, trafik sayımlarında kullanılan sayaçlara benzer detektörlerle kumanda sağlanır. Taşıt kavşağa gelirken, tekerleğin detektöre yapacağı basınç ya da çökme etkisi bir kondansatörü şarj eder ve araç, taşıtın hızına göre kavşağı geçme süresince o yöndeki yeşil ışığı açık tutar. Bununla beraber, diğer yönlerdeki taşıtların gereğinden fazla beklememeleri için yeşil ışık süresi sınırlıdır” (Alçelik, 2010).

Zamana bağlı ışıkla kumanda: “Denetimli kavşaklarda en sık kullanılan denetim şekli olup, yeşil, sarı ve kırmızı sürelerin kavşağı kullanan taşıt hacmi değerlerine bağlı olarak ayarlanmasıyla gerçekleştirilir” (Alçelik, 2010).

“Sinyalizasyon sistemleri olarak da adlandırılan ışıklı işaret tesislerinin amacı, kavşak noktasında kontrolü sağlayarak kaza ihtimalini azaltmak ve amaçlanan kapasiteyi elde etmek için trafik akımlarının birbirini kesmeden ya da

birbirlerini takiben geçmelerini minimum gecikme ile sağlamaktır” (Alçelik, 2010).

Sinyalizasyon sistemleri trafik akımlarının daha düzenli hale gelmesini sağlamak, daha güvenilir hale getirmek, kullanıcıların daha konforlu bir yol deneyimi tecrübe etmelerini sağlamak amacı ile kullanılmak istenirse de olumsuz yönleri de vardır. Bu olumsuz yönleri (Alçelik, 2010), şu şekilde sıralamıştır;

- “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”

3.2.1.1 Sinyalizasyon sisteminin oluşturulması

Kavşaklar birden fazla trafik akımının birleştiği ve araçların akımlar arası geçiş yapabildiği yerler olduğundan bu geçişlerin kontrollü olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için sinyalizasyon sistemlerinin büyük önemi vardır. Kavşaklarda trafik akımlarının hangi sıra ile geçişini sağlaması gerektiğini ışıklı sistemler ile sağlandığı kavşaklara sinyalize denetimli kavşaklar denilmektedir.

Bu tür kavşaklar, trafik yoğunluğunun fazla olduğu yollarda kullanılır ve düzenli bir akım elde edilebildiğinden kapasitenin de yanında güvenliği de artmaktadır. Trafik akımlarında sinyalizasyon sistemleri ile bir düzenin sağlanmasıyla yanıl çarpma trafik kazalarında da büyük oranda azalma görülür. Bu tür kavşaklarda meydana gelen kazalar genel olarak takip mesafesini koruyamayan sürücülerin karşıdaki araçlara arkadan çarpması gibidir. Bu tür kazalarda da hız farklarının çok olmadığından dolayı tehlike açısından daha düşüktür (Yayla, 2004).

Sinyalizasyon sistemlerinin kullanılma amacı, kavşaklarda kontrollü geçişleri sağlamak ve meydana gelebilecek trafik kazalarını ve gecikmeleri en aza

indirmektir. Bu amaca ulaşmak için doğru bir sinyalizasyon sistemi kullanmak çok önemlidir. Uygun olmayan ve gerekli kurallara göre tasarlanmayan sinyalizasyon sistemleri, yapılış amacına ters düşerek olumsuz durumlara yol açabilir.

Sinyalizasyon sistemlerinin hiç olmadığı kavşaklarda oluşan olumsuz durumlar (Ayfer, 1977) tarafından aşağıdaki gibi listelenmiştir;

- “Yan yoldan kavşağa katılmak isteyen araçlar, gerekli zaman boşluklarını bulamamakta, 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”.

Sinyalizasyon sistemlerinin kullanılması ile yukarıda bahsedilen durumlar engellenir, ayrıca genel olarak ulaşımı daha güvenli kılar, kapasitesini artırır, gecikmeleri en aza indirir ve bunların dışında azalan trafik yükü ile de çevreye verilen rahatsızlıklar (ses, gaz vb.) indirgenmiş olur.

3.2.1.1.1 Sinyalizasyon sistemi

Trafikte sinyalizasyon sistemleri iki grupta incelenmekte olup bu gruplar; izole sinyalizasyon sistemleri ile koordine sinyalizasyon sistemleridir (Dülger, 2009).

i. İzole sinyalizasyon sistemleri

İzole sinyalizasyon isimli sistemler genellikle yakın çevresindeki kavşaklar ile hiçbir bağı olmayan ve hiçbir şekilde diğer kavşakları etkilemeyen, kısaca kendi kavşağı dışındaki çevreden izole olarak faaliyet gösteren

sinyalizasyon sistemleridir. (Dölger, 2009), tarafından yapılan çalışmada aşağıda izole sinyalizasyon sistem çeşitleri verilmiştir.

- Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi; bu tür sistemlerde karayolu sinyalizasyon isminden de anlaşılacağı üzere sabit ve önceden programlanmış zamanlara göre çalışır, geçiş sıralamaları ve zamanlamalar bu ayarlanan programa göre yürür.
- Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi; bu tür sinyalizasyon sistemlerinde araçların geçiş esnasındaki düzenleri, hızları ve geçiş süreleri, çeşitli alıcılar tarafından algılanan trafik yoğunluklarına göre programlanmaktadır.
- Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi; Yaya geçiş yoğunluğu belirli olmayan ve değişken olan, yollardaki yaya geçişlerinde kullanılan sinyalizasyon sistemidir. Geçiş, bir buton yardımı ile sağlanır. Bu sistemin amacı, yaya yoğunluğunun az olduğu durumlarda araçlara daha fazla geçiş imkânı vermesidir. Aşağıdaki şekilde örnek bir yaya butonu gösterilmiştir(Şekil 3-1).
- El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi: bu tür sistemler sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi olarak yapılmış ancak bazı durumlarda trafik yoğunluğunun normalden fazla olduğu kavşaklarda kullanılmaktadır. Bu sistem trafik ve yaya uyarmalı sistemlere benzemektedir fakat müdahale gerektiği durumlarda kullanılabilir. Genellikle protokol yollarında bu tür sistemler kullanılır.



Şekil 3-1 Yaya butonu (İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Yönetim Merkezi (UYM), 2017)

ii. Koordine sinyalizasyon sistemleri

Koordineli sinyalizasyon sistemleri, genellikle anayollarda olan ve birbirine yakın birden daha fazla kavşağın birbirine bağlar. Bu tür sistemler ile birbirine bağlanan kavşaklar, birbirleri ile koordineli olacaklarından taşıtlara daha az dur-kalk yaptırarak akış verimliliğini yükseltmektedirler.

- Senkronize Sistem: Koordineli bu sistem türünde anayol üzerinde birbirine bağlı tüm kavşaklar için aynı ışık sinyal süresi tanımlanır.
- Alternatif sistem: Alternatif sistemlerde aynı senkronize sistemler gibi anayollar üzerinde bulunan kavşaklardan ardışık olanlara zıt ışık sinyalleri gönderilmektedir. Bu sistemdeki amaç, taşıtların bu iki kavşak arası mesafeyi ışık süresinin yarısı kadar bir sürede almasını sağlamaktır.

- Progresif sistem: “Bu sistemde arter üzerindeki bütün kavşaklarda ışıklı sinyallerin devre süreleri aynı olmakla birlikte, gerekli yeşil süreler proje hızına uygun olarak seyreden bir taşıtın bütün kavşaklardan takılmadan geçebileceği biçimde ayarlanmıştır. Progresif sistemler, önceden belirlenen bir hızda beraberce hareket eden taşıtların, arter üzerindeki tüm kavşaklardan beklemeden veya minimum gecikme ile geçebilmesine imkân tanımayı hedefleyen sistemlerdir. Bu sistemin yaygın olarak bilinen ve kullanılan diğer bir ismi ise Yeşil Dalga Koordinasyon Sistemi’dir. Bu sistemlerde kavşaklar arasındaki eşgüdümü (koordinasyon) sağlamak amacıyla önceden seyahat süreleri ve hızlar ölçülür. Daha sonra taşıtların hızlarına göre, trafiğin hareket yönü için, bir önceki kavşağa göre bir sonraki kavşakta yeşil sinyalin başlangıç süresi (ofset) belirlenir. Kavşaklarda önceden yapılan ölçümlere göre trafik hacmi açısından en fazla yoğunluğa sahip olan kavşaklar tespit edilir ve sistem bu kritik kavşak dikkate alınarak tasarlanır. Progresif sistemleri tek yönlü olarak etkin biçimde tasarlamak, çift yönlü tasarıma göre daha kolaydır. Progresif sistemi verimli olarak işletebilmek için taşıtların grup (küme) biçiminde hareket edebilmesi ve grup hızının arter boyunca korunması önemlidir. Literatürde bu sistemleri tasarlamak ve etkin biçimde işletmek amacıyla geliştirilmiş çeşitli yöntem ve yazılımlar mevcuttur” (Asya Trafik, 2019).

3.2.1.2 Sinyalize kavşaklar ile ilgili bazı tanımlar

Aşağıda (Alçelik, 2010)’e ait çalışmada yapmış olduğu bazı tanımlara yer verilmiştir.

Faz: “Kavşakta en az bir akıma geçi 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 geçi 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: “Bir devre süresi boyunca devre süresini etkileyen taşıt akımlarını yöneten taşıt yönlerinden hiçbirinde yeşil ışık yanmadığı sürelerin toplamı. Yeşiller arası süre olarak da tanımlanabilir” (Asya Trafik, 2019). Kayıp süre olarak da adlandırılabilir.

3.2.2 Denetimsiz eş düzey kavşaklar

Denetimsiz eş düzey kavşaklar, ışıklı sinyalizasyon sistemlerinin kullanılmadığı kavşaklardır.

Denetimsiz eş düzey kavşakların tasarlanmasında, kavşağa gelen yollardan biri, hacim veya geometrik özelliklerine göre diğer yoldan daha önemli varsayılır ve “anayol” ismini alır. Öteki “yan yol” adını alır (Gedizlioğlu, 1979).

Denetimsiz kavşak türlerinde sürücülerini uyarmak ve düzeni sağlamak amacı ile yola yaklaşırken çeşitli uyarıcı levhalar konulur. Bu işaretlerden biri uyarı niteliğinden olan tehlike işareti, diğeri ise yolun cinsini belirten anayol işaretidir. Yan yolda bu levhalar yol vermeye ya da durdurmaya yönelik işaretlerdir. Eğer yol ver işareti varsa sürücüler yaklaşırken hızlarını azaltarak ve anayolu gözlemleyerek kavşağa yaklaşmalıdır. Ana yoldan kavşağa gelen sürücülere yol hakkı tanınmalıdır ama durma zorunluluğu yoktur. Eğer hızlarını ayarlayabilirlerse durmadan anayola girebilirler. Yan yolda ise dur işareti var

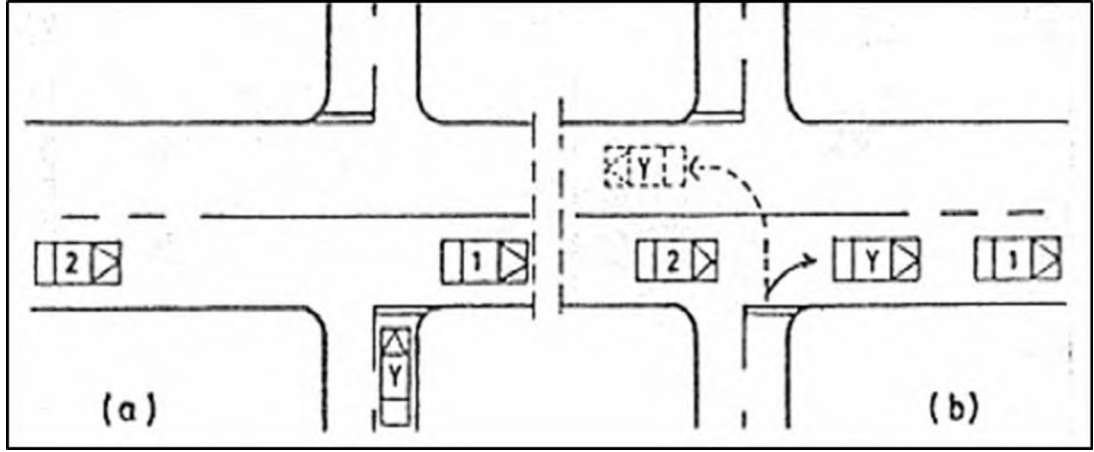
ise sürücü mutlaka durmalı, kontrollerini sağladıktan sonra müsaitse anayola girmelidir (Gedizlioğlu, 1979).

Yan yollardan kavşağa doğru yaklaşan bir sürücü, kavşakta üç tip manevra yapabilir. Bu manevralar; sağa dönüş esnasında, anayolda yakındaki şerit akımına katılma ile, sola dönüşte anayolda yakın şerit akımını kesip uzaktaki şerit akımına katılma ile ya da her iki yönde anayol akımını keserek karşı taraftaki yan yol akımına girme ile olabilir (Varlıorpak, 2003).

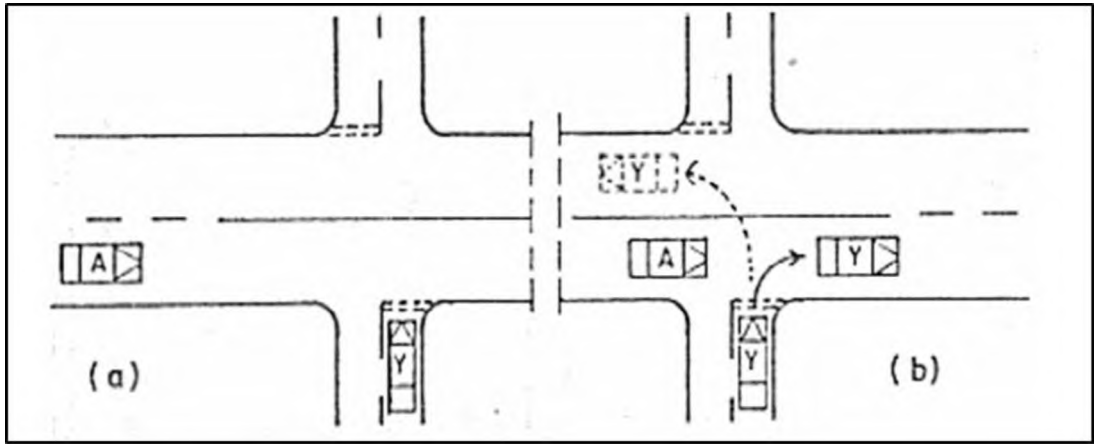
Yan yoldan kavşak tarafına yaklaşan taşıt sürücüsü, kavşağa daha önce giren başka bir anayol taşıt sürücüsü varsa, bu sürücünün kavşaktaki geçişini tamamlamasını bekleyecek ve ardından bir sonraki anayol taşıtını gözlemlemelidir. Anayol sürücüsü arasındaki aralık, yan yol araç sürücüleri için “araya giriş” aralığı olarak ifade edilmektedir.

Yan yolda seyir halinde olan taşıt, kavşağa yaklaştığında, kavşakta araç bulunmuyor ve anayolda yaklaşmakta olan bir araç varsa anayoldaki araç ile arasındaki mesafenin geçiş için gerekli manevraların yeterli olup olmayacağına karar verip bu şekilde kavşağa girmelidir. Böyle bir durumda anayolda seyir halinde olan aracın kavşaktaki araca olan uzaklığa “öne giriş” aralığı denir (Gedizlioğlu, 1979).

Araya giriş ve öne giriş mesafeleri aşağıdaki şekillerde ifade gösterilmiştir (Şekil 3-2 ve Şekil 3-3).



Şekil 3-2 Denetimsiz kavşaklarda araya giriş (Gedizlioğlu, 1979)



Şekil 3-3 Denetimsiz kavşaklarda öne giriş (Gedizlioğlu, 1979)

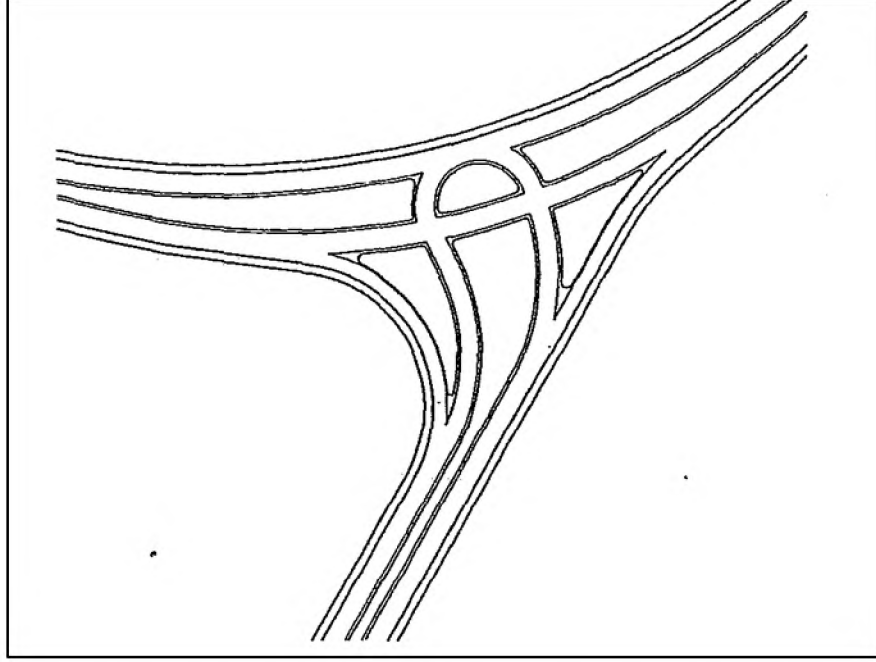
3.2.3 Dönel kavşaklar

Elips adalı, daire eş düzey dönel kavşaklar, kol sayısına göre 3 gruba ayrılır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005).

- Mini dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)
- Modern dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)
- Yarım dönel (üç kollu kavşaklar)

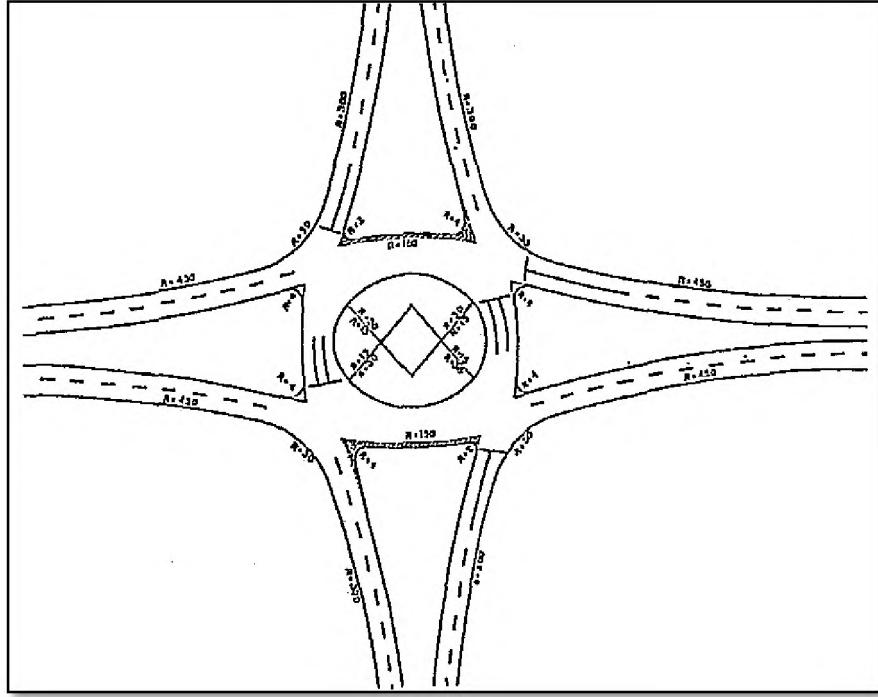
Mini veya modern dönel kavşaklar için dört koldan fazla tasarımları genellikle tercih edilmez. Ada yarıçapı olarak mini dönel kavşaklarda en az 8 m,

modern dönel kavşaklarda en az 20-25 m olarak tasarlanmalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005). Dörtten fazla girişli modern kavşakların ada yarıçapı 60 m 'ye kadar tasarlanabilir. "ç kollu kavşaklarda yarım dönel orta ada, sol dönüşe uygun olup, U-dönüşü için kullanılamaz" (şekil 3-4).



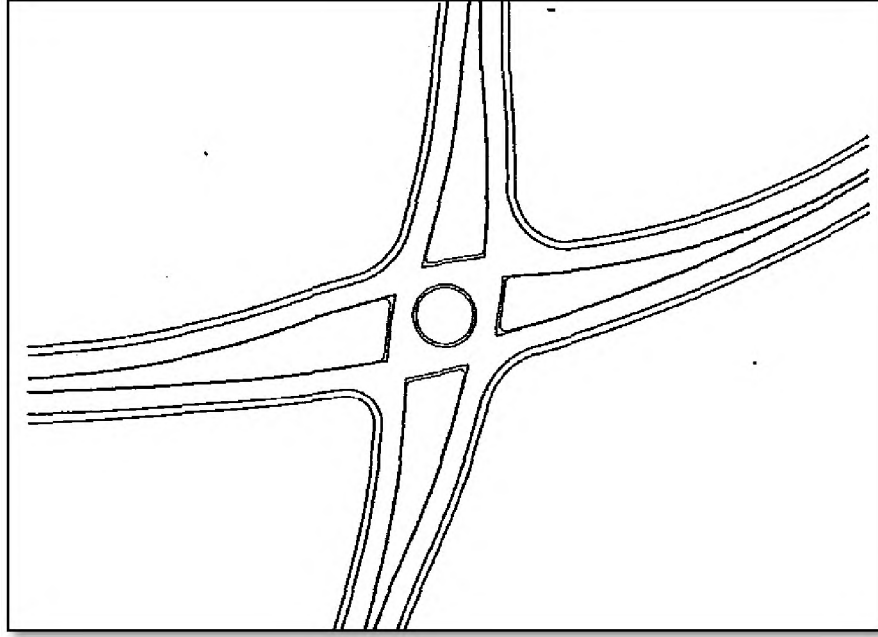
şekil 3-4 üç kollu yarım dönel kavşak (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005)

"Dört kollu kavşaklarda mini dönel ada, anayol ve tali yol trafik hacimlerinin birbirine yakın olduğu durumlarda daire, birbirinden farklı olduğu durumlarda elips olarak tasarlanmalıdır" (şekil 3-5).

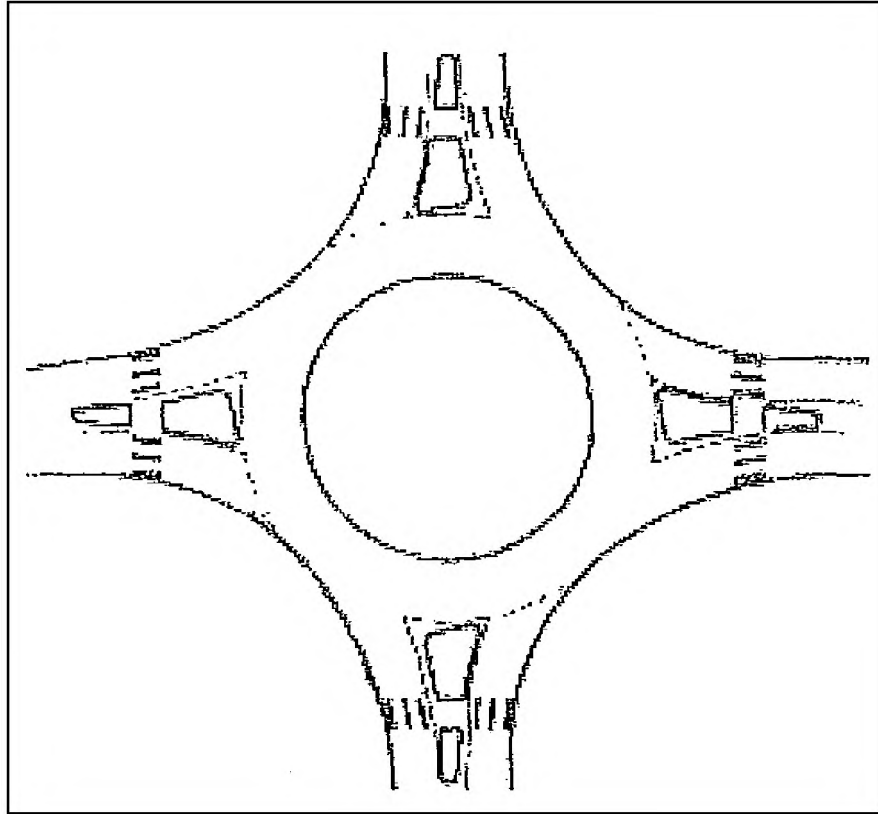


Şekil 3-5 Dört kollu eliptik dönel kavşak (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005)

Geçiş trafik yoğunluğunun dönüş yoğunluğuna kıyasla daha az olduğu, yaya veya ağır araç oranının daha fazla olduğu kavşaklar için modern dönel kavşak tasarımı yapılması daha uygun olacaktır. Bu sayede araçların hızlarını düşürerek trafik güvenliğini artıracaktır. Ancak kapasitede bir düşüş gözlemlenebilir. Bu denge çeşitli optimizasyon kuralları ile kurulabilmekte ve uygun standartlara ulaştırılabilmektedir (Şekil 3-6 ve Şekil 3-7).



Şekil 3-6 Dört kollu mini dönel kavşak (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005)



Şekil 3-7 Modern dönel kavşak (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005)

4. SİNYALİZE KAVŞAKLARIN VERİM VE KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Genel

Kavşak kapasitesi, hâkim yol, trafik ve kontrol koşulları altında, özel bir zaman periyodu boyunca verilen bir kavşağı kullanabilecek taşıtların maksimum sayısıdır.

Kavşak kapasite analizi, belirli kabuller temelinde trafik, yol ve kontrol koşulları altındaki bir kavşağı inceler. Bu koşullar kapasiteyi doğrudan etkilediğinden hâkim koşulları farklı olan kesimler farklı kapasitelere sahiptir.

Kavşak kapasite analizleri iki durumda yapılır:

- Mevcut bir kavşağın kollarında ve tüm kavşaktaki hizmet seviyesini belirleyerek hali hazırdaki kavşak kapasitesinin mevcut ve/veya gelecekteki trafik hacmine cevap verip vermediğini belirlemek ve eğer istenen hizmet seviyesi sağlanamıyorsa, kapasiteyi artırabilecek çözümler ortaya koymak için,
- Yapılması planlanan bir kavşağın hizmete açılması düşünülen tarih esas alınarak, oluşması muhtemel trafik talepleri çerçevesinde kollarda ve tüm kavşaktaki kapasitesinin belirlenerek, istenen hizmet seviyesi sağlanamamışsa yeni çözüm önerileri sunmak için.

4.2 Kayıp Zamanlar ve Etkin Yeşil Faz

Bir döngüde etkili olarak kullanılmayan zaman kayıp zaman olarak bilinmektedir. Bu duruma örnek vermek gerekirse, yeşil ışık yandığı zaman araçların bunu fark edip hareket etmeleri biraz zaman almaktadır ve arka sıralara doğru gecikme artmaktadır. Bu gecikme kayıp zamana örnek olarak verilebilir.

Etkin yeşil süre ise bir sinyalizasyon sisteminde yeşil ışık için belirlenen süre ile sarı ışık süresinin toplamından kayıp sürelerin çıkarılması ile elde edilir. Aşağıdaki denklemde bu hesap verilmiştir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$g_i = G_i + Y_i - t_L \quad (4.1)$$

g_i : Etkin yeşil faz,

G_i : Sinyalizasyon sisteminde yeşil ışık için verilen süre,

Y_i : Sinyalizasyon sisteminde sarı ışık için verilen süre,

t_L : Kayıp zamanlar.

4.3 Doygun Akım ve Doyma Derecesi

Doygun akım, sinyalizasyon sistemi entegre olmuş kavşaklarda yeşil ışığın 1 saat boyunca yanması sonucu kavşaktan geçecek taşıt sayısı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile anlatılmak istenirse doyma akım, sinyal kolunda, sürekli olarak bir kuyruk olması ve sinyal ışığının bir saat boyunca yeşil göstermesi durumunda, kavşaktaki şeritten geçebilecek en fazla araç sayısıdır (Transportation Research Board (TRB), 2000). Doyma akım hesaplamalarında yaygın yöntemlerden biri de (Transportation Research Board (TRB), 2000)'in önermiş olduğu yöntemdir. Bu yöntemde göre doyma akım aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$s = s_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (4.2)$$

s : doyma akım oranı,

s_o : şerit başına temel doyma akım değeri,

N : Şerit grubundaki şerit sayısı,

f_w : Şerit genişlik faktörü,

f_{HV} : Trafik akışındaki ağır araçlar için düzeltme faktörü,

f_g : Yaklaşım kolu eğimi için düzeltme faktörü,

f_p : Şerit grubuna bitişik park şeridi ve park etkinliği için düzeltme faktörü,

f_{bb} : Kesişim alanı içinde duran otobüslerin engelleme etkisi için faktör,

f_a : Alan tipi için faktör,

f_{LU} : Şerit kullanımı için ayar faktörü,

f_{LT} : sola dönüş faktörü,

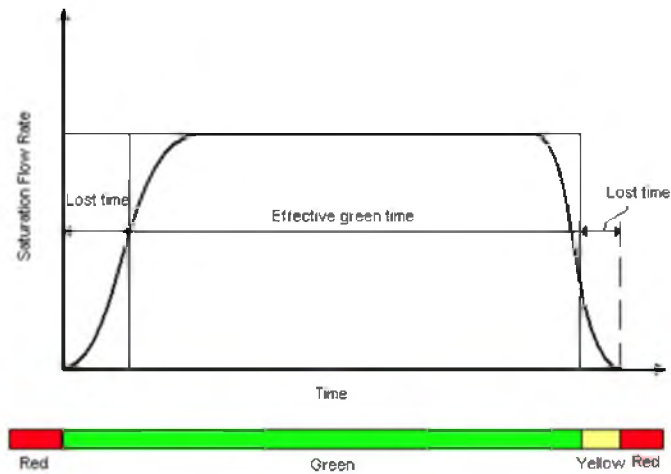
f_{RT} : sağa dönüş faktörü,

f_{Lpb} : sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü,

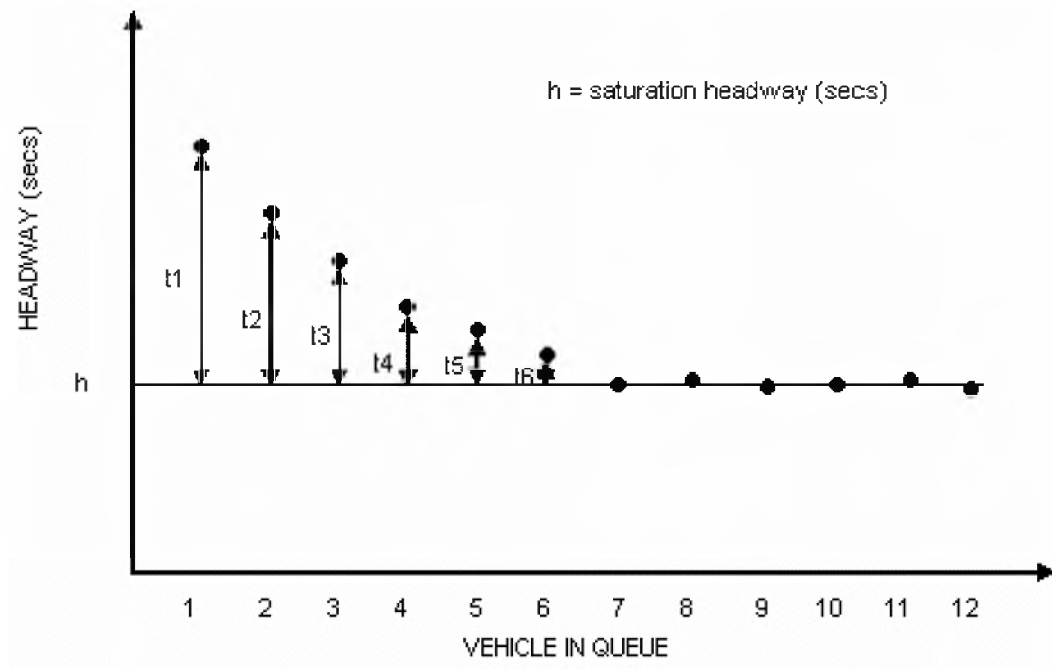
f_{Rpb} : sağa dönüşler için yaya düzeltme faktörüdür.

Dolgun akım oranı görüldüğü üzere çok fazla parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin tanımlamaları ve hesaplamaları aynı kaynaktan edinilebilir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

Bir sinyalizasyon sisteminde kırmızı işaretin yandığı sürece, araçların bekleme yeri her zaman dur çizgisinden geri olmaktadır. Peşi sıra gelen araçlar bir öndeki araç ile arasına az da olsa bir mesafe koyarak durur ve ışığı bekler. Bu şekilde bir kuyruk oluşmaktadır. Yeşil, geç işareti verildiği zaman, kuyruk en önden itibaren çözülerek açılmaya başlar. Bu çözünme hızı ilerledikçe artar ve belirli bir noktada sabitlenir. Bu sabitlenen değer doygun akım değeridir (Çalışkanelli, 2010). Doygun akımın, trafikteki süreci ve meydana gelişi Şekil 4-1 ve Şekil 4-2 de gösterilmiştir (Bester ve Meyers, 2007).



Şekil 4-1 Sinyalize kavşakta doygun akımın oluşumu (Bester ve Meyers, 2007)



Şekil 4-2 Sinyalize kavşakta doymun aralık gelişimi (Bester ve Meyers, 2007)

(Akçelik, 1998), yapmış olduğu çalışmada doymun akım değeri için bir yöntem önermiştir. Bu yöntemle göre doymun akım değeri şerit tipine ve çevre sınıflarına göre değişmektedir.

Çizelge 4-1 Kullanılan şerit ve çevre türleri (Akçelik, 1998)

ÇEVRE SINIFI	ŞERİT TİPİ		
	1	2	3
A	1850	1810	1770
B	1700	1670	1570
C	1580	1550	1270

(Akçelik, 1998), çalışmasında çevre sınıfları olarak üç çeşit sınıf belirlemiştir.

Bunlardan

A sınıfı olarak nitelendirdiği sınıf;

- Araçların serbest halde hareket edebildiği,
- Görüş açılarının çok iyi olduğu,
- Çok az yaya etkisi olan,
- Park veya yükleme manevraları pek olmayan ideale yakın koşullar,

B sınıfı olarak nitelendirdiği sınıf;

- Ortalama seviyede kavşak görüşüne sahip,
- Ortalama seviyede bir yaya hareketliliği olan,
- Park ve yükleme etkileri mevcut olan ortalama koşullar

C sınıfı olarak nitelendirdiği sınıf;

- Görüş parametrelerinin yetersiz olması,
- Yaya hareketliliğinin yoğunluğu,
- Park, yükleme ve boşaltma eylemlerinin fazlaca yoğun olduğu yetersiz koşullardır.

(Akçelik, 1998), çalışmasında şerit tipleri olarak da üç çeşit tip belirlemiştir.

- Tip no 1: Düz yön trafiğine sahip şeritler.
- Tip no 2: Dönüş çapı ortalama seviyede olan ve yaya hareketliliği düşük olan dönüş şeritleri
- Tip no 3: Dönüş çapı az ve yaya hareketliliği çok olan dönüş şeridi.

Doygun akım ile alakalı literatürde başka yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Bunlardan (Webster ve Cobbe, 1966) doygun akım için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir;

$$s = 525 * w \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde s, taşıt/saat biriminde doygun akımı, w, ise şerit genişliğini metre cinsinden temsil etmektedir.

(Webster ve Cobbe, 1966) yaklaşımına çok benzer bir değer bulan Leong vd. (2006), Malezya için doygun akımı aşağıdaki bağıntı ile elde etmiştir (Çetin, 2015).

$$s = 527,16 * w \quad (4.4)$$

Yukarıdaki bağıntıya ek olarak Leong vd. (2006), doymun akım üzerinde birim trafik kompozisyon faktörünü (f_c) de hesaba katarak yolcu araç düzeltmesi ($S_{(pcu/hr)}$) yapmıştır.

$$S_{(pcu/hr)} = S_{(veh/hr)} * f_c \quad (4.5)$$

(Bester ve Meyers, 2007), Güney Afrika'nın Cape Town iline bağlı Stellenbosch bölgesinde doymun akım oranlarını araştırmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki koşullar dikkate alınmıştır;

- Dönüş hareketi (içinden veya sağından)
- Meyil (aşağı ya da yukarı)
- Şerit sayısı (1 veya 2)
- Hız limiti (60 ve 80 km/sa)

Sonuçlardan, hareketlerin koşulları yukarıdaki özellikler bakımından farklı olduğunda doymunluk akış hızları arasında önemli farklılıklar olduğu anlaşılmıştır. Aşağıdaki çizelgede (Çizelge 4-2) kavşaklara ait elde edilen doymun akım oranları verilmiştir.

Çizelge 4-2 Kavşaklardaki doymun akım oranları

Kavşak	Şerit Sayısı	Eğim (%)	Hız Limiti (km/h)	Dönüş Hareketi	Doymun Akım Oranı
Dorp/Strand	2	0	60	Düz	2026
Molteno/Bird	1	0	60	Düz	1711
Adam Tas/Bird	1	0	60	Düz	1820
Strand/ Van Reede	2	-3,3	60	Düz	2197
Strand/ Van Reede	2	+3,3	60	Düz	2044
Paarl/Welgevonden	1	0	80	Düz	2000
Webersvallei/R44	2	-5,2	80	Düz	2370
Webersvallei/R44	2	+5,2	80	Düz	2076
Strand/Van Reede	2	-3,3	60	Sağ	1840
Strand/Saffraan	2	0	60	Sağ	1920

Çalışmasında aşağıdaki denklemi kullanan (Bester ve Meyers, 2007), yukarıda bahsedilen bütün parametreleri hesaba katmıştır.

$$S = 990 + 288TL + 8,5SL - 26,8G \quad (4.6)$$

Bu bağıntıda;

S: Doygun akım değeri (taşıt/saat)

TL: Şerit sayısı (1 veya 2)

SL: Hız limiti (60 veya 80)

G: Eğim (%)

Stanić vd. (2011), yapmış oldukları çalışmada çeşitli anket tekniklerini uygulayarak, son otuz yılda Sırbistan'da sinyalize kavşaklarda doyumluk akış hızı olgusunu incelemiş ve sonuçlarının sentezlenmesini araştırmışlardır.

Elde edilen sonuçlar, Webster ve Cobbe tarafından 1963 yılında atıfta bulunanlara kıyasla baz doyumluk akış değeriinde önemli bir değışiklik eğilimi olduğunu, doyumluk akış değeri üzerindeki etki faktörünün öneminin değıştiğini ve bunları yerel düzeyde belirlemenin gerekliliğini göstermektedir Stanić vd. (2011).

Ayrıca çalışmasında 2007 yılına kadar yapılan hesaplamalarda hesaba katılan parametre sayılarını da listelemiştir (Çizelge 4-3). Neticede parametreler hep nicel olarak seçilmiş ve hesaplamalara girmiştir, günümüzde kullanılmak üzere daha evrensel bir ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur Stanić vd. (2011).

Çizelge 4-3 Doygun akım hesap yöntemleri (Çetin, 2015)

Yöntem	Esas Doygun Akım Değeri Adeti	Esas Doygun Akım Tanımlama Yöntemi	Doygun Akım Hesabında Dikkate Alınan Faktör Sayısı
Webster - 1963	1*	Kavşak kol genişliğine bağlı	7
HCM – 2000	1	1900 esas doygun akım değerini başlangıçta kabul eder	11
HBS – 2001	3	Farklı yeşil faz süreleri için ortalama takip aralığına bağlı	2 (5)**
Akçelik – 1980	9	Kavşak çevresel özellikleri ve şerit kullanım özelliklerine bağlı	4
DANCAP – 2002	4	Kavşaktaki hareket tiplerine bağlı ortalama takip aralığına göre	2
Finnish model – 1996	6	Trafik şeridi kullanımına bağlı	5
Stanić – 1991	3	Sinyal planı ve trafik şeridi kullanımına göre	4
* Kavşak geometrisine bağlı ** 5 faktörden en etkili 2 tanesi kullanılır			

4.4 Sinyalize Kavşaklarda Kapasite

Kapasite, verilen karayolu, geometrik, trafik, çevresel ve kontrol koşulları altında belirli bir süre boyunca, araçların veya kişilerin makul bir şekilde bir şeridin veya karayolunun bir noktasını veya tekdüze segmentinden geçmeleri beklenebileceği maksimum sürdürülebilir akış hızı; genellikle saatte araç olarak ifade edilir, yolcu saatte araba veya saat başına kişi olarak tanımlanmaktadır (Transportation Research Board (TRB), 2000).

Kesişme noktalarındaki kapasite her şerit grubu için tanımlanır. Şerit grubu kapasitesi; araçların hâkim trafik, karayolu ve sinyalizasyon koşulları altında kavşaktan geçmesi beklenebileceği maksimum saatlik orandır. Debi genellikle 15 dakikalık bir süre için ölçülür veya yansıtılır ve kapasite saatte geçen araçlarda belirtilir (araç/saat).

Kavşaklara olan her yaklaşımda trafik koşulları, hacimleri, araçların hareketle dağılımı (sol, düz ve sağ), her hareket içindeki araç tipi dağılımı, kavşak alanı içindeki otobüs duraklarının yeri ve kullanımı, yaya geçidi akışları ve park

hareketlerini hesaba katar. Yol koşulları, kavşak temel geometrisini içerir; şeritlerin sayısı ve genişliği, sınıfı ve şerit kullanım tahsisleri (park şeritleri dahil). Sinyalizasyon koşulları, sinyal fazının tam tanımını, zamanlamasını ve kontrol türünü ve her şerit grubu için sinyal ilerlemesinin değerlendirilmesini içerir. Sinyalize kavşaklardaki kapasite analizi, doyumluk akış hızlarının, kapasitelerin, v/c oranlarının ve şerit grupları için hizmet düzeyinin hesaplanmasına odaklanır.

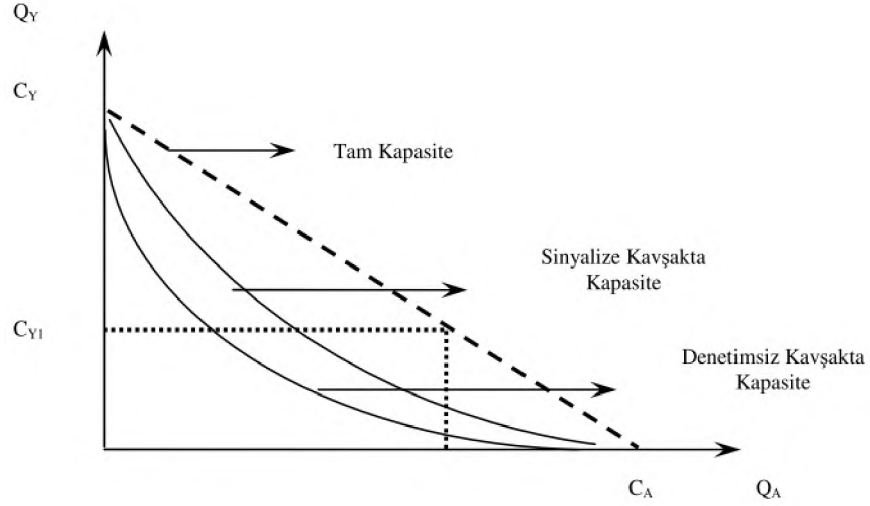
Sinyalize kavşaklardaki kapasite, doyumluk akışı ve doyumluk akış oranı kavramına dayanır. Belirli bir şerit grubu için akış oranı, şerit grubu (v_i) için fiili veya öngörülen talep akış hızı ve doyumluk akış oranı (s_i) olarak tanımlanır. Akış oranı şerit grubu “i” için sembol (v/s)_i verilir. Aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi belirli bir şerit grubunun kapasitesi belirtilebilir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$c_i = s_i * \frac{g_i}{C} \quad (4.7)$$

Denklemdeki sembollerin anlamları şunlardır;

- c_i : i. şerit grubu kapasitesi (araç/sa),
- s_i : i. şerit doyum akım oranı (araç/sa), ve
- g_i/C : i. şerit etkin yeşil oran.

Kavşaklarda sinyalizasyon kullanımı kullanılmamaya oranla kavşak kapasitesini %50 oranına kadar artırabilir ve bu konu ile ilgili bir şekil aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4-3) (Çalışkanelli, 2010).

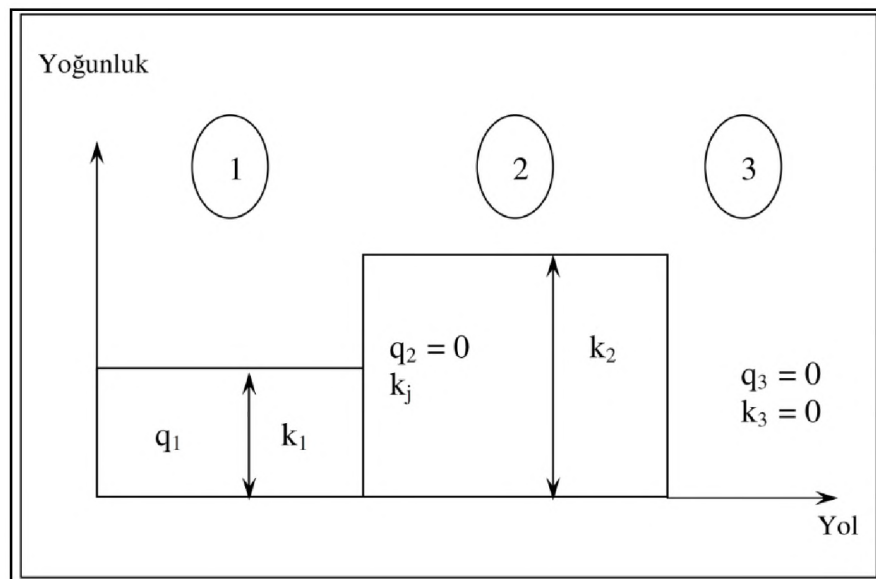


Şekil 4-3 Kavşak tiplerine bağlı olarak kapasite değişimi

Şekilde dikey eksen yan yoldan kavşağa gelen araç kapasitesi, yatay eksen ise ana yoldan kavşağa gelen araç kapasitesi gösterilmiştir.

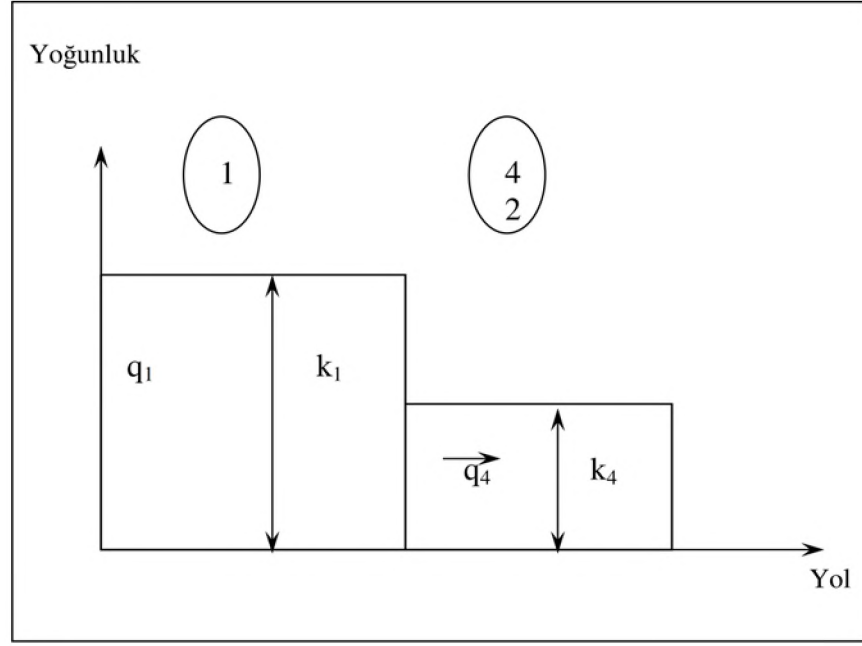
4.5 Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Değişimi

Sinyalize bir kavşakta kırmızı işaret ile duran bir akım için, yeşil ile harekete geçmeden önce, dur çizgisinin gerisindeki ve ilerisindeki yoğunluk durumu aşağıdaki Şekil 4-4' de gösterilmiştir Homburger vd. (1982).



Şekil 4-4 Duran trafik akımına ait akım-yoğunluk durumu

İlk olarak, trafik akımının durduğu yerden sonra q_3 , k_3 akım-yoğunluk durumu, durduğu yer arkasında q_2 , k_2 akım-yoğunluk durumu ve o yere yaklaşan ve kuyruğa giren q_1 , k_1 akım-yoğunluk durumu vardır. 2 numaralı durumda, trafik akımı dur çizgisinin gerisinde tıkanma yoğunluğuna maruz kalmakta ve trafik hacmi sıfırdır. 3 durumunda ise sıfır olan trafik hacmi ve yoğunluğu artar ve 4 akım-yoğunluk durumu meydana gelir (Şekil 4-5) (Homburger vd. 1982; Çalışkanelli, 2010).



Şekil 4-5 İlk harekete başlayan trafik akımına ait akım-yoğunluk durum

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 Homburger vd. (1982).

4.6 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyleri

Hizmet düzeyi, yolda seyahat halindeki sürücüler ve yolcuların yolun işletme koşulunu nitel olarak sınıflandırabildiği bir ölçüttür. Bir diğer deyiş ile sürücü ve yolcuların memnuniyet sınıflandırmasıdır. Hizmet düzeyi sadece araçlar için değil, bisiklet yolları, yaya yolları, toplu taşıma için de kullanılmaktadır.

Şekil 4-6' da hizmet düzeylerine ilişkin sınıflandırma şekil üzerinde gösterilmiştir. Aşağıdaki parametreler yol konforunu etkileyen parametrelerdir (Alçelik, 2010);

- Hız,
- Yolculuk süresi,
- Sürücünün şerit değiştirme ve önündeki aracı geçmedeki serbestlik derecesi,
- Kavşak veya sinyal sebebiyle trafik kesiklikleri,
- Sürücü/yolcu konfor ve huzuru,
- Trafik güvenliğidir.

Hizmet Düzeyi	OTOMOBİL	BİSİKLET	YAYA	OTOBÜS
A/B				 >4 Otobüs/saat
C/D				 2-4 Otobüs/saat
E/F				 < 1 Otobüs/saat
				

Şekil 4-6 Farklı türlere ait hizmet düzeyleri (FDOT, 2009)

Hizmet düzeyleri A, B, C, D, E ve F olarak 6 harf şeklinde sınıflandırılmıştır. A hizmet düzeyi en iyi düzeyi temsil ederken F hizmet düzeyi ise en zor ve konforsuz yolu tarif etmektedir (Alçelik, 2010).

İki şeritli ve iki yönlü bölünmüş şehir dışı yollarda hizmet düzeylerindeki işletme koşulları aşağıda (Yayla, 2004) tarafından açıklanmıştır.

A hizmet düzeyi: “Sürücülerin birbirlerinden etkilenmediği serbest akım durumudur. Bu hizmet düzeyinde sürücüler hızlarını seçmede, sollama ve şerit değiştirme manevralarında büyük bir serbestliğe sahiptirler. Yolculuk konforu son derecede yüksektir. Bir sınırlandırma yoksa, ortalama hız 100 km/sa dolayındadır. Trafik akımında üç ve dört taşıttan oluşan kümelere yok denecek kadar az rastlanır. Ortalama gecikme yüzdesi %30 dan küçüktür. En yüksek hizmet hacmi, iki yön toplamı olarak ideal koşullarda 420 oto/sa den küçüktür” (Alçelik, 2010).

B hizmet düzeyi: “Trafik akımı kararlıdır. Sürücülerin hızlarını seçme ve manevra olanaklarında önemli bir kısıtlama yoktur. Yolculuk konforu A hizmet düzeyindeki kadar olmasa da yine de yüksektir. Düz araziden geçen yollarda ortalama hız 90 km/sa, ortalama gecikme yüzdesi %45, hizmet hacmi iki yön için ve ideal koşullarda 750 oto/sa dolayındadır” (Alçelik, 2010).

C hizmet düzeyi: “Trafik akımında kararlı bir durum söz konusu olmakla birlikte, dönüş yapan veya yavaş seyreden taşıtlar zaman zaman trafikte sıkışmaya neden olurlar. Sürücülerin hızlarını seçmelerinde ve manevra olanaklarında kısıtlama vardır. Yolculuk konforu ve hızında azalma görülür. Hız 85 km/sa, gecikme yüzdesi %60, ideal şartlarda iki yön toplamı hizmet hacmi 1.200 oto/sa dolayındadır” (Alçelik, 2010).

D hizmet düzeyi: “Trafik akımında kararsız duruma yaklaşılmıştır. Sürücülerin, hızlarını seçme ve sollama isteklerinde yoldaki diğer araçlardan dolayı önemli sınırlama vardır. Yolculuk konforu düşüktür. Trafik hacminde küçük bir artma işletme koşullarında önemli sorunlar yaratır. Trafikte 5-10 taşıttan oluşan kümeler sıkça görülür. Ortalama hız düz kesimlerde 80 km/sa, ortalama gecikme yüzdesi %75, ideal koşullarda iki yönde toplam hizmet hacmi 1.800 oto/sa dolayındadır. Dönüş yapan veya yandan katılan taşıtlar önemli kuyruklanmalara sebep olurlar” (Alçelik, 2010).

E hizmet düzeyi: “Trafik hacminin kapasiteye yakın olduğu durumdur. Sürücüler için hız seçme, sollama, şerit değiştirme hususlarında hiçbir serbestlik yoktur. Akım kararsızdır ve önemli kuyruklanmalar görülür. Yolculuk konforu ve huzuru çok düşüktür. Ortalama hız 80 km/sa' den küçük, uzun rampalarda ise 40 km/sa dolayındadır. Ortalama gecikme süresi yüzdesi %75 den büyüktür. En büyük hizmet hacmi, ideal koşullarda ve iki yön olarak, bu tür yolların kapasitesi olarak kabul edilen 2.800 oto/sa dolayında olmakla birlikte bu değer, trafiğin yönlere dağılım oranlarına göre değişebilir. Örneğin 80/20 lik bir dağılımda hizmet hacmi 2.300 oto/sa'te düşer” (Alçelik, 2010).

F hizmet düzeyi: “Yolun kapasitesinden fazla bir trafik talebinin olması durumudur. Zorlamalı akım söz konusu olup büyük sıkışıklıklar yaşanır. Yoldan geçen taşıt sayısı kapasitesinden küçüktür” (Alçelik, 2010).

4.7 Kapasiteyi Etkileyen Faktörler

Kapasitenin ve hizmet düzeylerinin belirlenmesinde öncelikle ideal koşullara ait değerlerin tespit edilmesidir. Bu değerlere göre, yol, denetim koşulları ve trafik unsurlarına göre düzenlemeler yapılır. Bir yol için ideal durum; belirlenen koşul üzerine yapılacak herhangi bir düzenlemenin kapasite veya hizmet düzeyinde bir artış sağlamayacağı durum olarak tanımlanır. İki şeritli yollar için ideal durumlar aşağıdaki gibi verilmiştir.

- “Proje hızı iki şeritli yollarda 100 km/sa, çok şeritli yollarda 110 km/sa veya daha yüksek
- “Şerit genişliği 3,65 m veya daha büyük”
- “Banket genişliği 1,80 m veya daha büyük ve bu genişlik içinde bir engel yok (yan açıklık en az 1,80 m)”
- “Geçişin kısıtlandığı (görüş mesafesinin 450 m den kısa olduğu) kesim yok”
- “Düz giden trafik için, dönüş yapan, ya da yandan katılan taşıtların sebep olduğu veya denetimden kaynaklanan bir sınırlandırma söz konusu değil”

- “Trafığı sadece otomobil türü taşıtlar oluşturuyor Trafığın yönlere dağılımı eşit (50/50)” (Yayla, 2004).

Sıralanan ideal koşullarda iki şeritli-iki yönlü bir kırsal yolun iki yön toplamı olarak kapasitesi 2.800 oto/sa kabul edilir. Çok şeritli yollarda ise bu değer şerit başına, proje hızı 100 km/sa ise 2.000 oto/sa, proje hızı 80 km/sa ise 1.900 oto/sa“dir (Yayla, 2004).

4.7.1 Geometrik özellikler

Aşağıda kapasiteyi etkileyen bazı geometrik özellikleri verilmiştir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

- Alan tipi
- Şerit sayısı, N
- Ortalama şerit genişliği, W (m)
- Eğim, G (%)
- Özel şeritlerin varlığı ve bunların uzunlukları,
- Park alanları vb.

4.7.2 Trafik özellikleri

Aşağıda kapasiteyi etkileyen bazı trafik özellikleri verilmiştir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

- Hareket talep hacmi, V (araç/sa)
- Baz doygunluk akışı oranı, s_0
- Pik saati faktörü,
- Ağır araçların varlığı,
- Yaya akış hızına yaklaşım,
- Yerel otobüsler kavşakta duran otobüsler
- Park aktivitesi,
- Varış türü,

- Yeşile gelen araçların oranı, P
- Yaklaşma hızı, S_A (km/h)

4.8 Gecikme

Bir kavşakta kavşağın çalışma performansını ve hizmet kalitesinde en etkili parametrelerden birisi gecikmedir. Gecikmeler, (Alçelik, 2010) tarafından iki grupta incelenmiştir. Bunlar;

- Geometrik gecikme,
- Trafik koşullarına bağlı gecikmelerdir.

Kavşağa doğru seyir halinde olan araçlar kavşağa girişte bazı geometrik elemanlar ile karşılaşp yavaşlayabilir, bu sebepten dolayı hızları normal hızlarının altına inecek, kavşağı daha uzun sürede tamamlayacaktır. Bu şekilde geometrik sebeplerden dolayı yavaşlamalara sebep olan gecikmelere geometrik gecikme denir (Alçelik, 2010).

Trafik koşulları sebebiyle oluşan gecikmeler ise, yan yoldan kavşağa doğru giden araçların, kavşağa girmek amacıyla bekledikleri ortalama süreye denmektedir (Alçelik, 2010).

4.8.1 Sinyalize kavşaklarda gecikme hesabı

Gecikme hesabı ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır (Alçelik, 2010). Sinyalizasyon kullanılan kavşaklarda gecikmeler genel olarak üç tip gecikmenin toplamı ile elde edilir ve ortalama kontrol gecikmesi ile ifade edilir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (4.8)$$

Bu bağıntıda;

d: Araç başı kontrol gecikmesi (s/Araç),

d_1 : Sabit akışta meydana gelen sabit kontrol gecikmesi (s/Araç)

PF: Sabit gecikme ilerleme düzeltme faktörü, sinyalizasyon etkisi.

d_2 : Artımsak gecikme, rastgele araç gelişleri ve doyumluk seviyesi üstü durumları vb. (s/Araç),

d_3 : Başlama gecikmesi (s/Araç).

Sabit Gecikme olan d_1 aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$d_1 = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) * \frac{g}{C}\right]} \quad (4.9)$$

Bu bağıntıda;

d_1 : Sabit akışta meydana gelen sabit kontrol gecikmesi (s/Araç)

C: Döngü uzunluğu (s)

g: Şerit grubu için etkin yeşil faz

X: Şerit grubu için doyumluk derecesi v/c oranı

Artımsak Gecikme olan d_2 aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$d_2 = 900 * T * \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 * k * l * X}{c * T}} \right] \quad (4.10)$$

Bu bağıntıda;

d_2 : Artımsak gecikme,

T: Periyot süresi (h),

k: Kontrol ayarlarına göre artımsak gecikme faktörü,

l: Yukarı akım düzeltme faktörü,

c: Şerit grubu kapasitesi,

X: Şerit grubu v/c oranı veya doyumluk derecesi.

Başlama gecikmesi olan d_3 aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır (Transportation Research Board (TRB), 2000).

$$d_3 = \frac{1800 * Q_b * (1+u) * t}{c * T} \quad (4.11)$$

Bu bağıntıda;

- Q_b : Periyot T'nin başlangıç kuyruğu (Araç),
- c : Düzeltilmiş şerit grubu kapasitesi (Araç/sa),
- T : Periyot süresi (h),
- t : Periyottaki karşılanamayan talep (sa),
- u : Gecikme parametresi.

5. KAVŞAKLARDA SÜRÜCÜ VE YAYA DAVRANIŞININ KAVŞAK KAPASİTESİNE ETKİSİ

5.1 Giriş

Kavşaklarda çeşitli araçlara ait çeşitli sürücülerin ve araçsız olarak kavşağı kullanan yayaların kavşak kapasitesine etkileri büyüktür. Bir kavşakta birçok araç, davranış şekli farklı birçok sürücü, bilinçli veya bilinçsiz birçok yaya, motorsuz araçlar (bisiklet vb.), hafif raylı araçlar ve bunun gibi sayılabilecek birçok unsur kavşak kapasitesini olumlu veya olumsuz olarak etkileyebilmektedir.

Genellikle sürücü davranışının, kapasitenin ana belirleyicisi olduğu göz ardı edilmektedir. Kapasite ile sürücü tepki süresi, sıkışma aralığı ve doygunluk hızı gibi davranış parametreleri arasında doğrudan bir ilişki vardır (Akçelik, 2008).

Kapasite modellemesi ile ilgili çeşitli konular tartışılmaktadır. Duran araçların sırasının açılması, ortalama ivme gecikmesi, ivme süresi, ivme mesafesi ve ortalama ivme hızı gibi kuyruk deşarj parametrelerinin tahmin edilmesini sağlamak için ilişkiler de araştırılmıştır. Bunlar, temel modellerin ve bunların etkilerinin makul ve gerçekçiliğini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (Akçelik, 2008).

Kapasite, bu performans işlevlerindeki hizmet oranını (sıra açılma oranı) temsil ettiği için gecikme, sıra uzunluğu ve durma oranı gibi performans ölçülerini formüle etmede kullanılan ana parametredir. Bu tür ilişkiler genellikle doygunluk derecesi, talep hacmi / kapasite oranı açısından ifade edilir. Eşit olmayan şerit kullanımı kritik şeritler için doygunluğunun daha yüksek derecelerde olduğu anlamına gelir, çünkü şerit kullanımı, bu bağlamda önemli bir konudur (Akçelik, 2008).

Kapasite ve sürücü davranışı arasındaki ilişkinin doğrudan analitik formülasyonunun olmaması nedeniyle, sürücü davranışının kapasitenin ana belirleyicisi olduğu sık sık göz ardı edilir.

Sinyalize kavşaklarda, sürücü ve trafik davranışları çoğunlukla sinyal fazlarının geçişlerinde, örneğin sarı veya yeşilin başlangıcı ile ilgilidir. Karar verme ve trafik akış varyasyonları, sinyal fazlarının geçişlerinde karmaşıktır. Güvenlik ve verimlilik sorunları da bir sinyal döngüsündeki bu süreçlere odaklanmıştır (Yang, 2012).

Bu nedenle mühendisler, sinyal kesişimlerdeki çalışma performansını ve güvenliğini artırmak için kırmızı ışıklı kamera ve geri sayım sayaçları gibi bazı cihazları uygulanmaktadır. Sürücü davranışı ve trafik operasyonu üzerindeki etkilerinin yanı sıra, kırmızı ışık kameralarının çalışması, kar üretme işlevinden dolayı yaygın olarak tartışılmıştır. Kırmızı ışık kameralarının uygulanmasıyla ilgili yasal anlaşmazlıklar ve kamu tartışmaları devam ederken, belediyeler ve kamera satıcıları kamera sistemlerinden daha fazla kâr elde etmeye çalışmaktadırlar. Sinyalize kavşaklardaki önceki çalışmalara dayanarak, video kameranın veri toplama için en yaygın kullanılan araç olduğu ve video veri analizi ve işleminin zaman alıcı ve emek yoğun olduğu bulunmuştur (Yang, 2012).

5.2 Kavşaklarda Kapasiteyi Etkileyen Çevresel Parametreler

Sinyalize kavşaklar için kapasite modelleri, sürücü davranışını yansıtan doyumluk akışını ve kayıp zaman parametrelerini kullanır. Boşluk kabul modellemeye dayalı döner kavşaklar ve çift yönlü işaret kontrollü kavşaklar için kapasite modelleri sürücü davranışını yansıtmak amacı ile karşı (sirkülasyon veya ana yol) trafik için trafiğe girme, yol dağıtım parametreleri ve kritik boşluk parametrelerini kullanır (Akçelik, 2008).

Çevre sınıfı (alan türü) ve çevre faktörü gibi parametreler doyumluk akışını ve boşluk kabul parametrelerini etkilediği düşünüldüğünde, sürücü davranışıyla

olan ilişki daha belirgin hale gelir. Bu parametreler dolaylı olarak bu aşağıdaki faktörlerin etkilerine izin vermek için kullanılır;

- Sürücü saldırganlığı ve uyanıklığı (sürücü yanıt süreleri),
- Yol (kavşak) geometrisi standardı,
- Görünürlük,
- Önemli işaretler,
- Çalışma hızları,
- Hafif ve ağır vasıtaların boyutları,
- Yayalar, duran araçlar, park manevraları, duran otobüsler tarafından müdahaleler
- Vb.

Daha agresif sürücü tutumları (daha küçük tepki süreleri), iyi kavşak geometrisi, iyi görüş mesafesi, daha küçük araç boyutları ve yayalar ve diğer araçlardan gelen minimum müdahale daha yüksek kapasitelerle sonuçlanırken, daha az agresif ve rahat sürücü tutumları (yavaş tepki süreleri), zayıf kavşak geometrisi, zayıf görüş mesafesi, büyük araç boyutları ve yayalar ve diğer araçların önemli ölçüde müdahalesi daha düşük kapasitelere yol açmaktadır.

Uluslararası geçerliliği kabul görmüş tasarım kitabı olan Highway Capacity Manual, HCM (Transportation Research Board (TRB), 2000) 'ye göre şüruşü etkileyen 3 ana unsur vardır; araç, karayolu/ortam ve sürücü. Motorlu taşıtların özellikleri ve performansı trafik akışı ve kapasitesinin temellerini tanımlamada önemli bir rol oynamaktadır. İnsan davranışı bu bağlamda bir tesis üzerinde trafik akışının özelliklerine katkıda bulunur (Transportation Research Board (TRB), 2000).

5.2.1 Araçlara ilişkin karakteristik özellikler

Araçlara ait önemli hususlar genellikle araç tipleri ve boyutları, dönüş yarıçapı ve arka teker kaçıklığı, harekete karşı direnç, güç gereksinimleri, ivme performansı ve yavaşlama performansı. Motorlu araçlar şunları kapsar; binek arabalar, kamyonlar, kamyonetler, otobüsler, eğlence araçları ve motosikletler.

Bu araçlar benzersiz ağırlık, uzunluk, boyut ve çalışma özelliklerine sahiptir. Hareket etmeleri halinde motorlu taşıtların üstesinden gelmesi gereken kuvvetler haddeleme, hava, derece, eğri ve atalet direncidir. Ağırlık/güç oranları, bu kuvvetlerin üstesinden gelmede genel performansı göstermek için yararlıdır. Çizelge 5-1’de, farklı araç tipleri için tipik motorlu taşıt ağırlığını ve gücünü özetlemektedir.

Çizelge 5-1 Farklı araç tipleri için tipik motorlu taşıt özellikleri (Transportation Research Board (TRB), 2000)

Motorlu Araçlar	Sürücülü Boş Ağırlık (kg)	Nominal Güç (kW)	Ağırlık-Güç Oranı (kg/kW)
Yolcu Arabası	1540	78	19.7
Geniş Pikap Kamyonet	1905	130	14.7
2 aks 6 tekerli kamyon	4535	130	34.9
Traktör-Tır	11340	242	46.9

Araç ivmesi ve yavaşlama oranları, trafik sinyali zamanlamasının tasarlanmasında, yakıt ekonomisinin ve seyahat süresi değerlerinin hesaplanmasında ve bir arıza sonrasında normal trafik akışının nasıl sürdürüleceğini tahmin etkenlerdir. 1 ile 4 m/s² arasında bir durdurma aralığından sonra hızlanan binek araçların araç ivme oranları 2 ile 8 m/s² arasında değişirken, binek araç yavaşlama oranları 2 ile 8 m/s² arasında değişmektedir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

5.2.2 Sürücü karakteristikleri

Sürüş, çeşitli becerileri içeren karmaşık bir görevdir. Bu becerilerin en önemlileri bilgi almak, işlemek ve bu bilgilere dayanarak hızlı kararlar almaktır. Sürücü görevleri üç ana öğeye ayrılır: kontrol, rehberlik ve navigasyon. Kontrol, sürücünün araç ile hız ve yön (hız, fren ve direksiyon) açısından etkileşimini içerir. Rehberlik, güvenli bir yol tutmayı ve aracı doğru şeritte tutmayı ifade eder. Navigasyon, gezi planlamak ve yürütmek anlamına gelir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

Bilginin algılanması ve işlenmesi önemli sürücü özellikleridir. Sürücünün aldığı bilginin yaklaşık %90'ı görseldir. Bilgilerin başarılı bir şekilde işlenmesinde ve kullanılmasında çok önemli bir bileşen de, bu işlemin yapılma hızıdır. İşleme bilgilerinin hızını ölçmek için kullanılan parametrelerden biri, bir sürücünün acil duruma ne kadar hızlı yanıt verebileceğini gösteren algı-reaksiyon süresidir. Görme mesafesi denilen parametre doğrudan reaksiyon süresi ile ilişkilidir. Görme mesafesinin üç türü vardır: durma, geçme ve karar verme. Bu parametre ulaşım tesislerinin geometrik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Gece sürüş, yorgunluk, alkol ve uyuşturucunun etkisi altında sürüş, yaşlı sürücüler ve polis teşkilatı gibi diğer faktörler, bir ulaşım tesisinde sürücü davranışına katkıda bulunur. Tüm bu faktörler hız, gecikme, yoğunluk operasyonel parametrelerini etkileyebilir (Transportation Research Board (TRB), 2000).

5.2.3 Yaya karakteristikleri

Yürüme hızını etkileyen çeşitli faktörler arasında yoğunluk, cinsiyet, müfreze büyüklüğü, yaşlı nüfusun yüzdesi, engelli yaya nüfusu ve çocuk yaya nüfusu bulunmaktadır. Tipik yaya grupları için 1.2 m/s'lik ortalama yürüme hızı uygundur. Kuyruğa alınmış veya ayakta duran bir yaya için gereken alan miktarı 0.75 m²'dir. Sinyalize kavşaklarda etkin yeşil süresi, yaya geçitlerindeki yaya hızı dikkate alınarak koyulmalıdır (Transportation Research Board (TRB), 2000).

5.2.4 Bisiklet karakteristikleri

Bisiklet kullanıcıları diğer unsurlara göre farklı özelliklere sahiptir ve motorlu taşıt sürücülerine göre farklı çalışma sergilemektedir. Bisikletlerin tipik hızı yaklaşık 25 km/s'dir. Bisikletleri etkileyen faktörler arasında bisiklet türü, bisiklet yolu yüzey tipi, hava koşulları, yolun derecesi ve bisiklet yolunda diğer motorsuz kullanıcıların karışımıdır (Transportation Research Board (TRB), 2000).

5.2.5 Otobüs ve hafif raylı araç karakteristikleri

Otobüs ve hafif raylı araçların kapasiteleri; araç tipi, yükleme alanı performansı ve otobüs veya hafif raylı aracın duruş süresinden etkilenir. Her otobüs duraklarda, biniş ve hizalanan yolcu sayısına, kapı konfigürasyonuna ve ücret toplama yöntemine göre değişen belirli bir hizmet süresi gerektirir. Hareket halindeki otobüsler, bir durakta bulunan yükleme alanları, yükleme alanı arasındaki minimum güvenli mesafe, durak sayısı vb. özellikler belirli bir hattın kapasitesini, toplam otobüs ve kişi sayısını etkiler. Toplam yolcu akışı, otobüs kapasitesine, oturma yerlerinin sayısına ve ayakta bekleme yerleri sayılarına göre değişir. En fazla koltuk sayısı ve en düşük ayakta bekleme yeri sayısı, daha uzun banliyö otobüs güzergahlarında veya daha yüksek konfor seviyelerinin gerekli olduğu şehirlerarası otobüs güzergahlarında gerçekleşmelidir. Tipik bir 14 m kentsel transit otobüs normalde 43 yolcuyla ağırlayabilir ve koridor dolaşım alanı doluyorsa 37 ayakta bekleyen kadar taşıyabilir. Benzer şekilde, 18 m mafsallı bir otobüs 65 oturmuş yolcu ve 55 ayakta bekleyen taşıyabilir. Ancak, otobüs işletme politikaları genellikle ayakta bekleme sayısını bu teorik kapasitenin altındaki seviyelere sınırlar (Transportation Research Board (TRB), 2000).

5.3 Davranışların Modellenmesinde Geliştirilen Yöntemler

Kesintiye uğramış trafik akımı (sinyalli ve sinyalsiz kavşaklar) için kapasitenin hesaplanmasında temel denklem aşağıda belirtilmiştir (Akçelik, 2008);

$$Q = u * s \quad (5.1)$$

Q = Kapasite (araç/sa),

u = araçların kuyruktan ayrılabilirdiği süre oranı (sinyaller yeşil veya boşluklar karşı akımda mevcuttur)

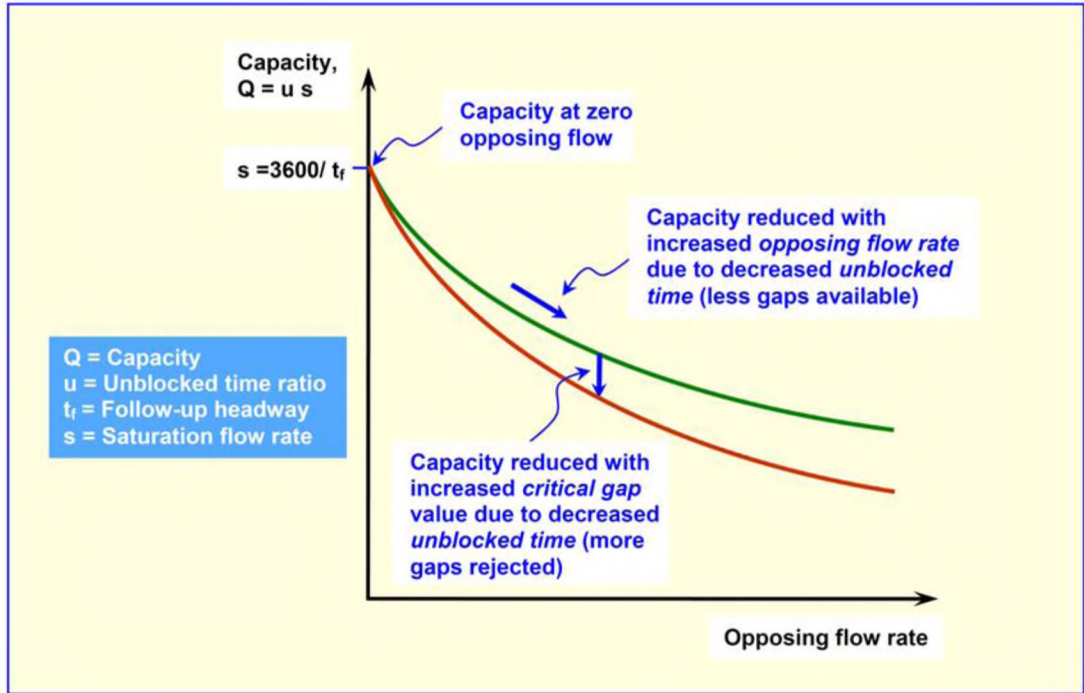
s = doyumluk (sıra deşarjı) akış hızı (araç/sa).

Sinyalli kavşaklar için,

u = yeşil zaman oranıdır, $u = g / c$,

g = etkili yeşil zaman(s)

c = döngü süresi (s).



Şekil 5-1 Kabul edilebilir boşluk kapasitesi (Akçelik, 2008)

Kavşaklarda kapasiteyi ölçmek için iki yöntem mümkündür (Akçelik, 2008):

1. Ayrı ayrı dur-kalk döngülerinin (yeşil dönemler veya sıra boşaltma için kullanılan boşluklar) doymuş (sıralanmış) kısımları sırasında kalkış akış oranlarını (hacim sayımları) ölçmek ve kuyruk boşaltma için kullanılabilir sürenin ilişkili oranını kullanarak tahmin etmek
2. Yeterince uzun gözlem süreleri boyunca doymuş (sürekli kuyruk) koşullarında durak veya yol verme (verim) hattındaki kalkış akış oranlarını ölçmek

İlk yöntem genellikle sinyalli kavşaklar için kullanılır. Bu yöntem, boşluk kabul döngülerinin kısa süresi nedeniyle sinyalsiz kavşaklar için uygulanması daha zordur. Sinyalsiz kavşaklar için takip mesafesini (ve kritik boşluğu) belirlemek için bir yöntem mevcuttur (Akçelik, 2008).

İkinci yöntem, aşırı doymuş koşullarda, yani varış (talep) akış hızı, basit bir hacim sayısından elde edilen kalkış akış hızını aştığında, kapasiteyi ölçmenin kolay bir yöntemini sağlar. Aşırı doymuş koşullarda, talep akış hızı, durak veya yol verme (verim) hattında değil, kuyruğun arkasına gelen araç sayısı sayılarak ölçülebilir. Performans tahmini için durak veya yol verme (verim) satırlarında sayılan dönüş hareketi hacimlerinin kullanımı, kesişme iyileştirmelerinden elde edilen faydaların yanlış tahmin edilmesine neden olur ve yetersiz tasarıma neden olabilir (Akçelik, 2008).

(Akçelik, 2008), yapmış olduğu çalışma neticesinde, sürücü davranışlarını kapasite hesabına dahil ederek aşağıdaki denklemi elde etmiştir ;

$$Q = 3600 * u / (t_r + L_{hj} / v_s) \quad (5.2)$$

Bu denklemde;

Q: Kapasite (Araç/sa),

t_r : Sürücü tepsi süresi (s)

L_{hj} : Sıkışıklık boşluğu (m veya ft),

v_s : Doygunluk hızı (m/s veya ft/s)

Bu denklem çalışmaya göre sıra kuyruktan çıkış taşıt aralığı (queue discharge headway), akış doymunluğu, hassasiyetini ölçmek için kullanılabilir (Akçelik, 2008).

Bu denklem kuyruktan çıkış taşıt aralığının (queue discharge headway), doymunluk akışının, kapasitenin, kavşak geometrisi ve çeşitli çevresel faktörlerden etkilenen sürücü davranışına (sürücü-araç karakteristikleri) olan hassasiyetini açıklamak için kullanılabilir (Akçelik, 2008). Örnek vermek gerekirse;

- Daha uzun araç boyutunu ve ağır vasıtalar için daha yavaş hızlanma hızını yansıtan daha büyük sıkışma aralığı, daha uzun kuyruktan çıkış taşıt aralığının daha uzun olduğunu gösterir, bu nedenle daha düşük kapasiteye yol açar (Akçelik, 2008).
- Yağmurlu bir günde, sürücüler kuyrukta daha uzun boşluk mesafeleri bırakabilir (daha büyük sıkışma süreleri), başlangıçta daha dikkatli

olabilir (daha uzun yanıt süreleri) ve daha düşük doyumluk akışlarını açıklayabilecek daha düşük doyumluk hızları kullanabilir ve bu da daha düşük kapasitelerle sonuçlanır (Akçelik, 2008).

- Daha yüksek trafik seviyeleri (yüksek talep akışları, yüksek doyumluk dereceleri, uzun gecikmeler ve kuyruklar) sürücülerin kuyrukta daha kısa boşluk mesafeleri bırakmasına (daha küçük sıkışma aralıkları), başlangıç (daha kısa yanıt süreleri) ve kullanımda daha agresif hale gelebilir daha yüksek doyumluk akışlarını açıklayacak daha yüksek doyumluk hızları, kapasitelerin artmasına neden olur (Akçelik, 2008);
- Küçük kasaba sürücülerini daha büyük sıkışma aralıkları, daha uzun yanıt süreleri ve muhtemelen daha düşük doyumluk hızları daha düşük doyumluk akışları ve kapasiteleri yol sonuçlanan daha rahat sürüş türüne sahip olabilir (Akçelik, 2008);
- Dönüş bölmeleri (kısa şeritli) kullanan sürücüler kuyrukta daha kısa boşluk mesafeleri bırakırlar ve böylece yüksek doyumluk akışlarına yol açan sıkışma boşluklarını azaltırlar (Akçelik, 2008);
- Yan yol trafiğinde, boşlukları bekleyen yukarı akım sinyallerinin oluşturduğu taşıt gruplarının trafiğin etkisi veya kavşaklarda çok düşük sirkülasyon akışı ile kesilen çok yüksek giriş akış hızı gibi özel trafik durumlarında, sürücü saldırganlığı artabilir daha kısa yanıt süreleri ve bu nedenle daha kısa takip mesafeleri ile sonuçlanabilir (Akçelik, 2008);
- İki yönlü ve işaret kontrollü durumlarda, sürücülerin birçok farklı yönden yüksek hızlı karşıt hareketlere yol vermesi sürücülerin karar verme sürecini (boşlukları kabul etmek veya reddetmek) zor bir hale getirir ve bu durum daha uzun sürücü yanıt sürelerine ve bu nedenle iki şeritli işaret kontrolünde kullanılan takip mesafesinin artmasına sebep olur. Buna kıyasla, döner kavşak giriş akışındaki sürücüler, tek bir düşük hızlı sirkülasyon akışındaki boşlukları ararlar ve bu da daha kısa sürücü yanıt süreleri ve bu nedenle daha kısa takip boşlukları ve döner kavşaklarda daha yüksek kapasitelere sebep olur (Akçelik, 2008).

1950'lerde Webster, önceden zamanlanmış yalıtılmış kavşak işlemleri üzerine bir dizi deneyler yapmıştır Cheng vd. (2003). Bu çalışmadan iki sinyal

zamanlama stratejisi çıkmıştır. Bunlardan birincisi sinyal fazı bölünmeleridir. Webster, hem teorik hem de deneysel olarak, önceden zamanlanmış sinyallerin gecikmeyi en aza indirmek için belirli bir çevrim uzunluğunda eşit doygunluk dereceleri için kritik evrelerinin zamanlanması gerektiğini göstermiştir. Diğer ise denklem 5.3 olarak gösterilen minimum gecikme döngüsü uzunluğu denklemidir. Optimal minimum gecikme döngüsü uzunluğu için denklemi geliştirirken, fazların etkin yeşil zamanlarının kendi y değerlerinin (akış oranları) oranında olduğu varsayılmıştır.

$$c_0 = (1.5L + 5)/(1 - Y) \quad (5.3)$$

c_0 : Optimum minimum gecikme döngüsü uzunluğu, saniye;

L: Döngüsü içinde toplam kayıp zaman

Y: Kritik faz akış oranlarının toplamı

Yukarıdaki iki strateji trafik tasarımı ve planlaması için çok yararlıdır. İki kural birlikte uygulandığında, izole edilmiş önceden zamanlanmış sinyalli kavşakta ortaya çıkan gecikmeyi hemen hemen en aza indirebilir.

Analiz döneminde gelen tüm araçların yaşadığı minimum ortalama kontrol gecikmesini sağlayan optimum çevrim uzunluğu, gecikme hesaplama metodolojileri ile yakından ilişkilidir. Webster ve HCM 2000 yöntemlerinden hesaplanan gecikme sonuçları farklıysa, en uygun çevrim uzunlukları da büyük olasılıkla farklı olacaktır.

Webster yönteminin gecikme hesaplaması aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$d = \frac{c(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)} \quad (5.4)$$

d: Kavşak belirli şerit grubunda araç başına ortalama gecikme, sn/araç

c: Döngü süresi, sn

q: Akış, araç/sn

λ : Döngü uzunluğu ile ilgili etkili yeşil oranı

x: Doygunluk derecesi.

Denklem 5.4' ün ilk terimi, trafiğin tek tip olarak geldiği varsayıldığındaki gecikmeyi temsil eder. Denklemin ikinci terimi gelenlerin rastgele doğası için bazı kabuller yapmaktadır. Denklemin üçüncü terimi, tüm akış değerlerinde daha yakın bir uyum sağlamak için ampirik bir düzeltme terimidir. Normalde, son dönem toplam gecikmeye göre nispeten küçüktür ve genellikle ilk iki dönemin yüzde onunu azaltarak ihmal edilir.

HCM 2000 yayınında kullanılan gecikme hesabı, aşağıdaki bağıntı ile yapılır, bağıntıya ilişkin alt hesaplamalar bölüm 4.8.1'de verilmiştir.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (5.5)$$

Bu bağıntıda;

d: Araç başı kontrol gecikmesi (s/Araç),

d_1 : Sabit akışta meydana gelen sabit kontrol gecikmesi (s/Araç)

PF: Sabit gecikme ilerleme düzeltme faktörü, sinyalizasyon etkisi.

d_2 : Artımsak gecikme, rastgele araç gelişleri ve doygunluk seviyesi üstü durumları vb. (s/Araç),

d_3 : Başlama gecikmesi (s/Araç).

5.4 Kavşaklarda Geri Sayım Sayaçlarının Sürücüler Üzerinde Yaptığı Etkiler

Geri sayım zamanlayıcılarının kapasiteyi iyileştirme, dik açılı çökmeleri azaltma ve kuyruktayken sürücü kaygısını hafifletme potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, pratikte, geri sayım zamanlayıcılarının beklenen etkileri her zaman gerçekleşmemektedir.

Kidvai vd. (2005), geri sayım sayaçlarının kapasitesi üzerinde “az etkisi” olduğunu ancak Malezya'da kırmızı ışık geçiş ihlallerinin sayısını yüzde 50 oranında azalttığını tespit etmiştir. Buna karşılık Chen vd. (2007), geri sayım zamanlayıcılarının kesişme güvenliği üzerinde olumsuz etkileri olduğunu savundu. 2003'ten 2006 yılına kadar Tayvan'da 187 kavşak trafik kazası verileri, kırmızı faz sırasında kaza oranı geri sayım zamanlayıcılarının

kurulumundan sonra yaklaşık yüzde 50 oranında azalırken, yeşil faz sırasında kaza oranı neredeyse yüzde 100 oranında arttı (Yang, 2012). Benzer şekilde, (Chiou ve Chang, 2010) geri sayım zamanlayıcılarının sürücünün durdurma eğilimini azalttığını, ikilem bölgesini 28 metre uzattığını ve yeşil fazın sonunda daha yüksek geri dönme çarpışma oranlarına yol açtığını tespit etti. Geri sayım sayaçları başlangıç süresini ve doymun akışı azaltmasına rağmen önemli bir güvenlik artışı gözlenmemiştir.

Ibrahim vd. (2008), geri sayım zamanlayıcılarının başlangıç kayıp süre üzerinde sınırlı bir etkisi olmakla birlikte, kuyruk boşaltma oranının iyileştirilmesinde önemli etkide olduğu saptanmıştır. İlginç bir şekilde, geri sayım zamanlayıcılarının kurulumundan sonra kırmızı ışık ihlallerinin sıklığının arttığı gözlemlenmiştir.

(Lum ve Halim, 2006), geri sayım sayaçlarının kavşaklar üzerinde zamana bağlı etkilerini inceledi. Singapur'daki önceki ve sonrası çalışmalarından elde edilen sonuçlar, geri sayım zamanlayıcılarının kurulumundan 1.5 ay sonra kırmızı ışık ihlallerinde 65% azalma gösterdi. Ancak, kırmızı ışık ihlalleri altı ay sonra kurulum öncesinde seviyelere yükseldi. Benzer şekilde geri sayım zamanlayıcılarının sarı uzunluğa yol açtığını ve ikilem bölgesi problemlerini ele alamadığını tespit etmiştir.

Limanond vd. (2009), Bangkok'ta geri sayım sayaçları yaklaşık bir saniye kadar başlangıç kayıp zamanını azalttığı sonucunu elde etmiştir, aynı zamanda az bir miktar kavşak kapasitesini arttığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte, doymun akış hızı çok az değişiklik göstermiştir. Limanond tarafından yürütölen bir başka çalışma, geri sayım zamanlayıcının yeşil faz sırasında ortalama doymunluk ilerlemesini biraz uzatabileceğini ve yeşil fazın başlangıcındaki başlangıç kaybının zamanını %22 azaltabileceğini göstermiştir. Ayrıca, geri sayım sayaçlarının sarı faz sırasında sürücü davranışları üzerinde çok az etkisi varken, kırmızı-ışık ihlallerini azalttığı tespit edilmiştir. Sharma vd. (2009), geri sayım sayaçlarının ilerleme dağılımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Zamanlayıcıların

kurulumundan sonra başlangıç kayıp zamanının hem geçiş sürelerinin kısaldığı gözlemlenmiştir.

Newton vd. (1997), bir geri sayım zamanlayıcısına benzer şekilde işlev gören, yanıp sönen bir sarı sinyalin etkilerini incelemek için bir sürüş simülatörü kullandı. Sonuçlar, zamanlayıcının kırmızı ışık ihlallerini azalttığını ve ardışık araçlar arasındaki çelişkili kararların potansiyelindeki değişkenliği artırdığını gösterdi. Başka bir çalışmada İsviçre, Avusturya ve Almanya'da on adet kavşakta yanıp sönen yeşile yaklaşırken sürücü davranışlarını inceledi. Erken durakların yanıp sönen yeşil ile önemli ölçüde arttığını, bu da minimal bir ikilem bölgesi ve dik açılı çarpışma olasılığının azaldığını tespit ettiler. Başka bir çalışmada geri sayım sayaçları Şangay'da sarı faz sırasında yüksek hızlarda durma çizgisini geçmek için sürücülerini teşvik ettiğini gözlemledi, Çin'de; geri sayım sayaçları kesişme kapasitesini artırdığı, faz geçişine sürücünün tepkileri düzelttiği ve aynı zamanda önemli ölçüde kırmızı-ışık ihlallerini azalttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, zamanlayıcılar, sarının başlangıcından önce daha yüksek yaklaşım hızları nedeniyle beklenmedik bir şekilde geçen araçlarla veya yayalarla çarpışma olasılığını artırdığı görülmüştür. Görüldüğü üzere sayaçların sürücü davranışlarına olan etkilerini birçok araştırmacı konu almıştır.

Yukarıda belirtilen çalışmalar belirli bölgelerden gözlemler rapor ederken, bulguları birbiriyle çelişme eğilimindedir. Trafik koşulları ve sürüş kültürü bir ülkeden diğerine ve birçok durumda bir şehirden diğerine farklılık gösterir. Yararlı perspektifler sağlamak için ek çalışmalar gereklidir.

6. ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN KAVŞAK VE ANALİZLERİ

6.1 Vissim Benzetim Programı

Kavşak geometrilerini karşılaştırmak, toplu taşıma öncelik düzenlerini analiz etmek veya belirli sinyal süresi etkilerini dikkate almak amacıyla PTV Vissim, trafik modellerini tam olarak simüle etmeyi sağlar. Motorlu özel taşımacılık, yük taşımacılığı, demiryolu ve karayolu ile ilgili toplu taşıma, yayalar ve bisikletliler gibi parametreler kullanılarak elde edilen mikroskobik trafik simülasyonu yazılımı olan PTV Vissim, tüm yol kullanıcılarını ve etkileşimlerini tek bir modelde görüntüler. Bilimsel olarak doğru hareket modelleri, tüm yol kullanıcılarının gerçekçi modellenmesini sağlar (PTV AG, 2009).

Yazılım şu açılardan esneklik sunar:

- Bağlantı ve konektör kavramı, kullanıcıların geometrileri herhangi bir karmaşıklık düzeyinde modellemelerine olanak tanır.
- Sürücü ve taşıt karakteristikleri için ayrı ayrı parametrelendirme özelliği sunar.
- Çok sayıda ara yüz sinyal kontrolörleri, trafik yönetimi veya emisyon modelleri için diğer sistemlerle sorunsuz entegrasyon sağlar.

PTV Vissim, kapsamlı analiz seçenekleri sunar. Kentsel ve şehir dışı ulaşım altyapısının değerlendirilmesi ve planlanması için güçlü bir araç oluşturur. Örneğin, simülasyon yazılımı, farklı senaryolar için ayrıntılı hesaplama sonuçları veya etkileyici 3D animasyonlar oluşturmak için kullanılabilir. Karar vericilere ve halka ikna edici ve anlaşılır planlı altyapı önerileri sunmak için mükemmel bir yoldur (PTV AG, 2013).

Şehir içi trafiğin ana kaynaklarından biri olan kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmeleri tüm trafik sistemini etkilemektedir. Gecikme sürelerinin fazla olması, doğal olarak sürücülerin güzergah seçiminde ve trafiğin yol ağı üzerindeki dağılımında esas rolü oynar. Taşıt başına düşen ortalama gecikme

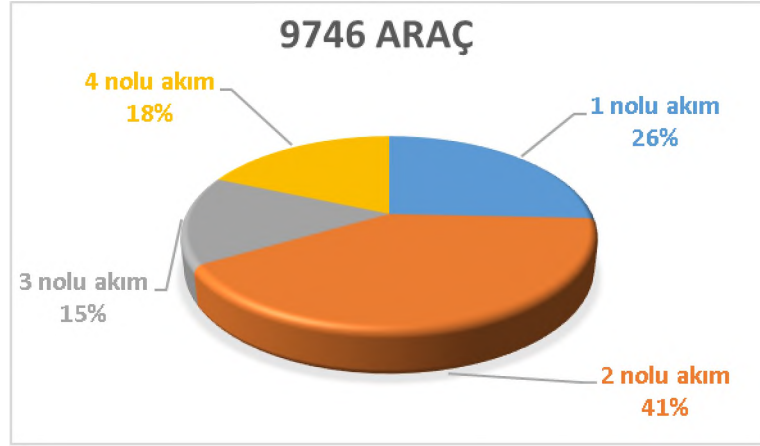
miktarı, bir sinyalize kavşağın performansının belirlenmesinde etkin olan değişkenlerden biridir.

Bu çalışma kapsamında kavşaklarda yaşanan sürücü ve yaya kaynaklı trafik problemlerinin tespit edilmesine yönelik deneysel bir tasarım yapılarak oluşturulan dört kollu sinyalize kavşakta farklı senaryolar denenmiştir. Oluşturulan bu farklı senaryolarla kavşaktaki yaya ve sürücü özelliklerindeki değişimlerin kavşak kapasitesine etkisi incelenmiştir. Bu senaryolarda seçilen simülasyon programına (Vissim) otomobil, kamyonet, taksi, ticari minibüs, servis minibüsü, İETT, ağır taşıt olmak üzere yedi farklı taşıt girdisi ve bunun yanı sıra yaya girdisi yapılmıştır. Senaryolarda taşıt ve sürücü davranışları varsayılan (default) ayarlar kullanılacak şekilde iki saatlik simülasyon yapılmıştır. Sonrasında yaya ve sürücü davranışları kademeli olarak değiştirilerek bu değişikliklerin kavşak kapasitesine etkileri incelenmiştir. Oluşturulan senaryoların her biri için kavşaktaki; ortalama gecikme süresi [saniye], ortalama durma sayısı, ortalama hız [km/sa], toplam gecikme süresi [saat], toplam seyahat süresi [saat] gibi kavşak kapasitesini doğrudan etkileyen parametreler karşılaştırılmıştır. Ayrıca karbon monoksit emisyonu [kg], azot oksit emisyonu [kg], yakıt tüketimi [galon] gibi taşıt kullanıcıları tarafından üretilen ancak yalnız onlar tarafından değil, bir bütün olarak toplum tarafından bedeli ödenen dışsal maliyet değerleri de ayrı ayrı incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu kısımda dört kollu sinyalize bir kavşakta aşağıdaki karşılaştırmalar yapılacaktır. Bunlar;

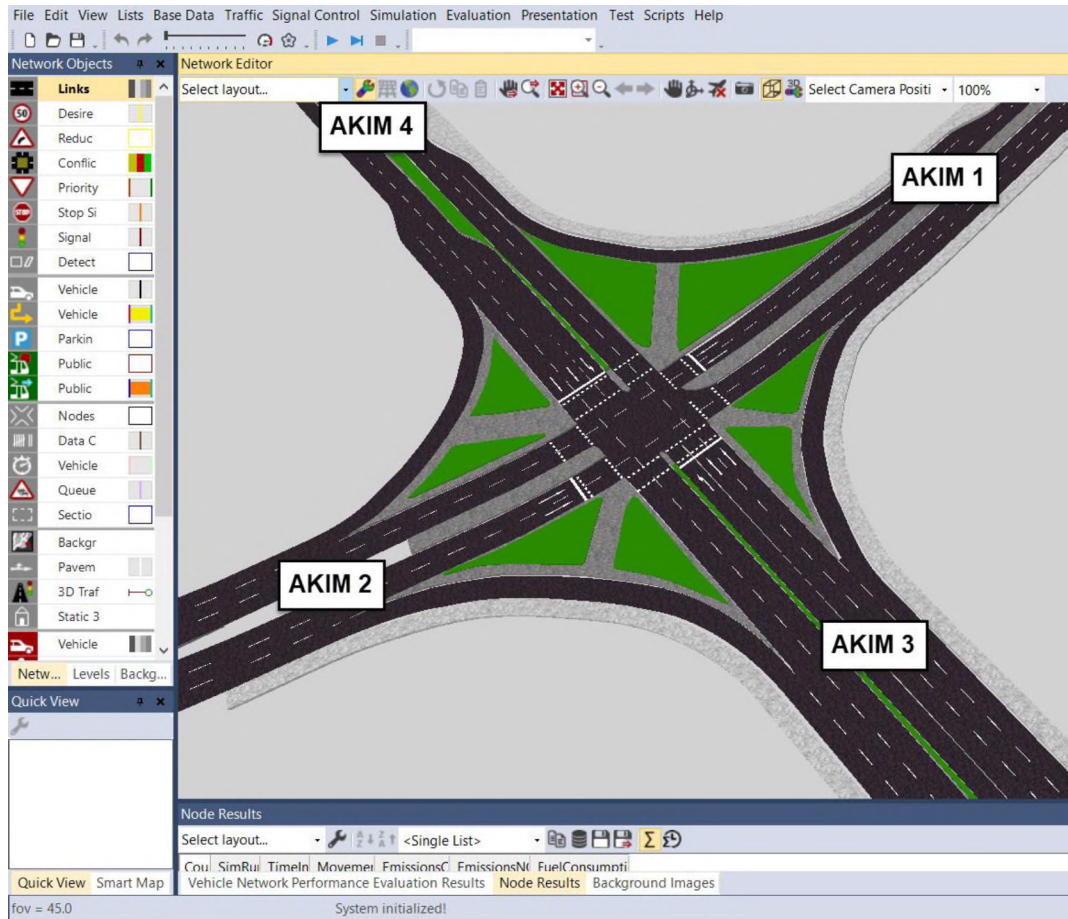
- Değişen taşıt sürücü davranışlarının incelenmesi
- Değişen minibüs sürücü davranışlarının incelenmesi
- Değişen yaya davranışlarının incelenmesidir.

Bu kısımda, aşağıda detaylandırılacak olan simülasyon çalışmalarıyla ilgili Şekil 6-1'de toplam taşıt girdi bilgisi ve yaklaşım kolları üzerinde bulunan taşıtların dağılım oranları verilmiştir. Ayrıca her bir kavşak kolundaki akım değerleri Şekil 6-2'de ve bunların diğer kavşak kollarına dağılımı ise Çizelge 6-1'de verilmiştir. İki saatlik simülasyon için kavşağı kullanan 9746 aracın %26'sı 1,

%41'i 2, %15'i 3 ve %18'i 4 nolu akım kolunu kullandığı, bunlar arasında en fazla hacmin 2 nolu akımın bulunduğu kavşak kolunda olduğu görülmektedir.



Şekil 6-1 Kavşak üzerinde bulunan yaklaşım kollarına göre taşıt dağılımı

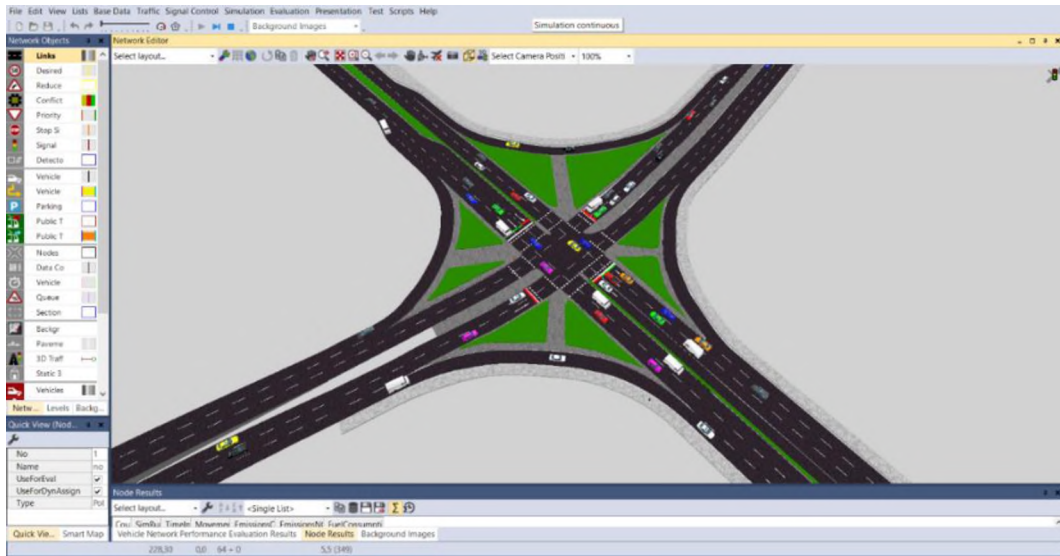


Şekil 6-2 Her bir yaklaşım kolundaki akım numaraları

Çizelge 6-1 Her bir yaklaşım kolundaki taşıt hacimleri

	Otomobil	Kamyonet	Taksi	T. Minibüs	S. Minibüsü	İETT	Ağır Taşıt	Toplam
Akım 1	1794	207	211	10	267	9	8	2506
Akım 2	2829	270	272	31	563	7	8	3980
Akım 3	1030	98	134	4	190	6	2	1464
Akım 4	1315	109	101	3	251	8	9	1796
Toplam	6968	684	718	44	1281	24	27	9746

Çalışma kapsamında Vissim benzetim programı kullanılmış olup yukarıda taşıt girdisi, akım oranları, akımların kollara göre dağılımı verilen simülasyon çalışmasına ait bir görüntü Şekil 6-3'te verilmiştir. Şekil 6-3'teki kavşak dört kollu, sinyalizе bir kavşak olup üç fazlı olarak çalışmaktadır. Her bir kolda ana akslar aynı fazla çalışmaktayken sağa dönüşler sinyalsiz kontrollü katılım şeklindedir. Ayrıca kuzey – güney aksları (1 - 2 nolu akım) toplam akım oranının %67'sini oluşturması sebebiyle ana aks niteliğinde çalışmaktadır.



Şekil 6-3 Simülasyon çalışmasından bir kesit

6.2 Sürücü Davranış Senaryoları (SDS)

Bu kısımda Vissim programında dört kollu sinyalizе bir kavşakta sürücü davranışları “varsayılan” olacak şekilde 2 saatlik simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçları Şekil 6-6'da “mevcut” ile temsil edilmektedir. Sonrasında sürücü davranışları sekmesi altında bulunan; takip, şerit değiştirme, yanal

davranış, sinyal kontrolü sekmelerinden yalnızca takip ve şerit değiştirme özellikleri altında bulunan sürücü davranışları kademeli olarak değiştirilmiştir.

Sürücü davranış senaryoları (SDS);

- SDS1 (Çok az agresif sürücü)
- SDS2 (Az agresif sürücü)
- SDS3 (Agresif sürücü)
- SDS4 (Çok agresif sürücü)

olacak şekilde takip ve şerit değiştirme özellikleri dört kademedeki değiştirilmiştir. Sürücü davranışları sekmesinin gösterimi Şekil 6-4'te verilmiştir.

Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Lane Change Lateral Signal Control

Look ahead distance

min.: 0.00 m

max.: 250.00 m

4 Observed vehicles

Look back distance

min.: 0.00 m

max.: 150.00 m

Temporary lack of attention

Duration: 0.00 s

Probability: 0.00 %

☒ Smooth closeup behavior

☐ Standstill distance for static obstacles: 0.50 m

Car following model

Wiedemann 74

Model parameters

Average standstill distance: 2.00

Additive part of safety distance: 2.00

Multiplic. part of safety distance: 3.00

OK Cancel

Şekil 6-4 Sürücü davranışları sekmesi

Şekil 6-6'daki simülasyon sonuçları incelendiğinde, sürücü davranışları agresifleştikçe taşıt başı ortalama gecikme süresinin, dolayısıyla toplam gecikme süresinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda sürücü agresifliği ile birlikte ortalama hızın artmasıyla da toplam seyahat süresinin azaldığı

görülmektedir. Yine bunun paralelinde ortalama durma sayısı da SD1'den SD4'e gittikçe azalmaktadır. Sürücü davranışlarının yakıt tüketimi, azot oksit emisyonu, karbon monoksit emisyonu üzerindeki etkisi incelendiğinde ise sürücü davranışlarının agresifleşmesiyle yukarıda bahsedilen; toplam seyahat süresinin azalması, ortalama durma sayısının azalmasıyla birlikte yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak ta emisyon değerlerinin azaldığı görülmektedir. Burada bahsedilen agresiflik kavramı; sürücünün taşıt izleme mesafesinin diğer sürücülere kıyasla daha kısa, şerit değiştirme özelliğinin iyileşmesi ve olaylara karşı intikal reaksiyon süresinin daha kısa olmasıdır. Dolayısı ile trafik akımı üzerindeki etkisinin olumlu olması durumunu ifade etmektedir. Kısaca agresif olarak tanımlana sürücü davranışının artması, otonom sürüş koşullarına nispeten daha yaklaşması şeklinde de yorumlanabilir.

Araçtan araca (vehicle to vehicle - V2V) iletişim sistemi teknolojisi sürücülere ihtiyaç duyduklarında önemli bilgiler sağlar ve görsel olarak olası tehlikeler hakkında sürücüleri bilgilendiren uyarılar verir. Bu uyarılar ekran, koltuk titreşimi ve sesli tonlarla sağlanır. V2V sürücülere 360 derecelik veri sağlar (Şekil 6-5). Tüm araçlarda ortak olarak mevcut GPS konumu, araç hızı hızlandırma ve yönlendirme, şanzıman durumu, fren durumu ve direksiyon açısı gibi araç kontrol bilgileri ile aracın yol geçmişi ve yol tahmini bilgilerini sağlar. Tüm araçlar aynı şekilde iletişim kurarlar.



Şekil 6-5 Araçtan araca iletişim (Extremetech, 2014)

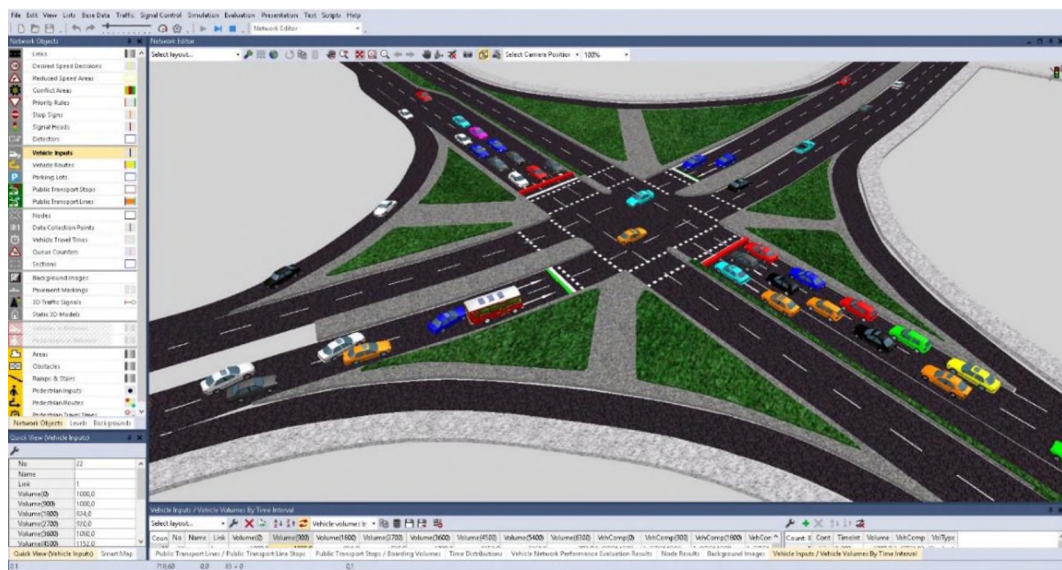


Şekil 6-6 SDS simülasyon sonuçları

6.3 Minibüs Davranış Senaryoları (MDS)

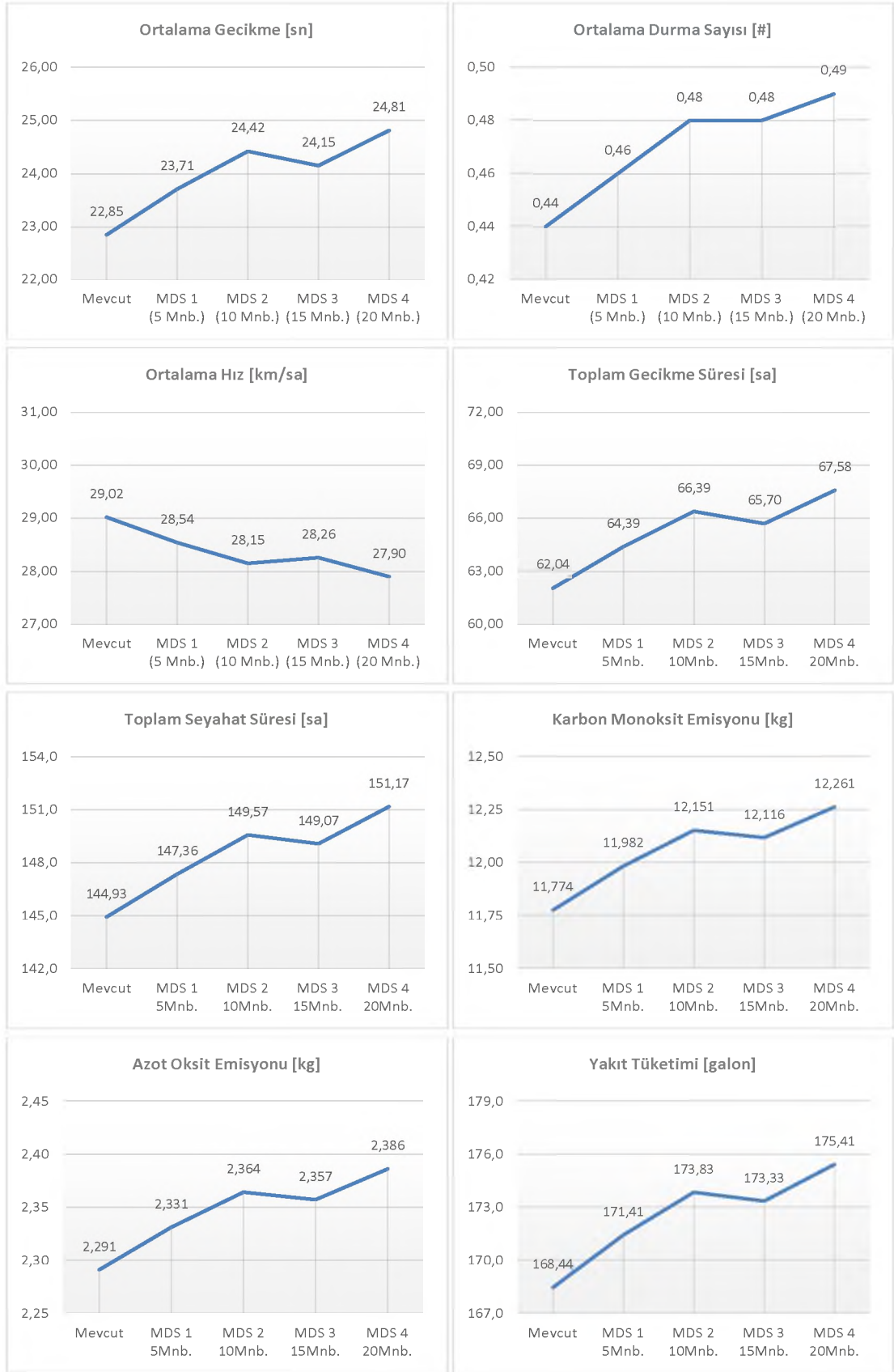
Bu kısımda Vissim programında dört kollu sinyalizasyon bir kavşakta sürücü davranışları “varsayılan” olacak şekilde 2 saatlik simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyon sonuçları Şekil 6-8’de “mevcut” ile temsil edilmektedir. Sonrasında minibüs sürücülerinin kavşak kapasitesine etkilerini incelemek üzere kavşak yaklaşım kollarında Şekil 6-7’de da gösterildiği üzere minibüsler kavşak yaklaşım kolunda belli bir süre bekletilmiştir. Minibüslerin kavşak yaklaşım noktalarında yapmış oldukları beklemler minibüslerin arkasındaki taşıt sürücülerinin sollama yapmasına sebep olmakta ve bu durum da trafiğin akışını ve dolayısıyla kavşak kapasitesini etkilemektedir. Kavşak yaklaşım kollarında bir saat içerisinde bekleyen minibüs sayısının kademeli olarak arttırılması, minibüslerin kavşak kapasitesine etkisinin incelenmesi açısından önemlidir. Bir saat içerisinde kavşak yaklaşım kolunda bekleyen minibüs sayısı ve bekleme süresi ise şu şekildedir.

- MDS1 (1 saatte 5 minibüsün 30 sn boyunca beklemesi durumu)
- MDS2 (1 saatte 10 minibüsün 30 sn boyunca beklemesi durumu)
- MDS3 (1 saatte 15 minibüsün 30 sn boyunca beklemesi durumu)
- MDS4 (1 saatte 20 minibüsün 30 sn boyunca beklemesi durumu)



Şekil 6-7 Minibüs davranışları gösterimi

Şekil 6-8'deki simülasyon sonuçları incelendiğinde, kavşak yaklaşım kollarındaki bekleme yapan minibüs sayısının tedricen arttırılmış olması, taşıtların ortalama hızını düşürmüştür. Dolayısıyla toplam gecikme ve toplam seyahat süresinin de artmasına neden olmuştur. Ayrıca ortalama durma sayısı ve toplam seyahat süresinin artmasıyla birlikte yakıt tüketimi, emisyon miktarının da arttığı görülmektedir. Ancak MDS1'den MDS4'e doğru doğrusal olarak artma veya azalma eğilimde olan grafiklerde MDS3'ün simülasyon sonuçlarının beklenmedik olduğu görülmüş ve simülasyon ayrıca incelenmiştir. MDS3 simülasyonu incelendiğinde ise minibüslerin bekleme yaptığı süre zarfında kırmızı ışığın o yönde yandığı, dolayısıyla minibüslerin kavşak girişinde beklemesinin kavşak kapasitesine beklenen şekilde olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

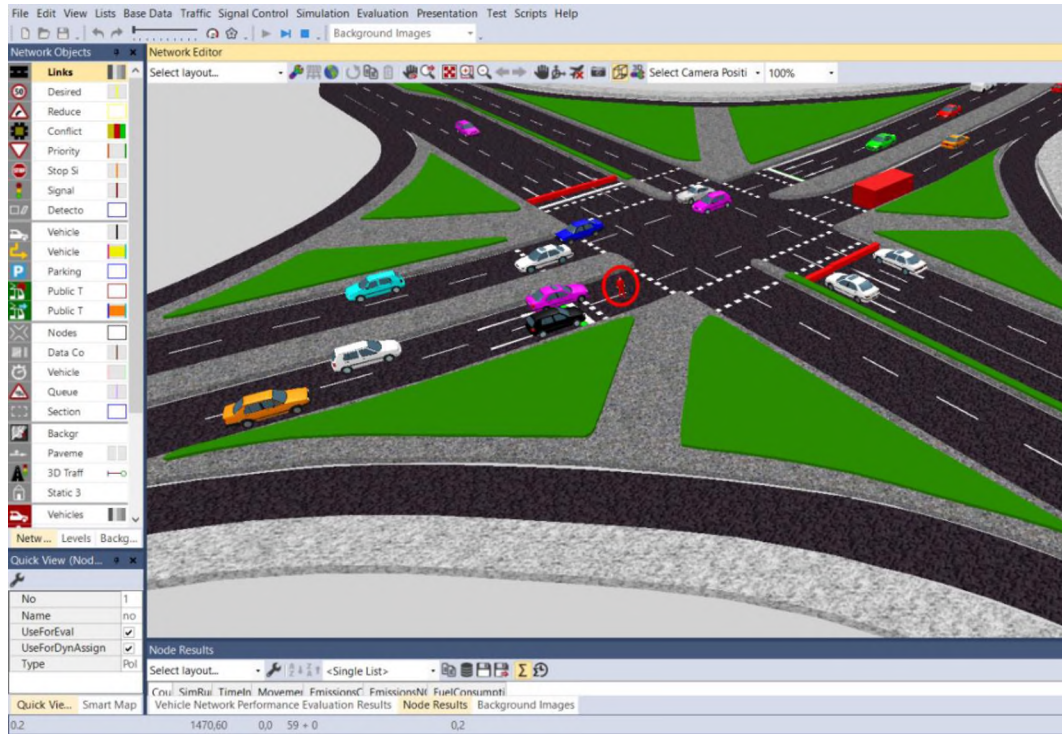


Şekil 6-8 MDS simülasyon sonuçları

6.4 Yaya Etkisi Senaryoları (YES)

Bu kısımda Vissim programında dört kollu sinyalizasyon bir kavşakta yaya ve sürücü davranışları “varsayılan” olacak şekilde 2 saatlik simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyon sonuçları Şekil 6-10’da “mevcut” ile temsil edilmektedir. Sonrasında mevcut yayaların davranışları kademeli olarak değiştirilerek yaya davranışlarının kavşak kapasitesine etkisi incelenmiştir. Farklı yaya davranışları, yayaların trafik kurallarına uyup uymamasına ilişkin yapılan değişiklikler ile ortaya konulmuştur. Yayaların kavşak noktasında yapmış olduğu kırmızı ışık ihlali Şekil 6-9’da gösterilmektedir. Oluşturulan her bir senaryoda yaya davranışları şu şekilde değiştirilmiştir.

- YES1 (1 saat içerisinde 5 yayanın kırmızı ışık ihlali yapması durumu)
- YES2 (1 saat içerisinde 10 yayanın kırmızı ışık ihlali yapması durumu)
- YES3 (1 saat içerisinde 15 yayanın kırmızı ışık ihlali yapması durumu)
- YES4 (1 saat içerisinde 20 yayanın kırmızı ışık ihlali yapması durumu)



Şekil 6-9 Kırmızı ışık ihlali gösterimi

Şekil 6-10'daki simülasyon sonuçları incelendiğinde kavşak yaklaşım noktalarında ihlal yapan yaya sayısının artması, taşıtların toplam gecikme süresi ve ortalama durma sayısının artmasına neden olurken ortalama hızlarının azalmasına neden olmuştur. Ortalama hızların azalmasıyla birlikte de toplam seyahat süreleri azalmış, dolayısıyla bu durum taşıtların daha çok yakıt tüketimi yapmasına ve emisyon oranlarının artmasına neden olmuştur. Simülasyon sonuçları incelendiğinde sonuçların YES1'den YES4'e doğrusal olarak artması veya azalması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak birbiriyle ters veya doğru orantı göstermesi beklenen bazı simülasyon sonuçlarında (yakıt tüketimi – emisyon oranı gibi) bu durumun olmadığı görülmüştür. YES1-YES4 simülasyonları incelendiğinde bazı yayaların kırmızı ışık ihlali yaptığı sırada yoldan herhangi bir araç geçmediği veya geçen araçların yayanın az etkileyecek mesafede olduğu ve dolayısıyla bu ihlalin kavşak kapasitesine herhangi bir etkisi olmadığı, bundan dolayı bu durumun simülasyon sonuçlarına azda olsa etki ettiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6-10 YES simülasyon sonuçları

6.5 Sistem Performans Göstergeleri

Bu kısımda simülasyon sonucundan elde edilen verilerle çalışma yapılan kavşağın yıllık sağlayabileceği maksimum faydası hesaplanmıştır. Oluşturulan senaryolar karşılaştırıldığında optimum olan sürücü davranışı senaryosu 4 (SDS 4) ile mevcut durum kıyaslanarak Çizelge 6-2’de gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarından gecikme, yakıt ve CO emisyonu değerleri alınmıştır. Yıllık fayda hesaplamasında, zirve saat sabah ve akşam zirvesi için 4 saat alınmıştır. Zirve dışı zaman ise 14 saat olacak şekilde hesaplama yapılmıştır. Çizelge 6-2’de zirve saat ve zirve dışı zaman 2 saatlik verileri göstermektedir.

Çizelge 6-2 Mevcut durum ile optimum senaryonun karşılaştırılması

	Gecikmeler (saat)		Yakıt (litre)		CO Emisyonu (kg)		Azalmalar		
Zaman	Mevcut	Optimum	Mevcut	Optimum	Mevcut	Optimum	Gecikme (saat)	Yakıt (lt)	CO (kg)
Zirve Saat	62,04	42,87	637,615	583,483	11,774	10,774	19,17	54,131	1
Zirve Dışı	49,63	34,30	510,092	466,787	9,419	8,619	15,34	43,305	0,8

Hesaplamalar sonucunda kavşakta 2 saatlik zirve saat gecikmelerinin 19,17 saat, 2 saatlik zirve dışı zamanda ise 15,34 saat azalarak %30,90 oranında iyileştiği tespit edilmiştir. 2 saatlik zirve saatte yakıtta 54,131 lt, 2 saatlik zirve dışı zamanda ise 43,305 lt azalarak %8,49 oranında tasarruf edilmiştir. 2 saatlik zirve saatte CO emisyonunda 1 kg, 2 saatlik zirve dışı zamanda ise 0,8 kg azalarak %8,50 oranında iyileşme elde edilmiştir.

Yıllık toplam fayda hesaplanırken aşağıdaki kabuller dikkate alınmıştır.

- Kişi başına gelir 9693 \$/yıl
- 1\$=5,75 ₺
- Yakıt(lt)=6,85 TL

Gecikme, yakıt ve CO emisyonlarındaki azalmaların yıllık toplam fayda hesabı Çizelge 6-3’de ki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 6-3 Elde edilen toplam fayda

	Gecikme (saat)	Yakıt (litre)	Toplam Fayda	CO (kg)
Günlük Toplam	291,44	822,794	-	15,20
Yıllık Fayda (\$)	353116	254572	-	-
Toplam Fayda (\$)	-	-	607688	-
Yıllık Fayda (£)	2030417	1463789	-	-
Toplam Fayda (£)	-	-	3494206	-
Yıllık CO Azalma Miktarı	-	-	-	3952

Günlük toplam hesaplanırken toplam zirve saat 4 saat, toplam zirve dışı zaman ise 14 saat olmak üzere gecikme ve yakıt hesaplaması yapılmıştır. Yıllık fayda (\$) hesabında günlük toplam, yıllık iş günü ve kişi başı gelirin iş saatine denk gelen miktarları çarpılarak gecikme ve yakıt faydaları hesaplanmıştır. Burada yıllık iş günü 260 gün olarak alınmıştır. Yıllık fayda (£) hesaplanırken yıllık fayda (\$) döviz kuru ile çarpılarak bulunmuştur. Yıllık CO emisyon miktarı günlük toplam ile yıllık iş günü çarpımı ile elde edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yaya ve sürücü davranışlarının kavşak kapasitesine etkisi, VISSIM benzetim modeli kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

Gecikme süreleri ve trafik hacimleri sinyalizasyon kavşaklarda performansı etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Bu iki parametre arasında pozitif yönde yüksek bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Trafik hacimleri arttıkça gecikme süreleri de uzamakta bu da sinyal sürelerinin belirlenmesine etki etmektedir. Sinyal sürelerinin idealden uzak olması kavşağın işlevselliğinin düşmesine neden olmaktadır.

Trafik psikologlarının beceri ve stil başlıklarında incelediği sürücü davranışları, trafikte modellenmesi en zor unsurların başında gelmektedir. Sürüşü bilme ve uygulayabilme beceri kısmını oluştururken kişilik özellikleri her sürücünün ayrı bir taşıt kullanma tarzının olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla becerinin yüksek olduğu ancak trafikte hız ihlali yapma stiline sahip bir sürücünün trafiğe olumsuz etkisi daha fazla olmaktadır. Güvenli sürücülük tarzına sahip (agresif) sürücülerin trafikte ortalama durma sayısını %11,36, hem ortalama hem de toplam gecikme sürelerini %30,89, toplam seyahat süresini %12,98 oranına kadar azaltarak kavşak kapasitesi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Bu etkiler ortalama hızın %15,30 oranına kadar artmasını sağlayarak trafikte geçirilen süreyi azaltmıştır.

Çalışma yapılan kavşakta, mevcut durum ve 12 farklı senaryonun simülasyonu hazırlanmıştır. Simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında optimum olan senaryonun, sürücü davranışı senaryosu 4 (SDS 4) olduğu tespit edilmiştir. Mevcut durum ile sürücü davranışı senaryosu 4 sonuçları kıyaslanmış, simülasyonu yapılan kavşakta elde edilen toplam faydanın yıllık yaklaşık 3,5 milyon TL kazanç ve 3952 kg CO emisyonu azalımı olduğu görülmüştür.

Trafik akımı içerisinde bulunan ve birbiri ile bağlantılı (connected) olan taşıt veya sürücüleri, diğer taşıt hareketlerini ne kadar iyi tahmin edebilirlerse, olaylar karşısındaki tepki süreleri kısalmış ve doğru karar verme ihtimalleri yükselir. Bu sayede trafik kazaları önleme ve sıkışıklığının azaltılmasında önemli düzeyde fayda sağlarlar. Ayrıca çevreye zararlı gaz salınımında ve yakıt tüketimi üzerinde olumlu yönde etkiye sahip olurlar. Trafik akımının tamamı araçtan araca iletişim teknolojisine (V2V) sahip olduğunda, sistem her aracın rotalarını gerçek zamanlı olarak optimize etmesine yardımcı olacak hassas konum, hız ve konumlandırma bilgileri sağlayacaktır.

Akan trafikte taşıtların duraklama yapmaları ortalama durma sayısını maksimum %11,36 oranında artırdığı belirlenmiştir. Bu durum akımdaki diğer taşıtların mevcut hızlarını önce azalmalarına sonra yeniden hızlanmalarına sebep olarak ortalama hızda en fazla %3,86 oranında azalmaya neden olduğu görülmüştür. Ortalama gecikme süresinin %8,58, toplam gecikme süresinin ise %8,93 oranlarına kadar artması toplam seyahat süresini de %4,31 oranında etkileyerek trafikte geçirilen zamanı artırmıştır. Bu etkiler sebebi ile %4,14 oranında artan yakıt kullanımının maliyetlere olumsuz olarak yansıdığı tespit edilmiştir.

Yayaların kırmızı ışık ihlali yapmaları sonucunda, taşıtların ortalama durma sayısı maksimum %4,55 oranında artışa, ortalama hızda ise %1,93 oranına kadar düşüşe neden olmuştur. Bu durum ortalama gecikme süresinin %2,41, toplam gecikme süresinin %2,78, toplam seyahat süresinin ise %2,24 oranlarına kadar artırmıştır. Dolayısı ile kural ihlali yapan yayaların neden olduğu taşıt gecikmeleri ile taşıtların duraklama yapma nedeni ile sebep oldukları olumsuzluklar arasında benzerlik olduğu tespit edilmiştir.

Motorlu taşıt emisyonları fosil yakıtların ideal yanmaması nedeniyle hem hava kirliliğine hem de toksit zehir oluşumuna neden olarak çevreye zarar vermektedir. Takip ve şerit değiştirme parametreleri dikkate alınarak oluşturulan SDS modelinde yakıt tüketiminin %8,49 oranına kadar azaldığı tespit edilmiştir. MDS modelinde yakıt tüketiminin %4,14, YES modelinde ise

%2,17 oranlarına kadar arttığı görülmüştür. Bu artışlar sonucunda karbon monoksit emisyonunun SDS'de %8,49 oranına kadar azaldığı görülürken, MDS'de %4,14, YES'de ise %2,17 oranlarına kadar arttığı tespit edilmiştir. Azot oksit emisyonunun ise SDS'de %8,51 oranına kadar azaldığı tespit edilirken, MDS'de bu oran %4,14, YES'de ise %2,14 oranlarına kadar arttığı belirlenmiştir. Kavşak gecikme sürelerinin artması, karbon monoksit ve azot oksit gazlarının havaya salınımlarını artırarak canlı yaşamını tehdit etmektedir. Gecikmelerin azalması bu gazların da azalmasını sağlayacaktır. Böylece yakıt tüketimi ve çevre faktörlerinin pozitif yönde etkilenmesi söz konusu olacaktır.

Trafik sıkışıklığını hafifletmek için trafiğe çıkan taşıt sayılarının azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle toplu taşımada yolcu konfor ve güvenliğinin artırılması gibi iyileştirmeler yapılarak özel otomobil kullanıcılarının bu taşıtlara yönelmesi sağlanmalıdır. Diğer yandan trafiğin en yoğun yaşandığı kesim olan kavşaklardaki inovatifliği artırmak gerekmektedir. Bunun için benzetim modellerinden yararlanılmalı ancak tasarımı yapılacak olan kavşağın bölge ve insan faktörlerini dikkate alan mevcut parametreler artırılarak simülasyonun gerçeğe daha uyumlu olması sağlanmalıdır. Ayrıca yaya ve sürücü eğitimleri artırılarak trafik kültürü oluşturulmalı, kural ihlali yapan sürücü ve yayalara ağır yaptırımlar getirilerek cezanın caydırıcılık etkisinden yararlanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akçelik, R., 2008. The Relationship between Capacity and Driver Behaviour. TRB National Roundabout Conference, May 2008. Kansas City, MO, USA.
- Akçelik, R., 1998. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis. Melbourne, Victoria Australia: Australian Road Research Board (ARRB).
- Alçelik, N., 2010. Kent İçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması, Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Amado, S., Koyuncu, M., ve Kaçaroğlu, G., 2004. Güvenli Sürücülüğün Değerlendirilmesinde Etkili Olan Faktörler: Sürücünün Demografik Özellikleri, Deneyimi, Kişilik Özellikleri Ve Psiko-Teknik Değerlendirme. Türk Psikoloji Dergisi, 19(53), 23-43.
- Asya Trafik, 2019. Koordine (Eşgüdümlü) Sinyalizasyon Kontrol Sistemleri. Erişim Tarihi: 25.12.2019. <https://asyatrafik.com/koordin-e-sgudumlu-sinyalizasyon-kontrol-sistemleri-nedir/>
- Asya Trafik, 2019. Ulaşım, Sinyalizasyon ve Trafik Terimleri Sözlüğü – Bölüm 2. Erişim Tarihi: 26.12.2019. <https://asyatrafik.com/ulasim-sinyalizasyon-ve-trafik-terimleri-sozlugu-bolum-2>
- Ayfer, M.Ö., 1977. Trafik Sinyalizasyonu. Ankara: Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.
- Bester, C.J., Meyers, W. L., 2007. Saturation flow rates. SATC 2007 - 26th Annual Southern African Transport Conference: The Challenges of Implementing Policy, 560-568.
- Cevizci, A., 1996. Felsefe Sözlüğü. Ekin Yayınları, Ankara.
- Chen, I.C., Chang, K.K., Chang, C.C., Lai, C., 2007. The Impact Evaluation Of Vehicular Signal Countdown Displays. Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications, Taiwan.
- Cheng, D., Messer, C. J., Tian, Z. Z., 2003. Modification of Webster's Minimum Delay Cycle Length Equation Based on HCM 2000. Transportation Research Board (TRB) 2003 Annual Meeting. Erişim Tarihi: 26.11.2019. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.520.8324&rep=rep1&type=pdf>
- Chiou, Y. C., Chang, C. H., 2010. Driver Responses to Green and Red Vehicular Signal Countdown Displays: Safety and Efficiency Aspects. Accident Analysis and Prevention, 42, 1057-1065.
- Cüceloğlu, D., 1992. İnsan ve Davranışı. Remzi Kitabevi, İstanbul.

- Çalışkanelli, S.P., 2010. Sinyalizasyon Sistemlerinden Ayrılan Araçların Takip Aralığı Dağılımının İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Çetin, M., 2015. Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Oranının Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli.
- Dülger, C., 2009. Trafik Sinyalizasyonunun Acil Durumlarda Kontrolü için Sistem Tasarımı ve Yapımı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Extremetech, 2014. V2V: What Are Vehicle-to-Vehicle Communications and How Do They Work. Erişim Tarihi:10.11.2019. <https://www.extremetech.com/extreme/176093-v2v-what-are-vehicle-to-vehicle-communications-and-how-does-it-work>
- Gedizlioğlu, E., 1979. Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Sürücülerinin Davranışlarına Göre Pratik Kapasite Saptanması için Bir Yöntem. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Gross, M., McClure, C.R., Lankes, R.D., 2006. Costing Reference: Issues, Approaches, and Directions for Research. The Reference Librarian, 46(95-96), 173-186.
- Homburger, W.S., Keefer, L.E., McGrath, W.R., 1982. Transportation and Traffic Engineering Handbook. 2nd Edition. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall.
- Ibrahim, M.R., Karim, M.R., Kidwai, F.A., 2008. The Effect of Digital Count-Down Display on Signalized Junction Performance. American Journal of Applied Sciences, 5(5), 479-482.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Yönetim Merkezi (UYM), 2017. İstanbul'daki Sinyalize Kavşaklarda Erişilebilir Yaya Butonu (Engelli Yaya Sistemi) Dönüşümü. Erişim Tarihi: 05.01.2020. <https://uym.ibb.gov.tr/kurumsal/haberler-ve-duyurular/istanbul-daki-sinyalize-kavsaklarda-erisilebilir-yaya-buton-u-engelli-yaya-sistemi-donushumu>
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005. Karayolu Tasarım El Kitabı. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018. Trafik Kazaları Özeti. Ankara. Erişim Tarihi: 21.11.2019. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2018.pdf>

- Kidvai, F.A., Karim, M.R., İbrahim, M.R., 2005. Traffic Flow Analysis of Digital Count Down Signalized Urban Intersection. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 1301-1308.
- Leong, L.V., Wan Ibrahim, W.H., Ibrahim, W., 2006. Passenger Car Equivalents and Saturation Flow Rates for Through Vehicles at Signalized Intersections in Malaysia. 22nd ARRB Conference. Canberra Australia: Research into Practice.
- Limanond, T., Chookerd, S., Roubtonglang, N., 2009. Effects of Countdown Timers on Queue Discharge Characteristics of Through Movement at A Signalized Intersection. Transportation Research Part C, 17, 662–671.
- Lum, K.M., ve Halim, H., 2006. A Before-And-After Study on Green Signal Countdown Device Installation. Transportation Research Part F, 9, 29–41.
- Murat, Y.Ş., 2012. Trafik Mühendisliği Ders Notları. Denizli.
- Newton, C., Mussa, R.N., Adalla, E.K., Burns, E.K., Judson, M., 1997. Evaluation of an Alternative Traffic Light Change Anticipation System. Accident Analysis & Prevention, 29(2), 201–209.
- PTV AG, 2000. Vissim System Software and Consulting GmbH. Stumpfsstrabe. Karlsruhe, Germany.
- PTV AG, 2009. Vissim User Manual. Karlsruhe, Germany.
- PTV AG, 2013, Ağustos. Vissim 6. Karlsruhe, Germany.
- Sharma, A., Vanajakshi, L., Rao, N., 2009. Effect of Phase Countdown Timers on Queue Discharge Characteristics Under Heterogeneous Traffic Conditions. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2130, 93-100.
- Stanić, B., Tubić, V., Nikola, Č., 2011. Straight Lane Saturation Flow and Its Rate in Serbian Cities. Transport, 26(3), 329-334.
- State of Florida Department of Transportation (FDOT), 2009. Quality/Level of Service Handbook.
- Sümer, N., Özkan, T., 2002. Sürücü Davranışları, Becerileri, Bazı Kişilik Özellikleri ve Psikolojik Belirtilerin Trafik Kazalarındaki Rollerini. Türk Psikoloji Dergisi, 17(50), 1–22.
- Transportation Research Board (TRB), 2000. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board.
- Varlıorpak, Ç., 2003. Trafik 1 Ders Notları. İzmir.

Webster, F.V., Cobbe, B.M., 1966. Traffic Signals. London: H.M.S.O.

Yang, Q., 2012. Studies of Driver Behaviors and Traffic Flow Characteristics at Roadway Intersections. University of Tennessee, Doktora Tezi, Knoxville.

Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdal DEMİRKAN

Doğum Yeri ve Yılı : RİZE, 02/07/1978

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : edemirkan53@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Halit Armay Lisesi, 1996

Lisans : Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2016

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, 2020

Mesleki Deneyim

İSBAK-İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş. 2014-...(devam ediyor)

Yayınları

Demirkan, E., Ilıcalı, M., 2020. Sinyalize Kavşaklarda Sürücü Davranışlarının Gecikme Süresine Etkisi, Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, (Kabul Edildi.).