

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ KOMPOZİSYONUNUN ŞEHİRİÇİ TRAFİK
AKIMLARINDAKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

Burcu YİĞİT

Mart, 2019
İZMİR

ARAÇ KOMPOZİSYONUNUN ŞEHİRİÇİ TRAFİK AKIMLARINDAKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

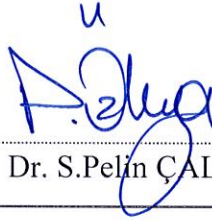
Burcu YİĞİT

Mart, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BURCU YİĞİT, tarafından DOÇ. DR. S.PELİN ÇALIŞKANELLİ yönetiminde hazırlanan “ARAÇ KOMPOZİSYONUNUN ŞEHİRİÇİ TRAFİK AKIMLARINDAKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ

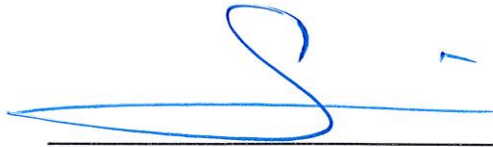
Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü yardımı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ'ye, çalışmam süresince her konuda hoşgörü ve sabır göstererek sorularıma cevap veren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Serhan TANYEL ve Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL'a teşekkürü borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince her zaman destek olan Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı öğretim üyelerine yardımları için çok teşekkür ederim.

Beni yetiştiren ve bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen annem Sermin YİĞİT ve babam Metin YİĞİT'e, kardeşim olduğu için kendimi şanslı hissettiğim Mert YİĞİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burcu YİĞİT

ARAÇ KOMPOZİSYONUNUN ŞEHİRİÇİ TRAFİK AKIMLARINDAKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Gelişmekte olan şehirlerde hızla artan araç trafiği günlük hayatı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple trafiğin doğru yönetilmesi ve trafik tesislerinin en etkin şekilde kullanılabilmesi önem taşımaktadır. Artan araç sayısı ile birlikte trafikteki ağır araç miktarı da hızla artmakta ve buna bağlı olarak trafik tesislerinde ciddi oranda kapasite düşüşü, gecikme ve çevre kirliliğinde artış gözlemlenmektedir. Çalışmada trafik tesislerinde ağır araç etkisini, gecikme, takip aralığı ve kuyruk uzunluğu değerleri performans ölçütleri alınarak belirlenmeye çalışılmıştır. Analizler için benzetim programı, trafik analiz programı ve analitik yöntemler kullanılmıştır. Ağır araç etkisini değerlendirmede önemli bir parametre olan Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) hesaplanmıştır.

Araştırma yapılan karayolu kesimleri sinyalize kavşaklar ve çok şeritli kent içi karayollarıdır. Araştırma yapılan kesimlerde trafik akımında yer alan ağır araçların trafik akımı üzerinde yarattığı etki gecikme ve kapasite parametreleri incelenerek belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada video kamera ile veri toplanması ve incelenen trafik tesislerinin benzetim programları kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Sinyalize kavşaklar için kurulan modelin mevcut kavşak koşullarını yansıtmaları için modelin kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Kalibre edilen modele göre senaryolar oluşturulmuş ve analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek incelenen bölgeler için ağır araç etkisi belirlenmiş ve EOB değeri önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır araç, çok şeritli karayolları, eşdeğer otomobil birimi, gecikme, sinyalize kavşak

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF VEHICLE COMPOSITION ON URBAN TRAFFIC FLOW

ABSTRACT

Rapidly increasing vehicle traffic in developing cities influence negatively daily life. For this reason, management of traffic flow and traffic facilities is an important aspect for their usage in a highly effective way. Along with the increase in the number of vehicles, the amount of heavy vehicles in the traffic also increases rapidly and accordingly there is a serious drop in capacity, delay and increase in environmental pollution. The heavy vehicle effect in the study, delay, headway and queue length values were determined by taking the performance criteria in traffic facilities. Simulation program, traffic analysis program and analytical methods were used for analysis. Passenger Car Equivalent (PCE) has been calculated to evaluate the heavy vehicle effects.

The surveyed highway sections are signalized intersections and multilane urban highways. Within the scope of the research, various capacity and level of service determination methods used in the analysis of traffic flows used to be examined. The effect of the heavy vehicles in the traffic flow on the traffic flow at intersections and arteries was determined by examining the delay and capacity parameters. In this study, it was collected data with the video camera and the traffic facilities under examination using simulation programs. Calibration and validation procedures were performed to reflect the current intersection conditions. The results were evaluated and the heavy vehicle effect was determined.

Keywords: Heavy vehicle, multilane highways, passenger car equivalent, delay, signalized intersections

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Konu.....	1
1.2 Amaç ve Hedef.....	3
1.3 Yöntem.....	4

BÖLÜM İKİ - SİNYALİZE KAVŞAKLAR VE SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ..... 6

2.1 Temel Kavramlar	6
2.2 Sinyalize Kavşaklar.....	9
2.2.1 Doygun Takip Aralığı, Doygun Akım Oranı	9
2.2.2 Kapasite.....	9
2.2.3 Gecikme	10
2.3 Sinyalizasyon Sistemleri	14
2.3.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri	15
2.3.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri	15
2.3.3 Sinyalizasyon Hesap Yöntemleri	17

BÖLÜM ÜÇ - SİNYALİZE KAVŞAKLARDA EŞDEĞER OTOMOBİL BİRİMİ (EOB) DEĞERİNİN İNCELENMESİ..... 18

3.1 Sinyalize Kavşaklarda Ağır Araç Etkisi	19
--	----

3.2 Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB)	20
3.3 Sinyalize Kavşaklarda Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) Hesap Yöntemleri ..	21
3.3.1 Highway Capacity Manual'da Önerilen Yöntem	22
3.3.2 Gecikmeye Bağlı Eşdeğer Otomobil Birimi Hesap Yöntemi (D_PCE) ...	23
3.3.3 Takip Aralığı Yöntemi (Headway Ratio Method)	25
3.3.4 Regresyon Analizi Yöntemi.....	26
3.3.5 Webster Yöntemi	28
3.3.6 Araştırmalarda Kullanılan Diğer Yöntemler.....	28
3.4 Sinyalize Kavşaklarda Ağır Araç Etkisi Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	31

BÖLÜM DÖRT - ÇOK ŞERİTLİ KENT İÇİ KARAYOLU PERFORMANSININ AĞIR ARAÇ ETKİSİ ALTINDA İNCELENMESİ..... 39

4.1 Çok Şeritli Kent İçi Karayolları	39
4.1.1 Kapasite.....	40
4.1.2 Hizmet Düzeyi (Level of Service)	42
4.2 Çok Şeritli Karayollarının Analizi	45
4.3 Ağır Araç Etkisi ve Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB)	47

BÖLÜM BEŞ - ARAZİ ÇALIŞMALARI..... 49

5.1 Araştırmada Kullanılan Veri Toplama Yöntemi.....	49
5.1.1 Yol Geometrik Özellikleri	51
5.1.2 Trafik Hacim Sayımları.....	52
5.1.3 Kuyruk Uzunluğu.....	52
5.1.4 Zaman Cinsinden Takip Aralığı.....	53
5.1.5 Trafik Sinyal Planı	54
5.2 Araştırmanın Yapıldığı Bölgeler.....	54
5.2.1 İzmir İli Aliağa İlçesi - POAŞ Kavşağı.....	55
5.2.2 İzmir İli Gaziemir İlçesi – Akçay Caddesi.....	56
5.2.3 İzmir İli Konak İlçesi - Yeşildere Caddesi.....	58
5.3 Gözlem Verilerinin Toplanması.....	59

5.3.1 POAŞ Kavşağına Ait Gözlem Verileri	59
5.3.2 Akçay Caddesine Ait Gözlem Verileri	61
5.3.3 Yeşildere Caddesine Ait Gözlem Verileri.....	65
BÖLÜM ALTI - VERİ ANALİZ YÖNTEMİ	68
6.1 Highway Capacity Manual'da Önerilen Gecikme Hesabı Yöntemi.....	68
6.2 Benzetim Programı Kullanılarak Model Oluşturulması	72
6.2.1 Trafik Benzetim Programı.....	72
6.2.2 Discrepancy Ratio (DR) ve Efficiency Factors (EF)	80
6.3 Trafik Analiz Programı	82
BÖLÜM YEDİ - ARAŞTIRMA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	83
7.1 İzmir İli Aliğa İlçesi - POAŞ Kavşağına Ait Analizler.....	83
7.1.1 Oluşturulan modelin kalibrasyon işlemi	84
7.1.2 Senaryoların Oluşturulması.....	84
7.2 İzmir İli Gazimur İlçesi - Akçay Caddesine Ait Analizler.....	89
7.2.1 Highway Capacity Manual'da Önerilen Gecikme Hesabı.....	90
7.2.2 Akçay Caddesine Ait Benzetim Modeli.....	91
7.2.2.1 Kalibrasyon - Validasyon İşlemi.....	92
7.2.2.2 Discrepancy Ratio (DR) ve Efficiency Factor (EF)	96
7.2.2.3 Mevcut Duruma Ait Benzetim Modeli Sonuçları	98
7.2.2.4 Senaryoların Oluşturulması.....	100
7.2.3 Akçay Caddesi Trafik Analiz Programı Sonuçları.....	118
7.2.4 Takip Aralığı Yöntemine Göre Eşdeğer Otomobil Birimi Hesabı.....	120
7.2.5 Akçay Caddesine Ait Analizlerin Değerlendirilmesi.....	120
7.3 İzmir İli Konak İlçesi - Yeşildere Caddesine Ait Analizler.....	120
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	124
KAYNAKLAR	128

EKLER..... 132

EK 1: Örnek Hesap Tablosu 132

EK 2: HCM 2010 Yöntemi Akçay Caddesine Ait Hesap Tabloları 133



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Araştırmanın akış şeması	5
Şekil 2.1 Gecikme değerleri	12
Şekil 2.2 Sinyalizasyon sisteminin gecikme üzerindeki etkisi	14
Şekil 3.1 Farklı araç tiplerinin bulunduğu sinyalize kavşak	18
Şekil 4.1 Bölünmüş çok şeritli karayolu - Gaziantep-Şanlıurfa otoyolu	40
Şekil 4.2 Bölünmüş çok şeritli karayolu - İzmir-Aydın otoyolu.....	40
Şekil 4.3 Hız - akım oranı eğrileri ve hizmet düzeyi	43
Şekil 5.1 Video kamera kayıtlarına ait görüntülerden örnekler	51
Şekil 5.2 Sinyalize bir kavşaktaki kuyruk uzunluğu.....	53
Şekil 5.3 Zaman cinsinden takip aralığı.....	53
Şekil 5.4 Zaman - fark sayacı.....	54
Şekil 5.5 POAŞ kavşağı	55
Şekil 5.6 POAŞ kavşağı İzmir yaklaşım koluna ait bir fotoğraf.....	56
Şekil 5.7 POAŞ kavşağı Aliaga yaklaşım koluna ait bir fotoğraf.....	56
Şekil 5.8 Akçay Caddesi genel görünümü	57
Şekil 5.9 Akçay Caddesi kavşaklara ait akım yönleri.....	57
Şekil 5.10 Yeşildere Caddesi genel görünümü	58
Şekil 5.11 POAŞ kavşağına ait sinyal planı.....	60
Şekil 5.12 Akçay caddesinde incelenen kavşaklar.....	61
Şekil 5.13 Semt Garajı kavşağı sinyal faz planı.....	64
Şekil 6.1 Benzetim programı tercih etkenleri	73
Şekil 6.2 Benzetim programı çalışma süreci.....	75
Şekil 6.3 AIMSUN örnek proje ekranı	75
Şekil 6.4 Benzetim modeli geliştirme ve uygulama süreci	76
Şekil 6.5 Programın hata kontrol aracı.....	77
Şekil 6.6 Oluşturulan model analizine ait görev dizisi	81
Şekil 6.7 Programın örnek proje ekranı	82
Şekil 7.1 POAŞ kavşağı SIDRA modeli	83
Şekil 7.2 POAŞ kavşağı kalibrasyon parametreleri	84
Şekil 7.3 İzmir yaklaşımı gecikme değerleri (doğru geçiş için)	86

Şekil 7.4 İzmir yaklaşımı gecikme değerleri (sola dönüş için).....	86
Şekil 7.5 Aliğa yaklaşımı gecikme değerleri (doğru geçiş için)	87
Şekil 7.6 Aliğa yaklaşımı gecikme değerleri (sağa dönüş için)	87
Şekil 7.7 POAŞ yaklaşımı gecikme değerleri (sağa dönüş için).....	88
Şekil 7.8 POAŞ yaklaşımı gecikme değerleri (sola dönüş için)	88
Şekil 7.9 Akçay Caddesi	90
Şekil 7.10 Gaziemir 1 kavşağı benzetim modeli.....	92
Şekil 7.11 Gaziemir 2 kavşağı benzetim modeli.....	92
Şekil 7.12 Kalibrasyon parametreleri (otomobil).....	93
Şekil 7.13 Kalibrasyon parametreleri (otobüs)	94
Şekil 7.14 Kalibrasyon parametreleri (kamyon)	94
Şekil 7.15 Kalibrasyon parametreleri (minibüs)	95
Şekil 7.16 Discrepancy ratio (gecikme)	97
Şekil 7.17 Discrepancy ratio (hız).....	97
Şekil 7.18 Gaziemir 1 kavşağı benzetim modeli gecikme değerleri.....	98
Şekil 7.19 Gaziemir 2 kavşağı benzetim modeli gecikme değerleri.....	98
Şekil 7.20 Gaziemir 1 kavşağına ait trafik akım değerleri.....	99
Şekil 7.21 Gaziemir 2 kavşağına ait trafik akım değerleri.....	99
Şekil 7.22 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon - 300 araç/saat)	103
Şekil 7.23 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs - 300 araç/saat)	103
Şekil 7.24 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon - 600 araç/saat)	104
Şekil 7.25 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs - 600 araç/saat)	105
Şekil 7.26 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (karışık - 600 araç/saat)	105
Şekil 7.27 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon - 900 araç/saat)	106
Şekil 7.28 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs - 900 araç/saat)	106
Şekil 7.29 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon - 1200 araç/saat)	107
Şekil 7.30 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs - 1200 araç/saat)	107
Şekil 7.31 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon - 1500 araç/saat)	108
Şekil 7.32 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs - 1500 araç/saat)	108
Şekil 7.33 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (karışık - 1500 araç/saat)	109
Şekil 7.34 Şerit sayısı - D_PCE ilişkisi (karışık - 200 araç/saat).....	109
Şekil 7.35 Şerit sayısı - D_PCE ilişkisi (karışık - 400 araç/saat).....	110

Şekil 7.36 Şerit sayısı - D_PCE ilişkisi (karışık - 600 araç/saat).....	110
Şekil 7.37 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon - 300 araç/saat)	112
Şekil 7.38 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs - 300 araç/saat)	112
Şekil 7.39 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon - 600 araç/saat)	113
Şekil 7.40 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs - 600 araç/saat)	113
Şekil 7.41 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (karışık - 600 araç/saat)	114
Şekil 7.42 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon - 900 araç/saat)	114
Şekil 7.43 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs - 900 araç/saat)	115
Şekil 7.44 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon - 1200 araç/saat)	115
Şekil 7.45 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs - 1200 araç/saat)	116
Şekil 7.46 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon - 1500 araç/saat)	116
Şekil 7.47 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs - 1500 araç/saat)	117
Şekil 7.48 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (karışık - 1500 araç/saat)	117
Şekil 7.49 Gaziemir 1 kavşağı SIDRA modeli	118
Şekil 7.50 Gaziemir 1 kavşağı SIDRA gecikme sonuçları	119
Şekil 7.51 Yeşildere Caddesi hız - yoğunluk grafiği	122
Şekil 7.52 Yeşildere Caddesi hız - akım oranı grafiği	123
Şekil 7.53 Yeşildere Caddesi hizmet düzeyi analizi	123

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Sinyalizasyon Sistemleri.....	16
Tablo 3.1 Araç uzunluklarına göre araç sınıflandırması.....	19
Tablo 3.2 TS 6407 EOB değerleri.....	21
Tablo 3.3 Ağır araçlar için EOB değeri	23
Tablo 3.4 Yaygın olarak kullanılan EOB hesap yöntemlerine genel bakış	30
Tablo 4.1 Kesintisiz akım koşulları teorik kapasite değerleri.....	41
Tablo 4.2 Çok şeritli karayolları hizmet düzeyi.....	44
Tablo 5.1 Gözlem Programı	50
Tablo 5.2 Sabah zirve saatine ait trafik hacim değerleri.....	59
Tablo 5.3 Akşam zirve saatine ait trafik hacim değerleri	60
Tablo 5.4 Gaziemir trafik hacim değerleri.....	62
Tablo 5.5 Semt Garajı 1 kavşağına ait kuyruk uzunlukları.....	63
Tablo 5.6 Semt Garajı 2 kavşağına ait kuyruk uzunlukları.....	63
Tablo 5.7 Takip aralıkları.....	64
Tablo 5.8 Kavşaklara ait sinyal planı.....	64
Tablo 5.9 Zirve saatlerine ait toplam hacim değerleri ve yüzdeleri.....	65
Tablo 5.10 Şeritlere göre takip aralıkları	66
Tablo 5.11 Araç tiplerine göre takip aralıkları.....	66
Tablo 5.12 Hız verilerine ait istatistikler.....	67
Tablo 6.1 Hızlanma – yavaşlama ivmesi düzeltme faktörü	71
Tablo 6.2 Oluşturulan modele ait parametreler.....	78
Tablo 7.1 POAŞ kavşağına ait senaryolar.....	85
Tablo 7.2 Akçay Caddesine ait gecikme hesabı.....	91
Tablo 7.3 Kalibrasyon – Validasyon değerleri	96
Tablo 7.4 Senaryolara ait genel bilgiler	100
Tablo 7.5 Konak – Havaalanı yönüne ait baz durumu gösteren senaryolar.....	101
Tablo 7.6 Hacim değerleri ve araç kompozisyonlarını gösteren örnek senaryolar..	102
Tablo 7.7 SIDRA Intersections sinyal devre süresi analizi.....	111
Tablo 7.8 Gaziemir 1 kavşağına ait gecikme değerleri (s).....	119
Tablo 7.9 Semt Garajı 1 ve 2 kavşaklarına ait EOB değerleri (s).....	120

Tablo 7.10 Hesaplanan EOB Değerleri.....	121
Tablo 7.11 Yeşildere Caddesi hizmet düzeyi analizi	122



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Tez, sekiz bölüm üzerine kurgulanmıştır. İlk bölümde; araştırma yapılacak konu, araştırmada kullanılacak yöntem ve araştırmanın amacı belirtilmiştir. Sinyalize kavşaklar ve sinyalizasyon sistemleri ile bu konuda yapılmış çalışmalar ikinci bölümde yer almaktadır. Üçüncü bölümde, sinyalize kavşaklarda ağır araç etkisini belirmede kullanılan Eşdeğer Otomobil Birimi ve hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde, çok şeritli kent içi karayolu performansı üzerinde ağır araç etkisini belirlemek için Eşdeğer Otomobil Birimi ve hizmet düzeyi analizi yapılmıştır. Beşinci bölümde, çalışılan bölgelere ait arazi çalışmaları bulunmaktadır. Altıncı bölümde, arazi çalışmalarından elde edilen trafik verilerinin analiz yöntemleri ve yöntemlere ait kabul şartları açıklanmıştır. Yedinci bölümde, verilerin işlenerek incelenen kesimlerin ağır araç etkisi altında performanslarının değerlendirilmesi anlatılmıştır. Son bölümde ise araştırmadan elde edilen sonuçlar ve konu ile ilgili önerilere yer verilmiştir.

1.1 Konu

Trafikte araç kompozisyonu, trafik analizlerini etkileyen önemli hususlardan biridir. Ağır araçlar, bu kompozisyon içerisinde belirli bir orana, 4,5 ton veya daha fazla brüt kütleye ve kaplamaya temas eden dört lastikten daha fazla lastiğe sahip olan araçlar olarak tanımlanmaktadırlar. Ağır araçların özellikleri (çoğunlukla kamyon, otobüs, tır gibi.) otomobillerden farklıdır, çünkü ağır araçların boyutları büyük ve hareket kabiliyetleri, hızlanma ve yavaşlama ivmeleri otomobillerden daha düşüktür. Bu nedenle otomobillere göre trafiğe etkileri oldukça farklıdır. Ayrıca ağır araç ve otomobil sürücülerinin sürüş davranışları da birbirinden farklıdır. Etrafını/uyarı levhalarını göremeyeceğini düşünen ya da yakınında seyreden ağır aracın duramayıp kendisine çarpacağını düşünen otomobil sürücülerinin sürüş davranışları değişmektedir. Bu etkiler incelendiğinde ağır araçlar her yönden trafiği etkilemekte ve karayolu kesimlerinin performanslarını değiştirmektedir.

Ağır araçlar genellikle trafikteki toplam araçların % 30'undan azını temsil etmesine rağmen, ağır araçlar trafik akımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Giuffrè, Granà, Marino ve Galatioto, 2016; Praveen ve Arasan, 2013). Ağır araçların trafik akımı üzerindeki etkisi genellikle Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) değeri kullanılarak ifade edilmeye çalışılmaktadır. Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB), bir ağır aracın trafik akımında yerine geçebileceği otomobil eşdeğeri olarak ifade edilmektedir. EOB değerini belirlemek amacıyla birçok araştırmacı farklı yöntemler ile çeşitli analizler yapmıştır. En çok kullanılan yöntem araçların zaman cinsinden takip aralıklarına bağlı olarak EOB hesaplanan takip aralığı yöntemidir. Analizlerde kullanılan bir diğer yöntem ise gecikmeye bağlı EOB yöntemidir. Bu yöntemler dışında hız, yoğunluk ve seyahat süresi gibi parametrelere bağlı olarak EOB belirleyen yöntemler de bulunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında ağır araç etkisi değerlendirilirken iki farklı karayolu kesimi tercih edilmiştir. Bunlardan birisi sinyalize kavşaklardır. Sinyalize kavşaklar, birden fazla yönden gelen trafik akımının kesiştiği, ayrıldığı ve birleştiği bölgelerdir. Sinyaller bu bölgelerde düzenli ve güvenli bir akım sağlamak için kullanılan trafik kontrol sistemleridir. Kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri, trafik akımını düzenlemek, trafiğin güvenli bir şekilde ve optimum kapasite ile kavşağın çalışmasına imkan sağlamak amacıyla düzenlenmektedir. Çalışmada gözlem verilerine dayanarak sinyalize kavşaklar için ağır araç etkisi araştırılmıştır.

İncelenen bir diğer karayolu kesimi de çok şeritli kent içi karayollarıdır. Gelişmekte olan şehirlerdeki hızlı nüfus artışı ve araç sahipliği mühendisleri daha fazla şerit sayısına sahip yollar yapmaya zorlamaktadır. Çok şeritli yollar, yüksek hızla harekete imkân veren ve kısmi oranda erişim kontrollü olan karayolu yapılarıdır. Bu yollar genellikle ilçeler arasındaki bağlantıyı sağlamakla birlikte şehir içindeki önemli erişim noktalarını birbirine bağlamak amacıyla da kullanılmaktadır. Ağır araçlar gerek düşük hareket özellikleri gerekse de fiziksel büyüklükleri sebebiyle çok şeritli karayollarında önemli kapasite düşüşlerine sebep olmakta ve trafik güvenliği açısından da sorun yaratabilmektedir. Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde çok şeritli karayollarının analizi için kullanılan yöntemler ile birlikte

ağır araçların trafik akımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kullanılan yöntemlere değinilmiştir.

Son yıllarda ağır araç etkisini belirlemede kullanılan analitik yöntemlerin dışında mikro-simülasyon yaklaşımı da oldukça popülerlik kazanmıştır. Bu programlar, karayolunun trafik durumunu analiz etmenin yanı sıra tasarım hızı ve aralık kabulü gibi çeşitli faktörleri tahmin etmede kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Oluşturulan modeller, analitik yöntemler yetersiz kaldığında, arazi gözlemlerinin çok uzun ve maliyetli olduğu durumlarda çeşitli trafik koşullarının analizine yardımcı olmaktadır. Mikroskobik bir trafik simülasyon modelinin, analitik yöntemler ile karşılaştırıldığında zaman tüketiminin az olması, arazide gözlemlenmesi zor trafik koşullarını oluşturması ve sistemi tekrarlayarak önemli miktarda veriye ulaşılabilmesi gibi pek çok avantajı vardır. Tez kapsamında da mikro-simülasyon yaklaşımlarında yaygın olarak tercih edilen yöntemlerinden birisi olan AIMSUN programı kullanılmıştır.

AIMSUN, Transport Simulation Systems (TSS) tarafından geliştirilen ve pazarlanan bütünleşik bir ulaşım modelleme yazılımıdır. Tek bir yol şeridinden bütün bir bölgeye kadar geniş bir çalışma platformu sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılmasının nedeni ise incelenen kesimlerin rahatlıkla modellenebilmesi, tekrarlı olarak çalıştırılabilmesi ve mevcut koşullara göre farklı senaryolar oluşturularak analizlerin yapılabilmesidir.

1.2 Amaç ve Hedef

Tez kapsamında EOB değerini, farklı araç tipleri ve farklı araç yüzdeleri için sinyalizasyon kavşakları ve çok şeritli kent içi karayollarında analitik yöntemler ve programlar yardımı ile hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışma, analitik yaklaşımlarla karşılaştırılabilir hale getirmek için izole edilmiş sinyalizasyon kavşakları ile sınırlıdır. Araştırma temel olarak analitik yöntemler ile mikro-simülasyon yaklaşımını karşılaştırarak ağır araç etkisini bir model yardımı ile ortaya koymak,

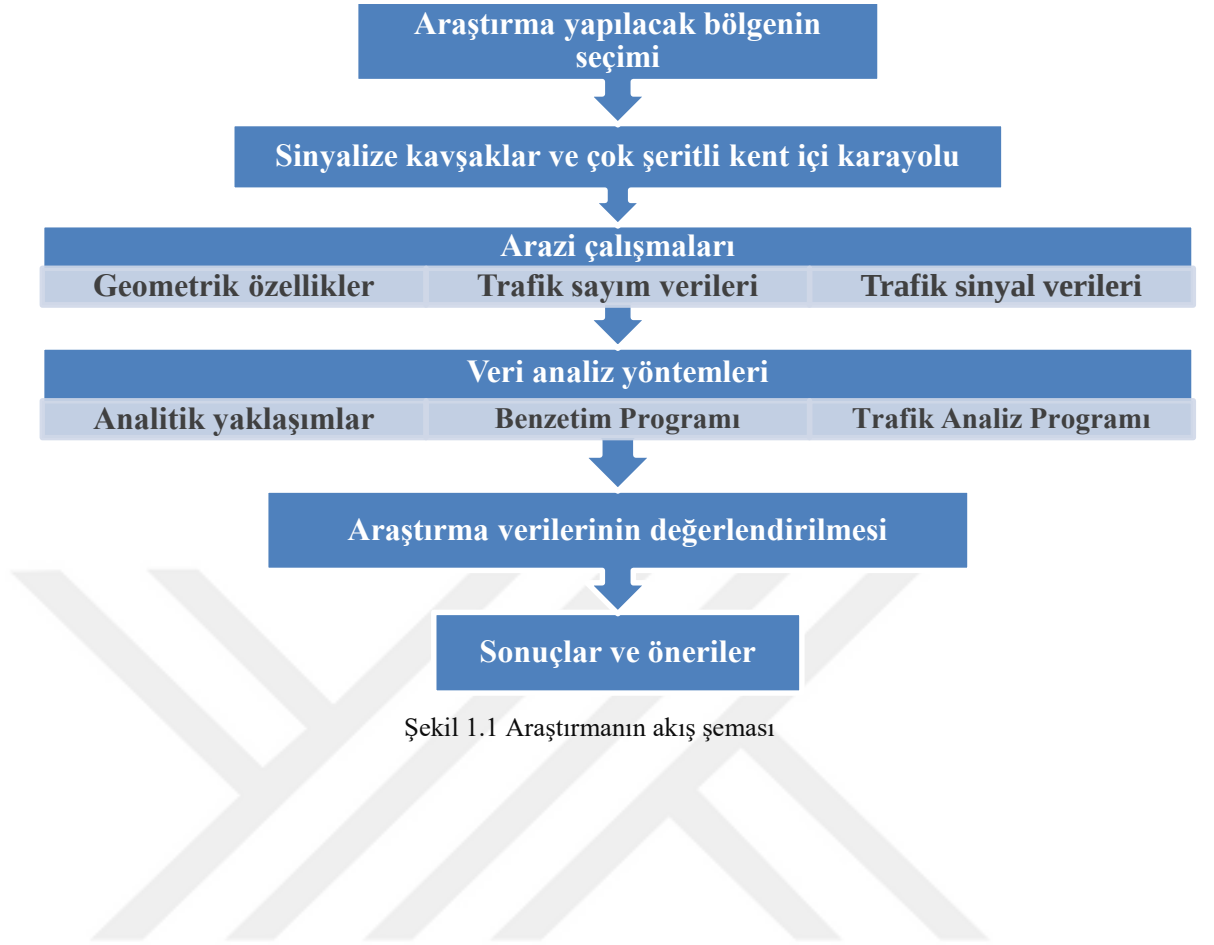
buna bağlı olarak EOB değerini hesaplamayı amaçlamıştır. Ayrıca çalışmanın amaçları şu şekilde sıralanabilir:

1. Sinyalize bir kavşakta mikro-simülasyon uygulamasını değerlendirmek ve sonuçlarını geleneksel analitik yöntemlerle karşılaştırmak.
2. Sinyalize kavşaklarda zaman cinsinden takip aralığı ve gecikme parametrelerine bağlı olarak EOB değerini hesaplamak.
3. Sinyalize kavşaklarda ağır araç etkisini değerlendirmek amacıyla çeşitli trafik akım parametreleri (gecikme, hız, seyahat süresi vb.) arasındaki ilişkiyi ortaya koymak.
4. Çok şeritli kent içi karayollarında ağır araç etkisini değerlendirmek için takip aralığına bağlı olarak EOB değerini hesaplamak ve hizmet düzeyi analizi yapmak.

Tezde, Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) değeri için farklı bir bakış açısı sağlanması ve incelenen karayolu kesimlerinin analizinden elde edilen sonuçların, ağır araçlar ile ilgili yapılacak sonraki çalışmaların sonuçlarıyla birleştirilerek geliştirilmesi hedeflenmiştir.

1.3 Yöntem

Açıklanan amaçlara yönelik olarak, araştırma kapsamına giren karayolu kesimlerinden toplanan geometrik veriler, trafik sayım verileri ve trafik sinyal verilerine bağlı olarak analitik ve mikro-simülasyon yaklaşımı ile bir değerlendirme yapılmıştır. Analizlere ait sonuçlar istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Yapılan incelemelere göre sonuçlar ve oneriler tez sonunda sunulmuştur. Araştırmanın yöntemine ait genel bir bakış şekil 1.1'de akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 1.1 Araştırmanın akış şeması

BÖLÜM İKİ

SİNYALİZE KAVŞAKLAR VE SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Kavşaklar, birden fazla yönden gelen trafik akımının kesiştiği, ayrıldığı ve birleştiği bölgelerdir. Kavşaklar, karayollarında güvenliğin en az olduğu bunun yanında da karayolunun kapasitesini belirleyen kesimlerdir. Kavşaklarda düzenli ve güvenli bir akım sağlamak için sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri, trafik akımı içerisinde dönüşümlü olarak belirli hareketlere izin verdiği için kavşaktaki çakışmaların sayısını ve niteliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri, trafik akımının düzenlenmesine ve optimum kapasite ile kavşağın çalışmasına imkan sağlamaktadır (Ayfer, 1977; Roess, Prassas, ve McShane, 2010).

2.1 Temel Kavramlar

Trafikte sinyalizasyon, sürücülerin ve yayaaların yolu kullanma önceliklerini ve sürelerini belirleyen bir uygulamadır. Sinyalizasyon uygulamaları için kullanılan trafik ve sinyalizasyon ile ilgili temel kavramlar aşağıda verilmiştir.

Trafik: İnsanların, hayvanların ve taşıtların karayolları üzerindeki hareketlerine denir.

Trafik Şeridi: Araçların tek sıra halinde güvenli bir şekilde hareket edebilmelerini sağlayan gerekli kaplama genişliğidir. Aynı doğrultuda hareket eden araçların kullanacağı şeritleri birbirinden ayıran çizgilere de şerit çizgisi denir.

Araç Kompozisyonu: Belirli bir karayolu kesitinden geçen farklı araç tiplerinin (otomobil, otobüs, minibüs, kamyon vb.) toplam trafik hacmi içerisindeki oranı olarak tanımlanmaktadır.

Ağır Araç: 4,5 ton veya daha fazla brüt kütleye, kaplamaya temas eden 4 lastikten daha fazla lastiğe sahip otobüs, kamyon gibi boyutları büyük taşıtların oluşturduğu, arka akslarında birden fazla dingil olan araç tipleridir.

Eşdeğer Otomobil Birimi: Bir ağır aracın trafik akımında yerine geçebileceği otomobil eşdeğeri anlamına gelmektedir.

Trafik Hacmi: Birim zamanda (genellikle 1 saat olarak alınmaktadır) yoldan geçen taşıt sayısıdır. Birimi taşıt/saat (ta/sa)'tir (Yayla, 2011).

Trafik Yoğunluğu: Belirli bir anda yolun belirli bir kesimini işgal eden araçların sayısıdır. Birimi taşıt/kilometre (ta/km)'tir (Yayla, 2011)

Doygun Akım: Bir saatlik yeşil ışık süresi içinde geçebilecek maksimum taşıt sayısı olarak tanımlanmaktadır. Doygun akım değeri, sinyalize kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Gecikme: Bir aracın, bir kavşak veya kontrol edilen bir kesimden geçişinde, diğer araçlar, geometrik özellikler ve kontrol sistemlerinden dolayı kaybettiği süredir.

Kapasite: Bir karayolu kesiminin kapasitesi, dikkate alınan bir zaman dilimi içerisinde, hâkim yol, trafik ve denetim koşullarında geçen en yüksek taşıt sayısıdır. Tanımda yer alan zaman dilimi olarak, genellikle, trafik akımının kararlı olduğu en uzun süre olarak kabul edilen 15 dakika alınmaktadır. Kapasite yolun tek şeridi ya da tamamı için bir yön veya iki yön olarak verilmektedir. Birimi taşıt/saat'tir (Yayla, 2011).

Trafik Sinyali: Trafik düzenlemelerinde kullanılan el ile ya da mekanik olarak çalıştırılan trafiğin durmasını veya hareket etmesini sağlayan cihazlardır (Canseven, 2002).

Sinyal Devresi: Sinyalize bir tesiste birbirini takip eden değişik renklerdeki ışıkların birer defa yanması ile oluşan toplam zamana denir. Birimi saniye (sn)'dir.

Yeşil Süre: Bir yönde hareket eden sürücülere ya da yayalara geçiş hakkı verilen süredir.

Sarı Süre: Hareket eden taşıtlara geçiş hakkının sona ermiş olduğunu belirten süredir.

Kırmızı Süre: Bir yönde sürücülerin ya da yayaların durması gereken süredir.

Her Yöne Kırmızı Süre (All-Red Time): Bir sinyalizasyon tesisinde bütün yönlerde aynı anda kırmızı ışığın yandığı süredir.

Zaman Cinsinden Takip Aralığı (Headway): Bir yol kesiminde arka arkaya hareket etmekte olan araçlar arasındaki zaman cinsinden aralığı ifade etmektedir.

Zaman cinsinden takip aralığı, şerit boyunca bir noktadan geçerken, birbirini izleyen araçlar arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır ve araçlar için ortak referans noktaları belirlenerek ölçülmektedir. Akım oranı hesaplarında kullanılmaktadır. Birimi zaman ölçü birimleridir.

Mesafe Cinsinden Takip Aralığı (Spacing): Bir yol kesiminde arka arkaya hareket etmekte olan araçlar arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

Mesafe cinsinden takip aralığı, araçlarda ön tampon veya ön tekerlek gibi bölümler referans nokta alınarak ölçülen trafik şeridindeki birbirini izleyen araçlar arasındaki mesafedir. Yoğunluk hesaplarında kullanılmaktadır. Birimi uzunluk ölçü birimleridir.

Faz: Bir sinyal devresinin bir ya da daha fazla aralığını kapsayan, bir veya birden fazla trafik akımının hareketine imkan veren bölümüdür (Ayfer, 1977; Roess ve diğer., 2010).

2.2 Sinyalize Kavşaklar

2.2.1 Doygun Takip Aralığı, Doygun Akım Oranı

Ortalama zaman cinsinden takip aralığı sabit bir değere bağlıdır. Genellikle, bu değer kuyruktaki 4. ya da 5. araca bağlı olarak değişmektedir ve doyun takip aralığı olarak adlandırılmaktadır. Bunun nedeni, ortalama takip aralığının sinyal boyunca doyun bir akımda ve kararlı bir kuyrukta meydana gelmesidir. ‘h’ sembolü ile gösterilmektedir. Birimi saniye/araç ’tır.

Belirli bir şeritte her bir aracın kavşağa girmesi için geçen sürenin ortalama ‘h’ saniye olduğu varsayımıyla sinyalize bir kavşaktaki davranışı modellemek uygundur. Bu kavşakta belirli bir yön için daima yeşil ışık yandığı kabul edilerek kavşaktaki her bir şeritten ‘s’ araç girmektedir. Bu doyun akım oranı olarak adlandırılmakta ve Denklem 2.1’de gösterilmektedir.

$$s = \frac{3600}{h} \quad (2.1)$$

s = doyun akım oranı (araç/saatlik yeşil süre)

h = ortalama doyun takip aralığı (saniye/araç)

2.2.2 Kapasite

Doyun akım oranı, sürekli yeşil ışık yandığı kabul edilerek bir yaklaşım şeridinin ya da şeritlerinin kapasitesini ifade etmektedir. Kapasite, doyun akım oranı ile etkin yeşil süre arasındaki ilişkiye bağlıdır.

$$Q = s \left(\frac{g}{c} \right) \quad (2.2)$$

Q = yaklaşım kolunun kapasitesi (araç/saat)

s = doymun akım oranı (araç/saatlik yeşil süre/şerit)

g = etkin yeşil süre (saniye)

c = sinyal devre süresi (saniye)

“(g/c)” yeşil oran olarak adlandırılmaktadır. Etkin yeşil sürenin devre süresine oranıdır.

2.2.3 Gecikme

Sinyalize kavşakların operasyonel özelliklerini ifade etmek için pek çok parametre kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

1. Gecikme
2. Kuyruklanma
3. Durma

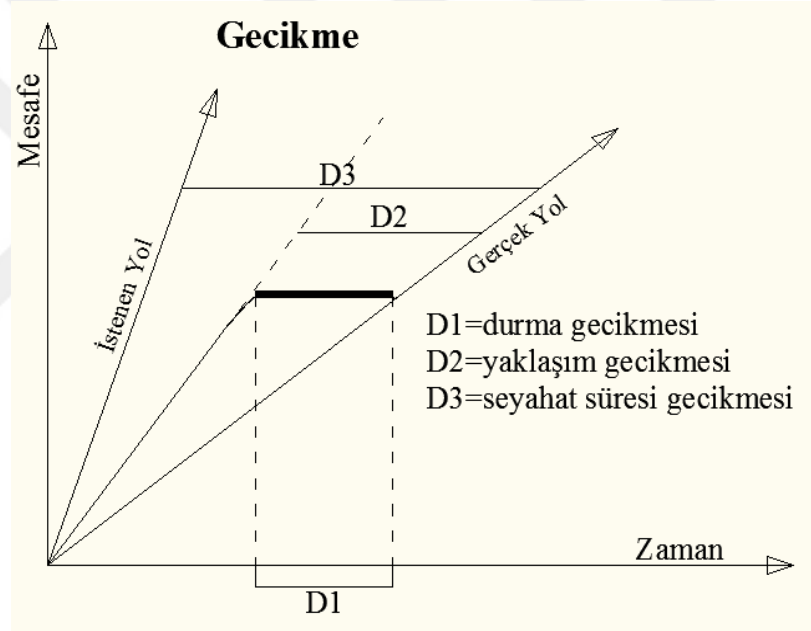
Bu parametrelerin hepsi birbiriyle ilişkilidir. Gecikme, bir aracın kavşak noktasını geçerken kaybettiği zamanı ifade etmektedir, yani kalkış süresi ile varış süresi arasındaki farktır. Kuyruklanma, kırmızı ışık süresince dur çizgisinin arkasında sıraya zorlanan araçların sayısını göstermektedir. Genel ölçümlerde, ortalama kuyruk uzunluğu veya yüzdelik kuyruk uzunluğu olarak verilmektedir. Durma, sinyalde durması gereken araçların yüzdesi veya sayısı olarak ifade edilmektedir.

Genellikle, sinyalize kavşak performansını değerlendirmede gecikme değeri kullanılmaktadır. Kesintili akım elemanları içerisinde önemli bir performans ölçüsüdür. Kuyruklanma ve durma, ikincil ölçüm parametreleridir. Sahada gecikme değerini ölçmek mümkün olsa da oldukça zor bir işlemdir ve farklı gözlemciler tarafından farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle gecikme hesabı için önceden bir öngörü modeli oluşturmak uygun olmaktadır. Gecikme değeri farklı

tanımlamalara göre farklı yöntemlerle ölçülebilmektedir. En çok kullanılan gecikme tanımları şu şekildedir (Roess ve diğer., 2010):

- a. Durma Gecikmesi (Stopped-time Delay): Aracın bir kavşak noktasından geçmek için beklerken kuyrukta durduğu zaman olarak tanımlanmaktadır. Ortalama durma gecikmesi ise belirtilen süre boyunca kuyrukta bulunan tüm araçların ortalamasıdır.
- b. Yaklaşım Gecikmesi (Approach Delay): Yaklaşım gecikmesi, durma gecikmesini de içermektedir. Aracın belirli bir hızdan duruncaya kadar geçen süre ile araç kuyrukta dururken istenilen hıza ulaşmak için kaybettiği sürenin toplamıdır. Ortalama yaklaşım gecikmesi ise belirtilen süre boyunca kuyrukta bulunan tüm araçların ortalamasıdır.
- c. Kuyruktaki Gecikme (Time-in-queue Delay): Aracın kavşak noktasındaki kuyruğa katılmasından, kalkışta dur çizgisini geçene kadar olan toplam süredir.
- d. Seyahat Süresi Gecikmesi (Travel Time Delay): Bu gecikme diğerlerine göre daha kavramsal bir değerdir. Sürücünün kavşak noktasını (ya da belirli bir yol kesimi içerisinde) geçmeyi beklediği süre ile ölçülen gerçek süre arasındaki farktır. Bir kavşaktan arzu edilen seyahat süresinde geçmenin zorluğu göz önüne alındığında, bu değer, diğerlerine göre oldukça teorik bir kavramdır ve nadiren kullanılmaktadır.
- e. Kontrol Gecikmesi (Control Delay): Kontrol gecikmesi kavramı 1994 yılında Highway Capacity Manual'a girmiştir ve mevcut HCM'de kullanılmaktadır. HCM 2010'a göre kontrol gecikmesi, sinyalize kavşaklarda hizmet düzeyinin değerlendirilmesinde temel parametrelerden biridir. Bir kontrol cihazının (bir trafik sinyali ya da dur işareti) neden olduğu gecikmedir. Yaklaşık olarak kuyruktaki gecikme ile hızlanma-yavaşlama gecikmesinin toplamına eşittir.

Şekil 2.1, kırmızı bir sinyale yaklaşan tek bir araç için yukarıda bahsedilen gecikme tiplerinden üçünü göstermektedir. Bu araç için durma gecikmesi sadece sinyalde durduğu süreyi içermektedir. Araç sinyalde tamamen durduğunda başlayıp, hızlanmaya başladığında sona ermektedir. Yaklaşım gecikmesi, yavaşlama ve hızlanma nedeniyle oluşan zaman kayıplarının toplamıdır. Yaklaşım gecikmesi, hız eğiminin varsayımsal uzantısı ile istenilen hız elde edildikten sonra kalkış eğimi arasındaki yatay zaman farkıdır. Seyahat süresi gecikmesi, varsayımsal hız çizgisi ile gerçek araç yolu arasındaki zaman farkıdır. Kuyruktaki gecikme, tek bir aracın kullanılmasıyla etkin bir şekilde gösterilemez, çünkü birkaç aracın kuyruğa katılması ve ayrılması sonucunda gözlemlenebilmektedir (Roess ve diğer., 2010).



Şekil 2.1 Gecikme değerleri (Roess ve diğer., 2010)

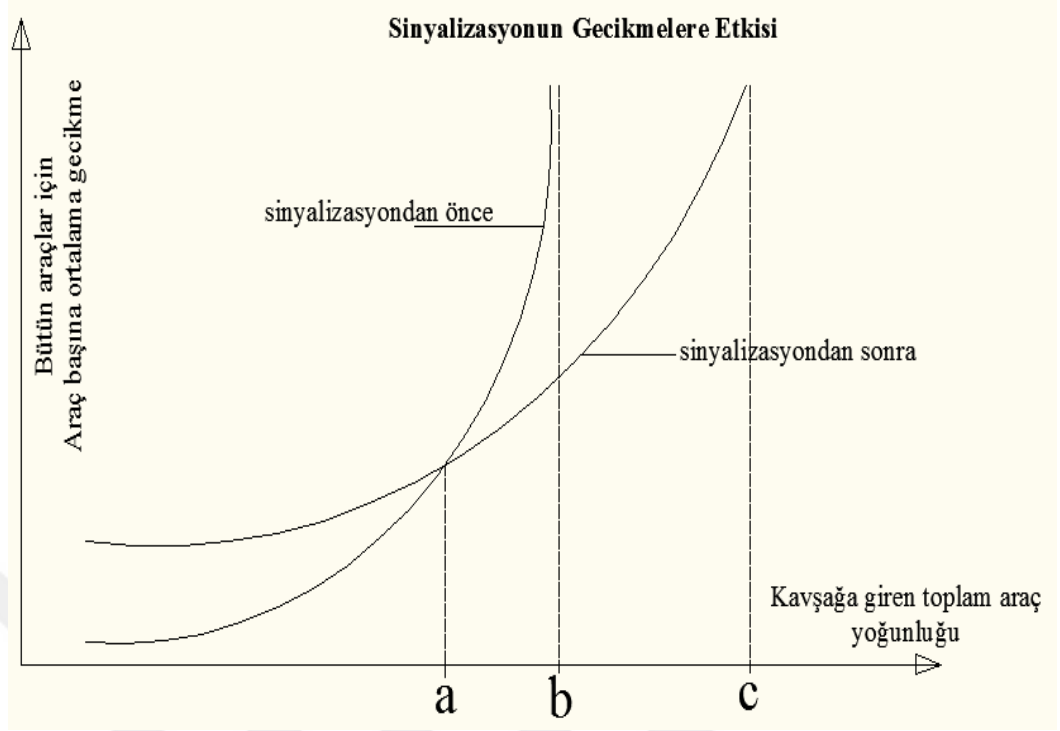
Gecikme değeri için ölçümler, tek bir araç için belirlenebilmektedir ve belirli bir süre boyunca tüm araçlar için ortalama ya da toplam değer olarak ölçülebilmektedir. Toplam gecikme değeri, belirli bir süre içerisinde tüm araçlar için araç-saniye, araç-dakika veya araç-saat olarak hesaplanabilmektedir. Ortalama gecikme genellikle saniye/araç cinsinden ifade edilmektedir.

HCM 2010'a göre bir diğer gecikme türleri şunlardır (Transportation Research Board, 2010):

1. Geometriden kaynaklanan gecikme: Araçların trafik akımı içerisinde, geometrik özellikler nedeniyle hızlarını azaltması sonucu meydana gelen gecikmedir. Örneğin; bir yol üzerinde keskin bir kırıltıya kaynaklanan gecikme geometriden kaynaklanan bir gecikmedir.
2. Kazadan kaynaklanan gecikme: Bir kaza sonucunda yaşanan ek seyahat süresidir.
3. Trafikten kaynaklanan gecikme: Trafikte araçların etkileşiminden kaynaklanan gecikmedir. Bu durumda, sürücülerin hızlarını serbest akım hızının altına düşürmeleri gerekmektedir.
4. Toplam gecikme: Geometri, kaza ve trafikten kaynaklanan gecikmelerin toplamıdır.

Sinyalize bir kavşağın kapasitesi, aynı geometrideki sinyalize olmayan bir kavşağın kapasitesine göre daha yüksektir. Fakat, kavşaktaki toplam trafik belirli bir seviyeye ulaşıncaya kadar sinyalizasyon sistemi gecikmeler üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

Şekil 2.2’de araç yoğunluğu düşük olduğunda sinyalizasyonun daha yüksek gecikmelere sebep olduğu görülmektedir. Fakat aynı kavşakta araç yoğunluğu arttıkça sinyalizasyon olmaması durumunda gecikmeler hızlı bir artış göstermektedir. Sinyalize bir kavşakta ise araç yoğunluğu arttıkça toplam gecikmenin arttığı ve artış hızının daha yavaş olduğu görülmektedir. Şekilde (a) noktası sinyalizasyon sisteminin faydalı olmaya başladığı toplam araç yoğunluğunu, (b) noktası kavşağın kapasitesini, (c) noktası ise sinyalize kavşak kapasitesini göstermektedir (Ayfer, 1977).



Şekil 2.2 Sinyalizasyon sisteminin gecikme üzerindeki etkisi (Ayfer, 1977)

2.3 Sinyalizasyon Sistemleri

Sinyalize kavşaklar, kavşak yaklaşım kollarında ve kavşağın merkez ada etrafındaki bazı noktalarında sinyalizasyon sistemlerinin olduğu kavşaklardır. Akımların kavşaktan geçiş önceliği sinyalizasyon sistemi ile belirlenmektedir (Murat, 1996).

Sinyalizasyon sistemleri, kontrol ettikleri kavşakların durumuna göre gruplandırılmıştır. İzole ve koordine sistemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır:

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

2.3.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri

İzole sinyalizasyon sistemleri, yakınındaki diğer sinyalizasyon sistemleri ile herhangi bir bağlantısı bulunmayan ve tek başına çalışan sinyalizasyon sistemidir. İzole sinyalizasyon sistemleri dört şekilde uygulanmaktadır (Ayfer, 1977);

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

2.3.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

Birbirine yakın iki ya da daha fazla kavşakta, gecikmeleri azaltmak amacıyla, kavşaklarda bulunan sinyalizasyon sistemleri birbirine bağlanmaktadır. Koordine sistemler, genellikle ana arter üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğine de yeterli geçiş hakkı sağlayarak birim zamanda mümkün olan en fazla sayıda aracın durmadan geçmesi için düzenlenmektedir. Ayrıca birbirine yakın olan sinyalizasyon kavşaklarda meydana gelen araç kuyruklarının kavşak alanlarına taşmaması için de bir koordinasyon kurulabilmektedir. Bu sistemler, genellikle anayol trafiği için bazı durumlarda ise bütün yönlerdeki toplam gecikmenin azaltılması için de uygulanmaktadır. Koordine sinyalizasyon sistemleri farklı şekillerde uygulanmaktadır (Murat, 1996):

1. Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem,
2. Alternatif Sistem,
3. Progresif (Kesintisiz) Sistem,
4. Bölge Trafik Kontrol Sistemi.

Tablo 2.1’de yukarıda bahsedilen sinyalizasyon sistemleri temel özelliklerine göre gösterilmiştir. Tabloda sinyal devre süresi özellikleri, uygulanabilir alanlar, örnek uygulama bölgeleri ve faydaları anlatılmaktadır.

Tablo 2.1 Sinyalizasyon Sistemleri (Roess ve diğer., 2010)

Sinyal	Sabit Zamanlı Sinyal Düzeni		Trafik Uyarmalı Sinyal Düzeni		
	İzole	Koordine	Yarı-trafik Uyarmalı	Tam-trafik Uyarmalı	Koordine
Sabit devre süresi var mı?	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Uygulama koşulları	-	Trafiğin yoğun olduğu yerlerde, birbirine yakın kavşaklarda	Trafik talebinin az olduğu durumlarda	Trafik talebinin fazla olduğu noktalar.	Trafiğin yoğun olduğu ve birbirine komşu kavşaklar olan arterler.
Örnek uygulama yerleri	Çalışma alanları	Merkezi iş alanları	Otoyol kesimlerinde	İki ana arterin kesiştiği noktalar	Banliyö hattı
Temel Fayda	Geçici uygulama sağlar.	Düşük maliyetli uygulama sağlar.	Otoyollarda bakım maliyetini düşürür.	Yeşil sürenin verimli bir şekilde kullanılma sını sağlar.	Gecikmeyi azaltır.

2.3.3 Sinyalizasyon Hesap Yöntemleri

Sinyalizasyon hesap yöntemlerinde yaygın olarak Avustralya yöntemi, İngiliz yöntemi ve Highway Capacity Manual yöntemi (Amerikan yöntemi) olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır.

Avustralya yöntemi, trafik mühendisleri için sinyalizasyon tasarımında kullanılan analitik bir yöntemdir. Bu yöntemde sinyalizasyon hesapları, kritik akım tanımlamasına, kapasite ve zaman analizlerine dayanmaktadır. Bu yöntem ile yapılan hesaplarda doymuş akım, etkin yeşil süre ve doymuşluk derecesi gibi akım parametreleri kullanılmaktadır. Bu yöntemle dayanan bilgisayar analiz programları bulunmaktadır. SIDRA (Signalized & unsignalized Intersection Design and Research Aid) analiz programı Avustralya yöntemine dayanan programlardan biridir (Murat, 1996).

Genel yaklaşım olarak İngiliz yöntemi, Avustralya yöntemine benzemektedir. İngiliz yönteminde, sinyalizasyon kavşak yaklaşım kolundan geçen trafik miktarı, yeşil süreye ve yeşil süre boyunca dur çizgisinden geçen maksimum araç sayısına bağlı olmaktadır. Bu yöntemde doymuş akım, kırmızı ışıkta kuyrukta bekleyen araçların yeşil ışık yandığında kavşaktan çıkmaya başladığı sabit oran olarak tanımlanmaktadır (Murat, 1996).

Highway Capacity Manual yöntemi (Amerikan yöntemi) ise kavşak kapasitesi ve hizmet düzeyinin belirlenmesi ile yapılacak hesaplara dayanmaktadır. Bu yöntem kavşak kapasitesinin bir bütün olarak değil de kavşak yaklaşım kolu bazında değerlendirilmesini önermektedir. Bu nedenle kavşak kapasitesi her bir yaklaşım kolu için tanımlıdır. Kavşak yaklaşım kapasitesi kavşaktan geçen maksimum akım oranıdır. Ayrıca bu yöntemde doymuş akım hesabı yapılırken ağır araç etkisi de dikkate alınmaktadır (Transportation Research Board, 2010; Murat, 1996).

BÖLÜM ÜÇ

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA EŞDEĞER OTOMOBİL BİRİMİ (EOB) DEĞERİNİN İNCELENMESİ

Gelişmekte olan ülkelerde trafik, farklı fiziksel ve operasyonel özelliklere sahip farklı araç tiplerinin, çok fazla ayrışma ve hız kontrolü olmaksızın aynı yol alanını paylaştığı heterojen bir yapıya sahiptir. Bu yapı içerisinde araç kompozisyonu da trafik analizlerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Araç kompozisyonu, belirli bir karayolu kesiminden geçen farklı araç tiplerinin (otomobil, otobüs, kamyon vb.) toplam trafik hacmi içerisindeki oranı olarak tanımlanmaktadır. Araç kompozisyonu içerisinde araç tiplerinin oranı değiştikçe trafik akımına etkisi de değişmektedir. Şekil 3.1, İzmir'in güneyinde yer alan Gaziemir ilçesine ait sinyalize bir kavşak kolunu göstermektedir. Şekilde, trafik akımı içerisinde farklı araç tipleri (otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon) görülmektedir.

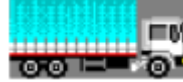


Şekil 3.1 Farklı araç tiplerinin bulunduğu sinyalize kavşak (Kişisel arşiv, 2017)

Dünya çapında araçların sınıflandırılması, bölgeye ve araştırmalara göre farklılık göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde seyahat özellikleri, yol ağları ve bölgesel parametreler, gelişmiş ülkelere göre oldukça farklıdır. Özellikle Hindistan gibi ülkelerde akım içerisinde bölgeye özgü pek çok araç (2-tekerlekli, 3-tekerlekli vb.) bulunmaktadır. Highway Capacity Manual 2010 araç türlerini otomobil ve ağır araç

olarak iki sınıfa ayırmaktadır. Ağır araçlar, kendi içerisinde otobüs, kamyon ve rekreasyonel araçlar (karavan, kamp araçları) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Türkiye’de ise araçlar Karayolları Genel Müdürlüğü’ne göre dokuz sınıfa ayrılmaktadır. Sınıflandırma araç uzunluklarına göre yapılmıştır. Tablo 3.1, KGM’ye ait Devlet Yolları Trafik Akımı Özellikleri ve Trafik Parametreleri el kitabında yer alan sınıflandırmayı göstermektedir.

Tablo 3.1 Araç uzunluklarına göre araç sınıflandırması (KGM, 2009)

Araç Tipleri	Araç
1. Motosiklet	
2. Otomobil	
3. Otomobil+Karavan	
4. Hafif Yüklü Ticari Araç	
5. Orta Yüklü Ticari Araç	
6. Kamyon	
7. Otobüs	
8. Kamyon+Römork	
9. Çekici+Yarı Römork	

3.1 Sinyalize Kavşaklarda Ağır Araç Etkisi

Ağır araçlar, düşük hareket özellikleri ve fiziksel büyüklükleri nedeniyle sinyalize kavşak performansını etkilemektedir. Ağır araçlar, 4,5 ton veya daha fazla brüt kütleyle, kaplamaya temas eden 4 lastikten daha fazla lastiğe sahip otobüs, kamyon gibi boyutları büyük taşıtların oluşturduğu, arka akslarında birden fazla dingil olan

araç tipleridir (Roess ve diğer., 2010; TRB, 2010). Ağır araçların özellikleri (çoğunlukla kamyon, otobüs, tır gibi.) otomobillerden farklıdır, çünkü ağır araçların boyutları büyük ve genellikle hareket kabiliyetleri düşük, hızlanma ve yavaşlama ivmeleri otomobillerden daha düşüktür. Ayrıca çalışmalar ağır araç ve otomobil sürücülerinin temel olarak farklı sürüş davranışlarına sahip olduklarını göstermektedir (Moridpour ve diğer., 2014).

Ağır araç sürücülerinin araç takip ve şerit değiştirme davranışı incelenmiş ve ağır araçların trafikte fiziksel ve psikolojik etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu etkiler, ağır araçların fiziksel özelliklerinin (örneğin uzunluk ve boyut) ve operasyonel özelliklerinin (örneğin hızlanma / yavaşlama ve manevra kabiliyeti) sonuçlarıdır. Ağır araçlar trafik hacmi içerisinde küçük bir oranda olsa da, trafik akımında önemli bir etkiye sahiptir ve özellikle ağır araçların operasyonel özelliklerinin etkisi yoğun trafik koşulları altında ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, trafikte otomobil sürücülerinin ağır araçların yanında bulunmamaya çalıştığı ve özellikle otomobil sürücülerinin, ağır araçları gördüklerinde daha büyük takip aralıkları bırakmaya ya da şerit değiştirmeye eğilimli oldukları gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak şerit değiştirme eğiliminin fazla olması kaza sayısını arttırarak trafik güvenliğini azaltmaktadır (Mesbah ve diğer., 2011).

Bir diğer etki de ağır araçların, trafik akışında otomobillere uyum sağlayamaması karayolu içerisinde doldurulması zor olan büyük boşluklara ve arkasında uzun kuyruklar meydana gelmesine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak yol alanı verimli bir şekilde kullanılamamaktadır.

3.2 Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB)

Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB), karayolu üzerinde trafik akım oranını değerlendirmek için trafik mühendisliğinde kullanılan metrik bir parametredir. EOB, sinyalizasyon kavşaklarında farklı tipteki araçların etkisini inceleyebilmek için belirli bir araç tipinin ya da grubunun eşdeğeri olan otomobil sayısıdır.

EOB tanımı ilk olarak 1965 yılında Highway Capacity Manual’da yer almıştır. Bugün, HCM 2010’da analiz ve tasarım süreçlerinde trafik akımı içerisinde ağır araç varlığını açıklamak için bu değer kullanılmaktadır. Bu değer çoğu trafik analizinde esas olarak kabul edilmektedir.

Türkiye’de EOB değeri için TS6407’de kapasite hesaplamalarında kullanılmak üzere trafik kompozisyonu içerisinde araç tiplerine göre önerilen değerler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 TS 6407 EOB değerleri (TSE, 1989)

Araç tipi	Şehir içi yollarda	Dönel kavşaklarda	Işıklı kontrollü kavşakta
Özel otomobil, taksi, sepetli motosiklet, triportör yüksüz 1500 kg'a kadar olan pikap	1,00	1,00	1,00
Minibüs, dolmuş, taksi	1,15	1,30	1,27
Yüksüz 1500 kg'dan ağır ticari kamyon, at arabası	2,00	2,80	1,75
Kent içi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dahil), servis otobüsü, trolleybüs, tramvay	3,00	2,80	2,25
Motosiklet	0,75	0,75	0,33
Bisiklet	0,33	0,50	0,20

3.3 Sinyalize Kavşaklarda Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) Hesap Yöntemleri

Dünyanın pek çok yerinde trafik heterojen bir yapıya sahip olduğu için bu sistem üzerinde değişkenleri tanımlamak ve hesaplamak oldukça karmaşıktır. Bu durum EOB'nin de hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Araştırmancının amacına, gözlem

verilerine ve hesap kolaylığına göre kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Aşağıda bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanlar anlatılacaktır.

3.3.1 Highway Capacity Manual'da Önerilen Yöntem

Ağır araç etkisini dikkate almak için ideal doygun akım oranına düzeltme faktörü uygulanmaktadır (Transportation Research Board, 2010).

$$s = s_0 * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (3.1)$$

s = düzeltilmiş doygun akım oranı (araç/saat)

s_0 = ideal doygun akım oranı, yeşil süre içerisinde şerit başına otomobil sayısı (araç / saat / şerit)

f_w = şerit genişliği için düzeltme faktörü

f_{HV} = trafik akımındaki ağır araçlar için düzeltme faktörü

f_g = eğim için düzeltme faktörü

f_p = park için düzeltme faktörü

f_{bb} = kavşak içerisindeki yerel otobüslerin etkisini engellemek için düzeltme faktörü

f_a = alan tipi için düzeltme faktörü

f_{LU} = şerit kullanımı için düzeltme faktörü

f_{LT} = bir şerit grubunda sola dönüşler için düzeltme faktörü

f_{RT} = bir şerit grubunda sağa dönüşler için düzeltme faktörü

f_{Lpb} = sola dönüş grupları için yaya düzeltme faktörü

f_{Rpb} = sağa dönüş grupları için yaya düzeltme faktörü

İdeal doygun akım oranı değerinin (s_0), HCM 2010'da 1900 araç/saat olduğu görülmektedir. Sinyalize kavşaklar için hesaplamalar bu değer seçilmesi ile başlamaktadır. İdeal doygun akım oranı bütün düzeltme faktörlerinin 1,0 alınması durumu için trafik şeridinden geçebilecek maksimum araç sayısını temsil etmektedir.

Ağır araç düzeltme faktörü (f_{HV}), trafik akımındaki ağır araç oranını ifade etmektedir:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% PHV (E_T - 1)} \quad (3.2)$$

P_{HV} = ağır araç yüzdesi

E_T = ağır araçlar için eşdeğer otomobil birimi değeri

Ağır araç yüzdesi, analiz periyodu boyunca gelen ağır araç sayısının aynı süre içerisinde gelen toplam araç sayısına oranıdır. Bu değer her kavşak kolu için ya da şerit için hesaplanarak analizlerde kullanılmaktadır.

HCM 2010, kavşaklar için ağır araç tipini ve trafik hacmini dikkate almadan sabit EOB değerini kullanmaktadır. Bu değer Tablo 3.3’de gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Ağır araçlar için EOB değeri (Transportation Research Board, 2010)

Araç Tipi	EOB değeri (E_T)
Otomobil	1,0
Ağır araç	2,0

HCM yöntemine göre ağır araçlar da dikkate alınarak bir kapasite değeri belirlenmektedir. Yukarıdaki işlemlerden sonra sinyalize kavşaklar için analizler yeşil süre boyunca gelen araçlar ve sinyal faz planı belirlenerek devam etmektedir. Daha önce belirlenen kapasite ve gözlemlerden elde edilen hacim değerlerine göre hacim/kapasite oranı hesaplanmaktadır. Gözlem boyunca gelen araçlar için gecikme verisi toplanarak gecikmeye bağlı hizmet düzeyi analizi yapılmaktadır. Böylece bir sinyalize kavşak için temel analiz adımları tamamlanarak bir değerlendirme yapılmaktadır.

3.3.2 Gecikmeye Bağlı Eşdeğer Otomobil Birimi Hesap Yöntemi (D_{PCE})

Benekohal ve Zhao, ağır araçların gecikmeye etkisini değerlendirerek Eşdeğer Otomobil Birimini gecikmeye bağlı olarak hesaplamışlardır. Bu yöntemde D_{PCE} (Delay based Passenger Car Equivalent) değeri hesaplanarak ağır araç etkisi değerlendirilmektedir. D_{PCE} , ağır araçlardan dolayı meydana gelen gecikme

değerinin otomobil gecikmesine oranı olarak tanımlanmaktadır (Benekohal ve Zhao, 2000).

$$D_PCE = 1 + \frac{\Delta d_i}{d_0} \quad (3.3)$$

Δd_i = i tipi aracın neden olduğu gecikme

d_0 = sadece otomobillerden oluşan trafik akımındaki ortalama araç gecikmesi

D_PCE değeri, mevcut trafik akımındaki bir ağır aracın yerine geçebilecek ve trafikte meydana gelen toplam gecikme değerine karşılık gelen gecikme değerini meydana getirecek otomobil sayısıdır. Örneğin; 10 tane otomobilden oluşan bir araç grubunda, toplam araç gecikmesinin 50 saniye olduğunu varsayalım. Ortalama otomobil gecikmesi $d_0 = 50/10 = 5$ saniye/araç olarak bulunmaktadır. Aynı araç grubunun 8 tane otomobil, 2 tane ağır araçtan oluştuğunu ve toplam araç gecikmesinin 70 saniye olduğunu varsayalım. Ağır araçların neden olduğu gecikme $\Delta_d = (70 - 50)/2 = 10$ saniye/ağır araç 'tır. $D_PCE = 1 + (10 / 5) = 3$ olarak hesaplanmaktadır. Bu, bir tane ağır aracın 3 otomobile eşit olduğunu ifade etmektedir. Araç grubundaki toplam otomobil sayısı $3 * 2 + 8 = 14$, toplam gecikme $14 * 5 = 70$ saniye olacaktır (Benekohal ve Zhao, 2000)

D_PCE yöntemi sinyalizasyon kavşaklarında uygulandığında, trafik akımının sadece otomobillerden oluştuğu duruma "baz durum (base case)" ve baz durumda meydana gelen gecikme "baz gecikme (base delay)" olarak adlandırılmaktadır. Trafik akımında en az bir ağır aracın bulunduğu durum "karışık trafik durumu (mix traffic case)" ve bu durumdan dolayı oluşacak kuyruk ise "karışık trafik kuyruğu (mixed traffic queue)" olarak adlandırılmaktadır. Baz durum ve karışık trafik durumu için toplam gecikmeler bilinirse (Benekohal ve Zhao, 2000) :

$$D_PCE = 1 + \left(\frac{\frac{D_t - D_0}{V_t}}{d_0} \right) \quad (3.4)$$

$$D_PCE = 1 + \left(\frac{d_t - d_0}{p_H * d_0} \right) \quad (3.5)$$

D_t = karışık trafik durumu için toplam gecikme (saniye)
 D_0 = baz trafik durumu için toplam gecikme (saniye)
 d_0 = baz trafik durumu için ortalama gecikme (saniye/araç)
 p_H = ağır araç yüzdesi (%) (V/V_t)
 V = toplam trafik hacmi (araç/saat)
 V_t = toplam ağır araç hacmi (araç/saat)

Bu yöntemle ilgili olarak Benekohal ve Zhao, EOB değerlerinin trafik hacmi ve ağır araç yüzdesiyle büyük oranda ilişkili olduğunu bulmuşlardır. D-PCE değeri, trafik hacminin ve ağır araç yüzdesinin artmasıyla artmaktadır. Bu yöntemde, ağır aracın kuyruktaki pozisyonunun etkisi dikkate alınmamıştır. Bir diğer deyişle, bu yöntem için ağır aracın kuyrukta ilk araç ya da kuyruğun daha arkalarında olmasının önemi yoktur. Benekohal ve Zhao, kendi araştırmalarında D_PCE yöntemini kullanarak hesapladıkları EOB değerlerinin sabit olmayıp, trafik hacmine ve ağır araç yüzdesine bağlı olarak değiştiğini vurgulamışlardır. D_PCE değerinin, küçük boyutlu ağır araçlar için 1,00 – 1,37, daha büyük boyutlu ağır araçlar için ise 1,00 – 2,18 arasında değiştiğini hesaplamışlardır (Benekohal ve Zhao, 2000).

Bu araştırma kapsamında da gözlem verilerinden elde edilen gecikme değerlerine bağlı olarak sinyalize kavşaklar için EOB değeri, D_PCE yöntemi ile hesaplanmıştır. Diğer yöntemlerden hesaplanan değerler ile karşılaştırılarak ağır araç etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

3.3.3 Takip Aralığı Yöntemi (Headway Ratio Method)

Takip aralığı yönteminde, EOB değeri trafik akımındaki bir araç grubunun zaman cinsinden takip aralıklarının otomobil takip aralıklarına oranı olarak hesaplanmaktadır (Benekohal ve Zhao, 2000):

$$EOB_t = \frac{\bar{h}_t}{\bar{h}_c} \quad (3.6)$$

EOB_t = t araç tipindeki araçlar için EOB değeri

h_t = t tipi araçlar arasındaki ortalama zaman cinsinden takip aralığı değeri (saniye)
 h_c = otomobiller arasındaki ortalama zaman cinsinden takip aralığı değeri (saniye)

Bu yöntem, özellikle sinyalizasyon kavşaklarında yapılan analizlerde EOB değerini bulmak için kullanılan en yaygın yöntemdir. Yöntem sade ve kolay olmasına rağmen, ağır araçların gecikme üzerindeki olumsuz etkilerini ve kuyruktaki konumlarını dikkate almamaktadır. Yöntemin diğer bir dezavantajı ise sürücünün şerit davranışında sabit bir güzergâhı izlediği varsayılmaktadır. Ancak gözlemlerde sürekli aynı şeridi kullanmayan ya da aynı aracı takip etmeyen sürücüye ait takip aralığı değerini ayırmak da oldukça zordur (Metkari ve diğer., 2012).

Takip aralığı yöntemi, bu araştırma kapsamında yer alan çok şeritli kent içi karayolları ve sinyalizasyon kavşakları için EOB değerlerini hesaplamada kullanılan bir diğer yöntemdir. İlerleyen bölümlerde yöntem kullanılarak yapılan analizler anlatılmaktadır.

3.3.4 Regresyon Analizi Yöntemi

Bu yöntemde hız, seyahat süresi ve sinyal devre süresi gibi parametrelerle regresyon modeli oluşturulabilmektedir. Örneğin; Denklem 3.7’de hızlara göre oluşturulan model gösterilmektedir (Mathew, 2014).

$$v_p = v_f + c_1 * V_c + c_2 * V_t + c_3 * V_r + c_4 * V_o + c_5 * V_a \quad (3.7)$$

v_f = serbest akım hız değeri (km/saat)

V_c = otomobil hacim değeri (araç/saat)

V_t = kamyon hacim değeri (araç/saat)

V_r = rekreasyonel araçlara (karavan, kamp araçları) ait hacim değeri (araç/saat)

V_o = diğer araçlara ait hacim değeri (araç/saat)

V_a = mevcut akıma karşı hareket eden araçlara ait hacim değeri (araç/saat)

c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 = her araç tipi için göreceli hız azaltmayı temsil eden katsayılar

Bu model, karşılıklı trafik akımına sahip iki şeritli otoyollar için formüle edilmiş olsa da, c_5 katsayısını sıfırlayarak çok şeritli otoyollara (doğru giden trafik) uygulanabilmektedir. Hız azaltma katsayıları kullanılarak herhangi bir araç tipi için EOB değeri hesaplanabilmektedir.

$$E_n = \frac{c_n}{c_1} \quad (3.8)$$

E_n = n tipine ait EOB değeri

c_1 = otomobile ait hız azaltma katsayısı

c_n = n tipindeki araca ait hız azaltma katsayısı

Çoklu doğrusal regresyon modelinde seçilen parametreye göre değişkenlere bağlı model oluşturulmaktadır. Bir diğer model yaklaşım kolundaki yeşil süreye göre oluşturulmuştur. Yeşil süre, birbirini takip eden ilk, orta ve son olmak üzere üç zaman aralığına ayrılmıştır. Bu üç zaman aralığı, yeşil sürenin başlangıcında doymuş akımın oluşmaya başladığı süre (ilk), doymuş akımın sabit olarak gözlemlendiği süre (orta) ve sarı ışıkla beraber doymuş akımın azaldığı süre (son) olarak ifade edilmektedir. Bu modelde, yaklaşım koluna araç gelişleri rastgele bir zamanda başlayan ve biten T zaman aralığında gözlemlenmiştir (Benekohal ve Zhao, 2000).

$$n_1 = B_0 T - \sum_{i \neq 1} B_i * n_i + \varepsilon \quad (3.9)$$

B_0 = doymuş akım oranı (birim zamandaki otomobil sayısı cinsinden)

B_i = i tipindeki araçların eşdeğer otomobil birimi değeri

ε = hata payı

T = rastgele bir zamanda başlayan ve biten zaman aralığı

n_1 = regresyon analizine dâhil edilen otomobil sayısı

n_i = i tipindeki araçların sayısı

Regresyon yöntemi genellikle doğru giden trafik akımının doymuş trafik değerinde uygulanmaktadır (Benekohal ve Zhao, 2000).

3.3.5 Webster Yöntemi

Webster tarafından trafikte kontrollü kamyon deneyi yapılarak yük taşıyan araçlar için EOB değeri hesaplanmıştır. Araçlar, hafif araçlar (light vehicles) ve tük taşıyan araçlar (good vehicles) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Yük taşıyan araçlar, orta büyüklükte ve ağır ticari araçları kapsamaktadır. Ağır araçlar için EOB değeri birbirini izleyen 12 sinyal devresinden elde edilen veriler gruplandırılarak belirlenmektedir. Her devre grubu için devredeki yük taşıyan ortalama araç sayısının ($\bar{n}_g = \frac{1}{N} \sum n_g$) ve devredeki ortalama hafif araç sayısına ($\bar{n}_1 = \frac{1}{N} \sum n_1$) göre grafiği çizilmektedir. N, veri grubundaki devre sayısıdır.

Webster tarafından bu yöntem uygulandığında $\bar{n}_g$ ve $\bar{n}_1$ değerleri arasında grafik çizilmiştir. Bu iki değer arasında bir doğru çizilebilecek kadar az miktarda dağınıklık vardır. Yük taşıyan araçlar için EOB değeri bu doğrunun eğimine karşılık gelmektedir.

Bu yöntem ile yapılan bir diğer çalışmada da doğru giden trafik ve doymun akımında EOB değerini otobüsler için 2,25, ağır araçlar için 1,75 olarak önermişlerdir (Benekohal ve Zhao, 2000; Canseven, 2002).

3.3.6 Araştırmalarda Kullanılan Diğer Yöntemler

Chandra ve Kumar tarafından hız ve araç alanları kullanılarak Eşdeğer Otomobil Birimi değeri hesaplanmıştır (Chandra ve Kumar, 2003).

$$EOB = \frac{V_c/V_i}{A_c/A_i} \quad (3.10)$$

V_c = ortalama otomobil hızı (km/saat)

V_i = i tipindeki aracın ortalama hızı (km/saat)

A_c = otomobilin yol üzerinde kapladığı alan (uzunluk * genişlik)

A_i = i tipindeki aracın yol üzerinde kapladığı alan (uzunluk * genişlik)

Bir aracın fiziksel boyutunun kaplama üzerinde işgal ettiği alan, trafik akımının özelliklerini etkileyen kritik bir faktördür. Ağır araçlarda otomobillere göre fiziksel boyutları nedeniyle kaplama üzerinde oldukça büyük bir alan işgal ettikleri için trafik akımına etkileri ihmal edilememektedir (Chandra ve Kumar, 2003).

Kullanılan bir diğer yöntemde trafik yoğunluk değerine dayanan EOB hesaplama yöntemidir. Bu yöntemde, kamyonlar için EOB değeri Formül 3.11'deki gibi hesaplanmaktadır. Trafikteki bütün araçlar için aynı şerit genişliği kabul edilmektedir (Mathew, 2014).

$$E_t = \frac{k_c/W_l}{k_t/W_l} \quad (3.11)$$

E_t = kamyonlar için EOB değeri

k_c = homojen trafik koşullarında otomobil yoğunluğu (otomobil/km)

k_t = homojen trafik koşullarında kamyon yoğunluğu (kamyon/km)

W_l = homojen trafik koşullarında şerit genişliği

Seyahat süresi kullanılan bir yöntemde ise, kent içi karayollarında seyahat eden ağır araçlar için trafik hacminin, araç sınıflandırmasının ve trafik sinyal zamanlamasının bir fonksiyonu olarak EOB değeri hesaplanmaktadır. Yöntemde EOB değeri, ağır araçların seyahat sürelerinin bir şehir içi trafik ağından geçen otomobillerin seyahat sürelerine oranı olarak tanımlanmaktadır (Metskari ve diğer., 2012).

Araştırmalarda kullanılan yöntemler incelendiğinde en yaygın olarak kullanılanları ve genel özellikleri Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Yöntemleri birbirinden ayıran en önemli özellikleri kullanılan parametreler ve ağır araç etkisini hesaplama hassasiyetidir. Yöntem yapılacak araştırmaya ve kullanılacak parametreye göre seçilmelidir. Bu araştırmada, sinyalizasyon kavşakları için gecikmeye bağlı Eşdeğer Otomobil Birimi (D_PCE) hesaplama yöntemi ve takip aralığı yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3.4 Yaygın olarak kullanılan EOB hesap yöntemlerine genel bakış

Yöntem	Önerilen EOB değeri	Yöntemin uygulanması	Açıklama	Kullanılan parametreler	Formül
HCM yöntemi	Ağır araçlar için 2,0	Yöntem kavşak tipi gözetilmeksizin kullanılabilmektedir.	İdeal doygun akım oranına düzeltme faktörü uygulanmaktadır.	f_{HV} ağır araç düzeltme faktörü	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% PHV (E_T - 1)}$
D_PCE yöntemi	Hacim ve ağır araç yüzdesine göre değişmektedir.	Bütün kavşaklar için kullanılabilmektedir.	Karışık trafik durumuna ait gecikmenin baz duruma oranıdır.	Gecikme değeri	$D_PCE = 1 + \left(\frac{d_t - d_0}{p_H * d_0} \right)$
Takip aralığı yöntemi	Takip aralıklarına göre değişmektedir.	Sinyalize kavşaklarda kullanılmaktadır.	Takip aralıklarının oranı olarak hesaplanmaktadır.	Zaman cinsinden takip aralığı	$EOB_t = \frac{\bar{h}_t}{\bar{h}_c}$
Regresyon yöntemi	Parametreye göre değişmektedir	Genellikle doğru giden trafik akımında uygulanmaktadır.	Çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmaktadır.	Araştırma analizine göre değişmektedir.	$Y = K + ax_1 + bx_2 + \dots$
Webster yöntemi	Otobüsler için 2,25, diğer ağır araçlar için 1,75	Genellikle, doğru giden akımda uygulanmaktadır.	Doğrunun eğimi EOB değerini vermektedir.	Birbirini izleyen sinyal devresi	Grafik üzerinden hesap yapılmaktadır.

3.4 Sinyalize Kavşaklarda Ağır Araç Etkisi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Sinyalize kavşaklar üzerine yapılmış pek çok çalışmada araştırma yapılan konuya bağlı olarak çeşitli yöntemler ve parametreler kullanılmaktadır. Chaudhry ve Ranjitkar (2009) mikro-simülasyon programı kullanarak yaptıkları çalışmalarında sinyalize kavşaklarda kapasite analizi yapmışlardır. Benzetim modeli oluşturarak geleneksel analitik yöntemlerle elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalı analizler sonucunda trafik akımı yüksek olduğunda mikro-simülasyonun gerçek trafik koşullarını kabul edilebilir bir şekilde yansıttığı sonucunu elde etmişlerdir ve kullanılan benzetim programını sinyalize bir kavşağı değerlendirirken kapasite analizi için uygun bir araç olarak önermişlerdir.

Maini ve Khan (2000) karışık araç gruplarını içeren trafik akımında sinyalize kavşak performansını değerlendirmişlerdir. Hindistan'da yapılan çalışmada bölgeye ait 4 motorlu araç tipinin (2-tekerlekli, 3-tekerlekli, otomobil ve otobüs) bulunduğu araç kompozisyonu değerlendirilerek bölgeye özgü model geliştirmişlerdir. Model, sinyalize kavşak kapasitesine bağlı olarak heterojen trafik koşullarında kavşak boşaltım özelliklerini belirlemektedir. Bu amaçla kavşak boşaltım hızı tanımlanmaktadır. Çalışmada bu hız, bir araç için kavşağı geçme hızı olarak verilmiştir. Araç tipinin boşaltım hızını etkileyip etkilemediği değerlendirilmiş ve homojen trafik koşulları ile heterojen trafik koşulları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde düşük performanslı araçlar (2 tekerlekli ve 3 tekerlekli) nedeniyle kavşak boşaltım hızı düşmektedir. Bu düşüşün özellikle Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) değerini etkileyeceği öngörülmektedir.

Hindistan'da yapılan bir diğer çalışmada Cartegana ve Tarko (2005) tarafından sinyalize kavşak performansını ve tahmin edilen kapasitenin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla bölgeye özgü parametreler belirlenmiştir. Bölgesel verilerin doygun akım oranını hesaplamada önemli olduğu ortaya konmuş ve elde edilen ortalama doygun akım oranı, başlangıç kayıp zamanı, ağır araç eşdeğerlik faktörü ve düzeltme faktörü değerlerinin Highway Capacity Manual 2000'de (HCM 2000) önerilen değerlere oldukça yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca,

araştırmanın yapıldığı şehrin büyüklüğü ile ilgili olarak doygun akım oranları, 423 araç/saat/şerit ile daha küçük şehirlere göre yüksek ve en sağ şeridin diğer şeritlere göre 88 taşıt/saat/şerit daha düşük olduğu görülmüştür. Bu farkın nedeni, araştırmacılar tarafından bu şeritleri kullanmayı tercih eden daha az agresif sürücülerin varlığı ve bu şeritte daha kötü kaplama koşullarının bulunması olarak açıklanmıştır.

Washburn ve Cruz-Casas (2010) sinyalize kavşaklarda kamyonlar için uygun Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) değeri ile başlangıç kayıp zamanı arasındaki ilişkiyi trafik akımındaki kamyon yüzdesinin fonksiyonu olarak tanımlamışlardır. Bu fonksiyon yardımıyla küçük, orta ve büyük boyutlu kamyonlar için sırasıyla EOB değerlerini 1,8; 2,2 ve 2,8 olarak hesaplamışlardır. Aynı küçük, orta ve büyük kamyon sınıflandırmalarına göre kamyonların kuyruk içerisine rastgele dağıtıldığı varsayımıyla başlangıç kayıp süresinin tahmin edilmesi için de model geliştirilmiştir. Bu model, bir kuyruğun önündeki kamyonun başlangıç kayıp zamanı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Ağır araç trafiğinin yoğun olduğu kavşaklarda gözlem yapan Canseven (2002) ağır araç etkisini belirlemek amacıyla EOB değeri hesaplamaya çalışmıştır. Gözlem sonuçlarının değerlendirilmesinde takip aralığı yöntemi (headway ratio method) ve gecikmeye bağlı eşdeğer otomobil birimi hesaplama yöntemi (D_PCE) kullanarak her iki yönteme ait EOB değerlerini karşılaştırmıştır. Takip aralığı yöntemine göre elde edilen değerler sırasıyla otobüs, kamyon, sağa dönen otomobil ve motosiklet için 1,79; 1,74; 0,89 ve 0,08 iken gecikmeye bağlı olarak hesaplanan değerler 2,03; 1,85; 1,19 ve 0,65 olarak elde edilmiştir. Gecikmeye bağlı eşdeğer otomobil birimi hesaplama yöntemine göre hesaplanan EOB değerlerinin daha büyük çıktığı görülmüştür. Kuyruktaki araç cinslerinin ve konumunun etkisinin EOB değerini arttırdığı düşünülmektedir.

Ağır araçlar, uzunluk, fiziksel büyüklükleri ve hızlanma/yavaşlama özellikleri nedeniyle trafik akımı üzerinde fiziksel, sürücüler ve yayalar üzerinde psikolojik etkiler oluşturmaktadır. Bu etkileri incelemek amacıyla Moridpour, Mazloumi ve

Mesbah (2014), ağır araçlar ve otomobillerin trafik akımı içerisinde trafik özelliklerini nasıl etkilediklerini araştırmışlardır. Ağır araçlar ve otomobiller karşılaştırıldığında ağır araçların büyük boyutları nedeniyle manevra kabiliyetleri ve hızları otomobillere göre düşüktür. Bu amaçla Amerika’da hizmet düzeyi E olan bir karayolu kesiminde çalışma yapılmıştır. Benzetim programında model oluşturulmuş ve her bir şerit için ağır araç yüzdeleri arttırılarak seyahat süreleri incelenmiştir. Ağır araç yüzdeleri arttıkça ortalama seyahat sürelerinin arttığı ve ortalama hızın düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca ağır araç oranı arttıkça kaza olasılıklarının arttığı ve trafik güvenliğinin azaldığı görülmüştür. Karayollarında seyahat sürelerini azaltmak ve trafik güvenliğini iyileştirmek için belirli şeritlerde ağır araç trafiğinin sınırlandırılması önerilmektedir.

Sarvi (2011) ağır araçların, tıkanık otoyol kesimlerinin kapasitesi ve genel performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. 3 farklı otoyol kesiminde anketler yapılmış ve video kamera görüntülerinden kapsamlı veriler elde edilmiştir. Toplanan veriler öncelikli olarak ağır araçlar ve otomobiller arasındaki etkileşimi incelemek için kullanılmıştır. Otomobil (takip edilen) – otomobil (takip eden), otomobil – kamyon, ve kamyon – otomobil olmak üzere 3 tane analiz grubu oluşturularak takip aralıkları zaman/mesafe cinsinden bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde ağır aracın trafik akımındaki varlığının takip aralığını arttırdığı, şerit kapasitesini ve otoyol kesiminin verimliliğini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Al-Kaisy, Jung ve Rakha (2005) da tıkanıklık esnasında çok şeritli karayollarında ve otoyollarda ağır araçlar için EOB değerini hesaplamayı amaçlamışlardır. Trafik simülasyon çalışmaları için trafik simülasyon modeli oluşturulmuştur. Modelin çalışma prensibi araç takip modeline dayanmaktadır. Modelin gerçeğe uygun çalışabilmesi açısından validasyon ve kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Ayrıca modelin doğruluğu açısından simülasyonun her bir bölge için çalıştırılma tekrarı da önemlidir. Bu çalışmada model Bölge 1 için 27 tekrar, Bölge 2 için 32 tekrar olarak çalıştırılmıştır. Bu işlemler sonucunda araziden toplanan veriler yardımıyla hesaplanan EOB değeri Bölge 1 için 3,07; Bölge 2 için 2,24 ve simülasyon sonuçlarından elde edilen değerler ise Bölge 1 için 3,26; Bölge 2 için 2,39 olarak

hesaplanmıştır. Bu değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu çalışmadaki şartlar için HCM (2000)'de önerilen EOB değeri 2,5 ile 3 arasındadır. Bu değerinde çalışmada elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür.

Sinyalize kavşaklarda ağır araç etkisini araştıran bir diğer çalışmada Rahman, Nakamura ve Okura (2003) ağır araçların kuyruktaki pozisyonunu dikkate alarak EOB değerinin hesabı için bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada 7 tane sinyalize kavşaktan 15 yaklaşım koluna ait video kamera çekimleri yapılmış ve çekimlerden zamana bağlı takip aralıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan takip aralıkları yardımıyla araç gecikmeleri, gecikmelere bağlı olarak da EOB değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde; en yüksek gecikme değerinin kuyruğun başında ağır araç olması durumunda gözlemlendiği belirlenmiştir. Ağır aracın kuyruktaki konumu kuyruğun sonuna doğru yaklaştıkça, hesaplanan EOB değeri azalmıştır. Buna bağlı olarak kuyruk sonuna doğru ağır araç etkisi de azalmaktadır. Ayrıca, çalışmada aynı ağır araç yüzdesine sahip kuyruklar karşılaştırıldığında ağır aracın konumu değiştikçe EOB değerinde büyük miktarda farklılıklar meydana geldiği görülmüştür. Bu durumun, elde edilen diğer sonuçları da destekler nitelikte olduğu araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır.

Turbo-dönel kavşaklarda EOB hesaplayan Giuffre, Grana, Marino ve Galatioto (2016) birden fazla senaryo çıktısına dayanarak turbo-dönel kavşakların her bir giriş şeridi için kapasite fonksiyonları geliştirmişlerdir. Bu fonksiyonları benzetim programında elde edilen modelin doğruluğunu göstermek için kullanmışlardır. Benzetim programında oluşturulan model, farklı ağır araç yüzdeleri için 10 tekrar olarak çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen grafiklere bakarak trafik akımı içerisinde ağır araç oranı arttıkça, HCM 2010'da EOB için önerilen 2 değerinden daha büyük bir EOB değeri hesaplamışlardır. Bu nedenle kapasite ve hizmet düzeyi hesaplanırken ağır araç etkisinin hesaba katılması gerektiği vurgulanmıştır. Araştırmacılar, ağır araçların turbo-dönel kavşaklar üzerindeki etkisini ve kavşak tasarımı ile ağır araç etkisi arasındaki ilişkiyi değerlendirmede kapasite fonksiyonlarına bağlı olarak EOB için formül önermişlerdir. Bu formülün

farklı türde kavşaklara ve kavşak noktalarına geometrik tasarımlarına bağlı olarak uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Giuffre, Grana, Tumminello ve Sferlazza (2017) tarafından dönel kavşaklarda yapılan bir diğer araştırmada da kavşağın her bir giriş şeridi için kapasite temel kriter olarak alınmıştır. Kavşak giriş şeritlerinde kapasite fonksiyonlarının hesabı için trafik benzetim modeli kullanılmıştır. Benzetim modelinin doğruluğu için kalibrasyon ve validasyon işlemlerinde GEH değeri kritik sınır 5'den küçük ve RMSE (Root Mean Square Error) değeri ise sınır değer olan %30'dan küçük hesaplanmıştır. Giriş şeritlerinin her bir sağ ve sol şeridi için EOB hesaplanmıştır. Ampirik kapasite fonksiyonları ile AIMSUN'da oluşturulan model çıktıları karşılaştırılmıştır. Ağır araç yüzdeleri %10, %20 ve %30 olarak 3 farklı durum için analizler yapılmıştır. Trafik hacmi 0 ile 400 araç/saat/şerit iken EOB değeri 2 civarında değişmektedir. Hacim 400 ile 800 araç/saat/şerit olduğu durumda 2,5 ile 3 arasında 3'e yakın değerler vermektedir. Dönel kavşaklarda ağır araç yüzdesi ve trafik hacmi arttıkça ağır araç etkisi de artmaktadır. Araştırmacılar dönel kavşaklarda ağır araçların trafik koşulları üzerindeki etkisini değerlendirmek için önerilen formülün geliştirilerek daha sonraki araştırmalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Roh, Park ve Kim (2017) trafik akımı içerisinde ağır araç etkisini incelemek için EOB hesaplamışlardır. Bu amaçla gerçek zamanlı olarak 4-şeritli, 6-şeritli ve 8-şeritli 3 farklı karayolunda gözlem yapılmıştır. Analizlerde şerit sayısı, akım oranı ağır araç oranı ve ortalama hız arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre 6-şeritli ve 8-şeritli karayolları için ağır araç oranı ve akım oranı arttıkça ortalama hızın azaldığı görülmüştür. Ağır araç oranı %25 ile %45 arasında değişirken ya da %45'i aştığında ortalama hız değerinin dengede olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre mevcut yöntemlerin yeniden gözden geçirilmesi araştırmacılar tarafından önerilmiştir.

EOB hesaplamak için takip aralığı, gecikme, seyahat süresi, hız, yoğunluk gibi parametrelere bağlı olarak kullanılan yöntemler bulunmaktadır. Kullanılacak yöntem araştırmanın yapılacağı bölgeye ve karayolu kesiminin özelliklerine göre değişiklik

göstermektedir. Metkari, Budhkar ve Maurya (2012) Hindistan koşullarını ve bölgede kullanılan farklı araç tiplerini dikkate alarak yapılan çalışmaları incelemişler ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçları değerlendirmişlerdir. Yapılan araştırmalarda Hindistan koşulları için en çok kullanılan yöntemlerin takip aralığı yöntemi ve gecikmeye bağlı EOB hesaplama yöntemi olduğu görülmüştür. Özellikle Hindistan gibi bölgeye özgü farklı araç tiplerinin bulunduğu karışık trafik koşullarını inceleyen araştırmalarda HETEROSIM programının güvenilir sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. İncelenen araştırmalar, kullanılan parametre, metodoloji ve elde edilen sonuçlara göre sınıflandırılmıştır.

Saha, Mahmud, Hossain ve Islam (2009) sinyalize kavşaklarda farklı araç tipleri için gerçek trafik koşullarında EOB değerini belirlemişlerdir. Çalışmada 10 farklı sinyalize kavşaktan toplanan veriler kullanılarak takip aralığı yöntemine göre EOB hesaplanmıştır. Araç tiplerine göre otomobil için 1,0, bölgeye özgü 2-tekerlekli motorlu araç için 0,86; minibüsler için 1,42 ve otobüsler için 2,16 değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler ile daha önce yapılmış çalışmalardaki veriler karşılaştırılmış ve yeni hesaplanan değerlerin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu değerler, doymun akım oranının hesaplanmasında önemli bir etkiye sahiptir ve dolayısıyla sinyalize kavşakların tasarımını etkilemektedirler.

Benekohal ve Zhao (2000) sinyalize kavşaklarda gecikmeye bağlı EOB yöntemini kullanarak ağır araç etkisini değerlendirmişlerdir. Hesaplar yapılırken temel kriter olarak gecikmenin yanında trafik hacmi, ağır araç yüzdesi ve ağır araç düzeltme faktörü (f_{hv}) değerleri de dikkate alınmıştır. Gözlemler 7 farklı kavşak ve 10 yaklaşım kolu için yapılmış ve bu kavşakların TRAF-NETSIM programında mikro-simülasyon modelleri oluşturulmuştur. EOB değerleri kamyonlar için 1 ile 1,37 arasında, kamyonlardan daha büyük araçlar (combination trucks) için 1 ile 2,18 arasında bulunmuştur. Elde edilen bu verilere göre gecikmeye bağlı EOB değeri trafik hacmi ve ağır araç yüzdesi arttıkça artmaktadır.

Nassiri, Tabatabaie ve Sahebi (2016) sinyalize kavşaklarda gecikmeye bağlı EOB hesaplamışlardır. Üç farklı sinyalize kavşakta yapılan çalışmada sahadan trafik

hacmi, her yön için seyahat süreleri, sinyalizasyon verileri ve kavşaklara ait geometrik özellikler toplanmıştır. Bu veriler kullanılarak TRAF-NETSIM simülasyon programında 3 farklı model farklı senaryolar için oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin analizi sonucunda EOB değerleri 1,1 ile 1,99 arasında hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda EOB değerinin HCM 2010'da önerilen 2 değerine oldukça yakın olduğu görülmüş ve bu değer ağır araçlar için 2 olarak önerilmiştir.

Dey, Chandra ve Gangopadhyay (2008) tarafından Hindistan'da 2 şeritli yollar için yapılan çalışmada Visual Basic programlama dili kullanılarak oluşturulan simülasyon programında analizler yapılmıştır. Analizlerde otomobil, kamyon/otobüs, 2-tekerlekli, 3 tekerlekli ve traktör olmak üzere 5 tip araç değerlendirilmiştir. Araç tipleri ile hız, hacim/kapasite oranı ve EOB değerleri arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Trafik akımına otomobil dışında farklı bir araç tipi dahil olduğunda otomobillerin trafik akımı içerisinde hızının azaldığı görülmüştür. Hızdaki bu azalma, otomobil dışındaki araç tipine ve bu araç tipinin toplam hacim içerisindeki oranına bağlı olmaktadır. Trafik akımı içerisinde 3-tekerlekli, traktör ya da ağır araç oranı arttıkça iki şeritli yolun kapasitesi düşmektedir. Aksine akım içerisinde 2-tekerlekli araçların oranı arttıkça yolun kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca EOB'nin en yüksek değeri 2- tekerlekli, 3-tekerlekli ve traktörün çok düşük hacim/kapasite oranlarında ve trafik akımındaki bu araçların çok düşük oranlarında gözlenmiştir. Bu durumun araçların fiziksel boyutlarına ve düşük manevra kabiliyetlerine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Trafik hacmi gibi temel trafik akım özelliklerinin incelenmesi, karayolu sistemlerinin etkin planlanması, tasarımı, işletilmesi ve yönetimi için ön koşuldur. Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerdeki trafik, farklı boyut ve operasyonel özelliklere sahip farklı kategorilerdeki araçlardan oluştuğu için heterojen trafik yapısına sahiptir. Heterojen trafik akımı içerisinde hareket eden araçlar arasındaki etkileşim oldukça karmaşıktır. Herhangi bir araç tipinin trafik akımı içerisindeki etkisini değerlendirmek amacıyla otomobil ile karşılaştırma yapılabilmektedir. Bu karşılaştırma için kullanılabilecek en uygun parametre EOB'dir. Praveen ve Arasan

(2012) tarafından yapılan çalışmada mikro-simülasyon yöntemi kullanılarak homojen ve heterojen trafik koşulları incelenmiştir. Mikro-simülasyon modeli olarak HETEOSIM kullanılmıştır. Araştırma Hindistan’da dört şeritli kent içi karayollarında yapılmıştır. EOB değeri, farklı araç tipleri, farklı hacim/kapasite oranları ve farklı araç kompozisyonları için elde edilmiştir.



BÖLÜM DÖRT

ÇOK ŞERİTLİ KENT İÇİ KARAYOLU PERFORMANSININ AĞIR ARAÇ ETKİSİ ALTINDA İNCELENMESİ

Gelişmekte olan şehirlerdeki hızlı nüfus artışı ve araç sahipliği mühendisleri daha fazla şerit sayısına sahip yollar yapmaya zorlamaktadır. Çok şeritli yollar genellikle yüksek hızla harekete imkân veren ve kısmi oranda erişim kontrollü olan karayolu yapılarıdır. Çok şeritli karayolları genellikle ilçeler arasındaki bağlantıyı sağlamakla birlikte şehir içindeki önemli erişim noktalarını birbirine bağlamak amacıyla da kullanılmaktadır.

Ağır araçlar düşük hareket özellikleri ve fiziksel büyüklüklerinden dolayı çok şeritli karayollarında önemli kapasite düşüşlerine neden olmakta ve trafik güvenliği açısından da sorun yaratabilmektedir. Araştırmanın bu bölümünde öncelikli olarak çok şeritli karayollarının analizi ile birlikte ağır araçların trafik akımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kullanılan yöntemlere değinilmiştir.

4.1 Çok Şeritli Kent İçi Karayolları

Çok şeritli karayolları her bir yöndeki trafiğin kullanması için en az iki ya da daha fazla sayıda şeride sahip olacak şekilde düzenlenmiş karayolu altyapılarıdır. Şekil 4.1’de örnek olarak bölünmüş çok şeritli karayolu gösterilmektedir. Genellikle şehrin kenar ya da kısmen dış çeperlerinden geçen, şehir merkezindeki önemli talep noktalarını birbirine bağlamak amacıyla oluşturulmuş, yüksek hacim taşıyan karayolu koridorlarıdır. Çoğunlukla bölünmüş olarak oluşturulurlar (Şekil 4.2). Bu yollardaki hız limitleri 70 km/sa - 110 km/sa olarak belirlenir ve kontrollü erişim sağlanır. Trafik akımının hareketini değiştirecek herhangi bir dış etki bulunmaz. Üzerlerinde 2 - 3 km mesafeden daha yakın kesişim noktası (eş düzeyli kavşak, trafik ışığı, dur-yol ver gibi trafik işaretleri vs.) bulunmaz ve kesintisiz akım koşulları geçerlidir. Kesişim noktaları genellikle erişim kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 4.1 Bölünmüş çok şeritli karayolu – Gaziantep - Şanlıurfa Otoyolu (KGM, 2009)

4.1.1 Kapasite

Çok şeritli karayolları ile ilgili trafik mühendisliği çalışmalarında en önemli nokta karayolunun ne kadar araç geçirebileceği ve bu araçları hangi işletme koşulları ile geçirebileceğidir. Bu konu kapasite ve hizmet düzeyi analizleri ile ele alınmaktadır.



Şekil 4.2 Bölünmüş çok şeritli karayolu – İzmir-Aydın Otoyolu (KGM, 2011)

Çok şeritli bir karayolu için kapasite, bir şerit ya da yön için dikkate alınan saat dilimi içerisinde, mevcut yol, trafik ve denetim koşullarında geçebilen saatlik en yüksek araç sayısıdır. Otomobil birimi olarak ifade edilir ve dikkate alınan zaman dilimi genellikle trafik akımının kararlı olduğu en uzun süre olarak kabul edilen 15 dakikadır.

Çok şeritli karayollarının teorik kapasitesi, serbest akım hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Tablo 4.1, kesintisiz akım koşullarında hizmet veren tesisler için teorik kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1 Kesintisiz akım koşulları teorik kapasite değerleri (Transportation Research Board, 2010)

Ulaşım Tesis Türü	Serbest Akım Hızı (km/sa)	Kapasite (araç/saat/şerit)
Otoyollar	≥ 120	2400
	110	2350
	100	2300
	90	2250
Çok şeritli karayolları	≥ 100	2200
	90	2100
	80	2000
	80	1900
2-şeritli karayolları	Tüm hızlar için	3200 (toplam 2 yön için)
		1700 (max. 1 yön için)

Tablo 4.1’de verilen değerlerden yola çıkılarak, temel kapasiteyi düşürücü faktörler (şerit genişliği, ağır araç oranı, yan açıklık, eğim durumu vs.) belirlenir ve bu faktörler kullanılarak pratik kapasite değeri hesaplanmaktadır.

İki tür kapasite tanımı bulunmaktadır:

1. *Teorik kapasite* (ideal koşulların geçerli olduğu durum): İdeal yol ve trafik koşullarında belirli bir şeritten veya yoldan geçebilecek maksimum otomobil sayısıdır.
2. *Pratik kapasite* (mevcut yol koşullarına göre belirlenen durum): Geçerli yol ve trafik koşulları altında herhangi bir kısıtlama (sürücünün hareket kabiliyetinin kısıtlanması), tehlike ya da gecikmeye neden olacak trafik yoğunluğu olmadan bir saat boyunca belirli bir şeritten geçebilecek maksimum otomobil sayısıdır.

İdeal koşulların geçerli olabilmesi için:

- Proje hızının iki şeritli yollarda 100 km/saat, çok şeritli yollarda 110 km/saat ya da daha yüksek olduğu,
- Şerit genişliğinin 3,65 m ya da daha fazla olduğu,
- Yan açıklıkların 1,80 m ya da daha fazla olduğu,
- Geçişin kısıtlandığı (görüş mesafesi 450 m den kısa) kesimin olmadığı,
- Doğru giden trafik için dönüş yapan ya da yola katılan araçlar tarafından sınırlama ya da engellenmenin olmadığı,
- Trafik akımının yalnızca otomobillerden oluştuğu,
- Trafiğin yönlere dağılımının eşit ve yolun düz bir araziden geçtiği, varsayılmaktadır.

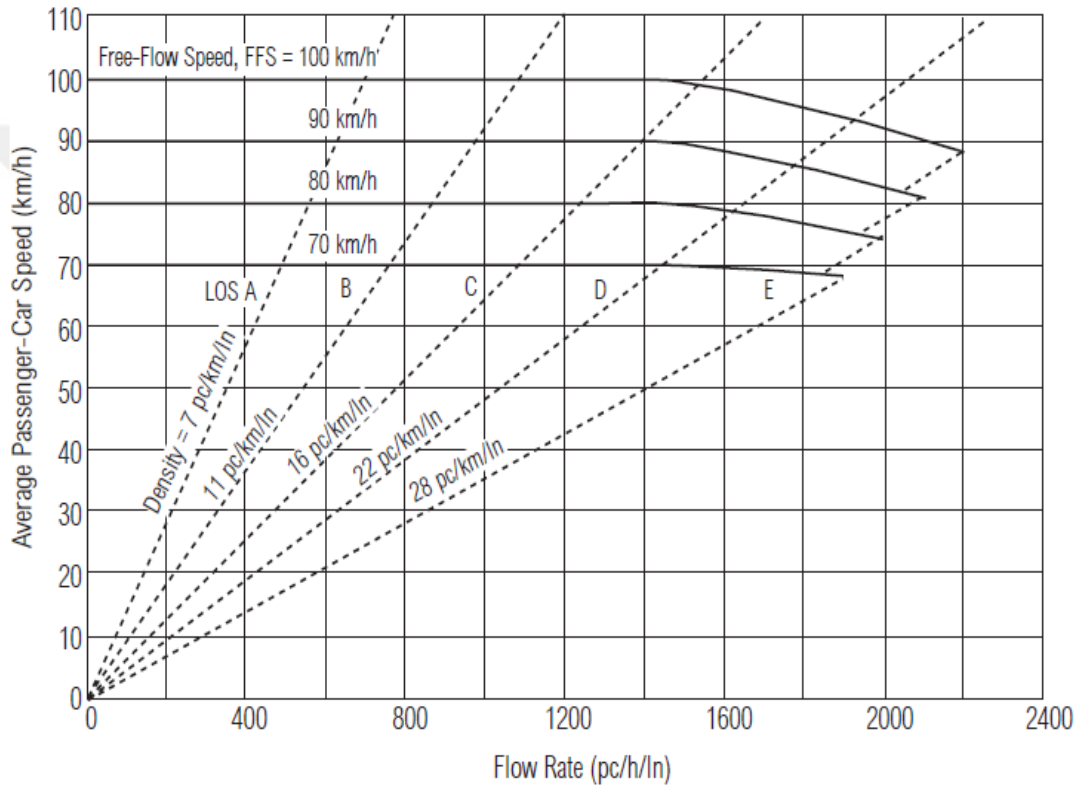
İdeal koşulların geçerli olması için hava koşullarının elverişli, görüşün açık, yol üzerinde herhangi bir kaza/bakım işleminin yapılmadığı ve kaplama ile ilgili bir sorun olmadığı da kabul edilmektedir.

4.1.2 Hizmet Düzeyi (Level of Service)

Hizmet düzeyi, çok şeritli karayollarının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir ölçütlerden birisidir. Hız, seyahat süresi, şerit değiştirme özgürlüğü, akım içerisindeki duraksamalar, konfor gibi birçok değişken göz önüne alınarak belirlenmektedir. Yapılan çalışmalar trafik akım hızının, akım oranının büyük bir aralığı için sabit olduğunu göstermektedir. Çok şeritli karayollarında bir şeritteki akım oranının 1400 otomobil/saat değerine ulaşıncaya kadar hızın sabit kaldığı, akım oranının 1400 otomobil/saat'in üzerine çıktığı durumda ise hızında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle hizmet düzeyi analizlerinde sürücülerin trafik akımındaki diğer araçlar ile aralarında bıraktığı mesafeye bağlı olarak değişen yoğunluk değeri kullanılmaktadır. Araçlar arasındaki aralık - akım oranına bağlı olarak önemli değişim göstermektedir.

Hizmet düzeyi 6 kategoriden oluşmaktadır. Sıralama serbest akım koşullarının geçerli olduğu en iyi durumu gösteren A Hizmet Düzeyinden en olumsuz durumu ifade eden, sık sık durmaların gözlemlendiği F Hizmet Düzeyine kadar isimlendirilmektedir (A-B-C-D-E-F).

Şekil 4.3’de çok şeritli karayolları için oluşturulmuş olan hizmet düzeyi, hız, yoğunluk ve akım oranı arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.3 Hız-akım oranı eğrileri ve hizmet düzeyi (Transportation Research Board, 2010)

Tablo 4.2’de serbest akım hızlarına göre hizmet düzeyleri için maksimum yoğunluk (oto / km / şerit), ortalama hız (km/saat), maksimum hacim / kapasite (v/c) ve maksimum hizmet akım oranı (oto / saat / şerit) değerleri verilmiştir. F hizmet düzeyine ait değerler verilmemiştir. F hizmet düzeyinde akım oldukça kararsız ve değişkendir. Talep kapasiteyi aştığında F hizmet düzeyi ortaya çıkmaktadır. Bu noktada oluşan kuyruklar, işletme koşullarının kapasite sınırında olduğunu göstermektedir. Kuyruk içindeki seyahat hızları 48 km/saat’ ten düşüktür. Kuyruk

oluşumları içinde bulunan işletme koşulları, F hizmet düzeyini tanımlamak için kullanılabilir (KGM, 2005).

Tablo 4.2 Çok şeritli karayolları hizmet düzeyi (KGM, 2005; Transportation Research Board, 2010)

Serbest Akım Hızı	Kriterler	Hizmet Düzeyi				
		A	B	C	D	E
100 km/saat	Max. yoğunluk (oto/km/şerit)	7	11	16	22	25
	Ortalama hız (km/saat)	100,0	100,0	98,4	91,5	88
	Max. hacim/kapasite (v/c)	0,32	0,50	0,72	0,92	88,0
	Max. hizmet akım oranı (oto/saat/şerit)	700	1100	1575	2015	2200
90 km/saat	Max. yoğunluk (oto/km/şerit)	7	11	16	22	25
	Ortalama hız (km/saat)	90,0	90,0	89,8	84,7	80,8
	Max. hacim/kapasite (v/c)	0,30	0,47	0,68	0,89	1,00
	Max. hizmet akım oranı (oto/saat/şerit)	630	990	1435	1860	2100
80 km/saat	Max. yoğunluk (oto/km/şerit)	7	11	16	22	25
	Ortalama hız (km/saat)	80,0	80,0	80,0	77,6	74,1
	Max. hacim/kapasite (v/c)	0,28	0,44	0,64	0,85	1,00
	Max. hizmet akım oranı (oto/saat/şerit)	560	880	1280	1705	2000
70 km/saat	Max. yoğunluk (oto/km/şerit)	7	11	16	22	25
	Ortalama hız (km/saat)	70,0	70,0	70,0	69,6	67,9
	Max. hacim/kapasite (v/c)	0,26	0,41	0,59	0,81	1,00
	Max. hizmet akım oranı (oto/saat/şerit)	490	770	1120	1530	1900

4.2 Çok Şeritli Karayollarının Analizi

Çok şeritli karayollarının analizi için geometrik özellikler ve yol üzerindeki talebe bağlı olarak birçok bilgi toplamak gerekmektedir. Analiz süresi olarak trafik akımının en yoğun durumunun gözlemlendiği zirve saat içerisindeki 15 dakikalık periyotların kullanılması uygun bulunmaktadır. Analizlerde öncelikli olarak serbest akım hızı belirlenmelidir. Serbest akım hızı belirlendikten sonra düzeltilmiş talep hacmi Denklem 4.1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Transportation Research Board, 2010).

$$V_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad (4.1)$$

Bağıntıda V_p : ideal yol ve trafik koşulları altındaki temel hacim, akım oranı ya da kapasitedir ve birimi otomobil / saat / şerittir. V : hâkim yol ve trafik koşulları altındaki talep hacmi, akım oranı ya da kapasite (araç / saat), PHF : zirve saat faktörü, N : bir yöndeki şerit sayısı, f_{HV} : ağır araç düzeltme faktörü, f_p : sürücü özelliğini yansıtan düzeltme faktörüdür. Denklem 4.1’de temel yaklaşım, mevcut veya tahmini talep hacimlerini ideal koşullar altında eşdeğer bir akım oranına dönüştürmektir. Denklemden elde edilen sonuç Şekil 4.3’deki hız – akım oranı eğrilerini oluşturmak için kullanılmaktadır.

Ağır araç düzeltme faktörü, trafik akımında ağır araçların varlığından dolayı kullanılan bir düzeltme faktörüdür. Hâkim yol ve trafik koşullarını göz önünde bulundurarak talep hacmini belirleyebilmek için gerekli olan en önemli faktörlerden birisidir. Bu düzeltme değerini belirleyebilmek amacıyla her ağır aracın mevcut koşullarda kaç otomobil değerine eşit olduğunu (Eşdeğer Otomobil Birimi - EOB) belirlemek gerekmektedir.

Ağır araç düzeltme faktörü, genel olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$f_{HV} = \frac{1}{(1 + P(EOB - 1))} \quad (4.2)$$

Burada P : ağır araç oranı, EOB : Eşdeğer Otomobil Birimidir. Trafik akımındaki her tip ağır aracın akım üzerindeki etkisinin farklı olacağı düşünülürse her araç tipi için eşdeğer otomobil biriminin farklı olacağı açıktır. Kockelman ve Shabih, Denklem 4.2'yi geliştirerek aşağıdaki denklemi önermişlerdir (Kockelman ve Shabih, 2000):

$$f_{HV} = \frac{1}{(1 + \sum_i P_i(EOB_i - 1))} \quad (4.3)$$

P_i : “ i ” aracının akım içerisindeki yüzdesini, EOB_i ise “ i ” aracının Eşdeğer Otomobil Birimini ifade etmektedir.

Eşdeğer Otomobil Birimi ve ağır araç düzeltme faktörü arasındaki ilişkiyi bir örnek ile daha iyi açıklamak gerekirse; trafik akımı 1000 araç/saat ve akımın %10 kamyon ve %2'sinin ise diğer ağır araçlardan oluştuğunu varsayalım. Gözlem verilerine göre kamyonlar için EOB değeri 2,5 otomobil, diğer ağır araçlar için 2,0'dir. Bu verilere göre, kamyonlar = $1000 * 0,10 * 2,5 = 250$ otomobil/saat, diğer ağır araçlar = $1000 * 0,02 * 2,0 = 40$ otomobil /saat, otomobiller = $1000 * 0,88 * 1,0 = 880$ otomobil / saat olarak bulunmaktadır. Toplam otomobil cinsinden araç sayısı 1170 otomobil / saat ve bu değerler kullanılarak Formül 4.3 hesaplandığında $f_{HV} = 0,8547$ bulunmuştur.

Yolun pratik kapasitesini hesaplayabilmek için arazide yapılan gözlemler ya da bazı temel kabuller yardımıyla serbest akım hızının belirlenmesi gerekmektedir. Serbest akım hızı (Free Flow Speed - FFS), düşük trafik hacimli karayolu kesiminde herhangi bir kontrol gecikmesi (sinyalizasyon, kavşak, dur işaretlemeleri gibi) veya diğer taşıtların varlığından dolayı bir kısıtlama olmaksızın sürücülerin kendi inisiyatifleri ile yaptıkları hızların ortalamasıdır (KGM, 2014). Serbest akım hızı % 85 persentil hız değeri olarak alınabilir ya da gözlem verisi bulunmuyor ise uygulanan hız limiti olarak kabul edilmektedir. Ayrıca aşağıdaki bağıntı yardımıyla da serbest hız değeri hesaplanabilmektedir (Transportation Research Board, 2010).

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad (4.4)$$

FFS = serbest akım hızı (km/sa)

BFFS = temel serbest akım hızı (km/sa)

f_{LW} = şerit genişliği düzeltme katsayısı

f_{LC} = yan açıklık düzeltme katsayısı

f_M = ayırıcı (refüj) düzeltme katsayısı

f_A = katılım noktası düzeltme katsayısını ifade etmektedir.

Çok şeritli karayolları için temel şerit genişliği 3,5 m'dir (KGM, 1993). Daha dar şeritler için şerit genişliği düzeltme katsayısı f_{LW} , kullanılarak azaltma yapılmaktadır.

Çok şeritli karayolları için yan açıklık düzeltme katsayısı f_{LC} , karayolundaki toplam yanal açıklığa bağlı olarak kullanılmaktadır. Çok şeritli karayolunun bölünmüş olup olmamasına, sağa ya da sola dönüş olmasına göre yanal açıklık değişmektedir.

4.3 Ağır Araç Etkisi ve Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB)

Kamyon, otobüs gibi ağır araçların trafik akımı üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Ağır araçlar otomobillerden daha büyük oldukları için yol üzerinde çok daha fazla alan kaplarlar.
- Ağır araçlar kendi içlerinde olduğu gibi otomobillerle kıyaslandığında da çok farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Örneğin; otomobillere göre çok daha düşük hızlanma ve yavaşlama ivmeleri vardır, ağırlıkları ve motor güçleri de oldukça değişkendir. Bu sebeplerle ağır araçlar önlerinde giden araçları daha uzun aralık bırakarak takip ederler. Özellikle eğimli yol kesimlerinde daha uzun ve kullanılamaz aralıklar meydana gelmektedir. Böylece yalnızca fiziksel özellikleri nedeniyle değil aynı zamanda büyük takip aralıkları nedeniyle de yol üzerinde fazla yer işgal ederler.

- Ayrıca büyük fiziksel özellikleri ve düşük manevra kabiliyetleri göz önüne alındığında ağır araçlar trafikte hareket etmekte olan otomobil sürücülerini psikolojik olarak da etkilerler. Çevresini veya uyarı levhalarını göremeyeceğini düşünen ya da yakınında seyreden ağır aracın duramayıp kendisine çarpacağını düşünen otomobil sürücülerinin sürüş davranışları değişmektedir.

Yukarıda açıklanmaya çalışılan bu gibi nedenlerle ağır araçlar trafik akım karakteristiklerini önemli ölçüde etkilemektedir. EOB, bir ağır aracın trafik akımında yerine geçebileceği otomobil eşdeğeri anlamına gelmektedir. Bu eşdeğerlik birçok farklı duruma göre değişkenlik göstermektedir.

Eşdeğerliği etkileyen en önemli faktör trafik akımı ya da yol tipinin özelliğidir. Ağır araçların trafik akımında yaratacağı etki, sinyalize bir kavşak, kesintisiz çok şeritli bir karayolu, birleşme/örülme bölgeleri ya da katılım rampaları için farklı şekillerde değerlendirilmektedir. Ayrıca trafik akımında bulunan ağır araçların türleri ve akım içindeki oranları da EOB'nin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Bunların dışında yol tesisi üzerinde hâkim olan trafik akımının hizmet düzeyi, akım hızı ya da yoğunluğu da EOB'nin belirlenmesinde etkilidir (Transportation Research Board, 2010).

EOB belirleyebilmek amacıyla birçok araştırmacı birçok farklı yöntem kullanarak çeşitli analizler yapmıştır. En çok kullanılan yöntem araçların birbirini takip zamanlarına bağlı olarak belirlenen takip aralığı yöntemidir. Bunun dışında hız, yoğunluk ve seyahat süresine bağlı olarak EOB belirleyen yöntemlerde bulunmaktadır. Bu çalışmada çok şeritli kent içi karayolları için EOB değerinin belirlenmesinde takip aralığı yöntemi kullanılmıştır. Yöntem 3.bölümde anlatılan sinyalize kavşaklar için EOB değerini belirlemede kullanılan takip aralığı yöntemi ile aynı işlem adımlarına sahiptir.

BÖLÜM BEŞ

ARAZİ ÇALIŞMALARI

Bu araştırma çalışması, İzmir iline ait belirli sinyalize kavşaklarda ve çok şeritli kent içi karayolları için seçilen karayolu kesiminde mevcut ulaşım durumunun analizi ve ağır araç etkisinin değerlendirmesi amacıyla sunulmuştur. Bu amaçla araştırmanın bu bölümünde veri toplama yöntemleri, araştırmanın yapıldığı bölgeler ve yapılan gözlemler anlatılmıştır.

5.1 Araştırmada Kullanılan Veri Toplama Yöntemi

Trafik mühendisliğinde, gözlem verisi toplamak oldukça önemli bir adımdır. Verilerin doğru ve güvenilir bir şekilde toplanması araştırmanın hassasiyetini etkilemektedir. Bu nedenle öncelikli olarak gözlem yapılacak noktaların tespit edilmesi gerekmektedir. Nokta yerleri tespit edildikten sonra arazide ölçüm yapabilmeye olanak sağlayacak noktaların konumları tespit edilmiştir. Gözlem verilerinin toplandığı noktalar, düz (eğimsiz) bölgede, herhangi bir erişim ya da kesişim noktasından etkilenmeyecek ve bütün şeritleri görebilecek şekilde seçilmiştir. Ayrıca verilerin elde edilmesi esnasında havanın açık, yağmursuz ve kaplama koşullarının iyi olmasına dikkat edilmiştir.

Araştırmada kullanılacak veri grupları video kameralar yardımıyla toplanmıştır. Şekil 5.1’de video kamera görüntülerine ait bir örnek bulunmaktadır. Ön etütler çerçevesinde Tablo 5.1’de gözlem noktalarında toplanan verilere ait bilgiler verilmiştir. Analizlerde kullanılan veriler büro ortamında video kamera kayıtları incelenerek elde edilmiştir.

Tablo 5.1 Gözlem Programı

Yer	Zaman	Gözlem Tipleri				
		Geometrik Özellikler	Sinyal Planı	Trafik Hacmi	Takip Aralığı	Kuyruk Uzunluğu
POAŞ Kavşağı	07:30 - 08:30	×	×	×	*	*
POAŞ Kavşağı	17:30 - 18:30	×	×	×	*	*
Gaziemir 1	17:30 – 18:30	×	×	×	×	×
Gaziemir 2	17:30 – 18:30	×	×	×	×	×
Gaziemir 1	17:30 – 18:30	×	×	×	×	×
Gaziemir 2	17:30 – 18:30	×	×	×	×	×
Yeşildere Caddesi	07:30 - 08:30	×	*	×	×	×
Yeşildere Caddesi	17:15 - 18:15	×	*	×	×	×
×: Gözlemin yapıldığını göstermektedir.						
*: Gözlemin yapılmadığını göstermektedir.						

Çekimler mümkün olduğunca en yoğun trafik akımının gözlemlenebileceği zirve saatlerde yapılmaya çalışılmış ve sabah 07:30 – 08:30, öğleden sonra 17:30 - 18:30 saat aralıklarından elde edilen veriler analizlerde kullanılmıştır. Gözlemlerde sözü edilen saat dilimlerinde her bir şeritte geçen araçlara ait hacim ve takip aralığı değerleri araç tipine bağlı olarak dakikalık bazda toplanmıştır. Ayrıca incelenen kesimlere ait herhangi bir yöne ait dönüşlerin olup olmadığı, şerit genişliği ve şerit sayısı gibi geometrik özelliklerde arazi çalışmalarında elde edilmiştir.



Şekil 5.1 Video kamera kayıtlarına ait görüntülerden örnekler (Kişisel arşiv, 2017)

5.1.1 Yol Geometrik Özellikleri

Bu gözlem tipi, hız sınırı ve incelenen karayolu kesiminin geometrisi hakkında veri toplamak için yapılmıştır. AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) simülasyon modelinin oluşturulabilmesi ve gecikme verisinin analitik yöntemle hesaplanabilmesi için yol geometrik özelliklerine ait verilerin toplanması gerekmektedir. Geometrik ölçüm verileri, arazi gözlemleri ve haritalardan elde edilmiştir. Bununla birlikte oluşturulan simülasyon modelinin mevcut koşulları yansıtması açısından yol geometrisine ait doğru verilerin kullanılması önemlidir.

Geometrik arazi ölçümleri her kesimdeki yolun genişliğinden, araştırma yapılacak kesimin uzunluğundan ve şerit sayısından oluşmaktadır. Ayrıca hız sınırının bilinmesi de araştırmanın duyarlılığı açısından etken bir parametredir.

5.1.2 Trafik Hacim Sayımları

Trafik hacmi, belirli bir zaman aralığı boyunca karayolunda belirli şerit, yön ya da noktadan geçen araç sayısı olarak tanımlanmaktadır.

Trafik hacim verileri, analizlerde kullanılacak en önemli veri gruplarından. Aracın tipini, dönme oranını ve belirli bir zaman diliminde başlangıç noktasını içermektedir. Belirli bir zaman dilimi içerisinde araç tiplerine, hareketlere (doğrudan, sola-dönen ya da sağa dönen araç hareketleri) ve şeritlere göre toplanmaktadır. Gözlemlerde hacim verileri; otomobil, minibüs, kamyon, otobüs, yakıt tankeri ve tır olmak üzere araç tiplerine göre toplanmıştır. Bu çalışmada gözlem verileri toplanırken trafik hacmi araç/saat olarak elde edilmiştir.

5.1.3 Kuyruk Uzunluğu

Kuyruk uzunluğu, kalibrasyon işlemlerinde kullanılan önemli bir parametredir. Özellikle simülasyon modeli oluşturulduğunda model sonuçları ile gözlem verilerinden elde edilen analitik sonuçları karşılaştırarak modelin doğruluğunu göstermek oldukça önemlidir. Kuyruk uzunluğu, araç sayısı ya da uzunluk olarak hesaplanmaktadır. Kuyruk uzunluğu verisi toplanırken kuyrukta tamamen durmuş olan araçlar sayılmıştır. Bir saatlik gözlemden her bir trafik sinyal devresi için veriler zaman – fark sayacı kullanılarak toplanmıştır. Şekil 5.2’de sinyalizasyon bir kavşağına ait video kamera görüntülerinden bir sinyal devresine ait kuyruk uzunluğu gösterilmektedir. Her bir şerit için maksimum ve minimum kuyruk uzunlukları belirlenmiştir. Maksimum kuyruk uzunluğu, bir saatlik gözlemden en uzun kuyruğa göre belirlenmiştir.

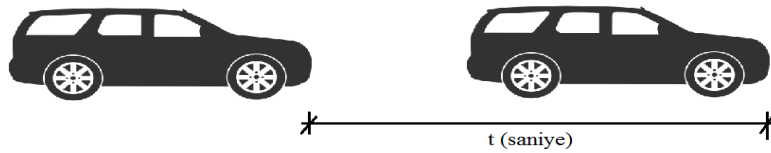


Şekil 5.2 Sinyalize bir kavşaktaki kuyruk uzunluğu (Kişisel arşiv, 2017)

Video kamera çekimleri, Şekil 5.2'de olduğu gibi kuyruğun tamamı görülebilecek şekilde yapılmıştır.

5.1.4 Zaman Cinsinden Takip Aralığı

Zaman cinsinden takip aralığı, bir noktadan geçen birbirini izleyen araçlar arasındaki birim zamandır. Takip aralığı verileri, ağır araç etkisini değerlendirmek için kullanılan EOB değerinin hesaplamakta kullanılmıştır. Şekil 5.3'de bir araç çifti için zaman cinsinden takip aralığı gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Zaman cinsinden takip aralığı

Arazi çalışmalarında takip aralığı verileri, video kamera görüntülerinden yararlanılarak zaman-fark sayacı kullanılarak elde edilmiştir. Ofis ortamında video

görüntüleri izlenirken trafik sinyaline gelen her bir araç için sayaçta ilgili bölüme basarak takip aralıkları dakika ya da saniye cinsinden elde edilmekte ve veriler Microsoft Excel programına kaydedilmektedir. Aynı yöntemle kuyruk uzunluğu verileri de bu sayaçla toplanmıştır. Şekil 5.4 zaman-fark sayacını göstermektedir.

Şekil 5.4 Zaman – fark sayacı

5.1.5 Trafik Sinyal Planı

Sinyalize kavşaklarda trafik analizi yapabilmek için trafik sinyal planının oluşturulması gerekmektedir. Trafik sinyal planı devre süresi, kırmızı süre, sarı süre, yeşil süre ve faz sayısını kapsamaktadır. Bu çalışmada değerlendirilen sinyalize kavşaklar için de video görüntülerinden sinyal planları elde edilmiştir.

5.2 Araştırmanın Yapıldığı Bölgeler

Bu bölümde, araştırma kapsamında incelenen kavşaklar tanıtılmıştır. Kavşaklar; yüksek hacim değerine sahip önemli arterler üzerinde yer almaları, gözlem yapmaya uygun noktalar olmaları ve ağır araçların sıklıkla kullandığı güzergâh üzerinde yer almaları gibi nedenlere bağlı olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda gözlem yapılan noktalar POAŞ kavşağı, Akçay Caddesi üzerinde yer alan iki tane sinyalize kavşak

ve Yeşildere Caddesi üzerinde yer alan karayolu kesimi olmak üzere dört farklı bölgede bulunmaktadır.

5.2.1 İzmir İli Aliağa İlçesi - POAŞ Kavşağı

Çalışma kapsamında incelenen POAŞ kavşağı, İzmir ili Aliağa ilçesinde ve İzmir-Çanakkale Devlet Yolu üzerinde yer almaktadır. Kavşak, kuzeyde bulunan Aliağa ilçesi ile güneyde bulunan İzmir şehir merkezini birbirine bağlamaktadır. POAŞ kavşağı, PETLİM limanından gelen yaklaşım, İzmir yönünden gelen yaklaşım ve Aliağa ilçe merkezinden gelen yaklaşım olmak üzere 3 yönden gelen akımların kesiştiği sinyalizasyonlu bir kavşaktır. Şekil 5.5’de POAŞ kavşağına ait kuş bakışı görüntü verilmiştir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de yaklaşım kollarına ait fotoğraflar sunulmuştur.



Şekil 5.5 POAŞ kavşağı (Google Earth, 2017)



Şekil 5.6 POAŞ kavşağı İzmir yaklaşım koluna ait bir fotoğraf (Kişisel arşiv, 2015)



Şekil 5.7 POAŞ kavşağı Aliaga yaklaşım koluna ait bir fotoğraf (Kişisel arşiv, 2015)

5.2.2 İzmir İli Gaziemir İlçesi – Akçay Caddesi

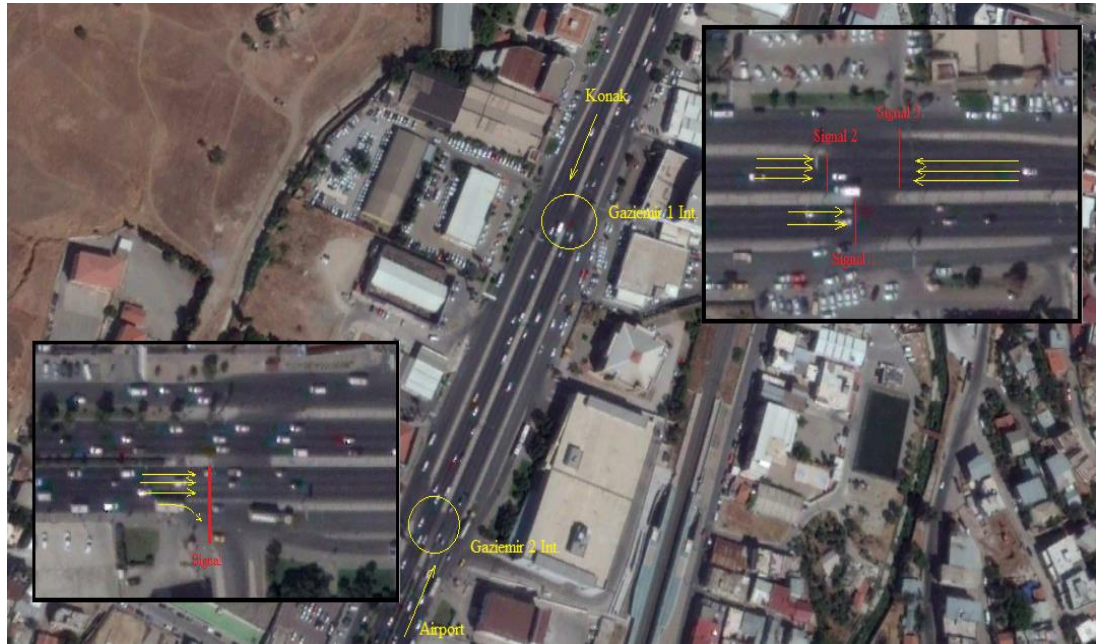
Araştırmanın yapıldığı kavşaklardan diğer ikisi, İzmir'in güneyinde Gaziemir ilçesinde yer almaktadır. Semt Garajı kavşakları (Gaziemir 1 ve Gaziemir 2), Akçay Caddesi üzerinde kuzeyde bulunan şehir merkezi (Konak) ile güneyde Adnan Menderes Havaalanı yaklaşımlarını birbirine bağlamaktadır. Kavşaklar, havaalanı ve Konak arasında 2 yönden gelen akımların kesiştiği sinyalizasyonlu kavşaklardır. Konum

itibariyle sanayi bölgesine yakın olması ve ana arter üzerinde yer alması nedeniyle yoğun trafik akışına maruz kalmaktadır. Özellikle sanayi bölgesi ağır araç etkisini arttırmaktadır.



Şekil 5.8 Akçay Caddesi genel görünümü (Google Earth, 2017)

Gaziemir 1 kavşağı, Şekil 5.8’de gösterildiği gibi Konak yönünden havaalanı yönüne 3 şeritli ve doğrudan geçişlerde kullanılmakta ve oldukça yoğun trafiğe maruz kalmaktadır.



Şekil 5.9 Akçay Caddesi kavşaklara ait akım yönleri (Google Earth, 2017)

Semt Garajı 2 (Gaziemir 2) kavşağı, havaalanı yönünden Konak yönüne geliş kolu 4 şeritli doğru akım ağırlıklı olmak üzere çalışmaktadır. Sağ şerit Semt Garajı yönüne dönüşlerde kullanılmaktadır. Sağ şerit özellikle otobüs trafiğine en çok maruz kalan kollardan biridir. Şekil 5.9'da kavşağa ait akım yönleri yer almaktadır.

5.2.3 İzmir İli Konak İlçesi - Yeşildere Caddesi

Yeşildere Caddesi kuzeyde Konak ve güneyde Karabağlar ilçelerini birbirine bağlamaktadır. Konak ilçesi ve Karabağlar ilçesinde gelen iki yönlü, kontrollü erişim ile katılıma izin verilen bölünmüş çok şeritli kent içi karayoludur. D300 devlet yolu üzerinde yer almaktadır. Konum itibariyle İzmir'in iki büyük ilçesini birbirine bağladığı ve doğuda Buca ilçesine geçişlerde kullanıldığı için yoğun trafik akışına maruz kalmaktadır. Özellikle zirve saatlerde yoğun trafik akışı nedeniyle tıkanma ve uzun kuyruklar görülmektedir. Bu nedenle gözlem yapılacak kavşaklar arasında seçilmiştir. Şekil 5.10, Yeşildere Caddesine ait Konak yönünden gelen yaklaşım kolunu göstermektedir. Caddenin her iki yönü refüj ile ayrılmış ve her iki yönde 3 şerit bulunmaktadır.



Şekil 5.10 Yeşildere Caddesi genel görünümü (Yandex haritalar, 2015)

5.3 Gözlem Verilerinin Toplanması

5.3.1 POAŞ Kavşağına Ait Gözlem Verileri

Trafik gözlem verileri Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından POAŞ kavşağında araç tiplerine göre zirve saatlerde toplanmıştır. Araziden sabah ve akşam zirve saatlerinde kavşak için görüntü kayıtları yapılmıştır. Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de sabah ve akşam zirve saatlerine ait veriler bulunmaktadır. Gözlemlenen kavşak için 2 farklı açıdan trafik gözlemleri yapılmıştır. Görüntülerden her bir yaklaşım kolu için akım yönleri belirlenerek araç tiplerine göre sayımlar elde edilmiştir.

Tablo 5.2 Sabah zirve saatine ait trafik hacim değerleri

POAŞ	Sabah (07:30 – 08:30)					
Akım	O	M/K	OB	K	T	YT
İzmir yönünden Aliğa yönüne gidenler	479	147	19	33	28	56
İzmir yönünden POAŞ yönüne gidenler	107	16	0	2	20	23
Aliğa yönünden İzmir'e gidenler	636	141	18	32	9	24
Aliğa yönünden POAŞ yönüne gidenler	97	51	3	39	10	13
POAŞ yönünden sağa dönenler	18	13	0	7	10	22
POAŞ yönünden sola dönenler	41	18	1	2	5	1
O:otomobil; M/K:minibüs/kamyonet; OB:otobüs; K:kamyon; T:tır; YT:yakıt tankerini ifade etmektedir.						

Araç tipleri altı kategoriye ayrılmıştır: otomobil, minibüs/kamyonet, otobüs, kamyon, tır ve yakıt tankeri. Araç tiplerine ait veriler Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de verilmiştir. Dönüşler üç yöne ayrılmıştır; sola dönen, düz giden ve sağa dönenler.

Hacim verileri kavşak kollarından her bir şerit için araç tiplerine göre 1 saatlik olarak toplanmıştır.

Tablo 5.3 Akşam zirve saatine ait trafik hacim değerleri

POAŞ	Akşam (17:30 – 18:30)					
Akım	O	M/K	OB	K	T	YT
İzmir yönünden Aliğa yönüne gidenler	626	96	13	18	48	10
İzmir yönünden POAŞ yönüne gidenler	33	9	0	4	7	2
Aliğa yönünden İzmir'e gidenler	659	105	13	41	20	16
Aliğa yönünden POAŞ yönüne gidenler	24	11	0	17	13	2
POAŞ yönünden sağa dönenler	43	13	1	5	18	2
POAŞ yönünden sola dönenler	69	18	2	3	1	2
O:otomobil; M/K:minibüs/kamyonet; OB:otobüs; K:kamyon; T:tır; YT:yakıt tankerini ifade etmektedir.						

Ayrıca POAŞ kavşağı için gözlem yapılarak sinyal planı oluşturulmuştur. Şekil 5.11’de sinyal faz planı gösterilmektedir. Kavşak 3 faz ile işletilmektedir. Devre süresi 73 saniyedir. Her yöne kırmızı süre (all-red time) ve sarı süre 2 saniyedir.



Şekil 5.11 POAŞ kavşağına ait sinyal planı

5.3.2 Akçay Caddesine Ait Gözlem Verileri

Akçay caddesi üzerinde yer alan kavşaklar Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Çalışma kapsamında Semt Garajı 1 (Gaziemir 1) kavşağı Konak yönünden Adnan Menderes Havaalanı yönüne giden taraftaki sinyalize kavşağı, Semt Garajı 2 (Gaziemir 2) Adnan Menderes Havaalanı yönünden Konak yönüne giden taraftaki sinyalize kavşağı temsil etmektedir.



Şekil 5.12 Akçay caddesinde incelenen kavşaklar (Yandex haritalar, 2018)

Araziden kameralar yardımıyla akşam zirve saatlerinde (17:30 – 18:30) gözlemler yapılarak hacim sayımları elde edilmiştir. Semt Garajı 1 kavşağında sadece doğru giden akım, Semt Garajı 2 kavşağında ise doğru giden ve sağa dönen akım

bulunmaktadır. Gözlem hacimlerine bakıldığında sağa dönen araç hacmi % 1'den az olduğu için sadece doğru giden akım dikkate alınmıştır.

Çalışmada, araç tipleri dört kategoriye ayrılmıştır; otomobil, minibüs/kamyonet, otobüs ve kamyon. Elde edilen veriler Tablo 5.4’de gösterilmektedir.

Tablo 5.4 Gaziemir trafik hacim değerleri

Gaziemir Semt Garajı	Hacim Değerleri (araç/saat)				
	Otomobil	Minibüs/ Kamyonet	Kamyon	Otobüs	Toplam
Konak havaalanı Yönü 04.06.2013	1405	203	188	16	1812
	77,54	11,2	10,38	0,88	%100
Konak havaalanı Yönü 15.05.2013	1579	256	179	25	2039
	77,44	12,56	8,78	1,22	%100
Havaalanı Konak Yönü 04.06.2013	2054	205	299	29	2587
	79,4	7,92	11,56	1,12	%100

Kuyruk uzunluğu verileri için kuyrukta tamamen durmuş olan araçlar sayılmıştır. Kuyruk uzunluğu verileri, her sinyal devresi için kaydedilmiştir. Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 kuyruk uzunluğu verilerini göstermektedir.

Tablo 5.5 Semt Garajı 1 kavşağına ait kuyruk uzunlukları

Gaziemir Semt Garajı 1	Kuyruk Uzunluğu (araç)		
	Konak - Havaalanı Yönü (04.06.2013 - Salı)		
	Sol Şerit	Orta Şerit	Sağ Şerit
Max.	18	15	12
Min.	3	1	2
Standart Sapma	2,754	2,601	2,302
Gaziemir Semt Garajı 1	Konak - Havaalanı Yönü (15.05.2013 - Çarşamba)		
	Max.	18	16
	Min.	5	1
Standart Sapma	2,719	2,780	2,357

Tablo 5.6 Semt Garajı 2 kavşağına ait kuyruk uzunlukları

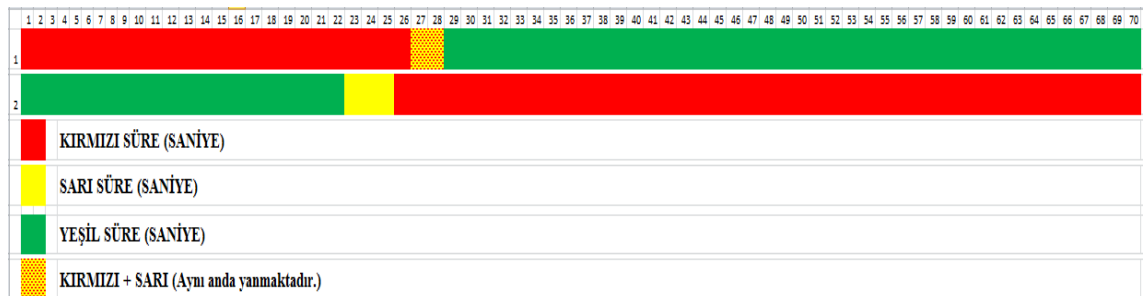
Gaziemir Semt Garajı 2	Kuyruk Uzunluğu (araç)			
	Havaalanı - Konak Yönü			
	Sol Şerit	Orta Sol Şerit	Orta Sağ Şerit	Sağ Şerit
Max.	12	10	11	11
Min.	1	3	2	0
Standart Sapma	2,613	1,898	1,990	2,275

Yapılan çekimlerden her bir araç tipi için zaman cinsinden takip aralığı verileri de toplanmıştır. Elde edilen takip aralığı değerleri EOB belirleme yöntemlerinden olan takip aralığı yönteminde kullanılmıştır. Tablo 5.7’de kavşaklara ait ortalama takip aralığı değerleri yer almaktadır.

Akçay Caddesi	Ortalama zaman cinsinden takip aralığı h (saniye)		
	Otomobil	Kamyon	Otobüs
Semt Garajı 1 04.06.2013	1,93	2,94	2,58
Semt Garajı 1 15.05.2013	1,88	3,74	3,32
Semt Garajı 2 04.06.2013	1,91	2,74	2,34

Tablo 5.8 Kavşaklara ait sinyal planı

Akçay Caddesi	Faz	Devre Süresi (saniye)	Yeşil Süre (saniye)	Kırmızı Süre (saniye)
Sem Garajı Kavşağı 1	Faz 1	70	22 sn	45 sn
	Faz 2		37 sn	28 sn
Semt Garajı Kavşağı 2	Faz	70	39 sn	28 sn



64

5.3.3 Yeşildere Caddesine Ait Gözlem Verileri

Çekimler mümkün olduğunca en yoğun trafik akımının gözlemlenebileceği zirve saatlerde yapılmıştır. Sabah 07:30 - 08:30 ile akşam 17:15-18:15 zirve saatleri aralığında elde edilen veriler analizlerde kullanılmıştır. Elde edilen toplam hacim değerleri ve araç tiplerine göre yüzdeleri Tablo 5.9’da gösterilmektedir.

Tablo 5.9 Zirve saatlerine ait toplam hacim değerleri ve yüzdeleri

Gözlem	Saat	Veri sayısı	Ort. akım oranı (araç/saat)	Otomobil (%)	Minibüs (%)	Otobüs (%)	Kamyon (%)
Sağ Şerit	07:30 – 08:30	56	1543	91,3	0,074	0,004	0,009
Orta Şerit		56	1476	84,1	8,9	2,8	4,1
Sol Şerit		56	1377	91,4	7,4	0,4	0,9
Sağ Şerit	17:15 – 18:15	54	632	73,1	21,0	4,1	1,7
Orta Şerit		54	1185	80,4	14,9	2,3	2,4
Sol Şerit		54	1071	88,0	11,0	0,5	0,4

Çalışmada sözü edilen saat dilimlerinde her bir şeritte geçen araçlara ait takip aralığı değeri araç tipine bağlı olarak dakikalık bazda toplanmıştır. Bu sayede akım oranı değerleri hesaplanmıştır Her bir araç tipine göre belirlenen takip aralıklarına ait istatistiksel bilgiler Tablo 5.10’da verilmiştir. Her bir şeritte geçen araçlar için takip aralığı değerleri de Tablo 5.11’de yer almaktadır.

Tablo 5.10 Şeritlere göre takip aralıkları

Gözlem	Saat	Veri sayısı	Ort. akım oranı (araç/saat)	h (sn)	Standart sapma	Min. (sn)	Max. (sn)
Sağ Şerit	07:30 – 08:30	56	1543	2,13	1,41	0,11	14,15
Orta Şerit		56	1476	1,89	1,47	0,12	20,24
Sol Şerit		56	1377	2,01	1,47	0,11	14,15
Sağ Şerit	17:15 – 18:15	54	632	4,70	3,82	0,33	28,52
Orta Şerit		54	1185	2,68	1,76	0,35	13,48
Sol Şerit		54	1071	2,78	2,72	0,14	21,63

Tablo 5.11 Araç tiplerine göre takip aralıkları

Gözlem	Saat	h _{otomobil}	h _{minibüs}	h _{otobüs}	h _{kamyon}	h _{ağır araç}
Sağ Şerit	07:30 – 08:30	2,12	2,45	2,95	3,31	2,90
Orta Şerit		1,60	1,70	2,01	2,18	1,97
Sol Şerit		2,00	2,77	2,82	3,10	2,90
Sağ Şerit	17:15 – 18: 15	4,12	5,40	5,64	6,66	5,90
Orta Şerit		2,54	3,33	3,01	3,86	3,40
Sol Şerit		2,65	2,90	2,61	3,22	2,91
Ortalama		2,51	3,09	3,18	3,72	3,33

Ayrıca her bir şeritte hareket eden araçlara ait hızlar kamera görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir. Hız verilerine ait istatistikler Tablo 5.12’de yer almaktadır.

Tablo 5.12 Hız verilerine ait istatistikler

Gözlem	Saat	V _{oto} km/h	V _{min} km/h	V _{otobüs} km/h	V _{Kamyon} km/h	V _{ort.} km/h	Standart sapma	Min.	Max.
Sağ Şerit	07:30 – 08:30	34,89	36,59	36,55	43,93	37,73	11,83	16,17	66,67
Orta Şerit		34,74	34,53	32,60	37,04	34,91	9,99	14,69	65,48
Sol Şerit		44,36	47,61	44,45	42,41	45,86	10,56	16,84	68,47
Sağ Şerit	17:15 – 18: 15	66,77	66,92	66,07	64,49	66,46	8,31	52,60	85,84
Orta Şerit		60,18	58,16	54,04	53,74	60,94	7,56	45,22	76,70
Sol Şerit		65,37	66,41	58,17	0,00	66,69	8,79	51,15	100,43

BÖLÜM ALTI

VERİ ANALİZ YÖNTEMİ

Araştırmanın bu bölümünde gözlem verilerinin analiz ve değerlendirme yöntemleri anlatılmıştır. Bu bölüm, analitik bir yöntem olan Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010)'da önerilen gecikme verisinin hesabı ve simülasyon yöntemini kapsamaktadır.

Araziden elde edilen görüntü kayıtları üzerinden toplanan veriler HCM 2010'da önerilen arazi veri toplama yöntemine göre değerlendirilmiştir. Simülasyon yöntemi olarak AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) trafik benzetim programı kullanılmıştır. Bu iki yönteme yardımcı olarak SIDRA Intersection analiz programı da analizlerde kullanılmıştır.

6.1 Highway Capacity Manual'da Önerilen Gecikme Hesabı Yöntemi

Gecikme verileri video kamera görüntüleri kullanılarak Transportation Research Board tarafından önerilen Highway Capacity Manual 2010'da yer alan kuyruk sayım yöntemine göre toplanmıştır.

Kuyruk sayım yöntemi, doymuş ya da doymuş olmayan şerit gruplarında uygulanabilmektedir. Fakat bazı durumlar (aşırı doymuş şeritlerde ya da kuyruk uzunluğunun fazla olduğu şeritlerde) için bu yöntem uygun olmayabilir. Kuyruk uzunluğunun fazla olduğu durumlarda araç kuyruğu birkaç bölgeye ayrılarak veri toplanmalıdır. Bu çalışmada araç sayımlarında tek gözlemci görüntüleri her bir şerit için tekrarlı izleyerek toplamıştır.

Kuyruk uzunluğu fazlaysa ya da talep hacmi/kapasite oranı 1,0'e yakınsa ($v/c=1.0$), sayım süresi bitmesine rağmen kuyruğa giren araçlar varsa o araçların da sayılmasına özen gösterilmelidir. Bu durumda sayım süresi uzayacaktır.

Yöntemde kullanılan parametreler aşağıda açıklanmaktadır. EK 1’de, gözlemlerin kaydedilmesinde ve istenen şerit grubunun gecikme değerinin hesaplanmasında kullanılan örnek çalışma tablosu yer almaktadır.

Yaklaşım Hızı (Approach Speed): Yaklaşım hızı, yeşil süre boyunca trafik hacminin düşük olduğu araçların kavşaktan engelsiz geçtiği hızdır. Bu hız, yeşil ışık yandığında ve kuyruk olmadığında birkaç kez kavşaktan geçerek elde edilebilir ya da gözlem yapılan bölgede geçerli hız sınırı kullanılabilir.

Gözlem Süresi (Survey Period): Gözlem süresi, kuyruğa son gelen araç ya da duran araçlar kavşaktan çıkana kadar geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, araştırmalarda bir gözlem süresi 10 ile 15 dakika arasında seçilmektedir. Bu araştırmada, sinyal devre süresine ve video kayıt süresine bağlı olarak gözlem süresi 15 dakika olarak kabul edilmiştir.

Sayım Aralığı (Count Interval): Yöntemde, sayım aralığını seçerken gözlem süresine ve kavşakta kullanılan kontrol türüne dikkate edilmelidir. Sayım aralığı gözlem süresinin tamsayı böleni olmalıdır. Örneğin, çalışma süresi 15 dakikaysa, sayım aralığı 10, 12, 15, 18 yada 20 saniye olabilir.

Kavşakta sabit zamanlı sinyalizasyon ya da koordine sinyalizasyon varsa, sayım aralığı devre uzunluğunun tamsayı böleni olmamalıdır. Bu özellik, kuyruk artışından kaynaklanan olası gözlemsel sapmaları ortadan kaldırmaktadır. Örneğin; devre süresi 120 saniye ise sayım aralığı 11, 13, 14, 16, 17, 18 veya 19 saniye olabilir. Araştırmada bu yöntem sabit zamanlı sinyalizasyon kavşakları için kullanılmıştır. Devre süreleri 70 saniye ve 73 saniyedir. Bu nedenle sayım aralığı 11 saniye seçilmiştir.

Gözlem, gözlem yapılan şeritte kuyruk yoksa kırmızı ışık yandığı anda gelen araçla birlikte başlamaktadır. Gözlem yapmaya başlandığında bir kuyruk varsa, bu kuyruk ile sonradan kuyruğa katılan araç sayıları ayrı tutulmalıdır. Bunun nedeni ilerde bahsedilen gecikme denklemi ile tutarlı olması gerekmektedir. Bu denklem,

araştırma süresi boyunca ulaşan araçlara ait gecikmeyi tahmin etmek için türetilmiştir.

Gözlemci, gözlem yapılan her bir şeritte duran araç kuyruğunun sonunu takip etmektedir. Gözlemin amaçları doğrultusunda, bir araç, duran bir araca yaklaştığında ve durmak üzereyse kuyruğa katıldığı düşünülmektedir. Bu tanımın kullanılmasının nedeni; bir araç dur çizgisine geldiğinde gözlemci tarafından bu anı takip etmenin zorluğudur.

Her sayım aralığının başlangıcında gözlemci, söz konusu şerit grubunun tüm şeritlerinde kuyruktaki araç sayısını kaydeder. Video kamera görüntülerinde süreyi gösteren bölüm sinyaldeki sayım zamanını kaydetmek için kullanılabilir. Kuyruğa katılan tüm araçlar, kavşaktan çıkış yapana kadar kuyruk sayımına dâhil edilmektedir. Aracın arka tekerlekleri dur çizgisini geçtiğinde kavşaktan çıkmış sayılmaktadır. Dönüş yapan araç karşı taraftaki trafiği kestiği andan itibaren kavşaktan çıkar ve yaklaşım hızına ulaşmaya başlar.

Gözlemci, kuyruktaki araç sayısını çalışma tablosundaki uygun sayım aralığı kutusuna kaydeder. (Sayım aralığı ile sinyal devre süresi aynı değildir.) Sayım aralığını tanımlamak için herhangi bir sayıda boşluk kullanılabilir. Sayım aralığının başlangıcındaki saat zamanı ilk sütuna (clock time) kaydedilir. Sayım numarası sayısı (cycle no) sayfanın ikinci sütununa kaydedilir. Gözlemci, sayımlardan elde ettiği değerleri EK 1'de gösterilen çalışma tablosundaki uygun kutulara işaretler. Kuyrukta bulunan araç sayılarının her birinin toplamı hesaplanır, daha sonra gözlem süresinin tamamı için sütun toplamaları hesaplanır.

Gözlem süresi boyunca ulaşan araç başına kuyruktaki ortalama zaman denklem 6.1 ile hesaplanmaktadır.

$$d_{vg} = (I_s \frac{\sum V_{iq}}{V_{tot}}) * 0,9 \quad (6.1)$$

d_{vg} = araç başına kuyruktaki zaman (saniye/araç)

I_s = kuyruktaki araç sayımları arasındaki süre (saniye)

$\sum V_{iq}$ = kuyruktaki araç sayılarının toplamı (araç)

V_{tot} = gözlem süresi boyunca gelen toplam araç sayısı (araç)

Denklem 6.1'deki 0,9 düzeltme faktörü, gecikme tahmininde ortaya çıkabilecek hatalar için kullanılmaktadır (Transportation Research Board, 2010).

Çalışma tablosunda belirtildiği üzere, her sinyal devresinde duran araçların oranı ve şerit başına duran ortalama araç sayısı hesaplanmaktadır. Bu faktör, hızlanma ve yavaşlamadan dolayı oluşan gecikme değerinin ölçülememesinden kaynaklanan hatayı düzeltmek için uygulanmaktadır. Düzeltme faktörü Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Hızlanma – yavaşlama ivmesi düzeltme faktörü (Transportation Research Board, 2010)

Yaklaşım hızı (km/saat)	CF (saniye/araç) Ortalama duran araç sayısının fonksiyonu		
	≤ 7 araç/şerit/devre	8-19 araç/şerit/devre	20-30* araç/şerit/devre
≤ 60	+5	+2	-1
$> 60 - 75$	+7	+4	+2
> 75	+9	+7	+5
*Genellikle, kuyruktaki araç sayısı 30 araç/şerit/devre değerinden fazlaysa veriler güvenilir değildir (Transportation Research Board, 2010).			

EK 1'de gösterilen çalışma tablosunda yukarıda anlatılan işlem adımlarının tamamı yer almaktadır. Çalışma tablosu genel hatları ile 3 kısıma ayrılmıştır. İlk kısımda; gözlem yapılacak yere ve zamana ait bilgiler, ikinci kısımda; her bir devre süresinin sayım aralıklarına bölündüğü kuyruktaki araç sayıları, son kısımda ise yaklaşım koluna ait gecikme değeri hesabı yer almaktadır.

Bu araştırma kapsamında sinyalizasyon kavşakları için HCM 2010'da yer alan kuyruk sayım yöntemi kullanılarak gecikme hesabı yapılmıştır. Gözlemlenen bölgelere göre hesaplanan gecikme değerleri Bölüm 7'de sunulmuştur.

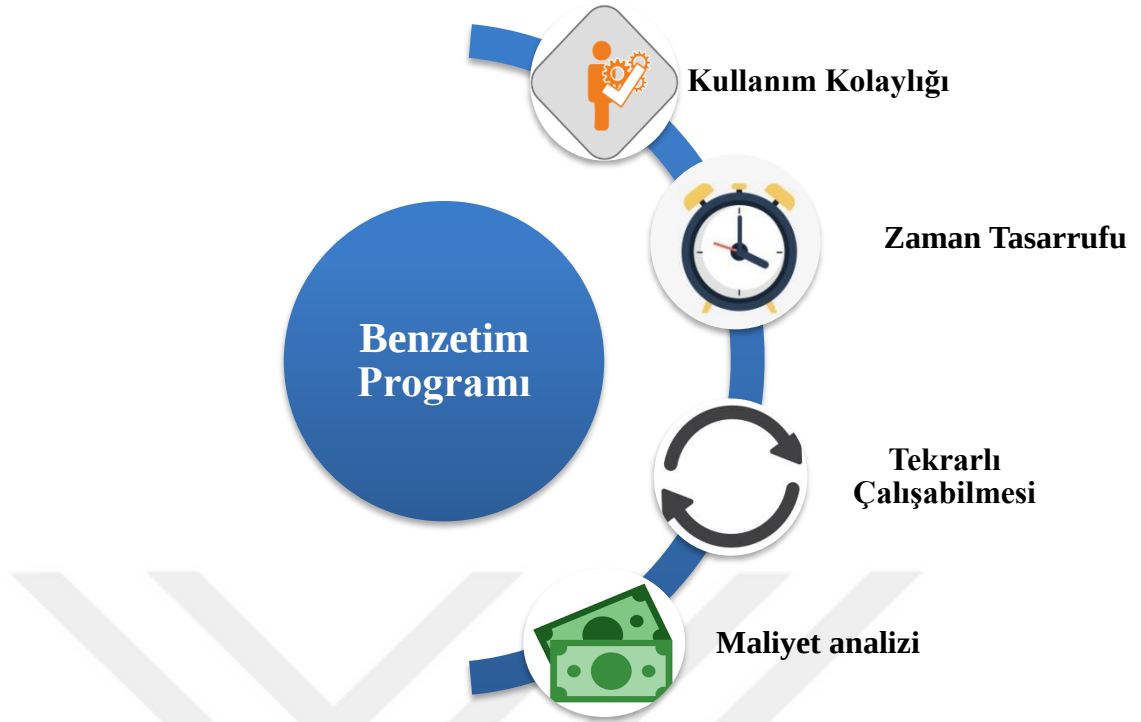
6.2 Benzetim Programı Kullanılarak Model Oluşturulması

Trafik simülasyon programı olarak AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) sinyalize kavşakların mikroskobik modellenmesi için kullanılmıştır. Simülasyon programı, bir sistemin gerçekteki davranışını oluşturmak için model kurma yöntemidir. Trafik mühendisliğinde ulaşım ağı modellenmesi yaparken kullanılan çok çeşitli programlar vardır. Kullanılacak programın seçimine karar verirken modellenmek istenen bölgenin ihtiyacı, modellenecek sistem ve programın ne tür analizler yaptığı göz önünde bulundurulmalıdır (Giuffrè ve diğer., 2016).

6.2.1 Trafik Benzetim Programı

AIMSUN, Transport Simulation Systems (TSS) tarafından geliştirilen ve pazarlanan bütünleşik bir ulaşım modelleme yazılımıdır. Tek bir yol şeridinden bütün bir bölgeye kadar her şeyi modellemenize izin vermektedir. Seyahat talebi oluşturma, mezoskopik, mikroskopik ve makroskopik model oluşturma ile statik ve dinamik analizleri yapabilmektedir. Bu çalışmada kullanılmasının nedeni ise trafik akımı içerisindeki araç tipleri ve yüzdelerine göre arazide gözlemlenmesi zor, uzun ve pahalı olan trafik koşulları için benzetim yapabilmesi, tekrarlı olarak çalıştırılabilmesi ve analizlerde kullanılarak planlanan parametreleri sağlayabilmesidir.

Benzetim programları, ulaşım mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan programlardır. Uygulamalar sonsuzdur, ancak en yaygın kullanım alanları; ulaşım ağının iyileştirilmesi, çevresel etki analizleri, maliyet hesapları ve güvenlik analizleridir. Şekil 6.1’de araştırmacılar tarafından en çok tercih edilme nedenleri sıralanmıştır.



Şekil 6.1 Benzetim programı tercih etkenleri

Trafik analizlerinde kullanılan benzetim programlarının pek çoğu karayolu performansını değerlendirme, ulaşım planlaması, akıllı ulaşım sistemlerinin projelendirilmesi gibi konular dahil olmak üzere uygulamada oldukça başarılıdır. Fakat popüler ve kolay kullanılabilir olmalarına rağmen, programların güvenilirliği, varsayılan parametrelerin doğru kullanımı ve sonuçların dikkatli yorumlanması çok önemlidir. Uygun olmayan model parametreleri, simülasyon modellerinin saha koşullarını doğru bir şekilde yansıtmaması ve araştırmacının karar verme kriterini etkilemektedir. Bu nedenle; kullanıcı, modeldeki parametreleri kalibre ederek kullanılan modelin hassasiyetini ayarlamak için daha fazla çaba sarf etmelidir. Böylece model ve model çıktıları gerçeği daha iyi yansıtacaktır.

Araştırma kapsamında, benzetim programı ile ilgili bölümlerde ve değerlendirmede kullanılan genel tanımlar aşağıda verilmektedir:

Mikrosimülasyon: Karayolu performansını değerlendirmek amacıyla sistemin gerçeğe davranışını ve araç hareketlerini modelleme işlemidir.

Model: Belirli bir uygulama için geliştirilen parametreler yardımıyla oluşturulan örnektir. Bir model, aynı çalışma alanında mevcut ve gelecekteki iyileştirme alternatifleri için tekrarlı olarak kullanılabilir.

Kalibrasyon: Belirli koşullar altında, doğruluğu bilinen bir ölçüm standardını kullanarak model parametrelerinin gerçeğe uygun ayarlanması olarak tanımlanmaktadır.

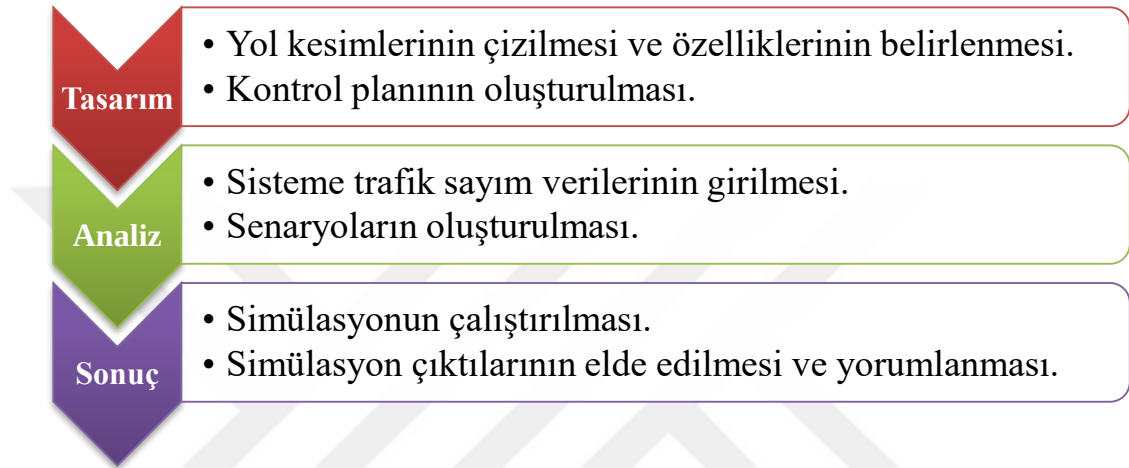
Validasyon: Kullanılan yöntemin doğru ve kesin olarak sürekli beklenen sonucu gerçekleştirdiğini kanıtlamak amacıyla trafik hacmi, seyahat süresi, hız, gecikme, reaksiyon süresi ve kuyruk uzunluğu gibi parametreler kullanılarak yapılan işlemlerdir. Valide edilmiş yöntem ile çalışıldığında yapılan işlemin doğru, tutarlı ve güvenilir olduğu gösterilmektedir.

Altlık: Benzetim programlarında model oluşturmak için kullanılan çalışılacak bölgeye ait dosyalardır. Bu dosyalar kullanılan program için; hazır haritalar (AUTOCAD dosyası olarak), coğrafi bilgi sistemi dosyaları ve ulaşım modelleme ağları şeklinde olabilir.

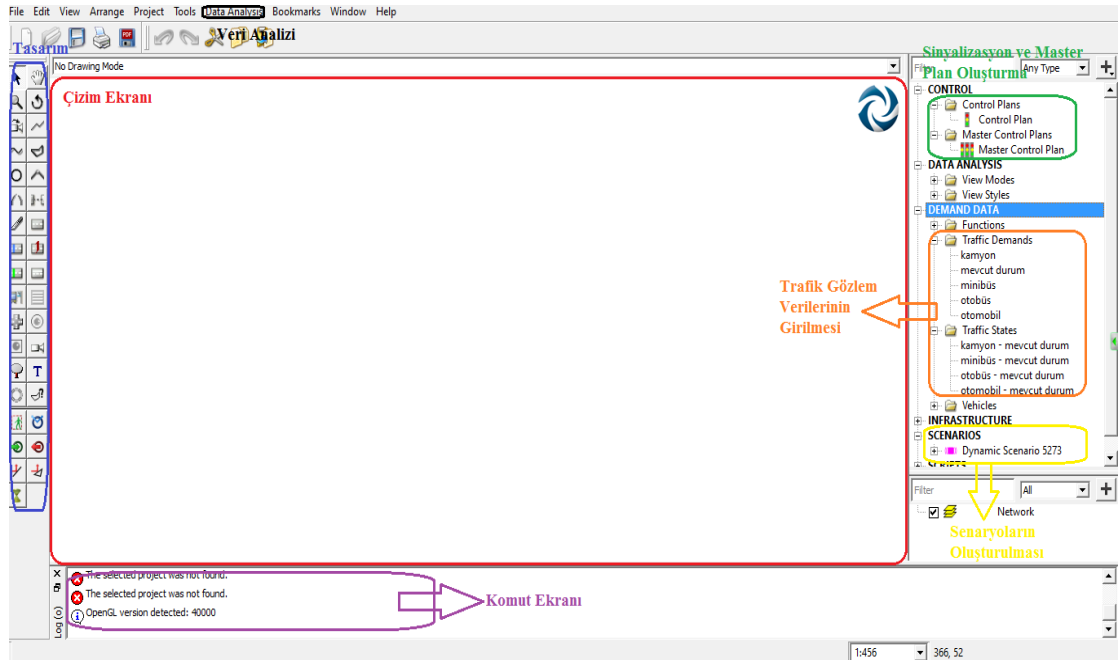
Senaryo: Analizi yapılan bölgenin performansını en iyi şekilde değerlendirmek için çeşitli koşul ve parametrelerle oluşturulan farklı durumlardır.

Kullanılan benzetim programı temelde tasarım, analiz ve sonuçlar olmak üzere üç adımda çalışmaktadır. Bu adımlar basitçe Şekil 6.2’de verilmektedir. Öncelikle çalışılacak bölgenin altlıkları yardımı ile tasarım yapılarak model oluşturulmaya başlanmaktadır. Karayolu kesimi çizilerek şerit sayısı, şerit genişlikleri, eğim ve kontrol tipi gibi geometrik özellikleri sisteme girilmektedir. Oluşturulan modelde sinyalizasyon kavşak varsa, sinyal kontrol planları oluşturulmaktadır. Eğer farklı saatler için farklı sinyalizasyon uygulamaları yapılıyorsa master plan oluşturulmalıdır. Master plan, yol kesiminde birden fazla trafik sinyali varsa, bu sinyallerin doğru bir şekilde, aynı ya da farklı zamanda çalışmasını sağlayan plandır. İkinci adım olarak, sahadan elde edilen gözlem verileri uygun bir şekilde istenilen koşullara göre

tasarımı yapılan modele girilmektedir. Son adım olarak, değerlendirilmek istenen koşullara göre model için senaryolar oluşturulmaktadır. Oluşturulan senaryolar istenilen tekrar sayısı kadar çalıştırılabilmektedir. Çalıştırılan senaryolardan elde edilen sonuçlar; grafik, tablo ve model üzerinde renklere göre yapılan işaretli gösterim gibi çeşitli şekillerde model çıktıları olarak alınabilmektedir. Şekil 6.3’de programın temel çalışma adımlarına göre örnek proje ekranı gösterilmektedir.

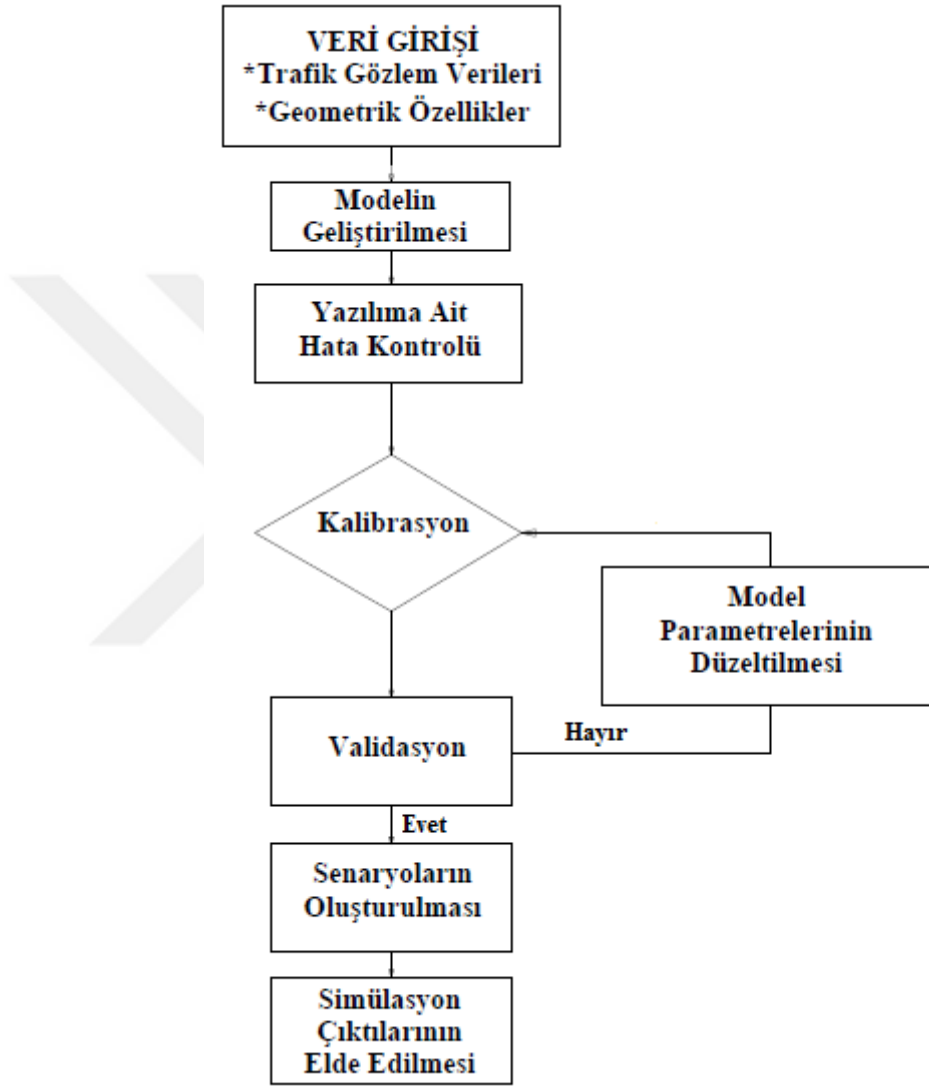


Şekil 6.2 Benzetim programı çalışma süreci



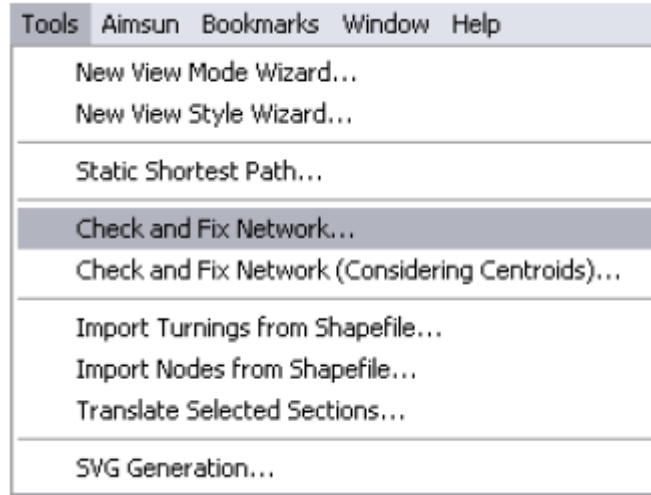
Şekil 6.3 AIMSUN örnek proje ekranı

Benzetim modeli oluşturulurken program üç temel çalışma prensibi ortaya koymaktadır. Bunlar; yazılımın hata kontrolü, kalibrasyon ve validasyon işlemleridir. Ayrıca araştırma analizinde de analitik olarak bu adımlar üzerinde durulmuştur. Bu adımlar Şekil 6.4’de gösterilmiş ve detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 6.4 Benzetim modeli geliştirme ve uygulama süreci

Yazılımın hata kontrol aracı kullanılarak hata düzeltilmesi yapılmıştır. Hata düzeltme adımı, gözden kaçan model hatalarını görmede oldukça faydalıdır. Kalibrasyon ve validasyon sürecinin takip eden adımlarında, kalibrasyondan önce karayolu ağındaki tüm ana hataların ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 6.5’de programın hata kontrol araç ekranı yer almaktadır.



Şekil 6.5 Programın hata kontrol aracı

Bu araştırma, AIMSUN 6.1 sürümü ile gerçekleştirilmiştir. Yazılım hataları, programdaki giriş / çıkış verileri için modelin gözden geçirilmesi ile test edilmektedir. Program tarafından bulunan hatalar düzeltilerek yeniden analiz yapılabilmektedir.

Model çıktılarının doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için en önemli adımlardan birisi simülasyon modelinin kalibrasyonudur. Bir trafik simülasyon modelinin kalibrasyonu, bazı model parametrelerinin değiştirilmesi ve düzeltilmesi ile devam eden bir süreçtir (Chaudhry ve Ranjitkar, 2009; Giuffrè ve diğer., 2016). Kalibrasyonun amacı, modelin gerçekteki yerel sürücü davranışını ve trafik performans özelliklerini yansıtacak şekilde model parametrelerinin ayarlanmasıdır. Yani amaç, en iyi yerel trafik koşullarını üreten model için parametre değerlerini bulmaktır.

Kalibrasyon oldukça gerekli bir adımdır, çünkü tüm olası trafik koşulları için tek bir modelin eşit derecede doğruyu yansıtmaması beklenemez. En ayrıntılı model bile, gerçek dünyadaki trafik koşullarını etkileyen değişkenlerin sadece bir kısmını içermektedir. Tek bir model, değişkenlerin tamamını içermeyeceğinden, her model yerel koşullara, araştırmaya ve veri grubuna göre ayarlanmalıdır.

Genellikle trafik benzetim programları, modeli yerel koşullara göre kalibre etmek için kullanıcı tarafından ayarlanabilir parametrelerle birlikte gelmektedir. Kullanılan programa ait kalibrasyon yapılmadan önce mevcut parametreler Tablo 6.2’de gösterilmiştir. Tablo 6.2’de görüldüğü gibi reaksiyon süresi, seyahat süresi ve araç özellikleri gibi değişkenler yaygın olarak kullanılan kalibrasyon parametreleridir.

Tablo 6.2 Oluşturulan modele ait parametreler

Simulation Date	February 26, 2018
Detection Cycle	0,75 seconds
Car following model	Deceleration estimation (sensitivity factor)
Queuing up speed	1 m/s
Queuing leaving speed	4 m/s
Speed	50 km/h
Reaction time	0,75 seconds
Reaction time at stop	1,35 seconds
Arrival distribution	Exponential distribution
Acceleration rate max	2 m/sec ²
Acceleration rate min	1,2 m/sec ²
Normal deceleration rate max	4,5 m/sec ²
Normal deceleration rate min	3,5 m/sec ²

Kalibrasyon adımı ile birlikte validasyon işlemi de oldukça önemlidir. Validasyon, araştırmacının karayolu ağı için öngördüğü model ile mevcut koşullar arasındaki farkı azaltmaya çalıştığı süreç olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, validasyon model kalibrasyonu sonucunun geçerli olup olmadığını belirleme işlemidir. Bu nedenle, kalibrasyon ve validasyon işlemleri birbiriyle oldukça bağlantılı ve modelin duyarlılığı için birlikte daha iyi sonuç vermektedir.

Kalibrasyon ve validasyon için önerilen parametreler araştırmalarda sıklıkla kullanılabilen istatistiki parametrelerdir. Bu araştırmada bu iki işlem için GEH ve RMSE parametreleri kullanılmıştır.

GEH parametresi, trafik mühendisliğinde tahmin ve modellemede iki ayrı trafik veri grubunu karşılaştırmak için kullanılmaktadır. GEH formülü, adını 1970'lerde Londra - İngiltere'de ulaşım planlaması üzerine çalışmış Geoffrey E. Havers'dan almaktadır. Matematiksel formu ki-kare testine benzese de, gerçek bir istatistiksel test değildir. Çeşitli trafik analizleri için kullanılan ve yararlı olduğu kanıtlanmış ampirik formüldür. GEH parametresi iki veri setini karşılaştırmak için basit yüzdelerde kullanıldığında ortaya çıkan hataları önlemektedir. Bunun nedeni; ulaşım sistemlerinde trafik hacimlerinin geniş bir aralıkta değişmesidir. Örneğin bir otoyol hattı ile herhangi bir şehir içi karayolu kesiminin taşıdığı hacimler birbirinden farklıdır. GEH parametresi bu problemi azaltmaktadır. GEH değeri doğrusal olmadığı için GEH değerine dayanan kabul eşiği, oldukça geniş trafik hacim aralığında kullanılabilir.

GEH, bahsedildiği gibi trafik mühendisliğinde iki veri grubunu karşılaştırmak kullanılan bir değerdir. Economic Evaluation Manual (EEM-I) ve birçok araştırmacı ulaşım modeli validasyonu için GEH kavramını sunmaktadır. GEH değeri de bir modelin kabulü veya reddi için ölçüt olarak kullanılmaktadır. Her simülasyon değerinin, her gözlem ölçümüne göre 5'den küçük olması modelin güçlü olduğunu kanıtlamaktadır. Denklem 6.2'de GEH değerini hesaplamak için kullanılan ampirik formül yer almaktadır. Formülde yer alan Q_{model} ve $Q_{gözlem}$ değerleri model ve gözlem verilerine ait hacim değerleridir. GEH değeri birimsiz kabul edilmesine rağmen kullanılan Q hacim değerleri araç/saat olduğu için GEH için de $(araç/saat)^{0,5}$ olarak kabul edilebilir (Bash, 2015).

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (Q_{model} - Q_{gözlem})^2}{(Q_{model} + Q_{gözlem})}} \quad (6.2)$$

Değerin kabul şartları aşağıdaki gibidir;

- 0 - 5 – İyi bir model
- 5 - 10 – Daha fazla araştırma gerektirmektedir.
- > 10 – Kabul edilemez.

Kalibrasyon ve validasyon işlemleri için önerilen bir diğer kriter de EEM-I'de belirtilen yüzde olarak hesaplanan Root Mean Square Error (RMSE) değeridir. Hesaplanan ya da tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların standart sapmasını hesaplayarak RMSE değeri elde edilmektedir. Diğer bir deyişle, hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının kareköküdür (Chaudhry ve Ranjitkar, 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Q_{model} - Q_{gözlem})^2}{\frac{\sum Q_{gözlem}}{sayımlar} - 1}} \quad (6.3)$$

EEM-I kriterlerine göre, RMSE % 30'dan daha az olmalıdır.

Gözlem sonuçlarından elde edilen veriler ile simülasyon sonuçları karşılaştırılarak modelin tutarlılığı kalibrasyon ve validasyon işlemleri ile değerlendirilmiştir. Model değerleri ile gözlemlenen hacim değerleri kullanılarak Denklem 6.2 ve 6.3 yardımıyla hata yüzdeleri, GEH ve RMSE değerleri hesaplanmıştır.

6.2.2 Discrepancy Ratio (DR) ve Efficiency Factors (EF)

Gözlemlenen değerler ile modelden elde edilen değerler arasındaki ilişkiyi ölçen bir diğer kriter de Discrepancy Ratio (DR) ve Efficiency Factors (EF) değerleridir. DR değeri denklem 6.4 ile hesaplanmaktadır (Özuysal, Çalışkanelli, Tanyel, ve Baran, 2009):

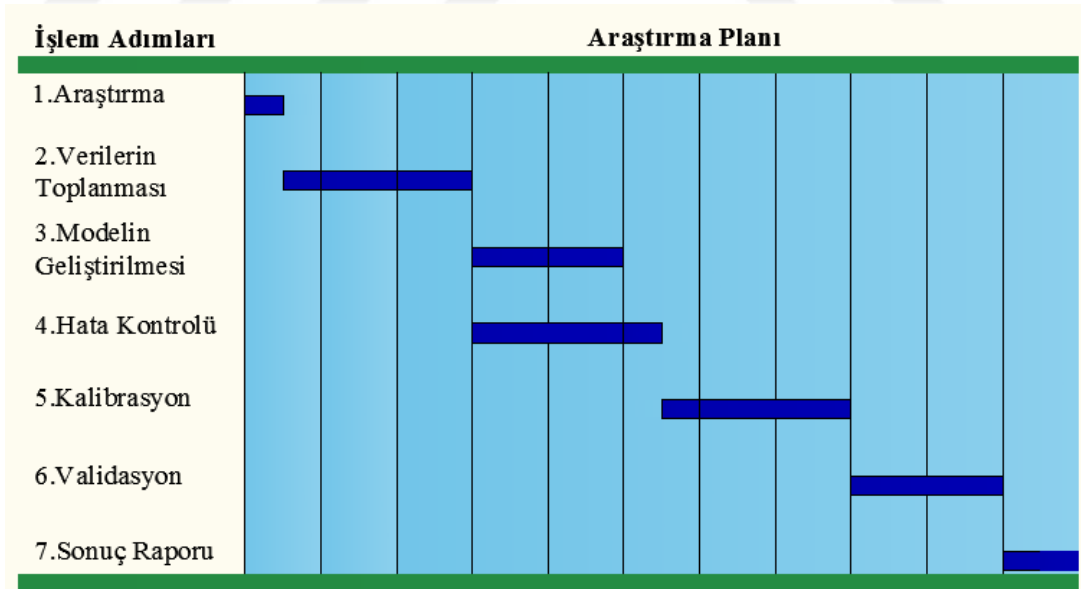
$$DR = \log_{10}(Q_{tahmin} / Q_{gözlem}) \quad (6.4)$$

Formülde yer alan Q_{model} ve $Q_{gözlem}$ değerleri model ve gözlem verilerine ait hacim değerleridir. Genel olarak, DR değerinin -0,1 ile +0,1 arasında olduğu ve gözlemlerden % 25'lik bir sapmaya karşılık gelmesi iyi bir tahmin olarak kabul edilmektedir (Özuysal ve diğer., 2009).

Efficiency Factors (EF) ise, $-\infty$ ile 1,0 arasında değişen veri setinin ortalamasını tahmin etmede model hatalarını hesaplamaktadır. EF değeri Denklem 6.5 ile hesaplanmaktadır. Denklemde yer alan Q_{model} ve $Q_{\text{gözlem}}$ değerleri model ve gözlem verilerine ait hacim değerleridir. $EF=1$, gözlemlenen veri ile model giriş kapasitesinin mükemmel eşleştiği anlamına gelmektedir. $EF=0$, model tahmininin gözlemlenen verilerin ortalaması kadar doğru olduğunu göstermektedir. $EF < 0$ olduğunda ise, yapılan tahminin ortalamadan daha kötü bir tahmin olduğunu göstermektedir (Özuysal ve diğer., 2009).

$$EF = 1 - \left(\sum_{i=1}^N (Q_{\text{gözlem}} - Q_{\text{tahmin}})^2 / \sum_{i=1}^N (Q_{\text{gözlem}} - \bar{Q})^2 \right) \quad (6.5)$$

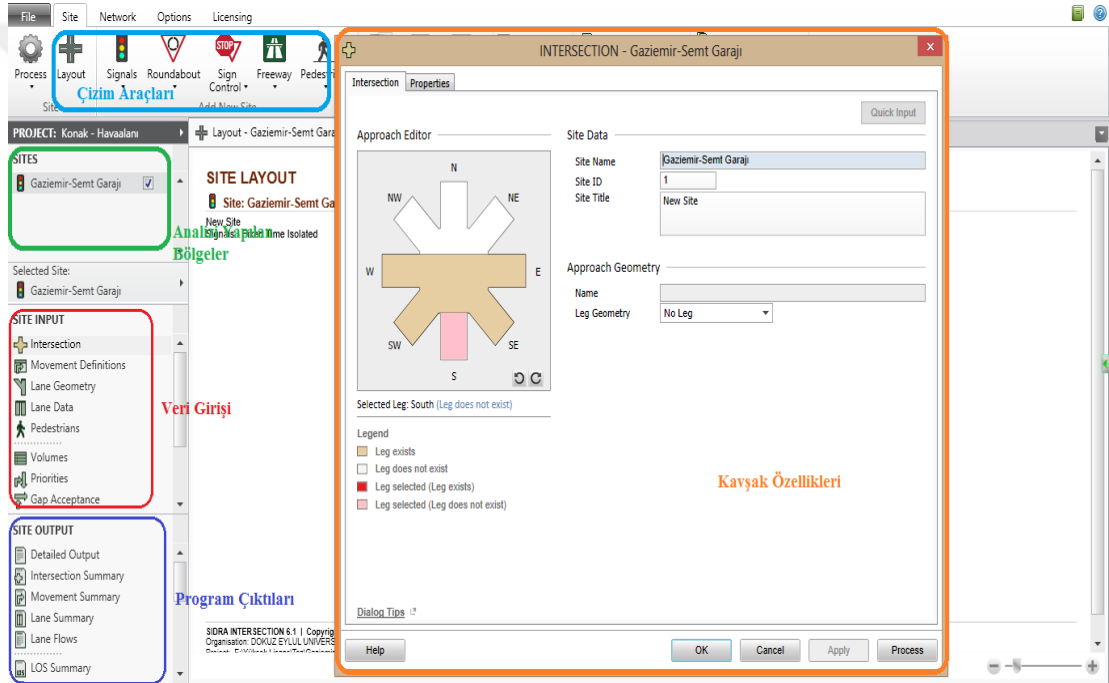
Benzetim programı kullanılarak model oluşturma süreci yukarıda detaylı olarak anlatılmıştır. Modelin gelişimi, hata kontrolü, kalibrasyon - validasyon ve sonuç adımları için genel bir zaman çizelgesi, görevlerin ardışık niteliğini ve bunların göreceli sürelerini göstermek amacıyla Şekil 6.6'da sunulmuştur. Analizler, kalibre edilen model gözden geçirilip kabul edilene kadar devam etmektedir.



Şekil 6.6 Oluşturulan model analizine ait zaman çizelgesi

6.3 Trafik Analiz Programı

Kavşak analizi için kullanılan bir diğer program ise SIDRA (Signalised & unsignalised Intersection Design and Research Aid) Analiz Programıdır. Yazılım, kesişim noktalarının (sinyalize kavşaklar, kontrollü ve kontrolsüz kavşaklar) tasarımı ve değerlendirilmesi için yardımcı olarak kullanılmaktadır. Program, kapasite ve performans istatistiklerini (gecikme, kuyruk uzunluğu gibi parametreler) tahmin etmek için detaylı trafik analizleri yapmaktadır. Şekil 6.7’de programa ait örnek ekran görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 6.7 Programın örnek proje ekranı

Yazılım, trafik akımının kapasite, hizmet düzeyi, işletme performansı ve seyahat kalitesi analizleri için kullanılmaktadır. Bu araştırma kapsamında gözlem yapılan bölgeler için tasarım modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model için programda analizler yapılmıştır. Programa ait modeller Bölüm 7’de sunulmuştur.

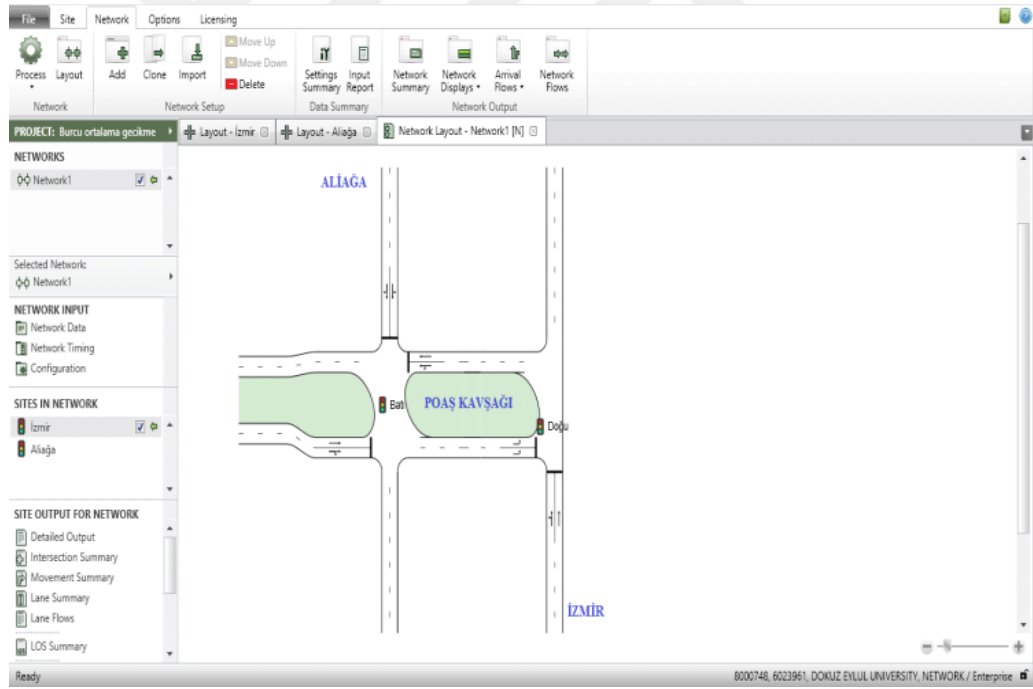
BÖLÜM YEDİ

ARAŞTIRMA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde öncelikle incelenen karayolu kesimlerine ait mevcut koşullarda trafik analizleri yapılmıştır. Bölüm 6’da bahsedilen analiz adımlarına göre modeller oluşturulmuştur. Araştırmanın devamında, incelenen kesimlerde ağır araç etkisi değerlendirilmiştir.

7.1 İzmir İli Aliğa İlçesi - POAŞ Kavşağına Ait Analizler

Çalışmada SIDRA Intersections Analiz Programında POAŞ kavşağı için tasarım modeli oluşturulmuş ve programda analizleri yapılmıştır. POAŞ kavşağı için oluşturulan model Şekil 7.1’de sunulmuştur.



Şekil 7.1 POAŞ kavşağı SIDRA modeli

POAŞ kavşağı mevcut koşulları için yapılan analizlerde kollara ait gecikme değerleri İzmir yönü için 11 saniye, Aliğa yönü için 14 saniye ve POAŞ yönü için 40 saniye olarak bulunmuştur.

7.1.1 Oluşturulan Modelin Kalibrasyon İşlemi

Gözlem sonuçlarından elde edilen veriler ile model sonuçları karşılaştırılarak modelin tutarlılığı değerlendirilmiştir. Modelin kalibrasyon işlemi araç tiplerine ait özellikler kullanılarak yapılmıştır. Şekil 7.2’de model için kullanılan parametreler her bir araç tipi için verilmiştir. Program tarafından verilen araç uzunlukları değiştirilerek Şekil 7.2’de gösterilen değerler kullanılmıştır.

Movement Calibration Data			Movement Calibration Data			Movement Calibration Data		
From South to Exit:	W	N	From South to Exit:	W	N	From South to Exit:	W	N
OTOMOBİL			MİNİBÜS/KAMYONET			OTOBÜS		
	L2	T1		L2	T1		L2	T1
Queue Space	7,0 m	7,0 m	Queue Space	13,0 m	13,0 m	Queue Space	15,0 m	15,0 m
Vehicle Length	4,5 m	4,5 m	Vehicle Length	6,0 m	6,0 m	Vehicle Length	12,8 m	12,8 m
Vehicle Occupancy (pers/veh)	1,2	1,2	Vehicle Occupancy (pers/veh)	1,2	1,2	Vehicle Occupancy (pers/veh)	30,0	30,0
Turning Vehicle Effect	Factor ▾	Factor ▾	Turning Vehicle Effect	Factor ▾	Factor ▾	Turning Vehicle Effect	Factor ▾	Factor ▾
Turning Vehicle Factor	1,05	1,0	Turning Vehicle Factor	1,09	1,0	Turning Vehicle Factor	1,09	1,0
Turn Radius			Turn Radius			Turn Radius		
Gap Acceptance Factor	1,0	1,0	Gap Acceptance Factor	1,5	1,5	Gap Acceptance Factor	1,5	1,5
Opposing Vehicle Factor	1,0	1,0	Opposing Vehicle Factor	1,5	1,5	Opposing Vehicle Factor	1,5	1,5
Prac. Deg. of Saturation	Program ▾	Program ▾	Prac. Deg. of Saturation	Program ▾	Program ▾	Prac. Deg. of Saturation	Program ▾	Program ▾
Movement Calibration Data			Movement Calibration Data			Movement Calibration Data		
From South to Exit:	W	N	From South to Exit:	W	N	From South to Exit:	W	N
KAMYON			YAKIT TANKERİ			TIR		
	L2	T1		L2	T1		L2	T1
Queue Space	11,0 m	11,0 m	Queue Space	13,0 m	13,0 m	Queue Space	18,0 m	18,0 m
Vehicle Length	8,0 m	8,0 m	Vehicle Length	10,8 m	10,8 m	Vehicle Length	13,6 m	13,6 m
Vehicle Occupancy (pers/veh)	1,2	1,2	Vehicle Occupancy (pers/veh)	1,2	1,2	Vehicle Occupancy (pers/veh)	1,2	1,2
Turning Vehicle Effect	Factor ▾	Factor ▾	Turning Vehicle Effect	Factor ▾	Factor ▾	Turning Vehicle Effect	Factor ▾	Factor ▾
Turning Vehicle Factor	1,09	1,0	Turning Vehicle Factor	1,09	1,0	Turning Vehicle Factor	1,09	1,0
Turn Radius			Turn Radius			Turn Radius		
Gap Acceptance Factor	2,5	2,5	Gap Acceptance Factor	1,5	1,5	Gap Acceptance Factor	1,5	1,5
Opposing Vehicle Factor	2,5	2,5	Opposing Vehicle Factor	1,5	1,5	Opposing Vehicle Factor	1,5	1,5
Prac. Deg. of Saturation	Program ▾	Program ▾	Prac. Deg. of Saturation	Program ▾	Program ▾	Prac. Deg. of Saturation	Program ▾	Program ▾

Şekil 7.2 POAŞ kavşağı kalibrasyon parametreleri

7.1.2 Senaryoların Oluşturulması

POAŞ kavşağı için Şekil 7.1’de gösterilen model üzerinde senaryolar oluşturulmuştur. Tablo 7.1’de oluşturulan senaryolar gösterilmiştir. İzmir yaklaşım kolu için öncelikli olarak baz durum ve araç tiplerine göre ağır araç oranları % 5’den %20’ye kadar %5 arttırılarak senaryolar oluşturulmuştur. Örneğin; İzmir yaklaşımı için senaryo 2’de %95 oranında otomobil, %5 oranında otobüs bulunmaktadır. Bu şekilde 4 araç tipi (otobüs, kamyon, yakıt tankeri ve tır) ve 3 yaklaşım kolu için aynı

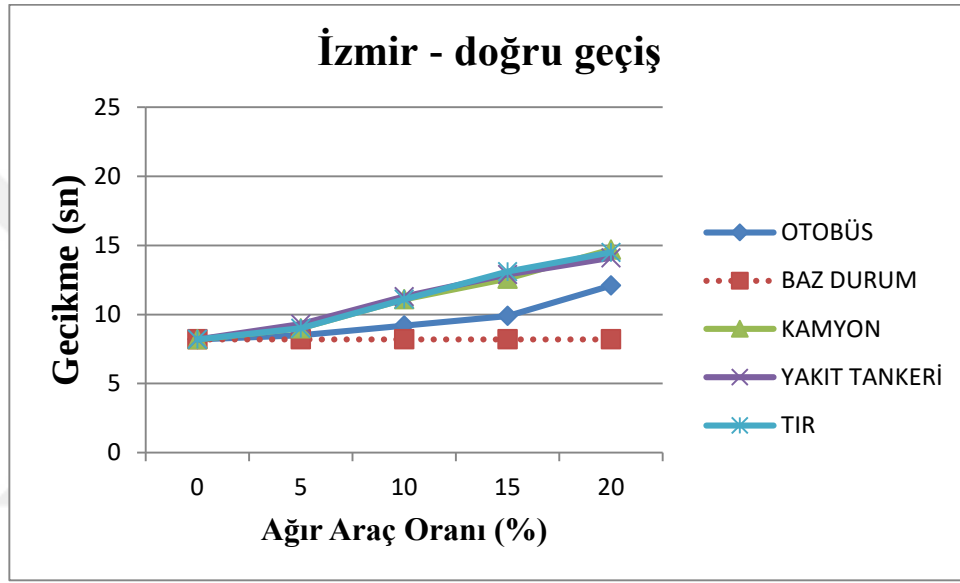
ağır araç oranlarında senaryolar belirlenmiştir. Her bir yaklaşım koluna ait 34 tane senaryo, toplamda 102 tane senaryo bulunmaktadır. Kavşak yaklaşım kollarına ait hacimler bütün senaryolarda 1000 araç/saat'tir.

İzmir yaklaşımı için doğru gidiş ve sola dönüş, Aliğa için doğru gidiş ve sağa dönüş, POAŞ için sağa ve sola dönüşler bulunmaktadır. İzmir ve Aliğa yaklaşım kolları için doğru geçiş ve sola dönüş paylaşımlı şerittir. POAŞ için sağa dönüş şeridi bulunmaktadır.

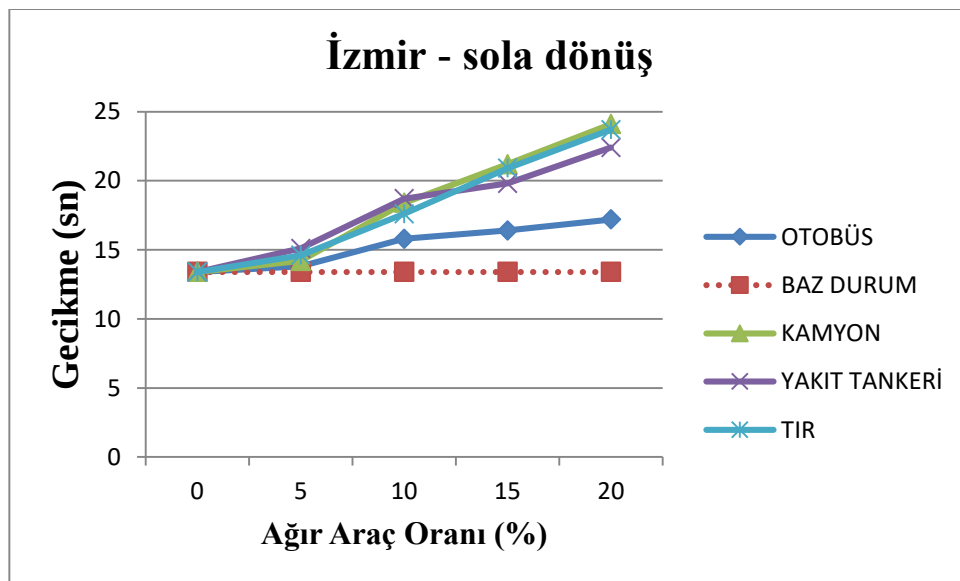
Tablo 7.1 POAŞ kavşağına ait senaryolar

Kavşak Kolu	Yaklaşım Kolu	Otomobil %	Ağır Araç %		Senaryo Sayısı
İzmir	1000 araç/saat	100	0	baz durum	2
	1000 araç/saat	95	5	4 araç tipi	8
	1000 araç/saat	90	10		8
	1000 araç/saat	85	15		8
	1000 araç/saat	80	20		8
Aliğa	1000 araç/saat	100	0	baz durum	2
	1000 araç/saat	95	5	4 araç tipi	8
	1000 araç/saat	90	10		8
	1000 araç/saat	85	15		8
	1000 araç/saat	80	20		8
POAŞ	1000 araç/saat	100	0	baz durum	2
	1000 araç/saat	95	5	4 araç tipi	8
	1000 araç/saat	90	10		8
	1000 araç/saat	85	15		8
	1000 araç/saat	80	20		8
Toplam					102

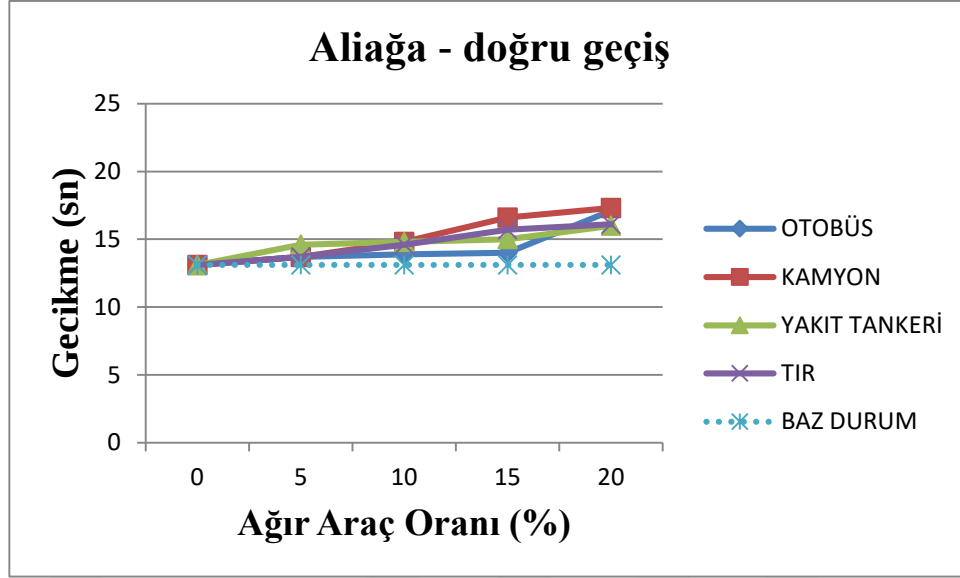
Oluşturulan senaryolardan yapılan analizlerde gecikme değerleri elde edilmiştir. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de İzmir yaklaşımına ait gecikme değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.3 doğru geçişlere, Şekil 7.4 sola dönüşlere aittir. Doğru geçişlere ait baz durum gecikmesi 8,20 saniye, sola dönüşlere ait baz durum gecikmesi 13,4 saniye bulunmuştur. İki grafik karşılaştırıldığında doğru geçişlere göre sola dönüş gecikmelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Araç tiplerine göre değerlendirildiğinde her iki yön içinde tır gecikmeleri yüksektir.



Şekil 7.3 İzmir yaklaşımı gecikme değerleri (doğru geçiş için)

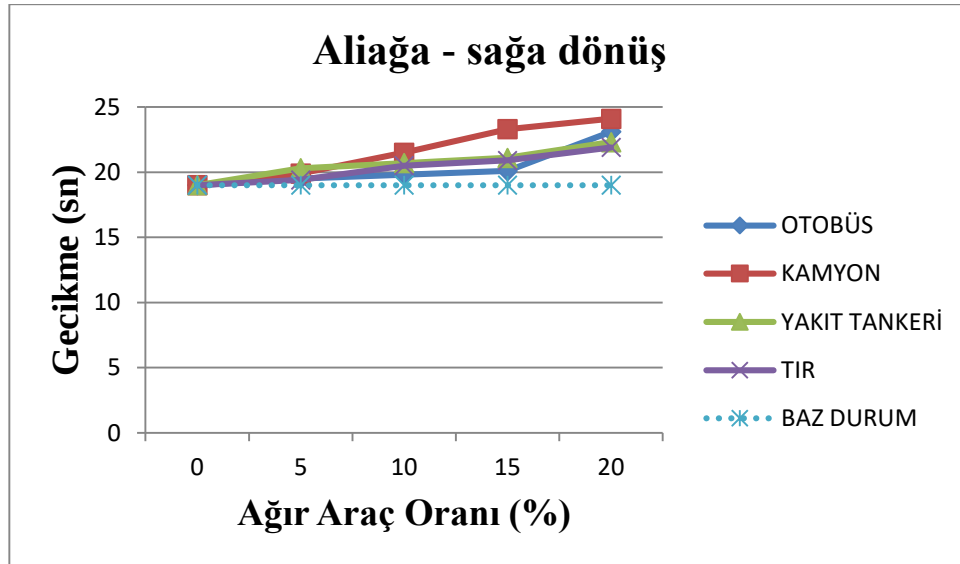


Şekil 7.4 İzmir yaklaşımı gecikme değerleri (sola dönüş için)



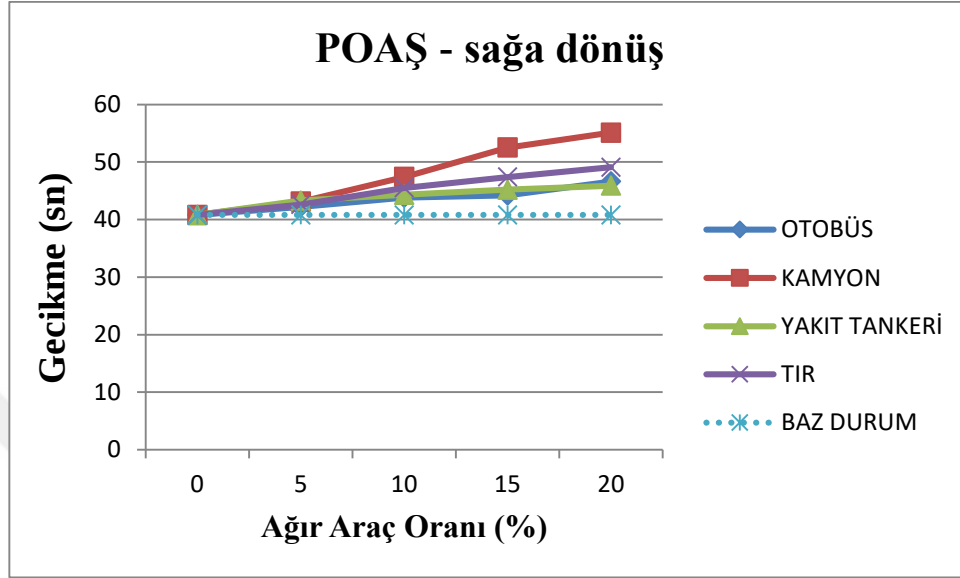
Şekil 7.5 Aliğa yaklaşımı gecikme değerleri (doğru geçiş için)

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da Aliğa yaklaşımı için gecikmeler gösterilmektedir. Baz durum gecikmeleri doğru geçiş için 13,10 saniye, sağa dönüş için 19 saniye hesaplanmıştır. Sağa dönüş gecikmeleri daha yüksektir. Araç tiplerine ait gecikmeler birbirine yakındır.

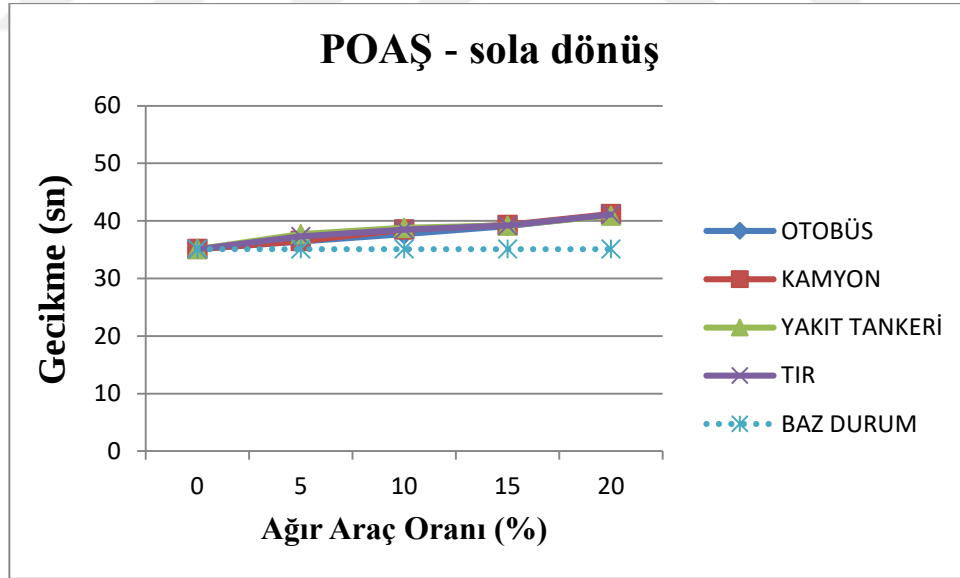


Şekil 7.6 Aliğa yaklaşımı gecikme değerleri (sağa dönüş için)

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 POAŞ kolu gecikmelerine aittir. Sağa dönüş için baz durum gecikmesi 40,80 saniye, sola dönüş için 35,1 saniye olarak elde edilmiştir. Sağa dönüşlerde gecikmeler 50 saniye civarında ve oldukça yüksektir.



Şekil 7.7 POAŞ yaklaşımı gecikme değerleri (sağa dönüş için)



Şekil 7.8 POAŞ yaklaşımı gecikme değerleri (sola dönüş için)

Elde edilen gecikme değerlerinden D_PCE (Delay-based Passenger Car Equivalents) değerleri hesaplanmıştır. D_PCE, Bölüm 3'de bulunan Denklem 3.5'e göre hesaplanmıştır.

Aliağa ilçesi POAŞ kavşağı için yapılan analizler sonucunda 3 kavşak kolu için de D_PCE değerleri hesaplanmıştır. İzmir yaklaşım kolu doğru geçişler ve sola dönüşlerde otobüs oranı % 5'den % 20'ye artarken D_PCE değeri de artmaktadır. Kamyon, tır ve yakıt tankerlerine ait değerlere bakıldığında ağır araç oranı arttıkça otobüslere göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ağır araç oranı % 20 olduğunda bu üç araç tipi için de D_PCE 4'den büyük hesaplanmıştır. Aliağa kolunda D_PCE değerleri hem doğru geçişlerde hem de sola dönüşlerde D_PCE 3'den küçüktür. POAŞ kolunda ise sağa dönüşlerde elde edilen değerler, sola dönüşlere göre daha yüksektir. Sağa dönüşlerde kamyonlara, sola dönüşlerde yakıt tankerlerine ait değerler daha yüksek bulunmuştur.

Değerler incelendiğinde POAŞ kavşağı için D_PCE yaklaşık 3 olarak elde edilmiştir. Tablo 3.2'de TS6407'ye göre ülkemiz için sinyalize kavşaklarda EOB değeri 2,80 olarak verilmiştir. Hesaplanan değerler ile verilen değer birbirine yakındır.

7.2 İzmir İli Gaziemir İlçesi - Akçay Caddesine Ait Analizler

Akçay Caddesi üzerinde yer alan iki tane sinyalize kavşakta araştırma yapılmıştır. Araştırma yapılan kavşaklar Konak yönünden havaalanı yönüne doğru giden akımda bulunan Gaziemir 1 kavşağı ve havaalanından Konak yönüne giden akımda Gaziemir 2 kavşağıdır. Şekil 7.9 Akçay caddesinde araştırma yapılan kavşakları göstermektedir.



Şekil 7.9 Akçay Caddesi (Yandex Haritalar, 2018)

7.2.1 Highway Capacity Manual’da Önerilen Gecikme Hesabı

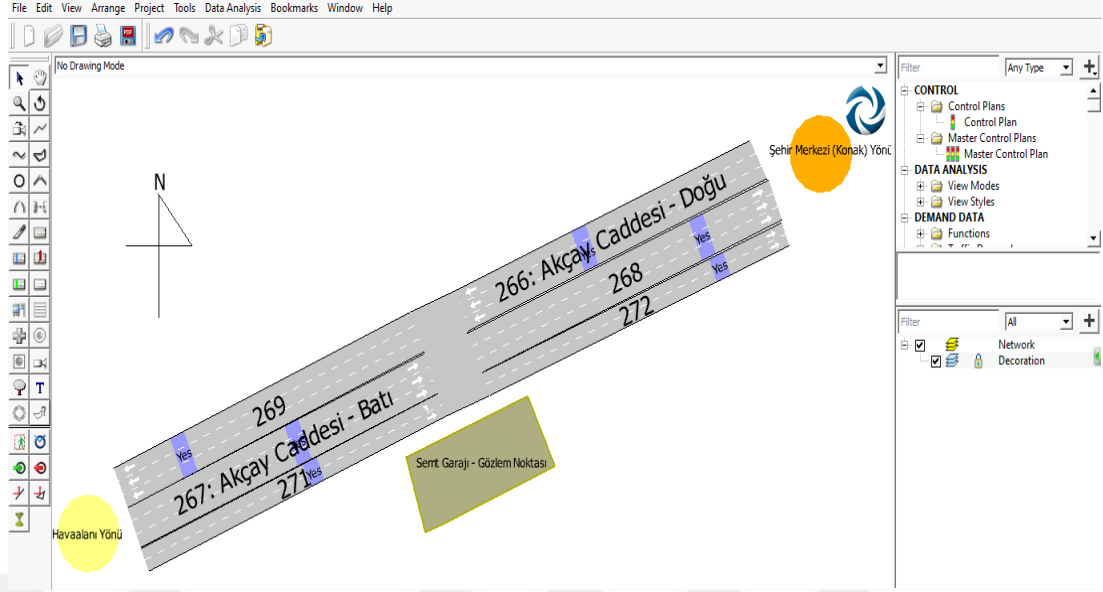
Gazimir 1 ve 2 kavşakları için gecikme hesabı çalışma tabloları, EK 2’de gösterilmektedir. Çalışma tablolarında ilk kısımda araştırma yapılan kavşağa ait genel bilgiler yer almaktadır. İkinci kısımda ise her bir devre süresinin sayım aralıklarına bölündüğü kuyruktaki araç sayıları bulunmaktadır. Son kısımda ise yaklaşım koluna ait gecikme değeri hesabı görülmektedir. Tablo 7.2’de yapılan hesaplardan elde edilen gecikme değerleri bulunmaktadır. Tabloda her iki kavşak için de 15 dakikalık zaman aralıklarına göre gecikme değerleri ve ortalamaları gösterilmektedir. Elde edilen gecikme değerleri doğru giden akım için hesaplanmıştır.

Tablo 7.2 Akçay Caddesine ait gecikme hesabı

Akçay Caddesi	Zaman Aralığı		HCM 2010 Gecikme (saniye)
Gaziemir 1	07:31	07:45	12,50
	07:35	07:49	13,49
	07:40	07:54	13,01
	07:46	08:00	12,74
	Ortalama		12,94
Gaziemir 2	07:31	07:45	11,15
	07:35	07:49	11,29
	07:40	07:54	11,21
	07:46	08:00	11,03
	Ortalama		11,17

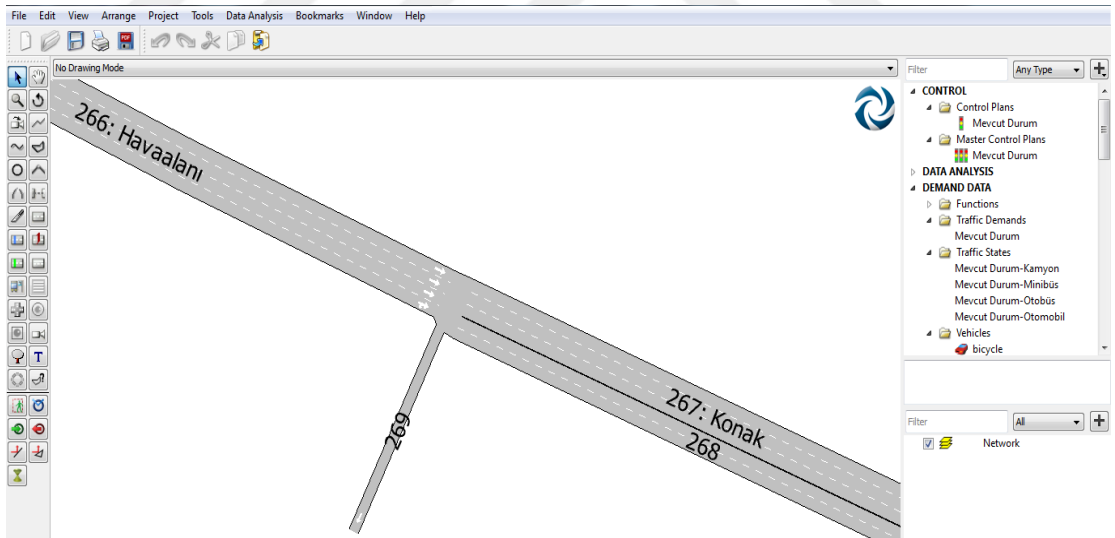
7.2.2 Akçay Caddesine Ait Benzetim Modeli

Çalışma kapsamında Akçay Caddesi için trafik benzetim programında model oluşturulmuştur. Geliştirilen modelin mevcut durumdaki karşılığını yansıtabilmesi için yol ağının şerit sayısı, kesişme ve ayrılma bağlantı noktaları dikkate alınarak mümkün olduğunca doğru bir şekilde tasarım yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, yol ağının gerçek geometrisine göre model, karayolu ağına uygun ölçeğe sahip uydu görüntülerine göre tasarlanmıştır. Simülasyon programında öncelikle kavşaklar için geometrik tasarım yapılmış, sinyal planları oluşturulmuştur. Yapılan tasarım üzerine trafik gözlem verileri her bir kavşak için yönler ve araç tiplerine göre girilmiştir.



Şekil 7.10 Gaziemir 1 kavşağı benzetim modeli

Akçay Caddesinde bulunan sinyalizasyon kavşaklarına ait AIMSUN model çizimleri Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de sunulmuştur.



Şekil 7.11 Gaziemir 2 kavşağı benzetim modeli

7.2.2.1 Kalibrasyon – Validasyon İşlemi

Her iki kavşak için de elde edilen modellerin uygunluğu ve tutarlılığı güvenilir sonuçlar elde etmek için oldukça önemlidir. Bu nedenle modelin kalibrasyon ve validasyon işlemleri yapılmıştır.

Kalibrasyon işlemi, AIMSUN programında araç özellikleri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14 ve Şekil 7.15’de model için kullanılan parametreler her bir araç tipi için verilmiştir. Şekil 7.12 otomobile, Şekil 7.13 otobüse, Şekil 7.14 kamyonu ve Şekil 7.15 minibüse ait değerleri göstermektedir.

Vehicle Type: 62, Name: car

Main | Classes | Articulated | 2D Shapes | 3D Shapes | Experiment Defaults | Fuel | Pollutants | Attributes | Instantaneous

Name: car External Id:

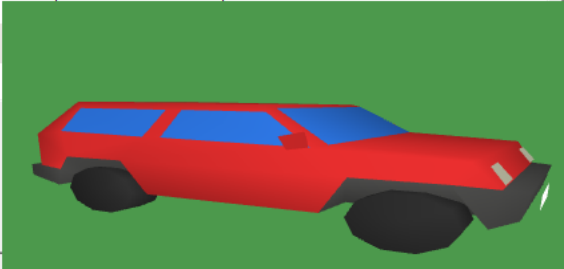
Name	Mean	Deviation	Min	Max	Units
Length	4	0.5	3.4	4.6	meters
Width	2	0	2	2	meters
Max Desired Speed	110	10	80	150	km/h
Max Acceleration	3	0.2	2.6	3.4	m/s ²
Normal Deceleration	4	0.25	3.5	4.5	m/s ²
Max Deceleration	6	0.5	5	7	m/s ²
Speed Acceptance	1.1	0.1	0.9	1.3	
Min Distance Veh	1	0.3	0.5	1.5	meters
Give Way Time	10	2.5	5	15	Secs
Guidance Acceptance	75	10	65	90	%
Sensitivity Factor	1	0	1	1	
Minimum Headway	0	0			

After overtaking stay on fast lane: 0 %

Undertaking cases: 0 %

Imprudent Lane Changing cases: 0 %

Sensitivity for Imprudent Lane Changing: 1



Şekil 7.12 Kalibrasyon parametreleri (otomobil)

Vehicle Type: 64, Name: bus

Main | Classes | Articulated | 2D Shapes | 3D Shapes | Experiment Defaults | Fuel | Pollutants | Attributes | Instantaneous

Name: bus External Id:

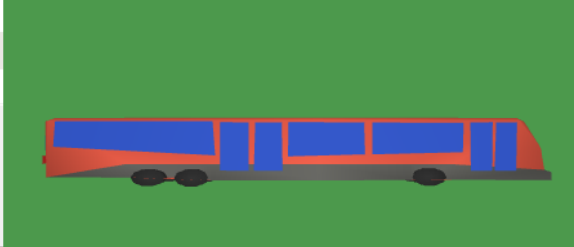
Name	Mean	Deviation	Min	Max	Units
Length	12	2	9	15	meters
Width	2.3	0.5	1.9	3	meters
Max Desired Speed	90	10	80	120	km/h
Max Acceleration	1	0.3	0.8	1.8	m/s ²
Normal Deceleration	2	2	1.5	4.8	m/s ²
Max Deceleration	5	2	4.5	8	m/s ²
Speed Acceptance	1	0.1	0.9	1.1	
Min Distance Veh	1.5	0.5	1	2.5	meters
Give Way Time	50	20	30	80	Secs
Guidance Acceptance	75	10	65	90	%
Sensitivity Factor	1	0			
Minimum Headway	0	0			

After overtaking stay on fast lane: 0

Undertaking cases: 0

Imprudent Lane Changing cases: 0

Sensitivity for Imprudent Lane Changing: 1



Şekil 7.13 Kalibrasyon parametreleri (otobüs)

Vehicle Type: 66, Name: truck

Main | Classes | Articulated | 2D Shapes | 3D Shapes | Experiment Defaults | Fuel | Pollutants | Attributes | Instantaneous

Name: truck External Id:

Name	Mean	Deviation	Min	Max	Units
Length	7.5	2	6	10	meters
Width	2.3	0.5	1.9	3	meters
Max Desired Speed	85	10	70	100	km/h
Max Acceleration	1	0.5	0.6	1.8	m/s ²
Normal Deceleration	3.5	1	2.5	4.8	m/s ²
Max Deceleration	5	0.5	4	6	m/s ²
Speed Acceptance	1	0	1	1	
Min Distance Veh	1.5	0.5	1	2.5	meters
Give Way Time	50	20	30	80	Secs
Guidance Acceptance	80	10	70	90	%
Sensitivity Factor	1	0	1	1	
Minimum Headway	0	0			

After overtaking stay on fast lane: 0

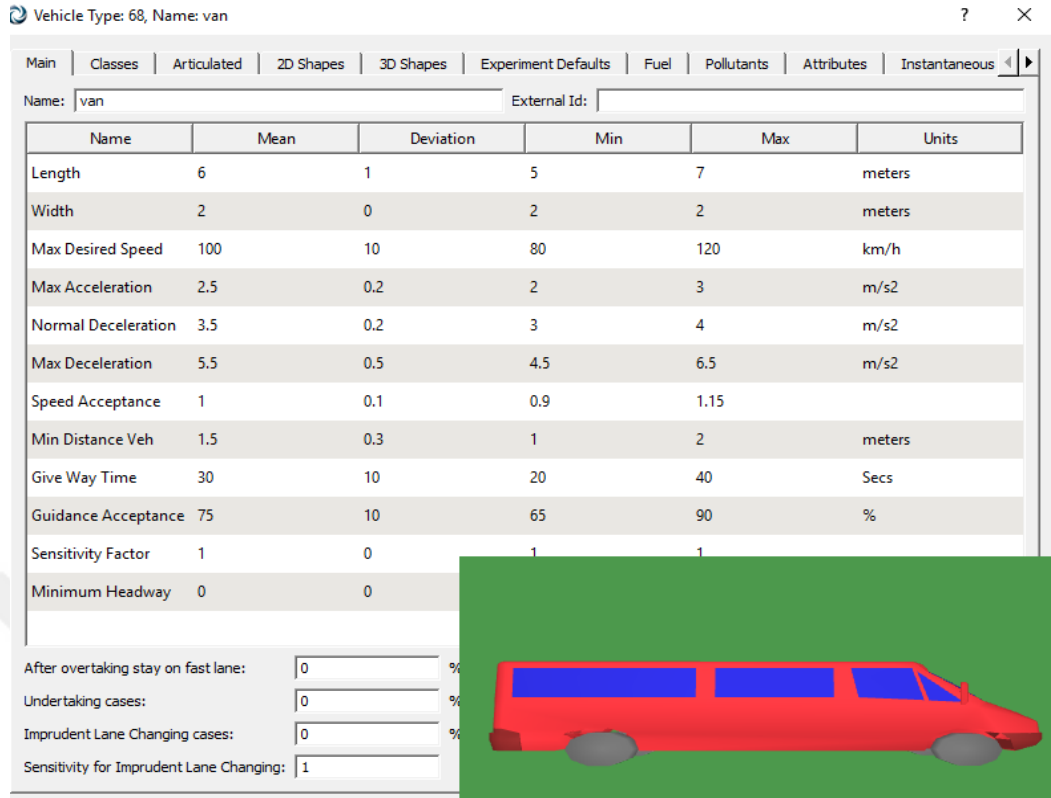
Undertaking cases: 0

Imprudent Lane Changing cases: 0

Sensitivity for Imprudent Lane Changing: 1



Şekil 7.14 Kalibrasyon parametreleri (kamyon)



Şekil 7.15 Kalibrasyon parametreleri (minibüs)

Gözlem sonuçlarından elde edilen veriler ile benzetim modeli sonuçları karşılaştırılarak modelin tutarlılığı değerlendirilmiştir. Her iki yön de 15 dakikalık zaman dilimlerine ayrılarak her bir zaman dilimi için benzetim modelinden hacim değerleri elde edilmiştir. Model değerleri ile gözlemlenen hacim değerleri kullanılarak 6.2 ve 6.3 numaralı denklemler yardımıyla hata yüzdeleri ve validasyon parametreleri (GEH ve RMSE) hesaplanmıştır.

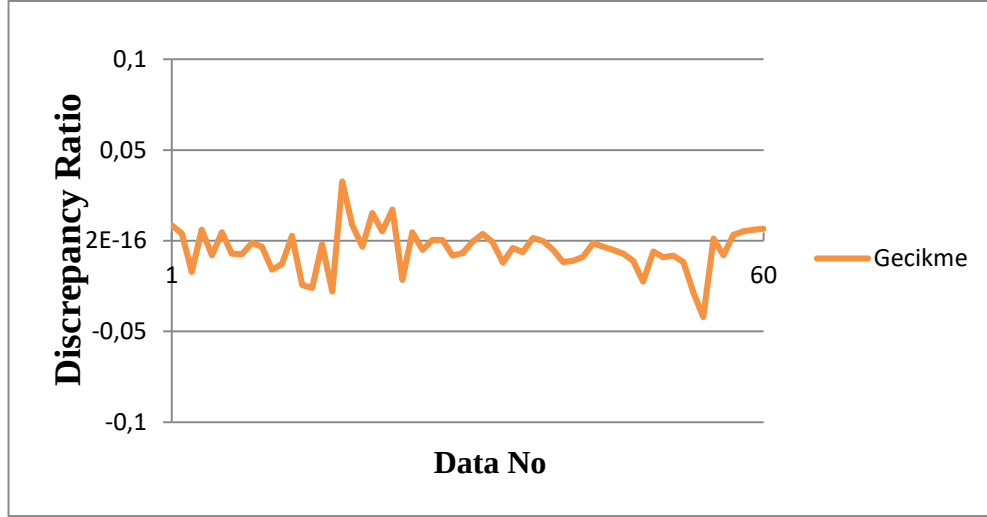
İlk adım olarak, modelin tutarlılığını kontrol etmek için mikro-simülasyon modelinin sonuçları yazılım tarafından doğrulanmıştır. Bir saatlik gözlem verileri ile mikro-simülasyon sonuçlarının karşılaştırması Tablo 7.3'te sunulmuştur. Q_{model} modele ait ve $Q_{gözlem}$ gözlemlerden elde edilen hacim değerleridir. Konak – Havaalanı yönü için GEH değeri 0,51 hesaplanmış, modelin kabul kriterlerine göre oldukça uygun bir model olduğu görülmüştür. RMSE değeri % 4,148 olarak % 30 kabul kriterinin altında kabul edilebilir değerdedir. Aynı şekilde havaalanı – Konak yönü değerlendirildiğinde GEH değeri 1,92; RMSE değeri 9,779 kabul kriterlerine uygundur.

Tablo 7.3 Kalibrasyon – Validasyon değerleri

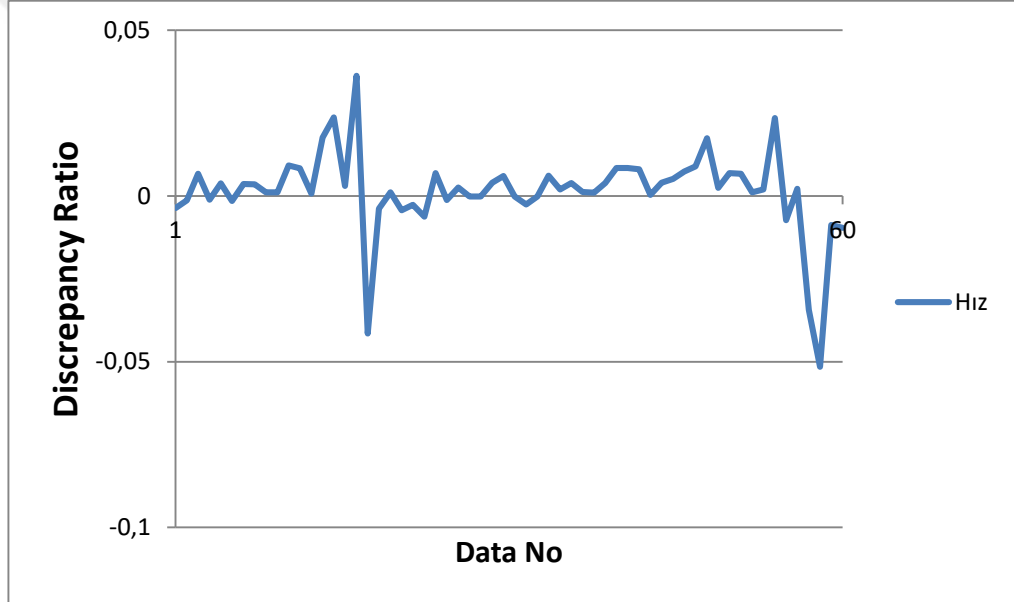
	Zaman Dilimi	AIMSUN Q_{model}	Gözlemlenen Q_{gözlem}	Hata Yüzdesi	GEH	RMSE	RMSE (%)
Konak Havaalanı Yönü	1	447	462	3,25	0,70	0,041	4,148
	2	445	447	0,45	0,09		
	3	447	444	0,68	0,14		
	4	447	476	6,09	1,35		
	Ort.	447	457	2,35	0,51		
	Σ	1786	1829	-	-		
Havaalanı Konak Yönü	1	617	580	6,38	1,51	0,098	9,779
	2	641	576	11,28	2,64		
	3	625	568	10,04	2,33		
	4	637	607	4,94	1,20		
	Ort.	630	583	8,11	1,92		
	Σ	2520	2331	-	-		

7.2.2.2 Discrepancy Ratio (DR) ve Efficiency Factor (EF)

Genel olarak, Discrepancy Ratio (DR) değerinin -0,1 ile +0,1 arasında olduğu ve gözlemlerden % 25'lik bir sapmaya karşılık geldiği iyi bir tahmin olarak kabul edilmektedir (Özuysal ve diğer., 2009). Bölüm 6'da yer alan Denklem 6.4'e göre senaryolar için DR değerleri hesaplanmıştır. Şekil 7.16'da gecikme ve Şekil 7.17'de hız için gösterilmektedir. Kabul şartlarına göre oluşturulan modelin iyi bir tahmin yaptığı söylenebilir.



Şekil 7.16 Discrepancy Ratio (gecikme)

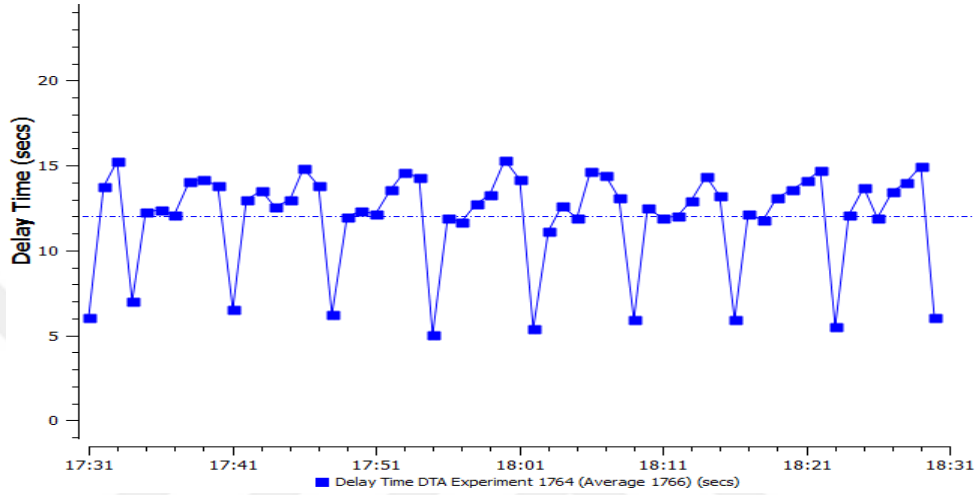


Şekil 7.17 Discrepancy Ratio (hız)

EF değerleri, Bölüm 6'da yer alan Denklem 6.5'e göre hesaplanmıştır. $EF=1$, gözlemlenen veri ile model giriş kapasitesinin mükemmel eşleştiği anlamına gelmektedir. $EF=0$, model tahmininin gözlemlenen verilerin ortalaması kadar doğru olduğunu göstermektedir. $EF < 0$ olduğunda ise, yapılan tahminin ortalamadan daha kötü bir tahmin olduğunu göstermektedir (Özuysal ve diğer., 2009). Elde edilen EF değerleri gecikme için 0,976 ve hız için 0,992 elde edilmiştir. Her iki değer de sınır kabul şartı $EF=1$ 'e oldukça yakındır. Bunun sonucu olarak model, gözlem verilerini iyi bir şekilde yansıtmaktadır.

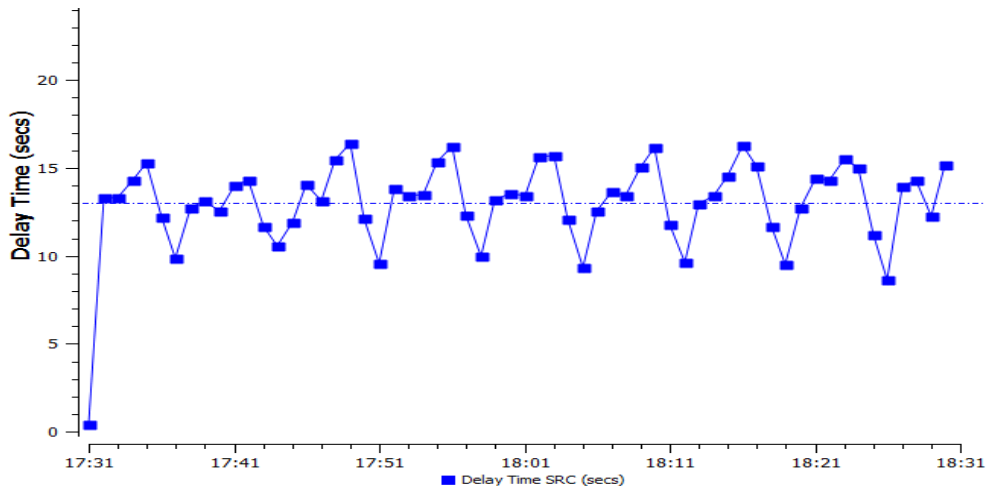
7.2.2.3 Mevcut Duruma Ait Benzetim Modeli Sonuçları

Yolların performans ölçütleri, gecikme değerleri (araç başına ortalama gecikme - saniye); kuyruk uzunluğu (araç veya metre cinsinden) ve zaman cinsinden takip aralığı (saniye) olarak belirlenmiştir.



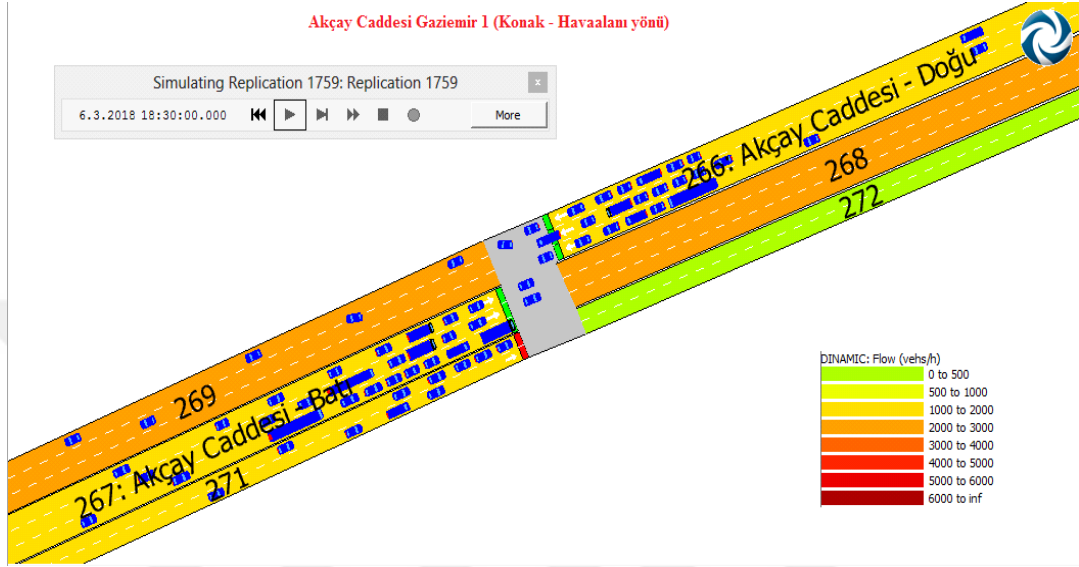
Şekil 7.18 Gaziemir 1 kavşağı benzetim modeli gecikme değerleri

Gaziemir 1 kavşağına ait 266 numaralı yaklaşım kolu için gecikme değerleri Şekil 7.18’de verilmiştir. Bir saatlik simülasyon sonuçlarına göre ortalama gecikme 12 saniyedir. Gaziemir 2 kavşağına ait gecikme değerleri Şekil 7.19’da gösterilmiş ve ortalama 13 saniyedir.



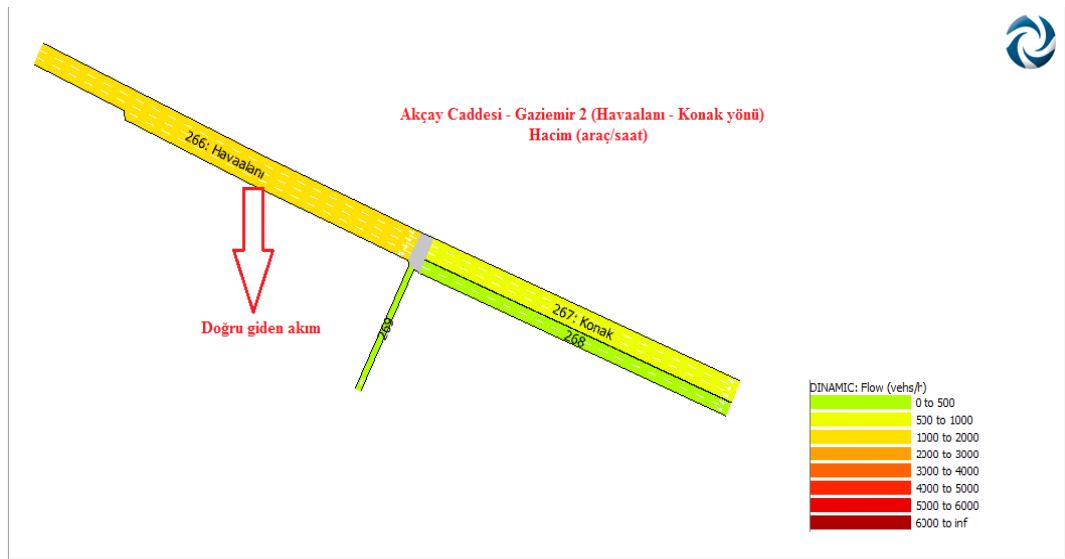
Şekil 7.19 Gaziemir 2 kavşağı benzetim modeli gecikme değerleri

Şekil 7.20 Gaziemir 1 kavşağına ait trafik akım değerlerini göstermektedir. Akım değerlerine göre aralıklar renkler yardımıyla ve her bir yaklaşım kolunun akım değerine karşılık gelen renkte gösterilmektedir. Konak – havaalanı yönündeki yaklaşım kolu akım değeri 1000 – 2000 araç/saat aralığındadır.



Şekil 7.20 Gaziemir 1 kavşağına ait trafik akım değerleri

Şekil 7.21 Gaziemir 2 kavşağına ait trafik akım değerlerini göstermektedir. Havaalanı–Konak yönündeki yaklaşım kolu akım değeri 1000 – 2000 araç/saat aralığındadır.



Şekil 7.21 Gaziemir 2 kavşağına ait trafik akım değerleri

Benzetim programında yapılan analizler sonucunda, kavşaklar mevcut durumda akşam zirve saatte kabul edilebilir bir performansa sahiptir. Özellikle havaalanı yönü B ve/veya C hizmet düzeyinde çalışmaktadır. Her iki yaklaşımın da kabul edilebilir ortalama gecikme ve kuyruk uzunluğu verilerine sahip olduğu söylenebilir. Ancak, gelecekteki trafik artışı düşünüldüğünde, akşam zirve saatlerinde bu yaklaşımda önemli tıkanmalar olabileceği düşünülmektedir.

7.2.2.4 Senaryoların Oluşturulması

Gaziemir kavşağı için oluşturulan senaryolar Tablo 7.4'te gösterilmiştir. Mevcut durumda şerit genişliği 3,5 metre ve devre süresi 70 saniyedir. Senaryolar oluşturulurken öncelikle mevcut durum üzerinden şerit genişliği, devre süresi ve şerit sayısı değiştirilmiş ve 6 tane senaryo oluşturulmuştur. Trafik akımında araç kompozisyonu ile şerit genişliği arasındaki ilişki, şerit genişlikleri 3,0; 3,25 ve 3,5 metre için 95 tane durum ile gösterilmiştir. Ayrıca şerit genişliği 3,5 metre ve devre süresi 90 saniye için de 95 durum oluşturularak devre süresinin kavşak performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Tablo 7.4 Senaryolara ait genel bilgiler

	Senaryo	Şerit Genişliği (metre)	Devre Süresi (saniye)	Şerit Sayısı	Durum Sayısı	Açıklama
Akçay Caddesi Semt Garajı	1	3,5	70	3	95	Hacim 300 ile 1200, ağır araç oranı 0,05 ile 0,6 arasında değişmektedir.
	2	3,0	70	3	95	
	3	3,25	70	3	95	
	4	3,5	90	3	95	
	5	3,5	70	2	24	Hacim 200 ile 400, ağır araç oranı 0,05 ile 0,3 arasında değişmektedir.
	6	3,5	70	1	24	

Yapılan her bir değişiklik için bu senaryolar oluşturulurken hacim sayısı ve toplam hacim içerisindeki ağır araç yüzdesi dikkate alınmıştır. İlk olarak baz durumu (% 100 otomobil durumu) gösteren senaryolar oluşturulmuştur. Tablo 7.5’de şerit genişliği 3 metre ve devre süresi 70 saniye için baz durum gösterilmektedir. Tablo 7.5’e göre mevcut sistem sadece otomobilden oluşmaktadır. Yaklaşım koluna farklı hacim değerleri girilerek analizler yapılmıştır. Yapılan her bir değişiklik için (şerit genişliği ve devre süresi değişiklikleri) aynı şekilde baz senaryolar oluşturulmuştur. Tablolarda "AAO" Ağır Araç Oranını ifade etmektedir.

Tablo 7.5 Konak – Havaalanı Yönüne ait baz durumu gösteren senaryolar

Senaryo	Şerit Genişliği (metre)	Devre Süresi (saniye)	Yeşil Süre (saniye)	Kırmızı Süre (saniye)	Yeşil / Devre	Hacim (araç/saat)	Otomobil	AAO (%)
1	3,0	70	37	28	0,53	300	300	0
2	3,0	70	37	28	0,53	600	600	0
3	3,0	70	37	28	0,53	900	900	0
4	3,0	70	37	28	0,53	1200	1200	0
5	3,0	70	37	28	0,53	1500	1500	0

Bu analizlerde baz durum senaryoları tamamlandıktan sonra sistemlere ağır araçlar eklenerek sistemde otomobil – kamyon, otomobil – otobüs ve otomobil – kamyon – otobüs için 3 farklı duruma ait farklı hacim değerlerinde senaryolar oluşturulmuştur. Tablo 7.6’da şerit genişliği 3 metre ve devre süresi 70 saniye için farklı araç kompozisyonları ve farklı hacim değerlerine ait örnek senaryolar gösterilmektedir. Senaryo numarası 13’den 18’e kadar olan kısım otomobil – kamyon – otobüsten oluşan karışık trafik durumunu göstermektedir. Örneğin; 15 numaralı senaryoda saatte yaklaşım kolunda 420 otomobil, 90 kamyon ve 90 otobüs olmak üzere ağır araç oranı 0,3’tür. Bu senaryoda 3 tip araç bulunmaktadır. Senaryo 20’de ise saatte 540 otomobil ve 60 kamyon bulunmaktadır. Yaklaşım kolunda otomobil – kamyon durumu gösterilmekte ve ağır araç oranı 0,1’dir.

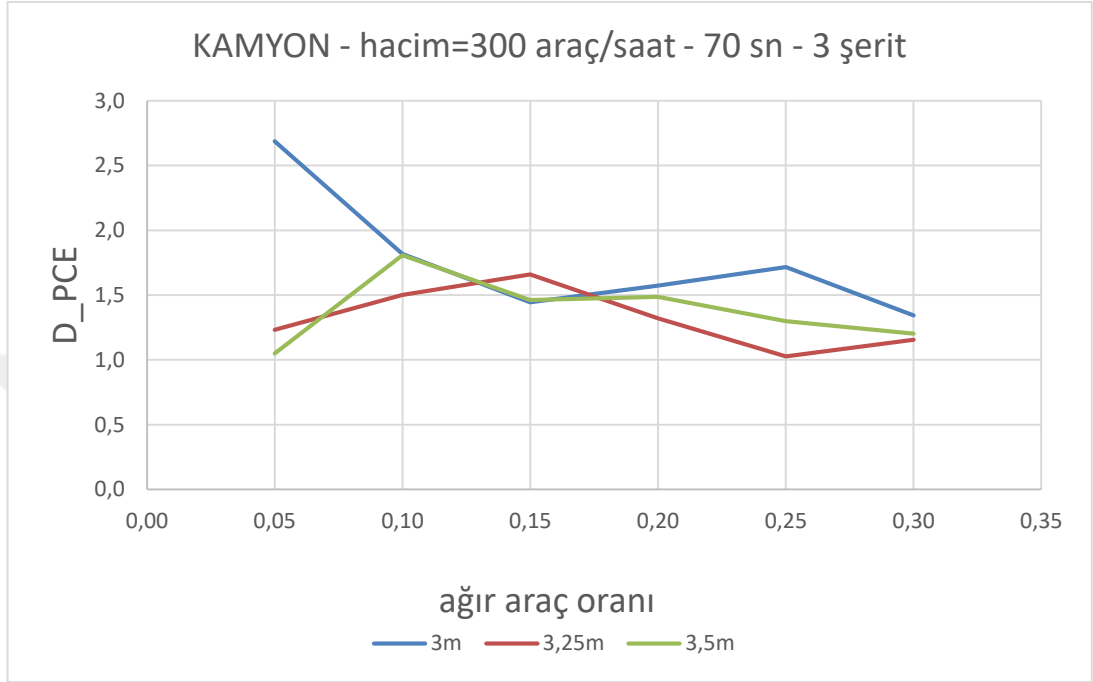
Tablo 7.6 Hacim değerleri ve araç kompozisyonlarını gösteren örnek senaryolar

Senaryo	Şerit Genişliği (metre)	Devre Süresi (sn)	Araç Sayısı Σ	O	K	OB	Ağır Araç Sayısı	AAO (%)
13	3	70	600	540	30	30	60	0,1
14	3	70	600	480	60	60	120	0,2
15	3	70	600	420	90	90	180	0,3
16	3	70	600	360	120	120	240	0,4
17	3	70	600	300	150	150	300	0,5
18	3	70	600	240	180	180	360	0,6
19	3	70	600	570	30	0	30	0,05
20	3	70	600	540	60	0	60	0,1
21	3	70	600	510	90	0	90	0,15
22	3	70	600	480	120	0	120	0,2
23	3	70	600	450	150	0	150	0,25
24	3	70	600	420	180	0	180	0,3
25	3	70	600	570	0	30	30	0,05
26	3	70	600	540	0	60	60	0,1
27	3	70	600	510	0	90	90	0,15
28	3	70	600	480	0	120	120	0,2
29	3	70	600	450	0	150	150	0,25
30	3	70	600	420	0	180	180	0,3
O: otomobil, K: kamyon, OB: otobüs, AAO: ağır araç oranı								

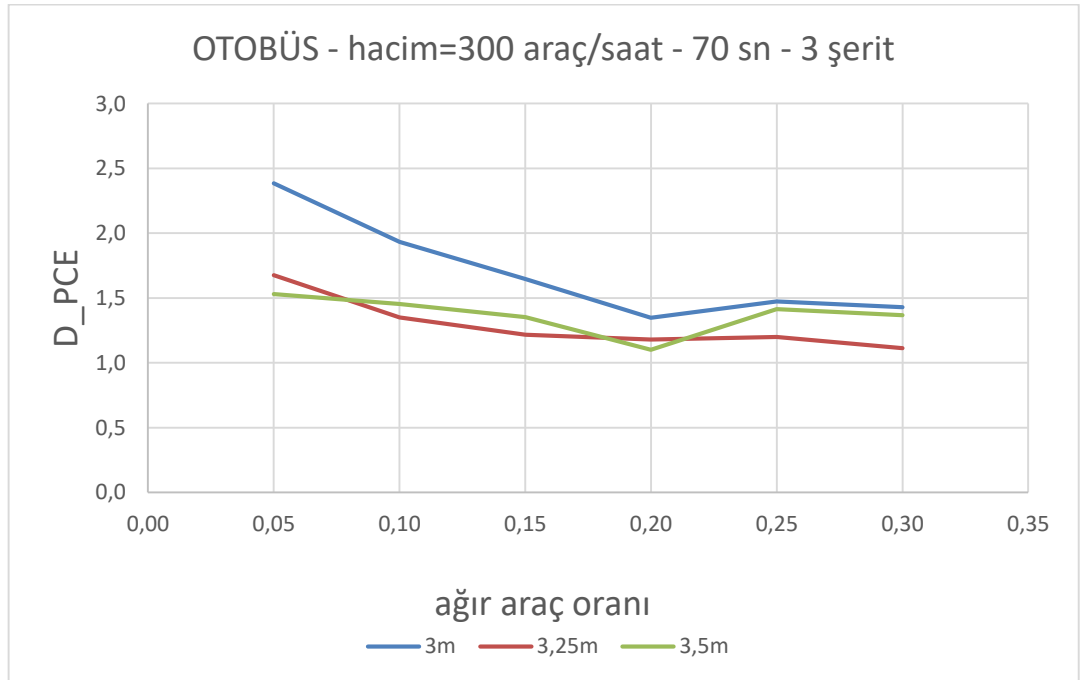
Oluşturulan senaryolara ait simülasyon modellerinden hacim/kapasite oranı (%), gecikme (saniye), hız (km/sa), seyahat süresi (saniye) ve ortalama kuyruk uzunluğu (araç) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinden ağır araç etkisi ve değişiklik yapılan parametreler (hacim, şerit genişliği ve devre süresi) arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

Gaziemir – Semt Garajı kavşağı için oluşturulan senaryolardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek grafikler çizilmiştir.

Şerit genişliği ve D_PCE arasındaki ilişki aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir. Şerit sayısı 3 ve devre süresi 70 saniye olmak üzere sabit tutulmuştur. Farklı hacim değerleri ve araç tipleri için ayrı grafikler çizilmiştir.



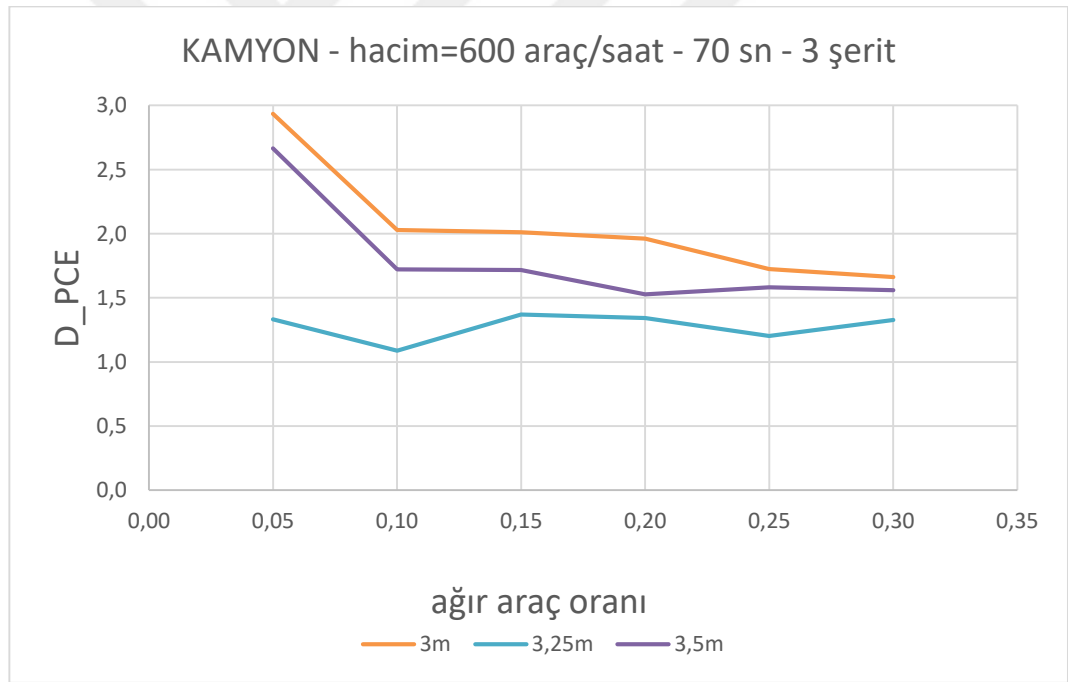
Şekil 7.22 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon-300 araç/saat)



Şekil 7.23 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs-300 araç/saat)

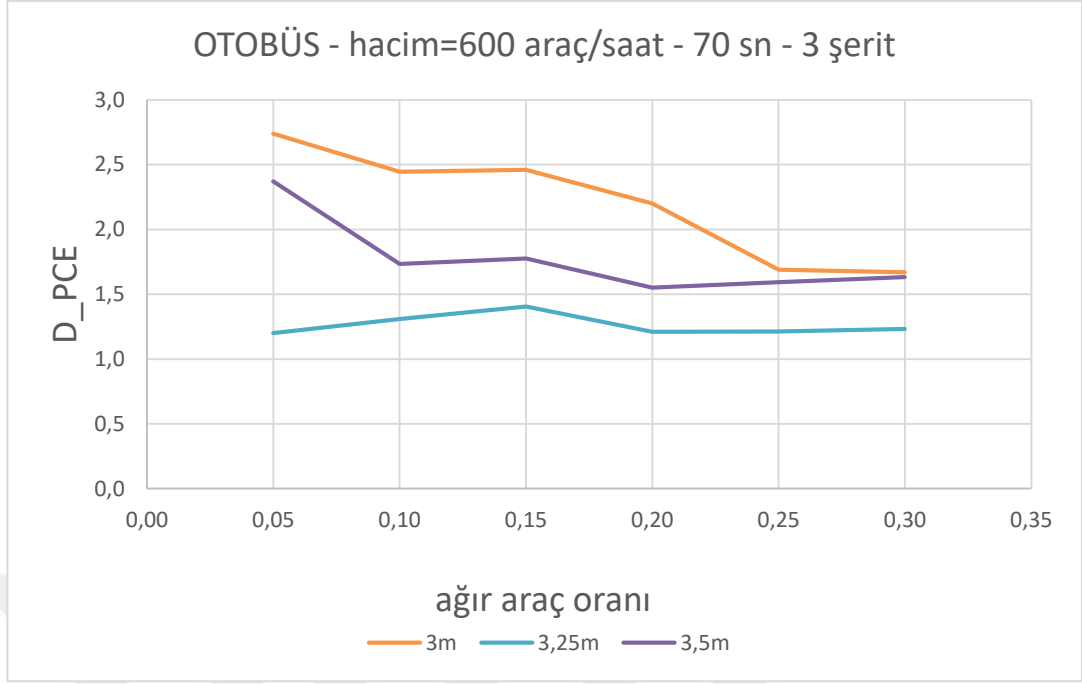
Şekil 7.22 ve Şekil 7.23, yaklaşım kolu hacminin 300 araç/saat olduğu durumu göstermektedir. Şekil 7.22 trafikte kamyon + otomobil, Şekil 7.23 otobüs + otomobil durumlarına ait grafiklerdir. Grafiklerde her bir şerit genişliğine ait D_PCE değerlerinin ağır araç oranı ile değişimi gösterilmektedir. Şekil 7.22’de şerit genişliği 3 metre iken daha yüksek D_PCE değerleri elde edilmiştir. Ağır araç oranı arttıkça D_PCE değerleri yaklaşık 1,5 olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.23 incelendiğinde tüm şerit genişlikleri için değerler 2,5’den küçüktür ve birbirine daha yakındır. En yüksek değerler şerit genişliği 3 metre olduğunda elde edilmiştir.

Şekil 7.24, Şekil 7.25 ve Şekil 7.26 hacim değerinin 600 araç/saat olduğu durumlarıdır. Hacim arttıkça D_PCE değerinin 3’e yaklaştığı Şekil 7.24’te görülmektedir. En düşük değerler şerit genişliği 3,25 metre için elde edilmiştir.



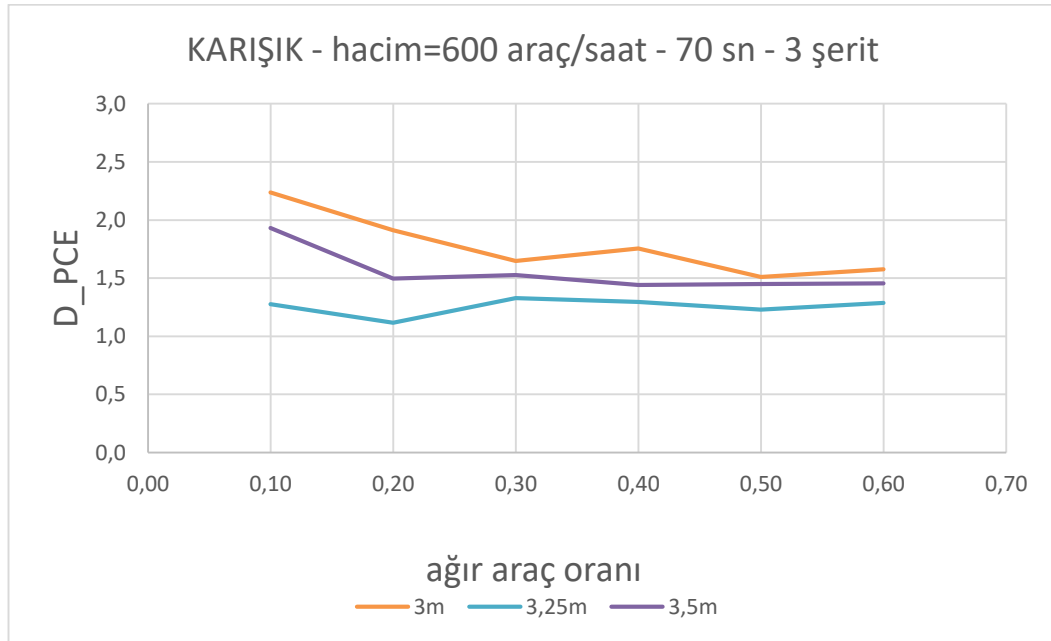
Şekil 7.24 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon-600 araç/saat)

Araç tiplerine göre karşılaştırma yapıldığında otobüslerin kamyonlara göre etkisinin daha fazla olduğu Şekil 7.24 ve Şekil 7.25’te görülmektedir.



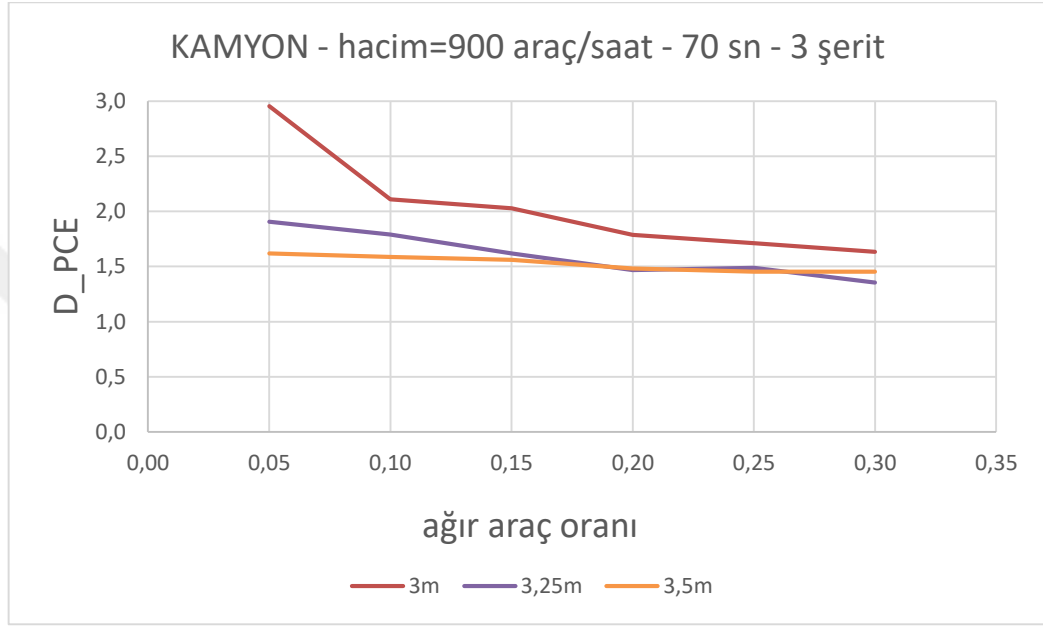
Şekil 7.25 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs-600 araç/saat)

Şekil 7.26'da ise karışık trafik durumuna (otomobil + kamyon + otobüs) ait sonuçlar bulunmaktadır. Değerler incelendiğinde ağır araç oranı düşük iken D_PCE değerleri daha yüksek, ağır araç oranı arttıkça D_PCE değerleri birbirine daha yakın ve daha düşük elde edilmiştir.

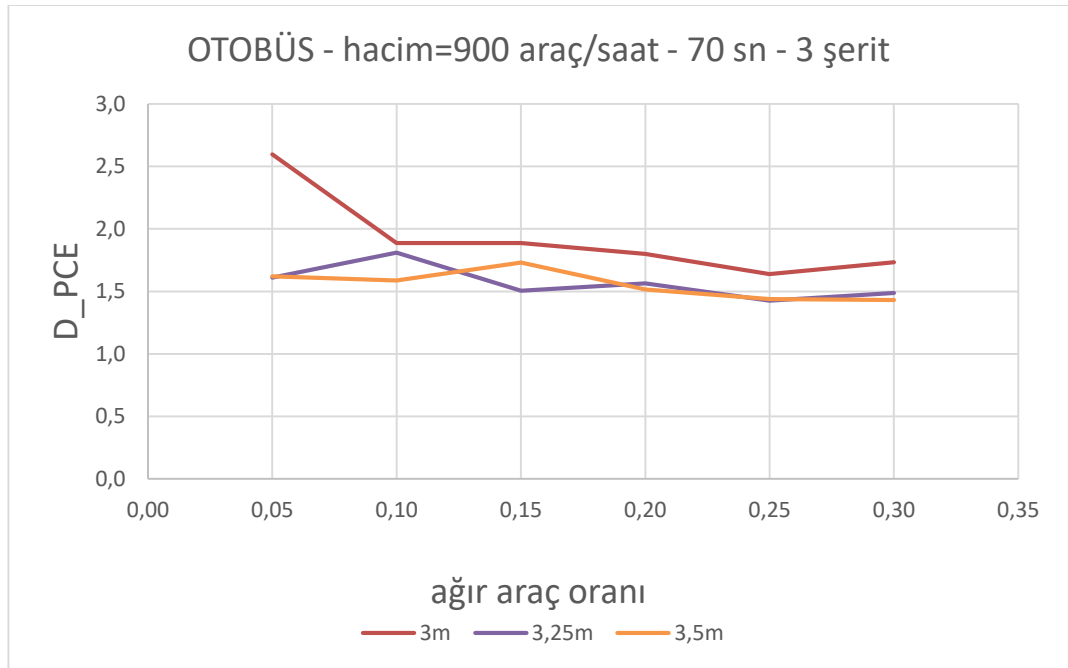


Şekil 7.26 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (karışık-600 araç/saat)

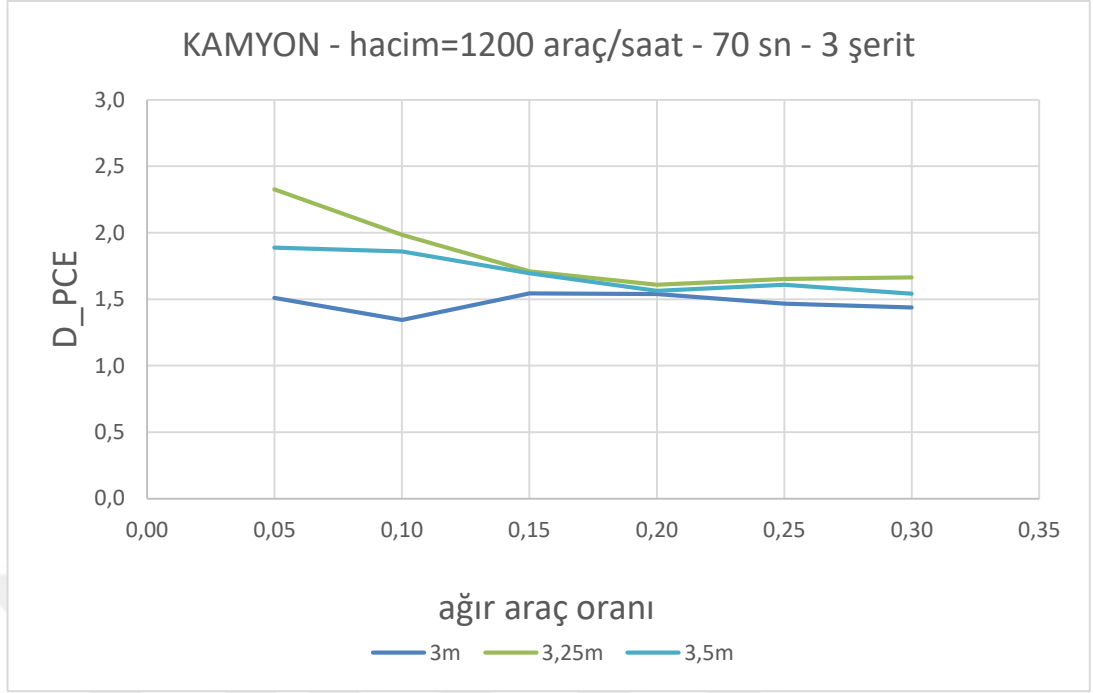
Şekil 7.27 ve Şekil 7.28, 900 araç/saat için elde edilen değerleri göstermektedir. Şekil 7.27’de ağır araç oranı % 15’i geçtiğinde şerit genişliği 3,25 ve 3,5 metre için elde edilen değerler oldukça yakındır. Şekil 7.28’de ise otobüslere ait değerler daha düşüktür. Otobüs için elde edilen değerler karşılaştırıldığında şerit genişliği 3 metre için hesaplanan D_PCE değerleri daha yüksektir.



Şekil 7.27 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon-900 araç/saat)

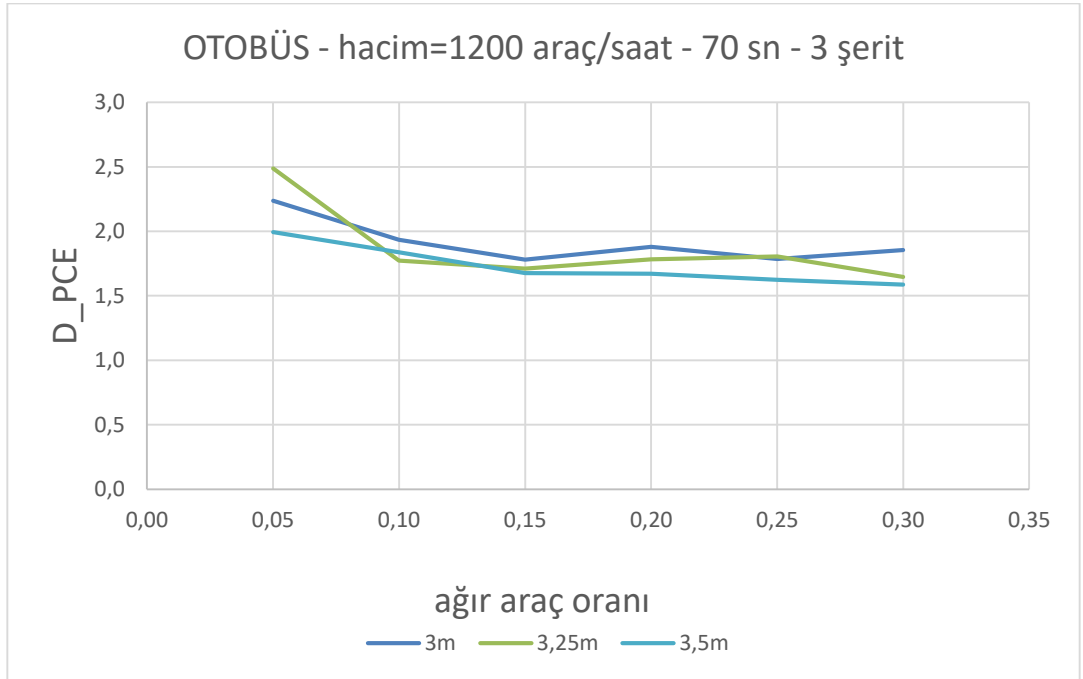


Şekil 7.28 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs-900 araç/saat)



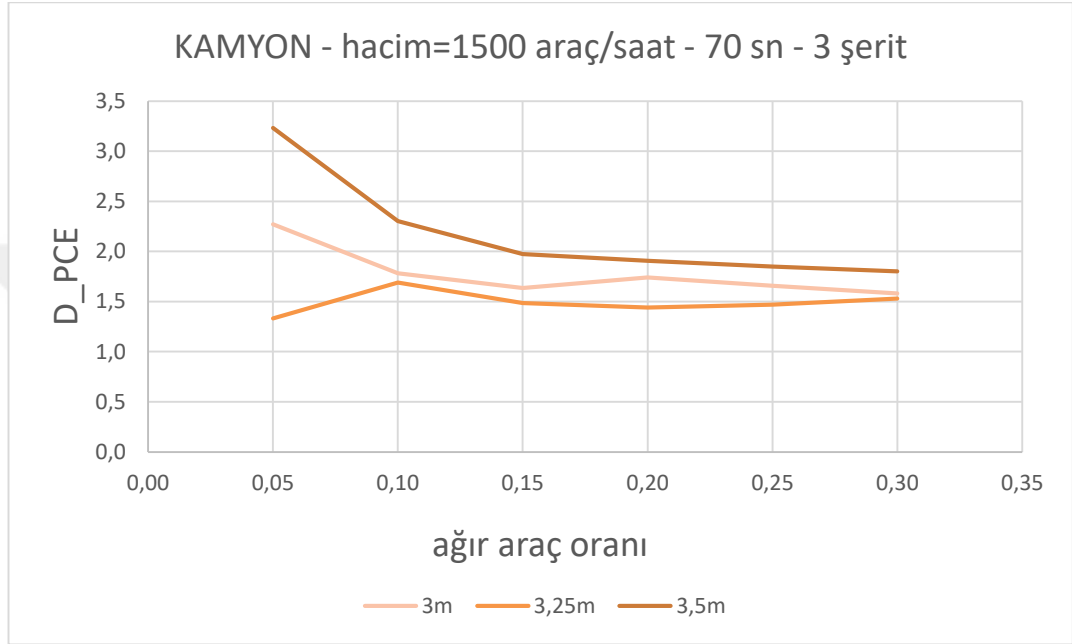
Şekil 7.29 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon-1200 araç/saat)

Hacim 1200 araç/saat için Şekil 7.29 ve Şekil 7.30 gösterilmektedir. Çizilen grafikler karşılaştırıldığında otobüslere ait değerler daha yüksek ve 2'ye yakındır.

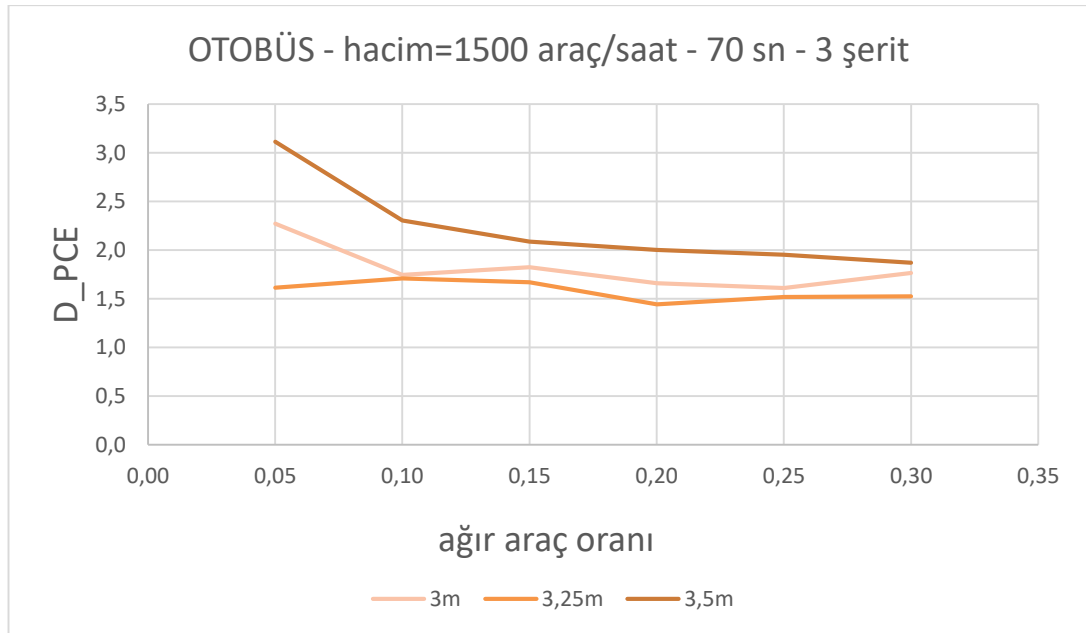


Şekil 7.30 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs-1200 araç/saat)

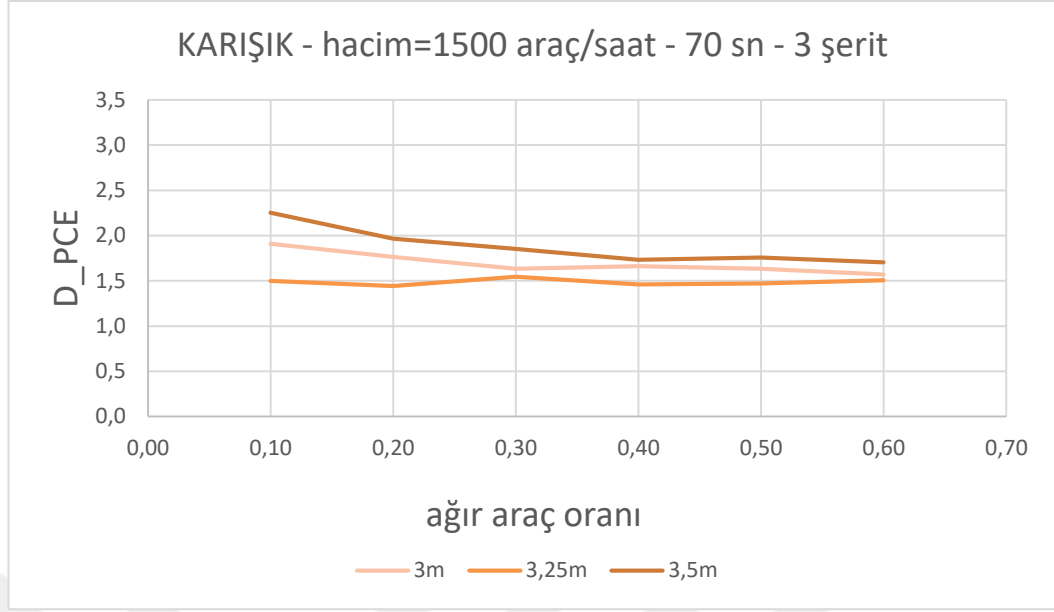
Şekil 7.31, Şekil 7.32 ve Şekil 7.33 en yüksek hacim değerine ait durumları göstermektedir. Şekiller incelendiğinde değerlerin diğer hacim değerlerinden elde edilen durumlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Her 3 durum için de en yüksek değerler şerit genişliği 3,5 metre olduğunda hesaplanmıştır. En düşük değerler de 3,25 metre için elde edilmiştir.



Şekil 7.31 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (kamyon-1500 araç/saat)

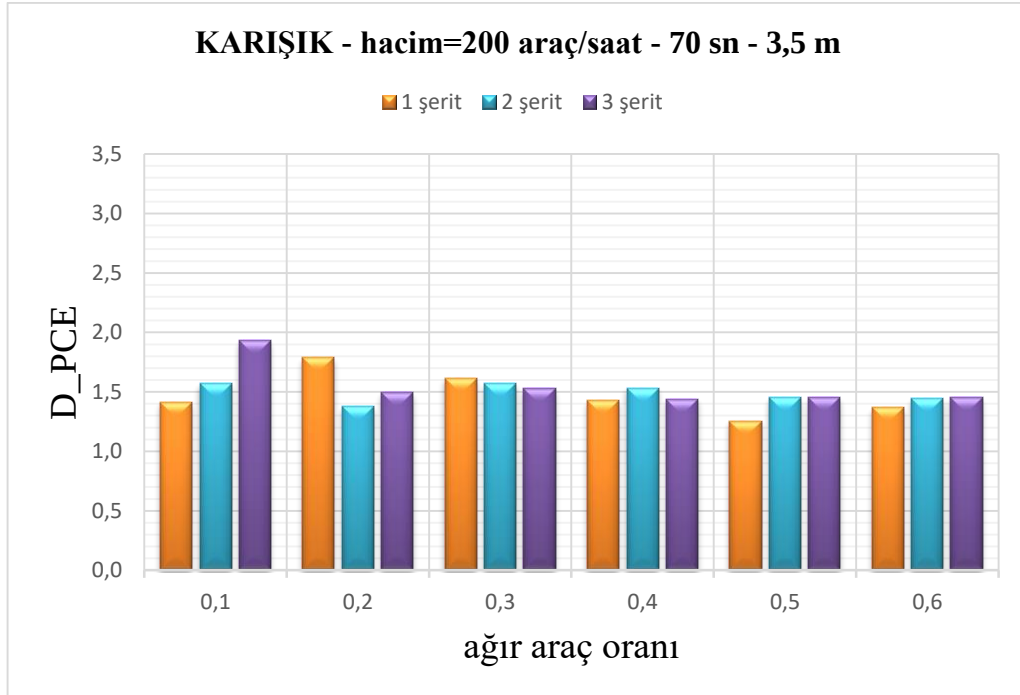


Şekil 7.32 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (otobüs-1500 araç/saat)



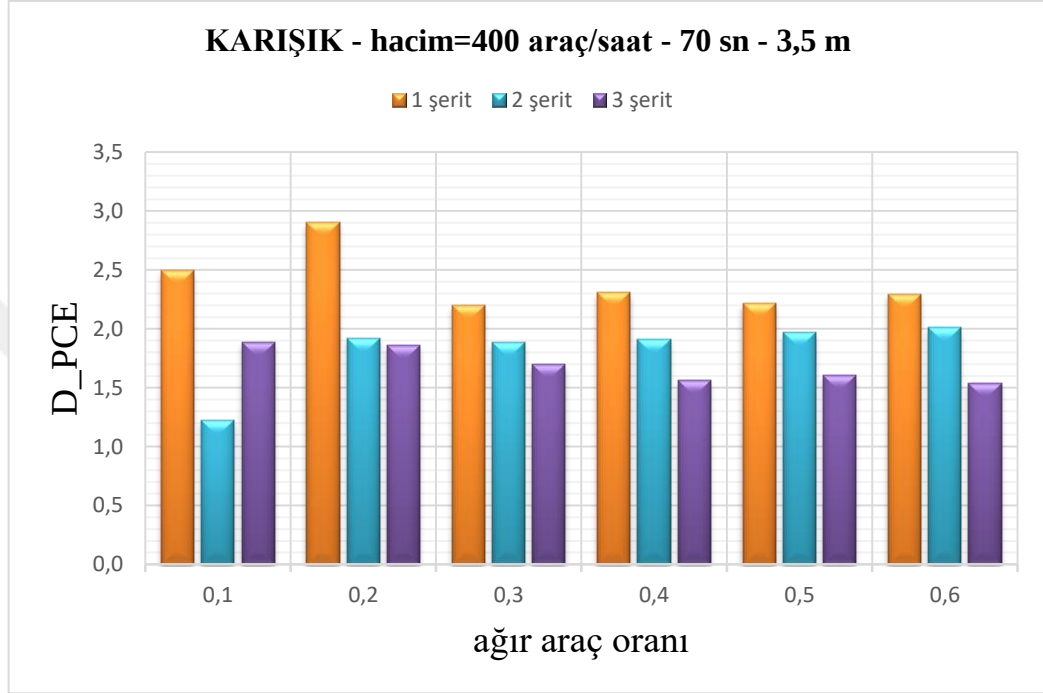
Şekil 7.33 Şerit genişliği - D_PCE ilişkisi (karışık-1500 araç/saat)

Şekil 7.34, Şekil 7.35 ve Şekil 7.36, D_PCE – ağır araç oranı arasındaki ilişkiyi şerit sayısına göre ifade etmektedir. Grafikler elde edilirken devre süresi (70 saniye) ve şerit genişliği (3,5 metre) sabit olarak alınmıştır. Her 3 şekilde karışık trafik durumunu (otomobil + kamyon + otobüs) farklı hacimlere göre göstermektedir.

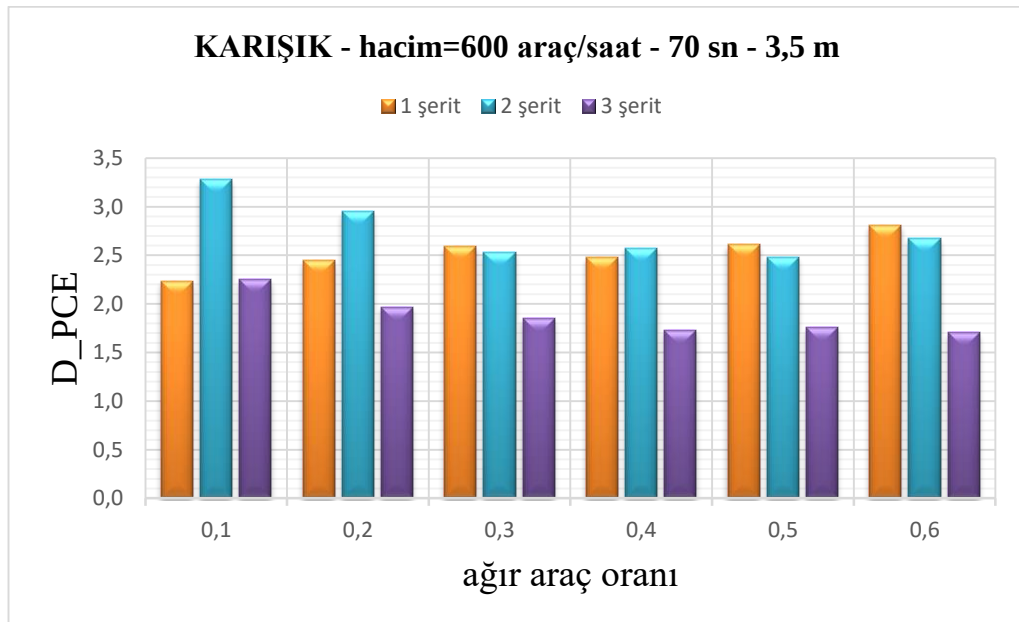


Şekil 7.34 Şerit sayısı - D_PCE ilişkisi (karışık-200 araç/saat)

Şekiller incelendiğinde, düşük hacim değerinde şerit sayısı etkili değildir. Hacim arttıkça yaklaşım kolunun 1 şerit olduğu durumlarda değerlerin daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek hacim değerinde (600 araç/saat) şerit sayısı 1 ve 2 olduğunda D_PCE daha yüksek, şerit sayısı 3 seçildiğinde ise daha düşüktür.



Şekil 7.35 Şerit sayısı - D_PCE ilişkisi (karışık-400 araç/saat)



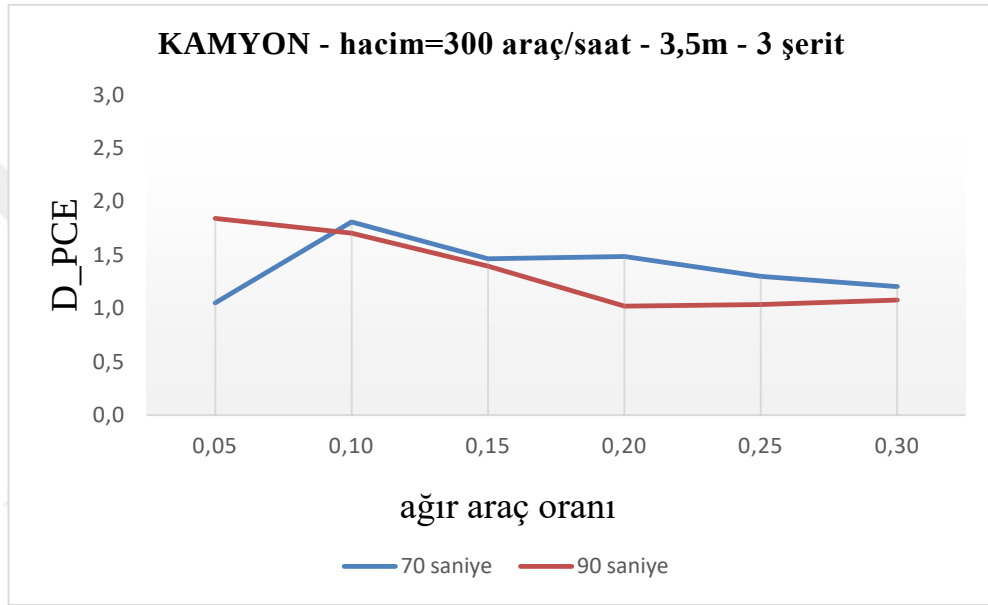
Şekil 7.36 Şerit sayısı - D_PCE ilişkisi (karışık-600 araç/saat)

Ağır araç etkisini incelemek için kullanılan bir diğer parametre de sinyal devre süresidir. Senaryolar oluşturulurken seçilecek devre sürelerinin belirlenebilmesi için SIDRA Intersections programında sinyal devre süresi analizi yapılmıştır. Tablo 7.7’de sinyal devre süresi analiz sonuçları gösterilmektedir. Optimum devre süresi 66 saniye olarak hesaplanmıştır. Devre süresi 66 saniye olduğunda minimum gecikme ve en iyi hizmet düzeyi elde edilmektedir. Mevcut koşullarda devre süresi 70 saniye olduğunda değerler optimum koşullara oldukça yakındır. Elde edilen sonuçlar ile mevcut durum karşılaştırıldığında sinyal devresinin 70 saniye olması oldukça uygundur. Bu sonuçlara bağlı olarak senaryolar için devre süreleri 70 saniye ve 90 saniye seçilmiştir.

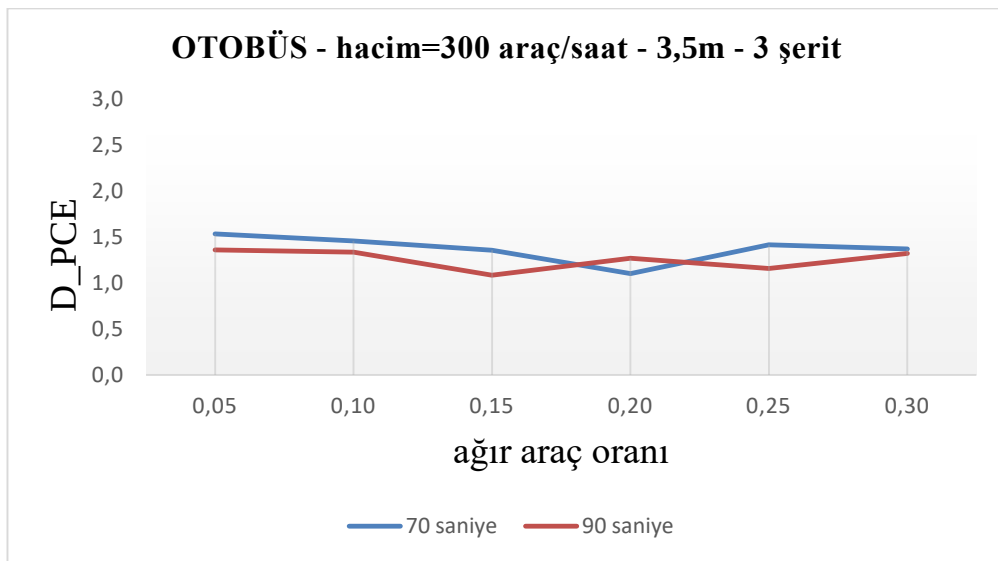
Tablo 7.7 SIDRA Intersections sinyal devre süresi analizi

SIDRA	Sinyal Devre Süresi									
	Senaryo		Optimum		Mevcut		Senaryo		Senaryo	
	60 saniye		66 saniye		70 saniye		80 saniye		90 saniye	
Faz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Yeşil (saniye)	29	21	36	20	37	23	40	30	46	34
Sarı (saniye)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kırmızı			25	41					39	
Hep-kırmızı (saniye)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Faz Süresi (saniye)	34	26	41	25	42	28	45	35	51	39
Gecikme / Hizmet Düzeyi	G	HD	G	HD	G	HD	G	HD	G	HD
266:Konak- Havaalanı Yönü	14,2	B	11,4	B	12,9	B	16,6	B	17,7	B
Kavşak	17,3	B	16	B	16,5	B	19,2	B	20,3	C

Devre süresinin D_{PCE} değeri üzerindeki etkisini incelemek için iki farklı devre süresinde (70 saniye ve 90 saniye) farklı hacimlerde senaryo sonuçları incelenmiştir. Devre süresi için incelenen bu durumlarda şerit genişliği (3,5 metre) ve şerit sayısı (3) sabit olarak alınmıştır. Şekil 7.37 ve Şekil 7.38 en düşük hacim değerinde kamyon ve otobüs için incelenen durumlardır. Bu iki durum karşılaştırıldığında D_{PCE} değerleri arasındaki fark oldukça azdır ve birbirine yakın değerler hesaplanmıştır.

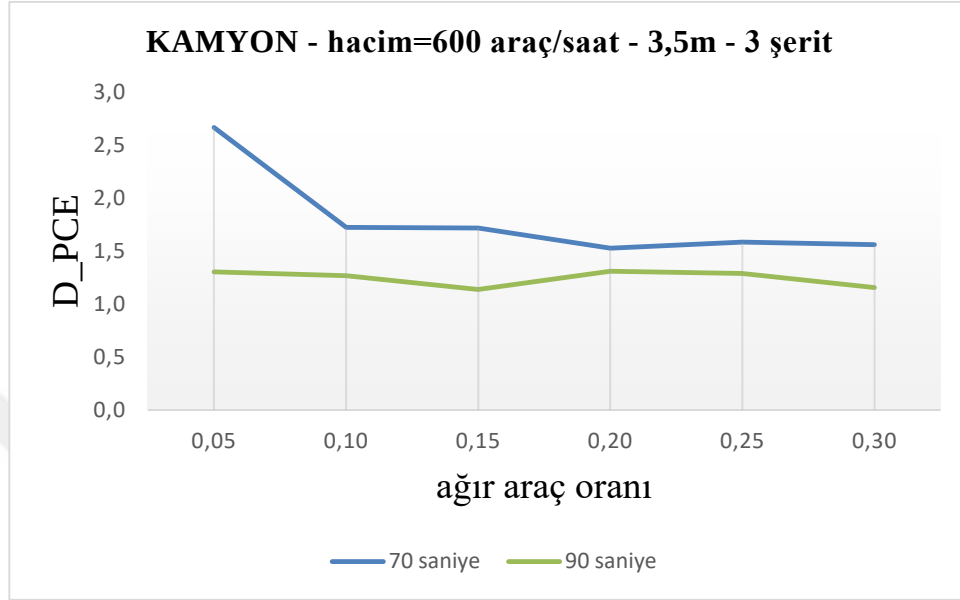


Şekil 7.37 Devre süresi - D_{PCE} ilişkisi (kamyon-300 araç/saat)

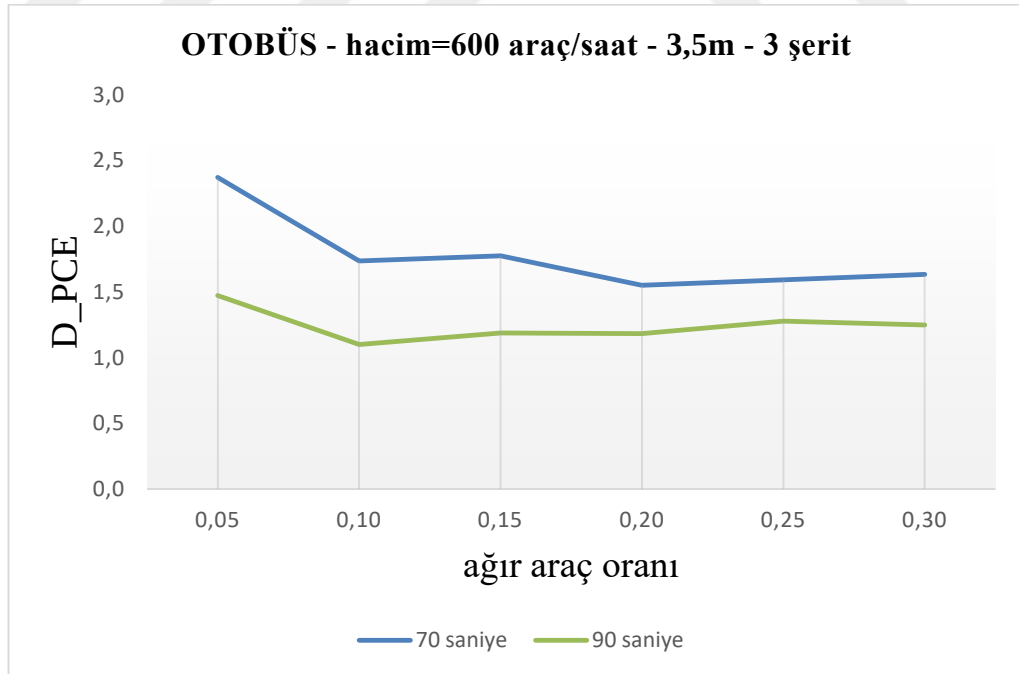


Şekil 7.38 Devre süresi - D_{PCE} ilişkisi (otobüs-300 araç/saat)

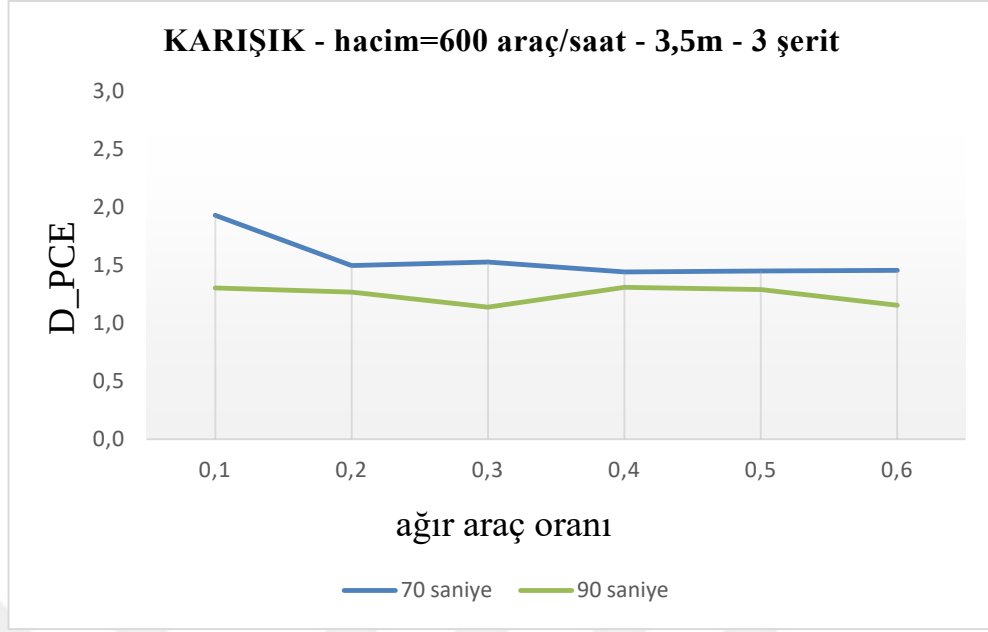
Şekil 7.39, Şekil 7.40 ve Şekil 7.41, 600 araç/saat için hesaplanmıştır. Değerler araç tiplerine ve karışık trafik durumuna göre incelendiğinde anlamlı bir farklılık görülmemiştir.



Şekil 7.39 Devre süresi - D_PCE – ilişkisi (kamyon-600 araç/saat)

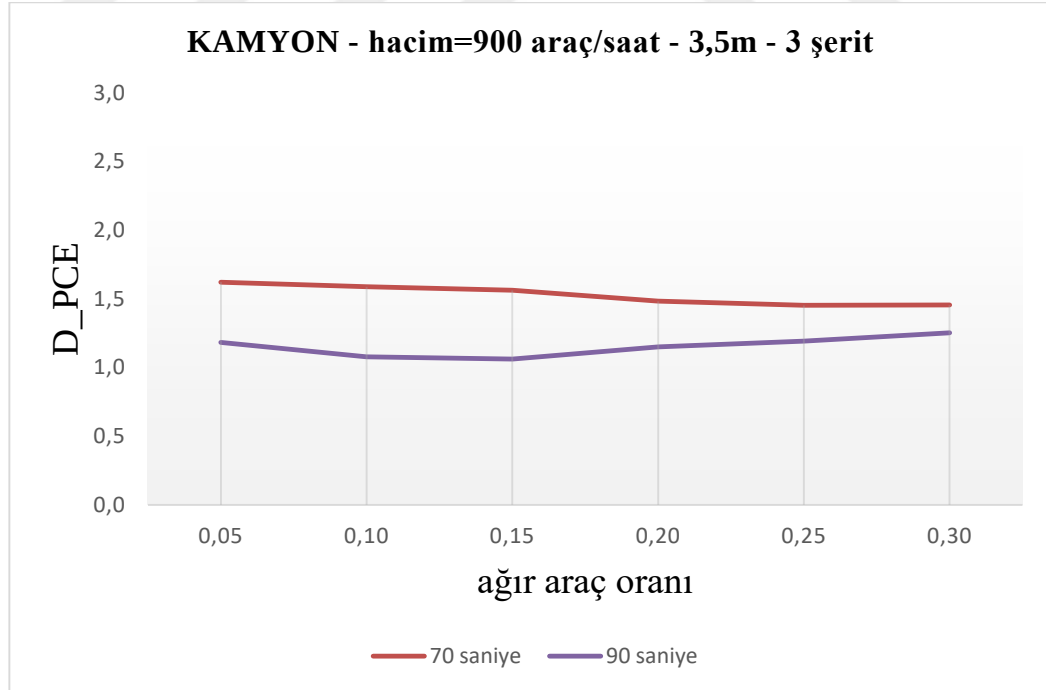


Şekil 7.40 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs-600 araç/saat)

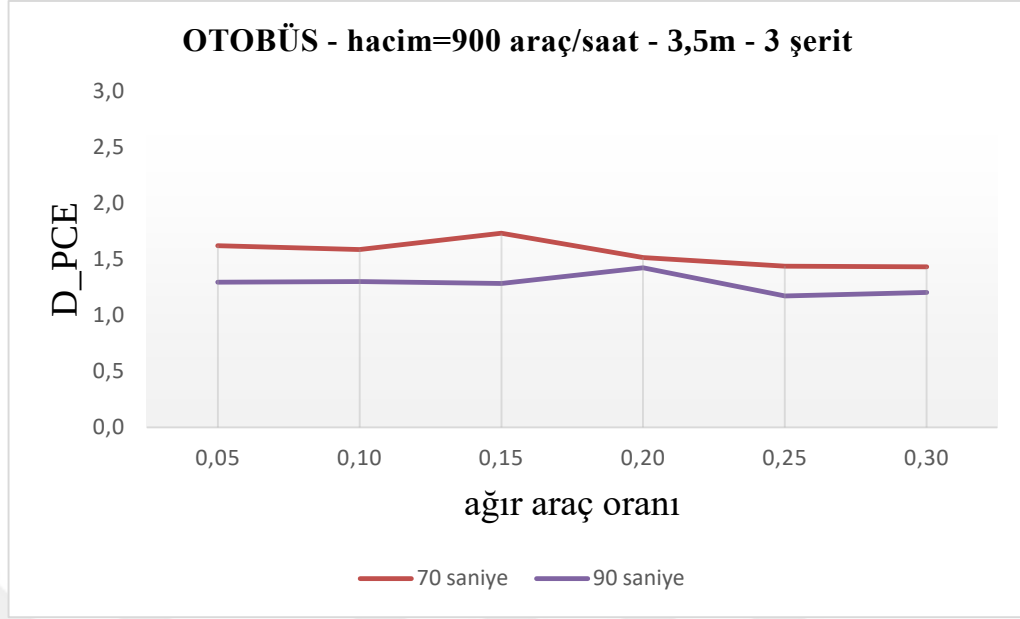


Şekil 7.41 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (karışık-600 araç/saat)

Hacim 900 araç/saat için Şekil 7.42 ve Şekil 7.43’de gösterilen grafikler çizilmiştir. D_PCE değerlerinin yaklaşık 1,5 olarak hesaplandığı görülmektedir.

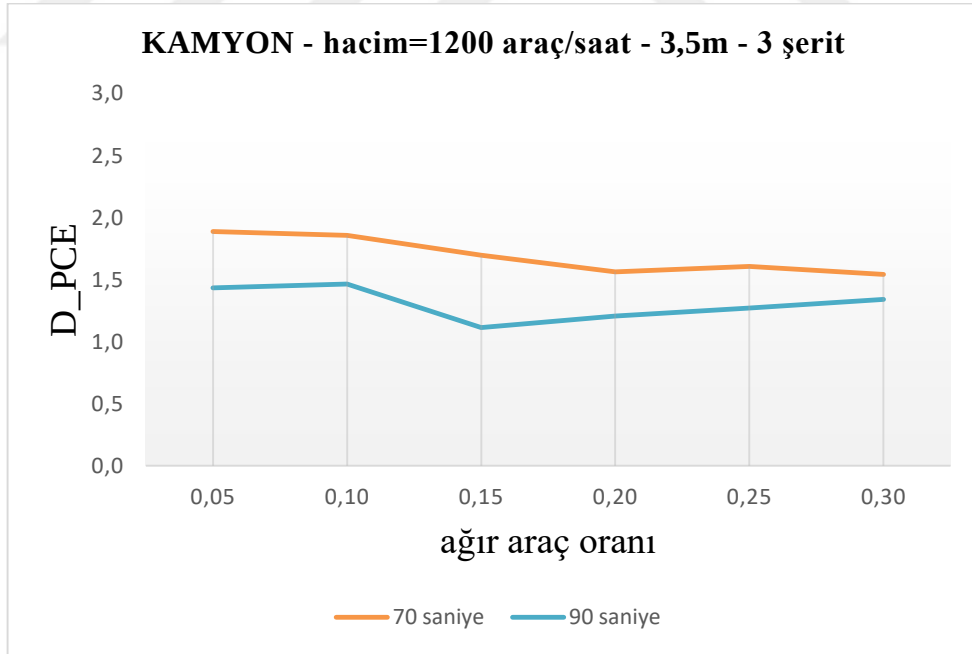


Şekil 7.42 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon-900 araç/saat)

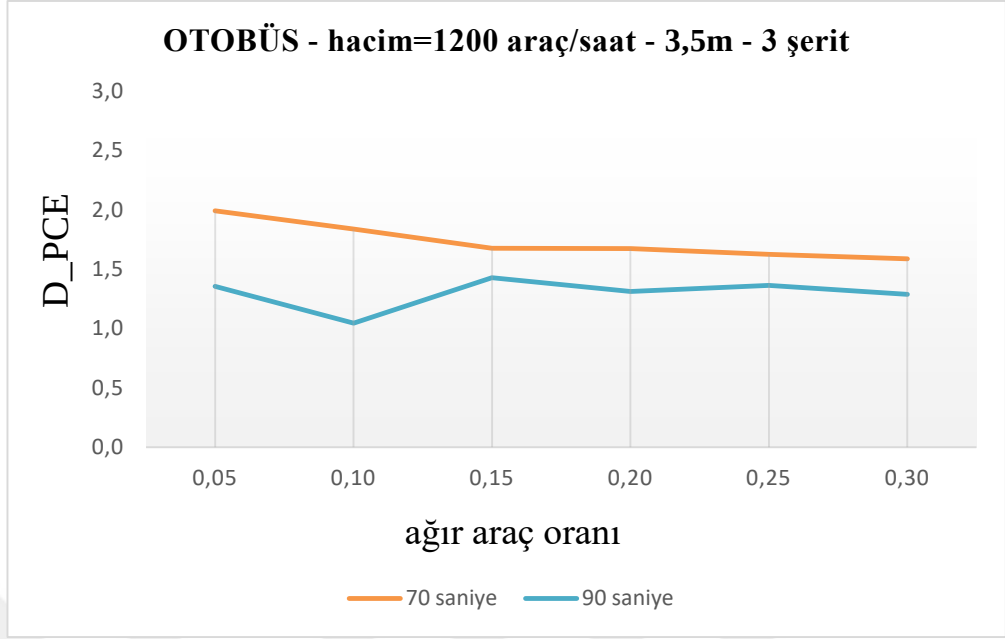


Şekil 7.43 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs-900 araç/saat)

Kamyon ve otobüs için hacim değeri 1200 araç/saat olduğunda D_PCE değerinin 1,5 ile 2,0 aralığında değiştiği Şekil 7.44 ve Şekil 7.45'te gösterilmektedir.

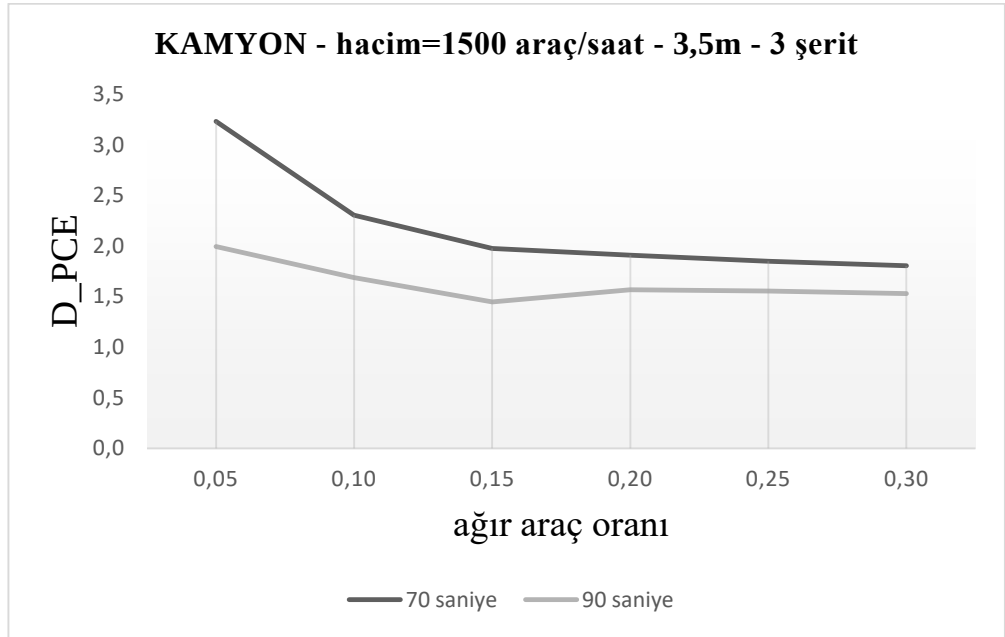


Şekil 7.44 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon-1200 araç/saat)

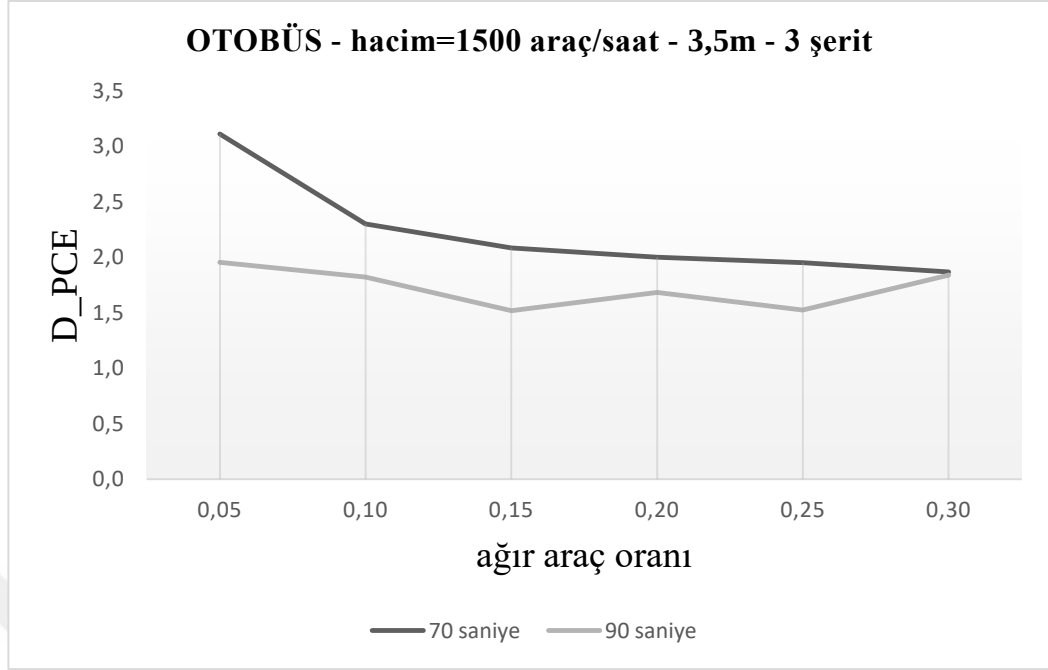


Şekil 7.45 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs-1200 araç/saat)

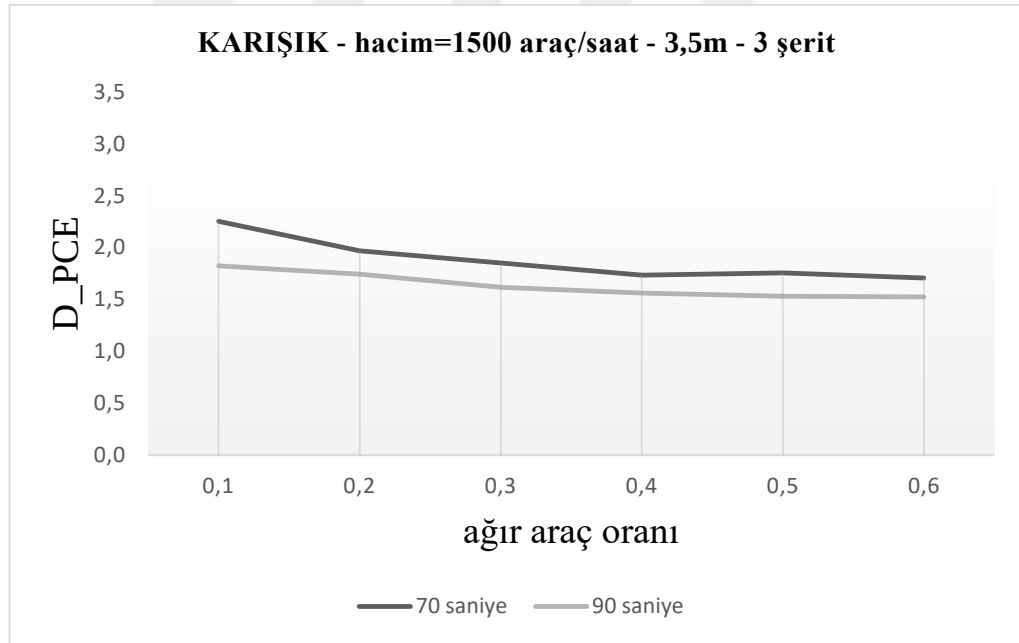
Şekil 7.46, Şekil 7.47 ve Şekil 7.48 en yüksek hacim değerini temsil etmektedir. D_PCE değerleri bu durumda devre süresi için diğer durumlara göre daha yüksek ve 2,5 değerine yakındır. Kamyon ve otobüslere göre karışık trafik durumunda daha düşük değerler elde edilmiştir.



Şekil 7.46 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (kamyon-1500 araç/saat)



Şekil 7.47 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (otobüs-1500 araç/saat)



Şekil 7.48 Devre süresi - D_PCE ilişkisi (karışık-1500 araç/saat)

Ayrıca analizlerde ağır araç düzeltme faktörü (f_{HV}) de hesaplanmıştır. Ağır araç düzeltme faktörü Bölüm 3 Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır. Her bir ağır araç yüzdesi için hesaplanan EOB değerlerine göre düzeltme faktörü elde edilmiştir. Ayrıca HCM 2010'da sinyalize kavşaklar için EOB 2,0 olarak verilmiştir. Bu değere

göre farklı araç yüzdeleri için de f_{HV} değeri de hesaplanmıştır. HCM 2010'da ağır araç yüzdelere ve EOB değerlerine göre f_{HV} 0,85 ile 1 arasında değişmektedir. Değer 1'e yaklaştıkça ağır araç etkisi ihmal edilmektedir. Hesaplanan değerler incelendiğinde, ağır araç oranı arttıkça f_{HV} değeri 0,85 değerine yaklaşmaktadır ve akım içerisinde ağır araç etkisi hissedilmektedir.

7.2.3 Akçay Caddesi Trafik Analiz Programı Sonuçları

Araştırma kapsamında Akçay Caddesi – Gaziemir 1 kavşağı için SIDRA Intersections programında model oluşturulmuş ve programda analizleri yapılmıştır. Gaziemir 1 kavşağı için programa ait model Şekil 7.49'da sunulmuştur.

LEVEL OF SERVICE

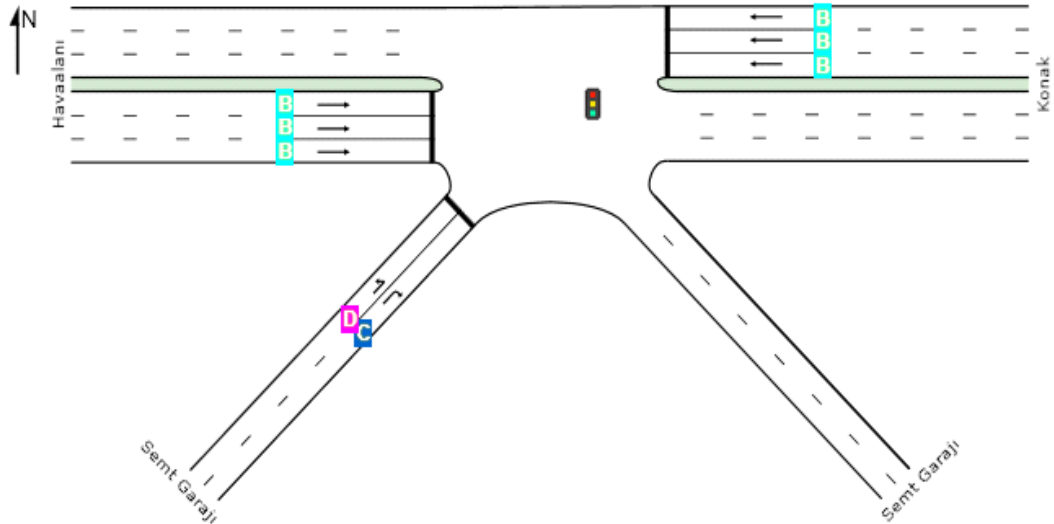
 Site: Gaziemir-Semt Garajı

New Site

Signals - Fixed Time Isolated Cycle Time = 70 seconds (User-Given Cycle Time)

All Movement Classes

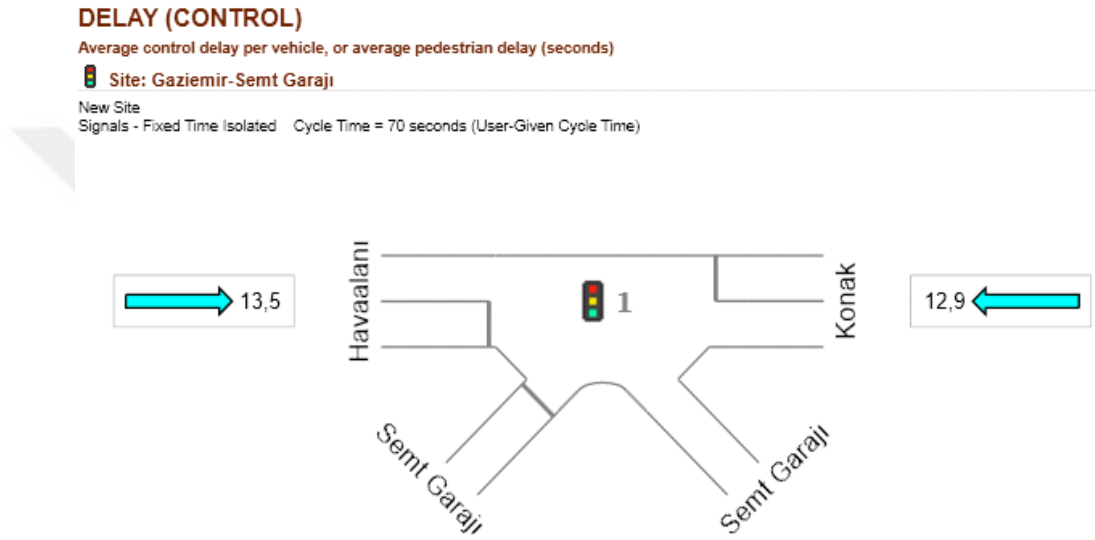
	East	West	Southwest	Intersection
LOS	B	B	C	B



Şekil 7.49 Gaziemir kavşağı SIDRA modeli

Gaziemir kavşağı için yapılan analizlerde ortalama gecikme değerleri yaklaşık olarak 13 saniye bulunmuştur. Şekil 7.49'da analiz sonuçlarına göre hizmet düzeyi ve Şekil 7.50'de elde edilen gecikme değerleri gösterilmektedir. Değerler

incelendiğinde ve diğer sonuçlarla karşılaştırıldığında üç yöntemden elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Tablo 7.8’de SIDRA ve diğer yöntemlerden elde edilen gecikme değerleri sunulmuştur. SIDRA programından elde edilen gecikme değerleri ile benzetim modelinden elde edilen gecikme değerlerinin birbirine yakın olması modelin tutarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca analitik yöntemden elde edilen gecikme değeri ile programların gecikme değerlerinin yakın sonuç vermesi modelin doğruluğunu desteklemektedir.



Şekil 7.50 Gaziemir kavşağı SIDRA gecikme sonuçları

Tablo 7.8 Gaziemir kavşağına ait gecikme değerleri (s)

Zaman aralığı	HCM 2010 gecikme (s)	AIMSUN gecikme (s)	SIDRA gecikme (s)
17:30-17:45	12,50	12,29	12,9
17:45-18:00	13,49	11,54	13,1
18:00-18:15	13,01	12,24	12,8
18:15-18:30	12,74	12,57	13,0
Ortalama	12,94	12,16	12,95

7.2.4 Takip Aralığı Yöntemine Göre Eşdeğer Otomobil Birimi Hesabı

Araştırma kapsamında araç tiplerine göre video görüntülerinden zaman cinsinden takip aralıkları toplanmıştır. Her bir araç tipi için ortalama takip aralığı değeri hesaplanmıştır. Takip aralığı yöntemine göre Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB), gözlemlerden elde edilen takip aralıklarına göre hesaplanmış ve Tablo 7.9’da verilmiştir.

Tablo 7.9 Semt Garajı 1 ve 2 kavşaklarına ait EOB değerleri (s)

Akçay Caddesi		Gözlem			Ağır Araç
		Otomobil	Kamyon	Otobüs	
Semt Garajı	Ort. zaman cinsinden takip aralığı	2,01	3,99	3,69	3,49
	EOB	1,00	1,98	1,84	1,74

7.2.5 Akçay Caddesine Ait Analizlerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, Akçay Caddesi için sinyalizasyon kavşaklarda ağır araçların otomobil eşdeğerinin tahmini, analitik ve benzetim modeli yöntemi ile yapılmıştır. Trafik akımı içerisindeki ağır araçların yüzdeleri değiştirilerek heterojen trafik koşullarında kavşak performansını değerlendirmek için simülasyon kullanılmıştır. Simülasyon mevcut koşullara göre kalibre edilmiş ve oluşturulan model kullanılarak senaryolar üretilmiştir. Elde edilen senaryolara göre EOB değerleri için grafikler çizilmiştir. Ağır araç oranı arttıkça EOB artmıştır; trafik akımı daha fazla sayıda araç içerdiğinde de EOB değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

7.3 İzmir İli Konak İlçesi - Yeşildere Caddesine Ait Analizler

Çekimler mümkün olduğunca en yoğun trafik akımının gözlemlenebileceği zirve saatlerde yapılmaya çalışılmış ve sabah saat 07:30 - 08:30 saatleri ile öğleden sonra 17:15 - 18:15 saatleri aralığından elde edilen veriler analizlerde kullanılmıştır.

Çalışmada sözü edilen saat dilimlerinde her bir şeritte geçen araçlara ait takip aralığı değeri araç tipine bağlı olarak dakikalık bazda toplanmıştır. Bu sayede akım oranı değerleri hesaplanmıştır.

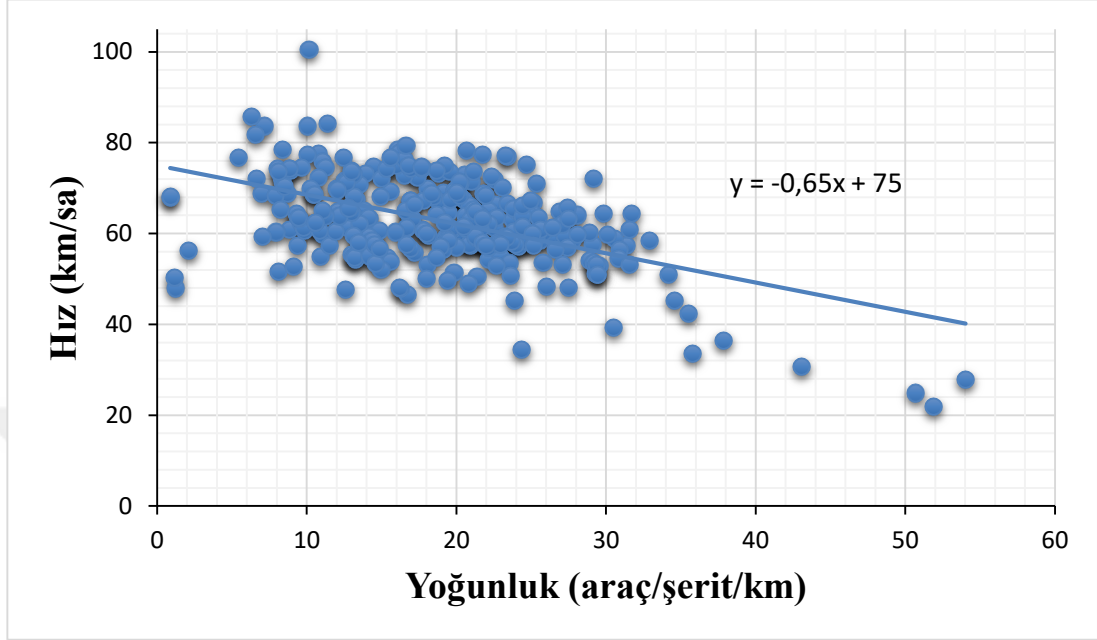
Eşdeğer Otomobil Birimini (EOB) belirlemek için takip aralığı yöntemi kullanılmıştır. Her bir araç tipine bağlı olarak belirlenen takip aralıklarına ait istatistiksel bilgiler Tablo 7.10’da verilmiştir. Veriler kullanılarak her bir araç tipine ait EOB değeri hesaplanmaya çalışılmıştır. Ancak veri sayısının azlığı sebebiyle ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Bu sebeple çalışmanın devamında tüm araç tipleri bir arada değerlendirilmiş ve tüm türler için tek bir değer kullanılmıştır. Bütün ağır araçlara ait takip aralığı değerleri bir arada incelendiğinde EOB için 1,33 değerinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır. HCM 2010’da bu değer düz arazi için 1,5 olarak önerilmiştir.

Tablo 7.10 Hesaplanan EOB değerleri

Saat	Gözlem	h otomobil	h minibüs	h otobüs	h kamyon	h ağır araç
07:30 – 08:30	Sağ Şerit	2,12	2,45	2,95	3,31	2,90
	Orta Şerit	1,60	1,70	2,01	2,18	1,97
	Sol Şerit	2,00	2,77	2,82	3,10	2,90
17:15 – 18:15	Sağ Şerit	4,12	5,40	5,64	6,66	5,90
	Orta Şerit	2,54	3,33	3,01	3,86	3,40
	Sol Şerit	2,65	2,90	2,61	3,22	2,91
Ortalama		2,51	3,09	3,18	3,72	3,33
EOB		1,0	1,23	1,27	1,49	1,33

Yeşildere Caddesi için araştırmanın bir sonraki adımında farklı akım oranı ve ağır araç miktarları göz önüne alınarak, Yeşildere caddesinin sabah ve akşam saatleri için hizmet düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bütün şeritlerden elde edilen veriler bir arada incelenerek, elde edilen hız ve hacim değerlerinden yararlanılmış ve yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Çizilen hız-yoğunluk grafiği Şekil 7.51’de verilmiştir. Hız-yoğunluk grafiğinden yararlanarak yol kesiminde güvenilir en yüksek

hız değeri olarak kullanılabilcek serbest hız değeri belirlenmiştir. Serbest hız değeri 75 km/saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.51 Yeşildere Caddesi hız-yoğunluk grafiği

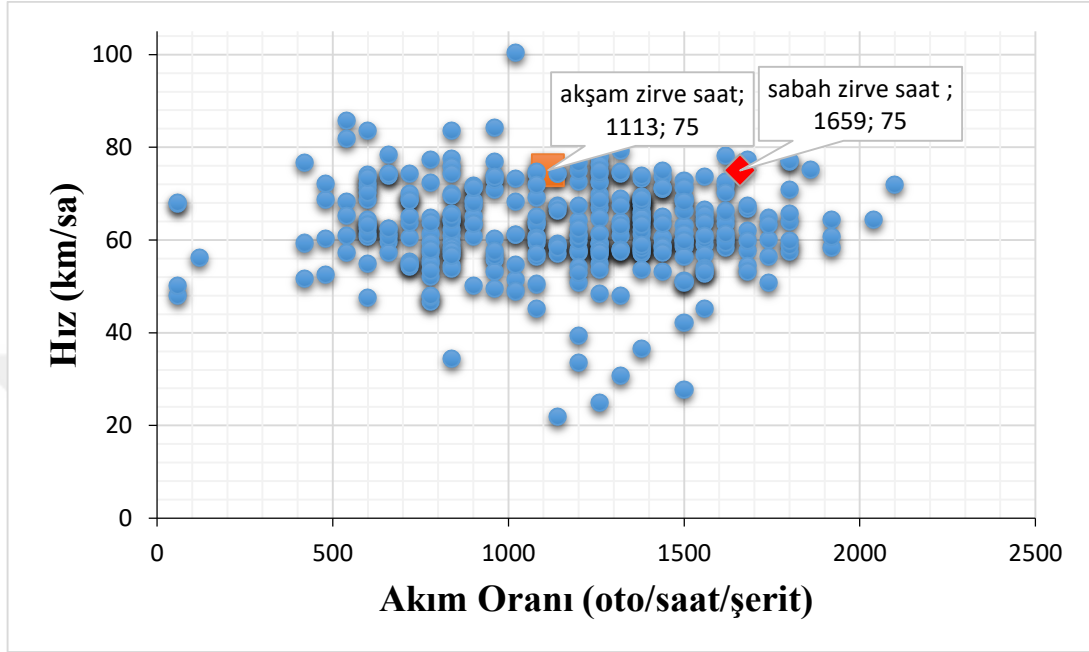
Yeşildere Caddesi için çalışmanın son aşamasında hesaplanan EOB değeri kullanılarak sabah ve akşam saatlerindeki akım oranı ve ağır araç oranları da dikkate alınarak hizmet düzeyi belirlenmiştir. Her bir gözlem için belirlenen hizmet düzeyleri Tablo 7.11’de gösterilmiştir.

Tablo 7.11 Yeşildere Caddesi hizmet düzeyi analizi

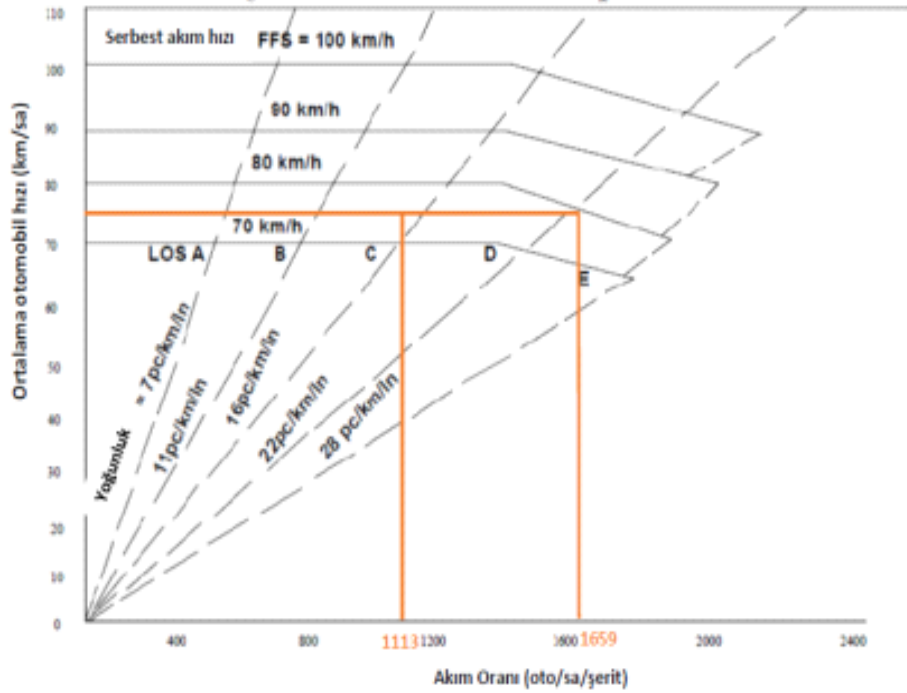
Gözlem saati	Serbest akım hızı (FFS) (km/saat)	Ağır araç oranı	f_{HV}	V_p	$D = V_p / FFS$	Hizmet düzeyi
07:30 – 08:30	75	0,11	0,96	1659	23,7	E
17:15 – 18:15	75	0,18	0,94	1113	15,9	C

Çizilen hız-akım oranı grafiği Şekil 7.52’de verilmiştir. Hız-akım oranı grafiğinden yaralanarak hizmet düzeyi analizi yapılmıştır. HCM 2010’a dayanarak yapılan analizde farklı saatlere ait hizmet düzeyleri Şekil 7.53’de gösterilmiştir.

Serbest akım hızı 75 km/saat için sabah zirve saatlerde 1659 oto/saat/şerit akım oranında hizmet düzeyi E'dir. Akşam zirve saatlerde 1113 oto/saat/şerit akım oranında karayolu C düzeyinde hizmet vermektedir.



Şekil 7.52 Yeşildere Caddesi hız-akım oranı grafiği



Şekil 7.53 Yeşildere Caddesi hizmet düzeyi analizi

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Araştırma kapsamında, sinyalize kavşaklarda ve çok şeritli kent içi karayollarında Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) değerinin belirlenmesi amacıyla ağır araç etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Analitik yöntemler olarak Highway Capacity Manual'ın (HCM 2010) önerdiği yöntemler, takip aralığı yöntemi ve gecikmeye bağlı EOB hesaplama yöntemi kullanılmıştır. AIMSUN ve SIDRA programları da analizler için analitik yaklaşımlara yardımcı olarak tercih edilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında sinyalize kavşaklar için Aliğa İlçesi POAŞ kavşağı, Gaziemir İlçesi Akçay Caddesi Semt Garajı kavşakları ve çok şeritli kent içi karayolları için Konak İlçesi Yeşildere Caddesi incelenmiştir.

Analizler kapsamında incelenen karayolu kesimlerinin, mevcut koşullarda performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Kavşak kollarının performans ölçütleri olarak;

- Gecikme değerleri (araç başına ortalama gecikme - saniye),
- Kuyruk uzunluğu (araç),
- Zaman cinsinden takip aralığı (saniye) değeri, alınmıştır.

Analizlere göre Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) değerleri, araştırma yapılan bölgelere ve yönteme göre Bölüm 7'de yer almaktadır. Gözlem verilerine göre hesaplanan EOB değerleri 1 ile 2 arasında değişmektedir. HCM 2010'a göre sinyalize kavşaklar için EOB değeri 2 olarak önerilmektedir. Ülkemizde ise TS6407'de dönel sinyalize kavşaklar için 2,25 önerilmektedir.

Aliğa ilçesi POAŞ kavşağı için yapılan analizler sonucunda 3 kavşak kolu için de D_PCE (Delay_based Passenger Car Equivalents) değerleri hesaplanmıştır. İzmir yaklaşım kolu doğru geçişler ve sola dönüşlerde otobüs oranı %5'den %20'ye artarken D_PCE değeri 2 ile 3 aralığında değişmektedir. Kamyon, tır ve yakıt tankerlerine ait değerlere bakıldığında ağır araç oranı arttıkça otobüslere göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ağır araç oranı %20 olduğunda bu üç araç tipi için

de D_PCE 4'den büyük hesaplanmıştır. Aliağa yaklaşım kolunda D_PCE değerleri hem doğru geçişlerde hem de sola dönüşlerde 3'den küçüktür. POAŞ yaklaşım kolunda ise sağa dönüşlerde elde edilen değerler, sola dönüşlere göre daha yüksektir. Sağa dönüşlerde kamyonlara, sola dönüşlerde yakıt tankerlerine ait değerler daha yüksek hesaplanmıştır.

Gaziemir İlçesi Akçay Caddesi Semt Garajı kavşaklarında HCM 2010'a göre yapılan analizlerde Konak – havaalanı yönü doğru giden akım için gecikme değeri 12,84 saniye ve Havaalanı - Konak yönü ise 11,17 saniye olarak bulunmuştur. AIMSUN benzetim modelinden elde edilen değerler Konak - havaalanı yönü için 12,16 saniye, havaalanı - Konak yönü ise 13 saniyedir. SIDRA Intersection analiz programından elde edilen gecikme değerleri ise yaklaşık olarak 12,9 saniyedir. Sonuçların birbirine oldukça yakın ve tutarlı olduğu görülmektedir. Elde edilen gecikme değerlerine göre D_PCE değerleri hesaplanmış ve değerlerin 1,5 ile 2,0 aralığında değiştiği görülmüştür. Çalışmada takip aralığı verilerine bağlı olarak hesaplanan EOB değerleri otobüs için 1,83; kamyon için 1,98 olarak hesaplanmıştır. Akçay Caddesi için incelenen sinyalizasyon kavşaklarında ağır araçlar için EOB değeri 1,74 olarak belirlenmiştir.

D_PCE değerini etkileyen parametreleri bulmak amacıyla senaryolarda şerit genişliği, şerit sayısı ve devre süresi değiştirilerek etkileri değerlendirilmiştir. İlk olarak incelenen parametre şerit genişliğidir. Ağır araç oranına göre şerit genişliği - D_PCE ilişkisi incelendiğinde; düşük ağır araç oranında şerit genişliği, D_PCE üzerinde etkilidir. Ağır araç oranı arttıkça şerit genişliğinin D_PCE üzerindeki etkisi azalmaktadır. Bu nedenle düşük ağır araç oranına sahip sinyalizasyon kavşaklarında ağır araç etkisi, şerit genişliğinde yapılacak değişiklikler ile azaltılabilir.

İncelenen bir diğer parametre şerit sayısıdır. Düşük hacimlerde şerit sayısı D_PCE üzerinde etkili değildir. Hacim arttıkça şerit sayısı 1 veya 2 olduğunda yaklaşık değerler hesaplanmış ve bu iki durumda şerit sayısının D_PCE üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Şerit sayısı 3 olduğunda daha düşük D_PCE değerleri bulunmuş ve değerler düştüğü için şerit sayısının etkisi azalmaktadır.

Devre süresi incelenen son parametredir. Analizler sonucunda devre süresinin D_PCE üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Bu sonuçlar iki farklı devre süresi (70 saniye ve 90 saniye) ile sınırlıdır. Çeşitli karayolu kesimlerinde farklı devre süreleri için senaryolar oluşturularak çalışma kapsamı genişletilebilir.

Araştırmanın son aşamasında ise Konak İlçesi Yeşildere Caddesi'nden elde edilen veriler kullanılarak üç şeritli bölünmüş karayolunun trafik performansı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Trafik performansının değerlendirilmesi gerek uzun dönemli planlama gerekse de kısa vadede sunulabilecek çözüm önerileri açısından oldukça büyük önem taşımaktadır. Çalışmada takip aralığı verilerine bağlı olarak EOB değeri 1,33 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler literatürde kabul gören değerlere yakın olmakla birlikte gözlem bölgesindeki sürücü davranışlarına ve sürüş alışkanlıklarına bağlı olarak değişmektedir.

Hesaplamalarda kavşak performansının belirlenmesi amacıyla Yeşildere Caddesi için HCM 2010'da verilmiş olan hizmet düzeyi kriterleri kullanılmıştır. A en iyi hizmet kalitesini, F ise en sıkışık trafik koşullarını ifade etmektedir. Yapılan analizler, sabah saatlerinde yapılan gözlemlerin çok yüksek akım oranına bağlı olarak yolun E hizmet düzeyinde ve kapasitesi dolaylarında hizmet verdiğini göstermiştir. Ancak akşam saatlerinde akım oranı düşük ve hizmet düzeyi ise C dolaylarındadır. Bu durum akşam zirve saatinin biraz daha geç bir zamanda başladığını düşündürmektedir.

Çalışma kapsamında araştırılan bütün gözlem noktaları için hesaplanan değerler kısıtlı veri grubu kullanılarak değerlendirilmiştir. İlerleyen zamanlarda veri sayısı ve gözlem noktası artırılarak sonuçlar geliştirilebilir ve gecikmeye bağlı modeller oluşturulabilir.

Ağır araçlar, büyük fiziksel özellikleri ve düşük manevra kabiliyetleri göz önüne alındığında trafikte hareket etmekte olan otomobil sürücülerini psikolojik olarak da etkilerler. Bu nedenle ağır araç sürücüleri ile otomobil sürücülerinin sürüş davranış farklılıklarını ortaya koyan çalışmalar bulunmakla birlikte oldukça azdır. Bu tez

alışması kapsamında, sürücü davranışlarını ortaya koyacak ayrıntıda veri grubu olmadığı için incelenememiştir. Sürücü davranışını incelemek amacıyla toplanacak veri grubunun tespit edilmesi ve araç tiplerine göre sürücü davranışlarının etkisinin belirlenmesi ilerleyen zamanda araştırılması gereken bir konudur.

Tez çalışması, hava koşullarının elverişli, görüşün açık, kaplama yüzeyinin kuru olduğu yağışsız günlerde toplanan veri grupları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle ağır araçlar için yağış etkisinin akım özelliklerini değıştirdiğı koşullarda bir çalışma da ilerleyen zamanda gerçekleştirilebilir.



KAYNAKLAR

Akcelik R., (2002). *SIDRA User Guide*, Akcelik & Associates Pty. Ltd.

Al-Kaisy, A., Jung, Y. ve Rakha, H. (2005). Developing passenger car equivalency factors for heavy vehicles during congestion. *Journal of Transportation Engineering*, 131:7, 514–523.

Benekohal, R. F. ve Zhao, W. (2000). Delay-based passenger car equivalents for trucks at signalized intersections. *Transportation Research Part A*, 34 (2000), 437–457.

Canseven, G. (2002). *Ağır araç oranının sinyalizasyon kavşak kapasitesine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Chandra, S. ve Kumar, U. (2003). Effect of lane width on capacity under mixed traffic conditions in India. *Journal of Transportation Engineering*, 129:2, 155–160.

Chaudhry, M. S. ve Ranjitkar, P. (2009). Capacity Analysis of signalised intersection using micro- simulation. *32nd Australian Transport Research Forum*, 32, 1–15.

Dey, P. P., Chandra, S. ve Gangopadhyay, S. (2008). Simulation of mixed traffic flow on two-lane roads. *Journal of Transportation Engineering* 134:9, 361–369.

Dowling, R., Skabardonis, A., ve Alexiadis, V. (2004). *Traffic analysis toolbox volume 3: guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. USA: U.S. Department of Transportation.

Feldman, O. (2012). The GEH measure and quality of the highway assignment models. *European Transport Conference* 18, 42–50.

- Giuffre, O., Grana, A., Marino, S. ve Galatioto, F. (2016). Microsimulation-based passenger car equivalents for heavy vehicles driving turbo-roundabouts. *Transport*, 31 (2), 295–303.
- Giuffre, O., Grana, A., Tumminello, M. L. ve Sferlazza, A. (2017). Capacity-based calculation of passenger car equivalents using traffic simulation at double-lane roundabouts. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 81, 11–30.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2009). *Devlet yolları trafik akımı özellikleri ve trafik parametreleri*. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2005). *Karayolu tasarım el kitabı*. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2014). *Karayollarında Hiz.* Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Kockelman, K. M. ve Shabih, R. A. (2000). Effect of vehicle type on the capacity of signalized intersections: the case of light-duty Trucks. *Journal of Transportation Engineering*, 126 (6), 506–512.
- Maini, P. ve Khan, S. (2000). Discharge characteristics of heterogeneous traffic at signalized intersections. *Transportation Research Circular, E-C018*, 258–270.
- Mathew, T. V. (2014) Chapter 5 Measurement at a Point. *Transportation Systems Engineering* 17, 5.1–5.17. India: Indian Institute of Technology Bombay.
- Metkari, M., Budhkar, A. K. ve Maurya, A. K. (2012). A review of passenger car equivalence for Indian conditions. *International Conference on Emerging Frontiers in Technology for Rural Area, EFITRA(5)*, 19-23.
- Moridpour, S., Mazloumi, E. ve Mesbah, M. (2015). Impact of heavy vehicles on surrounding traffic characteristics. *Journal of Advanced Transportation*, 49, 535–

Murat, Y. Ş. (1996). *Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Murat, Y. Ş. (2001). *Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği İle Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Nassiri H., Tabatabaie S. ve Sahebi, S. (2017). Delay-based passenger car equivalent at signalized intersections in Iran. *Traffic and Transportation* 29 (2), 135–142.

New Zealand Transport Agency (2016). *Economic Evaluation Manual*, 2, New Zealand.

Özuysal, M., Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S. ve Baran, T. (2009). Capacity prediction for traffic circles: applicability of ANN. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 162 (4), 195–206.

Perez-Cartagena, R. I. ve Tarko, A. P. (2005). Calibration of capacity parameters for signalized intersections in Indiana. *Journal of Transportation Engineering*, 131 (12), 904–911.

Praveen, P. S., Arasan, V. T. (2013). Influence of traffic mix on pcu value of vehicles under heterogeneous traffic conditions. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 3 (29), 302–330.

Rahman, M. M., Okura, I. ve Nakamura, F. (2003). Measuring passenger car equivalents for large vehicles at signalized intersections. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 1223–1233.

Roess, R. P., Prassas, E. S. ve McShane, W. R. (2010). *Traffic Engineering* (4th edition). USA.

- Roh, C., Park, B. ve Kim, J.(2017). Impact of heavy vehicles on highway traffic flows : case study in the Seoul Metropolitan Area. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 143, 1–14.
- Saha, P., Hossain, Q. S., Mahmud, H. M. I. ve Islam, Z. (2009). Passenger car equivalent of through vehicles at signalized intersections in Dhaka metropolitan city. *International Association of Traffic and Safety Sciences*, 33, 99–104.
- Sarvi, M. (2011). Heavy commercial vehicles-following behavior and interactions with different vehicle classes. *Journal of Advanced Transportation*, 47, 572–580.
- Tanyel, S., Çalışkanelli, P. S., Aydın, M. M. ve Utku, S. B. (2013). Yuvarlakada kavşaklardaki ağır araç etkisinin incelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, (406), 6479–6504.
- Transportation Research Board. (TRB), (2010). *Highway capacity manual*. Washington D.C.
- Transport Simulation Systems (TSS), (2010). *Aimsun 6.1 users manual*. Barcelona, Spain.
- Transport Simulation Systems (TSS), (2010). *Microsimulator and mesosimulator AIMSUN 6 . 1 users manual*. Barcelona, Spain.
- Türk Standartları Enstitüsü, (1989). *Şehir içi ulaşım hesaplamalarında kullanılan araç tiplerine göre otomobil eşdeğeri katsayıları*, TS 6407, Ankara.
- Washburn, S. S. ve Cruz-Casas, C. O. (2010). Impact of trucks on signalized intersection capacity. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25, 452–467.
- Yayla, N. (2011). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsan Yayınevi.

EKLER

EK 1: Örnek Hesap Tablosu

Tablo 1. HCM 2010 yöntemine ait örnek gözlem çalışma tablosu (TRB, 2010)

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :						Date:					
Survey Period:			AM Peak (x)			Off Peak ()			PM Peak ()		
Crossing Streets:											
Observers:											
Approach & Lane Group:											
No. Of Lanes (L) =						Free Flow Speed = km/h					
Survey Count Interval (I) = sec.											
Survey Time = min.						Clock Time: 00:00			-		
Cycle Length (C) = sec.						Green/Yellow Intervals =			Red=		
COUNT INTERVAL											
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00:00:01	1										
	2										
	3										
	4										
00:00:00	5										
	6										
	7										
	8										
	9										
00:00:00	10										
	11										
	12										
00:00:00											
TOTALS :		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =						0 (sum T totals row)					
No. Of Cycles Surveyed (N_c) =						#SA YI/0! (Survey Time / Cycle Length)					
V_{tot} =		0									
V_{stop} =		0									
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =						#SA YI/0! (V_{stop} / V_{tot})					
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =						#SA YI/0! ($V_{stop} / (N_c \times L)$)					
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =						0					
Time in Queue / Veh. =		#SA YI/0! sec. ($I \times (\sum V_{iq} / V_{tot}) \times 0.9$)									
Correction =		#SA YI/0!	sec.	(CF x FVS)							
Control Delay / Veh. =		#SA YI/0!	sec.	(Time in Queue/Veh. + Correction)							

EK 2: HCM 2010 Yöntemi Akçay Caddesine Ait Hesap Tabloları

Tablo 2. Gaziemir Konak-havaalanı yönü

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET												
Intersection :		Gaziemir - Konak - Havaalanı - 266						Date:		4.6.2013		
Survey Period:		AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)				
Crossing Streets:												
Observers:		Burcu Yiğit										
Approach & Lane Group:		Konak - Havaalanı 266 - 1										
No. Of Lanes (L) =		3			Free Flow Speed =			65			km/h	
Survey Count Interval (I) =		11			sec.							
Survey Time =		14			min.			Clock Time:			07:31 - 07:45	
Cycle Length (C) =		70			sec.			Green/Yellow Intervals =			37/4 Red=28	
COUNT INTERVAL												
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
07:31:09	1	5	5	10	7	5	0	0	0	0	0	
	2	5	8	8	5	4	0	0	0	0	0	
	3	5	8	10	5	3	0	0	0	0	0	
	4	3	8	6	2	1	0	0	0	0	0	
07:35:48	5	9	9	10	6	0	0	0	0	0	0	
	6	7	9	10	4	1	0	0	0	0	0	
	7	5	6	14	8	3	0	0	0	0	0	
	8	7	10	14	8	2	0	0	0	0	0	
	9	5	7	12	5	0	0	0	0	0	0	
07:41:39	10	3	11	4	0	0	0	0	0	0	0	
	11	7	11	14	8	1	0	0	0	0	0	
	12	6	8	8	3	1	0	0	0	0	0	
07:45:09												
TOTALS :		67	100	120	61	21	0	0	0	0	0	
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =		369					(sum Totals row)					
No. Of Cycles Surveyed (N_c) =		12,00					(Survey Time / Cycle Length)					
V_{tot} =		462										
V_{stop} =		303										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =		0,66					(V _{stop} / V _{tot})					
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =		8,42					(V _{stop} / (N _c x L))					
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =		7										
Time in Queue / Veh. =		7,91					sec. (I x ($\sum V_{iq} / V_{tot}$) x 0.9)					
Correction =		4,59					sec. (CF x FVS)					
Control Delay / Veh. =		12,50					sec. (Time in Queue/Veh. + Correction)					

Tablo 2. devamı

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :		Gaziemir - Konak - Havaalanı - 266						Date:		4.6.2013	
Survey Period:		AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)			
Crossing Streets:											
Observers:		Burcu Yiğit									
Approach & Lane Group:		Konak - Havaalanı 266 - 2									
No. Of Lanes (L) =		3			Free Flow Speed =			65 km/h			
Survey Count Interval (I) =		11 sec.									
Survey Time =		14,03 min.			Clock Time:		07:35 - 07:49				
Cycle Length (C) =		70 sec.			Green/Yellow Intervals =		37/4		Red=28		
		COUNT INTERVAL									
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:35:48	1	9	9	10	6	0					
	2	7	9	10	4	1	0				
	3	5	6	14	8	3	0				
	4	7	10	14	8	2	0				
07:40:28	5	5	7	12	5	0					
	6	3	11	4	0						
	7	7	11	14	8	1	0				
	8	6	8	8	3	1	0				
	9	4	9	14	1	0					
07:46:18	10	6	10	10	9	0					
	11	4	10	14	13	0					
	12	7	7	10	1	0					
07:49:50											
TOTALS :		70	107	134	66	8	0	0	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =		385					(sum Totals row)				
No. Of Cycles Surveyed (N_c) =		12,03					(Survey Time / Cycle Length)				
V_{tot} =	447										
V_{stop} =	317										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =		0,71					(V _{stop} / V _{tot})				
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =		8,78					(V _{stop} / (N _c x L))				
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =		7									
Time in Queue / Veh. =		8,53 sec.					(I x ($\sum V_{iq}$ / V _{tot}) x 0.9)				
Correction =		4,96	sec.	(CF x FVS)							
Control Delay / Veh. =		13,49 sec.					(Time in Queue/Veh. + Correction)				

Tablo 2. devamı

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :	Gaziemir - Konak - Havaalanı - 266						Date: 4.6.2013				
Survey Period:	AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)				
Crossing Streets:											
Observers:	Burcu Yiğit										
Approach & Lane Group:	Konak - Havaalanı 266 - 3										
No. Of Lanes (L) =	3			Free Flow Speed =			65 km/h				
Survey Count Interval (I) =	11 sec.										
Survey Time =	14,05 min.			Clock Time:			07:40 - 07:54				
Cycle Length (C) =	70 sec.			Green/Yellow Intervals =			37/4 Red=28				
COUNT INTERVAL											
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:40:28	1	5	7	12	5	0					
	2	3	11	4	0	0					
	3	7	11	14	8	1	0				
	4	6	8	8	3	1	0				
07:45:09	5	4	9	14	1	0					
	6	6	10	10	9	0					
	7	4	10	14	13	0					
	8	7	7	10	1	0					
	9	4	2	3	7	0					
07:51:01	10	10	11	10	7	0					
	11	8	8	8	7	1	0				
	12	7	14	14	6	0					
07:54:31											
TOTALS :		71	108	121	67	3	0	0	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) = 370 (sum Totals row)											
No. Of Cycles Surveyed (N_c) = 12,04 (Survey Time / Cycle Length)											
V_{tot} =	444										
V_{stop} =	302										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) = 0,68 (V _{stop} / V _{tot})											
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle = 8,36 (V _{stop} / (N _c x L))											
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) = 7											
Time in Queue / Veh. = 8,25 sec. (I x ($\sum V_{iq} / V_{tot}$) x 0.9)											
Correction = 4,76 sec. (CF x FVS)											
Control Delay / Veh. = 13,01 sec. (Time in Queue/Veh. + Correction)											

Tablo 2. devamı

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :	Gaziemir - Konak - Havaalanı - 266						Date:	4.6.2013			
Survey Period:	AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)				
Crossing Streets:											
Observers:	Burcu Yiğit										
Approach & Lane Group:	Konak - Havaalanı 266 - 4										
No. Of Lanes (L) =	3			Free Flow Speed =			65 km/h				
Survey Count Interval (I) =	11 sec.										
Survey Time =	14,08 min.			Clock Time:			07:46 - 08:00				
Cycle Length (C) =	70 sec.			Green/Yellow Intervals =			37/4 Red=28				
COUNT INTERVAL											
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:46:18	1	6	10	10	9	0					
	2	4	10	14	13	0					
	3	7	7	10	1	0					
	4	4	2	3	7	0					
07:51:01	5	10	11	10	7	0					
	6	8	8	8	7	1	0				
	7	7	14	14	6	0					
	8	9	13	12	3	0					
	9	8	12	11	1	0					
07:56:52	10	8	6	13	2	0					
	11	10	10	13	2	0					
	12	8	12	10	1	0					
08:00:23											
TOTALS :		89	115	128	59	1	0	0	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) = 392 (sum Totals row)											
No. Of Cycles Surveyed (N_c) = 12,07 (Survey Time / Cycle Length)											
V_{tot} =	476										
V_{stop} =	312										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) = 0,66 (V_{stop} / V_{tot})											
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle = 8,62 ($V_{stop} / (N_c \times L)$)											
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) = 7											
Time in Queue / Veh. = 8,15 sec. ($(I \times \sum V_{iq} / V_{tot}) \times 0.9$)											
Correction = 4,59 sec. (CF x FVS)											
Control Delay / Veh. = 12,74 sec. (Time in Queue/Veh. + Correction)											

Tablo 3. Gaziemir havaalanı - Konak yönü

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :		Gaziemir - Havaalanı-Konak - 266						Date:		4.6.2013	
Survey Period:		AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)			
Crossing Streets:											
Observers:		Burcu Yiğit									
Approach & Lane Group:		Havaalanı - Konak - 1									
No. Of Lanes (L) =		4			Free Flow Speed =		65		km/h		
Survey Count Interval (I) =		11			sec.						
Survey Time =		14			min.		Clock Time:		07:30		- 07:44
Cycle Length (C) =		70			sec.		Green/Yellow Intervals =		39/3		Red=28
COUNT INTERVAL											
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:30:20	1	9	8	8	7	3	2	0			
	2	6	7	11	9	4	1	0			
	3	8	9	4	5	1	0				
	4	8	10	8	7	5	2	0			
07:34:59	5	7	5	6	5	1	0				
	6	7	9	5	9	4	1	0			
	7	9	5	4	5	2	1	0			
	8	7	12	8	6	3	1	0			
	9	8	10	9	6	2	1	0			
07:40:50	10	5	4	6	7	4	0				
	11	7	11	7	5	3	1	0			
	12	11	9	10	7	3	2	0			
07:44:20											
TOTALS :		92	99	86	78	35	12	0	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =		402						(sum Totals row)			
No. Of Cycles Surveyed (N _c) =		12,00						(Survey Time / Cycle Length)			
V _{tot} =		580									
V _{stop} =		355									
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =		0,61						(V _{stop} / V _{tot})			
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =		7,40						(V _{stop} / (N _c x L))			
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =		7									
Time in Queue / Veh. =		6,86						sec. (I x ($\sum V_{iq} / V_{tot}$) x 0.9)			
Correction =		4,28						sec. (CF x FVS)			
Control Delay / Veh. =		11,15						sec. (Time in Queue/Veh. + Correction)			

Tablo 3. devamı

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :		Gaziemir - Havaalanı-Konak - 266						Date:		4.6.2013	
Survey Period:		AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)			
Crossing Streets:											
Observers:		Burcu Yiğit									
Approach & Lane Group:		Havaalanı - Konak - 2									
No. Of Lanes (L) =		4			Free Flow Speed =		65		km/h		
Survey Count Interval (I) =		11			sec.						
Survey Time =		14,03			min.		Clock Time:		07:34		- 07:49
Cycle Length (C) =		70			sec.		Green/Yellow Intervals =		39/3		Red=28
COUNT INTERVAL											
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:34:59	1	6	4	6	5	3	1	0			
	2	8	9	6	9	3	1	0			
	3	9	5	6	4	3	1	0			
	4	9	12	7	6	3	1	0			
07:39:40	5	8	10	9	6	3	1	0			
	6	8	4	7	6	4	2	0			
	7	9	11	7	5	3	1	0			
	8	11	9	10	7	5	2	1	0		
	9	8	8	7	5	4	1	0			
07:45:31	10	11	9	7	6	8	2	1	0		
	11	8	7	2	1	1	0				
	12	7	8	8	5	3	1	0			
07:49:01											
TOTALS :		102	96	82	65	43	14	2	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =		404					(sum Totals row)				
No. Of Cycles Surveyed (N_c) =		12,03					(Survey Time / Cycle Length)				
V_{tot} =	576										
V_{stop} =	358										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =		0,62					(V _{stop} / V _{tot})				
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =		7,44					(V _{stop} / (N _c x L))				
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =		7									
Time in Queue / Veh. =		6,94					sec. (I x ($\sum V_{iq} / V_{tot}$) x 0.9)				
Correction =		4,35	sec.		(CF x FVS)						
Control Delay / Veh. =		11,29					sec. (Time in Queue/Veh. + Correction)				

Tablo 3. devamı

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :		Gaziemir - Havaalanı-Konak - 266						Date:		4.6.2013	
Survey Period:		AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)			
Crossing Streets:											
Observers:		Burcu Yiğit									
Approach & Lane Group:		Havaalanı - Konak - 3									
No. Of Lanes (L) =		4			Free Flow Speed =			65		km/h	
Survey Count Interval (I) =		11			sec.						
Survey Time =		14,03			min.			Clock Time:		07:39 - 07:53	
Cycle Length (C) =		70			sec.			Green/Yellow Intervals =		39/3 Red=28	
		COUNT INTERVAL									
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:39:40	1	8	10	8	6	5	3	0			
	2	6	4	6	6	4	2	0			
	3	9	11	7	6	2	1	0			
	4	10	8	10	8	5	2	1	0		
07:44:20	5	8	8	7	5	4	3	0			
	6	11	9	8	6	8	3	1	0		
	7	8	7	4	3	1	0				
	8	6	8	8	4	2	0				
	9	8	7	6	2	1	0				
07:50:11	10	4	11	4	6	2	0				
	11	7	6	4	5	3	1	0			
	12	6	8	9	10	7	4	1	0		
07:53:42											
TOTALS :		91	97	81	67	44	19	3	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =		402					(sum Totals row)				
No. Of Cycles Surveyed (N_c) =		12,03					(Survey Time / Cycle Length)				
V_{tot} =	568										
V_{stop} =	341										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =		0,60					(V _{stop} / V _{tot})				
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =		7,09					(V _{stop} / (N _c x L))				
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =		7									
Time in Queue / Veh. =		7,01			sec.		(I x ($\sum V_{iq}$ / V _{tot}) x 0.9)				
Correction =		4,20			sec.		(CF x FVS)				
Control Delay / Veh. =		11,21			sec.		(Time in Queue/Veh. + Correction)				

Tablo 3. devamı

FIELD INTERSECTION CONTROL DELAY WORKSHEET											
Intersection :		Gaziemir - Havaalanı-Konak - 266						Date:		4.6.2013	
Survey Period:		AM Peak ()			Off Peak ()			PM Peak (x)			
Crossing Streets:											
Observers:		Burcu Yiğit									
Approach & Lane Group:		Havaalanı-Konak - 4									
No. Of Lanes (L) =		4			Free Flow Speed =		65		km/h		
Survey Count Interval (I) =		11			sec.						
Survey Time =		14,03			min.		Clock Time:		07:45		- 07:59
Cycle Length (C) =		70			sec.		Green/Yellow Intervals =		39/3		Red=28
		COUNT INTERVAL									
Clock Time	Cycle No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07:45:31	1	11	9	7	6	8	2	0			
	2	8	7	3	2	0					
	3	9	8	7	5	1	0				
	4	8	7	6	3	1	0				
07:50:11	5	7	11	6	4	3	0				
	6	9	7	5	3	1	0				
	7	9	8	8	11	7	4	1	0		
	8	15	14	8	6	7	8	2	0	0	
	9	11	4	7	6	5	1	0			
07:56:02	10	9	7	5	6	2	0				
	11	7	8	8	5	5	0				
	12	9	7	10	6	5	1	0			
07:59:33											
TOTALS :		112	97	80	63	45	16	3	0	0	0
Total Vehicle-In-Queue Count ($\sum V_{iq}$) =		416					(sum Totals row)				
No. Of Cycles Surveyed (N_c) =		12,03					(Survey Time / Cycle Length)				
V_{tot} =	607										
V_{stop} =	368										
Fraction of Veh. Stopping (FVS) =		0,61					(V_{stop} / V_{tot})				
Avg. No. Veh. Stopping per Lane each Cycle =		7,65					$(V_{stop} / (N_c \times L))$				
Acc.-Dec. Delay Correction Factor (CF) =		7									
Time in Queue / Veh. =		6,78					sec. $(I \times (\sum V_{iq} / V_{tot}) \times 0.9)$				
Correction =		4,24	sec.		(CF x FVS)						
Control Delay / Veh. =		11,03					sec. (Time in Queue/Veh. + Correction)				