

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAVŞAKLARDA TRAFİK SİMÜLASYON
TEKNİKLERİNİN KULLANILMASI VE SİMÜLASYON
PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan Abdurrahman SARI

Enstitü Anabilim Dalı	:	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı	:	ULAŞTIRMA
Tez Danışmanı	:	Prof. Dr. Hakan GÜLER
Ortak Danışman	:	Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN

Temmuz 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVŞAKLARDA TRAFİK SİMÜLASYON
TEKNİKLERİNİN KULLANILMASI VE SİMÜLASYON
PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan Abdurrahman SARI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA

Bu tez 16.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Furkan Abdurrahman SARI

24.06.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Hakan GÜLER ve Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KARAYOLLARINDA KAVŞAK TÜRLERİ VE KAVŞAK TASARIMI	4
2.1. Giriş	4
2.2. Kavşak Türleri	5
2.2.1. Eşdüzey kavşaklar	5
2.2.1.1. Kol sayısına göre kavşaklar	6
2.2.1.1.1. Üç kollu kavşaklar.....	6
2.2.1.1.2. Dört kollu kavşaklar	7
2.2.1.1.3. Çok kollu kavşaklar.....	8
2.2.1.2. Trafik denetleme sistemlerine göre kavşaklar.....	9
2.2.1.2.1. Denetimsiz kavşaklar	9
2.2.1.2.2. Denetimli kavşaklar.....	10
2.2.1.2.3. Dönel kavşaklar	11
2.2.2. Farklı düzeyli kavşaklar	12
2.2.2.1. Üç kollu kavşaklar	13

2.2.2.1.1. Trompet kavşaklar	13
2.2.2.1.2. Yarım yonca kavşaklar	13
2.2.2.1.3. Direksiyonel ve yarı direksiyonel kavşaklar	14
2.2.2.2. Dört kollu kavşaklar	15
2.2.2.2.1. Döngülü kavşaklar.....	15
2.2.2.2.2. Diamond kavşaklar.....	15
2.2.2.2.3. Yonca kavşaklar.....	16
2.2.2.2.4. Dönel Kavşaklar	17
2.2.2.2.5. Direksiyonel ve yarı direksiyonel kavşaklar	17
2.2.2.2.6. Tek nokta kavşaklar.....	18
2.2.2.3. Farklı düzey kavşak kombinasyonları.....	19
2.3. Kavşak Tasarımı	20
2.3.1. Kavşaklarda güzergâh.....	21
2.3.2. Kavşaklarda köşe tasarımları.....	24
2.3.3. Kavşaklarda yardımcı şeritler	24
2.3.3.1. Sağa dönüş şeridi	24
2.3.3.2. Sola dönüş şeridi	25
2.3.4. Kavşaklarda kanallama.....	26
2.3.4.1. Damla tasarımı	27
2.3.4.2. Ada tasarımı	27
2.3.4.2.1. Yönlendirme (kanalize) adaları	28
2.3.4.2.2. Ayırma adaları	29
2.3.5. Kavşaklarda çakışma noktaları	29
2.3.6. Eş düzey kavşaklarda trafik hareketleri.....	30
2.3.7. Kavşaklarda örülme	32
BÖLÜM 3. TRAFİK AKIM PARAMETRELERİ.....	34
3.1. Trafik Hacmi, Trafik Yoğunluğu ve Hız Kavramları	34
3.1.1. Trafik hacmi.....	34
3.1.2. Trafik hızı	39
3.1.3. Trafik yoğunluğu	45
3.1.4. Takip süresi ve takip aralığı.....	47

BÖLÜM 4.

TRAFİK AKIM PARAMETRELERİ ARASINDAKİ MATEMATİKSEL

İLİŞKİ	49
4.1. Trafik Yoğunluğu ve Trafik Hızı Arasındaki İlişki	49
4.2. Trafik Hızı ve Trafik Hacmi Arasındaki İlişki	50
4.3. Trafik Yoğunluğu ve Trafik Hacmi Arasındaki İlişki	51

BÖLÜM 5.

ARAÇ YÖRÜNGE DİYAGRAMLARI VE TRAFİKTE ŞOK

DALGALANMALAR	54
5.1. Şok Dalgaları	55

BÖLÜM 6.

TRAFİK SİMÜLASYON TEKNİKLERİ	60
6.1. Simülasyon Kavramı	60
6.2. Simülasyonun Tarihsel Gelişimi	60
6.3. Simülasyon Bileşenleri	61
6.4. Simülasyon Çeşitleri	62
6.5. Simülasyonların Kullanım Alanları	62
6.6. Simülasyonların Avantaj ve Dezavantajları	63
6.6.1. Avantajları	63
6.6.2. Dezavantajları	64
6.7. Trafik Akımının Modellenmesi	64
6.7.1. Analitik modeller	64
6.7.2. Makroskobik modeller	65
6.7.3. Mikroskobik modeller	65
6.7.4. Mezokobik Modeller	67
6.8. Trafik Simülasyonu Kavramı	67
6.9. Trafik Simülasyon Yazılımlarını Tercihle Belirleyici Faktörler	69

BÖLÜM 7.

AİMSUN VE VİSSİM PROGRAMLARININ KULLANILMASI VE

KAVŞAKLARIN ANALİZLERİ.....	71
7.1. Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi.....	71
7.2. Kavşakların Tespiti ve Seçilme Nedenleri.....	72
7.3. Çalışmada Kullanılan Yöntem.....	72
7.4. Çalışmada Ele Alınan Kavşaklar	73
7.4.1. Tunatan kavşağı	73
7.4.2. Tüvasaş kavşağı.....	76
7.4.3. Hastane kavşağı	78
7.5. Vissim ve Aimsun Programlarının Karşılaştırma Parametreleri.....	79
7.5.1. Kavşakları oluşturan yolların (link-section) çizimi	80
7.5.2. Simülasyondaki araç tip ve sınıfları (vehicle type-vehicle class)	82
7.5.3. Simülasyonda araç hızları (desired speed)	83
7.5.4. Simülasyonda trafik akım oranları (relative flows).....	84
7.5.5. Simülasyonlara araç girişlerinin tanımlanması (vehicle inputs)..	85
7.5.6. Simülasyonda araç rotaları (vehicle routes-od routes)	86
7.5.7. Çakışma noktaları ve geçiş öncelikleri (conflict areas-priority rules).....	87
7.5.8. Programların üç boyut (3d) kabiliyetleri	88
7.5.9. Programlarda verilerin toplanması	89

BÖLÜM 8.

TRAFİK SİMÜLASYON PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRMALI

ANALİZLERİ	91
8.1. Mikroskobik Trafik Simülasyon Yazılımlarına Genel Bakış.....	91
8.1.1. Vissim	91
8.1.2. Aimsun.....	93
8.1.3. Corsim	94
8.1.4. Paramics	94
8.2. Altı Farklı Simülasyon Programının Karşılaştırılması	95
8.3. Trafik Yönetim Sistemlerinde Farklı İsteklere Farklı Çözümler	96

BÖLÜM 9.

DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR	98
9.1. Değerlendirmeler	98
9.1.1. Aimsun ve vissim ile yapılan simülasyonlar	98
9.1.1.1. Kavşakların mevcut durumları	98
9.1.1.2. Mevcut duruma çözüm önerileri ve elde edilen sonuçlar	101
9.1.2. Aimsun ve vissim ile yapılan analizlerin istatistikî karşılaştırması	106
9.1.3. Bağımsız örneklem t testi	108
9.1.4. Eşit varyasların olması durumu	109
9.1.5. Eşit varyasların olmaması durumu	109
9.1.6. Mann-whitney u testi	110
9.1.7. Bağımsız örneklem t testi ve mann-whitney u testi sonuçları aşağıda sunulmuştur	112
9.2. Sonuçlar	114
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

FHWA	: Federal Highway Administration
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
PHF	: Pik Saat Faktörü
q	: Trafik Hacmi
k	: Trafik Yoğunluğu
S	: Seyahat Hızı
V	: Hız
hort	: Ortalama Takip Aralığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Eş Düzey Kavşak Tipleri	6
Şekil 2.2. Üç kollu kavşak.....	6
Şekil 2.3. Y tipi kavşak	7
Şekil 2.4. Dört kollu kavşak.....	8
Şekil 2.5. Beş kollu kavşak	8
Şekil 2.6. Trompet kavşak.....	13
Şekil 2.7. Yarım yonca kavşak	14
Şekil 2.8. Direksiyonel ve Yarı Direksiyonel	14
Şekil 2.9. Tek döngülü dört kollu kavşak.....	15
Şekil 2.10. Elmas kavşak	16
Şekil 2.11. Yonca kavşak.....	16
Şekil 2.12. Dairesel Dönel Kavşak	17
Şekil 2.13. Tam direksiyonel kavşak.....	18
Şekil 2.14. Tek nokta kavşak.....	19
Şekil 2.15. Farklı kavşak kombinasyonu	20
Şekil 2.16. Kavşaklarda güzergâh	22
Şekil 2.17. Kavşaklarda dönüş açıları	23
Şekil 2.18. Kavşaklarda görüş açıları.....	23
Şekil 2.19. Sağa Dönüş Şeridi.....	25
Şekil 2.20. Sola Dönüş Şeridi	25
Şekil 2.21. Sola Dönüş Şeridi	26
Şekil 2.22. Yanlış refüj uygulaması.....	26
Şekil 2.23. Damla Tasarımı	27
Şekil 2.24. Yönlendirme adaları.....	28
Şekil 2.25. Ayırma Adaları	29
Şekil 2.26. Kavşakta Çakışma Noktaları	30

Şekil 2.27. Kavşakta hareketler.....	31
Şekil 2.28. Çakışma hareketleri	31
Şekil 2.29. Çakışma noktaları	32
Şekil 2.30. Çakışma Noktaları	32
Şekil 2.31. Örüme Mesafesi.....	33
Şekil 2.32. Noktasal ada.....	33
Şekil 3.1. %85'inci hızın tespit edilmesi için örnek grafik.....	44
Şekil 3.2. Düşük Yoğun Trafik.....	45
Şekil 3.3. Hafif Yoğun Trafik	46
Şekil 3.4. Orta Yoğun Trafik	46
Şekil 3.5. Çok Yoğun Trafik.....	46
Şekil 3.6. Sıkışık Trafik.....	47
Şekil 3.7. Takip süresi ve takip mesafesi	47
Şekil 4.1. Trafik yoğunluğu-hız arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.2. Trafik hacmi-hız arasındaki ilişki	51
Şekil 4.3. Yoğunluk- Hacim Arasındaki İlişki.....	52
Şekil 4.4. Akım oranı-Hız ve Yoğunluk İlişkisi	53
Şekil 5.1. Akım-Yoğunluk grafiğinden hızın bulunması.....	54
Şekil 5.2. Hız doğruları	55
Şekil 5.3. Trafikte dalgalanmanın görölmesi	55
Şekil 5.4. Şok dalgalanmanın görüldüğü bölge	56
Şekil 5.5. Trafik değerlerinin farklı olduğu kesimler	56
Şekil 5.6. Belli bir anda belli bir uzunlukta araçların temsili gösterimi	57
Şekil 5.7. Şok Dalgalanmaların Başladığı Kesim	57
Şekil 5.8. Şok Dalgalanmanın Akım-Yoğunluk Grafiğinde Gösterimi.....	58
Şekil 5.9. Şok Dalgalanmanın Yönü	59
Şekil 6.1. Kesikli ve Sürekli Simülasyon.....	69
Şekil 7.1. Tunatan kavşağı çekim noktaları	72
Şekil 7.2. Tüvasaş kavşağı çekim noktaları	73
Şekil 7.3. Tunatan Kavşağı	74
Şekil 7.4. Tunatan kavşağı akım kolları	74
Şekil 7.5. Tunatan kavşağı 7 nolu akım kolu sayım tablosu	75

Şekil 7.6. Trafikte günlere göre taşıt sınıfları dağılımı (KGM,2009)	76
Şekil 7.7. Tüvasaş kavşağı	77
Şekil 7.8. Tüvasaş kavşağı akım kolları.....	77
Şekil 7.9. Hastane kavşağı	78
Şekil 7.10. Hastane kavşağı akım kolları	79
Şekil 7.11. Yolların çizimi Vissim (Solda), Aimsun (Sağda)	80
Şekil 7.12. "Connector" ile yolların bağlanması Vissim (Üstte), Aimsun (Altta)..	81
Şekil 7.13. Birebir olarak çizilmiş Tunatan kavşağı Aimsun (solda), Vissim (Sağda).....	82
Şekil 7.14. Birebir olarak çizilmiş Tüvasaş Kavşağı Aimsun (solda), Vissim (Sağda).....	82
Şekil 7.15. Araç Tiplerinin (Vehicle Types) Özelleştirilmesi Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	83
Şekil 7.16. Araç Sınıflarının (Vehicle Classes) Özelleştirilmesi Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	83
Şekil 7.17. Araç Hızlarının (Desired Speed) Ayarlanması Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	84
Şekil 7.18. Akım oranlarının ayarlanması Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)	84
Şekil 7.19. Araç atamaları (Vehicle Inputs) Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	85
Şekil 7.20. Aimsun'a araç ataması gerçekleştirmek için hazırlanmış O-D matrislerinden biri	85
Şekil 7.21. Vissim'de araç giriş noktası 5.kol siyah renkle gösterilmiştir (Sağda)	86
Şekil 7.22. Araç rotalarına Tunatan kavşağından bir örnek Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	86
Şekil 7.23. Tüvasaş kavşağı kuzey birleşimi çakışma noktaları Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	87
Şekil 7.24. Geçiş önceliği (Priority Rules) ayarlamaları Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	88
Şekil 7.25. Hız düşürme alanları (Reduced Speed Areas) Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	88
Şekil 7.26. Tüvasaş kavşağından üç boyutlu görüntü örneği Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	89

Şekil 7.27. Tunatan kavşağından üç boyutlu görüntü örneği Aimsun (Solda), Vissim (Sağda).....	89
Şekil 8.1. Vissim Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü	93
Şekil 8.2. Aimsun Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü	93
Şekil 8.3.Corsim Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü.....	94
Şekil 8.4. Paramics Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü.....	95
Şekil 9.1. Tunatan Kavşağı Mevcut Durum Trafik Akımı	99
Şekil 9.2. Tuvasaş Kavşağı Mevcut Durum Trafik Akımı	99
Şekil 9.3. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası trafik akımı değişimi	102
Şekil 9.4. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası gecikme süreleri değişimi	102
Şekil 9.5. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası trafik hızı değişimi	102
Şekil 9.6. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası kapasite değişimi....	103
Şekil 9.7. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası trafik akımı değişimi	104
Şekil 9.8. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası yoğunluk değişimi	104
Şekil 9.9. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası hız değişimi	105
Şekil 9.10. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası kapasite değişimi	105
Şekil 9.11. Bağımsız Örneklem Test Sonuçları.....	112
Şekil 9.12. Anlamlılık Düzeyi Test Sonucu	113
Şekil 9.13. Veri Setinin Histogram Grafiği	113

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Trafik karakteristiğinin değerlendirilmesi.....	37
Tablo 3.2. PHF ile örnek trafik akımlarının değerlendirilmesi	37
Tablo 3.3. PHF hesaplamaları Tuvasaş kavşağı	38
Tablo 3.4. PHF hesaplamaları Tunatan kavşağı	38
Tablo 3.5. PHF hesaplamaları Hastane kavşağı	39
Tablo 3.6. Hız hesaplamaları.....	42
Tablo 3.7. Hız hesaplamaları Tunatan kavşağı.....	42
Tablo 3.8. Ölçülen hızların dağılımları	43
Tablo 8.1. Farklı Trafik Simülasyon Programlarındaki Niteliklerin Karşılaştırması.....	96
Tablo 9.1. Tunatan Kavşağı Mevcut Durum Aimsun Simülasyon Sonuçları	100
Tablo 9.2. Tuvasaş Kavşağı Mevcut Durum Aimsun Simülasyon Sonuçları	101
Tablo 9.3. Tunatan Kavşağı Mevcut ve Öneri Simülasyon Sonuçları	103
Tablo 9.4. Tuvasaş Kavşağı Mevcut ve Öneri Simülasyon Sonuçları	105
Tablo 9.5. Literatür ve Uzman Görüşlerine Göre Vissim ve Aimsun Yazılımlarının Puanlandırması	106
Tablo 9.6. Grup İstatistikleri	112
Tablo 9.7. Normal Dağılıma Uygunluk Test Sonuçları.....	114

ÖZET

Anahtar kelimeler: Trafik Simülasyonu, Kavşak, Karşılaştırmalı Analiz, Kavşak Tasarımı, Aimsun, Vissim

Bir kent içindeki karayolu ulaşımında yayalar ve taşıtlar için kaza ihtimalinin en yüksek olduğu yerler karayollarının birbirleri ile kesiştiği ve bu kesişen yolların birlikte kullanıldığı ortak alanlar olan kavşaklardır. Bu tez kapsamında ele alınacak belirli kavşaklardaki trafik akımının güvenli bir şekilde sürekliliğinin sağlanması, gecikmelerin azaltılması, hızın belli bir değerde tutularak gerekli ve yeterli hizmet seviyesinin sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışma sırasında trafik akım verileri belirlenerek örnek olarak ele alınacak kavşaklardaki trafik akımının düzenlenmesi ve yapılan bu düzenlemelerin sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bir şehirdeki karayolu ulaşım sistemlerinin en önemli parçasını karayolu ağı oluşturmaktadır. Bu karayolu ağında yayaların ve taşıtların ulaşım hizmetinden en iyi şekilde faydalanması için iki veya daha fazla karayolunun birleştiği, kesiştiği ve birbirinden ayrıldığı kavşak noktalarında trafik akımındaki kesilmelerin, gecikmelerin azaltılması ve ulaşım güvenliğinin artırılması açısından karayolunun bu kesimindeki trafiğin regülasyonu ulaşım mühendisliği açısından elzemdir. Bu amaçla Sakarya ilinde örnek olarak ele alınacak belirli kavşaklardaki trafik akımları sayımlarla tespit edilerek bu sayımlar neticesinde elde edilen trafik akım verileri bilgisayar ortamına aktarılmış bilgisayar ortamında simüle edilen bu kavşaklarda uygulanacak tekniklerle trafik akımı iyileştirilmeye çalışılmış ve farklı programlardaki bu düzenlemelerin sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

USING TRAFFIC SIMULATION TECHNIQUES AT INTERSECTIONS AND A COMPARATIVE ANALYSIS OF SIMULATION PROGRAMS

SUMMARY

Keywords: Traffic Simulation, Intersection, Comparative Analysis, Intersection Design, Aimsun, Vissim

In road transportation in a city, the places where the accident probability is highest for pedestrians and vehicles are intersections, which are common areas where highways intersect and these intersecting roads are used together. In this thesis, it is aimed to ensure the continuity of the traffic flow at certain intersections that will be discussed in the scope of this thesis, to reduce the delays, and to provide the necessary and sufficient service level by keeping the speed at a certain value.

During the study, traffic flow data were determined and the traffic flow at the intersections to be considered as an example was arranged and the results of these arrangements were compared with each other. The road network is the most important part of the road transport systems in a city. In this road network, for pedestrians and vehicles to benefit from the transportation service in the best way, the regulation of the traffic in this section of the highway is essential in terms of transportation engineering in terms of reducing the interruptions in the traffic flow, delays and increasing the transportation safety at the junction points where two or more highways meet, intersect and separate from each other. For this purpose, traffic flows at certain intersections in the province of Sakarya, which will be considered as an example, were determined by counts, and the traffic flow data obtained as a result of these counts were transferred to the computer environment, the techniques to be applied at these intersections simulated in the computer environment were tried to improve the traffic flow and the results of these regulations in different programs were analyzed comparatively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Karayolu ulaşımında trafik akımının en çok yavaşladığı ve en fazla kesintiye uğradığı yerler kavşaklardır. Yine aynı şekilde yapılan çalışmalarda kaza istatistiklerine göre trafikte meydana gelen kazaların önemli bir bölümünün kavşaklarda gerçekleştiği görülmektedir. Kavşakların üzerinden geçecek ulaşım talebine göstereceği optimum performans ile cevap vermesi beklenmektedir. Yine daha önceden belirlenen hizmet seviyelerinde bu şekilde talebe cevap verirken güvenlikten de ödün vermeden ulaşım hizmetlerinin sağlanması kaçınılmazdır. Tüm dünyada evrensel olarak özel bir çalışma alanı olarak kabul gören kavşaklar birçok tez ve bilimsel araştırmanın konusu olmuş ve olmaya devam etmektedir (Tunç, 2003). Kavşakların bu denli ilgi görmesinin çok çeşitli nedenleri olmakla birlikte kavşaklara iki veya daha fazla yolun birleşmesi konunun matematiksel yönden kolay bir şekilde ifade edilmesini güçleştirmesi aynı zamanda birbirine bağlı çok değişkenli fonksiyonlarla ifade edilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Kavşaklarla alakalı olarak yapılan çalışmalarda konunun ilk ele alınan noktası mevcut durumun gözlemler ve yapılan incelemeler ile tespit altına alınmasıdır. Bu gözlem ve incelemelerin arasında en önemli iki unsur kavşağın geometrisi ve kavşaklarda yapılan trafik sayımlarıdır. Kavşak geometrisi kavşağın çalışma prensibini direk olarak etkilemekte ve belirlenen hizmet seviyesinde görev yapabilmesi için istenilen geometrik standartların sağlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Yayla, 2002). Trafik sayımları ise geometrik özellikleri belirlenen kavşakların üzerinden geçen araç sayılarının ve türlerinin daha önceden numaralandırılmış olan kavşak kollarına dağıtımının yapılabilmesi için veri toplama aşaması olarak nitelendirilmektedir. Tüm dünyada trafik sayımları yol olan her yerde yapılmakta ve bu sayımlar yapılırken eldeki imkanlar düzeyinde farklı metotlardan faydalanılmaktadır. Bu metotların birbirlerine göre pozitif ve negatif yanları mevcut olsa da ana gaye olan araçların sayılması hususunda bir fark bulunmamaktadır. Geometrisi oluşturulmuş ve üzerinden geçen araç sayıları belirlenmiş olan kavşakların

performans analizleri günümüzde pek çok farklı bilgisayar programıyla yapılabilmektedir. Bu programların en yaygın olarak kullanılanları ise mikro-simülasyon programlarıdır.

Bu tez çalışmasında; kavşak tasarımı, kavşaklarda trafik simülasyon programlarının kullanılması ve simülasyon programlarının karşılaştırmalı analizi ile ilgili konular ele alınmıştır. Ayrıca, trafik simülasyon çalışmalarında elde edilmesi hedeflenen çıktılarına uygun olarak doğru yazılımın kullanılmasıyla ilgili önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla trafik simülasyon programlarının araştırılması yapılarak, analizlerde esas alınan matematik modellerinin incelemesi yapılmıştır.

Sakarya ili ölçeğinde eş düzey ve hemzemin kavşaklar belirlenmiş, arazi çalışmaları yapılarak sayımlar gerçekleştirilmiş ve kavşakların analizi geleneksel yöntemlerle yapılmıştır. Mevcut durumda lisanlarına sahip olduğumuz Vissim ve Aimsun trafik simülasyon programları kullanılarak kavşakların simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Araç ve sürücü davranışları ile ilgili parametreler üzerine bilimsel çalışmalar yapılarak kavşak içinde gerek yaya gerekse araç davranışlarının gerçeğe yakın modellenmesi yapılmaya çalışılmıştır. Bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan Vissim ve Aimsun trafik simülasyon yazılımlarının karşılaştırmalı analizleri yapılarak zayıf ve güçlü yönleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Analizi yapılan kavşaklarda kısa, orta ve uzun dönemler için senaryo çalışmaları yapılmış ve kavşak analizlerinde hedeflenen amaca uygun olarak simülasyon yazılımlarının önerisi yapılmıştır.

Vissim yazılımı bir şehirdeki ulaşım altyapısını trafik mühendisliği açısından doğru bir biçimde tasarlamak için bir şehrin yollarındaki tüm unsurların hareketlerini ve birbirleriyle olan etkileşimlerinin modellenmesini sağlayarak trafikteki hareketlilikleri gözlemlene olanağı vermektedir. Trafikteki özel araçların, toplu taşıma araçlarının, bisiklet ve yayaların ayrıca lojistik araçlarının her birini bir arada canlandırabilen mikro ölçekli bu simülasyon programı 1992 yılında PTV Planung Transport Verkehr AG şirketi tarafından Almanya Federal Cumhuriyeti'nin Karlsruhe kentinde geliştirilmiştir.

Aimsun yazılımı ise mikro ölçekte trafik unsurlarını modelleyip canlandırmanın yanında daha karmaşık ve büyük ölçekteki bir ulaşım ağını da modelleyebilmektedir. Bir şehirdeki herhangi bir tekil kavşağı modelleyebildiği gibi bir otoyoldaki trafik akımını da simüle edebilmektedir. Bir şehrin tamamını makro ölçekte modelleyebilecek güçte olan Aimsun yazılımı trafik yönetiminde farklı tasarımların farklı sonuçlarını dijital bir şekilde göstererek ulaşım politikasında karar vericilere ulaşımın daha güvenli ve uygun maliyetli varyasyonlarının adeta bir ön izlemesini sunmaktadır. Polytechnic University of Catalonia’ da bir laboratuvar grubu çalışanları tarafından 1989 yılında geliştirilmeye başlanarak 1997 de AIMSUN2 olarak adlandırılan İspanyol menşei bu yazılım 2018 yılında Siemens Mobility Şirketi tarafından satın alınmış ve günümüzde çalışmalarına bu çatı altında devam etmektedir.

BÖLÜM 2. KARAYOLLARINDA KAVŞAK TÜRLERİ VE KAVŞAK TASARIMI

2.1. Giriş

Şehir içinde ve şehir dışında karayollarında yayaların ve karayolu taşıtlarının aynı düzlem üzerinde bulunduğu ve emniyetle birbirlerinin güzergahından geçtiği bölgelerde yapılan mühendislik yapılarına kavşak adı verilir (Yayla, 2004). Kavşaklar, iki, üç veya daha fazla yolun kesiştiği yerlerde; trafik akımının sürekliliğinin ve trafik güvenliğinin sağlanması, trafikte kesişim noktalarında azalan hız, artan bekleme ile oluşan kuyruklanmalar ve bunların yanında gelen işletme maliyetlerindeki artış gibi olumsuz durumların giderilmesi maksadıyla teşkil edilen trafik mühendisliği tasarımıdır (Tunç, 2003).

Kavşaklardaki hız, kapasite, işletme maliyetleri gibi parametreler kavşakları oluşturan yolların performans düzeylerini belirleyen faktörler olup bunlar tamamen bu mühendislik yapılarının tasarımlarına bağlıdır. Kavşaklar iki veya daha fazla yolun birleşim noktasındaki trafik akımlarını ve bu yolların birbiri üzerine dönüş hareketlerini kapsarlar. Bu hareketlerin birçoğu, kavşak tipinin bağlı olduğu, ihtiyaca uygun geometrik tasarımlar ve kontrollü trafik ile çözümlenebilir (Akmaz, 2012).

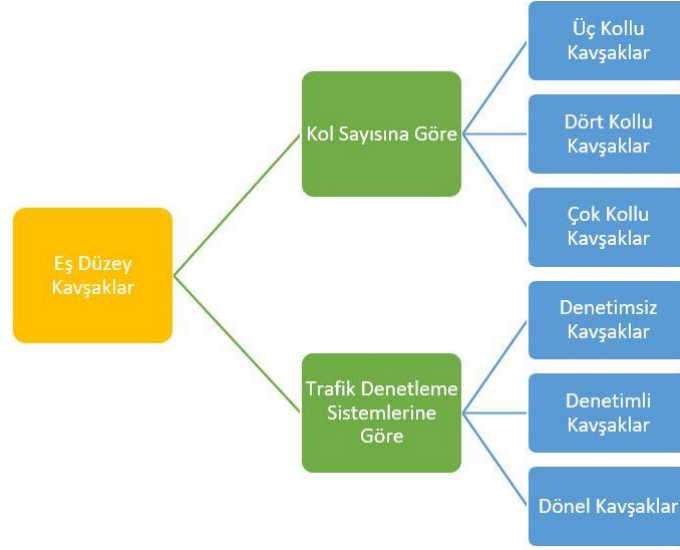
Kavşakların temel amacı anayolların ve tali yolların üzerindeki araç ve yaya trafiğini regüle etmek, aynı zamanda yakınlarındaki kavşakların hizmet kalitesini de arttırmaktır (Yalgın, 1975). Kavşaktaki trafik hacmi; şerit sayısına, tipine ve genişliğine gibi kavşak girişlerinin özelliklerine, sürücülerin tecrübesine ayrıca çevresel şartlara, o bölgedeki trafiğin kendine has özelliklerine ve trafik kontrol ünitelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Kavşakların düzenlemesiyle ilgili, aşağıdaki hususların göz önüne alınmalıdır: Farklı yönlerden gelen araçların birbiriyle çarpışmasını önlemek, kavşağı kullanacak farklı yöndeki araçların trafikte birbiri üzerindeki etkilerini minimize etmek, hızlanma ya da yavaşlamanın neden olacağı yakıt sarfiyatını ve zaman kaybını azaltmak, farklı yönlerden gelen araçlara güvenli geçiş için yeterli sürenin ve alanın sağlanmasına dikkat edilmelidir (Sonuç, 1975). Kavşaklar genel itibariyle yoğunluk düzeylerine göre dizayn edilirler; araç yoğunluğunun az olduğu yollarda "eş düzey(hemzemin) kavşaklar", araç yoğunluğunun fazla olduğu veyahut erişimin mutlak suretle kontrollü olarak yapıldığı yollarda "farklı düzeyli" olarak tasarlanırlar.

2.2. Kavşak Türleri

2.2.1. Eşdüzey kavşaklar

Değişik yönlerden gelip aynı kotta birleşen trafik akımlarının ortak bir şekilde kullandığı karayolu alanına “eş düzey kavşak” denilmektedir. Bir karayolundaki kesişimlerde bulunan tüm kavşakların farklı düzeyli olarak tasarlanıp inşa edilmesi altyapı yatırım bütçeleri çok fazla olan güçlü ekonomiye sahip ülkelerde bile oldukça zordur. Bundan dolayı hem şehir içi hem kırsal bölgelerdeki karayollarında bulunan kavşakların büyük çoğunluğunun eş düzey olarak tasarlanıp yapılması çokça tercih edilmektedir. Bu tip kavşaklar, kavşakta birleşen kolların sayısı ve birleşimin tarzına yani geometrik niteliklere göre yahut kavşakta bulunan trafik denetim şekline göre belli başlı tiplere ayrılırlar (Yayla, 2002).

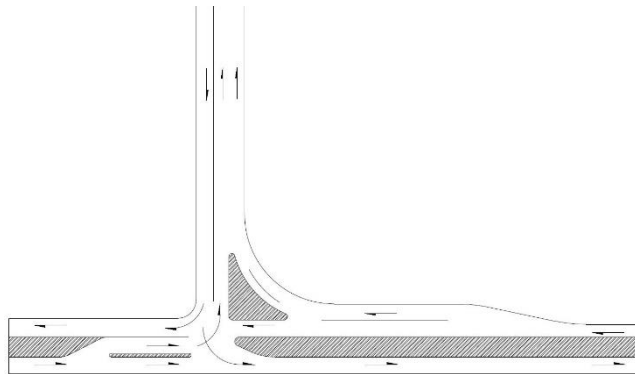


Şekil 2.1. Eş Düzey Kavşak Tipleri

2.2.1.1. Kol sayısına göre kavşaklar

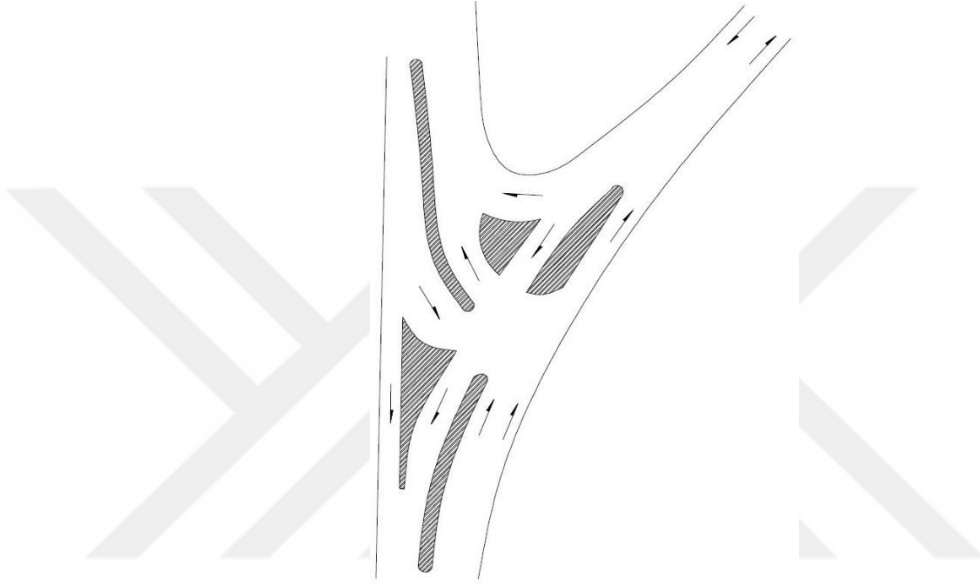
2.2.1.1.1. Üç kollu kavşaklar

Üç kollu T tipi kavşaklar, yönlendirme yapılmadan önce trafik hacminin az olduğu 2x1 şeritli şehir dışı yollarda kullanıldığı üzere aynı zamanda şehir içi 2x2 yollarda da kullanım alanı bulmaktadır. Trafik hacminin fazla olduğu anayol yan yol çakışmalarında, döner trafiği kontrol edebilmek ve yeterli dönüş yarıçaplarını ayarlayabilmek amacıyla kanallama yapılarak uygulamaya konulur (AASHTO, 1994). Yönlendirilmiş (kanalize edilmiş) kavşaklar, kapasitesinin gerekliliğine göre, özellikle şehir geçişlerinde kontrollü hale getirilerek uygulamaya konulur.



Şekil 2.2. Üç kollu kavşak

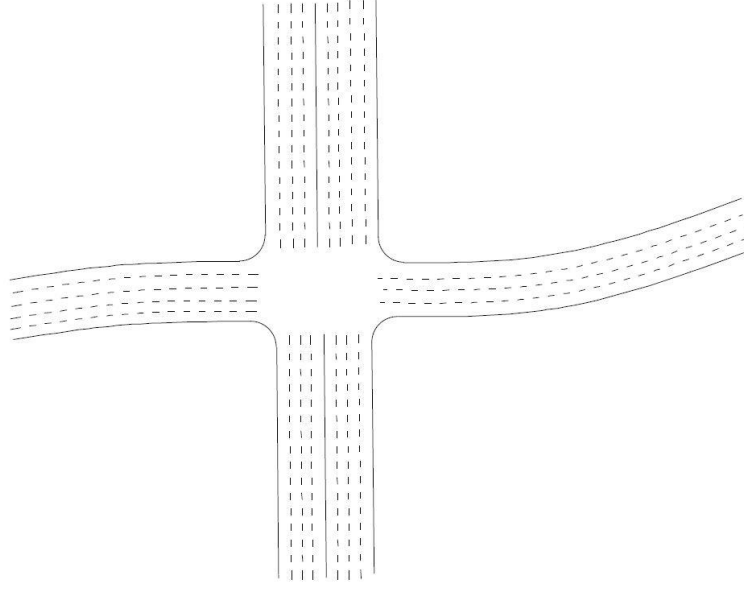
Üç kollu Y tipi kavşaklar ana yol ve yan yol çakışmalarında dar açılı bir şekilde birleştikleri için yan yol üzerindeki imar-kamulaştırma sorunları gibi durumlarda kesişimin dik açı ile yapılmasının mümkün olmadığı yerlerde tasarlanırlar (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Ana yoldan birleşen yola dönmeye çalışan taşıtlar ile karşı yönden gelip transit geçiş yapacak araçların karşı karşıya geleceği kesişim noktalarında ışıklı uyarı cihazlarının konulması gerekir.



Şekil 2.3. Y tipi kavşak

2.2.1.1.2. Dört kollu kavşaklar

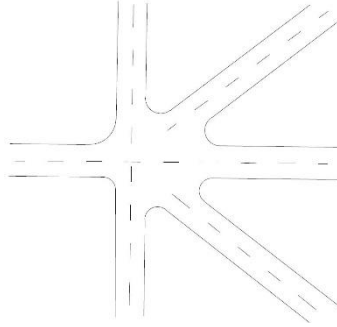
Dört kollü kavşaklarda ise anayolda dönüşler için hızı düşürme amaçlı cepler tasarlanır (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Anayola bağlanacak katılım şeritlerinde en az 60 metre cep uzunluğu uygulanırken anayoldan sapacak ayrılma şeritlerine ise en az 45 metre uzunlukta cepler uygulanmalıdır (FHWA., 2004).



Şekil 2.4. Dört kollu kavşak

2.2.1.1.3. Çok kollu kavşaklar

Eş düzey kavşaklarda beş veya daha fazla kolun birleşmesi durumunda bu kavşaklar çok kollu eş düzey kavşaklar olarak isimlendirilirler. Böyle kavşaklar trafiğin düşük yoğunlukta olduğu veyahut dur ihtiarının bulunduğu yerlerde teşkil edilirler (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).



Şekil 2.5. Beş kollu kavşak

Yukarıdaki şekilde Beş kollu bir eş düzey kavşağın ana kavşaktan tali yola birleştirilmesi görülmektedir. Bu tasarımlardaki gâye kuzey güney eksenindeki kolların anayol olarak kabul edilerek diagonal kolların daha az trafik hacmine sahip

kollarla birleştirilmesi suretiyle trafik mühendisliği açısından daha verimli bir kavşağın ortaya çıkmasının sağlanmasıdır.

2.2.1.2. Trafik denetleme sistemlerine göre kavşaklar

Eş düzey kavşaklar üzerlerinde trafik kontrol sistemi olup olmaması veyahut var ise bu kontrolün nasıl yapıldığına göre üç farklı şekilde sınıflandırılır. Bunlar; denetimli, denetimsiz ve dönel kavşaklardır.

2.2.1.2.1. Denetimsiz kavşaklar

Denetimsiz kavşaklarda sürücülere diğer araçlarla etkileşim hususunda yardımcı olacak ikaz işaretleri ve trafik levhaları teşkil edilerek trafiğin sağlıklı bir şekilde devam etmesi sağlanır. Kavşağa bağlanan yollardan biri üzerinde diğer yollara göre daha fazla trafik hacmi bulundurduğu için anayol hükmünde sayılacaktır (Gedizlioğlu, 1979). Böylelikle diğer yollara göre anayol üzerindeki taşıtların geçiş üstünlüğü bulunmaktadır. Tali yol durumunda bulunan yollarda kavşağa girerken muhakkak “DUR” veya “YOL VER” şeklinde trafik işaretlerinin yerleştirilmesi trafik güvenliği açısından gereklidir. Araçlar bu işaret ve levhalara uyarak hareketlerini sürdürmelidirler. Anayola yaklaşan yanyol sürücülerinin durma zorunluluğu bulunmamakla beraber kavşaklara yaklaşırken kavşaktaki trafiğin durumuna uygun bir biçimde hızlarını ayarlamaları ve durmadan devam eden bir hareketlilik sağlayarak bu şekilde kavşağa girmelidirler. Böylelikle trafiğin akışkanlığı sağlanmış olacaktır. Ancak yanyol sürücüsü kavşağa girişte bir “DUR” levhası ile karşılaşılıyor ise kavşağa girerken durmak ve anayolun durumunu tam anlamıyla denetimlemek durumundadır (Gedizlioğlu, 1979). Yanyol üzerinden bir kavşağa girmeye çalışan sürücü için belirli manevra durumları söz konusudur. Bunlar; sola dönerken anayol akımını keserek uzak taraftaki şeride katılım, sağa dönerek yakındaki anayola geçiş veya anayolun her iki tarafını da bölerek karşı taraftaki yan yola geçiş yapmasıdır (Varlıorpak, 2003).

Yanyol üzerinde seyreden araç kavşağa yaklaşmakta iken kavşağa kendisinden önce anayol üzerinden girmiş bir araç var ise bu aracın kavşağı terketmesini bekleyecek ve

sonrasında bir anayol taşıtı olup olmadığını kontrol edecektir. İşte anayolda seyreden iki taşıt arasındaki bu aralık yanyoldaki araçlar için “araya giriş aralığı” diye tanımlanmaktadır. Yanyoldan kavşağa giriş yapmak isteyen aracın sürücüsü kavşakta taşıt olmasa bile kavşağa anayol üzerinden yaklaşmakta olan bir taşıt var ise bu taşıtın kavşağa olan uzaklığının kendisine manevra için yeterli süreyi sağlayıp sağlayamayacağına karar vermeli ve bu şart ile kavşağa giriş yapmalıdır. Bu durumdaki anayol taşıtının kavşağa olan uzaklığına ise “öne giriş aralığı” denilmektedir (Gedizlioğlu, 1979).

2.2.1.2.2. Denetimli kavşaklar

Denetimsiz bir kavşakta trafik akımının hangi sırayla gerçekleşeceğinin sürücüler tarafından açık ve net olarak anlaşılması adına ışıklı özel donanımlar konularak düzenlenen kavşaklara sinyalize veya denetimli kavşaklar denir. Bu tarz kavşaklar, araç yoğunluğunun fazla olduğu yollarda ve genellikle de şehir içinde kullanılır (AASHTO, 2011). Bunun gibi kavşaklarda seyreden araçların oluşturduğu trafik akımı düzenli olduğundan trafikteki kapasiteyle birlikte emniyet de artmaktadır. Trafik akımının düzenlenmesiyle birlikte kafa kafaya veyahut yandan çarpma şeklindeki kazalarda yüksek oranda azalmalar görülebilecektir. Meydana gelen bu kazalar çoğunlukla arkadan çarpma kazalarıdır fakat araçlar arasındaki hız farkı kavşak içinde olduklarından dolayı azdır ve oluşabilecek bu tür kazaların meydana getireceği zarar ve ölüm riski düşük olacaktır. Dünya genelinde sinyalize kavşaklar kentsel bölgelerde en yaygın kullanılan trafik kontrol yöntemi olup gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerin çoğunda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Sinyalize kavşakların trafikteki akımları düzenlemek, kavşaklarda güvenliği sağlamak, konfor ve kapasite gereklerini karşılamak gibi olumlu özellikleri olduğu gibi bununla birlikte bir takım negatif yanları da bulunmaktadır (Valdez, 2010). Bunlar ise: ilk yatırım maliyeti, işletme-bakım-onarım maliyeti, anayol taşıtlarının sebepsiz yere durdurulup bekletilmesi sonucu enerji-zaman ve yıpranma maliyetleri, yolcu konforunun azalması, doğaya salınan gazların artışı ve çevre kirliliği olarak sayılabilir.

2.2.1.2.3. Dönel kavşaklar

Bir diğer denetimli kavşak tipi ise denetimin sinyalizasyon gibi ışıklı elektronik sistemlerle değil de tamamen kavşağın fiziksel olarak farklı geometride tasarlanması sonucu kavşaktaki trafiğin işleyiş tarzının değiştirilmesi ile oluşturulan dönel kavşaklardır. Dönel kavşakların çalışma prensibi gereğince kavşağa giriş yapan araçlar hızlarını önemli ölçüde düşürmek durumunda kalırlar bu durum kavşağın kapasitesini bir miktar düşürse de kavşaktaki trafik güvenliğini arttırmaktadır (Karayolu Tasarımı El Kitabı, 2005).

Dönel kavşaklara giren trafik için hızların düşük olması gerektiğinden dönel kavşaklar fiziksel kavşağa giren trafiği yavaşlatmak üzere tasarlanmıştır böylelikle trafik güvenliği artırılmaya çalışılır. Dönel kavşaklarda yollar tipik olarak kavşağa teğet olacak şekilde bağlanırlar (FHWA, 2010). Düşük hız gereksinimi nedeniyle dönel kavşaklar genellikle kontrollü erişimli otoyollarda kullanılmaz ancak sınırlı erişimli yollar gibi daha düşük standartlardaki yollarda kullanılabilir. Bu tür yollarda dönel kavşak tasarımı yapıldığında yaklaşım kolları kıvrılarak trafik hızları azaltılmalıdır.

Dönel kavşaklar sahip oldukları avantajlar ve trafiğe sağladıkları faydalardan ötürü günden güne daha da popülerleşmektedir. Bu faydalardan bazıları ise; ciddi yaralanmalı ve ölümlü sonuçlanan kazaların büyük ölçüde azalması, seyahatlerdeki gecikmelerin azalması ayrıca buna bağlı olarak yakıt tüketimi ve hava kirliliğinin azaltılması olarak sayılabilir. Modern dönel kavşak tasarımlarının hem şehir içlerinde hem de şehirler arası yollar gibi farklı trafik koşullarında pek çok faydasının olduğu uzmanlar tarafından ortaya konmuştur (Florida Department of Transportation, 2010).

Tasarım hızı dönel kavşakların başarısındaki anahtar faktörlerden biridir. Hızın düşük olması kazaları minimum seviyeye indirdiği gibi gerçekleşen kazalarda ise yaralanma oranlarının çok düşük seviyelere çekilmesini sağlamaktadır (Robinson, 2000). Ada yarıçapı dönel kavşaklara bağlanan yol sayısı ve kavşakta uygulanabilecek tasarım hızının belirlenmesinde en önemli faktördür. Modern dönel kavşaklardaki adaların yarıçapları en az 20-25 metreden başlamalı dört veya daha fazla yolun bağlandığı

dönel adalarda arazi kullanımına göre bu yarıçap 60 metreye kadar alınarak kavşağın tasarımı gerçekleştirilmelidir (Modern roundabouts for Oregon, 1998).

Özellikle şehir içlerinde fiziksel kısıt olan yerlerde büyük yarıçaplı dönel adalar teşkil edilemeyeceğinden dolayı kavşağa bağlanan düşük hacimdeki akım kollarından kaynaklanan aşırı gecikmeleri engellemeye yardımcı olmak için “DUR” kontrollü ya da sinyalizasyon kavşakların yerini mini dönel kavşaklar almaya başlamıştır. Mini dönel kavşaklar kavşağın verimli çalışması için tipik olarak bir merkez ada ve diğer yaklaşım kollarında üçgensel ayırıcı küçük adalar şeklinde dizayn edilirler ve daha büyük dönel kavşaklar ile aynı şekilde çalışırlar (FHWA U.S. Department of Transportation, 2010). Mini dönel kavşaklar yüzde 85 hızın 55km/sa’ten daha düşük hızların olduğu yolların bağlantılarında daha verimli bir şekilde çalışırlar. Mini dönel kavşaklarda ada yarıçapı ise en az 8 metre olmalıdır. Mini ve Modern dönel kavşaklarla beraber U dönüşü için kullanılamayan yarım dönel kavşaklar da sadece sola dönüş için uygun olarak tasarlanırlar (FHWA U.S. Department of Transportation, 2010).

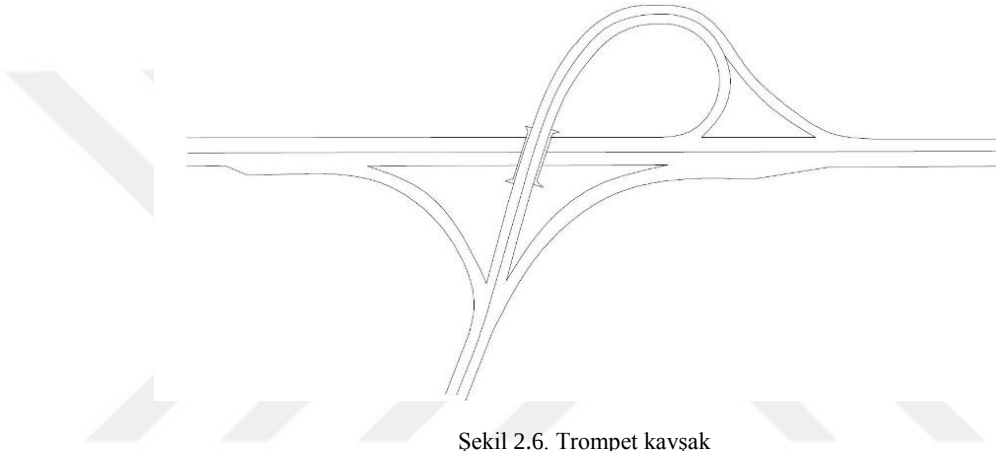
2.2.2. Farklı düzeyli kavşaklar

Farklı düzeyli kavşaklar farklı tiplerde yapılabilir. Kavşağa bağlanan yolların sayısı, yolların yoğunluğu ve yol sınıfları bu kavşakların yapılış tarzında etkili olan durumlardır (Karayolu Tasarımı El Kitabı, 2005). Farklı düzeyli kavşaklar özellikle karşılıklı geçiş manevralarında meydana gelebilecek çakışmaları tamamen devre dışı bırakıp dönüş manevralarındaki çakışma sayılarını ise en aza indirmek için dizayn edilirler. Bu tip kavşaklar ya tamamen serbest trafik esasına göre ya kısmi kontrol esasına göre ya da sinyalizasyon uygulamalarına göre yapılabilir. Farklı düzeydeki kavşaklar üç kollu ve dört kollu olarak kol sayılarına göre iki ana gruba ayrılabilirler.

2.2.2.1. Üç kollu kavşaklar

2.2.2.1.1. Trompet kavşaklar

Üç kollu yolun kesiştiği yerlerde 'Trompet Kavşak' uygulanabilir. Bu tip kavşaklar, düşük yoğunluklu olan tali yolların karayollarına bağlandığı noktalarda ve yüksek yoğunluklu olan otoyol ile karayolunun bağlantı kurduğu noktalarda tasarlanabilir (AASHTO, 1994).

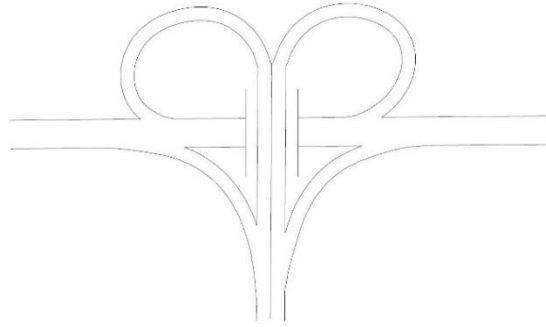


Şekil 2.6. Trompet kavşak

Tüm akımların hareketlerini serbest bir şekilde gerçekleştirebildiği bu kavşaklar aynı zamanda tek bir yapı gerektirdiğinden ekonomik olarak da mantıklı tasarımlardır. Yolun dönüş yönüne göre tali yolu dik değil de verev kesiştirmek rampaları kısaltarak yumuşak eğrilikte kurplar yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

2.2.2.1.2. Yarım yonca kavşaklar

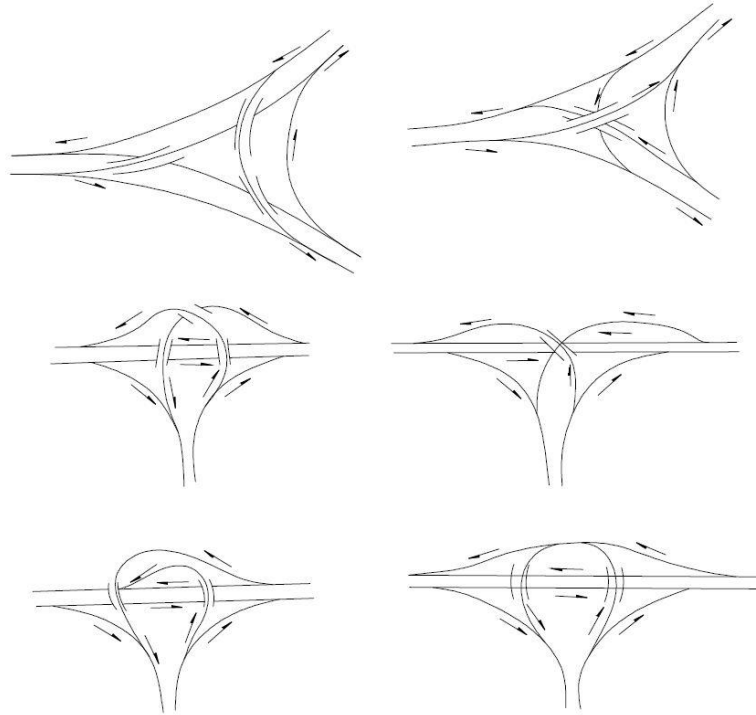
Çift yönlü olarak sola dönüş manevralarının dönel rampalarla gerçekleştirildiği kavşak tipidir. Gerektiğinde tam yoncaya dönüştürülebilir yapıda olan bu tipte tâli yolda geriye dönüş yapılabilir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).



Şekil 2.7. Yarım yonca kavşak

2.2.2.1.3. Direksiyonel ve yarı direksiyonel kavşaklar

Bu kavşaklar bir ve birden fazla sola dönüş imkân tanıyan tek yâhut her iki yönlü aynı ya da farklı seviyelerden rampalardan meydana gelen kavşak tipidir. Çok şeritli tasarımları da bulunmaktadır. Bu tasarımlar genellikle şehir çevrelerinde anayol kesişimlerinde veya anayol ile olan bağlantılarda kullanılmaktadır (AASHTO, 2001). İşletme hızının, kapasitenin, konforun, güvenliğin yüksek seviyede olduğu bu kavşak tiplerinde birden fazla köprü viyadük yapısına ve farklı seviyelere ihtiyaç duyulması nedeniyle maliyetleri de oldukça yüksektir.

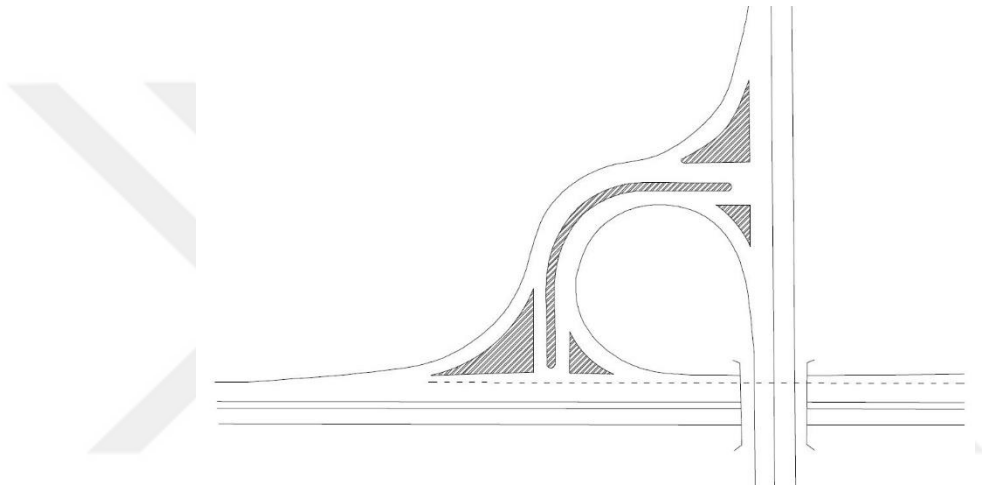


Şekil 2.8. Direksiyonel ve Yarı Direksiyonel

2.2.2.2. Dört kollu kavşaklar

2.2.2.2.1. Döngülü kavşaklar

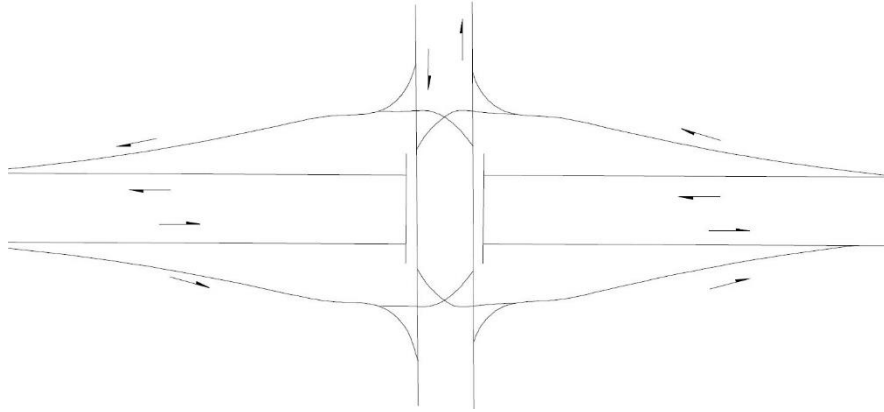
Bu tip kavşaklar düşük trafiğin olduğu ayrıca topoğrafik, kamulaştırma sorunu, kültürel ve doğa gibi değişkenlerden dolayı dönüş rampalarının en düşük standartlarda tasarlandığı devlet veya il yolu birleşimlerinde kullanılır (Karayolu Tasarımı El Kitabı, 2005).



Şekil 2.9. Tek döngülü dört kollu kavşak

2.2.2.2.2. Diamond kavşaklar

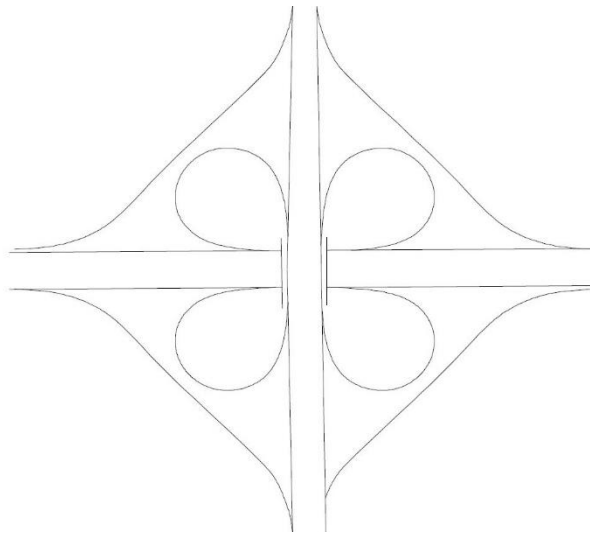
Bu tip çoğunlukla ana yol ile bu yola paralel bir yapıda dört adet rampadan oluşan ve bütün dönüş manevralarını mümkün kılan kavşak tipidir. Örülme çakışmasının gerçekleşmediği bu tipte katılma ve ayrılma çakışmaları için rampaların yolla ile birleştiği yerlere depolama şeritlerinin ayrılması ve trafiğin mümkün olduğunca kanalize edilmesi kapasite ve güvenliği arttıracaktır (Leisch, 1995).



Şekil 2.10. Elmas kavşak

2.2.2.2.3. Yonca kavşaklar

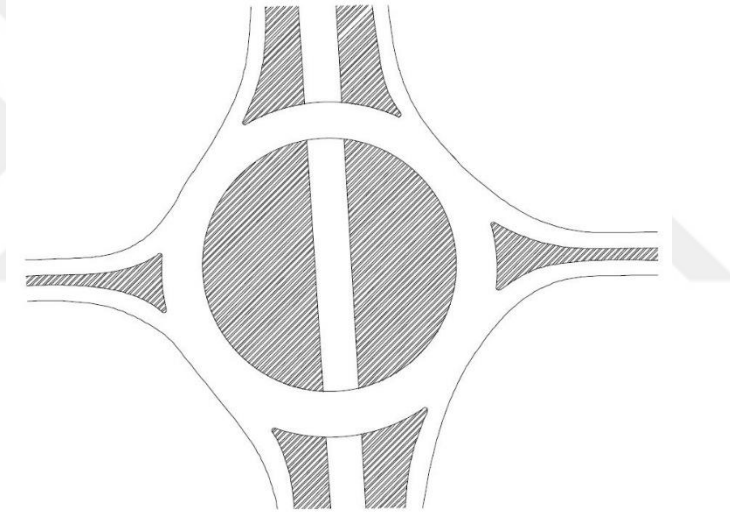
Dönüşlerde çakışmaların tamamen yok edildiği farklı düzeyli kavşak tipi olup döngü rampaları sola dönüş, dış rampalar ise sağa dönüş için tasarlanmıştır (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Döngü rampalarının anayola ve tali yola bağlandığı yerlerde örülme tipi çakışmalara dikkat edilmelidir. Sinyalizasyona ihtiyaç duyulmaması trafiğin akışkan bir şekilde devam etmesi ve neredeyse tüm kesişmelerin ortadan kaldırılması gibi çok büyük avantajlarının yanı sıra inşaları için çok büyük alan istemeleri, örülme boylarının arttırılması için ekstra şeritlerin gerekmesi gibi özellikleri üst ve altyapı maliyetlerini arttırmaktadır (FHWA,2001).



Şekil 2.11. Yonca kavşak

2.2.2.2.4. Dönel Kavşaklar

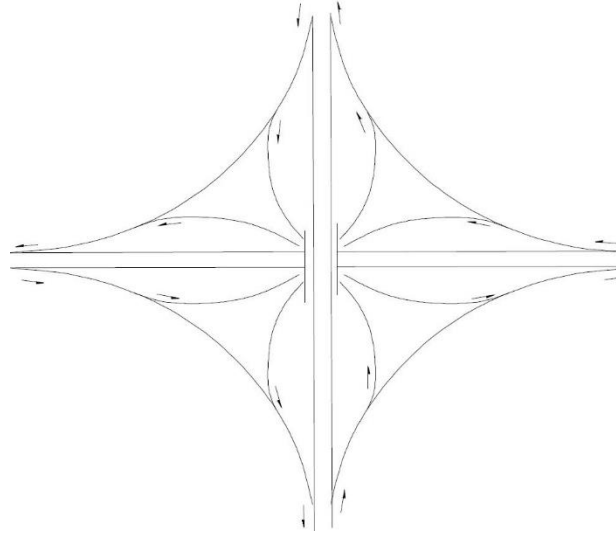
Eşdüzey kavşak tipleri içindeki dönel kavşakların farklı düzeydeki bir uygulamasıdır. Birleşen kol sayısı fazla olduğunda sağa, sola ve U dönüşü yapan araçların sayısının fazla olduğu durumlarda güzel bir alternatiftir. Bu kavşak tiplerinde örülme hareketleri yoğun olduğundan kapasite düştüğü için genellikle kullanımını sınırlandırır (Janssens, 1994). Rampalardaki ve birbiriyle kesişen trafiği farklı bir düzeye taşıdığı için transit trafiği oldukça rahatlatır. Özellikle transit trafiğin hâkim olduğu dönen trafik hacminin daha az olduğu örülmelerin sorun oluşturmayacağı yerlerde tasarımı uygundur (Tanyel, 2001). Geniş alan gerektirmeleri, örülme kısımları kapasite ve hızı düşürdüğü için diğer alternatifler değerlendirildikten sonra bir seçenek olacaktır.



Şekil 2.12. Dairesel Dönel Kavşak

2.2.2.2.5. Direksiyonel ve yarı direksiyonel kavşaklar

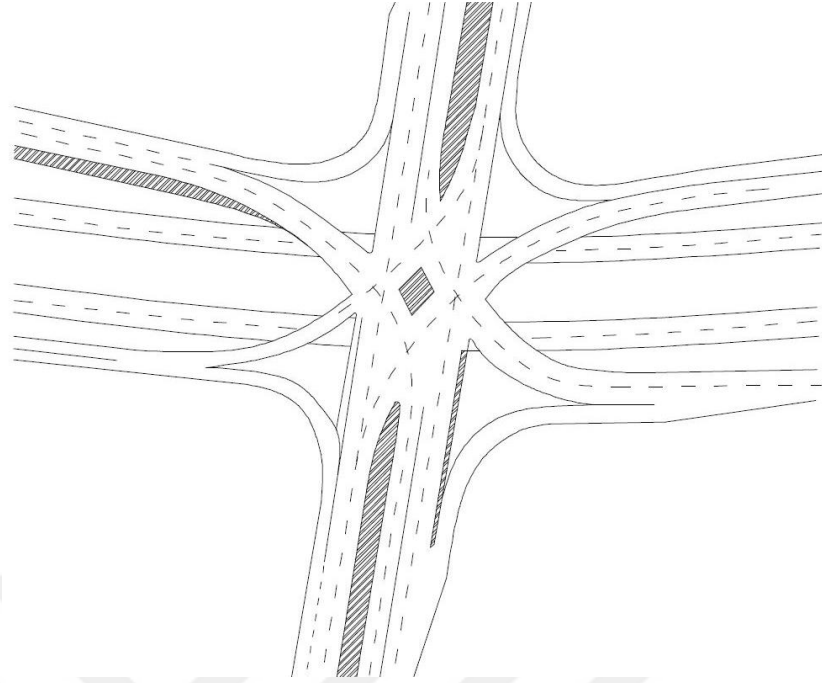
Farklı düzeyli kavşak tipleri içerisinde tüm yönlerden gelen akım kolları için bağlantıların en uygun şekilde diyagonal bir geometriyle yapıldığı, güvenlik, kapasite, konfor ve hızın tümünden bir arada arttığı örülmelerin tamamıyla ortadan kaldırıldığı yüksek nitelikte bir kavşak tipidir (AASHTO, 1990). Çoğunlukla otoyollarda tasarlanan bu kavşaklar üzerlerinde bulundurdıkları farklı düzeylerdeki yapılar yüzünden oldukça maliyetlidir (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005).



Şekil 2.13. Tam direksiyonel kavşak

2.2.2.2.6. Tek nokta kavşaklar

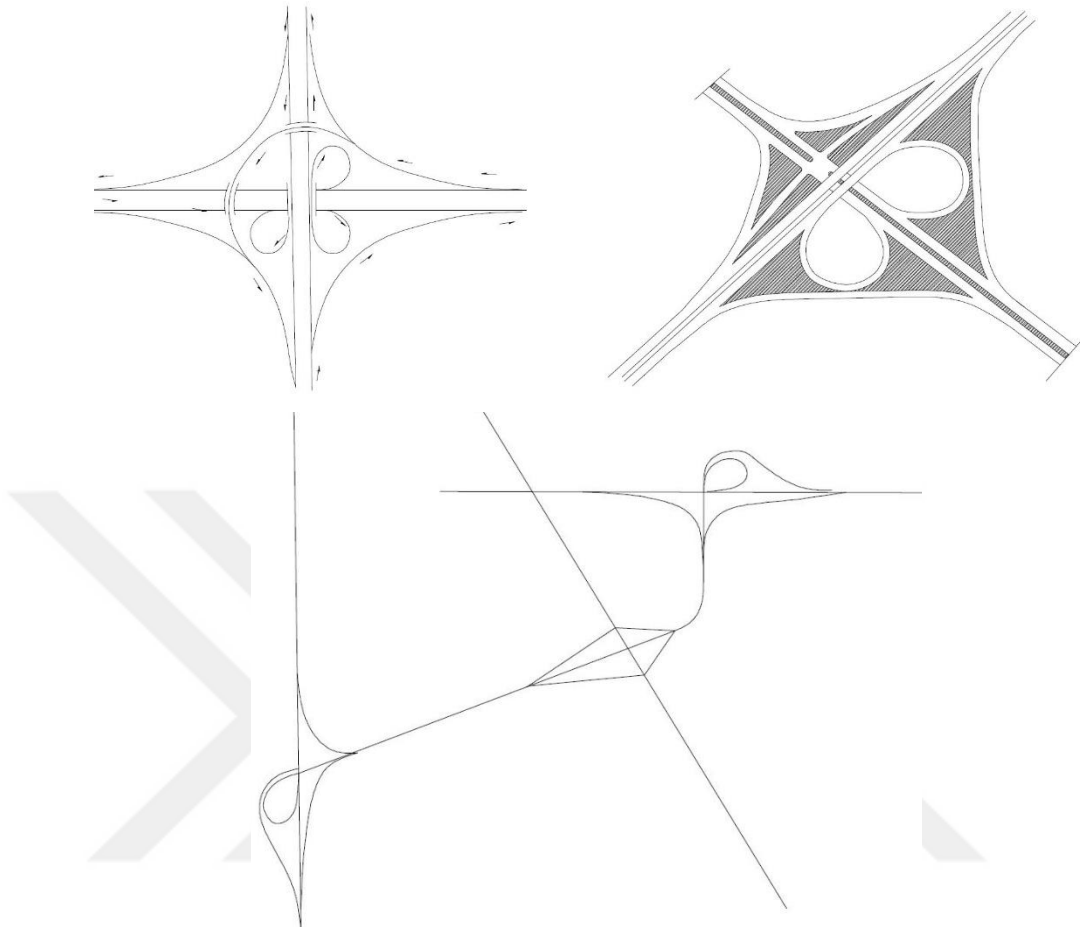
Kamulaştırma ve arazi kullanım şartlarının getirdiği kısıtlamalar nedeniyle tasarlanmış farklı seviyeli bir kavşak tipidir. Tasarıma esas olarak ana yol akımı kesintisiz bir biçimde devam ederken diğer kollar tek bir noktada kesişirler (Texas Department of Transportation, 2020). Sağa dönüşlerin serbest olduğu bu kavşak diamond tipi kavşağa benzemekle birlikte diamond tipi kavşaktan rampa birleşimlerinde sinyalizasyon veya kanalize bir tasarım gerektirmediğinden daha ekonomiktir. Büyük bir köprü gerektirmesi, birleşen yolların yanıl açıklık ve görüş mesafesine dikkat edilmek zorunda olunması dezavantajları olarak sıralanmaktadır.



Şekil 2.14. Tek nokta kavşak

2.2.2.3. Farklı düzey kavşak kombinasyonları

Eğer bir veya iki farklı dönüş akımı diğer dönüşlere göre fazlaca trafik hacmine sahipse bu gibi durumlarda farklı kavşak tasarımlarının kombinasyonlu bir biçimde uygulanmasına ihtiyaç duyulabilir (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005). Bu tip kavşaklar genellikle sanayi yapılarının fazla olduğu yerlerde yüksek standartlı yolların birbirine bağlanmasında kullanılmaktadır.



Şekil 2.15. Farklı kavşak kombinasyonu

2.3. Kavşak Tasarımı

Kavşaklar trafikteki akımların buluştuğu, ayrıldığı birbiriyle karşılaştıkları iki veya daha fazla yönden gelen akımların ortak kullanım alanlarıdır. Trafik kazalarının sıklıkla görüldüğü alanlar olan kavşaklarda bu kazaların önlenmesi can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için tasarımlarının belirli kriterlere uygun olarak yapılması gerekmektedir (European Commission, Annual Accident Report, 2018). Türkiye’de şehir merkezleri ve şehir bölgelerindeki kazaların %45’i karayolu ağının üzerinde oransal olarak çok az yer tutmasına karşın kavşak bölgelerinde gerçekleşmesi bu tasarımın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Özen, 2020). Kavşakların tasarımı yapılırken kapasite, güvenlik, konfor ve hız gibi parametreler muhakkak göz önünde bulundurulmalıdır.

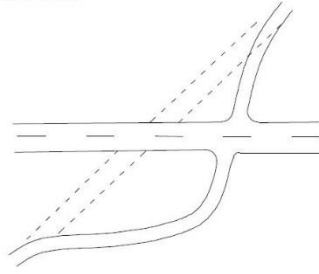
Kavşak tasarımlarında sürücülerin daha verimli bir şekilde hareket etmelerini sağlamak, sürücülerin diğer araçları fark ederek zamanında reaksiyon verebilmeleri için yeterli zamanı tanımak ve sürücünün kavşakta karar verme sürecinde yeterli alanı bulabilmesini sağlayacak uygulamalar önemlidir (FHWA, 2004). Kavşaklar güvenlik, ekonomiklik, hizmet seviyesi ve estetik gibi temel kriterler dikkate alınmak suretiyle hızın kontrolü, konforun ve güvenliğin devamlılığı, ticari maliyetlerin düşürülmesi ve gecikmelerin önlenmesi amaçları doğrultusunda tasarlanırlar (Yayla, 2004).

Ancak kavşak tasarımlarında yukarıda sayılan kriterlerden daha makro boyutta etkileyici faktörler de bulunmaktadır. Bunlar en genel haliyle trafik faktörleri, insan faktörü, ekonomik faktörler, fiziksel ve sosyal faktörlerdir. Taşıtların kesiştiği bölgelerde gecikmeler meydana gelmektedir. Kavşakların iyi düzenlenmemesi ve düzenleme ilkelerinin dışına çıkılması hem trafik düzenini bozmakta hem de gecikmelere neden olmaktadır (Krogscheepers & Roebuck, 2000). Kavşaklarda sürücüyü nasıl hareket edeceği konusunda şaşırtacak düzenlemelerden kaçınılmalı çakışan akımların olduğu yerlerde muhakkak bölgesel trafik verileri ışığında hızların düşürülmesi ve olumsuz diğer faktörler ortadan kaldırılmalıdır.

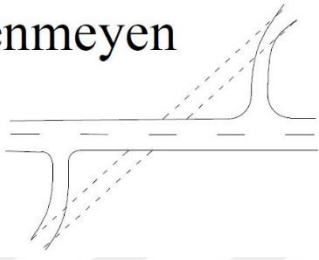
2.3.1. Kavşaklarda güzergâh

Özellikle hemzemin kavşaklarda kavşağa bağlanan kol sayısının 4'ü geçmemesi birleşen kolların özellikle dik ya da dike yakın açılarla birleşmesi ve dar açılı kesişimlerden olabildiğince kaçınılmalıdır (Karayolları Tasarım El Kitabı).

İstenen

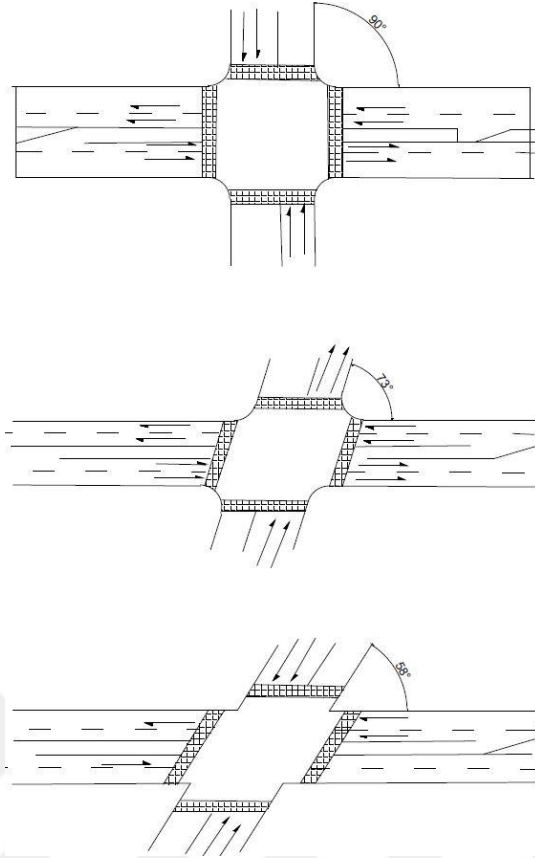


İstenmeyen



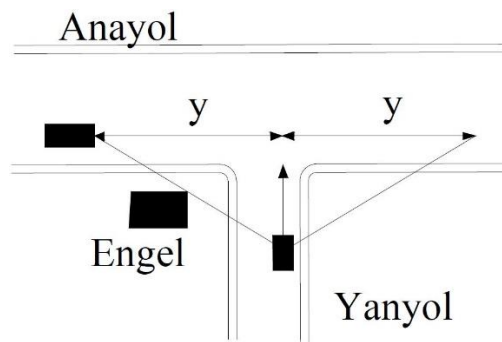
Şekil 2.16. Kavşaklarda güzergâh

Kavşaktan geçecek ağır vasıtaların dönüş hareketlerini kolay bir şekilde gerçekleştirmeleri ve kavşağı birlikte kullanacak yayaların ve araçların kesişim noktalarının kontrolü etkin bir biçimde yapılması ayrıca görüş mesafelerinin arttırılması dik ve dike yakın birleşimlerle sağlanmış olacaktır (KGM Trafik Güvenliği El Kitabı, 2007).



Şekil 2.17. Kavşaklarda dönüş açıları

Standartlara uygun bir şekilde trafik işaretlemeleri yapıldığı, yanıl görüş alanı ve duruş görüş uzunluklarının optimum seviyede tutulduğu kavşaklarda vasıtalır herhangi bir sıkıntı olmadan geçebilecektir. Tüm sürücülerin diğer kollardan gelen araçları rahat bir şekilde görebilmesi için kavşaklarda yanıl görüş uzunluklarının yeterli bir biçimde tutulması ve bu alanlarda görüşü kapatacak ya da daraltacak bir nesne olmaması gerekmektedir.



Şekil 2.18. Kavşaklarda görüş açıları

Eşdüzey kavşaklarda düşey kurpların kavşak içinde olmamasına dikkat edilmelidir. Kavşak alanı içerisine giren yollardaki eğimlerin %3'ü geçmemesi mecburi hallerde ise ancak %6'ya kadar izin verilmelidir.

2.3.2. Kavşaklarda köşe tasarımları

Kavşakların geometrik tasarımı temelde üç boyutlu özelliklerin birleştirilmesidir. Temel amaç sorunsuz akan çarpışmasız bir kavşak tasarlayabilmektir. Kavşak köşeleri tasarlanırken ise öne çıkan iki husus bulunmaktadır. Bu iki hususta araçların dönüşlerinde taradıkları alan ile ilişkilidir. Bu hususlar araçların dönüş anındaki kaplama genişlikleri ve minimum dönemeç yarıçaplarıdır. Aşağıda iç kenar yarıçaplarına göre farklı taşıt tipleri için kavşak köşelerinin yarıçap değerleri verilmiştir. Kaplama genişliklerinin tayininde ise kurp yarıçapı tasarım taşıt tipi, sağa dönüş yapan araçların trafik hacmi, hız ve yönlendirme adasının olmasına bağlı olarak seçilir (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005).

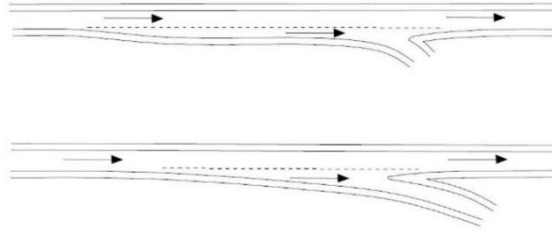
2.3.3. Kavşaklarda yardımcı şeritler

Yardımcı şeritler genellikle kapasiteyi arttırmak ve kazaları azaltmak için sağ ve sol dönüş hareketleri olan orta açıklıklar veya kavşaklar için kullanılır (AASHTO, 1994). Yardımcı şeritlerin tasarımında kapasite, hız, trafik hacmi, kamyon yüzdesi, karayolu tipi, geçiş hakkı üstünlükleri ve hizmet seviyesi dikkate alınacak kriterler arasında bulunmalıdır. Yardımcı şeritlerde istenilen genişlik ise ana yoldaki şeridin genişliği kadar olmalıdır. Yardımcı şeritlerin 3 metrenin altında genişliğe sahip olmaması arzu edilir. Bazı zorunlu durumlarda bu genişlik 2,75 m'ye kadar düşürülebilir (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005).

2.3.3.1. Sağa dönüş şeridi

Eş düzey kavşaklarda sağa dönüş şeritlerinin pek çok faydası vardır. Bunlar; anayolda trafik akımının sürekli olarak sağlanması, sağa dönecek araçların transit trafiğin sahip olduğu yüksek hızdan etkilenmeden konforlu ve güvenli bir frenaj ile yavaşlamaları,

sağa dönecek araçların depolanabilmeleri, uygun bir süratle durmadan dönüş yapabilmeleri ve “DUR” kontrolünün bulunduğu yaklaşımlarda sağa dönecek araçların trafikteki diğer araçlardan ayrılması olarak sayılabilir.

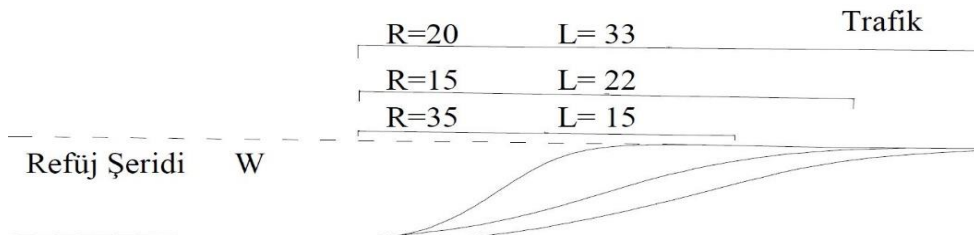


Şekil 2.19. Sağa Dönüş Şeridi

Hızlanma ve yavaşlama şeridi tasarımlarında farklı ilkelere göre hareket edilir (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005).

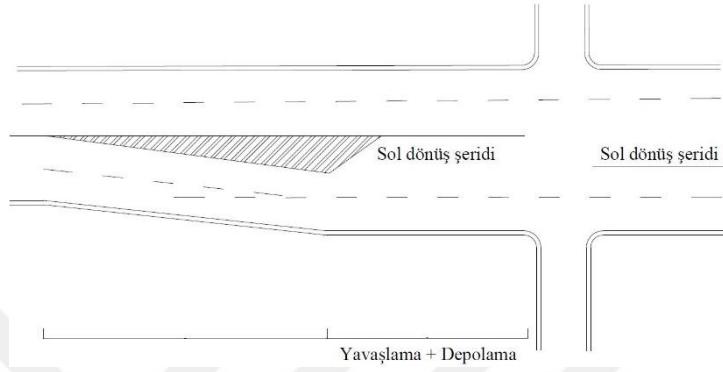
2.3.3.2. Sola dönüş şeridi

Hemzemin kavşaklarda sağa dönüş şeritlerinde olduğu gibi sola dönüş şeritlerinin özelliklerinin irdelenmesi gerekmektedir. Bölünmüş yollarda, hızın yüksek olduğu iki şeritli yollarda, tali yolların sahip olduğu trafik hacimlerinin yüksek olduğu durumlarda, sola dönüşlerde mevcut trafik hacminin yüksek olması veya bu dönüşlerden kaynaklı kavşaklarda tıkanıklık ve kazaların fazla olması durumunda da şehir içindeki kavşaklarda da sola dönüş şeritlerinin yapılması gerekmektedir (Karayolu Tasarımı El Kitabı, 2005).



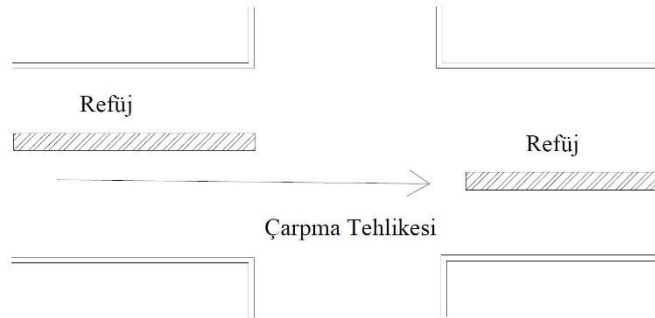
Şekil 2.20. Sola Dönüş Şeridi

Temel olarak yaklaşım kaması, şerit kaması ve yavaşlama şeridinden oluşan üçlü bir yapıda bulunan sola dönüş şeritleri eğer yeterli orta refüj genişliği var ise orta ayırıcıda daraltmaya gidilmek suretiyle yok ise orta ayırıcıyı önce genişleterek iki şeritli yollardaki sola dönüş şeritlerine benzer biçimde tasarlanmalıdır (AASHTO, 1994).



Şekil 2.21. Sola Dönüş Şeridi

Sola dönüş şeritlerinde yanlış şeride girilmesinin önüne geçmek adına yol kıvrılırken şerit çizgilerinin yaklaşım rakortmanına paralel bir biçimde çizilmesi gerekmektedir. Orta ayırıcıların birbirini karşılamalı, dönüş cebi var ise karşı tarafında ya orta ayırıcı refüj ya da dönüş cebi karşısında olmalıdır (FHWA, 2010).



Şekil 2.22. Yanlış refüj uygulaması

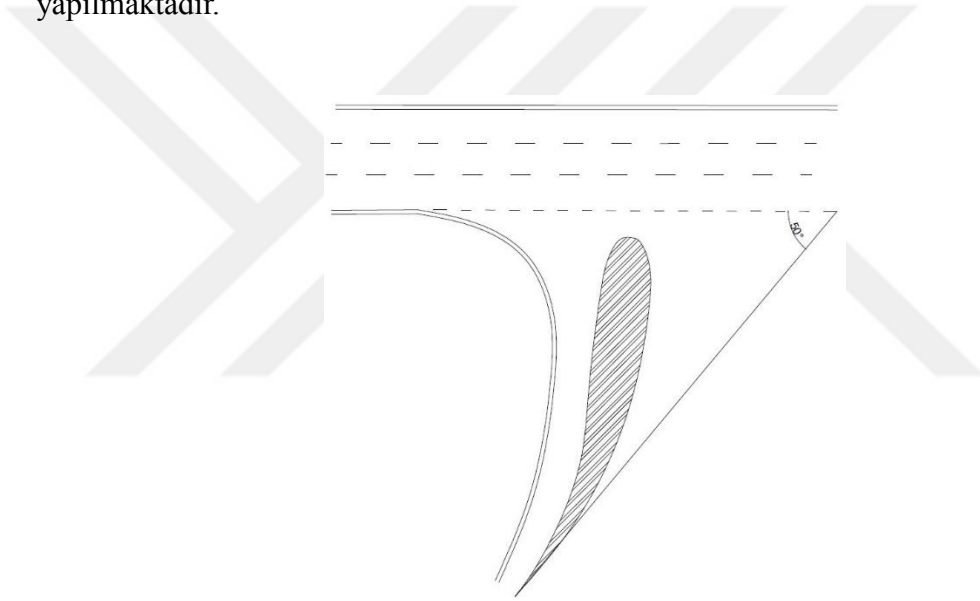
2.3.4. Kavşaklarda kanallama

Kavşağa giriş yapan araçların kavşaktaki adalar yardımıyla kavşaktaki hareketlerinin yönlendirilmesi ile oluşturulan tasarımlara kavşaklarda kanallama ve bu şekildeki kavşaklara da kanalize edilmiş kavşaklar denilmektedir (Washington State Department

of Transportation, 2020). Kanallama tasarımlarında kullanılan iki ana eleman damlalar ve adalardır.

2.3.4.1. Damla tasarımı

Tali yollardaki trafiğin yönünü ayırmak için teşkil edilen damlalar tali yoldaki araçların anayoldaki araçları bekleme zorunluluğundan kaynaklı olarak tali yol ve anayol ekseninin birbiri ile yaptığı açıya göre iki tip olarak yapılırlar (Karayolu Tasarımı El Kitabı, 2005). Eğer anayolda sola dönüş cebi var ve anayol iki şerit ise büyük damla tasarımı, anayol ve yan yol iki şeritli ama sola dönüş cebi yok ise küçük damla tasarımı yapılmaktadır.



Şekil 2.23. Damla Tasarımı

Damla tasarımı yapılırken 120 ve 80 derecelik tali yol anayol kesişim açıları sınır değerler olarak belirlenmiştir. 80 dereceden küçük ve 120 dereceden büyük kesişimler için farklı tasarım esasları bu iki değer arasındaki kesişim açılarında ise daha farklı tasarım kriterleri mevcuttur (Broward Complete Streets Guidelines, 2011).

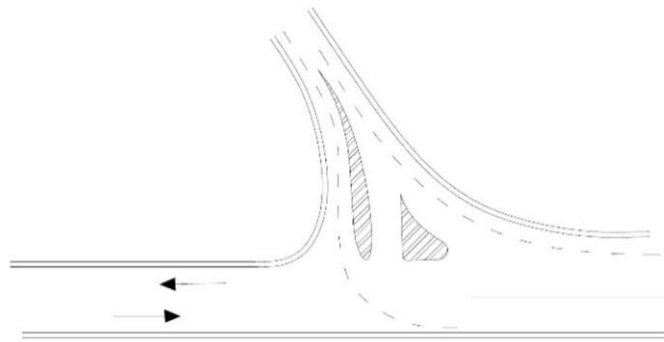
2.3.4.2. Ada tasarımı

Adalar temel görev olarak trafikteki akımların hareketlerinin regülasyonu yapan ayrıca yayaların kullanması ve trafik işaretlerinin yerleştirilebilmesi için gerekli olan

şeritlerin arasına yerleştirilen küçük alanlardır (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Kaplamadan farklı renkteki bordürler veya plastik malzemeler ile oluşturulabilecek adalar yüklendikleri fonksiyona göre üç farklı tipe ayrılırlar. Bunlar; yönlendirme (kanalize), ayırma ve refüj adalarıdır.

2.3.4.2.1. Yönlendirme (kanalize) adaları

Trafiğin hareketini kontrolüne almak ve gerekli yöne doğru yönlendirmek amacıyla kullanılan bu ada tipi kavşakların yer aldığı bölgelerde kavşak içinde çok fazla kullanılmayan âtıl alanların sürücüleri şaşırtmaması gayesiyle adalara dönüştürülmesiyle oluşturulurlar (FHWA, 2013). Trafik hacminin fazla olduğu yerlerde düzgün bir şekilde yerleştirilmiş adalar faydalar sağlarken özellikle kırsal alanlarda fazla işlek olmayan yollarda gerekli değildir. Özellikle kırsal kesimlerde ışıklı trafik işaretleri ve yaya geçitleri yer almadığı için bu bölgelerde bordürlü adaların teşkil edilmesine gerek yoktur. Daha çok şehir içlerinde ve şerit sayısının fazla olduğu yollarda bordürlü kanalize adaların yapılması daha mantıklıdır (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005). Yine sadece çizgilerle, taralı ofset alanlarla yönlendirme adaları kavşakların performansını arttırmak için yapılabilir olsa da hava şartlarının görüşü azalttığı zamanlarda bu performans etkileneceği için bordürlü veya plastik işaretlemeli adalar yapılana kadar geçici bir süreyle kullanılabilirler.



Şekil 2.24. Yönlendirme adaları

2.3.4.2.2. Ayırma adaları

Kavşağa yaklaşmakta olan araçlara daha ileride bir kavşağın olduğu ile ilgili uyarır ve kavşaktaki trafiğin regülasyonunu sağlayan ayırma adaları özellikle bölünmemiş yollarda bulunan kavşaklarda düzenlenirler. Çoğu zaman aynı doğrultudaki trafik şeritlerinde aynı ya da zıt yönlü trafik akımını birbirlerinden ayırabilmek için kullanılırlar (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).



Şekil 2.25. Ayırma Adaları

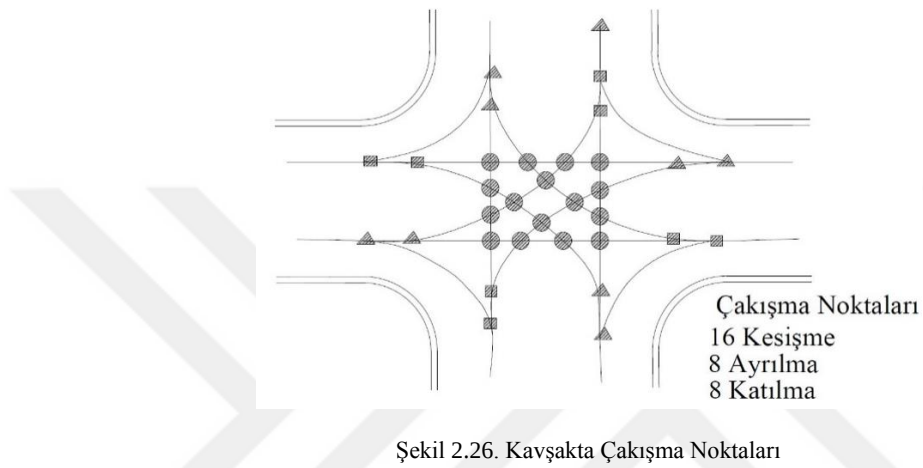
Ayırma adalarının genel kullanımı Şekil 2.43.'te verilmiştir. Ayırma adalarının boyutları ise uzun ve bölünmüş yollarda 1,2 metre genişliğinde ve 6 ila 8 metre uzunluğunda olmalıdır. Ancak özel durumlarda genişlik 0,6 metreye inebilir (Fitzpatrick ve ark., 2004). Bölünmüş yollarda uzun aralıklardaki karşılıklı akımları birbirinden ayırmak için yapılan refüj adaları uygun olmayan dönüşleri engeller ve karşıya geçmek isteyen yayalar içinde kolaylık sağlanmış olur.

2.3.5. Kavşaklarda çakışma noktaları

Eş düzey kavşaklarda 4 adet hareket meydana gelir. Bunlar katılma, ayrılma, kesişme ve kuyruk çakışmalarıdır. Burada belirtilen katılma ve ayrılma çakışmaları aynı güzergahta bulunan iki trafik akımının birleşmesi ve ayrılması sonucunda oluşur. Kuyruk çakışmaları ise kavşağa gelişlerde dönüş yapmak için bekleyen araçlar ile kavşak içinde hareket eden araçlar arasında gerçekleşen çakışmalardır. Kesişme ise iki akımın kesişmesi sebebiyle oluşur. Genel olarak kavşaklar kaza olasılığının en yüksek

olduğu yerlerdir. Bu çakışma noktaları ise kavşak içlerinde kazaların en çok gerçekleştiği yerleri gösterir. Kavşağa yaklaşan kolların sayısı, trafik hacmi ve sinyalizasyon durumu da kazaların oluşumuna etki eden diğer faktörlerdir.

Ayrıca kavşağa çok yakın şekilde bağlanan yan yollarda çakışmalarda önemli ölçüde güvensizlik yaratır (Fitzpatrick ve ark., 2004).



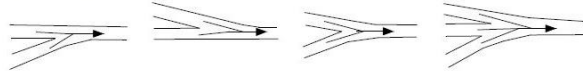
2.3.6. Eş düzey kavşaklarda trafik hareketleri

Ayrılma, katılma, kesişme ve örülme hareketleri eş düzey kavşaklarda gerçekleşme ihtimali olan dört ana hareketlerdir. Ayrılma hareketi araçların seyahat ettikleri anayol güzergahından yan tarafta bulunan tali yola geçiş hareketleridir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Katılma hareketi de bunun tam tersi olarak gerçekleşir. Katılma ve ayrılmalar sağ ya da sola veyahut da çoklu bir biçimde konumlanabilir. Kesişmelerin verev ya da dik bir şekilde gerçekleşir. Örülme hareketi ise aynı yönlü trafik akım hareketlerindeki kesişme yahut çakışma ile meydana gelir.

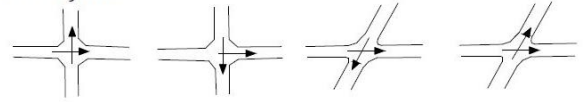
Ayrılma



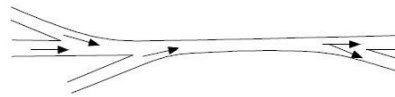
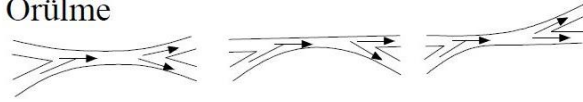
Katılma



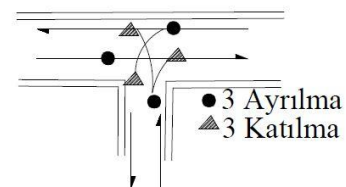
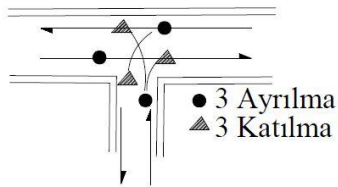
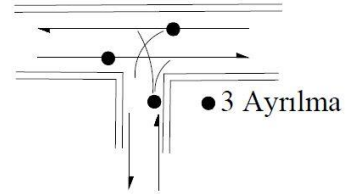
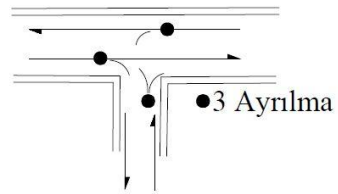
Kesişme



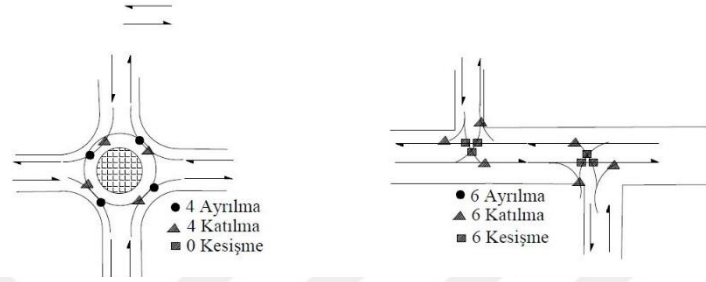
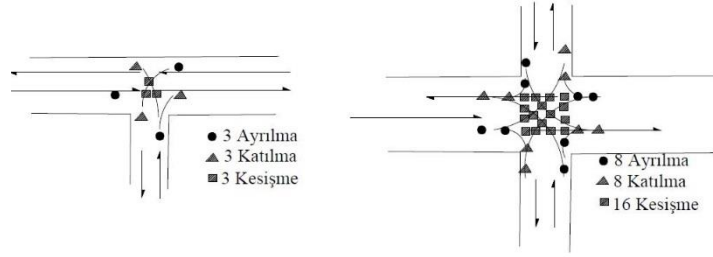
Örülme



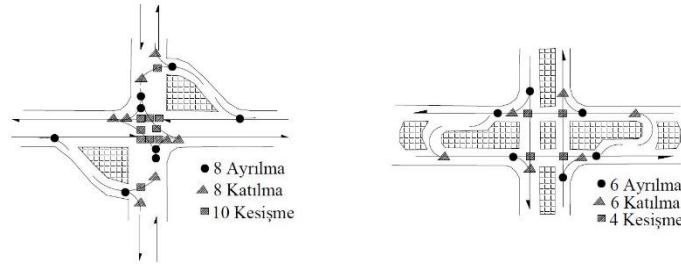
Şekil 2.27. Kavşakta hareketler



Şekil 2.28. Çakışma hareketleri



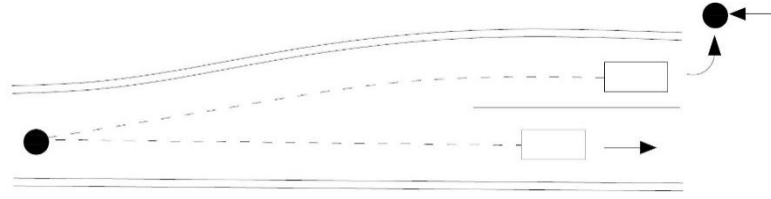
Şekil 2.29. Çakışma noktaları



Şekil 2.30. Çakışma Noktaları

2.3.7. Kavşaklarda örülme

Kavşaklarda örülme, bir hareketin sola şerit değiştirdiği ve diğer bir başka hareketin ise sağa şerit değiştirdiği iki trafik hareketinin kesişmesine denir. Şerit mesafeleri, örülmeden önce iki katına çıkarılmalıdır bunun sonucunda arabalar sağa veya sola şerit değiştirebilmesi için yeterli mesafeye sahip olurlar. Farklı düzeydeki kavşaklara sahip yollarda gerçekleşen örülme, bir giriş rampasından sonra kısa bir mesafeye konulan çıkış rampası yerleştirmenin bir sonucudur. Bu yerleştirmenin sonucunda çakışmalar meydana gelir, bir sonraki kavşakta yoldan başka şeride geçmeye çalışan trafik ile önceki kavşaktan girmeye çalışan trafik arasında çakışmalara neden olur. Bu durum genelde üst geçitli kavşaklarda rastlanır, çok sayıda yakın kavşak bulunan kentsel alanlarda bunu görmek mümkündür (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).

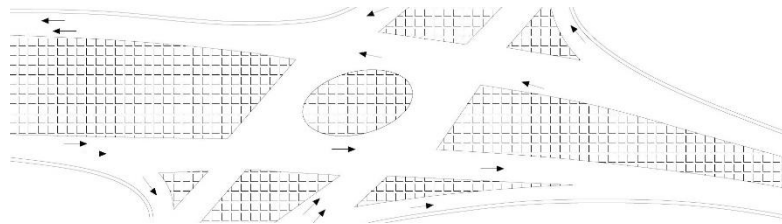


Şekil 2.31. Örülme Mesafesi

Üstteki şekilde görüldüğü gibi ilave bir sol şerit ekleyerek sola dönüş için konforlu ve emniyetli bir yavaşlama imkânı sağlanmış olmaktadır. Ayrıca ayrılma tipi çakışma noktasının kavşaktan uzaklaşmasını sağlayarak hız kesme sonucu olabilecek arkadan çarpma tipi kaza riski de azaltılmış olur.

Katılma tipi çakışma noktasında ise şerit kavşak içerisinden dışına doğru taşınarak bu sayede çakışma noktalarının ara mesafeleri arttırılmış olur. Refüj sayesinde kafa kafaya çarpışma ihtimali de maksimum düzeyde düşürülür.

Birbirine maksimum 25 metreden yakın olan kavşaklarda çakışma noktaları birbirine çok yakındır. Bu çakışma noktalarını birbirinden uzaklaştırmak için dairesel ada kullanılır. Bu dairesel ada kullanımı göbekli adadan çok farklı olup sola dönmek isteyen araçların dönerken korunmasını ve dönüş sırasında araçların ada etrafında depolanması sağlar. Bu sayede trafik yoğunluğu ve kaza ihtimali de azaltmış olur (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).



Şekil 2.32. Noktasal ada

BÖLÜM 3. TRAFİK AKIM PARAMETRELERİ

Yollardaki trafiğin değerlendirilmesi ve analizlerinde üç önemli trafik akım parametresi kullanılır. Bu üç önemli trafik akım parametresi; trafik hacmi veya akım oranı, trafiğin hızı ve trafik yoğunluğudur (Güler, 2016).

Trafik akım parametreleri, trafiğin kesintisiz ve kesintili olmasına bağlı olarak da farklı matematik modellere sahiptirler. Kesintisiz akımlar trafik akımının süreklilik sağladığı ve zaman içinde kesintiye uğramadığı trafik akımları olarak tarif edilebilir. Ana yollardaki trafik akımları genelde kesintisiz trafik akımları olarak dikkate alınırlar. Kesintili trafik akımlarında ise trafik akımında bir süreklilik sağlanamaz. Sinyalize kavşaklarda, yol geometrisinin değiştiği kesimlerde trafik akımları kesintiye uğrarlar. Şehir içindeki trafik akımları genelde kesintisiz trafik akımları olarak dikkate alınırlar (Güler, 2016).

3.1. Trafik Hacmi, Trafik Yoğunluğu ve Hız Kavramları

Trafikteki hacim, yoğunluk ve hız kavramlarının matematiksel ifadeleri bu bölümde açıklanmış ve ayrıntılar aşağıda sunulmuştur.

3.1.1. Trafik hacmi

Verilen bir zaman aralığında bir yolda veya şeritte bir noktadan geçen toplam araç sayısına hacim adı verilir. Trafik hacmi yıllık, günlük, saatlik veya dakikalık periyotlarda ifade edilebilir.

Trafik hacmi genelde bir saatlik periyotlarda ölçülür ve yolların kapasitesi “taşıt/saat” birimi cinsinden ifade edilir. Bir saatlik araç sayımları yolların trafik hacimlerinin

doğru bir şekilde belirlenmesinde uygun olmayabilir. Olabildiğince en kısa zaman dilimlerinde trafik hacminin belirlenmesi mantıklı bir yaklaşımdır fakat araç hızları ve hızlarındaki değişiklikler en kısa zaman aralığına imkân vermeyebilir. Bir saatten daha kısa bir zaman diliminde bir yoldan veya şeritten geçen araçların eşdeğer saatlik trafik hacimlerini yani akım oranlarını belirlemek mümkündür. Saatlik trafik hacmi ve akım oranı kavramlarının karıştırılmaması için aralarındaki farklılık önemlidir (Güler, 2016). Hacim belli bir zaman (genelde bir saat) aralığında bir noktadan geçen veya tahmin edilen toplam araç sayısı olarak ifade edilebilir. Akım oranı ise bir saatlik zaman aralığından daha az bir sürede bir noktadan geçen araç sayısının eşdeğer saatlik oranı olarak ifade edilebilir. Trafik mühendisliğinde en kısa zaman aralığı genelde 15 dakika olarak dikkate alınmaktadır.

15 dakikalık zaman dilimlerinde tespit edilen trafik akım oranları ile yollardaki trafiğin karakteristiği ile ilgili değerlendirmeler yapmak mümkündür. Karayolunun trafik karakteristiğinin değerlendirilmesi için 15 dakikalık ve toplamda bir saatlik trafik sayımları ile Pik Saat Faktör (PHF) değerinin hesaplanması gerekmektedir. PHF aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$PHF = \frac{q}{4.q_{15}} \quad (3.1)$$

Burada; q: Saatlik hacim (araç/saat), q_{15} : 15 dakika süresince geçen trafik hacminin pik değeri (Araç/15 dakika).

Saatlik trafik hacminin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (3.2)$$

Burada; i: Dilim, n: Dilim sayısı (4) ve q_i : i. dilimde akım oranı.

15 dakikalık maksimum akım oranı değeri kullanılarak yolun maksimum akım oranını hesaplamak mümkündür. Yolun maksimum akım oranını aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$q_{maks} = 4 \cdot q_{15} \quad (3.3)$$

Karayolunun trafik karakteristiğinin değerlendirilmesi için Pik Saat Faktör (PHF) eşitliğini aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür;

$$PHF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} q_i}{n \cdot q_{15}} + \frac{q_{15}}{n \cdot q_{15}} \quad (3.4)$$

$$PHF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} q_i}{n \cdot q_{15}} + \frac{1}{n} \quad (3.5)$$

15 dakikalık dilimler olması yani n=4 olarak kabul edilmesi durumunda;

$$PHF = \frac{\sum_{i=1}^3 q_i}{4 \cdot q_{15}} + \frac{1}{4} \quad (3.6)$$

$$PHF = \frac{\sum_{i=1}^3 q_i}{4 \cdot q_{15}} + 0.25 \quad (3.7)$$

Tüm dilimlerde akım oranlarının sıfır olması durumunda ($q_i=0$), PHF değerinin minimum 0.25 olacağı görülmektedir. Tüm dilimlerde akım oranının eşit olması durumunda ($q_i=q_n$) ise PHF değerinin maksimum değerinin 1.00 olacağı görülmektedir.

Sonuç olarak karayollarında PHF değerine göre yolun trafik karakteristiği hakkında aşağıdaki yorumlamalar yapılabilir.

- PHF değeri trafik hacmindeki değişkenliği gösterir.
- PHF değerinin yol kapasitesiyle bir ilişkisi yoktur.
- $0.25 \leq PHF \leq 1.0$ (PHF değeri maksimum 1 minimum 0.25 değerine eşittir.)
- $PHF=0.25$ (Bir saatlik zaman diliminde tüm araçlar 15 dakikalık dilimde görülmüştür. Trafik zamana bağlı olarak heterojen bir karakteristiğe sahiptir.)

- PHF=1 (Bir saatlik zaman diliminde tüm araçlar 15 dakikalık dilimlerinde eşit sayıda görülmüştür. Trafik zamana bağlı olarak homojen ve tutarlı bir karakteristiğe sahiptir.)

Sonuç olarak PHF değerinin 1 veya 1'e yakın olduğu hallerde trafiğin "Tutarlı", 0.25'e yakın olduğu durumlarda ise trafiğin "Tutarsız" bir karakteristikte olduğu söylenebilir.

Bu tez çalışmasında trafiğin karakteristiğinin değerlendirilmesi için Likert ölçeği esas alınmıştır. PHF değeri 0.25 ile 1.00 değerleri arasında 5'e bölünmüş ve trafik karakteristiğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Hazırlanan derecelendirme tablosu Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Trafik karakteristiğinin değerlendirilmesi

No	PHFmin	PHFmaks	Derecelendirme	Değerlendirme
1	0.25	0.40	1	Tutarsız
2	0.40	0.55	2	Kararsız
3	0.55	0.70	3	Kararsız
4	0.70	0.85	4	Kararsız
5	0.85	1.00	5	Tutarlı

PHF değerlerine göre trafik karakteristiğinin değerlendirilmesi için bu bölümde edilen matematiksel ifadeler kullanılarak örnek bir uygulama yapılmış ve Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. PHF ile örnek trafik akımlarının değerlendirilmesi

No	q ₁ (araç/15 dak)	q ₂ (araç/15 dak)	q ₃ (araç/15 dak)	q ₄ (araç/15 dak)	q (Araç/sa)	q ₁₅ (Araç/15 dak)	PHF	q _{maks}	Derece
		1,000,00			1,001,49	1,000,00		4,000,00	
1	500	0	520	475	5	0	0.250	0	1
2	500	1,500	500	500	3,000	1,500	0.500	6,000	2
3	500	600	200	100	1,400	600	0.583	2,400	3
4	500	800	500	500	2,300	800	0.719	3,200	4
5	500	450	520	475	1,945	520	0.935	2,080	5

Yukarıda anlatılan pik saat faktörü hesaplamalarına tez çalışmamızda ele aldığımız kavşaklardan biri olan Tüvasaş kavşağındaki kollara ait PHF değerlerinin bulunması

ile aşağıda örneklendirilmiş ve Tablo 3.3.'te gösterilmiştir. Gözlemlenen kavşak kollarında trafik hacminin en fazla olduğu zaman dilimi sabah 08.00-09.00 arasında gözlemlenmiştir. Söz konusu kavşaktaki 2,3,4,5 ve 6 numaralı kollara ait 15'er dakikalık sayımlar ve bu sayımlardan elde edilen değerler yine Tablo 3.3.'te sunulmuştur.

Tablo 3.3. PHF hesaplamaları Tuvasaş kavşağı

No	q ₁ (araç/15 dak)	q ₂ (araç/15 dak)	q ₃ (araç/15 dak)	q ₄ (araç/15 dak)	q (Araç/sa)	q ₁₅ (Araç/15 dak)	PHF	q _{maks}	Derece
2	61	56	62	62	241	62	0,972	248	5
3	236	268	230	231	965	268	0,900	1.072	5
4	59	69	63	55	246	69	0,891	276	5
5	199	172	174	142	687	199	0,863	796	5
6	347	382	422	326	1.477	422	0,875	1.688	5

Tablodan da anlaşılacağı gibi bu kavşağa ait kollardaki trafik akımlarının likert ölçeğine göre derecelendirilmelerine bakıldığında tüm kollardaki trafik akımlarının tutarlı olduğu görülecektir. Gün içinde en yüksek trafik hacminin gözlemlendiği saatteki saatlik trafik hacmi 15'er dakikalık akım oranlarına dengeli bir biçimde yayılmıştır.

Aynı şekilde Tunatan kavşağındaki kollara ait PHF değerleri de Tablo 3.4.'te gösterilmiş olup, bu kavşakta da gün içindeki maksimum saatlik trafik sabah 08.00-09.00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Söz konusu kavşakta aynı saatteki 2,3,4,5,6,7 ve 8 numaralı kollara ait 15'er dakikalık sayımlar ve bu sayımlardan elde edilen değerler yine Tablo 3.4.'te sunulmuştur.

Tablo 3.4. PHF hesaplamaları Tunatan kavşağı

No	q ₁ (araç/15 dak)	q ₂ (araç/15 dak)	q ₃ (araç/15 dak)	q ₄ (araç/15 dak)	q (Araç/sa)	q ₁₅ (Araç/15 dak)	PHF	q _{maks}	Derece
2	303	300	260	224	1.087	303	0,897	1.212	5
3	159	188	154	156	657	188	0,874	752	5
4	93	127	101	107	428	127	0,843	508	4
5	89	175	152	145	561	175	0,801	700	4
6	67	120	91	95	373	120	0,777	480	4
7	170	176	198	161	705	198	0,890	792	5
8	111	106	106	127	450	127	0,886	508	5

Tablodan da anlaşılabacağı gibi bu kavşağa ait kollardaki trafik akımlarının likert ölçeğine göre derecelendirilmelerine bakıldığında tüm kollardaki trafik akımlarının tutarlı olmadığı 4,5 ve 6 numaralı akım kollarının kararsız olduğu gözlemlenmektedir. Gün içinde en yüksek trafik hacminin gözlemlendiği saatteki saatlik trafik hacmi 15'er dakikalık akım oranlarına homojen olarak yayılmamıştır.

Yukarıdaki söz konusu iki kavşak gibi bu tez kapsamında çalışma konusu yapılan diğer bir kavşak olan hastane kavşağında aynı gün sayımlar yapılmış yine gün içindeki maksimum saatlik trafik sabah 08.00-09.00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Söz konusu kavşakta aynı saatteki 1,2 ve 3 numaralı kollara ait 15'er dakikalık sayımlar ve bu sayımlardan elde edilen değerler yine Tablo 3.5.'te sunulmuştur.

Tablo 3.5. PHF hesaplamaları Hastane kavşağı

No	q ₁ (araç/15 dak)	q ₂ (araç/15 dak)	q ₃ (araç/15 dak)	q ₄ (araç/15 dak)	q (Araç/sa)	q ₁₅ (Araç/15 dak)	PHF	q _{maks}	Derece
1	303	295	353	352	1.303	353	0,923	1.412	5
2	87	77	83	95	342	95	0,900	380	5
3	414	374	264	333	1.385	414	0,836	1.656	4

Tablodan da anlaşılabacağı gibi bu kavşağa ait kollardaki trafik akımlarının likert ölçeğine göre derecelendirilmelerine bakıldığında tüm kollardaki trafik akımlarının tutarlı olmadığı 3 numaralı akım kolundaki trafiğin kararsız olduğu görülmektedir. Gün içinde en yüksek trafik hacminin gözlemlendiği saatteki saatlik trafik hacmi 15'er dakikalık akım oranlarına homojen olarak yayılmadığı gözlemlenmektedir.

3.1.2. Trafik hızı

Karayollarında trafiğin servis kalitesinin belirlenmesinde hız önemli bir parametredir. Şehirlerarası ve şehir içi yollarda yolların servis düzeyleri hız ile belirlenir. Trafik mühendisliği uygulamalarında hız Metre/Saniye (m/sn) ya da daha çok Kilometre/Saat (km/sa) cinsinden ifade edilir. Karayollarında trafiğin hızı tüm araçların hızları dikkate alınarak hesaplanır (Yayla, 2004). Trafiğin hızı; ortalama seyahat hızı, zamana bağlı ortalama hız, mesafeye bağlı ortalama hız ve ortalama işletme hızları ile değerlendirilir.

Ortalama seyahat hızı, gözlem yapılan araçların hızları dikkate alınarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$S = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (3.8)$$

Burada; S: Ortalama seyahat hızı (km/sa), L: Yol uzunluğu (km), n: Gözlenen seyahat süreleri, t_i: Gözlenen araçların seyahat süreleri (sa).

Alınan yol uzunluğu boyunca ortalama seyahat süresi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir;

$$t_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (3.9)$$

Ortalama seyahat hızı, ortalama seyahat süresi üzerinden aşağıda gösterilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilir;

$$S = \frac{L}{t_a} \quad (3.10)$$

Zamana bağlı ortalama hız, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır. Zamana bağlı hız hesaplamasında araç hızları yollarda radar ile tespit edilirler.

$$V_{TMS} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (3.11)$$

$$V_{TMS} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d}{t_i}}{n} \quad (3.12)$$

Burada; V_{TMS}: Zamana bağlı ortalama hız (km/sa), d: Yol uzunluğu (km), n: Gözlenen seyahat süreleri, t_i: Gözlenen araçların seyahat süreleri (sa).

Mesafeye bağlı ortalama hız aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır (Güler, 2016). Bu hızlar seyahat süreleri dikkate alınarak hesaplanır.

$$V_{SMS} = \frac{d}{\frac{\sum_i t_i}{n}} \quad (3.13)$$

$$V_{SMS} = \frac{nd}{\sum_i t_i} \quad (3.14)$$

Burada; V_{SMS} : Mesafeye bağlı ortalama hız (km/sa), d: Yol uzunluğu (km), n: Gözlem sayısı, t_i : Gözlenen araçların seyahat süreleri (sa).

Ortalama işletme hızı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır. Ortalama işletme hızı hesabına gecikme süreleri dahil edilmez.

$$V_r = \frac{d}{\frac{\sum_i t_{ri}}{n}} \quad (3.15)$$

$$V_r = \frac{nd}{\sum_i t_{ri}} \quad (3.16)$$

Burada; V_r : Ortalama işletme hızı (km/sa), d: Yol uzunluğu (km), n: Gözlem sayısı, t_{ri} : Gözlenen araçların işletme süreleri (sa).

Zamana bağlı ortalama hız ile mesafeye bağlı ortalama hız arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile gösterilmiştir.

$$V_{TMS} = V_{SMS} + \frac{S_{SMS}^2}{V_{SMS}} \quad (3.17)$$

Burada; S_{SMS}^2 : Mesafeye bağlı ortalama hızın örneklem varyansıdır. Örneklem varyansı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$S_{SMS}^2 = \frac{\sum_i (V_{ort} - V_i)^2}{n - 1} \quad (3.18)$$

Zamana bağılı ortalama hız, mesafeye bağılı ortalama hız ve ortalama işletme hızı hesapları örnek bir kesimde beş araç gözlenerek hesaplanmış ve Tablo 3.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Hız hesaplamaları

Hızlar	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	5.Araç	Toplam	Ortalama	Varyans
Seyahat süresi (s)	153 (142+11)	103	166	137	127	686	137.2	
İşletme süresi (s)	142	103	141	137	127	650	130.0	
Gecikme süresi (s)	11	0	25	0	0	36	7.2	
Ortalama seyahat hızı (km/sa)	44.7 1.9x3600/153	66.4	41.2	49.9	53.9	256	51.2	95
Ortalama işletme hızı (km/sa)	48.1 1.9x3600/142	66.4	48.4	49.9	53.9	-	52.6	

Gözlem sayısı: 5
Kesim uzunluğu=1.9km
Zamana bağılı ortalama hız = 256/5=51.2km/sa
Mesafeye bağılı ortalama hız = 5x1.9/686 = 49.8km/sa
Kontrol: 49.8+95/49.8=51.7km/sa =51.2km/sa

Zamana bağılı ortalama hız, mesafeye bağılı ortalama hız ve ortalama işletme hızı hesapları Tunatan kavşağı 4.kol kesiminde beş araç gözlenerek hesaplanmış ve Tablo 3.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Hız hesaplamaları Tunatan kavşağı

Hızlar	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	5.Araç	Toplam	Ortalama	Varyans
Sehayat süresi (s)	45,2	137,33	39,82	63,4	57,7	343,45	68,69	
İşletme süresi (s)	75	75	90	60	180	480	96	
Gecikme süresi (s)	20	50	17	25	22	134	26,8	
Ortalama sehayat hızı (km/sa)	17,84	5,87	20,25	12,72	13,98	70,66	14,13	30,3616
Ortalama işletme hızı (km/sa)	10,752	10,752	8,96	13,44	4,48	48,384	9,6768	

Gözlem sayısı: 5
Kesim uzunluğu=0,224km
Zamana bağılı ortalama hız = 70,66/5=14,13km/sa
Mesafeye bağılı ortalama hız = 5x0,224x1000x3,6/343,45 = 11,74km/sa
Kontrol: 11,74+30,36/11,74=14,13km/sa =14,13km/sa

Trafik hızının artmasıyla birlikte trafik hacmi başka bir deyişle trafik kapasitesi artar ancak yüksek hızların trafik güvenliği açısından önemli sakıncaları bulunmaktadır (Güler, 2016). Bu sebeple karayollarında hız limitleri yasal yollarla belirlenir. Trafik kapasitesini düşürmemek için hız limitleri yolun geometrisine ve çevre özelliklerine bağlı olarak lokal olarak da düşürülür. Yolun geometrisine ve çevre özelliklerine bağlı olarak yasal olarak hız limitleri belirlenmesi yanında ölçüm yoluyla da hız limitlerinin belirlenmesi mümkündür (Gil ve Malenstein, 2007).

Ölçüm yoluyla hız limitlerinin belirlenmesinde %85'inci hız değeri maksimum hız olarak belirlenir. Bu yöntemde; sürücülerin büyük çoğunluğunun %85'inci hızda tedbirli gittikleri, bir kaza istemedikleri ve varış noktasına bu hızla en kısa sürede varacakları kabulleri yapılır (Soole vd., 2012).

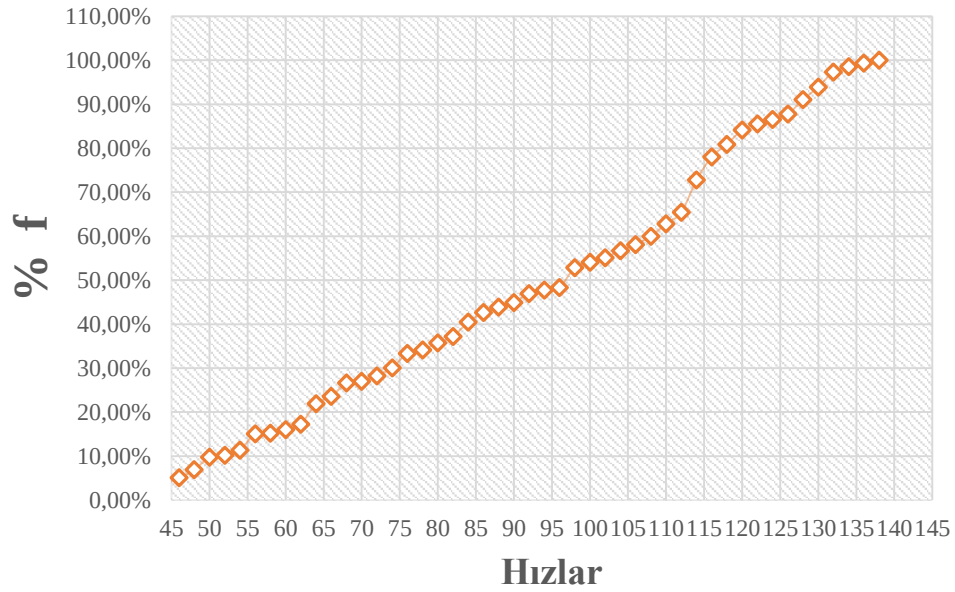
%85'inci hızın tespit edilmesinde istatistik yöntemlerden yararlanılır. Aşağıda bir bölgede yapılan hız ölçümleri Tablo 3.8.'de ayrıca hız ölçümleri yapıldıktan sonra hızların frekanslarını kümülatif dağılımları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Ölçülen hızların dağılımları

Arac Sayısı	Kümülatif	Hızlar	f	% f
5	5	40	0,010163	1,02%
3	8	42	0,01626	1,63%
10	18	44	0,036585	3,66%
7	25	46	0,050813	5,08%
9	34	48	0,069106	6,91%
14	48	50	0,097561	9,76%
2	50	52	0,101626	10,16%
6	56	54	0,113821	11,38%
18	74	56	0,150407	15,04%
1	75	58	0,152439	15,24%
4	79	60	0,160569	16,06%
6	85	62	0,172764	17,28%
23	108	64	0,219512	21,95%
8	116	66	0,235772	23,58%
15	131	68	0,26626	26,63%
2	133	70	0,270325	27,03%
6	139	72	0,28252	28,25%
9	148	74	0,300813	30,08%
16	164	76	0,333333	33,33%
4	168	78	0,341463	34,15%
8	176	80	0,357724	35,77%
7	183	82	0,371951	37,20%
16	199	84	0,404472	40,45%
11	210	86	0,426829	42,68%

Tablo 3.8. (Devamı)

6	216	88	0,439024	43,90%
5	221	90	0,449187	44,92%
10	231	92	0,469512	46,95%
4	235	94	0,477642	47,76%
3	238	96	0,48374	48,37%
22	260	98	0,528455	52,85%
6	266	100	0,54065	54,07%
5	271	102	0,550813	55,08%
8	279	104	0,567073	56,71%
7	286	106	0,581301	58,13%
9	295	108	0,599593	59,96%
14	309	110	0,628049	62,80%
13	322	112	0,654472	65,45%
36	358	114	0,727642	72,76%
26	384	116	0,780488	78,05%
14	398	118	0,808943	80,89%
16	414	120	0,841463	84,15%
7	421	122	0,855691	85,57%
5	426	124	0,865854	86,59%
6	432	126	0,878049	87,80%
16	448	128	0,910569	91,06%
14	462	130	0,939024	93,90%
17	479	132	0,973577	97,36%
6	485	134	0,985772	98,58%
4	489	136	0,993902	99,39%
3	492	138	1	100,00%



Şekil 3.1. %85'inci hızın tespit edilmesi için örnek grafik

%85'inci hız değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak da hesaplanabilir.

$$V_{85} = 0.85n \quad (3.19)$$

Burada; n: Küçükten büyüğe doğru sıralanmış hız veri sayısıdır

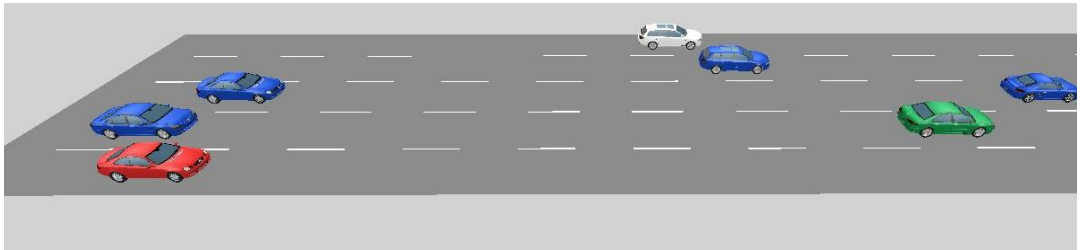
3.1.3. Trafik yoğunluğu

Belirli bir zamanda bir yolun veya şeridin belli bir uzunluğunda bulunan araç (veya yaya) sayısına yoğunluk adı verilir (Yayla, 2004). Yoğunluk araç/km veya pc/km (Birim araç/km) olarak gösterilir. Yoğunluğun doğrudan ölçülmesi çok zordur. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak yoğunluk hesaplanabilir:

$$k = \frac{q}{u_{ort}} \quad (3.20)$$

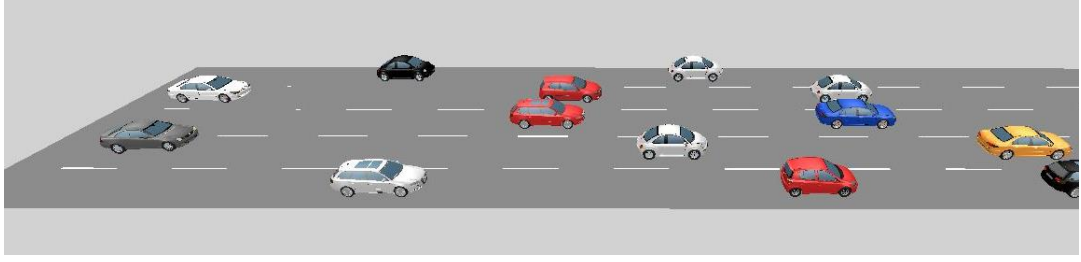
Burada; q: trafik hacmi (Araç/saat), u_{ort} : Ortalama seyahat hızı (km/sa) ve k: Trafik yoğunluğu (Araç/km).

Aşağıdaki şekillerde aynı yol kesimine ait farklı zamanlardaki trafik yoğunluğu durumlarını gösteren simülasyon görüntüleri sunulmuştur.



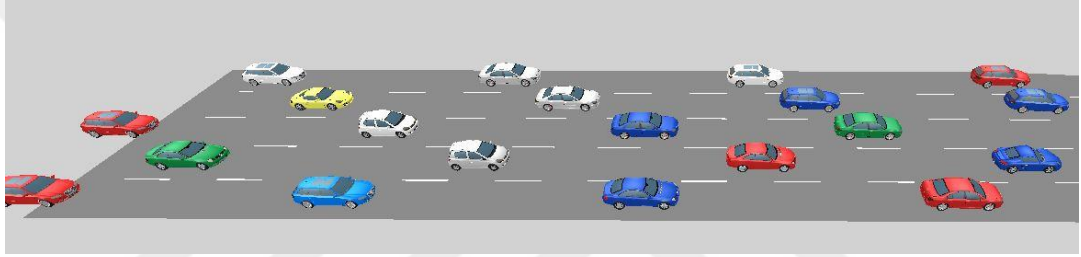
Şekil 3.2. Düşük Yoğun Trafik

Düşük yoğunluklu trafikte araçlar şerit değiştirirken veya hızlarını ayarlarken neredeyse birbirlerinden hiç etkilenmezler. Böyle bir trafikte yüksek konforlu bir seyahat gerçekleşmekte ve 4-5 araçtan oluşan araç kümelenmelerine nadiren rastlanmaktadır.



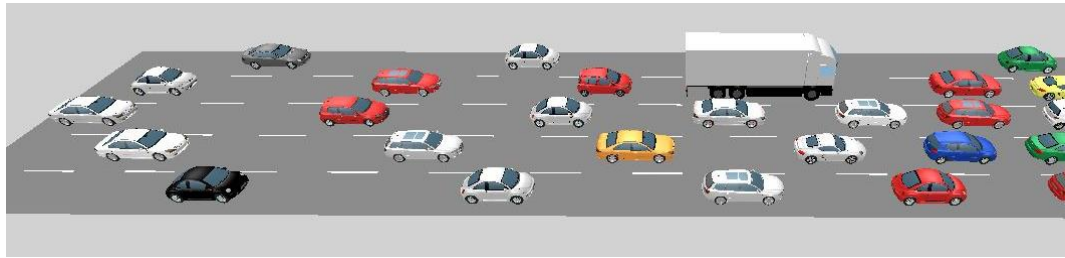
Şekil 3.3. Hafif Yoğun Trafik

Hafif yoğun trafikte araçların birbirlerinden etkilenmeleri söz konusu olmaya başlamıştır ve trafikte kararlı bir akım olsa da araçlar şerit değiştirirken veya seyahat edecekleri hız tercihlerinde çeşitli kısıtlamalar ile karşılaşacaklardır.



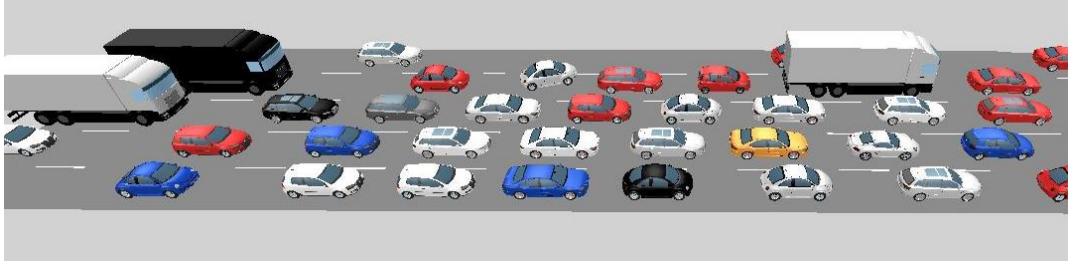
Şekil 3.4. Orta Yoğun Trafik

Orta yoğun trafikte araçların birbirlerinden etkilenmeleri artık daha fazla gerçekleşmektedir. Hız tercihi ve şerit değişiklikleri birbirlerinden daha fazla etkilendikleri için giderek zorlaşmakta, seyahat konforu da git gide azalmaktadır.



Şekil 3.5. Çok Yoğun Trafik

Çok yoğun trafikte araçlar için şerit değiştirmek veya istedikleri hızda gitmek neredeyse imkansızlaşmıştır. Konfor oldukça düşük olmakla birlikte araçlar trafikte birbirlerinin hareketlerini çok fazla kısıtlamaktadır. Ayrıca bu yol kesimindeki trafik hacmi yolun kapasitesine oldukça yakındır.

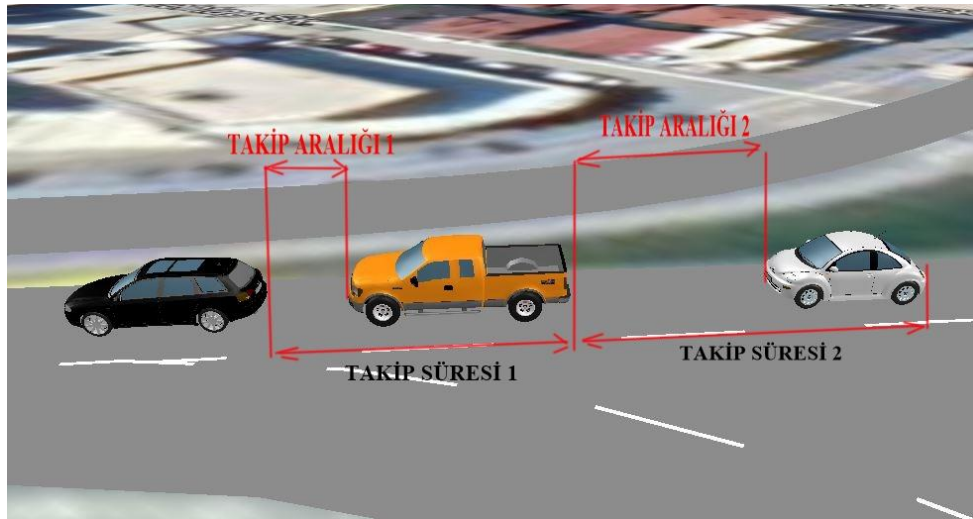


Şekil 3.6. Sıkışık Trafik

Sıkışık trafikte ise yolun kapasitesinden daha fazla araç yola girmeye çalışmakta ve sık sık dur-kalk yapan araçlara rastlanılmaktadır (Yayla, 2004). Konfordan bahsetmek mümkün olmadığı gibi araçlar tamamıyla birbirlerine bağımlı olarak hareket etmekte ve şerit seçimi hız tercihi gibi seyahat unsurları görülmemektedir.

3.1.4. Takip süresi ve takip aralığı

Takip aralığı trafik akımı içinde bulunan iki aracın aynı noktasından ölçülen mesafedir (Ön tampon, arka dingil vb.). Takip süresi iki aracın bir yolda veya şeritte aynı noktadan geçtiklerinde, araçların aynı noktasından ölçülerek bulunan aradaki zaman farkına denmektedir (Güler, 2016).



Şekil 3.7. Takip süresi ve takip mesafesi

Takip süresi karayolundaki araçların takip aralıklarının ortalaması hesaplanarak belirlenir. Ortalama takip süresi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$h_{ort} = \frac{\sum_i h_i}{n-1} \quad (3.21)$$

Burada; h_i : i.takip aralığı ve n: Gözlem yapılan toplam araç sayısı.

Takip süresi, takip süresinin hesaplanmaya başladığı gözlem zamanlarıyla da hesaplanabilir. Gözlem zamanları ile takip süresi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$h_{ort} = \frac{t_{maks}-t_{min}}{n-1} \quad (3.22)$$

Burada; t_{maks} : En büyük zaman, t_{min} : En küçük zaman n: Gözlem yapılan toplam araç sayısı.

Takip süresi ile trafik hacmi kavramları birbiri ile alakalıdır. Trafik hacmi ile takip süresi arasında bulunan bağlantı aşağıda gösterilmiştir.

$$q = \frac{1}{h_{ort}} \quad (3.23)$$

Trafik hacminin araç/sa ve takip süresinin saniye cinsinden dikkate alınması durumunda eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q = \frac{3600}{h_{ort}} \quad (3.24)$$

Karayollarında takip süresinin belirlenmesi durumunda yolların trafik hacmini hesaplamak mümkündür.

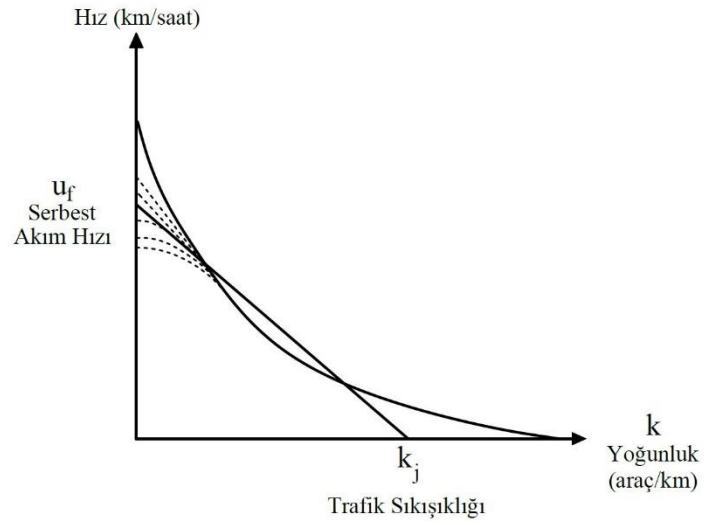
BÖLÜM 4. TRAFİK AKIM PARAMETRELERİ ARASINDAKİ MATEMATİKSEL İLİŞKİ

Trafik akım parametreleri olan hacim, hız ve yoğunluk arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$q = u \cdot k$$

4.1. Trafik Yoğunluğu ve Trafik Hızı Arasındaki İlişki

Serbest hız (u_f) ve tıkanık yoğunluğu (k_j) değerlerini kullanarak trafik akım parametreleri arasında matematik bağıntılar ve bu bağıntılara bağlı olarak grafikler oluşturmak mümkündür. Serbest hız karayollarında sürücülerin yolda yapabilecekleri en yüksek hız değerini ifade etmektedir. Tıkanık yoğunluğu ise yollarda trafik sıkışıklığına bağlı olarak araçların hareket edemeyecekleri tampon-tampona olan trafik yoğunluğunu ifade etmektedir (Highway Capacity Manual, 1985). Aşağıdaki grafikte trafik yoğunluğu ve trafik hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Trafik yoğunluğunun olmadığı durumda araçlar serbest hızda (u_f) hareket edebilmektedirler. Trafik yoğunluğunun maksimum olması yani tıkanık yoğunluğunda araçlar hareket edememekte ve hızları sıfır olmaktadır (Güler, 2016). Trafik yoğunluğu-hız arasında matematik bir model geliştirmek için ilişkinin birinci dereceden doğrusal bir denklem olduğu kabulü yapılabilir.



Şekil 4.1. Trafik yoğunluğu-hız arasındaki ilişki

$$k = a + bu$$

$$a = k_j$$

$$b = -\frac{k_j}{u_f}$$

$$k = k_j - \frac{k_j}{u_f} u$$

$$k = k_j \left(1 - \frac{u}{u_f}\right)$$

Ayrıca u ile k arasında aşağıdaki bağıntı yazılabilir

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$$

4.2. Trafik Hızı ve Trafik Hacmi Arasındaki İlişki

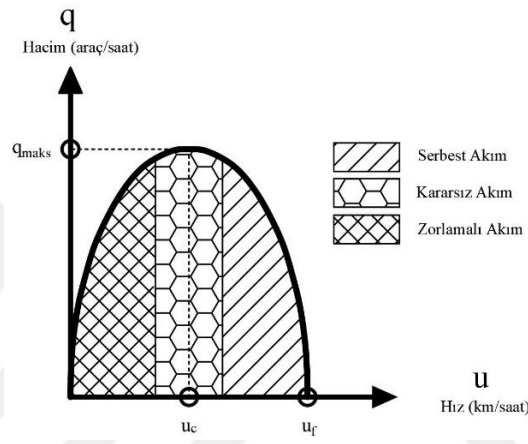
Trafik hızı ve trafik yoğunluğu arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çıkarılabilir

$$q = u \cdot k$$

$$k = k_j \left(1 - \frac{u}{u_f} \right)$$

$$q = u \cdot k_j \left(1 - \frac{u}{u_f} \right)$$

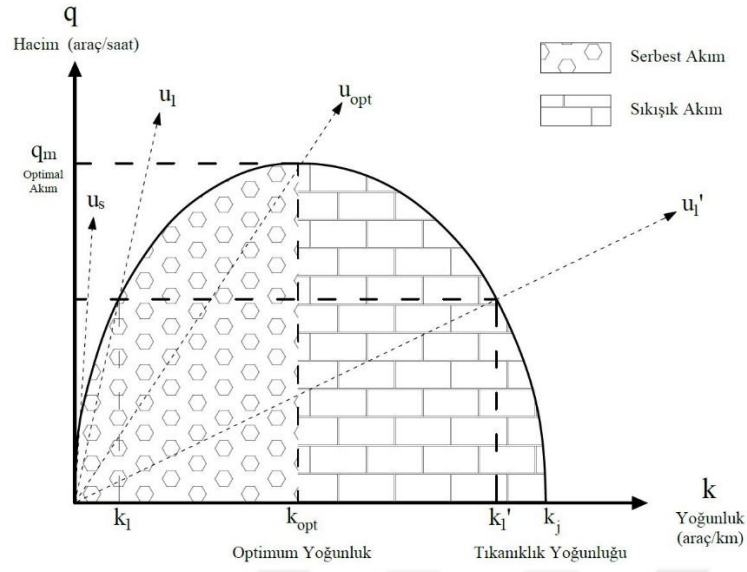
$$q = k_j \left(u - \frac{u^2}{u_f} \right)$$



Şekil 4.2. Trafik hacmi-hız arasındaki ilişki

4.3. Trafik Yoğunluğu ve Trafik Hacmi Arasındaki İlişki

Trafik yoğunluğu ve trafik hacmi arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çıkarılabilir.



Şekil 4.3. Yoğunluk- Hacim Arasındaki İlişki

$$q = u \cdot k$$

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)$$

$$k \cdot u = k \cdot u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)$$

$$q = u_f \left(k - \frac{k^2}{k_j} \right)$$

Sonuç olarak; trafik hacmi, yoğunluk ve hız arasındaki bağıntılar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

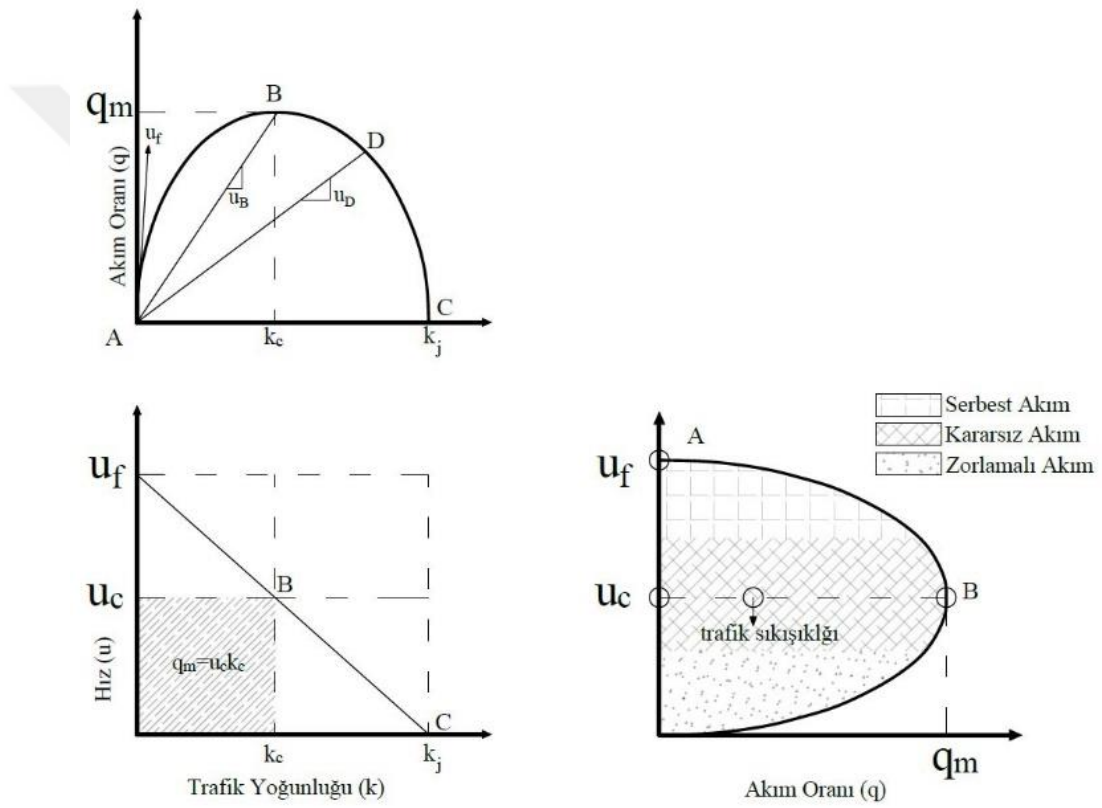
$$q = u \cdot k$$

$$k = k_j \left(1 - \frac{u}{u_f} \right)$$

$$q = k_j \left(u - \frac{u^2}{u_f} \right)$$

$$q = u_f \left(k - \frac{k^2}{k_j} \right)$$

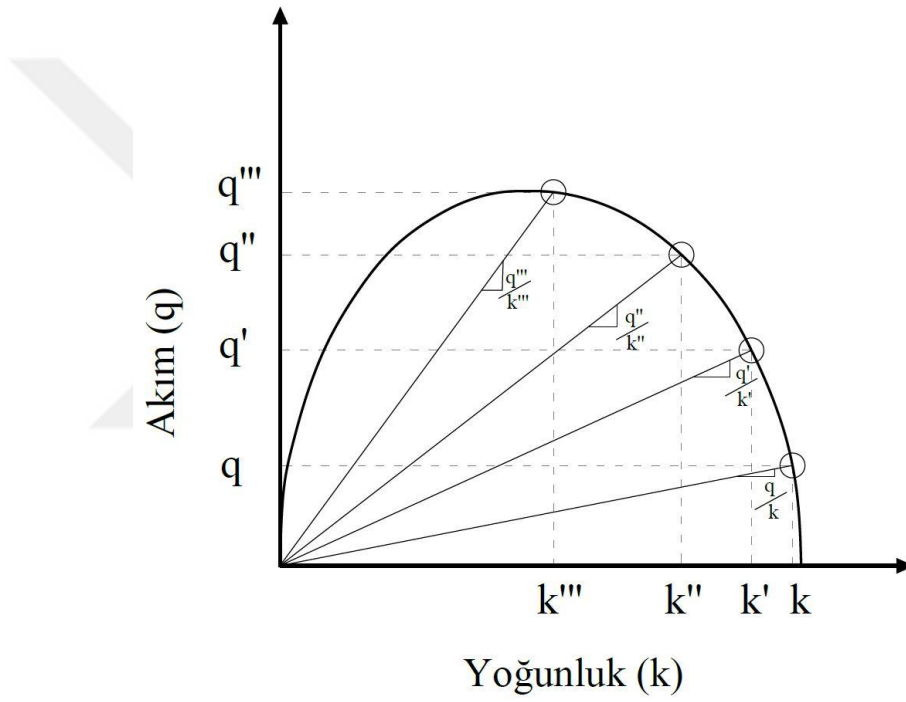
Bağıntıdaki üç değişken arasındaki ilişkileri aşağıda verilen grafiklerle açıklamak mümkündür.



Şekil 4.4. Akım oranı-Hız ve Yoğunluk ilişkisi

BÖLÜM 5. ARAÇ YÖRÜNGE DİYAGRAMLARI VE TRAFİKTE ŞOK DALGALANMALAR

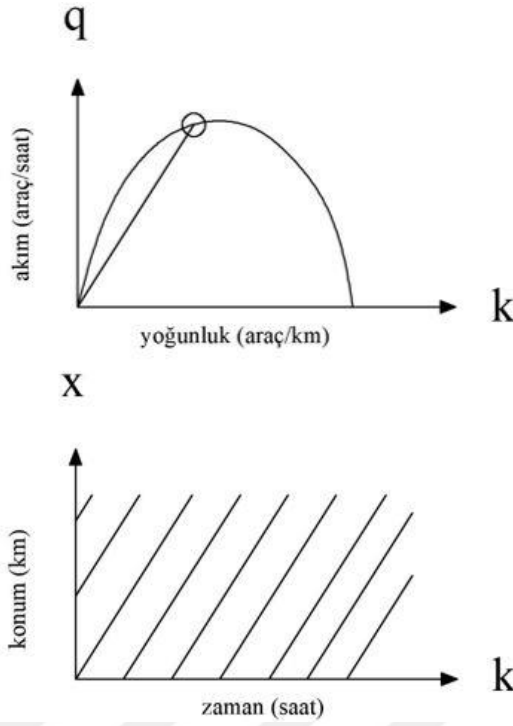
Akım-Yoğunluk grafiklerinde herhangi bir noktanın hız bilgisine ulaşmak için aşağıdaki doğrunun çizilmesi yeterlidir.



Şekil 5.1. Akım-Yoğunluk grafiğinden hızın bulunması

Akım-Yoğunluk grafiklerinden elde edilen hız doğu denklemlerinin, Zaman-Konum grafiklerindeki doğrulara benzediği söylenebilir (Güler, 2016).

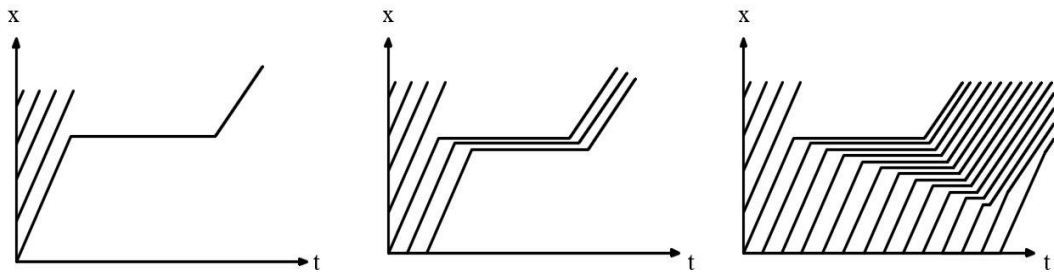
Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere grafiklerdeki eğimlerin birbirlerine eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Hız doğruları

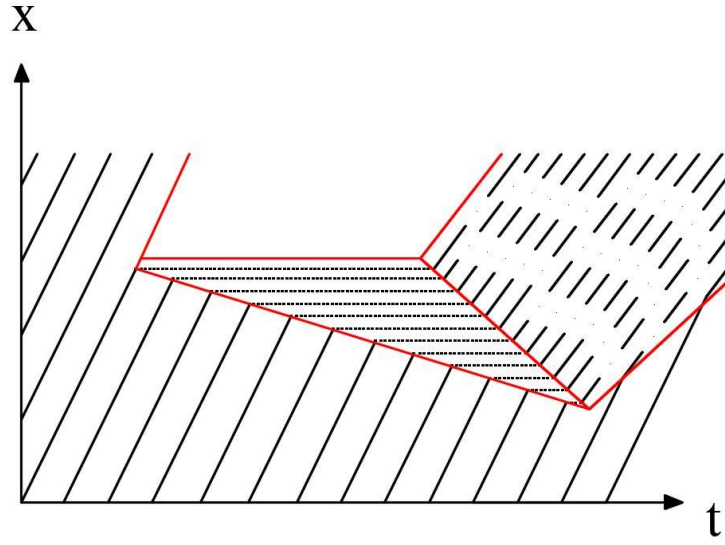
5.1. Şok Dalgaları

Herhangi bir karayolunda düzgün bir şekilde akan trafiğe herhangi bir şekilde bir müdahale olduğunda trafik akımında bir dalgalanma meydana gelir. Burum konum-zaman grafikleri ile aşağıdaki gibi açıklanabilir (Güler, 2016).



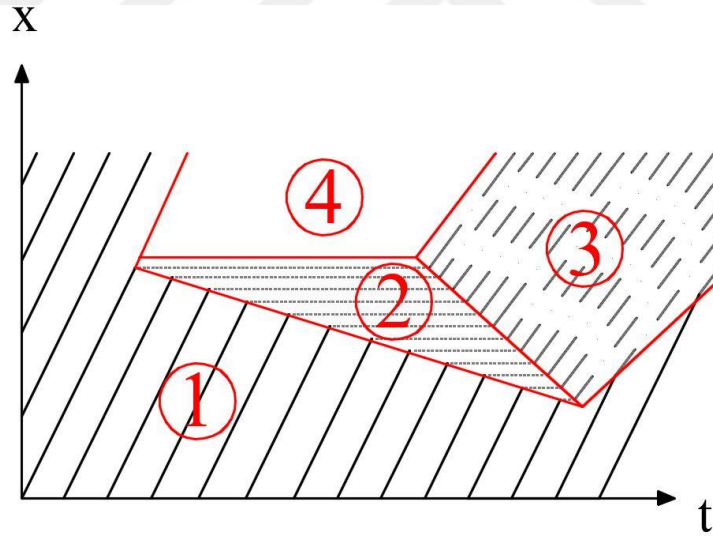
Şekil 5.3. Trafikte dalgalanmanın görülmesi

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi şok dalgaların olduğu bölgeyi belirlemek mümkündür. Sabit bir yoğunluğa sahip olan bölge aşağıda görüldüğü gibi üçgen içine alınmıştır.



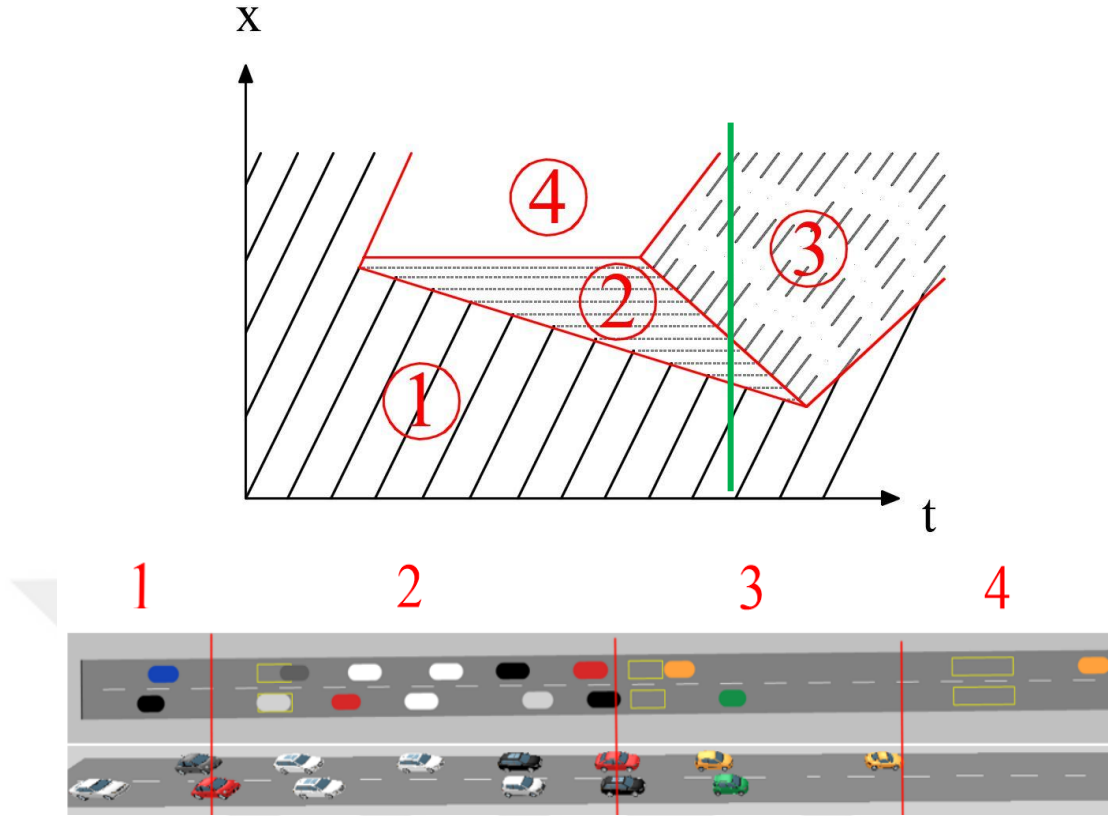
Şekil 5.4. Şok dalgalarının görüldüğü bölge

Trafik akım değerlerinin farklılık gösterdiği bölgeler aşağıdaki grafik üzerinde işaretlenirse:



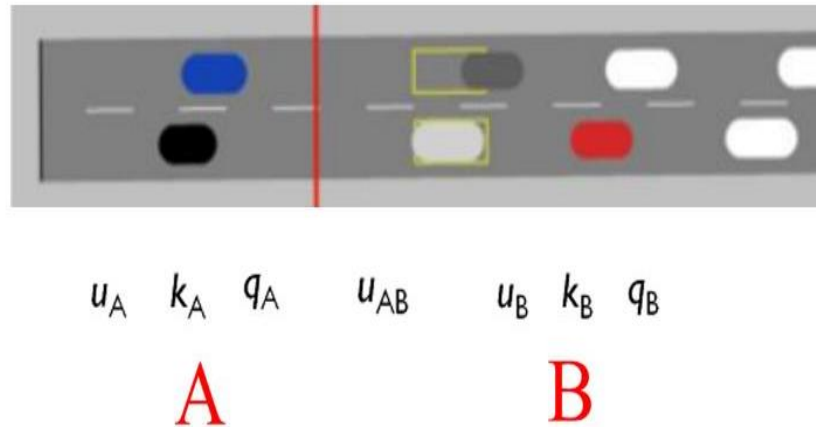
Şekil 5.5. Trafik değerlerinin farklı olduğu kesimler

Herhangi bir anda belli bir yol uzunluğunda bulunan araçların durumu aşağıdaki şekilde gösterilebilir.



Şekil 5.6. Belli bir anda belli bir uzunlukta araçların temsili gösterimi

Şok dalgalanmanın başladığı bir yol kesimi aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi incelenirse.



Şekil 5.7. Şok Dalgalanmaların Başladığı Kesim

Araçların şok dalgasının başladığı kesimdeki trafik hacim değeri:

$$q_{AB} = u_{AB} \cdot k_A$$

Araçların şok dalgasına girdikleri hızda:

$$q_{AB} = (u_A - u_{AB}) \cdot k_A$$

Araçların şok dalgasından ayrıldıkları hızda:

$$q_{AB} = (u_B - u_{AB}) \cdot k_B$$

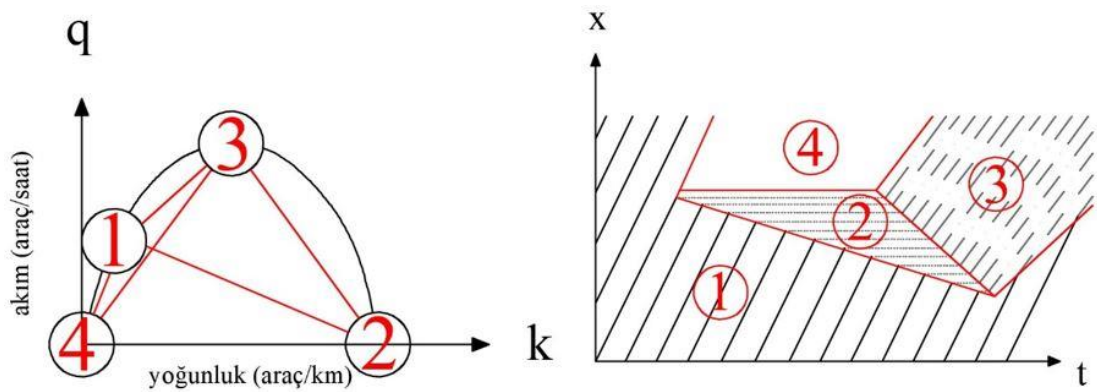
Bağıntıları yazılabilir. Yukarıdaki akım oranlarının, şok dalgada araçların kaybolmayacağı ya da var olamayacağından eşit olması gerekir. Sonuç olarak, şok dalgasına girerken ve ayrılırken gerçekleşen hacim değerleri eşitlenirse:

$$(u_A - u_{AB}) \cdot k_A = (u_B - u_{AB}) \cdot k_B$$

Şok dalga başlangıcındaki hız değeri:

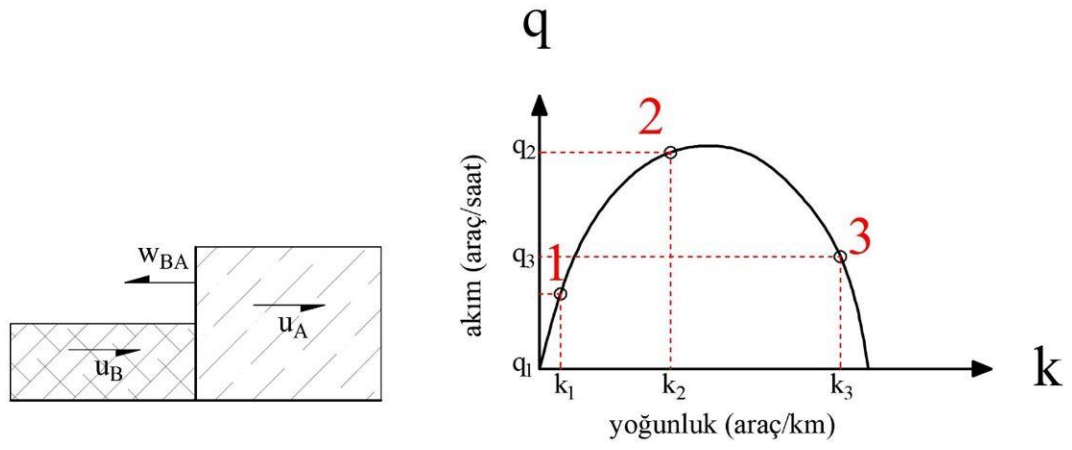
$$u_{AB} = \frac{q_A - q_B}{k_A - k_B} \quad u_{AB} = \frac{q_B - q_A}{k_B - k_A}$$

Şok bölgesi ve diğer bölgeler grafik üzerinde gösterilirse:



Şekil 5.8. Şok Dalganın Akım-Yoğunluk Grafiğinde Gösterimi

Şok dalga hızının işaretinin pozitif olması şok dalganın akım yönünde, negatif olması akım yönünün tersine olduğunu gösterir.



Şekil 5.9. Şok Dalgalarının Yönü

BÖLÜM 6. TRAFİK SİMÜLASYON TEKNİKLERİ

6.1. Simülasyon Kavramı

Simülasyonu kavramını açıklamak için öncelikle bu kavramın temel yapıtaşını oluşturan sistem kavramını irdelemek gerekmektedir. Sistemler; belirlenen bir amaç için birbiri ile ilişkili olan parçaların bir bütünü ihtiva edecek şekilde bir araya gelmesi halinde tanımlanmaktadır (Atçı vd, 1997). Simülasyon kavramı için literatürde çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Bir ekonomik yapının veya işletmenin hareketlerini ifade etmek için kurulan matematik modellerin bilgisayarda deneyimlenerek açıklanmasını sağlayan matematik bir teknik olarak simülasyon kavramının tanımı yapılmaktadır (Naylor,1966). Ayrıca gerçek olgu ve bazı tahminlerle birlikte, belirsiz durumlar altındaki opsiyonları değerlendirebilmek için bilgisayarla programlanmış matematiksel modelleri kullanarak gerçekleşen teknik olarak da tanımlanmaktadır (Thirau & Klekamp, 1975).

Yukarıda açıklandığı şekilde tanımlanan bu teknik herhangi bir sistemin sergilediği davranışlar gözlemlenerek, incelenen davranışların tanımlanıp açıklanabilmelerini sağlamaktadır. Ayrıca simülasyon; bu davranışların sistemdeki değişikliklerden ne şekilde etkilenip nasıl değiştiklerini gözlemleyerek gelecekteki farklı durumlarda sistemin nasıl tepki verebileceğini incelemek için tahminler yürütmeye yarayan uygulamalı ve deneysel bir metodolojidir (Shannon, 1975).

6.2. Simülasyonun Tarihsel Gelişimi

Bundan tam 5000 yıl öncesinden başlayan simülasyon tarihi "WEICH" adındaki Çin Savaş Oyunları olarak ortaya çıkar ve 1780 yılına varana dek bu şekilde bilinir. Ancak Prusya bu sistemi orduda trenlerinde kullanmak için uyarlayana kadar bu şekilde sürer.

Bu süreçten sonra dünyada bütün askeri güçlerin liderleri, askeri stratejilerini geliştirmek amacıyla simüle edilmiş alanlarda bu savaş oyunlarından faydalanmışlardır.

2. Dünya Savaşı sırasında ise dönemin önemli matematikçilerinden John von Neumann bu sistemi alıp geliştirerek askeri kullanımının dışında yeni bir teknik olarak Monte Carlo Simülasyon Tekniği adıyla ortaya sunmuştur (Jahangirian, 2010).

1950'li yıllarla birlikte bilgisayarların gelişmesi sonucu simülasyon artık yönetim aracı olarak kullanılmaya başlandı (Bossak, M. A, 1998). 1980'lerde özelleşen bilgisayar dilleri sebebi ile birçok simülasyon programı geliştirilmiştir (Garavaglia, C., 2010). Nötron problemi hakkındaki tekniklerin hızla ilerleme kaydetmesiyle beraber popülerlik kazanan simülasyon iş alanlarında ve endüstride birçok uygulamada kullanılmaya başlandı (Kroese D.P. ve Rubinstein R.Y, 2012).

6.3. Simülasyon Bileşenleri

Simülasyon, karmaşık süreçlerin veya sistemlerin tasarımından ve işletilmesinden sorumlu mevcut olan en güçlü analiz araçlarından biridir. Bu yüzden bir sistemin çözümlenebilmesi ve anlaşılır olabilmesi için öncelikle bazı özel kavramların bilinmesi gerekir. “Gezenbirim” (Entity) olarak adlandırılan terime, sistemde bulunan ilgi alanı içerisindeki nesneye verilen isim diyebiliriz. Bu “Gezenbirimlerin” farklı nitelikleri vardır ve bunlara “Attribute” denir. Belli bir amaç için tanımlanmış zamanı ise “Faaliyet” (Activity) olarak tanımlarız. Herhangi bir çalışma içinde örnek olarak ele alınan bir sistemin bileşenlerinden olan “Gezenbirim” diğer bir çalışmanın bütünsel yapısı içinde yalnızca alt birim olarak nitelenebilir (Law ve Kelton, 1991). Sistemi herhangi bir zamanda, yapılan işte istenilenlere bağlı olarak aydınlatmak için gereken değişkenlerin tümüne “Durum” (State) diyebiliriz. “Olay” (Event) ise sistemin “Durumunda” değişiklik yapabilen bir anda gerçekleşen oluşturmaktır. Sistem içerisinde gerçekleşen “Faaliyet” ve “Olayların” açıklanması için “İçsel” (Endogenous) kavramı kullanılırken tam tersi şekilde çevresel etmenlerden dolayı

ortaya çıkan ve sistemi etkileyen “Faaliyet” ve “Olayları” ise “Dışsal” (Exogenous) kavramı ile tanımlarız.

6.4. Simülasyon Çeşitleri

Örnekleme fikrini baz alan Monte Carlo en önemli simülasyon yöntemidir. Bu yöntem bir deneyin sonucunu yaklaşık olarak belirleyebilmek için gelişigüzel örneklemelerden yararlanır. Monte Carlo simülasyonları, tahmin ve tahmin modellerinde risk ve belirsizliğin etkisini açıklamaya yardımcı olur. “Sürekli modeller” ve “kesikli modeller” olarak iki diğer önemli simülasyon çeşidi de bulunmaktadır.

Davranışları belirli bir süre zarfında devamlı olarak değişiklik gösteren sistemleri inceleyen simülasyona sürekli modeller denir. Sürekli simülasyon modellerinde sistemin birbirinden ayrı parçalarının aralarındaki etkileşimi birbirinden farklı diferansiyel denklemlerle gösterilmektedir. Kesikli modeller ise sistemlerin davranışlarındaki değişimleri sadece belirli bir anda izleyen modellerdir (Taha, 2000). Sistemde bir değişikliğin olması sadece sistemi kullanan kişinin giriş çıkışı ile mümkündür. Bunun dışındaki hiçbir vakitte istatistik veri toplamanın manası yoktur. Bunun dışında modelleri "fiziksel" veya "matematiksel" olarak da çeşitlendirebiliriz. Sembolik şekilde gösterimler ile veya matematiksel bazı yöntemler ile yansıtılan sistemler matematiksel modellerdir.

Bir başka gruplandırma şekli olarak da "statik" veya "dinamik" diyerek iki çeşidi kullanabiliriz. Monte Carlo simülasyonu da diğer bir deyişle statik simülasyon olarak bilinir. Bu simülasyon modelleri, sistemin kararlaştırılmış bir zamanını yansıtır.

6.5. Simülasyonların Kullanım Alanları

İşletmelerin, fabrikaların, üretim tesislerinin ekonomik hesaplamaları ve üretim süreçlerinin tamamında ve ayrıca sosyal bilimlerde kullanılagelen simülasyon teknikleri dinamik bir akışı ifade eden matematik modeller üstünde deneyler

yapılmasını içerir (Ocakdan, 2010). Simülasyon yöntemi araştırmacılar için çokça başvurulan önemli bir yöntemdir. Bu yöntemin maliyetinin çok az olması ve hesaplamalar yapılırken kolaylık sağlaması en çok kullanılan yöntemlerden biri olmasına katkı sağlamıştır. Simülasyonlar ile zor bir sistemin tüm parçalarını kolaylıkla incelemek mümkün olabildiği gibi, organizasyon kaynaklı ve çevresel değişikliklerin simülasyon yardımıyla modelin durumu üzerindeki etkilerinin incelenmesi sağlanabilir. Olasılıkları önceden tahmin edebilmek için yeni tasarımları, dizaynları ve bunlara dair her şeyi uygulamaya koymadan önce test etmek simülasyonlarla başarılmaktadır (Ocakdan, 2010). Ayrıca simülasyonlar analitik sonuçların ne kadar doğrulukta olduğunu göstermeye ve tasarımı yapılmış modellerin de uygulanan çözümlemelerle geliştirilmesine katkı sağlar.

6.6. Simülasyonların Avantaj ve Dezavantajları

Simülasyonlar birçok metotla benzer şekilde üzerlerinde belirli avantaj ve dezavantajları barındırırlar aşağıdaki bölümde iki ayrı başlıkta simülasyonların eksi ve artı yönleri açıklanmıştır.

6.6.1. Avantajları

Sistemin modeli kurulduktan sonra birden fazla değişkenin analizi için istenilen sayıda simülasyon tekrar edilebileceği gibi maliyeti yüksek işlerin yapımına başlanmadan önce simülasyon yöntemiyle önceden inceleme yapılarak zamandan ve giderlerden kazanç sağlanır (Kobal, 2011). Ayrıca sistemdeki karmaşık durumları önceden analiz etmeye ve ona göre planlama yapılmasına imkân sağlayarak farklı şartlar gerçekleştiğinde sistemin durumu hakkında yeterli veriye sahip olmadığımız zamanlarda bu konular üzerinde araştırmalar ve deneyler yapılmasına olanak sağlar (Naylor vd,1966). Simülasyonlar dinamik sistemlerin gerçekte işleyecekleri süreler daha uzun ya da çok daha kısa süreler içerisinde incelenip ele alınan sistemin daha iyi incelenmesi ve eksiklerin farkına varılması daha elverişli bir fiziksel ve operasyonel sistemin oluşmasına yardımcı olur.

6.6.2. Dezavantajları

Simülasyon modellerinin oluşturulması yüksek düzeyde bilgi ve uzmanlık gerektirdiğinden ilerleme kaydedilmesi kolay değildir. Ayrıca simülasyondan elde edilen veriler tahminler üzerine kuruludur ve ulaşılan sonuçlara kesin bir şekilde doğrudur gözüyle bakılamaz. Simülasyon işlemleri ilk aşamada oldukça pahalı ve uğraştırıcıdır. Performans değerlendirme açısından ölçütlerin yanlış olarak belirlenmesi elde edilecek sonuçları olumsuz yönde etkilemektedir (Hillier ve Lieberman, 1995). Dolayısıyla kurulacak modellerin ne kadar geçerli olduğu iyi bir testten geçirilmesine bağlı olduğundan modelin kurulması sırasında çok fazla ayrıntıya gerekenden fazla girmek gerekmektedir.

6.7. Trafik Akımının Modellenmesi

Trafik mühendisliği açısından büyük zorluklardan biri trafik teorisinin temelini oluşturan trafik akımının modelleme çalışmasıdır. Geliştirilmiş olan ya da seçilen trafik modelinin uygulanabilirliğinin yüksek olması, basit olması ve örnek alınan veri grubunu olabildiğince iyi tanımlaması çok önemlidir (Gedizlioğlu, E., 2004).

Trafiğin modellenmesinde trafik mühendisliği açısından farklı modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Trafiği modellerken dört adet temel modelleme tekniği kullanılmaktadır ve trafik mühendisleri trafik akımını modellerken bu dört temel modeli seçmektedirler. Bunlar; analitik modeller, makroskobik modeller, mikroskobik modeller ve mezoskobik modellerdir (Kim, Y, 2002).

6.7.1. Analitik modeller

Analitik modeller direkt olarak trafik akım teorisinin temel esaslarına dayanmaktadır. Sürücü davranışlarındaki şerit değiştirme, araç takibi, araç takip aralıkları veya Platoon dağılımı ile alakalı üretilmiş matematik denklemlerden faydalanılır. Örnek olarak dört aşamalı ulaşım planları analitik bir modeldir.

6.7.2. Makroskobik modeller

Hız, yoğunluk ve hacme bağlı olarak trafiğin tanımlanmasıdır. Akımın bir bütün olarak dikkate alındığı bu yaklaşımda belli süre aralıklarında taşıtların adet, hız ve yoğunluk değerleri belirlenerek trafik akımının karakteristik özellikleri ortaya konularak akımın niteliği anlaşılmaya çalışılır (Kim, Y, 2002).

1950’li yıllarda geliştirilen makroskobik modeller trafik akımını esas olarak bir akarsuya ya da bir borudaki suyun davranışına dayanmaktadır. Tek bir taşıtın değil de sistemin bütününe davranışı gözlemlenir. Bu modellerde; sistemlere giren çıkan taşıt sayısını ve araçların ortalama hızları incelenir. Makroskobik modellerde kısmi diferansiyel denklemler kullanılmakla beraber modern modellerde hiperbolik kısmi diferansiyel denklemler sıklıkla kullanılmaktadır. Sisteme girip çıkan araçların sayı ve hızları incelenerek sistemin tümünün değerlendirildiği modellere LWR Model, AR model ve Zhang Modeli örnek olarak verilebilir. Saturn 10.7, Contram 8, Transyt 7F, Cube Suit ve Visum 10 yazılımları makroskobik programlardır.

6.7.3. Mikroskobik modeller

Bir yol üzerinde hareket etmekte olan araçların hareketlerinin tanımlanması ile ifade edilebilen bu modelde her taşıtın hareketleri bir bir ele alınarak araçların davranışlarının bazı genel nitelikleri incelenir. Bu tip modellerde hacmin çok düşük olduğu hallerin haricinde her bir aracın hareketini önünde seyreden araç sınırlamaktadır (Kim, Y, 2002).

Mikroskobik modeller her aracın hareketlerini tek tek incelediği için makro modellerden daha karmaşık olarak kabul görürler. Daha detaylı modelleme gerçekleştiğinden bu modeller trafik mühendisleri için büyük önem arz etmektedir. Bir aracın hareketleri tahmin edilirken sürücülerin davranışları farklı olduğundan ötürü pek çok farklı değişken dikkate alınmak zorundadır. Buradaki en önemli parametre birbiri ile peş peşe hareket eden araçların arasındaki aralıktır. Bu aralık mesafe cinsinden ve zaman cinsinden olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Mesafe cinsinden

aralık bir aracın ön tamponu ile onu takip eden taşıtın ön tamponu arasındaki mesafedir. Zaman cinsinden aralıksa öndeki taşıtın ön tamponunun belli bir noktayı geçtiği an ile arkadaki aracın ön tamponunun aynı noktayı geçtiği an ile olan zaman farkı olarak tanımlanmaktadır. Zaman cinsi aralık mesafe cinsi aralıktan çalışmalarda daha fazla dikkate değer bulunmaktadır. Bu durumun sebeplerini sıralamak gerekirse:

1. Zaman cinsi aralık ile hacim arasında direkt olarak bir ilişki var olduğu gibi yoğunluk ile de bu ilişki mevcuttur. Trafiği tanımlama adına daha anlamlı ve ölçülebilir parametre ise hacim değeridir.
2. Arkadaki sürücü önünde bulunan araç ile arada güvenlik nedeniyle muhakkak bir mesafe bırakmak durumundadır. Reaksiyon süresi ile çok yakın bağlantıda olan bu mesafeyi tahmin etmektense süreyi tahmin etmek oldukça kolaydır.
3. Mesafe cinsinden aralığın büyüklüğü zaman ve hız cinsi üzerinden aralık değerleri ile hesaplanabilir.

Taşıtlar arasında bulunan zaman cinsinden aralık değerinin istatistik olarak irdelenmesi araç hareketlerinin tanımlanması adına önem taşımaktadır. Sinyalize kavşaklarda araçların birbiri ile olan etkileşimleri faz sürelerini ayarlayarak minimum seviyeye getirilebilmektedir. Ancak sinyalizasyon sistemlerinin olmadığı kavşaklarda sürücüler kendi manevralarını diğer araçlara göre ayarlamak durumundalardır. Dönel kavşaklarda ise bu ilişki daha fazla önem taşımaktadır. Dönen aracın geçiş üstünlüğünün bulunması dönel kavşaklarda diğer ülkelerde bulunduğu gibi ülkemizde de trafik yönetmeliğince belirlenmiştir. Bu kavşaklarda kavşağa girmek isteyen sürücü kavşaktaki diğer taşıtların arasından uygun bir aralık bulduğu anda kavşağa giriş yapabilecektir. Bu duruma “Kritik aralık kabulü” adı verilmektedir. Dönel kavşakların büyük çoğunlukta kullanıldığı Avustralya, İsveç gibi ülkelerde uygulanan modelin temel yapıtaşını oluşturmaktadır. Burada da kavşakta dönüş hareketini gerçekleştiren araçların arasındaki zaman cinsinden aralığın değerinin nasıl bir dağılım gösterdiği büyük bir önem arz etmektedir.

6.7.4. Mezoskopik Modeller

Makro ve Mikro modellerin tam arasında bulunan modellerdir. Bu modelleme tekniğinde diğer iki modeldeki tekniklerden de yararlanılır (Kotsialos A., 2004). Ara bir modeldir.

6.8. Trafik Simülasyonu Kavramı

Trafik simülasyonu bir çeşit matematik modellemedir ve katılımlarda, ayrımlarda (rampalar), kavşaklarda kısaca yol güzergahının her kısmında etkili bir biçimde kullanılabilir. Ulaşım sistemi ve trafik simülasyonu çalışmalarında bilgisayarlardaki yazılımlardan yararlanmak suretiyle daha verimli ve iyi nitelikte bir planlama mümkün olmakta ayrıca çok daha güzel bir tasarıma ve işletmeye sahip olunabilmektedir. Yaklaşık 40 yıl öncesine dayanan bu simülasyon çalışmaları Ulaştırma ve Trafik Mühendisliğinde çok önemli yer tutmaktadır. Özel şirketler, danışmanlık firmaları, akademik kuruluşlar ve pek çok devlet bu tekniklerle beraber daha iyi bir planlama ve ulaşım hizmeti sunmak istemektedirler.

Simülasyon çalışmaları ulaştırma planlamaları ve yatırımları açısından büyük önem arz etmektedir bilhassa analitik ve numerik metotlarla gerçekleştirilmesi oldukça güç hatta ve hatta yapılamayacak zorlukta analizleri çok kısa sürede gerçekleştirebilmek ve görsel olarak etkili neticeler ortaya koymak ve geleceğe dair farklı senaryolar kurgulamak mümkündür.

Simüle edilmek istenen sistemin mevcut durumunun iyi anlaşılması simülasyonu anlamak için gereklidir. Sistemin koşullarını ortaya koyan, süre içerisinde gelişim ve değişimini değerlendirmeye yarayan sistem durumu birtakım değişkenlerden oluşmaktadır. Kesikli (ayrık) ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılan sistemler gibi trafik simülasyon modelleri de aynı şekilde sınıflandırılabilir.

Sistemin durumunda belirleyici olan değişken faktörler belirli zaman içinde değişkenlik arz ediyor ise sistemin durumu kesikli (ayrık) yapılan simülasyon ise

kesikli (ayrık) simülasyon olarak nitelenmektedir. Bir geminin limana yanaşması, limanda konteyner vincinin önüne demirlemesi ve sonra konteynerlerin indirilmesi ve yeni yüklerin yüklenip limandan demir alması ayrık simülasyon analizleri ile irdelenir.

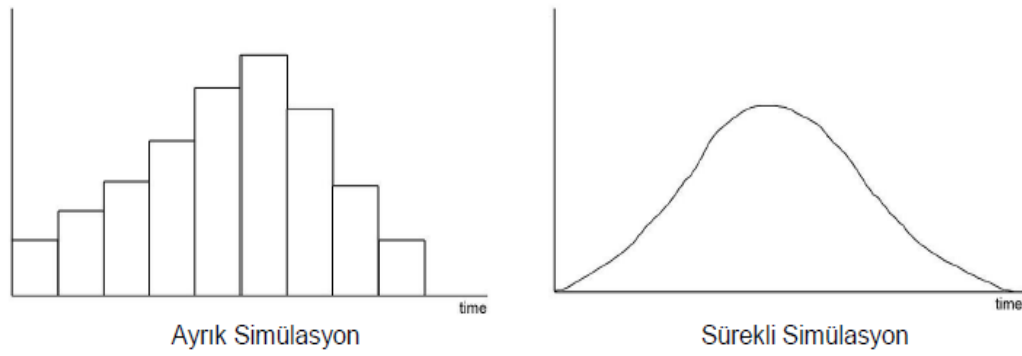
Sistemin durumunu belirleyen değişken faktörlerin değerleri zaman ile sürekli bir değişim göstermekte ise sistemin durumu sürekli, yapılan simülasyon çalışması sürekli simülasyon olarak isimlendirilmektedir (Cellier, F. E., Kofman, 2006; Murray-Smith, 1995).

Ulaştırma alanında kullanılagelen simülasyon yöntemleri; istatistik, olasılık, numerik ve diferansiyel denklemler ile çalışan bir grup teorik denklem takımlarından ibarettir. Bu yöntemler; Monte Carlo Yöntemi, Hücresel Otomat Yöntemi, Kesikli olay ve sürekli simülasyon ve araç takip yöntemleridir.

Monte Carlo Yöntemi ilk dönemlerde geliştirilmiş trafik durumlarını temsil edebilmek adına birtakım gelişigüzel sayıları içermektedir (Jahangirian, 2010).

Hücresel Otomat Yönteminde ise deterministik kaidelerden rastgele varyasyonlar üretilir (S. Das, 2006).

Kesikli olay ve sürekli simülasyon ise yakın zamanda kullanımda olan simülasyon metotlarıdır. Kesikli olay simülasyonları stokastik yani rastgele durumlar barındıran ve dinamik yani zamana bağlı olma ihtimaline sahiptirler (Taha, 2000). Kesikli modellerde örnek vermek gerekirse sinyalizasyon bir kavşakta yeşil ışık yandığı süre boyunca o noktadan geçen taşıt sayısı belirli bir süre içinde incelenip ortaya konulabilir. Sürekli simülasyon ise ayrık olanda eksik kalan kısımları tamamlamaktadırlar. Sürekli simülasyonlarda belli bir zaman dilimi içerisinde sistemin durum değişkenleri sürekli bir biçimde değişmektedir (Hocaoğlu, M. F., 2018). Bu yöntem; diferansiyel denklemleri bilhassa integral yöntemleri kullanmakla birlikte basit yöntemlerden olan Euler Yönteminden başlayıp yüksek dereceli Taylor Serilerine kadar uzanabilmektedir.



Şekil 6.1. Kesikli ve Sürekli Simülasyon

Araç takip yöntemleri ise sürekli zaman modelleri olarak sınıflandırılıp diferansiyel denklemlere dayanmaktadır. Gipps ve Akıllı sürücü modeli bu gruba aittir. Bu grupta tüm araçların kendi davranışları modellenerek (mikroskobik) her aracın trafiğe olan etkisi bütün trafik sistemi içerisinde incelenmektedir. Bu şekilde trafik koşullarındaki gecikmeler vb. gibi önemli değişiklikler ile alakalı önemli bilgiler elde edilir.

6.9. Trafik Simülasyon Yazılımlarını Tercihle Belirleyici Faktörler

Trafik simülasyon programları bu alandaki uzman bireyler tarafından yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte aşağıda değinilen faktörler bu simülasyonların yaygın bir biçimde kullanılması üzerinde oldukça etkilidir.

1. Kategori: Kategorik olarak yazılımları iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar açık kaynak kodlu ücretsiz yazılımlar ile ücretleri oldukça yüksek ticari kullanım için üretilmiş yazılımlardır.
2. Sistem: Daha önce açıklandığı gibi ayrık ve sürekli olmak üzere iki tür sistem simülasyon yazılımları üzerinde kullanılmaktadır.
3. Görselleştirme: Simülasyonların ayrıntılı bir biçimde gerçekleştirilip görselliğini iki boyutlu ve üç boyutlu olarak canlandırmaya yarayan modüllerinin bulunması önemli bir başka faktördür.
4. Yol Ağı: Bir trafik simülasyonunun en temel unsurlarından biri olmakla birlikte simüle edilecek yolların ve kavşakların program üzerinde oluşturulması simülasyonların en önemli aşamalarındandır. Yol ağını oluşturan yol parçaları

simülasyon programına gerçeğe uygun şekilde kodlanabilmelidir. Bu kodlamalar zor, orta, kolay ve sabit kodlama olarak derecelendirilebilir.

5. Araçlar ve Yayalar: Simülasyonlarda mevcut trafikteki taşıtların ve yayaların simülasyonunun yapılıp yapılamadığı konusu da simülasyonun gerçeği yansıtması için oldukça önemlidir. Toplu taşıma ve raylı sistem araçlarının simüle edilmesi de yazılımların yetenekleri üzerinde belirleyici faktörlerdendir.
6. Kapsam Alanı: Simülasyonu yapılacak bölgenin programda ne kadar büyük ölçekte ele alınabileceğini gösteren faktördür. Bir şehri, bölgeyi ya da bütün bir ülkedeki trafiği simüle etme becerisi olarak bu faktör nitelendirilebilir.
7. Detektörler: Simülasyon programlarında trafik akımlarının hızlarını yönetip takip etmek, kuyruklanma boylarını hesap etmek, gecikmeleri görmek ve bunun gibi trafik ile alakalı bilgileri toplayıp simülasyona aktarmak için sahada zemine gömülü elektromanyetik “loop” ve kameralar gibi sensörlerden alınan verileri ister manuel ister otomatik olarak sisteme gönderen kablolu ya da kablosuz elektronik ekipmanlardır.
8. Coğrafi Bilgi Sistemleri: Programların “CBS” üzerinden karayolu verisini içeriye aktarma imkânı verip yol ağının kodlanması sırasında kaybedilecek zamandan tasarruf sağlayabilmesi programın seçimi konusunda bir diğer önemli faktördür.

BÖLÜM 7. AİMSUN VE VİSSİM PROGRAMLARININ KULLANILMASI VE KAVŞAKLARIN ANALİZLERİ

7.1. Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi

Bu tez çalışması kapsamında Sakarya ilinde mevcut olan birçok kavşak ele alınıp değerlendirilmiş ve içlerinde kritik öneme sahip olanları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu belirlemeye esas olarak sadece kavşağın bulunduğu lokasyon değil aynı zamanda üzerinden geçen trafiğe en sıkışık zamanlarda verebildiği hizmet de göz önünde bulundurulmuştur. Bu ilkeler çerçevesinde üç adet kavşak belirlenerek kavşakların tamamında hafta içi olmak kaydı ile aynı gün içerisinde olacak şekilde sabah, öğle ve akşam saatlerinde kameralarla trafik akımı kaydedilerek sayımlara esas olacak görüntüler elde edilmiştir. Daha sonrasında çekilen bu görüntüler üzerinden sayımlar gerçekleştirilerek 15'er dakikalık dilimler halinde farklı araç tipleri de göz önüne alınarak excel tabloları oluşturulmuştur.

Sayımlar dikkate alınarak üzerinden geçen akım değerleri itibariyle kavşakların en yoğun olduğu zaman dilimi belirlenmiş, belirlenen zaman dilimine ait farklı kollar üzerindeki akım değerleri yine excel üzerinde bir dizi analize tabi tutulmuştur. Yeniden analize tabi tutulmasında kavşağa bağlanan fazla sayıda kol olmasının kavşağın çözümlenmesinde zorluklar meydana getirmesi ve tek seferde tüm akım değerlerinin elde edilmesinin olanaksızlığı etkili olmuştur.

Daha sonra ise belirlenen kavşakların “Aimsun” ve “Vissim” programları üzerinde tasarımları gerçekleştirilmiş kavşaklara ait nicelik ve nitelikler birebir olarak programlara aktarılmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu elde edilen bulgular paylaşıp yorumlanmıştır.

7.2. Kavşakların Tespiti ve Seçilme Nedenleri

Tez çalışmasında ele alınacak kavşakların seçimi çalışmadan beklenen faydaları sağlayabilmesi için çok önemli bir adım olarak karşımıza çıkmıştır. Bu aşamada ele alınan birçok alternatif kavşak diğerlerinden çok farklı geometriye sahip Tüvasaş Vagon Fabrikası güneyindeki kavşak ile Tunatan mevkiinde bulunan kavşak hemen öne çıkmıştır. Ayrıca Sakarya Araştırma Hastanesi önündeki sinyalize üç kollu kavşak da sergilediği muazzam trafik yoğunluğu ile diğerlerinden ayrılarak çalışmaya konu olmuştur.

7.3. Çalışmada Kullanılan Yöntem

Trafik etütlerinin sağlıklı ve düzgün bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için trafik gözlem ve sayımlarının kurallara uygun bir biçimde yapılması elzemdir (Kutlu, 1964; Gedizlioğlu, 2002). Çalışmada elde edilen trafik verileri 21 Temmuz 2020 tarihinde sabah 07:00-10:00, öğle 12:00-14:00 ve akşam 16:00-19:00 saatlerinde yüksek çözünürlüklü kamera çekimleri aracılığıyla toplanmıştır. Çekim noktaları bir gün önceden kavşağa gidilerek bölgelerde yapılan incelemeler sonucunda belirlenmiştir. Kavşaklardaki çekim noktaları Şekil 7.1. ve Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Tunatan kavşağı çekim noktaları



Şekil 7.2. Tüvasaş kavşağı çekim noktaları

7.4. Çalışmada Ele Alınan Kavşaklar

7.4.1. Tunatan kavşağı

Tunatan kavşağı yedi adet yolun birleşim noktasında bulunması ayrıca dönel adalar vasıtası ile sinyalsiz olarak trafiğin kontrol edilmesi tez çalışmasında ele alınmasında etkili olmuştur. Eş düzey kavşaklar, kavşağa bağlanan yol sayısı ve bu yolların birbiri ile kesişme şekillerine kısaca geometrik özelliklerine, ayrıca kavşakta bulunan denetim şekline göre farklı tiplerde bulunabilirler (Yayla, 2004). Tunatan kavşağı yukarıda anlatılan sınıflandırma seçeneklerine göre sınıflandırılmaya çalışıldığında kol sayısı itibari ile çok kollu, denetlenme şekline göre dönel adalı kavşak olduğu söylenebilse de işin aslı iki tane dört kollu ve bir de üç kollu toplamda üç tane dönel adalı kavşağın bütünleşik şekilde bulunması ile sınıflandırma kalıplarının ötesinde bir kavşaktır. Kavşağın bu özel nitelikleri mikro-simülasyon programlarına tasarım ve trafik niteliklerini birebir şekilde aktarmayı zorlaştırarak programların kabiliyetlerini test etme olanağı sunmaktadır (Sarı ve Güler, 2020). Kavşağın görüntüsü Şekil 7.3.'te gösterilmiştir.

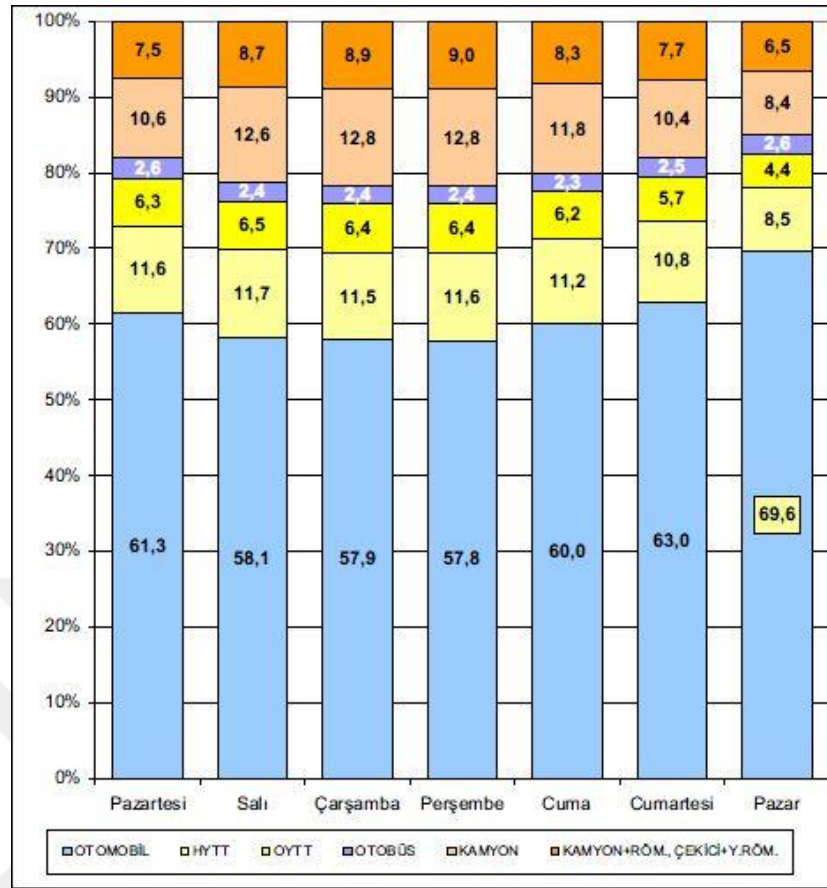


Şekil 7.3. Tunatan Kavşağı

Tunatan kavşağının ağ örgüsünün karmaşıklığı nedeniyle tek seferde akım kolları ele alınarak sayım yapmak mümkün olmadığı için kavşak Şekil 7.4.'teki gibi iki bölgeye ayrılarak etüt edilmiştir.



Şekil 7.4. Tunatan kavşağı akım kolları



Şekil 7.6. Trafikte günlere göre taşıt sınıfları dağılımı (KGM,2009)

7.4.2. Tüvasaş kavşağı

Tez çalışmasında ele alınan bir diğer kavşak Tüvasaş vagon fabrikasının güneyinde bulunan çok farklı bir geometriye sahip kavşaktır. Üzerinde farklı geometrilere sahip dönüş adaları bulunmakla birlikte çift yönlü olarak hizmet veren beş adet yolun birleştiği bir noktada bulunmaktadır. Tüvasaş kavşağı olarak isimlendirilen kavşak üzerindeki adalar vasıtası ile trafiği yine sinyalsiz bir kontrolle sağlamaktadır. Üzerinde aynı zamanda demiryolu etkileşimi bulunan bu kavşağa ait görüntü şekil 7.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Tüvasaş kavşağı

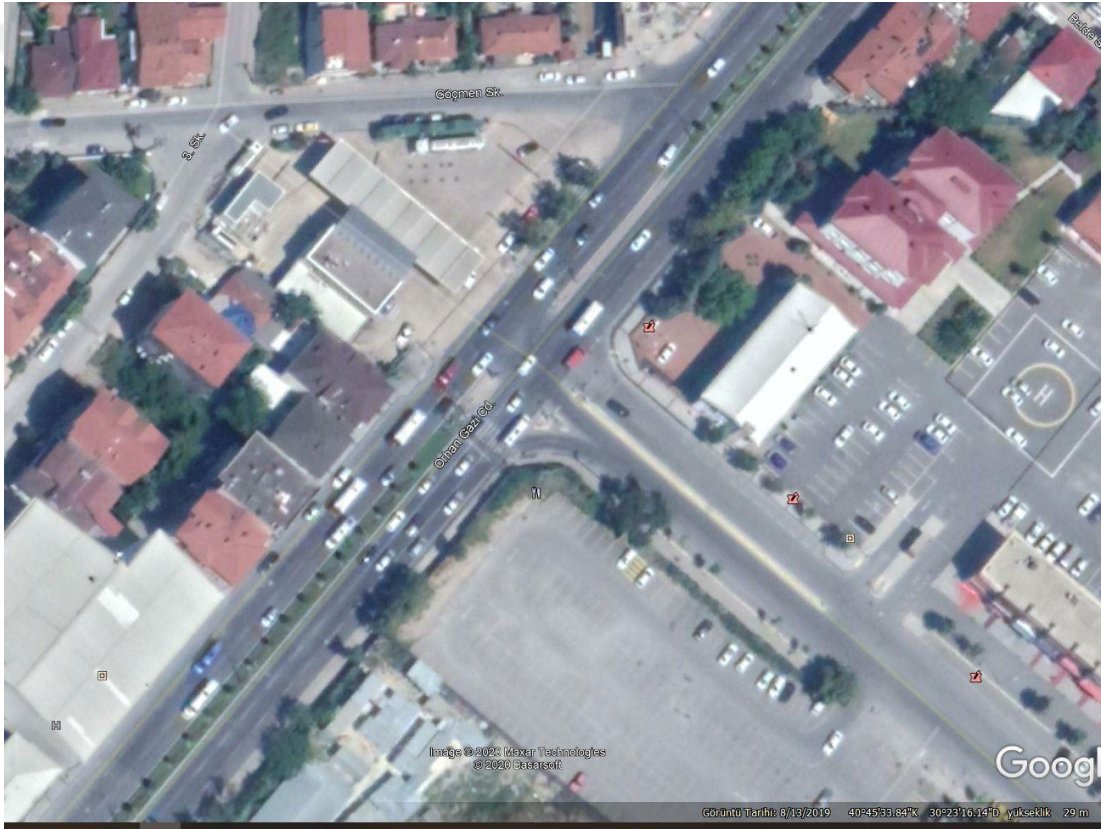
Tunatan kavşağına benzer bir şekilde tüvasaş kavşağında da ağ örgüsünün karmaşıklığı nedeniyle tek seferde akım kolları ele alınarak sayım yapmak mümkün olmadığı için kavşak Şekil 7.8.'deki gibi iki bölgeye ayrılarak etüt edilmiştir.



Şekil 7.8. Tüvasaş kavşağı akım kolları

7.4.3. Hastane kavşağı

Sakarya Eğitim ve Araştırma Hastanesi önünde bulunan üç kollu sinyalizasyon kavşağı üzerinde gösterdiği yoğun trafik hacmi ve uzun kuyruklanma boyları sebebiyle bu tez çalışması kapsamında ele alınan son kavşak olmuştur. Gerek hastanenin yüksek bir çekim noktası olması gerek devam eden yolun Sakarya şehir merkezinde tren garına yakın bir lokasyonda bulunan yeni camiye kadar kesintisiz şekilde devam etmesi bu yoldaki akımın yüksek hacimli olmasına neden olmaktadır. Kavşağın görüntüsü Şekil 7.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Hastane kavşağı

Hastane kavşağına ait numaralandırılmış akım kolları görüntüsü de Şekil 7.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Hastane kavşağı akım kolları

7.5. Vissim ve Aimsun Programlarının Karşılaştırma Parametreleri

Karayollarında hız, güvenlik ve kapasite yönünden hayati önemi olan kavşaklar tasarlanırken mevcut durumdaki ve gelecekteki ulaşım ihtiyacını karşılayabilmesi ve yukarıda sayılan nitelikleri taşıması gerekmektedir. Akademik, özel ve kamu çevrelerinde yaygın bir biçimde kullanım alanı bulan mikro-simülasyon programlarından olan Vissim ve Aimsun bu tez kapsamında detaylı bir şekilde karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Karşılaştırılırken kullanılan parametreler simülasyonlara verilerin girişi ve sonuçlar elde edilirken kullanılan modüllerin tek tek sunulması yolu ile yapılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde programda ilk aşama olan kavşakları teşkil eden yolların (Link-Section) çiziminden başlanarak adım adım her safhasına dair karşılaştırmalar sunulacaktır.

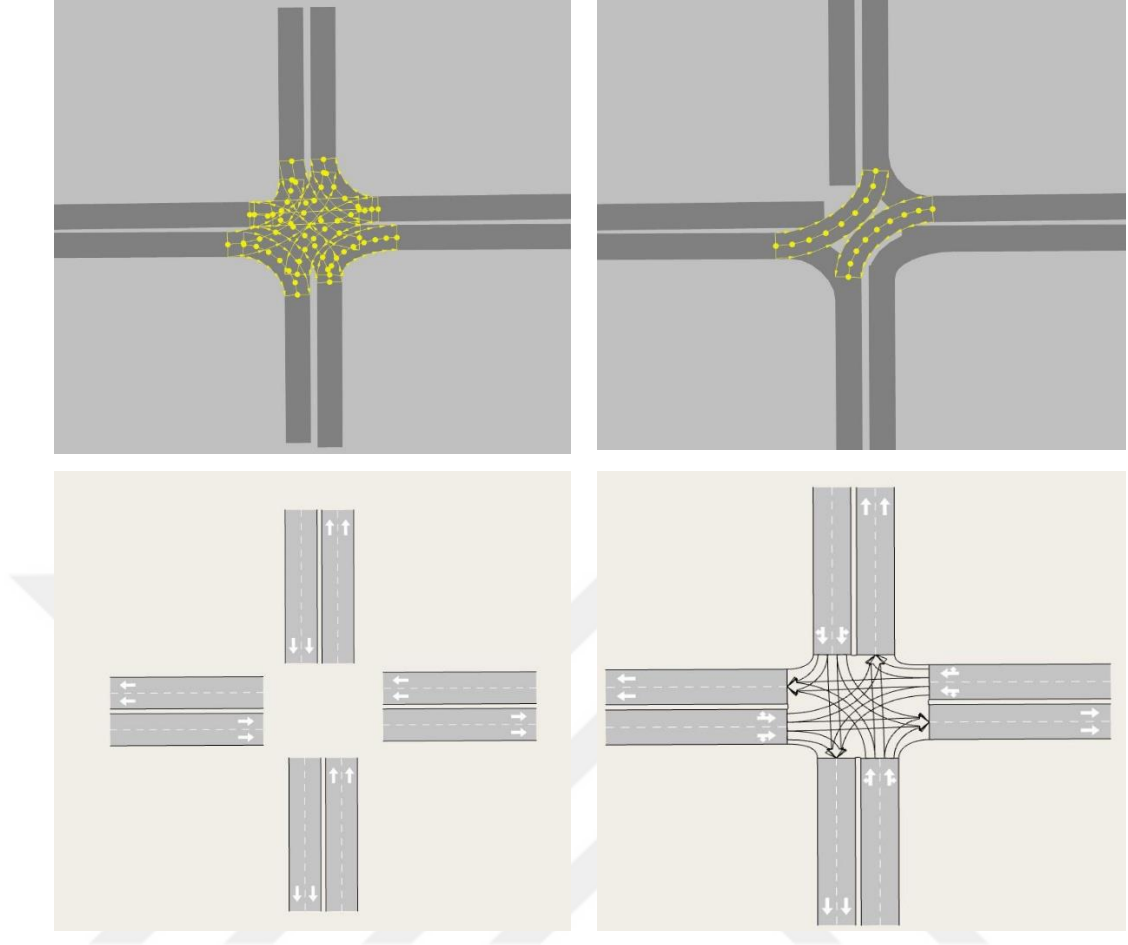
7.5.1. Kavşakları oluşturan yolların (link-section) çizimi

Mikro-Simüasyon programlarında ilk aşamada simülasyonu yapılacak yolların çizilmesi gerekmektedir. Yolların çizimi gerçekleştirilirken öncelikle çizimi yapılacak bölgenin var ise hali hazır çizimlerinin üzerinden yolların birebir şekilde metrajına uygun bir biçimde çizilmesi gerekmektedir. Eğer hali hazır çizimlerine ulaşmak mümkün olmadıysa Google Earth görüntülerinden faydalanmak suretiyle yolların çizilmesi mümkündür.



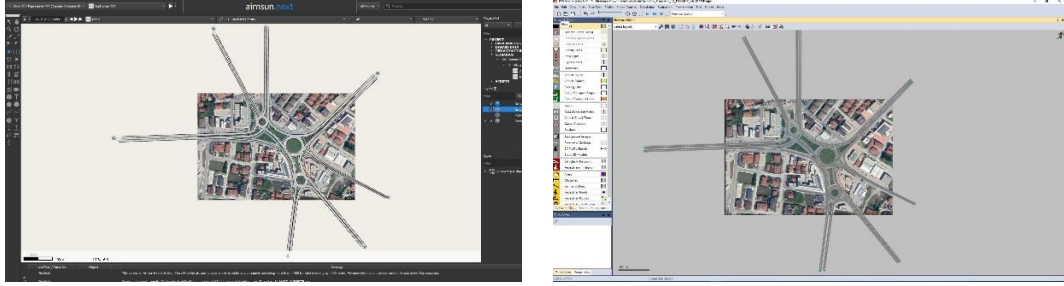
Şekil 7.11. Yolların çizimi Vissim (Solda), Aimsun (Sağda)

Bu aşamada elde edilen uydu görüntüsünün programlara import edilirken yolun gerçekteki ölçülerine uygun olacak biçimde ölçeklenmesi gerekmektedir. Yolların iki programda da çizimlerine dair örnek aşağıdaki şekilde sunulmuş olup yollar Vissim’de “Link” komutuyla, Aimsun’da ise “Section” komutu ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yollar çizilirken yol kesimlerinin birbirlerine bağlanması her iki programda da “Connector” vasıtası ile sağlanmaktadır. Yol kesimlerini birbirine bağlarken o kesimlerdeki trafiğin yönünde dikkat edilerek bağlantılar sağlanmalıdır. Buna ek olarak bağlanan yol kesimlerinin eşit şerit sayısına sahip olmasına özen gösterilmeli eğer bu sağlanamıyor ise akımların yönlendirmeleri ayrı ayrı kontrol edilmelidir. Bu bağlamda Aimsun üzerindeki “Create Node” komutu farklı sayıda şerit içeren yolları arasında bağlantıları otomatik bir şekilde oluşturarak büyük kolaylık sağlamaktadır. Dört veya daha fazla sayıda akım kolunu tek hamlede bağlayarak ciddi bir zaman tasarrufu sağlamaktadır. Buna dair görüntü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

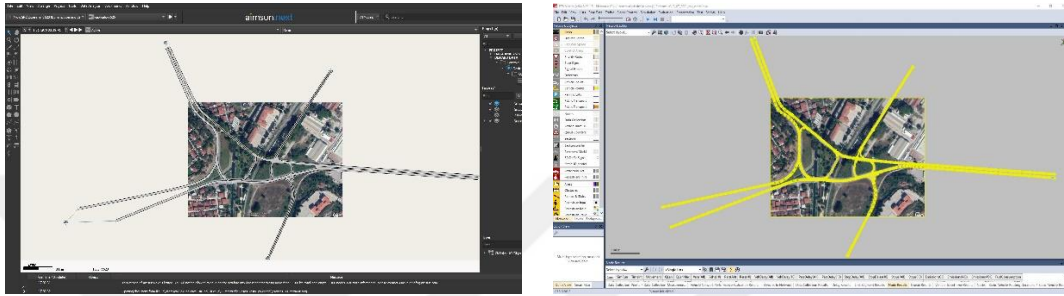


Şekil 7.12. "Connector" ile yolların bağlanması Vissim (Üstte), Aimsun (Altta)

Simülasyonun gerçekleşeceği yol güzergahının çizilmesi simülasyonun ilk aşaması olmakla birlikte araçların davranışlarını en çok etkileyen adımdır. Yolların geometrik özellikleri, yol kesimlerinin üzerinden geçen araçlara ne şekilde hareket imkânı sağlayacağını, simülasyon neticesinde toplanacak verilerin nicelik ve niteliğini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeplerden ötürü karşılaştırma yapılabilmesi için söz konusu kavşakların her iki programda da aynı şerit sayısı ve genişliğinde, aynı metraj özelliklerine sahip bir biçimde çizilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki şekillerde birbiri ile birebir olacak şekilde Aimsun ve Vissim de çizilmiş Tüvasaş ve Tunatan kavşaklarının görüntüsü gösterilmiştir.



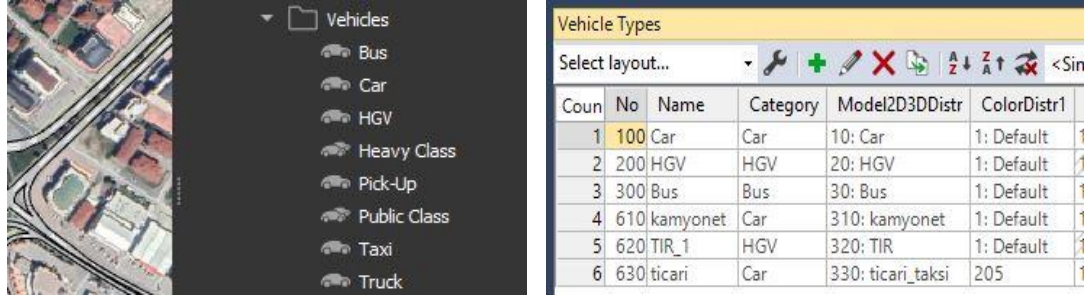
Şekil 7.13. Birebir olarak çizilmiş Tunatan kavşağı Aimsun (solda), Vissim (Sağda)



Şekil 7.14. Birebir olarak çizilmiş Tüvasaş Kavşağı Aimsun (solda), Vissim (Sağda)

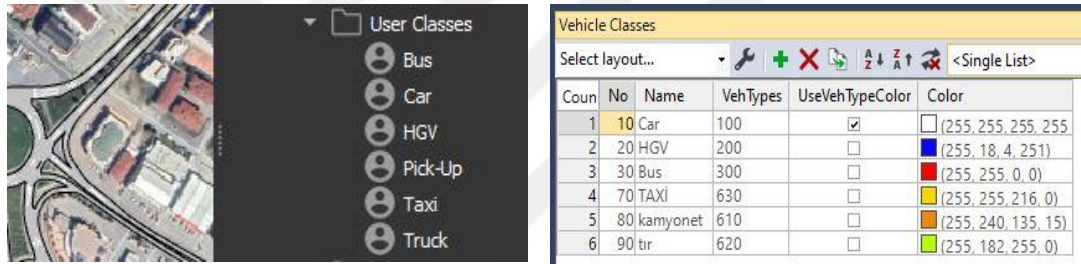
7.5.2. Simülasyondaki araç tip ve sınıfları (vehicle type-vehicle class)

Simülasyon kavramı daha önceki bölümlerde izah edildiği üzere gerçeği bilgisayar ortamında canlandırma olarak ifade edilebilir. Burada esas önemli nokta simülasyonun ne kadar gerçeğe yakın bir şekilde gerçekleştirilebildiğidir. Bu sırada sisteme tanımlanan değişkenlerin en ince ayrıntısına kadar girilmesi ve trafik akımının özelliklerinin gerçeğe önemli ölçüde yaklaştırılması gerekmektedir. Trafik akımını oluşturan araçların tip (Vehicle Type) ve sınıfları (Vehicle Class) trafiğin heterojen yapısını simülasyona çok daha iyi yansıtmak için her iki programda da ayrı ayrı girilerek simülasyonda hareket eden araçların hareketleri gerçeğe yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Araç tiplerinin nasıl özelleştirildiklerine dair görüntü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Araç Tiplerinin (Vehicle Types) Özelleştirilmesi Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Araç tipleri özellikle araçların fiziksel özellik ve boyutlandırılmaları üzerinde ne kadar önemliyse araç sınıfları da (Vehicle Classes) araçların davranışsal özellikleri üzerinde oldukça önemlidir. Araç sınıflarının her iki programda da ne şekilde ayarlandıkları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 7.16. Araç Sınıflarının (Vehicle Classes) Özelleştirilmesi Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

7.5.3. Simülasyonda araç hızları (desired speed)

Simülasyonu gerçekleştirecek araçların gerçekteki davranışı sergilemeleri isteniyorsa simülasyona araçların tip ve sınıflarına göre hızlarının ayarlanmaları gerekmektedir. Bu ayarlamalar her iki programda da istenildiği şekilde yapılabilmektedir. Hız ayarlamaları aşağıdaki şekilde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Main	Dynamic Models	Microscopic Model	Static Models
Name: Bus			
	Mean	Deviation	
Length	11,54 m	0,00 m	
Width	3,17 m	0,00 m	
Max Desired Speed	40,00 km/h	0,00 km/h	

10	300: Bus	40: 40 km/h
11	610: kamyonet	50: 50 km/h
12	630: ticari	50: 50 km/h
13	100: Car	50: 50 km/h
14	200: HGV	30: 30 km/h
15	610: kamyonet	40: 40 km/h
16	620: TIR_1	30: 30 km/h

Şekil 7.17. Araç Hızlarının (Desired Speed) Ayarlanması Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

7.5.4. Simülasyonda trafik akım oranları (relative flows)

Simülasyonu gerçekleştirilmek üzere sayımları yapıp üzerlerinden geçen trafik akımlarının hacimlerinin belirlendiği kavşaklarda yollar üzerindeki trafik akımlarının önceki bölümde anlatılan araç tip ve araç sınıflarına göre ayrıştırılması gerekmektedir. Böylelikle bir noktadan diğer bir noktaya ulaşan trafik akımının aynı özelliklerde simülasyona yansıtılması sağlanmıştır. Akım oranlarının her iki programda da ayarlanması aşağıda gösterilmiştir.

Operation: Split		
Operation Parameters		
	1	2
Percentage	30	40
	3	30
Automatic Factor Split Duration		

Count: 26	VehType	RelFlow
1	100: Car	0,865
2	610: kamyonet	0,099
3	630: ticari	0,020
4	100: Car	0,870
5	200: HGV	0,014
6	300: Bus	0,039

Şekil 7.18. Akım oranlarının ayarlanması Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Akım oranları (Relative Flows) ve akımlar üzerindeki araç kompozisyonları her iki programda da ister yüzdesel değer vererek ister diğer cebrik ifade direk olarak yazılarak (toplamı kesin olarak 1 olmalı) ayarlanabilmektedir. Böylelikle sayımları yapılarak nicelik ve nitelikleri belirlenen kavşaklardaki trafik akımlarının verileri programlara birebir şekilde girilebilmektedir. Aimsun üzerinde araç trafik akımını oluşturan araçların sisteme tanımlanmaları programın sahip olduğu OD matris yapısı ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmekte ayrıca tek bir başlangıç son matrisi sisteme tanımlandıktan sonra aynı matrisin kopyalanması ya da split komutu ile aynı matris

kullanılarak üzerindeki akımların önceki bölümlerde anlatılan araç tip ve sınıflarına göre ayrılması gerçekleştirilebilmektedir.

7.5.5. Simülasyonlara araç girişlerinin tanımlanması (vehicle inputs)

Trafik akımının önceki bölümlerde anlatılmış yolların yani linklerin üzerine atanması işlemi araç girişi (Vehicle Inputs) olarak isimlendirilmekte. Her iki programda da hali hazırda araç ataması kolay bir şekilde yapılırken atama işlemlerinin sonucu aynı olsa da süreci ve yapılışı bazı farklılıklar içermektedir. Aşağıdaki şekilde her iki programda trafik akımını oluşturan araçların yollara atanmış hali karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

The image shows two side-by-side screenshots of traffic simulation software. The left screenshot is from Aimsun, displaying a 'DEMAND DATA' tree with 'Centroid Configurations' and 'OD Matrices'. The right screenshot is from Vissim, showing a 'Vehicle Inputs / Links' table with columns for Count, No, Name, Link, Volume(0), and VehComp(0).

Coun	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1	4_ten	4	496,0	3: T-4
2	2	3_ten	7	715,0	4: T-3
3	3	2_den	8	1134,0	5: T-2
4	4	5_den	30	606,0	9: T-5
5	5	6_den	28	436,0	8: T-6
6	6	7_den	22	634,0	7: T-7
7	7	8_den	6	413,0	6: T-8

Şekil 7.19. Araç atamaları (Vehicle Inputs) Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Araç atamalarında Aimsun kullanıcılara kolaylıklar sağlamaktadır. Excel üzerindeki sayım verileri başlangıç son olarak tanımlandığında kolaylıkla programa yapıştırılabilmektedir. Aimsun'a araç ataması yapılması için önceden hazırlanarak programa tanımlanmış başlangıç-son matrislerinden biri aşağıdaki şekilde örnek olarak sunulmuştur.

		4	3	2	8	7	6	5
		medeniyet	serdivan	2.cadde	muhsin	bağlar	9.cadde	kenan sofu
4	medeniyet	0	28	140	27	86	86	62
3	serdivan	44	0	4	60	190	188	136
2	2. cadde	72	0	0	91	288	286	205
8	muhsin	28	48	164	0	26	26	19
7	bağlar	40	69	240	80	0	38	28
6	9. cadde	10	18	60	60	48	0	148
5	kenan sofu	20	33	113	172	56	56	0

Şekil 7.20. Aimsun'a araç ataması gerçekleştirmek için hazırlanmış O-D matrislerinden biri

Vissim programında ise çizilen yollara araçların atanması hali hazırda seçilen bir link üzerine araç giriş noktası tanımlanması ile gerçekleştirilmiştir. Buna dair örnek bir araç giriş noktası aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Vehicle Inputs / Links			
Select layout...			
Coun	No	Name	Link
1	1	4_ten	4
2	2	3_ten	7
3	3	2_den	8
4	4	5_den	30
5	5	6_dan	28
6	6	7_den	22
7	7	8_den	6

Şekil 7.21. Vissim’de araç giriş noktası 5.kol siyah renkle gösterilmiştir (Sağda)

Yukarıdaki şekilde mavi renkli çizgiler ise Vissim’de başlangıç-son matrisinde son noktayı (Destination) ifade eden çizgilerdir.

7.5.6. Simülasyonda araç rotaları (vehicle routes-od routes)

Bir önceki bölümde anlatılan araç atamaları her ne kadar başlangıç-son çifti olarak girilen verilere uygun bir şekilde araçları güzergahlarında hareket ettirse de karmaşık kavşaklarda araçların gerçekte seyrettikleri yolları birebir şekilde simülasyona aktarmak için yeterli değildir. Araçların belirli bir başlangıç noktasından istenilen rota ile hedef noktaya ulaşması için tanımlanan başlangıç-son atamalarına ek olarak her iki programa da rotaların tanımlanması gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde her iki programa da tanımlanan araç rotaları gösterilmiştir.



Şekil 7.22. Araç rotalarına Tunatan kavşağından bir örnek Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Rotalar otomatik olarak seyahat süresi açısından en kısa güzergâhı takip etme eğiliminde olan simülasyon programlarına manuel olarak güzergâh atama işlemlerini gerçekleştirmeyi sağlamaktadır.

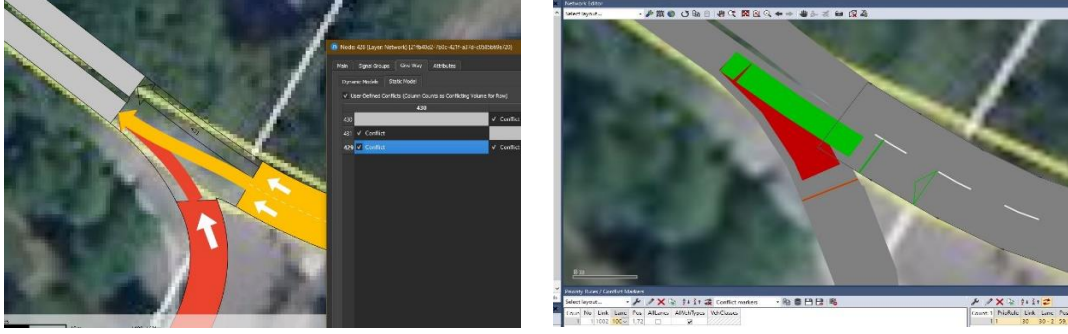
7.5.7. Çakışma noktaları ve geçiş öncelikleri (conflict areas-priority rules)

Simülasyonların gerçeğe yakın bir şekilde yapılabilmesi için çizilen yollarda özellikle kavşak kesimlerinde araçların davranışlarını ayarlamak için kavşaklarda belirli geçiş kurallarının tanımlanması gerekmektedir. Bunların başlıca iki tanesi geçiş önceliği (Priority Rules) ve çakışma noktalarıdır (Conflict Areas). Aşağıdaki şekilde kavşaklarda daha önceki bölümlerde teorik olarak açıklamış çakışma noktalarına teze konu olan kavşaklardan örnekler gösterilmiştir.



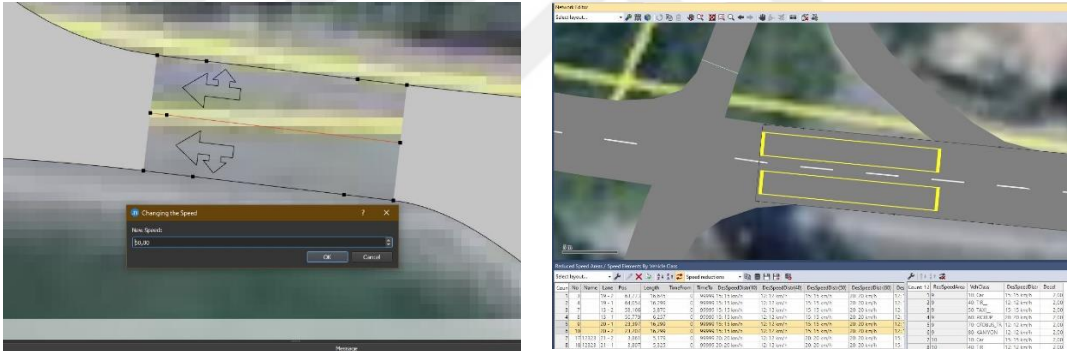
Şekil 7.23. Tüvasaş kavşağı kuzey birleşimi çakışma noktaları Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Yukarıda gösterilen çakışma noktalarının çözümlenebilmesi için kavşaklardaki öncelik kurallarının belirlenmesi gerekmektedir. Öncelik kuralları; araçların kavşaktaki çakışma noktalarına geldiği anda önceliği olana yol vermesi şeklinde sisteme tanımlanması ile ayarlanmaktadır. Her iki programda da çizilen yolların üzerinde bu ayarlamaları yapmak mümkündür. Aşağıdaki şekilde geçiş önceliği ayarlamalarının karşılaştırmalı örneği verilmiştir.



Şekil 7.24. Geçiş önceliği (Priority Rules) ayarlamaları Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Kavşaktaki araç davranışlarının ayarlanmasında kullanılan bir başka unsur ise programlarda kullanılan hız düşürme (Reduced Speed Areas) alanlarıdır. Simülasyonda hareket eden araçlar bu bölgelere geldiğinde üzerinde tanımlanan hızlara düşmesi ile kavşaklardaki kritik noktalarda trafiğin daha gerçekçi olması sağlanır. Her iki programda da yol kesimleri üzerinde hız ayarlamalarının yapıldığı karşılaştırma görüntüsü aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 7.25. Hız düşürme alanları (Reduced Speed Areas) Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

7.5.8. Programların üç boyut (3d) kabiliyetleri

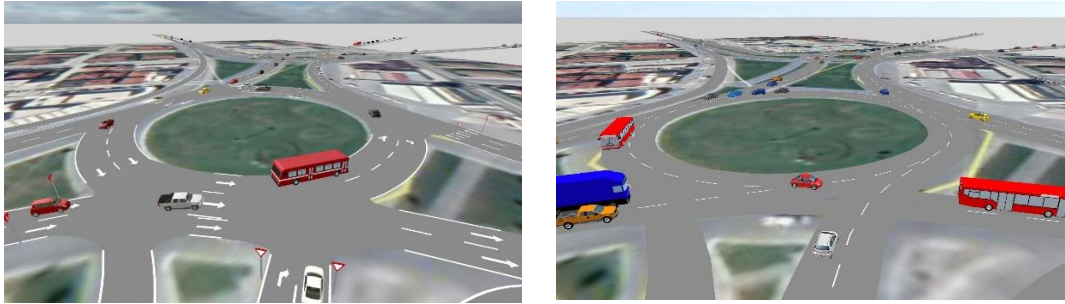
Programlarda elde edilen simülasyonların gerçek hayatla benzeştirilmesi için yapılan simülasyonun üç boyutlu olarak izlenebilmesi, karar vericilere sunumunun yapılabilmesi için elde edilen simülasyonların videolarının programlar üzerinde hazırlanarak sunulabilmesi önemlidir. Her iki programda gelişmiş üç boyut (3D) modüllerine sahiptir. İstenirse anlık olarak istenilen bir noktanın videosu çekilebilmekle beraber istenirse kavşağın farklı noktalarına yeni kamera noktaları tanımlamak suretiyle bunlar arasında geçişler yapılarak daha gelişmiş simülasyon

videoları çekilebilmektedir. Ayrıca kavşaklar üzerinde ve etrafındaki yapıların üç boyutlu görüntüleri çeşitli çizim programlarında çizilerek programlara aktarmak mümkündür. Aşağıda Tüvasaş kavşağının simülasyonundan her iki programdan elde edilen bir görüntü karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 7.26. Tüvasaş kavşağından üç boyutlu görüntü örneği Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

Kendi içinde bir saat içinde trafik akımlarını rastgele gönderdiği için her iki programda farklı seferlerdeki simülasyonlarda bile aynı zaman diliminde tamamen birebir trafik görüntüsünü elde etmek mümkün olmamakla birlikte genel trafik yoğunluğunu yakın bir şekilde görmek mümkün olmaktadır. Aşağıda Tunatan kavşağından bir üç boyutlu karşılaştırma görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 7.27. Tunatan kavşağından üç boyutlu görüntü örneği Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

7.5.9. Programlarda verilerin toplanması

Her iki programda da simülasyon sonucu ortaya çıkan verilerin toplanması mümkün olmakla beraber sonuçları Aimsun programı çok daha derli toplu vermektedir. Vissim de daha fazla ham veri şeklinde sonuçlar gösterilirken Aimsun'da ise sonuçlar linkler üzerine tıklanmak suretiyle doğrudan grafik olarak elde edilmektedir. Vissim'de ise verilerin toplanacağı bölgelerin tek tek tanımlanması gerekmekte olup, seyahat

sürelerinin hesaplanması, kuyruklanma boylarının tespiti gibi yolculuk çıktıları için ayrı modüllerin program içinde kullanılması gerekmektedir.

Toplanan veriler ve ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi bu tez çalışmasında dokuzuncu bölümde irdelenmiştir.



BÖLÜM 8. TRAFİK SİMÜLASYON PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERİ

1990'ların sonlarından bu yana simülasyon programlarının karşılaştırmaları ile alakalı yirmiden fazla araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar analiz edildiğinde Leeds Üniversitesi tarafından koordine edilmiş, Avrupa Komisyonu eliyle finanse edilen Barcelo ve diğerleri tarafından yayınlanan "SMARTTEST" projesinden bu yana kapsamlı bir karşılaştırma çalışmasının olmadığı görülmektedir.

Genel olarak trafik simülasyonlarında karşılaşılan zorluklar; simülasyona tanımlanacak ayrıntıların eksikliği, tanımlanacak değişkenlerin esnekliklerinin az oluşu ve model oluşturma sırasında emek yoğun çalışmaların fazlalığı olarak değerlendirilmektedir. Önde gelen simülasyon yazılımlarının özellikleri aşağıdaki bölümlerde incelenmiş bunlarla alakalı karşılaştırma bilgileri tablolar ve görseller ile sunulmuştur.

8.1. Mikroskobik Trafik Simülasyon Yazılımlarına Genel Bakış

8.1.1. Vissim

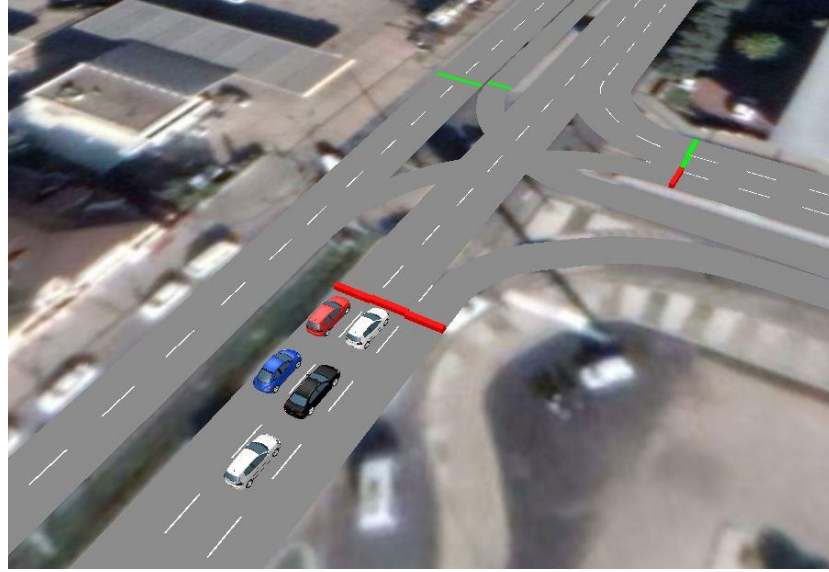
Mikro trafik simülasyonlarının en popüler ve yaygın kullanılanlarının başında gelen PTV firmasının vissim yazılımı trafik ve toplu taşıma sisteminin birlikte modellenerek analiz edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş sürücü davranışlarının matematik modelinin üzerine inşa edilmiş ayrık zamanlı bir programdır.

Vissim yazılımı benzer amaçlarla kullanılan diğer yazılımlardan daha esnek kullanım sağlar. Bunun sebebi modelleme sırasında ulaşım ağı, trafik akışı ve bu trafiğin kontrol mekanizmaları ayrıca tüm bunların bilgilerinin ekrandan canlı bir şekilde izlenilebilmesidir. Tüm bunların yanı sıra sahada trafik sensörleri tarafından elde

edilecek mikroskobik akım parametrelerinin sanal mecrada elde edilmesi ile de bu esnekliğı sağlar. Program aracılığıyla, trafiğın elemanlarını meydana getiren karayolu ağı ve toplu taşıma sistemleri yol yapılandırmaları, trafik ışıkları gibi sınırlamalara bağılı olarak analiz yapılabilir. Bu sebepten ötürü VISSIM, ulaşım planlaması mevcut vaziyet, planlanan vaziyet ve seçeneklerin analizinde kullanılabilen hızlı, basit ve gerçekçi bir simülasyon programıdır.

Vissim Wiedemann tarafından 1974 yılında geliştirilmiş psiko-fiziksel algı modelini kullanarak aynı yönde giden iki araçtan hızlı giden arkadaki aracın yavaş giden önündeki aracın hızını anlaması ile hızını azaltmaya başlayacağı mantığı ile araç hareketlerini gerçekleştirmektedir. Hızlı giden aracın sürücüsü öndeki aracın hızını tam olarak tayin edemediğı için yeni bir algı sınırına varıncaya kadar hızını azaltır, sonrasında ise yeniden hızını arttırmaya çalışır.

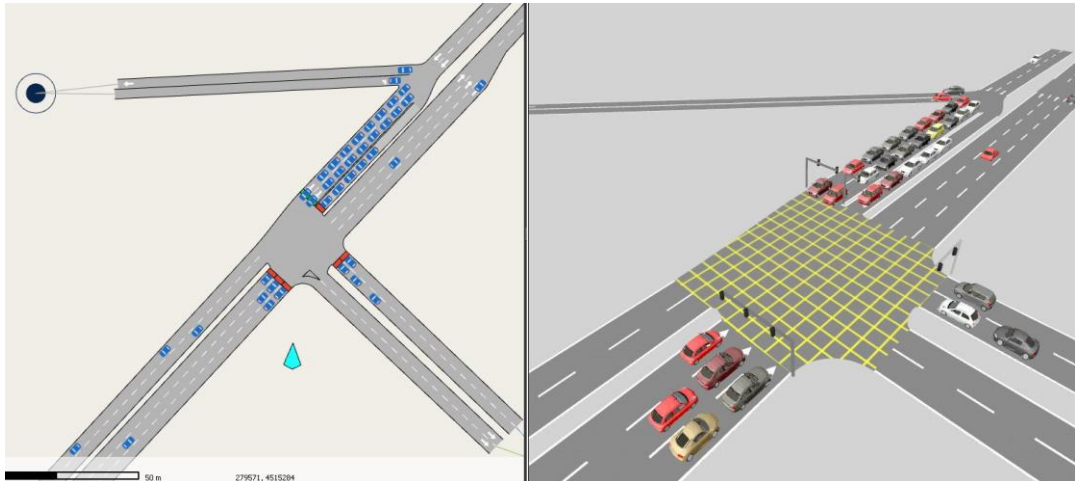
Wiedemann tarafından bulunan bu modelde hızlanma ve yavaşlama sabit bir şekilde gerçekleşmektedir. Vissim sadece aynı şerit üzerinde peş peşe hareket eden araçları analiz etmez aynı zamanda bitişik şeritlerde seyir halinde olan araçların da hareketlerini dikkate alır. Böylelikle herhangi bir kavşağı yaklaşan araçların 100 metrenin altında mesafelerde kavşağı yaklaştıklarında o mesafe içerisinde şerit değiştirilmesine izin verilmek suretiyle kuyruklanmaların sadece tek bir şerit boyunca oluşmasını engellenmiş böylelikle gerçeğe aykırı durumların gerçekleşmemesi sağlanmış olmaktadır (Yiğit,2019).



Şekil 8.1. Vissim Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü

8.1.2. Aimsun

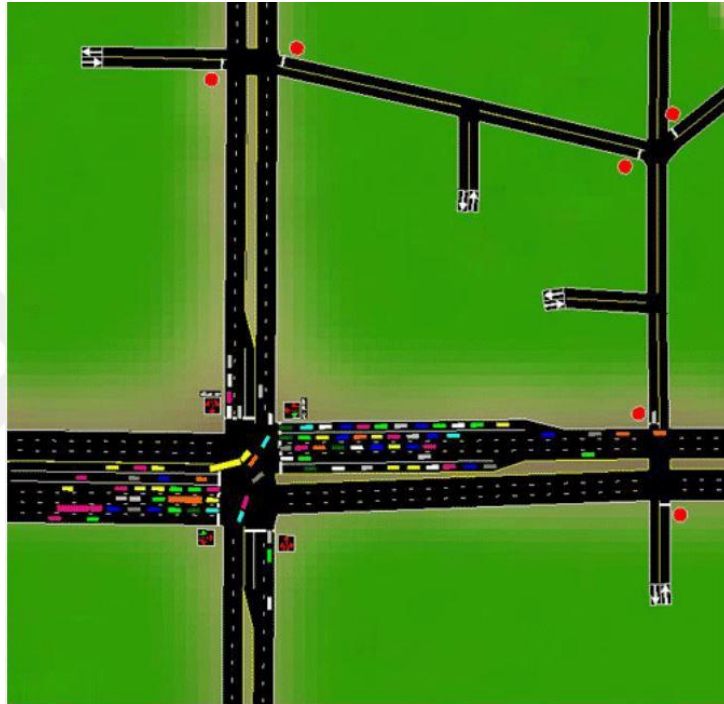
Aimsun şehir içi ve şehirler arası trafik akımlarının simülasyonlarını gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Araç takip modeline göre araçların davranış sergilediği bu programda araçlar öndeki araca çarpmamak için hareketlerini ayarlamaktadır. Trafikteki giriş-çıkış akımları, dönel hareketler, başlangıç-bitiş matrisleri ve rota seçim kriterlerinin ayarlanması mümkündür (Güven,2019).



Şekil 8.2. Aimsun Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü

8.1.3. Corsim

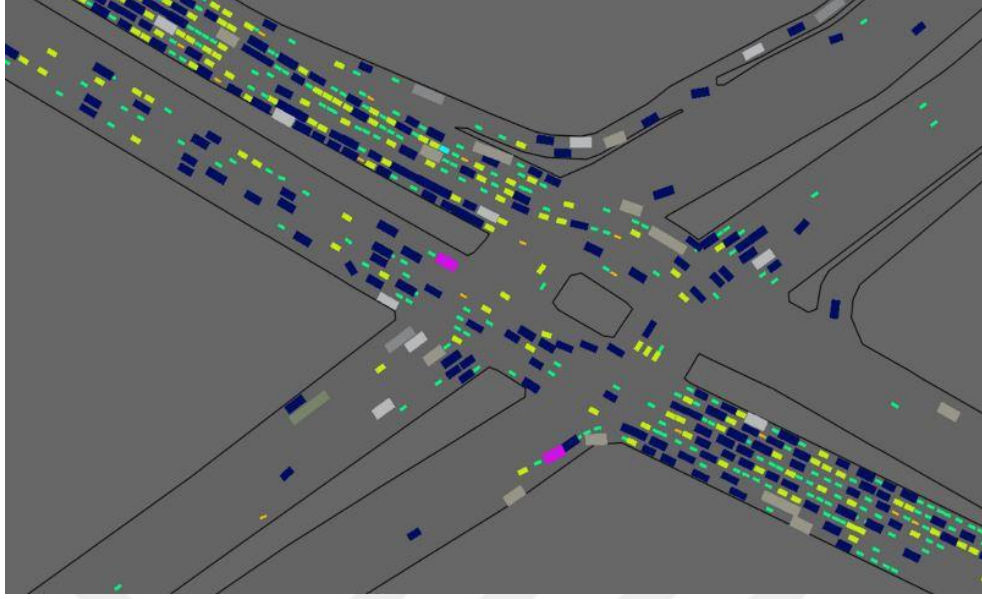
Adından da anlaşılabilirce üzere koridor simülasyonu manasına gelen Corsim ABD Federal Karayolu İdaresi eli ile tasarlanmıştır. Netsim ve Fresim programlarının birleştirilerek geliştirilmesinden oluşmuştur. Bunlardan Netsim sinyalizasyon kavşakların olduğu arterlere dönük geliştirilmiş iken Fresim otoyollar ve kentiçi sinyalizasyonsuz yol ağlarını modellemek için kullanılmaktaydı.



Şekil 8.3.Corsim Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü

8.1.4. Paramics

Paralel simülasyon şeklinde isimlendirmesi bulunan bu yazılım içerisinde farklı modüller bulundurmaktadır. Bu modüller dönüştürücü, monitör, analizör, işlemci ve tahminci olarak sıralanmaktadır. Öne çıkan özelliklerinden bazıları grafiksel olarak aynı dönem kullanıcıların hizmetine sunulmuş diğer programlardan daha iyi görselleştirme imkânı sağlaması ile çok çeşitli trafik hareket senaryolarının modellenebilmesini sağlamasıdır.



Şekil 8.4. Paramics Yazılımından Bir Sinyalize Kavşak Görüntüsü

8.2. Altı Farklı Simülasyon Programının Karşılaştırılması

Mevcut simülasyon programlarında trafik durum ve koşulları tahmin edilebildiği gibi aşağıdaki tablolarda gösterilmiş belli başlı özellikler programların tümü tarafından asla sağlanmamaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin taban alınarak kurulacak trafik ağı modelleri veri tutarlılığı açısından programların verimliliğini arttıracak görülmektedir. Çevrimiçi trafik simülasyonu yazılımı olarak özel olarak geliştirilmiş uygulamaların eksikliği mevcut olduğu gözükmemektedir. Ancak trafik simülasyon sistemlerinin performanslarının yükselmesiyle kent içi ve kent dışı trafikle alakalı gerçek zamanlı trafik bilgilerinin toplanarak kısa vadeli trafik tahminlerinin yapılması ile alakalı araştırmalar sürmekte ve programların işlevselliğinin artırılması için gün gün yenilikler kullanıcılara sunulmaktadır. Aşağıdaki tabloda yukarıda bahsedilen işlevsellik ve öznel özelliklerin farklı programlarda mevcudiyetleri gösterilmiştir.

Tablo 8.1. Farklı Trafik Simülasyon Programlarındaki Niteliklerin Karşılaştırması

	Vissim	Aimsun	Corsim	Paramics	Quadstone Paramics	Cube Avenue
Makroskobik Model	O	X	O	O	O	O
Mezoskobik Model	X	X	O	O	O	X
Mikroskobik Model	X	X	X	X	X	X
Şerit Sayı Kısıtı	O	O	X	O	X	O
Yol Uzunluk Kısıtı	O	O	O	O	O	X
Araç Tipi Kısıtı	O	O	O	O	X	X
Koordine Sinyal	X	X	X	X	O	O
Adaptif Sinyal	X	X	X	X	X	X
Toplu Taşıma Önceliği	X	X	X	X	X	X
Otoyol Kontrolü	X	X	X	O	X	O
Kaza Yönetimi	O	X	X	X	X	O
Dinamik Rota	X	X	O	X	X	O
Statik Rota	X	X	O	X	X	O
Multimodel Trafik	X	X	O	O	X	X
Parklanma Yönetimi	X	X	O	O	O	O
Hız Limitleri	X	X	X	X	X	X
Araç Boyutları	X	X	O	O	O	O
Ticari Araçlar	X	X	O	X	X	X
Yayalar	X	X	O	O	X	X
Tren ve Raylı Araç	X	X	X	X	O	X
Kuyruklanma	X	X	X	X	X	X
Seyahat Süresi	X	X	X	X	X	O
Sıkışıklık Ölçümü	X	X	X	X	X	X
Dönel Kavşak	X	X	X	X	X	X
Farklı Sürücü Profili	X	X	X	O	X	X
Gerçek Zamanlı Veri Analizi	X	X	O	O	X	O
(Motorlu) Bisiklet	X	X	O	O	O	X
Obje Modelleme	X	X	O	O	O	X
Otobüs Şeridi	X	X	X	O	O	X
Araç ağırlıkları	X	O	O	O	O	X
Otonom Araçlar	X	X	O	O	O	O

Satırdaki Özellik Mevcudiyeti: O Hayır, X Evet

8.3. Trafik Yönetim Sistemlerinde Farklı İsteğe Farklı Çözümler

Farklı simülasyon kullanıcılarının farklı trafik problemlerini çözme istekleri bulunduğu için farklı işlevler talep etmektedir. Örnek olarak vermek gerekirse şehir içi yol planları ve trafik ışığı kontrol sistemlerinin tasarımı için çevrimdışı sistemler yeterli olurken trafik yönetim merkezlerinde seyahat sürelerinin tahmini ve gerçekleşebilecek olayların anlık olarak yönetilebilmesi için çevrimiçi gerçek zamanlı simülasyonlar gerekmektedir.

Akıllı trafik yönetim sistemleri belirli yazılımları kullanarak yol kenarı sensörleri veya cep telefonları sinyalleri gibi büyük hacimli verileri işlemek suretiyle ayrıntılı bir yol ağındaki uzun ve kısa menzilli seyahatleri tahmin ederek olası trafik sıkışmalarına çözümler üretmektedir. Bu sistemler gelişmiş trafik yönetim merkezi olan dünyadaki büyük şehirlerin önemli kısmında kullanılmaktadır.



BÖLÜM 9. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR

9.1. Değerlendirmeler

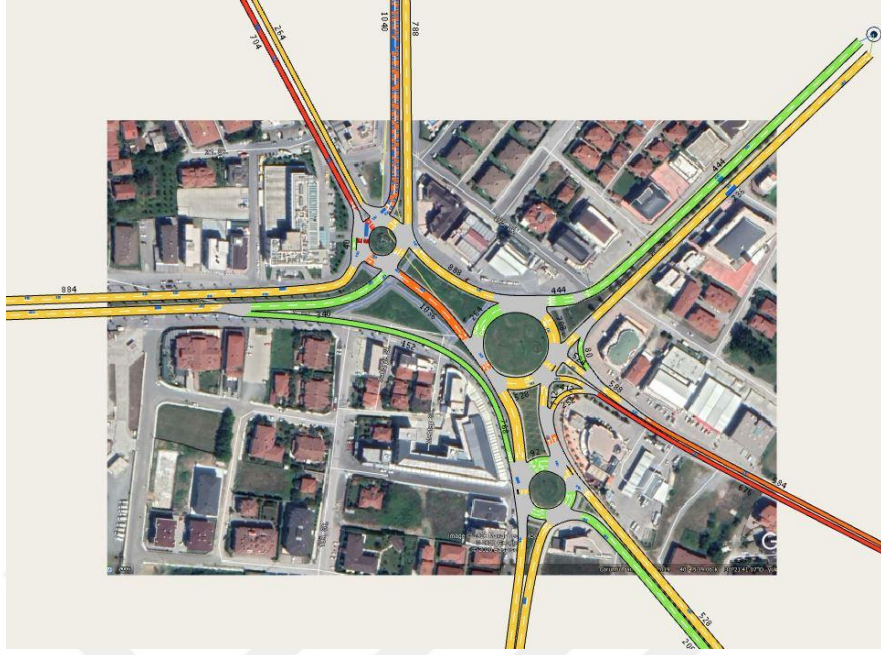
Değerlendirmeler kısmında önceki bölümlerde anlatılan kavşaklara ait yapılan simülasyonlar değerlendirilmiştir. Ayrıca bu programların kıyaslanmasında istatistiki metotlara başvurularak bilimsel bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma için literatür ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır.

9.1.1. Aimsun ve vissim ile yapılan simülasyonlar

Bu bölümde Vissim ve Aimsun programlarıyla önceki bölümlerde çalışmaya konu edilen kavşakların trafik simülasyonları gerçekleştirilmiş olup kavşaklardaki problemli noktalar tespit edilmiştir. Yoğunluğun yüksek olduğu yerlere çözüm önerileri sunularak uygulanan önerinin ne kadar fayda sağladığı sonuçlar kısmında açıklanmıştır.

9.1.1.1. Kavşakların mevcut durumları

Bu bölümde kavşaklarda mevcut durumun simülasyonundan elde edilen renkli akım, yoğunluk, gecikme süresi, hız ve kapasite görselleri kullanılarak kavşaklarda trafik akımının kapasiteyi zorladığı kesimler tespit edilmiştir. Ayrıca kavşakların mevcut durumlarının aimsun programıyla yapılan simülasyon sonuçları da gösterilmiştir.



Şekil 9.1. Tunatan Kavşağı Mevcut Durum Trafik Akımı

Yukarıdaki renklendirilmiş görselden de anlaşılacağı üzere tunatan kavşağının özellikle 2 ve 3 numaralı kollarında ciddi bir yoğunluk gözlemlenmektedir. Kuyruklanma boylarının uzaması ve trafikteki bekleme sürelerinin arttığı net olarak görülmektedir. Gözlemlenen problemlere yönelik çözüm önerisi ileriki başlıklarda anlatılmıştır.



Şekil 9.2. Tuvasaş Kavşağı Mevcut Durum Trafik Akımı

Yukarıdaki renklendirilmiş görselden de anlaşılacağı üzere tuvasaş kavşağının özellikle 3-5 ve 6-3 numaralı ana akslarında ciddi bir yoğunluk gözlemlenmektedir. Gözlemlenen problemlere yönelik çözüm önerisi ileriki başlıklarda anlatılmıştır.

Yukarıdaki iki şekilde mevcut durumları verilen kavşaklardan Tunatan Kavşağının Aimsun programı ile yapılan mevcut durum simülasyonundan elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 9.1. Tunatan Kavşağı Mevcut Durum Aimsun Simülasyon Sonuçları

Değişken	Mevcut	Birim
Gecikme	52,91	yol kesimi/km
Yoğunluk	11,74	araç/km
Akım	4237	araç/saat
Harmonik Hız	28,3	km/saat
IEM Emisyon - CO2	1053197,9	g
IEM Emisyon - Şehirlerarası - CO2	163649,15	g/km
IEM Emisyon-Şehirlerarası-NOx	342,73	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası- PM	38,1	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası-VOC	240,78	g/km
IEM Emisyon - NOx	2205,68	g
IEM Emisyon - PM	245,22	g
IEM Emisyon - VOC	1549,59	g
Giren Araç	4399	araç
Dolaşımdaki Araç	4399	araç/saat
Maks. Sanal Kuyruklanma	11	araç
Ortalama Kuyruklanma	52,43	araç
Ortalama Sanal Kuyruklanma	0,78	araç
Kaçırılan Dönüşler	1802	
NOx	0	g
Toplam Şerit Değiştirme	537,12	#/km
Toplam Durma	0,09	#/araç/km
Hız	37,34	km/saat
Durma Süresi	48,89	yol kesimi/km
Toplam Seyahat Mesafesi	3499,28	km
Araç İçi Beklemede Alınan Mesafe	43,04	km
Toplam Şerit Değiştirme Sayısı	6036	
Toplam Durma Sayısı	4247	
Toplam Seyahat Süresi	126	saat
Araç İçi Beklemede Seyahat Süresi	13,6	saat
Seyahat Süresi	127,2	yol kesimi/km

Yukarıdaki iki şekilde mevcut durumları verilen kavşaklardan Tuvasaş Kavşağının Aimsun programı ile yapılan mevcut durum simülasyonundan elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 9.2. Tuvasaş Kavşağı Mevcut Durum Aimsun Simülasyon Sonuçları

Değişken	Mevcut	Birim
Gecikme	2,16	yol kesimi/km
Yoğunluk	10,64	araç/km
Akım	3686	araç/saat
Harmonik Hız	48,06	km/saat
IEM Emisyon - CO2	895722,4	g
IEM Emisyon - Şehirlerarası - CO2	158062,28	g/km
IEM Emisyon-Şehirlerarası-NOx	293,5	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası- PM	23	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası-VOC	210,47	g/km
IEM Emisyon - NOx	1663,23	g
IEM Emisyon - PM	130,36	g
IEM Emisyon - VOC	1192,73	g
Giren Araç	3778	araç
Dolaşımdaki Araç	3778	araç/saat
Maks. Sanal Kuyruklanma	4	araç
Ortalama Kuyruklanma	0,05	araç
Ortalama Sanal Kuyruklanma	0,09	araç
Kaçırılan Dönüşler	162	
NOx	0	g
Toplam Şerit Değiştirme	442,27	#/km
Toplam Durma	0	#/araç/km
Hız	48,22	km/saat
Durma Süresi	0,12	yol kesimi/km
Toplam Seyahat Mesafesi	4563,04	km
Araç İçi Beklemede Alınan Mesafe	61,71	km
Toplam Şerit Değiştirme Sayısı	4002	
Toplam Durma Sayısı	164	
Toplam Seyahat Süresi	94,96	saat
Araç İçi Beklemede Seyahat Süresi	1,69	saat
Seyahat Süresi	74,91	yol kesimi/km

9.1.1.2. Mevcut duruma çözüm önerileri ve elde edilen sonuçlar

Yukarıdaki bölümde anlatılan problemleri iki kavşaktaki trafik durumunun iyileştirilmesi için simülasyon programlarının her ikisinde de aynı çözüm önerileri ayrı ayrı uygulanmış ve her iki program ile elde edilen sonuçlar hem görsel hem sayısal olarak gösterilmiştir.

Tunatan kavşağında mevcut durumun düzeltilmesi için 2 farklı öneri simülasyonu hazırlanmıştır. İlk öneri olarak kavşaktaki başlangıç son noktaları arasında araçların arzu edilen rotada gitmesi sağlanarak kavşakta en yoğun dönel ada olan kuzey taraftaki adanın olduğu bölüm rahatlatılmaya çalışılmıştır. İkinci olarak kavşağın kuzey yönünde üzerinde çift yön trafik akımı bulunan 3 numaralı kolundaki akım tek yöne dönüştürülmüş kavşağa giriş yapan akım ise 4 numaralı kola taşınmıştır. Bu öneri

sonrası kavşağın akım, yoğunluk, hız ve kapasite açısından gösterdiği değişim renklendirilmiş görseller ile karşılaştırmalı olarak aşağıda sunulmuştur.

Tunatan kavşağında trafik akımının yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.3. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası trafik akımı değişimi

Tunatan kavşağında gecikme sürelerinin yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.4. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası gecikme süreleri değişimi

Tunatan kavşağında trafik hızının yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.5. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası trafik hızı değişimi

Tunatan kavşağında kapasitenin yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.6. Tunatan kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası kapasite değişimi

Tunatan kavşağında yukarıda görsel olarak karşılaştırmaları verilen öneri simülasyon sonuçlarının sayısal olarak gösterdiği değişim aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 9.3. Tunatan Kavşağı Mevcut ve Öneri Simülasyon Sonuçları

Değişken	Mevcut	Öneri 1	Öneri 2	Birim
Gecikme	52,91	20,72	6,76	yol kesimi/km
Yoğunluk	11,74	8,74	6,91	araç/km
Akım	4237	4474	4246	araç/saat
Harmonik Hız	28,3	38,43	45,43	km/saat
IEM Emisyon - CO2	1053197,9	912739,29	781720	g
IEM Emisyon - Şehirlerarası - CO2	163649,15	141824,26	130243,7	g/km
IEM Emisyon-Şehirlerarası-NOx	342,73	1156,02	1023,35	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası- PM	38,1	179,63	170,5	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası-VOC	240,78	192,49	149,82	g/km
IEM Emisyon - NOx	2205,68	29,91	24,96	g
IEM Emisyon - PM	245,22	1171,68	958,13	g
IEM Emisyon - VOC	1549,59	182,06	159,64	g
Giren Araç	4399	4594	4329	araç
Dolaşımdaki Araç	4399	4594	4329	araç/saat
Maks. Sanal Kuyruklanma	11	4	3	araç
Ortalama Kuyruklanma	52,43	15,7	2,89	araç
Ortalama Sanal Kuyruklanma	0,78	0,18	0,11	araç
Kaçırılan Dönüşler	1802	2034	1075	
NOx	0	0	0	g
Toplam Şerit Değiştirme	537,12	506,95	581,77	#/km
Toplam Durma	0,09	0,08	0,03	#/araç/km
Hız	37,34	40,98	46,01	km/saat
Durma Süresi	48,89	16,29	3,7	yol kesimi/km
Toplam Seyahat Mesafesi	3499,28	3687,75	3594,82	km
Araç İçi Beklemede Alınan Mesafe	43,04	49,4	34,43	km
Toplam Şerit Değiştirme Sayısı	6036	5697	6704	
Toplam Durma Sayısı	4247	4088	1578	
Toplam Seyahat Süresi	126	96,83	78,89	saat
Araç İçi Beklemede Seyahat Süresi	13,6	1,72	0,94	saat
Seyahat Süresi	127,2	93,69	79,24	yol kesimi/km

Tuvasaş kavşağında mevcut durumun düzeltilmesi için 2 farklı öneri simülasyonu hazırlanmıştır. İlk öneri olarak kavşaktaki başlangıç son noktaları arasında araçların

arzu edilen rotada gitmesi sağlanarak araç tipleri otomobil olarak ayarlanmıştır. İkinci olarak kavşağın doğu-batı aksında yönünde üzerinde çift yön trafik akımı bulunan 6-3 numaralı kolu 2 şeritten 3 şeride çıkarılmıştır. Bu öneri sonrası kavşağın akım, yoğunluk, hız ve kapasite açısından gösterdiği değişim renklendirilmiş görseller ile karşılaştırmalı olarak aşağıda sunulmuştur.

Tuvasaş kavşağında trafik akımının yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.7. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası trafik akımı değişimi

Tuvasaş kavşağında trafik yoğunluğunun yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.8. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası yoğunluk değişimi

Tuvasaş kavşağında trafik hızının yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.9. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası hız değişimi

Tuvasaş kavşağında kapasitenin yapılan öneriler ile değişimini gösteren karşılaştırmalı görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 9.10. Tuvasaş kavşağı mevcut durum ve öneriler sonrası kapasite değişimi

Tuvasaş kavşağında yukarıda görsel olarak karşılaştırması verilen öneri simülasyon sonuçlarının sayısal olarak gösterdiği değişim aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 9.4. Tuvasaş Kavşağı Mevcut ve Öneri Simülasyon Sonuçları

Değişken	Mevcut	Öneri 1	Öneri 2	Birim
Gecikme	2,16	2,29	1,39	yol kesimi/km
Yoğunluk	10,64	10,37	9,25	araç/km
Akım	3686	3619	3619	araç/saat
Harmonik Hız	48,06	48,17	48,74	km/saat
IEM Emisyon - CO2	895722,4	818735,3	804690,85	g
IEM Emisyon - Şehirlerarası - CO2	158062,28	1113,51	1096,87	g/km
IEM Emisyon-Şehirlerarası-NOx	293,5	117,18	108,81	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası- PM	23	1140,48	1134,67	g/km
IEM IEM Emisyon-Şehirlerarası-VOC	210,47	144476,87	140744,1	g/km
IEM Emisyon - NOx	1663,23	196,49	191,85	g
IEM Emisyon - PM	130,36	20,68	19,03	g
IEM Emisyon - VOC	1192,73	201,25	198,46	g
Giren Araç	3778	3704	3704	araç
Dolaşımdaki Araç	3778	3704	3704	araç/saat
Maks. Sanal Kuyruklanma	4	4	4	araç
Ortalama Kuyruklanma	0,05	0,9	0,4	araç
Ortalama Sanal Kuyruklanma	0,09	0,08	0,08	araç
Kaçırılan Dönüşler	162	149	227	
NOx	0	0	0	g
Toplam Şerit Değiştirme	442,27	359,16	430,74	#/km

Tablo 9.4. (Devamı)

Toplam Durma	0	0,01	0	#/araç/km
Hız	48,22	48,34	48,81	km/saat
Durma Süresi	0,12	0,88	0,33	yol kesimi/km
Toplam Seyahat Mesafesi	4563,04	4477,15	4491,91	km
Araç İçi Beklemede Alınan Mesafe	61,71	49,22	49,56	km
Toplam Şerit Değiştirme Sayısı	4002	3250	4341	
Toplam Durma Sayısı	164	335	204	
Toplam Seyahat Süresi	94,96	92,81	92,22	saat
Araç İçi Beklemede Seyahat Süresi	1,69	1,34	1,32	saat
Seyahat Süresi	74,91	74,74	73,86	yol kesimi/km

9.1.2. Aimsun ve vissim ile yapılan analizlerin istatistîki karşılaştırması

Karşılaştırma analizleri ile iki yöntem arasındaki farkın belirlenmesi mümkündür. Bu çalışmada Vissim ve Aimsun ile yapılan simülasyon analizlerinin karşılaştırılması için karşılaştırma analizleri yapılmıştır. Literatürden ve uzman görüşlerinden, Vissim ve Aimsun simülasyon analizlerine verilen puanlandırmalar dikkate alınarak parametrik ve parametrik olmayan istatistik analizler gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda literatür ve uzman görüşlerinden elde edilen puanlamalara ait veriler sunulmuştur. İstatistik test ve analizler buradaki puanlamalara göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 9.5. Literatür ve Uzman Görüşlerine Göre Vissim ve Aimsun Yazılımlarının Puanlandırması

	Vissim	Aimsun
Program arayüzü	5	5
Araç rotalama kabiliyetleri	5	4
Sürücü Davranış Parametreleri	5	5
Şerit Değiştirme Parametreleri	5	5
Sinyalizasyon	5	5
Şerit Kapatma Modellemesi	3	5
Gişe Modellemesi	3	4
Muayene İstasyonu Modellemesi	2	5
Kalibrasyon Süresi	4	5
Doğrulama Süresi	3	5
24 saat hizmet	4	5
Stabilite	5	4
Data aktarma	5	5
Destekleyici Belge Üretme	5	5
Arayüz ve kullanım kolaylığı	4	5
Verileri içe ve dışa aktarma yeteneği	4	4
Ağ tasarımı ve yolların çizimi	5	5
Ulaşım planı yapabilme	1	5
Araç tiplerini özelleştirebilme	5	5
Trafik akım oranlarını ayarlama	4	5

Tablo 9.5. (Devamı)

Üç boyut (3D) yeteneği	5	5
Simülasyon video kaydı	5	5
Toplu Taşıma	2	5
Data toplama	4	5
Ücretlendirme	1	4

Parametrik ve non-parametrik testler veri analizinde kullanılan yöntemlerden ikisidir. Bu yöntemlerin hangisinin kullanılması gerektiği toplanan verilerin niteliğine göre belirlenir.

Parametrik olan testler, hipotezin toplum parametrelerine göre kurulduğu analiz metodudur. Buna göre; toplanan verinin normal dağılıma uygunluk göstermesi, rastgele seçildiği ve nicel özellikte olduğu gibi bazı kabuller esas alınır ve örneklem sayısı minimum 30 olmalıdır. Parametrik testlerin oldukça fazla istatistik güçleri vardır, fazlaca gelişmiş tabloları bulunur ve çok ileri seviyede bilgiler verirler. Testler ortalama değerler (Mean) ile gerçekleşir.

Non-parametrik testler söz konusu olduğunda ise, hipotez belirli bir parametreye dayalı olmadan ele alındığı için genelleme yapılamaz. Non-parametrik olan testler; örneklem adedinin 30'dan az olduğu, veri dağılımının normal dağılıma uymadığı ya da heterojen olan veri gruplarında uygulanmaktadır. Daha az örneklem sayısı bulundurduğundan dolayı hesaplamaların yapılması daha kolaydır. Doğru metodolojiyle uygulaması yapıldığında parametrik testlerle birebir aynı sonucu verir. Testler ise orta değerler (Median) ile gerçekleşir.

Parametrik özellikte olmayan testler ise, anakütleyle alakalı en ufak bir kabulde bulunmayan testlerdir. Parametrik testlerin uygulanmasının mümkün olmadığı hallerde kolaylıkla kullanılabilirler ve böylelikle çok problemlili bir veri kümesinde bile analizde bulunmaya imkân verirler.

Bu çalışmada; parametrik testler için Bağımsız Örneklem t Testi ve parametrik olmayan testler için ise Mann-Whitney U Testi gerçekleştirilmiştir. Veri seti; normal dağılıma uygunluk gösterdiğinde parametrik test sonucu, normal dağılıma uymadığı hallerde ise parametrik olmayan test neticesi doğru olarak kabul edilmiştir.

9.1.3. Bağımsız örneklem t testi

Bağımsız örnekler arasındaki farkın tespit edilmesi için çeşitli istatistik yöntemler kullanmak mümkündür. İki bağımsız grup arasındaki istatistik fark Bağımsız Örneklem t Testi (Independent Samples t Test) ile belirlenebilir.

Bağımsız Örneklem t Testinin sıfır hipotezi (H_0) ve alternatif hipotezi (H_1) iki farklı ancak eşdeğer şekilde ifade edilebilir:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ ("iki grubun ortalaması eşittir")

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ("iki grubun ortalaması eşit değildir")

veya

$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ ("iki grup ortalaması arasındaki fark 0'a eşittir")

$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ ("iki grup ortalaması arasındaki fark 0 değil")

burada μ_1 ve μ_2 sırasıyla grup 1 ve grup 2 için ortalama değerlerdir.

Bağımsız Örneklem t Testi, varyansın homojenliği varsayımını dayanır. Bağımsız Örneklem t Testi analizlerinde Levene Testi ile varyansın homojenlik analizi yapılır. Levene testi hipotezleri aşağıda gibi ifade edilebilir:

$H_0: \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$ ("grup 1 ve 2'nin varyansları eşittir")

$H_1: \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$ ("grup 1 ve 2'nin varyansları eşit değildir")

Bağımsız Örneklem t Testi için istatistiksel test, t ile gösterilir. Eşit varyansların varsayılıp varsayılmadığına bağlı olarak, bu test için aslında iki istatistiksel test biçimi vardır.

9.1.4. Eşit varyansların olması durumu

İki bağımsız örneğin aynı popülasyon varyanslarına sahip popülasyonlardan alındığı varsayıldığında ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$), istatistiksel test t şu şekilde hesaplanır:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Burada;

$\bar{x}_1$ = İlk örneğin ortalaması,

$\bar{x}_2$ = İkinci örneğin ortalaması,

n_1 = İlk örneğin gözlem sayısı,

n_2 = İkinci örneğin gözlem sayısı,

s_1 = İlk örneğin standart sapması,

s_2 = İkinci örneğin standart sapması,

s_p = Karma standart sapma.

Bağımsız Örnekler t Testi ile hesaplanan t değeri, $df = n_1 + n_2 - 2$ serbestlik dereceleri ve seçilen güven seviyesi ile t dağılım tablosundaki kritik t değeri ile karşılaştırılır. Hesaplanan t değeri kritik t değerinden büyükse, sıfır hipotezi reddedilir.

9.1.5. Eşit varyansların olmaması durumu

İki bağımsız örneğin eşit olmayan varyanslara sahip popülasyonlardan alındığı varsayıldığında ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$), test istatistiği t şu şekilde hesaplanır:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

$\bar{x}_1$ = İlk örneğin ortalaması,

$\bar{x}_2$ = İkinci örneğin ortalaması,

n_1 = İlk örneğin gözlem sayısı,

n_2 = İkinci örneğin gözlem sayısı,

s_1 = İlk örneğin standart sapması,

s_2 = İkinci örneğin standart sapması.

Hesaplanan t değeri daha sonra serbestlik dereceli t dağılım tablosundaki kritik t değeri ile karşılaştırılır.

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{1}{n_1-1} \left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2 + \frac{1}{n_2-1} \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}$$

Hesaplanan t değeri > kritik t değeri ise, sıfır hipotezi reddederiz.

9.1.6. Mann-whitney u testi

Mann-Whitney U testi nicel ölçekte gözlem sonuçları verilmiş iki farklı örnek kümesinin aynı dağılıma ait olup olmadığını tespit etmekte kullanılan parametrik olmayan istatistikî bir testtir.

Bazı araştırmacılar bu testi iki popülasyon arasındaki medyanları karşılaştırmak olarak yorumlamaktadırlar. Mann-Whitney U parametrik olmayan test için sıfır ve alternatif hipotezleri aşağıdaki gibi oluşturulur:

H_0 : İki popülasyon birbirine eşittir

H1: İki popülasyon eşit değildir.

Mann Whitney U Testi için test istatistiği U ile gösterilir ve aşağıda formüllerle hesaplanan U1 ve U2 değerlerinden küçük olan değer U olarak dikkate alınır.

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2$$

Bunlardan U1 Örneklem 1 ile alakalı yapılan gözlem adedini ve toplam sıralama numarasını; U2 ise Örneklem 2 ile alakalı yapılan gözlem adedini ve toplam sıralama numarasını göstermektedir. R1, 1. grup için sıraların toplamını ve R2 ise 2. grup için sıraların toplamını ifade etmektedir.

Kontrol için U1 ile U2 toplamı elde edilir. Bu değer örneklem hacim sayılarının çarpımlarına denk olmak zorundadır.

$$U_1 + U_2 = n_1 n_2.$$

Elde edilen U1 ve U2'den düşük olanı U-istatistiği tablosunda kullanılır.

Eğer mevcut ise, örneklem hacimleri, önemli oranda standart dağılım için kullanılır:

$$z = (U - m_U) / \sigma_U$$

Burada z standart normal tablolarında kullanılan z-puanı; m_U ve σ_U ise, eğer sıfır hipotezi doğruysa U için ortalama ve standart sapma olup şu formüllerle bulunurlar:

$$m_U = n_1 \cdot n_2 / 2.$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}.$$

9.1.7. Bağımsız örneklem t testi ve mann-whitney u testi sonuçları aşağıda sunulmuştur

SPSS istatistik programı kullanılarak yapılan Bağımsız Örneklem t Testi sonuçları aşağıdaki tablo ve şekillerde gösterilmiştir Tanımlayıcı istatistik analizlerine göre Vissim programına ortalama 3.96, Aimsun programına ise 4.80 puan verilmiştir. Vissim ve Aimsun programlarının standart sapmalarının sırasıyla 1.30 ve 0.41 olduğu görülmektedir.

Anlamlılık düzeyinin (Significance) 0.05 (%5) 'in altında olduğu görülmektedir. %5'in altında olması Vissim ve Aimsun programlarına verilen puanlandırmaların hemen hemen eşit olduğu ve iki programında tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Tablo 9.6. Grup İstatistikleri

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DATA	VISSIM	25	3,9600	1,30639	,26128
	AIMSUN	25	4,8000	,40825	,08165

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
DATA	Equal variances assumed	17,683	,000	-3,069	48	,004	-,84000	,27374	-1,39039	-,28961
	Equal variances not assumed			-3,069	28,643	,005	-,84000	,27374	-1,40016	-,27984

Şekil 9.11. Bağımsız Örneklem Test Sonuçları

SPSS istatistik programı kullanılarak yapılan Mann-Whitney U Testi sonuçları Şekil 9.1. ve 9.2.'de gösterilmiştir. Anlamlılık düzeyinin (Significance) 0.05 (%5) 'in altında olduğu görülmektedir. %5'in altında olması Vissim ve Aimsun programlarına verilen puanlandırmaların farklı olduğu görülmektedir.

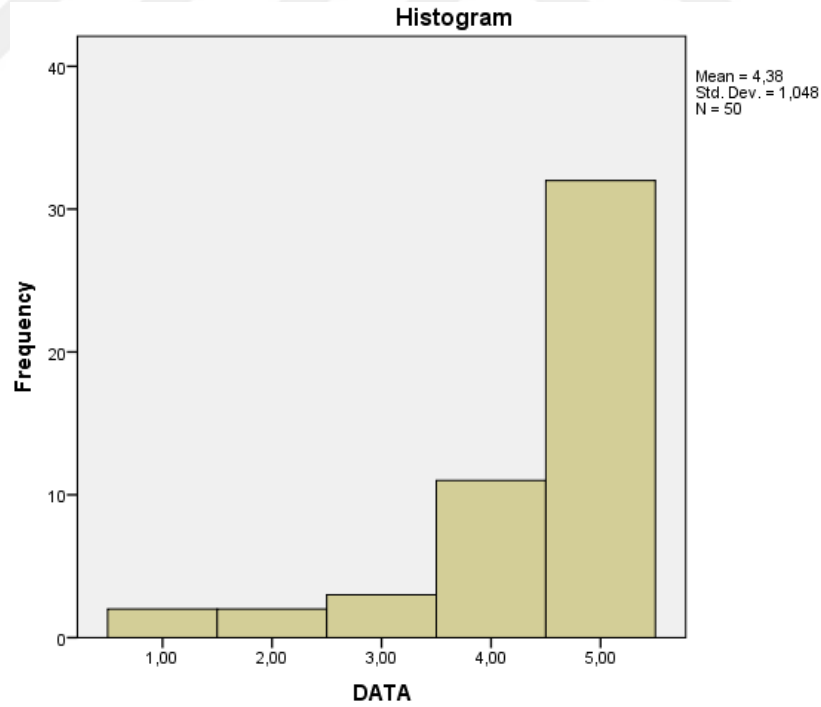
Hypothesis Test Summary				
	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of DATA is the same across categories of GROUP.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,008	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Şekil 9.12. Anlamlılık Düzeyi Test Sonucu

Bağımsız Örneklem t Testi ve Mann-Whitney U Testi ile yapılan analizlerde farklı sonuçlar tespit edilmiştir. Veri setinin; normal dağılıma uyması durumunda Bağımsız Örneklem t Testi, normal dağılıma uymaması durumunda ise Mann-Whitney U Testi sonucu dikkate alınmalıdır.

Veri setinin normal dağılıma uygunluğu analizleri SPSS programında gerçekleştirilmiştir. Veri setinin histogram grafiği Şekil 1’de gösterilmiştir. Şeklin çan eğrisi formatında olmaması veri setinin normal dağılıma uymadığını göstermektedir.



Şekil 9.13. Veri Setinin Histogram Grafiği

Veri setinin Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk test sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir. Anlamlılık düzeylerinin %5’in altında olmasından dolayı veri setinin normal dağılıma uymadığı görülmektedir.

Tablo 9.7. Normal Dağılıma Uygunluk Test Sonuçları

DATA	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	,363	50	,000	,646	50	,000

9.2. Sonuçlar

Kavşaklarda mikrosimülasyon programları ile yapılan simülasyon ve analizlerde verilen çözüm önerileri sayesinde önemli ölçüde iyileştirmeler elde edilmiştir.

Tunatan kavşağında gecikme %87 , yoğunluk %41, CO₂ Emisyonu %10, ortalama kuyruklanma %94, toplam durma sayısı % 63 ve toplam seyahat süresi % 37 azaltılmıştır.

Tuvasaş kavşağında gecikme %36 , yoğunluk %13, CO₂ Emisyonu %26, ortalama sanal kuyruklanma % 11 ve toplam seyahat süresi % 3 azaltılmıştır.

Ayrıca yapılan istatistiki karşılaştırma analizlerine göre Vissim ve Aimsun programlarının puanlandırılmasında ve tercih edilmesinde bilimsel bir farkın olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. The American Association of State Highway and Transportation Officials.2001”

AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. The American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Green Book, Washington DC. 2011.

AASHTO., 1965-1994-2001. A policy on Geometric Design of Highways and Streets.

Akmaz, M., M., 2012, Konya’nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi

American Association of State Highway and Transportation Officials. 1990. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, D.C.

Atçı, B., Gürsoy, G., Hızlı, H., Nazar, R., Şen D. ve Kuş, P., 1997. Sistem Simülasyonu Ders Notları, Muharebe Modelleme ve Simülasyon Merkezi, Ankara

B.W. Robinson, L. Rodegerdts, W. Scarborough, W. Kittelson. Roundabouts: An Informational Guide, Federal Highway Administration, Virginia, USA. 2000.

Bossak, M. A., Simulation based design, Journal of Materials Processing Technology, 76, pp. 8–11, 1998.

Broward Complete Streets Guidelines, 2011

Cellier, F. E., Kofman, E. (2006). Continuous System Simulation (Springer.). Springer.

Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc, S.2

El Kitabı, Karayolları Tasarım. "Karayolları Genel Müdürlüğü." (2005).

European Commission, Annual Accident Report, 2018.
https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf, Erişim tarihi 10 Ekim 2020

Federal Highway Administration, U.S. “Department Of Transportation, Roundabouts: An Informational Guide” (2010)

Federal Highway Administration, U.S. Signalized Intersections Informational Guide Second Edition Publication No. FHWA-SA-13-027 July 2013

FHWA., 2004. Signalized Intersections: Informational Guide.

Fitzpatrick, K., Wooldridge, M.D. ve Blaschke, J.D. 2005. Urban Intersection Design Guide: Volume 1 – Guidelines. Federal Highway Administration. Rapor No: FHWA/TX-05/0-4365-P2 Vol. 1.

Garavaglia, C., Modelling industrial dynamics with “History-friendly” simulations, Structural Change and Economic Dynamics, 21, pp. 258-275, 2010.

Gedizlioğlu, E. 1979. Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi.

Gedizlioğlu, E., Kentlerimizde Trafik Yönetimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Cilt 6, 434, 17-22, 2004.

Gil, MJM., Malenstein, UPMJ, 2007. Innovative Technology for Monitoring Traffic, Vehicles and Drivers, Police Enforcement Policy and Programmes on European Roads.

Güler, H. 2016 Trafik Simülasyon Teknikleri Ders Notları

Güven, A. C. 2019. Akıllı ulaşım sistemleri üzerine bir sistematik literatür taraması. Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Hillier, F.S. and Lieberman, G.J., 1995. Introduction to Operation Research, McGraw-Hill, New York.

Hocaoğlu, M. F. (2018). Qualitative Reasoning for Quantitative Simulation. <https://doi.org/10.1155/2018/7842402>

J. Krogshoeppers, C. Roebuck, Unbalanced traffic volumes at roundabouts. In: Fourth International Symposium on Highway Capacity, Hawaii, USA. 2000.

Jahangirian, M, Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L.K., Young, T., Simulation in manufacturing and business: A review, European Journal of Operational Research, 203, pp. 1–13, 2010.

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

KGM, Karayolu Trafik Güvenliği El Kitabı. Trafik Şubesi Müdürlüğü, Ankara. 2007.

Kim, Y., Traffic Flow Model Applying Dynamic Flow-Density Relations, Fachgeb: Technische Universität München, 2002.

- Kobal, B., "Boğaziçi Köprüsü Üzerindeki Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması", Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,; Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı, 27-36,(2011)
- Kotsialos A., Papageorgiou M., Motorway Network Traffic Control Systems, European Journal of Operational Research , 152, 321-333, 2004.
- Kroese D.P. and Rubinstein R.Y., Monte Carlo methods, WIREs Computational Statics, 4, pp. 48–58, 2012.
- Law, Averill M. and Kelton, David M., 1991. Simulation Modeling and Analysis,
- Leisch, J., P., “Comparison of worldwide practice in interchange design” International Symposium on Highway Geometric Design Practices, 1995.
- M. Valdez, Effects of unbalanced approach volumes on roundabout operations. ETD Collection for University of Texas, El Paso. 2010
- McGraw-Hill, New york.
- Naylor, T.H., Balintfy, I.L., Burdick, D.S., and Chu, K., 1966. Computer Simulation Techniques, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Ocakdan, S. 2010. Arterlerin yeniden yapılandırılmasında simülasyon tekniği ile karar verme ve bir kavşak uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Özen, M. 2020. Dört Kollu Sinyalize Kentsel Kavşaklarda Trafik Kazalarının Sıklığını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Teknik Dergi, 31(3): 10033-10053.
- S. Das, Theory and Applications of Nonlinear Cellular Automata In VLSI Design, Ph. D Thesis, Bengal: The Bengal Engineering and Science University, 2006.
- Shannon, Robert E., 1975. Systems Simulation : The Art and Science, Englewood
- Sonuç, T., 1975, Karayolu Tekniği Cilt 1
- Soole, D., Fleiter, J., Watson, B., 2012. Point-to-Point Speed Enforcement. Report No: AP-R415-12. 165p.
- Taekratok, T. 1998. Modern Roundabouts For Oregon. Oregon Department of Transportation Research Unit. Rapor No: OR-RD-98-17
- Taha, Hamdy A., 2000. Operations Research. Second Edition. MacMillan Publishing, New York.
- Tanyel, S. (2001). Türkiye’deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi. Doktor Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Texas Department of Transportation Reports Single-Point Urban Interchange Fact Sheet 2020

Thierauf, Robert J., Klekamp, Robert C.. (1975). Desicion Making Through Operations Research (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Transportation Research Board. (1985). Highway Capacity Manual,

Tunç, A., 2003, Trafik mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 655–783.

Varlıorpak, Ç. 2003. Trafik I. Ders Notları, İzmir.

Washington State Department of Transportation

Yalgın, C., 1975, Yolların Kapasitesi, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü

Yayla, N. 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi.

Yiğit, H.İ. 2019. Koordine sinyalizasyon kavşaklarında gecikme modellemesi: Ulus Bulvarı örneği, Denizli. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan Abdurrahman SARI

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü /Devam ediyor İnşaat Mühendisliği	
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Fakültesi /2017 İnşaat Mühendisliği	
Lise	Bolu Fen Lisesi	2010

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	Sakarya Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce