

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞIKLI KAVŞAKLARIN BAŞARIMLARININ
BELİRLENMESİNDE YENİ BİR MODEL
ÖNERİSİ**

Ece GÜLER

Mayıs, 2023

İZMİR

İŞIKLI KAVŞAKLARIN BAŞARIMLARININ BELİRLENMESİNDE YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programı

Ece GÜLER

Mayıs, 2023

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ECE GÜLER tarafından PROF.DR. SERHAN TANYEL yönetiminde hazırlanan “IŞIKLI KAVŞAKLARIN BAŞARIMLARININ BELİRLENMESİNDE YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. SERHAN TANYEL

Danışman

Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ

Juri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÇAKICI

Juri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, destek ve emeklerini esirgemeyen, başaramayacağımı düşündüğümde beni cesaretlendiren, teşvik eden ve yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Serhan TANYEL'e teşekkürü borç bilirim.

İyi bir eğitim almam ve hayatta hep güçlü durabilmem için hem maddi hem manevi desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Sadece bu çalışma için değil, hayattaki her şeyi halledebileceğim konusunda beni her zaman motive eden, destekleyen, en büyük motivasyon kaynağım sevgili Emre SANU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ece GÜLER

İŞIKLI KAVŞAKLARIN BAŞARIMLARININ BELİRLENMESİNDE YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ

ÖZ

Gecikme ve tıkanıklık, her yol ağında, özellikle kavşaklarda yaşanan en önemli sorunların başında yer alır. Kavşaklardaki gecikme sorununu çözmek için uzun yıllardır birçok araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürücüsüz araçların, kavşaklardaki bu sorunu çözebileceği düşünülmektedir.

Sürücüsüz araçlar, trafik kapasitesini arttırma, kazaları azaltma, yakıt tasarrufu yapma, trafik performansını arttırma potansiyeline sahiptir. Çalışmanın amacı, sürücüsüz araçların sisteme girmesiyle birlikte, sürücüsüz araçların kavşaklardaki trafik performans ve güvenlik durumu üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Ayrıca, sürücüsüz araçların, geleneksel araçlarla aynı ortamdaki davranış stratejilerini irdelemek bu çalışmanın araştırdığı önemli konulardan biridir.

Bu kapsamda, sürücüsüz araçların etkisini incelemek için, VISSIM mikroskobik trafik simülasyonu kullanılarak, rastgele olarak oluşturulan 10 farklı senaryo, sürücüsüz araçların ortamdaki farklı penetrasyon oranlarıyla (yüzde 0, yüzde 25, yüzde 50, yüzde 75, yüzde 100) sinyalize kavşak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ardından, her bir senaryonun güvenlik etkisi SSAM (Vekil Güvenlik Değerlendirme Modeli) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, sürücüsüz araçların yol kapasitesini arttırırken, gecikme ve seyahat süresini azaltarak aynı zamanda trafikteki güvenli ortama da katkıda bulunduklarını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Sinyalize kavşaklar, sürücüsüz araçlar, benzetim programı, Sinyal optimizasyonu, SSAM.

A NEW MODEL PROPOSAL FOR DETERMINATIONING THE PERFORMANCE OF SIGNALIZED INTERSECTIONS

ABSTRACT

Delay and congestion are among the most important problems experienced in every road network, especially at intersections. Many researches and studies have been carried out for many years to solve the delay problem at intersections. With the development of technology, it is thought that autonomous vehicles can solve this problem at intersections.

Autonomous vehicles have the potential to increase traffic capacity, reduce accidents, save fuel, and improve traffic performance. The aim of the study is to reveal the effect of autonomous vehicles on the traffic performance and safety situation at intersections, with the introduction of driverless vehicles into the system. In addition, examining the behavior strategies of autonomous vehicles in the same environment with conventional vehicles is one of the important issues that this study explores.

In this context, in order to examine the effect of driverless vehicles, 10 different scenarios randomly generated using VISSIM microscopic traffic simulation, signalized intersection simulation with different penetration rates of autonomous vehicles in the environment (percentage of 0, percentage of 25, percentage of 50, percentage of 75, percentage of 100). Then, the security impact of each scenario was evaluated using SSAM (Surrogate Safety Assessment Model).

The results showed that while autonomous vehicles increase road capacity, they also contribute to the safe environment in traffic by reducing delay and travel time.

Keywords: Signalized intersections, driverless vehicles, simulation program, signal optimization, SSAM.

İÇİNDEKİLER

	Page
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xxiv

BÖLÜM BİR - GİRİŞ

16

1.1 Problemin Tanımı ve Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Bölümleri	4
1.3 Literatür İncelemesi	5

BÖLÜM İKİ – KAVŞAK TERMİNOLOJİSİ VE SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

9

2.1 Kavşak Terminolojisi	9
2.1.1 Hemzemin (Eş düzey) Kavşaklar	9
2.1.1.1 Dur Kontrollü Kavşaklar	9
2.1.1.2 Sinyalize Kavşaklar	9
2.1.1.3 Dönel Kavşaklar	10

BÖLÜM ÜÇ – SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

12

3.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri	13
3.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri	13
3.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri	13
3.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri	14
3.1.4 Adaptif Sinyalizasyon Sistemleri	14
3.2 Eş Güdümlü Sinyalizasyon Sistemleri	15

BÖLÜM DÖRT - SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ PERFORMANS KRİTERLERİ VE SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARI..... 16

- 4.1 Gecikme 19
- 4.2 Şerit Disiplini 21

BÖLÜM BEŞ – SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLAR..... 24

- 5.1 Benzetim Programları 24
- 5.1.1 SUMO 24
- 5.1.2 MATSIM..... 24
- 5.1.3 MITSIMLAB 25
- 5.1.4 AIMSUN..... 25
- 5.1.5 CORSIM 25
- 5.1.6 PARAMICS 25
- 5.1.7 SIMTRAFFIC 26
- 5.1.8 TRANSIMS 26
- 5.1.9 PTV VISSIM 26

BÖLÜM ALTI – SİNYAL OPTİMİZASYONU 29

- 6.1 SIDRA Programı 30

BÖLÜM YEDİ – VERİLERİN ANALİZİ 32

- 7.1 Benzetim Programında Oluşturulan Modelin Kalibrasyon Yöntemi 33

BÖLÜM SEKİZ – MATERYAL VE YÖNTEM..... 36

- 8.1 Verilerin SIDRA Programına Girilmesi 39
- 8.2 Verilerin VISSIM’e Girilmesi 47
- 8.3 Sürücüsüz Araçların VISSIM Programına Entegrasyonu 49
- 8.3.1 Otonom Araç Fonksiyonları 51
- 8.3.2 Hız..... 51
- 8.4 Sürüş Davranışları 52

8.4.1 Artan Hızlanma	54
8.4.2 Takip Davranışları	54
8.4.3 Sinyal Kontrol Davranışı	54
8.4.4 Trafik Kompozisyonu	55
8.5 SSAM (Surrogate Safety Assessment Model).....	55
8.6 Senaryoların Oluşturulması	57
BÖLÜM DOKUZ - SONUÇLAR	58
9.1 Senaryo 1 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	59
9.2 Senaryo 2 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	67
9.3 Senaryo 3 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	75
9.4 Senaryo 4 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	83
9.5 Senaryo 5 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	91
9.6 Senaryo 6 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	99
9.7 Senaryo 7 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	107
9.8 Senaryo 8 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	115
9.9 Senaryo 9 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları.....	123
BÖLÜM ON - DEĞERLENDİRME	139
KAYNAKLAR.....	140

ŞEKİLLER LİSTESİ

Page

Şekil 3.1 Sinyalize Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	14
Şekil 4.1 Sinyalize Kavşakta Doygun Akımın Oluşumu.....	17
Şekil 4.2 Sinyalize Kavşakta Doygun Aralık Gelişimi.....	17
Şekil 4.3 Kuyruk Numarasına Bağlı Takip Aralığı Değerinin Değişimi.....	18
Şekil 4.4 Sinyalize Kavşak Yaklaşım Kolundaki Taşıtın Yörünge Diagramı.....	20
Şekil 4.5 Araçların Şeritlerde Konumlanması.....	22
Şekil 7.1 Benzetim Programındaki Sürücü İçin Varsayılan Değerler	34
Şekil 7.2 Benzetim Programındaki Kalibre Edilen Değerler.....	34
Şekil 8.1 Kavşağın Uydu Görüntüsü.....	37
Şekil 8.2 Kavşağın Çizimi.....	37
Şekil 8.3 Verilerin Alındığı Kamera Görüntüsü.....	38
Şekil 8.4 Kavşaktaki Fazlar.....	38
Şekil 8.5 Narlıdere Konervatuvar Kavşağının Uydu Görüntüsü.....	39
Şekil 8.6 Narlıdere Konervatuvar Kavşağına Ait SIDRA Çizimi.....	40
Şekil 8.7 Kavşak özelliklerinin SIDRA’da tamamlandığı pencere.....	40
Şekil 8.8 Kavşak geometrisinin SIDRA’ya tanımlandığı 1. Pencere.....	41
Şekil 8.9 Kavşak geometrisinin SIDRA’ya tanımlandığı 2. Pencere.....	41
Şekil 8.10 Doygun akım ve şerit kullanım oranlarının sisteme tanımlanması.....	42
Şekil 8.11 Her Bir Yaklaşım Ait Şeritlerin Sola Dönüş, Düz Gidiş ve Sağa Dönüş Hacimlerinin Sisteme Girilmesi.....	42

Şekil 8.12 Öncelikli Geçişlerin SIDRA’da Girildiği Pencere.....	43
Şekil 8.13 Sinyal Faz ve Özelliklerinn Girildiği SIDRA Penceresi.....	44
Şekil 8.14 Sinyal Fazlarının SIDRA’da Girildiği1. Pencere.....	44
Şekil 8.15 Sinyal Fazlarının SIDRA’da Girildiği 2. Pencere.....	45
Şekil 8.16 Sinyal Optimizasyonunun Girildiği Pencere.....	45
Şekil 8.17 Sinyal Sürelerinin Elde Edildiği Pencere.....	46
Şekil 8.18 Kavşağın VISSIM’de Çizimi.....	48
Şekil 8.19 Sürüş Davranışlarının VISSIM’e Girilmesi.....	49
Şekil 8.20 VISSIM’de gelişmiş birleştirme ve ortak şerit değiştirme parametrelerinin vurgulandığı VISSIM penceresi.....	50
Şekil 8.21 İstenen hız dağılımının otonom araç davranışına göre değiştirilmesi....	52
Şekil 8.22 Otonom araçlar için değiştirildiği sarı ile vurgulanan sürüş davranışı...52	
Şekil 8.23 Öndeki aracın araç sınıfına bağlı olarak farklı yol ayarı örneği.....	53
Şekil 8.24 İstenen güvenlik mesafesini etkileyen bazı parametre değerlerinin lider aracın araç sınıfına göre belirlenebildiği araç sınıfı takip davranışı listesi.....	54
Şekil 8.25 Trafik Kompozisyonunun Oluşturulması.....	55
Şekil 8.26 VISSIM yörünge verilerinin SSAM programına entegrasyonu.....	56
Şekil 8.27 Senaryolar.....	57
Şekil 9.1 Senaryo 1 Hacim Değerleri.....	59
Şekil 9.2 Senaryo 1 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	60
Şekil 9.3 Senaryo 1 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	61
Şekil 9.4 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	62

Şekil 9.5 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	63
Şekil 9.6 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	65
Şekil 9.7 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	66
Şekil 9.8 Senaryo 2 Hacim Değerleri.....	67
Şekil 9.9 Senaryo 2 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	68
Şekil 9.10 Senaryo 2 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	69
Şekil 9.11 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	70
Şekil 9.12 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	71
Şekil 9.13 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	73
Şekil 9.14 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	74
Şekil 9.15 Senaryo 3 Hacim Değerleri.....	75
Şekil 9.16 Senaryo 3 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	76
Şekil 9.17 Senaryo 3 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	77
Şekil 9.18 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	78
Şekil 9.19 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	79
Şekil 9.20 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	81
Şekil 9.21 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	82
Şekil 9.22 Senaryo 4 Hacim Değerleri.....	83
Şekil 9.23 Senaryo 4 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	84
Şekil 9.24 Senaryo 4 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	85
Şekil 9.25 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	86
Şekil 9.26 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	87

Şekil 9.27 Durma Gecikmesi Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	89
Şekil 9.27 Araç Gecikmesi Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	90
Şekil 9.29 Senaryo 5 Hacim Değerleri.....	91
Şekil 9.30 Senaryo 5 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	92
Şekil 9.31 Senaryo 5 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	93
Şekil 9.32 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar- Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	94
Şekil 9.33Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar- Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	95
Şekil 9.34 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	97
Şekil 9.35 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	98
Şekil 9.36 Senaryo 6 Hacim Değerleri.....	99
Şekil 9.37 Senaryo 6 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	100
Şekil 9.38 Senaryo 6 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	101
Şekil 9.39 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	102
Şekil 9.40 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	103
Şekil 9.41 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	105
Şekil 9.42 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	106
Şekil 9.43 Senaryo 7 Hacim Değerleri.....	107
Şekil 9.44 Senaryo 7 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	108
Şekil 9.45 Senaryo 7 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	109
Şekil 9.46 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	110
Şekil 9.47 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	111
Şekil 9.48 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	113

Şekil 9.49 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	114
Şekil 9.50 Senaryo 8 Hacim Değerleri.....	115
Şekil 9.51 Senaryo 8 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	116
Şekil 9.52 Senaryo 8 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	117
Şekil 9.53 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	118
Şekil 9.54 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	119
Şekil 9.55 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	121
Şekil 9.56 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	122
Şekil 9.57 Senaryo 9 Hacim Değerleri.....	123
Şekil 9.58 Senaryo 9 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	124
Şekil 9.59 Senaryo 9 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	125
Şekil 9.60 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	126
Şekil 9.61 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	127
Şekil 9.62 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	129
Şekil 9.63 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	130
Şekil 9.64 Senaryo 10 Hacim Değerleri.....	131
Şekil 9.65 Senaryo 10 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	132
Şekil 9.66 Senaryo 10 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	133
Şekil 9.67 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	134
Şekil 9.68 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	135
Şekil 9.69 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	137
Şekil 9.70 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi.....	138

TABLÖLAR LİSTESİ

	Page
Tablo 5.1 Trafik Simülasyon Programlarının Karşılaştırmalı Tablosu.....	27
Tablo 7.1 Validasyon Değerleri.....	35
Tablo 9.1 Senaryo 1 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	59
Tablo 9.2 Senaryo 1 Seyahat Süresi Değerleri.....	62
Tablo 9.3 Senaryo 1 Gecikme Değerleri.....	64
Tablo 9.4 Senaryo 2 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	67
Tablo 9.5 Senaryo 2 Seyahat Süresi Değerleri.....	70
Tablo 9.6 Senaryo 2 Gecikme Değerleri.....	72
Tablo 9.7 Senaryo 3 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	75
Tablo 9.8 Senaryo 3 Seyahat Süresi Değerleri.....	78
Tablo 9.9 Senaryo 3 Gecikme Değerleri.....	80
Tablo 9.10 Senaryo 4 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	83
Tablo 9.11 Senaryo 4 Seyahat Süresi Değerleri.....	86
Tablo 9.12 Senaryo 4 Gecikme Değerleri.....	88
Tablo 9.13 Senaryo 5 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	91
Tablo 9.14 Senaryo 5 Seyahat Süresi Değerleri.....	94
Tablo 9.15 Senaryo 5 Gecikme Değerleri.....	96
Tablo 9.16 Senaryo 6 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	99
Tablo 9.17 Senaryo 6 Seyahat Süresi Değerleri.....	102

Tablo 9.18 Senaryo 6 Gecikme Değerleri.....	104
Tablo 9.19 Senaryo 7 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	107
Tablo 9.20 Senaryo 7 Seyahat Süresi Değerleri.....	11
Tablo 9.21 Senaryo 7 Gecikme Değerleri.....	112
Tablo 9.22 Senaryo 8 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	115
Tablo 9.23 Senaryo 8 Seyahat Süresi Değerleri.....	118
Tablo 9.24 Senaryo 8 Gecikme Değerleri.....	120
Tablo 9.25 Senaryo 9 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	123
Tablo 9.26 Senaryo 9 Seyahat Süresi Değerleri.....	126
Tablo 9.27 Senaryo 9 Gecikme Değerleri.....	128
Tablo 9.28 Senaryo 10 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları.....	131
Tablo 9.29 Senaryo 10 Seyahat Süresi Değerleri.....	134
Tablo 9.30 Senaryo 10 Gecikme Değerleri.....	136

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Sinyalize kavşaklar ulaşım ağında çok önemli bir yere sahiptir. Sinyalize kavşakların performanslarını ve hizmet düzeyinin belirlenmesi için kullanılan en önemli parametre gecikmedir. Gecikme sinyalize kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların kavşağın geometrik özellikleri, kavşak yaklaşımındaki diğer taşıtlar ve kavşaktaki sinyalizasyon sistemleri nedeni ile kaybettiği zamandır (Murat ve Çakıcı, 2017). Sürücü kaynaklı sebepler sinyalize kavşaklardaki gecikmeyi etkileyen en önemli sebeplerin başında yer almaktadır. Taşıt takip aralığı, başlangıç kayıp zaman, şerit kullanımının düzensizliği sürücü kaynaklı gecikmeleri etkileyen baş faktörlerdir.

Ulaşımındaki problemleri irdelemek için sürücü davranışlarının gözlemlenmesi etkili bir yöntemdir. Örneğin, optimum takip mesafesini korumak, kavşaklardaki trafik sıkışıklığını çözmeye yardımcı olabilir ya da öndeki aracın hızına göre kendi hızını ayarlayan sürücü davranışları trafik sıkışıklığını doğrudan etkilemektedir. Sinyalize kavşaklara yaklaşırken, hızlanma, yavaşlama, şerit değiştirme gibi sürücü davranışları trafik verimliliği ve özellikle kavşak performanslarını etkilemesinin yanı sıra, kavşak güvenliğini de doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Sürücüsüz araçlar, otonom araçlar veya bağlantılı araçlar, insan müdahalesi olmadan kendi kendine seyahat edebilen araçlardır. Sürücüsüz araçlar, çevrelerini algılamak için optik ve termografik kameralar, radar, ultrason/sonar, GPS gibi sensörler kullanır. Sürücüsüz araç teknolojisi araçların, altyapı bileşenleriyle birbirine bağlı olduğu bir teknolojiyi kullanılır. (araç-üstyapı). Bu teknoloji sayesinde sürücüsüz ağaç, tüm yol ağı boyunca trafik durumu hakkındaki bilgiyi an be an alır ve anlık olarak bilgileri optimize eder. Sürücüsüz araçların kullandığı teknolojiler sayesinde trafikteki tehlikeli durumları insanlardan daha hızlı algılayabildiği ve böylece verdiği hızlı tepki sayesinde otoyol ve kavşak kapasitesini arttırabileceği gibi, kaza oranları, ortalama seyahat süresini, yakıt ve enerji kullanımını da azaltabileceği beklenmektedir (Jemmalı ve Mouftah, 2022).

5 farklı otonom araç seviyesi vardır ve seviye arttıkça aracın otomasyon yeteneği de artar. Tam otomasyona sahip sürücüsüz araçlar (Seviye5), yolculuğu güvenli bir şekilde tamamlamak için herhangi bir sürücüye ihtiyaç duymazlar. Sürücüsüz araçların sürüş davranışları birçok yönden normal sürücülü araçlardan ayrılır. Bunlar, hızlanma-yavaşlama ivmeleri, başlangıç kayıp zaman, sürücüsüz araçların birbiriyle haberleşerek takım halinde ilerlemesi, sürücüsüz araçların geleneksel araçlarla iletişim halinde olup bir sonraki hareketini an be an optimize etmesi, şerit kullanımı ve aracı hizalaması ve takip mesafesidir. Bu özelliklerdeki değişiklikler bir araya gelerek yol kapasitesi, güvenlik, seyahat süresi, emisyonlar ve diğer kategorileri de etkileyeceği öngörülmektedir (Bimbrow, 2015).

1.1 Problemin Tanımı ve Tezin Amacı

Ulaşım, ülkelerin ekonomik, sosyal, kültürel ve birçok alandaki gelişiminde büyük rol oynayan önemli bir unsurdur. Doğru bir ulaşım planlaması, özellikle sanayileşen ülkelerdeki gün geçtikçe artan nüfusla birlikte gelen trafik yoğunluğunu çözmeye yardımcı olur. Ulaşım ağı içerisinde tıkanıklığın ve diğer soruların en çok yaşandığı bölgeler kavşaklardır. Karayollarındaki trafik yoğunluğunun artışıyla birlikte, kavşaklardaki güvenliğin sağlanabilmesi için trafiğin sinyalizasyon ile yönetilmesi şart olmuştur. Bu nedenle sinyalizasyon kavşaklar, ulaşım sorunlarını çözme noktasında ele alınması gereken öncelikli trafik öğeleridir. Gecikme, durma sayısı, kuyruk uzunluğu, kapasite, doygunluk derecesi sinyalizasyon bir kavşağın performansını ve hizmet düzeyini belirleyen ölçütlerdir. Gecikmeye, hızlanma ve yavaşlama gecikmesi, kuyrukta bekleyen araçların gecikmesi de dahildir. Trafik akımındaki araç tipleri de kavşak performansını etkileyen önemli bir unsurdur (Tanyel, Çalışkanelli, Aydın, Utku, 2013).

Sinyalizasyon kavşaklarda, araç gecikmelerini ölçmek zahmetli bir işlemdir. Bu sebeple, sinyalizasyon kavşaklardaki araç gecikmelerinin tahminini yapabilmek için benzetim programları kullanılmakta ve modeller geliştirilmektedir. Ancak trafik akımının dinamik bir yapısı olması, kavşak geometrisi, çevresel faktörler, sürücü davranışları, araç tipleri, doygunluk oranı, trafik kompozisyonu, kavşak içi parklanma, sinyal süreleri gibi etmenler gecikme modellerinin kalibrasyonunu oldukça karmaşık hale getirebilmektedir (Başkan, 2004; Korkmaz, 2016).

En yaygın ve bilinen gecikme tahmini yapan analitik modellere İngiliz (Webster) (Roess, Prassas ve McShane, 2011) Avustralya (Akçelik) (Roess, Prassas ve McShane, 2011) ve HCM (Highway Capacity Manual) verilebilir. Bu modeller trafik hacminin şerit kapasitesinin altında olduğu durumlarda başarılı sonuçlar verebilir ancak uygun akıma yakın ve şerit kapasitesinin üstünde olan durumlarda sonuçlar hatalı olabilir (Murat, 2006). Bu sebeple, mikroskobik modeller benzetim yaklaşımları ya da simülasyon programları gecikme tahmininin daha doğru yapılabilmesi için geliştirilmiştir. VISSIM, SIDRA, AIMSUN, AVENUE, SUMO trafik simülasyon programlarından bazılarıdır (Çolak, Demiriz, Bayata, Bayrak, Keleş, Mazlum vd.,2020).

Sürücü davranışlarının kavşak kapasitesi, diğer performans kriterleri ve güvenli trafik ortamı üzerinde doğrudan etkisi vardır. Sürücülük becerisi, sürücülük stili, sürücünün saldırganlık düzeyi birbirinden ayrı olarak ele alınan ancak sürücü davranışının temel taşlarını oluşturan etmenlerdir (Tanyel, Koyuncu ve Çalışkanelli, 2018). Sürücü davranışlarını en iyi gösteren parametrelerden biri başlangıç tepki süresidir. Görsel/bilişsel fonksiyonlar, konsantrasyon/dikkat, psiko motor yetersizlikler sürücünün başlangıç tepki süresini etkileyen fonksiyonlardır. Başlangıç tepki süreleri uzadıkça, kuyruk boşalım hızı azalır, sinyalize kavşaklardaki araç gecikmeleri artar, araç gecikmeleri kavşağın kapasitesini doğrudan etkiler. Sürücüsüz araçların başlangıç tepki süreleri insanlara göre çok daha hızlıdır bunun sebebi sürücüsüz araç teknolojisinin radar/lidar sensörler ve ileri düzey kamera sistemiyle donatılmış olmasıdır.

Sürücüsüz araçlar, bağlantılı araçlar ve ya otonom araçlar insan müdahalesi olmadan güvenli bir şekilde hareket edebilen araçlardır. Bağlantılı araç olarak anılmalarının sebebi kentsel trafik ağında altyapıyla (V2I) ya da çevredeki diğer araçlarla (V2V) kuracağı bağlantıdan dolayıdır. Yakın gelecekte, normal sürücülü araçların yerini sürücüsüz araçların alacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalara göre, sürücülü araçların trafikte faaliyet göstermesiyle birlikte, sürücülü kaynaklı gecikmeler, güvenlik sorunları azalacak ve kavşak performansı artacaktır. Sürücüsüz araçların sürüş davranışları insanlara göre farklılık gösterir.

Trafikteki güvenlik sorunlarının çok büyük bir kısmı riskli sürüş davranışlarından meydana gelmektedir. Hız yapmak, öndeki araç ile korunması gereken takip mesafesinin aşılması gibi yüksek riskli sürüş davranışları kazalara neden olabilir. Sürücüsüz araçlar insan kontrolünü ve insan kontrolüyle beraber gelen risk faktörlerini oradan kaldırarak sürücülerin neden olduğu kaza sayılarını önemli ölçüde azaltabilir. SSAM yazılımı, mikroskobik trafik simülasyon modellerinden araç yörünge verilerinin çıktısını alarak, kaza ve çatışma olasılığını otomatik olarak değerlendiren bir yazılımdır. Özellikle farklı senaryolar altında kaza olasılığı tahmini ve sonuçların karşılaştırılması açısından SSAM istatistiksel analiz özelliklerine de sahiptir.

Bu tezin amacı, farklı senaryolar kullanarak sürücüsüz araçların performanslarını ortaya koymaktır. Rastgele olarak elde edilen 10 farklı trafik hacmi SIDRA programına girilerek her biri için devre süresi hesaplanmıştır. Her bir senaryo ve elde edilen her bir devre süresi VISSIM simülasyon programına sırasıyla girilerek, otonom araç oranı %0, %25, %50, %75 ve %100 olacak şekilde simülasyon her bir trafik hacminde 5, toplam 50 farklı simülasyon oluşturulmuştur. Otonom araç verileri, CoExist projesine ait tam otomasyon için oluşturulan sürüş değerlerinden alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, SSAM yazılımına girilerek otonom araç varlığında ortaya çıkan kaza ve çarpışma olasılıkları değerlendirilmiş son olarak tam otomasyona sahip sürücüsüz araçların sinyalizasyon kavşaklarının başarımlarındaki etkisi hem performans kriterleri hem de güvenlik açısından değerlendirilmiştir.

1.2 Tezin Bölümleri

Bu tez çalışması on bölümden oluşmaktadır. Bölüm Bir’de tezin konusuna giriş yapılmış, tezin ortaya çıkmasındaki problem, tezin amacı ve bölümleri belirtilmiştir. Tez konusuna ilişkin yapılmış benzer çalışmalara yer verilerek giriş bölümü sonlandırılmıştır. Bölüm İki’de tezde yer alan konuların daha iyi anlaşılması için trafikteki temel terminoloji hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm Üç’de sinyalizasyon sistemleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

Bölüm Dört’de sinyalize kavşaklardaki performans kriterleri ve sinyalize kavşaklardaki sürücü davranışları hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm Beş’de sürücüsüz araçlar ve benzetim programları hakkında detaylı bilgiler bulunmaktadır. Bölüm Altı’da sinyal optimizasyonu ve SIDRA programından bahsedilmiştir. Bölüm Yedi’de veriler analiz edilmiş, kullanılan parametrelerin doğruluğu ispatlanmıştır. Bir sonraki bölüm olan, Bölüm Sekiz’de materyal ve yöntemden bahsedilmiş, tez kapsamında kullanılan SIDRA ve VISSIM programlarına veri girişinin nasıl olduğu anlatılmıştır. Tez kapsamında ele alınan sürücüsüz araç verileri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bölüm Dokuz’de senaryo sonuçları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Son olarak, Bölüm On’da değerlendirme kısmı yer almaktadır.

1.3 Literatür İncelemesi

Çoğu otomobil şirketi ve ulaştırma sektörü sürücüsüz araçların yakın gelecekte hayatımızda geniş bir yer kaplayacağını öngörmektedir. Ancak, toplum ve diğer birçok faktör, teknolojinin yetersiz kalması, altyapı sorunları ve çeşitli sebeplerden bunların uygulanmasının tahmin edildiği kadar tamamen hazır olmadığını düşünülmektedir. Sürücüsüz araçlar için ampirik saha verileri mevcut olmadığı için, birçok araştırmacı sürücüsüz araçların olası etkilerini ortaya koymak için mikro ve makro simülasyon modellerinden yararlanmaktadır. (Gueriau, Billot, El Faouzi, 2018; Mahmud, Ferreira, Hoque, Tavassoli, 2017). Sürücüsüz araçların trafikteki gecikmeleri ve seyahat sürelerini azaltarak trafiğin verimliliğini arttırması öngören birçok çalışma vardır. Örneğin, (Stanek, Huang, Milam, Wang, 2018) sürücüsüz araçların sürüş stratejilerini ve davranışlarını simüle etmek için VISSIM yazılımındaki temel Wiedemann 99 sürüş modelinin parametrelerinin kalibre edilmiş bir versiyonunu kullanmıştır. Sürücüsüz araçlar için kalibre edilen sürüş parametreleri şu şekildedir: CC0 (durma mesafesi) 4.10, CC1 (saniye cinsinden ilerleme süresi) 0,25 , CC2 (takip mesafesi) için 9.84 , CC3 için -12, CC4 için -0.35 için, CC5 için 0.35, CC6 için 0, CC7 için 0.82, CC9 için 4.92 alınmıştır. Çalışmadaki beklenti, %17-28 arasındaki sürücüsüz araçların penetrasyon oranının gecikmede azalma sağlayacak olmasıydı ancak bulgular %30 sürücüsüz araç penetrasyon oranında gecikmede önemli bir azalma olduğunu ortaya koymuştur.

Bohm ve Hager (Bohm ve Hager, 2015), sürücüsüz araçların İsveç trafik sistemine dahil olması durumundaki olası etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, sürücüsüz araçlar için uygulanan VISSIM parametreler; CC0 1 m, CC1 0.5 s, CC2 1 m, CC4 - 0.1 s, CC5 0.1 s, CC6 0, CC7 0.4 m/s², CC8 4 m/s² olarak alınmıştır. Çalışma, sürücüsüz araçların sisteme girmesiyle, gecikme ve durma sayıları %54-56 arasında azaldığını göstermiştir.

Morando diğerlerinin sunduğu çalışma, 4. seviye otonom araçların %50-100 penetrasyon oranında, çatışma sayısında yaklaşık olarak %20-60'lık bir azalmaya neden olabileceğini göstermiştir. (Morando, Tian, Truong, Vu, 2018). Çalışmaya göre, trafik kompozisyonundaki düşük penetrasyon oranlı otonom araçlar (%25), çatışmaları %10 oranında arttırmıştır.

H. Xie ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya göre, 2. Seviye otonom araçların penetrasyon oranı arttıkça gözlemlenen çatışmalarda da kademeli bir artış gerçekleşmiştir. 3. Seviye otonom araç varlığı çatışma bazında herhangi bir etkiye sebep olmazken, 4. Seviye otonom araçlar çatışmadaki oranların düşüşüne sebep olmuştur (Xie, Tanin, Karunasekera, Zhang, Kulik, Ramamohanarao, 2019)

Stern ve diğerleri, tek şeritli bir çevre yolunda 21 tane sürücüsüz aracın etkilerini gözlemlemek için bir çalışma yapmışlardır. Yapılan saha testleri sonucu, sürücüsüz araçların trafik akışını iyileştirme, trafik performansını %14 arttırma ve yakıt tüketimini %20-40 arasında azatabileceği üzerine olumlu etkisi olduğunu göstermiştir (Stern, Monache, Bhadani, Bunting, Churchill vd, 2018)

Çoğu simülasyon çalışmaları, ileride tek tip otomasyon teknolojisinin benimseneceğini savunmasına rağmen, (Mahmud, Ferreira, Hoque, Tavassoli, 2017) farklı sürüş stratejileri ve otonom araç seviyelerinin çalışmalara eklenmesinin daha gerçekçi simülasyonlara ve dolayısıyla daha doğru sonuçlara neden olabileceğini söylemiştir.

Gueriau ve Dusparic, birden fazla otomasyon seviyesine sahip araçların farklı penetrasyon oranlarındaki etkisini gösteren bir çalışma yapmışlardır. Simülasyonu 3 tür ağda (kentsel, ulusal, otoyol) çalıştırdılar.

Çalışma, düşük penetrasyon oranlarındaverimin arttığını ancak sonuçların ağ tipine ve trafik koşullarına göre değişebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca daha düşük penetrasyon oranlarında çatışma olasılıkları %30 oranında artarken, yüksek penetrasyon oranlarında çatışmalarda %50-80’lik bir azalma olduğunu ortaya koymuştur (Gueriau ve Dusparic, 2020).

Bhargava ve diğerleri, İngiltere’deki Dartford-Thurrock Geçiş Tüneli’nde, tehlikeli maddelerin geçişinin otonom sürüş altındaki etkisini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, PTV Vissim yazılımı kullanarak, gerçek Dartford kavşağının trafik ve sinyalizasyon verilerine göre bir trafik simülasyonu geliştirmişlerdir. PTV Vissim yazılımında, CoExist projesine göre tanımlanan Tehlikeli Madde Araçları Otonom Sürüş Stratejileri, geleneksel insan sürücülü araçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yol sıkışıklığında ve seyahat süresinde önemli iyileşmelerin gözlemlendiğini göstermiştir. (Bhargava, Choy, Jennings, Birrell, Higgins, 2020)

Diğer bir çalışma, sürücüsüz araçların geleneksel araçlarla bir arada bulunduğu durumları hem mikroskobik hem makroskobik trafik modellerinde simüle etmiş ve bunun etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında, CoExist projesine göre tanımlanan otonom araç değerleri alınmış ve PTV mikroskobik yazılımında kalibre edilmiştir. Çalışma, otonom araçların geleneksel araçlarla etkileşiminin başarılı olduğunu söylemiştir. Ancak sürücüsüz araçların gelecekte hangi sürüş stratejileri ve davranışlarına sahip olacağı konusunda bilgi boşlukları olduğunu da belirtmiştir (Dahl, Flechon, Sukennik, Walther, 2018).

Birçok araştırma, otonom araçlar ve altyapılar arasındaki bağlantıların bir sonucu olarak, otonom araçların kavşaklardaki verimin iyileştirildiğini ve emisyonların %13.8- %59 arasında değişen azalmalara sebep olabileceğini savunmuştur. (Bento ve diğerleri, 2019; Bichiou ve Rakha, 2019; Chen ve Liu, 2019; Feng ve diğerleri, 2018; Filocamo ve diğerleri, 2020; Z. Li ve diğerleri, 2015; Lin ve diğerleri, 2017).

Sürücüsüz araçlarla ilgili çoğu çalışma, ne insan sürücülerinin, ne yayaaların ne de bisikletli sürücülerin bulunmadığı yollarda tamamen otonom araçların olduğu trafiği ele alır. Ancak, sadece otonom araçların bulunduğu trafiği değerlendirmek çok gerçekçi olmamaktadır.

Niels, Erciyas ve Bogenberger'in yaptığı çalışma, sürücüsüz araçların sinyalize kavşaklarda diğer araçlarla bir arada olduğu senaryolarda, kapasiteyi nasıl etkilediğine odaklanmaktadır. Çalışma sadece otonom araç senaryolarını dikkate almaz, aynı zamanda sürücüsüz araç sayılarının artışında, karma trafikli birkaç senaryoyu analiz eder. Sonuçlar, sürücüsüz araçların trafiğe dahil olmasıyla birlikte, sinyalize kavşaklardaki ortalama bekleme sürelerinin önemli ölçüde azalabileceğini göstermiştir (Niels, Erciyas, Bogenberger, 2018).

Berktaş ve Tanyel, yaptıkları çalışmada insan sürücülerinin ve otonom araçların olduğu karma trafik koşullarındaki trafik akış özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. İnsan sürücülerinin sürüş davranışlarıyla ilgili özellikler gözlem ile sahadan elde edilirken, otonom araçların özellikleri literatürdeki varsayımlardan elde edilmiştir. Bu veriler bir arada kullanılarak, farklı sürücü profillerinin davranışları ve otonom araçların bu sürücü davranışlarıyla aynı ortamdaki davranışları SIDRA TRIP programı kullanılarak karşılaştırılmış ve bağlantısız bir ortamda, otonom araçların sinyalize kavşaklardaki performansa nasıl bir etkisi olduğu ele alınmıştır. Sonuçlar, diğer çalışmaların aksine, otonom araçların kavşak kapasitesini azaltabileceğini göstermiştir (Berktaş ve Tanyel, 2020).

Otonom araçların, insan sürücülü araçlarla aynı trafik ortamındaki etkilerini araştıran diğer bir çalışma Ma ve diğerlerine aittir. Çalışma kapsamında, tek bir otonom aracın yörüngesini, verilen sinyal zamanlamaları ve çevredeki diğer araçların yörünge bilgilerinin hem boyuna hem yanal bir şekilde optimize etmek için ayrık zamana dayalı 2 seviyeli bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. 1. Seviye yanal şerit değiştirme stratejilerini optimize ederken, 2. Seviye şerit değiştirme stratejilerine dayalı olarak uzunlama hızlanmaları optimize eder. Geliştirilen modelin dinamik bir model olması ve değişen koşullara göre optimize edilmesi için yuvarlanan ufuk şeması uygulanmıştır. Sayısal çalışmalar, otonom araçların ortalama yakıt tüketimini fark edilebilir düzeyde azalttığını ortaya koymuştur. Sadece yakıt tüketimi değil, özellikle otonom araçların yüksek penetrasyon oranıyla oluşturulan senaryolarda, insan sürücülü araçların da gecikmelerinin ortalama 2 saniye azaldığı sonucuna varılmıştır (Ma, Yu, Yang, 2021).

BÖLÜM İKİ

KAVŞAK TERMİNOLOJİSİ VE SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

2.1 Kavşak Terminolojisi

Tezin kapsamında işlenen konuların daha iyi anlaşılabilmesi için 2. Bölümde trafikteki temel terminoloji, kavşak sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.1. Hemzemin (Eşdüzey) Kavşaklar

İki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ya da ayrılmasıyla oluşan alandır. Kavşaklar kendi arasında hemzemin (eşdüzey) kavşaklar ve farklı seviyeli (katlı) kavşaklar olarak ikiye ayrılır.

Hemzemin (Eşdüzey) kavşaklar 3 ana başlığa ayrılır: Dur Kontrollü Kavşaklar, Sinyalize Kavşaklar ve Dönel Kavşaklar.

2.1.1.1 Dur Kontrollü Kavşaklar

Dur kontrollü kavşaklarda yanyoldan gelen sürücüler, anayolda hiç araç bulunmasa bile durmak, yolu kontrol ettikten sonra kavşağa girmek zorundadırlar. Bu tür kavşaklar 3 yönlü tasarlanmaktadır.

- Tüm Yönler Dur Kontrollü Kavşak
- İki Yön Dur Kontrollü Kavşak
- Dur Kontrollü T Kavşak

2.1.1.2 Sinyalize Kavşak

Yoğun trafik akımının olduğu kavşaklarda kavşağın yönetilebilmesi için sinyalizasyondan yararlanılır. Yoğun trafik akımlarındaki tıkanmanın çözülebilmesi için kullanılan kavşak türüne sinyalize kavşak denir.

2.1.1.3 Dönel Kavşaklar

Ortasında yuvarlak ada bulunan, trafik akımının merkezinin bu ada etrafında yönlendirildiği, araçların gidecekleri yönde dairesel hareketler yapmasını gerektiren kavşak türüdür.

Sinyalize dönel kavşaklar ise kavşak kollarındaki trafik hacimlerinin ve gecikmelerin artmasından ve dönel kavşaklardaki geçiş önceliği kuralına uyulmamasından dolayı sinyalize kavşaklara ihtiyaç duyularak meydana gelmişlerdir. Sinyalize dönel kavşaklar ile, ada etrafındaki trafik akımı ile yaklaşım kollarındaki trafik akımlarının çakışma olasılığı en aza indirilmiş olur.

Farklı Seviyeli (Katlı) Kavşaklar, sinyalize olmayan ve sinyalize olmak üzere 2'ye ayrılır.

Sinyalize olmayan katlı kavşaklar, trompet kavşak, yonca tipi kavşak ve direksiyonel kavşaktır. Sinyalize katlı kavşaklar, elmas tipi kavşak, tek nokta kavşak ve farklılaşan elmas tipi kavşaktır.

Trafik Akımı (q): Trafik Akım Oranı ya da Hacim, verilen bir süre içerisinde belirlenen bir yol kesiminden ve ya noktadan geçen taşıt sayısıdır.

Yoğunluk (d): Bir karayolunun bir şeridinde belirli bir zamanda bulunan taşıt sayısıdır.

Etkin Kırmızı Süre: Devre süresi ile etkin yeşil süresinin farkına eşit olan süredir.

Etkin Yeşil Süre: Devre süresi ile etkin kırmızı süresinin farkına eşittir.

Yeşil Süre: Sinyalize bir kavşakta, yeşil sürenin saniye cinsinden miktarıdır.

Yeşiller Arası Süre: Yeşiller arası süre, iki faz arasındaki, kırmızı ve sarı sürelerin toplamıdır.

Faz: Bir trafik akımında yeşil sürenin başladığı andan diğer yeşil sürenin başladığı ana kadar geçen süredir.

Hizmet Seviyesi (LOS): Bir trafik akımı içerisinde o trafik akımının konfor açısından, işletme koşullarını gösteren bir ölçüdür. Yoğunluk, manevra serbestliği, seyahat süresi gibi değerlerle ölçülür.

Kesintili Akım: Trafik akımındaki kesintilerin görüldüğü bir akım çeşididir.

Kırmızı Süre: Bir sinyal devresinde kırmızı sürenin saniye cinsinden miktarıdır.

Yaklaşım: Kavşak noktasına gelen, ayrılan bütün düz gidişleri, sağa ve sola dönüşleri kapsamayan şerit gruplarıdır.

Kuyruk: Bir aracın önündeki durmuş bir araca yaklaşmasıyla birlikte, kendisinin durmasıyla birlikte sıraya girdiği araç kümesidir.

Korumalı Dönüş: Çakışan taşıt veya yaya akışına izin verilmeden yapılmasına izin verilen sol veya sağa dönüş hareketleridir.

Koruma Süresi: Bir kavşakta, fazlar arasında, herhangi bir trafik tarafından kullanılmayan süre.

Period: Sinyal ışıklarının sırayla bir tam dönüşüne denir.

Faz: Bir period süresinin belirli kısımlarını, belirli trafik akımlarına tahsis edilen bölümüdür ve tüm fazların toplamı period süresine eşittir.

Kayıp süre: Kavşakta efektif olarak kullanılmayan süredir. Örneğin, kavşak yaklaşım kolunda yeşil ışık yandığından itibaren araçların hareketine başlamasına kadar geçen süre kayıp süredir.

Başlangıç Kayıp Zaman: Araçların sinyal yeşile döndüğünde verdiği reaksiyon süreleri ve hızlanma için geçen sürelerde yaşanan süre kaybıdır.

Doygun Akım: Sinyalize bir kavşakta ışığın yeşile dönmesiyle birlikte kavşaktan geçen maksimum taşıt sayısıdır.

BÖLÜM ÜÇ

SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Trafik sinyalizasyonu, 19. Yüzyılın sonlarında çıkan, ulaşım alanındaki yeniliklerden biridir. Ülkemizde trafik sinyalizasyonunun kullanılması 20. yüzyılda başlamıştır. Trafikte sinyalizasyona ihtiyaç duyulmasının en büyük sebebi trafik hacminin belirli bir seviyenin üstüne çıkması ve trafiğin kendi kendine yönetilmesinde zorluklar yaşanmaya başlanmasıdır.

Trafik sinyalizasyon sistemleri motorlu taşıtların ve yayaların, ışıklı uyarılarla belirli bir sıra halinde uyarılmasını ve geçiş üstünlüğünü düzenleyen sistemlerdir. (Firdous, Din Iqbal, Ghafoor, Qureshi, Naseer, 2019). Alandaki sinyalizasyon kurulmadan önce bölgenin trafik akımının yönüne göre araç ve yaya yoğunluğuna göre kavşaklar belirlenmektedir ve uygun sinyalizasyon sistemi oluşturulmaktadır.

Sinyalizasyon sistemleri bağımsız ve eş güdümlü olmak üzere 2'ye ayrılır.

İzole Sinyalizasyon Sistemleri

Eş Güdümlü Sinyalizasyon Sistemleri

İzole, ayrık ya da bağımsız sinyalizasyon sistemleri, bir kavşağın, diğer kavşaklarla herhangi bir ilgisinin bulunmadığı sinyalizasyon sistemleridir. Yani, kavşağın tek başına kontrol edildiği sistemler olarak söylenebilir. İzole sistemlerde devre sürelerinin mümkün olduğunca uzun tutulması önerilir ancak trafik hacminin fazla olduğu durumlarda devre süreleri de buna bağlı olarak artmaktadır.

İzole sinyalizasyon sistemleri 4'e ayrılır:

1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi
2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
2. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
3. Adaptif Sinyalizasyon Sistemi

3.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri

3.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde, devre süresi, faz süresi ve sayıları, değişim aralıkları önceden belirlenmiştir ve kavşaktaki araçlara önceden belirlenen düzene göre sırayla geçiş hakkı verilir. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde, gün boyunca bir ya da daha fazla program uygulanabilir. Sabit zamanlı sinyalizasyon kontrol sisteminde, farklı yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek yeşil süreler ve bu sürelerin birbirine olan oranı, ortalama trafik yükü değerlerine göre saptanır. Dolayısıyla, bu sistemin başarılı olabilmesi için mümkün olduğunca çok sayıda ve dikkatli bir şekilde trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin en büyük avantajı, trafik yoğunluğunun değişmediği kavşaklarda ana yolun sürekli olarak kullanılabilmesini sağlamasıdır (Balta ve Özçelik, 2019)

Bu çalışma kapsamında seçilen kavşak da sabit zamanlı sinyalizasyon sistemiyle yönetilmektedir.

3.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri, trafik yoğunluğunun gün içinde değiştiği durumlarda kullanılan sistemlerdir. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmasının sebepleri olarak kullanıldığı bölgedeki trafik akımlarının dinamik yapıda olması, program sayısının yetersizliği, tali yollardaki taşıtların bekleme süresinin fazla olması, yayaların bekleme süresinin fazla olması söylenebilir. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde, araçların geçiş hakkı, fazların sırası ve süreleri sensörler tarafından saptanan trafik talebine ve yoğunluğuna göre değişmektedir. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri de yan trafik uyarmalı sistemler ve tam trafik uyarmalı sistemler olarak 2'ye ayrılır. Trafik uyarmalı sinyal yönetim sisteminin amacı, anayollardaki trafik lambalarının yeşil renkte kalma sürelerinin gereksiz yere kesilmesinin engellenmesi ve değişken trafik yoğunluklara göre dönüş yönlerindeki sinyalizasyon sistemlerinin anlık olarak çözüm üretmesini sağlamaktır (Güler, 2013).

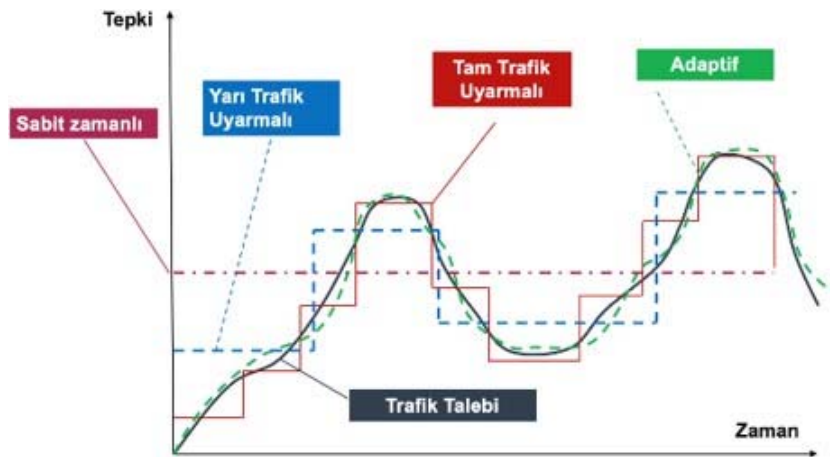
3.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon

Kavşaklardan uzak olan yaya geçitlerinde, sürekli olarak ya da günün belirli saatlerinde, yayalara güvenli geçiş hakkı sağlamak kullanılan sinyalizasyon sistemidir. Yaya uyarmalı sinyalizasyonun amacı, gün içerisindeki döngüde hiçbir araç gelmemesine rağmen, tali yollardan gelen araçların oluşturduğu trafik yoğunluğunu engellemektir.

3.1.4 Adaptif Sinyalizasyon Sistemi

Adaptif sinyalizasyon sistemleri, gerçek zamanlı olarak trafik talep ve yoğunluğuna göre sinyal zamanlarını ayarlayan sistemlerdir. Her kavşak kolunun girişinde ve çıkışında bulunan sensörler yardımıyla geçen araç sayılarını anlık olarak sinyal sürelerini üretir. Adaptif sistemleri gerçek zamanlı verileri sensör ve algılayıcılardan alarak, gerçek trafik koşullarını mevcut zaman planları ile eşleştirmek yerine, anlık olarak en iyi sinyal sürelerini oluşturur. Adaptif sinyalizasyon sistemleri talebinin yüksek olduğu ve kavşaktaki trafik yoğunluğunun yaşandığı yaklaşım kolunun değiştiği kavşaklarda tercih edilir.

Sabit zamanlı kontrol sistemi anlık olarak değişen trafik talebine karşılık veremediği için adaptif sinyalizasyon sistemleri trafik değişimine en fazla uyum gösterebilen ve toplam gecikmeleri en aza indiren en ideal sinyalizasyon sistemleridir.



Şekil 3.1 Sinyalizasyon Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırılması

3.2 Eş Güdümlü Sinyalizasyon Sistemleri

Eş güdümlü (koordine) sinyalizasyon sistemleri diğer adıyla koordine sinyalizasyon sistemleri, birbirine yakın mesafede bulunan kavşakların yönetilmesinde kullanılır. Koordine sinyalizasyon sistemlerinin tasarımı amaca göre tasarlanmakta ve ihtiyaa göre farklı koordinasyon sistemleri uygulanmaktadır. Eş güdümlü sinyalizasyonun kullanılma amaçları, araçların gecikme ve yakıt tüketimini azaltmak, arter boyunca etkili bir trafik akımı sağlamak, kavşak-arter kapasitesini arttırmak, kavşaklardaki kuyruk oluşumunu azaltmak ve taşıtların hızlarını kontrol etmektir.



BÖLÜM DÖRT

SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ PERFORMANS KRİTERLERİ VE SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARI

Ulaşım ağının en önemli noktalarından biri olan sinyalize kavşaklar, çözüm noktasında ele alınması gereken öncelikli trafik unsurlarından biridir. Özellikle, günümüzde özel araç sayısının hızla artması, trafikte kaybedilen can, mal ve zaman kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Bu yüzden, doğru bir kavşak tasarımı, doğru bir ulaşım planlaması ve beraberinde gelen doğru bir trafik denetimi, gün geçtikçe artan trafik yoğunluğunun getirdiği sorunları çözmek için şarttır. İdeal bir sinyalize kavşaktan beklenen performans, yüksek kapasite ve yüksek güvenliqli trafik ortamıdır.

Gecikme ve kuyruk uzunluğu sinyalize bir kavşağın performansını değerlendirmek için kullanılan en önemli iki parametredir. Sinyalizasyon sistemi, kavşak geometrisi, kavşak tipi, trafik akımının kompozisyonu gibi etkenler gecikme değerlerini etkileyen faktörlerdir ancak araçların tepki süresi, hızlanma ivmesi, hızlanma süresi, kavşak geçiş hızı gibi değişkenlerin de gecikme üzerinde etkisi vardır. Bu değişkenlerin önemli bir bölümü sürücü davranışı ile ilgilidir.

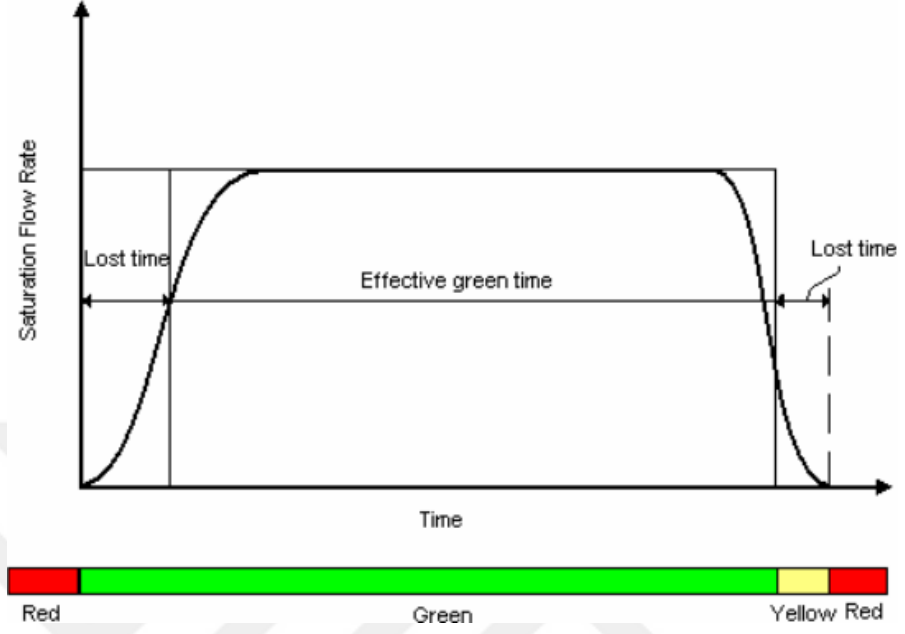
Bu çalışmada da sinyalize kavşakların performanslarının değerlendirilmesinde en büyük pay sahibi olan sürücü davranışlarına değinilmiştir.

Doygun akım; ışıklı bir kavşakta yeşil ışık boyunca bir saat içerisinde geçen araç sayısıdır. (HCM 2000)

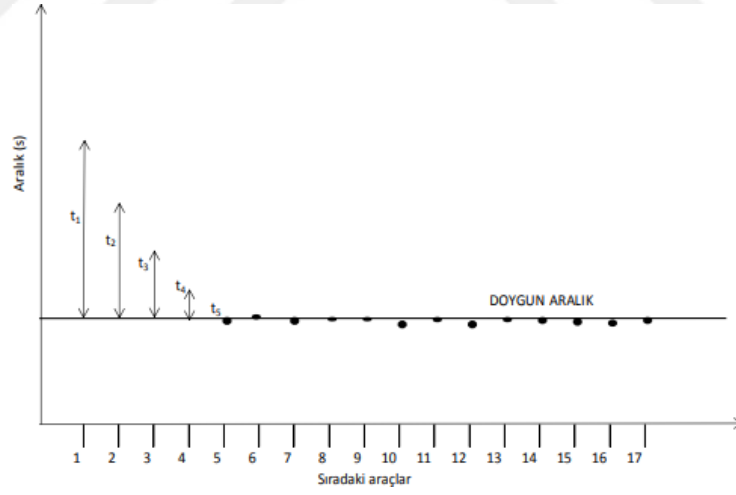
Doygun akım oranının değeri, kavşak performansını belirleyen kapasite, kuyruk uzunluğu gibi faktörlerin belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Sinyalize kavşaklarda kırmızı süre boyunca, araçlar kavşak çizgisinde birikirler ve kuyruk oluşmaya başlar. Yeşil sürenin başlamasıyla birlikte araçlar hareket geçer ve kuyruk boşalmaya başlar. Araçların harekete ilk geçtikleri zamanda, akımın boşalma değeri bir süre sabit kalır bu değre doygun akım değeri adı verilir (Çalışkanelli, 2010).

Doygun akımın grafik olarak ifade edilişi Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 de gösterilmiştir. (Bester ve Meyers 2007).



Şekil 4.1 Doygun Akım Oluşumu



Şekil 4.2 Sinyalize kavşakta doygun aralık gelişimi

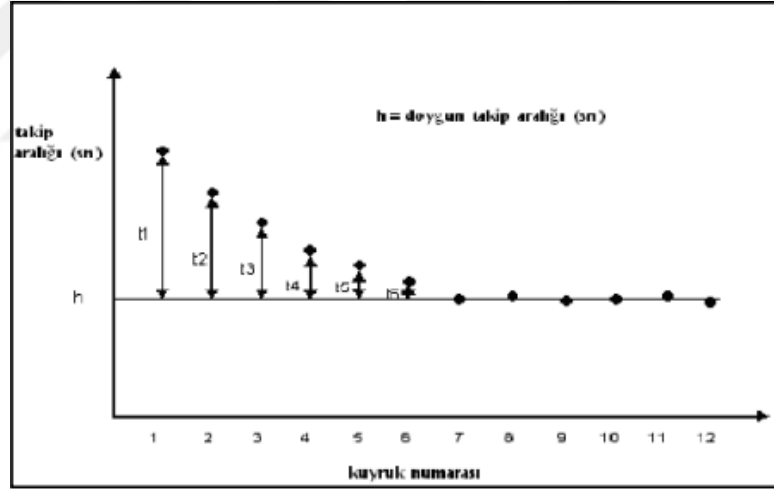
Şekilde görüldüğü gibi ilk aracın arkasında hareket eden araçların takip aralığı 2. araçtan sonra düşmeye başlar ve yaklaşık 6. araçtan sonra sabit kalmaktadır. Araçlar arasında sabit kaldığı kabul edilen ve kavşaktan bir saat içinde geçirilebilecek olan en yüksek araç sayısını belirlemek amacıyla kullanılan bu sabit değere doymuş takip aralığı adı verilmektedir. (Çalışkanelli ve Tanyel, 2017)

Doymuş akım takip aralığına bağlı olarak doymuş akım değeri şu şekildedir;

$$S = 3600/h_n$$

S: doymuş akım (araç/saat/şerit),

Hn: ortalama doymuş takip aralığı (saniye) dır.



Şekil 4.3 Kuyruk numarasına bağlı olarak takip aralığı değerlerinin değişimi

Şekilde de görüldüğü gibi, her ne kadar doymuş takip aralığına altıncı araçtan sonra erişildiği düşünülse de, son zamanlarda yapılan araştırmalar kuyruk uzunluğunun artışının takip aralığı değerinin düşmesine sebep olduğunu savunmaktadır (Lin ve Tseng,2015; Lin ve Thomas, 2005).

Kuyrukta ilk bekleyen araçların hareketi arkadaki araçlara göre yavaştır ve araçlar sabit bir oranda harekete geçene kadar bir zaman kaybı yaşarlar. Bu kayıp zaman başlangıç kayıp zaman olarak adlandırılır. Şekilde başlangıç kayıp zaman (başlangıç kaybı), gerçek akım eğrisi ile etkin akım eğrisi arasında başlangıçta meydana gelen fark olarak ifade edilir.

4.1 Gecikme

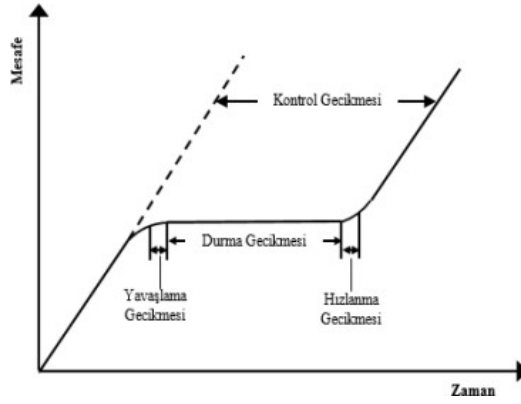
Gecikme, araçların trafikte kavşak özellikleri, diğer araçlar, sinyalizasyon sistemleri, çevresel faktörler gibi sebeplerle kaybettiği zamandır. Gecikme, sinyalizasyon kavşaklarının performanslarını ve hizmet düzeylerini belirleyen en önemli parametredir.

Gecikme, yavaşlama gecikmesi, durma gecikmesi, hızlanma gecikmesi, kontrol gecikmesi, kesme gecikmesi ve kuyruk gecikmesi olarak 6'ya ayrılır. Kavşaklardaki gecikmenin doğru bir şekilde tayin edilebilmesi için kavşaklardaki bütün yaklaşım kollarındaki araçlara ait bu parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu da oldukça zaman alıcı bir işlemdir.

Trafiğin sinyalizasyon ile yönetilmesi, güvenlik açısından oldukça yararlı bir uygulamadır ancak sinyalizasyonla denetlenen kavşaklarda trafik akımları sürekli olarak engellendiği için seyahat sürelerinde artış meydana gelmektedir. Seyahat süresinde gerçekleşen bu artışa sebep olan fazlalık zaman dilimi kontrol gecikmesi olarak adlandırılır. Kontrol gecikmesi yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi olarak 3'e ayrılır.

Kavşakta sinyale yaklaşan araçlar hızını düşürür ve kırmızı sinyalin görüldüğü andan itibaren durmaya başlarlar. Bu ana kadar geçen zamana yavaşlama gecikmesi denir. Sinyal kırmızıdan yeşile döndükten sonra aracın tekrar önceki seyir hızına ulaşabilmesi için gereken zaman periyoduna hızlanma gecikmesi adı verilir (Çakıcı ve Murat 2015).

Durma gecikmesi, aracın kırmızı ışık boyunca durduğu zaman dilimi olarak tanımlanır. Sinyalize kavşak yaklaşım kolundaki bir aracın yörünge diyagramı ve gecikme bileşenleri şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Sinyalize kavşak yaklaşım kolundaki taşıtın yörünge diyagramı

Şekil incelendiği zaman, sinyalize kavşaklarda araçların kontrol ve durma gecikmeleri arasında doğrusal bir bağıntı olduğu görülmektedir.

Gecikme parametresi, arazi ölçümlerinden belirlenebildiği gibi analitik modeller de gecikme değerini hesaplama konusunda yardımcı olmaktadır.

Murat ve Başkan'ın (2006) da yaptığı çalışma yapay sinir ağı yaklaşımı ile bir gecikme tahmin modelinin geliştirilmesi üzerinedir. Önerdikleri model, doymun üstü ve üniform olmayan durumlarda başarılı sonuçlar vermiştir.

Murat (2006) yapmış olduğu çalışmada, bulanık mantık kullanarak taşıt gecikmesini modellemiştir. Sonuçlar, bulanık mantık ve yapay zekanın modeli sonuçlarının, arazi sonuçlarıyla benzer olduğunu görmüştür.

(Ban ve diğerleri 2009), kavşak gecikme modellerinin tahminini, ölçülen seyahat sürelerini kullanarak bulmuşlar ve yeni modeller geliştirmişlerdir.

Akgüngör ve Korkmaz'ın çalışması, trafik hacmi, devre süresi ve yeşil süre gibi parametrelerin durma ve kontrol gecikmesi üzerindeki etkisine odaklanmıştır (Akgüngör ve Korkmaz, 2016)

(Martin, 2016) yapmış olduğu çalışmada, iki şeritli yolların hizmet düzeyini belirlemek için, taşıt gecikmelerinin tahmini için bulanık mantık kullanmışlardır.

Datta ve diğerleri, dedektör verilerini ve mevcut trafik sinyali denetleyicisinden gelen sinyal bilgilerini kullanarak sinyalize bir kavşaktaki gecikmeyi tahmin eden Otomatik Araç Gecikme Tahmin Tekniğı geliştirmişlerdir. Sonuçlar, çalışma kapsamında geliştirilen tekniğin elde ettiğı sonuçların, simülasyondan elde edilen sonuçlarla benzer sonuçlar elde ettiğini göstermiştir (Datta, Rokade, Sarvesh, Rajput, 2020)

Datta ve diğerlerinin, yaptığı çalışma disiplinsiz sürücü davranışı altında seyahat süresi verilerinin mikroskobik analizini kullanarak ortalama gecikmeyi tahmin etmektedir. Çalışma, çeşitli trafik akımları altında tahmin edilen gecikmenin %52'sini doğru tahmin edilebildiğini ortaya koymuştur (Datta, Rokade, Rajput, 2022)

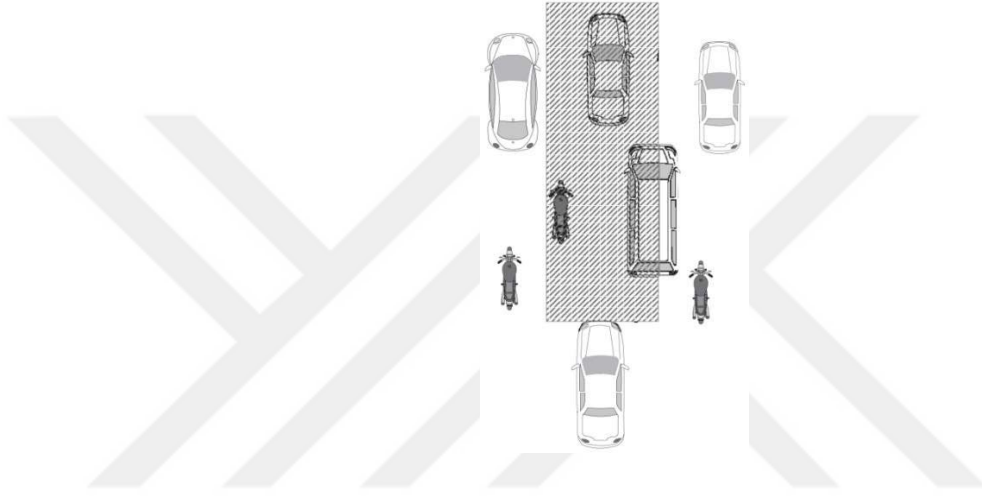
Gecikme modellerinden ilkinin 1858 senesinde öne sürülen Webster modeli olduğı göz önünde bulundurulduğunda, gecikme ile ilgili çalışmaların 65 yıldır devam ettiğı söylenebilir. Bu da, gecikme konusunun hala önemini ve geçerliliğini koruduğunu ortaya koymaktadır.

4.2 Şerit Disiplini

Sinyalize bir kavşakta sürücü davranışları, kavşağın performansını ve güvenliğini belirleyen en önemli faktörlerin başında yer almaktadır. Özellikle, sürücünün, boyuna ve yanal hareket modellerini içeren sürüş davranış modelleri, sürücünün taktiksel manevralarını ve hedefini açıklar. Yanal ve boyuna hareket modelleri, mikroskobik trafik simülasyon programlarının temel bileşenidir.

Sürüş stratejileri ve davranış modelleri üzerine birçok çalışma olmasına rağmen sürücülerin şerit kullanımı ile ilgili çok az çalışma vardır. Çalışmaların çoğunda araçların şeritleri homojen bir şekilde kullandığı, şerit disiplinine uyduğu, yol verme ve öncelik kurallarına sıkı bir şekilde uyguladığı farz edilir. Ancak bu varsayımlar gelişmekte olan ülkeler için geçerli değildir. Bundan dolayı gelişmekte olan ülkelerin trafik modelleri benzetim programına girilmeden önce sürücülerin sürüş davranışları dikkatlice irdelenmeli ve sisteme doğru bir şekilde girilmelidir.

Gelişmekte olan ülkelerdeki trafik kompozisyonu otomobiller, kamyonlar, otobüsler, üç tekerlekli araçlar, motosikletler gibi motorlu araçları ve hayvan gücüyle ulaşımını gerçekleştiren vasıtalar içeren geniş bir araç karışımına sahiptir. Bu araçlar gerek fiziksel özellikleri gerek manevra yetenekleri, genel kullanan sürücünün fiziksel ve ruhsal özellikleri bakımından önemli ölçüde farklılık gösterir ve bu da araçların yol boyunca senkronize olmayan ve düzensiz şerit kullanımına sebep olur.



Şekil 4.5 Araçların şeritlerde konumlanması

Birçok araştırmacı, karma trafik koşullarında farklı araç türlerinin şeritte farklı yanal konumlar tercih ettiğini gözlemlemişlerdir (Kanagaraj vd, 2015). Örneğin, yüksek hızlı giden otomobiller, daha yüksek hız ve daha az sürtünme sağladığı için yolun uzak tarafına hizalanma eğilimindeyken, ağır taşıtlar şeridi ortalamaya gitmeyi tercih ederler.

Yapılan bazı araştırmalara göre, karma trafik koşullarında araçların şerit içinde küçük yanal kaymalar yaptığı ve önde akan trafiğin durumunu daha iyi gözlemlemek ve öndeki aracı geçmek için şeritte bir miktar yanal boşluk bırakarak seyahatlerini sürdürdüğü görülmüştür (Asaithambi ve Joseph 2018; Heetal.2016; Jin ve diğerleri.2010).

Farklı fiziksel boyutlarda ve farklı yanal manevra kabiliyetine sahip araçların olduğu heterojen trafik akımı, araçların şerit içi konumlanmasını etkileyebilir.

Örneğin, daha küçük boyutlara ve daha yüksek yanal hareket kabiliyetine sahip araçlar (motosikletler gibi) yanal konum değiştirmede ve şeridi kullandığı bölgeyi değiştirmede daha proaktifken, ağır araçlar şeritte bulundukları konumu sürdürmeye daha eğilimlidir. (Mallikarjuna, Phanindra ve Rao 2009)

Araçların şerit içi disiplinini etkileyen bir diğer faktör öndeki aracın türü ve fiziksel boyutlarıdır. Örneğin bir otomobil sürücüsü, önündeki araç ağır ve sürücünün görüşünü etkileyecek kadar büyük boyutluysa, kendini rahat ve güvenli hissetmeyebilir. Bu durumda araç bilinçli olarak şeridin sağ ya da sol tarafını tercih etmeye çalışacaktır.

Bu çalışma kapsamında seçilen Narlıdere Konservatuvar kavşağının kamera görüntülerine bakıldığında, araçların %34'nün şeridin ortasını, %33'ünün şeridin sağını, %33'nün şeridin solunu kullandığı gözlemlenmiştir ve benzetim programına sürücü davranışları girilirken bu faktör yok sayılmamıştır.

BÖLÜM BEŞ

SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLAR

Sürücüsüz araçlar, insan müdahalesine ihtiyaç duymayan, kendi sürüş yeteneğine sahip olan araçlardır. Sürücüsüz araçlar, yolculuk boyunca güvenlik ve konforu korumak amacıyla üst düzey sensörler ve radar sistemleri ile çalışır. Ulaştırma sektörü sürücüsüz araçların yakın gelecekte hayatımızda geniş bir yer kaplayacağını öngörmesine rağmen, günümüzde yalnızca birkaç üretici otonom araç üzerine çalışmaktadır. Sürücüsüz araçların ekonomik yatırımlara ihtiyaç duyması, şu anki teknolojinin yetersiz kalması, altyapı sorunları gibi faktörler, trafikteki sürücüsüz araç sayısının artışının uzun yıllar alacağını göstermektedir. Bu sebeplerle, sürücüsüz araçlar için yeterli saha verilerinin olmayışından dolayı, sürücüsüz araçların etkisini ortaya koyabilmek için mikro ve makro simülasyon modellerinden yararlanmak kaçınılmazdır.

5.1 Benzetim Programları

Trafik akım karakteristiklerini inceleyen birçok makro ve mikro simülasyon (benzetim) programları vardır. SUMO, MATSim, MITSIMlab, AIMSUN, CORSIM, Paramics, SimTraffic, VISSIM bunlardan bazılarıdır.

5.1.1. SUMO

SUMO benzetim programı, araçlar arasındaki çarpışma ve kazaları simüle edebilir. Her bir aracın yönlendirmesi dinamiktir. Şerit değiştirme gibi davranışları dikkate alır. Şerit genişlikleri sabittir. Araç genişliği sabittir, farklı araç türleri sistem içerisinde hesaba katılmaz (Behrisch, Bieker, Erdmann, Krajzewicz, 2011)

5.1.2 MATSIM

MATSIM büyük ölçekli, açık kaynaklı bir ulaşım simülasyon programıdır. Gün boyunca geniş bir bölgenin trafiğini simüle edebilir.

Ancak bireysel araç davranışıyla ilgilenmez. Diğer benzetim programlarından farklı olarak MatSim, talep oluşturmaya yönelik, faaliyet tabanlı bir yaklaşım izler.

5.1.3 MITSIMLAB

MITSIMLab, alternatif tasarım trafik yönetim sistemlerinin, toplu taşıma operasyonlarının, yolcular için bilgi sistemlerinin ve çeşitli akıllı ulaşım sistemlerinin etkilerini değerlendiren bir trafik simülatörüdür. MITSIMLab programının temel modelleri C++ ile yazılmıştır ve açık kaynaklı bir yapıya sahiptir. Birçok ülkede çeşitli trafik ve araştırma çalışmalarında başarıyla kullanılmıştır (MatSim, 2016)

5.1.4 AIMSUN

AIMSUN makroskobik, mezoskopik, mikroskopik ve hibrid simülasyonları tek bir yazılımda kullanıcıya sunan bir benzetim programıdır. AIMSUN herhangi bir trafik ağını, gerçek koşullarıyla birlikte simüle edebilir. Trafik sistemleri için zengin bir içeriğe sahiptir: makro ve mikro trafik simülasyonu çalıştırabilir, akış modelleyebilir, sinyalizasyon yönetimi yapabilir, gerçek zamanlı ulaşım bilgilerini alarak daha gerçekçi veriler sunabilir, yakıt, kirlilik, karbondioksit emisyon gibi değerleri hesaplayabilir (Casas, Ferrer, Garcia, Perarnau ve Torday, 2010)

5.1.5 CORSIM

CORSIM, FHWA (Federal Karayolu İdaresi) tarafından desteklenen ve geliştirilen bir trafik simülasyon yazılımıdır. Sinyal sistemleri, yol ağları ve otoyol sistemlerini içerir. Tüm trafik ortamını temsil eden iki modelin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Bu modellerden NETSIM şehir içi yollardaki trafiği temsil ederken, FRESIM, yollardaki ve otoyollardaki trafiği temsil eder (Halati, Lieu, Walker, 1997)

5.1.6 PARAMICS

Paramics yazılımı, tamamen ölçeklenebilen, sıkışık bir karayolunu, kavşağı ya da tüm şehir trafik sisteminin modellenmesini gibi çeşitli senaryolarını işlemek için tasarlanmıştır. 2D ve 3D görselleştirme sayesinde gerçekçi bir trafik ortamını temsil eder. Trafik akışı içerisine otobüs, tramvay gibi toplu taşımaları da hesaba kadar, yayaları da simüle eder. Farklı trafik modellerinde (şehir içi, şehirler arası, tünel, liman

ve otopark) ve birçok ülkede kullanılmaktadır. Paramics, mikro simülasyon kullanımıyla, kullanıcıların trafik hacmindeki veya geometrik yol düzenindeki bir değişikliğin sonucu olarak gelecekteki seyahat modeli davranışını da tahmin eder (Cameron ve Duncan, 1996)

5.1.7 SIMTRAFFIC

SimTraffic, diğer benzetim programlarına göre, arayüzü ve kullanımı daha kolay olan bir simülasyon programıdır. Deneyimsiz kullanıcılar bile çok kısa bir sürede operasyonel ağ kurulumunu gerçekleştirebilir. SimTraffic, bir trafik ağı üzerinden bireysel araç hareketlerini simüle etmek için sürücü davranışını ve araç performansını kullanan bir bağlantı-düğüm modelidir. SimTraffic'in önemli bir dezavantajı, API işlevlerinin olmaması veya araç durumu değişken bilgilerinin ayrıntılı çıktısını ve diğer kodların otomatik istatistiksel analiz yeteneklerini sağlayamamasıdır (Husch ve Albeck, 2000)

5.1.8 TRANSIMS

TRANSIMS (ulaşım Analiz ve Simülasyon Sistemi), bölgesel ulaşım sistemi analizlerini yapmak için geliştirilmiş aktivite tabanlı, seyahat tahmini yapan, mikroskobik simülasyon programıdır. Transims başlangıçta bölgesel seyahat talebi tahmini için geliştirilmiş olsa da, Transims'ın birçok kullanım alanı vardır.

5.1.9 PTV VISSIM

PTV Vissim, PTV (Planning Transport Verkehr AG) tarafından geliştirilen, yeni ulaştırma politikalarını ve kontrol sistemlerini simüle etmek, değerlendirmek ve doğrulamak için en çok kullanılan simülasyon yazılımlarından biridir. PTV Visum (analiz ve trafik tahmini) ve PTV Vistro'yu (sinyal optimizasyonu ve trafikteki etkisi) de içeren Vision Traffic Suite'in bir parçasıdır.

VISSIM, kullanıcıların çok çeşitli araç türleri tanımlamasına izin veren bir programdır. Binek otomobiller, otobüsler, kamyonlar, ağıt ve hafif raylı taşıtlar, bisikletliler, yayalar hatta kullanıcının kendi tanımlayabileceği araç girişine izin veren çok modlu bir simülatördür.

PTV VISSIM yardımıyla, trafik simülasyonu, ulaşım sistemlerini daha detaylı bir şekilde planlamamıza, tasarlamamıza ve çalıştırmamıza olanak tanır.

VISSIM'i diğer simülasyon modellerinden ayıran çok önemli bir özelliği COM arayüzüdür. COM arabirimi, C++, Visual Basic, Python gibi bilgisayar programlama dillerini kullanarak kullanıcıların kendi uygulamalarını geliştirmelerine olanak tanır. COM arayüzü, trafik ağı topolojisine, sinyal kontrolüne, yol akışlarına ve araç davranışlarına erişerek kullanıcı tarafından geliştirilen uygulamalar sağlar.

Tablo 5.1 Trafik Simülasyon Programlarının Karşılaştırmalı Tablosu

Benzetim Programları	Model			Sistem	Görsel		Altyapı					Diğer araçlar ve Yayalar			Kapsa m Bölgesi				
							Zorluk		Esneklik										
	Mikro	Mezo	Makro	Kesik	Sürekli	2D	3D	Kolay	Orta	Zor	Esnek	Limitli	Cok	Öncelik	Yaya	Diğer	Şehir	Bölge	Ülke
AIMSUN	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓
CORSIM	✓			✓		✓	✓						✓	✓	✓		✓	✓	
MATSIM	✓				✓	✓						✓		✓	✓		✓	✓	
MITSIML AB	✓					✓						✓					✓		
PARAMIC S	✓			✓		✓	✓				✓			✓	✓	✓	✓	✓	
SIMTRAF FİC	✓					✓	✓	✓				✓		✓	✓		✓	✓	
SUMA	✓				✓	✓				✓			✓				✓	✓	
TRANSIM S	✓	✓		✓		✓					✓							✓	✓
VISSIM	✓				✓	✓	✓			✓				✓	✓	✓	✓	✓	

Trafik simülasyonu, farklı trafik senaryolarını test etmemize ve değerlendirmemize yardımcı olan çok önemli araçlardır. O yüzden her araştırma ve çalışma kendi ihtiyacı doğrultusunda kullanacağı simülasyon programını seçmelidir.

Bu alışma kapsamında PTV VISSIM benzetim programı kullanılmıştır. Bunun sebebi, programların birçoğunun ülkemiz trafik koşullarını yansıtmaması ve sürücüsüz araçlar için ayrı bir araç tipi tanımlanmamış olmasıdır. PTV VISSIM programında sürücüsüz araçlar da trafik akımına dahil edilebilir hatta sürücüsüz araç parametreleri manuel olarak değiştirilebilmektedir.



BÖLÜM ALTI

SİNYAL OPTİMİZASYONU

Trafik kontrol stratejilerinin ilk amacı, kavşaklardaki trafik akışını en verimli şekilde yönetmektir. Trafik akımının verimli bir şekilde kullanmak demek, toplam durak sayısını en aza indirmek, trafik akışını maksimize etmek, kuyruk uzunluklarını azaltmak gibi birçok şekilde açıklanabilir.

Trafik sinyalizasyonunun etkili bir şekilde tasarlanması ve gelen taleplere göre modifiye edilmesi, kentsel trafik sıkışıklığı sorununu çözebilecek en ekonomik çözümdür. Günümüzde teknolojiadaki gelişmeler, verilere kolay erişebilme, veri analizini daha detaylı bir şekilde yapabilme, artan hesaplama gücü sayesinde son zamanlarda birçok araştırmacı optimizasyon tabanlı sinyal kontrol algoritması geliştirmiş ve kullanmışlardır.

Birçok modern şehirde SCATS (Lowre, 1990), SCOOT (Robertson ve Bretherton, 1991), TRANSYT-7F (Wallace, Courage, Hadi, Gan, 1998) RHODES (Mirchandani ve Head, 2001), SYNCHRO gibi birçok optimizasyon tabanlı trafik sinyal kontrol sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak buna rağmen, kavşaklarda trafik sinyal kontrolü problemine farklı açılardan yaklaşan optimizasyon tabanlı birçok yaklaşım önerilmiş ve önerilmeye devam etmektedir.

Araştırmacılar şimdiye kadar kavşaklarda sabit zamanlı, trafik tarafından harekete geçirilen ve uyarlanabilir trafik sinyal kontrolü dahil olmak üzere birçok trafik sinyali kontrol modeli geliştirmişlerdir. Sinir ağları (Srinivasan, Choy, Cheu, 2006; Castro, Hirakawa, Martini, 2017) bulanık mantık (Trabia, Kaseko, 1999; Chiu, 1992) (doğrusal programlama (Liu, Balke, Lin, 2008; Coll, Factorovich, Loiseau ve Gomez, 2013; Park, Messer, Urbanik, 1999) ve genetik algoritmalar (Chin, Yong, Bolong, Yang, Teo, 2011) gibi birçok yaklaşım, (Stevanovic, Martin, 2007) sinyal kontrol modellemesi için kullanılmaktadır.

Sinyalize kavşakların performansını arttırmak, gecikmeyi en aza indirmek ve kapasiteyi en üst düzeye çıkarmak için sadece optimizasyon algoritmaları değil aynı zamanda birçok yazılım da geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen TRANSYT modeli koordineli sinyalize kavşaklardaki sinyal sürelerini optimize eden yararlı araçlardan biridir. Ancak TRANSYT, trafik ağının ortak döngü süresini tahmin etmede çok doğru sonuçlar vermez. TRANSYT'nin aksine diğer bir optimizasyon yazılımı olan SIDRA, performans ölçümlerini tanımlayarak ve sinyalize bir kavşakta yaklaşık gecikme ve durak sayısı ifadelerini uyarlayarak, bireysel kavşaklardaki sinyal zamanlamalarını optimize etmede iyidir.

Bu çalışma kapsamında, farklı trafik taleplerine karşılık farklı sinyal sürelerini optimize etmesi için SIDRA yazılımı kullanılmıştır. SIDRA yazılımına veri girişi ve sinyal sürelerinin elde edilişi ayrıca anlatılmıştır.

6.1 SIDRA Programı

SIDRA, Akçelik tarafından Avustralya'da geliştirilmiş, dünyada trafik ve ulaştırma mühendisleri tarafından izole ve sinyalize kavşakların tasarımında kullanılan bir yazılımdır. SIDRA, Avustralya Yöntemine dayalı olarak çalıştırılır. Avustralya Methodu yaptığı analizleri faza bağlı yöntemlere göre değil akıma, harekete göre yapar (Akçelik ve Besley,2002). Akçelik'in geliştirdiği bu yazılımda kritik hareket ve doyumluk derecesi dikkate alınır ve bu değerlere göre optimum sinyal zamanlaması belirlenir. 1'in altındaki doyumluk derecesi değerleri ile tüm hareketlerin doyumluk derecesi değerleri birbirine yakın ise Avustralya Methodu'nda optimum döngü süresi ve yeşil süreler belirlenir.

Optimum sinyal ve döngü süreleri, SIDRA'da hedeflenen performans indeksi değişkeni (yani ortalama gecikme, doyumluk derecesi, durma oranı vb.) tarafından belirlenebilir. SIDRA'da minimum ve maksimum döngü süresi kullanıcı tarafından seçilebilir. Optimum sinyal zamanlaması, kavşağın ortalama gecikmesine göre belirlenir. İkincil ölçüler, minimum doyumluk derecesi gibi sinyal zamanlamalarını belirlemek için de kullanılabilir. Minimum, maksimum döngü süreleri kullanıcı tarafından belirlenebilir.

Döngü süreleri ve karşılık gelen ortalama gecikme, toplam araç kapasitesi, yedek kapasite, kavşağın doygunluk derecesi, durma oranı, en uzun kuyruk, performans endeksi ve maliyet, SIDRA'nın bir çıktısı olarak bir tabloda özetlenir. Bu tablo kullanılarak maksimum yedek kapasiteyi veren döngü süresi veya minimum en uzun kuyruk için döngü süresi gibi farklı bakış açıları için farklı döngü süreleri belirlenebilir. Kullanıcılar, hareket tipini tanımlayan faz sayısını ve faz sıralamasını seçebilir. SIDRA'nın gecikme modeli, tekdüze ve taşma gecikmelerine ve ayrıca kuyruğa alma sürecine dayanmaktadır.



YÖLÜM YEDİ

VERİLERİN ANALİZİ

Araştırma kapsamında değerlendirilen kavşağı benzetim programları sayesinde modellemek mümkündür. Bu benzetim programları çalışılan karayolu ağının performansını değerlendirme konusunda çalışmaya ışık tutar. Kullanımları kolaydır ancak programların güvenilir olması ve programlardan elde edilen çıktıların gerçek saha verileriyle örtüşmesi büyük önem taşır. Uygun olmayan modeller, çalışma sonuçlarının yanlış yansıtılmasına sebep olabilir. Bu nedenle, çalışma benzetim programlarında modellenirken, modeldeki parametrelerinin kalibrasyonunun hassasiyeti çok önemlidir, doğru veriler daha gerçek sonuçlara ulaşmayı sağlar.

Ulaştırma disiplinde, model parametrelerinden elde edilen değerler ile saha verilerinden elde edilen değerler arasındaki ilişkiyi kuran ve model parametrelerinin sahadaki değerlere uygun olarak ayarlanması işlemine kalibrasyon denir. Kalibrasyon modelleme yaparken gereklidir çünkü dinamik bir sisteme sahip olan trafiğin tek bir denemeyle doğru bir şekilde modellenmesi oldukça zor bir ihtimaldir. Özellikle seyahat süresi, araç özellikleri, sürücü davranışları gibi parametreler kalibrasyon işleminde yaygın olarak kullanılan parametrelerdir.

Oluşturulan modelin kesin olarak doğru ve güvenilir olduğunu ispatlamak için farklı trafik parametreleri kullanılarak yapılan işlemlere ise validasyon adı verilir. Gerçek verilere göre kalibre edilen model parametreleri, valide edilmiş metotlarla çalıştırıldığında, model güvenilir, tutarlı ve gerçeğe en yakın sonucu gösterdiğini ispatlamış olur.

Kalibrasyon ve validasyon işlemleri için kullanılan parametrelerinden biri olan GEH değeri, bu çalışma kapsamında kullanılmıştır.

GEH değeri, (Geoffrey E. Havers) İstatistiği, benzetim programında oluşturan model üstündeki akım kollarından geçen trafik hacimleri ile sahada gözlemlenen araç hacimlerinin kullanılmasıyla hesaplanmaktadır (Baş vd. 2020).

GEH analizi gerçek bir istatiksels test olmamasına rağmen birçok trafik analizinde kullanılan ve doğruluğu kanıtlanmış bir formüldür. İki veri grubunu karşılaştırmak için kullanılır. GEH değeri, bir modelin kabulü veya reddi için belirleyici faktör olarak kullanılmaktadır. Denklem, GEH değeri nin formülü yer almaktadır. Formülde yer alan Q model modeldeki hacim verilerini, Q gözlem ise sahadaki gözlem sonucu elde edilen hacim değerlerini göstermektedir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (Q_{model} - Q_{gözlem})^2}{(Q_{model} + Q_{gözlem})}} \quad (7.1)$$

GEH değeri;

0 ile 5 arasındaysa iyi bir model,

5 ile 10 arasındaysa modelin geliştirilmesi gerektiği,

10 dan büyük ise modelin kabul edilemez olduğunu gösterir.

Çalışma kapsamında, sahadan elde edilen verilerle, modelden elde edilen verilen karşılaştırılmış ve modelin tutarlılığı bahsedilen kalibrasyon yöntemleri kullanılarak ispatlanmıştır.

7.1 Benzetim Programında Oluşturulan Modelin Kalibrasyon Yöntemi

Çalışma kapsamında, Konservatuvar kavşağı için benzetim programında model oluşturulmuştur. Modelin gerçek durumu yansıtmass için tasarımının ve kavşak parametrelerinin doğru olarak sisteme girilmesi önemlidir. Bu nedenle, şerit sayısı, şerit genişliği, bağlantı noktaları, ayrılma noktalarının sisteme girişine oldukça dikkat edilmiştir.

Sahadan elde edilen veriler ile modelden elde edilen veriler karşılaştırılarak modelin gerçeği yansıtıp yansıtmadığı değerlendirilmiştir. Bunun için kalibrasyon ve validasyon işlemleri yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi araç özellikleri kullanılarak yapılmıştır.

Şekil 7.1 programdaki varsayılan değerleri, şekil 7.2 kalibre edilen değerleri göstermektedir. Şekildeki parametreler modeldeki araçların başlangıç tepki süresi kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon programı tarafından verilen tepki süreleri değiştirilerek aşağıdaki değerler kullanılmıştır.

The screenshot shows the 'Driving Behavior' window with the following parameters:

- No.: 1, Name: Urban (motorized)
- Model parameters:
 - CC0 (Standstill distance): 1,50 m
 - CC1 (Gap time distribution): 2: 0.9 s
 - CC2 ('Following' distance oscillation): 4,00 m
 - CC3 (Threshold for entering 'Following'): -8,00
 - CC4 (Negative speed difference): -0,35
 - CC5 (Positive speed difference): 0,35
 - CC6 (Distance dependency of oscillation): 11,44
 - CC7 (Oscillation acceleration): 0,25 m/s²
 - CC8 (Acceleration from standstill): 3,50 m/s²
 - CC9 (Acceleration at 80 km/h): 1,50 m/s²
- Following behavior depending on the vehicle class of the leading vehicle:

Count	1	VehClass	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult	W99cc0	W99cc1Distr	IncrsAccel
1	10	Car	2,00	2,00	3,00	1,50	2: 0.9 s	100,0 %

Şekil 7.1 Benzetim Programındaki Sürücü İçin Varsayılan Değerler

The screenshot shows the 'Driving Behavior' window with the following calibrated parameters:

- No.: 107, Name: Any (Gözlemlenen)
- Model parameters:
 - CC0 (Standstill distance): 2,00 m
 - CC1 (Gap time distribution): 103: 0.6 s
 - CC2 ('Following' distance oscillation): 0,00 m
 - CC3 (Threshold for entering 'Following'): -6,00
 - CC4 (Negative speed difference): -0,10
 - CC5 (Positive speed difference): 0,10
 - CC6 (Distance dependency of oscillation): 0,00
 - CC7 (Oscillation acceleration): 0,10 m/s²
 - CC8 (Acceleration from standstill): 4,00 m/s²
 - CC9 (Acceleration at 80 km/h): 2,00 m/s²
- Following behavior depending on the vehicle class of the leading vehicle:

Count	1	VehClass	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult	W99cc0	W99cc1Distr	IncrsAccel
1	110	Any	2,00	2,00	3,00	1,20	2: 0.9 s	110,0 %

Şekil 7.2 Benzetim Programındaki Kalibre Edilen Değerler

CC0, CC1, CC2, CC3, CC4, CC5, CC6, CC7, CC8 ve CC9 değerleri kalibre edilerek sahadaki verilere en yakın sonuçlar elde edilmiştir. Gerçeğe en yakın değerler şekil b'deki gibidir.

Sahadan elde edilen değerler ile modelden elde edilen değerleri karşılaştırmak için her yaklaşım kolundaki hacim değerleri ile modelden elde edilen hacim değerlerinin birbiriyle örtüşüp örtüşmediğini saptamak için GEH hesaplanmıştır.

Tablo 7.1 Validasyon değerleri

	VISSIM (Kavşaktan Geçen Araç Sayısı)	Saha Verileri (Kavşaktan Geçen Araç Sayısı)	GEH
Batı Yaklaşımı	18	17	0,41
Doğu Yaklaşımı	27	25	2
Kuzey Yaklaşımı	43	39	2,82

Bir saatlik gözlem verileri ile mikro simülasyon verilerinin karşılaştırılması tablo xx de verilmiştir. Kalibrasyon için seçilen parametre kavşaktan geçen araç sayısı olarak belirlenmiştir. GEH değeri batı yaklaşımı için 0,41, doğu yaklaşımı için 2, kuzey yaklaşımı için 2,82 ve güney yaklaşımı için 2,44 bulunmuştur ve GEH kriterlerine göre makul bir seviyededir ve modelin uygun olduğunu gösterir.

BÖLÜM SEKİZ

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında seçilen kavşak eski Narlıdere Dokuz Eylül Üniversitesi Konservatuvarı kavşağıdır. Kavşak, 4 kollu sinyalize bir kavşaktır. 3 faz ile yönetilmektedir.

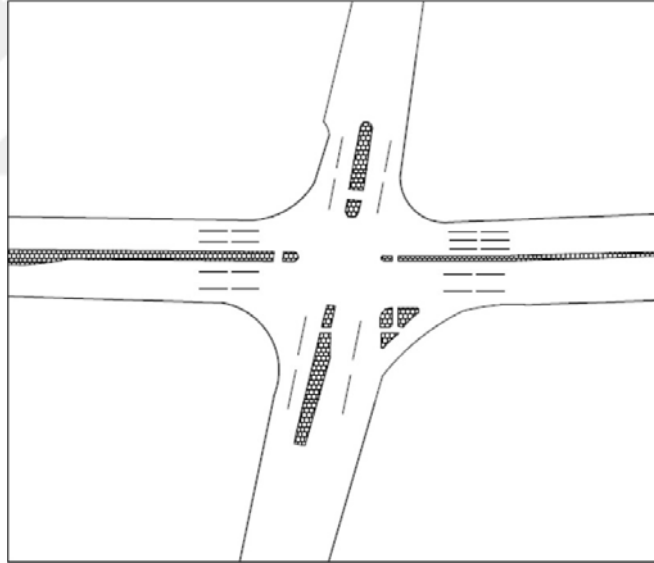
Yaklaşım kolları 3,50 metre genişliğindedir. Kavşak verileri akşam haftaiçi 19:00-20:00 zirve saatleri arasında alınmıştır. Kavşak için yeşilden sonra uygulanan sarı süre 3 saniye, kırmızıdan sonra uygulanan sarı süre 2 saniyedir. A,B,C olarak adlandırılan fazlardan A ve C fazının kırmızı süresi 70 saniye, B fazının kırmızı süresi 40 saniyedir.

Seçilen kavşaktaki gecikme, başlangıç kayıp zaman, sürücü davranışları gibi gözlemler, hem kavşaktaki bütün yaklaşım kollarını ve araçların kavşağa giriş – çıkış noktalarını gören hem de orta merkez noktasını net bir şekilde görebilen video kamera yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

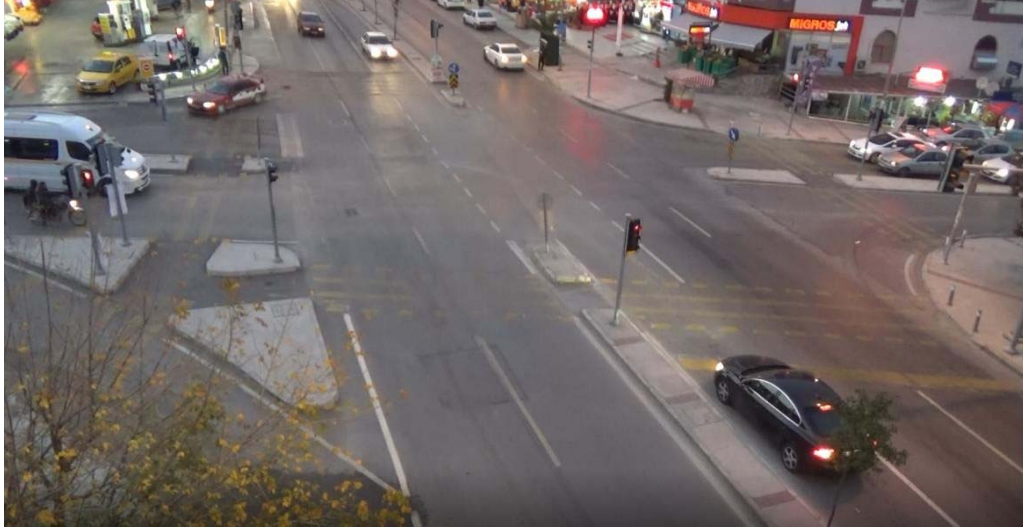
Şekil 8.1 kavşağın uydudan çekilmiş görüntüsünü göstermektedir. Şekil 8.2 kavşağın çizimini ve yaklaşım kollarındaki araçların gidiş yönünü, Şekil 8.3, verilerin alındığı kamera görüntüsünü, Şekil 8.4 ise faz planını göstermektedir.



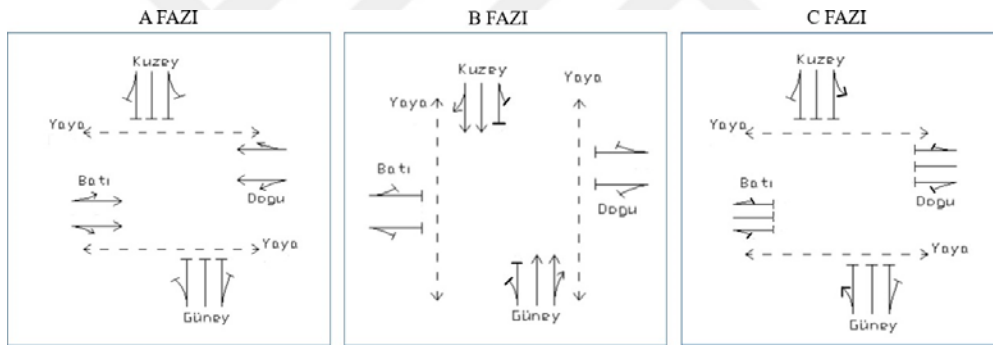
Şekil 8.1 Kavşağın uydu görüntüsü



Şekil 8.2 Kavşağın Çizimi



Şekil 8.3 Verilerin alındığı kamera görüntüsü



Şekil 8.4 Kavşaktaki fazlar

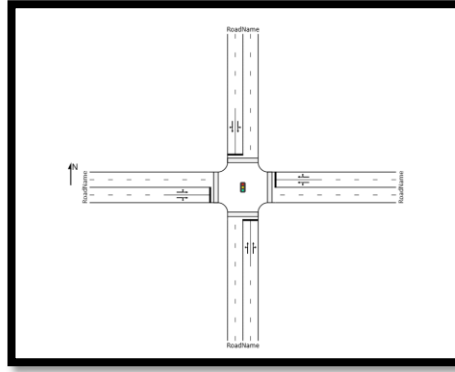
8.1 Verilerin SIDRA Programına Girilmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan senaryolar rastgele olarak oluşturulmuştur ve her bir senaryonun trafik hacmi farklı olmaktadır. Trafik sinyal sürelerini belirlerken en önemli amaç kavşağın kapasitesini arttırırken, yaşanan gecikmeleri minimuma indirmektir. Her bir senaryonun trafik hacmi farklı olduğu için doğal olarak her bir senaryodaki trafik verilerinin ihtiyaç duyduğu yeşil, sarı ve kırmızı ışık süresi de farklıdır. Eğer farklı senaryolar için aynı sinyal süreleri kullanılırsa, sürücüsüz araçların etkisini doğru bir şekilde gözlemlemek mümkün değildir. Bu çalışmanın amaçlarından biri sinyalizasyon kavşaklardaki sürücüsüz araçların etkinliğini ve kavşak kapasitesini nasıl etkilediği olduğundan, sinyal sürelerinin doğru bir şekilde sisteme girilmesi oldukça önemlidir.

SIDRA programında modeli oluştururken ilk olarak kavşak geometrisi sistemde oluşturulur. Geometrinin doğru oluşturulması, sistemin düzgün ve hatasız çalışabilmesi için büyük önem arz eder. Şekilde, çalışma kapsamında çalışılan kavşak ve SIDRA çizimi görülmektedir.



Şekil 8.5 Narlıdere Konservatuvar Kavşağının Uydu Görüntüsü



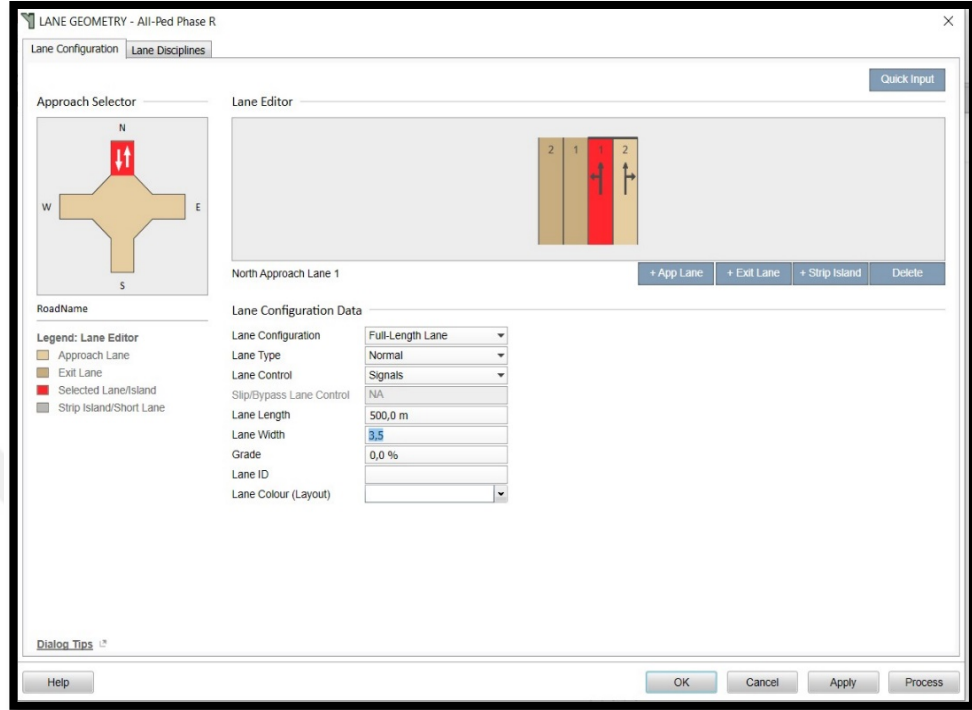
Şekil 8.6 Narlıdere Konservatuvar kavşağına ait SIDRA çizimi

Kavşak özellikleri girilirken, trafiğin sağdan aktığı ülkelerde “All-Ped Phase R” seçeneği işaretlenir.

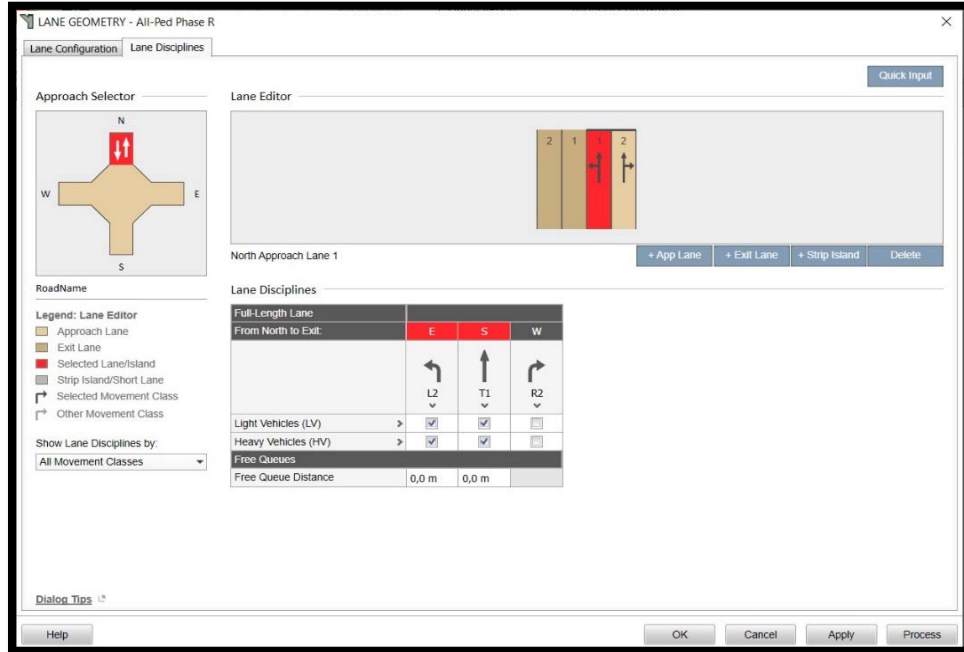
Ardından hangi yönlerde trafik akımı varsa (kuzey, güney, doğu, batı, kuzey-batı, kuzey-doğu, güneybatı, güney doğu) o yönlerdeki geometri kaç yönlüyse o şekilde sisteme tanımlanır.

Şekil 8.7 Kavşak özelliklerinin SIDRA’da tamamlandığı pencere

Kavşak kollarındaki hareketlerin (düz gidiş, sağa ve sola dönüş) olup olmadığı yaklaşım bazlı olarak sisteme girilir



Şekil 8.8 Kavşak geometrisinin SIDRA'ya tanımlandığı 1. pencere



Şekil 8.9 Kavşak geometrisinin SIDRA'ya tanımlandığı 2. pencere

LANE DATA - All-Ped Phase R

Lane Data | Flow Proportions | Lane Blockage

Quick Input

Approach Selector

Approach Lane Data

Basic Saturation Flow: 1950 tcu/h

Lane Utilisation Ratio: Program

Saturation Speed: Program

Capacity Adjustment: 15.0 %

Use Given Capacity Adjustment Value for Network Analysis

Signals

Buses Stopping: Program

Parking Manoeuvres: Program

Exclude Slip/Bypass Lane from Signal Analysis

Dialog Tips

Help OK Cancel Apply Process

Doygun akım değeri

Şerit kullanım oranı

Şekil 8.10 Doygun akım ve şerit kullanım oranlarının sisteme tanımlanması

VOLUMES - All-Ped Phase R

Vehicle Volumes | Volume Factors

Import Vehicle Volume Data Quick Input

Approach Selector

Volume Data Settings for Site

Unit Time for Volumes: 60 minutes

Peak Flow Period: 30 minutes

Volume Data Method: Separate

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From East to Exit	S	W	N
	L2	T1	R2
Total (veh) *	193	370	211
Light Vehicles (veh)	193	370	211
Heavy Vehicles (veh)	0	0	0
Input Check	OK	OK	OK

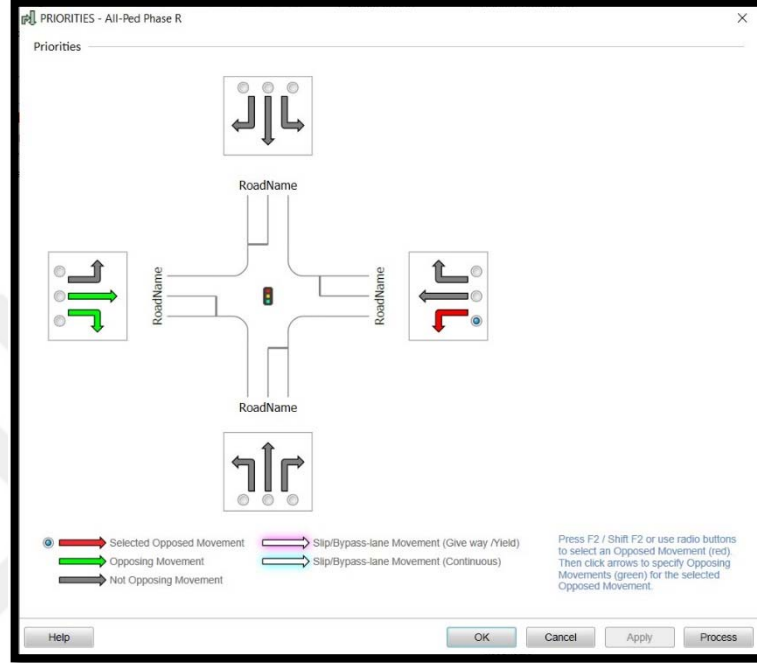
* Total (veh) values are calculated from other volumes specified

Dialog Tips

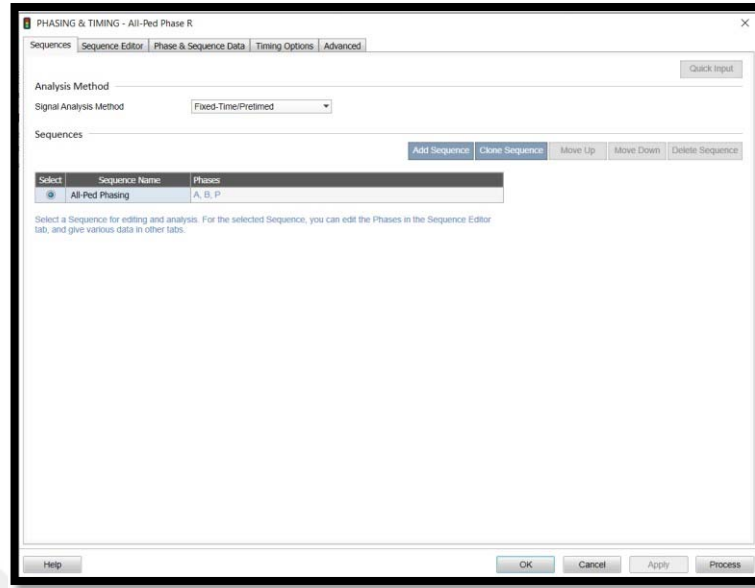
Help OK Cancel Apply Process

Şekil 8.11 Her bir yaklaşıma ait şeritlerin sola dönüş düz gidiş ve sağa dönüş hacimlerinin sisteme girilmesi

Öncelikler, hareketlerin diğer hareketlere "yol vermesi" gerektiğinde geçiş hakkını tanımlamak için kullanılır. Bu durum tipik olarak trafik sinyallerinde, sağa dönen araçlar karşıdan karşıya geçtiğinde veya sola dönüşler yayalara yol vermek zorunda kaldığında meydana gelir.

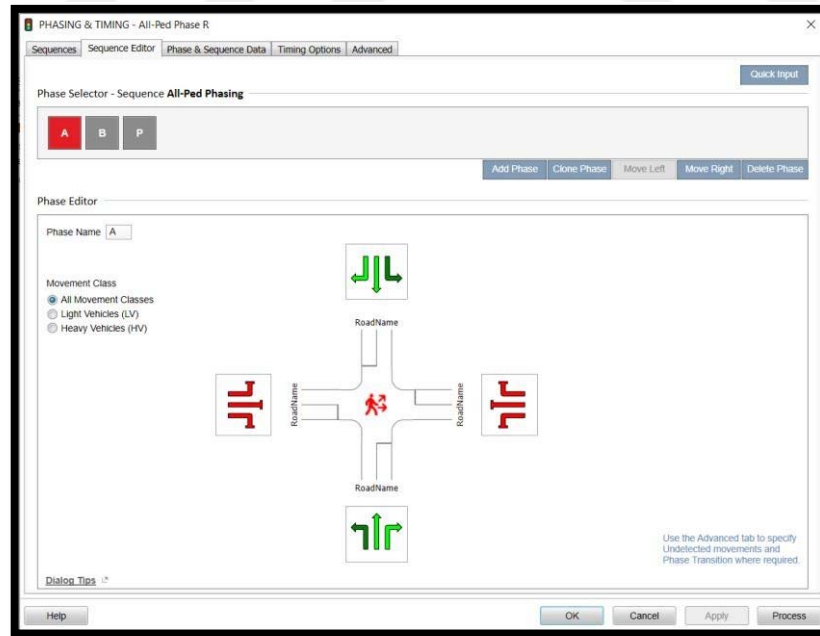


Şekil 8.12 Öncelikli Geçişlerin SIDRA'ya Girildiği Pencere



Şekil 8.13 Sinyal Faz ve Özelliklerinin Girildiği SIDRA Penceresi

Kavşağın özellikleri ve hacim değerleri girildikten sonra kavşağa ait fazlar sisteme tanımlanır. Çalışma kapsamındaki kavşak 3 faz ile yönetildiği için sisteme bu şekilde girilmiştir.



Şekil 8.14 Sinyal Fazlarının SIDRA’da girildiği pencere

Referans faz, SIDRA ağ modelinde koordine edilen fazı belirtir ve bir tane seçilmelidir.

The screenshot shows the 'PHASING & TIMING - All-Ped Phase R' dialog box with the 'Phase & Sequence Data' tab selected. The 'Sequence' is 'All-Ped Phasing'. The 'Phase Data' section contains a table with columns 'Phase', 'A', 'B', and 'P'. The 'Reference Phase' is selected for phase 'A'. The 'Phase Time (optional)' is 0 sec for all phases. The 'Yellow Time' is 3 sec for all phases. The 'All-Red Time' is 2 sec for all phases. The 'Dummy Movement Data' section has 'Dummy Movement Exists' checked for all phases. The 'Minimum Green Time' and 'Maximum Green Time' are empty. The 'Detection Data' section has 'Effective Detection Zone Length' set to 4,5 m for both Major and Minor Movements. The 'Quick Input' button is in the top right. The 'Help', 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Process' buttons are at the bottom.

Phase	A	B	P
Variable Phase	☐	☐	☐
Reference Phase	☒	☐	☐
Phase Time (optional)	0 sec	0 sec	0 sec
Yellow Time	3 sec	3 sec	3 sec
All-Red Time	2 sec	2 sec	2 sec

Dummy Movement Data	A	B	P
Dummy Movement Exists	☒	☒	☒
Minimum Green Time			
Maximum Green Time			

There must always be a phase (and only one phase) checked as the Reference Phase.
The first phase will be used as the default Reference Phase.

Detection Data

	Major Movement	Minor Movement
Effective Detection Zone Length	4,5 m	4,5 m

Şekil 8.15 Sinyal Fazlarının SIDRA’da girildiği pencere

The screenshot shows the 'PHASING & TIMING - All-Ped Phase R' dialog box with the 'Timing Options' tab selected. The 'Sequence' is 'All-Ped Phasing'. The 'Cycle Time Option' section has 'User-Given Cycle Time' selected, with a 'Cycle Time' of 100 sec. The 'Green Split Option' section has 'Green Split Priority' checked. The 'Quick Input' button is in the top right. The 'Help', 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Process' buttons are at the bottom.

Cycle Time Option

☒ Practical Cycle Time

Maximum Cycle Time: 150 sec
Cycle Rounding: 10 sec

☐ Optimum Cycle Time

Cycle Time - Lower Limit: Program
Cycle Time - Upper Limit: 150 sec
Cycle Time - Increment: 5 sec

☐ Optimum Maximum Green Settings

Scale Factor - Lower Limit: 50,0 %
Scale Factor - Upper Limit: 120,0 %
Scale Factor - Increment: 5,0 %

☒ User-Given Cycle Time

Cycle Time: 100 sec

☐ User-Given Phase Times

Green Split Option

☒ Green Split Priority

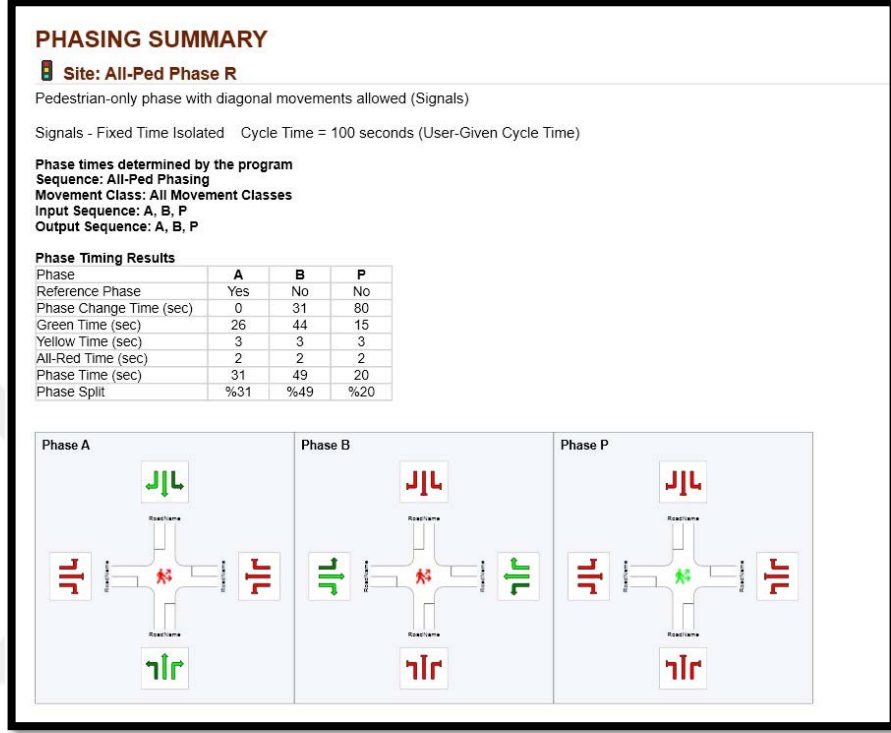
Network Cycle Time and Site Phase Times option specified for Coordinated Sites in the Network Timing dialog under the Network tab will override the Cycle Time Option specified here subject to various conditions.

If the Optimum Cycle Time option is selected when the Signal Analysis Method is Actuated (data in Sequences tab) and no Coordinated movement exists (data in the Vehicle Movement Data dialog, Signals tab), the program will apply the Practical Cycle Time option.

Optimum Maximum Green Settings option is not accessible if Signal Analysis Method is Fixed-Time / Pretimed (data in Sequences tab).

Şekil 8.16 Sinyal Optimizasyonunun Girildiği Pencere

“Gelişmiş” sekmesi, faz içerisinde tanımlanmamış ancak geçiş için izin verilen hareketleri tanımlamak için kullanılır. Örneğin aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi kuzey-güney yaklaşımına ait fazla, kuzey yönünden gelen araçlar için sola dönüş ve güney yönünden gelen araçlar için sola dönüş hareketi örnek verilebilir.



Şekil 8.17 Sinyal Sürelerinin Elde Edildiği Pencere

Sistem, kavşağa ait tüm veriler girildikten sonra “process” edilerek sonuçları çıktı olarak sunar.

50 farklı trafik hacmine sahip 50 farklı trafik senaryosu SIDRA yazılımına girilerek elde edilen 50 farklı sinyal süreleri VISSIM programına girmeye hazırdır.

8.2 Verilerin VISSIM'e Girilmesi

Bir önceki bölümlerde de belirtildiği gibi trafik akım karakteristiklerini modelleyen birçok simülasyon programı vardır ve bu çalışma kapsamında, sürücüsüz araçların da katıldığı karma trafik ortamını modelleyebildiği için VISSIM Mikrosimülasyon Programı kullanılmıştır.

Sürücüsüz araçlar ve geleneksel araçlarla ilgili değerler literatürlerden ve sahalardan toplanmıştır.

Trafik akımının daha iyi modellenebilmesi ve sürücüsüz araçların trafik akımı içerisindeki etkisini daha doğru bir şekilde ortaya koyabilmek için VISSIM programına tanımlanmış değişkenler şu şekildedir:

Sürücüsüz araçların penetrasyon oranı / Geleneksel (sürücülü) araçların penetrasyon oranı

Sistem içerisindeki toplam araç sayısı

Sinyal Süreleri

Ayrıca, geleneksel araçlarla, sürücüsüz araçlar arasındaki ayrımı belirleyen bazı değişkenler vardır. VISSIM yazılımındaki bu değişkenler şu şekildedir:

Minumum mesafe

Hareketsiz durma mesafesi

Yanal minumum mesafe

Gözlemlenen araç sayısı

Minumum Mesafe (Minumum Headway)

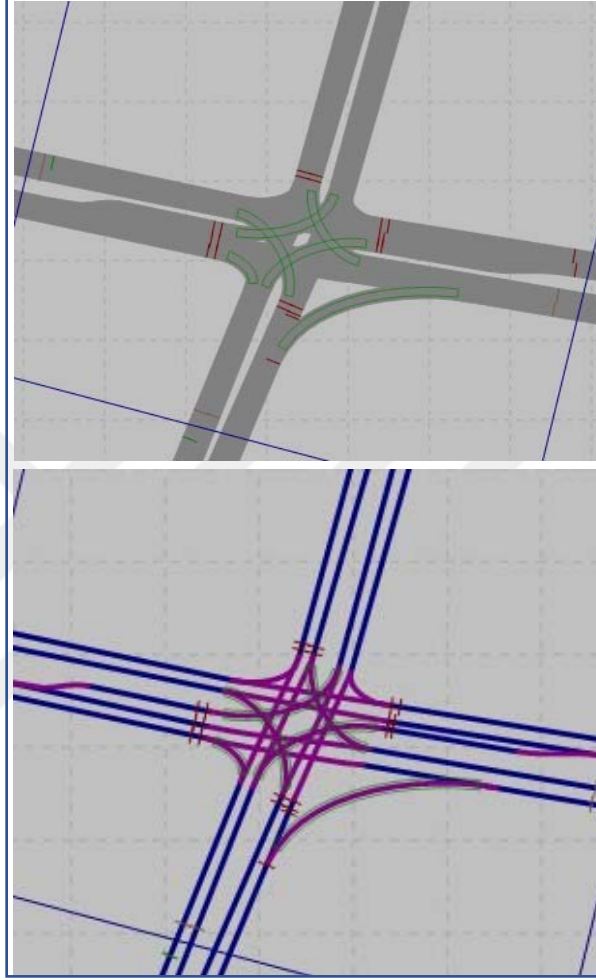
Birbirini takip eden iki araç arasındaki minumum mesafedir. Metre cinsinden ifade edilir.

Hareketsiz Durma Mesafesi (Stand Still Distance)

Ardışık duran araçlar arasında arka tampon ve ön tampon mesafesidir. Metre cinsinden ifade edilir.

Yanal Minumum Mesafe (Lateral Minumum Distance)

Şerit içinde sollama yaparken ve bitişik şeritlerdeki araçlara olan mesafeyi korurken araçlar arasındaki minumum mesafedir. Metre cinsinden ifade edilir.



Şekil 8.18 Kavşağın VISSIM’de çizimi

Kavşak geometrisinin, birleşme, ayrılma ve çakışma noktalarının doğru girilmesi, elde edilecek sonuçların güvenilirliği nedeniyle çok önemlidir. Kavşak tasarımı tamamlandıktan sonra sürücü davranışları sisteme entegre edilir.

Geleneksel araçların davranışını incelemek için kavşağın kamerayla videosu kaydedilmiştir.

Yapılan gözlemlere göre sisteme girilen geleneksel araç verileri şu şekildedir:

Driving Behavior

No: 1 Name: Sürücü Davranışı

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Autonomous Driving Driver Errors Meso

Desired position at free flow: Any

☐ Observe adjacent lane(s)

☐ Diamond queuing

☐ Consider next turn

Collision time gain: 2,00 s

Minimum longitudinal speed: 3,60 km/h

Time between direction changes: 0 s

Default behavior when overtaking vehicles on the same lane or on adjacent lanes

Overtake on same lane

☐ Overtake left (default) Distance standing: 0,20 m at 0 km/h

☐ Overtake right (default) Distance driving: 1,00 m at 50 km/h

Exceptions for overtaking vehicles of the following vehicle classes:

Count	VehClass	OvtL	OvtR	LatDistStand	LatDistDrive
1	10: Car	☐	☐	1,00	1,00

OK Cancel

Şekil 8.19 Sürüş Davranışlarının VISSIM'e girilmesi

Gözlem sonucunda araçların şerit içindeki konumunun düzenli olmadığı gözlemlenmiştir. O yüzden akış içerisindeki durumu “any” olarak işaretlenmiştir.

8.3 Sürücüsüz Araçların VISSIM Programına Entegrasyonu

Sürücüsüz araçlar farklı otomasyon seviyelerine, farklı otomasyon fonksiyonlarına, farklı sensör ekipmanlarına ve farklı sürüş mantıklarına sahip olabilir. Otonom araçları modelleme tekniği, seçilecek olan otonom araç seviyesine göre farklılık gösterir.

Literatürde otonom araç varsayımları ile ilgili birçok çalışma vardır. Bu çalışma kapsamında, CoExist projesinin, en son otomasyona sahip otonom araçlar için kullandığı otonom araç parametreleri kullanılmıştır. Bunun sebebi, otonom araçlarla, geleneksel sürücülü araçlar arasındaki farkı daha net görebilmektir. CoExist, otonom ve geleneksel araçların şehirlerarası yollarda bir arada bulunacağı, geçiş aşamasını hazırlamayı amaçlayan bir Avrupa projesidir.

VISSIM ekranlarında sarı ile işaretlenmiş olan parametreler, otonom araç için değiştirilen parametrelerdir.

Aşağıdaki şekilde tam otomasyona sahip, sürücüsüz bir aracın sürüş davranışlarını modellerken VISSIM sistemine girişi gösterilmektedir.

Driving Behavior

No.: 103 Name: AV_allknowing (CoEXist)

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Meso

General behavior: Free lane selection

Necessary lane change (route)

	Own	Trailing vehicle
Maximum deceleration:	-4.00 m/s ²	-4.00 m/s ²
- 1 m/s ² per distance:	100.00 m	100.00 m
Accepted deceleration:	-1.00 m/s ²	-1.50 m/s ²

Waiting time before diffusion: 60.00 s

Min. net headway (front to rear): 0.50 m

To slower lane if collision time is above: 11.00 s

Safety distance reduction factor: 0.75

Maximum deceleration for cooperative braking: -6.00 m/s²

☒ Cooperative lane change

Maximum speed difference: 10.80 km/h

Maximum collision time: 10.00 s

☐ Rear correction of lateral position

Maximum speed: 3.00 km/h

Active during time period from 1.00 s until 10.00 s after lane change start

☐ Overtake reduced speed areas

☒ Advanced merging

☒ Vehicle routing decisions look ahead

OK Cancel

Şekil 8.20 VISSIM’de gelişmiş birleştirme ve ortak şerit değiştirme parametrelerinin vurgulandığı VISSIM penceresi

Otonom araçlar için toplanan saha verilerinden elde edilen sonuçlar şunları göstermiştir:

Geleneksel araçlar ile otonom araçlar arasındaki takip mesafesi ve hız arasında doğrusal bir ilişki vardır.

İki otonom aracın takip mesafeleri arasında doğrusal deterministik bir ilişki vardır.

Otonom araçların araç takibi sırasındaki salınımları küçük ve insan sürücülerine göre çok az değişiklik gösterir.

Otonom araçların sürüş davranışları 4 temel şekilde tanımlanmıştır. Bunlar, güvenli, dikkatli, normal ve her şeyi bilen olarak adlandırılır. Wiedemann 99 araba modelinin değiştirilmiş versiyonlarını içerirler.

Bu tez kapsamında seçilen otonom aracın sürüş davranışı her şeyi bilen olarak seçilmiştir. Bu sürüş davranışına sahip araçlar, tüm manevra ve durumlar için daha küçük boşluklar kullanır, tahmin yetenekleri daha gelişmiştir ve diğer otonom araçlarla işbirliği içinde seyahatlerini sürdürebilirler.

8.3.1. Otonom Araç Fonksiyonları

Otonom araçların insan sürücülerine gibi stokastik değil, deterministik davranması beklenir. Bu davranışın, hızlanma ve yavaşlama davranışı üzerinde etkileri olabilir. Bu varsayıma göre aşağıda değerlerin otonom araçlar için farklılık göstermesi gerekir. Bunlar:

İstenen hızlanma

İstenen yavaşlama,

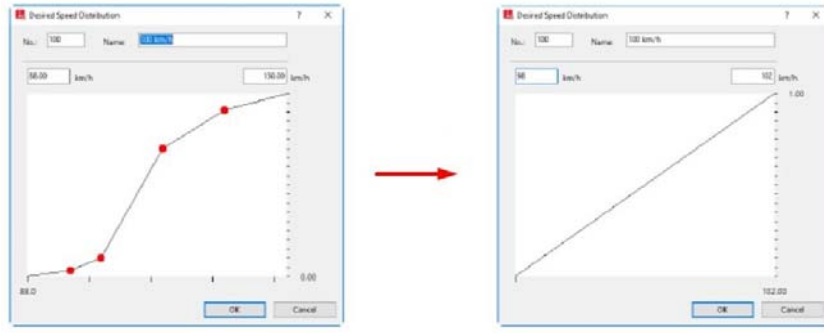
Maksimum Hızlanma,

Maksimum Yavaşlama'dır.

8.3.2. Hız

Hız dağılım fonksiyonu, seyahat süresi ve kapasite üzerinde etkili bir parametredir. İnsan sürücülerinde, hızlarda geniş bir dağılım gözlemlenebilir. Bununla birlikte, otonom araçlar hız sınırlarına uyarak seyahatlerini sürdürdükleri için çok daha düşük bir yayılma gösterirler. Bu nedenle otonom araçlar, geleneksel araçlara göre farklı hız dağılımı elde ederler.

Şekil, otonom araçların hız dağılımının VISSIM'deki girişini göstermektedir.



Şekil 8.21 İstenen hız dağılımının otonom araç davranışına göre değiştirilmesi

8.4 Sürüş Davranışları

Otonom araçların sürüş davranışlarını değiştirirken sarı ile işaretlenmiş kısımlara odaklanılır.

Şekil 8.22 Otonom araçlar için değiştirildiği sarı ile vurgulanan sürüş davranışı

Mutlak Fren Mesafesi (Absolute Braking Distance) özelliğinin işaretlenmesi, bu sürüş davranışını kullanan araçların, öndeki araçların ani fren yapması durumunda bile çarpışma olmadan fren yapabileceklerini gösterir.

Örtülü stokastik kullanma özelliği (Use Implicit Stochastics) işaretli oluşuyla otonom araç aşağıdaki değerlerin rastgele olmasından ziyade ortanca değerler kullanır.

Etkileşilen nesne sayısı (Number of Interaction Objects) araçlara ve çevredeki diğer olgular, bunlar işaretler, kurallar, kırmızı ışık dahildir.

Etkileşim araçlarının sayısı (Number of Interaction Vehicles) yalnızca gerçek araçları ifade eder.

Sürüş davranışları penceresinin içinde bulunan “Araç Sınıfı Takip Davranışı” sekmesi istenen güvenlik mesafesini öndeki aracın türüne göre belirtebilir. VISSIM’e şu şekilde girilmiştir:

Driving Behavior

No.: 103 Name: AV_allknowing

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Meso

Wiedemann 99

Model parameters

CC0 (Standstill Distance):	1.00 m	CC5 (Positive 'Following' Threshold):	0.10
CC1 (Headway Time):	103: 0.5 s	CC6 (Speed dependency of Oscillation):	0.00
CC2 ('Following' Variation):	0.00 m	CC7 (Oscillation Acceleration):	0.10 m/s ²
CC3 (Threshold for Entering 'Following'):	-6.00	CC8 (Standstill Acceleration):	4.00 m/s ²
CC4 (Negative 'Following' Threshold):	-0.10	CC9 (Acceleration with 80 km/h):	2.00 m/s ²

Following behavior depending on the vehicle class of the leading vehicle:

Count: 2	VehClass	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult	W99cc0	W99cc1Distr
1	10: Car	2.00	2.00	3.00	1.20	2: 0.9 s
2	60: Bike	2.00	2.00	3.00	1.50	104: 1.2 s

Şekil 8.23 Öndeki aracın araç sınıfına bağlı olarak farklı yol ayarı örneği

Driving Behaviors / Vehicle Class Following Behaviors									
Select layout...									
Count	No	Name	NumInteractObj	StandDist	CarFollowModelType	W74bW	Count	W74bW	W74bWAdd
1	1	Urban (motorized)	4	☐	0.5G Wiedemann 74	2	1	Car	2.00
2	2	Rightside rule (motorized)	2	☐	0.5G Wiedemann 99	2	2	Bike	2.00
3	3	Freeway (free lane selection)	2	☐	0.5G Wiedemann 99	2			3.00
4	4	Footpath (no interaction)	2	☐	0.5G No interaction	2			1.00
5	5	Cycle-Track (free overtaking)	2	☐	0.5G Wiedemann 99	2			102.13 s
6	101	AV_cautious (CoEKit)	2	☐	0.5G Wiedemann 99	2			100.0 %
7	102	AV_normal (CoEKit)	2	☐	0.5G Wiedemann 99	2			
8	103	AV_allknowing (CoEKit)	10	☐	0.5G Wiedemann 99	2			

Şekil 8.24 İstenen güvenlik mesafesini etkileyen bazı parametre değerlerinin lideraracın araç sınıfına göre belirlenebildiği araç sınıfı takip davranışı listesi

8.4.1 Artan Hızlanma

Normal insan davranışı, öndeki aracın hareketlerini tahmin edemez, bu nedenle VISSIM’de tanımlanan geleneksel sürücülü araçlar, öndeki giden araç hızlanırken geride kalma eğilimdedir. Ancak, otonom araçların, arabadan-arabaya bağlantı kurabildiği varsayımı yapıldığı için, öndeki aracı daha küçük mesafelerle takip edebilir.

8.4.2 Takip Davranışları

Otonom araçların deterministik davranışı ve çok daha küçük yapması nedeniyle,

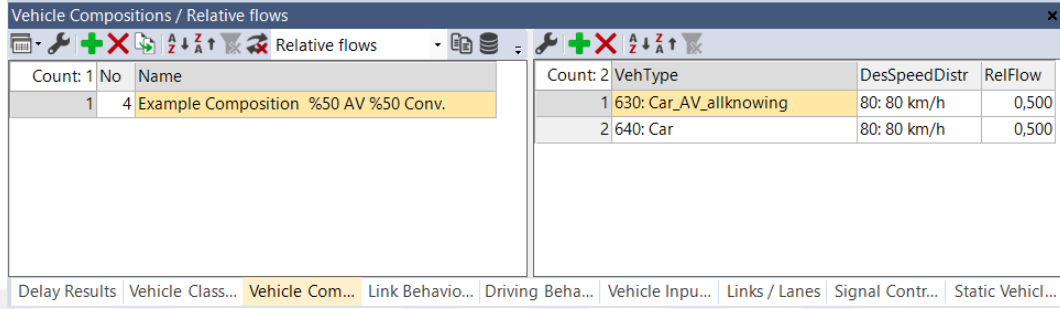
- CC2 sifıra kadar düşürülebilir,
- CC4 ve CC5 önemli ölçüde azaltılabilir,
- CC6 sifıra kadar düşürülebilir.

8.4.3 Sinyal Kontrol Davranışı

Sinyal kontrol davranışı için güvenlik mesafesi faktörünün doğru bir şekilde tanımlanması önemlidir. Bu parametre varsayılan olarak 0,6 olarak ayarlanmıştır. Otonom araçlar için, bu faktör 1 olarak ayarlanır.

8.4.4 Trafik Kompozisyonu

Otonom araçlar sisteme tanımlandıktan sonra her bir senaryo için 5 farklı trafik kompozisyonu oluşturulur. Bu kompozisyonlar, %0 - %25 - %50 - %75 - %100 otonom araç oranındaki durumlardır.



Count: 1	No	Name
1	4	Example Composition %50 AV %50 Conv.

Count: 2	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	630: Car_AV_allknowing	80: 80 km/h	0,500
2	640: Car	80: 80 km/h	0,500

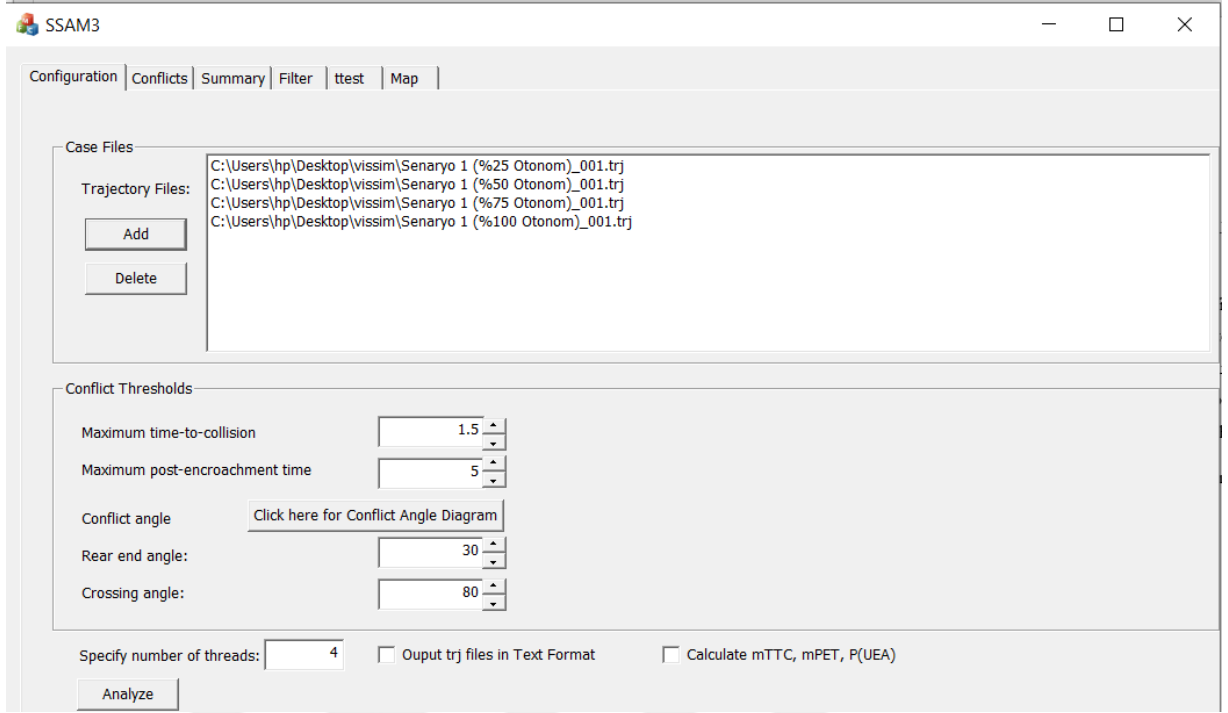
Şekil 8.25 Trafik Kompozisyonunun Oluşturulması

8.5 SSAM (Surrogate Safety Assessment Model)

Farklı otonom araç oranlarının ve farklı trafik hacimlerinin güvenlik üzerindeki etkisini gözlemlemek için SSAM programı kullanılmıştır.

Vekil Güvenlik Değerlendirme Modeli (SSAM), mikroskobik trafik simülasyon modellerinden araç yörünge verilerinin çıktısındaki trafik çatışmalarını otomatik olarak tanımlamak, sınıflandırmak ve değerlendirmek için geliştirilmiş bir yazılım uygulamasıdır. SSAM ayrıca, güvenli trafik tesislerinin tasarımında analistlere yardımcı olabilecek çatışma sıklığı ve şiddeti ölçümleri için yerleşik istatistiksel analiz özelliklerine de sahiptir.

VISSIM programından elde edilen her bir senaryonun yörünge çıktıları SSAM programına girilerek güvenlik analizi yapılmıştır.



Şekil 8.26 VISSIM yörünge verilerinin SSAM programına entegrasyonu

8.6 Senaryoların Oluşturulması

Gerçek veriler göz önünde bulundurularak 20 farklı trafik hacimleriyle 20 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar oluşturulurken, kavşağın mevcut durumundaki yaklaşım kollarından geçen araç sayılarının oranı bozulmayacak şekilde hacimler dağıtılmıştır. Tablo 7 de oluşturulan 20 farklı senaryo gösterilmiştir.

1. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	541	177	155	873
Batı Yaklaşımı	382	140	71	593
Kuzey Yaklaşımı	533	154	123	810
Güney Yaklaşımı	296	233	74	603

2. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	522	206	72	800
Batı Yaklaşımı	548	296	118	953
Kuzey Yaklaşımı	505	182	69	756
Güney Yaklaşımı	521	247	74	842

3. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	281	252	98	631
Batı Yaklaşımı	213	104	109	426
Kuzey Yaklaşımı	467	289	50	806
Güney Yaklaşımı	270	248	196	714

4. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	481	202	181	864
Batı Yaklaşımı	418	264	79	761
Kuzey Yaklaşımı	224	211	144	579
Güney Yaklaşımı	214	263	86	563

5. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	355	206	181	742
Batı Yaklaşımı	433	118	191	742
Kuzey Yaklaşımı	324	270	114	708
Güney Yaklaşımı	502	174	79	755

6. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	571	181	67	819
Batı Yaklaşımı	296	167	82	545
Kuzey Yaklaşımı	313	102	69	484
Güney Yaklaşımı	506	159	143	808

7. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	542	169	65	776
Batı Yaklaşımı	552	256	64	872
Kuzey Yaklaşımı	531	235	139	905
Güney Yaklaşımı	532	292	140	964

8. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	384	285	106	775
Batı Yaklaşımı	355	261	192	808
Kuzey Yaklaşımı	332	160	158	650
Güney Yaklaşımı	238	133	116	487

9. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	223	242	175	640
Batı Yaklaşımı	512	126	174	813
Kuzey Yaklaşımı	319	240	94	653
Güney Yaklaşımı	231	292	75	598

10. Senaryo				
Yaklaşım	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	461	139	193	793
Batı Yaklaşımı	216	292	69	577
Kuzey Yaklaşımı	247	280	170	697
Güney Yaklaşımı	262	147	152	561

Şekil 8.27 Senaryolar

BÖLÜM DOKUZ

SONUÇLAR

Tez kapsamında, sürücüsüz araçların sinyalize kavşaklardaki etkisi performans ve güvenlik açısından değerlendirilmeye çalışılmıştır. VISSIM, SIDRA ve SSAM programları analizleri elde etmek için tercih edilmiştir. Analizler kapsamında, incelenen sinyalize kavşağın mevcut hacim verileriyle performansı belirlenmiş, ardından oluşturulan 20 farklı senaryo her bir yaklaşım kolundaki hacim değerinin sırasıyla sürücüsüz araç penetrasyon oranı %0, %25, %50, %75 ve %100 olacak şekilde sistem çalıştırılmıştır. Performans ölçütleri olarak;

- Kuyruk uzunluğu
- Seyahat Süresi
- Gecikme değerleri alınmıştır.

Bu bölümde 10 farklı hacim değerine sahip senaryonun, sürücüsüz araç oranı %0, %25, %50, %75 ve %100 olduğunda elde edilen performans ve güvenlik değerleri karşılaştırılmıştır.

9.1 Senaryo 1 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

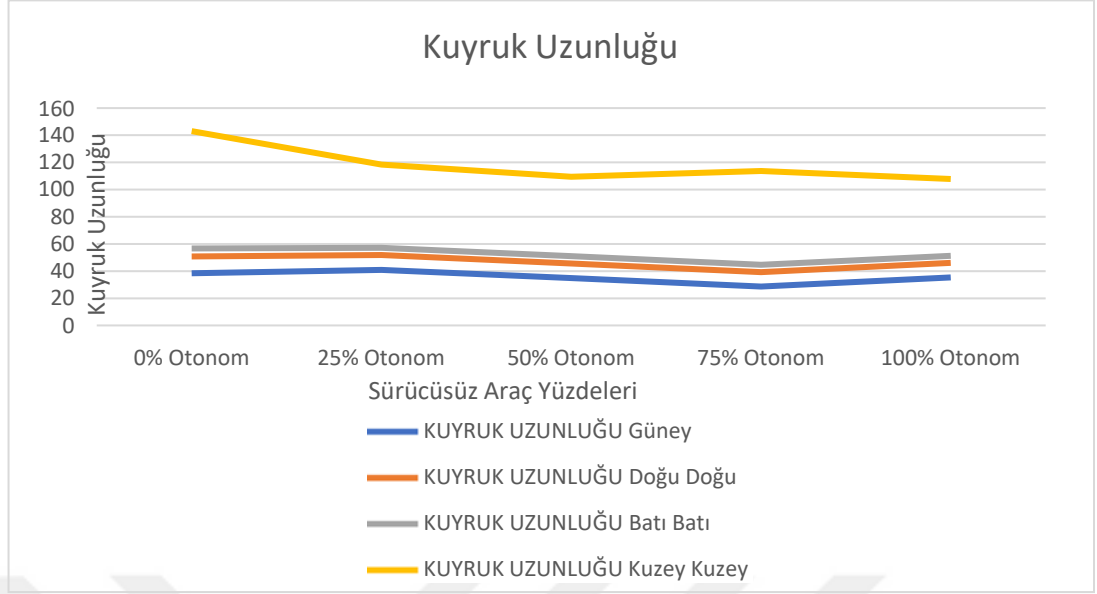
Şekil 9.1 Senaryo 1 hacim değerlerini göstermektedir.

1. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	541	177	155	873
Batı Yaklaşımı	382	140	71	593
Kuzey Yaklaşımı	533	154	123	810
Güney Yaklaşımı	296	233	74	603

Şekil 9.1 Senaryo 1 Hacim Değerleri

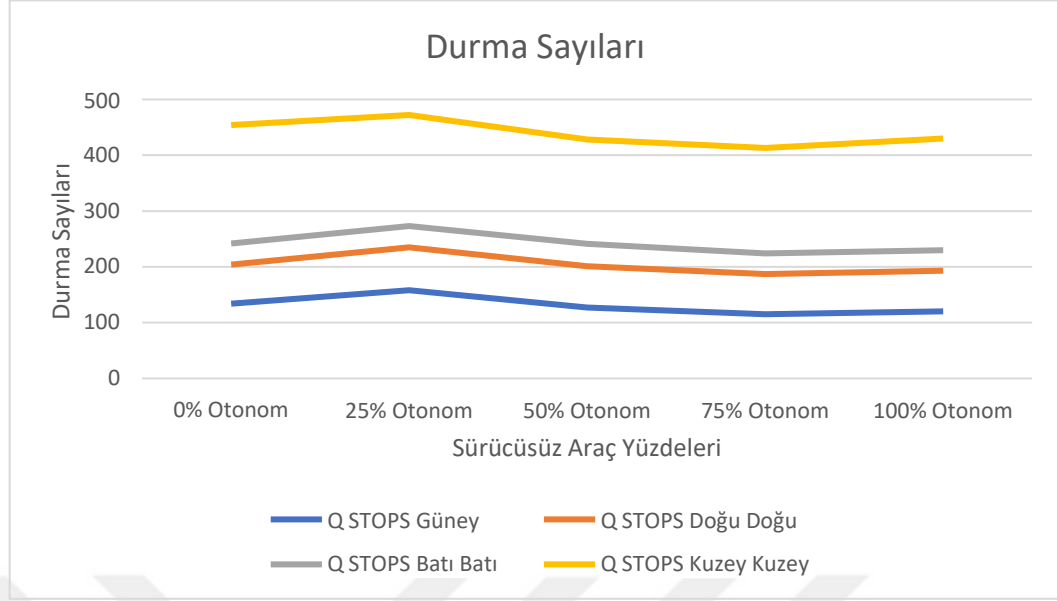
Tablo 9.1 Senaryo 1 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 1 Kuyruk Uzunluğu ve Durma Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	38,59	12,18	5,88	86,39
	%25 Otonom	40,99	10,81	5,43	61,27
	%50 Otonom	34,99	10,66	5,32	58,49
	%75 Otonom	28,73	10,52	5,34	69,11
	%100 Otonom	35,59	10,45	5,2	56,68
Q len max	%0 Otonom	85,16	45,45	21,1	142,37
	%25 Otonom	87,03	35,3	20,61	107,86
	%50 Otonom	61,25	34,34	24,15	103,21
	%75 Otonom	65,65	33,46	20,63	123,43
	%100 Otonom	65,32	33,04	19,01	104,15
Q stops	%0 Otonom	134	70	38	212
	%25 Otonom	158	77	38	199
	%50 Otonom	127	74	40	187
	%75 Otonom	115	72	37	189
	%100 Otonom	120	73	37	200



Şekil 9.2 Senaryo 1 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.2 kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Modelde, güney yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle (%25 sürücüsüz araç), kuyruk uzunluğunda yaklaşık %5’lik bir artış gözlemlenmiştir. Ancak sürücüsüz araçların sistemdeki etkinliği arttıkça kuyruk uzunluğu azalmıştır. Güney yaklaşımında en düşük kuyruk uzunluğu %75 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Doğu, batı ve kuzey yaklaşımında en düşük kuyruk uzunluğu %100 otonom araç varlığında gerçekleşmiştir.

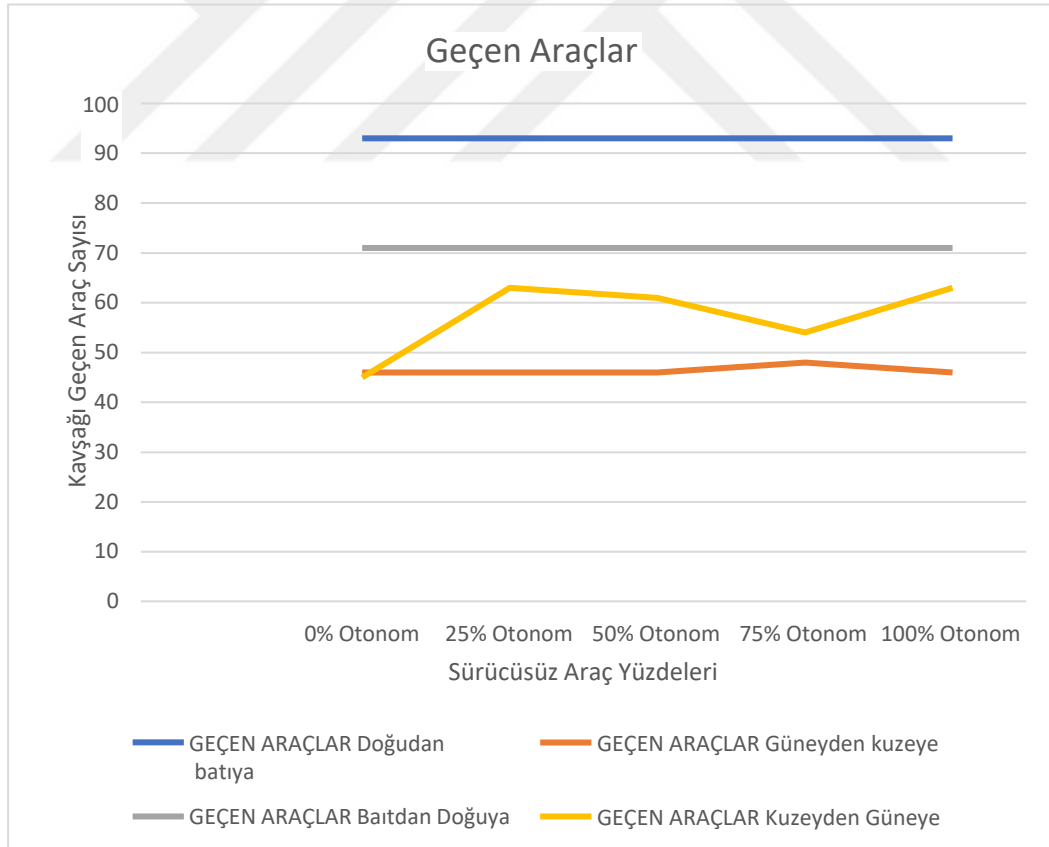


Şekil 9.3 Senaryo 1 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.3 Senaryo 1 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney ve Doğu yaklaşımında sürücüsüz araç oranı %0'dan %25'e çıktığında durma sayılarında az da olsa bir artış görülmüştür. Batı yaklaşımında herhangi bir değişim olmazken, kuzey yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle durma sayıları azalmıştır. %50 sürücüsüz araç varlığında Güney, Doğu ve Kuzey yaklaşımlarında azalma görülürken, batı yaklaşımında artış görülmüştür. %75 sürücüsüz araç varlığı Güney, Doğu ve Batı yaklaşımlarındaki durma sayılarında azalmaya sebep olurken, Kuzey yaklaşımında küçük bir artmaya sebep olmuştur. Sistem tamamen sürücüsüz araçlarla çalıştırıldığında, Güney, Batı ve Kuzey yaklaşımları, %0 sürücüsüz araç varlığındaki senaryoya göre durma sayılarında azalma yaşarken, Doğu yaklaşımında 70'den 73'e çıkarak %4'lük bir artış olmuştur. Kavşak bir bütün olarak değerlendirildiğinde, tüm kavşaktaki durma sayılarının en az olduğu senaryo %75 sürücüsüz araç varlığındaki senaryodur.

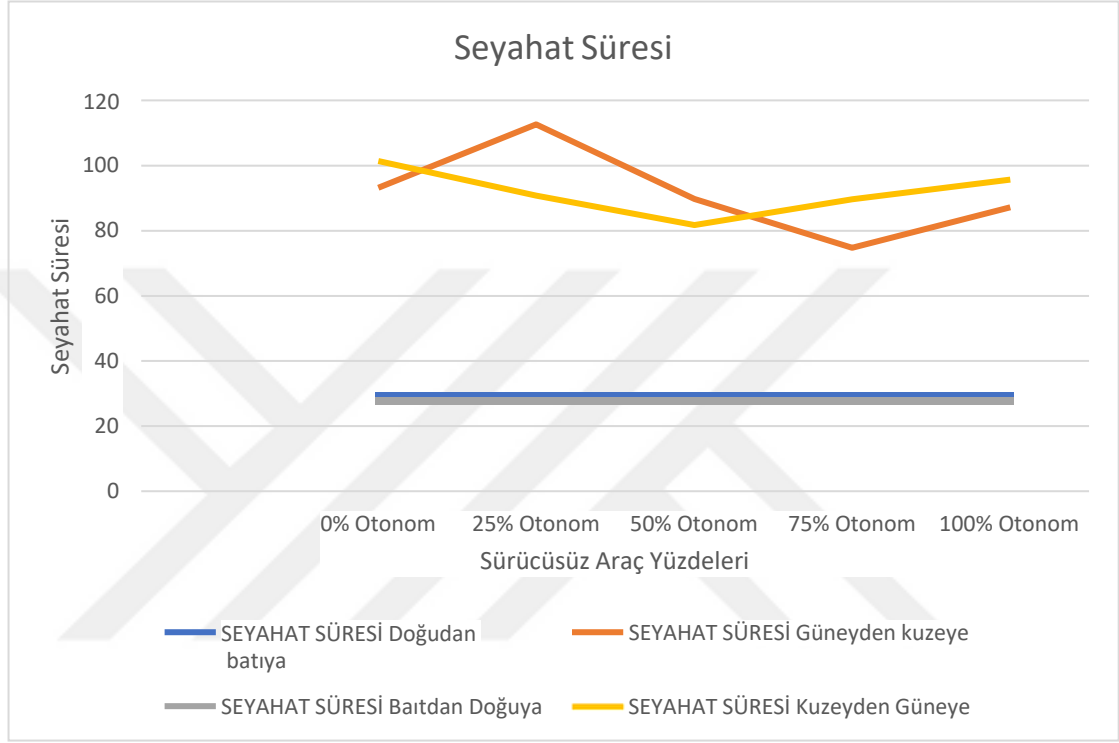
Tablo 9.2 Senaryo 1 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 1 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	93	46	71	45
	%25 Otonom	93	46	71	63
	%50 Otonom	93	46	71	61
	%75 Otonom	93	48	71	54
	%100 Otonom	93	46	71	63
Travel Time (All)	0% Otonom	29,47	93,17	27,95	101,42
	%25 Otonom	29,19	112,68	27,69	90,83
	%50 Otonom	29,15	89,7	27,7	81,74
	%75 Otonom	28,96	74,75	27,8	89,66
	%100 Otonom	29,11	87,15	27,66	95,75



Şekil 9.4 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Sürücüsüz araç varlığı, kavşaktan geçen araç sayısında dramatik bir etki yaratmamıştır. Ancak kuzey yaklaşımında kavşaktan geçen araç sayısı %100 sürücüsüz araç varlığında, %0 sürücüsüz araç varlığına göre, %28 artış göstermiştir. Tüm kavşak ele alındığında ortalama araç geçişinin en yüksek olduğu senaryo %25 ve %100 sürücüsüz araç varlığındaki senaryodur.

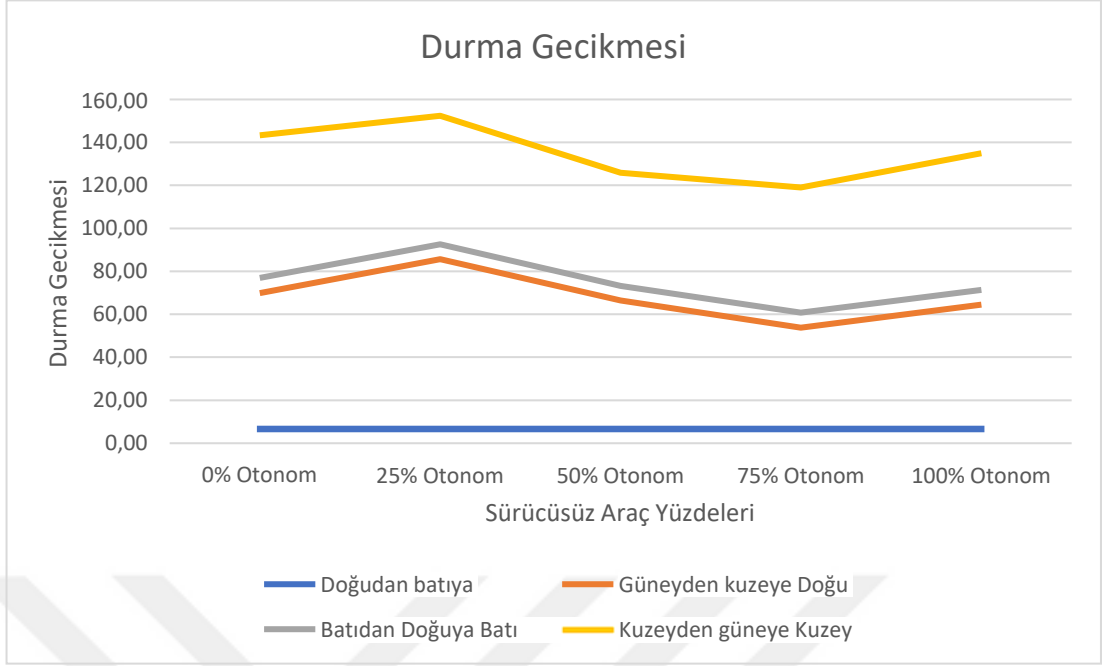


Şekil 9.5 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.5 Senaryo 1'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Güney yaklaşımında en düşük seyahat süresinin olduğu senaryo %75 otonom varlığında gerçekleşirken Batı yaklaşımı en düşük seyahat süresi değerini %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleştirmiştir. Kuzey yaklaşımında ise en düşük seyahat süresi değeri %50 sürücüsüz araç durumunda görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında ortalama en düşük seyahat süresi verisinin model üzerinden gözlemlendiği durum %75 sürücüsüz araç senaryosudur.

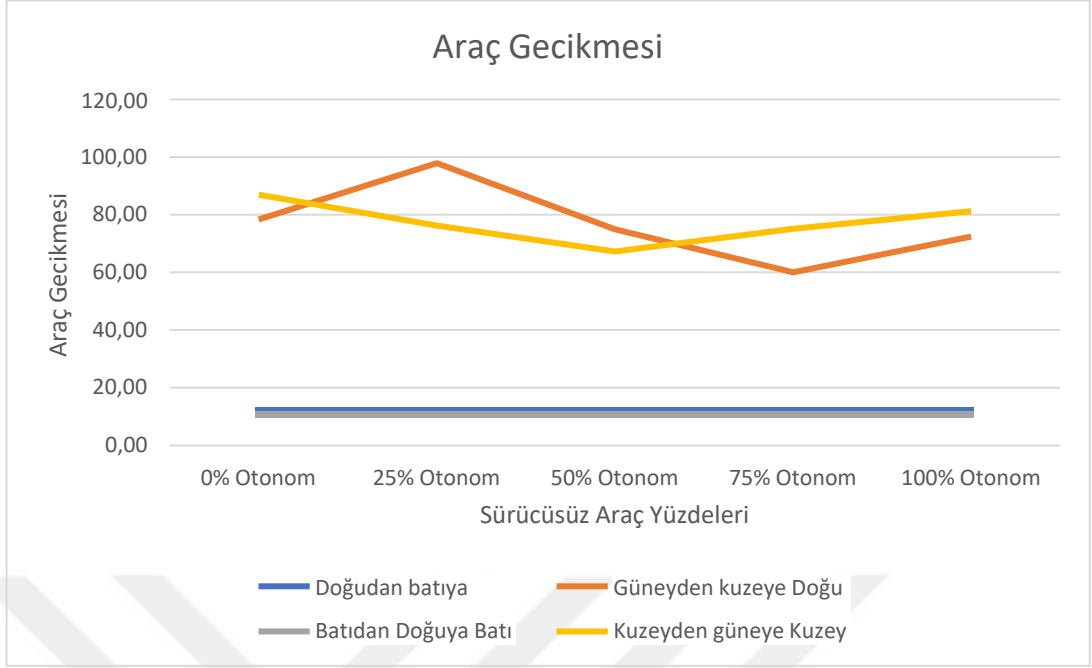
Tablo 9.3 Senaryo 1 Gecikme Değerleri

SENARYO 1 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	6,82	63,01	7,00	66,48
	%25 Otonom	6,60	79,07	6,83	59,86
	%50 Otonom	6,63	59,79	6,69	52,78
	%75 Otonom	6,57	47,19	6,98	58,29
	%100 Otonom	6,57	57,96	6,82	63,56
Stops (All)	%0 Otonom	0,44	2,48	0,30	4,73
	%25 Otonom	0,49	4,48	0,28	4,65
	%50 Otonom	0,53	3,63	0,32	4,08
	%75 Otonom	0,46	2,48	0,30	5,02
	%100 Otonom	0,46	3,33	0,31	5,60
VehDelay (All)	%0 Otonom	12,00	78,39	10,75	86,94
	%25 Otonom	11,73	97,88	10,49	76,29
	%50 Otonom	11,68	74,92	10,51	67,23
	%75 Otonom	11,49	59,98	10,61	75,17
	%100 Otonom	11,64	72,39	10,47	81,22
Vehs (All)	%0 Otonom	93	46	71	45
	%25 Otonom	96	46	71	63
	%50 Otonom	93	46	71	61
	%75 Otonom	93	48	71	54
	%100 Otonom	93	46	71	63



Şekil 9.6 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.6 Durma gecikmesi ile sürücüsüz Araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Doğu yaklaşımının %75 ve %100 sürücüsüz araç varlığındaki durma gecikmesi süresi aynı olup bu süre en düşük durma gecikmesinin yaşandığı süredir. En düşük durma gecikmesi süresi güney yaklaşımında %75 sürücüsüz araç senaryosunda, Batı yaklaşımında %100 Sürücüsüz araç senaryosunda, Kuzey yaklaşımında ise %50 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, ortalama en düşük durma gecikmesi süresi %75 sürücüsüz araç senaryosunda olmuştur.



Şekil 9.7 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.7 araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve batı yaklaşımlarındaki araç gecikmelerinin sürücüsüz araç varlığından dramatik bir şekilde etkilendiği söylenemez. Doğu yaklaşımı en düşük araç gecikmesini %75 sürücüsüz araç varlığında yaşarken, güney yaklaşımı %75, batı yaklaşımı %100 ve kuzey yaklaşımı %50 sürücüsüz araç varlığında yaşamıştır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesi %75 sürücüsüz araç senaryosunda gerçekleşmiştir.

9.2 Senaryo 1 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

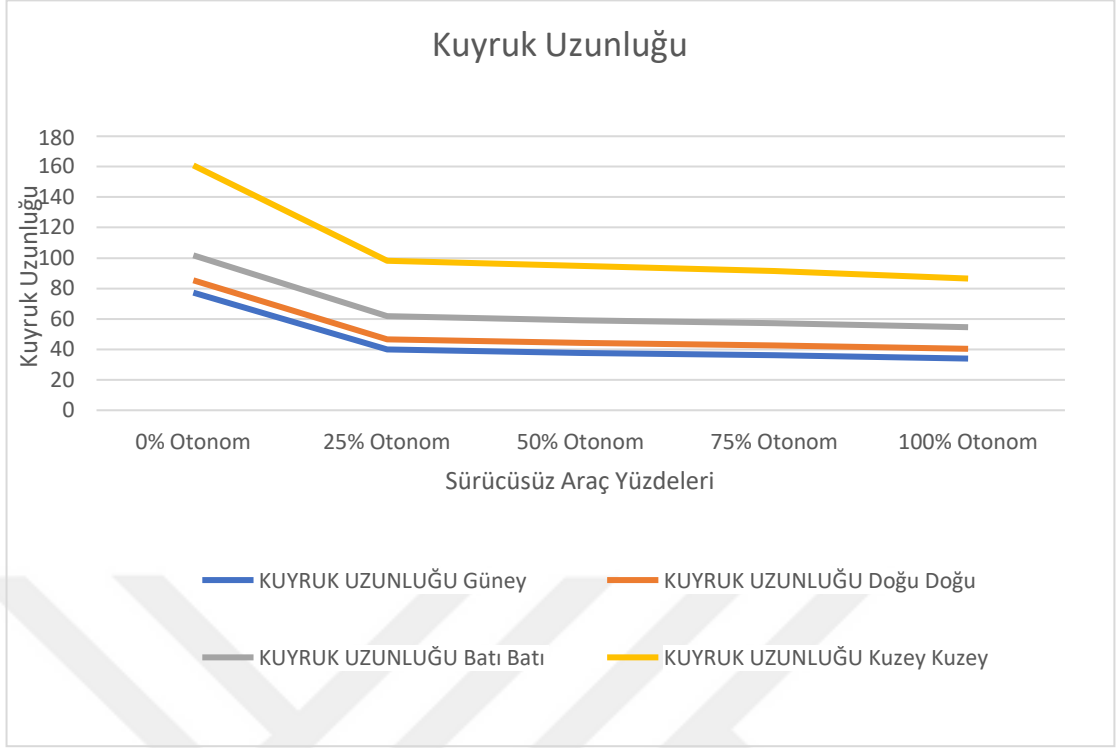
Şekil 9.8 Senaryo 2 hacim değerlerini göstermektedir.

2. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	522	206	72	800
Batı Yaklaşımı	548	296	118	962
Kuzey Yaklaşımı	505	182	69	756
Güney Yaklaşımı	521	247	74	842

Şekil 9.8 Senaryo 2 Hacim Değerleri

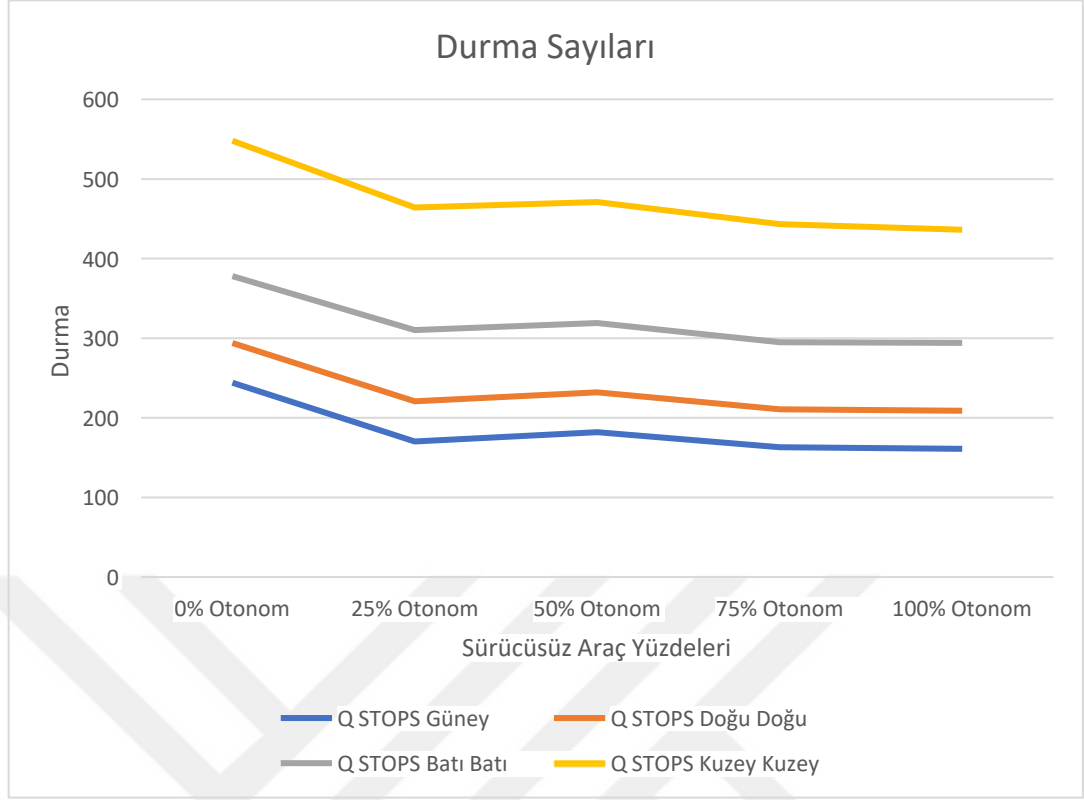
Tablo 9.4 Senaryo 2 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 2 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	77,29	8,04	16,52	59,08
	%25 Otonom	39,89	6,64	15,23	36,54
	%50 Otonom	37,7	6,53	14,89	35,66
	%75 Otonom	36,13	6,33	14,73	34,3
	%100 Otonom	34,02	6,3	14,33	31,83
Q len max	%0 Otonom	140,55	31,69	42,65	113,14
	%25 Otonom	106,6	25,62	40,13	81,48
	%50 Otonom	109,86	24,11	39,89	80,82
	%75 Otonom	103,8	23,74	38,75	81,05
	%100 Otonom	102,83	23,73	37,77	75,49
Q stops	%0 Otonom	244	50	84	170
	%25 Otonom	170	51	89	154
	%50 Otonom	182	50	87	152
	%75 Otonom	163	48	84	148
	%100 Otonom	161	48	85	142



Şekil 9.9 Senaryo 2 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.9 Senaryo 2 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda dramatik bir düşüş gözlemlenmiştir ve her bir yaklaşım kolu için en düşük kuyruk uzunluğunun modelde gözlemlendiği senaryo %100 sürücüsüz araçların olduğu senaryodur.

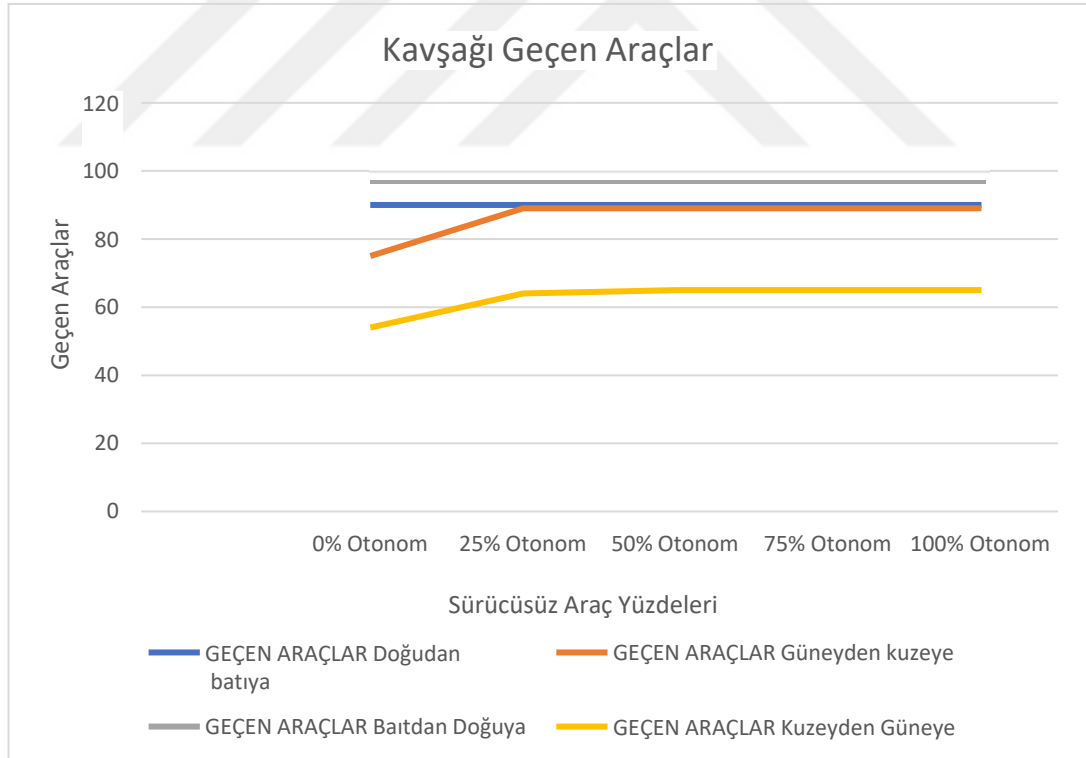


Şekil 9.10 Senaryo 2 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.10 Senaryo 2 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Kuyruk uzunluğunda olduğu gibi sisteme sürücüsüz araçların girişi durma sayılarını da azaltmıştır. Güney, Doğu ve Kuzey yaklaşımı için en az durma sayısı %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşirken, Batı yaklaşımındaki en düşük durma sayısı %75 sürücüsüz araç varlığındadır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en az durma sayısı %100 sürücüsüz araç varlığındadır.

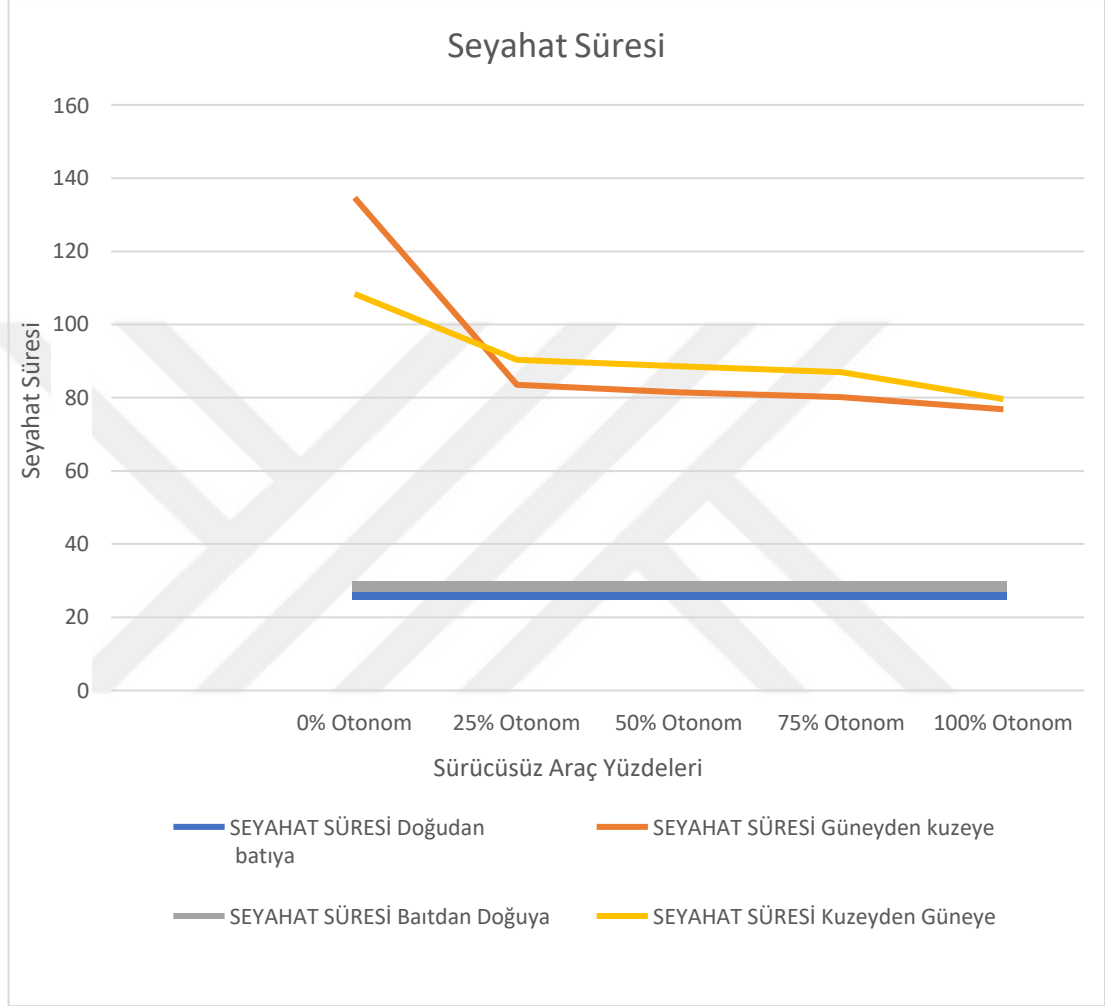
Tablo 9.5 Senaryo 2 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 2 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Bato	Kuzey
Araç Sayıları	%0 Otonom	90	75	96	54
	%25 Otonom	90	89	96	64
	%50 Otonom	90	89	96	65
	%75 Otonom	90	89	96	65
	%100 Otonom	90	89	96	65
Seyahat Süresi	%0 Otonom	26,58	134,64	29,08	108,4
	%25 Otonom	25,68	83,46	28,51	90,37
	%50 Otonom	25,69	81,49	28,37	88,65
	%75 Otonom	25,56	80,2	28,13	87
	%100 Otonom	25,56	76,85	27,91	79,65



Şekil 9.11 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.11 Senaryo 2 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Batı yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Güney ve Kuzey yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında artış gözlemlenmiştir.

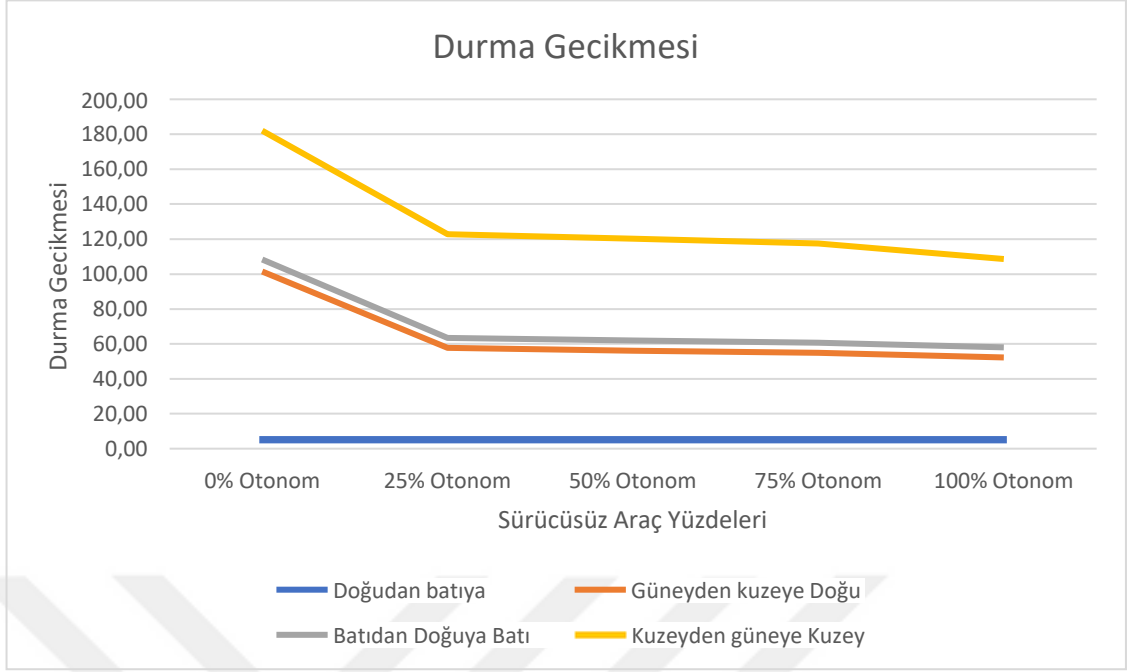


Şekil 9.12 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.12 senaryo 2'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney ve Kuzey yaklaşımında, sisteme sürücüsüz araçların girmesiyle seyahat süresinde dramatik bir düşüş gözlemlenirken, Doğu ve Batı yaklaşımları çok etkilenmemiştir. En düşük seyahat süresi her bir yaklaşım kolunda %100 sürücüsüz araç varlığındadır.

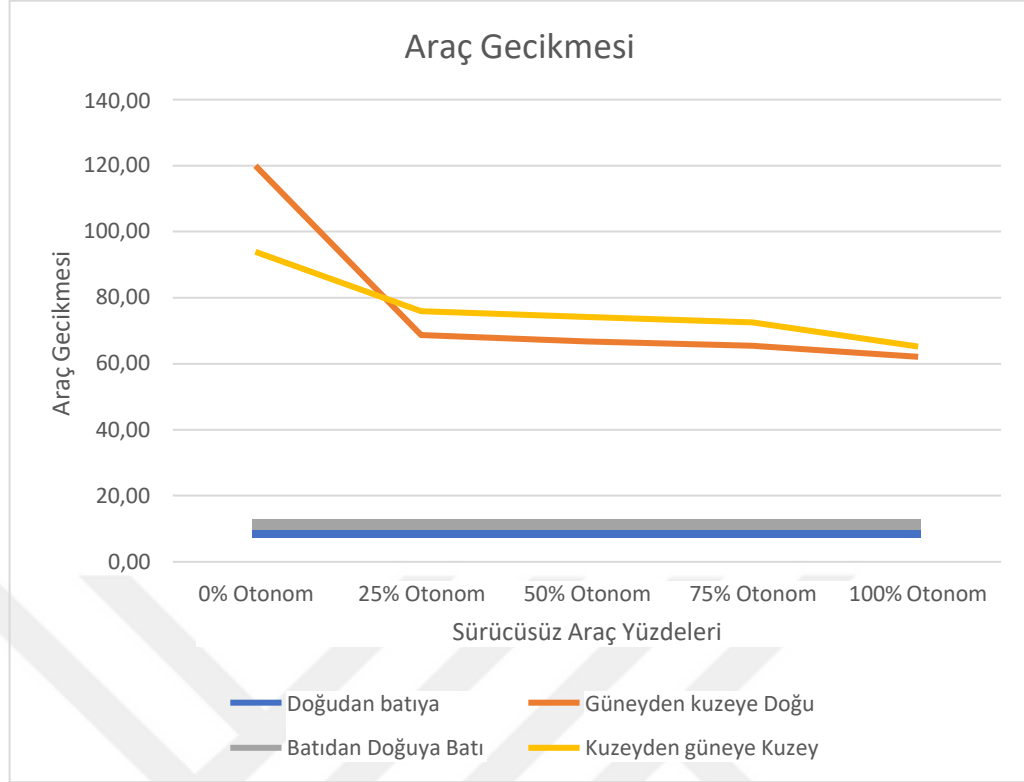
Tablo 9.6 Senaryo 2 Gecikme Değerleri

SENARYO 2 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	0% Otonom	5,62	95,83	6,87	73,75
	25% Otonom	4,93	52,86	5,76	59,24
	50% Otonom	4,93	51,29	5,87	58,16
	75% Otonom	4,90	50,06	5,80	56,75
	100% Otonom	4,91	47,37	5,77	50,61
Stops (All)	0% Otonom	0,31	5,43	0,48	3,91
	25% Otonom	0,26	4,15	0,42	4,23
	50% Otonom	0,26	4,28	0,48	4,02
	75% Otonom	0,23	4,33	0,45	3,58
	100% Otonom	0,23	3,48	0,43	3,32
VehDelay(All)	0% Otonom	9,12	119,95	11,87	93,88
	25% Otonom	8,21	68,73	11,29	75,85
	50% Otonom	8,22	66,76	11,16	74,15
	75% Otonom	8,09	65,46	10,89	72,47
	100% Otonom	8,08	62,11	10,67	65,14
Vehs (All)	0% Otonom	90	75	96	54
	25% Otonom	90	89	96	64
	50% Otonom	90	89	96	65
	75% Otonom	90	89	96	65
	100% Otonom	90	89	96	65



Şekil 9.13 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.13 Senaryo 2 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz Araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Güney, Batı ve Kuzey yaklaşımındaki en düşük durma gecikme süresi %100 sürücüsüz araç varlığında, Doğu yaklaşımında en düşük değer %75 sürücüsüz araç varlığında yaşanmıştır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük durma gecikmesi süresi %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir.



Şekil 9.14 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.14 Senaryo 2 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Araç gecikmesinin en düşük olduğu senaryo herbir yaklaşım için %100 sürücüsüz araçların olduğu senaryoda gerçekleşmiştir.

9.3 Senaryo 1 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

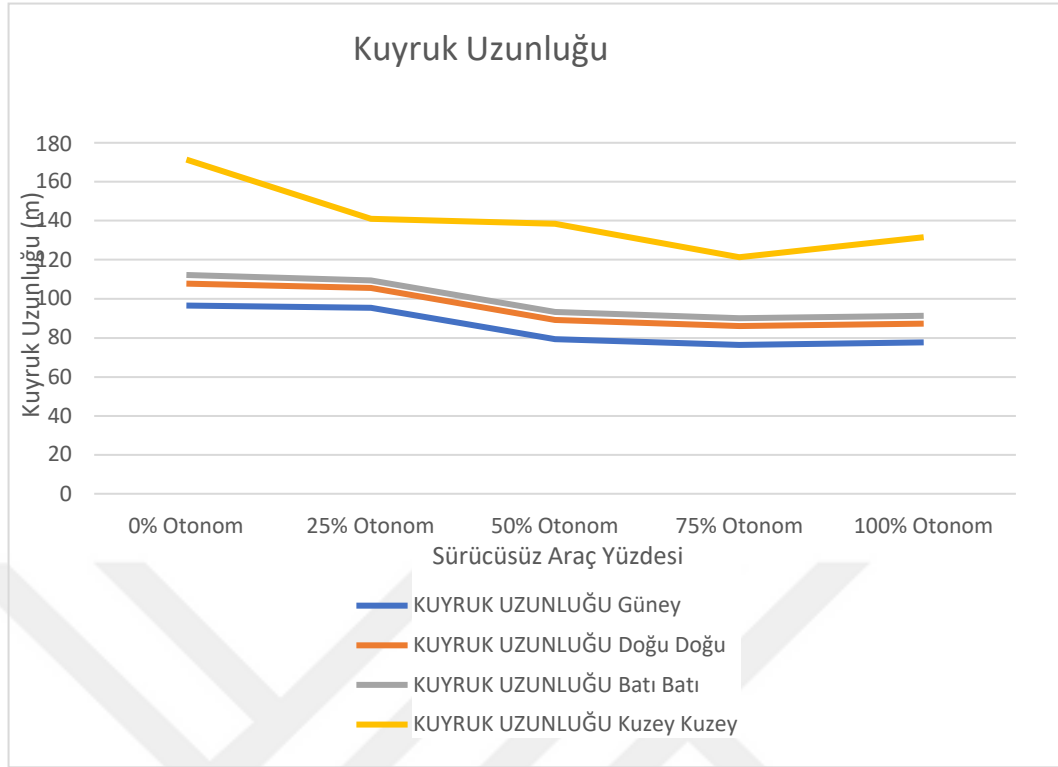
Şekil 9.15 Senaryo 3 hacim değerlerini göstermektedir.

3. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	281	252	98	631
Batı Yaklaşımı	213	104	109	426
Kuzey Yaklaşımı	467	289	50	806
Güney Yaklaşımı	270	248	196	714

Şekil 9.15 Senaryo 3 Hacim Değerleri

Tablo 9.7 Senaryo 3 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 3 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	96,57	11,18	4,45	59,18
	%25 Otonom	95,4	10,09	4,05	31,39
	%50 Otonom	79,34	9,88	4,01	45,13
	%75 Otonom	76,38	9,66	4	31,23
	%100 Otonom	77,6	9,67	4,03	40,12
Q len max	%0 Otonom	140,59	36,69	21,13	141,5
	%25 Otonom	141,01	29,77	16,66	84,45
	%50 Otonom	140,91	29,21	19,4	107,06
	%75 Otonom	131,32	28,85	19	85,51
	%100 Otonom	140,55	28,47	19,06	99,13
Q stops	%0 Otonom	168	55	25	198
	%25 Otonom	215	52	25	153
	%50 Otonom	197	52	25	199
	%75 Otonom	176	52	24	151
	%100 Otonom	156	52	24	180



Şekil 9.16 Senaryo 3 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.16 Senaryo 3 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. Herbir yaklaşım için en düşük kuyruk uzunluğu %75 sürücüsüz araç ortamında gerçekleşmiştir.

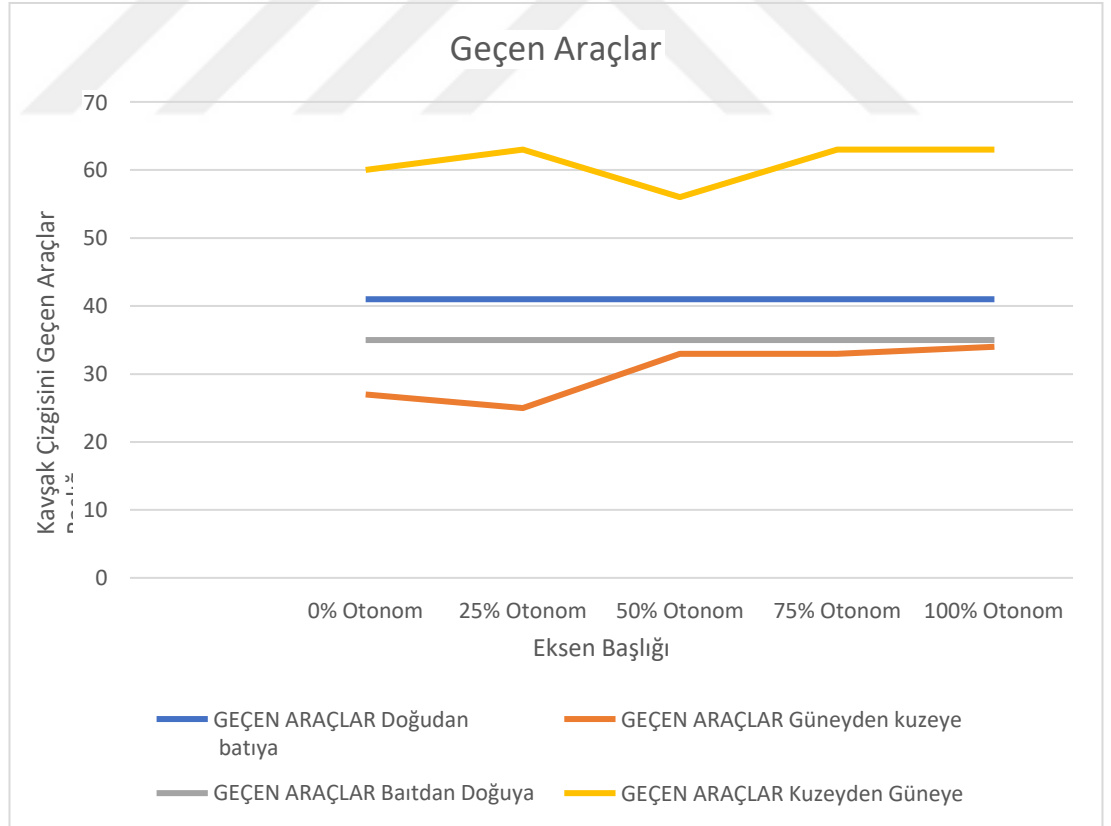


Şekil 9.17 Senaryo 3 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.17 Senaryo 3 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney, Doğu ve Batı yaklaşımındaki en düşük durma sayısı %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşirken, Kuzey yaklaşımında en az durma sayısı %75 sürücüsüz araç varlığındadır.

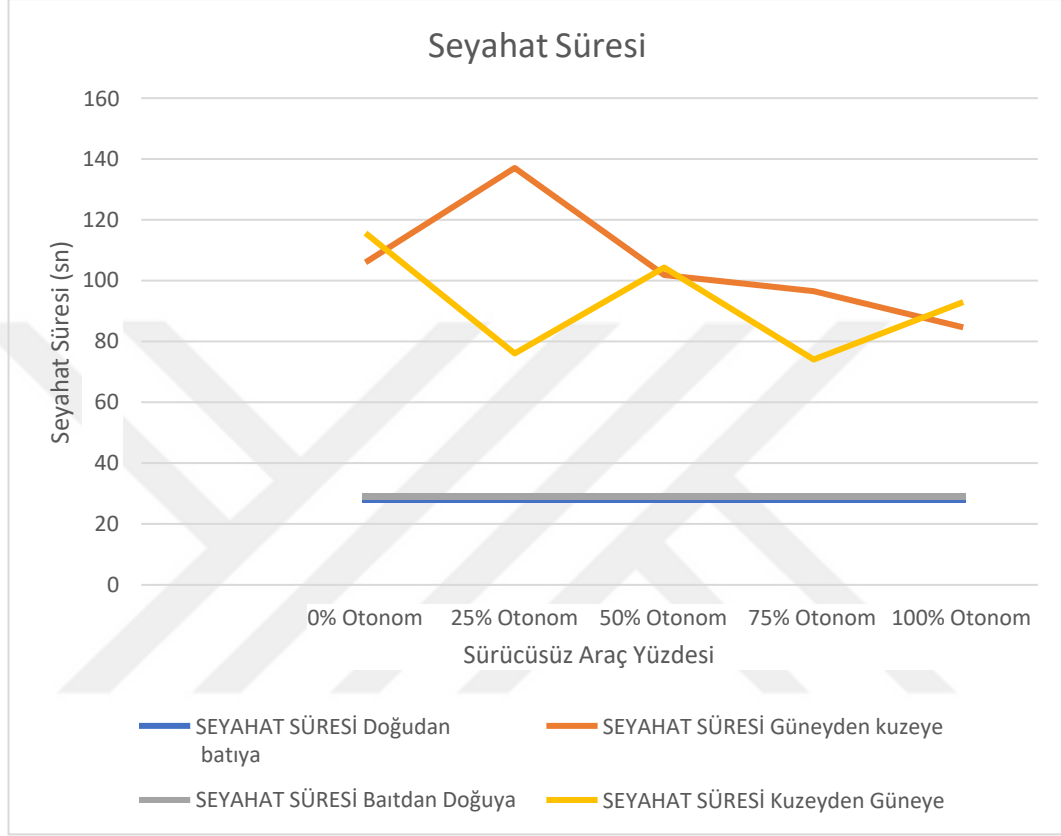
Tablo 9.8 Senaryo 3 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 3 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	41	27	35	60
	%25 Otonom	41	25	35	63
	%50 Otonom	41	33	35	56
	%75 Otonom	41	33	35	63
	100% Otonom	41	34	35	63
Travel Time (All)	%0 Otonom	28,42	105,95	28,93	115,63
	%25 Otonom	28,01	137,04	28,96	76,03
	%50 Otonom	28,09	101,87	29	104,34
	%75 Otonom	27,98	96,49	28,99	74,07
	100% Otonom	27,97	84,66	29,1	92,94



Şekil 9.18 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.18 Senaryo 3 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Batı yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Güney ve Kuzey yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında artış gözlemlenmiştir.

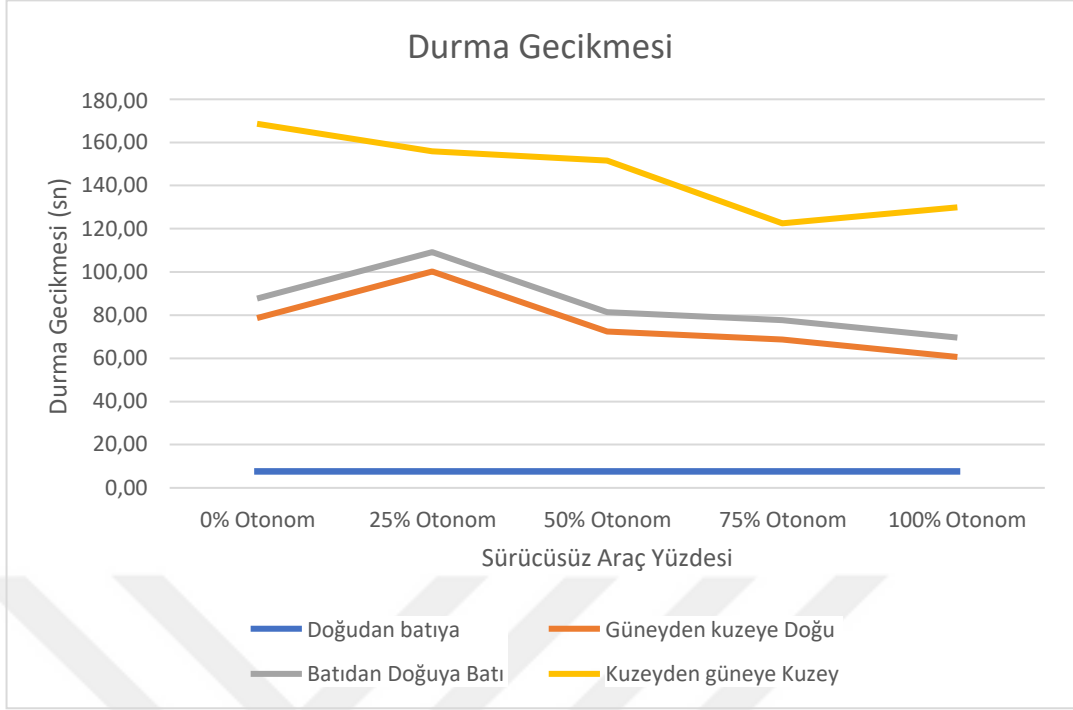


Şekil 9.19 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.19 Senaryo 3'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. En düşük seyahat süresi Doğu ve Güney yaklaşımında %100 sürücüsüz araç varlığında gözlemlenir. Kuzey yaklaşımında en düşük seyahat süresi %75 sürücüsüz araç varlığında gözlemlenirken, Batı yaklaşımında en düşük seyahat süresi %0 sürücüsüz araç ortamında gerçekleşmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, %75 sürücüsüz araç varlığında, kavşakta en az seyahat süresi gözlemlenir.

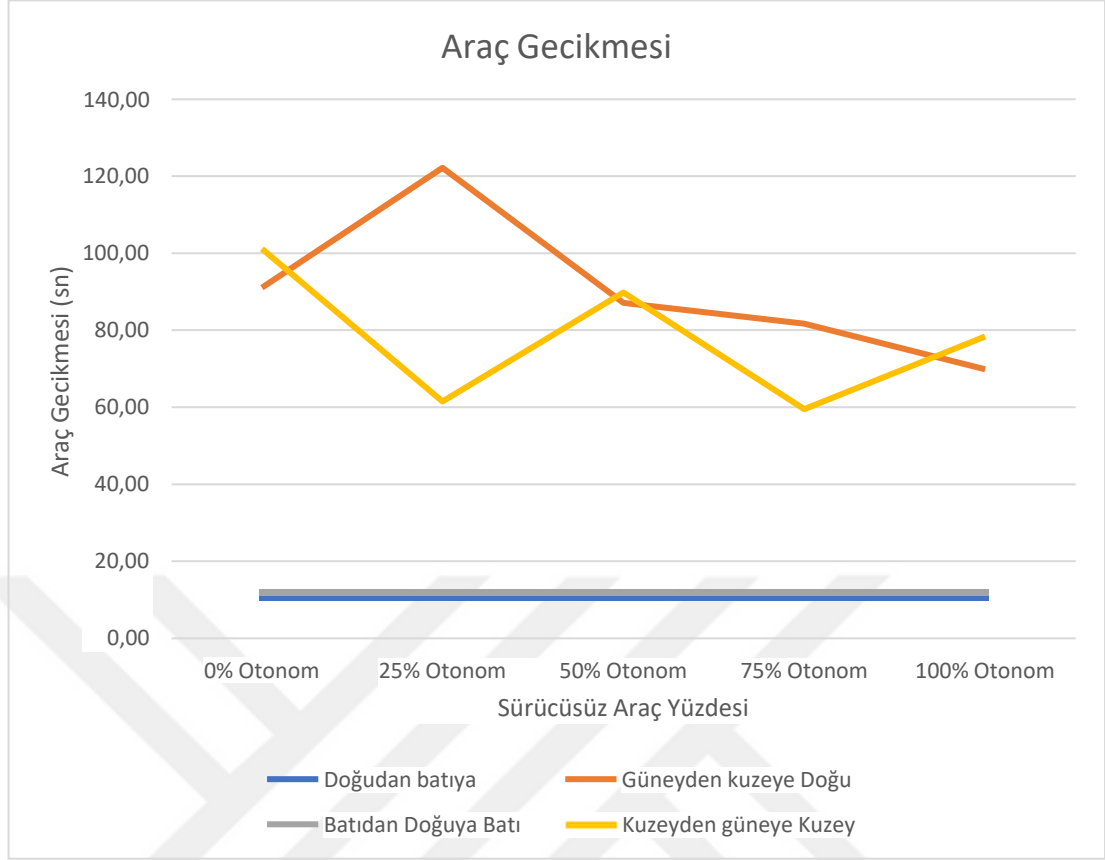
Tablo 9.9 Senaryo 3 Gecikme Değerleri

SENARYO 3 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	7,70	70,98	9,05	80,97
	%25 Otonom	7,50	92,73	8,91	46,80
	%50 Otonom	7,54	64,93	8,91	70,27
	%75 Otonom	7,51	61,27	8,91	44,90
	%100 Otonom	7,51	53,16	8,92	60,41
Stops (All)	%0 Otonom	0,37	4,78	0,20	4,23
	%25 Otonom	0,29	9,96	0,20	3,65
	%50 Otonom	0,29	6,33	0,20	4,52
	%75 Otonom	0,29	6,70	0,20	3,40
	%100 Otonom	0,29	4,79	0,20	4,76
VehDelay (All)	%0 Otonom	11,00	91,09	11,86	101,17
	%25 Otonom	10,59	122,21	11,88	61,50
	%50 Otonom	10,67	87,10	11,93	89,84
	%75 Otonom	10,56	81,71	11,91	59,55
	%100 Otonom	10,55	69,90	12,03	78,41
Vehs (All)	%0 Otonom	41	27	35	60
	%25 Otonom	41	25	35	63
	%50 Otonom	41	33	35	56
	%75 Otonom	41	33	35	63
	%100 Otonom	41	34	35	63



Şekil 9.20 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.20 Senaryo 3 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz Araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Doğu yaklaşımında en düşük durma gecikmesi %25, Güney yaklaşımında en düşük durma gecikmesi %100, Kuzey yaklaşımında en düşük durma gecikmesi %75 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Batı yaklaşımında %25, %50 ve %75 sürücüsüz araç varlığında durma gecikmesinde herhangi bir değişim yaşanmamıştır ve en düşük durma gecikmesi süresine bu senaryolarda ulaşmıştır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi süresi %75 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir.



Şekil 9.21 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.21 Senaryo 3 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Güney yaklaşımında en düşük araç gecikmesi %100 Sürücüsüz araç ortamında, Batı yaklaşımında %25 sürücüsüz araç ortamında, Kuzey yaklaşımında ise %75 sürücüsüz araç ortamında gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesinin yaşandığı senaryo %75 Sürücüsüz araçsenaryosudur.

9.4 Senaryo 1 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

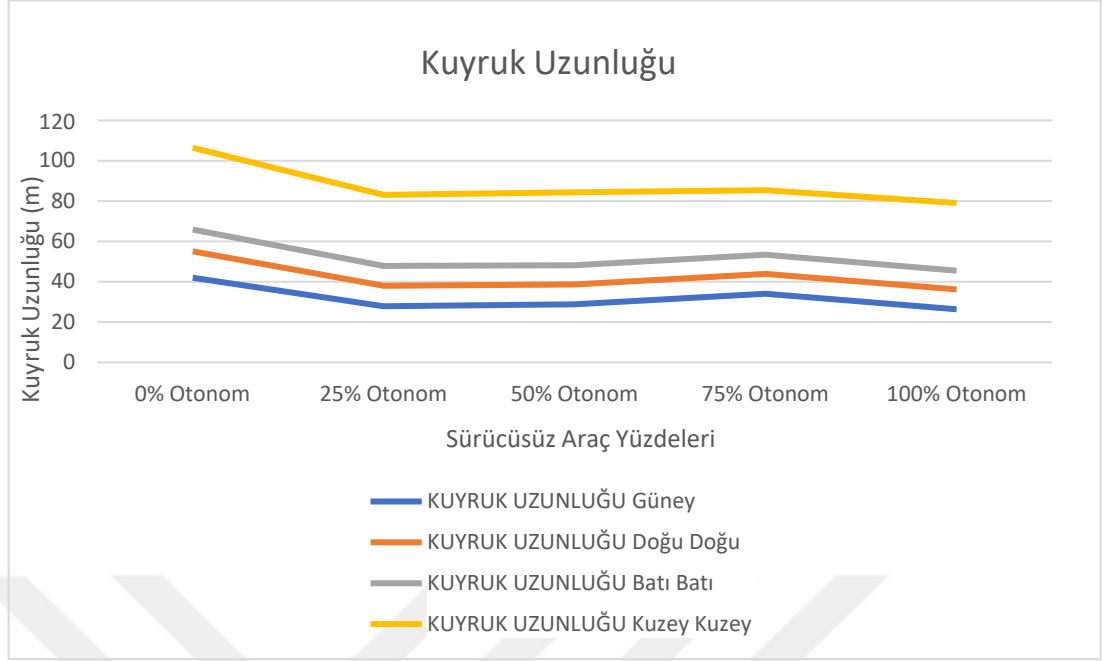
Şekil 9.22 Senaryo 4 hacim değerlerini göstermektedir.

4. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	483	202	183	868
Batı Yaklaşımı	418	264	79	761
Kuzey Yaklaşımı	224	211	144	579
Güney Yaklaşımı	214	263	86	563

Şekil 9.22 Senaryo 4 Hacim Değerleri

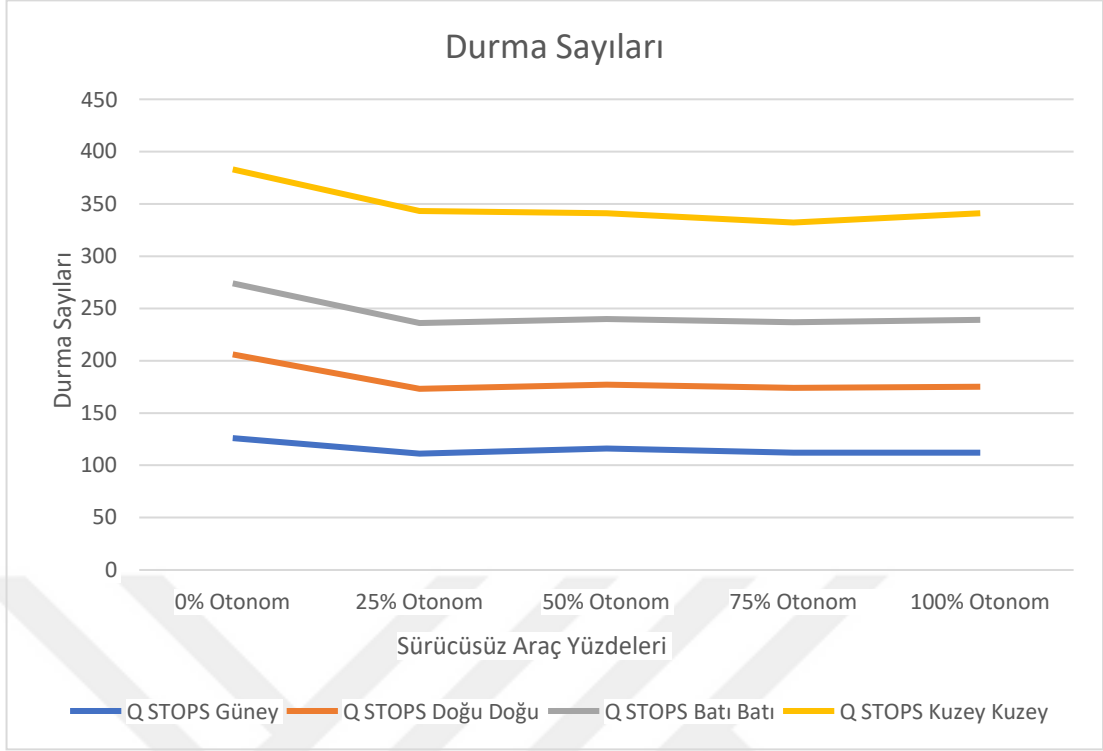
Tablo 9.10 Senaryo 4 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 4 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	41,97	13,08	10,77	40,57
	%25 Otonom	27,83	10,12	9,89	35,26
	%50 Otonom	28,78	9,88	9,45	36,3
	%75 Otonom	34,12	9,84	9,47	31,91
	%100 Otonom	26,37	9,81	9,28	33,63
Q len max	%0 Otonom	90,83	64,83	42,41	85,61
	%25 Otonom	70,85	34,28	39,41	70,05
	%50 Otonom	66,79	33,77	39,19	69,15
	%75 Otonom	84,81	33,87	38,34	68,45
	%100 Otonom	56,07	34,16	37,54	68,77
Q stops	%0 Otonom	126	80	68	109
	%25 Otonom	111	62	63	107
	%50 Otonom	116	61	63	101
	%75 Otonom	112	62	63	95
	%100 Otonom	112	63	64	102



Şekil 9.23 Senaryo 4 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.23 Senaryo 4 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. Güney, Doğu ve Batı yaklaşımlarında en düşük kuyruk uzunluğu %100 sürücüsüz araç ortamında gerçekleşirken, Kuzey yaklaşımında en düşük kuyruk uzunluğu %75 Sürücüsüz araç ortamında gerçekleşmiştir.

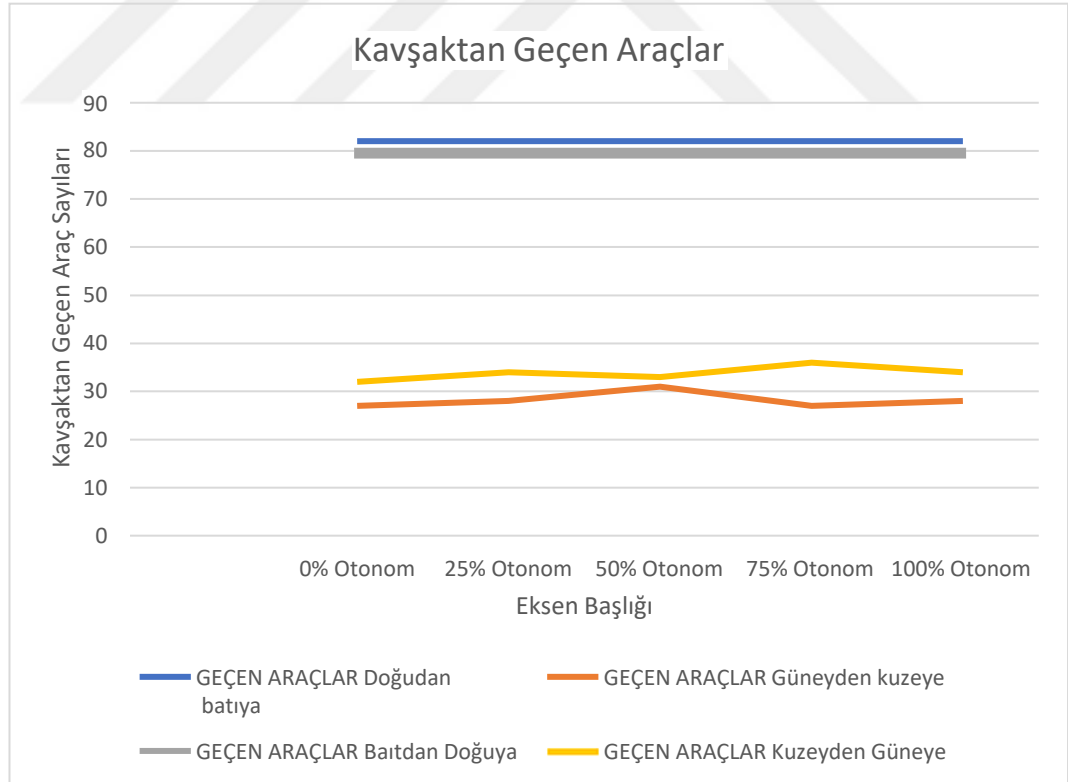


Şekil 9.24 Senaryo 4 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.24 Senaryo 4 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney yaklaşımında en düşük durma sayısı %25, Doğu yaklaşımında en düşük durma sayısı %50, Batı yaklaşımında en düşük durma sayısı %25-50 ve 75, Kuzey yaklaşımında en düşük durma sayısı %75 sürücüsüz araç ortamında gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma sayısını veren senaryo %75 Sürücüsüz araç senaryosudur.

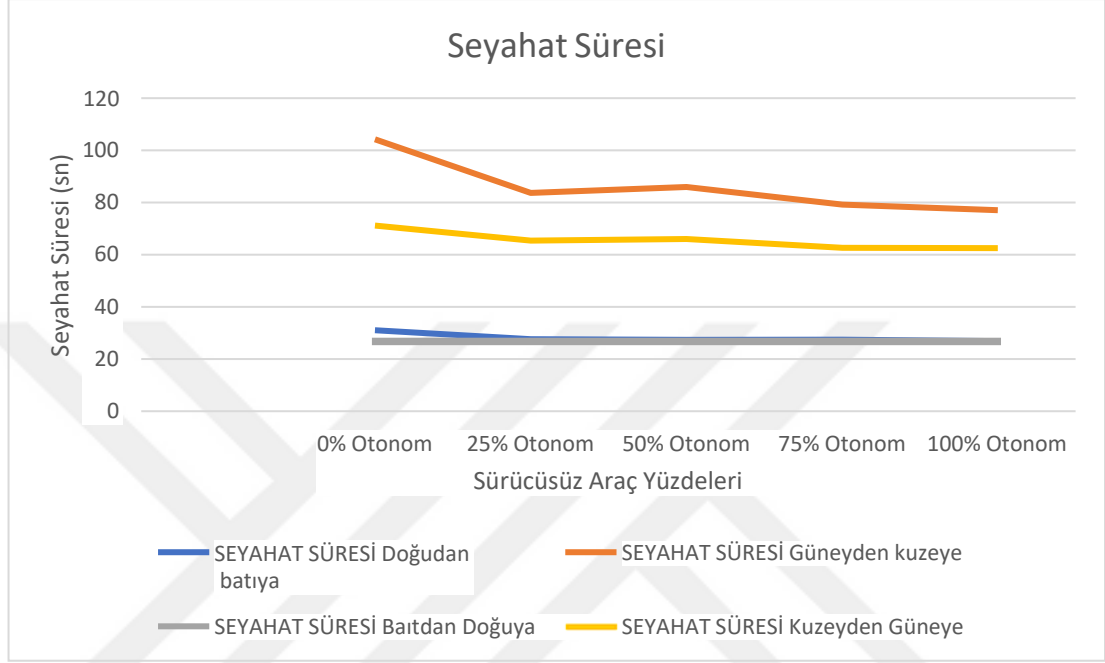
Tablo 9.11 Senaryo 4 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 4 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	82	27	79	32
	%25 Otonom	82	28	80	34
	%50 Otonom	82	31	80	33
	%75 Otonom	82	27	80	36
	%100 Otonom	82	28	80	34
Travel Time (All)	%0 Otonom	31,06	104,23	27,01	71,13
	%25 Otonom	27,59	83,71	26,62	65,38
	%50 Otonom	27,41	85,98	26,45	65,94
	%75 Otonom	27,45	79,22	26,46	62,51
	%100 Otonom	26,9	77,08	26,47	62,48



Şekil 9.25 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.25 Senaryo 4 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Güney, Kuzey ve Batı yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında artış gözlemlenmiştir.

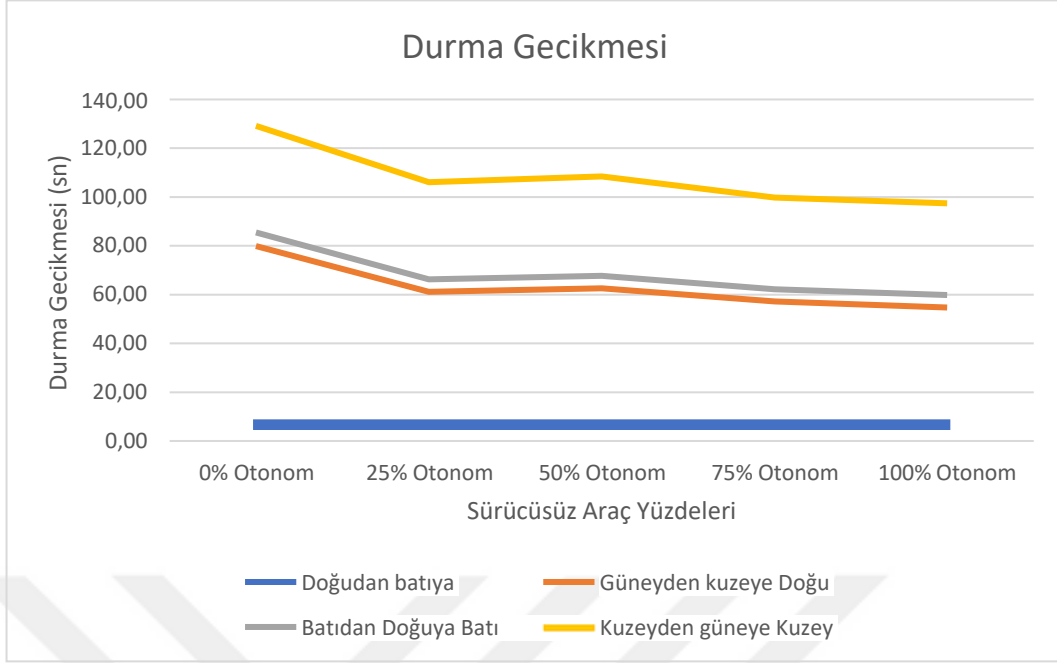


Şekil 9.26 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.26 senaryo 4'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Sürücüsüz araçların sisteme girmesiyle seyahat süresinde düşüş gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük seyahat süresinin yaşandığı senaryo %100 sürücüsüz araçların sistemde bulunduğu senaryodur.

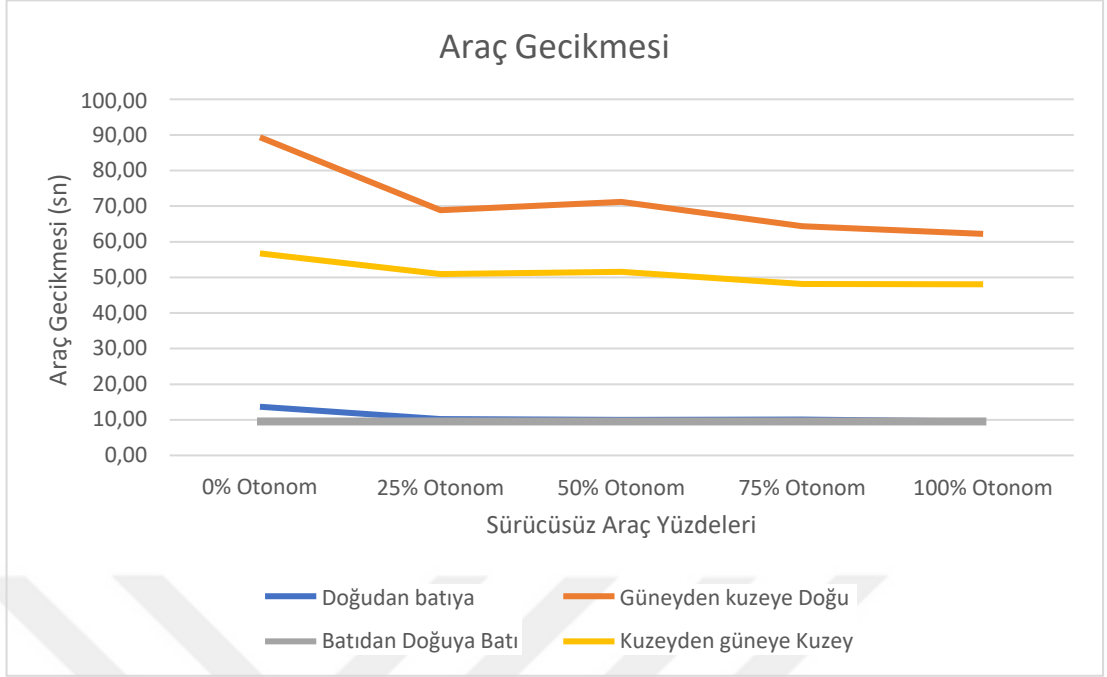
Tablo 9.12 Senaryo 4 Gecikme Değerleri

SENARYO 4 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	7,62	72,25	5,58	43,65
	%25 Otonom	6,37	54,72	5,17	39,72
	%50 Otonom	6,39	56,24	5,04	40,65
	%75 Otonom	6,36	50,80	5,06	37,52
	%100 Otonom	5,71	49,04	5,05	37,56
Stops (All)	%0 Otonom	0,61	3,15	0,48	2,38
	%25 Otonom	0,30	3,00	0,39	2,21
	%50 Otonom	0,27	3,03	0,36	2,18
	%75 Otonom	0,26	2,67	0,39	1,97
	%100 Otonom	0,27	2,75	0,38	2,06
VehDelay (All)	%0 Otonom	13,64	89,37	9,79	56,71
	%25 Otonom	10,17	68,86	9,41	50,91
	%50 Otonom	9,99	71,21	9,24	51,49
	%75 Otonom	10,03	64,37	9,24	48,06
	%100 Otonom	9,48	62,23	9,25	48,00
Vehs (All)	%0 Otonom	82	27	79	32
	%25 Otonom	82	28	80	34
	%50 Otonom	82	31	80	33
	%75 Otonom	82	27	80	36
	%100 Otonom	82	28	80	34



Şekil 9.27 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.27 Kuzey, Batı ve Güney yaklaşımında sisteme sürücüsüz araç girişiyle birlikte durma gecikmesinde azalma görülmüştür. Doğu yaklaşımı sürücüsüz araç varlığından pek etkilenmemiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi süresinin yaşandığı senaryo %100 sürücüsüz araçların bulunduğu senaryodur.



Şekil 9.28 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.28 Senaryo 4 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu, Güney ve Kuzey yaklaşımlarında en düşük araç gecikmesi %100 sürücüsüz araç ortamında gerçekleşirken, Batı yaklaşımındaki en düşük araç gecikmesi %50 ve %75 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesinin yaşandığı senaryo % 100 Sürücüsüz araç senaryosudur.

9.5 Senaryo 1 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

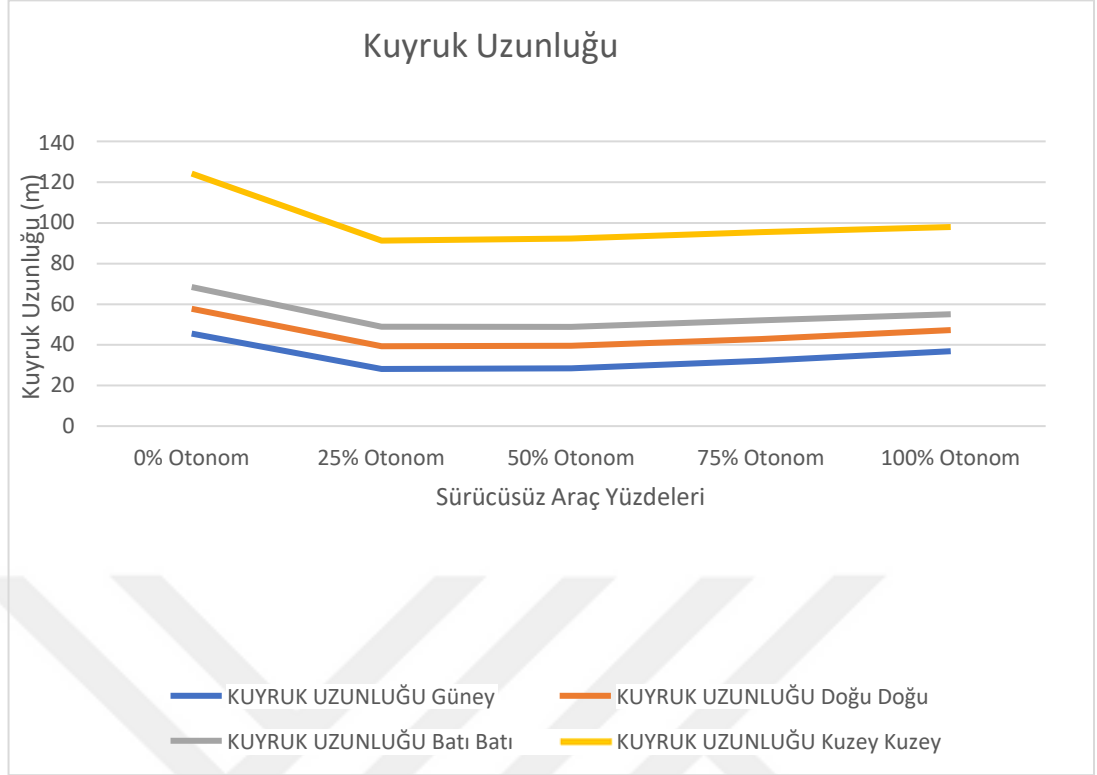
Şekil 9.29 Senaryo 5 hacim değerlerini göstermektedir.

5. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	355	206	181	742
Batı Yaklaşımı	433	118	191	742
Kuzey Yaklaşımı	324	270	114	708
Güney Yaklaşımı	502	174	79	755

Şekil 9.29 Senaryo 5 Hacim Değerleri

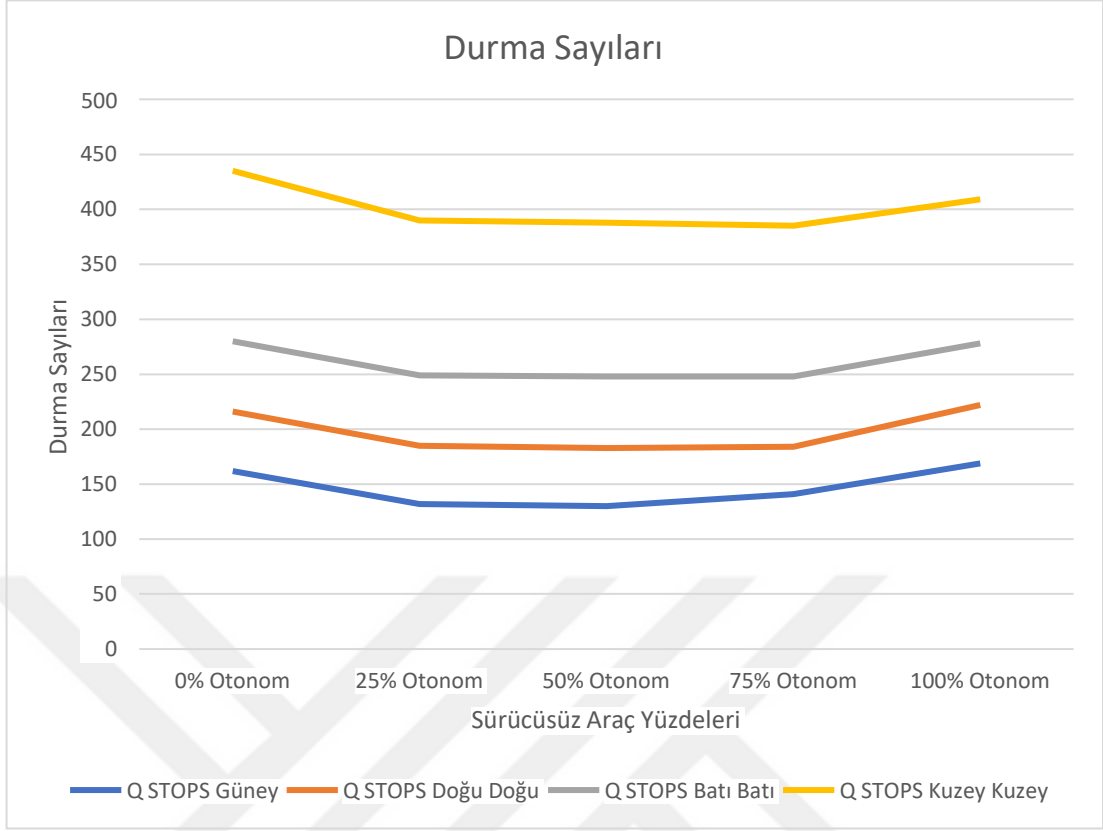
Tablo 9.13 Senaryo 5 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 5 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	45,49	12,19	10,78	55,74
	%25 Otonom	28,17	11,05	9,72	42,26
	%50 Otonom	28,53	10,92	9,39	43,49
	%75 Otonom	32,11	10,76	9,26	43,32
	%100 Otonom	36,8	10,5	7,81	42,8
Q len max	%0 Otonom	101,64	36,97	53,06	97,23
	%25 Otonom	82,67	35,22	47,87	78,86
	%50 Otonom	80,36	33,57	46,81	77,91
	%75 Otonom	80	32,73	46,7	80,6
	%100 Otonom	79,78	32,74	27,07	80,39
Q stops	%0 Otonom	162	54	64	155
	%25 Otonom	132	53	64	141
	%50 Otonom	130	53	65	140
	%75 Otonom	141	43	64	137
	%100 Otonom	169	53	56	131



Şekil 9.30 Senaryo 5 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.30 Senaryo 5 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. En düşük kuyruk uzunluğu Güney ve Kuzey yaklaşımında gözlemlenen en düşük kuyruk uzunluğu %25 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Doğu ve Batı yaklaşımında en düşük kuyruk uzunluğu %100 sürücüsüz araç ortamındadır. Tüm kavşak ele alındığında, Senaryo 3 için %50 sürücüsüz araç varlığı en az kuyruk uzunluğunu sağlar

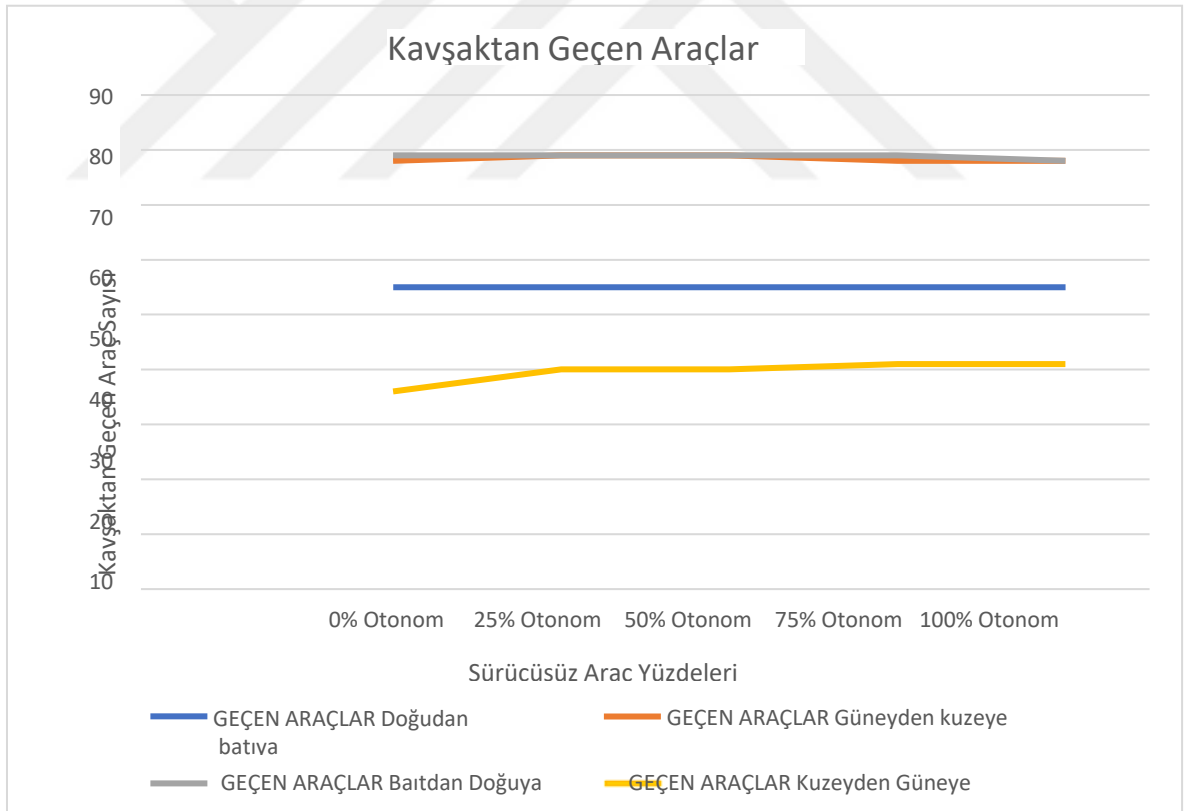


Şekil 9.31 Senaryo 5 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.31 Senaryo 5 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney yaklaşımında en düşük durma sayısı %50, Doğu yaklaşımında en düşük durma sayısı %25,50,100, Batı yaklaşımında en düşük durma sayısı %0-%25-%75, Kuzey yaklaşımında en düşük durma sayısı %100 sürücüsüz araç ortamında gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma sayısını veren senaryo %75 Sürücüsüz araç senaryosudur.

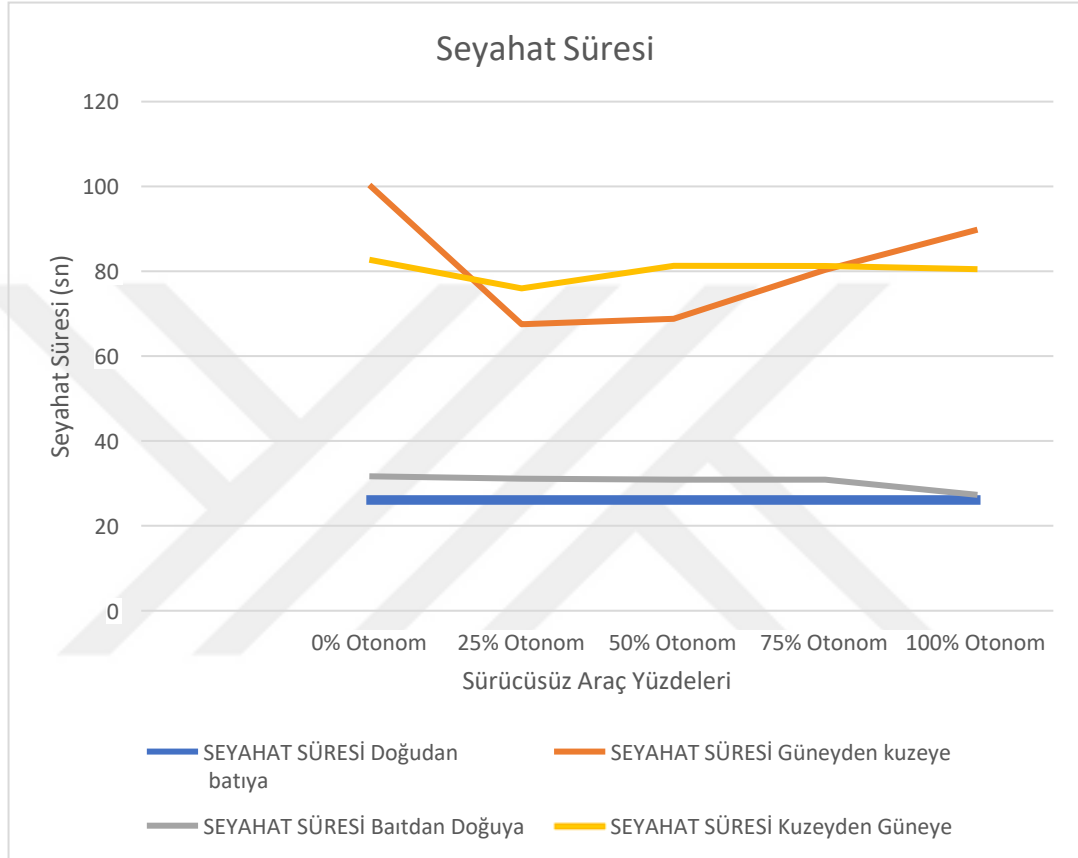
Tablo 9.14 Senaryo 5 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 5 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	55	78	79	36
	%25 Otonom	55	79	79	40
	%50 Otonom	55	79	79	40
	%75 Otonom	55	78	79	41
	%100 Otonom	55	78	78	41
Travel Time (All)	%0 Otonom	26,5	100,3	31,65	82,69
	%25 Otonom	25,68	67,51	31,06	75,93
	%50 Otonom	25,67	68,76	30,87	81,25
	%75 Otonom	25,66	80,3	30,84	81,22
	%100 Otonom	25,66	89,81	27,28	80,45



Şekil 9.32 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar- Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.32 Senaryo 5 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Güney yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Kuzey yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında artış gözlemlenmiştir. Batı yaklaşımında ise düşürmüştür.

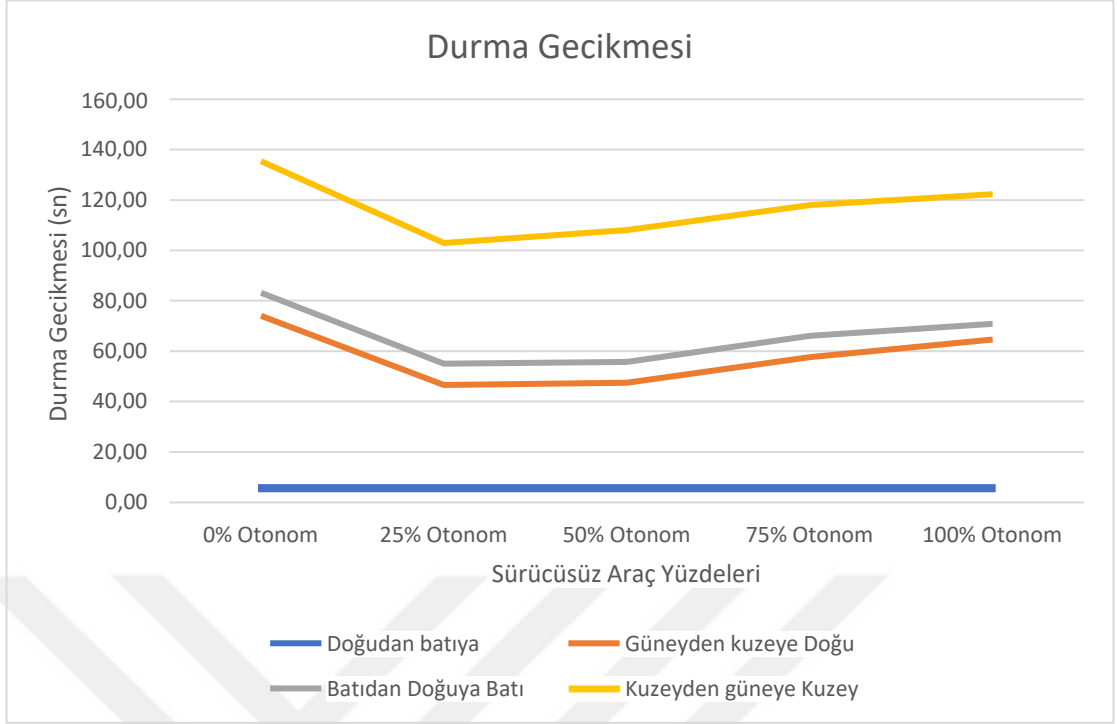


Şekil 9.33 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar- Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.33 senaryo 5'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney yaklaşımında en düşük seyahat süresi %25, Doğu yaklaşımında en düşük seyahat süresi %75 ve %100, Batı yaklaşımında en düşük durma sayısı %100, Kuzey yaklaşımında en düşük seyahat %125 sürücüsüz araç ortamında gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük seyahat süresini veren senaryo %25 sürücüsüz araç senaryosudur.

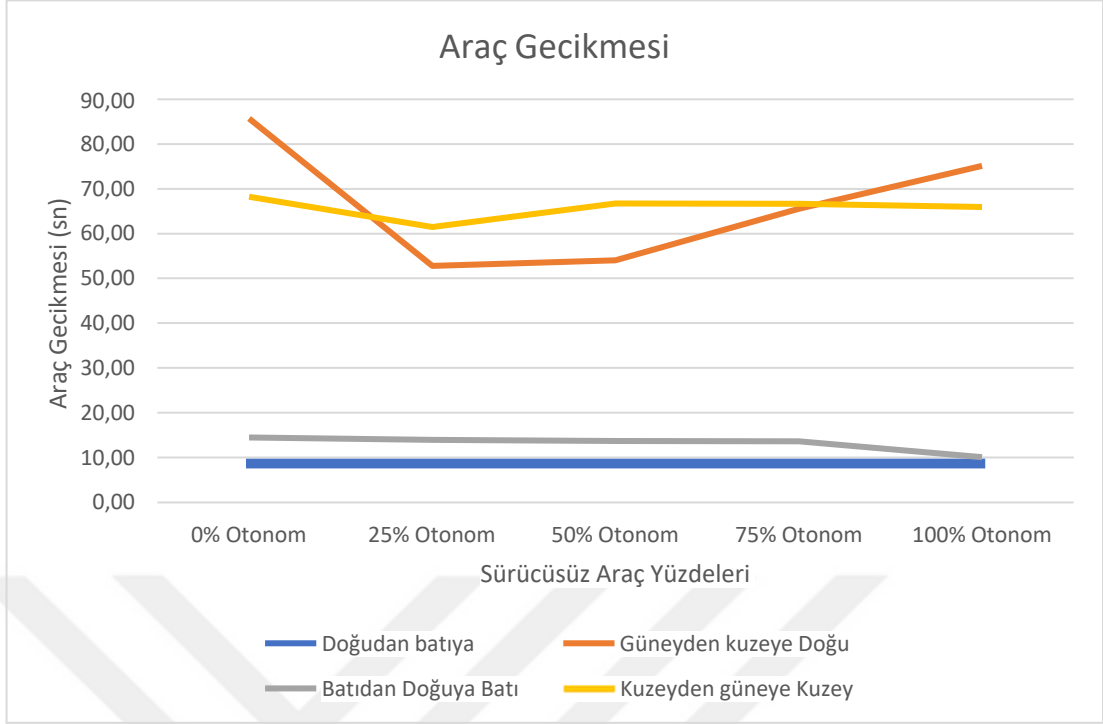
Tablo 9.15 Senaryo 5 Gecikme Değerleri

SENARYO 5 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	6,07	68,00	9,13	52,25
	%25 Otonom	5,28	41,33	8,50	47,85
	%50 Otonom	5,28	42,20	8,33	52,35
	%75 Otonom	5,26	52,38	8,40	52,07
	%100 Otonom	5,26	59,43	6,21	51,48
Stops (All)	%0 Otonom	0,25	3,32	0,76	3,14
	%25 Otonom	0,24	2,72	0,72	3,05
	%50 Otonom	0,24	2,72	0,66	3,75
	%75 Otonom	0,24	3,24	0,56	3,66
	%100 Otonom	0,24	3,78	0,31	3,51
VehDelay (All)	%0 Otonom	9,10	85,70	14,49	68,23
	%25 Otonom	8,27	52,79	13,91	61,51
	%50 Otonom	8,27	54,04	13,72	66,75
	%75 Otonom	8,26	65,57	13,69	66,71
	%100 Otonom	8,26	75,09	10,12	65,94
Vehs (All)	%0 Otonom	55	78	79	36
	%25 Otonom	55	79	79	40
	%50 Otonom	55	79	79	40
	%75 Otonom	55	78	79	41
	%100 Otonom	55	78	78	41



Şekil 9.34 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.34 Senaryo 5 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz Araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tüm yaklaşımlarda sisteme sürücüsüz araç girişiyle birlikte durma gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi süresinin yaşandığı senaryo %25 sürücüsüz araçların bulunduğu senaryodur.



Şekil 9.35 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.35 Senaryo 5 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Tüm yaklaşımlarda sisteme sürücüsüz araç girişiyle birlikte araç gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesinin yaşandığı senaryo %25 sürücüsüz araç senaryosudur.

9.6 Senaryo 6 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

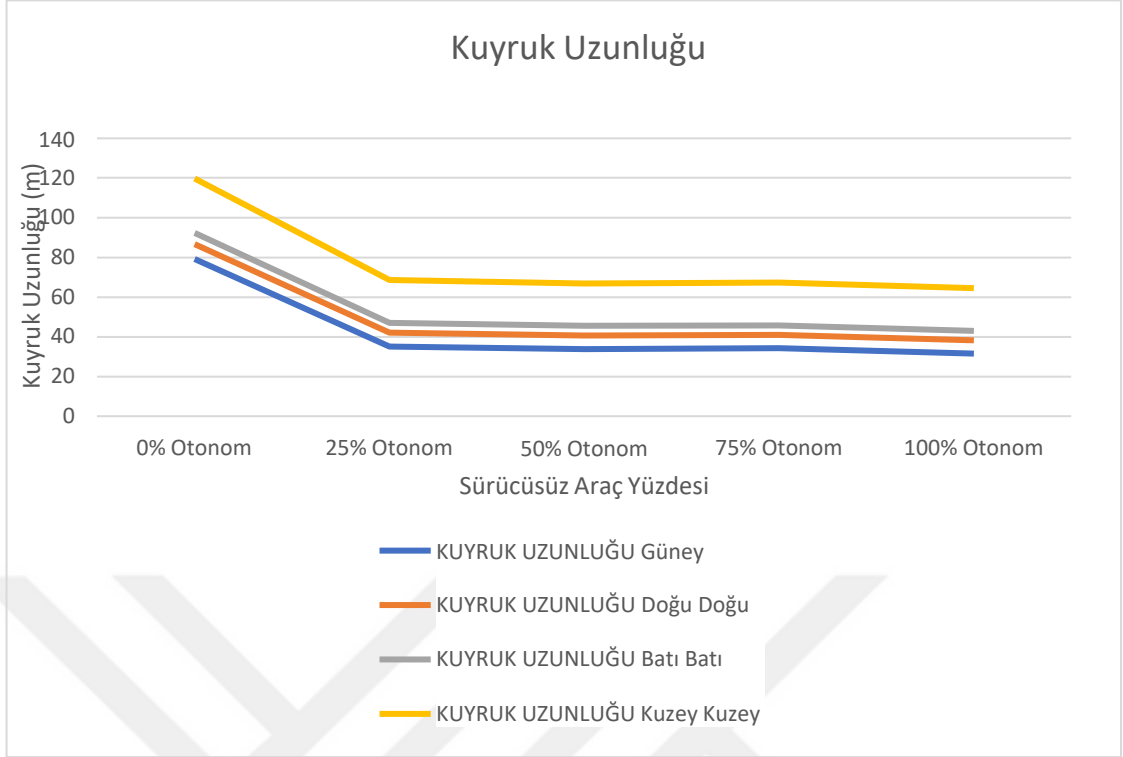
Şekil 9.36 Senaryo 6 hacim değerlerini göstermektedir.

6. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	571	181	67	819
Batı Yaklaşımı	296	167	82	545
Kuzey Yaklaşımı	313	102	69	484
Güney Yaklaşımı	506	159	143	808

Şekil 9.36 Senaryo 6 Hacim Değerleri

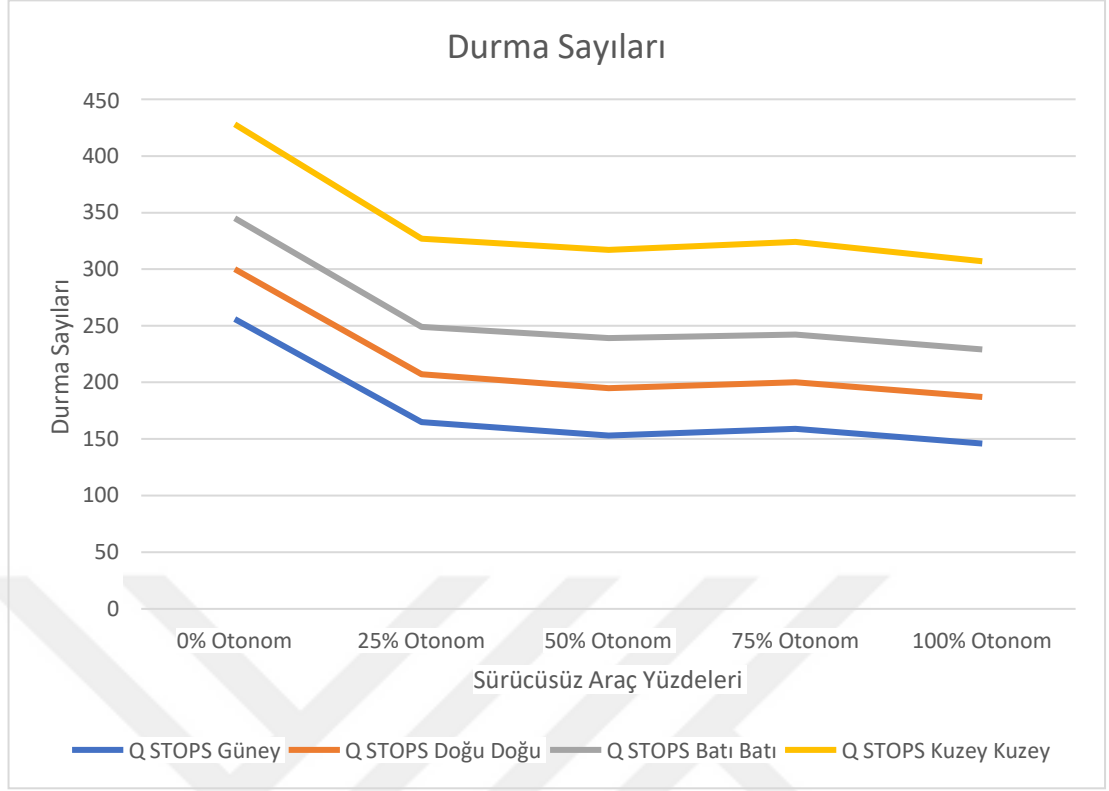
Tablo 9.16 Senaryo 6 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 6 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		YAKLAŞIMLAR			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	79,19	7,43	5,75	27,38
	%25 Otonom	35,19	6,91	4,96	21,56
	%50 Otonom	33,87	6,79	4,93	21,36
	%75 Otonom	34,27	6,64	4,9	21,54
	%100 Otonom	31,61	6,59	4,82	21,54
Q len max	%0 Otonom	140,54	26,34	32,01	68,07
	%25 Otonom	97,05	25,61	28,76	53,26
	%50 Otonom	89,44	24,32	28,4	53,13
	%75 Otonom	95	82	57	43
	%100 Otonom	89,01	23,3	23,86	52,06
Q stops	%0 Otonom	256	44	45	83
	%25 Otonom	165	42	42	78
	%50 Otonom	153	42	44	78
	%75 Otonom	159	41	42	82
	%100 Otonom	146	41	42	78



Şekil 9.37 Senaryo 6 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.37 Senaryo 6 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. En düşük kuyruk uzunluğu Güney, Doğu ve Batı yaklaşımında gözlemlenen en düşük kuyruk uzunluğu %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Kuzey yaklaşımında en düşük kuyruk uzunluğu %50 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Tüm kavşak ele alındığında, Senaryo 6 için %100 sürücüsüz araç varlığı en az kuyruk uzunluğunu sağlar.

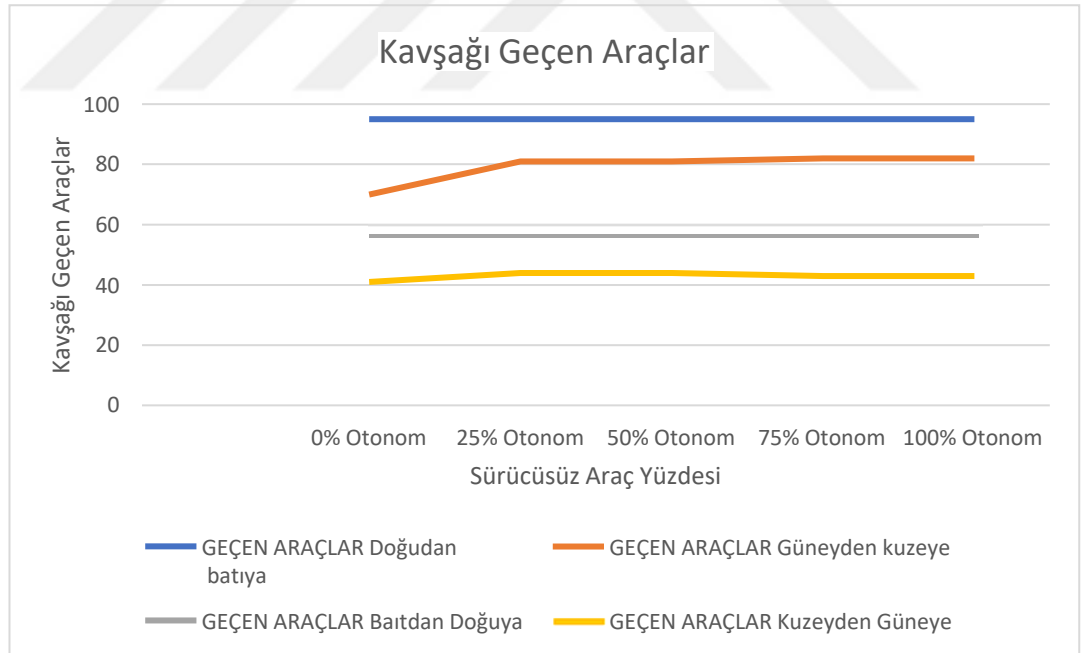


Şekil 9.38 Senaryo 6 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.38 Senaryo 6 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Herbir yaklaşım kolu için en az durma sayılarının yaşandığı senaryo %100 Sürücüsüz araç ortamıdır.

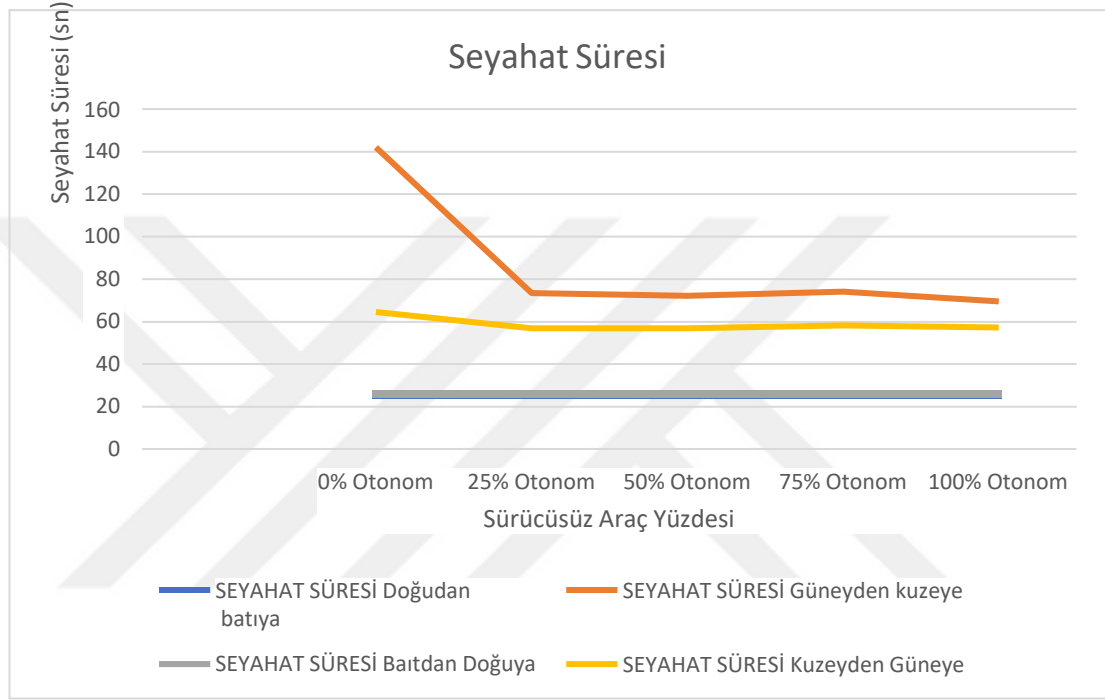
Tablo 9.17 Senaryo 6 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 6 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	95	70	57	41
	%25 Otonom	95	81	57	44
	%50 Otonom	95	81	57	44
	%75 Otonom	95	82	57	43
	%100 Otonom	95	82	57	43
Travel Time (All)	%0 Otonom	25,29	142,06	26	64,5
	%25 Otonom	25,15	73,55	25,97	56,74
	%50 Otonom	25,06	72,2	26,02	56,79
	%75 Otonom	25,04	74,03	25,83	58,06
	%100 Otonom	25,13	69,52	25,61	57,14



Şekil 9.39 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.39 Senaryo 6 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisinin göstermektedir. Doğu ve Batı yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Kuzey ve Güney yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında artış gözlemlenmiştir.

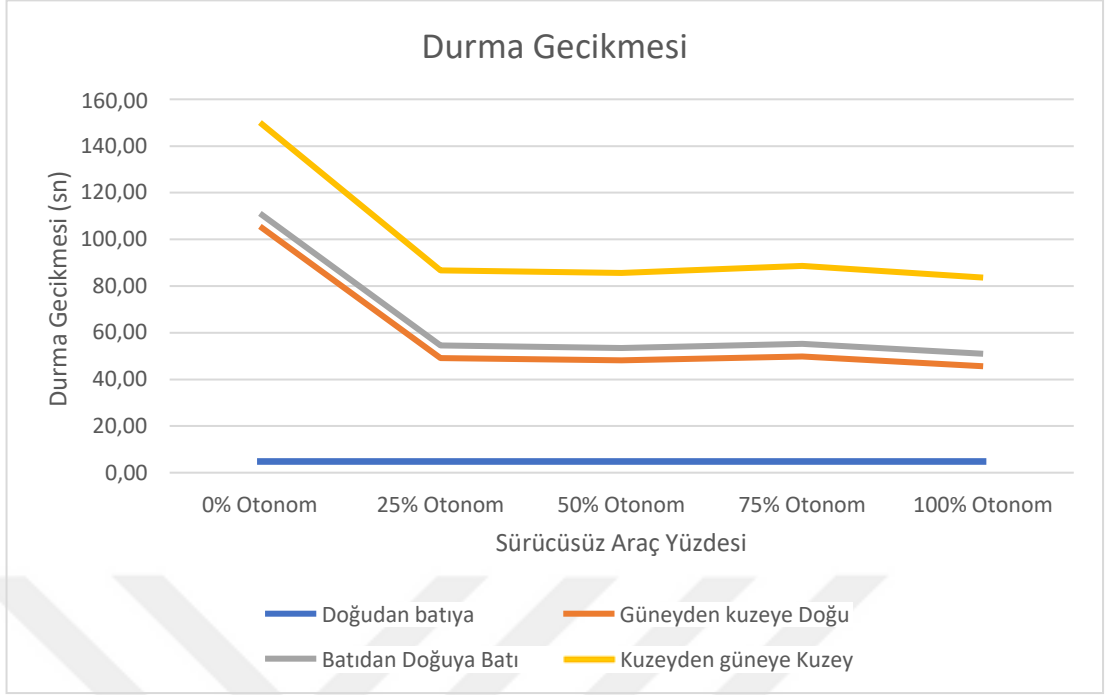


Şekil 9.40 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.40 senaryo 6'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Tüm yaklaşımlarda sisteme sürücüsüz araçların girişiyle seyahat süresinde azalma gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük seyahat süresini veren senaryo %100 sürücüsüz araç senaryosudur.

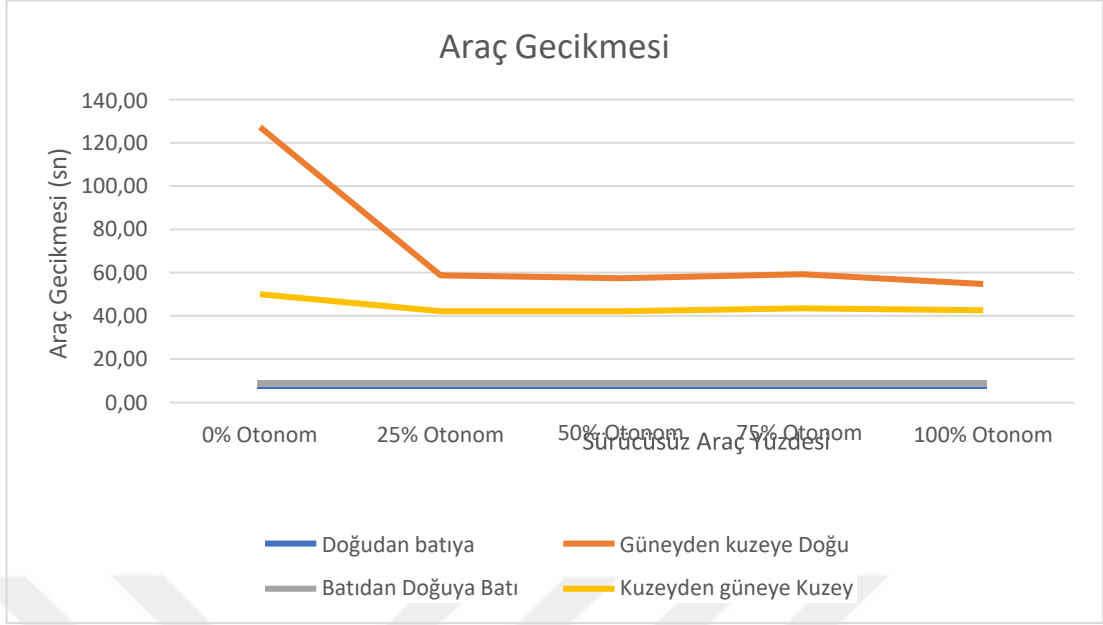
Tablo 9.18 Senaryo 6 Gecikme Değerleri

SENARYO 6 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	4,66	100,92	5,53	39,01
	%25 Otonom	4,94	44,21	5,31	32,21
	%50 Otonom	4,88	43,23	5,30	32,18
	%75 Otonom	4,88	45,00	5,25	33,55
	%100 Otonom	4,94	40,69	5,25	32,74
Stops (All)	%0 Otonom	0,18	4,99	0,26	1,46
	%25 Otonom	0,19	3,20	0,23	1,55
	%50 Otonom	0,22	3,02	0,25	1,61
	%75 Otonom	0,20	3,30	0,25	1,51
	%100 Otonom	0,18	3,27	0,23	1,56
VehDelay (All)	%0 Otonom	7,85	127,38	8,83	50,04
	%25 Otonom	7,69	58,83	8,80	42,25
	%50 Otonom	7,60	57,48	8,85	42,30
	%75 Otonom	7,57	59,31	8,67	43,60
	%100 Otonom	7,67	54,80	8,45	42,65
Vehs (All)	%0 Otonom	95	70	57	41
	%25 Otonom	95	81	57	44
	%50 Otonom	95	81	57	44
	%75 Otonom	95	82	57	43
	%100 Otonom	95	82	57	43



Şekil 9.41 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.41 Senaryo 6 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Doğu yaklaşımı hariç diğer yaklaşımlarda sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşu durma gecikmesini azaltmıştır. Doğu yaklaşımı için, %50 Sürücüsüz araç ortamında durma gecikmesi azalmış olsa da, en düşük durma gecikmesine %0 sürücüsüz araç varlığında ulaşmıştır. Güney ve Batı yaklaşımları için en düşük durma gecikmesi %100, Kuzey yaklaşımı için ise %50 sürücüsüz araç ortamıdır.



Şekil 9.42 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.42 Senaryo 6 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Tüm yaklaşımlarda sisteme sürücüsüz araç girişiyle birlikte araç gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesinin yaşandığı senaryo %100 sürücüsüz araç senaryosudur.

9.7 Senaryo 6 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

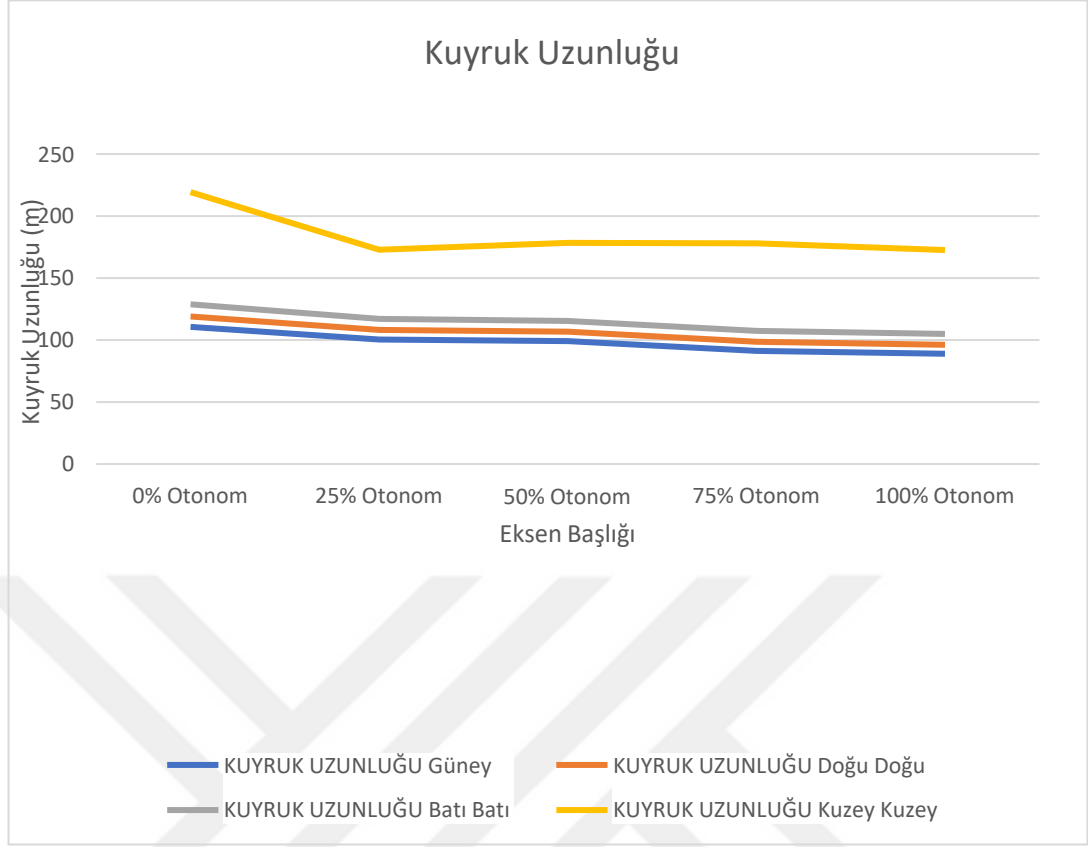
Şekil 9.43 Senaryo 7 hacim değerlerini göstermektedir.

7. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	542	169	65	776
Batı Yaklaşımı	552	256	64	872
Kuzey Yaklaşımı	531	235	139	905
Güney Yaklaşımı	532	292	140	964

Şekil 9.43 Senaryo 7 Hacim Değerleri

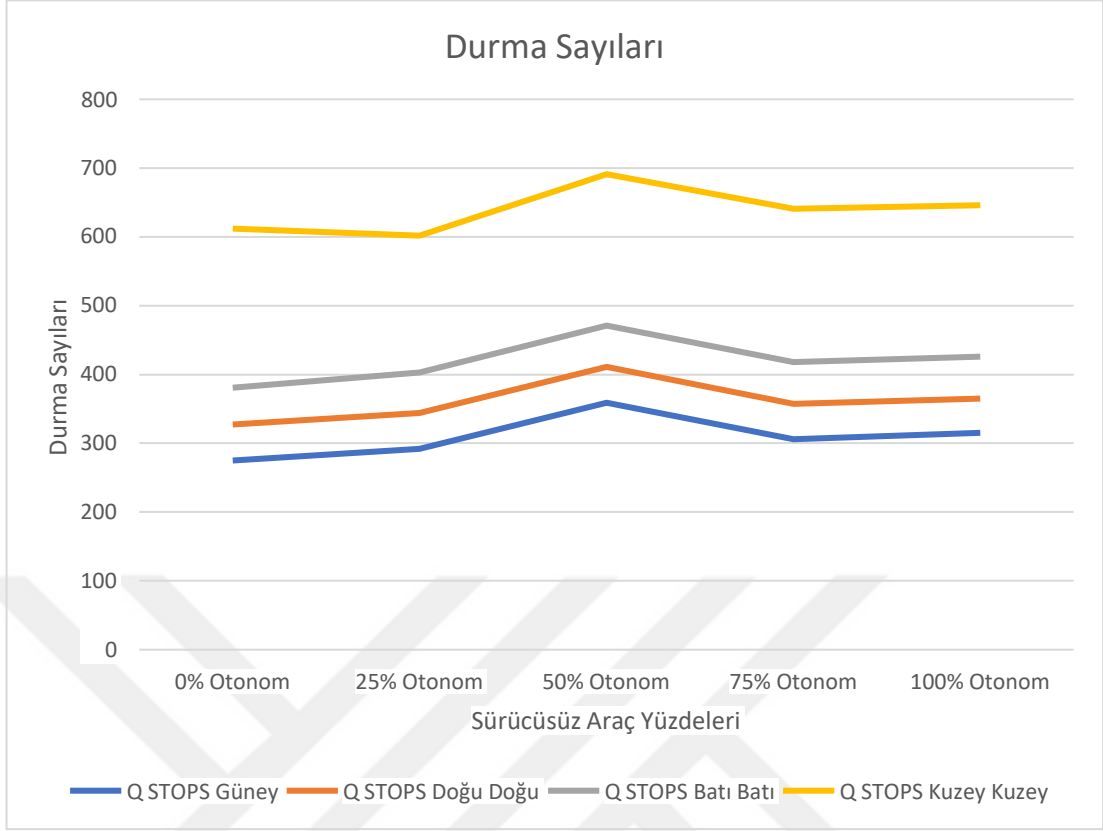
Tablo 9.19 Senaryo 7 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 7 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	110,79	8,38	9,77	90,39
	%25 Otonom	100,57	7,71	8,87	55,68
	%50 Otonom	99,36	7,53	8,78	62,63
	%75 Otonom	91,44	7,30	8,95	70,44
	%100 Otonom	89,06	7,25	8,77	67,52
Q len max	%0 Otonom	140,58	36,96	31,97	142,37
	%25 Otonom	141,12	36,12	34,11	103,53
	%50 Otonom	141,02	34,69	33,37	107,34
	%75 Otonom	140,99	32,83	33,27	124,31
	%100 Otonom	140,56	32,83	33,3	118,19
Q stops	%0 Otonom	275	52	54	231
	%25 Otonom	292	52	59	199
	%50 Otonom	359	52	60	220
	%75 Otonom	306	51	61	223
	%100 Otonom	315	50	61	220



Şekil 9.44 Senaryo 7 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.44 Senaryo 7 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. En düşük kuyruk uzunluğu Güney, Doğu ve Batı yaklaşımında gözlemlenen en düşük kuyruk uzunluğu %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Kuzey yaklaşımında en düşük kuyruk uzunluğu %50 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Tüm kavşak ele alındığında, Senaryo 7 için %100 sürücüsüz araç varlığı en az kuyruk uzunluğunu sağlar.

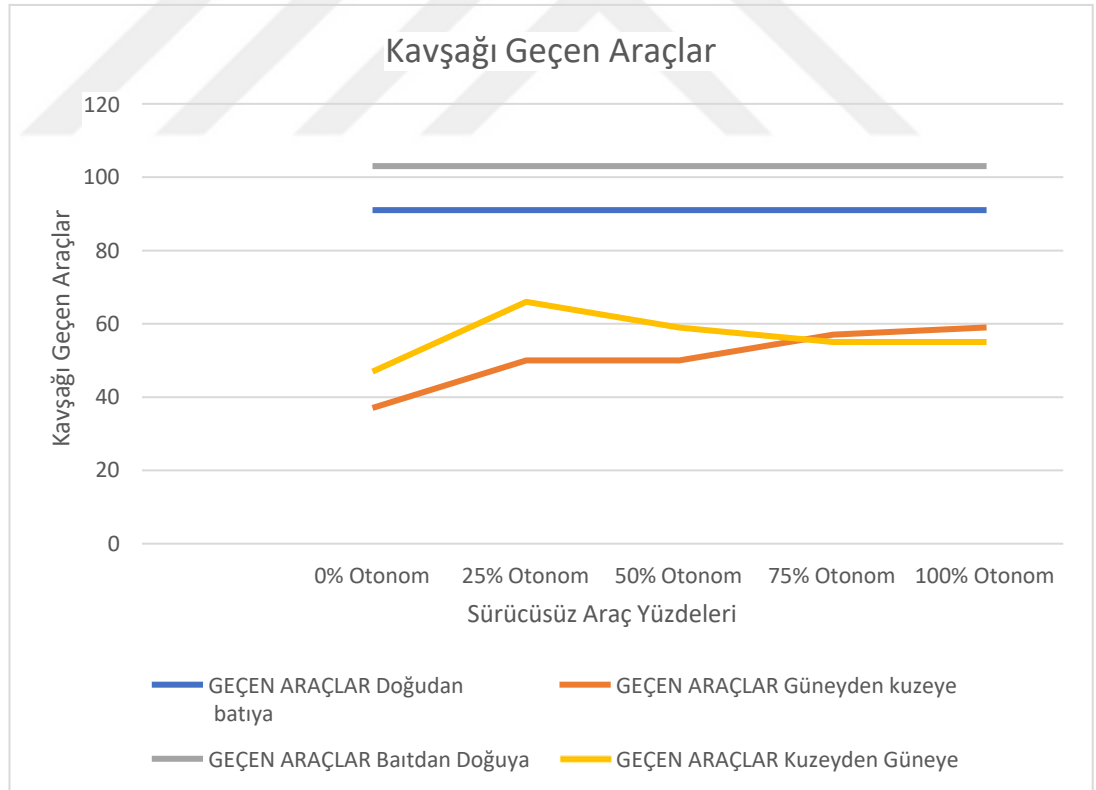


Şekil 9.45 Senaryo 7 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.45 Senaryo 7 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Senaryo 7’de Güney ve Batı yaklaşımının en az durma sayısının yaşandığı senaryo %0, Doğu yaklaşımının %75 ve Kuzey yaklaşımının ise %25 sürücüsüz araç senaryosudur. Kavşak bir bütün olarak incelendiğinde, senaryo 7 %25 sürücüsüz araç ortamında en az durma sayılarına sahip olur.

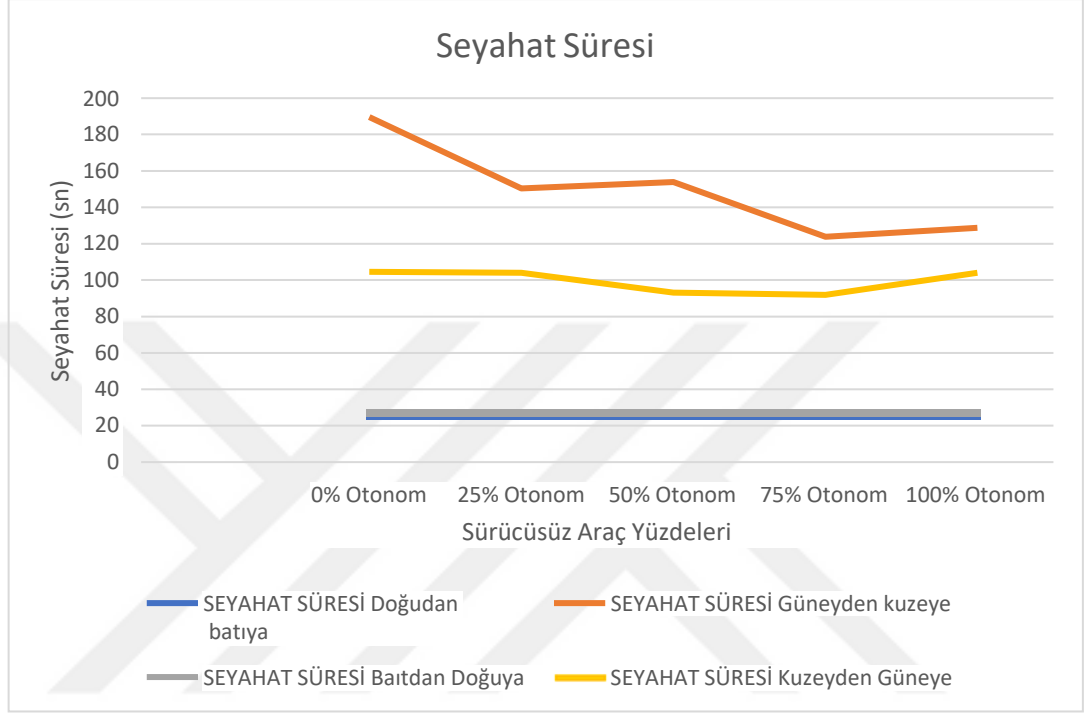
Tablo 9.20 Senaryo 7 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 7 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	91	37	103	47
	%25 Otonom	91	50	103	66
	%50 Otonom	91	50	103	59
	%75 Otonom	91	57	103	55
	%100 Otonom	91	59	103	55
Travel Time (All)	%0 Otonom	25,31	189,58	26,74	104,55
	%25 Otonom	25,13	150,28	27,04	103,89
	%50 Otonom	25,15	153,89	27,01	92,92
	%75 Otonom	25,19	123,71	27,19	91,86
	%100 Otonom	25,11	128,75	27,16	103,98



Şekil 9.46 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.46 Senaryo 7 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Batı yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Kuzey ve Güney yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında artış gözlemlenmiştir.

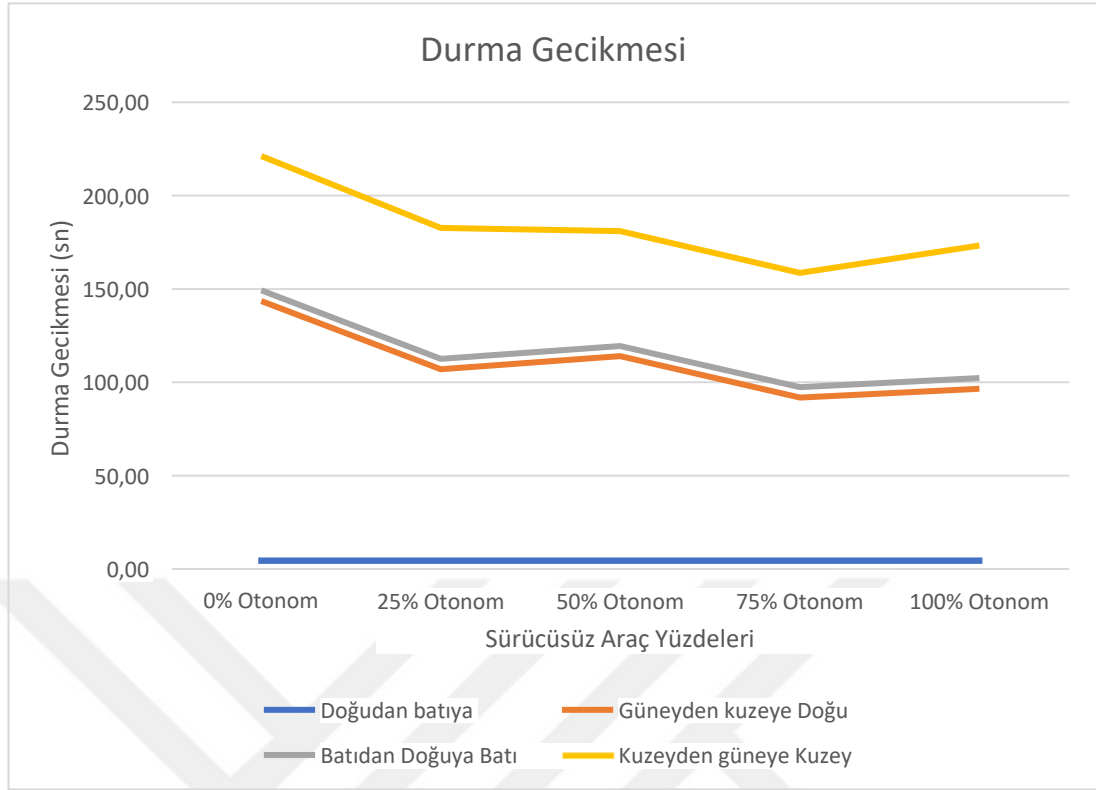


Şekil 9.47 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.47 senaryo 7'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu, Batı ve Kuzey yaklaşımlarındaki araçların sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşuyla seyahat sürelerinde düşme gözlemlenmiştir. Batı yaklaşımında sürücüsüz araç ortamı seyahat süresini yaklaşık %1 arttırmıştır. Senaryo 7 için, kavşak bir bütün olarak ele alındığında, %75 sürücüsüz araç varlığı en az seyahat süresini sağlamıştır.

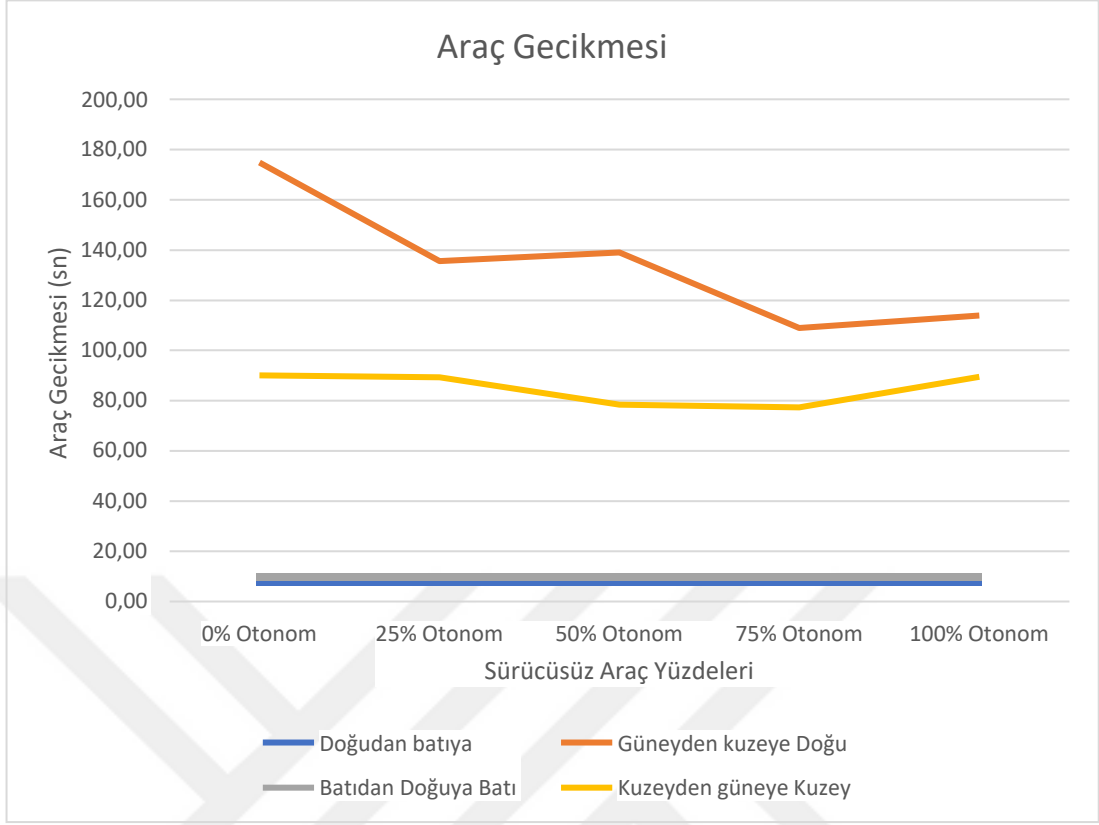
Tablo 9.21 Senaryo 7 Gecikme Değerleri

SENARYO 7 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	4,55	138,93	5,78	71,96
	%25 Otonom	4,35	102,60	5,67	70,06
	%50 Otonom	4,32	109,58	5,63	61,50
	%75 Otonom	4,33	87,44	5,69	61,13
	%100 Otonom	4,33	92,17	5,81	70,93
Stops (All)	%0 Otonom	0,30	9,22	0,30	3,68
	%25 Otonom	0,27	11,52	0,29	5,86
	%50 Otonom	0,27	9,24	0,33	4,98
	%75 Otonom	0,27	7,35	0,34	5,09
	%100 Otonom	0,26	6,90	0,34	6,64
VehDelay (All)	%0 Otonom	7,88	174,84	9,47	90,06
	%25 Otonom	7,70	135,56	9,78	89,36
	%50 Otonom	7,71	139,12	9,75	78,38
	%75 Otonom	7,76	108,94	9,93	77,34
	%100 Otonom	7,67	113,99	9,90	89,53
Vehs (All)	%0 Otonom	91	37	103	47
	%25 Otonom	91	50	103	66
	%50 Otonom	91	50	103	59
	%75 Otonom	91	57	103	55
	%100 Otonom	91	59	103	55



Şekil 9.48 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.48 Senaryo 7 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bütün yaklaşımlarda sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşu durma gecikmesini azaltmıştır. Doğu ve Batı yaklaşımı en düşük durma gecikmesine %50, Güney ve Kuzey yaklaşımı %75 sürücüsüz araç ortamında ulaşmıştır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük durma gecikmesi %75 sürücüsüz araç ortamındadır



Şekil 9.49 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.49 Senaryo 7 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Batı yaklaşımı dışında diğer tüm yaklaşımlarda sisteme sürücüsüz araç girişiyle birlikte araç gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesinin yaşandığı senaryo %75 sürücüsüz araç senaryosudur.

9.8 Senaryo 8 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

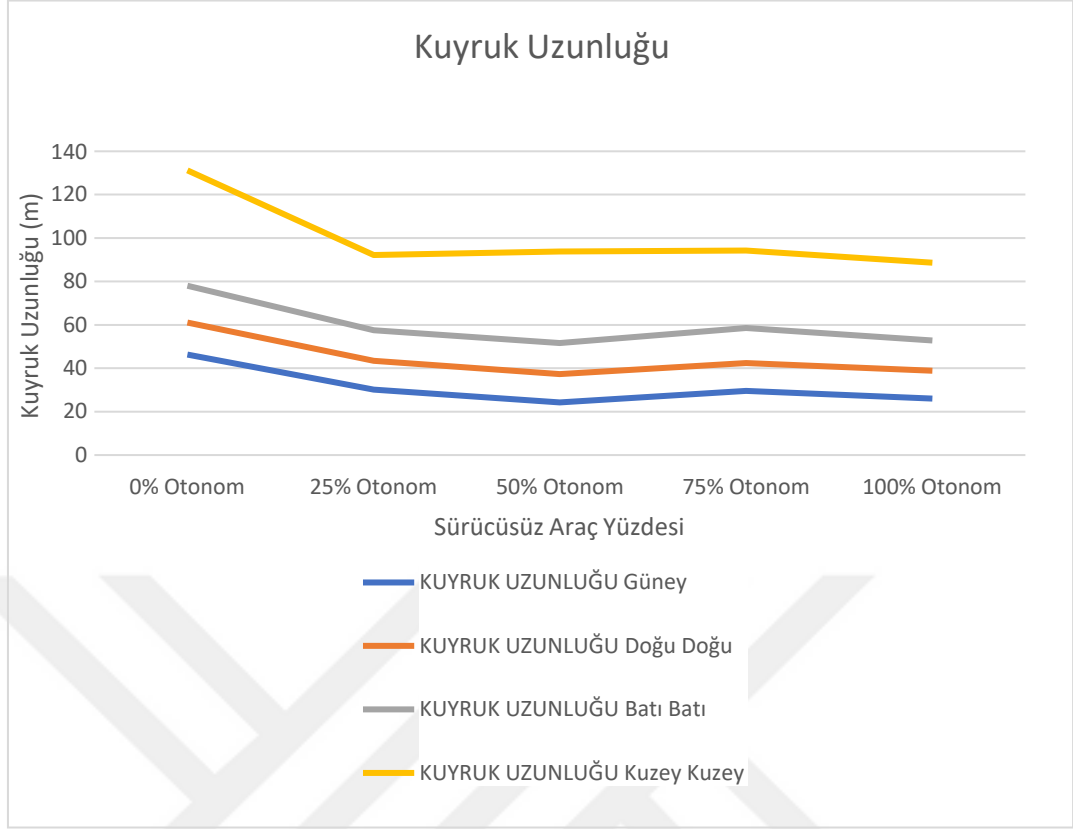
Şekil 9.50 Senaryo 8 hacim değerlerini göstermektedir.

8. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	384	285	106	775
Batı Yaklaşımı	355	261	192	808
Kuzey Yaklaşımı	332	160	158	650
Güney Yaklaşımı	238	133	116	487

Şekil 9.50 Senaryo 8 Hacim Değerleri

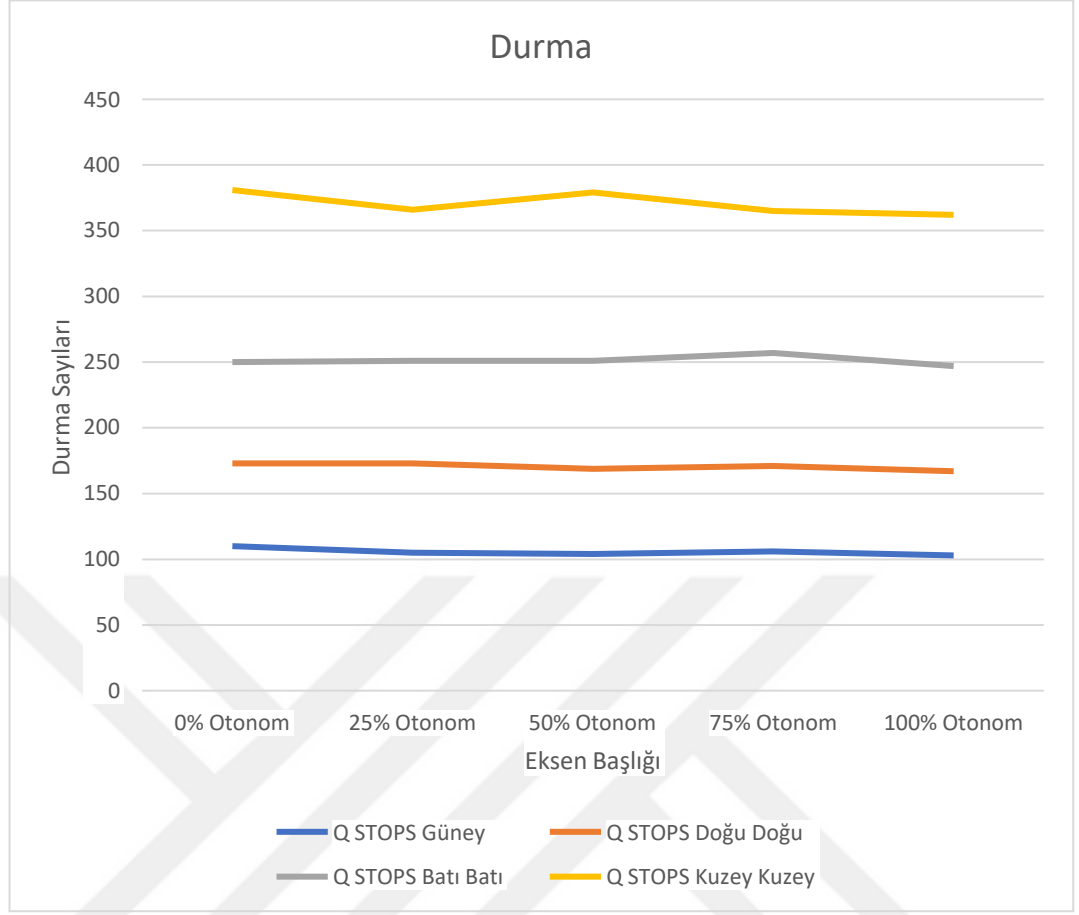
Tablo 9.22 Senaryo 8 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 8 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	46,32	14,75	16,89	53,23
	%25 Otonom	30,18	13,24	14,08	34,65
	%50 Otonom	24,25	13,04	14,28	42,16
	%75 Otonom	29,54	12,91	16,08	35,63
	%100 Otonom	26	12,82	13,94	35,78
Q len max	%0 Otonom	79,95	58,71	47,66	102,41
	%25 Otonom	56,33	56,05	43,25	74,01
	%50 Otonom	56,75	53,56	41,82	88,2
	%75 Otonom	55,79	51,7	47,42	75,78
	%100 Otonom	51,3	51,77	42,17	75,5
Q stops	%0 Otonom	110	63	77	131
	%25 Otonom	105	68	78	115
	%50 Otonom	104	65	82	128
	%75 Otonom	106	65	86	108
	%100 Otonom	103	64	80	115



Şekil 9.51 Senaryo 8 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.51 Senaryo 8 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda düşüş gözlemlenmiştir. En düşük kuyruk uzunluğu Güney yaklaşımında %50, Doğu yaklaşımında %100; Batı yaklaşımında %100 ve Kuzey yaklaşımında %25 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Tüm kavşak ele alındığında, Senaryo 8 için %100 sürücüsüz araç ortamında en düşük kuyruk uzunluğunu sağlar.

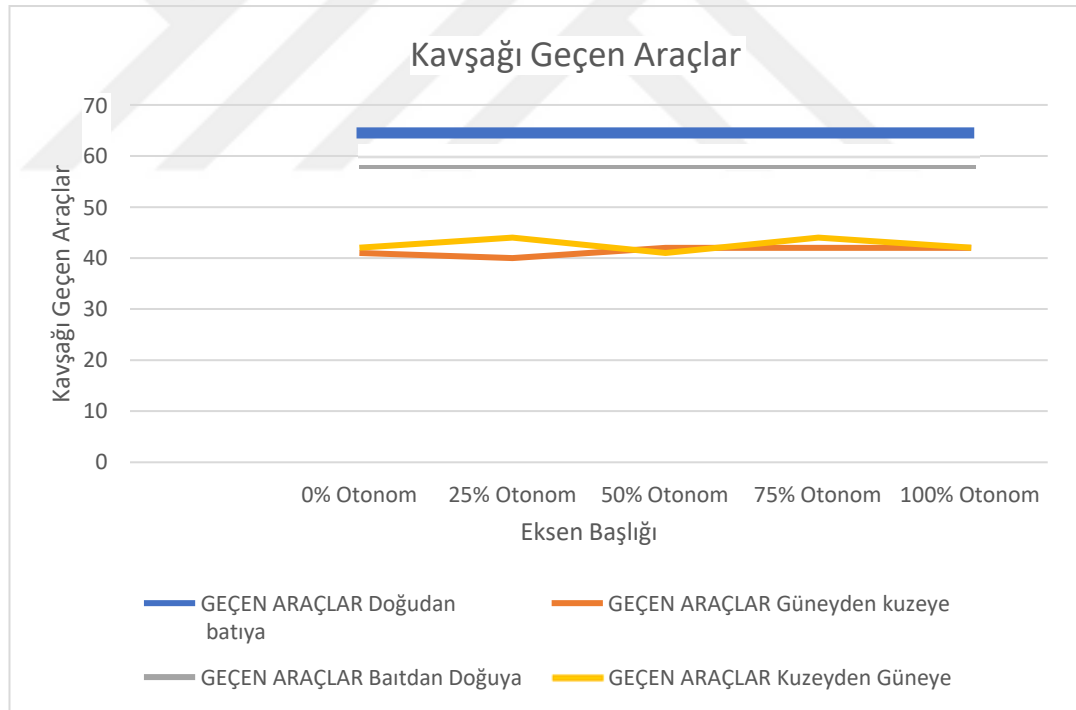


Şekil 9.52 Senaryo 8 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.52 Senaryo 8 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Senaryo 8’de Güney yaklaşımının en az durma sayısının yaşandığı senaryo %100, Doğu yaklaşımının %0 ve Batı yaklaşımının %0, Kuzey yaklaşımının ise %75 sürücüsüz araç senaryosudur. Kavşak bir bütün olarak incelendiğinde, senaryo 8 %100 sürücüsüz araç ortamında en az durma sayılarına sahip olur.

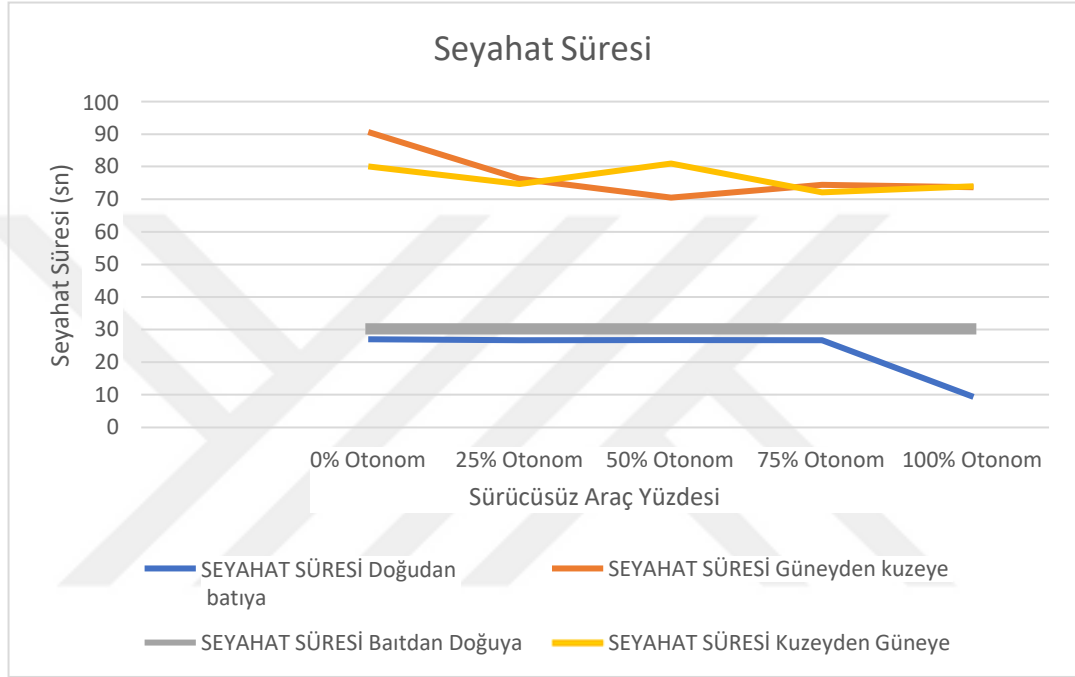
Tablo 9.23 Senaryo 8 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 8 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	65	41	58	42
	%25 Otonom	65	40	58	44
	%50 Otonom	64	42	58	41
	%75 Otonom	65	42	58	44
	%100 Otonom	65	42	58	42
Travel Time (All)	%0 Otonom	27,03	90,64	30,17	80,17
	%25 Otonom	26,75	76,28	29,63	74,73
	%50 Otonom	26,79	70,55	30	80,97
	%75 Otonom	26,7	74,46	31,08	72,16
	%100 Otonom	9,33	73,79	29,47	74,09



Şekil 9.53 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.53 Senaryo 8 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Batı yaklaşımında sürücüsüz araçların sisteme girişi, kavşağı geçen araç sayısını pek etkilemezken, Kuzey ve Güney yaklaşımında sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kavşağı geçen araç sayısında azalma gözlemlenmiştir. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında kavşak çizgisinden en çok aracın geçtiği senaryo %75 sürücüsüz araç senaryosudur.

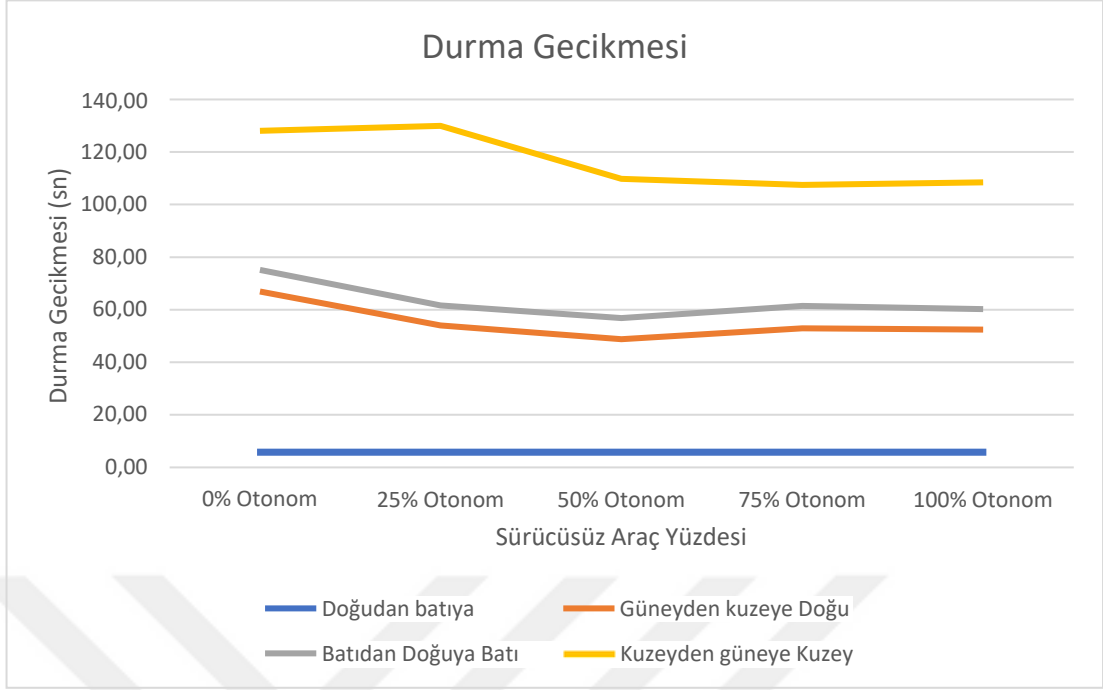


Şekil 9.54 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.54 senaryo 8'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu, Batı ve Kuzey yaklaşımlarındaki araçların sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşuyla seyahat sürelerinde düşme gözlemlenmiştir. Senaryo 8 için, kavşak bir bütün olarak ele alındığında, %100 sürücüsüz araç varlığı en az seyahat süresini sağlamıştır.

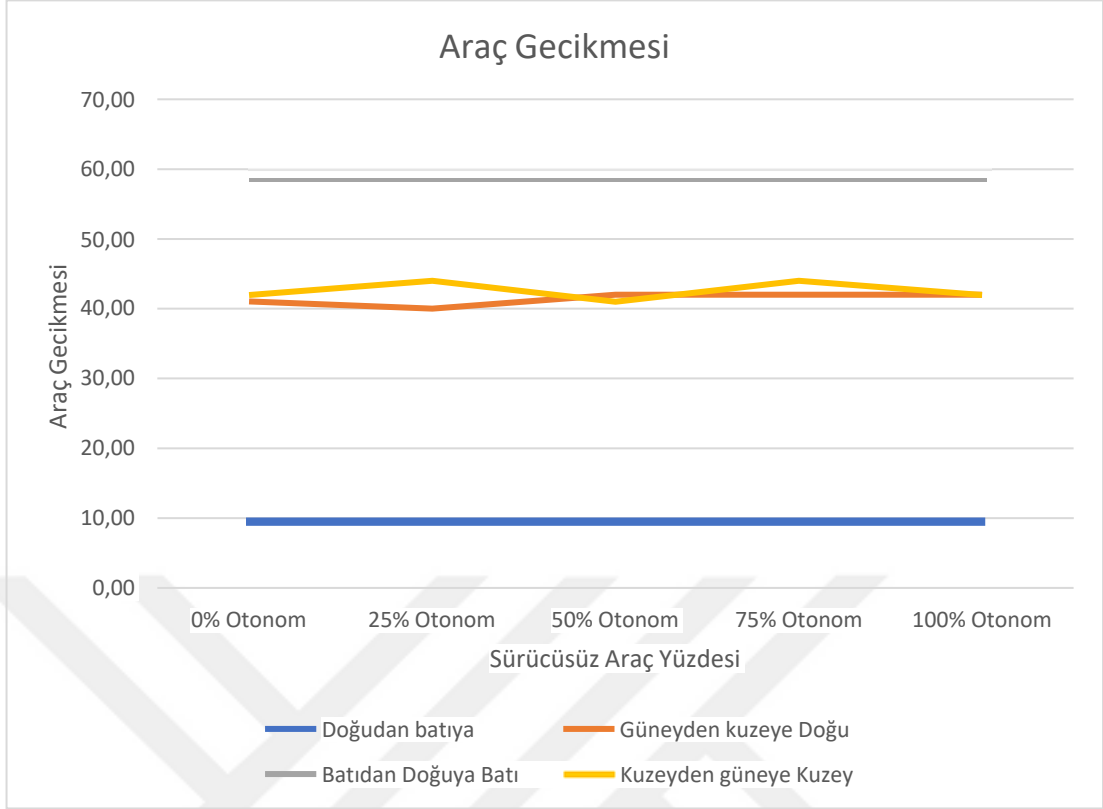
Tablo 9.24 Senaryo 8 Gecikme Değerleri

SENARYO 8 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	6,02	60,90	8,16	53,00
	%25 Otonom	5,64	48,31	7,65	68,34
	%50 Otonom	5,62	43,16	7,94	53,07
	%75 Otonom	5,69	47,19	8,50	46,13
	%100 Otonom	5,66	46,80	7,78	48,21
Stops (All)	%0 Otonom	0,29	3,22	0,29	2,50
	%25 Otonom	0,29	2,35	0,22	2,77
	%50 Otonom	0,30	2,64	0,31	3,41
	%75 Otonom	0,35	2,74	0,36	2,48
	%100 Otonom	0,28	2,33	0,24	2,48
VehDelay (All)	%0 Otonom	9,66	75,84	13,02	65,68
	%25 Otonom	9,38	61,42	12,44	60,21
	%50 Otonom	9,42	55,70	12,81	66,44
	%75 Otonom	9,34	59,60	13,90	57,64
	%100 Otonom	9,33	58,94	12,29	59,60
Vehs (All)	%0 Otonom	65	41	58	42
	%25 Otonom	65	40	58	44
	%50 Otonom	64	42	58	41
	%75 Otonom	65	42	58	44
	%100 Otonom	65	42	58	42



Şekil 9.55 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.55 Senaryo 8 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kuzey yaklaşımı hariç diğer yaklaşımlarda sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşu durma gecikmesini azaltmıştır. Doğu yaklaşımı en düşük durma gecikmesine %50, Güney yaklaşımı %50, Batı yaklaşımı %25, Kuzey yaklaşımı ise %75 sürücüsüz araç varlığında ulaşmıştır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi %75 sürücüsüz araç senaryosunda yaşanmıştır.



Şekil 9.56 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.56 Senaryo 8 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Tüm yaklaşımlarda sisteme sürücüsüz araç girişiyle birlikte araç gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında, en düşük araç gecikmesinin yaşandığı senaryo %100 sürücüsüz araç senaryosudur.

9.9 Senaryo 9 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

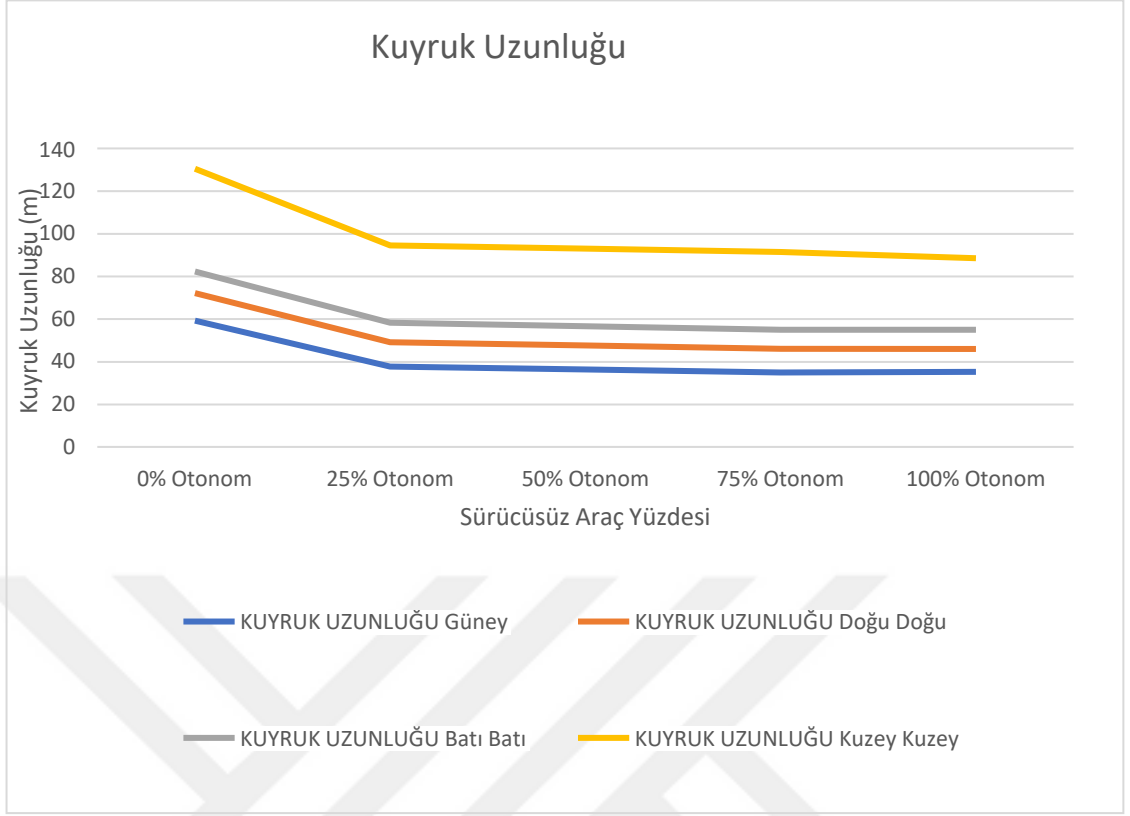
Şekil 9.57 Senaryo 9 hacim değerlerini göstermektedir.

9. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	223	242	175	640
Batı Yaklaşımı	512	126	174	812
Kuzey Yaklaşımı	319	240	94	653
Güney Yaklaşımı	231	292	75	598

Şekil 9.57 Senaryo 9 Hacim Değerleri

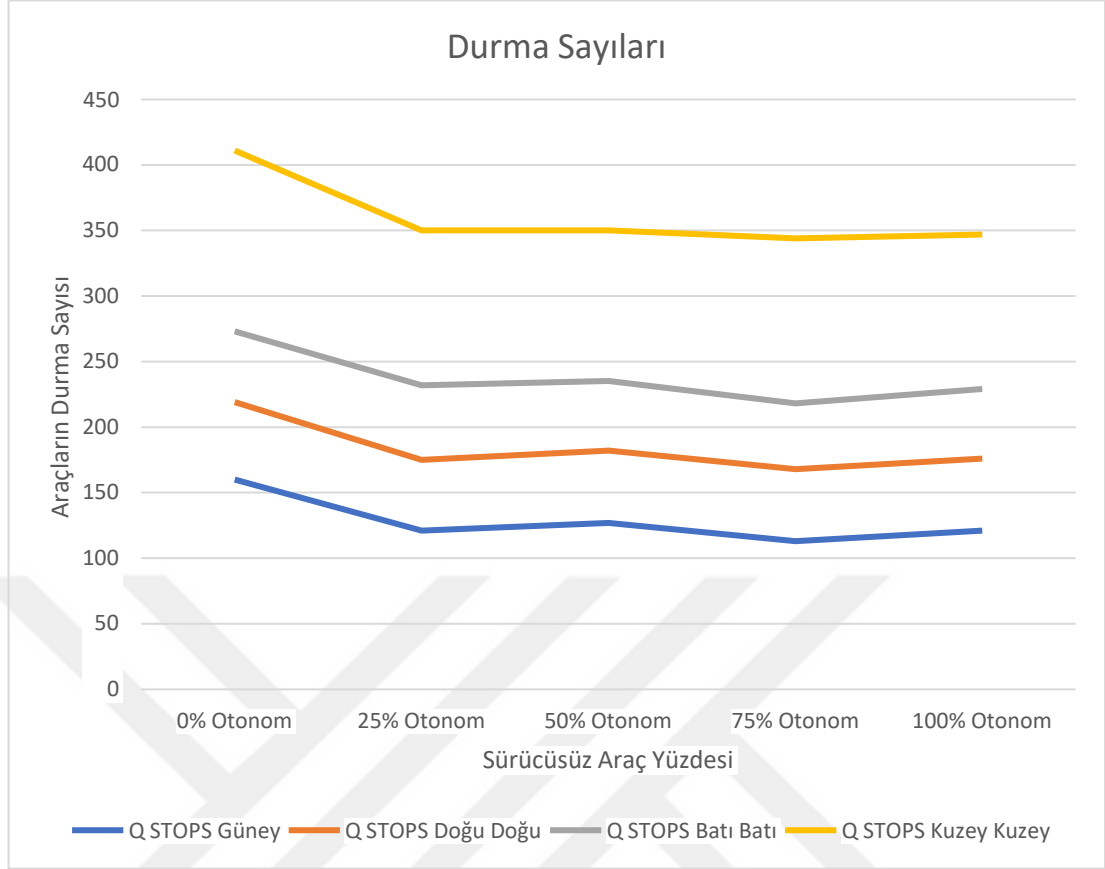
Tablo 9.25 Senaryo 9 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 9 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	59,25	12,89	10,13	48,2
	%25 Otonom	37,73	11,35	9,22	36,22
	%50 Otonom	36,28	11,30	8,94	36,47
	%75 Otonom	34,9	11,06	8,99	36,49
	%100 Otonom	35,17	10,83	8,89	33,64
Q len max	%0 Otonom	119,5	53,23	32,06	97,34
	%25 Otonom	76,16	44,49	29,11	81,5
	%50 Otonom	76,49	43,99	28,68	81,34
	%75 Otonom	70,66	43,54	28,47	80,58
	%100 Otonom	74,86	42,61	28,57	76,03
Q stops	%0 Otonom	160	59	54	138
	%25 Otonom	121	54	57	118
	%50 Otonom	127	55	53	115
	%75 Otonom	113	55	50	126
	%100 Otonom	121	55	53	118



Şekil 9.58 Senaryo 9 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.58 Senaryo 9 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda dramatik bir düşüş gözlemlenmiştir. En düşük kuyruk uzunluğu Güney yaklaşımında %75, Doğu yaklaşımında %100; Batı yaklaşımında %100 ve Kuzey yaklaşımında %100 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Tüm kavşak ele alındığında, Senaryo 8 için %100 sürücüsüz araç ortamında en düşük kuyruk uzunluğunu sağlar.

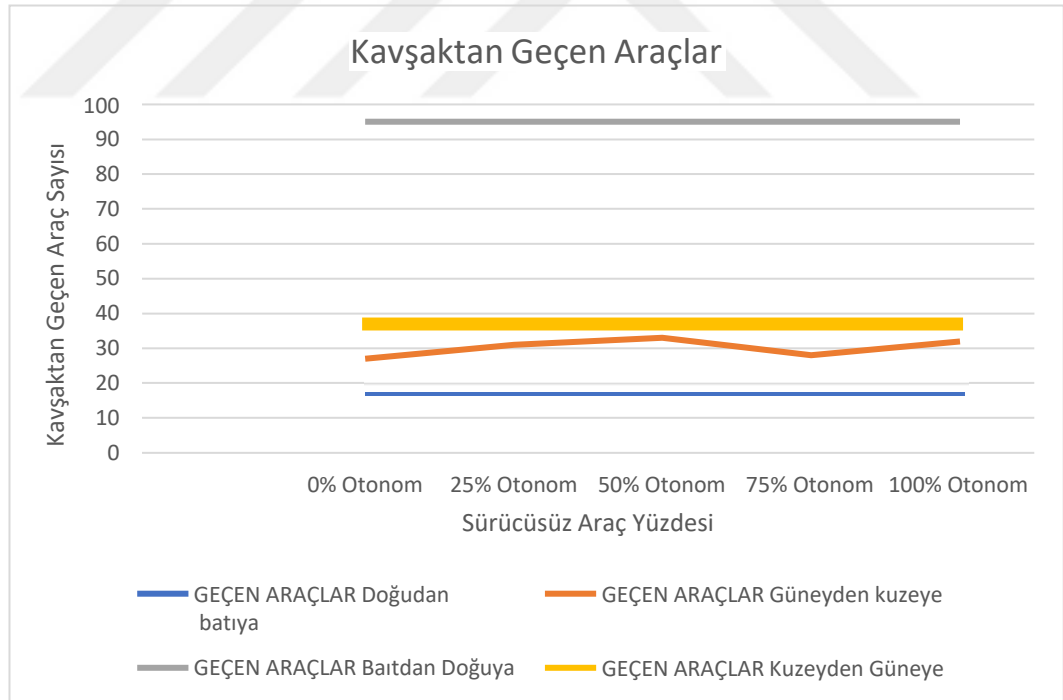


Şekil 9.59 Senaryo 9 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.59 Senaryo 9 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Senaryo 9 için, Güney yaklaşımının en az durma sayısının yaşandığı senaryo %75, Doğu yaklaşımının %25 ve Batı yaklaşımının %75, Kuzey yaklaşımının ise %50 sürücüsüz araç senaryosudur. Kavşak bir bütün olarak incelendiğinde, senaryo 9 %75 sürücüsüz araç ortamında en az durma sayılarına sahip olur.

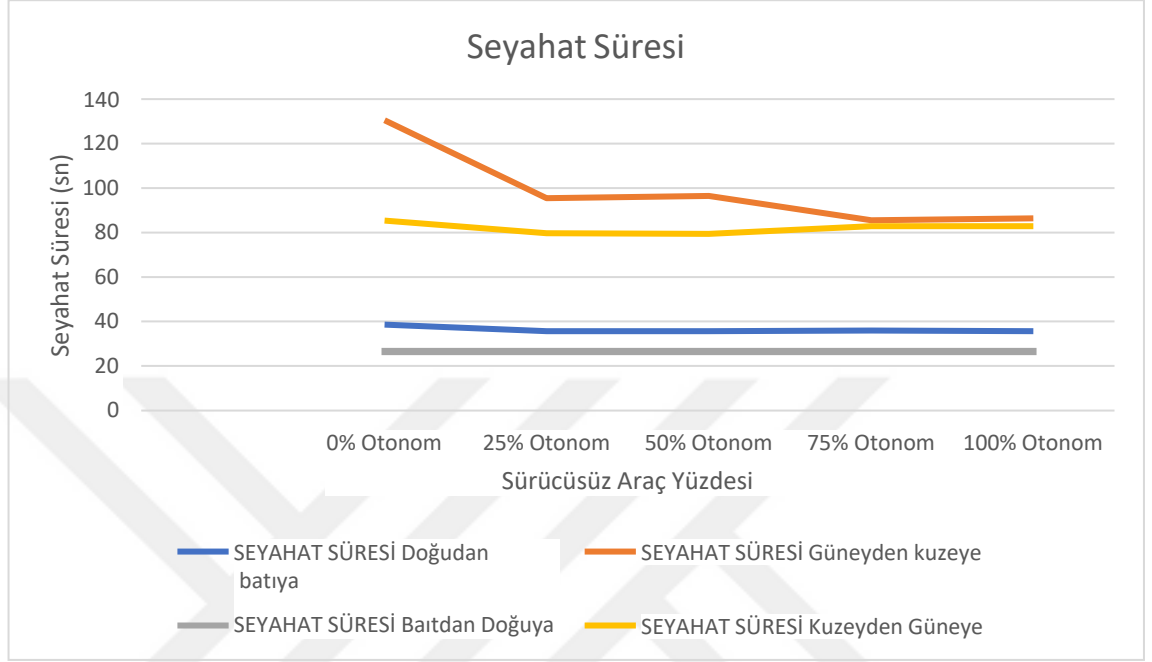
Tablo 9.26 Senaryo 9 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 9 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	18	27	95	37
	%25 Otonom	18	31	95	37
	%50 Otonom	18	33	95	38
	%75 Otonom	18	28	95	36
	%100 Otonom	18	32	95	37
Travel Time (All)	%0 Otonom	38,69	130,52	26,76	85,45
	%25 Otonom	35,76	95,38	26,85	79,74
	%50 Otonom	35,71	96,41	26,38	79,47
	%75 Otonom	36,03	85,49	26,29	82,9
	%100 Otonom	35,74	86,37	26,61	82,9



Şekil 9.60 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.60 Senaryo 9 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Güney yaklaşımındaki araçlar haricinde sürücüsüz araç varlığının kavşağı geçen araçlar üzerinde pek etkisi olmamıştır.

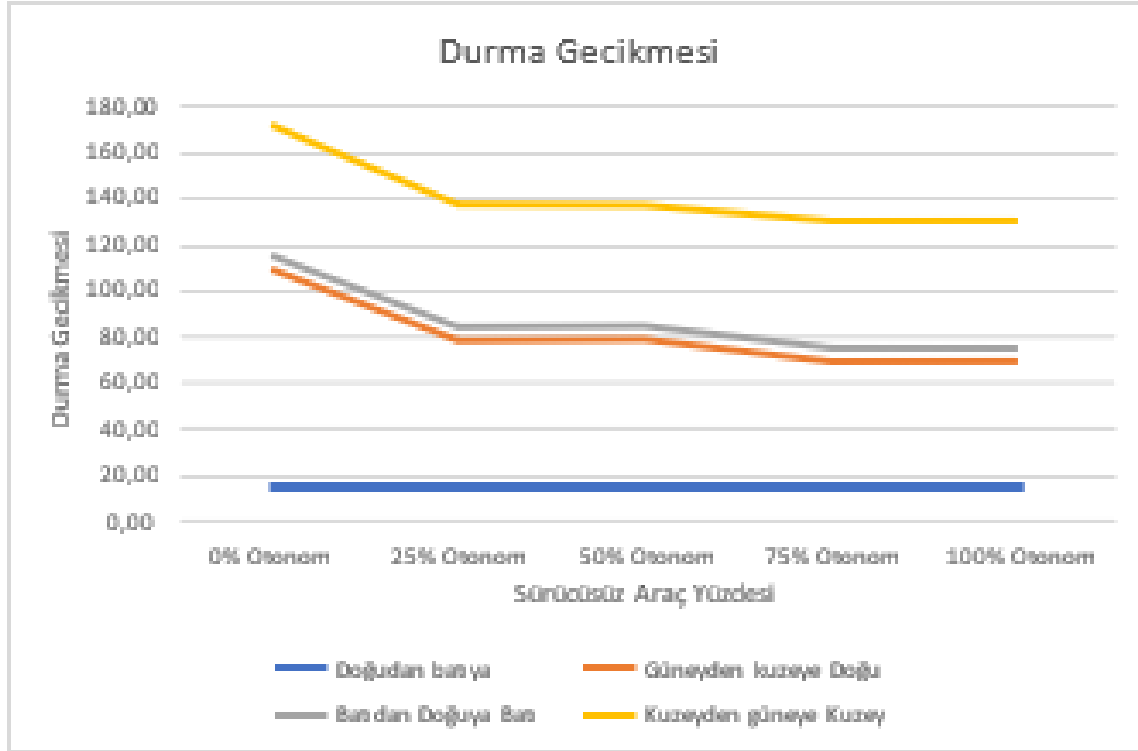


Şekil 9.61 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.61 senaryo 9'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu ve Batı yaklaşımlarında sürücüsüz araç etkisi çok fazla görülmezken, Kuzey ve Güney yaklaşımlarında seyahat süresinde düşme görülmüştür. Senaryo 9 için, kavşak bir bütün olarak ele alındığında, %75 sürücüsüz araç varlığı en az seyahat süresini sağlamıştır.

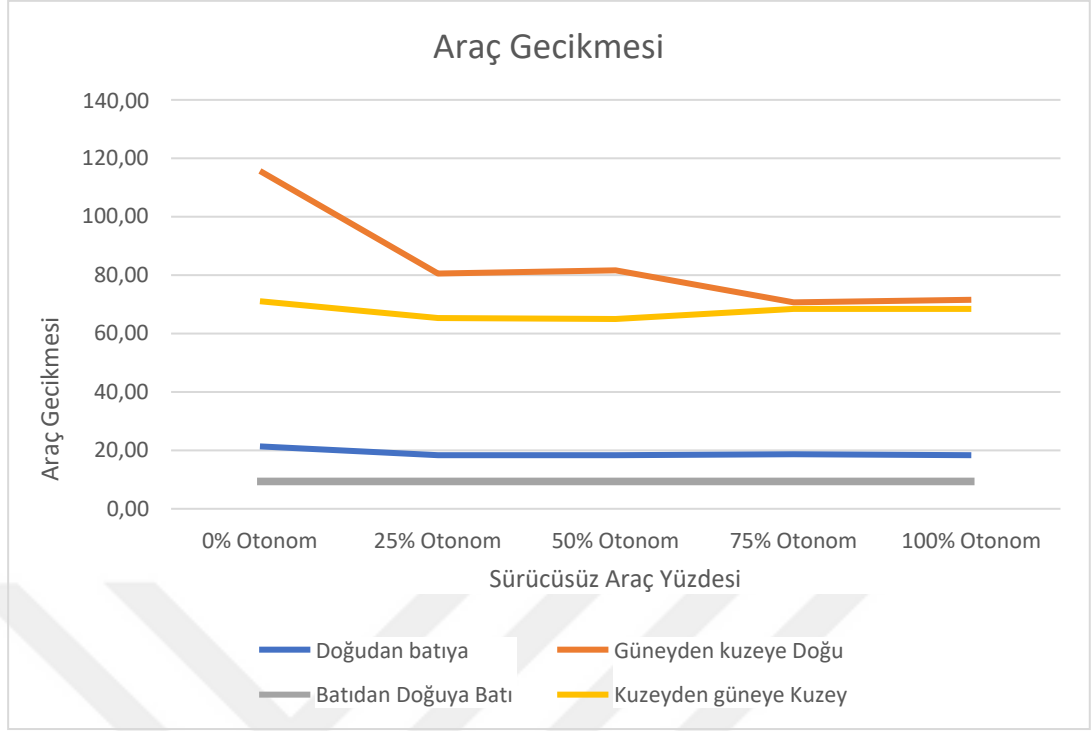
Tablo 9.27 Senaryo 9 Gecikme Değerleri

SENARYO 9 Gecikme Sonuçları		Doğudan batıya	Güneyden kuzeye	Batıdan Doğuya	Kuzeyden güneye
Stop Delay (All)	0% Otonom	16,07	93,23	5,73	55,58
	25% Otonom	13,79	64,67	5,35	52,97
	50% Otonom	13,85	65,06	5,31	52,27
	75% Otonom	13,89	55,26	5,41	55,25
	100% Otonom	13,83	55,39	5,33	55,33
Stops (All)	0% Otonom	0,50	4,78	0,25	3,19
	25% Otonom	0,44	3,81	0,29	2,70
	50% Otonom	0,44	3,76	0,25	2,71
	75% Otonom	0,44	2,93	0,25	2,75
	100% Otonom	0,44	3,47	0,24	3,11
VehDelay (All)	0% Otonom	21,30	115,65	9,56	71,02
	25% Otonom	18,37	80,56	9,63	65,25
	50% Otonom	18,34	81,60	9,17	64,93
	75% Otonom	18,65	70,65	9,07	68,39
	100% Otonom	18,36	71,52	9,39	68,36
Vehs (All)	0% Otonom	18	27	95	37
	25% Otonom	18	31	95	37
	50% Otonom	18	33	95	38
	75% Otonom	18	28	95	36
	100% Otonom	18	32	95	37



Şekil 9.62 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.62 Senaryo 9 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bütün yaklaşımlarda sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşu durma gecikmesini azaltmıştır. Doğu yaklaşımı en düşük durma gecikmesine %25, Güney yaklaşımı %75, Batı yaklaşımı %50, Kuzey yaklaşımı ise %50 sürücüsüz araç varlığında ulaşmıştır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi %75 sürücüsüz araç senaryosunda yaşanmıştır.



Şekil 9.63 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.63 Senaryo 9 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Batı yaklaşımı hariç tüm yaklaşımlardaki araç gecikmeleri sürücüsüz araçların sisteme girmesiyle birlikte azalma göstermiştir. Sistem en düşük araç gecikmesini %75 sürücüsüz araç varlığında yaşamıştır

9.10 Senaryo 10 Hacim Değerleri ve VISSIM'den Elde Edilen Performans Sonuçları

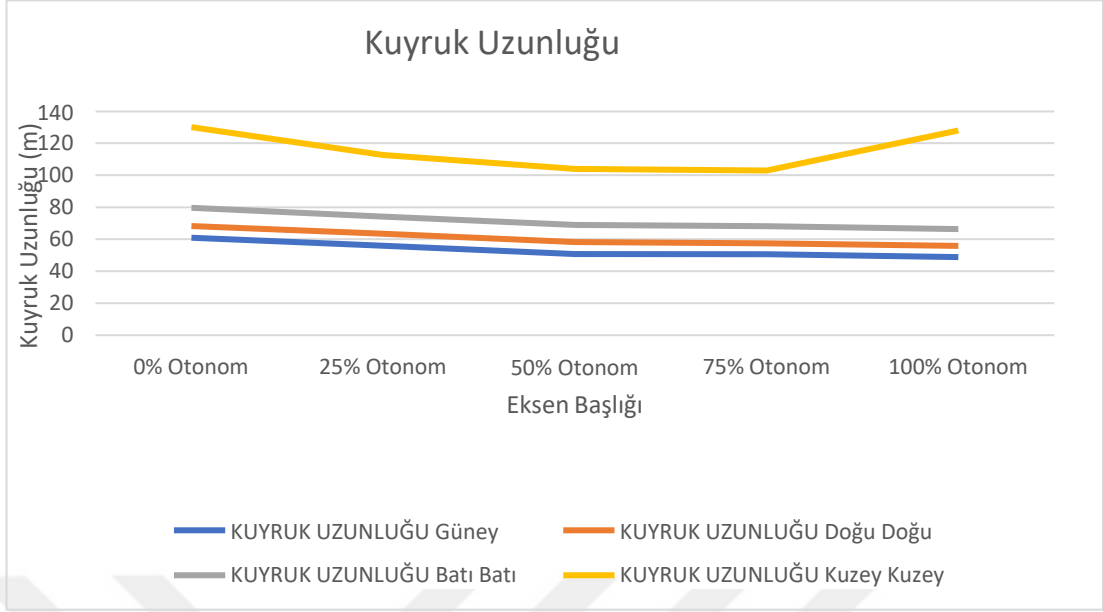
Şekil 9.64 Senaryo 10 hacim değerlerini göstermektedir.

10. Senaryo				
Yaklaşımlar	TH	RT	LT	Toplam Hacim
Doğu Yaklaşımı	461	139	193	793
Batı Yaklaşımı	216	292	69	577
Kuzey Yaklaşımı	247	280	170	697
Güney Yaklaşımı	262	147	152	561

Şekil 9.64 Senaryo 10 Hacim Değerleri

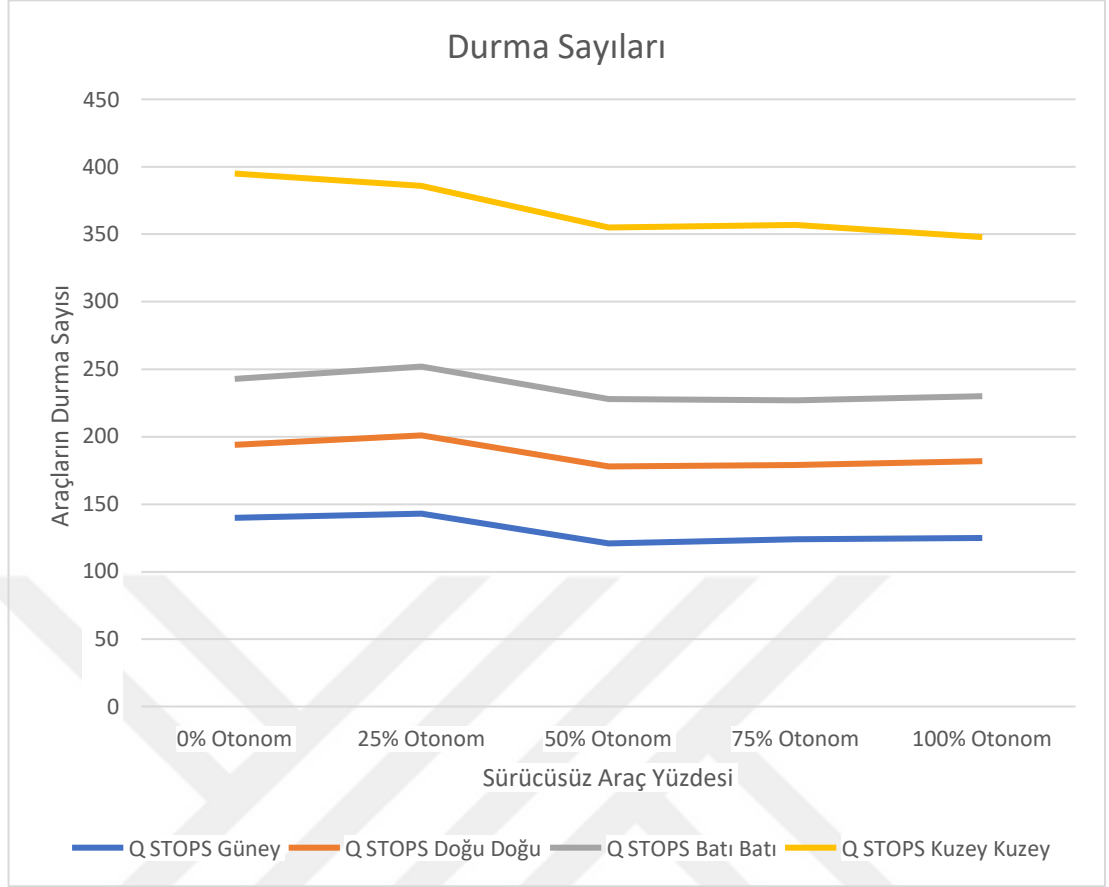
Tablo 9.28 Senaryo 10 Kuyruk Uzunluğu ve Araçların Durma Sayıları

SENARYO 10 Kuyruk Uzunluğu Sonuçları		Yaklaşımlar			
		Güney	Doğu	Batı	Kuzey
Q len	%0 Otonom	60,98	7,31	11,45	50,37
	%25 Otonom	55,98	7,43	10,89	38,34
	%50 Otonom	50,87	7,40	10,74	35
	%75 Otonom	50,6	6,89	10,83	34,72
	%100 Otonom	48,94	6,88	10,61	61,59
Q len max	%0 Otonom	103,46	26,32	42,58	102,49
	%25 Otonom	97,19	24,34	39,16	78,93
	%50 Otonom	91,64	24,48	38,76	79,5
	%75 Otonom	95,11	23,88	38,59	82,69
	%100 Otonom	89,05	23,43	37,74	71,22
Q stops	%0 Otonom	140	54	49	152
	%25 Otonom	143	58	51	134
	%50 Otonom	121	57	50	127
	%75 Otonom	124	55	48	130
	%100 Otonom	125	57	48	118



Şekil 9.65 Senaryo 10 Kuyruk Uzunluğu – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.65 senaryo 10 için kuyruk uzunluğu ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Her bir yaklaşım için sisteme sürücüsüz araçların girişiyle kuyruk uzunluğunda bir düşüş gözlemlenmiştir. En düşük kuyruk uzunluğu Güney yaklaşımında %100, Doğu yaklaşımında %100; Batı yaklaşımında %100 ve Kuzey yaklaşımında %75 sürücüsüz araç varlığında gerçekleşmiştir. Tüm kavşak ele alındığında, Senaryo 10 için %100 sürücüsüz araç ortamında en düşük kuyruk uzunluğunu sağlar.

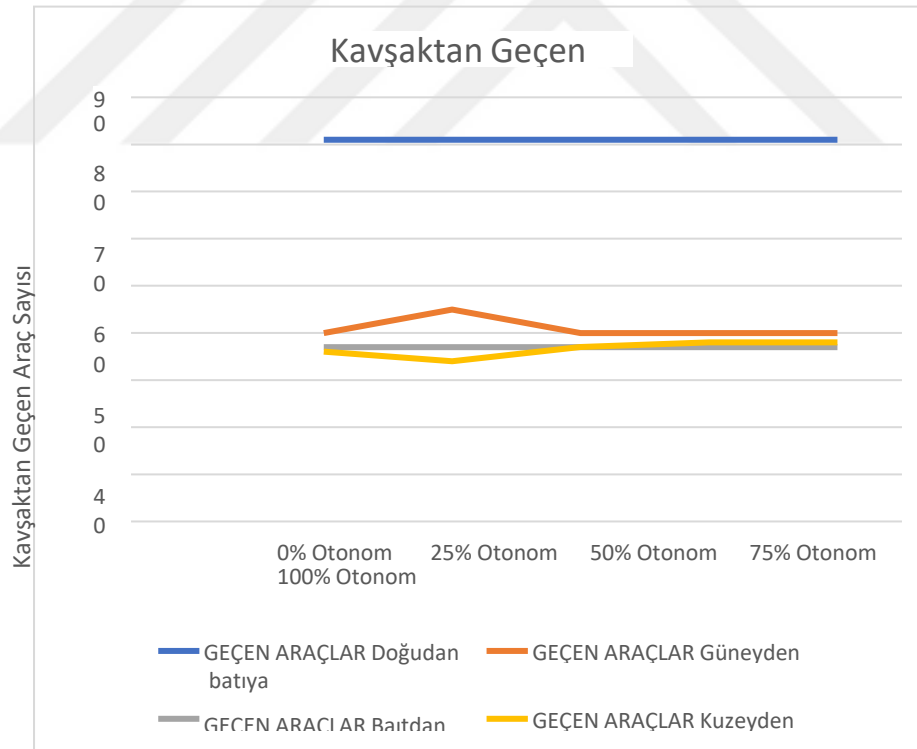


Şekil 9.66 Senaryo 10 Durma Sayıları – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.66 Senaryo 10 için, araçların kavşakta durma sayıları ile sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Senaryo 9 için, Güney yaklaşımının en az durma sayısının yaşandığı senaryo %50, Doğu yaklaşımının %0 ve Batı yaklaşımının %100, Kuzey yaklaşımının ise %100 sürücüsüz araç senaryosudur. Kavşak bir bütün olarak incelendiğinde, senaryo 9 %100 sürücüsüz araç ortamında en az durma sayılarına sahip olur

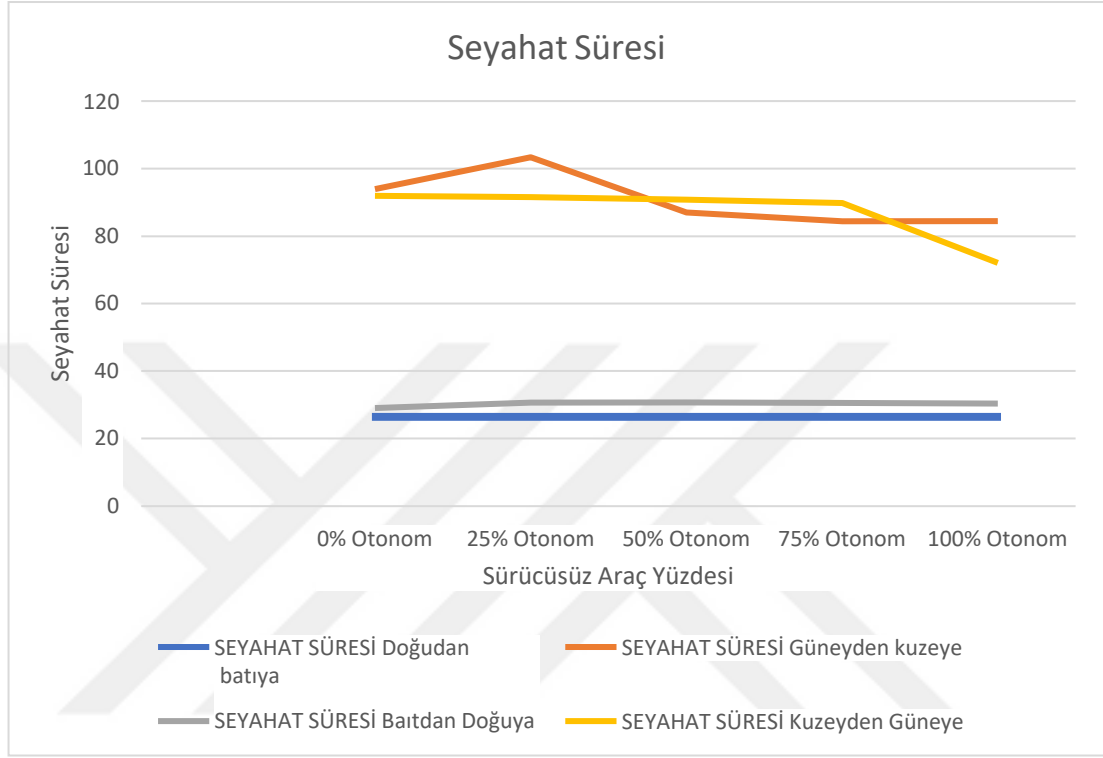
Tablo 9.29 Senaryo 10 Seyahat Süresi Değerleri

SENARYO 10 Araçların Seyahat Süresi Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Vehs(All)	%0 Otonom	81	40	37	36
	%25 Otonom	81	45	37	34
	%50 Otonom	81	40	37	37
	%75 Otonom	81	40	37	38
	%100 Otonom	81	40	37	38
Travel Time (All)	%0 Otonom	26,15	93,89	29,02	91,89
	%25 Otonom	26,67	103,31	30,67	91,53
	%50 Otonom	26,71	86,97	30,68	90,77
	%75 Otonom	26,29	84,35	30,55	89,74
	%100 Otonom	26,43	84,43	30,36	72



Şekil 9.67 Kavşak Çizgisini Geçen Araçlar - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.67 Senaryo 10 için kavşak çizgisini geçen araçlarla sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Kuzey yaklaşımındaki araçlar haricinde sürücüsüz araç varlığının kavşağı geçen araçlar üzerinde pek etkisi olmamıştır.

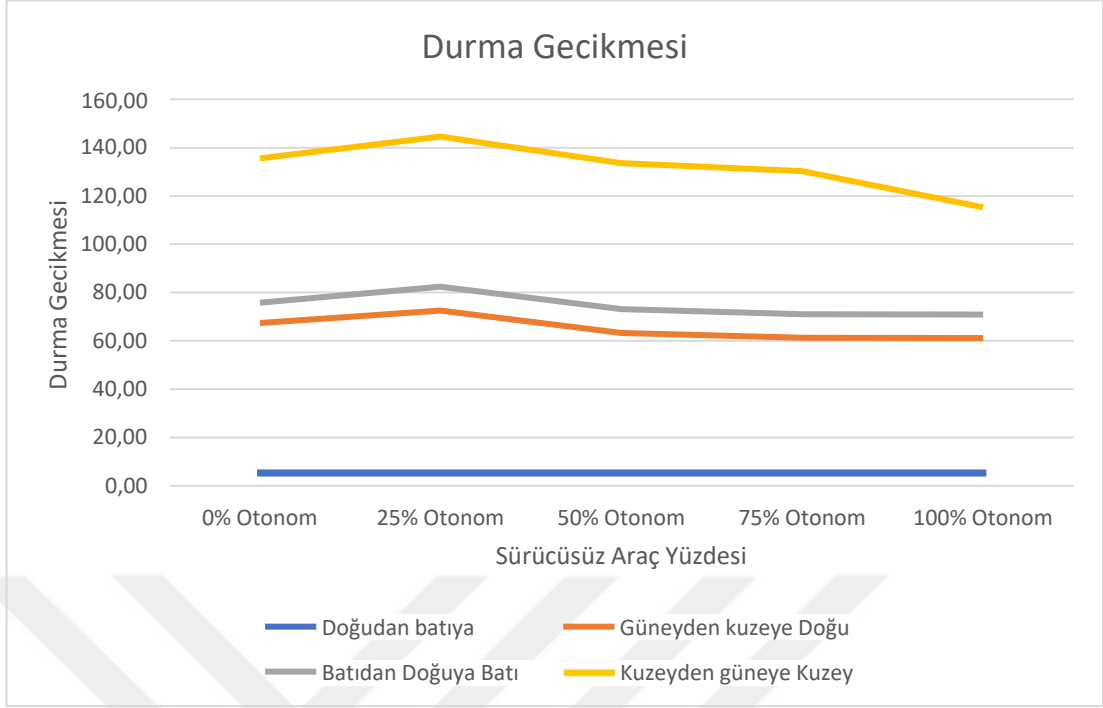


Şekil 9.68 Seyahat Süresi - Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.68 senaryo 10'e göre seyahat süresi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Doğu yaklaşımında en düşük seyahat süresinin yaşandığı senaryo %0, Güney yaklaşımında %100, Batı Yaklaşımında %0 ve Kuzey yaklaşımında %100 sürücüsüz araç penetrasyon oranıdır. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük seyahat süresini veren sürücüsüz araç oranı %100'd

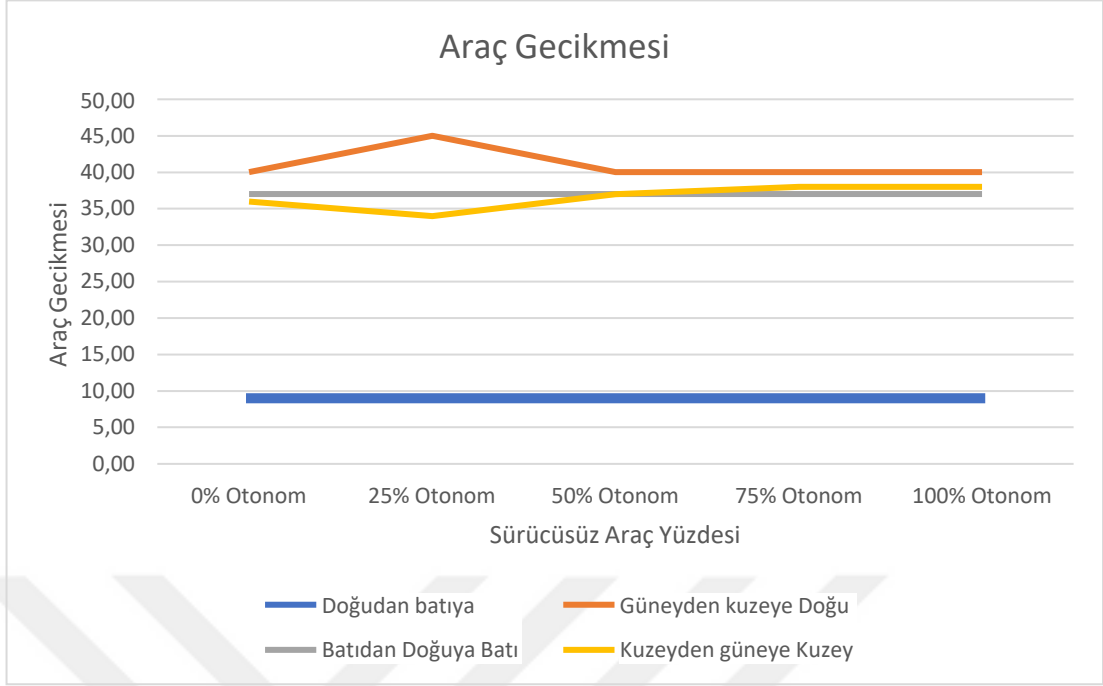
Tablo 9.30 Senaryo 10 Gecikme Sonuçları

SENARYO 10 Gecikme Sonuçları		Doğu	Güney	Batı	Kuzey
Stop Delay (All)	%0 Otonom	5,00	62,33	8,50	59,70
	%25 Otonom	5,43	67,05	9,92	62,20
	%50 Otonom	5,45	57,79	9,85	60,50
	%75 Otonom	5,12	56,08	9,76	59,27
	%100 Otonom	5,14	55,95	9,76	44,47
Stops (All)	%0 Otonom	0,31	3,20	0,24	4,19
	%25 Otonom	0,30	6,87	0,32	3,24
	%50 Otonom	0,26	3,62	0,32	3,78
	%75 Otonom	0,28	3,08	0,32	3,97
	%100 Otonom	0,28	3,10	0,32	2,82
VehDelay (All)	%0 Otonom	8,72	79,09	11,92	77,43
	%25 Otonom	9,24	88,59	13,56	77,05
	%50 Otonom	9,28	72,17	13,58	76,31
	%75 Otonom	8,86	69,56	13,44	75,26
	%100 Otonom	9,00	69,63	13,25	57,52
Vehs (All)	%0 Otonom	81	40	37	36
	%25 Otonom	81	45	37	34
	%50 Otonom	81	40	37	37
	%75 Otonom	81	40	37	38
	%100 Otonom	81	40	37	38



Şekil 9.69 Durma Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.69 Senaryo 10 için Durma gecikmesi ile sürücüsüz araç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bütün yaklaşımlarda sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşu durma gecikmesinde az da olsa bir artış olmuştur. Ancak sürücüsüz araçların trafikteki oranı arttıkça durma gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi %100 sürücüsüz araç senaryosunda yaşanmıştır.



Şekil 9.70 Araç Gecikmesi – Sürücüsüz Araç İlişkisi

Şekil 9.70 Senaryo 10 için araç gecikmesi ve sürücüsüz araç ilişkisini göstermektedir. Bütün yaklaşımlarda sürücüsüz araçların sisteme dahil oluşu durma gecikmesinde az da olsa bir artış olmuştur. Ancak sürücüsüz araçların trafikteki oranı arttıkça durma gecikmesinde azalma görülmüştür. Kavşak bir bütün olarak ele alındığında en düşük durma gecikmesi %100 sürücüsüz araç senaryosunda yaşanmıştır.

BÖLÜM ON

DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, trafik mikro simülasyonu yoluyla sürücüsüz, otonom, araçların sinyalizasyon kavşaktaki performans ve güvenlik üzerindeki etkilerini araştırmak üzerinedir. Otonom araçların sinyalizasyon kavşaklardaki trafik performansı, Otonom araçların farklı penetrasyon oranlarının sayısı aracılığıyla araştırılmıştır.

İnsan sürücülü geleneksel araçlar ve otonom araçların aynı trafik akışındaki davranışları VISSIM’de modellenmiştir. Sürücülü araçlar için VISSIM’de Widemann 99 araba modeli seçilmiş ve üstünde birkaç değişiklik yapılmıştır. Widemann 99 modelinin CC1,CC2,CC5 ve CC6 değerleri ise otonom araç değerlerine göre değiştirilmiştir bu davranışlar, daha kısa boşluklar ve mesafeler ve daha hızlı ivmelenmeleri kapsar. Penetrasyon oranları arttıkça otonom araçların, yol kapasitesini iyileştirmek, gecikmeleri azaltmak ve seyahat sürelerini azaltmak için daha kısa mesafelerle seyahat ederken bile trafik akışını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlarda dikkat çekici sonuçlardan biri, sürücüsüz araçların trafik akışındaki yoğunluğunun, geleneksel sürücülü araçların yoğunluğuna göre fazlaştığında daha iyi performans göstermesidir. Tamamen otonom araçlarla etkili olan bir yol ağında, kapasite ve performansın da en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.

Güvenlik sonuçları, sürücüsüz araçların çatışmaları yüzde 20 ile yüzde 30 oranında azaltarak yol güvenliğini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu çalışma otonom araçların etkisinin daha belirgin bir şekilde görülebilmesi için, sadece tam otomasyona sahip otonom araçlar düşünülerek değerlendirilmiştir. İlerideki çalışmalarda, diğer otomasyona sahip sürücüsüz araçların da olduğu karma senaryoların oluşturulması, farklı sonuçlar ortaya çıkmasına neden olabilir.

KAYNAKLAR

- Akçelik, R. ve Besley, M. (2002). Queue discharge flow and speed models for signalised intersections. Adelaide: 15th International Symposium on Transportation and Traffic Theory.
- Akgüngör, A.P., Korkmaz, E. (2016). Analysis and Modelling of the Relationship between Stopped and Control Delays by Differential Evolution Algorithm. The Open Civil Engineering Journal 10(1):266-279.
- ATKINS (2016). Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) on Traffic Flow Stage 2: Traffic Modelling and Analysis Technical Report.
- Balta, M., Özçelik, İ. (2019). Şehir içi kavşak yönetim sistemleri için SDN temelli bir VANET mimari önerisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 1451–1468, doi:10.17341/gazimmfd.460544.
- Başkan, Ö. (2004). İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Berktaş, E., Tanyel, S. (2020) Effect of Autonomous Vehicles on of Signalized Intersections. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems .Volume 146 Issue 2.
- Baş, F.İ., Çolak, M.A., Demiriz, A.O., Bayata, H.F., Bayrak, O.Ü., Keleş, Ö.F., Mazlum, Y., Gürel, M.O., Demircioğlu M.S. (2020). Kentiçi Kavşakların Mikrosimülasyon Yöntemiyle Modellenmesi: Erzurum İli Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı, S. 444-451.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzewicz, D. (2011). SUMO–Simulation of Urban Mobility. Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011), Barcelona, Spain.

- Bento, L.C., Parafita, R., Rakha, H.A., Nunes, U.J. (2019) A study of the environmental impacts of intelligent automated vehicle control at intersections via V2V and V2I communications. *J. Intell. Transp. Syst. Technol. Plan. Oper.* 23 (1), 41–59.
- Bester, C. J, & Meyers, W. L. (2007). Saturation flow rates. In *Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference (560-568)*, Pretoria.
- Bhargava, K., Choy, K.W., Jennings, P.A., Birrell, S.A., Higgins, M. D. (2020). Traffic simulation of connected and autonomous freight vehicles (CAV-F) using a data-driven traffic model of a real-world road tunnel. *Transportation Eng.* 2020, 2, 100011.
- Bohm, F., Hager, K. (2015). Introduction of autonomous vehicles in the Swedish traffic system: Effects and changes due to the new self-driving car technology.
- Bimbraw, K. (2015). Autonomous Cars: Past, Present and Future A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology. In *Proceedings of the 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO-2015)*, pages 191-198
- Chunchu, M., Phanindra, A. Rao, K.R. (2009). Traffic Data Collection For Mixed Traffic Conditions Using Video Image Processing. *Journal of Transportation Engineering (ASCE)*, Vol. 135, No.4, 174-182.
- Casas, J., Ferrer, J. L., Garcia, D., Perarnau, J., Torday, A. (2010). Traffic simulation with Aimsun. In *Fundamentals of traffic simulation* (pp. 173-232). Springer New York.
- Cameron, G. D., Duncan, G. I. (1996). PARAMICS—Parallel microscopic simulation of road traffic. *The Journal of Supercomputing*, 10(1), pp. 25-53.
- Castro, G. B., Hirakawa, A. R., Martini, J. S. (2016). Adaptive traffic signal control based on bio-neural network. *Procedia Computer Science*, vol. 109, no. 2016, pp. 1182–1187, 2017.

- Coll, P., Factorovich, P., ,Loiseau, I., Gómez, R. (2013). A linear programming approach for adaptive synchronization of traffic signals. *International Transactions in Operational Research*, vol. 20, no. 5, pp. 667–679.
- Chin, Y.K., Yong, K. C., Bolong, N. Yang, S. S., Teo, K. T. (2011). Multiple intersections traffic signal timing optimization with genetic algorithm, In *Proceeding of International Conference on Control System, Computing and Engineering, ICCSCE 2011*, pp. 454–459.
- Chiu, S. (1192). Adaptive traffic signal control using fuzzy logic. In: *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 98–1007, 1992.
- Chen, W., Liu, Y. (2019). Gap-based automated vehicular speed guidance towards eco-driving at an unsignalized intersection. *Transportmetrica B* 7 (1), 147–168.
- Çalışkanelli, S.P. (2010). Sinyalizasyon sistemlerinden ayrılan araçların takip aralığı dağılımının incelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çalışkanelli, S.P., Tanyel, S. (2017) Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2018 8225-8248, Yazı 496.
- Çakıcı, Z., Murat, Y. Ş. (2015). Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi, 11. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 105-116.
- Dahl, A., Flechon, C., Sukennik, P., Walther, C. (2018). Microscopic Simulation and Impact Assessment of The Coexistence of Automated and Conventional Vehicles in European Cities. *European Transport Conference*.
- Dion, F., Rakha, H., Kang, Y. S. (2004) Comparison of Delay Estimates at UnderSaturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections, *Transportation Research Part B: Methodological*, 38 (2), pp. 99-122.
- Datta, S., Rokade, S., Pajput, S.P.S. (2020). Delay and driver turning time evaluation for uncontrolled intersections under diverse traffic operational situations. *Transportation Engineering Volume 2*.

- Datta, S., Rokade, S., Pajput, S.P.S. (2022). Unsignalized Intersection Capacity Estimation Through Traffic Rule Re-adjustments Using Agent-Based Cellular Automata Simulations Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering, 46(3), pp. 2609–2635.
- Feng, Y., Yu, C., Liu, H.X. (2018). Spatiotemporal intersection control in a connected and automated vehicle environment. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 89, 364–383.
- Filocamo, B., Ruiz, J.A., Sotelo, M.A. (2020) . Efficient management of road intersections for automated vehicles the FRFP system applied to the various types of intersections and roundabouts. Appl. Sci. Basel 10 (1), 316.
- Firdous, M., Din Iqbal, F.U., Ghafoor, N., Qureshi, K., & Naseer, N. (2019). Traffic light control system for four-way intersection and T-crossing using fuzzy logic. IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA'19), 178-182, doi:10.1109/ICAICA.2019.8873518.
- Güler, Z. (2013). Akıllı trafik kontrol sistemi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.
- Guériau, M., Billot, R., El Faouzi, N. (2018). Contribution to the assessment methodology for connected and automated vehicles on traffic. Transportation Research Board Annual Meeting.
- Guériau, M., Dusparic, I. (2020) Quantifying the impact of connected and autonomous vehicles on traffic efficiency and safety in mixed traffic. IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2020, pp. 1-8.
- Halati, A., Lieu, H., Walker, S. (1997). CORSIM-corridor traffic simulation model. In Traffic congestion and traffic safety in the 21st century: Challenges, innovations, and opportunities.
- Husch, D. and Albeck, J. (2000). SIMTRAFFIC 5.0 User Guide for Windows, Trafficware Corporation, Albany, CA.

- Husch, D., Albeck, J. (2003). "Synchro 6: Traffic Signal Software - User Guide. Trafficware, Limited.
- Jemmali, M.A., & Mouftah, H.T. (2022). Improved Control Design For Autonomous Vehicles. International Journal of Information Technology, Control and Automation (IJITCA) Vol.12, No.1/2/3.
- Kang, K., Elbery, A., Bichiou, Y. (2019). Development and Testing of a Connected Vehicle Optimal Lane Selection Algorithm. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference.
- Kanagaraj, V., Asaithambi, G., Toledo, V., Chang T. (2015). Trajectory Data and Flow Characteristics of Mixed Traffic. Transportation Research Record, 2491(1), 1–11.
- Kretz, T., Reutenauer, F., Schubert, F. (2013). Multimodal simulation-based planning for pedestrians, Transportation Research Board (TRB) 92nd Annual Meeting.
- Lowre, P. R. (1990). SCATS, Sydney Co-Ordinated Adaptive Traffic System : a traffic responsive method of controlling urban traffic. Roads and Traffic Authority NSW, Darlinghurst, NSW Australia, 1990.
- Korkmaz, E. (2016) Yapay Zeka Teknikleri Kullanılarak Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modelleri. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Lin, P.Q., Liu, J.H., Jin, P.J., Ran, B. (2017) Autonomous vehicle-intersection coordination method in a connected vehicle environment. Intell. Transp. Syst. Mag. 9 (4), 37 47.
- Lin, F. B., Tseng, P. Y. (2005) Fallacies and implications of conventional saturation flow model of queue discharge behavior at signalized intersections. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, pp. 1610-1623.

- Lin, F. B. , Thomas, D. R. (2005). Headway compression during queue discharge at signalized intersection. *Journal of the Transportation Research Board*, 1920, pp. 81-85.
- Liu, H., Balke, K.N., Lin, W.H. (2008). A reverse causal-effect modeling approach for signal control of an oversaturated intersection. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 16, no. 6, pp. 742–754.
- Murat, Y.Ş. (2006). Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2006 3903 -3916, Yazı 258, 2006.
- Mahmud, S.M.S, Ferreira, L., Hoque, M.S., Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS research*, vol. 41, no. 4, pp. 153–163.
- MATSim | Multi-Agent Transport Simulation", *Matsim.org*, 2016.
- Morando, M.M., Tian, Q., Truong, L.T., Vu, H.L. (2018). Studying the safety impact of autonomous vehicles using simulation-based surrogate safety measures. *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2018, Article ID 6135183, 11 pages, 2018.
- Mahmud, S.S., Ferreira, L., Hoque, M.S., Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS research*, vol. 41, no. 4, pp. 153–163.
- Ma, C., Yu, C., Yang, X. (2021) Trajectory Planning for Connected and Automated Vehicles at Isolated Signalized Intersections under Mixed Traffic Environment. *Transportation Research Part C Emerging Technologies* 130(4):103309. DOI: 10.1016/j.trc.2021.103309
- Murat, Y. S., Baskan, O. (2006). Modeling Vehicle Delays at Signalized Junctions: Artificial Neural Networks Approach, *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, 65, 558-564.

- Murat, Y. S. (2006). Comparison of Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Approaches in Vehicle Delay Modeling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14 (5), 316-334.
- Mirchandani, P., Headi L. (2001). A real-time traffic signal control system: Architecture, algorithms, and analysis,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 9, no. 6, pp. 415–432.
- Murat, Y.Ş., Çakıcı, Z. (2017). “Sinyalize Kavşaklarda Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” 12. Ulaştırma Kongresi, Adana, 13-24.
- Niels, T., Erciyas, M., Bogenberger, K. (2018). Impact of connected and autonomous vehicles on the capacity of signalized intersections – Microsimulation of an intersection in Munich. *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*, April 16-19, 2018, Vienna, Austria.
- Roess, P.R., Prassas, S.E., McShane, R.W. (2011) *Traffic Engineering*, Fourth Edition, Pearson Higher Education Inc, USA.
- Sarman, A., Sarman E. (2020). “Araç Sürücülerindeki Agresif Davranışlar” *Hastane Öncesi Dergisi* , 5 (2) , 119-127.
- Stanek, D., Huang, E., Milam, R.T., Wang, A. (2018). Measuring autonomous vehicle impacts on congested networks using simulation, *Transportation Research Board 97th Annual Meeting*.
- Srinivasan, D., Choy, M.C., Cheu, R.L. (2006). Neural Networks for Real-Time Traffic Signal Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 261-272, Sept. 2006, doi: 10.1109/TITS.2006.874716.
- Shoufeng, L., Ximin, L., Shiqiang, D. (2008). Q-Learning for Adaptive Traffic Signal Control Based on Delay Minimization Strategy. *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, pp. 687–691.

- Srisurin, P., Singh, A. (2017). Optimal Signal Plan for Minimizing Queue Lengths at a Congested Intersection. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 53–63.
- Stevanovic, A., Martin, P. T., Stevanovic, J. (2007) Vissim-based genetic algorithm optimization of signal timings. *Transportation Research Record*, no. 2035, pp. 59–68.
- Stern, E.S., Cui, S., Monache, M.L.D., Bhadani, R., Bunting, M., Churchill vd. (2018). Dissipation of stop-and go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 89, pp. 205 – 221, 2018.
- Tanyel, T., Çalışkanelli, S.P., Aydın, M.M., Utku, S.B. (2013). Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2013 6479-6504, Yazı 406
- Tanyel, S., Koyuncu, M., Çalışkanelli, S. P. (2018). Sürücü Davranışlarının Sinyalize Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisi. *Teknik Dergi* 29 Sf: 8563-8588
- Transportation Research Board (TRB)., *Highway Capacity Manual*, Washington, D.C. Transportation Research Board, National Research Council, (2000).
- Robertson, D.I., Bretherton, R.D. (1991). Optimizing Networks of Traffic Signals in Real Time - The SCOOT Method,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 1, pp. 11-15.
- Trabia, M. B., Kaseko, M.S., Ande, M. (1999). A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 7, no. 6, pp. 353–367.
- Liang, X., Du, X., Wang, G., Han, Z. (2018). Deep reinforcement learning for traffic light control in vehicular networks *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, vol. XX, no. Xx, pp. 1–11.

- Park, B., Messer, C.J., Urbanik II, T. (1999). Traffic Signal Optimization Program for Oversaturated Conditions: Genetic Algorithm Approach,” Transportation Research Record, vol. 1683, pp. 133–142.
- Wallace, C.E., Courage, K.G., Hadi, M.A., Gan, A.C. (1998) .TRANSYT7F user’s guide, Transportation Research Center, University of Florida, Gainesville.
- Xie, H., Tanin, E., Karunasekera, S., R. Zhang, J., Kulik, R. L., Ramamohanarao, K. (2019) Quantifying the impact of autonomous vehicles using microscopic simulations. Proceedings of the 12th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science, 2019, pp. 1–10.
- Van der Pol, E., Oliehoek, F.A. (2016). Coordinated deep reinforcement learners for traffic light control. 30th Conference on Neural Information Processing Systems, no. Nips, pp. 8.
- Yang, X., S. Ilgin Guler, S.I., Menendez, M. (2016) Isolated intersection control for various levels of vehicle technology: Conventional, connected, and automated vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 72:109-129.)
- Yang, Q., Koutsopoulos, H. N. (1996). A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 4(3), (pp. 113-129).
- Zeng, J., Hu, J., Zhang, Y. (2018) . Adaptive Traffic Signal Control with Deep Recurrent Q-learning,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, vol. 2018- June, no. Iv, pp. 1215–1220.