

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ:
BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Recep Bilal SIKAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Bilim Dalı

HAZİRAN 2023

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

**DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ:
BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Recep Bilal SIKAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ASLAN

HAZİRAN 2023

Recep Bilal SIKAR tarafından hazırlanan “**DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ: BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ**” adlı tez çalışması 27.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ASLAN (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Nurdan MEMİŞOĞLU APAYDIN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Ertan BOL Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “**DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ: BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ**” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../06/2023).

(imza)

Recep Bilal SIKAR



Eşime ve sevdiklerime...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi. Hakan ASLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimleri ile destek veren Dr. Osman Hürol TÜRKAİN'a ayrıca teşekkür ederim.

Akademik hayatımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Psk. Elif SIKAR'a şükranlarımı sunarım.

Recep Bilal SIKAR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER	xiv
TABLO LİSTESİ	xvi
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiv
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Otonom Araçların Tanımı ve Tarihçesi.....	1
1.1.1. Tanımı	1
1.1.2. Tarihçesi	1
1.2. Dinamik Araç Sistemli Otonom Kavşak Yönetim Stratejisi	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Temel Terim ve Tanımlar	5
2.2. Gecikme Kavramları	6
2.3. Gecikme Modelleri	9
2.3.1. Webster modeli	9
2.3.2. Akçelik gecikme modeli.....	11
2.3.3. HCM 2000 (highway capacity manual) gecikme modeli.....	13
2.3.4. Kuyruk teorisi (M/M/1) modeli.....	14
3. PYTHON PROGRAMLAMA DİLİ.....	17
3.1. Pygame	17
3.2. Class Tanımı	18
3.3. Makine Öğrenimi.....	19
3.3.1. Regresyon analizi	20
4. DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ	21
4.1. Kurgu.....	21
4.2. Trafik Simülasyon Programı	22
4.2.1. Ekran özellikleri	22
4.2.2. Araç boyutları.....	22
4.2.3. Kullanılan kütüphaneler	23
4.2.4. Araç üretimi.....	23
4.2.5. Veritabanı	24
4.2.5.1. 2 sn de 1 araç senaryosu	24
4.2.5.2. 1,82 sn de 1 araç senaryosu	30
4.2.5.3. 1,67 sn de 1 araç senaryosu	35
4.2.5.4. 1,54 sn de 1 araç senaryosu	42

4.3. Çarpışma Önleme Algoritması	47
4.3.1. Yavaşlanma ivmesinin belirlenmesi	48
4.3.2. Trafik akım değerleri.....	48
4.3.2.1. 2 sn de 1 araç için trafik akım değerleri	48
4.3.2.2. 1.82 sn de 1 araç için trafik akım değerleri	48
4.3.2.3. 1,67 sn de 1 araç için trafik akım değerleri	49
4.3.2.4. 1,54 sn de 1 araç için trafik akım değerleri	49
4.4. Otonom Kavşak Yönetim Sistemi Simülasyonu Gecikme Değerleri	50
4.4.1. 2 sn de 1 araç için gecikme değerleri	50
4.4.1.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri	51
4.4.1.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri.....	51
4.4.1.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri	52
4.4.1.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri.....	53
4.4.2. 1.82 sn de bir araç için gecikme değerleri.....	54
4.4.2.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri	54
4.4.2.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri.....	55
4.4.2.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri	56
4.4.2.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri.....	57
4.4.3. 1.67 sn de bir araç için gecikme değerleri.....	57
4.4.3.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri	58
4.4.3.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri.....	59
4.4.3.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri	60
4.4.3.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri.....	61
4.4.4. 1,54 sn de bir araç için gecikme değerleri.....	61
4.4.4.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri	62
4.4.4.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri.....	63
4.4.4.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri	64
4.4.4.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri.....	65
5. WEBSTER YÖNTEMİ İLE GECİKME HESABI.....	66
5.1. Peak Saatlik Hacimlerin Hesaplanması.....	66
6. VİSSİM UYGULAMASI.....	68
6.1. Vissim Nedir ?	68
6.2. Vissim Sonuçları	68
7. ÜÇ YÖNTEMİN KARŞILAŞTIRILMASI	71
8. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

FHWA	: Federal Highway Administration
HCM	: Highway Capacity Manual
VISSIM	: Verkehr In städten – SIMulations modell
IQA	: Incremental Queue Accumulation
LOS	: Level of Service





SİMGELER

Km	: Kilometre
m	: Metre
px	: Pixel
sn	: Saniye
sa	: Saat
ta	: Taşıt





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Hizmet düzeyi ve gecikme ilişkisi tablosu [4].	8
Tablo 4.1. 2 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.	25
Tablo 4.2. 2 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.	26
Tablo 4.3. 2 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.	27
Tablo 4.4. 2 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.	28
Tablo 4.5. 1,82 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.	30
Tablo 4.6. 1,82 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.	32
Tablo 4.7. 1,82 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.	33
Tablo 4.8. 1,82 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.	34
Tablo 4.9. 1,67 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.	36
Tablo 4.10. 1,67 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.	37
Tablo 4.11. 1,67 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.	38
Tablo 4.12. 1,67 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.	40
Tablo 4.13. 1,54 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.	42
Tablo 4.14. 1,54 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.	43
Tablo 4.15. 1,54 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.	44
Tablo 4.16. 1,54 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.	46
Tablo 4.17. 2 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.	48
Tablo 4.18. 1,82 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.	49
Tablo 4.19. 1,67 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.	49
Tablo 4.20. 1,54 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.	50
Tablo 4.21. 2 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	51
Tablo 4.22. 2 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	51
Tablo 4.23. 2 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	51
Tablo 4.24. 2 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	51
Tablo 4.25. 2 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	52
Tablo 4.26. 2 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	52
Tablo 4.27. 2 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	52
Tablo 4.28. 2 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	53
Tablo 4.29. 2 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	53
Tablo 4.30. 2 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	53
Tablo 4.31. 2 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	53
Tablo 4.32. 2 sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	53
Tablo 4.33. 1,82 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	54
Tablo 4.34. 1,82 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	55
Tablo 4.35. 1,82 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	55

Tablo 4.36. 1,82 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	55
Tablo 4.37. 1,82 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	55
Tablo 4.38. 1,82 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	56
Tablo 4.39. 1,82 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	56
Tablo 4.40. 1,82 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	56
Tablo 4.41. 1,82 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	56
Tablo 4.42. 1,82 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	57
Tablo 4.43. 1,82 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	57
Tablo 4.44. 1,82 sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	57
Tablo 4.45. 1,67 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	58
Tablo 4.46. 1,67 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	58
Tablo 4.47. 1,67 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	59
Tablo 4.48. 1,67 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	59
Tablo 4.49. 1,67 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	59
Tablo 4.50. 1,67 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	59
Tablo 4.51. 1,67 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	60
Tablo 4.52. 1,67 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	60
Tablo 4.53. 1,67 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	60
Tablo 4.54. 1,67 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	61
Tablo 4.55. 1,67 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	61
Tablo 4.56. 1,67 sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	61
Tablo 4.57. 1,54 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	62
Tablo 4.58. 1,54 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	63
Tablo 4.59. 1,54 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	63
Tablo 4.60. 1,54 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	63
Tablo 4.61. 1,54 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	63
Tablo 4.62. 1,54 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	64
Tablo 4.63. 1,54 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	64
Tablo 4.64. 1,54 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	64
Tablo 4.65. 1,54 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	64
Tablo 4.66. 1,54 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.	65
Tablo 4.67. 1,54 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.	65
Tablo 4.68. 1,54sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.	65
Tablo 5.1. Webster yöntemi ile hesaplanması sonucu otonom araçların gecikme değerleri.	67
Tablo 6.1. Her bir mod ve her bir yön için trafik akım değerleri.	68
Tablo 6.2. Vissim yazılımı gecikme değerleri.	69
Tablo 7.1. Her bir mod ve her bir yön için trafik akım değerleri.	71

Tablo 7.2. Vissim yazılımı gecikme değerleri.....	72
Tablo 7.3. Webster yöntemi ile hesaplanması sonucu otonom araçların gecikme değerleri.....	72
Tablo 7.4. Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi gecikme değerleri.	72
Tablo 8.1. Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi gecikme değerleri.	76



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.Devre süresi	5
Şekil 2.2.Taşıt gecikme diyagramı [5]	7
Şekil 2.3.Düzgün gecikme diyagramı	7
Şekil 2.4.Doygun akım gecikme diyagramı	8
Şekil 2.5. Temel akım modeli [6]	10
Şekil 2.6. Kuyruk hattı bileşenleri	16
Şekil 4.1. Otonom kavşak yönetimi modeli	21
Şekil 5.1. Otonom araçlar (AV) için farklı penetrasyon oranları için karma trafikte minimum, maksimum ve beklenen takip mesafesi değeri .[6]	67



DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ: BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ

ÖZET

Trafik ışıkları, kavşaklarda anahtar bileşenlerden biri olarak trafik yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Sinyalize kavşaklardaki gecikmeler seyahat süresini önemli ölçüde etkilemektedir. Kavşak koordinasyonu trafik sürekliliğini sağlamanın en etkili yollarından biridir. Kavşaklardaki sinyal uyumlu trafik ışıkları, ana yollarda seyahat eden araçlar için gecikmeleri, kuyruk uzunluklarını ve seyahat sürelerini önemli ölçüde azaltabilir. Modern teknolojiler çerçevesinde geliştirilen insansız araçlar artık ulaşım sistemlerinin bir parçası haline geldi. Yapılan çalışmada, kavşaklardaki gecikmeleri en aza indirmek için otonom araç sistemlerinin etkinliğini değerlendirmektedir.

Otonom araç sistemleri, kavşak koordinasyonu ve trafik yönetimi konularında potansiyel faydalar sunar. Bu sistemler, kavşaklarda trafik akışını optimize etmek için birbirleriyle iletişim kurabilirler. Bu iletişim, araçların hızını ve mesafelerini koordine etmelerini sağlayarak sinyalize kavşaklarda gecikmeleri en aza indirebilir. Ayrıca, otonom araç sistemleri trafik akışını tahmin edebilir ve bu tahminlere dayanarak sinyal planlarını optimize edebilirler.

Otonom araç sistemlerinin kavşaklardaki gecikmeleri azaltmada başarılı olabileceğini gösteren birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar, otonom araçların koordinasyonu sağlayarak trafik akışını iyileştirdiğini ve sinyal planlamasının daha etkili hale getirildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, otonom araçlar henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır ve mevcut araçların çoğu hala insan kontrolünde olduğundan, sinyalize kavşaklardaki gecikmeler devam etmektedir.

Otonom araç sistemleri kavşaklardaki trafik yönetiminde önemli bir rol oynayabilir. Bu sistemlerin kullanımı, sinyalize kavşaklardaki gecikmeleri azaltarak seyahat sürelerini ve kuyruk uzunluklarını azaltabilir. Ancak, otonom araçların yaygın kullanımı için daha fazla gelişim ve düzenleyici önlemlere ihtiyaç vardır.

Otonom araç sistemleri, trafik yönetimi konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Bu sistemler, sürücüsüz bir şekilde araç kullanarak trafik akışını daha etkili bir şekilde yönetebilirler. Ayrıca, otonom araçlar birbirleriyle ve kavşaklardaki diğer araçlarla iletişim kurarak trafik akışını daha da optimize edebilirler.

Otonom araçların kavşaklardaki gecikmeleri azaltma potansiyeli, diğer faktörlere de bağlıdır. Örneğin, otonom araçların sayısı, trafik akışının yoğunluğu ve kavşaklardaki sinyalizasyon sistemlerinin durumu gibi faktörler, otonom araçların etkinliğini etkileyebilir. Ayrıca, otonom araçların yasal düzenlemeleri ve kabulü de otonom araçların kavşaklardaki gecikmeleri azaltmadaki potansiyelini etkileyebilir.

Bu çalışma, otonom araçların sinyalize kavşaklardaki gecikmelerini azaltmak için geliştirilen iki farklı yöntemi ortaya koymaktadır. Bu amaçla, optimum devre süresinin hesabında kullanılan Webster Yöntemi, karşılaştırma yapabilmek adına otonom araç algoritması ile karşılıklı olarak değerlendirilmiş ve sinyalize kavşaklardaki gecikmeler

analiz edilmiştir. Ayrıca, sinyal kontrolsüz otonom kavşak yönetim sistemi, VISSIM simülasyon yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlarla da test edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, sinyalize kavşak gecikmelerinin 10 kat azaltılabileceğini göstermektedir. Bu önemli bir gelişmedir, çünkü sinyalize kavşaklarda sıkışıklık ve gecikmeler trafiği yavaşlatmakta ve yolculuk süresini artırmaktadır. Otonom araçların kavşaklarda daha hızlı ve verimli bir şekilde hareket etmeleri, trafiği daha akıcı hale getirecek ve yolculuk süresini azaltacaktır.

Bu çalışma, otonom araçların trafiği daha verimli hale getirmek için kullanılabilecek yöntemlerden bir tanesidir. Gelecekteki çalışmalar, otonom araçların trafiği daha etkili bir şekilde yönetmek için yeni yöntemler geliştirebilir ve bu teknolojinin kullanımını daha yaygın hale getirebilir.

Otonom araç teknolojilerine yapılan yatırımlar arttırılmalı, teknoloji geliştirmeleri hızla ve aratarak devam etmelidir. Daha fazla insan otonom araçlara güvenmeye başladıkça, bu araçların kullanımı daha yaygın hale gelebilir. Bunun sonucunda, yapılan çalışmanın da gösterdiği gibi trafik akışı daha hızlı ve daha verimli hale gelebilir, trafik kazaları sayısı azaltılabilir ve çevre dostu bir ulaşım sistemi oluşturulabilir.



AUTONOMOUS INTERCHANGE MANAGEMENT STRATEGY WITH DYNAMIC VEHICLE SYSTEM: AN ALGORITHM PROPOSAL

SUMMARY

Traffic lights and signaling system at intersections play an important role in traffic management. These systems are used to regulate traffic flow, increase safety and ensure efficient passage of vehicles at intersections. However, long queues and delays can sometimes occur at signalized intersections, which can negatively impact drivers' travel times and traffic flow.

Junction coordination is an important method to ensure traffic continuity. The harmonious operation of traffic lights at intersections can help vehicles on main roads experience fewer stops and less waiting times. This can reduce delays, queue lengths and travel times.

Driverless vehicles (autonomous vehicles), on the other hand, are vehicles that are expected to play an important role in the future of transportation systems as a product of modern technology. Thanks to various sensors and artificial intelligence technologies, these vehicles can cruise without driver intervention. This potential can change and improve traffic management at intersections. Autonomous vehicles developed within the framework of modern technologies have now become a part of transportation systems. The study evaluates the effectiveness of autonomous vehicle systems to minimize delays at intersections.

Autonomous vehicle systems offer potential benefits in intersection coordination and traffic management. These systems can communicate with each other to optimize traffic flow at intersections. This communication can minimize delays at signalized intersections by enabling vehicles to coordinate their speed and distance. In addition, autonomous vehicle systems can predict traffic flow and optimize signaling plans based on these predictions. Autonomous vehicles have the ability to predict traffic density, and by sharing this information with traffic management systems, they can create better signaling plans. Autonomous vehicles can more effectively manage traffic flow and increase road capacity with less clearance. This can reduce traffic congestion by making more efficient use of existing roads

Autonomous vehicle systems have potential advantages in reducing delays at intersections. Research has shown that autonomous vehicles can make traffic flow more efficient and optimize traffic at intersections. This can be achieved by enabling autonomous vehicles to communicate with each other and act in a coordinated manner, optimizing traffic flow and adjusting signal planning more effectively by integrating with intelligent signal control systems. In addition, autonomous vehicles can provide a smoother traffic flow by avoiding sudden accelerations or stops that can cause traffic jams. In this way, delays at intersections are reduced and traffic flows more regularly. Autonomous vehicles can also identify alternative low-traffic routes and redirect traffic to less-congested routes, reducing delays by stabilizing traffic at intersections and main roads. However, these potential advantages are not fully realized, as autonomous vehicles are not yet widely used and most of the existing vehicles are

under human control. As technology and infrastructure related to autonomous vehicles develop, the efficiency of such systems in traffic will increase.

Autonomous vehicle systems have significant potential in traffic management. These systems can manage traffic flow more effectively by driving autonomously. In addition, autonomous vehicles further optimize traffic flow by communicating with each other and with other vehicles at intersections. Autonomous vehicles can provide safe driving and reduce traffic accidents by eliminating the human factor in traffic. Thanks to digital sensors and artificial intelligence technologies, they can constantly monitor their environment and react instantly. They can also work together to reduce traffic congestion through data sharing and coordination. However, for the widespread use of autonomous vehicles, solutions are required in terms of legal regulations, infrastructure compatibility and security. If all these challenges are overcome, autonomous vehicles can play a more effective, safe and orderly role in traffic management in the future.

The potential for autonomous vehicles to reduce delays at intersections also depends on other factors. For example, factors such as the number of autonomous vehicles, the density of traffic flow and the condition of signaling systems at intersections can affect the effectiveness of autonomous vehicles. In addition, regulatory and adoption of autonomous vehicles may also affect the potential of autonomous vehicles to reduce delays at intersections.

This study presents two different methods developed to reduce the delays of autonomous vehicles at signalized intersections. For this purpose, Webster's Method was adapted for autonomous vehicles and was used to calculate delays at signalized intersections. In addition, an autonomous intersection management system without signal control was designed and tested using simulation software.

The results show that signalized intersection delays can be reduced by 10 times. This is an important improvement because congestion and delays at signalized intersections slow traffic and increase travel time. The faster and more efficient movement of autonomous vehicles at intersections will streamline traffic and reduce travel time.

This study is one of the methods that autonomous vehicles can use to make traffic more efficient. Future work could develop new ways for autonomous vehicles to manage traffic more effectively and make the use of this technology more widespread.

Investments in autonomous vehicle technologies should be increased, and technology developments should continue rapidly and progressively. As more people begin to rely on autonomous vehicles, their use may become more common. As a result, as the study shows, traffic flow can become faster and more efficient, the number of traffic accidents can be reduced and an environmentally friendly transportation system can be created.

The findings of the study show a significant reduction in signalized intersection delays with the use of autonomous vehicles. This improvement is crucial as congestion and delays at intersections contribute to slowing traffic and increasing travel times. By enabling autonomous vehicles to move faster and more efficiently at intersections, the overall traffic flow can be regulated, resulting in reduced travel times.

This study represents one of the ways that autonomous vehicles can contribute to improving traffic efficiency. However, there is still room for further research and

development to explore additional ways autonomous vehicles can manage traffic effectively. As we continue to invest in autonomous vehicle technologies and advance their development, we can expect to witness further improvements.

Increasing investments in autonomous vehicle technologies is important for their widespread use. As more people begin to rely on autonomous vehicles, their presence on the road may become more common. The study suggests that with increased adoption, traffic flow could become faster and more efficient, leading to a potential reduction in traffic accidents. In addition, an environmentally friendly transportation system can be achieved by taking advantage of the benefits of autonomous vehicles, such as optimizing routes, reducing fuel consumption and potentially facilitating the transition to electric or alternative fuel vehicles.

In summary, the study highlights the potential of autonomous vehicles to make traffic more efficient, reduce delays, reduce the number of accidents and contribute to an environmentally friendly transport system. Continued investments and advances in autonomous vehicle technologies will play a crucial role in realizing these benefits and promoting widespread adoption of this technology.

1.GİRİŞ

1.1. Otonom Araçların Tanımı ve Tarihçesi

1.1.1. Tanımı

Yapısında bulunan yapay zeka ve derin öğrenme algoritmaları aracılığıyla sürücüsüz olarak hareket eden araçlara otonom araç denir. Otonom araçlar, çeşitli donanımlar ve yazılımlar kullanarak yolu, trafik akışını ve çevreyi algılar ve duyuşal verileri gerçek zamanlı olarak işleyerek bir sürücüye ihtiyaç duymadan ilerlerler. Artırılmış güvenlik, azaltılmış trafik sıkışıklığı, artırılmış yakıt verimliliği ve azaltılmış emisyonlar dahil olmak üzere çok çeşitli potansiyel faydalar sunar.

1.1.2. Tarihçesi

Otonom araçların teknolojisi temelleri robotlara dayanmaktadır. Robotlar, yaygın kanının aksine endüstri devriminden sonra değil, çok daha önceki devirlerde yazının dahi olmadığı antik çağlarda ortaya çıkmıştır. Antik çağlardaki betimlemeler, destanlar ve mitler bu durumu açıkça göstermektedir.

Ancak ilk ciddi çalışmalar, 1136 yılında Cizre’de doğduğu düşünölen El Cezeri (Ebü’l İzz İbni İsmail İbni Rezzaz El Cezeri) tarafından yapılmıştır. Kitabü’l-Cami Beyn’-en-İbni ve’l-Ameli en Nefi fi Sınaati’l- Hiyel kitabında 50’den fazla mekanik düzenek yer almaktadır. Sonrasında 1452 yılında İtalya’da Vinci kasabasında doğan Rönesans’ın büyük ilim adamı ve sanatçısı Leonardo Da Vinci tarafından 1495 yılında tasarlanan savaşçı robot önemli bir çalışmadır [1].

15. yüzyılda Leonardo Da VİNCİ tarafından bilinen ilk sürücüsüz araç düşüncesi ortaya atılmıştır. Da VİNCİ’nin yaptığı tasarımlara bakıldığında sürücüz hareket edebilen araç geliştirmeye çalıştığı açıkça görölmektedir. Daha sonraki yıllarda sürücüsüz araç geliştirmek için pek çok çalışma yapılmış fakat o günkü teknoloji seviye nedeniyle bunların hiçbirini gerçekleştirilememiştir.

1925'te uzaktan radyo kontrollü sürücüsüz araba "Houdina Radio Control Co tarafından tanıtım amacıyla New York'ta 5. caddede işletilmiştir.

GM (General Motor) tarafından geliştirilen insansız araç projesi 1939 Dünya Fuarı'nda sergilenmiştir. Bu projede, yol boyunca döşenen elektrik kabloları (şeritleri) ile otoyollarda sürücüyü devre dışı bırakarak aracın hızlanma, takip ve fren sistemlerini belirli bir merkezden kontrol etmek planlanmıştır. Sonraki yıllarda bu ve benzeri birçok proje geliştirildi ancak test aşamasında kalan bu projelerin tamamı hayata geçirilmedi.

1977 yılında Meijo Üniversitesinden Sadayuki TSUGAWA, geliştirdiği sürücüsüz araçla trafikte yol almayı başarmıştır.

1994 yılında Ernst DIECKMANNNS, Mercedes Benz'in desteğiyle geliştirdiği yarı otonom bir araçta üç şeritli bir otoyolda ortalama 130 km hızla 1.000 km yol alabiliyordu. 1996 yılında Alberto BROGI, bir Lancia arabasına monte edilmiş iki siyah beyaz kameradan gelen bilgileri işleyen bir bilgisayar sayesinde yol çizgilerini ve aracı yöneten bir sistem yarattı.

2009 yılında Google ve Cisco Systems otonom araçlar geliştirmeye başladı. 2010 yılında aralarında GM, Ford, Mercedes Benz, BMW, Volkswagen, Audi, Nissan, Toyota ve Volvo'nun da bulunduğu birçok otomobil üreticisi, otonom ulaşım sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesine kaynak ayırmaya başladıklarını açıkladı.

2014 yılında Tesla, Model S için geliştirdiği ilk otonom sürüş sistemini duyurdu.

2016 yılında 7 ABD eyaleti (Nevada, California, Florida, Michigan, Hawaii, Washington ve Tennessee) otonom araçlar için mevzuatta gerekli düzenlemeleri yaptı. Eylül 2016'da ABD Ulaştırma Bakanlığı, insansız araçlardaki yolcular ve bir kaza durumunda yapılması gerekenler hakkındaki bilgilerin korunmasına yönelik standartlar yayınladı.

Otomotiv endüstrisini etkileyen birçok faktörle birlikte gerçek fırsatların ve risklerin ortaya çıktığını görüyoruz. Endüstrinin mekanik büyümesi tamamen otomotivden yazılıma; yavaş yavaş üründen hizmete geçtiğini görülmektedir.

1.2. Dinamik Araç Sistemli Otonom Kavşak Yönetim Stratejisi

Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi, trafiği yönetmek ve düzenlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu sistem trafik akışını daha güvenli ve verimli hale getirerek trafik sıkışıklığını en aza indirmeye yardımcı olmaktadır.

Bu yöntemin en büyük avantajı insan faktörünün etkisini en aza indirerek trafiği yönetme kabiliyetidir. Trafiği daha hızlı ve akıcı hale getirmektedir. Bu yöntem ile birlikte araçların yakıt tüketimi ve çevresel etkileri azaltılmaktadır.

Normal araçların sürücü kontrolünde olması kavşak planlamalarında sinyal sistemleri ile yönlendirilme zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Otonom araçlar üzerlerinde bulundukları sensörler sayesinde birbirleri ile iletişim kurabilmektedirler. Birbirleri ile iletişim kurabilen bu araçların hız ve konumlarını kontrol ederek kavşaklardaki gecikmeyi minimize edebilir ve sinyal sistemlerinin dezavantajlarından korunabiliriz. Udesh Gunarathna, Shanika Karunasekera, Renata Borovica - Gajic ve Egemen Tanin 'in 2022 yılında yaptıkları çalışmada hız ve zaman kontrolü ile çalışan trafik yönetim sistemi örneği sunmuşlardır [2].

Sinyal kontrollü trafik sistemleri, trafiği yönetmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak, bu sistemlerin bazı dezavantajları şunlardır:

1.Trafik sıkışıklığı: Sinyal kontrollü trafik sistemleri, yoğun trafikte trafik sıkışıklığına neden olabilmektedir. Bu durum, araçlar yoğun trafikte sinyallere göre ilerlemek zorunda olduklarından zaman kaybı oluşabilmektedir.

2.Araç emisyonları: Sinyal kontrollü sistemler trafik sıkışıklığına neden oldukları için araçların daha fazla emisyon yaymasına sebebiyet verebilir.

3.Yaya güvenliği: Yaya geçitlerindeki trafik sinyallerinin yaya trafiğine yeterli süre vermemesi nedeniyle yaya kazaları yaşanabilmektedir. Bu yüzden yaya güvenliği açısından sinyal sistemleri bazen güvenli olmayabilmektedir.

4.Enerji tüketimi: Sinyal kontrollü trafik sistemlerinin enerji tüketimi yüksektir.

5.İşletme maliyetleri: Sinyal kontrollü trafik sistemlerin bakım ve işletme maliyetleri oldukça pahalıdır.

6.Acil durumlar: Sinyal kontrollü trafik sistemleri, acil durumlarda sorun oluşturabilmektedir. Özellikle trafik yoğunluğu nedeniyle ambulans, itfaiye veya polis arabalarının hızlıca ilerleyememesi, ciddi sonuçlar doğurabilir.

Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi, trafik akışını sinyaller yerine araçlara entegre yazılımlar aracılığıyla kendi kararlarına dayanarak yönlendiren sistemdir. Bu sistemin bazı avantajları şunlardır:

1.Daha az gecikme: Sinyal kontrolsüz sistem sinyallerin meydana getirdiği gecikmeleri ortadan kaldırarak trafik akış hızını artırır ve araçların yolculuk sürelerinin kısalmasını sağlar.

2.Daha az kirlilik: Sinyal kontrolsüz trafik sistemi, araçların motorlarının daha az çalışmasını sağlayarak hava kirliliğinin önüne geçmektedir.

3.Daha az trafik kazası: Sinyal kontrolsüz trafik sistemi, trafik sinyallerinin oluşturduğu araç yoğunluğunu ve trafik kazalarını azaltır. Araçların daha serbest hareket etmeleri, trafik kazaları riskini azaltır ve trafik akışının daha güvenli hale gelmesine yardımcı olur.

4.Daha az enerji tüketimi: Sinyal kontrolsüz trafik sistemi, trafik sinyalleri için gereken enerjinin tüketimini azaltır. Bu da daha çevre dostu bir trafik sistemi oluşturur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sinyalize kavşaklarda gecikme analizi birçok parametre ile ilişkilidir. Çalışmada kullanılan parametrelerin ve terimlerin tanımları aşağıda listelenmiştir.

2.1. Temel Terim ve Tanımlar

Çevrim (Devre) Süresi: Sinyal göstergelerinin tam bir devridir.



Şekil 2.1.Devre süresi

Çevrim Uzunluğu: Sinyal göstergelerinin tam bir devirinde geçen süredir.

Sinyal Süresi: Bir sinyal göstergesinin (yeşil, kırmızı, sarı) değişmeden kaldığı aralıktır.

Bir sinyal döngüsünde 4 farklı süre vardır. Bunlar:

- 1.1. Değişim süresi: Yeşil ve kırmızı süreler arasındaki sarı göstergeye denir.
- 1.2. Boşluk süresi: Çakışan sinyallere sahip kavşaklarda iki bitişik kavşağın yeşil başlama zamanı arasındaki fark. Bu süre, gruplar halinde grupların ortalama hareket hızı ve kavşaklar arasındaki mesafe ile belirlenir.
- 1.3. Yeşil Süre: Yeşil göstergenin toplam süresidir. G harfi ile gösterilir.
- 1.4. Kırmızı Süre: Kırmızı göstergenin toplam süresidir. R harfi ile gösterilir.

olarak sıralanır.

Faz: En az bir akımın bağlantı noktasında geçiş hakkını aldığı toplam süreye faz denir. Diğer bir ifadeyle, bir akımın ilk yeşile döndüğü andan diğer akımın yeşile dönmesine kadar geçen süredir. “ Φ ” sembolü ile gösterilir.

Kayıp Süre: Bir çevrim sırasında araçtan herhangi bir yönde yeşil ışığın yanmadığı sürenin toplamı çevrim süresini etkileyen araç akımlarını belirler. Yeşiller arasındaki zaman olarak da tanımlanabilir.

Kayma Süresi (Ofset): Çakışan sinyallere sahip kavşaklarda iki bitişik kavşağın yeşil başlama zamanı arasındaki fark. Bu süre, gruplar halinde grupların ortalama hareket hızı ve kavşaklar arasındaki mesafe ile belirlenir.

Boşluk Kayıp Süresi: Kavşaktan hiçbir aracın geçmediği süre.

Bitiş Kazancı: Bazı araçların yeşil aralığının bir uzantısı olarak kullandığı sarı aralığının kısmına "son kazanç" denir. Bu terim aynı zamanda "e" sembolü ile ifade edilen aktif yeşil uzantı olarak da anılır.

Toplam Kayıp Süre: Başlangıç kayıp süresi ve boşluk kayıp süresinin toplamıdır.

Etkin Yeşil Süre: Belirli bir hareket veya hareket dizisinin gerçekleştiği zamandır. Çevrim süresi ile aktif kırmızı süre arasındaki farka eşittir.

Etkin Yeşil Oran: Etkin yeşil sürenin çevrim süresine oranıdır.

Etkin Kırmızı Süre: Belirli bir trafik hareketinin veya hareket dizisinin durma eğiliminde olduğu süre, çevrim süresi ile aktif yeşil süre arasındaki farka eşittir.

Gecikme : Sürücünün kontrolü dışındaki nedenlerle bir aracın kaybettiği zamandır.

Takip Mesafesi: Aynı şeritte seyreden iki araç arasındaki mesafe olarak ifade edilebilir. Herhangi bir sürüş durumunda, öndeki aracın ani frenlenmesi veya durması durumunda arkasındaki aracın kontrollü bir şekilde durması için bir sonraki mesafeye uyum sağlamak son derece önemlidir.

Hizmet Seviyesi: Yolun sürücüye sağladığı mevcut sürüş koşulları, konfor, zorluk, iş yükü, hız, akım, yoğunluk vb. sürüş özelliklerini simgeleyen ve A, B, C, D ve E harfleriyle ifade edilen bir kavramdır. Yüksek hız, kolay sürüş, az yoğunluk A seviyesine; düşük hız, zor sürüş, fazla yoğunluk E seviyesine karşılık gelir.

2.2. Gecikme Kavramları

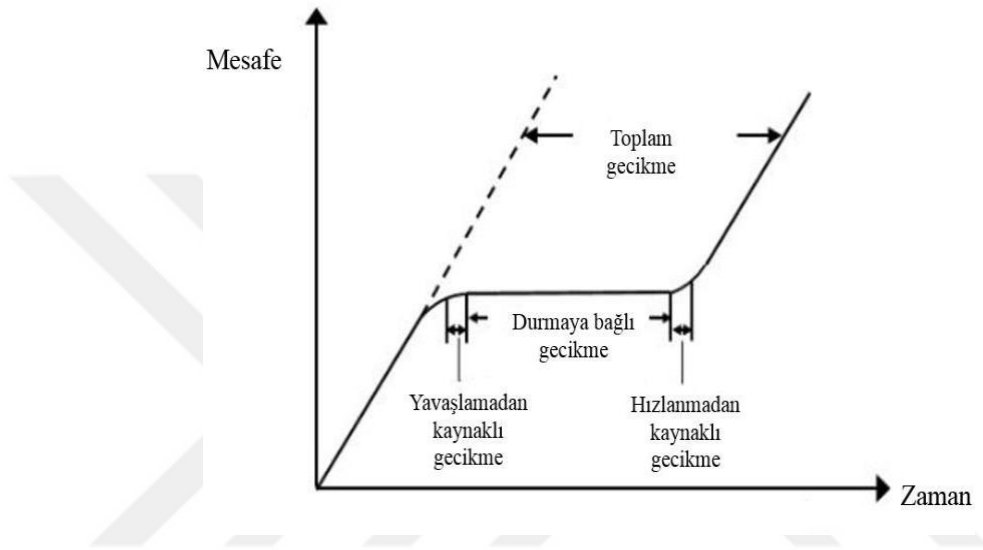
Gecikme: Gecikme, sürücünün deneyimini doğrudan ilişkilendiren ve kavşaktan geçmek için harcanan fazla zamanın ölçüsüdür [3].

Durma Gecikmesi: Bir aracın bir kavşağı geçmeyi beklerken durduğu süredir.

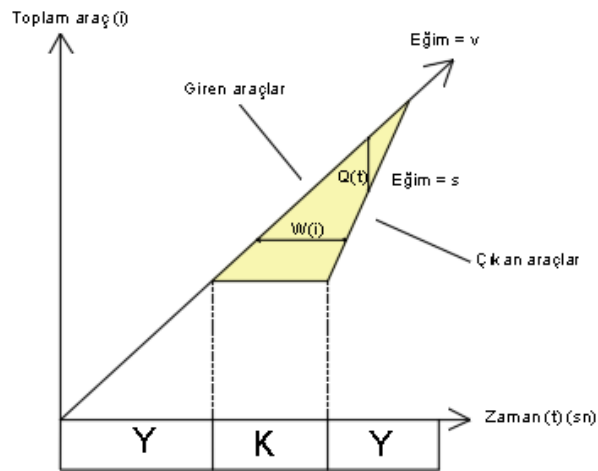
Yaklaşma Gecikmesi: Seyahat hızı ile hareket eden bir aracın durmak için harcadığı süredir. Karayolu Kapasite El Kitabında (“HCM 2000”) “İzleme Gecikmesi” olarak tanımlanmaktadır [4].

Seyahat Süresi Gecikmesi: Kavşağı geçmek için harcanan toplam süre ile sürücünün kavşağı geçmek için harcamak istediği süre arasındaki farktır.

Kuyrukta Kalma Gecikmesi: Kavşakta kuyruğa katılan bir aracın kuyruk dağılıncaya kadar geçen süredir.



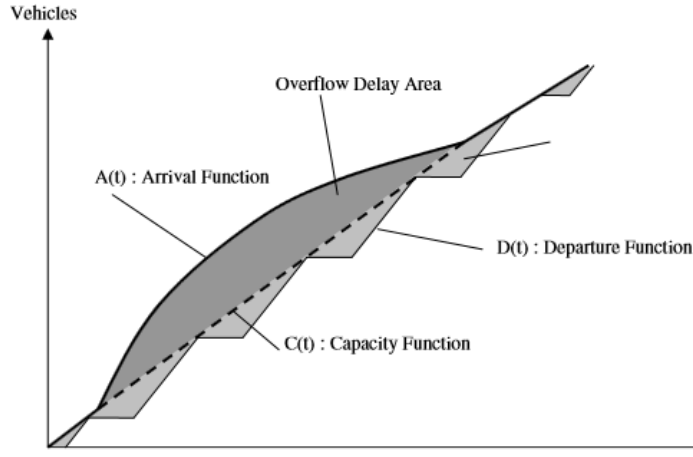
Şekil 2.2. Taşıt gecikme diyagramı [5]



Şekil 2.3. Düzgün gecikme diyagramı

Şekil 2.3'te bir yeşil ve kırmızı süre boyunca oluşan uniform gecikme ve gecikmeye bağlı kuyruklanma modellenmiştir. Taralı alan kuyruktaki araç miktarını $Q(t)$ vermektedir.

Diğer durumlarda, bazı arabalar birden fazla kırmızı süre boyunca sıraya girmeye zorlandıklarında taşma meydana gelir. Bu durumlarda, toplam gecikme, tek tip gecikmeye ek olarak, taşma gecikmesi olarak adlandırılan başka bir bileşene sahiptir.



Şekil 2.4.Doygun akım gecikme diyagramı

HCM 2000 ve Finlandiya rehberine göre taşıt başına gecikmeler göz önüne alınarak Level of Service (LOS) diğer bir ifadeyle hizmet düzeyi belirlenir. Araç başına gecikmeye bağlı olarak kriterler Tablo 2.1'de listelenmiştir. Hizmet düzeyi A, araç başına 10 s ye kadar çok düşük gecikmeli işlemleri tanımlar, bu trafik akışının çok iyi olduğunu gösterir. Hizmet düzeyi F çok yüksek gecikmeli işlemleri tanımlar, çoğu sürücü için kabul edilemez bir durumdur.

Tablo 2.1.Hizmet düzeyi ve gecikme ilişkisi tablosu [4].

Hizmet Düzeyi	Taşıt başına gecikme (s)	
	Finlandiya rehberi	HCM2000
A	≤ 5	≤ 10
B	5 - 15	10 - 20
C	15 - 25	20 - 35
D	25 - 40	35 - 55
E	40 - 60	55 - 80
F	> 60	> 80

2.3. Gecikme Modelleri

Gecikme modelleri sinyalizasyon kavşaklarında araçların hareketinden dolayı oluşacak gecikmeleri matematiksel olarak hesaplamak için geliştirilmiş hesap modelleridir.

2.3.1. Webster modeli

Webster gecikme modeli, kavşaklardaki trafik sinyal düzenlemeleri ve trafik hacimlerini kullanarak kavşak gecikmelerini tahmin etmek için kullanılan bir modeldir. Bu model, hesap yaklaşımı olarak kesintili trafik akımlarını esas alan bir yöntem kullanmaktadır. Trafik sinyalizasyon sistemlerine bağlı olarak kesintiye uğratılan trafik akımlarının temel karakteristiklerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu farklılıklar sinyalizasyon sisteminin belirlenme ve uygulama stratejilerinde dikkate alınmaz ise, trafik sinyalizasyon hesaplamalarının uygun bir şekilde yapıldığı ifade edilemez.

Model, değişken trafik hacmi, kavşak geometrisi ve sinyal planlaması gibi parametreleri dikkate alarak, minimum gecikme sürelerinin temin edilebilmesi için gelen ve çıkan trafik akışlarını, sinyal fazları ile harmonize ederek sinyal devre ve yeşil ışık sürelerini hesaplar. Bu yaklaşımla, her bir giriş ve çıkış kolu hareketliliği holistik bir yaklaşımla dikkate alınarak, kavşağa ait toplam gecikme süresi elde edilmeye çalışılır.

2.3.1.1. Doygun akım oranı

Doygun akış hızı, belirli bir şerit veya şerit grubuyla bir kavşaktan, bu şerit bir saat boyunca sürekli yeşilse, geçebilecek maksimum saatlik hacimdir. Diğer bir ifadeyle doymuş akım, bir sinyalizasyon kavşakta ışığın kırmızıdan yeşile dönmesi ile geçişine izin verilen maksimum taşıt miktarıdır.

$$s=3600/h \quad (2.1)$$

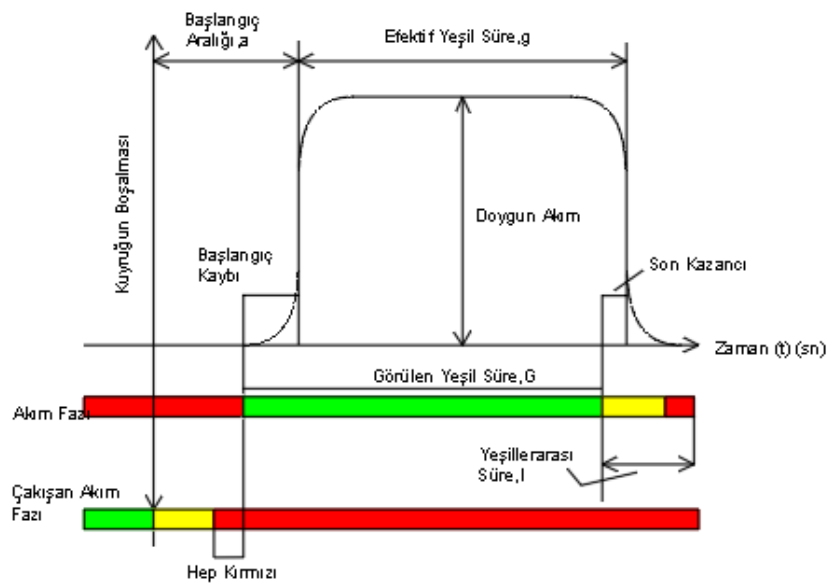
h: yaklaşım kolunun hacim/kapasite oranı

Doygun akım: Kavşağın kollarındaki sinyallerin bir saat boyunca yeşil olması sonucu o kavşaktan geçebilecek araç sayısı olarak da tanımlanabilir.

Not: Doygun akım kavşaktaki araç parametrelerine göre belirlenir. Her durumda aynı olmaz.

Kapasite: Yol kapasitesi, belirli bir süre içinde geçerli yol, trafik ve kontrol koşulları altında bir yol platformunu, tek tip şerit bölümünü veya noktayı makul bir şekilde geçebilecek maksimum araç sayısını ifade eder.

Doygun akımın modellenmesinde birçok yöntem ortaya konmuştur. Akçelik'in oluşturduğu şekildeki modelde yeşil süre boyunca taşıtların kavşağa girmesi ve doygun akıma ulaşması durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Temel akım modeli [6]

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi kavşaklarda etkin süreler ve kayıp süreler oluşmaktadır. Yeşil ışık yandığında kavşak yaklaşım kollarında araçların harekete başlaması sırasında başlangıç kaybı meydana gelir. Ayrıca bir fazın bitiminden, yeşil sinyalin bittiği andan itibaren, diğer fazın başlangıcına kadar geçen kırmızı ve sarı sürelerin toplamına yeşiller arası süre denir. Ve kayıp süreye dahil edilir.

Webster modeli sinyalizasyon kavşaklardaki taşıtların gecikmesini açıklayan ilk modellerden biridir. Webster denklemi, varış sürelerinin Poisson oranı ile ilişkili olduğunu varsayan, servis sürelerinin ise sabit olduğunu varsayan M/D/1 kuyruk modeli ile tanımlanmıştır [7]. Ancak servis sürelerinin rastgele olduğu durumda

modelin gerçekçi olmayacağını ve doymun akım durumunda gecikmelerinin sonsuza gitme eğiliminde olduğunu düşünen araştırmacılar webster modelinden yola çıkarak farklı modeller geliştirmişlerdir. Webster modeli ve tanımları şu şekildedir;

$$d = \frac{C(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0,65\left(\frac{c}{q^2}\right)^{1/3}x^{(2+5x)} \quad (2.2)$$

Tanımdaki ifadeler ise;

λ = yeşil oranı,

x = doymunluk oranı

q = kavşak kollarındaki akış oranı

c = Devre Süresi

d = Taşıt başı ortalama gecikme

Doymunluk derecesi; bir kavşak kolundan geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranıdır ($x = q / \lambda.s$).

Webster modelindeki ilk terim uniform geliş gidişi temsil ederken ikinci terim rastgele hareketi ifade eder. Düzeltme terimi olan son kısım ise toplam gecikmenin %5 ile %15'ini ifade eder. Formülüzasyonu kısaltmak için son terim kaldırılarak ifade 0,9 ile çarpılıp işlem yapılmaktadır [7].

İfadenin son hali aşağıdaki gibidir;

$$d = \frac{9}{10} \left(\frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right) \quad (2.3)$$

2.3.2. Akçelik gecikme modeli

Avustralya yöntemi olarak da bilinen Akçelik gecikme modeli, kavşaklarda veya herhangi bir erişim yolundaki sıkışıklık veya kuyruklar için farklı bir gecikme modeli sunar. Önerilen bu model ilk olarak Avustralya Karayolları araştırma birimi tarafından kavşaklarda uygulandı. Bu model, araç sayısı, akım oranı, yeşil

ışığın yanma süresi gibi parametreleri dikkate alarak kuyruğun uzunluğunu elde eder. Önerilen model aşağıdaki gibidir [8];

$$OD = \left(\frac{T}{4}\right) \left\{ (x - 1) + \left[(x - 1)^2 + \frac{12(x-x_0)}{cT} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \text{ eğer } x > x_0 \quad (2.4)$$

$$OD = \left\{ x = \frac{v}{c} \text{ ve } x_0 = 0.67 + sg/600 \right\} \text{ eğer } x = 0 \quad (2.5)$$

Tanımdaki ifadeler ise;

OD = ortalama kuyruk uzunluğu (araç sayısı cinsinden),

T = Periyod

s = doygun akım oranı (araç/saniye)

c = kapasite (araç/saat)

g = etkin yeşil süre

v = akım oranı

x_0 = doygunluk derecesi

Gecikme için önerilen model ise;

$$W = \frac{q * D * (1 - u)^2}{2 * (1 - y)} + OD * x \quad (2.6)$$

Tanımdaki ifadeler ise;

OD = ortalama kuyruk uzunluğu (araç sayısı cinsinden),

W = Gecikme

D = Devre süresi

q = Akım (taşıt/sn)

s = doygun akım oranı (araç/saniye)

g = etkin yeşil süre

$u = g/D$

$y = q/s$

ile ifade edilmektedir.

2.3.3. HCM 2000 (highway capacity manual) gecikme modeli

1985 yılında önerilen HCM yöntemi, sinyalizasyon sistemleri için kapasite ve gecikme modeli sunan ilk analitik çalışmalardan biridir. Sonraki yıllarda ana bileşenler değiştirilmeden farklı koşullar eklenmiş ve HCM 2000 yöntemi gibi en modern yöntem haline gelmiştir.

Bu gecikme modeli temel olarak iki bileşenden oluşmaktadır:

Birinci terim (d_1): ortalama bir döngüde araç başına ortalama gecikmeyi tanımlar, araçların geliş ve gidişlerinin bir sinyalleşme döngüsünü ve analiz süresi boyunca uniform olduğunu varsayar.

İkinci terim (d_2): Rastgele varış nedeniyle her döngüde meydana gelen artımlı gecikmeyi tanımlar. Artımlı gecikme sabit koşulları varsayar [9].

1985'te tanıtılan yöntemlere ek olarak, daha sonraki HCM güncellemeleri (HCM, 1994, 1997 ve 2000) bir çok yapısal değişiklik yaptı, ancak yöntemin temel doğası değişmeden kaldı [4,9-11]. Böylece, bu değişiklikler şunları içeriyordu:

Modelde kullanılan orijinal artımlı Webster gecikme terimi, daha önce Kimber ve Hollis tarafından geliştirilen zamana bağlı koordinat dönüşüm yöntemi ile değiştirilmiştir [12]. Daha sonra Fambro ve araştırmacı arkadaşlarının çalışmaları araçların her çevrimdeki geliş ve gidiş özellikleri de modele yansıtılmıştır. Model kısaca şu şekilde tanımlanmaktadır [4];

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (2.7)$$

$$d_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{c(1 - \frac{g}{c})^2}{\left[\min(1, X) \left(\frac{g}{c} \right) \right]} \right) \quad (2.8)$$

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + ((x - 1)^2 + \frac{8klX}{cT})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.9)$$

Tanımdaki ifadeler ise;

d_1 = uniform gecikme bileşeni

c = Devre süresi

g = etkin yeşil süre

x = doygunluk oranı

d_2 = artımlı gecikme bileşeni

T = Analiz periyodu

k = artımlı gecikme sabiti (sabit zamanlı sistemler için 0.5)

l = ölçüm düzeltme faktörü

c = şerit kapasitesi

d_3 = önceki devreden kalma kuyruktan dolayı oluşan gecikme bileşeni

PF = Sinyal düzeltme faktörü

2.3.4. Kuyruk teorisi (M/M/1) modeli

Bir kavşağı veya kentsel trafik akışını ölçmenin veya iyileştirmenin bir yolu, simülasyonları kullanarak, makul bir eğri oluşturmaya çalışmak yerine kuyruğun gerçek davranışını simüle etmeye çalışılabilir. Kuyruk teorisi, bekleme, kuyruk ve gecikmelerle ilgili birçok problemde kullanılan yöntemlerden biridir. Trafik ile ilgili problemlerde sinyalli ve sinyalsiz kavşaklar ile birçok problemde kullanıldığı görülmektedir. Gelen talep, herhangi bir hizmet senaryosunda hizmet sağlama kapasitesini aştığında bir kuyruk oluşur. Kuyruk teorisi, bu bekleme kuyruklarının matematiksel modellemesi üzerindeki çalışmaları içerir. Kuyruk teorisi, bu tür bekleme kuyruğu problemlerinde birçok alternatif model ile

bekleme süresi, ortalama araç sayısı, kuyruk uzunluğu gibi parametrelerin modellenmesini sağlar [13].

Kuyruk modellerinin üç temel bileşeni vardır. Bunlar sırasıyla geliş süreci, hizmet süreci ve kuyruk yapısıdır. Bu modelde gelişler ve ayrılışların dağılımlarının Poisson dağılıma uygun olduğu gelişler arası veya servis sürelerinin üssel olduğu varsayılmaktadır. Denklem 2.9’da verilen Poisson olasılık yoğunluk denklemi, 0 ile t zamanı periyodunda n aracın gelme olasılığını açıklamaktadır. Negatif üssel dağılım ise trafik akımlarının modellenmesinde en çok başvurulan dağılımlardan birisidir. Bu fonksiyon belli bir olasılığın bir zaman aralığında nasıl dağıldığı, bu çalışmada araçların gelişler arası sürelerinin nasıl dağıldığı hakkında bilgi verir. Denklem 2.11, 0 ile t arasındaki bir aralıkta hiçbir gelişin gerçekleşmeme olasılığının, kuyruk uzunluğu ile negatif üssel orantısıyla ilişkili olduğunu göstermektedir [14].

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.11)$$

Kuyruk modeli notasyonu;

(A/B/C)

A → Gelişlerin yada gelişler arası sürenin dağılımını

B → Servis süresinin dağılımını

C → Servisteki hizmet kanalı sayısını

M- Markovumsu, gelişlerin veya çıkışların sayıları Poisson dağılımına uyar. Gelişler arası süre veya hizmet süreleri üstel dağılımlıdır. Bu nedenle, kimi zaman "M" "Memoryless" hafızasız dağılım anlamına da gelmektedir.

D- Gelişler arası sürenin veya hizmet sürelerinin Dejenere bir dağılıma sahip olduğu veya deterministik olduğu anlamına gelmektedir.

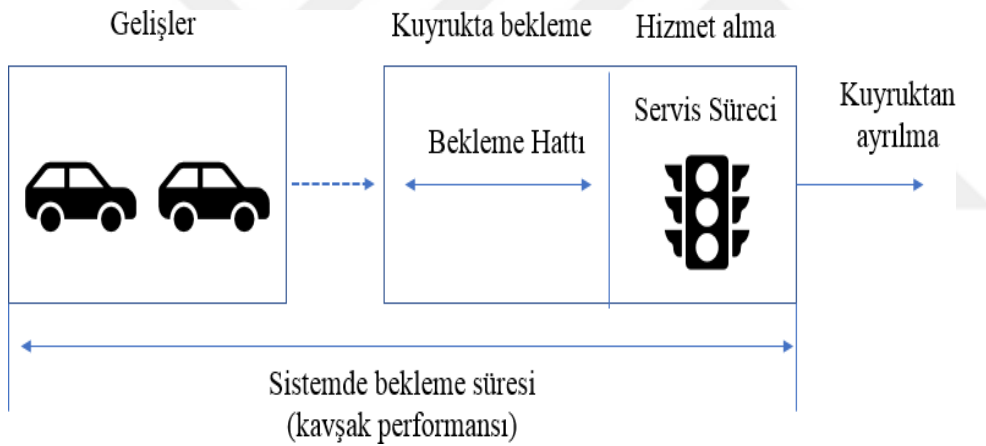
Poisson oranı: Belli bir zaman aralığında, belli bir alanda nadir rastlanan olayların dağılımları poisson dağılımı ile modellenenir.

$$P(X = x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (2.12)$$

X: Denemede ki istenen olay sayısı

λ : Dağılımın ortalaması

Burada verilerin veya servis sürecinin farklılığına göre alternatif kuyruk modelleri önerilebilmektedir. Modelin genel notasyonu (M/M/1):(FIFO/ ∞/∞) şeklinde gösterilmektedir. M/M/1 modelindeki 1 sayısı ile servis kanalı yani uygulanan senaryoda tek bir trafik lambasının varlığı tanımlanmaktadır. İlk iki terim geliş ve gidişlerin dağılımlarını, FIFO (ilk giren ilk çıkar) servis yapısını, son iki terim ise sonsuz kaynak ve sistem kapasitesini tanımlamaktadır.



Şekil 2.6. Kuyruk hattı bileşenleri

Bu alandaki uygulamalarda kuyruk modellerinin yaklaşım teknikleri ile farklı kuramlar ilişkilendirilmektedir. Kararlı kuyruk sistemlerine uygulanabilen Little Yasası ise, kuyruk yapısının metrikleriyle (varış oranının kalkış oranından daha büyük olmadığı durumlarda) ilişkilendirilmektedir. Bu teori ile, kararlı bir sistemde kuyruk veya sistemdeki araç sayısı ile araç başı bekleme sürelerinin ilişkili olduğu söylenmektedir.

3. PYTHON PROGRAMLAMA DİLİ

Python, nesne yönelimli, yorumlanan bir programlama dilidir. Guido van Rossum tarafından 1980'lerin sonunda geliştirilmiştir [15]. İlk olarak 1991 yılında piyasaya sürülmüştür ve o zamandan beri hızla büyümektedir. Python, açık kaynak kodlu bir programlama dilidir ve ücretsiz olarak kullanılabilir.

Python, birçok işlemi otomatikleştiren üst düzey bir dil olarak kabul edilir. Ayrıca Python birçok alanda kullanılabilecek zengin kütüphane desteğine sahiptir. Örneğin, bilimsel bilgi işlem, veri analizi, makine öğrenimi, web geliştirme, yapay zeka uygulamaları ve daha fazlasında kullanılır.

Python okuması ve yazması kolay bir dil olduğu için öğrenmesi kolaydır ve hızlı bir şekilde kod yazmanıza olanak tanır.

Python birçok platformda çalışabilir ve birçok işletim sistemi tarafından desteklenir. Ayrıca Python, diğer programlama dilleriyle kolayca entegre olur.

Sonuç olarak Python, öğrenmesi kolay, okuması ve yazması kolay, kapsamlı kütüphane desteğine sahip ve birçok alanda kullanılabilen genel amaçlı bir programlama dilidir.

3.1. Pygame

Pygame, Python programlama dilini kullanarak oyun geliştirmek için bir kütüphanedir. Bu kitaplık, Python dilinin gücünü kullanan oyunlar için grafik, ses ve kullanıcı girişi işlevleri sağlar. Pygame, basit grafiklerden karmaşık 3B grafiklere kadar birçok farklı türde oyunu destekleyebilir.

Pygame, Pygame.org web sitesinden indirilebilir. Kitaplık, platformlar arasında taşınabilirlik için C ile yazılmış SDL (Basit Direct Media Katmanı) kitaplığına dayanmaktadır. Pygame, Python için SDL'nin C ile yazılmış bir sürümüdür.

Pygame, kullanıcının fare veya klavye gibi cihazlarla etkileşime girmesine izin veren birçok özelliği destekler. Oyunlarda kullanılan grafikleri oluşturmak için resimler,

çizimler, animasyonlar ve videolar gibi çeşitli ortam türlerini de kullanabilirsiniz. Pygame kullanılarak oyunlara ses dosyaları da eklenebilir.

Pygame, Python dilinin nesne yönelimli programlama yetenekleri kullanılarak geliştirilmiştir. Böylece Pygame kütüphanesi ile yazılan oyunlar modüler olabilir ve bakımı daha kolay olabilir.

Sonuç olarak Pygame, Python programlama dilini kullanarak oyun geliştirmek isteyenler için güçlü ve kullanımı kolay bir kütüphanedir. Pygame ayrıca akademide sıklıkla kullanılır ve oyun geliştirme derslerinde öğrencilere önerilir.

3.2. Class Tanımı

Python programlama dilinde sınıflar, nesne yönelimli programlama (OOP) ilkelerine dayalı bir yapıdır. Sınıflar, benzer özelliklere sahip nesneleri gruplandırmak için kullanılır ve bu nesnelere sınıf örnekleri denir.

Class anahtar sözcüğü bir sınıfı tanımlamak için kullanılır ve sınıf adı büyük harfle başlar. Özellikler (değişkenler) ve yöntemler (işlevler) bir sınıf içinde tanımlanabilir. Özellikler, bir sınıfın özelliklerini tanımlar ve yöntemler, bir sınıfın davranışını tanımlar.

Örneğin, aşağıdaki örnek sınıf, bir öğrencinin adı, soyadı ve notları gibi özelliklerini tanımlar ve öğrenci notlarını hesaplamak için bir metod içerir:

```
class Car:
```

```
    def __init__(self, screen, lane, initial_velocity = 0.5, initial_acceleration = 0.0001):  
        self.direction = random.choice(Directions.directions)  
        self.position = self.gen_pos_lane(lane, self.direction)  
        self.velocity = pg.math.Vector2(self.direction[0] * initial_velocity,  
self.direction[1] * initial_velocity)  
        self.acceleration = pg.math.Vector2(self.direction[0] * initial_acceleration,  
self.direction[1] * initial_acceleration)  
        # Graphics
```

```
image = random.choice(AssetManager.cars)

self.image = image.convert_alpha() # This gets the clear image backgrounds

self.image = self.rotate_image(screen, self.image)

self.length = self.image.get_size()[0]

self.width = self.image.get_size()[1]

self.image = pg.transform.scale(self.image, (int(self.length/2), int(self.width/2))

# Characteristics

self.completed_path = False

self.completed_intersection = False

self.lane = lane

self.counted = False
```

Sınıflar, programlamada büyük bir öneme sahip olan nesne yönelimli programlama prensiplerini destekler ve Python dilinin güçlü bir özelliği olarak kabul edilir.

3.3. Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi, bir bilgisayar sisteminin verileri analiz ederek ve belirli bir görevi gerçekleştirmek için modeller oluşturarak performansını iyileştirdiği yapay zekanın bir alt dalıdır. Makine öğrenimi, istatistik, matematik, veri bilimi ve bilgisayar bilimi gibi alanları bir araya getirir.

Makine öğrenimi algoritmaları birçok farklı görevi gerçekleştirebilir. İşte sınıflandırma, regresyon, kümeleme, boyut küçültme ve pekiştirmeli öğrenme gibi temel görevlerden bazıları.

Makine öğrenimi algoritmaları, örnek bir veri kümesinden öğrenir ve bu veri kümesini tahminlerde bulunmak veya yeni verileri sınıflandırmak için kullanır. Bu nedenle, uygun şekilde eğitilmiş bir makine öğrenimi modeli, daha sonra veri analizi ve tahmin için kullanılabilecek yararlı bilgiler içerebilir.

Makine öğrenimi birçok sektörde kullanılmaktadır. Örneğin finans, ilaç, pazarlama, üretim, hizmetler, e-ticaret, ulaşım gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Bu alanda çalışanlar için veri bilimi, matematik ve programlama gibi alanlarda iyi bir bilgi birikimine sahip olmak önemlidir.

Makine öğrenimi, öğrenme süreci belirli bir veri kümesine bağlı olduğundan, veri analizinin önemini de vurgular. Veri analizi, doğru verilerin toplanması ve işlenmesiyle başlar ve ardından makine öğrenimi algoritmalarıyla birleştirilir.

Sonuç olarak, makine öğrenimi günümüzde hızla büyüyen bir alandır ve birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu alanda çalışmak isteyenlerin ilgili yöntem ve teknolojilere hakim olmaları ve son gelişmeleri takip etmeleri önemlidir.

3.3.1. Regresyon analizi

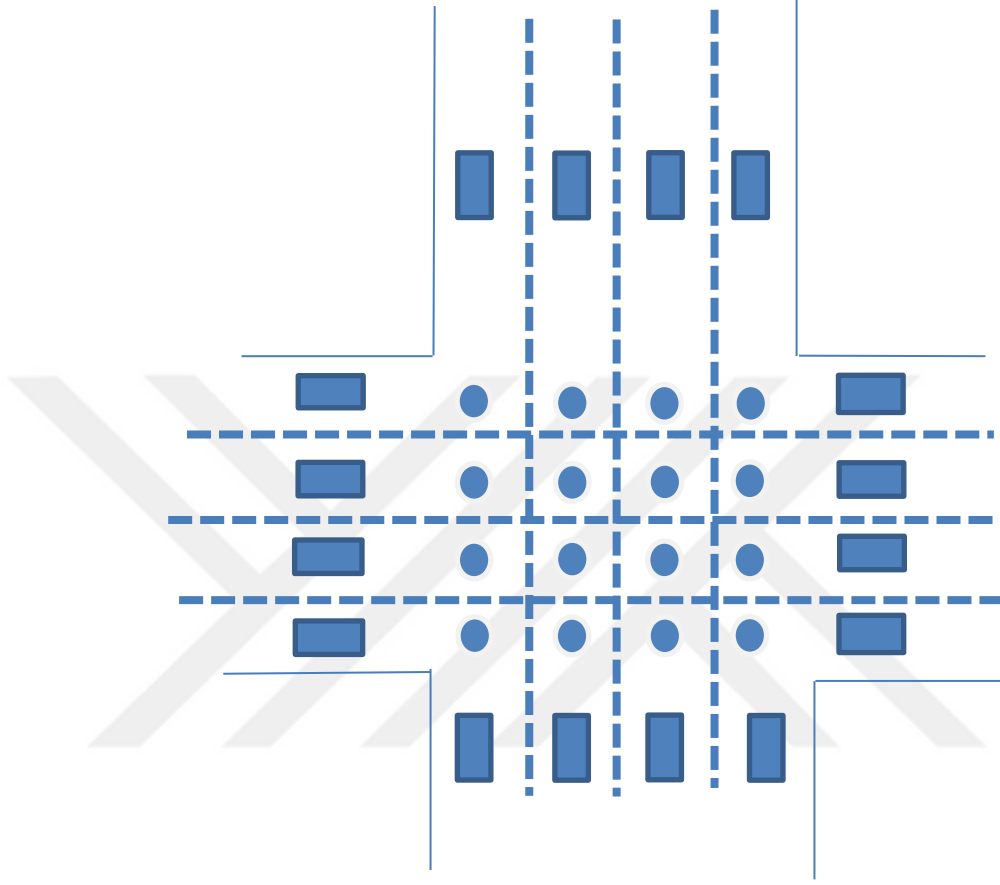
Regresyon analizi, bağımsız bir değişkenin veya değişkenlerin bir veya daha fazla bağımlı değişken üzerindeki etkisini incelemek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Regresyon analizi, özellikle sosyal bilimler, ekonomi, işletme yönetimi ve mühendislikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

İki ana regresyon analizi türü vardır: doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan regresyon. Doğrusal regresyon, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir kombinasyonunun bağımlı değişken üzerindeki etkisini inceler. Doğrusal olmayan regresyon, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir kombinasyonu yerine farklı bir matematiksel işlev kullanır.

Regresyon analizi, çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Bunlar arasında en küçük kareler yöntemi, en çok olabilirlik yöntemi ve bölgesel yöntemler en yaygın olarak kullanılmaktadır.

Regresyon analizi birçok faktörü ve değişkeni dikkate alır. Bu faktörler, bağımlı değişkenin özelliklerini, bağımsız değişkenlerin sayısını ve özelliklerini, veri setinin boyutunu ve yapısını, modelin doğruluğunu ve sağlamlığını, varsayımların yerine getirilmesini ve sonuçların yorumlanmasını içerir.

4. DİNAMİK ARAÇ SİSTEMLİ OTONOM KAVŞAK YÖNETİM STRATEJİSİ



Şekil 4.1. Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi modeli

● : Kontrol noktası

4.1. Kurgu

Kavşak kollarındaki trafik hacim miktarlarına göre araç öncelikleri belirlenir. Araç hızları, kavşak kontrol bölgesine girer girmez kontrol edilmeye başlar.

1. Sisteme giren araçlar şehir içi maksimum seyir hızı olan 50 km/sa hız ile girmektedir.
2. Eğer bir çarpışma durumu söz konusu olursa kritik olmayan akım kolundaki araç ve buna bağlı arkasındaki araçlar yavaşlayacak ve kritik akım kolundaki araçlar hızını değiştirmeden kritik olmayan akım kolundaki araçlar ise hızını azaltarak geçeceklerdir.

3. Trafik akım miktarları anlık olarak ölçülecektir.
4. Yakın mesafede herhangi bir çarpışma olması olasılığına karşı araçlar arasında sabit bir mesafe olacaktır.

Çalışma kapsamında python programlama dili ile simülasyon yapılmıştır. Simülasyonda iki boyutlu (2B) ekran üzerinde araçların hız ve konumlarını ayarlanarak kavşak kontrolü test edilmiştir.

4.2. Trafik Simülasyon Programı

4.2.1. Ekran özellikleri

Ekran genişliği: 1440 pixel

Ekran yüksekliği: 800 pixel

Gerçek eşdeğerlikleri:

Genişlik: 57,15 m

Yükseklik: 31,8 m

Kavşak boyutları:

Ekran genişliği: 280 pixel

Ekran yüksekliği: 250 pixel

Gerçek eşdeğerlikleri:

Genişlik: 11,1 m

Yükseklik: 9,92 m

4.2.2. Araç boyutları

Genişlik: 50,45 pixel

Uzunluk: 126,13 pixel

Gerçek eşdeğerlikleri:

Genişlik: 2 m

Uzunluk: 5 m

Başlangıç Hızı: 50 km/sa = 13,88 m/s

Simulasyon hızı = 0,0925 m/s

Ölçek değeri = 1/150

4.2.3. Kullanılan kütüphaneler

Pygame: Pygame modülü, Python'da oyun geliştirmek için popüler bir kütüphanedir. Genellikle grafikleri, sesleri ve kullanıcı girdilerini işlemek için kullanılır.

Time: Zaman modülü, olaylar arasında geçen süreyi ölçmek de dahil olmak üzere zamanla çalışmak için işlevler sağlar.

Random: Random modülü, rasgele sayılar üretmek ve dizilerden rasgele seçimler yapmak için işlevler sağlar.

Pandas: Pandas modülü, elektronik tablolara veya veritabanlarına benzer tablo verileriyle çalışmak için veri yapıları ve işlevleri sağlar.

Math: Matematik modülü, bir sayının karekökünü sqrt() ile hesaplamak gibi çeşitli matematiksel işlevler sağlar.

Simülasyon 2, 1,82, 1,67 ve 1,54 sn'de 1 araç üretilecek şekilde test edilmiştir. Simülasyon süresi 1 saat (60 dakika) olarak belirlenmiştir.

Şekil 8'de gösterildiği gibi araçların çarpışacakları olası noktalar belirlenmiştir. Çarpışma kontrol noktalarının koordinatları aşağıda listelenmiştir.

K11 = (575,265), K21 = (575,415), K31 = (745,485), K41 = (745,335)

K12 = (655,265), K22 = (655,415), K32 = (825,485), K42 = (825,335)

K13 = (575,335), K23 = (575,485), K33 = (745,415), K43 = (745,265)

K14 = (655,335), K24 = (655,485), K34 = (825,415), K44 = (825,265)

4.2.4. Araç üretimi

Araçlar gerçek eşdeğeri şehir içi izin verilen en yüksek hız limiti olan 50 km/sa hızla 0.00004 m/s^2 ivme ile rastgele bir şeritte olacak şekilde aşağıda listelenen koordinatlardan üretilmektedir. İvme değeri programın araçları hareketsiz olarak algılamasını engellemek için küçük bir değer seçilmiştir.

Yukarı yönlü 1.şerit = (745, 900), Yukarı yönlü 2.şerit = (825, 900)

Aşağı yönlü 1.şerit = (655, -100), Aşağı yönlü 2.şerit = (575, -100)

Sol yönlü 1.şerit = (1540, 335), Sol yönlü 2.şerit = (1540, 265)

Sağ yönlü 1.şerit = (-100, 415), Sağ yönlü 2.şerit = (-100, 485)

4.2.5. Veritabanı

Araçlar için Python’da sınıf oluşturulup her bir araç için konum, hız ve ivme değerleri o araca ait olarak atanmıştır. Elde edilen veriler Pandas kütüphanesinin dataframe modülü ile kayıt altına alınmaktadır.

Veritabanı’nda her bir yöndeki kavşak kolu için araçların konumları X ve Y koordinatları pixel boyutunda olacak şekilde zaman bilgisi ile birlikte kayıt altına alınmak ile birlikte her bir araç için atanan o araca ait kimlik eşdeğeri tutulmaktadır.

Simülasyon 2 sn, 1,82 sn, 1,67 sn ve 1,54 sn herhangi bir yönden ve o yöne ait herhangi bir şeritten rastgele araç gelecek şekilde 1 saat boyunca çalıştırılmıştır. 2 sn, 1,82 sn , 1,67 sn ve 1,54 snlik her bir durum ve tüm yönler için ayrı ayrı araçların veritabanı bilgilerinin bir kısmı fikir vermek amacıyla aşağıda verilmiştir.

4.2.5.1. 2 sn de 1 araç senaryosu

4.1, 4.2, 4.3, 4.4 numaralı tablolarda 2 sn de 1 araç geçen simülasyon için ilk sütunda araçların zaman verileri simülasyon zamanı olarak saniye cinsinden verilmiştir. İkinci sütundan araçlara atanan her bir araç için özel olarak üretilmiş araç kimlik numarası verilmektedir. Üçüncü sütunda aracın birinci sütunda verilen zaman değerindeki x koordinatının değeri, dördüncü sütunda ise birinci sütunda verilen zaman değerindeki y koordinatının değeri verilmektedir.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de tutulan sağ ve sol yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 30,1 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 310 ile 1090 pikseller arasında tutulmaktadır.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’te tutulan yukarı ve aşağı yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 29,8 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 0 ile 750 pikseller arasında tutulmaktadır.

Kavşak etkileşim bölgesi, araçların birbirleri ile haberleşip hızlarını düzenledikleri 30mx30m lik bir alanı kapsamaktadır.

Tablo 4.1. 2 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
178,1729	6	357,3746	415	1
178,4237	6	400,8578	415	1
178,7184	6	472,1962	415	1
178,8534	6	535,5467	415	1
179,0706	6	581,4737	415	1
179,3238	6	647,4087	415	1
179,5225	6	701,7567	415	1
179,7633	6	769,2783	415	1
179,9978	6	838,5029	415	1
180,2674	6	918,7019	415	1
180,7072	6	974,2679	415	1
180,8931	6	1033,717	415	1
197,6605	15	347,3892	415	2
197,7937	15	375,6044	415	2
197,9935	15	419,6809	415	2
198,1908	15	466,4978	415	2
198,3871	15	514,1841	415	2
198,5697	15	562,9254	415	2
198,7597	15	610,3002	415	2
198,9477	15	661,2136	415	2
199,2487	15	738,7862	415	2
199,4943	15	811,8281	415	2
199,892	15	932,0388	415	2
200,1461	15	1012,754	415	2
210,3827	21	408,3811	485	3
210,6612	21	438,2421	485	3
210,8331	21	474,8066	485	3
211,0656	21	535,2586	485	3
211,3484	21	610,6944	485	3
211,6208	21	682,5667	485	3
211,8061	21	732,9832	485	3
212,0607	21	806,7247	485	3
212,3548	21	897,3106	485	3
212,6677	21	994,4971	485	3

Tablo 4.2. 2 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
170,3115	2	1048,405	335	1
170,5317	2	998,7943	335	1
170,7886	2	979,0726	335	1
170,956	2	938,4732	335	1
171,1234	2	898,4828	335	1
171,4135	2	829,4845	335	1
171,5791	2	777,7288	335	1
171,8007	2	718,5442	335	1
172,0079	2	659,5048	335	1
172,1004	3	1062,914	265	2
172,2523	2	587,9237	335	2
172,6753	2	456,3821	335	2
172,7147	3	901,1942	265	2
172,8787	2	395,113	335	2
172,9626	3	851,86	265	2
173,2487	3	771,1347	265	2
173,4842	3	702,3161	265	2
173,7688	3	622,3911	265	2
174,0064	3	548,631	265	2
174,3363	3	450,0064	265	2
174,6097	3	368,9807	265	2
174,7295	4	992,7265	265	3
174,9354	4	897,3616	265	3
175,0737	3	318,0467	265	3
175,167	4	858,3398	265	3
175,4246	4	783,8009	265	3
175,6483	4	719,8496	265	3
175,9445	4	638,1956	265	3
176,1458	4	578,8928	265	3
176,2409	5	1042,555	265	4
176,5132	4	470,0149	265	4
176,6021	5	957,589	265	4
176,8033	5	871,5144	265	4
176,9917	4	406,4556	265	4
177,0215	5	818,775	265	4
177,1808	4	342,2356	265	4
177,25	5	765,215	265	4
177,4706	5	699,2129	265	4
177,6719	5	641,5621	265	4

Tablo 4.2. (Devamı) 2 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
177,9315	5	565,2663	265	4
178,1466	5	500,1504	265	4
178,3496	5	439,6146	265	4
178,6467	5	341,7304	265	4
182,6951	8	1008,202	335	5
182,8289	8	945,2641	335	5
183,0786	8	902,2547	335	5
183,3281	8	902,2547	335	5
183,7872	8	899,5715	335	5
184,0636	8	899,5715	335	5
184,4426	8	899,5715	335	5
184,5371	9	1073,061	265	6
184,8012	9	985,1824	265	6
185,0735	8	887,9686	335	6
185,1666	9	926,5326	265	6
185,4421	8	873,8463	335	6
185,5274	9	833,4668	265	6
185,8668	9	708,181	265	6
186,0771	8	830,8664	335	6
186,1509	9	636,0989	265	6
186,5279	8	798,0182	335	6
186,6157	9	516,8721	265	6
186,8904	9	366,1713	265	6
187,0324	8	784,8344	335	6
187,116	9	317,8404	265	6

Tablo 4.3. 2 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
166,9213	1	825	686,6173	1
167,0063	1	825	672,1483	1
167,1224	1	825	652,3636	1
167,2428	1	825	632,3881	1
167,3915	1	825	610,9681	1
167,6035	1	825	571,1329	1
167,8103	1	825	529,4829	1
167,9704	1	825	488,3516	1
168,0959	1	825	463,9805	1
168,2383	1	825	432,7161	1

Tablo 4.3. (Devamı) 2 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
168,4125	1	825	394,0166	1
168,5583	1	825	360,6446	1
168,7156	1	825	326,6471	1
168,8772	1	825	285,1651	1
169,025	1	825	249,8074	1
169,1522	1	825	218,7454	1
169,3728	1	825	165,4449	1
169,6083	1	825	99,0958	1
169,8332	1	825	36,0579	1
178,9675	7	745	703,0196	2
179,1855	7	745	672,4415	2
179,392	7	745	627,7065	2
179,6332	7	745	590,3185	2
180,1076	7	745	590,3185	2
180,3958	7	745	590,3185	2
180,5747	7	745	586,3997	2
180,7571	7	745	582,8501	2
181,1884	7	745	571,2785	2
181,418	7	745	561,5032	2
181,6693	7	745	548,2203	2
181,9088	7	745	531,8134	2
182,4218	7	745	491,403	2
182,6334	7	745	470,8323	2
183,0046	7	745	453,4254	2
183,2584	7	745	425,5549	2
183,5197	7	745	394,3402	2

Tablo 4.4. 2 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
187,32891	11	575	77,39046	1
187,68136	11	575	140,0951	1
187,9624	11	575	208,6762	1
188,21831	11	575	264,4884	1
188,65002	11	575	264,4884	1
188,89598	11	575	315,1647	1
189,18229	11	575	353,7903	1
189,27199	12	575	72,77172	2
189,46823	11	575	426,2554	2

Tablo 4.4. (Devamı) 2 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
189,56839	12	575	135,4122	2
189,84558	11	575	511,7935	2
189,93153	12	575	190,1367	2
190,21132	11	575	655,7175	2
190,28946	12	575	262,305	2
190,58473	12	575	339,2586	2
190,96692	12	575	421,6388	2
191,56669	12	575	477,2278	2
191,86263	12	575	572,4731	2
192,05013	12	575	651,5885	2
192,30028	12	575	697,4484	2
206,39292	20	655	45,8351	3
206,61395	20	655	81,16886	3
206,91114	20	655	120,0938	3
207,20737	20	655	173,0482	3
207,67023	20	655	269,8796	3
207,98997	20	655	337,1621	3
208,18246	20	655	413,2459	3
208,48843	20	655	438,0232	3
208,68605	20	655	485,0165	3
208,88222	20	655	530,0413	3
209,08374	20	655	582,147	3
209,28484	20	655	634,873	3
209,48034	20	655	690,3406	3
209,76863	20	655	746,3633	3
217,41888	25	655	77,0774	4
217,79935	25	655	143,4102	4
218,55965	25	655	253,9585	4
218,91101	25	655	340,5151	4
219,23105	25	655	424,0948	4
219,57852	25	655	502,2825	4
219,9141	25	655	568,7788	4
220,23934	25	655	679,0584	4
232,60897	32	575	48,8644	5
232,81898	32	575	89,6733	5
233,04185	32	575	129,4278	5
233,407	32	575	170,9754	5
234,00542	32	575	287,7208	5
234,34797	32	575	404,5811	5

4.2.5.2. 1,82 sn de 1 araç senaryosu

4.5, 4.6, 4.7, 4.8 numaralı tablolarda 1,82 sn de 1 araç geçen simülasyon için ilk sütunda araçların zaman verileri simülasyon zamanı olarak saniye cinsinden verilmiştir. İkinci sütundan araçlara atanan her bir araç için özel olarak üretilmiş araç kimlik numarası verilmektedir. Üçüncü sütunda aracın birinci sütunda verilen zaman değerindeki x koordinatının değeri, dördüncü sütunda ise birinci sütunda verilen zaman değerindeki y koordinatının değeri verilmektedir.

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da tutulan sağ ve sol yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 30,1 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 310 ile 1090 pikseller arasında tutulmaktadır.

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de tutulan yukarı ve aşağı yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 29,8 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 0 ile 750 pikseller arasında tutulmaktadır.

Kavşak etkileşim bölgesi araçların birbirleri ile haberleşip hızlarını düzenledikleri 30 mx30 m lik bir alanı kapsamaktadır.

Tablo 4.5. 1,82 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
198,8754	1	427,869	485	1
199,0163	1	458,1868	485	1
199,2126	1	506,4602	485	1
199,3966	1	553,0862	485	1
199,5877	1	596,7375	485	1
199,9246	1	689,6692	485	1
200,1006	1	743,6788	485	1
200,3213	1	801,8532	485	1
200,5259	1	864,1186	485	1
200,7651	1	932,2277	485	1
200,9635	1	999,2199	485	1
201,7576	1	1056,409	485	1
204,681	4	534,6117	485	2
205,0493	4	571,5935	485	2
205,2533	4	624,6849	485	2
205,4403	4	675,4036	485	2
205,6456	4	729,2754	485	2

Tablo 4.5. (Devamı) 1,82 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
205,7667	4	766,1696	485	2
205,9087	4	803,4834	485	2
206,4238	4	954,8234	485	2
206,7343	4	1055,121	485	2
210,6994	7	408,0906	415	3
210,9202	7	466,2147	415	3
211,2332	7	534,4675	415	3
211,7279	7	699,9439	415	3
212,0492	7	877,2119	415	3
214,2829	9	361,3923	485	4
214,6549	9	428,4794	485	4
215,2007	9	570,9522	485	4
215,629	9	745,9526	485	4
215,8073	9	771,6018	485	4
216,0527	9	850,9235	485	4
216,5109	9	979,283	485	4
217,17	8	447,5442	415	5
217,4457	8	525,3872	415	5
217,8878	8	618,1048	415	5
218,53	8	766,0188	415	5
218,9615	8	872,0518	415	5
219,4498	8	994,288	415	5
222,1644	13	402,5544	485	6
222,4919	13	468,2458	485	6
222,8693	13	579,867	485	6
223,147	13	677,4169	485	6
223,4857	13	757,77	485	6
223,6366	13	849,3348	485	6
223,9944	13	931,3172	485	6
224,2919	13	1050,083	485	6
228,7248	16	454,9451	415	7
229,3028	16	543,6105	415	7
229,5657	16	640,9601	415	7
229,9874	16	741,7047	415	7
230,24	16	813,4814	415	7
230,6256	16	929,1149	415	7
230,9811	16	1055,238	415	7
240,4463	22	411,3567	485	8
240,642	22	438,5358	485	8
240,93	22	503,9189	485	8

Tablo 4.5. (Devamı) 1,82 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
241,2666	22	598,7819	485	8
241,4781	22	657,1542	485	8
241,5357	22	672,4769	485	8
241,7254	22	724,9967	485	8
242,0036	22	804,0372	485	8
242,2974	22	891,9962	485	8

Tablo 4.6. 1,82 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
200,6428	2	1036,505	335	1
200,8716	2	984,2811	335	1
201,0035	2	932,4746	335	1
202,1221	2	647,4548	335	1
202,4105	2	560,069	335	1
202,7383	2	455,1179	335	1
203,1451	2	406,73	335	1
208,9601	6	1006,845	335	2
209,1734	6	971,3149	335	2
209,4848	6	900,8625	335	2
209,7506	6	822,5204	335	2
210,1283	6	822,5204	335	2
210,3841	6	822,5204	335	2
210,6425	6	822,5204	335	2
210,8617	6	820,08	335	2
211,1822	6	794,3245	335	2
211,6455	6	696,0461	335	2
211,9732	6	609,0719	335	2
212,504	6	464,4225	335	2
212,8231	6	385,908	335	2
215,9219	10	1061,957	265	3
216,1811	10	996,0984	265	3
217,3194	10	721,5631	265	3
217,6499	10	593,9866	265	3
218,1456	10	447,4398	265	3
220,7967	12	904,6244	265	4
221,096	12	831,0167	265	4

Tablo 4.7. 1,82 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
201,0968	3	825	679,4754	1
201,879	3	825	648,0828	1
202,171	3	825	469,8247	1
202,496	3	825	404,1284	1
202,8442	3	825	324,0585	1
202,9977	3	825	244,2249	1
203,2183	3	825	205,0719	1
203,5913	3	825	124,8617	1
204,8399	5	745	680,9091	2
204,9515	5	745	654,7577	2
205,1595	5	745	625,8368	2
205,3652	5	745	625,8368	2
205,5523	5	745	625,8368	2
205,8198	5	745	625,8368	2
206,2789	5	745	625,8368	2
206,5542	5	745	625,8368	2
207,2142	5	745	612,2763	2
207,48	5	745	600,5104	2
207,7219	5	745	589,4909	2
208,2036	5	745	558,009	2
208,5948	5	745	530,6182	2
209,1022	5	745	505,336	2
209,4073	5	745	475,1876	2
209,7022	5	745	439,5202	2
210,0803	5	745	386,9415	2
210,3278	5	745	353,4578	2
210,5902	5	745	313,5395	2
210,8275	5	745	273,4662	2
211,1034	5	745	225,4566	2
211,5596	5	745	141,8687	2
211,9347	5	745	67,10308	2
225,3719	15	825	684,9617	3
225,7003	15	825	630,6017	3
226,1003	15	825	561,4523	3
226,4165	15	825	447,0324	3
226,9397	15	825	380,2238	3
227,4326	15	825	229,2046	3
227,9034	15	825	127,9422	3
235,8217	20	825	596,3677	4

Tablo 4.7. (Devamı) 1,82 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
236,3084	20	825	516,1906	4
236,8191	20	825	367,3536	4
237,0925	20	825	262,8121	4
237,2492	20	825	197,2198	4
237,5813	20	825	132,0449	4
237,9232	20	825	44,5708	4
249,3201	27	745	680,7589	5
249,4534	27	745	590,1976	5
249,8135	27	745	554,9588	5
250,1127	27	745	458,5807	5
250,5348	27	745	387,6513	5
251,114	27	745	278,8048	5
251,599	27	745	107,859	5
254,8143	30	745	650,556	6
255,0909	30	745	592,2244	6
255,4449	30	745	528,8976	6
255,9607	30	745	430,072	6
256,3382	30	745	314,2576	6
256,77	30	745	222,2128	6
256,903	31	825	658,8325	7

Tablo 4.8. 1.82 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
217,8037	11	655	83,03324	1
218,3375	11	655	83,03324	1
219,2232	11	655	118,6908	1
219,8057	11	655	147,4031	1
221,0592	11	655	234,1221	1
221,3648	11	655	270,4919	1
221,8954	11	655	314,7959	1
222,0563	11	655	355,1348	1
222,3597	11	655	439,111	1
222,7612	11	655	626,3308	1
229,0983	17	655	87,96136	2
229,4517	17	655	154,1631	2
229,7909	17	655	228,2288	2
230,0604	17	655	306,1312	2

Tablo 4.8. (Devamı) 1.82 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veri tabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
230,3908	17	655	306,1312	2
230,7622	17	655	306,1312	2
231,1355	17	655	312,3722	2
231,5102	17	655	324,014	2
231,8595	17	655	340,3745	2
232,2816	17	655	362,6938	2
232,6616	17	655	399,9028	2
232,8934	17	655	433,0963	2
233,2755	17	655	450,7456	2
233,6014	17	655	488,5744	2
233,9088	17	655	524,063	2
234,3214	17	655	585,6702	2
234,6755	17	655	635,7998	2
235,1511	17	655	723,3998	2
237,1659	21	575	129,215	3
237,3931	21	575	176,6364	3
237,704	21	575	224,4212	3
238,0446	21	575	289,6076	3
238,411	21	575	386,5137	3
238,8562	21	575	475,1805	3
239,0623	21	575	584,7999	3
239,4491	21	575	622,0607	3
239,6233	21	575	677,5337	3

4.2.5.3. 1,67 sn de 1 araç senaryosu

4.9, 4.10, 4.11, 4.12 numaralı tablolarda 1,67 sn de 1 araç geçen simülasyon için ilk sütunda araçların zaman verileri simülasyon zamanı olarak saniye cinsinden verilmiştir. İkinci sütundan araçlara atanan her bir araç için özel olarak üretilmiş araç kimlik numarası verilmektedir. Üçüncü sütunda aracın birinci sütunda verilen zaman değerindeki x koordinatının değeri, dördüncü sütunda ise birinci sütunda verilen zaman değerindeki y koordinatının değeri verilmektedir.

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da tutulan sağ ve sol yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 30,1 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 310 ile 1090 pikseller arasında tutulmaktadır.

Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de tutulan yukarı ve aşağı yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 29,8 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 0 ile 750 pikseller arasında tutulmaktadır.

Kavşak etkileşim bölgesi araçların birbirleri ile haberleşip hızlarını düzenledikleri 30mx30m lik bir alanı kapsamaktadır.

Tablo 4.9. 1,67 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9858,237	1	349,6863	485	1
9858,348	1	372,506	485	1
9858,493	1	405,4707	485	1
9858,642	1	438,6244	485	1
9858,781	1	471,1996	485	1
9858,973	1	517,845	485	1
9859,174	1	565,2282	485	1
9859,49	1	650,6276	485	1
9859,717	1	709,74	485	1
9859,912	1	767,9006	485	1
9860,097	1	820,4583	485	1
9860,433	1	885,8418	485	1
9860,681	1	998,3469	485	1
9860,921	1	1075,158	485	1
9867,081	6	369,9693	485	2
9867,35	6	397,8073	485	2
9867,515	6	436,7874	485	2
9867,7	6	484,8499	485	2
9868,025	6	570,1749	485	2
9868,27	6	631,4961	485	2
9868,524	6	701,5036	485	2
9868,696	6	754,4433	485	2
9868,9	6	812,9624	485	2
9869,125	6	881,1124	485	2
9869,35	6	950,3687	485	2
9869,632	6	1025,891	485	2
9871,194	8	424,7747	485	3

Tablo 4.9. (Devamı) 1,67 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9871,338	8	487,6384	485	3
9871,672	8	556,9271	485	3
9872,091	8	647,1224	485	3
9872,621	8	793,46	485	3
9872,91	8	912,9844	485	3
9873,222	8	1002,253	485	3
9874,658	10	380,8536	485	4
9875,414	10	427,1014	485	4
9875,643	10	482,0889	485	4
9875,868	10	537,8828	485	4
9876,031	10	582,96	485	4
9876,112	11	334,7436	485	5
9876,268	10	646,1823	485	5
9876,441	10	692,4971	485	5
9876,524	11	426,9652	485	5
9871,338	8	487,6384	485	3
9871,672	8	556,9271	485	3
9872,091	8	647,1224	485	3
9872,621	8	793,46	485	3
9872,91	8	912,9844	485	3
9873,222	8	1002,253	485	3
9874,658	10	380,8536	485	4
9875,414	10	427,1014	485	4

Tablo 4.10. 1,67 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9860,179	2	1034,418	265	1
9860,552	2	983,2956	265	1
9860,718	2	894,1738	265	1
9861	2	832,8441	265	1
9861,283	2	759,8371	265	1
9861,555	2	690,6816	265	1
9861,858	2	602,327	265	1
9861,957	3	1013,623	335	2
9862,852	2	494,168	265	2
9863,246	3	664,316	335	2
9863,355	4	1046,916	335	3
9863,556	3	533,2855	335	3

Tablo 4.10. (Devamı) 1,67 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9863,652	4	939,8074	335	3
9863,943	3	430,0327	335	3
9864,246	3	338,0148	335	3
9864,369	4	778,0707	335	3
9865,298	4	640,8771	335	3
9883,787	15	958,9307	335	4
9884,053	15	861,2271	335	4
9884,465	15	743,5619	335	4
9885,135	15	572,6742	335	4
9885,427	15	413,9975	335	4
9887,026	17	1059,851	335	5

Tablo 4.11. 1,67 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9863,783	5	745	615,2284	1
9864,042	5	745	549,3436	1
9864,514	5	745	489,4352	1
9865,394	5	745	380,024	1
9865,77	5	745	101,8784	1
9866,028	5	745	30,32644	1
9867,642	7	825	714,449	2
9867,839	7	825	681,086	2
9867,958	7	825	641,7076	2
9868,173	7	825	620,7799	2
9868,341	7	825	576,6081	2
9868,802	7	825	576,6081	2
9869,003	7	825	576,6081	2
9869,227	7	825	576,6081	2
9869,403	7	825	574,6011	2
9870,174	7	825	558,6904	2
9870,64	7	825	530,8481	2
9871,139	7	825	488,1197	2
9871,642	7	825	463,5667	2
9872,022	7	825	428,567	2
9872,554	7	825	365,2641	2
9872,9	7	825	309,9468	2
9873,18	7	825	266,8623	2
9873,463	7	825	219,7902	2

Tablo 4.11. (Devamı) 1,67 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9873,75	7	825	170,0703	2
9874,097	7	825	106,9454	2
9874,393	7	825	50,67934	2
9877,001	12	825	688,1693	3
9877,222	12	825	658,0766	3
9877,506	12	825	613,5006	3
9878,202	12	825	613,5006	3
9878,545	12	825	613,5006	3
9878,903	12	825	607,4478	3
9879,583	12	825	575,4219	3
9879,912	12	825	557,4221	3
9880,226	12	825	534,7011	3
9881,072	12	825	471,3993	3
9881,736	12	825	446,2665	3
9882,205	12	825	378,7241	3
9882,52	12	825	331,8988	3
9882,821	12	825	285,1371	3
9883,216	12	825	218,8515	3
9883,543	12	825	163,7425	3
9883,93	12	825	88,41122	3
9884,237	16	745	639,4041	4
9884,647	16	745	554,4963	4
9885,188	16	745	341,2265	4
9885,572	16	745	145,6862	4
9885,806	16	745	16,27828	4
9892,747	21	825	667,261	5
9893,029	21	825	624,309	5
9893,342	21	825	559,893	5
9894,166	21	825	559,893	5
9894,629	21	825	559,893	5
9895,338	21	825	537,2295	5
9896,419	21	825	467,0622	5
9897,099	21	825	425,52	5
9897,446	21	825	385,6846	5
9897,783	21	825	344,7342	5
9898,089	21	825	305,3382	5
9898,515	21	825	242,0022	5
9899,011	21	825	152,1926	5
9899,464	21	825	68,06352	5
9899,749	21	825	10,6004	5

Tablo 4.11. (Devamı) 1,67 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9920,964	36	825	666,7849	6
9921,245	36	825	470,2858	6
9921,711	36	825	377,6486	6
9922,19	36	825	334,8069	6
9922,526	36	825	316,2229	6

Tablo 4.12. 1,67 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9871,009	9	655	88,12428	1
9871,258	9	655	122,1068	1
9871,52	9	655	170,4346	1
9871,86	9	655	224,4167	1
9872,28	9	655	295,7264	1
9872,703	9	655	413,653	1
9873,024	9	655	511,2085	1
9873,331	9	655	584,6748	1
9873,603	9	655	662,5522	1
9873,888	9	655	742,6539	1
9887,103	18	575	59,79198	2
9887,297	18	575	111,7542	2
9887,593	18	575	149,0874	2
9887,803	18	575	203,9191	2
9888,078	18	575	258,7935	2
9888,414	18	575	316,2732	2
9888,851	18	575	316,2732	2
9889,285	18	575	374,6175	2
9889,634	18	575	438,7358	2
9890,166	18	575	498,0821	2
9890,828	18	575	657,3463	2
9891,068	18	575	731,4282	2
9903,531	27	575	94,8608	3
9903,852	27	575	163,5283	3
9904,723	27	575	230,7528	3
9905,153	27	575	230,7528	3
9905,874	27	575	246,8156	3
9906,324	27	575	271,4626	3

Tablo 4.12. (Devamı) 1,67 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
9906,693	27	575	295,6208	3
9907,443	27	575	331,4608	3
9907,646	27	575	405,0642	3
9908,144	27	575	488,0217	3
9908,379	30	575	82,5929	4
9908,629	30	575	187,8864	4
9908,74	27	575	553,6973	4
9908,917	30	575	252,6268	4
9909,036	27	575	553,6973	4
9909,332	30	575	365,6523	4
9909,499	27	575	553,6973	4
9909,712	30	575	365,6523	4
9909,911	27	575	553,6973	4
9910,154	30	575	421,3806	4
9910,389	27	575	553,6973	4
9910,695	30	575	546,7812	4
9910,876	27	575	553,6973	4
9911,138	30	575	682,0942	4
9911,534	27	575	553,6973	4
9912,236	27	575	553,6973	4
9912,691	27	575	553,6973	4
9913,241	27	575	569,523	4
9913,564	27	575	581,2166	4
9913,892	27	575	593,2897	4
9914,254	33	575	94,96872	5
9914,39	27	575	633,5795	5
9914,755	33	575	209,6255	5
9914,891	27	575	682,2123	5
9914,992	33	575	327,2855	5
9915,124	27	575	704,9931	5
9915,244	33	575	379,5006	5
9915,438	27	575	742,2319	5
9915,593	33	575	379,5006	5
9915,945	33	575	415,8318	5
9916,283	33	575	458,0676	5
9916,649	33	575	504,345	5
9916,987	33	575	553,7336	5
9917,26	33	575	623,7807	5
9917,544	33	575	659,4735	5
9917,654	35	655	35,80398	6

4.2.5.4. 1,54 sn de 1 araç senaryosu

4.13, 4.14, 4.15, 4.16 numaralı tablolarda 1,54 sn de 1 araç geçen simülasyon için ilk sütunda araçların zaman verileri simülasyon zamanı olarak saniye cinsinden verilmiştir. İkinci sütundan araçlara atanan her bir araç için özel olarak üretilmiş araç kimlik numarası verilmektedir. Üçüncü sütunda aracın birinci sütunda verilen zaman değerindeki x koordinatının değeri, dördüncü sütunda ise birinci sütunda verilen zaman değerindeki y koordinatının değeri verilmektedir.

Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te tutulan sağ ve sol yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 30,1 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 310 ile 1090 pikseller arasında tutulmaktadır.

Tablo 4.15 ve Tablo 4.16'da tutulan yukarı ve aşağı yönlü akım yönleri için veri tabanları kavşak etkileşim bölgesi olarak planlanan gerçekte 29,8 m, yaklaşık olarak 30 m mesafeye karşılık gelen 0 ile 750 pikseller arasında tutulmaktadır.

Kavşak etkileşim bölgesi araçların birbirleri ile haberleşip hızlarını düzenledikleri 30 mx30 m lik bir alanı kapsamaktadır.

Tablo 4.13. 1,54 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19257,22	1	628,6936	485	1
19257,73	2	433,3861	485	2
19257,88	2	461,6858	485	2
19258,06	2	490,1699	485	2
19258,27	2	530,8338	485	2
19258,37	2	550,9654	485	2
19258,54	2	587,2649	485	2
19258,88	2	654,7134	485	2
19259,16	2	718,7789	485	2
19259,38	2	777,9083	485	2
19259,51	2	803,8991	485	2
19259,73	2	860,869	485	2
19259,88	2	896,0314	485	2

Tablo 4.13. (Devamı) 1,54 sn de 1 araç için sağ yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19260,05	2	942,2707	485	2
19260,3	2	1006,294	485	2
19260,57	2	1085,889	485	2
19264,84	6	343,7951	485	3
19265,04	6	390,5538	485	3
19265,3	6	453,2632	485	3
19265,59	6	520,9375	485	3
19265,95	6	566,6655	485	3
19266,14	6	615,5867	485	3
19266,37	6	679,6859	485	3
19266,6	6	741,8039	485	3
19266,9	6	825,5304	485	3
19267,21	6	915,1348	485	3
19267,5	6	1011,231	485	3
19268,25	8	401,0244	485	4
19268,48	8	454,9548	485	4
19268,75	8	521,949	485	4
19269,18	8	575,7715	485	4
19269,51	8	604,7078	485	4
19269,54	9	341,5674	415	5
19269,7	8	654,1466	485	5
19269,77	9	383,0007	415	5
19269,93	8	717,3966	485	5
19270,02	9	436,3515	415	5

Tablo 4.14. 1,54 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19280,08	15	1020,579	265	1
19280,3	15	932,5765	265	1
19280,59	15	871,5139	265	1
19280,89	15	776,9147	265	1
19281,32	15	776,9147	265	1
19281,6	15	776,9147	265	1
19281,96	15	772,6376	265	1
19282,35	15	772,6376	265	1

Tablo 4.14. (Devamı) 1,54 sn de 1 araç için sol yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19282,63	15	745,6376	265	1
19282,97	15	708,8832	265	1
19283,37	15	626,9913	265	1
19283,72	15	514,2143	265	1
19284,09	15	377,1542	265	1
19288,14	17	1024,962	265	2
19288,78	17	872,1181	265	2
19289,08	17	794,6957	265	2
19289,66	17	654,6128	265	2
19290,12	17	522,92	265	2
19290,72	17	347,4452	265	2
19308,05	31	974,1076	265	3

Tablo 4.15. 1,54 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19259,99	4	825	706,4289	1
19260,19	4	825	675,4977	1
19260,48	4	825	631,9136	1
19260,62	4	825	576,692	1
19261,27	4	825	460,8119	1
19261,44	4	825	402,4832	1
19261,63	4	825	356,8766	1
19261,71	5	825	718,6779	2
19261,86	4	825	304,2411	2
19261,93	5	825	681,8313	2
19262,08	4	825	248,6817	2
19262,27	4	825	206,1117	2
19262,39	5	825	611,7872	2
19262,57	5	825	544,6064	2
19262,74	4	825	156,467	2
19262,88	5	825	506,0395	2
19263,07	4	825	61,28704	2
19263,14	5	825	431,0604	2
19263,35	5	825	379,0865	2
19263,55	5	825	329,4866	2
19263,75	5	825	285,9763	2
19264,07	5	825	253,0132	2
19264,26	5	825	203,8575	2

Tablo 4.15. (Devamı) 1,54 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19264,47	5	825	148,596	2
19264,62	5	825	105,8983	2
19264,78	5	825	65,62312	2
19264,99	5	825	4,94024	2
19272,24	11	745	686,7325	3
19272,51	11	745	632,1384	3
19272,82	11	745	564,581	3
19273,28	11	745	564,581	3
19273,58	11	745	564,581	3
19273,91	11	745	560,981	3
19274,39	11	745	542,3877	3
19274,67	11	745	531,3285	3
19274,88	11	745	519,6987	3
19275,26	11	745	496,9187	3
19275,99	11	745	446,8577	3
19276,61	11	745	416,0835	3
19277,01	14	825	658,4312	4
19277,16	11	745	353,6801	4
19277,43	14	825	554,3101	4
19277,73	11	745	275,1482	4
19278,25	11	745	178,1542	4
19278,44	14	825	554,3101	4
19278,64	11	745	106,3398	4
19278,89	14	825	548,1636	4
19279,05	11	745	20,38532	4
19279,71	14	825	532,2102	4
19280	14	825	518,062	4
19280,22	14	825	496,1478	4
19280,52	14	825	479,2691	4
19280,69	16	745	705,6889	5
19280,86	14	825	449,6353	5
19280,99	16	745	644,8806	5
19281,23	14	825	418,3222	5
19281,38	16	745	584,9086	5
19281,72	16	745	486,8096	5
19281,92	14	825	381,9468	5
19282,09	16	745	414,8565	5
19282,28	14	825	337,8341	5
19282,4	16	745	300,2312	5
19282,57	14	825	296,6381	5

Tablo 4.15. (Devamı) 1,54 sn de 1 araç için yukarı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19282,72	16	745	175,5392	5
19282,94	14	825	243,1798	5
19283,07	16	745	175,5392	5
19283,3	14	825	180,4018	5
19283,41	16	745	132,9005	5
19283,65	14	825	117,2198	5
19283,82	16	745	88,4155	5
19284,06	14	825	37,54816	5
19284,18	16	745	30,379	5
19286	19	825	700,6665	6
19286,29	19	825	646,4152	6
19286,52	19	825	581,7468	6
19287,35	19	825	420,4903	6
19287,58	19	825	342,5575	6
19287,84	19	825	269,4093	6
19288,51	19	825	196,5741	6
19288,9	19	825	196,5741	6

Tablo 4.16. 1,54 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19264,7	7	575	25,09604	1
19264,9	7	575	47,16794	1
19265,17	7	575	81,23634	1
19265,45	7	575	127,7237	1
19265,84	7	575	227,4804	1
19266,01	7	575	264,1061	1
19266,25	7	575	303,5767	1
19266,48	7	575	355,7383	1
19266,73	7	575	406,6648	1
19267,05	7	575	475,9169	1
19267,28	7	575	550,649	1
19267,65	7	575	631,4251	1
19267,95	7	575	725,507	1
19275,06	13	575	47,71838	2
19275,58	13	575	103,9783	2
19276,51	13	575	338,9432	2
19276,9	13	575	407,0715	2
19277,3	13	575	532,6418	2

Tablo 4.16. (Devamı) 1,54 sn de 1 araç için aşağı yönlü araçların veritabanı.

Zaman (sn)	Araç Kimliği	X (px)	Y (px)	Toplam Araç Miktarı
19278,05	13	575	678,6841	2
19291	22	575	172,8948	3
19291,67	22	575	249,8298	3
19292,14	22	575	419,3327	3
19292,67	22	575	540,6538	3
19293,09	22	575	689,089	3
19294,65	24	655	47,78044	4
19294,96	24	655	100,4688	4
19295,23	24	655	154,7963	4
19295,65	24	655	245,3575	4
19295,75	25	575	7,09752	5
19295,88	24	655	305,1068	5
19295,98	25	575	52,92872	5

4.3. Çarpışma Önleme Algoritması

Çarpışma önleme algoritması, arabalar arasındaki çarpışmaları kontrol eder ve çarpışmaları önlemek için, risk algısı belirlendiği anda araçların hızlarını düzenleyerek kaza riskini ortadan kaldırır.

Algoritma, araç listesindeki tüm araçları izleyerek çarpışma olasılığına neden olan koşulları kontrol eder. İlk olarak, her aracın yönü kontrol edilir ve araçların farklı yönlere gittiği durumlarda, bir sonraki araca geçilir. Ardından, araçların aynı yönde farklı şeritlerde olup olmadığı kontrol edilerek bir sonraki araca geçilir.

Algoritma daha sonra sistemde bulunan araçların kavşaktaki birbirleri ile çarpışabileceği noktaya daha yakın olup olmadığını kontrol ederek, kavşak içindeki çarpışma noktasına en yakın konumda bulunan aracı tespit eder. En yakın aracın mesafesi 250'den büyükse, araç yoğunluklarına göre öncelik belirlenir. Hangi yöndeki araç yoğunluğu daha büyük ise o yöndeki araçlar kavşaktan geçme üstünlüğüne sahip olur. Eğer en yakın aracın çarpışma noktasına olan mesafesi 250 pikselden (yaklaşık 10 m) küçük ise, olası yoğunluğun az olduğu akım yönüne öncelik verilir. Daha sonra araçlar arasındaki mesafenin 200'den az olup olmadığı kontrol edilerek, çarpışma riski mevcudiyeti tespit edilir. Bir çarpışma algılanırsa kod, araçların birbirine 90° lik dik

yönde hareket edip etmemelerine bağlı olarak çarpışmanın türünü belirler. Daha sonra olası çarpışma noktasına en yakın arabanın ivmesini $0,0003 \text{ m/s}^2$ değerine ve en uzak arabanın $-0,00346 \text{ m/s}^2$ değerine ayarlar. Çarpışma algılanmazsa, algoritma aracın ivmesini düşük bir değer olan $0,00004 \text{ m/s}^2$ olarak belirler.

4.3.1. Yavaşlanma ivmesinin belirlenmesi

$$x = \frac{1}{2} * a * t^2 \quad (4.12)$$

Yavaşlanma ivmesi araçlar arasında belirlenen yaklaşık olan mesafeyi $13,88 \text{ m/s}$ maksimum hızda durabilecek şekilde formül 12 ile $0,00346 \text{ m/s}^2$ olarak hesaplanmıştır.

4.3.2. Trafik akım değerleri

4.3.2.1. 2 sn de 1 araç için trafik akım değerleri

Tablo 4.17’de python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonundaki 2 sn de 1 araç geçen modunda her bir akım yönü için saatlik trafik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.17. 2 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.

Akım Yönü	Saatlik Trafik (araç/sa)
1 (sağ)	337
2 (sol)	304
3 (yukarı)	300
4 (aşağı)	267

4.3.2.2. 1.82 sn de 1 araç için trafik akım değerleri

Tablo 4.18’de python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonundaki 1,82 sn de 1 araç geçen modunda her bir akım yönü için saatlik trafik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.18. 1,82 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.

Akım Yönü	Saatlik Trafik (araç/sa)
1 (sağ)	381
2 (sol)	365
3 (yukarı)	331
4 (aşağı)	294

4.3.2.3. 1,67 sn de 1 araç için trafik akım değerleri

Tablo 4.19’da python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonundaki 1,67 sn de 1 araç geçen modunda her bir akım yönü için saatlik trafik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.19. 1,67 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.

Akım Yönü	Saatlik Trafik (araç/sa)
1 (sağ)	360
2 (sol)	355
3 (yukarı)	362
4 (aşağı)	414

4.3.2.4. 1,54 sn de 1 araç için trafik akım değerleri

Tablo 4.20’de python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonundaki 1,54 sn de 1 araç geçen modunda her bir akım yönü için saatlik trafik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.20. 1,54 sn de 1 araç için trafik akım değerleri.

Akım Yönü	Saatlik Trafik (araç/sa)
1 (sağ)	388
2 (sol)	448
3 (yukarı)	436
4 (aşağı)	421

4.4. Otonom Kavşak Yönetim Sistemi Simülasyonu Gecikme Değerleri

4.4.1. 2 sn de 1 araç için gecikme değerleri

Tablo 4.21’de sağ yön için, Tablo 4.24’te sol yön için, Tablo 4.27’de yukarı yön için ve Tablo 4.30’da aşağı yön için python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonunda 2 sn de 1 araç geçen modu için birinci sütunda her aracın kendine ait kimlik değeri bulunmaktadır.

İkinci sütunda özel kimlik değerine sahip aracın simülasyondaki seyahat süresi verilmektedir. Üçüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafe piksel değeri olarak verilmektedir. Dördüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafenin gerçek eşdeğeri verilmektedir. Son sütunda ise her bir aracın ortalama gerçek hızları verilmektedir.

Tablo 4.22’de sağ yön için, Tablo 4.25’te sol yön için, Tablo 4.28’de yukarı yön için ve Tablo 4.31’de aşağı yön için sağ yön için ikinci sütunda şehir içi en yüksek hız sınırı olan 50 km/sa hızın m/s eş değeri verilmiştir. Birinci sütunda her bir aracın en yüksek hız sınırı ile duraksamadan gidilseydi simülasyonu kaç saniyede tamamlayacağı bilgisi verilmiştir. Üçüncü sütunda ise simülasyonda kat edilen mesafenin 50 km/sa hız ile alınması ile simülasyonda alınan süre arasındaki fark verilmektedir. Bu değer her bir aracın ortalama gecikme değeri olarak verilmektedir.

Tablo 4.23’te sağ yön için, Tablo 4.26’da sol yön için, Tablo 4.29’da yukarı yön için ve Tablo 4.32’de aşağı yön için birinci sütunda toplam gecikme değeri ve ikinci sütunda ortalama o yöndeki araç başı gecikme değeri verilmiştir.

4.4.1.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.21. 2 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
6	2,72	676,34	26,85	9,87
15	2,49	665,36	26,41	10,63
21	2,51	657,35	26,09	10,41
29	1,64	509,97	20,24	12,34
31	2,68	679,94	26,99	10,08

Tablo 4.22. 2 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,93	13,88	0,79
1,90	13,88	0,58
1,88	13,88	0,63
1,46	13,88	0,18
1,94	13,88	0,73

Tablo 4.23. 2 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
216,54	0,64

4.4.1.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.24. 2 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
2	2,57	653,29	25,93	10,10
3	2,97	744,87	29,57	9,94
4	2,45	650,49	25,82	10,53
5	2,41	700,82	27,82	11,56
8	7,31	686,53	27,25	3,73
9	2,58	755,22	29,98	11,62

Tablo 4.24. (Devamı) 2 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
13	2,59	613,12	24,34	9,39
16	1,96	584,63	23,21	11,81
17	2,30	649,77	25,79	11,20
18	2,58	685,70	27,22	10,55

Tablo 4.25. 2 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,87	13,88	0,70
2,13	13,88	0,84
1,86	13,88	0,59
2,00	13,88	0,40
1,96	13,88	5,35
2,16	13,88	0,42
1,75	13,88	0,84
1,67	13,88	0,29
1,86	13,88	0,44
1,96	13,88	0,62

Tablo 4.26. 2 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
178,04	0,59

4.4.1.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri**Tablo 4.27.** 2 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
1	2,91	650,56	25,82	8,87
7	6,85	700,19	27,79	4,06
10	7,18	609,04	24,17	3,37
14	2,84	657,16	26,08	9,20
19	2,62	615,02	24,41	9,30

Tablo 4.28. 2 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,86	13,88	1,05
2,00	13,88	4,85
1,74	13,88	5,43
1,88	13,88	0,96
1,76	13,88	0,86

Tablo 4.29. 2 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
343,45	1,14

4.4.1.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri**Tablo 4.30.** 2 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
11	2,88	578,33	22,96	7,96
12	3,03	624,68	24,80	8,19
20	3,38	700,53	27,81	8,24
25	2,82	601,98	23,89	8,47
32	3,02	654,08	25,96	8,59
33	2,52	609,63	24,20	9,59

Tablo 4.31. 2 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,65	13,88	1,23
1,79	13,88	1,24
2,00	13,88	1,37
1,72	13,88	1,10
1,87	13,88	1,15
1,74	13,88	0,78

Tablo 4.32. 2 sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
339,69	1,27

4.4.2. 1.82 sn de bir araç için gecikme değerleri

Tablo 4.33'te sağ yön için, Tablo 4.36'da sol yön için, Tablo 4.39'da yukarı yön için ve Tablo 4.42'de aşağı yön için python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonunda 1,82 sn de 1 araç geçen modu için birinci sütunda her aracın kendine ait kimlik değeri bulunmaktadır.

İkinci sütunda özel kimlik değerine sahip aracın simülasyondaki seyahat süresi verilmektedir. Üçüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafe piksel değeri olarak verilmektedir. Dördüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafenin gerçek eşdeğeri verilmektedir. Son sütunda ise her bir aracın ortalama gerçek hızları verilmektedir.

Tablo 4.34'te sağ yön için, Tablo 4.37'de sol yön için, Tablo 4.40'ta yukarı yön için ve Tablo 4.43'te aşağı yön için sağ yön için ikinci sütunda şehir içi en yüksek hız sınırı olan 50 km/sa hızın m/s eş değeri verilmiştir. Birinci sütunda her bir aracın en yüksek hız sınırı ile duraksamadan gidilseydi simülasyonu kaç saniyede tamamlayacağı bilgisi verilmiştir. Üçüncü sütunda ise simülasyonda kat edilen mesafenin 50 km/sa hız ile alınması ile simülasyonda alınan süre arasındaki fark verilmektedir. Bu değer her bir aracın gecikme değerini vermektedir.

Tablo 4.35'te sağ yön için, Tablo 4.38'de sol yön için, Tablo 4.41'de yukarı yön için ve Tablo 4.44'te aşağı yön için birinci sütunda toplam gecikme değeri ve ikinci sütunda ortalama o yöndeki araç başı gecikme değeri verilmiştir.

4.4.2.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.33. 1,82 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
1	2,88	628,54	24,95	8,66
4	2,05	520,51	20,66	10,06
7	1,35	469,12	18,62	13,80
8	2,28	546,74	21,70	9,52
9	2,23	617,89	24,53	11,01
13	2,13	647,53	25,70	12,08
16	2,26	600,29	23,83	10,56
22	2,32	622,50	24,71	10,66
33	2,40	592,10	23,50	9,78
35	2,27	512,30	20,33	8,95

Tablo 4.34. 1,82 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,80	13,88	1,08
1,49	13,88	0,56
1,34	13,88	0,01
1,56	13,88	0,72
1,77	13,88	0,46
1,85	13,88	0,28
1,72	13,88	0,54
1,78	13,88	0,54
1,69	13,88	0,71
1,47	13,88	0,81

Tablo 4.35. 1,82 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
196,01	0,51

4.4.2.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.36. 1,82 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
2	2,50	629,77	25,00	9,99
6	3,86	620,94	24,65	6,38
10	2,22	614,52	24,39	10,97
12	6,46	594,45	23,60	3,65
14	2,44	543,48	21,57	8,84

Tablo 4.37. 1,82 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,80	13,88	0,70
1,78	13,88	2,09
1,76	13,88	0,47
1,70	13,88	4,76
1,55	13,88	0,89

Tablo 4.38. 1,82 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
284,34	0,78

4.4.2.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.39. 1,82 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
3	2,49	554,61	22,01	8,83
5	7,09	613,81	24,36	3,43
15	2,53	557,02	22,11	8,73
20	2,10	551,80	21,90	10,42
27	2,28	572,90	22,74	9,98
30	2,61	638,82	25,36	9,71
31	2,57	649,17	25,77	10,01
32	3,62	724,49	28,76	7,95
46	4,13	682,15	27,08	6,55

Tablo 4.40. 1,82 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,59	13,88	0,91
1,76	13,88	5,34
1,59	13,88	0,94
1,58	13,88	0,52
1,64	13,88	0,64
1,83	13,88	0,78
1,86	13,88	0,72
2,07	13,88	1,55
1,95	13,88	2,18

Tablo 4.41. 1,82 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
426,97	1,29

4.4.2.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.42. 1,82 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
11	4,96	543,30	21,57	4,35
17	6,05	635,44	25,22	4,17
21	2,73	609,21	24,18	8,87

Tablo 4.43. 1,82 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,55	13,88	3,40
1,82	13,88	4,24
1,74	13,88	0,99

Tablo 4.44. 1,82 sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
334,02	1,14

4.4.3. 1.67 sn de bir araç için gecikme değerleri

Tablo 4.45'te sağ yön için, Tablo 4.48'de sol yön için, Tablo 4.51'de yukarı yön için ve Tablo 4.54'te aşağı yön için python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonunda 1,67 sn de 1 araç geçen modu için birinci sütunda her aracın kendine ait kimlik değeri bulunmaktadır.

İkinci sütunda özel kimlik değerine sahip aracın simülasyondaki seyahat süresi verilmektedir. Üçüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafe piksel değeri olarak verilmektedir. Dördüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafenin gerçek eşdeğeri verilmektedir. Son sütunda ise her bir aracın ortalama gerçek hızları verilmektedir.

Tablo 4.46'da sağ yön için, Tablo 4.49'da sol yön için, Tablo 4.52'de yukarı yön için ve Tablo 4.55'te aşağı yön için sağ yön için ikinci sütunda şehir içi en yüksek hız sınırı olan 50 km/sa hızın m/s eş değeri verilmiştir. Birinci sütunda her bir aracın en

yüksek hız sınırı ile duraksamadan gidilseydi simülasyonu kaç saniyede tamamlayacağı bilgisi verilmiştir. Üçüncü sütunda ise simülasyonda kat edilen mesafenin 50 km/sa hız ile alınması ile simülasyonda alınan süre arasındaki fark verilmektedir. Bu değer her bir aracın gecikme değerini vermektedir.

Tablo 4.47’de sağ yön için, Tablo 4.50’de sol yön için, Tablo 4.53’te yukarı yön için ve Tablo 4.56’da aşağı yön için birinci sütunda toplam gecikme değeri ve ikinci sütunda ortalama o yöndeki araç başı gecikme değeri verilmiştir.

4.4.3.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.45. 1,67 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
1	2,68	725,47	28,80	10,73
6	2,55	655,92	26,04	10,20
8	2,03	577,48	22,92	11,31
10	3,04	693,00	27,51	9,04
11	2,66	728,28	28,91	10,85
13	1,94	616,82	24,48	12,62
14	6,27	687,99	27,31	4,35

Tablo 4.46. 1,67 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
2,07	13,88	0,61
1,88	13,88	0,68
1,65	13,88	0,38
1,98	13,88	1,06
2,08	13,88	0,58
1,76	13,88	0,18
1,97	13,88	4,31

Tablo 4.47. 1,67 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
241,59	0,67

4.4.3.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.48. 1,67 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
2	2,67	540,25	21,44	8,03
3	2,29	675,61	26,82	11,72
4	1,94	406,04	16,12	8,30
15	1,64	544,93	21,63	13,19
17	2,54	641,33	25,46	10,02

Tablo 4.49. 1,67 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,54	13,88	1,13
1,93	13,88	0,36
1,16	13,88	0,78
1,56	13,88	0,08
1,83	13,88	0,71

Tablo 4.50. 1,67 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
220,94	0,62

4.4.3.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.51. 1,67 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
5	2,24	584,90	23,22	10,34
7	6,75	663,77	26,35	3,90
12	6,93	599,76	23,81	3,44
16	1,57	623,13	24,73	15,77
21	7,00	656,66	26,06	3,72
36	2,58	631,16	25,05	9,72
40	3,17	614,78	24,40	7,70
41	2,68	561,05	22,27	8,31
43	1,98	552,49	21,93	11,07
52	2,09	630,91	25,04	11,99
54	2,57	631,87	25,08	9,77

Tablo 4.52. 1,67 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,67	13,88	0,57
1,90	13,88	4,85
1,72	13,88	5,21
1,78	13,88	-0,21
1,88	13,88	5,12
1,80	13,88	0,77
1,76	13,88	1,41
1,60	13,88	1,08
1,58	13,88	0,40
1,80	13,88	0,28
1,81	13,88	0,76

Tablo 4.53. 1,67 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
445,19	1,23

4.4.3.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.54. 1,67 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
9	2,88	654,53	25,98	9,02
18	3,96	671,64	26,66	6,72
27	11,91	647,37	25,70	2,16
30	2,76	599,50	23,80	8,62
33	3,59	618,02	24,53	6,84
35	2,60	561,91	22,30	8,59
39	2,79	663,08	26,32	9,42

Tablo 4.55. 1,67 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,87	13,88	1,01
1,92	13,88	2,04
1,85	13,88	10,06
1,71	13,88	1,04
1,77	13,88	1,82
1,61	13,88	0,99
1,90	13,88	0,90

Tablo 4.56. 1,67 sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
401,91	1,26

4.4.4. 1,54 sn de bir araç için gecikme değerleri

Tablo 4.58’de sağ yön için, Tablo 4.61’de sol yön için, Tablo 4.64’te yukarı yön için ve Tablo 4.67’de aşağı yön için python programlama dilinde oluşturulan otonom kavşak yönetimi simülasyonunda 1.54sn de 1 araç geçen modu için birinci sütunda her aracın kendine ait kimlik değeri bulunmaktadır.

İkinci sütunda özel kimlik değerine sahip aracın simülasyondaki seyahat süresi verilmektedir. Üçüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafe piksel değeri olarak verilmektedir. Dördüncü sütunda simülasyonda kat edilen mesafenin gerçek eşdeğeri verilmektedir. Son sütunda ise her bir aracın ortalama gerçek hızları verilmektedir.

Tablo 4.59'da sağ yön için, Tablo 4.62'de sol yön için, Tablo 4.65'te yukarı yön için ve Tablo 4.68'de aşağı yön için sağ yön için ikinci sütunda şehir içi en yüksek hız sınırı olan 50 km/sa hızın m/s eş değeri verilmiştir. Birinci sütunda her bir aracın en yüksek hız sınırı ile duraksamadan gidilseydi simülasyonu kaç saniyede tamamlayacağı bilgisi verilmiştir. Üçüncü sütunda ise simülasyonda kat edilen mesafenin 50 km/sa hız ile alınması ile simülasyonda alınan süre arasındaki fark verilmektedir. Bu değer her bir aracın gecikme değerini vermektedir.

Tablo 4.60'da sağ yön için, Tablo 4.63'te sol yön için, Tablo 4.66'da yukarı yön için ve Tablo 4.69'da aşağı yön için birinci sütunda toplam gecikme değeri ve ikinci sütunda ortalama o yöndeki araç başı gecikme değeri verilmiştir.

4.4.4.1. Sağ yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.57. 1,54 sn de 1 araç sağ yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
2	2,84	652,50	25,90	9,13
6	2,67	667,44	26,49	9,94
8	2,65	608,73	24,16	9,11
9	2,51	665,70	26,42	10,52
10	2,27	623,85	24,76	10,93
12	3,76	669,27	26,57	7,07
18	2,41	552,57	21,93	9,11
20	1,99	564,68	22,41	11,29

Tablo 4.58. 1,54 sn de 1 araç sağ yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,87	13,88	0,97
1,91	13,88	0,76
1,74	13,88	0,91
1,90	13,88	0,61
1,78	13,88	0,48
1,91	13,88	1,84
1,58	13,88	0,83
1,61	13,88	0,37

Tablo 4.59. 1,54 sn de 1 araç sağ yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
177,49	0,56

4.4.4.2. Sol yönlü araçların gecikme değerleri**Tablo 4.60.** 1,54 sn de 1 araç sol yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
15	4,02	643,43	25,54	6,36
17	2,58	677,52	26,89	10,41
31	2,40	647,47	25,70	10,72
38	2,53	637,68	25,31	9,99
45	2,47	617,24	24,50	9,94
51	2,30	670,61	26,62	11,55

Tablo 4.61. 1,54 sn de 1 araç sol yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,84	13,88	2,18
1,94	13,88	0,64
1,85	13,88	0,55
1,82	13,88	0,71
1,77	13,88	0,70
1,92	13,88	0,39

Tablo 4.62. 1,54 sn de 1 araç sol yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
261,89	0,76

4.4.4.3. Yukarı yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.63. 1,54 sn de 1 araç yukarı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
4	3,09	645,14	25,61	8,30
5	3,28	713,74	28,33	8,64
11	6,81	666,35	26,45	3,88
14	7,05	620,88	24,64	3,50
16	3,49	675,31	26,81	7,68
19	5,99	682,60	27,09	4,52
28	2,89	664,98	26,40	9,13
29	3,44	713,24	28,31	8,24
30	2,73	661,85	26,27	9,62
34	3,15	605,74	24,04	7,64
35	2,99	642,48	25,50	8,54

Tablo 4.64. 1,54 sn de 1 araç yukarı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
1,84	13,88	1,24
2,04	13,88	1,24
1,91	13,88	4,91
1,78	13,88	5,27
1,93	13,88	1,56
1,95	13,88	4,04
1,90	13,88	0,99
2,04	13,88	1,40
1,89	13,88	0,84
1,73	13,88	1,41
1,84	13,88	1,15

Tablo 4.65. 1,54 sn de 1 araç yukarı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
408,94	1,19

4.4.4.4. Aşağı yönlü araçların gecikme değerleri

Tablo 4.66. 1,54 sn de 1 araç aşağı yön için hız-mesafe-zaman tablosu.

Araç Kimliği	Zaman Aralığı (sn)	Mesafe (px)	Mesafe (m)	Hız (m/s)
7	3,25	700,41	27,80	8,55
13	3,00	630,97	25,04	8,35
22	2,08	516,19	20,49	9,84
24	2,79	612,96	24,33	8,73
25	3,01	630,38	25,02	8,30
27	6,52	651,45	25,86	3,97

Tablo 4.67. 1,54 sn de 1 araç aşağı yön için zaman-hız-gecikme tablosu.

Maksimum Zaman Aralığı (sn)	Maksimum Hız (m/s)	Gecikme (sn)
2,00	13,88	1,25
1,80	13,88	1,19
1,48	13,88	0,61
1,75	13,88	1,03
1,80	13,88	1,21
1,86	13,88	4,66

Tablo 4.68. 1,54sn de 1 araç aşağı yön için toplam gecikme-ortalama gecikme tablosu.

Toplam Gecikme (sn)	Ortalama Gecikme (sn)
396,27	1,32

5. WEBSTER YÖNTEMİ İLE GECİKME HESABI

5.1. Peak Saatlik Hacimlerin Hesaplanması

Hesaplama yapılırken, trafik akışını en yoğun durumunu yansıtan verilerin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, modellenen kavşakta trafik akışının en yoğun olduğu saatlerde veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Trafik akışının homojen olduğu varsayılan 15 dakikalık aralıklara ait veriler hesaplamalara dahil edilmiştir ve pik saat faktörleri bu verilere göre belirlenmiştir.

$$PHF = \frac{v}{4 \cdot v_{15}} \quad (5.1)$$

PHF: Pik saat faktörü

V: Saatlik hacim, araç/saat

V_{15} : yoğun saatlerde 15 dakikada maksimum hacim, araç/saat

Sarı ve kayıp zamanlar her faz için sırasıyla 4 s ve 5 s olarak alınmıştır.

$$d = \frac{9}{10} \left(\frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right) \quad (5.2)$$

λ = yeşil oranı

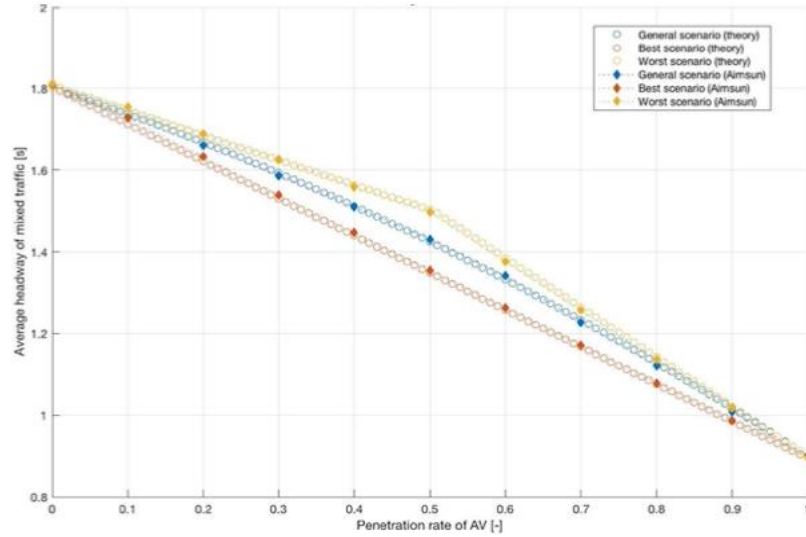
x = doyunluk oranı

q = kavşak kollarındaki akış oranı

c = Devre Süresi

d = Taşıt başı ortalama gecikme

Gecikme değerleri denklem 5.2 ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Otonom araçlar (AV) için farklı penetrasyon oranları için karma trafikte minimum, maksimum ve beklenen takip mesafesi değeri .[6]

Otonom araçların gecikme analizi için kullanılan teorik takip mesafesi 0,9 saniye olarak kabul edilmektedir. Gecikme analizi, otonom araçların takip mesafesine göre hesaplanan doymuş akım değeri kullanılarak webster yöntemi ile hesaplanmaktadır. Otonom araçların yol değerine göre doymuş akım değeri ayarlanmalıdır ve bu nedenle 0,9 saniye değeri kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda otonom araçlar için doymuş akım değeri hesaplanır ve webster yöntemindeki adımlar bu değere göre düzenlenerek, gecikme değeri bulunur.

Tablo 5.1.'de webster yöntemi ile hesaplanan otonom araçlar için ortalama taşıt gecikme değerleri 4 farklı durumda her bir kavşak kolu için verilmektedir.

Tablo 5.1. Webster yöntemi ile hesaplanması sonucu otonom araçların gecikme değerleri.

Modlar	1 yönlü gecikme (sn)	2 yönlü gecikme (sn)	3 yönlü gecikme (sn)	4 yönlü gecikme (sn)
2 sn de 1 araç	4,1	5,63	4,04	5,63
1,81 sn de 1 araç	4,89	5,05	4,78	5,01
1,67 sn de 1 araç	4,83	5,03	4,8	5
1,54 sn de 1 araç	4,7	5,41	4,62	5,35

6. VISSİM UYGULAMASI

6.1. Vissim Nedir ?

Vissim bir trafik simülasyon programıdır. Trafik yönetim yapısını geliştirmek, analiz etmek ve optimize etmek için kullanılır. Vissim, Alman yazılım şirketi PTV Group tarafından geliştirilmiştir.

Vissim, modelleme ve optimizasyon için toplu trafik yönetimini kullanır. Modellerde yollar, kavşaklar, trafik ışıkları, araçlar, bisikletler, patikalar ve diğer detaylar yerleşim içindedir. Kullanıcılar ortamda çeşitli trafik senaryoları oluşturabilmekte ve bu senaryoların nasıl işlendiğini gözlemleyebilmektedir. Vissim ayrıca gerçek trafik verilerini analiz etmek ve trafik yönetimini optimize etmek için modeller içerir.

Vissim ayrıca yol mühendisleri, şehir planlamacıları ve trafik yönetimi uzmanları tarafından kullanılan bir araçtır. Bu kullanıcılar, trafik dağılımı, trafik yoğunluğu, sinyal ataması, bisiklet yolları, yaya geçitleri ve diğer faktörler gibi trafiği etkileyen birçok faktörü simüle ederek gerçek dünya senaryolarının etkisini kısaca test edebilir.

6.2. Vissim Sonuçları

Otonom kavşak yönetimi algoritması kullanılarak hesaplanan gecikme değerleri, her bir kavşak koluna gelen akım değerleri vissim yazılımına işlenerek ayrıca test edilmiştir.

Tablo 6.1’de her bir mod ve her bir yön için trafik akım değerleri verilmiştir.

Tablo 6.1. Her bir mod ve her bir yön için trafik akım değerleri.

Modlar	1 (sağ) (araç/sa)	2 (sol) (araç/sa)	3 (yukarı) (araç/sa)	4 (aşağı) (araç/sa)
2 sn de 1 araç	337	304	300	267
1,81 sn de 1 araç	381	365	331	294
1,67 sn de 1 araç	360	355	362	414
1,54 sn de 1 araç	388	448	436	421

Tablo 6.2’de 4 farklı durumda her bir akım yönü için ortalama taşıt gecikmesi değerleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Vissim yazılımı gecikme değerleri.

Modlar	1 yönlü gecikme (sn)	2 yönlü gecikme (sn)	3 yönlü gecikme (sn)	4 yönlü gecikme (sn)
2 sn de 1 araç	7,54	10,62	10,57	9,38
1,81 sn de 1 araç	13,22	10,10	10,55	9,86
1,67 sn de 1 araç	14,62	10,51	10,47	12,75
1,54 sn de 1 araç	15,22	10,46	10,32	12,87



7. ÜÇ YÖNTEMİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde aynı trafik akım koşullarının VISSIM yazılımı, Webster yöntemi ve dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi ile hesaplanması sonucu elde edilen gecikme değerleri karşılaştırılmaktadır.

Tablo 7.1’de hesaplamalarda kullanılan 2 sn de 1 araç, 1,82 sn de 1 araç, 1,67 sn de 1 araç ve 1,54 sn de 1 araç durumları için trafik akım değerleri her bir yön için verilmiştir.

Tablo 7.1. Her bir mod ve her bir yön için trafik akım değerleri.

Modlar	1 (sağ) (araç/sa)	2 (sol) (araç/sa)	3 (yukarı) (araç/sa)	4 (aşağı) (araç/sa)
2 sn de 1 araç	337	304	300	267
1,81 sn de 1 araç	381	365	331	294
1,67 sn de 1 araç	360	355	362	414
1,54 sn de 1 araç	388	448	436	421

Tablo 7.2’de, Tablo 7.1’deki trafik akım değerlerinin VISSIM yazılımı ile elde edilen gecikme değerleri bulunmaktadır. Her bir modda 3 yönünden geçen araç miktarının kavşaktan geçen toplan araç miktarına oranı gittikçe azalmakta ve yaklaşık olarak aynı değere denk gelmektedir. Bu sebepten dolayı 3 yönlü gecikme değerleri yaklaşık olarak birbirine eşit gelmekte ve giderek artmaktadır. 2 yönlü gecikme değerlerinde de aynı durum söz konusudur. 1,54 sn de 1 araç modu için elde edilen 2 yönlü gecikme değerinin 10,46 olarak elde edilmesinin nedeni ise VISSIM yazılımının deterministik bir yaklaşımla çözüm üretmemesidir.

Tablo 7.2. Vissim yazılımı gecikme değerleri.

Modlar	1 yönlü gecikme (sn)	2 yönlü gecikme (sn)	3 yönlü gecikme (sn)	4 yönlü gecikme (sn)
2 sn de 1 araç	7,54	10,62	10,57	9,38
1,81 sn de 1 araç	13,22	10,10	10,55	9,86
1,67 sn de 1 araç	14,62	10,51	10,47	12,75
1,54 sn de 1 araç	15,22	10,46	10,32	12,87

Tablo 7.3’de, Tablo 7.1’deki trafik akım değerlerinin Webster yöntemi ile elde edilen gecikme değerleri bulunmaktadır.

Tablo 7.3. Webster yöntemi ile hesaplanması sonucu otonom araçların gecikme değerleri.

Modlar	1 yönlü gecikme (sn)	2 yönlü gecikme (sn)	3 yönlü gecikme (sn)	4 yönlü gecikme (sn)
2 sn de 1 araç	4,1	5,63	4,04	5,63
1,81 sn de 1 araç	4,89	5,05	4,78	5,01
1,67 sn de 1 araç	4,83	5,03	4,8	5
1,54 sn de 1 araç	4,7	5,41	4,62	5,35

Tablo 7.4’de, Tablo 7.1’deki trafik akım değerlerinin dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi ile elde edilen gecikme değerleri bulunmaktadır.

Tablo 7.4. Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi gecikme değerleri.

Modlar	1 yönlü gecikme (sn)	2 yönlü gecikme (sn)	3 yönlü gecikme (sn)	4 yönlü gecikme (sn)
2 sn de 1 araç	0,64	0,59	1,14	1,27
1,81 sn de 1 araç	0,51	0,78	1,29	1,14
1,67 sn de 1 araç	0,67	0,62	1,23	1,26
1,54 sn de 1 araç	0,56	0,76	1,19	1,32

Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'ün incelenmesiyle, sinyal kontrollü bir kavşakta normal araçlarla karşılaştırıldığında otonom araçların olduğu durumda sinyalizasyon kavşak gecikmelerinin yaklaşık 2 kat azaldığı görülmektedir. Bu, otonom araçların daha verimli bir şekilde kavşaktan geçiş yapabildiğini ve trafiğin daha akıcı hale geldiğini göstermektedir.

Tablo 7.3 ve Tablo 7.4'ün incelenmesi ise, tüm araçların otonom araç olduğu bir trafik akışında dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisinin uygulandığı durumu göstermektedir. Bu durumda, trafik ışıklarının kaldırıldığı ve araçların birbiriyle iletişim kurduğu bir sistem kullanılmaktadır.

Bu durumda, ortalama araç gecikmelerinin 5 kat azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca, normal araçların olduğu trafik akımına göre 10 kat daha az gecikme yaşandığı görülmektedir. Bu sonuçlar, dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisinin trafik akışını önemli ölçüde iyileştirdiğini ve araç gecikmelerini büyük ölçüde azalttığını göstermektedir.

Bu veriler, otonom araç teknolojisinin trafik yönetiminde önemli bir potansiyele sahip olduğunu ve daha etkin, güvenli ve akıcı bir trafik deneyimi sağlayabileceğini ifade etmektedir. Ancak, bu sonuçların reel durum uygulamalar için genel bir değerlendirme olduğunu, spesifik kavşak ve trafik koşullarına bağlı olarak değişebileceği belirtilmelidir.

Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi, otonom araçların bulunduğu bir kavşakta trafik akışını optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu strateji, kavşaktaki tüm araçların otonom olduğu ve insan etkisinin ortadan kalktığı bir senaryo üzerinde çalışır.

Geliştirilen algoritma, 4 kollu ve birbirine dik doğrultuda iki güzergahın kesişiminden oluşan bir kavşağı modellemekte olup, otonom araçların karşılıklı iletişim kurarak kavşaktan geçişlerini optimize etmek için kullanılmaktadır.

Geliştirilen algoritma, otonom araçların kavşağa yaklaştıklarında durumlar algılayabilmekte ve trafiği yönlendirmek için kararlar alabilmektedir. Örneğin,

araçların hızlarını ve pozisyonlarını takip ederek, kavşaktaki araçların öncelik durumlarını belirleyebilmekte ve uygun geçiş sıralamasını oluşturabilmektedir.

Bu yöntem, insan etkisini ortadan kaldırarak kavşak gecikmelerini ve kuyruklanmaları azaltmayı hedeflemektedir. Otonom araçlı kavşak yönetim stratejileri ile kavşaklardaki beklemler minimize edilip güvenli bir trafik akımı sağlanarak trafik daha etkin bir şekilde yönetilebilmektedir.



8. SONUÇLAR

Trafik sıkışıklığı günümüz dünyasında büyük bir sorun haline gelmiştir. Özellikle şehirlerde, yoğun trafik akışı ve kavşaklarda yaşanan tıkanıklıklar, sürücülerin ve yolcuların zaman kaybetmelerine neden olmaktadır. Bu çalışmada, kavşaklarda ortalama taşıt gecikmelerinin azaltmak amacıyla araçların kavşağa girmeden önce kavşaktaki araçların konumlarını bilerek hızlarını kavşak kollarındaki trafik miktarlarına göre ayarlayarak düzenlediği otonom kavşak yönetim sistemi geliştirilmiştir.

Kavşaklarda ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılması, trafik akışının iyileştirilmesine yardımcı olur. Bu durum, trafikteki tıkanıklıkların ve engellerin azalmasına neden olur ve sürücülerin ve yolcuların daha hızlı ve daha güvenli bir şekilde seyahat etmelerine olanak tanımaktadır.

Kavşaklarda daha az zaman kaybetmek, araçların yakıt tasarrufu yapmaları sağlayarak çevreye verilen zarar en aza indirilmektedir.

Uzun kuyruklarda beklemek, trafik sıkışıklığında kalmak veya sürekli dur-kalk yapmak, sürücülerin stres seviyelerini artırabilir. Kavşaklardaki gecikmelerin azaltılması, sürücülerin daha az stresli ve daha sakin bir şekilde araç kullanmalarını sağlayabilir.

Kavşaklardaki trafik sıkışıklığı ve uzun kuyruklar, hava kirliliğine de katkıda bulunabilir. Kavşaklardaki gecikmelerin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir ve insan sağlığına olumlu etki yapabilir.

Kavşaklardaki trafik sıkışıklığının azaltılması, zaman ve yakıt tasarrufu yapılmasına olanak tanır. Bu da ekonomik açıdan faydalı olabilir, çünkü sürücüler ve işletmeler daha verimli bir şekilde çalışabilirler.

Tablo 8.1. Dinamik araç sistemli otonom kavşak yönetim stratejisi gecikme değerleri.

Modlar	1 yönlü gecikme (sn)	2 yönlü gecikme (sn)	3 yönlü gecikme (sn)	4 yönlü gecikme (sn)
2 sn de 1 araç	0,64	0,59	1,14	1,27
1,81 sn de 1 araç	0,51	0,78	1,29	1,14
1,67 sn de 1 araç	0,67	0,62	1,23	1,26
1,54 sn de 1 araç	0,56	0,76	1,19	1,32

Geliştirilen otonom kavşak yönetim sistemi ve algoritması yalnızca trafik ışıklarının olumsuz etkilerini kaldırmak ile kalmamış, önemli bir inovasyon olarak ortalama taşıt gecikmelerini 10 kat azaltmıştır. Bir diğer ifade ile, otonom araçların sinyal kontrolsüz bir kavşakta oluşturduğu gecikmeler, normal araçların aynı kavşağın ışıklı kavşak olması ve aynı trafik akım değerlerinde olması durumu için ürettiği gecikmelere kıyasla 10 kat daha azdır. Ayrıca webster yöntemi ile sinyalize kavşaklarda otonom araçların gecikmelerinin hesaplanması yöntemine göre ortalama taşıt gecikmelerini 5 kat azaltmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Çamoğlu, D. (2011). *Bilgisayar kontrollü robotik*. Dikeyksen Yayın Dağıtım.
- [2] Gunarathna, U., Karunasekera, S., Borovica-Gajic, R., & Tanin, E. (2022, June). Real-time intelligent autonomous intersection management using reinforcement learning. In *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 135-144). IEEE.
- [3] Bullock, Darcy & Sturdevant, James & Day, Christopher. (2008). Signalized Intersection Performance Measures for Operations Decision-Making. *ITE Journal*. 78. 20-23.
- [4] Manual, H. C. (2000). Highway capacity manual. *Washington, DC*, 2(1).
- [5] Murat, Y. S., & Cakici, Z. (2017). Sinyalize Kavşaklarda Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*, 12, 13-24.
- [6] Akçelik, R., Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Research Report ARR No:123, ISBN 00 869910 015 7, 108 p., Australia, 1993.
- [7] Webster, F. V. (1958). *Traffic signal settings* (No. 39).
- [8] Akcelik, R. (1988). The highway capacity manual delay formula for signalized intersections. *ITE journal*, 58(3), 23-27.
- [9] Manual, H. C. (1985). Highway capacity manual. *Washington, DC*.
- [10] Manual, H. C. (1994). Highway capacity manual. *Washington, DC*.
- [11] Manual, H. C. (1997). Highway capacity manual. *Washington, DC*.
- [12] Kimber, R. M., & Hollis, E. M. (1979). *Traffic queues and delays at road junctions* (No. LR909 Monograph).
- [13] Heidemann, R. A. (1974). *Three-phase equilibria using equations of state*. *AIChE Journal*, 20(5), 847-855.
- [14] Buckley, P. J., Dunning, J. H., & Pearce, R. D. (1978). The influence of firm size, industry, nationality, and degree of multinationality on the growth and profitability of the World's largest firms, 1962–1972. *Review of World Economics*, 114, 243-257.
- [15] Van Rossum, G. (1995). Python reference manual. Department of Computer Science [CS]. CWI.

- [16] M. Ramezani, J. A. Machado, A. Skabardonis and N. Geroliminis, "Capacity and delay analysis of arterials with mixed autonomous and human-driven vehicles," *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, Naples, Italy, 2017, pp. 280-284, doi: 10.1109/MTITS.2017.8005680.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Recep Bilal SIKAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2012,Sakarya Arifiye Anadolu Öğretmen Lisesi
- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Sıkar, R. B., & Aslan, H. (2022). Calculation of the delays of autonomous vehicles at signalized intersections using the Webster method. *Academic Perspective Procedia*, 5(3), 222-232.