K-AUS SENARYOLARININ SİMÜLASYON ORTAMINDA UYGULANARAK TEST EDİLMESİ RAPORU

OTONOM ARAÇLAR İÇİN SÜRÜŞ MİMARİSİ VE BAĞLANTILI ARAÇ TRAFİK TEST SENARYOLARININ BELİRLENMESİ PROJESİ

K-AUS Senaryolarının Simülasyon Ortamında Uygulanarak Test Edilmesi Raporu

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü

Aysel KANDEMİR	Genel Müdür
Esma DİLEK	Genel Müdür Yardımcısı
Murat Mustafa HARMAN	Daire Başkanı
Özgür TALİH	Şube Müdürü
Tuğçe KAYAKÖK	Mühendis
Ertuğrul HASGÜL	Mühendis
Mehmet KIVILCIM	Mühendis

Boğaziçi Üniversitesi AUS Laboratuvarı

Ilgın YAŞAR	Proje Yöneticisi-Prof. Dr.
Sarp Semih ÖZKAN	Yüksek Mühendis
Alperen TİMUROĞULLARI	Yüksek Mühendis
Volkan YILDIZ	Mühendis

TÜM HAKLARI SAKLIDIR.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın
izni olmadan bu yayının hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla
(fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi vb.) çoğaltılamaz.

Ankara, Aralık 2024

İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi iv
Tablolar Listesi vii
Türkçe Kısaltmalar Listesi ix
İngilizce Kısaltmalar Listesi x
Tanımlar xii
BÖLÜM I 1
1. GİRİŞ 1
BÖLÜM II 3
2. METODOLOJİ 3
BÖLÜM III 4
3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI 4
3.1. SUMO Simülasyon Yazılımı 4
3.2. Simülasyon Modellemeleri 8
3.2.1. Yol Ağı Modellemesi 8
3.2.2. Altyapı Modellemesi 10
3.2.3. Araç Modellemeleri 15
BÖLÜM IV 18
4. K-AUS SENARYOLARI SİMÜLASYON SONUÇLARI 18
4.1. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı 28
4.2. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı 39
4.3. Yol Çalışması Uyarısı 46
4.4. Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı 53
4.5. Yolda Engel Uyarısı 58
4.6. Tehlikeli Yer Bildirimi 64
4.7. Araç İçi Hız Limitleri 67
4.8. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) 72
4.9. Yol Dışı Park Bilgileri 77
4.10. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler 80
4.11. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı 86
BÖLÜM V 89
5. SONUÇ 89
KAYNAKÇA 92

Şekiller Listesi

Şekil 1. Yol Ağının ve Trafik Talebinin Oluşturulması için Takip Edilmesi Gereken Akış Şeması 6
Şekil 2. SUMO-GUI Kullanılarak Yapılan Simülasyon Çalışmasından Örnek Gösterim 8
Şekil 3. Simülasyon Çalışmasında Kullanılan Yol Ağı 8
Şekil 4. İndüksiyon Döngüsü Sensörü Örneği 9
Şekil 5. İndüksiyon Döngüsü Saha Uygulaması 10
Şekil 6. Örnek Sensör Gösterimi 10
Şekil 7. İndüksiyon Akım Sensörlerinin Çıktı Formatı 11
Şekil 8. Akım-Yoğunluk Grafikleri için Kullanılan Verilerin Elde Edildiği Sensörün Konumu 25
Şekil 9. Akım-Yoğunluk Grafiklerine Çizilen En İyi Uyum Çizgisi Üzerinde Kapasite, Kritik Yoğunluk ve Sıkışıklık Yoğunluğu Değerlerinin Tespiti 26
Şekil 10. 1.200 Araç/Saat/Şerit Trafik Talebi ile Benzetimi Yapılan Temel Senaryo Verileri ile Oluşturulan Yoğunluk-Akım Grafiği 26
Şekil 11. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı 29
Şekil 12. Şok Dalgası Oluşumu 31
Şekil 13. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 33
Şekil 14. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Ortalama Hız/Zaman Grafiği (BAY: Bağlantılı Araç Yüzdesi (%)) 35
Şekil 15. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 36
Şekil 16. Yoğunluk Isı Haritası İnceleme Bölgelerinin Gösterimi 37
Şekil 17. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %20 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 38
Şekil 18. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 38
Şekil 19. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %80 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 39
Şekil 20. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı 39
Şekil 21. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 41
Şekil 22. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 43

Şekil 23. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 44
Şekil 24. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %0 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 45
Şekil 25. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %40 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 45
Şekil 26. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 46
Şekil 27. Yol Çalışması Uyarısı 46
Şekil 28. Yol Çalışması Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 48
Şekil 29. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 50
Şekil 30. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 51
Şekil 31. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %0 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 52
Şekil 32. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %40 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 52
Şekil 33. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %80 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 53
Şekil 34. Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı 53
Şekil 35. Yolda İnsan Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 54
Şekil 36. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 57
Şekil 37. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 57
Şekil 38. Yolda Engel Uyarısı 58
Şekil 39. Yolda Engel Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 60
Şekil 40. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 62
Şekil 41. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %0 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 62
Şekil 42. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %40 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 63

Şekil 43. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %80 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 63
Şekil 44. Tehlikeli Yer Bildirimi Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 65
Şekil 45. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 67
Şekil 46. Araç İçi Hız Limitleri 67
Şekil 47. Araç İçi Hız Limitleri Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 69
Şekil 48. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 71
Şekil 49. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi 72
Şekil 50. Sinyalize Kavşak 73
Şekil 51. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 74
Şekil 52. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 76
Şekil 53. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği 77
Şekil 54. Park Edecek Araçların Anayoldan Çıkış Yapacağı Noktalar 78
Şekil 55. Yol Dışı Park Bilgileri Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 79
Şekil 56. Araçlar için Akaryakıt ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler 81
Şekil 57. Yakıt ve Şarj İstasyonu 81
Şekil 58. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 82
Şekil 59. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda Bağlantılı Araçları Bilgilendirme Sisteminin Çalışmadığı, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 85
Şekil 60. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda Bağlantılı Araçları Bilgilendirme Sisteminin Çalıştığı, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası 85
Şekil 61. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı 86
Şekil 62. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü 87

Tablolar Listesi

Tablo 1. Simülasyon Çalışmaları Sonucunda Elde Edilen Veri Seti Kesiti 14
Tablo 2. Araç Tipi Karakteristik Özelliklerinin Tanımları 15
Tablo 3. Literatürde Yer Alan SUMO Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Parametreler-1 16
Tablo 4. Literatürde Yer Alan SUMO Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Parametreler-2 16
Tablo 5. Sürücülü Araç Karakteristik Özellikleri 17
Tablo 6. K-AUS Senaryoları ve Kullanılan Haberleşme Sistemleri 19
Tablo 7. K-AUS Senaryolarında Kullanılan V2X Haberleşme Standartları 19
Tablo 8. K-AUS Senaryolarında Kullanılan V2V Haberleşme Standartları 22
Tablo 9. K-AUS Senaryolarında Kullanılan V2I Haberleşme Standartları 23
Tablo 10. K-AUS Senaryolarının Benzetiminde Simülasyon Değişkenlerine Atanan Ortak Değerler 27
Tablo 11. Sisteme Giriş Yapan Toplam Araç Sayıları 28
Tablo 12. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 32
Tablo 13. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 34
Tablo 14. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 34
Tablo 15. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 41
Tablo 16. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 42
Tablo 17. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 42
Tablo 18. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 48
Tablo 19. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 49
Tablo 20. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 49
Tablo 21. Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 54
Tablo 22. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 55
Tablo 23. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 56
Tablo 24. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 59

Tablo 25. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 61
Tablo 26. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 61
Tablo 27. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 64
Tablo 28. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 66
Tablo 29. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 66
Tablo 30. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 68
Tablo 31. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 70
Tablo 32. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 70
Tablo 33. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri .. 74
Tablo 34. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 75
Tablo 35. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 76
Tablo 36. Yol Dışı Park Bilgileri K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 79
Tablo 37. Yol Dışı Park Bilgileri K-AUS Senaryosunda, Farklı Trafik Talepleri ve Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Seyahat Süreleri 80
Tablo 38. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 82
Tablo 39. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 83
Tablo 40. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri 84
Tablo 41. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri 87
Tablo 42. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı K-AUS Senaryosu Farklı Trafik Talepleri ve Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Oluşan Seyahat Süresi Tablosu 88

Türkçe Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
AUS	Intelligent Transportation Systems (ITS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri
BAP	Scientific Research Projects	Bilimsel Araştırma Projeleri
BAY	Percentage of Connected Vehicles	Bağlantılı Araç Yüzdesi
K-AUS	Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS)	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri
TÜBİTAK	Scientific and Technological Research Council of Türkiye	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

İngilizce Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
C2I	Center-to-Infrastructure	Merkezden Altyapıya
CO	Carbon Monoxide	Karbonmonoksit
CO_2	Carbon Dioxide	Karbondioksit
DSRC	Dedicated Short Range Communication	Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme
ERM	Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters	Elektromanyetik Uyumluluk ve Radyo Spektrum Konuları
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
GUI	Graphical User Interface	Grafik Kullanıcı Arayüzü
HMI	Human Machine Interface	İnsan Makine Arayüzü
I2C	Infrastructure-to-Center	Altyapıdan Merkeze
ISO	International Organization for Standardization	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
LTE	Long Term Evolution	Uzun Süreli Gelişim
MAC	Medium Access Control	Ortam Erişim Kontrolü
NetEdit	Network Edit	Ağ Düzenleme
NR	New Radio	Yeni Radyo
OBU	On-Board Unit	Araç İçi Birim
PHY	Physical Layer	Fiziksel Katman
RAN	Radio Access Network	Radyo Erişim Ağı
RSU	Roadside Unit	Yol Kenarı Birimi

RTTT	Road Transport and Traffic Telematics	Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği
SAE	Society of Automobile Engineers	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
SUMO	Simulation of Urban Mobility	Kentsel Hareketlilik Simülasyonu
TraCI	Traffic Control Interface	Trafik Kontrol Arayüzü
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
V2I	Vehicle-to-Infrastructure	Araçtan Altyapıya
V2N	Vehicle-to-Network	Araçtan Ağa
V2P	Vehicle-to-Pedestrian	Araçtan Yayaya
V2V	Vehicle-to-Vehicle	Araçtan Araca
V2X	Vehicle to Everything	Araç-Her Şeye
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments	Araç Ortamları için Kablosuz Erişim

Tanımlar

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)	**:**	Trafiği yönetmek, ulaşım ağlarını optimize etmek ve ulaşım sistemlerinin verimliliğini, güvenliğini, sürdürülebilirliğini, erişilebilirliğini ve entegrasyonunu artırmak için kullanılan bilgi ve iletişim teknolojisi tabanlı sistemlerdir.
Araçtan Ağa (V2N)	**:**	Araçların hücresel ağ haberleşme altyapısını kullanarak ağ üzerinden bilgi paylaşmasıdır.
Araçtan Altyapıya (V2I)	**:**	Motorlu araç kazalarını önlemek veya azaltmak ve aynı zamanda emniyet, güvenlik, hareketlilik ve çevresel faydalar sağlamak amacıyla araçlar ve karayolu altyapısı arasında kritik güvenlik ve operasyonel verilerin kablosuz alışverişidir.
Araçtan Araca (V2V)	**:**	Aracın yakındaki araçlarla gerçek zamanlı veri alışverişidir. V2V, araçların çok yönlü mesajlar yayınlamasına ve almasına olanak tanıyarak yakındaki diğer araçlar hakkında 360 derecelik bir "farkındalık" oluşturmaktadır.
Araçtan Her Şeye (V2X)	**:**	Bir aracın çevresindeki olası herhangi bir iletişim ortağıyla kablosuz, gerçek zamanlı veri iletişimidir. Modern kablosuz haberleşme teknolojileri, araçların; herhangi bir zamanda, herhangi bir yerden, herhangi bir ağ altyapısına bilgi iletmesine ve bilgi almasına olanak sağlamaktadır. V2V, V2I, V2P, V2N; V2X'in türleri arasındadır.
Araçtan Yayaya (V2P)	**:**	Yürüyen insanlar, bebek arabasıyla götürülen çocuklar, tekerlekli sandalye veya diğer hareketlilik cihazları kullanan kişiler, otobüs ve trenlere binen ve inen yolcular ve bisiklete binen insanlar dahil olmak üzere geniş bir araç-yaya grubunu kapsayan haberleşme teknolojisidir.
Bağlantılı Araç	**:**	Birbirleriyle yol kenarı altyapısıyla ve diğer sistem ve hizmetlerle iletişim kurabilmek adına bir dizi farklı haberleşme teknolojisini kullanan araçtır.

C-ROADS	**:**	C-Roads, AB üye ülkeleri arasında Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemlerinin dağıtımını koordine eden ve uyumlu hale getiren, birlikte çalışabilirliği sağlayan ve yol güvenliği ile verimliliğini artıran bir Avrupa platformudur.
Grafik Kullanıcı Arayüzü (GUI)	**:**	Bilgisayar programlarının veya cihazların kullanıcılarla etkileşimini sağlayan görsel bir ara yüz sistemidir. Bu ara yüz; kullanıcıların metin, grafik, ikonlar ve diğer görsel öğeler aracılığıyla bilgisayar veya cihaz fonksiyonlarına erişmelerini ve bu fonksiyonları kontrol etmelerini sağlar.
Kentsel Hareketlilik Simülasyonu (SUMO)	**:**	SUMO, ücretsiz ve açık kaynaklı bir trafik benzetim paketidir. 2001'den bu yana kullanılmaktadır. Karayolu araçları, toplu taşıma ve yayalar dahil olmak üzere intermodal trafik sistemlerinin modellenmesine izin verir. SUMO'ya dahil olan; ağ aktarımı, rota hesaplamaları, görselleştirme ve emisyon hesaplaması gibi trafik benzetimlerinin oluşturulması, yürütülmesi ve değerlendirilmesi için temel görevleri otomatikleştiren çok sayıda destekleyici araç içerir.
Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (K-AUS)	**:**	Akıllı ulaşım sistemlerine ait iki ya da daha çok alt bileşen (yaya, araç, alt yapı, yol kenarı, merkezler gibi) arasında güvenli, etkin, kaliteli ve daha gelişmiş hizmet düzeyinde iş birliğini sağlayarak bu sistemler arasındaki haberleşmeye odaklanan ve bu doğrultuda öncelikli olarak yol güvenliğinin sağlanması kapsamında uygulamalar sunan sistemlerdir.
OpenStreetMap	**:**	OpenStreetMap, açık kaynaklı bir haritalama platformudur. Kullanıcılar; yolların, binaların, parkların ve diğer coğrafi ögelerin verilerini toplayabilir, düzenleyebilir ve paylaşabilirler.
Python	**:**	Kolay öğrenilebilir ve okunabilir sözdizimiyle güçlü bir yüksek seviye programlama dilidir, geniş bir kullanıcı kitlesi ve kapsamlı bir kütüphane ekosistemiyle desteklenir.

Simülasyon Tohumu **:** Simülasyon tohumu, bilgisayar tabanlı bir simülasyon çalışmasında rastgelelik oluşturmak için kullanılan başlangıç değeridir. Bu tohum, aynı başlangıç değerine sahip olduğunda, simülasyon sonuçları tekrar edilebilir ve karşılaştırılabilir hale gelir. Simülasyon tohumu, deneylerin tekrarlanabilirliğini sağlamak ve sonuçların güvenilirliğini artırmak için önemli bir faktördür.

Trafik Akımı **:** Belirli bir yol, kavşak veya şehir içindeki belirli bir bölgeden belirli bir zaman diliminde geçen araç sayısını ifade eder. Genellikle saat başına geçen araç sayısı olarak ölçülen trafik akımı, ölçüm bölgesindeki trafik yoğunluğunu ve hareketliliğini değerlendirmek için kullanılır. Bu ölçüm; trafik planlaması, güzergâh optimizasyonu ve ulaşım altyapısı geliştirmesi gibi alanlarda önemli bir parametredir.

Trafik Benzetimi **:** Gerçek trafik davranışlarının küçük (bireysel araçlar) veya büyük seviyelerde (trafik akımları) matematiksel modellemesidir.

Trafik Kontrol Arayüzü (TraCI) **:** TraCI, trafik simülasyonlarıyla etkileşim kurmak için kullanılan bir haberleşme protokolüdür. Trafik simülasyon yazılımlarıyla iletişim kurarak araç hareketlerini kontrol etme, trafik durumunu izleme ve simülasyon verilerine erişim sağlama imkânı sunar.

Trafik Simülasyonu **:** Trafik simülasyonu, gerçek dünya trafik koşullarının benzetimini yapan bir bilgisayar programı veya modelidir. Bu simülasyonlar, araçların ve diğer trafik unsurlarının etkileşimlerini, trafik verimliliğini ve akımını değerlendirerek gerçek dünya senaryolarını sanal ortamda modelleme ve analiz etmeyi amaçlar. Trafik simülasyonları; yeni trafik yönetimi stratejilerini test etmek, trafik verimliliğini artırmak veya şehir planlamasını optimize etmek gibi çeşitli amaçlar için kullanılır.

Trafik Talebi **:** Trafik talebi, bir saatte şerit başına yol ağına giriş yapmak isteyen araç sayısını temsil etmektedir.

Trafik Yoğunluğu **:** Trafik yoğunluğu; belirli bir yol veya bölgede, birim uzunluk başına düşen araç sayısı olarak ifade edilen bir ölçüdür. Yüksek trafik yoğunluğu, bir bölgedeki veya yolun belirli bir kesimindeki araçların sıkışık bir şekilde seyrettiğini gösterir. Trafik yoğunluğu; ulaşım planlaması, trafik yönetimi ve altyapı geliştirme çalışmalarında dikkate alınan önemli bir faktördür.

Veri İşleme Frekansı **:** Trafik simülasyonu sırasında sensörlerden toplanan ham verinin işlenip veri setine aktarılma sıklığıdır.

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Kooperatif akıllı ulaşım sistemleri (K-AUS), günümüzde trafik yönetiminde önemli bir dönüşüm sağlayan ve ulaştırma sektöründe önemli kazanımlar sunarak öne çıkan bir teknoloji alanıdır. Bu sistemler, araçlar arasındaki haberleşmeyi ve veri alışverişini mümkün kılarak trafik akımını optimize etmeye ve güvenliği artırmaya yönelik çözümler sunar. Yolculuk sürelerinin azaltılması, trafik kazalarının önlenmesi, yakıt tüketiminin azaltılması gibi avantajları sayesinde, K-AUS; şehirlerdeki ulaşım sorunlarının çözümünde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca çevresel etkilerin azaltılmasına ve sürdürülebilir bir ulaşım modelinin teşvik edilmesine katkı sağlayarak geleceğin akıllı şehir vizyonuna önemli bir katkı sunmaktadır.

K-AUS senaryolarının kazanımlarını somutlaştırmak ve gerçek dünya uygulamalarını değerlendirmek için simülasyon çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Simülasyonlar, gerçek trafik ortamlarını taklit ederek bu sistemlerin performansını test etmek ve iyileştirmek için kullanılan etkili bir araçtır. Simülasyonlar sayesinde, trafik akımı, yoğunluk ve diğer değişkenler göz önünde bulundurularak farklı senaryolara dayalı sonuçlar elde edilebilmektedir. Böylece K-AUS gerçek dünya uygulamalarında, nasıl sonuçlar elde edileceği önceden analiz edilebilmektedir. Simülasyon çalışmaları; maliyetli ve riskli gerçek dünya testlerine gerek kalmadan, bu sistemlerin verimliliği, güvenliği ve çevresel etkileri üzerinde değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle K-AUS kazanımlarının vurgulanması ve gerçek dünyada uygulanabilirliğinin kanıtlanması için simülasyon çalışmalarının yapılması önem arz etmektedir.

Bu raporda, 11 farklı K-AUS senaryosunun simülasyonu sonuçları yer almaktadır. Bunlar;

- Yavaş veya durağan araç uyarısı
- İleride trafik sıkışıklığı uyarısı
- Yol çalışması uyarısı
- Yolda insan (savunmasız yol kullanıcısı ve diğer canlı varlıklar) mevcudiyeti uyarısı
- Yol üzerinde engel uyarısı
- Tehlikeli yer bildirimi (kaza kara noktası bilgisi dahil)
- Araç içi hız limitleri

- Yeşil ışık optimum hız önerisi (GLOSA)
- Yol dışı park bilgileri
- Alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgiler
- Acil durum aracı yaklaşma uyarısıdır.

Yapılan simülasyon çalışmalarında, farklı değerler atanan simülasyon değişkenleri, her senaryo için ortak olarak belirlenmiştir. Bunlar; trafik talebi, bağlantılı araç yüzdesi ve simülasyon tohumudur. Bu çalışma kapsamında; iki farklı trafik talebi, altı bağlantılı araç yüzdesi ve beş simülasyon tohumu kullanılmıştır. Bu değişkenler kullanılarak her K-AUS senaryosu, bahsi geçen değişkenler ile 60 kere çalıştırılmıştır.

Simülasyon çalışmaları ile çeşitli K-AUS senaryolarının, farklı bağlantılı araç yüzdelerinde ve trafik taleplerinde göstereceği performansın incelenmesi amaçlanmıştır. Buna ek olarak önceki paragrafta bahsi geçen değişkenler kapsamında K-AUS senaryolarının trafik yoğunluk değerlerine, ortalama hız değerlerine ve çevresel salınım verilerine nasıl etki ettiğinin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda; ısı haritaları, zamana bağlı hız grafikleri ve çevresel salınım verileri paylaşılmıştır.

BÖLÜM II

2. METODOLOJİ

Bu raporda, 11 farklı K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları yer almaktadır. Bu kapsamda öncelikle yol ağının, sensörlerin ve araçların modellemesi gerçekleştirilmiştir. Ardından senaryolar oluşturulmuştur ve bu senaryolar simülasyon ortamında modellenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda toplanan veriler görselleştirilmiş ve incelenmiştir.

"K-AUS Senaryolarının Simülasyon Ortamında Uygulanarak Test Edilmesi" raporu, altı bölümden oluşmaktadır. **Birinci bölümde**; K-AUS uygulamalarından elde edilen kazanımlar ve K-AUS senaryolarının gerçek hayatta uygulanmadan önce simülasyon ortamında modellenmesinin ve test edilmesinin önemi üzerine bir giriş yapılmıştır. **İkinci bölümde**; raporun içeriği ve bu içeriğin nasıl oluşturulduğuna dair açıklamalar yer almaktadır. **Üçüncü bölümde**; kullanılan simülasyon programı ve simülasyon çalışmalarına başlamadan önce oluşturulan yol ağı, araç ve sensör modellemeleri hakkında bilgiler verilmiştir. **Dördüncü bölümde**; oluşturulan K-AUS senaryoları ve bu senaryoları birbirinden ayıran değişkenlere yer verilmiştir. Bu değişkenlere değer atama sürecine ilişkin bilgilendirme yapılmış, yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan tablolara ve grafiklere yer verilmiştir. Elde edilen çıktılar analiz edilerek sonuçları paylaşılmıştır. **Raporun son bölümünde** ise K-AUS senaryolarının trafiğe etkisi ve bu etkilerin farklı bağlantılı araç yüzdelerinde, trafik taleplerinde ve senaryo bazlı değişkenlerde nasıl değiştiği konularını içeren sonuç bölümü bulunmaktadır.

BÖLÜM III

3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Bu rapor kapsamında gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında, Kentsel Hareketlilik Simülasyonu yazılımı (SUMO) kullanılmıştır. Öncelikli olarak araçlar, yol ağı ve sensörler simülasyon ortamında modellenmiştir. Ardından senaryolar tanımlanmış ve modellenmeleri yapılmıştır. Simülasyonlarda geleneksel araçlar ve bağlantılı araçlar kullanılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında, 11 farklı K-AUS senaryosunun, simülasyon ortamında benzetimi gerçekleştirilmiştir. Modellemesi yapılan sensörler kullanılarak elde edilen sonuçlar görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır. Bu bağlamda K-AUS senaryolarının etkinliği ve sağladığı kazanımlar gözlemlenmiştir.

3.1. SUMO Simülasyon Yazılımı

SUMO; sanal ortamda oluşturulmuş yol ağları üzerinde simülasyon çalışmaları yapmak için tasarlanmış, açık kaynak erişimli, mikroskobik ve sürekli bir trafik simülasyon paketidir. SUMO, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi ve topluluk kullanıcıları tarafından geliştirilmiştir. 2001 yılından bu yana açık kaynak erişimli olarak kullanılabilmekte ve 2017 yılından bu yana bir Eclipse Vakfı[1] projesidir.

SUMO üzerinde simülasyon çalışmaları yapılacak yol ağının ve bu yol ağına verilecek trafik talebinin, uygun formatta modellenmesi gerektiği için her iki modelin farklı kaynaklardan sistem içerisine aktarılması ya da sistem içerisinde oluşturulması gerekmektedir.

SUMO simülasyon yazılımı, zamana bağlı simülasyonlar gerçekleştirmektedir. Simülasyon adım uzunluğu 1 saniyedir, fakat 1 milisaniyeye kadar düşürülebilmektedir. Simüle edilen bir senaryo en çok 49 gün sürebilmektedir. SUMO kapsamında yürütülen senaryolar uzay-süreklidir ve bu simülasyonlarda araçların konumu, bulundukları şerit ve bu şeridin başlangıç noktasına uzaklıkları ile tanımlanmaktadır. Araçların hızları, araç takip modelleri kullanılarak belirlenmektedir. Bu modellerde hız, çoğunlukla öndeki aracın hızı ve bu araca olan mesafe dikkate alınarak hesaplanmaktadır. SUMO kapsamında varsayılan olarak kullanılan araç takip modeli, Stefan

[1] Eclipse Vakfı; bireylere ve kuruluşlara küresel çapta olgun, ölçeklenebilir ve iş dostu bir açık kaynaklı yazılım iş birliği ve inovasyon ortamı sağlamaktadır.

Krauß tarafından geliştirilmiş stokastik (değişken, rantsal) araç takip modelidir (Krauß, 1998). Bu modelin kullanılmasının sebebi sadeliği ve uygulama hızıdır. Yapılan çalışmalarda, Krauß araç takip modeli ve diğer araç takip modelleri karşılaştırılmış ve bu modelin geçerliliği kanıtlanmıştır (Brockfeld vd., 2005; Brockfeld & Wagner, 2004).

SUMO simülasyon yazılımı kullanılarak yapılan çalışmalarda, yol ağına girdi olarak verilen her araç; bir tanımlayıcı isim, hareket zamanı, rota, fiziksel özellikler, hareket parametreleri ve kullanılan araç takip modelinin parametreleri ile tanımlanmaktadır. Bunlara ek olarak kullanılan şerit, hız ve konum gibi özellikler de araç tanımına dahil edilebilmektedir.

SUMO, yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda farklı çıktıların elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu çıktılar, yol ağına yerleştirilen ve kısa mesafelerde ölçüm yapabilen ve indüksiyon akımı konsepti ile çalışan sensörler veya tüm simülasyon ağı boyunca anlık ve toplu ölçüm yapabilen sistemler ile elde edilebilmektedir.

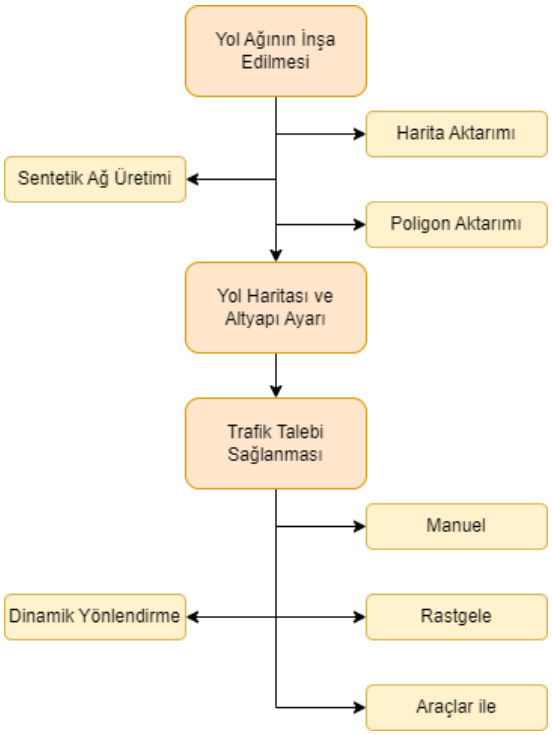
2006 yılında, bir soket bağlantısı aracılığıyla çevrim içi etkileşim imkânı sağlanarak yapılabilecek simülasyon çalışmalarının kapsamı genişletilmiştir. TraCI (Trafik Kontrol Arayüzü) isimli bu sistem, Axel Wegener ve Lübeck Üniversitesi'ndeki meslektaşları tarafından geliştirilmiştir (Wegener vd., 2008). TraCI ile simülasyon bağlantısının kurulması, simülasyon dosyalarının hazır hale getirilmesinden sonra, Python programlama dili kullanılarak TraCI kütüphanesinin içeri aktarılması ile sağlanmaktadır. Bu bağlantı kurulduktan sonra, simülasyon kodunun yazılması ve istenen veri ve yönetim operasyonlarının yerine getirilmesi süreci yer almaktadır. Bu kapsamda istemci[2]; simülasyonu başlatmaktan, simülasyon adımını ilerletmekten ve simülasyon bittikten sonra bağlantıyı kesmekten sorumludur. TraCI kullanılarak kavşaklar, şeritler, trafik ışıkları, araçlar ve sensörler gibi neredeyse tüm simülasyon bileşenlerine erişilebilmektedir. Erişilen unsurlar arasında, değer değişiklikleri ve yeniden programlama operasyonları bulunmaktadır.

SUMO simülasyon yazılımının kullanılması, birçok alanda avantaj sağlamaktadır. Bu alanlardan biri de araç haberleşmesinin sağlandığı uygulamalardır. TraCI kütüphanesi ile çevrim içi etkileşimin mümkün kılınmakta, araçlardan veya altyapıdan toplanan veriler ile diğer araçlara bilgilendirme ve yönlendirme yapılabilmesi olağan hale gelmektedir. Böylelikle V2X

[2] Uzaktaki bir sunucu veya ağdaki kaynakları kullanan bilgisayar için kullanılan bir tanımlamadır. Örneğin, giriş yapılmak istenen bir internet sitesini barındıran bilgisayar sunucu olarak değerlendirilirken, girişin yapılmak istendiği bilgisayar bir istemci olarak değerlendirilir.

haberleşmesi kapsamında bulunan V2V ve V2I haberleşme uygulamaları test edilebilmektedir (SUMO Documentation, 2023b).

SUMO üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarına başlamadan önce; (i) yol ağının, (ii) araçların ve (iii) trafik talebinin modellenmesi gerekmektedir. Şekil 1'de yer alan akış şemasında, bu süreç yer almaktadır.



Şekil 1. Yol Ağının ve Trafik Talebinin Oluşturulması için Takip Edilmesi Gereken Akış Şeması

Akış şemasından görüleceği gibi öncelikle yol ağı modellenmektedir. SUMO simülasyon çalışmalarında kullanılan yol ağları, dahili bir program olan "NetEdit" üzerinden oluşturulmakta ve düzenlenmektedir. Yol ağının inşası; (i) sentetik ağ üretimi[3], (ii) harita aktarımı[4] ve (iii) poligon aktarımı[5] olarak üç farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Harita ve poligon aktarımı yöntemlerinin en önemli farkı kullanılan veri ve dosya formatıdır. Yol ağı oluşturulduktan sonra yol ağına altyapı unsurları (sensör, trafik ışıkları, otobüs durakları vb.) entegre edilmektedir.

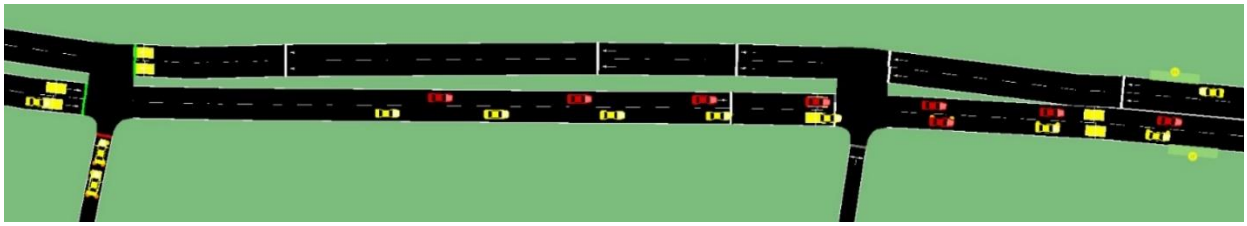
[3] Sentetik ağ üretimi: Herhangi bir gerçek dünya yol ağına, benzetme amacı güdülmeden özel olarak oluşturulan simülasyon yol ağlarıdır.
[4] Harita aktarımı: Simülasyon çalışması yapılacak bölgenin bire bir harita verisinin, belirli veri ve dosya formatları ile sisteme aktarılmasıdır.
[5] Poligon aktarımı: Simülasyon çalışması yapılacak bölgeyi kapsayan poligon koordinatları kullanılarak harita verisinin sisteme aktarılmasıdır.

Ardından simülasyon çalışmaları sırasında yol ağına verilecek trafik talebinin oluşturulması gerekmektedir. Bu aşamada, öncelikle araç modellemeleri yapılmaktadır. Her araç; fiziksel özellik, izlenecek rota ve araç tipi ile tanımlanmaktadır. Bu tanım içerisinde ivme, yavaşlama, azami hız vb. karakteristik özellikler de yer almaktadır. Araç modellemesi tamamlandıktan sonra, oluşturulan trafik akımlarına, araç tipi ve izleyecekleri rota tayin edilmektedir. Rotalar, dört farklı şekilde oluşturulabilmektedir. Bunlar aşağıda listelenmiştir:

1. Rota üzerinde yer alan yol kesitlerinin teker teker işaretlenmesi ile rotanın oluşturulması
2. Rotanın rastgele oluşturulması
3. SUMO kapsamında bulunan rota oluşturma araçlarının kullanılması.
4. SUMO kapsamında yer alan bir fonksiyon ile araçlara kendi rotalarını dinamik olarak değiştirme özelliği eklenmesi ve rotaların bu bağlamda dinamik olarak belirlenmesi (Bautista vd., 2020).

Yukarıda belirtilen işlemler gerçekleştirildikten sonra simülasyon çalışmalarına başlanabilmektedir. Herhangi bir çevrim içi etkileşimi gerektirecek bir durum olduğu takdirde, TraCI kütüphanesi kullanılarak simülasyona etki edilebilmektedir.

SUMO, simülasyonların verimli ve hızlı bir şekilde toplu olarak yürütülmesi için kullanılan saf bir komut satırı uygulamasıdır. Bu yazılım kapsamında gerçekleştirilen simülasyonlar görselleştirilmeden arka planda yürütülerek simülasyon süresi oldukça düşürülmektedir. İstemci; simülasyondan görüntü kesiti almak, simülasyonlarda bir sorun olup olmadığını tespit etmek veya simülasyonun istenen şekilde çalışıp çalışmadığını teyit etmek istediğinde, görselleştirme yapmak da mümkündür. Bu doğrultuda SUMO simülasyon yazılımında dahili olarak bulunan bir grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) olan “SUMO-GUI” kullanılmaktadır. “SUMO-GUI”, simülasyon ağının ve araçların hareketinin görselleştirildiği bir ara yüzdür. Yapılan görselleştirme; belirli araçların rengini değiştirme, arka planı değiştirme, araçların tipini değiştirme vb. birçok şekilde özelleştirilebilmektedir. Şekil 2’de, “SUMO-GUI”de simüle edilen bir kavşağın anlık görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2. SUMO-GUI Kullanılarak Yapılan Simülasyon Çalışmasından Örnek Gösterim

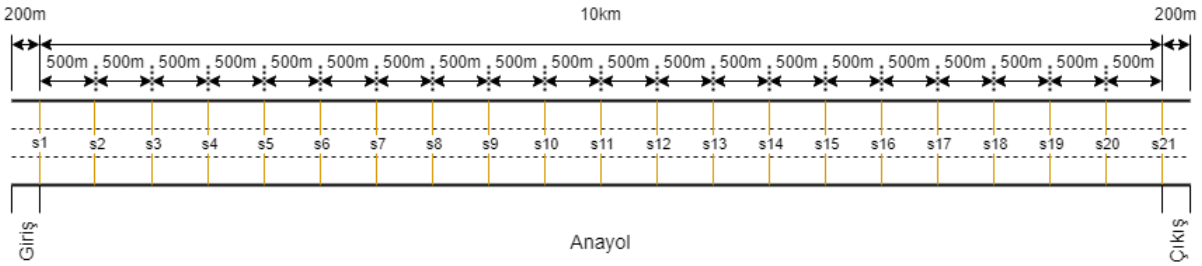
3.2. Simülasyon Modellemeleri

Önemli bir araştırma ve geliştirme konusu olan K-AUS senaryolarının gerçek zamanlı trafiğe entegre edilmeden önce simülasyon ortamında belirli senaryolar kapsamında test edilmesi gerekmektedir. Böylelikle bu uygulamalar sayesinde sağlanabilecek kazanımlar, gerçek dünya uygulamaları öncesinde tespit edilmiş olacaktır.

Bu raporda sonuçları paylaşılan simülasyon çalışmaları öncesinde, belirli modellemelerin yapılması gerekmektedir. Bunlar; (i) yol ağının, (ii) araçların ve (iii) altyapının (sensörler) modellemeleridir.

3.2.1. Yol Ağı Modellemesi

Simülasyon çalışmalarında kullanılmak üzere bir adet sanal yol ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan yol ağının uzunluğu 10,4 kilometredir. Bu 10,4 kilometrenin ilk 200 metresi giriş, son 200 metresi çıkış olarak tanımlanmıştır. Giriş kısmı, araçların yol ağına katıldığı bölgeyken çıkış kısmı da araçların yol ağından ayrıldığı bölgedir. Giriş ve çıkış parçaları hesaba katılmadığında, elde kalan olarak 10 kilometrelik anayol, veri toplanan bölgedir. Yol ağı, tüm yol uzunluğu boyunca üç şeritli devam etmektedir. Şerit genişliği; sabit ve 3,2 metredir. Kullanılan yol ağı, SUMO yazılımında dahili olarak bulunan NetEdit programı üzerinde oluşturulmuştur. Bu yol ağının gösterimi, Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Simülasyon Çalışmasında Kullanılan Yol Ağı

Şekil 3'te bulunan yol ağının simülasyon çalışmaları kapsamında kullanılacak yol ağı olarak seçilmesinin nedeni, yol boyunca trafik akımını etkileyecek herhangi bir unsurun olmamasıdır. Böylelikle meydana gelecek olayların veya test edilecek uygulamaların, trafik akımına etkisi daha net bir şekilde gözlemlenebilecektir.

Şekil 3'te yer alan yol ağı kapsamında yapılan simülasyon çalışmalarında, veri toplamak için yol ağına sensörler eklenmiştir. Kullanılan sensörler, SUMO'da yer alan "E1 Induction Loop" sensörleridir ve her bir sensör arasında 500 metrelik mesafe bulunmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü üzere yol ağı boyunca toplamda 21 adet sensör bulunmaktadır. Şekil 4'te indüksiyon döngüsü sensörü örneği yer almaktadır (MetroCount, 2021).

Şekil 4. İndüksiyon Döngüsü Sensörü Örneği

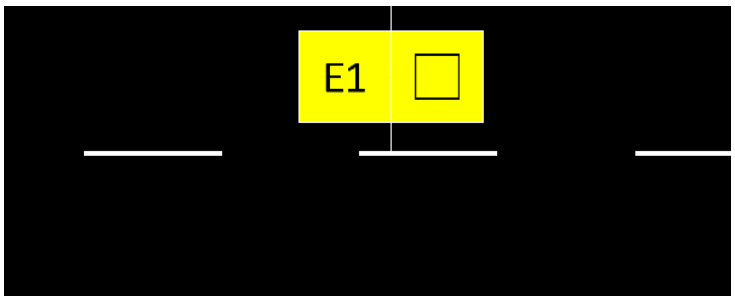
VL5810 ve VL5805 adlı indüksiyon döngüsü sensörleri, çeşitli trafik izleme ihtiyaçları için ideal olan gelişmiş bellek ve operasyonel yetenekler sunmaktadır. VL5810 modeli, şerit başına 250.000 araca kadar bellek depolamayı desteklerken VL5805, trafik hacimlerinden bağımsız olarak beş dakikalık bölmelerde dört yıla kadar veriyi saklayabilmektedir. Her iki model de güneş paneli ve şarj edilebilir pil sistemiyle sürekli performans için tasarlanmıştır ve sınırsız pil ömrü sağlamaktadır. Birincil pil, 4 D alkalin hücre tarafından desteklenen 6V 18Ah kapasiteye sahiptir. Entegre güneş paneline sahip dayanıklı paslanmaz çelik monteli bir kabine yerleştirilen sensör sistemi, sağlam ve hava koşullarına dayanıklıdır. Muhafaza, kompakt ve güvenli bir kurulum sağlayan 40x30x110 cm ölçülerindedir. Operasyonel olarak sensörler -20°C ile 70°C arasındaki aşırı sıcaklıklarda ve %95'e varan nem seviyelerinde güvenilir bir şekilde çalışabilir. Bu sensörlerin kullanılması ile temel trafik parametreleri olan trafik yoğunluğu, trafik akımı ve hız

verileri elde edilebilmektedir. Şekil 5'te indüksiyon döngüsü saha uygulaması yer almaktadır (MetroCount, 2021).

Şekil 5. İndüksiyon Döngüsü Saha Uygulaması

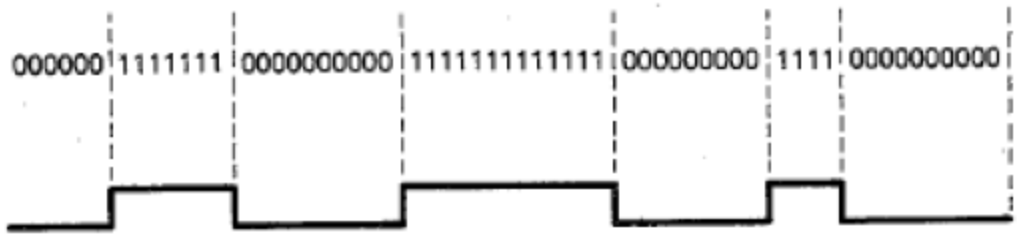
3.2.2. Altyapı Modellemesi

Bu simülasyon çalışması kapsamında, SUMO'nun içinde dahili olarak bulunan "E1 dedektör" tipi sensörler kullanılmıştır. Bu sensörlerin oluşturulan yol ağındaki gösterimi, Şekil 6'da mevcuttur (SUMO Documentation, 2023a).



Şekil 6. Örnek Sensör Gösterimi

Bu sensörler, eşit aralıklarla yol ağına dağıtılmıştır. Bu tip sensörlerin algılama alanı 4 metredir. Çalışma prensibi olarak indüksiyon devrelerini kullanan bu sensörler, algılama alanına giren araçların, devredeki indüksiyonu artırması sonucu mevcut aracı algılamaktadır. Böylelikle 4 metrelik algılama alanına araç, girdiği anda algılama gerçekleşmektedir. Bu sensörlerin çıktı olarak ürettiği veriler, Şekil 7'de gösterilmiştir (May, 1990).



Şekil 7. İndüksiyon Akım Sensörlerinin Çıktı Formatı

Çıktı verisinde yer alan 0 (sıfır) değerleri, devrede indüksiyon olmadığını, yani algılama alanında araç bulunmayan aralıkları belirtmektedir. Bu veride yer alan 1 (bir) değerleri ise devrede indüksiyon olduğunu ve algılama alanında araç bulunduğunu temsil etmektedir. Çıktıda yer alan 0 ve 1 değerleri zaman süreklidir ve her bir ölçüm, sensör tipinin ölçüm aralığı kadar sürede gerçekleşmektedir. Böylelikle çıktı değerlerinin ardışık olarak devamlılığının uzunluğu, araçların geçiş süresinin ve sensör üzerinde araç bulunmadığı zaman aralığının uzun veya kısa olması ile ilişkilidir. Bu çalışmada kullanılan sensörler, simülasyon programı tabanlı bir sensör sistemi olarak çalıştığı için sensör algılama alanı üzerinde 2 araç bulunduğu durumlarda, tespit edilen araç sayısı 2 olarak alınabilmektedir. Bu nedenle her durumda hatasız ölçüm yapılabilmektedir. Bu sensörler aracılığı ile araç sayısı, araç hızı ve işgaliye oranı verileri toplanabilmektedir.

- Simülasyon çalışmaları süresince, sensörler her saniye veri toplamaktadır. Toplanan verinin anlamlı ve analiz edilebilecek hale gelmesi için her 15 saniyenin sonunda toplanan saniyelik veriler, veri türüne göre işlem yapılarak tek bir veri satırı olarak ana veri setine işlenmektedir. Ardından 15 saniye boyunca toplanan veri silinmekte ve sonraki 15 saniyenin verisini toplayacak alan açılmaktadır. Bu nedenle her 15 saniyelik aralık, bir veri işleme frekansı olarak tanımlanmaktadır. Bu sensörler tarafından toplanan verilerin (araç sayısı, ortalama araç uzunluğu vb.), raporun analizinde kullanılacak olan parametrelere (işgaliye oranı, trafik yoğunluğu vb.) dönüştürülme adımları aşağıda listelenmiştir: **Araç sayısı:** Sensör çıktısı olarak elde edilen veriler incelendiğinde, sensörün üzerinde araç olup olmadığı net bir şekilde tespit edilebilmektedir. Yapılan çalışmada, bu yöntem ile bir saniyelik aralıklarla sensörlerden kaç araç geçtiğinin verisi tutulmuştur. 15 saniye boyunca tutulan araç sayısı verisi, 15 saniyenin sonunda toplanarak veri setine işlenmiştir. Böylelikle simülasyon boyunca 15 saniyelik zaman aralıklarında, sensörlerden kaç araç geçtiğinin verisi elde edilmiştir.

- **Araç hızı**: Sensörlerin çıktı verisi incelendiğinde, bir aracın kaç saniye boyunca 4 metrelik algılama alanını işgal ettiği tespit edilebilmektedir. İşgal süresi, araç uzunluğu ve algılama alanı uzunluğu hesaba katılarak araç hızı hesabı yapılabilmektedir (Denklem 1). Örneğin 4,5 metre uzunluğundaki bir araç, 4 metre uzunluğundaki sensör algılama bölgesini 8,5 metrelik hareket süresince işgal eder. Bu aracın 8,5 metreyi kat etme süresinin sensör tarafından 0,4 saniye olarak algılandığı senaryoda, aracın hızı 21,25 m/s olarak hesaplanabilmektedir.

$$\dot{x}_n = \frac{L_n + L_D}{(t_{occ})_n} \qquad (1)$$

$$\dot{x}_{n+1} = \frac{L_{n+1} + L_D}{(t_{occ})_{n+1}}$$

$\dot{x}_n$, $\dot{x}_{n+1}$: Araç Hızı (m/s)

L_n , L_{n+1} : Araç Uzunluğu (m)

L_D : Algılama Bölgesi Uzunluğu

$(t_{occ})_n$: n aracının sensör algılama bölgesini işgal ettiği süre

$(t_{occ})_{n+1}$: n+1 aracının sensör algılama bölgesini işgal ettiği süre

Araç hızı verisi simülasyon boyunca her saniye tutulmaktadır ve 15 saniyelik zaman aralıkları sonucunda ortalama değer hesaplanarak veri setine işlenmektedir. Böylelikle her veri toplama frekansında, her sensörden toplanan ortalama araç hızı verisi elde edilmektedir.

- **İşgaliye Oranı:** İşgaliye oranı; sensör ölçüm periyodu boyunca, herhangi bir aracın, sensör algılama alanını işgal ettiği sürenin, ölçüm periyoduna oranıdır. Bu oran, trafik yoğunluğu hesaplamalarında kullanılan önemli bir parametredir. Sensörlerin algılama alanlarının; araçlar tarafından işgal edildiği sürenin, toplam süreye bölümü ile hesaplanmaktadır (Denklem 2). Örneğin, 10 saniyelik sensör ölçüm süresince sensör algılama bölgesi sadece 4 saniye boş kalırsa işgaliye oranı %60 olarak hesaplanabilmektedir.

$$\%\, OCC = \frac{\sum_{n=1}^{N}(t_{OCC})_n}{T} \times 100 \qquad (2)$$

$\%\, OCC$: Yüzde İşgaliye Oranı

N: T süresinde saptanmış araç sayısı

T: Sensör ölçüm periyodu (saniye)

İşgaliye oranı verisi; her veri işleme frekansı boyunca, sensörlerin işgal edildiği sürenin, 15 saniyeye bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu veri hesaplandıktan sonra, veri setine işlenmektedir ve bir sonraki 15 saniyelik aralığın işgaliye oranı hesaplanmaya başlanmaktadır. Böylelikle her sensör için her veri işleme frekansında, işgaliye oranı hesaplanmış olmaktadır.

Toplanan araç sayısı, araç hızı ve işgaliye oranı verileri; dönüşüm formülleri kullanılarak nihai olarak ulaşılmak istenilen veri türü olan (i) akım, (ii) yoğunluk ve (iii) ortalama hız verilerine dönüştürülmektedir. Bu dönüşümlerin uygulaması ve bu süreçte kullanılan formüller, aşağıda açıklanmıştır.

- **İşgaliye oranı verisinin yoğunluk verisine dönüşümü:** Her sensörden her veri işleme frekansında toplanan işgaliye verisinin yoğunluk verisine dönüştürülmesinde kullanılan denklem aşağıda mevcuttur (Denklem 3). Örneğin sensör ölçüm periyodunda (T) (Denklem 2), sensör algılama alanına giren araçların ortalama uzunluğu 4,5 metre, sensör algılama alanı uzunluğunun 4 metre ve hesaplanan işgaliye oranının %60 olduğu senaryoda, yoğunluk değeri 70,59 araç/km olarak hesaplanabilmektedir ($k = \frac{10}{4{,}5+4} \times 60 = 70{,}59$ araç/km).

$$\boldsymbol{k = \frac{10}{\overline{L_V} + L_D} \% OCC} \quad (3)$$

k: Yoğunluk (bir şeridin bir kilometrelik bölümünde yer alan araç sayısı),

$\boldsymbol{\overline{L_V}}$: Ortalama Araç Uzunluğu (metre),

$\boldsymbol{L_D}$: Sensörlerin Algılama Alanı Uzunluğu (metre).

$\%\boldsymbol{OCC}$: Yüzde cinsinden işgaliye oranı

10: Araç uzunluğu ve sensör algılama alanı uzunluğunun kilometreye çevrilmesi sırasında, formülün pay kısmına gelen 1000 sayısının, ondalık olarak denklemde yer alması gereken işgaliye oranının (OCC) yüzdesinde var olan 1/100 sayısı ile çarpılmasıyla elde edilen sabit sayı

- **Araç sayısı verisinin akım verisine dönüşümü:** Akım verisi hesaplanırken sensörlerden geçen araç sayısı verisi kullanılmaktadır. Her sensörden her veri işleme frekansında toplanan araç sayısı verisi, 15 saniyelik aralıkta her sensörden geçen araç sayısını temsil etmektedir. Bu verinin 240 ile çarpılması sonucu her sensörden 1 saatte geçen araç sayısı hesaplanabilmektedir. Bu da trafik akım verisine karşılık gelmektedir. Bu dönüşüm için

kullanılan denklem aşağıda verilmiştir (Denklem 4). Örneğin 15 saniye boyunca bir sensörden geçen araç sayısı 3 ise saatlik akım verisi 720 araç/saat olarak hesaplanabilmektedir.

$$Q = Q_{15} x\ 240 \quad (4)$$

Q: Akım (araç/saat),

Q_{15}: 15 saniyelik akım verisi.

- **Araç hızı verisinin ortalama araç hızı verisine dönüşümü:** Bu çalışmada her saniye, sensörlerin üzerinden geçen araçların hızları da tutulmuştur. 15 saniyelik aralıkların sonunda, bu hızların ortalaması alınmıştır. Böylelikle her sensör bölgesinde her 15 saniyelik aralıkta ölçülen ortalama araç hızları, veri setine işlenmiştir.

Simülasyon çalışması tamamlandıktan sonra elde edilen veri setinin örnek bir kesiti Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Simülasyon Çalışmaları Sonucunda Elde Edilen Veri Seti[6] Kesiti

Veri İşleme Frekansı	Sensör	Akım (araç/saat)	Yoğunluk (araç/km)	Ort. Hız (km/saat)
117	1	2.480	14,58	68,40
117	2	2.480	14,89	75,60
117	3	2.400	11,08	67,42
117	4	2.720	17,54	66,60
117	5	2.080	10,84	88,06
117	6	2.960	16,45	66,34
117	7	2.400	11,24	87,43
117	8	2.240	10,79	81,69
117	9	1.760	10,88	80,49
117	10	1.200	4,78	86,80
117	11	2.640	22,34	54,77
117	12	1.040	4,43	103,20
117	13	1.840	10,39	85,29
117	14	2.080	8,22	103,02

[6] Simülasyon boyunca her saniye veri toplanmaktadır ve her 15 saniyelik periyodun sonucunda toplanan 15 saniyelik veriler, ana veri setine işlenmektedir. Bu 15 saniyelik periyotlara "veri işleme frekansı" adı verilmiştir. Bu nedenle, şekildeki örnek veri seti kesitinde yer alan 117. veri işleme frekansı; 117. 15 saniyelik periyodu temsil etmektedir.

117	15	1.440	4,93	97,20
117	16	1.760	7,60	98,40
117	17	1.920	8,72	96,92
117	18	1.600	7,99	96,00
117	19	1.600	7,17	93,60
117	20	800	3,73	98,23
117	21	1.840	9,45	88,36

3.2.3. Araç Modellemeleri

Yol ağının, sensörlerin, durakların ve trafik ışıklarının modellemesi yapıldıktan sonra, araç modellemesine başlanmıştır. SUMO simülasyon yazılımında, her araca farklı bir araç tipi atanabilmektedir. Bu araç tipleri, fiziksel ve sürüş parametrelerine atanan değerler kapsamında değişiklik göstermektedir. Tablo 2'de yer alan karakteristik özelliklere atanan değerler, araç tiplerini ve bu araçların trafikte gösterdikleri davranışları belirlemektedir.

Tablo 2. Araç Tipi Karakteristik Özelliklerinin Tanımları

Parametre	Tanım
İvmelenme (m^2/s)	Benzetim süresinde, belirli bir araç tipinin bir saniyede ulaşabileceği maksimum hız artış değeri
Yavaşlama (m^2/s)	Benzetim süresinde, belirli bir araç tipinin bir saniyede ulaşabileceği maksimum hız düşüş değeri
Uzunluk (m)	Araç uzunluğu
Azami Hız (m/s)	Araç tipine atanmış ulaşılabilecek azami hız değeri
Sigma	Araç tiplerini birbirinden ayıran en etkili iki parametreden biri sigma değeridir. Aynı zamanda sürücü kusurluluğu olarak da isimlendirilmektedir. SUMO trafik benzetim programının kullanmakta olduğu Krauss araç takip modelinin bir parametresidir. Sürücü kusurluluğunu temsil etmekte ve bir aracın sürücüsünün ne kadar dikkatli veya dikkatsiz olduğunu belirtmektedir. Bu parametre; sürücünün sürüş yeteneği, tepki süresi, dikkat dağıtıcı etkenlere karşı direnci, ivmelenme ve yavaşlama sıklığı gibi faktörleri göz önünde bulundurmaktadır. Düşük bir sigma değeri, sürücünün daha dikkatli ve hata yapma olasılığının az olduğuna, yüksek bir sigma değeri ise sürücünün daha dikkatsiz ve hata yapma olasılığının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Hız Sapması	Araç tiplerini birbirinden ayıran en etkili iki parametreden ikincisi ise hız sapmasıdır. Hız sapması, standardize edilmiş hız dağılımlarının standart sapmasıdır.
Hız Faktörü	Hız faktörü, araç tiplerine atanan ve bu araçların hız limitlerini ne kadar aşabileceğini belirleyen bir değişkendir. Bu değişken, hız limiti ile çarpılmakta ve bu çarpım kapsamında elde edilen değer, araç tiplerinin hız limitini ne kadar aşabileceğini belirlemektedir. Oluşturulmuş yol ağında hız limiti olarak 110 km/h değeri alınmıştır.
Asgari Takip Mesafesi	Öndeki araç ve takip eden araç arasındaki minimum mesafeyi belirlemektedir.

Bu simülasyon çalışmasında, bağlantılı ve geleneksel araçlar olmak üzere iki araç tipi yer almaktadır. Her iki araç tipi de sürücülü araç olarak tanımlandığı için araç tipi karakteristik özelliklerine atanan değerler aynıdır. Bu araçları birbirinden ayıran iki özellikten ilki, bağlantılı araçların gerçek zamanlı olarak bilgi alabilmesi ve bu bilgileri insan makine arayüzü (HMİ) üzerinden sürücüye iletebilmesidir. İkinci farklı özellik ise bağlantılı araçların elektrikli araçlar olmasıdır. Sürücülü araçların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi sürecinde detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Yapılan diğer simülasyon çalışmalarında, sürücülü araçlara atanan karakteristik özellik değerleri tespit edilmiştir ve bu doğrultuda, bu araç tipinin özellikleri netleştirilmiştir. Literatür taraması kapsamında ulaşılan bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Tablo 3'te 2019 yılında yapılan "Otonom Araç Bölgesi İçinde Yörünge Tabanlı Trafik Yönetimi" isimli çalışmada sürücülü araçlara atanan karakteristik özellik değerlerini mevcuttur (Lu vd., 2019).

Tablo 3. Literatürde Yer Alan SUMO Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Parametreler-1

	Asgari Takip Mesafesi (m)	İvmelenme (m/s^2)	Yavaşlama (m/s^2)	Acil Yavaşlama (m/s^2)	Sigma
Sürücülü Araç	1,5	3,5	4,5	8	0,5

Bu çalışmaya ek olarak farklı simülasyon çalışmalarında kullanılan sürücülü araç ivmelenme ve yavaşlama değerleri, Tablo 4'te mevcuttur (Ibrahim vd., 2019; Song vd., 2015).

Tablo 4. Literatürde Yer Alan SUMO Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Parametreler-2

	İvmelenme (m/s^2)	Yavaşlama (m/s^2)	Kaynak
Sürücülü Araç	3	9	(Song vd., 2015)

Sürücülü Araç	3	5	(Ibrahim vd., 2019)

Yapılan araştırmalar göz önünde bulundurularak bu raporda yer alan simülasyonlarda kullanılacak sürücülü araçların parametre değerlerine karar verilmiştir. Yapılan araç tipi modellemesi sırasında sürücülü araçlara atanan karakteristik özellik değerleri, Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Sürücülü Araç Karakteristik Özellikleri

	Sürücülü Araç
İvmelenme (m/s^2)	2,7
Yavaşlama (m/s^2)	4,5
Uzunluk (m)	4,5
Azami Hız (m/s)	17
Sigma (Sürücü Kusuru)	0,4
Hız Faktörü	0,7
Hız Sapması	0,35
Asgari Takip Mesafesi	1,5

BÖLÜM IV

4. K-AUS SENARYOLARI SİMÜLASYON SONUÇLARI

Yapılan simülasyon çalışmasında, bağlantılı ve geleneksel araçların bir arada yer aldığı trafik koşullarında farklı K-AUS senaryo uygulamalarının trafiğe etkisini incelemek amacıyla 11 K-AUS senaryosu seçilmiştir. Bu senaryolar, simülasyon ortamında modellenmiş ve simüle edilmiştir. Belirtilen 11 K-AUS senaryosu aşağıda listelenmiştir:

- Yavaş veya durağan araç uyarısı
- İleride trafik sıkışıklığı uyarısı
- Yol çalışması uyarısı
- Yolda insan (savunmasız yol kullanıcısı ve diğer canlı varlıklar) mevcudiyeti uyarısı
- Yolda engel uyarısı
- Tehlikeli yer bildirimi (kaza kara noktası bilgisi dahil)
- Araç içi hız limitleri
- Yeşil ışık optimum hız önerisi (GLOSA)
- Yol dışı park bilgileri
- Alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgiler
- Acil durum aracı yaklaşma uyarısı

Yukarıda listelenen K-AUS senaryoları; K-AUS altyapısında kurulu olarak bulunan sensörlerin, kameraların ve yol kenarı ünitelerinin (Roadside Unit, RSU) ve bağlantılı araçlarda bulunan araç içi birimlerin (On Board Unit, OBU) sürekli olarak birbirleri ve trafik yönetim merkezi ile bilgi alışverişinde bulunduğu bir ortamda test edilmektedir. Bu senaryolar, uygulamanın amacı ve hedefi doğrultusunda kullanılan haberleşme sistemlerine göre birbirlerinden ayrılmaktadır. Tablo 6'da bu uygulamalarda kullanılan haberleşme sistemleri verilmiştir.

Tablo 6. K-AUS Senaryoları ve Kullanılan Haberleşme Sistemleri

K-AUS Senaryosu	Haberleşme Sistemi
Yavaş veya Durağan Araç	V2V
İleride Trafik Sıkışıklığı	V2V
Yol Çalışması Uyarısı	V2I
Yolda İnsan (Savunmasız Yol Kullanıcısı ve Diğer Canlı Varlıklar) Mevcudiyeti Uyarısı	V2X
Yol Üzerinde Engel Uyarısı	I2V
Tehlikeli Konum ve Durum Bildirimi (Kaza Kara Noktası Bilgisi Dahil)	V2V
Araç İçi Hız Limitleri	V2I
Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA)	I2V
Yol Dışı Park Bilgileri	I2V
Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler	V2I
Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı	V2V

Bu uygulamaların hayata geçirilmesi için farklı standartlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada; V2X, V2V ve V2I haberleşme sistemlerinde kullanılan standartlar araştırılmıştır. Tablo 7'de, K-AUS senaryolarında kullanılan V2X haberleşme standartları yer almaktadır.

Tablo 7. K-AUS Senaryolarında Kullanılan V2X Haberleşme Standartları

Kurum	Kullanılan Standartlar	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
ETSI	ETSI TS 122 185 (3GPP TS 22.185)	LTE; Service Requirements for V2X Services (3GPP TS 22.185 version 17.0.0 Release 17)	LTE; V2X Hizmetleri için Hizmet Gereksinimleri (3GPP TS 22.185 Versiyon 17.0.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020d)
	ETSI TS 123 287 (3GPP TS 23.287)	5G; Architecture Enhancements for 5G System (5GS) to Support Vehicle-to-Everything (V2X) Services (3GPP TS 23.287 version 17.6.0 Release 17)	5G-Araçtan Her Şeye (V2X) Hizmetlerini Desteklemek için 5G Sistemine (5GS) Yönelik Mimari İyileştirmeler (3GPP TS 23.287 Versiyon 17.6.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020e)

	ETSI TS 124 385 (3GPP TS 24.385)	LTE; V2X Services Management Object (MO) (3GPP TS 24.385 version 17.0.0. Release 17)	LTE; V2X Hizmetleri Yönetim Nesnesi (MO) (3GPP TS 24.385 Versiyon 17.0.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020f)
	ETSI TS 122 186 (3GPP TS 22.186)	5G; Service Requirements for Enhanced V2X Scenarios (3GPP TS 22.186 version 17.0.0 Release 17)	5G-Gelişmiş V2X Senaryoları için Hizmet Gereksinimleri (3GPP TS 22.186 Versiyon 17.0.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2022)
	ETSI TR 137 985 (3GPP TR 37.985)	LTE; 5G; Overall Description of Radio Access Network (RAN) Aspects for Vehicle-to-Everything (V2X) Based on LTE and NR (3GPP TR 37.985 version 17.1.1 Release 17)	LTE-5G-LTE (Long Term Evolution /Uzun Süreli Gelişim) ve NR (New Radio, Yeni Radyo)'ye Dayalı Araçtan Her Şeye (V2X) Yönelik Radyo Erişim Ağı (RAN) Özelliklerinin Genel Açıklaması (3GPP TS 22.186 Versiyon 17.1.1. Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020b)
	ETSI TS 124 587 (3GPP TS 24.587)	5G; Vehicle-to-Everything (V2X) Services in 5G System (5GS); Stage 3 (3GPP TS 24.587 version 17.6.0 Release 17)	5G-5G Sisteminde (5GS) Araçtan Her Şeye (V2X) Hizmetleri-Aşama 3 (3GPP TS 24.587 Versiyon 17.6.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2021c)
	ETSI TR 102 638	Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Temel Uygulama Seti; Tanımlar (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2009)
	ETSI TS 102 940	Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS Communications Security Architecture and Security Management	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Güvenlik-AUS Haberleşme Güvenliği Mimarisi ve Güvenlik Yönetimi (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2021a)
	ETSI TS 103 759	Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Misbehaviour Reporting Service-Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Güvenlik-Uygunsuz Davranış Raporlama Hizmeti-Sürüm 2 (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023b)
	ETSI TS 103 794	Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X Access Layer for Intelligent Transport Systems Operating in the 5 GHz Frequency Band; Test Specification	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 Ghz Frekans Bandında Çalışan Akıllı Ulaşım Sistemleri için LTE-V2X Erişim Katmanı-Test Spesifikasyonu (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2021b)

SAE	SAE J2945/7	High-Precision Positioning for V2X Systems	V2X Sistemleri için Yüksek Hassasiyetli Konumlandırma (SAE International, 2023b)
	SAE J3161	LTE Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for Single Radio Channel Multi-Service Coexistence	Tek Radyo Kanallı Çoklu Hizmetlerin Bir Arada Varlığı için LTE Araçtan Her Şeye (LTE-V2X) Uygulama Profilleri ve Radyo Parametreleri (SAE International, 2022a)
	SAE J3161/1	Onboard System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications	LTE-V2X V2V Güvenlik Haberleşmesi için Yerleşik Sistem Gereksinimleri (SAE International, 2022a)
	SAE J3161/1A	Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications	LTE-V2X V2V Güvenlik Haberleşmesi Kapsamında Araç Seviyesi Doğrulama Test Prosedürleri (SAE International, 2022b)
	SAE J3269	Vehicular Precise Positioning System Reference Architecture	Binek Araçlara Yönelik Hassas Konumlandırma Sistemi Referans Mimarisi (SAE International, 2021)
IEEE	IEEE 802.11bd	Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Next Generation V2X	Bilgi Teknolojisi Standardı-Yerel ve Metropolitan Alan Ağları Sistemleri Arasında Telekomünikasyon ve Bilgi Alışverişi-Özel Gereksinimler Bölüm 11: Kablosuz LAN Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları Değişiklik 5: Yeni Nesil V2X için Geliştirmeler (TechStreet, 2023)
	IEEE 802.11p	Standard for Information Technology-- Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments	Bilgi Teknolojisi Standardı-- Yerel ve Metropol Alan Ağları-- Özel Gereksinimler-- Bölüm 11: Kablosuz LAN Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları Değişiklik 6: Araç Ortamlarında Kablosuz Erişim (IEEE Standards Association, 2011)

	IEEE 1512	Standard for Common Incident Management Message Sets for Use by Emergency Management Centers	Acil Durum Yönetim Merkezlerinin Kullanımına Yönelik Ortak Olay Yönetimi Mesaj Setleri Standardı (United States Department of Transportation, 2009)
	IEEE 1609-2	Standard for Wireless Access in Vehicular Environments--Security Services for Application and Management Messages	Araç Ortamları için Kablosuz Erişim Standartlar Ailesi (WAVE) (IEEE Standards Association, 2019)

Tablo 8'de, K-AUS senaryolarında kullanılan V2V haberleşme standartları verilmiştir.

Tablo 8. K-AUS Senaryolarında Kullanılan V2V Haberleşme Standartları

Kurum	Kullanılan Standartlar	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
ETSI	ETSI TS 102 637-1	Intelligent Transport Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Part 1: Functional Requirements	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Araç Haberleşmesi; Temel Uygulama Seti; Bölüm 1: İşlevsel Gereksinimler (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2010)
	ETSI TS 103 301	Intelligent Transport Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Facilities Layer Protocols and Communication Requirements for Infrastructure Services	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Araç Haberleşmesi; Temel Uygulama Seti; Altyapı Hizmetleri için Servisler Katmanı Protokolleri ve Haberleşme Gereksinimleri (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020a)
	ETSI TS 103 324	Intelligent Transport System (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Collective Perception Service-Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS); Araç Haberleşmesi; Temel Uygulama Seti; Toplu Algılama Hizmeti-Sürüm 2 (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a)
	ETSI TS 123 285	Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)-LTE-Architectural Enhancements for V2X Services (3GPP TS 23.285 version 17.0.0 Release 17)	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS)- ;V2X Hizmetleri için Mimari Geliştirmeler (3GPP TS 23.285 Versiyon 17.0.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2018)
	ISO/TS 17426	Intelligent Transport Systems-Cooperative Systems-Contextual Speeds	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kooperatif Sistemler-Bağlamsal Hızlar (International Organization for Standardization (ISO), 2016)
SAE	SAE J2945/1A	Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communication	V2V Güvenlik Haberleşmesi Kapsamında Araç Seviyesi Doğrulama Test Prosedürleri (SAE International, 2020)

	SAE J2945/1B	On-Board System Requirements for V2V Security Communications by Non-Light-Duty Vehicles and Motorcycles	Hafif Olmayan Hizmet Dışı Araçları ve Motosikletlerle V2V Güvenlik Haberleşmesi için Araç İçi Sistem Gereksinimleri (SAE International, 2023a)
	SAE J2945/2	Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness	V2V Güvenlik Bilinci için Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) Performans Gereksinimleri (SAE International, 2018)
	SAE J3161/1	On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Security Communications	LTE-V2X V2V Güvenlik Haberleşmesi için Yerleşik Sistem Gereksinimleri (SAE International, 2022d)
	SAE J3161/1A	Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications	V2V Güvenlik Haberleşmeleri için Araç Seviyesi Doğrulama Test Prosedürleri (SAE International, 2022e)

Tablo 9'da ise K-AUS senaryolarında kullanılan V2I haberleşme standartları verilmiştir.

Tablo 9. K-AUS Senaryolarında Kullanılan V2I Haberleşme Standartları

Kurum	Kullanılan Standartlar	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
ETSI	ETSI TS 103 301	Intelligent Transport Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Facilities Layer Protocols and Communication Requirements for Infrastructure Services	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Araç Haberleşmesi; Temel Uygulama Seti; Altyapı Hizmetleri için Tesis Katmanı Protokolleri ve Haberleşme Gereksinimleri (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020c)
	ETSI TS 123 285	Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)-LTE-Architectural Enhancements for V2X Services (3GPP TS 23.285 version 17.0.0 Release 17)	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS)- ;V2X Hizmetleri için Mimari Geliştirmeler (3GPP TS 23.285 Versiyon 17.0.0 Sürüm 17) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2018)
	ETSI EN 300 674-1	Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM)-Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)-Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Transmission Equipment Operating in the 5.8 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) Band (500 kbit/s, 250 kbit /s)-Part 1: General Characteristics and Test Methods for Roadside Units (RSU) and On-Board Units (OBU)	Elektromanyetik Uyumluluk ve Radyo Spektrumu Konuları (ERM); Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği (RTTT); 5,8 GHz Endüstriyel, Bilimsel ve Tıbbi (ISM) Bandında Çalışan Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) İletim Ekipmanı (500 kbit/s / 250 kbit/s); Bölüm 1: Yol Kenarı Birimleri (RSU) ve Araç Üstü Birimler (OBU) için Genel Özellikler ve Test Yöntemleri (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2004)

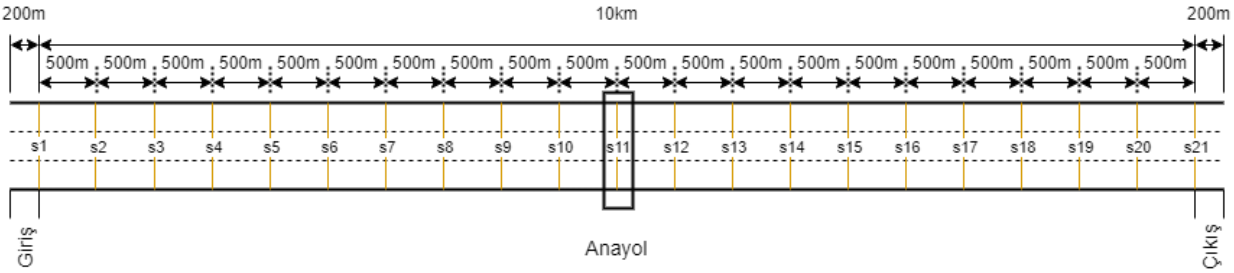
CEN ISO	CEN ISO/TS 19091	Intelligent Transport Systems-Cooperative ITS-Using V2I and I2V Communications for Applications Related to Signalized Intersections	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kooperatif AUS-Sinyalize Kavşaklarla İlgili Uygulamalar için V2I ve I2V Haberleşmenin Kullanılması (International Organization for Standardization (ISO), 2019)
SAE	SAE J2395	ITS In-Vehicle Message Priority	AUS Araç İçi Mesaj Önceliği (SAE International, 2002)
T/ITS	T/ITS 0013.2-2014	V2I – DSRC-Part 2: MAC and PHY Features	V2I – DSRC-Bölüm 2: MAC ve PHY özellikleri (China ITS Industry Alliance, 2023)
	T/ITS 0183-2022	Cloud Control Core Platform for V2I Systems-Technical Requirements for Cybersecurity	V2I Sistemleri için Bulut Kontrolü Çekirdek Platformu-Siber Güvenlik için Teknik Gereksinimler (China ITS Industry Alliance, 2023)
	T/ITS 0199.1-2022	Cloud Control Core Platform for V2I Systems-General Requirements	V2I Sistemleri için Bulut Kontrolü Çekirdek Platformu-Genel Gereksinimler (China ITS Industry Alliance, 2023)
	T/ITS 0199.2-2022	Cloud Control Core Platform for V2I Systems – Functional Testing Requirements	V2I Sistemleri için Bulut Kontrolü Çekirdek Platformu – İşlevsel Test Gereksinimleri (China ITS Industry Alliance, 2023)
	T/ITS 0127-2020	Technical Specifications of Communication Certificate Management for V2I Systems	V2I Sistemleri için Haberleşme Sertifikası Yönetiminin Teknik Özellikleri (China ITS Industry Alliance, 2023)
DİĞER	ASTM E2213	Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems-5 GHz Band-Dedicated Short-Range Communications (DSRC), Medium Access Control (MAC), and Physical Layer (PHY) Specifications	Yol Kenarı ve Araç Sistemleri Arasında Telekomünikasyon ve Bilgi Alışverişi için Standart Şartname-5 GHz Banda Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC), Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları (ASTM International, 2018)

Seçilen senaryoların simülasyon ortamında modellenmesi aşamasında, öncelikli olarak simülasyon değişkenlerine atanacak ortak değişkenlere karar verilmiştir. Bunlar; (i) yol ağına atanan trafik talepleri, (ii) simülasyon tohumları ve (iii) bağlantılı araç oranlarıdır.

Trafik talebi, 1 saatte şerit başına, yol ağına giren araç sayısını temsil etmektedir. Bu simülasyon çalışmasında yol ağına verilecek trafik talepleri, tamamen geleneksel araçların yer aldığı (%0 bağlantılı araç oranı) ve herhangi bir K-AUS senaryosunun uygulanmadığı temel senaryoların simülasyon sonuçları incelenerek belirlenmiştir. Temel senaryolar, normal trafik akımını temsil ettiği için bu senaryoların simüle edilmesi ve sonuçların incelenmesi ile yol ağının normal

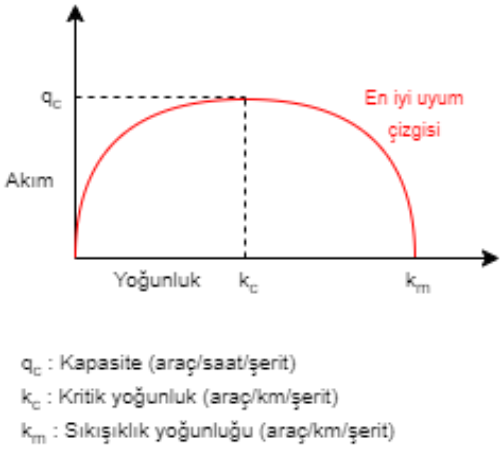
koşullarda sahip olduğu kapasite tespit edilmektedir. Bu bağlamda, kullanılan yol ağı üzerinde temel senaryoların simülasyonu yapılmıştır ve elde edilen kapasite sonuçları dikkate alınarak simülasyon çalışmaları kapsamında kullanılacak trafik taleplerine karar verilmiştir.

Kapasite belirleme sürecinde incelenen verilerin hangi sensörden elde edildiği büyük önem taşımaktadır çünkü her yol ağının belirli bölgeleri diğer bölgelere kıyasla daha az kapasiteye sahiptir ve yol ağının genel kapasitesini, bu kritik noktalar belirlemektedir. Bu simülasyon çalışmasında kullanılan yol ağında, herhangi bir kritik nokta olmadığı için ortadaki sensör seçilmiştir ve bu sensörün verileri incelenmiştir. Şekil 8'de, hangi sensörden toplanan verilerin incelenerek kapasitenin belirlendiği görülebilmektedir.



Şekil 8. Akım-Yoğunluk Grafikleri için Kullanılan Verilerin Elde Edildiği Sensörün Konumu

Akım-Yoğunluk grafiklerinde yer alan verilere, parabolik bir en iyi uyum çizgisi yerleştirildiğinde, (i) yol ağının kapasitesi, (ii) kritik yoğunluk değeri ve (iii) sıkışıklık yoğunluk değeri tespit edilebilmektedir. En iyi uyum çizgisi, grafiğin oluşturulmasında kullanılan verilerin ortasından geçen çizgiyi ifade etmektedir. Bu çizgi sayesinde, verinin dağılımı üzerine net bir özet yapılmış olmaktadır. Akım-Yoğunluk grafikleri kapsamında çizilen en iyi uyum çizgileri kullanılarak yol ağının kapasite, kritik yoğunluk ve sıkışıklık yoğunluğu değerlerinin nasıl tespit edildiği Şekil 9'da yer almaktadır.



Şekil 9. Akım-Yoğunluk Grafiklerine Çizilen En İyi Uyum Çizgisi Üzerinde Kapasite, Kritik Yoğunluk ve Sıkışıklık Yoğunluğu Değerlerinin Tespiti

1.200 araç/saat/şerit trafik talebi ile oluşturulan temel senaryo simülasyonu kapsamında elde edilen ortalama akım ve yoğunluk değerleri kullanılarak Akım-Yoğunluk grafiği oluşturulmuştur. Bu grafik Şekil 10'da yer almaktadır. Akım-Yoğunluk grafiklerinde yer alan verilere parabolik bir en iyi uyum çizgisi yerleştirildiğinde; yol ağının kritik yoğunluk değeri, kapasitesi ve sıkışıklık yoğunluk değeri tespit edilebilmektedir. Şekil 10'da yer alan Akım-Yoğunluk grafiğine en iyi uyum doğrusu yerleştirildiğinde, yol ağının kritik yoğunluk değerinin 29,09 araç/km/şerit, yolun kapasitesinin yani maksimum akım değerinin 1.806 araç/saat/şerit ve sıkışıklık yoğunluğunun 58,18 araç/km/şerit olduğu görülmüştür. Kapasite değeri 1.806 araç/saat/şerit olduğu için çalışmanın kalanında yapılacak simülasyonlarda yol ağına 1.500 ve 1.800 araç/saat/şerit trafik talebi verilmesinin uygun olduğu konusunda karar kılınmıştır.

Şekil 10. 1.200 Araç/Saat/Şerit Trafik Talebi ile Benzetimi Yapılan Temel Senaryo Verileri ile Oluşturulan Yoğunluk-Akım Grafiği

Trafik talebine ek olarak bağlantılı araç oranı da bu çalışmanın simülasyon değişkenlerinden biridir. Bu değişken, simülasyon boyunca yol ağına giren bağlantılı araç sayısının, toplam araç sayısına oranını vermektedir.

Bir diğer değişken ise simülasyon tohumudur. Simülasyon çalışmalarında rastgelelik, sonuçlara büyük oranda etki edebilen bir husustur. Belirtilen rastgelelik etkilerinin ortadan kaldırılabilmesi için her senaryo belirli bir simülasyon tohumu seti ile yeniden simüle edilmektedir. Böylelikle rastgeleliğin etkileri yüksek ölçüde ortadan kaldırılabilmekte ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde gerçeğe daha yakın analizler yapılabilmektedir. Bu çalışmada, her senaryo aynı simülasyon tohumu seti ile birden çok kez simüle edilmiştir. Oluşturulan tohum setinde, beş farklı simülasyon tohumu bulunmaktadır ve bu tohumlara atanan değerler, rastgele bir şekilde seçilmiştir. Simülasyon tohumu sayısının beş olmasına ise "Simülasyon Modellemesi ve Analiz" kitabında yer alan yöntem kullanılarak karar verilmiştir (Law ve Kelton, 1991; Ozbay vd., 2004).

Tablo 10 incelendiğinde, iki trafik talebi ve altı bağlantılı araç yüzdesi değerinin olduğu görülmektedir. İki trafik talebi kullanılmasının nedeni, az yoğun ve çok yoğun trafik koşullarında test çalışmaları yapabilmektir. Aynı zamanda K-AUS senaryolarının uygulandığı (%20, %40, %60, %80, %100 bağlantılı araç oranı) ve uygulanmadığı (%0 bağlantılı araç) trafik koşullarının oluşturulabilmesi için altı farklı bağlantılı araç yüzdesi kullanılmıştır. Bu değişkenler birbirleri ile farklı kombinasyonlarda eşlendiğinde toplam 12 senaryo oluşmaktadır. Ek olarak beş farklı simülasyon tohumu kullanılmıştır ve böylelikle her senaryo, minimum 60 kere simüle edilmiştir. Tablo 10'da yer alan değişkenler ve simülasyon tohumları kullanılarak oluşturulan senaryoların her birinin simülasyonu 60 dakika sürmektedir.

Tablo 10. K-AUS Senaryolarının Benzetiminde Simülasyon Değişkenlerine Atanan Ortak Değerler

Değişken	Değerler
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	[1.200, 1.500]
Bağlantılı Araç Oranı	[%0, %20, %40, %60, %80, %100]

Tablo 11'de kullanılan trafik talepleri ve bağlantılı araç yüzdelerinde, sisteme giriş yapan araç sayıları yer almaktadır.

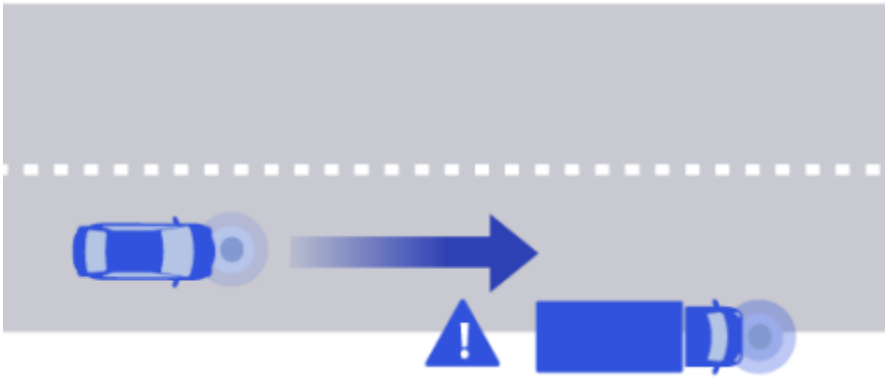
Tablo 11. Sisteme Giriş Yapan Toplam Araç Sayıları

Trafik Talebi (araç/saat/şerit)	Bağlantılı Araç Oranı (%)	Bağlantılı Araç Sayısı	Geleneksel Araç Sayısı
1.200	**0**	0	3.600
	20	720	2.880
	40	1.440	2.160
	60	2.160	1.440
	80	2.880	720
	100	3.600	0
1.500	**0**	0	4.500
	20	900	3.600
	40	1.800	2.700
	60	2.700	1.800
	80	3.600	900
	100	4.500	0

Bu ortak değerlerin yanı sıra, her K-AUS senaryosu farklı bir konsepte sahip olduğu için bu senaryoların modellemeleri sırasında, farklı simülasyon değişkenlerine atanan farklı değerler de yer almaktadır. Bu değişkenler ve atanan değerler, her bir K-AUS senaryosunun kısa açıklaması yapıldıktan sonra, ilgili başlık altında verilmiştir.

4.1. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı

Yavaş veya durağan araç uyarısı, sürücüleri duran veya önemli risk oluşturan yavaş araçlar hakkında bilgilendirmeyi hedefleyen bir K-AUS senaryosudur. Bu K-AUS senaryosunun amacı hem durağan araç bölgesine yaklaşan araçları bilgilendirmek hem de bu araçların hızını düşürerek bu bölgedeki güvenliği daha üst seviyelere çıkarmaktır. Aynı zamanda, hızların düşmesi ile durağan araç bölgesine gelen araç sayısı da azalmaktadır. Böylelikle trafik sıkışıklığı kontrol edilebilir bir noktada tutulmaktadır. Şekil 11'de yavaş veya durağan araç uyarısı senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (5GAA, 2018).



Şekil 11. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı

Kazanımlar

- Otoyollarda akan trafikte meydana gelen kazaların sayısında ve ciddiyetinde azalma
- Trafik sıkışıklığının ve zaman kaybının önlenmesi (Cooperative Urban Mobility Portal, 2021)

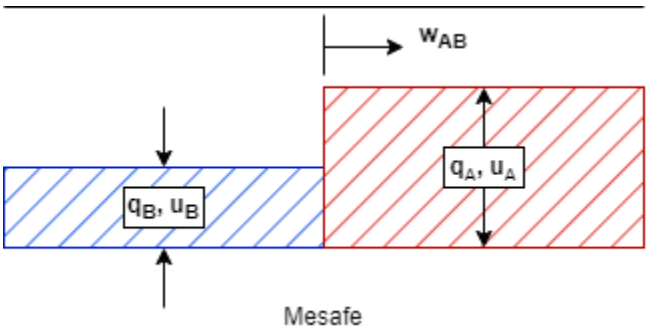
Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağının rastgele bir noktasında 600 saniye boyunca sağ şeritte bir araç durdurulmaktadır. Durdurulan araç ile "Yavaş veya Durağan Araç" senaryosunun simülasyon ortamında benzetimi yapılmaktadır. Araç durdurulduktan sonra, K-AUS senaryosunun uygulanabilmesi için simülasyon ortamında çeşitli sistemlerden yararlanılmaktadır. Öncelikle duran aracın tespit edilebilmesi için bağlantılı araçlarda bulunan ve K-AUS altyapısında kurulu olan donanımların kullanımına dayalı, bir olağan dışı olay tespit sistemi kullanılmaktadır. Bu kapsamda, olağan dışı olay bölgesindeki sensörler ve bağlantılı araçlarda bulunan OBU'lar, olayı tespit etmektedir. Tespit gerçekleştikten sonra olay durumu bilgisi, OBU'lardan V2I haberleşmesi yoluyla RSU'lara ve RSU'lardan I2C (Infrastructure-to-Center, Altyapıdan Merkeze) haberleşmesi yoluyla trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Böylelikle K-AUS uygulaması devreye girmektedir. Trafik yönetim merkezi, olay konusunda bilgilendirildikten sonra, yol ağına yerleştirilmiş sensörlerden toplanan verilerin ve gerekli durumlarda veri işleme süreçlerinin yönetildiği bu merkezde, sürücülere yapılacak bilgilendirme kapsamındaki hız önerisi için bir hız hesaplama sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem, girdi olarak farklı sensörlerden her 15 saniyede bir ölçülen trafik akım ve yoğunluk verilerini almaktadır. Çıktı olarak da araçlara iletilecek dinamik hız önerisi değerini vermektedir. Sensörlerden toplanan verilerin bu merkeze iletilmesi, I2C haberleşme sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu merkezde gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra hız önerisi bilgisinin araçlara iletilmesi sürecinde ise

öncelikle C2I (Center-to-Infrastructure, Merkezden Altyapıya) haberleşmesi yoluyla merkezden RSU'lara veri akışı sağlanmaktadır. RSU'lara iletilen bilgiler, daha sonra I2V (Altyapı Araç) haberleşmesi yoluyla bağlantılı araçların OBU'larına iletilmektedir. Trafik olayının etkisini gösterdiği bölgede, yüksek trafik yoğunluğu bulunduğu için bu bölgedeki araçların hızları oldukça düşüktür. Bu sebeple hız önerisi bilgilendirmesi, trafik olayının etkisinin görüldüğü son nokta ile bu noktanın 1 kilometre gerisi arasındaki alanda gerçekleştirilmektedir. Araçları bilgilendirme mesafesinin 1 kilometre olarak seçilmesinin sebebi ise verilecek yönergeler kapsamında, en yüksek faydanın 1 kilometrelik kontrol mesafesinde elde edilmesidir. Aktarılan hız önerisi verisi doğrultusunda, araçların HMI'sında sürücülere, hızlarını düşürmeleri gereken hız değeri yansıtılmaktadır.

Hız hesaplama sistemi kapsamında bağlantılı araçlara verilen hız önerisi değeri, şok dalgası teorisi kullanılarak dinamik olarak hesaplanmaktadır. Şok dalgası teorisi, trafik ve ulaştırma mühendisliği alanında önemli yere sahip olan bir teoridir. Şok dalgası teorisi kullanılarak hesaplanan şok dalgası hızının bağlantılı araçlara iletilmesi, literatürde kabul gören ve trafiğe etkisi pozitif yönde kanıtlanmış bir yönetim sistemidir. Literatürdeki birçok çalışmada, şok dalgası teorisi yönetim sisteminin bir parçası olarak kullanılmaktadır ve bazı çalışmalarda bu teori kapsamında trafik analizi ve trafik parametre tahmini yapılmaktadır (Chen & Liu, 2019; Ghoul & Sayed, 2021; Ramezani vd., 2017). Aynı zamanda, şok dalgası teorisinin uygulanan yönetim sisteminde ana aktörü olduğu birçok makale ve bildiri çalışması da mevcuttur (Gokasar, Arisoy, vd., 2023; Gokasar, Timurogullari, Deveci, vd., 2023; Gokasar, Timurogullari, Ozkan, vd., 2023). Akademik çalışmalara ek olarak belirli TÜBİTAK ve Bilimsel Araştırma Projelerinde (BAP) de kullanılan yönetim sisteminde şok dalgası teorisinden yararlanılmaktadır (Gokasar, 2021, 2023).

Şok dalgası, trafikte gerçekleşen ani ve önemli olayların bir darboğaz oluşturması ve trafik akımını bir dalga şeklinde etkilemesi ile tanımlanmaktadır (Motamedidehkordi vd., 2016). Bu darboğaz nedeniyle şok dalgasının tipine göre yaşanan olayın belirli bir yönünde; trafik sıkışıklıkları oluşmaktadır. Şok dalgası nedeniyle trafiğin belirli bölümlerinde akım, hız ve yoğunluklarda farklılıklar gözlenmektedir. Akım-Hız-Yoğunluk parametreleri, zaman ve mekâna göre değişiklik gösteren trafik parametreleridir. Bu parametrelerdeki değişiklikler, trafik durumlarını birbirinden ayıran sınırlar oluşturmaktadır. Örneğin, yaşanan bir trafik olayı dolayısıyla yüksek yoğunluk ve düşük ortalama hıza sahip bir konumun gerisinde düşük yoğunluk ve yüksek hıza sahip bir trafik akımı mevcutsa, bu durum geride bulunan konumların akım-hız-yoğunluk parametrelerine etki

eden bir şok dalgasına yol açmaktadır. Yol ağında gerçekleşen herhangi bir kaza, araç arızası, engel vb. durumlar dolayısıyla trafik sıkışıklığı meydana gelmektedir. Bu sıkışıklık nedeniyle trafik akışında ciddi yoğunluk ve hız farkları meydana gelmekte, böylelikle şok dalgaları oluşmaktadır. Şekil 12'de farklı hız ve akım değerlerine sahip iki trafik akım durumunun etkileşimi ve bu etkileşim dolayısıyla ortaya çıkan şok dalgası gözlemlenebilmektedir (May, 1990).



q_A : A durumunun trafik akım değeri
q_B : B durumunun trafik akım değeri
u_A : A durumunun trafik hız değeri
u_B : B durumunun trafik hız değeri
W_{AB} : Şok dalgası hızı

Şekil 12. Şok Dalgası Oluşumu

Bu senaryonun simülasyon çalışmasında, bir araç durdurulduğu ve yol ağına azami kapasiteye yakın bir trafik talebi verildiği için trafik sıkışıklığı meydana gelmektedir. Trafik sıkışıklığı meydana geldiği için şok dalgası da oluşmaktadır. Şok dalgası teorisi göz önünde bulundurulduğunda, şok dalgasının ilerleme hızını hesaplamak mümkündür ve formülü aşağıda verilmiştir (May, 1990).

$$V_{sw} = \frac{q_s - q_{s-1}}{k_s - k_{s-1}} \quad (5)$$

V_{sw} : Şok dalgası hızı

q_s : s lokasyonundaki sensörden ölçülen anlık akım değeri

q_{s-1} : s lokasyonunda yer alan sensörün bir gerisindeki sensörden ölçülen anlık akım değeri

k_s : s lokasyonundaki sensörden ölçülen anlık yoğunluk değeri

k_{s-1} : s lokasyonunda yer alan sensörün bir gerisindeki sensörden ölçülen anlık yoğunluk değeri

Yapılan simülasyon çalışmasında trafik olayı tespit edildikten sonra, her 15 saniyede bir ölçülen akım ve yoğunluk değerleri şok dalgası denklemine girdi olarak verilmekte ve şok dalgası hızı hesaplanmaktadır. Her 15 saniyede bir dinamik olarak hesaplanan şok dalgası hızı, bağlantılı araçlara C2I ve I2V haberleşmesi yoluyla hız önerisi olarak iletilmektedir. Hız önerisini alan sürücüler, yol ağındaki yavaş veya durağan araçtan haberdar olmakta ve hızlarını bu olay bağlamında kendilerine iletilen hız değerine düşürmektedir.

Rapor kapsamında incelenen ve hız önerisi bilgilendirme sistemi ile trafik olay tespiti sistemi kullanılan senaryoların hepsinde aynı yöntemler kullanılmaktadır.

Trafik olay tespit sistemi kapsamında bağlantılı araçlarda yer alan OBU'lar ve K-AUS altyapısında kurulu olan donanımlar aracılığıyla olay tespiti gerçekleştirilmektedir. Olay bilgisi, V2I haberleşmesi yoluyla RSU'lara ve I2C haberleşmesi yoluyla trafik yönetim merkezine iletilmektedir ve K-AUS uygulaması devreye girmektedir. Hız önerisi bilgilendirme sistemi kapsamında ise olay tespit edildikten ve merkeze bildirildikten sonra sensör verileri I2C aracılığı ile trafik yönetim merkezine aktarılmaktadır. Bu merkezde, şok dalgası teorisi kullanılarak dinamik hız değerleri hesaplanmakta ve bu değerler C2I ve I2V haberleşmesi ile kontrol mesafesi içerisinde yer alan bağlantılı araçlara iletilmektedir. Trafik olay sistemi ve hız önerisi bilgilendirme sistemi kullanılmayan yol dışı park bilgileri ile alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgiler senaryolarının modellenmesinin verildiği bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler Tablo 12'de yer almaktadır.

Tablo 12. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Aracın Durduğu Süre (s)	600
Aracın Durduğu Şerit	Sağ

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 13'te verilmiştir.

Şekil 13. Yavaş veya Durağan Araç Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 13'te yer alan yol ağı görüntüsünün sağ tarafında bulunan ve kırmızı halka içerisine alınmış sarı araç, duran aracı belirtmektedir. Aynı şekilde, bu görüntüde yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Kırmızı halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise hız önerisi bilgilendirmesini alan bağlantılı araçlardır. Durağan aracın arkasında bulunan ve üç şeritte de aynı hizada yer alan sarı bloklar ise sensörlerdir. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında, bu sensörler aracılığıyla hız, akım ve trafik yoğunluğu verileri toplanmaktadır. Bunlara ek olarak yakıt tüketimi, elektrik tüketimi ve CO_2 (karbondioksit) ve CO (karbonmonoksit) salınımı verileri de toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır. Raporda yer alan K-AUS senaryolarının simülasyon sonuçları incelenirken yoğunluk ısı haritaları, hız-zaman grafikleri, emisyon tabloları ve seyahat süresi tabloları kullanılmıştır.

Bu çalışmada, bağlantılı araçlar elektrikli araç olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 13'te yavaş veya durağan araç K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 ve CO salınımının elektrikli bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 13. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

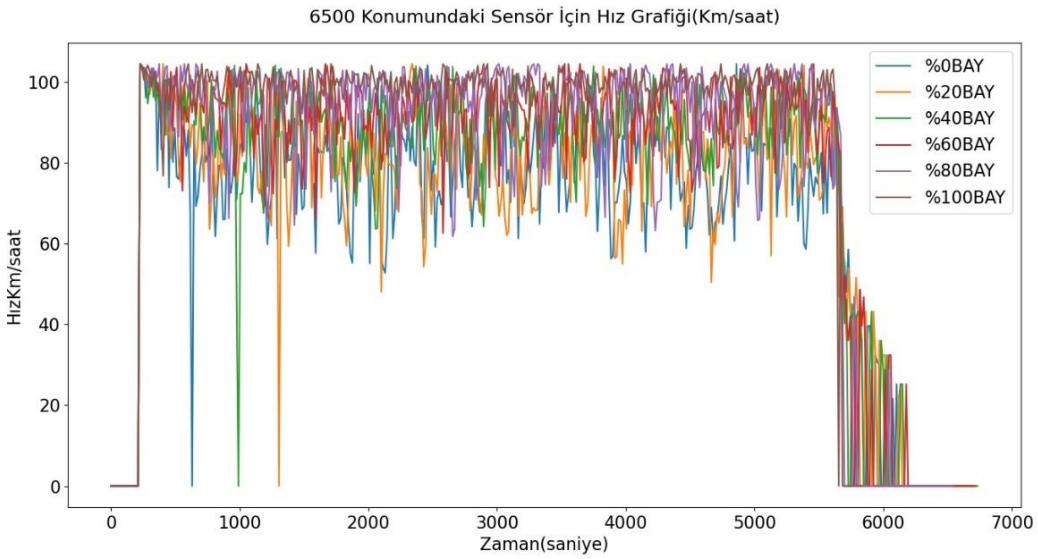
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	553.992,63	0,00	1.736.913,74	20.642,55
20	441.293,44	249,07	1.383.570,19	16.734,47
40	307.802,31	570,10	965.039,51	11.429,32
60	200.658,30	883,23	629.114,56	7.442,40
80	997.66,85	1.177,64	312.793,80	3.654,22
100	0,00	1.696,88	0,00	0,00

Tablo 14'te ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı elektrikli bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 ve CO salınımının, elektrikli bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Tablo 14. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	742.671,97	0,00	2.328.475,18	28.672,37
20	607.660,45	289,26	1.905.173,05	25.778,15
40	414.586,46	621,98	1.299.837,22	15.864,80
60	266.425,82	1.029,57	835.313,57	10.208,14
80	138.250,33	1.458,82	433.449,44	5.383,37
100	0,00	2.069,02	0,00	0,00

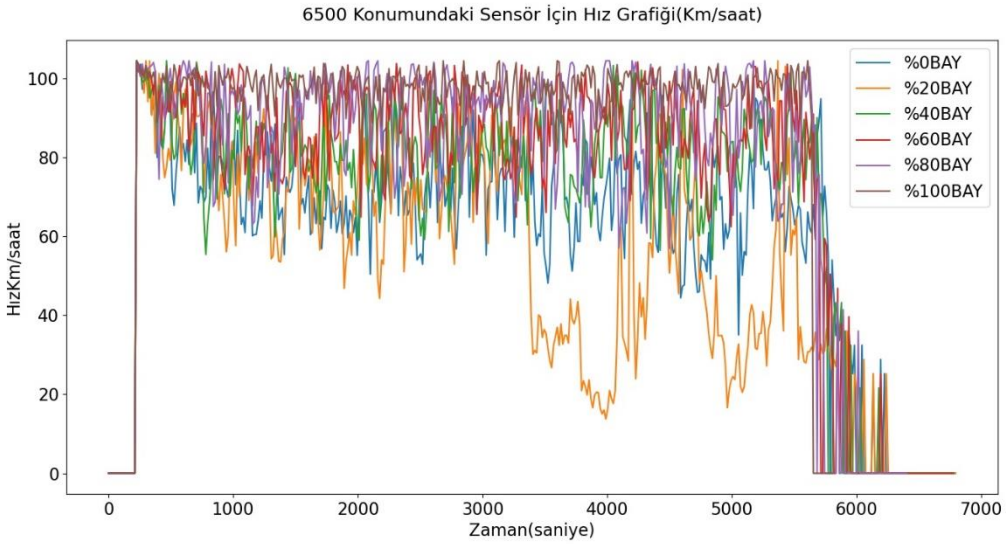
Şekil 14'te verilen hız/zaman grafiğinde, 1.200 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine (BAY) göre ortalama hız değerleri yer almaktadır. Grafiğin lejantı incelendiğinde, altı farklı bağlantılı araç yüzdesinin, zamana bağlı hız verisinin mevcut olduğu görülmektedir. Her bağlantılı araç yüzdesi, farklı bir renkle temsil edilmektedir. Bu grafiğin x-ekseni zamanı, y-ekseni ortalama hız değerini temsil etmektedir. Bu grafiğin çiziminde kullanılan veriler, aracın durduğu lokasyonun bir gerisindeki sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 6.500. metrede bulunmaktadır. Şekil 14; anlık olarak ortaya çıkan 0 km/saat hız değerlerinin elde edildiği sensörden, o anda araç geçmediğini göstermektedir. Şekil incelendiğinde, %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarında görülen ortalama hızların, diğer bağlantılı araç oranlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, %80 ve %100 bağlantılı araç oranlarında ortalama hız değerinin en yüksek seviyede olduğu da gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, yavaş veya durağan araç senaryosunda, bağlantılı araç oranının artması ile ortalama hızların da arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 14. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Ortalama Hız/Zaman Grafiği (BAY: Bağlantılı Araç Yüzdesi (%))

Şekil 15'te verilen hız/zaman grafiğinde ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerleri yer almaktadır. Grafik incelendiğinde; %60, %80 ve %100 bağlantılı araç yüzdelerinde, ortalama hızların daha yüksek ve standart sapmasının daha düşük olduğu görülmüştür. %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarını temsil eden çizgiler

incelendiğinde ise en düşük ortalama hızların bu oranlarda gözlemlendiği görülmüştür. Böylelikle her iki trafik talebinde de bağlantılı araç yüzdesi arttıkça ortalama hızların arttığı görülmüştür. Ek olarak %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarında ölçülen ortalama hız değerlerinin, yüksek standart sapmaya sahip olduğu da gözlemlenmiştir. Bu nedenle araçların sürekli olarak yüksek ivmelenme veya yavaşlama hareketi içerisinde olduğu söylenebilmektedir. Bu da çevre etkisi, konfor ve güvenlik açısından olumsuz bir durum oluşturmaktadır.



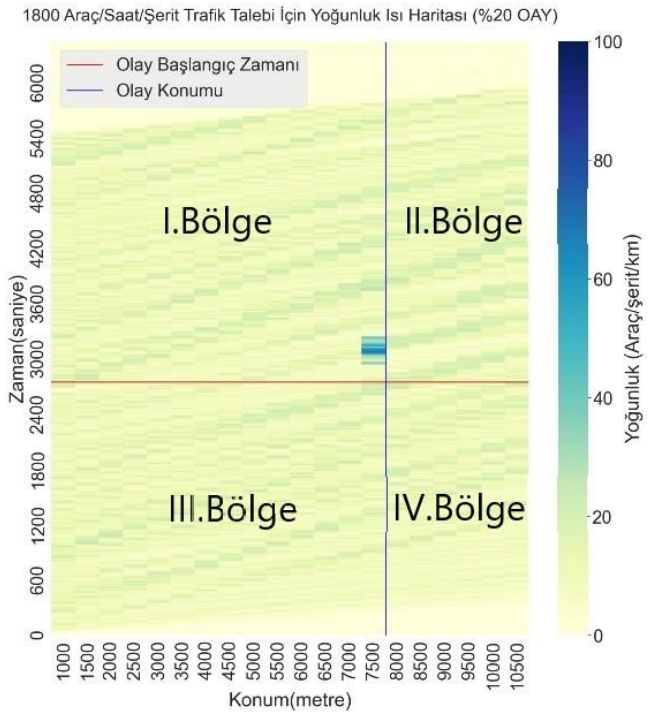
Şekil 15. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

Şekil 17, 18 ve 19'da 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde; %20, %60 ve %80 bağlantılı araç yüzdesi durumlarında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yoğunluk ısı haritaları yer almaktadır. Yoğunluk ısı haritalarında x-ekseni sensör lokasyonlarını temsil ederken y-ekseni zamanı temsil etmektedir. Isı haritası üzerindeki renk lejantı incelendiğine sarıya yakın renkler düşük yoğunluğu, maviye yakın renkler yüksek yoğunluğu temsil etmektedir. Isı haritaları üzerinde bulunan mavi dikey çizgi, olay konumunu belirtirken kırmızı yatay çizgi ise olayın ne zaman gerçekleştiğini belirtmektedir. Bu bağlamda, mavi çizginin solunda kalan bölge olay konumunun gerisini, sağında kalan bölge ise olay konumunun ilerisini ifade etmektedir. Kırmızı çizginin üstünde kalan alan, trafik olayı gerçekleştikten sonraki zamanı, altında kalan alan ise trafik olayı gerçekleşmeden önceki zamanı

temsil etmektedir. Bu iki çizgi ile ısı haritaları dört parçaya bölünmektedir. Bu parçalara ilişkin bilgiler aşağıda yer almaktadır.

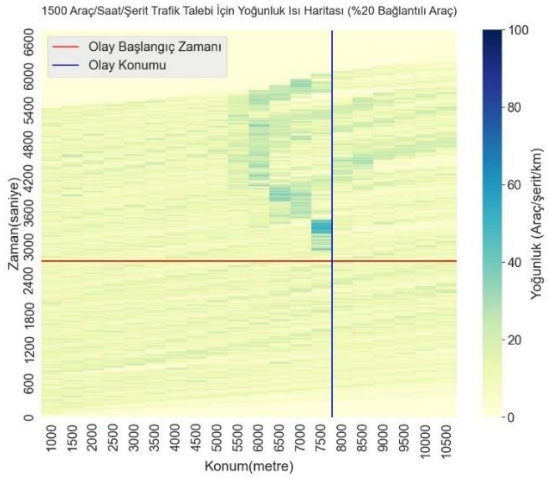
- I. Bölge (Sol üst): Trafik olayının gerçekleştikten sonraki ve olay konumunun gerisindeki kısmın yoğunluk verisini içermektedir. Bu sebeple bu alan içerisinde yüksek yoğunluklu bölgelerin görülmesi beklenmektedir.
- II. Bölge (Sağ üst): Trafik olayının gerçekleştikten sonraki ve olay konumunun ilerisindeki bölümün yoğunluk verisini içermektedir. Bu nedenle olay gerçekleştikten sonraki ilk durumda bu bölgedeki araç sayısının azalması, ancak olay konumunun gerisindeki yüksek trafik yoğunluğunun ilerleyen zamanlarda çözüleceği ve araçlar II. Bölgeye ulaşacağı için ilk duruma kıyasla daha yüksek yoğunluklu bölgelerin görülmesi beklenmektedir.
- III. ve IV. Bölge (Sol alt ve sağ alt): Kırmızı yatay çizginin altında kalan iki bölge de trafik olayı gerçekleşmeden önceki zamanı ifade ettiği için bu kısımlarda herhangi bir yüksek yoğunluk bölgesi oluşmamaktadır.

Bu bölgelerin örnek bir ısı haritası üzerindeki gösterimi, Şekil 16'da yer almaktadır.

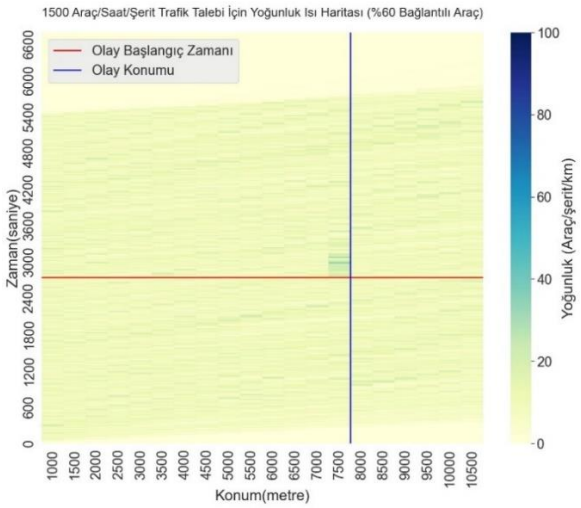


Şekil 16. Yoğunluk Isı Haritası İnceleme Bölgelerinin Gösterimi

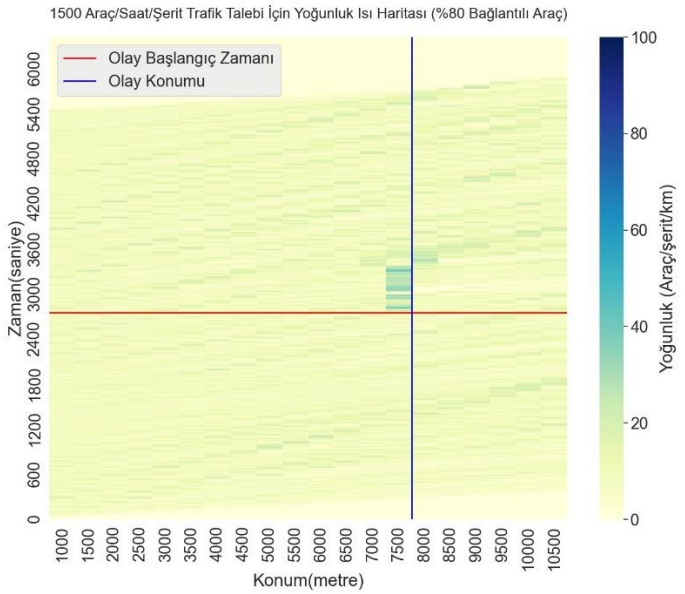
Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda ve aşağıdaki ısı haritaları incelendiğinde, düşük bağlantılı araç yüzdesinde, I. Bölgede yüksek yoğunluğa sahip kısımların daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, II. Bölgeler incelendiğinde, olay konumu öncesindeki yüksek trafik yoğunluğu bölgesinin çözülmesi nedeniyle oluşan yüksek trafik yoğunluklu kısımların %20 bağlantılı araç oranında daha belirgin olduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, bağlantılı araç yüzdesinin arttığı durumlarda yoğunlukların düştüğü ve K-AUS senaryosunun yüksek bağlantılı araç oranlarında çalışması ile daha iyi sonuçlar elde edildiği söylenebilmektedir.



Şekil 17. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %20 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası



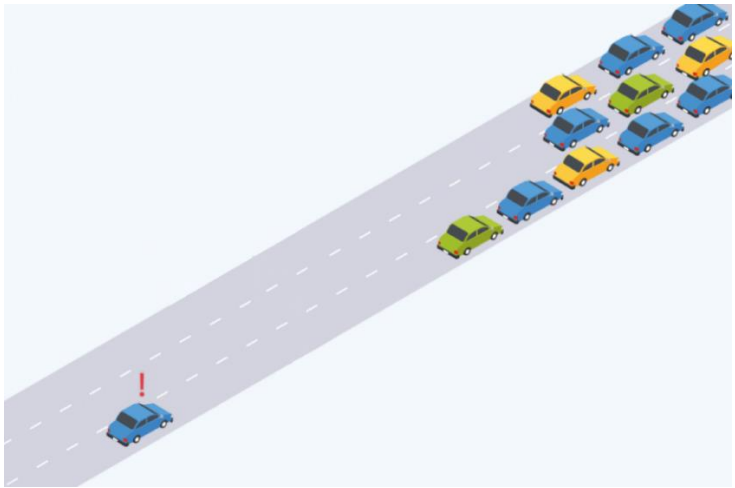
Şekil 18. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası



Şekil 19. Yavaş veya Durağan Araç K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %80 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

4.2. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı

Bu K-AUS senaryosu, mevcut trafik sıkışıklığına doğru hareket eden yol kullanıcılarını, trafik sıkışıklığının arka sınırı hakkında zamanında bilgilendirmeyi hedeflemektedir. Bu şekilde sürücüler, sürüş davranışlarını bu bilgiye göre uyarlayabileceklerdir. Şekil 20'de ileride trafik sıkışıklığı uyarısı senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (Be-Mobile, 2023).



Şekil 20. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı

Bu K-AUS uygulamasının amacı, hem trafik sıkışıklığı bölgesine yaklaşan araçları bilgilendirmek hem de bu araçların hızını düşürerek bu bölgedeki güvenliği daha üst seviyelere çıkarmaktır. Aynı zamanda, hızların düşmesi ile trafik sıkışıklığı bölgesine gelen araç sayısı da azalmaktadır. Böylelikle trafik sıkışıklığı kontrol edilebilir bir noktada tutulmaktadır.

Kazanımlar

- Gerçek zamanlı ve güvenilir bilgi ile yol kullanıcılarının farkındalığının arttırılması
- Trafik güvenliğinin sağlanması
- Yol kullanıcılarına güvenilir ve güncel trafik bilgilerinin sağlanması (C-ROADS Germany, 2023-a)

Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağının rastgele bir bölgesinde bir araç 1.200 saniye boyunca durdurulmaktadır. Durdurulan araç dolayısıyla oluşan trafik sıkışıklığının etkisi ile "İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı" senaryosunun simülasyon ortamında benzetimi yapılmaktadır. Trafik sıkışıklığı oluşturulduktan sonra, öncelikli olarak sıkışıklığın tespit edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, araçlarda bulunan OBU'lar ve K-AUS altyapısında kurulu olan sensörler ve kameralar kullanılarak trafik sıkışıklığı tespiti yapılmaktadır. Olay tespiti gerçekleştirdikten sonra, durum bilgisi V2I yoluyla OBU'lardan RSU'lara, I2C yoluyla RSU'lardan trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Ardından sensörlerden toplanan trafik yoğunluk ve akım verileri, I2C haberleşmesi ile anlık olarak trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Bu merkezde, sürücülere iletilecek hız önerisi değeri, şok dalgası teorisi kullanılarak hesaplanmaktadır ve bu değer C2I haberleşmesi yoluyla merkezden RSU'lara iletilmektedir. 15 saniyede bir toplanan veriler üzerinden dinamik olarak hesaplanan şok dalgası hızı, kontrol bölgesi içerisinde yer alan bağlantılı araçlara I2V haberleşmesi ile iletilmektedir. Kontrol bölgesi, trafik sıkışıklığının arka sınırı ile bu sınırdan 1 kilometre kadar geriye uzanan bölgeyi kapsamaktadır. Yapılan bilgilendirme kapsamında, dinamik olarak hesaplanan hız önerisi değeri, bağlantılı araçların HMI'sına yansıtılmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler, Tablo 15'te yer almaktadır.

Tablo 15. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Trafik Sıkışıklığının Mevcut Olduğu Süre (s)	1.200

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 21'de verilmiştir.

Şekil 21. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 21'de yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen hız önerisi bilgilendirmesi doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı, ortalama hız ve yoğunluk verileri toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 16'da ileride trafik sıkışıklığı K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 16. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

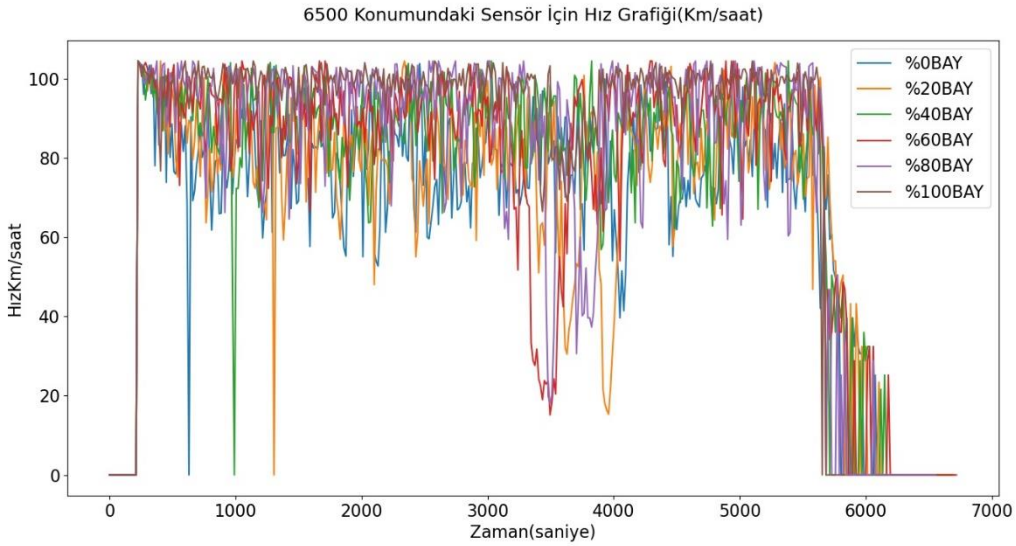
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	578.984,03	0,00	1.815.265,84	23.479,15
20	445.254,94	267,08	1.395.989,66	17.562,74
40	312.441,49	550,86	979.584,11	11.724,15
60	204.980,19	867,57	642.664,29	7.980,21
80	104.208,25	1.207,22	326.718,61	4.100,54
100	0,00	1.693,70	0,00	0,00

Tablo 17'de ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi ile elde edilen veriler ile aynı olduğu görülmüştür. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Tablo 17. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

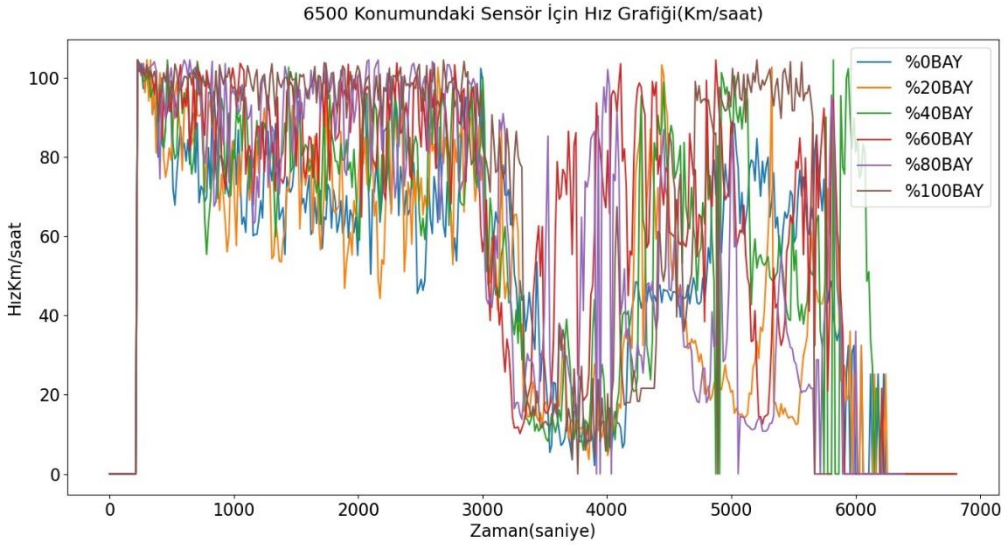
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	782.540,28	0,00	2.453.465,26	34.873,14
20	628.921,46	283,19	1.971.826,38	29.651,40
40	459.505,55	570,07	1.440.663,96	21.686,92
60	288.883,03	930,23	905.719,41	13.221,83
80	150.171,07	1.365,21	470.822,60	6.932,18
100	0	2.069,08	0,00	0,00

Şekil 22'de verilen hız/zaman grafiğinde, 1.200 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler, trafik sıkışıklığının mevcut olduğu bölgenin iki sensör gerisindeki sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 6.500. metrede bulunmaktadır. Böylelikle K-AUS senaryosunun uygulanması ve bağlantılı araç yüzdesinin değişmesi ile birlikte elde edilebilecek kazanımlar gözlemlenebilecektir. Grafik incelendiğinde, 3.000 ile 4.500. saniyeler arasında trafik sıkışıklığının yol ağına etki ettiği ve ortalama araç hızlarının düştüğü görülmektedir. Yapılan incelemede, %60 ve %80 bağlantılı araç oranlarında trafik sıkışıklığı etkisinin görüldüğü ilk anda, ortalama hızların en düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise olay tespiti gerçekleştiği anda, bağlantılı araçlara iletilen hız önerisinin uygulanmaya başlaması ve ortalama hızların hemen düşürülmesidir. Buna ek olarak olay etkisinin görüldüğü ilk andan sonra, yüksek bağlantılı araç oranlarında, ortalama hızların yükseldiği ve %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarına kıyasla daha yüksek seviyelere çıktığı görülmüştür. Bu bağlamda, bağlantılı araç oranı düştükçe, araçların trafik sıkışıklığından daha çok etkilenerek sıkışıklığın etkisini gösterdiği ilk an dışındaki tüm süre boyunca, daha düşük ortalama hızlarda hareket ettikleri söylenebilmektedir. Böylelikle bağlantılı araç oranı arttıkça, trafik sıkışıklığı bölgesinde trafiğin daha stabil ve daha yüksek ortalama hız değerlerine sahip bir şekilde aktığı çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 22. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

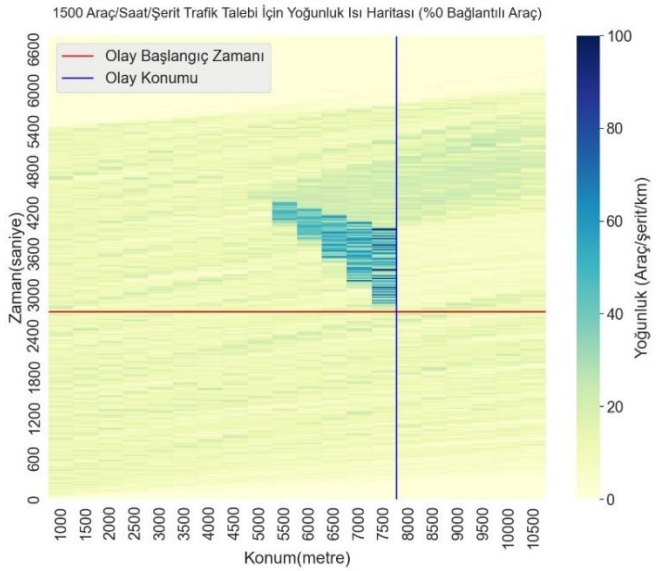
Şekil 23'te verilen hız/zaman grafiği ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Şekil 22'ye kıyasla trafik talebi daha yüksek olduğu için trafik sıkışıklığının etkisi daha sert bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Grafik incelendiğinde, yüksek bağlantılı araç yüzdelerinin ortalama hızlarının düşük bağlantılı araç yüzdelerine kıyasla daha erken düştüğü, fakat sıkışıklık etkisinin görüldüğü ilk an dışındaki tüm süre boyunca daha yüksek bir seviyede seyrettiği görülmektedir. Böylelikle bağlantılı araç yüzdesinin artması ile birlikte trafik sıkışıklığı etkisinin görüldüğü bölgede daha stabil bir trafik akımının olduğu çıkarımı yapılabilmektedir.



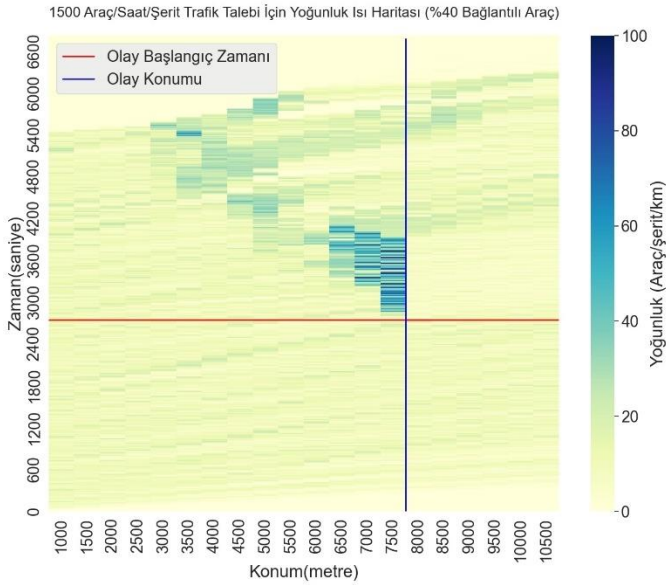
Şekil 23. İleride Trafik Sıkışıklığı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

Şekil 24, 25 ve 26'da 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde; %0, %40 ve %60 bağlantılı araç yüzdesi durumlarında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yoğunluk ısı haritaları yer almaktadır. Verilen ısı haritaları incelendiğinde, düşük bağlantılı araç yüzdesinde, I. Bölgede oluşan yüksek yoğunluk alanının daha büyük olduğu görülmektedir. Ancak uygulamaya koyulan ileride trafik sıkışıklığı uyarısında, bağlantılı araçlar hızlarını sıkışıklık bölgesine ulaşmadan düşürmüş ve böylelikle yüksek bağlantılı araç oranlarındaki yüksek yoğunluk alanı, daha geniş bir mesafeye yayılarak sıkışıklık bölgesindeki trafik yoğunluğu dağıtılmıştır. Bu bağlamda, trafik sıkışıklığı bölgesine ulaşan araç sayısı azaltılmış ve dolaylı olarak sıkışıklık bölgesindeki güvenlik artırılmıştır. II. Bölge incelendiğinde, sıkışıklık konumu

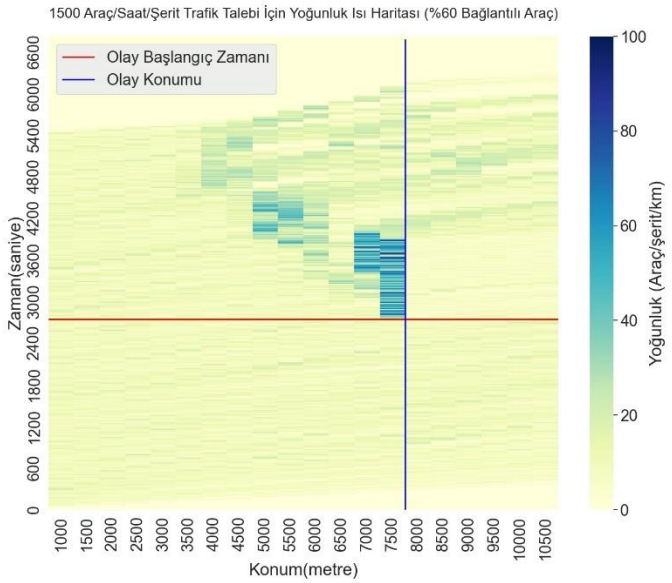
öncesindeki yüksek trafik yoğunluğu bölgesinin çözülmesi dolayısıyla oluşan yüksek trafik yoğunluklu kısımların, %0 bağlantılı araç oranında daha küçük bir alanda yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda yüksek bağlantılı araç oranlarında, çözülmenin daha stabil ve geniş zamana yayılmış bir şekilde gerçekleştiği söylenebilmektedir. Bu da trafik güvenliği konusunda önemli bir kazanım sağlamaktadır.



Şekil 24. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %0 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası



Şekil 25. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %40 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

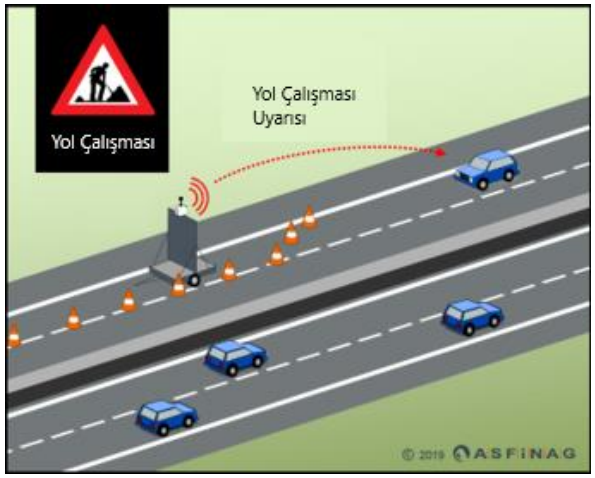


Şekil 26. İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

4.3. Yol Çalışması Uyarısı

Yol çalışması uyarısı, temel olarak yol çalışmalarından kaynaklanan kazaların sayısını azaltmayı amaçlayan güvenlikle ilgili bir K-AUS senaryosudur.

Yol çalışmaları sebebiyle gerçekleşen trafik sıkışıkları, normal şartlarda oluşmayan sıkışıklardır ve yol kullanıcılarının bu sıkışıklıkları öngörmeleri mümkün değildir. Bu nedenle sürücünün, sürüş davranışını trafik sıkışıklığına göre ayarlayabilmesi için zamanında uyarı alması önemlidir. Şekil 27'de yol çalışması uyarısı senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (C-Roads, 2023).



Şekil 27. Yol Çalışması Uyarısı

Bu K-AUS uygulamasının amacı, hem trafik sıkışıklığı bölgesine yaklaşan araçları bilgilendirmek hem de bu araçların hızını düşürerek bu bölgedeki güvenliği daha üst seviyelere çıkarmaktır. Aynı zamanda, hızların düşmesi ile trafik sıkışıklığı bölgesine gelen araç sayısı da azalmaktadır. Böylelikle trafik sıkışıklığı kontrol edilebilir bir noktada tutulmaktadır.

Kazanımlar

- Yol çalışmaları ile bağlantılı olarak otoyollarda meydana gelen kazaların sayısının ve şiddetinin azaltılması
- Gerçek zamanlı ve güvenilir bilgi ile yol kullanıcılarının farkındalığının arttırılması (C-ROADS Germany, 2023-b)

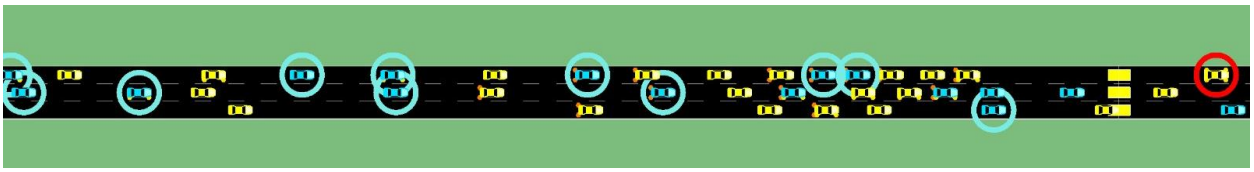
Yol çalışmaları, diğer trafik olaylarının aksine uzun süreli çalışmalar olduğu için bu senaryonun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağının belirli bir noktasında, bir araç, sol şeritte tüm simülasyon boyunca durdurulmaktadır. Durdurulan araç ile "Yol Çalışması Uyarısı" senaryosunun simülasyon ortamında benzetimi yapılmaktadır. Aynı zamanda, yol çalışmaları planlı bir şekilde yürütüldüğü için bu çalışmaların tespiti ve trafik yönetim merkezine bildirilmesi sürecinde, herhangi bir tespit sistemi kullanılmamaktadır. Yol çalışmasını yürüten otorite, bu çalışma bilgisini önceden merkeze bildirmekte ve trafik yönetim merkezi, yol çalışması başladığı andan itibaren bağlantılı araçlara bilgilendirme yapmaya başlamaktadır. Bu kapsamda, yol çalışmasına başlandığı andan sonra her 15 saniyede bir sensörlerden toplanan trafik yoğunluk ve akım verileri, I2C haberleşmesi ile trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Bu merkezde, sürücülere iletilecek hız önerisi, değeri şok dalgası teorisi kullanılarak hesaplanmakta ve bu değer C2I haberleşmesi yoluyla merkezden RSU'lara iletilmektedir. 15 saniyede bir toplanan veriler üzerinden dinamik olarak hesaplanan şok dalgası hızı, kontrol bölgesi içerisinde yer alan bağlantılı araçlara I2V haberleşmesi ile iletilmektedir. Kontrol bölgesi, trafik sıkışıklığının arka sınırı ile bu sınırdan 1 kilometre kadar geriye uzanan bölgeyi kapsamaktadır. Yapılan bilgilendirme ile dinamik olarak hesaplanan hız önerisi değeri, bağlantılı araçların HMI'sına yansıtılmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler Tablo 18'de yer almaktadır.

Tablo 18. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Yol Çalışması Süresi (s)	Simülasyon boyunca
Yol Çalışması Şeridi	Sol

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. Yol Çalışması Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 28'de yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Kırmızı halka içerisindeki araç, yol çalışmasının benzetimini yapmak amacıyla durdurulan aracı temsil etmektedir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen hız önerisi bilgilendirmesi doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı, ortalama hız ve yoğunluk verileri toplanmıştır. Toplanan trafik parametre verileri görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 19'da yol çalışması uyarısı, K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 19. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

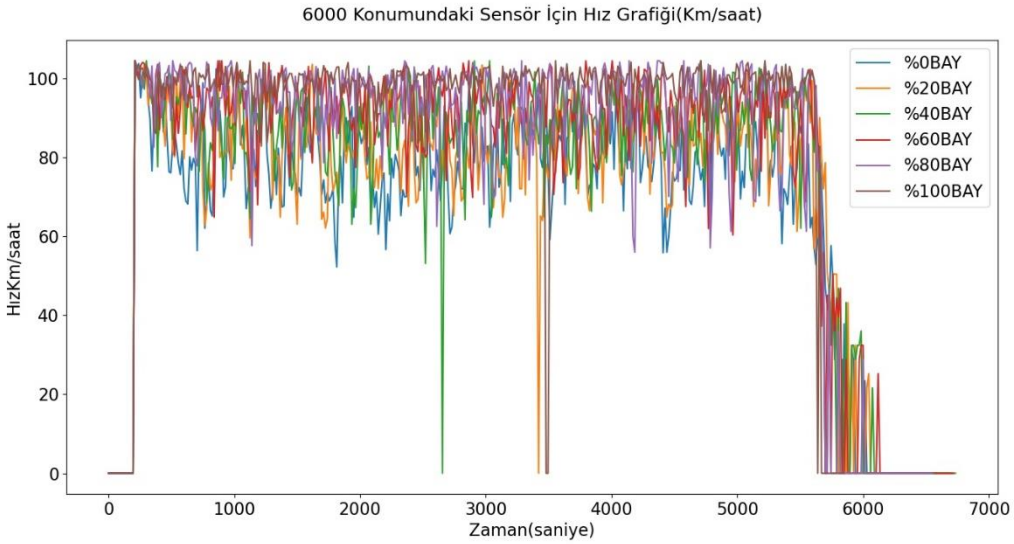
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	565.553,44	0,00	1.773.158,81	21.766,73
20	444.355,65	265,83	1.393.170,81	17.016,48
40	314.568,12	576,69	986.251,81	12.002,86
60	2069.27,97	836,81	648.771,47	7.903,57
80	107.921,79	1.200,55	338.361,79	4.202,33
100	0,00	1.659,01	0,00	0,00

Tablo 20'de ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Tablo 20. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	876.698,24	0,00	2.748.654,31	50.976,10
20	675.151,65	247,29	2.116.760,08	37.502,62
40	475.244,31	547,54	1.490.002,70	26.272,89
60	317.785,57	878,49	996.332,79	16.805,05
80	155.646,93	1.302,07	487.989,38	8.141,90
100	0,00	1.903,75	0,00	0,00

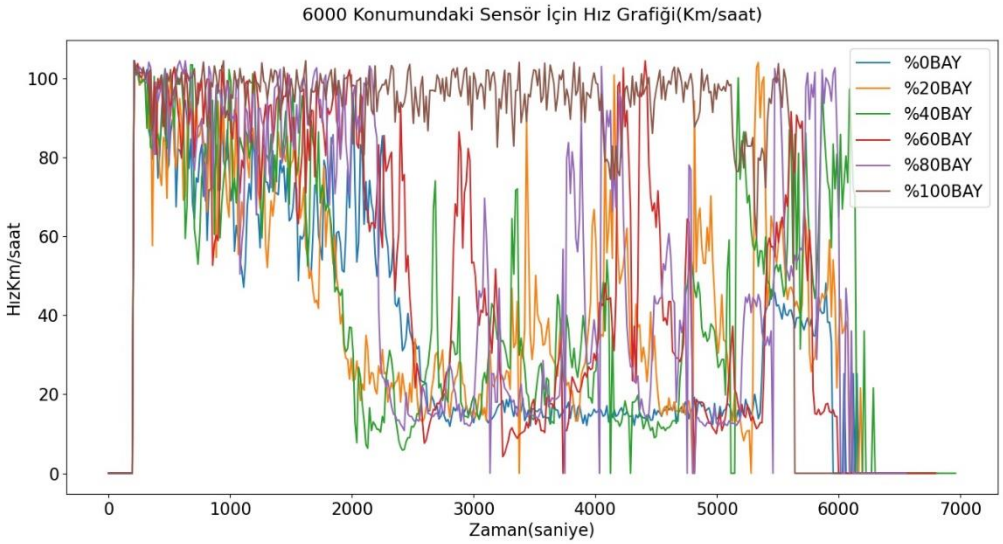
Şekil 29’da verilen hız/zaman grafiği, 1.200 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Elde edilen veriler, yol çalışmasının mevcut olduğu bölgenin bir gerisindeki sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 6.000. metrede bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde, %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarının ortalama hız değerlerinin, diğer bağlantılı araç oranlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, %80 ve %100 bağlantılı araç oranlarında, en yüksek ortalama hız değerleri gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, bağlantılı araç oranının artması ile birlikte, yol çalışması uyarısı K-AUS senaryosunun, trafik akımını daha verimli hale getirdiği çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 29. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

Şekil 30’da verilen hız/zaman grafiği ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Şekil 27’ye kıyasla trafik talebi daha yüksek olduğu için yol çalışmasının etkisi daha sert bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Grafik incelendiğinde, %20 ve %40 bağlantılı araç oranlarının ortalama hız değerlerinin diğer bağlantılı araç oranlarına kıyasla daha erken düştüğü görülmüştür. Böylelikle bağlantılı araç oranının artması ile birlikte yol çalışmasının trafik üzerindeki etkisinin daha geç görüleceği çıkarımı yapılabilmektedir. Ek olarak, %60, %80 ve %100 bağlantılı araç oranlarının ortalama hız değerleri incelendiğinde yüksek bağlantılı araç oranlarında ortalama hızların düşük bağlantılı araç

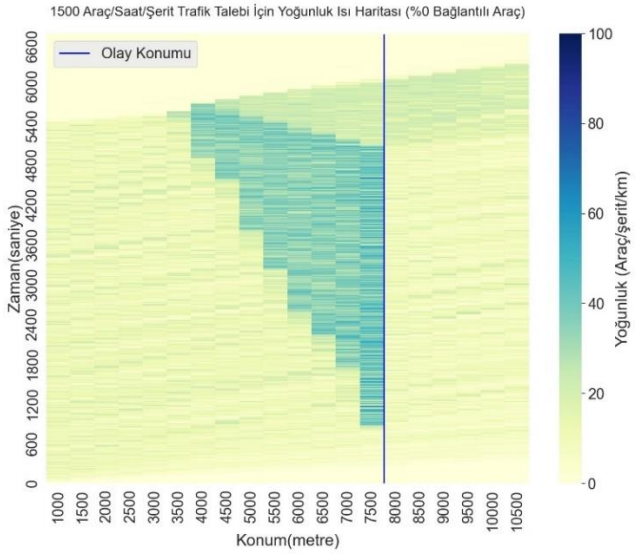
oranlarına kıyasla daha yüksek seviyede kaldığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, bağlantılı araç oranının artması ile birlikte daha verimli bir trafik akımının sağlanabileceği söylenebilmektedir.



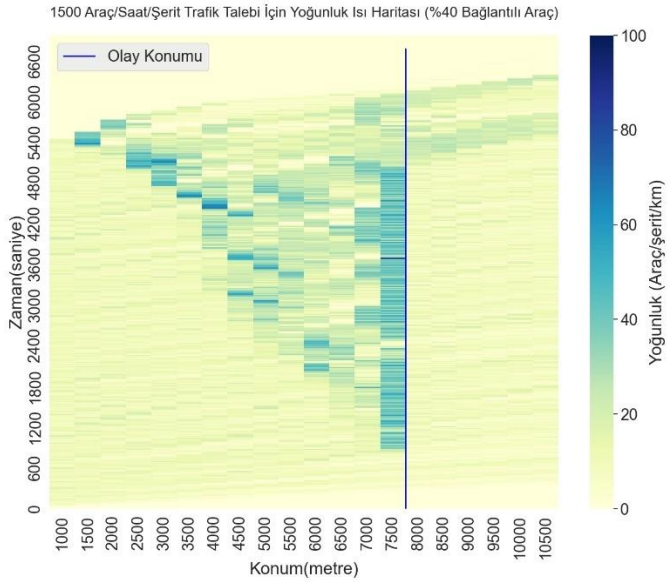
Şekil 30. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

Şekil 31, 32 ve 33'te 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde; %0, %40 ve %80 bağlantılı araç yüzdesi durumlarında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yoğunluk ısı haritaları yer almaktadır. Bu K-AUS senaryosu kapsamındaki trafik olayı, tüm simülasyon süresince devam ettiği için olayın başlangıç zamanı üzerinden bir analiz yapmak mümkün değildir. Bu sebeple ısı haritaları üzerinde, sadece olay konumunu temsil eden çizgi yer almaktadır. Böylelikle ısı haritaları sadece olay konumu öncesi ve sonrası olarak iki bölge üzerinden incelenmiştir. Bu ısı haritalarının olay konumu öncesini ifade eden bölgeleri incelendiğinde, %0 bağlantılı araç durumunda bir şok dalgası oluşumu gözlemlenmektedir. Bağlantılı araç oranı arttıkça ve uygulanan hız önerisi bilgilendirmesi ile bağlantılı araçlar, yol çalışması hakkında ve hızlarını düşürmeleri konusunda bilgilendirildikleri için sıkışıklık bölgesine ulaşmadan önce hızlar düşmektedir. Böylelikle trafik sıkışıklığı bölgesine ulaşan araç sayısı azalmaktadır ve bu bölgedeki yoğunluklar düşmektedir. Isı haritaları incelendiğinde, bağlantılı araç oranı arttıkça sistemin sağladığı trafik yoğunluğu kazanımlarının da arttığı görülmektedir. Isı haritalarının olay konumu sonrasındaki bölgeyi ifade eden kısımları incelendiğinde ise sıkışıklık konumu öncesindeki yüksek trafik yoğunluğu bölgesinin çözülmesi dolayısıyla oluşan yüksek

trafik yoğunluklu kısımların, %0 bağlantılı araç oranında daha yüksek değerlerine sahip olduğu, fakat artan bağlantılı araç oranı ile birlikte bu yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu doğrultuda, yüksek bağlantılı araç oranlarında çözülmenin daha stabil ve geniş zamana yayılmış bir şekilde gerçekleştiği söylenebilmektedir. Bu da trafik güvenliği konusunda önemli bir kazanım sağlamaktadır.



Şekil 31. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %0 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

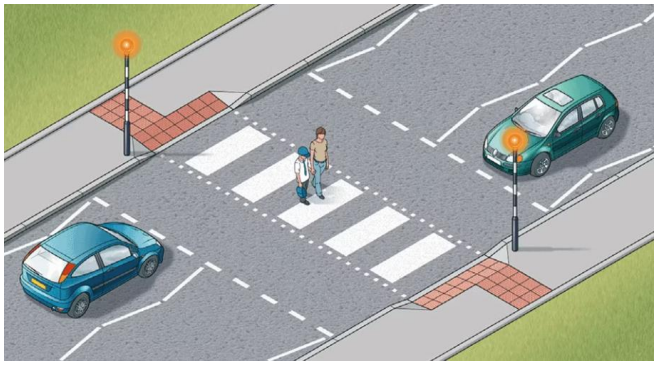


Şekil 32. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %40 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

Şekil 33. Yol Çalışması Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %80 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

4.4. Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı

Bu K-AUS senaryosu, sürücülere yol üzerinde bulunan yayalar hakkında önceden uyarı vermeyi hedeflemektedir. Bu bilgilerden yararlanan sürücüler, yolda bulunan yayalara karşı daha iyi hazırlanabilecek ve hızlarını buna göre ayarlayabilecektir. Şekil 34'te yolda insan mevcudiyeti uyarısı senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (Zutobi, 2022).



Şekil 34. Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı

Kazanımlar

- Yoldan geçen yayaların ve yolcuların güvenliği sağlanmış olur.
- Bu durum sürücülere bildirilir, trafik akımındaki bozulma minimuma indirilir (Asselin-Miller vd., 2016).

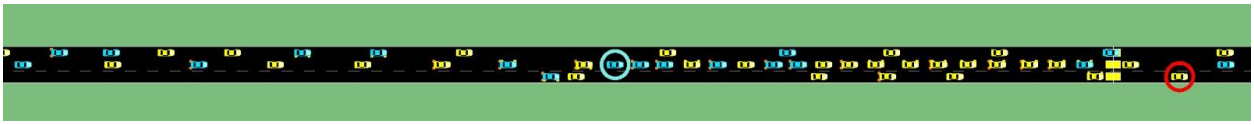
Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağının rastgele bir noktasında bir araç ani bir şekilde sağ şeritte durdurulmaktadır. Durdurulan araç ile "Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı" senaryosu kapsamındaki yol ağına giriş yapan ve yol ağından çıkana kadar sabit bir şekilde bekleyen yayanın, simülasyon ortamında benzetimi yapılmaktadır. Bu K-AUS senaryosunda benzetimi yapılan yayanın yol ağına girişi, anlık ve beklenmeyen bir şekilde gerçekleştiği için sürücülere hızlı bir şekilde uyarı gönderilmesi önem kazanmaktadır. Yapılan simülasyon çalışmasında, yol ağına giriş yapan yayanın tespiti, bağlantılı araçlar üzerinde yer alan OBU ve K-AUS altyapısında kurulu olan sensör ve kameralar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Yaya tespit edildikten sonra durum bilgisi V2I yoluyla OBU'lardan RSU'lara, I2C yoluyla RSU'lardan trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Ardından yayanın konum ve hangi şeritte bulunduğu bilgisi, C2I haberleşmesi yoluyla merkezden RSU'lara ve I2V haberleşmesi yoluyla RSU'lardan bağlantılı araçlara aktarılmaktadır. Bağlantılı araçlara iletilen bilgilendirmede, araç ile yaya arasındaki mesafeye bağlı olarak şerit değiştirme önerisi de yer almaktadır ve yayanın bulunduğu şeritte, yayanın gerisindeki 10 metrelik mesafe içerisinde bağlantılı araç kalmaması hedeflenmektedir.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler Tablo 21'de yer almaktadır.

Tablo 21. Yolda İnsan Mevcudiyeti Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Canlının Mevcut Olduğu Şerit	Sağ
Engelin Mevcudiyet Süresi (s)	180

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 35'te verilmiştir.



Şekil 35. Yolda İnsan Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 35'te yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Kırmızı halka içerisindeki araç, yolda insan senaryosunun simülasyon ortamındaki benzetiminde, ani bir şekilde durdurulan aracı ifade etmektedir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen şerit değiştirme önerisi bilgilendirmesi doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı ve ortalama hız verileri toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 22'de yolda insan mevcudiyeti uyarısı K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 22. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	562.554,10	0,00	1.763.756,35	21.074,98
20	425.248,70	253,10	1.333.265,89	15.946,96
40	307.395,84	561,20	963.765,14	11.337,96
60	200.640,52	892,32	629.058,58	7.346,10
80	103.770,31	1.176,45	325.345,84	3.885,01
100	0,00	1.677,72	0,00	0,00

Tablo 23'te ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi

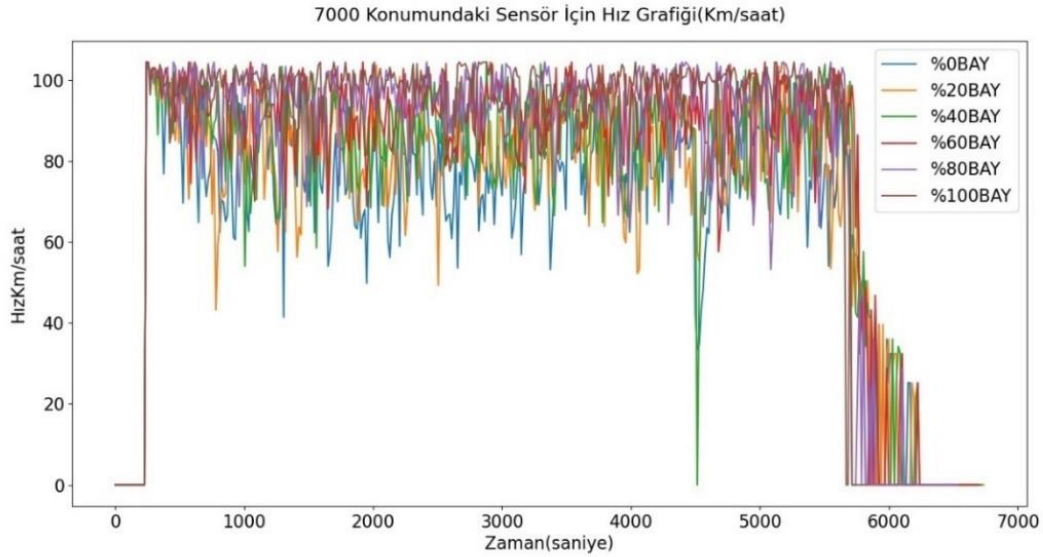
kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Tablo 23. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

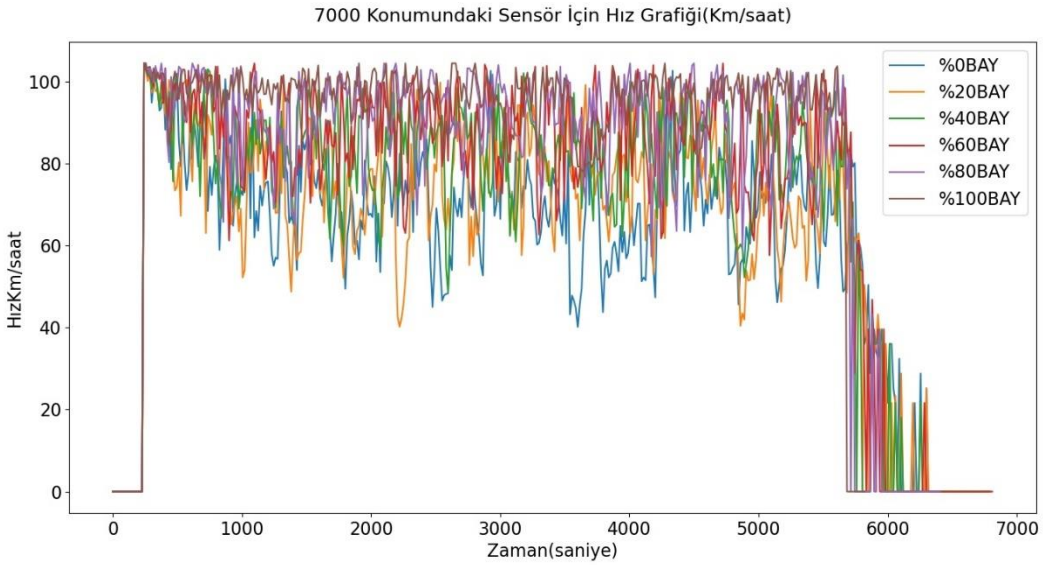
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	742.117,05	0,00	2.326.735,51	28.750,90
20	577.259,31	288,80	1.809.861,08	22.404,51
40	418.087,60	614,51	1.310.814,28	16.061,97
60	268.553,47	1.024,46	841.984,27	10.293,21
80	136.687,56	1.436,54	428.549,78	5.275,11
100	0,00	2.065,77	0,00	0,00

Şekil 36'da verilen hız/zaman grafiğinde, 1.200 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler, yayanın mevcut olduğu konumun bir gerisindeki sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 7.000. metrede bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde, %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarının ortalama hız değerlerinin, diğer bağlantılı araç oranlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, %80 ve %100 bağlantılı araç oranlarda en yüksek ortalama hız değerleri gözlemlenmiştir.

Şekil 37'de verilen hız/zaman grafiği ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Grafik incelendiğinde, ortalama hızların 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi ile oluşturulan senaryoya kıyasla düştüğü görülmüştür. %0 ve %20 bağlantılı araç yüzdelerinde en yüksek düşüş gözlemlenmiştir. Bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça sistemdeki trafik akım verimliliğinin korunduğu söylenebilmektedir.



Şekil 36. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

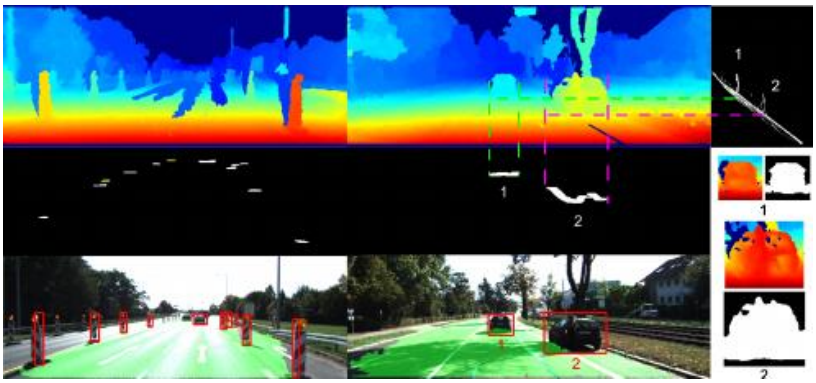


Şekil 37. Yolda İnsan Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

4.5. Yolda Engel Uyarısı

Bu K-AUS senaryosu, bağlantılı araç sürücülerini, yolda bulunan nesneler ve engeller konusunda uyarmayı hedeflemektedir. Bu senaryoda iletilen bilgileri kullanan sürücüler, yolda bulunan engellere ve nesnelere karşı daha hazırlıklı olabilecektir.

Yolda bulunan engeller dolayısıyla meydana gelen trafik sıkışıklıkları, belirli dönemlerde tekrar eden sıkışıklıklar olmadığı için sürücülerin bu durumları öngörmesi mümkün değildir. Tekrar eden sıkışıklıklar, büyük çoğunlukla yol ağının kapasitesinin, oluşan trafik talebinin altında kalması ve bu nedenle zirve saatlerde sürekli olarak trafik sıkışıklığı yaşanması durumunu ifade etmektedir. Sürücüler, tekrar eden sıkışıklık bölgelerini bildiği için bu bölgelere yaklaşırken sıkışıklık ile karşılaşmaya hazır olurlar, ancak yolda bulunan engel dolayısıyla oluşan bir trafik sıkışıklığı, sürücüler tarafından beklenmeyen bir durumdur. Bu nedenle sürücünün sürüş davranışını trafik sıkışıklığına göre ayarlayabilmesi için zamanında uyarı alması önemlidir. Şekil 38'de yolda engel uyarısı senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (Wang vd., 2014).



Şekil 38. Yolda Engel Uyarısı

Kazanımlar

- Sürücüler, yoldaki engelden haberdar edilir ve sürüş güvenliği artırılmış olur.
- Sürücüler, bu bilgiye göre farklı yollar tercih edebilir.
- Trafik akımının sekteye uğramaması için navigasyon sistemleri, bu bilgiye dayanarak farklı rotalar önerebilir (EURO NCAP Advanced, 2020).

Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağının rastgele bir bölgesinde, bir araç, 300 saniye boyunca sol şeritte durdurulmaktadır. Durdurulan araç ile "Yolda Engel Uyarısı" senaryosunun simülasyon ortamında benzetimi yapılmaktadır. K-AUS uygulamasının devreye girmesi için öncelikle bu trafik olayının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu

bağlamda, araçlarda bulunan OBU'lar ve K-AUS altyapısında kurulu olan sensörler ve kameralar kullanılarak yoldaki engelin tespiti yapılmaktadır. Olay tespiti gerçekleştirdikten sonra, durum bilgisi V2I yoluyla OBU'lardan RSU'lara, I2C yoluyla RSU'lardan trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Olay bilgisi trafik yönetim merkezine aktarıldıktan sonra, sensörlerden toplanan trafik yoğunluk ve akım verileri, I2C haberleşmesi ile trafik yönetim merkezine iletilmektedir. Bu merkezde, sürücülere iletilecek hız önerisi değeri, şok dalgası teorisi kullanılarak hesaplanmaktadır ve bu değer C2I haberleşmesi yoluyla merkezden RSU'lara iletilmektedir. 15 saniyede bir toplanan veriler üzerinden dinamik olarak hesaplanan şok dalgası hızı, kontrol bölgesi içerisinde yer alan bağlantılı araçlara I2V haberleşmesi ile iletilmektedir. Kontrol bölgesi, yolda engel dolayısıyla oluşan trafik sıkışıklığının arka sınırı ile bu sınırdan 1 kilometre kadar geriye uzanan bölgeyi kapsamaktadır. Yapılan bilgilendirme kapsamında, dinamik olarak hesaplanan hız önerisi değeri, bağlantılı araçların HMI'sına yansıtılmaktadır.

Bu K-AUS uygulamasının amacı, hem trafik sıkışıklığı bölgesine yaklaşan araçları bilgilendirmek hem de bu araçların hızını düşürerek bu bölgedeki güvenliği daha üst seviyelere çıkarmaktır. Aynı zamanda, hızların düşmesi ile trafik sıkışıklığı bölgesine gelen araç sayısı da azalmaktadır. Böylelikle trafik sıkışıklığı kontrol edilebilir bir noktada tutulmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler Tablo 24'te yer almaktadır.

Tablo 24. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Engelin Mevcudiyet Süresi (s)	300
Engelin Bulunduğu şerit	Sol

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 39'da verilmiştir.

Şekil 39. Yolda Engel Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 39'da yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Kırmızı halka içerisindeki araç, yolda engel uyarısı senaryosunda simülasyon ortamında engel benzetimi yapmak amacıyla durdurulan aracı ifade etmektedir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen hız önerisi bilgilendirmesi doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı, ortalama hız ve yoğunluk verileri toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 25'te yolda engel uyarısı K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 26'da ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Şekil 40'ta verilen hız/zaman grafiğinde 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler, engelin mevcut olduğu

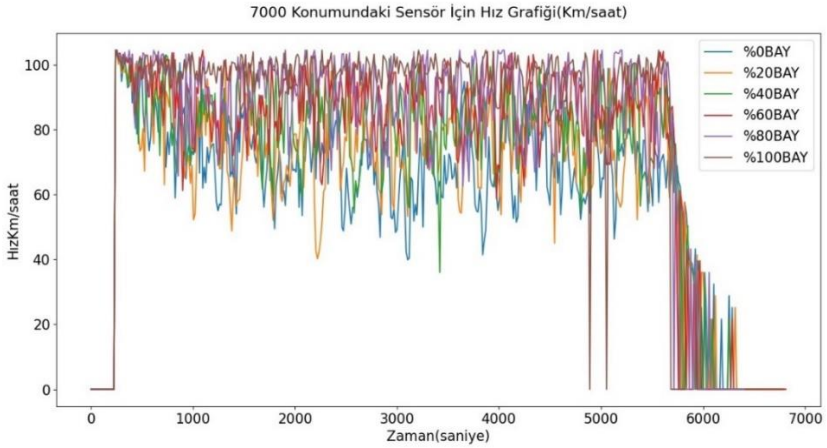
konumun bir gerisindeki sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 7.000. metrede bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde, %0 ve %20 bağlantılı araç oranlarının ortalama hız değerlerinin, diğer bağlantılı araç oranlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, %80 ve %100 bağlantılı araç oranlarda en yüksek ortalama hız değerleri gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, yolda engel uyarısı K-AUS senaryosunda, bağlantılı araç oranının artması ile birlikte, elde edilen trafik verimliliği kazanımlarının arttığı söylenebilmektedir.

Tablo 25. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	555.118,07	0,00	1.740.441,96	20.709,00
20	433.795,42	261,79	1.360.061,96	16.194,82
40	305.923,65	553,15	959.149,20	11.300,21
60	202.905,61	892,06	636.160,35	7.527,51
80	103.434,46	1.216,09	324.292,77	3.865,25
100	0,00	1.705,10	0,00	0,00

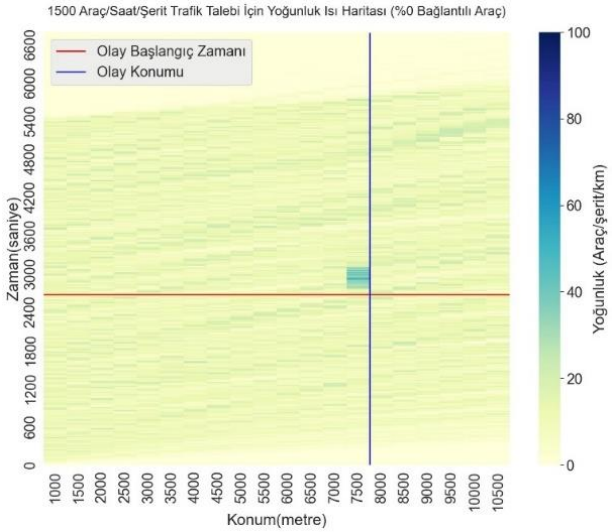
Tablo 26. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	745.803,41	0,00	2.338.293,07	29.148,93
20	582.217,52	301,57	1.825.406,49	22.636,11
40	418.989,61	613,12	1.31.3642,53	16.155,86
60	265.880,20	1.024,54	833.602,75	10.183,86
80	135.523,86	1.471,55	424.901,19	5.285,08
100	0,00	2.057,25	0,00	0,00

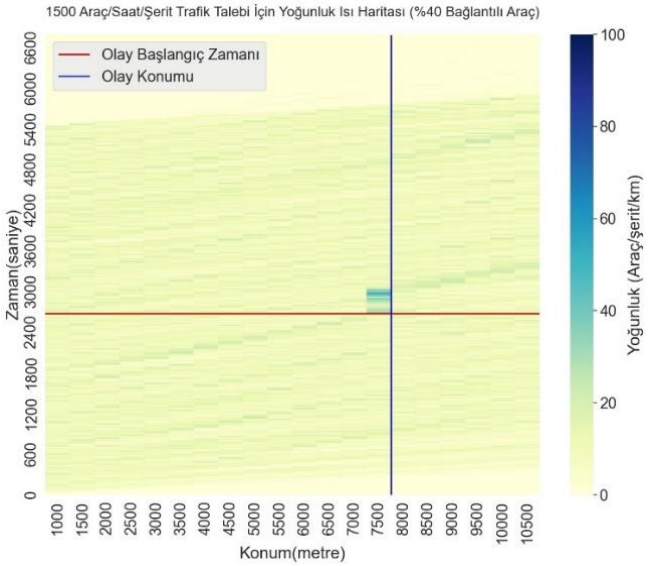


Şekil 40. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

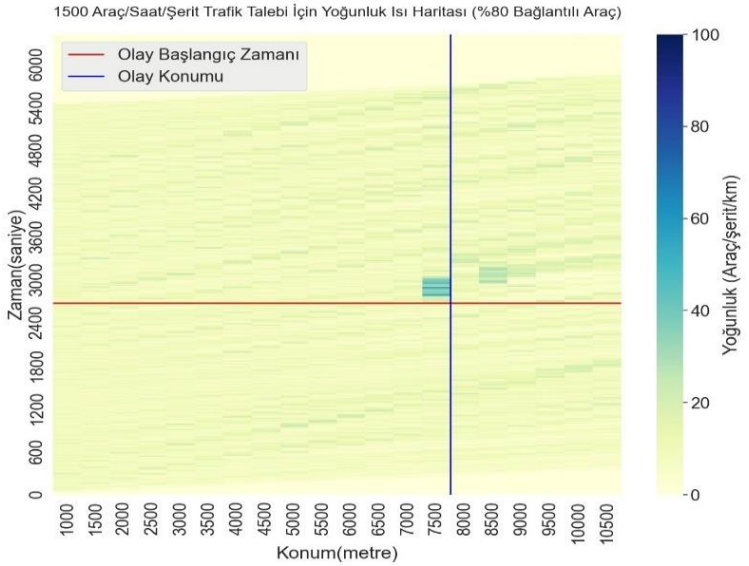
Şekil 41, 42 ve 43'te 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde; %0, %40 ve %80 bağlantılı araç yüzdesi durumlarında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yoğunluk ısı haritaları yer almaktadır. Bu ısı haritalarının I. Bölgeleri incelendiğinde, %0 bağlantılı araç oranındaki yüksek yoğunluklu bölgenin, diğer ısı haritalarına kıyasla daha büyük olduğu görülmüştür. Böylelikle bağlantılı araçlara iletilen hız önerisi sayesinde, araçların yavaşlaması ile birlikte, olay bölgesine ulaşan araç sayısının ve dolayısıyla trafik yoğunluğunun azaldığı söylenebilmektedir. Bu husus güvenlik açısından önemli bir kazanım sağlamaktadır.



Şekil 41. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %0 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası



Şekil 42. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %40 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası



Şekil 43. Yolda Engel Uyarısı K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %80 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

4.6. Tehlikeli Yer Bildirimi

Bu K-AUS senaryosu, bağlantılı araç sürücülerini kaza kara noktaları gibi tehlikeli konumlar ve tehlike oluşturabilecek durumlar hakkında bilgilendirmeyi hedeflemektedir. Kaza kara noktaları, bir yol ağında düzenli ve sıkça kaza meydana gelen konumlarını tanımlamaktadır. Bu nedenle sürücüleri kaza kara noktaları hakkında önceden uyarmak, yol güvenliğinin sağlanması konusunda büyük önem arz etmektedir. Bu K-AUS uygulamasının amacı, kaza kara noktasına yaklaşan araçları bilgilendirmek ve hızlarını belirli bir seviyeye düşürmektir. Böylelikle kaza kara noktasının potansiyel tehlikesi en aza indirilebilecektir.

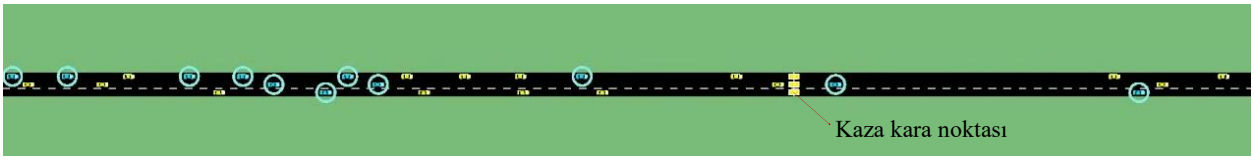
Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağı üzerinde bulunan bir lokasyon, kaza kara noktası olarak belirlenmiştir. Bu kaza kara noktası ile 300 metre gerisi arasında bulunan mesafe bağlantılı araçların uyarılacağı bölge olarak tanımlanmıştır. Bağlantılı araç sürücüleri, belirtilen 300 metrelik alana girdiği anda, HMI'da sürücünün hızını düşürmesi gereken hız seviyesi gösterilmektedir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için kontrol alanına giren araçlara altyapıda yer alan RSU'lardan I2V yoluyla bilgi aktarılmaktadır. Bağlantılı araçlarda yer alan OBU'lar ile bu bilgi elde edilmektedir ve HMI'ya yansıtılmaktadır. Simülasyon çalışmalarında kullanılan yol ağının azami hız değeri 100 km/saat iken kaza kara noktasına ulaşan araçların 50 km/saat hız ile seyahat ediyor olmaları hedeflenmektedir. Bu nedenle 300 metrelik aralıkta, bağlantılı araç sürücülerine hızlarını 50 km/saat'e indirmelerine yönelik bir bilgilendirme yapılmaktadır. Böylelikle araçlar kaza kara noktasına daha düşük hızlar ile ulaşacak ve kazaların yaşanma ihtimali, düşük bir seviyeye indirgenecektir.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler Tablo 27'de yer almaktadır.

Tablo 27. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Bağlantılı Araçların Uyarıldığı Mesafe (m)	300

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 44'te verilmiştir.



Şekil 44. Tehlikeli Yer Bildirimi Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 44'te yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen hız önerisi bilgilendirmesi doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Yol ağının orta bölgelerinde yer alan ve aynı hizada bulunan üç sarı blok, sensörleri ifade etmektedir. Bu sensörlerin yer aldığı konum, kaza kara noktası olarak belirlenmiştir. Turkuaz halka içerisinde yer alan araçlar, bu kaza kara nokta bilgisini önceden alarak hızlarını kendilerine iletilen hız yönergesi ile azaltmaktadır. Bu araçlar, belirtilen kara noktayı geçtikten sonra ise eski hızlarına geri dönmektedir. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı ve ortalama hız verileri toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 28'de tehlikeli yer bildirimi K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 29'da ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç

yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir. Bu bağlamda, bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 28. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

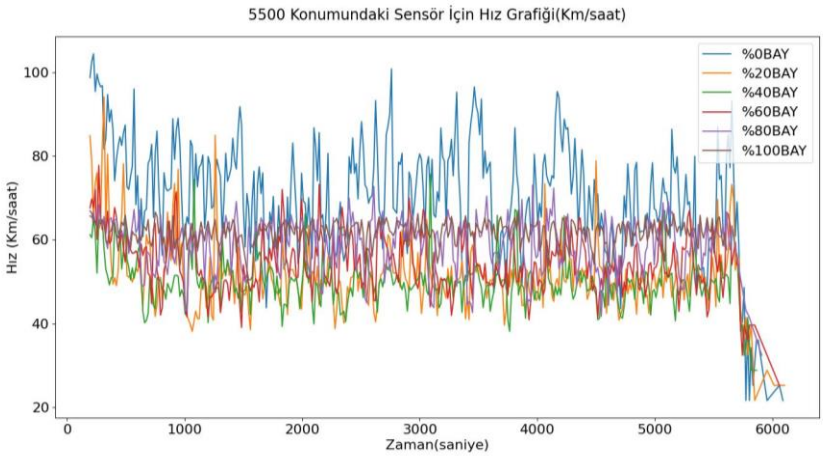
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	559.142,87	0,00	1.753.061,06	21.025,86
20	441.625,08	283,74	1.384.610,56	16.696,57
40	309.878,86	566,13	971.550,35	11.529,23
60	203.640,48	863,06	638.464,68	7.581,91
80	104.272,67	1.153,33	326.920,97	3.948,07
100	0,00	1.649,87	0,00	0,00

Tablo 29. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	740.832,38	0,00	2.322.707,41	28.622,25
20	577.729,12	288,60	1.811.334,12	22.228,32
40	421.844,82	670,72	1.322.594,39	16.300,85
60	269.152,02	994,91	843.860,82	10.362,51
80	135.455,46	1.459,84	424.687,10	5.190,38
100	0,00	2.059,32	0,00	0,00

Şekil 45'te verilen hız/zaman grafiği 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Bu grafiğin oluşturulmasında kullanılan veriler, kaza kara noktasında yer alan sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 5.500. metrede bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde, %0 bağlantılı araç oranında geleneksel araçların kaza kara noktasına yüksek hızlarla ulaştığı ve hızlarını yeteri kadar düşüremedikleri görülmüştür. Ancak

sistemde bağlantılı araç yer aldığında, bu araçların hızlarını önceden düşürmesi ile birlikte, geleneksel araçlar da düşürmek zorunda kalmıştır. Böylelikle tehlikeli yer bildirimi K-AUS senaryosunun, kaza kara noktalarında güvenliği sağlamak anlamında etkili bir uygulama olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 45. Tehlikeli Yer Bildirimi K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

4.7. Araç İçi Hız Limitleri

Bu K-AUS senaryosu, bağlantılı araç sürücülerine o anda ilerlemekte oldukları yol için geçerli olan hız sınırını bildirmektedir. Böylelikle yol kullanıcılarının anlık olarak hız limiti bilgisine ulaşabilmesi sağlanmakta ve farkındalıkları artırılmaktadır.

Mevcut hız sınırına ek olarak yol ağının ilerisinde karşılaşılacak azami hız limitine yönelik bilgiler de bu K-AUS senaryosunda sürücülere iletilebilmektedir. Böylelikle sürücüler, hızlarını ileride karşılaşacakları azami hız limitine uygun olacak şekilde önceden ayarlayabilecektir. Şekil 46'da araç içi hız limitleri senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (BBC News, 2015).

Şekil 46. Araç İçi Hız Limitleri

Kazanımlar

- Otoyollarda meydana gelen kazaların sayısının ve şiddetinin azaltılması.
- Sürücülerin hız limiti bilgisine anlık erişiminin sağlanması (ETSC | European Transport Safety Council, 2017).

Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, yol ağının ardışık iki farklı bölgesine farklı azami hız limitleri tanımlanmıştır. Araçların ilerlediği yöndeki ilk bölgenin azami hız limiti 95 km/saat iken ikinci bölgenin azami hız limiti 40 km/saat olarak belirlenmiştir. Geleneksel araçlar, bağlantı özelliğine sahip olmadığı için yeni azami hız limiti bilgisini, son 10 metrelik mesafede elde edebilmektedir. Bu araçların aksine, bağlantılı araçlar 40 km/saat azami hız limitine sahip bölgeye geçiş yapmadan 1 kilometre önce, bu bölgenin azami hız limiti bilgisine I2V yoluyla sahip olmaktadır. Bu kapsamda yol ağında yer alan RSU'lar, bağlantılı araçların OBU'larına hız limiti bilgisini aktarmakta ve hız limiti değeri HMI üzerinden sürücüye iletilmektedir. Böylelikle bağlantılı araç sürücüleri, hızlarını yavaş bir şekilde azaltarak 40 km/saat'e düşürebilmektedir, fakat geleneksel araçların sert bir şekilde yavaşlaması gerekmektedir. Bu durumun büyük tehlikelere yol açma ihtimali bulunmaktadır.

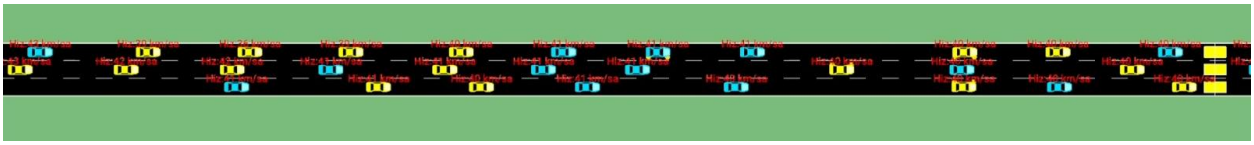
Bu K-AUS uygulamasının amacı, bağlantılı araç sürücülerine düzenli olarak azami hız limiti bilgisini vermek ve farkındalıklarını artırmaktır. Aynı zamanda, seyahat edilen yol ağında karşılaşılacak bir sonraki azami hız limitinin sürücülere iletilmesi ve güvenli geçisin sağlanmasıdır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler, Tablo 30'da yer almaktadır.

Tablo 30. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Araçlara Bir Sonraki Azami Hız Limiti Bilgisinin Verildiği Mesafe (m)	1.000
1.Bölge Azami Hız Limiti (km/saat)	95
2.Bölge Azami Hız Limiti (km/saat)	40

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 47'de verilmiştir.



Şekil 47. Araç İçi Hız Limitleri Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 47'te yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen hız limiti bilgilendirmesi doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Yol ağının orta bölgelerinde yer alan ve aynı hizada bulunan üç sarı blok sensörleri ifade etmektedir. Aynı zamanda bu sensör konumu, hız limitinin değiştiği ve yeni hız limiti değerinin görsel olarak sürücülere verildiği nokta olarak belirlenmiştir. Turkuaz halka içerisinde yer alan araçlar, hız limiti bilgisini önceden alıp hızlarını bu limite göre ayarlayarak sensör bölgesine gelmektedir. Bu sayede, ani yavaşlama durumunun önüne geçilmektedir. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı ve ortalama hız verisi toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 31'de araç içi hız limitleri K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 31. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

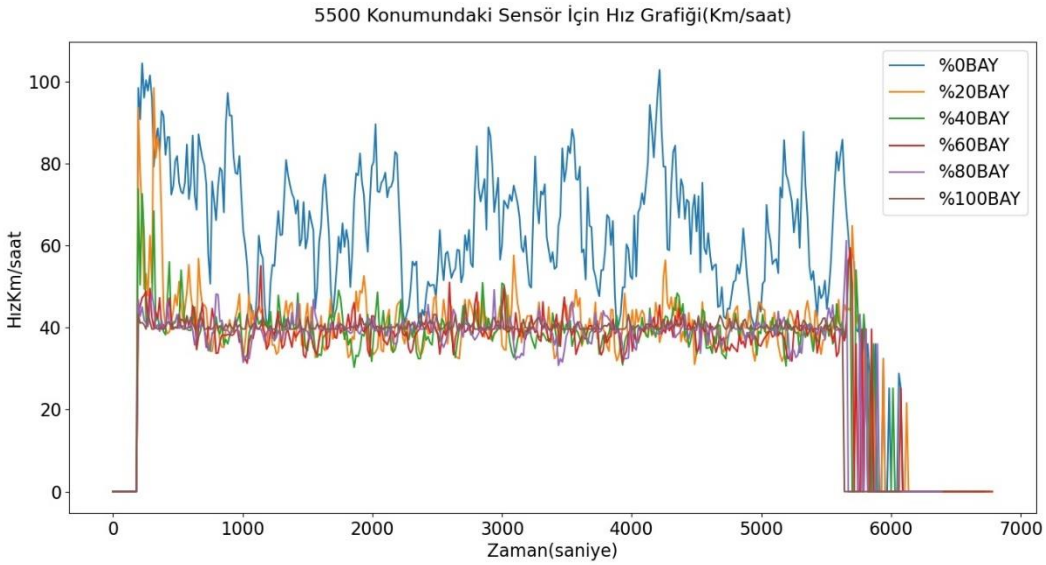
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	923.382,78	0,00	2.895.061,97	37.814,76
20	509.392,04	162,33	1.597.076,70	19.929,67
40	326.763,15	362,68	1.024.483,40	12.097,96
60	208.865,84	536,42	654.844,48	7.576,26
80	102.041,54	763,69	319.924,07	3.554,75
100	0,00	1.024,89	0,00	0,00

Tablo 32'de ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Tablo 32. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	1.017.324,68	0,00	3.189.588,48	41.519,94
20	606.587,51	200,82	1.901.805,56	24.374,25
40	417.067,16	370,49	1.307.607,68	16.383,66
60	260.442,42	612,54	816.548,69	9.898,36
80	133.209,03	919,15	417.641,15	4.891,94
100	0,00	1.227,97	0,00	0,00

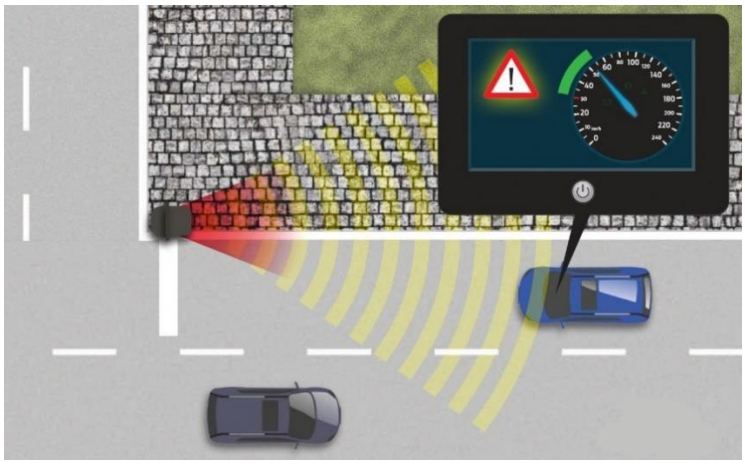
Şekil 48’de verilen hız/zaman grafiği 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Bu grafiğin oluşturulmasında kullanılan veri, hız limitinin değiştiği noktada yer alan sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 5.500. metrede bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde, bağlantılı araç yüzdesi arttıkça ortalama hızların stabil bir seviyeye yaklaştığı gözlemlenmektedir. Buna ek olarak %0 bağlantılı araç yüzdesi durumunda, ortalama hızların daha yüksek olduğu ve hızdaki dalgalanmaların çok şiddetli olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, %0 bağlantılı araç oranında, geleneksel araçların yeni hız limiti değerini, sadece 10 metre önce elde edebilmeleridir. Ancak %20 bağlantılı araç oranında yol ağında yer alan araçların %20’si hız limiti bilgisini önceden almakta ve yavaşlamaktadır. Böylelikle geleneksel araçlar da yavaşlamak durumunda kalmaktadır. Bu sebeple sadece %0 bağlantılı araç oranında, diğer oranlara kıyasla ayrışmış ve yüksek ortalama hız değerleri görülmektedir. Sonuç olarak yüksek bağlantılı araç oranlarında, stabil ve yeni hız limiti değerine uygun ortalama hızlar ile güvenliğin daha üst seviyelere çıkarıldığı söylenebilmektedir.



Şekil 48. Araç İçi Hız Limitleri K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

4.8. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA)

Bu K-AUS senaryosunda, bağlantılı araç sürücülerine, bir sonraki sinyal kontrollü kavşağın faz bilgileri aktarılmaktadır. Böylelikle sürücüler trafik ışığının ne zaman kırmızıya veya yeşile döneceği bilgisine sahip olmakta ve hızlarını bu bilgiye göre ayarlayabilmektedir. Bu K-AUS senaryosunun uygulanması ile araçların, keskin hızlanma ve yavaşlama aksiyonlarından uzak durması sağlanabilmektedir. Şekil 49'da yeşil ışık optimum hız önerisi senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (MotorWeek, 2016).



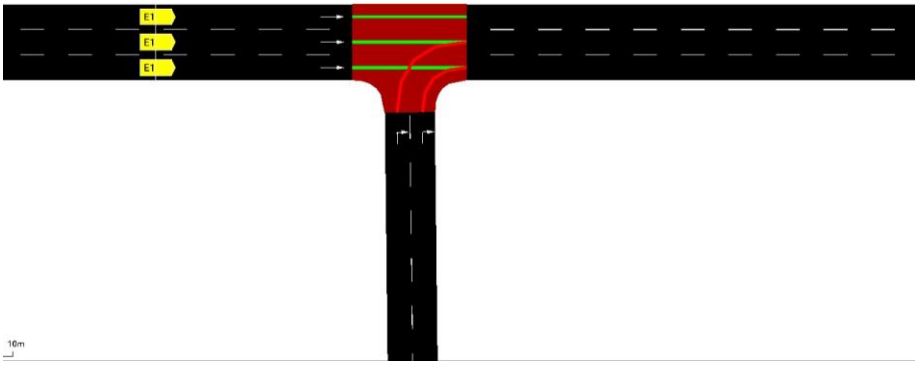
Şekil 49. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi

Bu K-AUS senaryosunun amacı, bağlantılı araç sürücülerine trafik ışığı bilgisini aktararak gereksiz ve keskin hızlanma ve yavaşlama durumlarının önüne geçilmesidir. Aynı zamanda, bu senaryonun uygulanması ile sinyalizasyon bölgelerinde daha güvenli bir sürüş sağlanabilecektir.

Kazanımlar

- Bu uygulama sayesinde sürücüler, sürüş davranışını kendilerne iletilen trafik ışığı bilgisine göre uyarlayabilir ve bu sayede güvenlik, verimlilik ve sürüş konforu artırılabilir. (C-ROADS Germany, 2023-b).

Bu simülasyon çalışmasında kullanılan yol ağı katılımsız bir yol ağı olduğu için trafik ışığı bilgisi senaryosunun uygulanabilmesi amacıyla bu yol ağına, bir katılım eklenmesi ve bu katılımın sinyalize hale getirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yolun 9.000. metresine sinyalize bir kavşak eklenmiştir. Şekil 50'de bu sinyalize kavşağın görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntüde, ana yol üzerinde sol tarafta bulunan üç sarı blok, sensörleri ifade etmektedir. Kavşak bölgesinde yer alan kırmızı ve yeşil rota çizgileri ise belirtilen rotalardaki trafik ışığı fazını temsil etmektedir.



Şekil 50. Sinyalize Kavşak

Bu K-AUS senaryosunun simülasyon ortamında modellenmesi sürecinde, sinyalizasyon noktasından belirli bir mesafe önce, bağlantılı araç sürücüleri, mevcut trafik ışığı fazı ve bu fazın ne zaman değişeceği konusunda bilgilendirilmektedir. Bu bilgilendirme, K-AUS altyapısında kurulu olarak bulunun RSU'ların, bağlantılı araçlarda yer alan OBU'ların ve trafik ışıklarının K-AUS haberleşme teknolojileri aracılığıyla veri alışverişinde bulunması ile gerçekleştirilmektedir. Bu K-AUS uygulaması ile bilgilendirilen sürücüler, yeşil ışık fazına yetişebilme veya yetişememe durumlarına göre hızlarını önceden ayarlayabilmektedir.

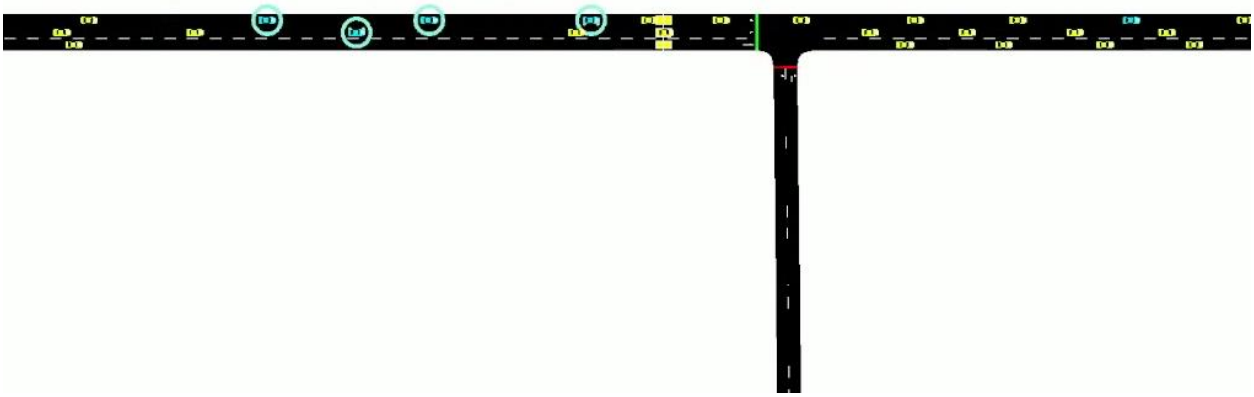
Simülasyon sırasında trafik ışığı noktasında bulunan RSU; trafik ışığı fazının yeşile veya kırmızıya döneceği süreyi, bölgedeki diğer RSU'lara aktarmaktadır. Bağlantılı araçlar, sinyalizasyon noktasının 500 metre gerisine geldiği anda, trafik ışığı faz bilgisine sahip olan RSU'lar, I2V yoluyla mevcut trafik ışığının fazını ve bu fazın kaç saniye daha devam edeceği bilgisini, bağlantılı araç sürücülerine iletmektedir ve sürücüler hızlarını bu bilgiye göre ayarlamaktadır. Yeşil faza yetişebilecek durumda olan bağlantılı araçlar, hızlarını bu kapsamda ayarlayarak yeşilde geçebilirken yetişemeyecek bağlantılı araçlar, hızlarını düşürerek trafik ışığı bölgesine güvenli bir şekilde ulaşmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler, Tablo 33'te yer almaktadır.

Tablo 33. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Araçların Trafik Işığı Bilgisi ve Hız Komutu Almaya Başladığı Mesafe (m)	500

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 51'de verilmiştir.



Şekil 51. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 51'de yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Kavşak bölgesindeki kırmızı ve yeşil çizgiler, trafik ışıklarının simülasyon ortamındaki gösterimidir. Çizgilerin rengi, trafik ışığının anlık fazını temsil etmektedir. Turkuaz halkaların içerisinde yer alan turkuaz araçlar ise kendilerine iletilen bilgilendirme doğrultusunda hareket eden bağlantılı araçlardır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı ve ortalama hız verisi toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 34'te, trafik ışığı bilgisi K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 34. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

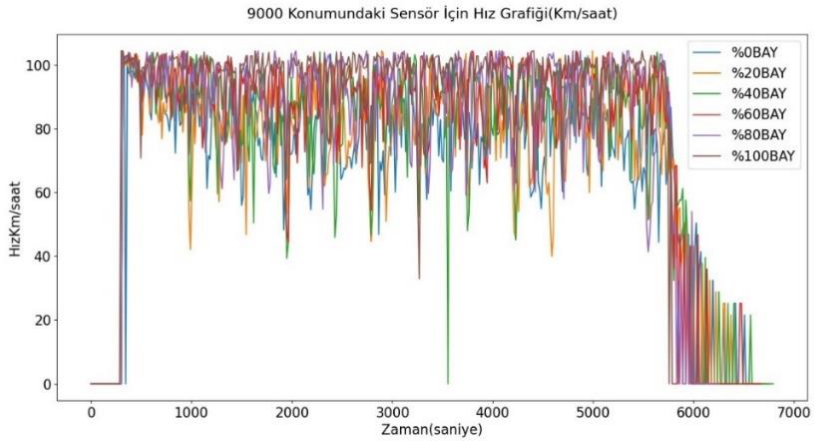
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	501.937,10	0,00	1.573.705,47	19.352,26
20	383.820,98	239,20	1.203.378,88	14.579,36
40	283.467,64	467,07	888.743,99	10.775,13
60	184.514,73	764,77	578.500,27	7.042,50
80	97.216,37	1.057,90	304.797,43	3.722,91
100	0,00	1.466,84	0,00	0,00

Tablo 35'te ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

Tablo 35. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

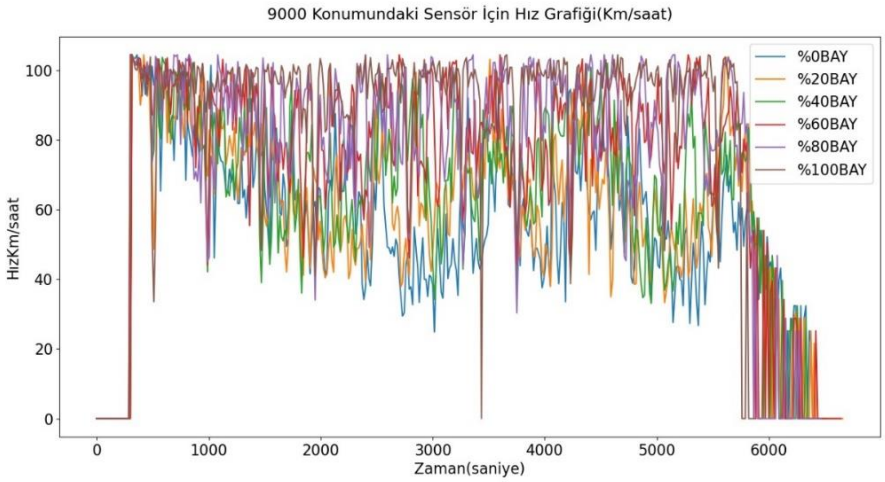
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	708.681,63	0,00	2.221.904,26	29.249,47
20	539.535,66	248,02	1.691.586,21	21.870,24
40	400.472,12	569,23	1.255.584,28	16.290,35
60	250.719,20	849,34	786.069,05	9.906,03
80	121.000,65	1.250,75	379.367,24	4.686,39
100	0,00	1.761,16	0,00	0,00

Şekil 52'de verilen hız/zaman grafiğinde 1.200 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerleri yer almaktadır. Bu grafiğin oluşturulmasında kullanılan veriler, trafik ışığı noktasında yer alan sensörden elde edilmiştir ve bu sensör 9.000. metrede bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde, %0, %20 ve %40 bağlantılı araç oranlarında, en düşük ortalama hızların görüldüğü gözlemlenmiştir. Bunun aksine, %100 ve %80 bağlantılı araç oranlarında en yüksek ortalama hızlar tespit edilmiştir. Böylelikle bu trafik talebinde, bağlantılı araç oranının artması ile birlikte ortalama hızların da arttığı çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 52. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

Şekil 53'te verilen hız/zaman grafiği ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, farklı bağlantılı araç yüzdelerine göre ortalama hız değerlerini içermektedir. Grafik incelendiğinde, trafik talebinin artması ile birlikte ortalama hızların önemli ölçüde düştüğü görülmektedir, fakat düşük bağlantılı araç yüzdelerindeki düşüşün daha sert olduğu söylenebilmektedir. Bu bağlamda, yeşil ışık optimum hız önerisi (GLOSA) senaryosunun uygulandığı durumlarda, yüksek bağlantılı araç yüzdelerinde, trafik akım verimliliği kazanımlarının korunduğu çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 53. Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi (GLOSA) K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Hız/Zaman Grafiği

4.9. Yol Dışı Park Bilgileri

Sürücülere yol dışı park bilgilerinin sağlanması, düşük hızlarda park yeri aramak için harcanan zamanı azaltarak kentsel alanlarda trafik sıkışıklıklarını ve emisyonları azaltmaya yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Bu K-AUS uygulamasının amacı, bağlantılı araç sürücülerinin ilk çıkıştan çıkmalarını sağlamak ve seyahat sürelerini düşürmektir. Böylelikle hem konfor hem de çevresel etki bakımından kazanımlar sağlanabilecektir.

Kazanımlar

- Park yeri ararken geçen sürenin optimize edilmesi
- Sürücülerin zaman kayıplarının minimize edilmesi (Asselin-Miller vd., 2016)

Bu simülasyon çalışmasında kullanılan yol ağının; katılımsız bir yol ağı olması ve yol kenarında parklanma mümkün olmadığı için araçların park edebileceği bir alan açılması gerekmektedir. Bu bağlamda, yol ağına birbirine park bölgesi ile bağlanan iki çıkış noktası eklenmiştir. "1. Çıkış", yol ağının 9.000. metresinde yer alırken "2. Çıkış", 10.000. metrede yer almaktadır. Park etmek isteyen araçlar, bu çıkış noktalarını kullanarak anayoldan ayrılabilmekte ve park edecekleri alanı bulabilmektedir. Şekil 54'te belirtilen çıkış noktaları yer almaktadır.

Şekil 54. Park Edecek Araçların Anayoldan Çıkış Yapacağı Noktalar

Bu senaryonun modellenme sürecinde, yol ağına giren araçların belirli bir oranı, park etmek isteyen araç olarak tanımlanmıştır. Bu araçlardan bağlantılı olanlara, 1. Çıkış noktasının konumu önceden iletilmektedir. Geleneksel araçlar ise bu bilgiye sahip değildir. Böylelikle bağlantılı araç sürücüleri, sürüş davranışlarını 1. Çıkıştan ayrılmaya yönelik uyarlayarak anayoldan çıkabilmektedir. Bu araçların aksine, geleneksel araçlar 1. Çıkışı kaçırmakta ve 2. Çıkışı kullanarak park bölgesine ulaşmaktadır.

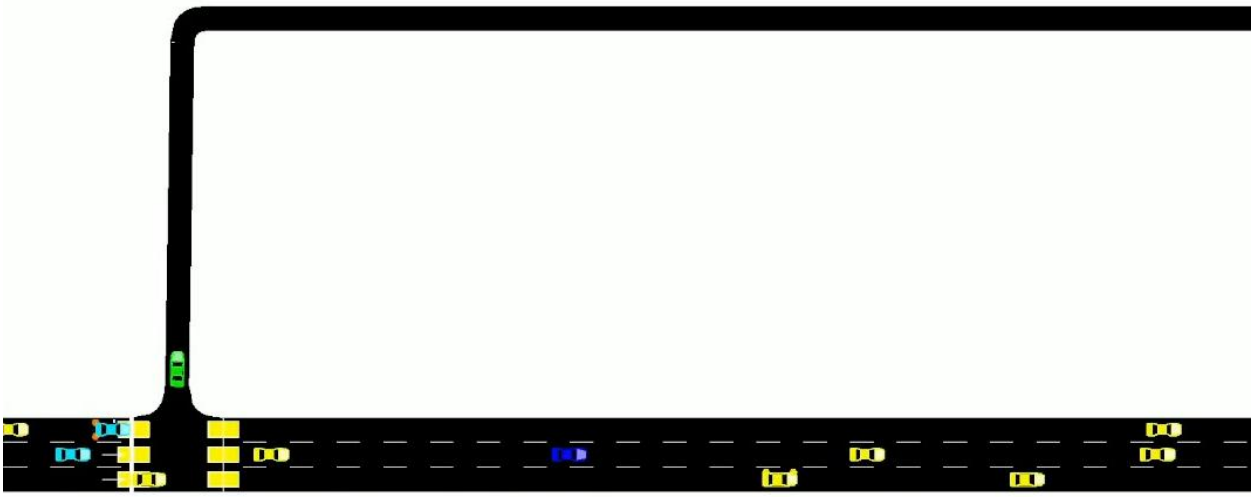
Simülasyon çalışması sırasında, yol ağına giren toplam araç sayısının %5'i park etmek isteyen araç olarak tanımlanmıştır. Bağlantılı araç yüzdesi arttıkça park etmek isteyen bağlantılı araç sayısı da artmaktadır. Bu araçlara 500 metre önceden 1. Çıkışın konum bilgisi I2V yoluyla iletildiği için park etmek isteyen geleneksel araçlara kıyasla seyahat süreleri daha düşük bir şekilde yol ağından ayrılmaktadır. Geleneksel araçlar ise ilk çıkışı kaçırdıktan sonra park alanının farkına varıp 2. Çıkıştan ayrılmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler Tablo 36'da yer almaktadır.

Tablo 36. Yol Dışı Park Bilgileri K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
1.Çıkışın Bulunduğu Lokasyon (m)	9.000
2.Çıkışın Bulunduğu Lokasyon (m)	10.000
Park Etmek İsteyen Araç Oranı	%5

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 55'te verilmiştir.



Şekil 55. Yol Dışı Park Bilgileri Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 55'te yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Lacivert renkli araçlar park yeri ihtiyacı olup park yeri bilgisini alamayan ve 2. Çıkış noktasına kadar ilerleyip oradan park yerine giriş yapacak geleneksel araçlar iken yeşil araçlar park yeri ihtiyacı olup park yeri bilgisini elde edebilen ve 1. Çıkıştan park yerine giren bağlantılı araçlardır. Yeşil aracın ana yol ağından çıkış yapıp girdiği yol ise park yeri girişi olarak tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında, ortalama seyahat süresi verisi toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

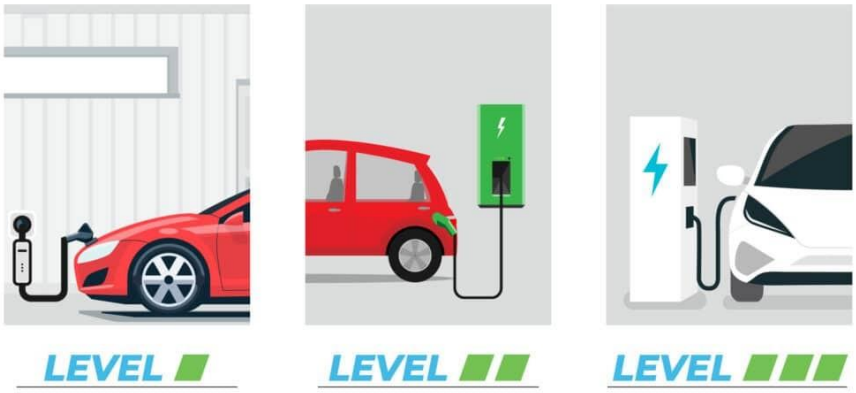
Tablo 37'de yol dışı park bilgileri K-AUS senaryosunda; araçların simülasyon yol ağına girdiği ve çıktığı toplam sürede, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit ve 1.500 araç/saat/şerit olduğu durumdaki seyahat sürelerinin bağlantılı araç yüzdesine göre değişimleri yer almaktadır. Tablo 37'deki veriler incelendiğinde, iki trafik talebinde de bağlantılı araç yüzdesinin artması ile birlikte ortalama seyahat süresinin düştüğü görülmüştür. Trafik talepleri üzerinden bir karşılaştırma yapıldığında ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, daha yüksek ortalama seyahat süreleri tespit edilmiştir. Bunun sebebi, artan trafik talebi ile yol ağındaki araç sayısının da artması ve gecikmelerin yaşanmasıdır. Tüm sonuçlar birlikte incelendiğinde, yol dışı park bilgileri K-AUS senaryosunda, bağlantılı araç oranının artması ile birlikte trafik akım verimliliğinin de arttığı çıkarımı yapılabilmektedir.

Tablo 37. Yol Dışı Park Bilgileri K-AUS Senaryosunda, Farklı Trafik Talepleri ve Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Seyahat Süreleri

Bağlantılı Araç Oranı (%)	Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Seyahat Süresi (saniye)	Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Seyahat Süresi (saniye)
0	532,11	630,69
20	496,95	563,85
40	450,66	501,72
60	409,52	447,84
80	374,69	411,71
100	344,13	354,80

4.10. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler

Bu K-AUS senaryosu; yakıt ve şarj istasyonlarının konumunu, ilgili araçlara iletmeyi hedeflemektedir. Böylece araç sahiplerinin, uygun yakıt ikmal noktalarının konumuna göre rota planlaması yapmalarına olanak tanınmaktadır. Şekil 56'da Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali & Şarj İstasyonları Bilgileri senaryosuna ilişkin bir gösterim yer almaktadır (WattLogic, 2021).



Şekil 56. Araçlar için Akaryakıt ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler

Bu K-AUS uygulamasının amacı, bağlantılı araç sürücülerinin bilgilendirilmesi ile sorunsuz bir şekilde istasyon noktasına giriş yapmalarını sağlamaktır.

Kazanımlar

- Araç yakıt dolumlarının veya şarj planlamalarının optimize edilmesi
- Yol tercihinin bu bilgilere dayanılarak yapılması (Asselin-Miller vd., 2016)

Bu simülasyon çalışmasında kullanılan yol ağının, katılımsız bir yol ağı olması ve anayoldan çıkılarak yakıt ve şarj istasyonuna girilecek bir yol ayrımının bulunmaması nedeniyle yakıt ve şarj istasyonunun, yol ağına eklenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yol ağına paralel ve tek şeritli bir yol eklentisi yapılmıştır. Anayoldan çıkan araçlar, bu eklenti üzerinde yakıt ikmali yapıp yeniden anayola katılım sağlamaktadır. Belirtilen yol eklentisi, Şekil 57'de yer almaktadır. Bu yol ağında sağ tarafta bulunan sarı bloklar, sensörleri temsil etmektedir. Ana yoldan ayrılan yol üzerindeki yeşil blok ile alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgileri göstermektedir.

Şekil 57. Yakıt ve Şarj İstasyonu

Bu senaryoda yol ağına giriş yapan araçların belirli bir bölümü, yetersiz yakıt dolayısıyla istasyona girmesi gereken araç olarak tanımlanmıştır. Bağlantılı araç sürücüleri, istasyonun konumu hakkında önceden bilgilendirilmekte ve sürüşlerini bu istasyona girecek şekilde ayarlayabilmektedir. Geleneksel araçlar ise istasyon konumu hakkında bilgi sahibi değildir. Ek olarak istasyona giriş yapacak araçlar, yetersiz yakıta sahip olacak şekilde tanımlandığı için istasyonu kaçıran araçların yakıtı tükenmekte ve belirli bir süre boyunca yolda kalmaktadır.

Simülasyon çalışması sırasında, bağlantılı araçlara, istasyon konumundan 1.000 metre önce I2V yoluyla bilgilendirme yapılmakta ve sorunsuz şekilde istasyona girişleri sağlanmaktadır. Bu bilgilendirme altyapıda yer alan RSU'lar tarafından, bağlantılı araçların OBU'larına iletilerek yapılmaktadır. Bağlantılı araçların aksine, geleneksel araçlar istasyon konumunu bilmediği için istasyona giriş yapamamakta ve yakıtları bittiği için 12 dakika boyunca sağ şeritte hareketsiz kalmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler, Tablo 38'de yer almaktadır.

Tablo 38. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Yakıt İkmali Yapamayan Aracın Yolda Kaldığı Süre (s)	720
Yakıt İkmali Yapamayan Aracın Yolda Kaldığı Şerit	Sağ

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 58'de verilmiştir.

Şekil 58. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 58'de yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Yakıt ve şarj istasyonunun konumu, ana yoldan ayrılan yol üzerindeki yeşil dikdörtgen bölgedir. Yakıt veya şarj ihtiyacı olan araçların, bu yola girerek bu bölgede durmaları sağlanmıştır. Kırmızı halka içerisinde yer alan sarı araç ise yakıt ihtiyacı olup bu istasyon konusunda bilgilendirilmeyen araçtır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 ve CO salınımı ve yoğunluk verisi toplanmıştır. Toplanan veriler görselleştirilmiş ve analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; bağlantılı araçlar elektrikli olarak değerlendirilmiştir, bu nedenle bağlantılı araç yüzdesi arttıkça yakıt tüketiminin ve salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 39'da alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgiler K-AUS senaryosunda, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO ve CO2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu ve trafiğin tamamen geleneksel araçlardan oluştuğu durumda ise yakıt tüketiminin, CO_2 ve CO salınımının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 39. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

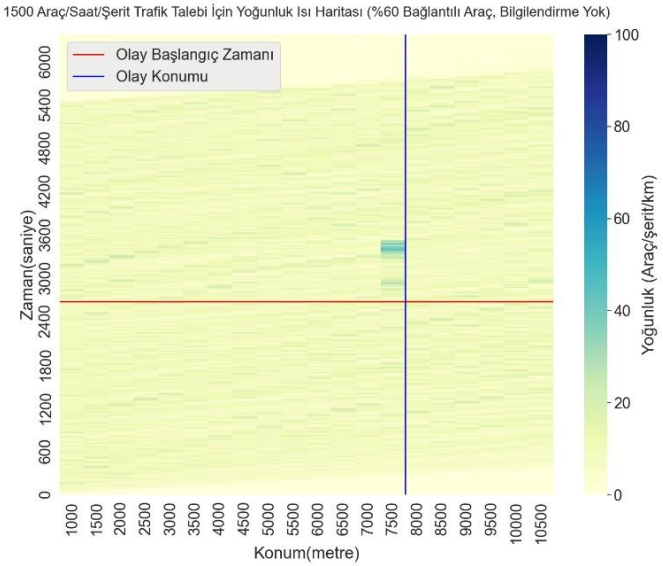
Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	547.001,76	0,00	1.714.995,72	20.544,14
20	415.350,30	284,58	1.302.231,63	15.307,12
40	304.337,34	537,95	954.175,97	1.1272,42
60	195.878,29	840,96	614.127,90	7.285,37
80	102.462,65	1.138,20	321.245,93	3.919,48
100	0,00	1.646,84	0,00	0,00

Tablo 40'ta ise trafik talebinin 1.500 araç/saat/şerit olduğu ve farklı bağlantılı araç yüzdelerinin bulunduğu durumlarda ölçülen yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, CO_2 salınımı ve CO salınımı değerleri yer almaktadır. Veriler incelendiğinde, salınım trendinin 1.200 araç/saat/şerit trafik talebi kapsamında elde edilen veriler ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak CO_2 salınımının, bağlantılı araç yüzdesinin %100 olduğu durumda oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek yakıt tüketimi ile CO_2 ve CO salınımı, bağlantılı araç yüzdesinin %0 olduğu durumda gözlenmiştir.

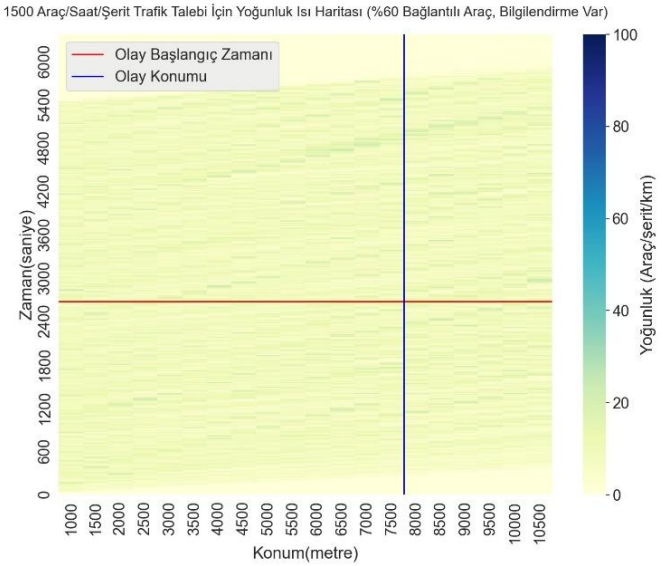
Tablo 40. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda, Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Emisyon Değerleri

Bağlantılı Elektrikli Araç Oranı (%)	Geleneksel Araç Yakıt Tüketimi (mg)	Bağlantılı Araç Elektrik Tüketimi (W)	CO_2 (mg)	CO (mg)
0	725.470,42	0,00	2.274.543,82	28.020,45
20	565.702,98	282,80	1.773.629,31	21.772,85
40	397.065,69	646,35	1.244.904,93	15.089,38
60	270.989,94	1.065,75	849.623,13	10.315,51
80	124.083,18	1.312,33	389.031,79	4.742,83
100	0,00	2.049,15	0,00	0,00

Şekil 59'da 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde, %60 bağlantılı araç oranında ve bağlantılı araçların, alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgiler konusunda bilgilendirilmediği senaryonun yoğunluk ısı haritası yer almaktadır. Şekil 60'da ise aynı değişkenler ile oluşturulan senaryonun, bilgilendirme yapılan hali bulunmaktadır. Bu bağlamda, bilgilendirmenin yapılmadığı durumlarda, yüksek yoğunluk bölgelerinin görüldüğü, fakat bilgilendirmenin yapıldığı durumlarda, bu bölgelerin görülmediği söylenebilmektedir.



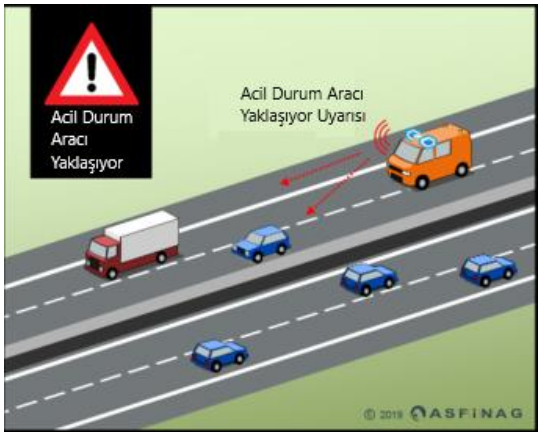
Şekil 59. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda Bağlantılı Araçları Bilgilendirme Sisteminin Çalışmadığı, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası



Şekil 60. Alternatif Yakıtlı Araç Yakıt İkmali ve Şarj İstasyonları Hakkında Bilgiler K-AUS Senaryosunda Bağlantılı Araçları Bilgilendirme Sisteminin Çalıştığı, Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit ve Bağlantılı Araç Oranının %60 Olduğu Durumda Yoğunluk Isı Haritası

4.11. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı

Bu K-AUS hizmeti, yol kullanıcılarına bir acil durum aracının yaklaştığını bildiren bir acil durum aracı uyarısı iletmektedir. Bu uygulama sayesinde, yol kullanıcılarının hızlıca acil durum şeridi oluşturmaları sağlanmaktadır. Şekil 61'de acil durum aracı yaklaşma uyarısına ilişkin bir gösterim yer almaktadır (C-Roads, 2023).



Şekil 61. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı

Kazanımlar

- Acil durum şeritlerinin oluşturulması sırasında, özellikle trafik sıkışıklığı durumunda, otoyollarda meydana gelen trafik kazalarının sayısının ve şiddetinin azaltılması
- Acil durum şeritlerinin hızlıca oluşturulması yoluyla acil durum müdahale ekiplerinin hızlandırılması ve optimizasyonu
- Yol kullanıcıları için güvenilir, güncel trafik bilgilerinin sağlanması (C-ROADS Germany, 2023-d)

Bu K-AUS senaryosunda, yol ağına acil durum aracı girdikten sonra, bu aracın önünde ve belirli bir yakınlıkta bulunan bağlantılı araçlara, acil durum aracı yaklaşma uyarısı verilmektedir. Bu uyarı ile bağlantılı araç sürücülerinin şerit değiştirmesi ve acil durum şeridinin oluşturulması hedeflenmektedir.

Yapılan simülasyon çalışmasında, yol ağına giriş yapan acil durum araçları, orta şeritte seyahat etmektedir. Acil durum aracı anlık olarak konum bilgisini, V2I yoluyla K-AUS altyapısında kurulu olarak bulunan RSU'lara iletmektedir. RSU'lar tarafından elde edilen bu bilgi, acil durum aracı ile arasında 250 metre veya daha az bir mesafe bulunan bağlantılı araçların OBU'larına I2V yoluyla

aktarılmaktadır ve bu araçların sürücüleri, orta şeridi boşaltmaları konusunda bilgilendirilmektedir. Böylelikle acil durum aracının, hızlı ve güvenli bir şekilde seyahat etmesine olanak tanınmaktadır.

Bu senaryonun modellenme sürecinde kullanılan simülasyon değişkenleri ve bu değişkenlere atanan değerler, Tablo 41'de yer almaktadır.

Tablo 41. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı K-AUS Senaryosunun Simülasyon Değişkenleri

Değişken	Değer
Trafik Talebi (Araç/Şerit/Saat)	1.200, 1.500
Bağlantılı Araç Oranı	%0, %20, %40, %60, %80, %100
Acil durum aracının seyahat ettiği şerit	Orta
Bağlantılı araçların acil durum aracı hakkında bilgilendirilmeye başlandığı mesafe (m)	250

Simülasyon ortamında modellenme süreci tamamlandıktan sonra, benzetim çalışmalarına başlanmıştır. Bu senaryonun, SUMO simülasyon ortamındaki gösterimi, Şekil 62'de verilmiştir.

Şekil 62. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı Senaryosunun Simülasyonu Sırasında Alınan Anlık Görüntü

Şekil 62'de yer alan bağlantılı araçlar turkuaz renkle gösterilirken geleneksel araçlar sarı renkle gösterilmiştir. Acil durum aracı kırmızı halka içerisinde yer almaktadır. Turkuaz halka içerisindeki araçlar ise acil durum aracının yaklaştığı bilgisini önceden alarak bu bilgi doğrultusunda hareket eden araçlardır. Gerçekleştirilen simülasyon sırasında, ortalama seyahat süresi verileri toplanmıştır ve toplanan verilerin analizi yapılmıştır.

Tablo 42'de acil durum aracı yaklaşma uyarısı K-AUS senaryosunda; araçların simülasyon yol ağına girdiği ve çıktığı toplam sürede, trafik talebinin 1.200 araç/saat/şerit ve 1.500 araç/saat/şerit olduğu durumdaki seyahat sürelerinin, bağlantılı araç yüzdesine göre değişimleri yer almaktadır. Tablo 42'de görüldüğü üzere 1.200 araç/saat/şerit trafik talebinde ve %0 bağlantılı araç oranında ortalama seyahat süresi 527,5 saniye iken bağlantılı araç oranının artması ile birlikte bu değer

düşmektedir ve %100 bağlantılı araç oranında 444,2 saniyeye kadar gerilemektedir. Aynı trend 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde de yer almaktadır. Trafik talepleri üzerinden bir karşılaştırma yapıldığında ise 1.500 araç/saat/şerit trafik talebinde daha yüksek ortalama seyahat süreleri tespit edilmiştir. Bunun sebebi, artan trafik talebi ile yol ağındaki araç sayısının da artması ve gecikmelerin yaşanmasıdır. Tüm sonuçlar birlikte incelendiğinde, acil durum aracı yaklaşma uyarısı K-AUS senaryosunda, bağlantılı araç oranının artması ile birlikte trafik akım verimliliğinin de arttığı çıkarımı yapılabilmektedir.

Tablo 42. Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı K-AUS Senaryosu Farklı Trafik Talepleri ve Farklı Bağlantılı Araç Yüzdelerine Göre Oluşan Seyahat Süresi Tablosu

Bağlantılı Araç Oranı (%)	Trafik Talebinin 1.200 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Seyahat Süresi (saniye)	Trafik Talebinin 1.500 Araç/Saat/Şerit Olduğu Durumda Ortalama Seyahat Süresi (saniye)
0	527,5	576,7
20	517,5	535,8
40	486,7	532,5
60	504,2	512,5
80	460,0	498,3
100	444,2	451,7

BÖLÜM V

5. SONUÇ

K-AUS; araçların birbirleriyle ve çevresindeki altyapı ile etkileşime girmesini sağlayarak sürücülere, karşılaştıkları durumlara bağlı olarak doğru zamanda, doğru bilgileri sunmayı hedefleyen bir sistemdir. Bu sistemin uygulanması ile elde edilebilecek birçok kazanımlar bulunmaktadır. Bunlar arasında trafik akım verimliliğini, trafik güvenliğini ve kullanıcıların konforunu artırmak yer almaktadır. Beklenmedik durumları önlemek amacıyla araçlara, gerçek zamanlı bilgiler sağlamak da K-AUS'un amaçları arasında yer almaktadır.

K-AUS'un uygulanabileceği farklı senaryolar vardır. Bu senaryolar; bölgesel ihtiyaçlar, sağlanması amaçlanan kazanımlar, fayda/maliyet analizi gibi hususlar göz önünde bulundurularak önceliklendirilebilmektedir. Bu çalışmada, analiz etmek üzere K-AUS senaryoları önceliklendirilmiş ve bu doğrultuda, 11 adet senaryo seçilmiştir. Bunlar;

- Yavaş veya durağan araç
- İleride trafik sıkışıklığı uyarısı
- Yol çalışması uyarısı
- Yolda insan (savunmasız yol kullanıcısı ve diğer canlı varlıklar) mevcudiyeti uyarısı
- Yol üzerinde engel uyarısı
- Tehlikeli yer bildirimi (kaza kara noktası bilgisi dahil)
- Araç içi hız limitleri
- Yeşil ışık optimum hız önerisi (GLOSA)
- Yol dışı park bilgileri
- Alternatif yakıtlı araç yakıt ikmali ve şarj istasyonları hakkında bilgiler
- Acil durum aracı yaklaşma uyarısıdır.

Bu senaryoların farklı koşullarda trafiğe etkileri, simülasyonlar ile hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Simülasyonlar, farklı trafik senaryolarını taklit ederek K-AUS senaryolarının, trafiğe nasıl etki edeceğinin öngörülmesini sağlamaktadır. Bu nedenle K-AUS uygulamalarının gerçek trafik koşullarında uygulanmasına geçilmeden önce, simülasyon ortamında kapsamlı test çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmada; belirtilen 11 K-AUS senaryosunun, farklı trafik koşullarında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu simülasyon test çalışmaları, SUMO Simülasyon Yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Senaryoların modellemesine geçilmeden önce yol ağı, altyapı ve araç modellemeleri tamamlanmıştır. Ardından, simülasyon değişkenlerine karar verilmiştir. Bunlar; altı farklı bağlantılı araç yüzdesi, iki trafik talebi ve beş simülasyon tohumudur. Ek olarak K-AUS senaryoları kapsamında bağlantılı araçlara iletilecek mesajların ne olacağına ve bu mesajların hangi haberleşme sistemleri (V2V, V2I, I2V, C2I ve I2C) ile ne şekilde iletileceğine karar verilmiştir. Aynı zamanda, farklı K-AUS senaryolarında; bağlantılı araçlarda yer alan OBU'ları, K-AUS altyapısında kurulu olan sensör ve kameraları baz alan olay tespit sistemi ve şok dalgası teorisini baz alan hız hesaplama sistemi gibi farklı sistemler kullanılmıştır. Senaryoların tanımlarına ve hedeflerine uygun olacak şekilde, hangi senaryoda hangi sistemlerin bir arada ve entegre bir şekilde kullanılacağına karar verilmiştir. Son olarak K-AUS senaryoları, simülasyon ortamında modellenmiş ve yürütülmüştür.

Yapılan simülasyon çalışmalarında; K-AUS senaryolarının trafiğe etkilerinin incelenmesi ve bu etkilerin farklı bağlantılı araç yüzdelerinde, trafik taleplerinde ve senaryo bazlı değişkenlerde nasıl değiştiğinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Simülasyon çalışmaları kapsamında kullanılan bağlantılı araçlar, elektrikli araç olarak modellenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, K-AUS senaryolarının trafik güvenliğini ve trafik akım verimliliğini artırdığı, elektrikli araç yüzdesinin artması ile birlikte CO_2 ve CO salınımlarında büyük iyileştirmeler elde edildiği gözlenmiştir.

Katkı Beyanı

Bu raporun içerik ve tasarım açısından düzenlenmesi, güncellenmesi, gerekli ilavelerin yapılması gibi editörlük ve yayın süreci çalışmalarında; Dr. Ömer Fatih SAYAN, Aysel KANDEMİR, Esma DİLEK, Murat Mustafa HARMAN, Özgür TALİH, Tuğçe KAYAKÖK ve Ertuğrul HASGÜL katkı sunmuştur.

Sorumluluk Reddi Beyanı

"K-AUS Senaryolarının Simülasyon Ortamında Uygulanarak Test Edilmesi Raporu" (bundan böyle kısaca "Rapor" olarak anılacaktır), Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü (bundan böyle kısaca "UAB HGM" olarak anılacaktır) tarafından sadece bilgilendirme amaçlı olarak hazırlanmıştır. Bu Rapor'da yer alan içerik ve bilgiler, Rapor'un hazırlandığı zaman diliminde doğru ve güvenilir olduğuna inanılan bilgiler ve kaynaklar kullanılarak hazırlanmış olup bu Rapor'da yer alan bilgi ve içerikler, herhangi bir beyan, garanti ve/veya taahhüt olarak yorumlanamayacağı gibi Rapor'da yer alan bilgi ve içeriğin eksiksiz ve değişmez olduğu garanti edilmemektedir. Bu Rapor'da yer alan tüm fikir ve görüşler, sadece Rapor'un yazarlarına ait olup UAB HGM'nin resmi görüşünü yansıtmamaktadır. UAB HGM, Rapor'daki bilgilerin kullanılması nedeniyle herhangi bir kişiye veya kuruma karşı sorumlu tutulamaz. UAB HGM'nin yöneticileri, çalışanları ve Rapor'un hazırlanmasında katkıda bulunan diğer tüm şahıslar ve kurumlar, bu Rapor kapsamında iletilen herhangi bir bilgi veya iletişimden veya bu Rapor'da yer alan bilgilere dayanan veya Rapor'da yer almayan bir bilgi neticesinde bir kişinin veya kurumun doğrudan veya dolaylı olarak uğrayacağı kayıp ve zararlardan sorumlu değildir. Bu Rapor'un her hakkı, UAB HGM'ye aittir.

KAYNAKÇA

5GAA. (2018). *C-V2X Direct Communications Multi-Vehicle Interoperability*. https://5gaa.org/content/uploads/2018/07/CV2X_DirectCommunicationsMultiHevicleInteroperability.pdf

Asselin-Miller, N., Biedka, M., Gibson, G., Kirsch, F., Hill, N., White, B., & Uddin, K. (2016). *Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report*. https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-10/2016-c-its-deployment-study-final-report.pdf

ASTM International. (2018). *E2213 Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems — 5-GHz Band Dedicated Short-Range Communications (DSRC), Medium Access Control (MAC), and Physical Layer (PHY) Specifications*. https://www.astm.org/e2213-03r18.html

Bautista, P. B., Urquiza-Aguiar, L., & Igartua, M. A. (2020). Evaluation of Dynamic Route Planning Impact on Vehicular Communications with SUMO. *MSWiM 2020-Proceedings of the 23rd International ACM Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 27-35. https://doi.org/10.1145/3416010.3423233

BBC News. (2015). *Ford cars slow when they see speed-limit signs*. https://www.bbc.com/news/technology-32049350

Be-Mobile. (2023). *Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)*. https://be-mobile.com/solutions/traveler-information/cooperative-intelligent-transport-systems-c-its

Brockfeld, E., Kühne, R. D., & Wagner, P. (2005). Calibration and validation of microscopic models of traffic flow. *Transportation Research Record*, *1934*, 179-187. https://doi.org/10.3141/1934-19

Brockfeld, E., & Wagner, P. (2004). *Testing and Benchmarking of Microscopic Traffic Flow Models*. https://www.researchgate.net/publication/224793552_Testing_and_Benchmarking_of_Microscopic_Traffic_Flow_Models

Chen, W., & Liu, Y. (2019). Gap-based automated vehicular speed guidance towards eco-driving at an unsignalized intersection. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, *7*(1), 147-168. https://doi.org/10.1080/21680566.2017.1365661

China ITS Industry Alliance. (2023). *List of Standarts categorized by year*. https://www.c-its.org.cn/en/Index/lists/catid/18.html

Cooperative Urban Mobility Portal. (2021). *Slow or Stationary Vehicle Warning (SSVW)*. https://co-ump.eu/portal/slow-or-stationary-vehicle-warning/

C-ROADS. (2021). *C-ITS pioneering demonstration in Austria*. https://www.c-roads.eu/platform/about/news/News/entry/show/c-its-pioneering-demonstration-in-austria.html

C-ROADS Germany. (2023a). *EVA-Emergency Vehicle Approaching*. https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/eva/

C-ROADS Germany. (2023b). *GLOSA* . https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/glosa/

C-ROADS Germany. (2023c). *RWW-Road Works Warning*. https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/rww/

C-ROADS Germany. (2023d). *TJW-Traffic Jam Ahead Warning*. https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/tjw/

ETSC | European Transport Safety Council. (2017). *BRIEFING Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)*. https://goo.gl/MeLqpo

EURO NCAP Advanced. (2020). *Volkswagen Local Hazard Warning*. https://cdn.euroncap.com/media/58058/volkswagen-local-hazard-warning.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2004). *EN 300 674-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5,8 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band; Part 1: General characteristics and test methods for Road Side Units (RSU) and On-Board Units (OBU)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300600_300699/30067401/01.02.01_60/en_30067401v010201p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2009). *TR 102 638 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102638/01.01.01_60/tr_102638v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2010). *TS 102 637-1-V1.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263701/01.01.01_60/ts_10263701v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2018). *TS 123 285 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Architecture enhancements for V2X services (3GPP TS 23.285 version 14.5.0 Release 14)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123200_123299/123285/14.05.00_60/ts_123285v140500p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020a). *Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.03.01_60/ts_103301v010301p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020b). *TR 137 985 LTE; 5G; Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR (3GPP TR 37.985 version 16.0.0 Release 16)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/137900_137999/137985/16.00.00_60/tr_137985v160000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020c). *TS 103 301 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.03.01_60/ts_103301v010301p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020d). *TS 122 185-V16.0.0-LTE; Service requirements for V2X services (3GPP TS 22.185 version 16.0.0 Release 16)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122100_122199/122185/16.00.00_60/ts_122185v160000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020e). *TS 123 287 5G; Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support Vehicle-to-Everything (V2X) services (3GPP TS 23.287*

version 16.4.0 Release 16). https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123200_123299/123287/16.04.00_60/ts_123287v160400p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020f). *TS 124 385-V16.2.0-LTE; V2X services Management Object (MO) (3GPP TS 24.385 version 16.2.0 Release 16)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/124300_124399/124385/16.02.00_60/ts_124385v160200p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2021a). *TS 102 940-V2.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management; Release 2*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102940/02.01.01_60/ts_102940v020101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2021b). *TS 103 794-V1.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X Access layer for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band; Test specification*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103794/01.01.01_60/ts_103794v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2021c). *TS 124 587 5G; Vehicle-to-Everything (V2X) services in 5G System (5GS); Stage 3 (3GPP TS 24.587 version 16.3.0 Release 16)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/124500_124599/124587/16.03.00_60/ts_124587v160300p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2022). *TS 122 186-V17.0.0-5G; Service requirements for enhanced V2X scenarios (3GPP TS 22.186 version 17.0.0 Release 17)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122100_122199/122186/17.00.00_60/ts_122186v170000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2023a). *TS 103 324-V2.1.1-Intelligent Transport System (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Collective Perception Service; Release 2*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103324/02.01.01_60/ts_103324v020101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2023b). *TS 103 759-V2.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Misbehaviour Reporting service; Release 2*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103759/02.01.01_60/ts_103759v020101p.pdf

Ghoul, T., & Sayed, T. (2021). Real-time signal-vehicle coupled control: An application of connected vehicle data to improve intersection safety. *Accident Analysis & Prevention*, *162*, 106389. https://doi.org/10.1016/J.AAP.2021.106389

Gokasar, I. (2021). Traffic Incident Management in Uninterrupted Flows Using Connected Autonomous Vehicles | Project Code: 120M574. Içinde *TUBITAK 1001*.

Gokasar, I. (2023). *Real Time Traffic Management in Uninterrupted Traffic Flow using Connected Vehicles | Çok disiplinli BAP*.

Gokasar, I., Arisoy, A. A., Deveci, M., & Mardani, A. (2023). Evaluation of a New Real-Life Traffic Management Using a Limited Number of Connected Autonomous Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3285913

Gokasar, I., Timurogullari, A., Deveci, M., & Garg, H. (2023). SWSCAV: Real-time traffic management using connected autonomous vehicles. *ISA Transactions*, *132*, 24-38. https://doi.org/10.1016/J.ISATRA.2022.06.025

Gokasar, I., Timurogullari, A., Ozkan, S. S., & Deveci, M. (2023). IDILIM: incident detection included linear management using connected autonomous vehicles. *Annals of Operations Research*, 1-20. https://doi.org/10.1007/S10479-023-05280-Y

Ibrahim, A., Cicic, M., Goswami, D., Basten, T., & Johansson, K. H. (2019). Control of Platooned Vehicles in Presence of Traffic Shock Waves. *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, ITSC 2019*, 1727-1734. https://doi.org/10.1109/ITSC.2019.8917389

IEEE Standards Association. (2011, Mart 21). *IEEE 802.11p-2010*. IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. https://standards.ieee.org/ieee/802.11p/3953/

IEEE Standards Association. (2019, Ekim 22). *IEEE 1609.12-2019*. https://standards.ieee.org/ieee/1609.12/7446/

International Organization for Standardization (ISO). (2016). *ISO/TS 17426:2016-Intelligent transport systems — Cooperative systems — Contextual speeds*. https://www.iso.org/standard/59724.html

International Organization for Standardization (ISO). (2019, Haziran). *ISO/TS 19091:2019-Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections*. https://www.iso.org/standard/73781.html

Krauß, S. (1998). *Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics*. https://sumo.dlr.de/pdf/KraussDiss.pdf

May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*. Prentice Hall. https://trid.trb.org/view/356201

MetroCount. (2021). *RoadPod VL*. https://www.metrocount.com/sites/default/files/2023-05/MetroCount%20-%20RoadPodVL.pdf

Motamedidehkordi, N., Margreiter, M., & Benz, T. (2016). Shockwave Suppression by Vehicle-to-Vehicle Communication. *Transportation Research Procedia*, *15*, 471-482. https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2016.06.040

MotorWeek. (2016). *Ford giving the green light to new driver assistance technology* . https://www.motorweek.org/auto_news/this_just_in/ford-giving-the-green-light-to-new-driver-assistance-technology

Ramezani, M., MacHado, J. A., Skabardonis, A., & Geroliminis, N. (2017). Capacity and delay analysis of arterials with mixed autonomous and human-driven vehicles. *5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, MT-ITS 2017-Proceedings*, 280-284. https://doi.org/10.1109/MTITS.2017.8005680

SAE International. (2002, Şubat 7). *J2395_200202: ITS In-Vehicle Message Priority*. https://www.sae.org/standards/content/j2395_200202/

SAE International. (2018). *J2945/2_201810: Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness*. https://www.sae.org/standards/content/j2945/2_201810/

SAE International. (2020, Temmuz 8). *J2945/1A_202007: Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications*. https://www.sae.org/standards/content/j2945/1a_202007/

SAE International. (2021). *J3269 (WIP) Vehicular precise positioning system reference architecture-*. https://www.sae.org/standards/content/j3269/

SAE International. (2022a). *J3161/1_202203: On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications* -. https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/

SAE International. (2022b). *J3161/1A_202204: Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications-*. https://www.sae.org/standards/content/j3161/1a_202204/

SAE International. (2022c). *J3161_202204: LTE Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for Single Radio Channel Multi-Service Coexistence-SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j3161_202204/

SAE International. (2022d, Mart 21). *J3161/1_202203: On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications-SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/

SAE International. (2022e, Nisan 25). *J3161/1A_202204: Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications-SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j3161/1a_202204/

SAE International. (2023a). *J2945/1B_202311: On-Board System Requirements for V2V Safety Communications by Non-Light-Duty Vehicles and Motorcycles-*. https://www.sae.org/standards/content/j2945/1b_202311/

SAE International. (2023b, Ağustos 1). *J2945/7_202308: High-Precision Positioning for V2X Systems-SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j2945/7_202308/

Song, J., Wu, Y., Xu, Z., & Lin, X. (2015). Research on car-following model based on SUMO. *Proceedings of 2014 IEEE 7th International Conference on Advanced Infocomm Technology, IEEE/ICAIT 2014*, 47-55. https://doi.org/10.1109/ICAIT.2014.7019528

SUMO Documentation. (2023a). *elements*. https://sumo.dlr.de/docs/Netedit/elements.html

SUMO Documentation. (2023b). *TraCI*. https://sumo.dlr.de/docs/TraCI.html#v2x_simulation

TechStreet. (2023). *IEEE 802.11bd-2022*. https://www.techstreet.com/standards/ieee-802-11bd-2022?product_id=2251332

United States Department of Transportation. (2009). *IEEE 1512-Family of Standards for Incident Management Message Sets*. https://www.standards.its.dot.gov/Factsheets/Factsheet/12

Wang, B., Florez, S. A. R., & Fremont, V. (2014). Multiple obstacle detection and tracking using stereo vision: Application and analysis. *2014 13th International Conference on Control Automation Robotics and Vision, ICARCV 2014*, 1074-1079. https://doi.org/10.1109/ICARCV.2014.7064455

WattLogic. (2021). *EV Charging: Ultimate Guide To Electrifying A Commercial EV Future*. https://wattlogic.com/blog/commercial-ev-charging-guide/

Wegener, A., Piórkowski, M., Raya, M., Hellbrück, H., Fischer, S., & Hubaux, J. P. (2008). TraCI: An interface for coupling road traffic and network simulators. *Proceedings of the 11th Communications and Networking Simulation Symposium, CNS'08*, 155-163. https://doi.org/10.1145/1400713.1400740

Zutobi. (2022). *UK Pedestrian Crossings: Pelican, Puffin, Zebra and Toucan*. https://zutobi.com/uk/driving-guides/pedestrian-crossings

K-AUS SENARYOLARININ SİMÜLASYON ORTAMINDA UYGULANARAK TEST EDİLMESİ RAPORU