



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

*[KAVŞAKLARDA TRAFİK YOĞUNLUĞUNA GÖRE
SİNYALİZASYONUN ETKİNLİĞİNİ ARTTIRMAYA YÖNELİK
HİBRİT BİR MODEL]*

[Eray ERBAY]

[Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı]

[Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı]

DANIŞMAN
[Prof. Dr.] [Ergün EROĞLU]

[Aralık, 2022]

İSTANBUL

Bu çalışma, [16.01.2023] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından [Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı], [Akıllı Ulaşım Sistemleri Programı]nda [Yüksek Lisans tezi] olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

[Prof. Dr.] [Ergün EROĞLU] (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
İşletme Fakültesi

[Doç. Dr.] [Ersin NAMLI]
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

[Dr. Öğr. Üyesi] [Bahadır Fatih YILDIRIM]
İstanbul Üniversitesi
Ulaştırma ve Lojistik Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

[Kentsel nüfusun arttığı günümüz şartlarında, özellikle şehir içi ulaşım ağının en önemli unsurlarından olan kavşakların sinyalizasyon sistemleri iyi yapılamadığında, taşıtların seyahat süreleri artmakta, kavşakta taşıtların uzun süre beklemesiyle metrelerce araç kuyrukları oluşmaktadır.

Uzun araç kuyruklarının yol açtığı maddi ve manevi birçok problem vardır. Taşıtların gereksiz yere çalışarak harcadığı yakıt miktarı, atmosfere egzozdan çıkan karbon ve azot bileşenli sera gazı etkisi yaratan zararlı emisyonların salınması ve uzun süre stres altında kalan sürücülerin yaşadığı psikolojik rahatsızlıklar, bunların hepsi kavşaklarda ortalama taşıt gecikme süresinin artmasıyla yaşanan problemlere örnektir.

İyi bir sinyalizasyon yöntemi ile kavşak üzerindeki her yaklaşım kolu için, sahip olunan trafik hacmine göre, faz ve devre süresi ayarlanmaktadır. Çeşitli analiz yöntemleri ile kavşakta yapılan iyileştirme işlemleri sonunda; kavşakta bekleyen araç sayılarında, toplam seyahat sürelerinde ve ortalama taşıt gecikme süresinde azalma elde edilir. Tez çalışmasında, üç kollu örnek bir kavşak üzerinde yapılan sinyalizasyon ile değişen trafik hacimleri dikkate alınarak optimum faz ve devre süreleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, hem maddi hem de manevi kazançlar hedeflenmiştir.

Çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ergün EROĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmam boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili aileme tüm kalbimle şükranlarımı sunarım.]

Aralık 2022

[Eray ERBAY]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

[ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvii
ÖZET	xx
SUMMARY	xxii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. LİTERATÜR TARAMASI:	5
2.2. KAVŞAKLAR	6
2.2.1. Denetimsiz Eş Düzey Kavşaklar:	9
2.2.2. Denetimli Eş Düzey Kavşaklar:	10
2.2.2.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri:	12
2.2.2.2. Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri:	12
2.2.2.3. Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri:	13
2.2.2.4. Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri:	13
2.2.2.5. Yeşil Dalga Koordinasyonu:	15
2.2.2.6. Tramvay Önceliği:	15
2.3. TRAFİK SİNYALİZASYONU TEMEL PARAMETRELERİ.....	16
2.4. TRAFİK KONTROL VE SİNYALİZASYON CİHAZLARI	19
2.5. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ	22
2.5.1. AUS Teknolojilerine Duyulan İhtiyaç ve Faydaları:	23
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	25
3.1. KAVŞAKLARDA KAPASİTE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	25
3.1.1. Sinyalizasyon Devre Süresinin Hesaplanması:	25
3.1.2. Sinyalizasyonun Taşıt Gecikme Süresi Üzerindeki Etkisi:	26
3.1.3. Taşıt Gecikme Hesabında Kullanılan Başlıca Yöntemler:	27
3.2. SENARYOLAR.....	28
3.2.1. Analiz Yaklaşımları ve Modellemeleri:	30

3.2.1.1.	<i>Webster Yaklaşımı Analizi:</i>	31
3.2.1.2.	<i>Genetik Algoritma Yaklaşımı Analizi:</i>	35
3.2.1.3.	<i>Sidra İle Gecikme Süresi Analizi:</i>	44
3.2.1.4.	<i>Sabit Devre Süresi İle Gecikme Süresi Analizi:</i>	47
3.3.	ANALİZ YÖNTEMLERİNİN SİMÜLASYON PROGRAMLARINDA İNCELENMESİ	50
3.3.1.	PTV Vissim Simülasyon Programı İle Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi	52
3.3.1.1.	<i>Webster Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:</i>	55
3.3.1.2.	<i>Genetik Algoritma Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:</i>	58
3.3.1.3.	<i>Sidra Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:</i>	60
3.3.1.4.	<i>Sabit Devre Süreli Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:</i>	62
3.3.2.	SIDRA Intersection Simülasyon Programı İle Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi	64
3.3.2.1.	<i>Webster Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması</i>	67
3.3.2.2.	<i>Genetik Algoritma Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması</i>	72
3.3.2.3.	<i>Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması</i>	76
3.3.2.4.	<i>Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması</i>	83
4.	BULGULAR	87
4.1.	PTV VISSIM SİMÜLASYON PROGRAMINDA ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	87
4.1.1.	<i>Webster Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:</i>	87
4.1.2.	<i>Genetik Algoritma Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:</i>	89
4.1.3.	<i>Sidra Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:</i>	92
4.1.4.	<i>Sabit Devre Süreli Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:</i>	95
4.1.5.	<i>Analiz Sonuçlarının PTV Vissim Simülasyon Programında Karşılaştırmalı Genel Değerlendirilmesi:</i>	98
4.2.	SIDRA INTERSECTION SİMÜLASYON PROGRAMINDA ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	103
4.2.1.	<i>Webster Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:</i>	103

4.2.2. Genetik Algoritma Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:	105
4.2.3. Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:	107
4.2.4. Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:	110
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	119
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	127

|



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Sinyalizasyon İle Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Etkileşimi.....	3
Şekil 2.1: Farklı Düzeyli Kavşaklar.....	7
Şekil 2.2: Eş Düzey Kavşaklar.....	7
Şekil 2.3: Çeşitli Eş Düzey Kavşak Tipleri.....	8
Şekil 2.4: Akıllı Ulaşım Sistemi Altyapısının Gösterimi.....	11
Şekil 2.5: Trafik Sinyalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Kontrol Yongaları.....	14
Şekil 2.6: Sinyalize Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	15
Şekil 2.7: Yeşil Dalga Koordinasyonu.....	15
Şekil 2.8: Yeşiller Arası Süre Düzenlemeleri Gösterimi.	17
Şekil 2.9: Kavşakta Bulunabilecek Faz Sayısı ve Yönlerinin Gösterimi.....	18
Şekil 2.10: İki Fazlı Kavşak Modeli Gösterimi.	19
Şekil 2.11: Algılama Ünitesi.	21
Şekil 2.12: Fiber Optik Sensörler.....	21
Şekil 2.13: Yaya Sinyal Lambaları.	21
Şekil 2.14: LED’li Geri Sayıcı.	22
Şekil 2.15: İstanbul Geneline Kullanılan Sinyalizasyon Sistemleri.....	22
Şekil 2.16: Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Tanımı.....	23
Şekil 3.1: Sinyalizasyonun Gecikme Süresine Etkisi.	27
Şekil 3.2: Sinyalize Kavşak Kolundaki Taşıtın Zamana Bağlı Aldığı Mesafe.	27
Şekil 3.3: Tez Çalışmasında Kullanılan 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Kesişim Modeli.	29
Şekil 3.4: Webster Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.	34
Şekil 3.5: Webster Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.	34

Şekil 3.6: Webster Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.	35
Şekil 3.7: Genetik Algoritma Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.	40
Şekil 3.8: Genetik Algoritma Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.	42
Şekil 3.9: Genetik Algoritma Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.	43
Şekil 3.10: Sidra Optimum Gecikme Süresinin Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.	45
Şekil 3.11: Sidra Optimum Gecikme Süresinin Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.	45
Şekil 3.12: Sidra Optimum Gecikme Süresinin Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.	46
Şekil 3.13: Sabit Devre Süresi İle Yapılan Gecikme Hesabının Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.	48
Şekil 3.14: Sabit Devre Süresi İle Yapılan Gecikme Hesabının Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.	48
Şekil 3.15: Sabit Devre Süresi İle Yapılan Gecikme Hesabının Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.	49
Şekil 3.16: PTV Vissim Programı Gösterimi.	53
Şekil 3.17: PTV Vissim Programında 3 Farklı Yaklaşım Kolunun Gösterimi.	53
Şekil 3.18: Bağlantı Kollarına Ait Özellikler.	54
Şekil 3.19: Trafikteki Taşıt Kompozisyonunun Gösterimi.	54
Şekil 3.20: PTV Vissim Simülasyonu Etkinleştirme.	54
Şekil 3.21: PTV Vissim 2D ve 3D Araçların Kavşaktaki Hareketlerinin Gösterimi.	55
Şekil 3.22: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Hacimleri ve Taşıt Kompozisyonu Gösterimi.	56
Şekil 3.23: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.	56
Şekil 3.24: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Hacimleri ve Taşıt Kompozisyonu Gösterimi.	57

Şekil 3.25: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	57
Şekil 3.26: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Hacimleri ve Taşıt Kompozisyonu Gösterimi.....	58
Şekil 3.27: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	58
Şekil 3.28: Genetik Algoritma Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	59
Şekil 3.29: Genetik Algoritma Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	59
Şekil 3.30: Genetik Algoritma Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	60
Şekil 3.31: Sidra Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	61
Şekil 3.32: Sidra Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	61
Şekil 3.33: Sidra Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	62
Şekil 3.34: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	63
Şekil 3.35: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	63
Şekil 3.36: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	64
Şekil 3.37: Sidra Intersection Simülasyon Programı Arayüzü.....	65
Şekil 3.38: Sidra Intersection Simülasyon Programı Kavşak Modeli.....	65
Şekil 3.39: Sidra Programında Şerit Geometrisi Ayarları.....	66
Şekil 3.40: Sidra Trafik Sinyal Işıkları ve Faz Sürelerinin Ayarlanması.....	66
Şekil 3.41: Sidra Intersection Simülasyon Programı Yakıt Tüketimi ve Emisyon Gazlarının Parametre Ayarlarının Gösterimi.....	67
Şekil 3.42: Webster Analizinin Sidra Simülasyon Programında Taşıt Kompozisyonu Senaryo 1 Örneklemesi.....	68
Şekil 3.43: Webster Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	69

Şekil 3.44: Webster Yöntemi Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.....	69
Şekil 3.45: Webster Analizinin Sidra Simülasyon Programında Taşıt Kompozisyonu Senaryo 2 Örneklemesi.....	70
Şekil 3.46: Webster Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.	70
Şekil 3.47: Webster Yöntemi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.....	71
Şekil 3.48: Webster Analizinin Sidra Simülasyon Programında Taşıt Kompozisyonu Senaryo 3 Örneklemesi.....	71
Şekil 3.49: Webster Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.	72
Şekil 3.50: Webster Yöntemi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.....	72
Şekil 3.51: Genetik Algoritma Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	73
Şekil 3.52: G.A. Yöntemi Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.	74
Şekil 3.53: Genetik Algoritma Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	74
Şekil 3.54: G.A. Yöntemi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.	75
Şekil 3.55: Genetik Algoritma Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	75
Şekil 3.56: G.A. Yöntemi Senaryo 3 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.	76
Şekil 3.57: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	78
Şekil 3.58: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.	78
Şekil 3.59: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	80
Şekil 3.60: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.	80
Şekil 3.61: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	82
Şekil 3.62: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Senaryo 3 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.	82

Şekil 3.63: Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	83
Şekil 3.64: Sabit Devre Süreli Analiz İle Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.....	84
Şekil 3.65: Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	84
Şekil 3.66: Sabit Devre Süreli Analiz İle Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.....	85
Şekil 3.67: Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.....	85
Şekil 3.68: Sabit Devre Süreli Analiz İle Senaryo 3 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.....	86
Şekil 4.1: Analizlerin PTV Vissim Simülasyon Programında Değerlendirilmesi.	103
Şekil 4.2: Analizlerin Sidra Intersection Simülasyon Programında Değerlendirilmesi.....	116
Şekil 5.1: Kavşak İyileştirilmesi İle Birim Saatte Kazanç Sağlanabilecek Tasarruf Potansiyeli.	124

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: TÜİK Trafik Kaza İstatistikleri (2009-2020).	2
Tablo 3.1: Farklı Senaryolar İçin Kavşak Yaklaşım Kollarının Trafik Hacimleri.	30
Tablo 3.2: Webster Yöntemi ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikme Süreleri	35
Tablo 3.3: Amaç Fonksiyonu, Karar Değişkeni, Kısıtları İçeren Optimizasyon Problem Şeması.....	36
Tablo 3.4: Genetik Algoritma Yöntemi ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Gecikmeler	44
Tablo 3.5: Sidra Simülasyon Programı Algoritmaları ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Gecikmeler	46
Tablo 3.6: Sabit Devre Süresi ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Gecikmeler.....	49
Tablo 3.7: Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Senaryo 1 Örneği Optimum Devre Süresi Seçimi.....	77
Tablo 3.8: Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Senaryo 2 Örneği Optimum Devre Süresi Seçimi.....	79
Tablo 3.9: Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Senaryo 3 Örneği Optimum Devre Süresi Seçimi.....	81
Tablo 4.1: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.....	87
Tablo 4.2: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	87
Tablo 4.3: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.....	88
Tablo 4.4: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	88
Tablo 4.5: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.....	89
Tablo 4.6: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	89
Tablo 4.7: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	90

Tablo 4.8: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	90
Tablo 4.9: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	91
Tablo 4.10: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	91
Tablo 4.11: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	92
Tablo 4.12: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	92
Tablo 4.13: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	93
Tablo 4.14: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	93
Tablo 4.15: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	94
Tablo 4.16: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	94
Tablo 4.17: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	95
Tablo 4.18: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	95
Tablo 4.19: Sabit Devre Süresi Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	96
Tablo 4.20: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	96
Tablo 4.21: Sabit Devre Süresi Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	97
Tablo 4.22: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	97
Tablo 4.23: Sabit Devre Süresi Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.	98
Tablo 4.24: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	98
Tablo 4.25: Analiz Yöntemlerinin Teorik ve Uygulamalı Taşıt Gecikme Sürelerinin PTV Vissim Programında Karşılaştırılması.	100

Tablo 4.26: PTV Vissim Simülasyon Programında Genetik Algoritma Analizi İncelemesi.....	101
Tablo 4.27: PTV Vissim Simülasyon Programında Sabit Devre Süreli Yaklaşım İncelemesi.....	101
Tablo 4.28: PTV Vissim Simülasyon Programında Webster Analizi İncelemesi.....	102
Tablo 4.29: PTV Vissim Simülasyon Programında Sidra Yaklaşım Analizi İncelemesi.	102
Tablo 4.30: Genetik Algoritma İle Sabit Devre Süreli Yaklaşımın Senaryo Bazlı Karşılaştırılması.....	102
Tablo 4.31: Webster Analizi Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	104
Tablo 4.32: Webster Analizi Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	104
Tablo 4.33: Webster Analizi Senaryo 3 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	105
Tablo 4.34: Webster Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	105
Tablo 4.35: G.A. Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	106
Tablo 4.36: G.A. Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	106
Tablo 4.37: G.A. Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	106
Tablo 4.38: G.A. Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	107
Tablo 4.39: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	108
Tablo 4.40: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	108
Tablo 4.41: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Senaryo 3 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	109
Tablo 4.42: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	109

Tablo 4.43: Sabit Devre Süreli Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	110
Tablo 4.44: Sabit Devre Süreli Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	110
Tablo 4.45: Sabit Devre Süreli Senaryo 3 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	111
Tablo 4.46: Sabit Devre Süreli Yaklaşımın Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.	111
Tablo 4.47: Analiz Yöntemlerinin Teorik ve Uygulamalı Taşıt Gecikme Sürelerinin Sidra Intersection Programında Karşılaştırılması.	114
Tablo 4.48: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Matlab, PTV ve Sidra Programlarında Karşılaştırılması.	116
Tablo 4.49: Analiz Yöntemlerinin Taşıt Başına Ortalama Gecikme Sürelerinin Tüm Programlarda Karşılaştırılması.	117
Tablo 4.50: Genetik Algoritma Analizinin Matlab, PTV, Sidra Programlarında Karşılaştırılması.	118
Tablo 5.1: Ortalama Taşıt Gecikme Sürelerine Göre Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması.	121
Tablo 5.2: PTV Vissim Programı Genetik Algoritma Sinyal Süreleri Gösterimi.	122
Tablo 5.3: PTV Vissim Programı Sabit Devre Süreli Analizin Sinyal Sürelerinin Gösterimi.	122
Tablo 5.4: Sinyalizasyon İle Kavşak İyileştirme Değeri.	123
Tablo 5.5: Sinyalizasyon İyileştirilmesi İle Birim Saatte Kazanılacak Tasarruf Potansiyeli.	123

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
\$	: Dolar (Para Birimi)
a	: Sarı Işık Süresi
C	: Devre Süresi
c	: Sinyal Döngüsü Zamanı
C _{opt}	: Optimum Devre Süresi
D	: Devre
d	: Ortalama Taşıt Gecikme Süresi
d _i	: i Yaklaşım Kolundaki Ortalama Taşıt Gecikme Süresi
g	: Yeşil Işık Süresi
G _i	: i Fazını Kontrol Eden Akımın Yeşil Işık Süresi
I	: Yeşil Işıklar Arası Süre
L	: Toplam Kayıp Süre
n	: Faz Süresi
q	: Birim Zamandaki Taşıt Sayısı
Q _i	: i Yaklaşım Kolundaki Saatlik Trafik Hacmi
q _i	: Trafik Akış Oranı
r	: Kırmızı Işık Süresi
s _i	: Doygunluk Debisi
Σ _{tR}	: Her Yöne Ait Kırmızı Sürelerin Toplamıdır
t _{Ki}	: i Fazı İle Bir Önceki Faz Arasındaki Koruma Süresi
t _s	: Kayıp Zaman
x	: Doygunluk Derecesi
Y	: Toplam Doygunluk Oranı
Y _i	: i Fazındaki Akım Yönü İçin Verilen Sarı Süre
Δ _t	: Toplam Kayıp Süre
λ	: Etkin Yeşil Işık Devre Süresi
φ	: Kavşak Doygunluğu

Kısaltmalar	Açıklama
2D	: İki Boyutlu
3D	: Üç Boyutlu
A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
ATYS	: Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri
AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
BD	: Batı Doğu
BK	: Batı Kuzey
BK	: Batı Kuzey
CO	: Karbonmonoksit Gazı
CO₂	: Karbondioksit Gazı
DB	: Doğu Batı
DB	: Doğu Batı
DK	: Doğu Kuzey
DK	: Doğu Kuzey
GA	: Genetik Algoritma
H	: Hour (Saat)
HCM	: Highway Capacity Manual (Otoyol Kapasite Rehberi)
HxCy	: Hidrokarbon Gazı
KB	: Kuzey Batı
KD	: Kuzey Doğu
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
LB	: Lower Boundary (Alt Sınır)
LoS	: Level of Service (Hizmet Düzeyi)
Lt	: Litre
M	: Metre
NO_x	: Azotoksit Gazı
Opt.	: Optimum
Ort.	: Ortalama
sa	: Saat
Sim.	: Simülasyon
sn	: Saniye
ta	: Taşıt

Top. : Toplam
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
UB : Upper Boundary (Üst Sınır)]



ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[*KAVŞAKLARDA TRAFİK YOĞUNLUĞUNA GÖRE SİNYALİZASYONUN ETKİNLİĞİNİ ARTTIRMAYA YÖNELİK HİBRİT BİR MODEL*]

[Eray ERBAY]

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

[Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı]

Danışman : [Prof. Dr.] [Ergün EROĞLU]

[Yaya, taşıt ve çevre birimlerinin (uyarıcı ve denetleyici sistemler) birbirleri ile etkileşimde oldukları ekosistem, trafik kelimesi ile bütünleştirilmiştir. Trafik yoğunluğu denilince, özellikle belli saatlerde oluşan, metrelerce uzunlukta araç kuyrukları, hafızalarımızda canlanır. Trafik mekanizması gibi bir dinamiğin içinde, birden fazla parametre, trafik yoğunluğunun düzeyinin belirlenmesinde, bize yol gösterir. Bu parametrelerin ilk ortaya çıkışı, araç ve yaya sayısı ile beraber, onların birbirleri ile olan etkileşimlerinin gözlemlendiği, 19. Yüzyılın son çeyreğine kadar dayanır.

Araçların seyir halinde iken, belli bir düzende yol almalarını sağlayan; geçiş üstünlüğü ve geçiş sırası gibi trafik kurallarının uygulanabilir olması için, belli başlı bir denetleyici ve yönlendirici sistem tasarımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu sistemlerin tasarımı da sinyalizasyon olarak ifade edilmiştir. Trafikte yapılan sinyalizasyon çalışması ile beraber, trafik akışını olumsuz yönde etkileyebilecek herhangi bir problemi önceden görüp, tespit edebilen ve içerisinde farklı data verileri ile beraber, çeşitli varyasyonlarda trafik akımı ile ilgili bilgileri barındıran, gerçek hayata uyarlanabilir, adına simülasyon dediğimiz, çeşitli modellemeler yapılır. Trafikte ki yoğunluğu istenilen gün ve saat bazında ölçüp, analiz edebilen ve çıkan sonuçlara göre değerlendirip, optimum kararı verebilen sistem tasarım ve modellemelerine, günümüz şartlarında simülasyon programları vasıtasıyla erişebilmekteyiz.

Tezin ortaya çıkışında esinlenilen olay, ülkemizin petrol ve doğalgaz gibi birincil enerji kaynakları tüketiminde, %70 gibi bir oranda dışa bağımlılığının olmasıdır. Binlerce aracın trafikte atıl olarak çalıştığı her saniye, gereksiz yakıt tüketimine ve CO₂ gazı emisyonuna neden olmaktadır. Trafikte boş yere harcanan zaman; hem ülkemiz için ekonomik anlamda zarar, hem de dünya geneli sera gazı etkisinin artması nedeni ile çevresel anlamda, büyük yıkımlara yol açmaktadır. Tüm bu olumsuz etkileri minimize etmek ve ekonomik anlamda katma değer oluşturabilmek için, bu tezin hazırlanmasını kendime amaç edindim.

Tezin içeriğinde; trafiğin dar boğazı olan kavşaklarda, sinyalizasyon çalışması ile birlikte, optimum gecikme ve bekleme araç sürelerinin hesaplanması için, dört farklı analiz yaklaşımı kullanılarak, Matlab programı içerisinde modellemeler oluşturulmuş ve gerçeğe yakın iki farklı simülasyon programında uygulaması yapılmıştır. Uygulanan yöntemlerin hangisinin optimum şartlara uygun olduğunu tespit edebilmek için, trafiğin dinamik akışına göre, optimum şartları sağlayan parametreler belirlenip, kullanılan trafik simülasyon programları, webster modellemesi ve genetik algoritma ile kavşak yaklaşım kolları genelindeki ortalama taşıt başına gecikme süreleri hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı yoğunluktaki trafiğin minimum gecikme süresine sahip olan yöntemin tespiti, sonuç ve tartışma bölümünde paylaşılmıştır. Özellikle trafikte yaşanan gecikmeler nedeni ile gereksiz yere harcanan yakıtın hammaddesi olan petrolün, yaklaşık olarak %29'luk bir oran ile Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarında toplam enerji arzının başını çekmesi, tez çalışmasının ilham kaynağı olmuştur.]

Aralık 2022, [150] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Kavşak, model, sinyalizasyon, trafik]

SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

[*A HYBRID MODEL to INCREASE THE EFFICIENCY of SIGNALIZATION
ACCORDING to TRAFFIC DENSITY at CROSSROADS*]

[Eray ERBAY]

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

[**Department of Intelligent Transport Systems**]

Supervisor : [Prof. Dr.] [Ergün EROĞLU]

[The ecosystem in which pedestrian, vehicle and peripheral units (stimulating and control systems) interact with each other is integrated with the word traffic. When it comes to traffic density, the meter-long vehicle queues, especially at certain hours, come to life in our memories. In a dynamic such as a traffic mechanism, more than one parameter guides us in determining the level of traffic density. The first appearance of these parameters dates back to the early times, when the number of vehicles and pedestrians, as well as their interactions with each other were observed.

It enables the vehicles to travel in a certain order while they are on the road; In order for traffic rules such as right of way and order of passage to be applicable, a major controller and routing system design is needed. The design of these systems is also expressed as signaling. Along with the signalization work carried out in traffic, various models, which we call simulation, can be adapted to real life, which can foresee and detect any problem that may adversely affect the traffic flow, and contain information about the traffic flow in various variations, together with different data. In today's conditions, we can access system design and modeling, which can measure and analyze the traffic density on the basis of the desired day and hour, evaluate it according to the results, and make the optimum decision, through simulation programs.

The event inspired by the emergence of the thesis is that our country has a 70% foreign dependency in the consumption of primary energy resources such as oil and natural gas. Every second that thousands of vehicles are idle in traffic, it causes unnecessary fuel consumption and CO₂ gas emissions. Time wasted in traffic; It causes great destruction both in economic terms for our country and in environmental terms due to the increase in the greenhouse gas effect worldwide. In order to minimize all these negative effects and create added value in economic terms, I aimed to prepare this thesis.

In the content of the thesis; In order to calculate the optimum delay and waiting vehicle times, together with the signaling study, at the traffic bottleneck intersections, models were created within the Matlab program by using four different analysis approaches and implemented in two different simulation programs that are close to reality. In order to determine which of the applied methods is suitable for optimum conditions, the parameters that provide the optimum conditions according to the dynamic flow of the traffic were determined, and the average delay times per vehicle were calculated with the traffic simulation programs, Webster modeling and genetic algorithm used in the intersection approach arms. The results were compared with each other. The determination of the method, which has the minimum delay time of the same traffic density, is shared in the conclusion and discussion section. The fact that petroleum, which is the raw material of fuel spent unnecessarily due to delays in traffic, leads the total energy supply in Turkey's primary energy resources with a rate of approximately 29%, has been the source of inspiration for the thesis study.]

December 2022, [150] pages.

Keywords: [Crossroad, model, signalization, traffic]

1. GİRİŞ

[Sanayi devrimi ile birlikte başlayan ve 21.yüzyılda hızlanan şehirleşme ve buna bağılı olarak şehirlerdeki nüfus artışı, insanların topluluk içinde bir arada kümelenmesine yol açmıştır. Popölasyonun yoğun olduğı bölgelerde, tıpkı insan yaşamını düzenleyen yasa, kanun ve sosyal ahlak kurallarının olduğı gibi; trafik akışının da düzenlenmesine ve denetlenmesine ihtiyaç vardır.

Şehir içi ve şehirler arası karayollarında trafik akımını düzenleyen, araçların hareket ettikleri güzergah boyunca güvenli, konforlu ve düzenli hareket etmesini sağlayan trafik kontrol sistemleri, gelişen teknoloji ile beraber önemini arttırmıştır.

21.yüzyılın başlarında araç sayısının artması ile birlikte, trafikte yaşanan yoğunluğa çözüm bulabilmek için, şehir içi kavşaklarda bazı tedbirlerin alınması gerekli hale gelmiştir. İlk zamanlarda trafik polisi ile yapılan bu düzenlemeler, ilerleyen zamanlarda teknolojik gelişmelerle birlikte önceleri, akıllı röle ve kontaktörler ile yapılırken, günümüzde PLC tabanlı sistemlerle, tıpkı trafik polisinin varlığı gibi, trafik akışında yönlendirmeler yapılabilmektedir.

Trafik kazalarının genellemesi yapıldığında, ölümlü ve yaralanmalı kazaların en çok yaşandığı noktalar, yolların kesişme noktası olarak da bilinen kavşaklardır. Sinyalizasyon, karayollarında trafik ile ilgili bilgileri, sürücülere aktaran ışıklı işaretlerden veya değişken mesaj işaretli yönlendirme tabelalarından oluşan sistemler bütünüdür. Kavşaklarda, ilk zamanlarda trafik güvenliğini sağlamak ve kaza riskini minimize etmek için yapılan sinyalizasyon, gün geçtikçe artan bir popülerite ile birlikte, dünya geneline yayılmıştır. Trafik yoğunluğunun artması sonucu kavşak kullanım kapasiteleri sınırlandırılmış ve kavşakların daha etkin olarak kullanılması ancak sinyalizasyon sistemleri ile mümkün hale gelmiştir. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006) [1]

Tablo 1.1: TÜİK Trafik Kaza İstatistikleri (2009-2020).

Trafik kaza istatistikleri, 2009-2020							
Yıl	Toplam	Ölümlü	Maddi	Ölü sayısı			Yaralı sayısı
	kaza sayısı	yaralanmalı kaza sayısı	hasarlı kaza sayısı	Toplam	Kaza yerinde	Kaza sonrası ⁽¹⁾	
2009	1 053 346	111 121	942 225	4 324	4 324	-	201 380
2010	1 106 201	116 804	989 397	4 045	4 045	-	211 496
2011	1 228 928	131 845	1 097 083	3 835	3 835	-	238 074
2012	1 296 634	153 552	1 143 082	3 750	3 750	-	268 079
2013	1 207 354	161 306	1 046 048	3 685	3 685	-	274 829
2014	1 199 010	168 512	1 030 498	3 524	3 524	-	285 059
2015	1 313 359	183 011	1 130 348	7 530	3 831	3 699	304 421
2016	1 182 491	185 128	997 363	7 300	3 493	3 807	303 812
2017	1 202 716	182 669	1 020 047	7 427	3 534	3 893	300 383
2018	1 229 364	186 532	1 042 832	6 675	3 368	3 307	307 071
2019	1 168 144	174 896	993 248	5 473	2 524	2 949	283 234
2020	983 808	150 275	833 533	4 866	2 197	2 669	226 266

(1) Trafik kazasında yaralanıp sağlık kuruluşuna sevk edilenlerden kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde ölenleri kapsamaktadır.

- Bilgi yoktur.

TÜİK'ten alınan trafik kaza istatistikleri raporu da incelendiğinde, son yıllarda gelişen sinyalizasyon çalışmaları neticesinde, maddi hasarlı trafik kazalarında, önemli derecede düşüş olduğu görülmektedir. Örnek verecek olursak; Türkiye'de 2020 yılında bir önceki yıla göre trafikteki motorlu kara taşıtı sayısı %4,3 artarken, toplam kaza sayısı %15,8, ölümlü yaralanmalı kaza sayısı %14,1, maddi hasarlı kaza sayısı %16,1, toplam ölü sayısı %11,1, kaza yerindeki ölü sayısı %13,0, kaza sonrası ölü sayısı %9,5 ve yaralı sayısı %20,1 azaldı. (GÜLSÜN & GONCA, 2019)[2]

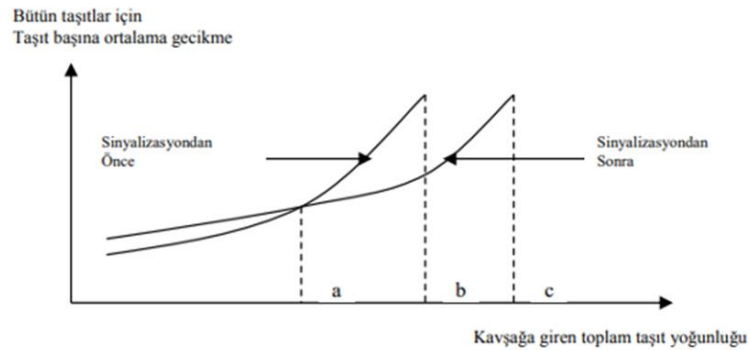
Kavşaklarda yapılan sinyalizasyon çalışmaları neticesinde, trafik kazaları azaltılabildiği gibi, trafikte boşa harcanan zaman, yani taşıt gecikmeleri de asgari düzeyde önlenmiş olur. Taşıt gecikmeleri sonucunda; atmosfere salınan CO₂ gazı miktarına bağlı sera gazı etkisi artar. Çevresel anlamda, küresel ısınmaya olumsuz etkileri olur. Gereksiz yere çalışan araçlar, yakıt tüketimi ile de ekonomik anlamda israfa yol açar. 2013 yılında yapılan tez çalışmasında, ortalama bir aracın İstanbul trafiğinde yaklaşık 45 dakika trafikte beklediği tespit edilmiştir. Bu tez çalışması neticesinde, gereksiz yere trafikte bekleme sonucu; ulusal kaynakların tüketimi, zaman kaybı, yakıt israfı, verimliliğin düşmesi ve insanların psikolojik olarak zarar görmesinin

yanında, yakıt ve zaman israfı yıllık 3 milyar 120 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. (ÇELİK & SOY, 2014)[3]

Etkili ve verimli sinyalizasyon çalışması yapıp, trafikte uygulanabilir hale getirmek için, birden çok değişkeni gözlemleyip, kayıt altına almamız gerekmektedir. Kayıt altına alınan verilerden yola çıkarak, trafik yoğunluğunu azaltmak için, trafik ile ilgili optimizasyon kurallarını uyguluyoruz. Yapılan iyileştirmeleri belli başlı trafik simülasyon programlarında (VISSIM, AIMSUN, PARAMICS, SIDRA, v.b.) denemeden, reel trafik akışı üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmaz. Simülasyon programları, içerisinde reel trafik sinyalizasyon sistemine ait gerçekçi veriler ve parametreler ile donatılmıştır.

Yapılan her sinyalizasyon tesisi verimli ve etkili olmayabilir. Bundan dolayı, yapılan her sinyalizasyon tesisi, sistemsal olarak incelenmeli ve trafik akımını optimize edecek özellikleri taşıyıp taşımadığı kontrol edilmelidir.

Şekil 1.1’de taşıt yoğunluğu düşük olduğu halde, sinyal sistemlerinin daha fazla taşıt gecikmelerine sebebiyet verdiği, ancak aynı kavşak düzleminde trafik yoğunluğu fazlalaştıkça sinyalizasyon olmadığı durumlarda, taşıt gecikmelerinin hızlı bir şekilde arttığını grafiksel olarak ta görmektediriz. Sinyalizasyon sistemi bulunan bir kavşakta ise, toplam gecikme süresinde artış olmasına rağmen, artış hızının daha yavaş olduğu görülmektedir. Şekildeki a noktası, sinyalizasyonun yararlı olmaya başladığı toplam taşıt yoğunluğu değerini, b noktası kavşağın normal kapasitesini, c noktası ise sinyalizasyon kavşağın kapasitesini göstermektedir. (BAŞKAN, 2004)[4]



Şekil 1.1: Sinyalizasyon ile Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Etkileşimi.

Bu çalışmada, kavşaklarda ki trafik yoğunluğuna bağlı gecikmeleri, bazı değişken parametre değerleri ile hesaplayıp, trafik sinyalizasyon işlemlerini, Webster ve Genetik Algoritma tabanlı

yöntemler ile bağdaştırarak, simülasyon programları ile reel gerçeklikte gösterilecektir. Kavşak yoğunluğunu etkileyen değişkenlerden yola çıkılarak, optimum sinyalizasyon süreleri hesaplanacaktır. Optimum sürelere göre yeniden modellenen sinyal faz ve devre sürelerinden, ilgili kavşak için en etkili olan sinyalizasyon süresi seçilerek, trafik hacmi değişen senaryolardaki kavşak yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluğunu azaltıp, maksimum faydayı sağlamak, yapılan bu tez çalışmasının, ana beklentisi olacaktır. |



2. GENEL KISIMLAR

2.1. LİTERATÜR TARAMASI:

Geçmişten günümüze kadar teknolojik gelişmelerin seyrine göre, trafikte kullanılan kontrol ve denetimi sağlayan sinyalizasyon sistemleri de belli bir aşama kaydetmiştir. Trafikte kullanılan sinyalizasyon tekniklerinin tarihsel gelişimini inceleyecek olursak;

- 1868, Londra’da gece aydınlatması için semafor biçiminde trafik sinyalizasyonunu sağlayan gaz lambaları kullanılmıştır. Bu aynı zamanda sinyalizasyon gelişiminin ilk örneklerindendir.
- 1914 yılında, Cleveland’da kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi kurulmuştur.
- 1920 yılında, Detroit’te dört yollu, üç renkli trafik lambaları, ilk kez kullanılmaya başlanmıştır.
- Avrupa ülkelerinde 1924 yılından sonra kullanılmaya başlanan sinyalizasyon sistemleri, asıl gelişimini 1950 yılından sonra göstermeye başlamıştır.
- 1958 yılında, İngiliz trafik bilimci F. V. Webster kavşaklarda ilk kez optimizasyon temelli sinyalizasyon sistemleri ile ilgili çalışmasını yapmıştır.
- 1981 yılında, Dr. Rahmi Akçelik tarafından gecikme modeli geliştirilerek, kavşak kollarında veya herhangi bir yaklaşım yolu üzerindeki birikme veya kuyruklanma referans alınmıştır. Önerilen bu model ilk olarak Avustralya Karayolları araştırma birimi kavşaklarında uygulandığı için, Avustralya modeli olarak ta bilinmektedir.
- 1992 yılında Linkenheld, sinyalizasyon tekniğini kullanarak faz planları ve sinyal süreleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Sinyal denetim sistemi için faz ihtiyaç sayısını ve bu fazlar için yeşil süre zamanlamasını belirlemek amacıyla, sezgisel bir yöntem önermiştir.
- 2005 yılında Lee tarafından Genetik Algoritma ile trafik sinyalizasyon sistemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır.
- 2010 yılında Zheng adaptif uyarmalı trafik sinyal denetim sistemleri üzerine çalışmalarda bulunmuştur.
- 2012 yılında Zhao trafik denetim sistemleri için yapay zeka teknikleri üzerinde çalışmalar yapmıştır.

- 2015 yılında Jin ve Ma, makine öğrenmesi yöntemi ile sinyal süresi kararları verebilme yeteneğine sahip olan bir sinyal kontrol sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır.
- 2016 yılında Yuedong, parçacık sürü optimizasyon tekniğini kullanarak, farklı faz kombinasyonları için, sinyal sürelerinin optimizasyonunu amaçlamıştır. (ÇAKICI, 2020)[5]

Günümüzden 30 yıl önce başlayan bilim ve teknolojiadaki önemli gelişmelerle birlikte ulaşım ağı ve trafik sinyalizasyonu alanlarında kayda değer düzeyde gelişmeler gözlenmiştir. Yeni ölçüm tekniklerinin kullanılması, kullanılan algoritmaların geliştirilerek, daha etkin modellemelerin tasarlanması ile kavşak denetim sistemleri, daha kontrol edilebilir ve uygulanabilir bir hale getirilmiştir.

2.2. KAVŞAKLAR

Farklı yönlere sahip, birden fazla trafik akımının kesiştiği noktalara kavşak denilmektedir. Kavşaklar, şehir içi karayolu ulaşımında yayalar ve taşıt sürücülerinin en çok etkileşim içinde bulundukları alanlardır. Karayollarında güvenliğin en az olduğu, genel olarak trafik kapasitesini belirleyen kısımlardır. Bir yolun kavşağa birleşen kısmı, kavşak ayağı ya da kavşak kolu olarak adlandırılır.

Kavşaklar, projelendirilirken bazı dikkat edilecek konular vardır. Bunlardan bazıları; kurulum ve bakım giderleri, taşıt gecikme süreleri ve olası kaza ihtimali varsayımlarıdır. Tüm bu çevresel ve mali faktörler kavşakların tipinin belirlenmesinde de önemli kriterlerdendir.

Kavşaklar, Eş düzey ve Farklı düzeyli kavşaklar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kesişme durumuna göre ayırım gerçekleştirilmektedir. (ÇAKICI, 2020)[5]

Farklı düzeyli kavşaklarda taşıtların güzergahları farklı düzlemlerde olduğu için, taşıtların birbirleri ile kesişmesi gibi bir durum gerçekleşmez. Bunlara, alt-üst geçitli veya köprülülük kavşakları örnek olarak gösterebiliriz. Özellikle son yıllarda ülkemizde sıklıkla görmeye başladığımız yaklaşım kollarının üzerindeki trafik akımlarının birbirleri ile kesişmeden, dolayısı ile kesintiye uğramadan akmaya devam ettiği köprülülük kavşakları farklı düzeyli kavşakların en önemli mimarileridir. Burada, kavşağın alanı farklı akımlar tarafından aynı anda kullanılır. Trafik emniyeti ve güvenliği bu tip kavşaklarda üst seviyededir. Ancak; gerek geniş

bir alana ihtiyaç duymaları gerekse de kurulum maliyeti yüksek olmasından dolayı, ilk tercih nedeni değildir.



Şekil 2.1: Farklı Düzeyli Kavşaklar.

Eş düzey kavşakların kurulum ve işletme maliyetleri düşük ve tasarlanması daha kolaydır. Bu yüzden de kavşak seçiminde eş düzey kavşaklar, ilk sırada tercih edilmektedir.

Yönleri farklı olsa da düzlemi aynı olan taşıtların kesiştiği kavşaklara eş düzey (hemzemin) kavşaklar denilmektedir. Bu tip kavşaklar, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin görece düşük olduğu şehir içi ve şehirlerarası karayolunda tasarlanmaktadır. Kavşak alanı farklı akımlar tarafından sırayla kullanılır.



Şekil 2.2: Eş Düzey Kavşaklar.

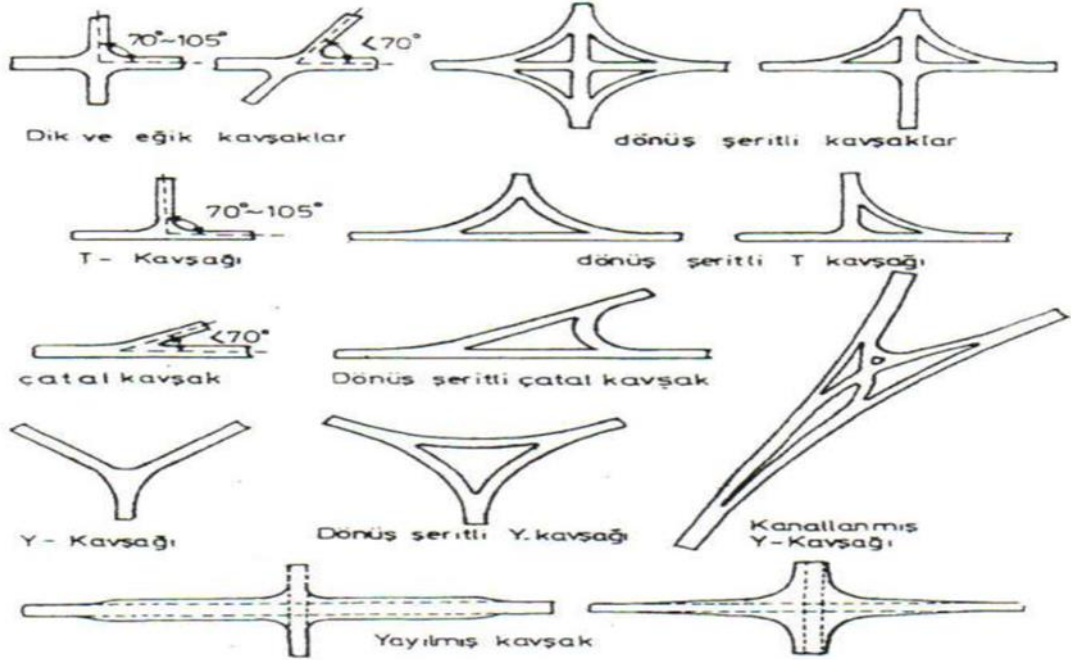
Saatlik trafik hacminin düşük olduğu eş düzey kavşaklarda, trafik denetim ve kontrolü trafik işaretleri veya trafik levhaları ile yapılması uygun olabilmekte iken, kavşak yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacmi arttıkça, trafik işaretleri veya trafik levhaları ile yapılan kontrol

ve denetim sistemleri, trafik akışının güvenli bir şekilde icra edilmesinde yetersiz kalabilmektedir. Tam da bu noktada kavşaktaki trafik güvenliğinin sağlanması amacıyla trafik sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir kavşakta sinyalizasyon sistemi ihtiyacı için, bazı hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Bunlar;

- Şehir içi şerit başına 750 taşıt/saat değerini aşan durumlarda,
- Şehir dışı karayolunda ana arter üzerinde 500 taşıt/saat, tali yollarda 125 taşıt/saat değerinin geçilmesi halinde,
- Sinyalizasyon sistemi kurulumu ile birlikte, bir yıl boyunca önlenebilecek trafik kaza sayısının en az 5 olması durumunda,

Yukarıdaki maddeleri sağlayan kavşağın sinyalizasyon çalışması gerekmektedir. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006) [1]



Şekil 2.3: Çeşitli Eş Düzey Kavşak Tipleri.

Kavşaklar için en önemli parametrelerden birisi de kavşağın hizmet düzeyidir. Kavşağın optimum kullanım derecesi ile hizmet düzeyinin yüksekliği paralellik göstermektedir. Hizmet düzeyi yükseldikçe, kavşaktaki trafik akımı daha rahat, konforlu ve güvenli olacaktır. Hizmet

düzeyinin yüksekliğine bağlı, kavşakta trafik akımlarındaki gecikme süreleri azalacak ve seyahat süresi minimize edilecektir.

Kavşaklarda hareket sayısı çok olduğu için, kavşak kapasitesi de yüksek olmalıdır. Bunu sağlamak için bazı kurallar vardır. Bu kuralların başında kavşaklarda kesişen trafik kolu sayısı gelmektedir. Trafik kolu sayısı 4'ten fazla olmamalıdır. Aksi halde, trafik kolu sayısının artması ile birlikte, her kesişen koldaki izin verilen geçiş müsaadesi sayısı da artar ve bu durumda, kavşağın kapasitesinde önemli ölçüde düşüşe yol açar. Temelde bu durumun oluşmasında 2 neden vardır:

- Her akım için izin verilen yeşil ışık faz süresi azalır,
- Her faz süresinin başındaki ve sonundaki sarı ışık faz süreleri ile birlikte zaman kayıpları da artış gösterir.

Bu nedenlerden dolayı Alman Trafik Standardına göre, kavşaktaki yaklaşım kollarındaki sayının 4'ten fazla olduğu zamanlarda;

- Yaklaşım kollarının fazlası, kavşak dışında birleştirilir,
- Fazla sayıda yaklaşım kollarındaki trafik, kavşak dışına doğru, tek akım yönünde ilerler.

Kavşaktaki faz sayısı ve devre süresinin uzunluğu da kavşak kullanım kapasitesine etki etmektedir. Kavşaktaki yaklaşım kollarının kontrol ve denetimini sağlayan devre süresinin kabul edilebilir üst sınırı 135-140 saniye arası olup, bu sürenin gereksizce artırılması ile sürücülerin sabrı tükenir ve trafik kurallarında ihlaller başlar. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006)[1]

Taşıt kazalarının %60'a yakını eş düzey kavşaklarda gerçekleşmektedir. Trafik kazaları sonucu oluşan maddi kayıp, yaralanma ve ölümlerin yarısı da kavşaklarda meydana gelen kazalar sonucu olmaktadır. Eş düzey kavşaklar denetim tipine göre iki kısımda incelenebilirler.

2.2.1. Denetimsiz Eş Düzey Kavşaklar:

Trafik akış düzeninde sinyalizasyon olmayan trafik levhalarının kullanıldığı ya da hiçbir işaretin olmadığı kavşak tipidir.

Trafik hacminin diğer bağlantılarına göre fazla olduğu veya geometrisinin diğer bağlantılarına göre daha gelişmiş olduğu (ana arter) üzerinde kalan yoldaki taşıtların, diğer bağlantı yollarındaki taşıtlara göre geçiş üstünlüğü (önceliği) vardır. Ana yola bağlanan yan yolların

bağlantı noktalarına “dur” veya “yol ver” anlamına gelen trafik levhaları konulmaktadır. Bu levhalar ile yan yol üzerindeki taşıtların, ana yoldaki taşıtlara geçiş önceliği vermesi istenir.

2.2.2. Denetimli Eş Düzey Kavşaklar:

Trafik akımının sinyalize trafik ışıkları veya trafik polisi ile sağlandığı kavşak tipidir. Denetimli eş düzey kavşaklar, Yuvarlak ada (dönel) kavşaklar ve ışıklı (sinyalize) kavşaklar olarak sınıflandırılabilir:

- ***Işıklı Sinyalize Kavşaklar:*** Renkli trafik işaretleri ile akım öncelik sırasını belirleyen sinyalize olmuş, sistemli kavşaklardır. Taşıt hacminin yüksek olduğu yerlerde kullanılır.
- ***Yuvarlak Ada (Dönel) Kavşaklar:*** Yuvarlak ada kavşaklar trafik akımının kavşağın ortasında bulunan yuvarlak bir ada etrafından dolaştırılarak yönlendirildiği kavşak türüdür.

Trafik ışıkları ve sinyalizasyon sistemleri, kavşaklarda daha güvenli bir trafik akımının sağlanmasında etkin rol oynarken, güvenliği arttırdığı için de, olası trafik kazalarını önemli ölçüde azalttığı, yapılan pek çok araştırmada bulgu olarak saptanmıştır.

Trafik ışıklarının tasarımı, konumu ve sinyalizasyon süreleri iyi bir şekilde analiz edilemez ise, yapılan optimizasyon çalışmaları verimli sonuçlar vermeyecektir. Gereksiz yere trafikte gecikmelere ve hesap edilemeyen alanlarda trafik yoğunluğuna sebep verecektir.

Herhangi bir kavşakta ya da bir akış güzergahında aşağıdaki koşullardan herhangi birisinin oluşması durumunda trafik sinyalize sistemin gerekliliği ortaya çıkmaktadır;

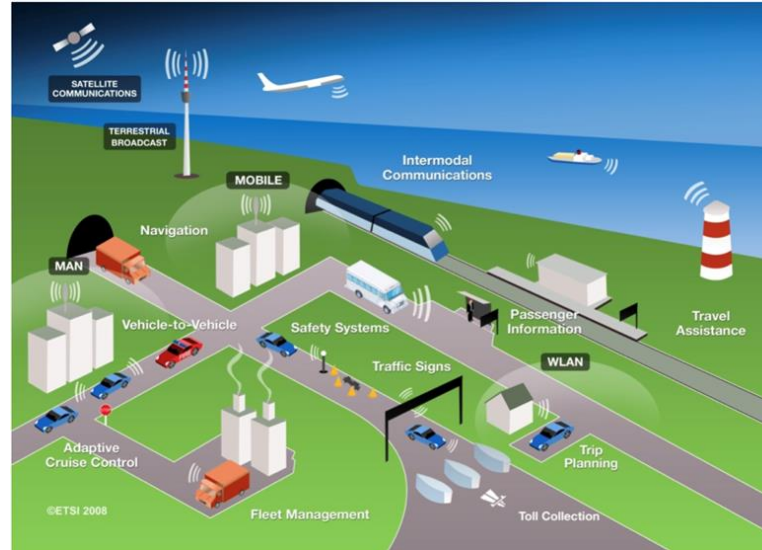
- ❖ Taşıt gecikme süresinin optimizasyonu,
- ❖ Trafik kaza sayısının veya kaza şiddetinin düşürülmesi,
- ❖ Geçiş önceliği verilen durumların belirtilmesi için,
- ❖ Kavşak yaklaşım kollarının belirlenmesinde, yeni yaklaşım kolu veya değişen trafik hacmi gibi durumların varlığında trafik sinyalize sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ulaşım, insanı merkezine alan canlıların veya nesnelerin bir yerden başka bir yere iletimi ya da transferidir. Şehir içi ulaşımındaki değişimler ise, insan hareketlerinin yapısını etkiler, insanların etkileşim içerisinde bulundukları çevrelerini değiştirir, şehirlerin büyümesine katkı sağlar.

Bilgi ve haberleşme teknolojisinin son yıllardaki gelişimi ile birlikte şehirlerdeki trafik yoğunluğu, trafik kazaları ve kara ulaşımının neden olduğu çevresel etkilere çözüm üretilmesi kolaylaşmıştır.

Bu gelişmelerle birlikte akıllı ulaşım sistemleri kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı ulaşım sisteminin temel amacı ulaşım sistemleri ile haberleşme ve bilgi sistemlerinin bütünleştirilmesidir. Bu bütünleşme sonucu, birbirini etkileyen faktörler (araçlar, yollarda taşınan yükler, rotalar, yolcular vs.) kontrol edilerek yol güvenliğinin artırılması ve araçların deformasyonunu, taşıt seyahat süresini ve yakıt tüketimini düşürmeyi hedeflemektedir.

Bu hedef doğrultusunda yapılan uygulamalarda disiplinler arası bilimler bir arada kullanılır. Bilgi, haberleşme, algılama sensörleri ve otonom kontrol sistemleri birlikte sentezlenerek; taşıtlar arası sürüş mesafeleri hesaplanarak, kontrollü ve emniyetli sürüş için, yollara trafik durumu ile ilgili mesajlar içeren boardlar yerleştirilerek, trafikte oluşabilecek kaza sayısı minimize edilir. Kaza anında yer tespiti yapılarak, kazanın olduğu bölgeye gerekli tıbbi yardım araçlarının hızlıca sevk edilmesi sağlanır. Tüm bu durumlar ışığında yapılan çalışmalar özellikle akıllı ulaşım sistemleri başlığı altında toplanmış olan disiplinler arası bilimleri ön plana çıkarmıştır.



Şekil 2.4: Akıllı Ulaşım Sistemi Altyapısının Gösterimi.

Trafik sinyalizasyonunun kurulumunda; trafik hacmi, yol geometrisi, geçirilen trafik kaza oranları ve alan tasarımı göz önünde bulundurulur. Trafik ışığının kurulumu için koşullar belirlenirken, trafikte taşıt ve yaya güvenliği ön safhada yer almaktadır.

Yerel veya alan bazlı, farklı faz sayılarına hitap eden, sinyalizasyon sistemlerinin işletilmesinde kullanılan başlıca yöntemler:

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri,
- Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri,
- Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri,
- Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri (ATYS),
- Yeşil Dalga Koordinasyonu,
- Tramvay Önceliği.

2.2.2.1.Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri:

Önceden ayarlanmış sabit zamanlı bir sinyalizasyon süresine göre, kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt ve yayalara geçiş önceliği verilmektedir.

Her kavşağın günün belirli saatlerinde veya yılın belirli günlerinde sabit olarak değişebilen trafik yoğunluğuna göre hesap edilen zamanlama süresi vardır. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri de trafik yükünü kontrol eden en basit yöntemdir. Trafik hacminin değiştiği zamanlarda otomatik olarak kayıt alır ve programları belleğe kaydederek, kavşakta zamana göre değişen sinyalizasyon sürelerini gözlemleriz. Ancak trafik yükünün değişebildiği spesifik zamanlarda bu kontrol yöntemi yetersiz kalabilmektedir. Özellikle trafik yükünün belirli bir sıralamayı takip etmediği zamanlarda, yapılan hesaplamalar uygulamada başarılı olamayabilir. (GÜLSÜN & GONCA, 2019)[2]

2.2.2.2.Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri:

Bu sistem özellikle ana yol ve tali yol bağlantısı gibi alanların düzenlenmesinde kullanılır. Tali yoldan herhangi bir talep gelmediği durumlarda ana yola sürekli yeşil ışık yanar. Tali yoldan herhangi bir talep geldiğinde, belli bir zaman aralığında tali yola yeşil ışık yanarken, ana yoldaki trafik akımı kesilir.

Bu sistem aşağıdaki durumlardan en az birinin gerçekleşmesi halinde uygulanır:

- a) Ana yol trafiği ile tali yol trafiği yüklerinin oranının $1/8$ veya daha küçük olması; tali yol trafiğinin yalnız yüksek trafik yoğunluklarının olduğu saatlerde fazla olması.

- b) Ana yol trafiği ile tali yol trafiğinin yaklaşımındaki yüzdeler hızları arasında 30 km/s veya daha fazla farkın bulunması durumunda.

2.2.2.3. Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri:

Kavşaktaki tüm yaklaşım kollarında taşıtlar ve yayalar için sensörler bulunur. Geçiş hakkı, sıra ve süreleri, uyarı alınan yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Bu sistemlerde, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağlandığından, kavşaktaki toplam gecikmeler minimuma indirgenir.

Tam trafik uyarmalı sistem, aşağıdaki durumlardan en az birinin gerçekleşmesi halinde uygulanır:

- a) Yaklaşım yönlerinden bazen birinin, bazen de diğerinin yoğun olması; yani kavşaktaki trafik akımlarının ortalama değerleri ifade edebilecek biçimde dengeli olmaması,
- b) Kavşaktaki trafik akımlarının kısa aralıklarla artış ve azalış göstermesi.

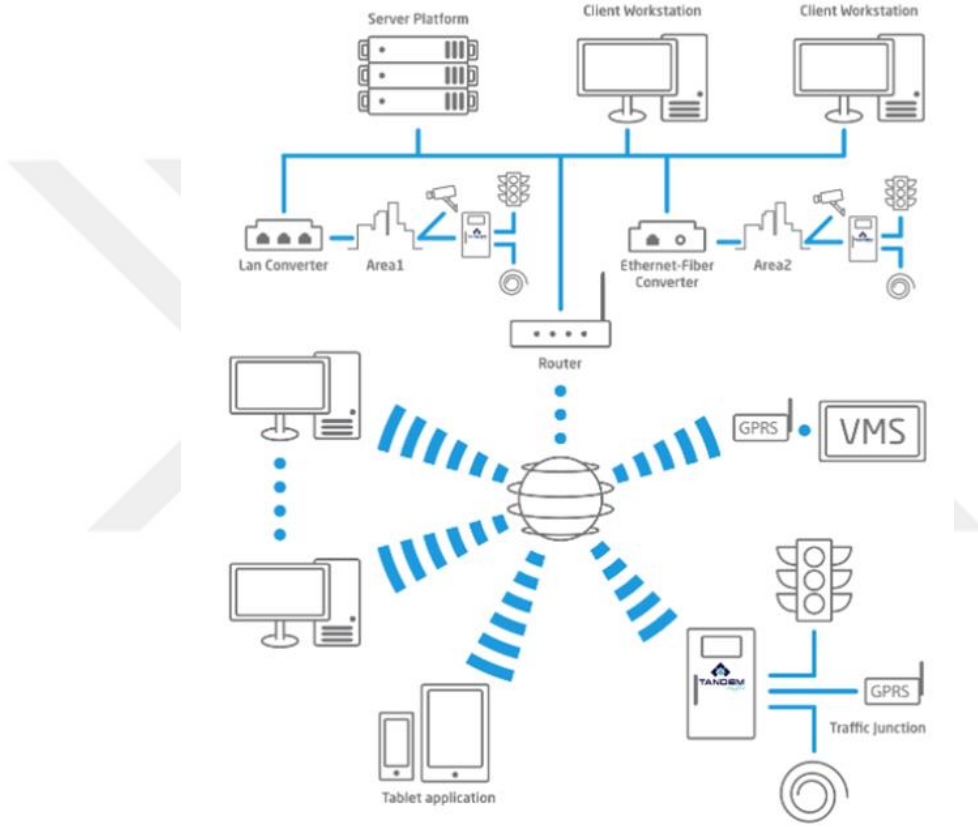
Tam trafik uyarmalı kontrol sistemleri genel olarak değişken trafik koşullarına cevap verebilen ve doğru biçimde uygulandığında trafik yönetiminde başarılı olan sistemlerdir.

2.2.2.4. Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri:

Tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerine ek olarak mevcut ulaşım şebekesinde yer alan kavşakların birbiri ile iletişimini sağlayan ve daha gelişmiş algoritmasıyla çeşitli algılayıcılardan gelen trafik durumu ile ilgili bilgileri kullanan bu sistem, trafik yönetimini optimize eder ve kavşaklardaki yoğunluğu minimize ederek, zamandan ve yakıttan tasarruf edilmesini sağlar. Örneğin; karayolu üzerinde birbirine komşu olan kavşaklar üzerindeki taşıt yoğunluğunu hesaplayarak komşu kavşaktaki araçları takip eder ve sayısal olarak diğer kavşaklara taşıtlar daha ulaşmadan bilgi aktarımı yaparak, yeşil ve kırmızı ışık sürelerini optimize eder. Böylece, taşıtlar ilgili kavşağa ulaşmadan devre süreleri ve faz süreleri ayarlanıp, kavşakta olası bir trafik yoğunluğunun önüne geçilmek hedeflenir.

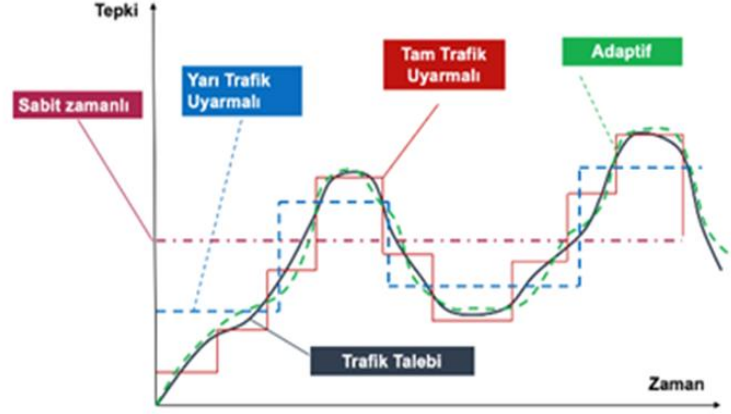
Adaptif Trafik Yönetim Sistemi, kavşağın yaklaşım kollarının giriş ve çıkışına yerleştirilen taşıt durumu ve kavşak meşguliyetini ölçen sensörlerden aldığı bilgiler doğrultusunda, gerçek zamanlı bir trafik denetim ve kontrol sistemi tasarımına sahiptir. Tam trafik uyarlamalı

sistemden temel farkı; trafik verileri anlık olarak sensörler vasıtası ile kontrolöre aktarılır. Kontrolör verileri derledikten sonra belleğe aktarır. Bellekte veriler kaydedilip, trafik hacmine göre yaklaşım kolu üzerindeki yeşil ışık süresi artırılır veya azaltılır. Bu işlemler sonucunda anlık olarak kavşaktaki devre süresine müdahale edilmiş olur. Sonuç olarak, kavşaktaki ortalama taşıt gecikme süresini optimum düzeyde minimize edebilecek en iyi sinyalizasyon sistemi adaptif trafik yönetim sistemidir, diyebiliriz.



Şekil 2.5: Trafik Sinyalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Kontrol Yongaları.

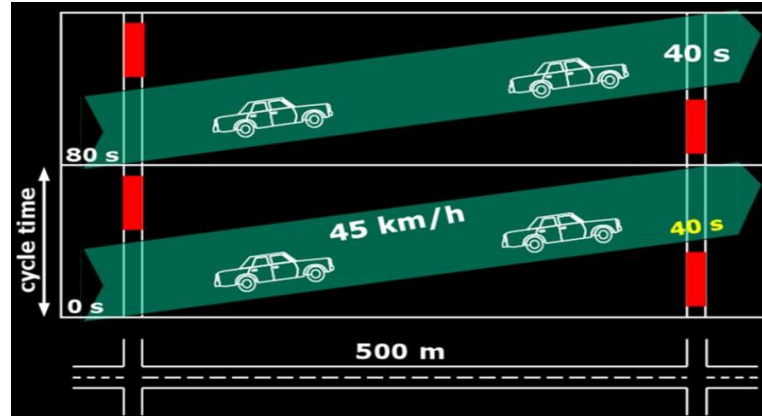
Sistem, kavşaklara konulan Uyarlamalı Sinyalizasyon Sistemi'nde ise; kontrolör, geçmiş bilgilere bağlı olarak trafik uzunluklarını hesaplar. Sensörler, devre süresinin ölçümünü geliştirmek için trafik akışını kayıt altına alır. İlk dört yönetim sistemi karşılaştırıldığında, sinyalizasyon kontrol tekniklerinin trafik talebi doğrultusunda, aşağıdaki grafikte yer alan Şekil 2.6'daki haliyle tepki verdiği kabul edilebilir.



Şekil 2.6: Sinyalize Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırılması.

2.2.2.5. Yeşil Dalga Koordinasyonu:

Birbirine bitişik olarak sıralanmış kavşaklar arasında belirli bir hız sınırına özgü devre süresinin sabitlenmesi sonucu, taşıtların kırmızı ışığa yakalanmadan, hız limiti doğrultusunda yaklaştığı kavşakları sürekli yeşil ışık ile geçebilen sistemlere denir. Bu koordinasyon sayesinde örneğin; yeşil dalga koordinasyonu hızının 50 km/saat olduğu bölgede, 50 km/saat hız ile seyir halinde olan taşıtlar, güzergah boyunca bu hız limitini koruyabildiği takdirde, peşi sıra dizilen ve yeşil dalga koordinasyonu olan kavşaklardan, sürekli yeşil ışık fazında geçişlerini sağlayabileceklerdir.



Şekil 2.7: Yeşil Dalga Koordinasyonu.

2.2.2.6. Tramvay Önceliği:

Tramvaylar yapıları nedeniyle ani durma ve hızlanma yapamamaktadır. Bu nedenle kavşak kollarındaki tüm taşıtlar, geçmekte olan tramvay aracına geçiş hakkı vermelidir.

Tramvay önceliği uygulamasında, tramvay hattı üzerindeki sensörlerden elde edilen bildirimlere göre tramvay ile kesişen taşıt trafiği durdurulur ve tramvayın gecikmeden, bir sonraki istasyona varması sağlanır. Yaya güvenliğinin artırılması amacıyla, yayalar için ayrılan süre henüz dolmamışsa, tramvayın yaya geçidinden önce durması sağlanır.

Sinyalize kontrol tekniklerinin performansını ölçmek için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan gözlem ve çalışmalardan çıkartılan sonuçları inceleyecek olursak, taşıt ağına ait konular ve belirlenen performans kriterlerine göre kontrol teknikleri etkinliklerinin birbirinden farklı olabileceğini gözlemleyebiliriz. Performansın en sık kullanılan ölçümleri aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Güzergâh Hattı
- Taşıt Seyahat Süresi
- Taşıt Seyahat Süresi Emniyeti
- Ortalama Gecikme Süresi
- Trafik Yoğunluğu

2.3.TRAFİK SİNYALİZASYONU TEMEL PARAMETRELERİ

Asfalt altına yerleştirilen dedektörler vasıtası ile kavşaklarda anlık trafik akışı izlenebilmektedir. Anlık izlenen veriler sayesinde, kavşakta güvenlik arttırılmakta ve oluşabilecek herhangi bir kaotik durumun önceden tespit edilerek, önlenmesi amaçlanmaktadır. Algılayıcılar sayesinde, tali yol bağlantılarındaki durumlar da tespit edilerek sinyalizasyon süreleri ayarlanır, ana yollardaki trafik akışı da gereksiz yere kesintiye uğramadan devam ettirilir. Trafik sinyalizasyonunda birbirleri ile koordineli pek çok parametreden faydalanılır.

Trafik sinyal çalışmalarında, faydalanılan başlıca parametreleri sıralayacak olursak:

Faz: Kavşaklarda akımların geçiş süresini belirleyen ve içerisinde çeşitli uyarıları da içeren, bir akımın yeşil ışık süresinden bir sonraki yeşil ışık süresine kadar geçen zamanı periyodik olarak takip eden süreye, faz denmektedir.

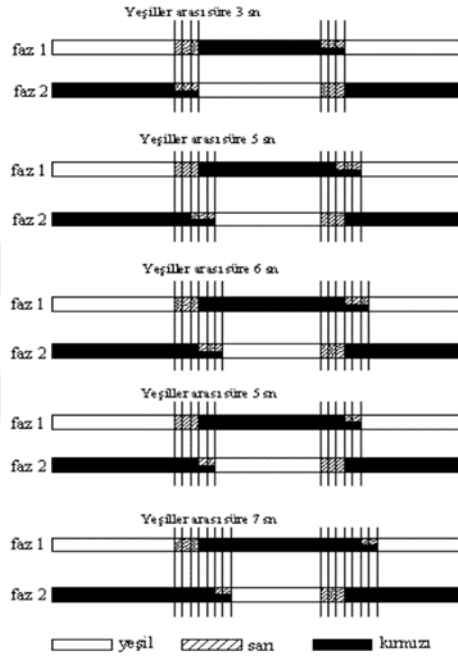
Devre (D): Kavşaktaki kurulu sinyalizasyon düzeninde yer alan her bir akım için, en az bir kez geçiş hakkının verildiği toplam süredir.

Yeşil Süre (g): Bir fazdaki yeşil ışık sinyal süresidir.

Sarı Süre (a): Bir fazdaki sarı ışık sinyal süresidir.

Kırmızı Süre (r): Bir fazdaki kırmızı ışık sinyal süresidir.

Yeşiller Arası Süre (I): Kavşak üzerindeki akımlardan herhangi birinin yeşil ışık süresinin bittiği andan başka bir akımın yeşil ışık süresinin başlamasına kadar geçen süreye yeşiller arası süre denir. Farklı yeşiller arası süre düzenlemeleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir. (ÇETİNKAYA, 2008)[6]



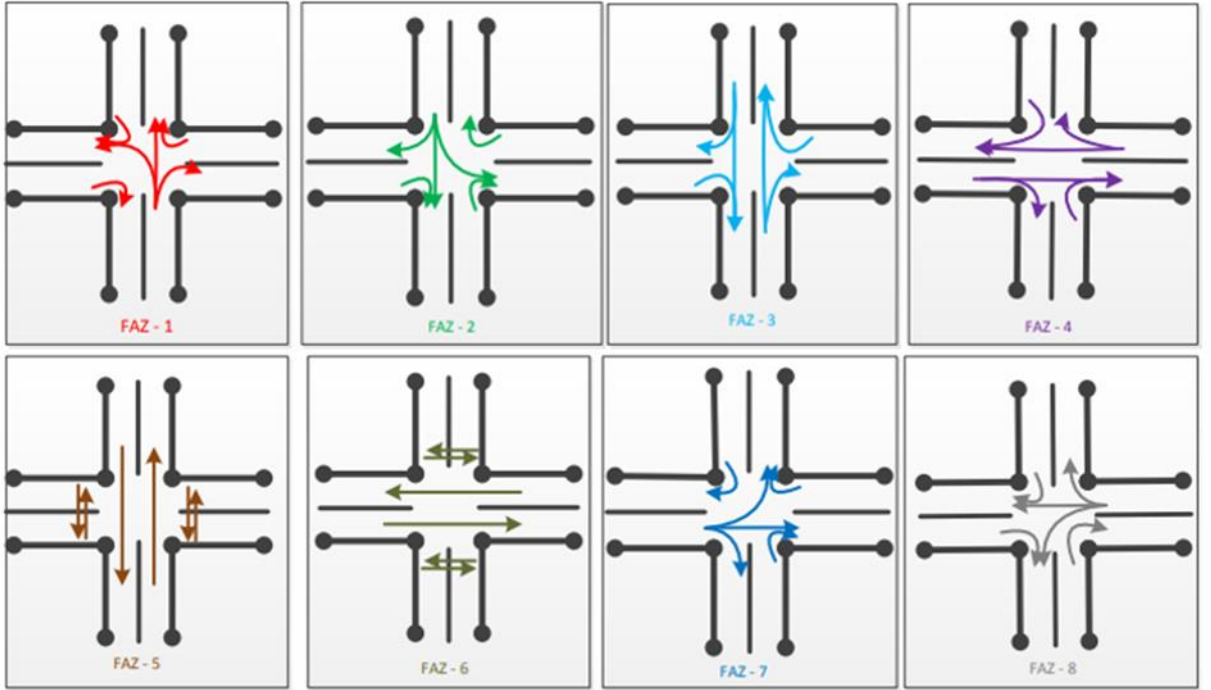
Şekil 2.8: Yeşiller Arası Süre Düzenlemeleri Gösterimi.

Sinyal Döngüsü: Bir kavşakta bulunan sinyallerin periyodik olarak yanıp söndüğü duruma denir. Kavşaklar üzerinde bulunan sinyaller, belli periyotlar ile yanmalıdır. Sinyal optimizasyonunun yapılmadığı kavşaklarda, sinyallerin yanması belirli bir sıraya göre gerçekleşmektedir.

Sinyal Döngüsü Zamanı (c): Kavşak üzerinde bulunan her bir akım için en az bir geçiş hakkının verildiği döngü süresine verilen adlandırmadır. Burada sabit zamanlı sinyal döngüsü olabileceği gibi, uyarlamalı yani kavşağın trafik yoğunluğuna göre değişen sinyal döngüsü zamanları da olabilir. (GÜLER, 2013)[7]

Trafik Akış Oranı (q_i): Birim sürede kavşağın tüm yaklaşım kollarının sahip olduğu araç miktarıdır. Özellikle uyarlamalı trafik denetim sistemlerinde, önemli bir performans göstergesi olarak ifade edilir. (GÜLER, 2013)[7]

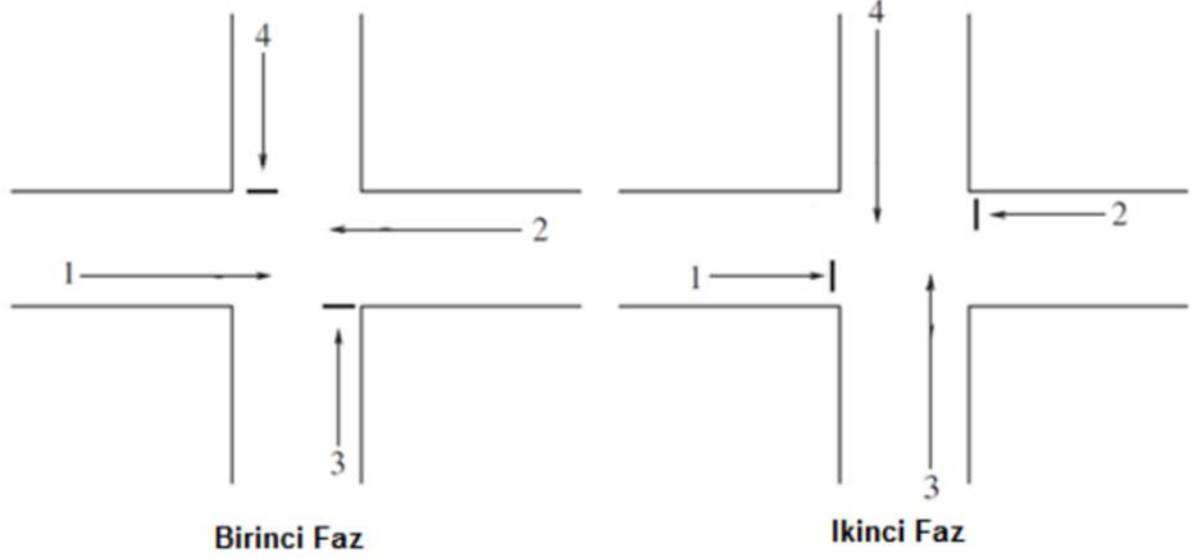
Sinyal Fazı: Kavşağa gelen tüm yaklaşım kollarına aynı anda geçiş önceliği vermek, aynı yöne hareket etmek isteyen taşıtların çarpışmasına sebebiyet verebilir. Bu yüzden belirli bir sinyal döngüsü ve aynı renkte yanan sinyaller ile sinyal fazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sinyal fazları ile yönü çakışan yaklaşım kolları kontrol altında tutulmaktadır. Aynı yöne hareketlenecek ya da belirli bir noktada yönü kesişecek olan iki yaklaşım kolundan biri için geç sinyali verildiği anda, diğeri için dur sinyali verilmelidir. Böylece belirli bir sinyal fazında trafik denetimi ve kontrolü başarı ile sağlanmış olur. Sıradan bir kavşak modelinde Şekil 2.9'da gösterildiği gibi 8 adet faz bulunabilir. Daha fazla sayıda faz tasarlamak mümkündür, fakat bu durum faydalı olmamaktadır.



Şekil 2.9: Kavşakta Bulunabilecek Faz Sayısı ve Yönlerinin Gösterimi.

Şekil 2.9 detaylı incelendiğinde, temel olarak kavşaklar iki fazdan oluşmaktadır. İki fazdan alınacak verim en iyi olarak ayarlandıktan sonra, alt fazların süreleri hesaplanabilir.

Şekil 2.10’da iki adet fazdan tasarlanan örnek bir kavşak modeli gösterilmektedir. Birinci faz devresinde taşıtlar, bir ve iki yönüne geçiş hakkına sahipken; ikinci faz devresinde, araçların üç ve dört yönüne geçişlerine izin verilmektedir.



Şekil 2.10: İki Fazlı Kavşak Modeli Gösterimi.

Doygunluk Debisi (s_i): Kavşağın fiziksel özelliklerine göre değişebilen kavşağın normal şartlarda birim zaman içerisinde taşıyabileceği azami araç sayısıdır. Kavşak kapasite hesabında dikkat edilmesi gereken bir parametredir. Kavşağın doyumluk debisinden fazla miktarda araç kavşağa geldiğinde, yeşil sinyal süresince araçlar kavşağı terk edecek ve kalan araç miktarı doyumluk derecesine hemen hemen eşit durumda olacağından kavşakta gecikmeler ve kuyruklanmalar yaşanması muhtemel olacaktır.

Benzeştirici (Simülatör): Tüm sinyalizasyon çalışmalarında yapılan tasarımların gerçeğe uygunluğunu ve başarı oranını test edebilmek için, kavşağın taşıdığı özellikleri bire bir barındıran ve çeşitli algoritmalar ile kavşak üzerinden gerçekçi veriler alan programlar geliştirilmiştir. Bilgisayar ortamında tasarımı yapılan bu programlar simülatör olarak adlandırılmıştır.

2.4. TRAFİK KONTROL VE SİNYALİZASYON CİHAZLARI

Kavşaklar, akıllı ulaşım sistemlerinin gelişmeye başlamasıyla birlikte, modern algılayıcılar ve derleyiciler ile donatılı olmaya başlamış ve gün geçtikçe gelişim gösteren, bilgisayar ve üstün sensörler vasıtasıyla kavşaklarda; yakıt harcanması, ozon tabakasına zarar veren emisyonlar,

gecikme süreleri, araç kuyruk uzunluğu, araçların durarak gecikme oranları, kavşak kullanım miktarı, şerit kullanım oranları vb. bilgiler hızlı bir şekilde sentezlenebilmiştir.

Algılayıcı ve derleyicilerden oluşan sistemler ile elde edilecek verilerle birlikte, optimum olarak tasarlanmış kavşak düzenlemeleri yapılabilecektir.

Trafik kontrol cihazları, çağımızın modern teknolojisine uygun olarak iki farklı prensip ile temelde imal edilirler. Bunlar; analog-yarı elektronik prensip ve dijital-tam elektronik prensiptir. Trafik Kontrol Cihazının imalat prensibi her ne olursa olsun, herhangi bir sinyalizasyon sistemi için hazırlanırken, aşağıdaki maddeleri mutlaka gerçekleştirebilecek özellikleri bulunmalıdır: (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006)[1]

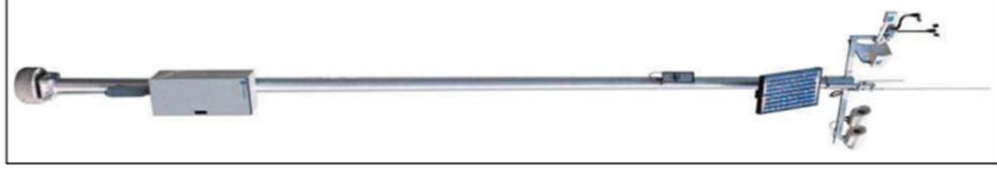
- Cihaz kapasitesinin optimum olması ve ihtiyaçtan biraz daha fazla seçilmesi,
- Cihaz, dış ortam şartlarından ve nemden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmalı ve ona uygun malzemeler ile yalıtılmalıdır,
- Voltaj değişimlerinden (dalgalanmalarından) etkilenmemelidir,
- Beklenmedik arızalara karşı önlemler alacak sigorta düzenine sahip olmalıdır,
- Yazılımında kullanılan programlar ve faz süreleri kolaylıkla değiştirilebilir olmalıdır.

Uyarıcı (Dedektör): Sinyalizasyon tesisinde yaya veya taşıtların geçişlerini, duruşlarını, hızlarını, sayılarını, kural ihlallerini v.b. birçok değişken parametreyi ölçer ve belleğe kaydeder. Bazı kavşakların işleme şekli taşıt trafiğinin değişen yüklerine göre veya yayaların geçiş talebine uygun olarak belirlenir. Uyarıcı veya dedektör adı verilen gereçler ile taleplerin varlıkları (veya yoğunlukları) trafik kontrol ve denetim merkezine iletilmek için değerlendirilir.

Uyarıcılar gösterdikleri fonksiyonlara göre üç sınıfta toplanabilir:

- Herhangi bir yaklaşım yönündeki araç varlığını gösteren dedektörler,
- Yaklaşım yönündeki araçları sayan dedektörler,
- Araç sayısı ile birlikte yaklaşım hızlarını ölçen dedektörler.

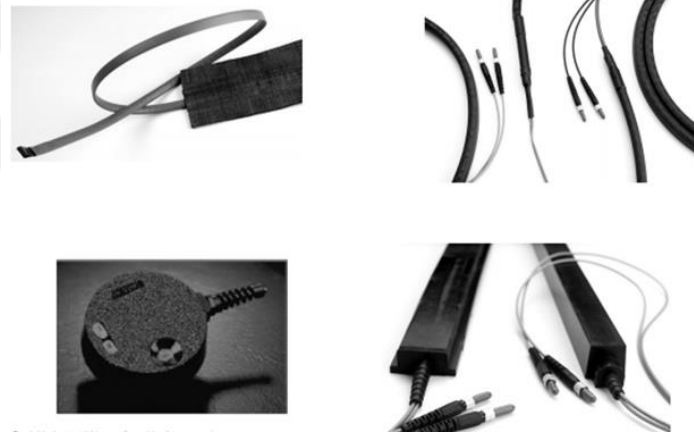
Dedektör Ünitesi: Şeritlerden geçen her bir araç ile ilgili; sayım, araçlar arası mesafe, sınıflandırma, hız tespiti gibi bilgiler, bu cihaz vasıtası ile toplanmaktadır. Yol ve çevresindeki meteorolojik bilgilerde bu sisteme aktarılmaktadır. Sistemlerde elektronik sayım ve algılama üniteleri bulunur.



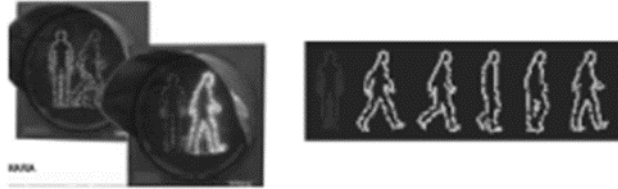
Şekil 2.11: Algılama Ünitesi.

Algılama Sensörü: Tek veya iki şeritli yollarda, optik algılama özelliği sayesinde, taşıtları yüksek hassasiyet ile algılama kapasitesine sahip bir teknolojik üründür.

Fiber Optik Sensörler: Yol tabanlarına montajı yapılır. Yol gürültüsünden ve elektromanyetik parazitlerden etkilenmeden kontrol cihazlarına verileri gönderme özelliğine sahip detektörlerdir. Araçların hızları, sayıları, durumları ve genel trafik yoğunluğu hakkında verilerin toplanıp, kontrol cihazlarına iletilmesini sağlarlar. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006)[1]



Şekil 2.12: Fiber Optik Sensörler.



Şekil 2.13: Yaya Sinyal Lambaları.

Yaya Sinyal Lambaları: Kavşaklarda, genellikle kırmızı ve yeşil sinyal ışıklarından oluşan ve yayalara genelde yeşil ışık ile 5 adımlı yürüyen adam animasyonu ile geç uyarısı veren ve kırmızı duran adam ile de dur ikazı veren trafik işaret lambalarıdır. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006)[1]

Trafik Geri Sayıcıları: Kavşaklarda kırmızı ve yeşil ışık lambalarından oluşan faz süresini aynı segmentte sürücülere veya yayalara gösteren trafik lambalarıdır. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006)[1]



Şekil 2.14: LED’li Geri Sayıcı.

Kavşak Kontrol Cihazları: Mikroişlemci kontrollüdür. UPS kullanılarak enerji kesintilerinde veri kaybının olması engellenir. Cihazlar ile yapılan bağlantılar da RS 232 portu kullanılır. Modem ile uzaktan kontrol erişimi mevcuttur. GPS modülü veya şebeke frekansı ile kablosuz koordinasyon sağlanabilir. (ÖZTÜRK (DEMİR), 2006)[1]

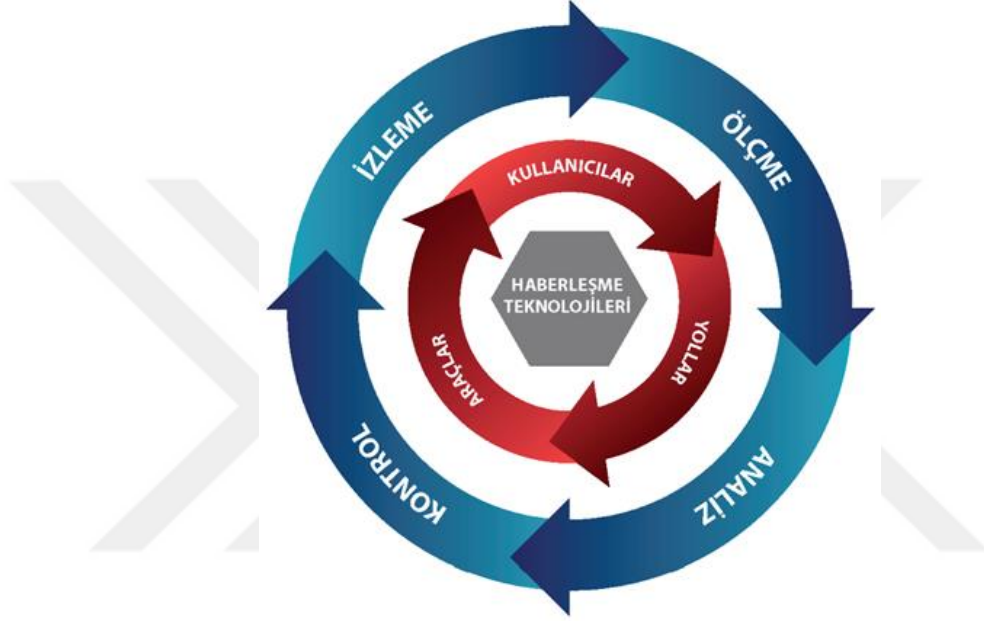


Şekil 2.15: İstanbul Genelinde Kullanılan Sinyalizasyon Sistemleri.

2.5. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ile trafikte güvenli, tasarruflu ve çevreci yaklaşım hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda, teknolojik gelişmeler ışığında yol kenarlarına yerleştirilen sensörler ile yol üzerinden alınan veriler, kablosuz iletişim ağları vasıtasıyla kontrol merkezlerine iletilir. Burada ölçülen ve izlenen çeşitli datalar anlamlandırılabilmesi

amacıyla, veri madenciliği yapılarak, yararlı bilgiler derlenir ve kontrol merkezlerinden trafikte kullanılan görüntülü ve yazılı mesajlar içeren elektronik bilgilendirme panolarına iletilir. Panolara iletilen veriler; ilgili yolun anlık genel trafik durumu hakkında, anlık hava durumu hakkında ve uyulması gereken trafik kuralları hakkında sürücülere bilgiler verir. Tüm bu olaylar kümesinin etkin bir şekilde sürdürülebilmesi, disiplinler arası bir çalışma ritmine sahip akıllı ulaşım sistemleri sayesinde olur. (www.uab.gov.tr, 2022)[8]



Şekil 2.16: Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Tanımı.

2.5.1. AUS Teknolojilerine Duyulan İhtiyaç ve Faydaları:

Kentsel yaşamın yaygınlaştığı son yıllarda, özellikle artan taşıt talebi doğrultusunda, yollarda eskiye nazaran çok daha fazla sayıda araç trafikte seyir halinde hareket etmektedir. Taşıt artışına paralel kavşakların kapasitesinde azalma meydana gelebilmektedir. Azalan kapasiteyi arttırmanın en etkili yöntemi de kavşak verimliliğini arttırmaktır. Kavşakları etkin kullanmak için sinyalizasyon tekniklerinin optimize edilerek, kavşağa en uygun metotların kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. AUS sayesinde, trafikte kaza sayılarında düşüşler, trafikte araç gecikmelerine bağlı yakıt tüketimi ve emisyon gazlarının salınımında azalmalar gerçekleşmektedir. Daha emniyetli ve daha az maliyetli trafik akımı kontrol ve denetim mekanizması için, AUS mimarisine ihtiyacımız vardır.

AUS'un yaygınlaşması ile birlikte görülebilecek başlıca faydalar, aşağıda paylaşılmıştır:

- Trafikte gecikme sürelerinin azalması
- Trafik kazalarına bağlı ölümlerin, yaralı sayılarının ve maddi kayıpların azalması,
- Seyahat süresinin düşürülmesi ile yakıt tasarrufunun sağlanması,
- Karbon salınımı ve çevre kirliliğinin azalması,
- Araçların yıpranma süresinin gecikmesiyle bakım maliyetlerinde tasarruf sağlanması,
- Araç-araç, araç-altyapı, araç-merkez haberleşme sistemleri ile seyahat süresini azaltıp ulaşım kolaylığı sunması,
- Trafik güvenliğine ve toplu ulaşım katkı sağlayan web-mobil uygulamalarının ortaya çıkmasının sağlanması,
- Kameralar, sensörler ve benzeri uygulamalar yardımıyla araç, çevre ve altyapıdan elde edilen büyük datanın sentezlenmesi ile birlikte ulaşım kolaylığının sağlanması,
- Trafikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile elektriksel tasarrufun sağlanması,
- Kameralardan ve benzeri uygulamalardan elde edilen verilerle kamu güvenliğinin sağlanması,
- Gerçek zamanlı verilere dayanan mobil uygulamalar ve hizmetler sayesinde elde edilecek doğru ve anlık bilgiler ile yolcu ve yük hareketliliğinin optimize edilmesi.

Akıllı ulaşım sistemlerinin sağladığı başlıca faydalardandır. |

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KAVŞAKLARDA KAPASİTE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Kavşak türünün belirlenmesinde ki unsurlardan; yatırım ve işletme maliyetleri, güvenlik, gecikme ve kapasite arasından en önemlisi kapasitedir. Bir kavşağın en verimli haliyle kullanılmasında, kavşağın kapasitesinin payı çok büyüktür. Kapasite, kavşaklardaki güncel maliyeti, gecikmeleri ve emniyeti doğrudan etkilemektedir.

Kapasiteyi, ideal yol ve trafik koşullarında belirli bir yol kesitinden saatte geçen maksimum taşıt sayısı olarak adlandırabiliriz. (ÇETİNKAYA, 2008)[6]

Bir diğer ifade ile kapasite, yolun var olan geometrik koşulları ve yolu kullanmakta olan taşıt kompozisyon koşullarına göre, o yoldan geçmesi muhtemel maksimum taşıt sayısıdır. Kısaca kapasite, beklenen akım şartlarında bir yoldan geçmesi mümkün olan en çok taşıt sayısı olarak ifade edilebilir. (ÇETİNKAYA, 2008)[6]

3.1.1. Sinyalizasyon Devre Süresinin Hesaplanması:

Sinyalizasyon sistemi olan bir kavşağın, tüm yaklaşım kollarındaki sinyal sistemlerini tamamlayan toplam süreye devre süresi (C) denir. Devre süresini Denklem 3.1 bağıntısı ile elde edebiliriz. Bu sürenin hesaplanmasında öncelikle;

- Fazların yeşil ışık süreleri toplamı,
- Kavşakta meydana gelen kayıp süre hesabı gerekmektedir. (SAVAŞ, 2019)[9]

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + t_s \quad (3.1)$$

C: Devre Süresi,

n: Faz Süresi,

G_i : i Fazını Kontrol Eden Akımın Yeşil Işık Süresi,

t_s : Kayıp Zaman,

Olarak tanımlanmaktadır.

Pratikte 30 saniyeden daha kısa bir devre süresinin, kavşaktaki trafik yoğunluğu açısından uygun olması durumunda, eşdüzey bir kavşağın sinyalizasyon sistemine ihtiyacı olmaz. Devre süresi hesaplanacak sinyalizasyon kavşaklarda özel bir durum olmaması halinde, kavşaktaki devre süreleri 135-140 saniye ile sınırlandırılması uygun görülmektedir. (SAVAŞ, 2019)[9]

Devre süreleri belirlenirken kavşakta birlikte veya ayrı hareket eden faz gruplarının toplam süreleri dikkate alınır. Faz süreleri hesabı yapılırken, kavşak geometrisi, trafik hacmi, kavşak yaklaşım kolu sayısı, kavşakta dönüş yapan taşıt sayısı gibi pek çok parametre etkili olmuştur. (SAVAŞ, 2019)[9]

Kavşaktaki toplam kayıp süreler, koruma süreleri ve her yöne kırmızı sürelerin toplamı olarak Denklem 3.2 yardımıyla elde edilir. (SAVAŞ, 2019)[9]

$$\Delta_t = \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n t_{Ki} + \sum t_R \quad (3.2)$$

Burada;

Δ_t : Toplam Kayıp Zaman (sn),

n: Faz Sayısı,

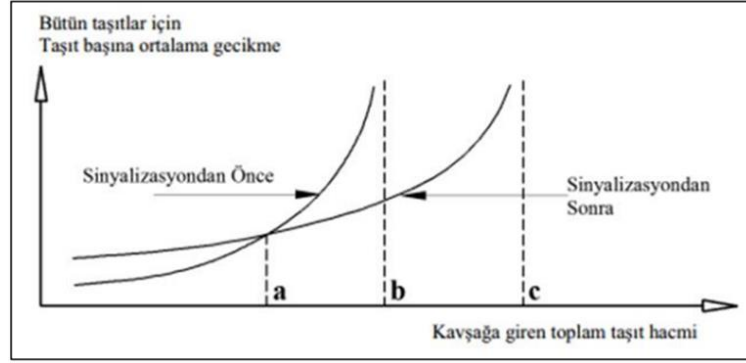
Y_i : i Fazındaki Akım Yönü İçin Verilen Sarı Süre (sn),

t_{Ki} : i Fazı İle Bir Önceki Faz Arasındaki Koruma Süresi (sn),

$\sum t_R$: Her Yöne Ait Kırmızı Sürelerin Toplamıdır (sn).

3.1.2. Sinyalizasyonun Taşıt Gecikme Süresi Üzerindeki Etkisi:

İki aynı geometrik özelliğe sahip kavşağı analiz edecek olursak, sinyalizasyon olan kavşağın kapasitesinin sinyalizasyon olmayan kavşağa göre daha büyük olduğunu görürüz. Fakat trafik akımı belirli bir Şekil 3.1'deki b seviyesine ulaşamadığı durumlarda, sinyalizasyon sistemi kavşak genelinde gereksiz gecikmelere neden olabilir. Ayrıca Şekil 3.1'de a noktası sinyal sisteminin pozitif yönde etki etmeye başladığı toplam taşıt hacmi değerini, c noktası ise sinyalizasyon kavşağın toplam kapasitesini göstermektedir. (SAVAŞ, 2019)[9]

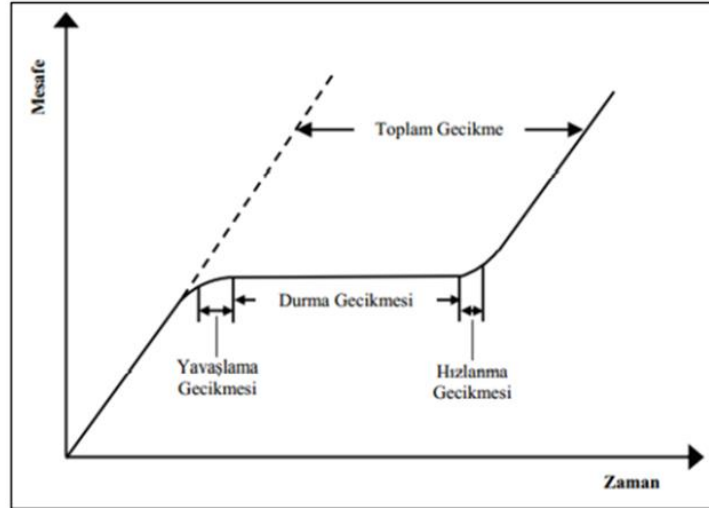


Şekil 3.1: Sinyalizasyonun Gecikme Süresine Etkisi.

Sinyalizasyon sistemine sahip bir kavşağın etkinlik derecesini belirleyen en önemli parametrelerden biri olarak taşıt gecikmesini söyleyebiliriz. Taşıt gecikmesini etkileyen faktörler ise;

- Araçların ivmelenme sırasında yaşadıkları gecikme süreleri,
- Araçların kavşağa yaklaştıklarında hızlarını düşürerek yavaşlama gecikme süresi, ve
- Araçların durma esnasında yavaşlama ivmelenmesine bağlı gecikme süreleri

Olmak üzere üç parametreyi sayabiliriz.



Şekil 3.2: Sinyalize Kavşak Kolundaki Taşıtın Zamana Bağlı Aldığı Mesafe.

3.1.3. Taşıt Gecikme Hesabında Kullanılan Başlıca Yöntemler:

Kavşakta araçların ortalama gecikme sürelerinin hesabında genel olarak kullanılan yöntemler, geleneksel ve modern yöntemler olmak üzere 2 grupta incelenebilir.

Geleneksel Yöntemler:

1. Avustralya (Akçelik) Yöntemi,
2. Webster Yöntemi,
3. HCM 2000 Yöntemi.

Modern Sezgisel Algoritmalar ile Oluşturulan Yöntemler:

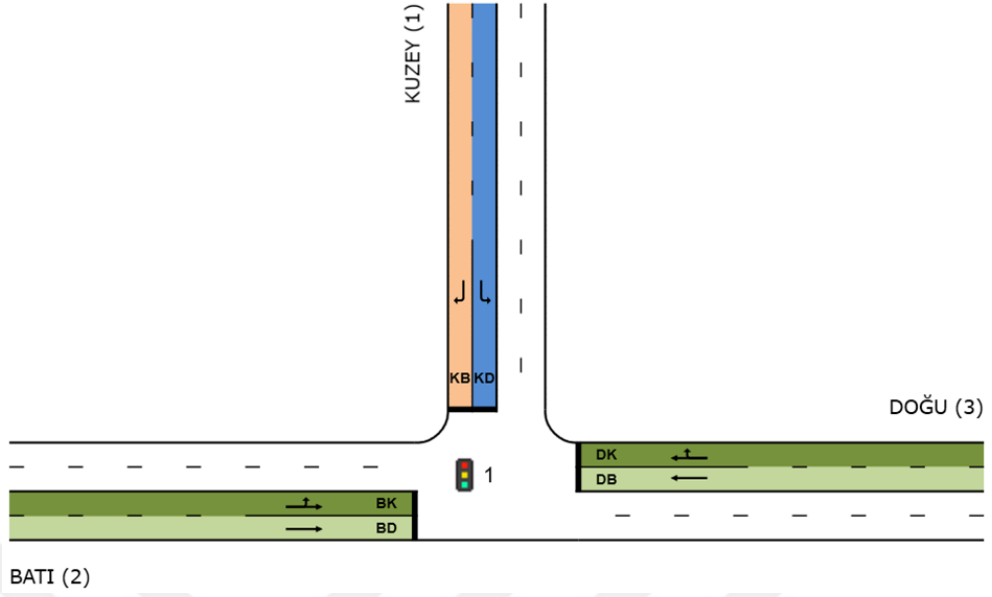
1. Armoni Araması Optimizasyon Tekniği,
2. Genetik Algoritma Optimizasyon Tekniği,
3. Sürü Parçacıkları Optimizasyon Tekniği,
4. Karınca Kolonisi Optimizasyon Tekniği,
5. Tavlama Benzetimi Optimizasyon Tekniği, v.b.(MURAT & ÇAKICI, 2015)[9]

3.2. SENARYOLAR

Sinyal fazı ile kavşaktaki emniyetli sürüş ortamı oluşturulabilmektedir. Kavşağın etkin kontrolü için sinyal fazının temel bir görevi bulunmaktadır. Bir kavşaktaki taşıt veya yaya geçiş önceliği, sinyal fazları ile kontrol edilebilmektedir. (MURAT & ÇAKICI, 2015)[10]

Sinyal fazları tasarlanırken, akımların birbirleri ile çakışmaması temel faktör olarak ele alınır. Sonrasında, iyi bir sinyal fazından; kavşağın minimum kuyruk uzunluğunda, minimum gecikme süresinde ve taşıt durarak hareket etmesinin minimum sürelerde olması beklenir. (MURAT & ÇAKICI, 2015)[10]

Tez çalışmasında, üç farklı yaklaşım koluna sahip kavşak incelenmiş olup, trafikte ki seyir güvenliğinin yüksek irtifada sağlanabilmesi amacıyla, her yaklaşım koluna ait bir faz belirlenmiştir. Çalışma yapılan kavşak modellemesi aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır.



Şekil 3.3: Tez Çalışmasında Kullanılan 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Kesişim Modeli.

Günlük yaşıantımızda kavşaklarda ki yaklaşım kollarında saatlik olarak değişen trafik yoğunluğu görülmektedir. Değişken trafik yoğunluğuna adapte olabilecek ve trafik sıkışıklığı problemine çözüm olabilecek geleneksel trafik ışıklarının yerini modern sinyalizasyon teknikleri ile doldurmak mümkündür. Okul saatleri, iş giriş-çıkış saatleri gibi rutin olarak günün belli saatlerinde gerçekleşen faaliyetler sonucu, yaklaşım kollarında ki trafik hacimleri de değişkenlik göstermektedir.

Çalışmada, hem modern (meta – sezgisel) gecikme süresi hesabı yöntemi olan genetik algoritma ile optimum sinyal süresi yaklaşımı hem de geleneksel trafik gecikme süresi ve optimizasyon yöntemi olan Webster ile hesaplama yaklaşımı incelenmiştir.

Her iki metot için de kavşaktaki yaklaşım kollarının (Kuzey – Batı – Doğu) farklı yoğunluklardaki trafik hacimlerinin olduğu, 10 farklı senaryo tasarımı yapılmıştır.

Tablo 3.1: Farklı Senaryolar İçin Kavşak Yaklaşım Kollarının Trafik Hacimleri.

ÖRNEK SENARYOLAR	SAATLİK TRAFİK HACİMLERİ (ta/sa)		
	KUZEY YAKLAŞIM KOLU (1)	BATI YAKLAŞIM KOLU (2)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU (3)
1	500	500	700
2	1000	750	750
3	1200	1000	800
4	1400	800	600
5	1000	1000	1000
6	900	1100	650
7	600	600	600
8	750	900	1100
9	500	1000	1000
10	500	1250	750

3.2.1. Analiz Yaklaşımları ve Modellemeleri:

Trafik yoğunluğunu dolayısı ile trafikteki gecikme süresini minimize etmek için, 3 yaklaşım kolu için de var olan trafik hacimleri birlikte değerlendirilerek, 4 farklı analiz yöntemi uygulanmıştır. Her analiz yöntemi için, 3 farklı yaklaşım kolundaki trafik yoğunluğunu kontrol etmek amacıyla birbirinden farklı faz süreleri hesaplanmıştır. Analiz yöntemleri olarak kullanılan Genetik Algoritma ve Webster'in yanı sıra Sidra'nın kendi algoritması ile birlikte her senaryo için random olarak seçilen sabit devre süresi ile faz sürelerinin trafik gecikmesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Uygulanan analiz yöntemlerinden yola çıkılarak minimum gecikme süresinin hesabı yapılmıştır. Her bir analiz yönteminin kendi içerisinde farklı hesaplama metotları ve algoritmaları mevcuttur.

Her analiz yöntemi için, algoritmalar ve formülasyonlar matlab programında kullanılarak, gecikme süresinin teorik değerinin hesabı yapılmıştır. Hesaplanan teorik değer in reel yaşamdaki uygulanabilirliğinin test edilebilmesi amacıyla ve buna bağlı olarak en iyi analiz yönteminin tespiti için 2 farklı simülasyon programı kullanılmıştır. PTV Vissim simülasyon programı ile Sidra Intersection simülasyon programı bu çalışmada kullanılan programlardır.

3.2.1.1. Webster Yaklaşımı Analizi:

Tablo'da gösterilen 10 farklı senaryo öncelikli olarak geleneksel trafik gecikme hesap yöntemi olan Webster optimum sinyal süresi ve gecikme hesabı yaklaşımı ile Matlab programında modellenerek analiz edilmiştir.

Optimum devre süresi hesabı için aşağıdaki Webster optimum devre süresi bağıntısı kullanılmıştır:

$$C_{opt} = ((\varphi * L) + 5)/(1 - Y) \quad (3.3)$$

Burada;

$\varphi=1,50$ (Kavşak 3 veya daha fazla yaklaşım kolu içerdiği için bu değer alınmıştır).

$L= 12$ sn. (Toplam Kayıp Süre). Her faz için 4 sn Sarı ışıktan dolayı kaybedilmiş bir süre vardır. 3 faz için $4*3=12$ sn. Toplam devre süresi içinde kayıp zamandır.

$Y=$ Toplam doygunluk oranını ifade eder.

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.4)$$

$y_i=$ Doygunluk oranını ifade eder.

$$y_i = \frac{Q_i}{S_i} \quad (3.5)$$

$Q_i=$ Kavşakta birim saatteki i . Yaklaşım kolundan geçen taşıt sayısıdır. (Saatlik trafik hacmidir).

$S_i=$ Kavşakta birim saatteki i . Yaklaşım kolundan yolun koşullarına göre geçebilecek maksimum taşıt sayısını temsil eder. (Taşıt / Saat)

Webster Optimum Gecikme ve Sinyal Süresi Yaklaşımı Formülasyonu:

$$d = \frac{(C * (1 - \lambda)^2)}{2 * (1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2 * q * (1 - x)} - 0,65 \sqrt[3]{\frac{C}{q^2}} * x^{(2+5*\lambda)} \quad (3.6)$$

Burada;

d = Her bir yaklaşım kolundaki her taşıt için ortalama gecikme süresini (Saniye / Taşıt) temsil eder.

C = Devre süresini belirtir. (sn)

λ = Etkin yeşil sürenin devre süresine oranını ifade eder.

q = Birim zamandaki taşıt sayısını temsil eder. (Taşıt / Saniye)

x = Doygunluk derecesini gösterir. (Her bir yaklaşım kolundaki akımın, ilgili yaklaşım kolundaki mümkün olan maksimum akıma oranıdır).

$$x_i = \frac{Q_i}{\lambda * S_i} \quad (3.7)$$

Q_i = Birim saatteki i.yaklaşım kolundaki taşıt sayısıdır. (Taşıt / Saat)

λ = Etkin yeşil sürenin devre süresine oranını ifade eder.

S_i = i. Yaklaşım kolundan geçebilecek maksimum taşıt sayısıdır.

Webster yönteminde yeşil süre hesabı yapılırken;

$$g_i = \frac{y_i}{Y} * (C - L) \quad (3.8)$$

Burada;

g_i = Etkin yeşil süreyi gösterir. (sn)

y_i = i. Yaklaşım kolundaki doyumluk oranıdır.

Y = Toplam doyumluk oranıdır.

C = Devre süresidir. (sn)

L = Toplam kayıp süredir. (sn)

Her bir yaklaşım kolundaki taşıt başına gecikme süresini saniye cinsinden hesapladıktan sonra, kavşaktaki ortalama taşıt başına gecikme süresini hesaplamak için;

$$d_{ort.} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * d_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (3.9)$$

bağıntısı kullanılır. Burada amaç, kavşaktaki tüm yaklaşım kolları içindeki taşıt başına ortalama gecikme süresini saniye cinsinden bulmaktır.

Burada;

$d_{ort.}$ = Kavşaktaki ortalama taşıt başına gecikme süresi (Saniye / Taşıt)

d_i = i. Yaklaşım kolundaki ortalama taşıt başına gecikme süresi (Saniye / Taşıt)

Q_i = Birim saatteki i.yaklaşım kolundaki taşıt sayısıdır. (Taşıt / Saat)

$$\begin{aligned} d = & (((((c * (1 - a1)^2)/(2 * (1 - a1 * x1))) + ((x1^2)/((2) * (q1) * (1 \\ & - x1))) - ((65/100) * (((c)/(q1^2))^{(1/3)}) * ((x1)^{(2) \\ & + (5) * (a1))))) * (Q1)) + (((((c * (1 - a2)^2)/(2 * (1 - a2 \\ & * x2))) + ((x2^2)/((2) * (q2) * (1 - x2))) - ((65/100) \\ & * (((c)/(q2^2))^{(1/3)}) * ((x2)^{(2) + (5) * (a2))))) * (Q2)) \quad (3.10) \\ & + (((((c * (1 - a3)^2)/(2 * (1 - a3 * x3))) + ((x3^2)/((2) \\ & * (q3) * (1 - x3))) - ((65/100) * (((c)/(q3^2))^{(1/3)}) \\ & * ((x3)^{(2) + (5) * (a3))))) * (Q3)))/(Q1 + Q2 + Q3); \end{aligned}$$

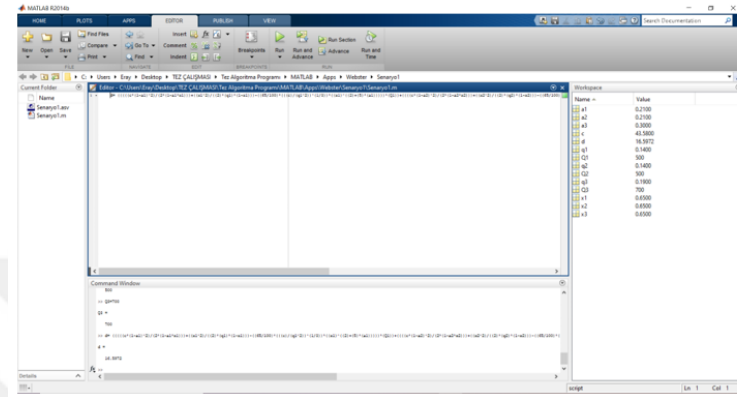
Webster yönteminde tüm senaryolar için ortak kullanılacak matlab formülasyonudur. Burada değişken değerler her bir senaryo için ayrı ayrı hesaplanacaktır.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken, her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılacaktır.

Fval (d) değeri de ortalama taşıt başına gecikme süresidir.

Senaryo 1

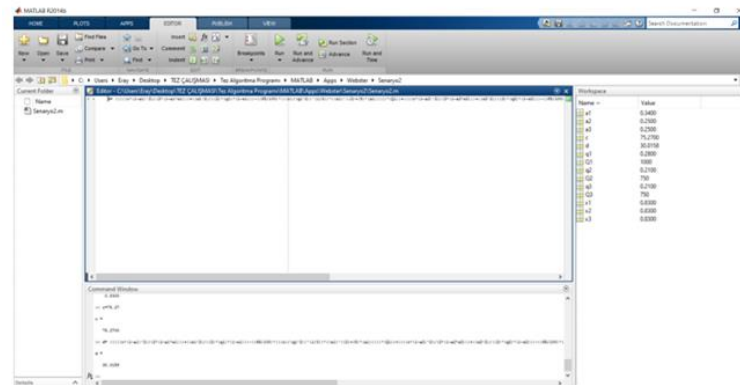
Q1	Q2		Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
500	500		700	0,14	0,14	0,19	3600	3600	3600
y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	$c_{opt.} = 43,58$		
0,14	0,14	0,19	0,47	0,29	0,29	0,41			
g(1)= 9,29			λ(1)= 0,21		x(1)= 0,65				
g(2)= 9,29			λ(2)= 0,21		x(2)= 0,65				
g(3)= 13,00			λ(3)= 0,30		x(3)= 0,65				



Şekil 3.4: Webster Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.

Senaryo 2

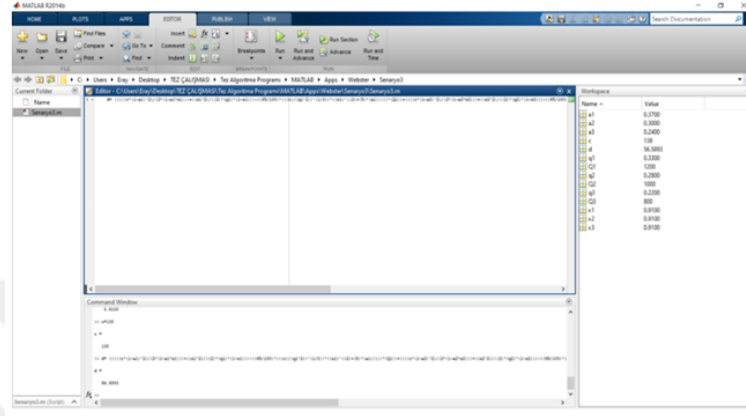
Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
1000	750	750	0,28	0,21	0,21	3600	3600	3600
y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	$c_{opt.} = 75,27$	
0,28	0,21	0,21	0,69	0,40	0,30	0,30		
g(1)= 25,31			$\lambda(1)= 0,34$		x(1)= 0,83			
g(2)= 18,98			$\lambda(2)= 0,25$		x(2)= 0,83			
g(3)= 18,98			$\lambda(3)= 0,25$		x(3)= 0,83			



Şekil 3.5: Webster Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.

Senaryo 3

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
1200	1000	800	0,33	0,28	0,22	3600	3600	3600
y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y		
0,33	0,28	0,22	0,83	0,40	0,33	0,27	$c_{opt.} = 138,00$	
g(1)= 50,40			$\lambda(1)= 0,37$		x(1)= 0,91			
g(2)= 42,00			$\lambda(2)= 0,30$		x(2)= 0,91			
g(3)= 33,60			$\lambda(3)= 0,24$		x(3)= 0,91			

**Şekil 3.6:** Webster Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.

Analiz sonucunda elde edilen her yaklaşım kolu için sinyal faz süreleri ve kavşak ortalama taşıt gecikme süreleri tablo 3.2’de paylaşılmıştır.

Tablo 3.2: Webster Yöntemi ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikme Süreleri

ÖRNEK SENARYOLAR	SİNYAL SÜRELERİ (SN)				ORTALAMA GECİKME (SN/TAŞIT)
	KUZEY YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	BATI YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DEVRE SÜRESİ (SN)	
1	9,29	9,29	13,00	43,58	16,60
2	25,31	18,98	18,98	75,27	30,02
3	50,40	42,00	33,60	138,00	56,59
4	45,75	26,14	19,61	103,50	40,32
5	42,00	42,00	42,00	138,00	57,30
6	25,53	31,20	18,43	87,16	34,31
7	11,33	11,33	11,33	46,00	17,67
8	23,29	27,95	34,16	97,41	39,07
9	12,65	25,31	25,31	75,27	29,22
10	12,65	31,64	18,98	75,27	28,70

L Kayıp Süre = 12 sn. (Her fazın başlangıcında ve bitişinde olmak üzere; 2+2=4 sn. Sarı ışık süresi baz alınmıştır).
 $\phi=1,5$ alınmıştır. (Optimum Sinyal Süre Hesabında)

3.2.1.2. Genetik Algoritma Yaklaşımı Analizi:

Farklı ve tümleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde genel olarak faydalanan ve etkin çözümler sağlayan genetik algoritma (GA), random oluşturulmuş bir çözüm kümesi (başlangıç

popülasyonu) ile çözüme başlayan bir meta-sezgisel yaklaşımdır. Genetik algoritma yaklaşımında her bir çözüm, kromozom (birey) olarak çözüm kümesi içerisinde yer almaktadır. (ŞAHİN, 2019)[11]

Yeni çözümlerin oluşumu ve mevcut çözümün gelişimi için mutasyon ve çaprazlama gibi teknikler uygulanır. Çaprazlanacak bireyler; rulet tekeri, sıralama, turnuva, kararlı durum ve rastgele seçim yöntemlerine tabi tutulur. Ters çevirme, ikili yer değiştirme, ekleme gibi yöntemler kullanılarak bazı genlerde modifikasyon işlemleri yapılır. Böylelikle oğul bireylerin rastgele değişimleri yapılarak en iyi çözüme ulaşılmak istenir. (ŞAHİN, 2019)[11]

Oluşturulan çözümlerin kalitesi için, tüm çözümler uygunluk fonksiyonu ile denetlenip, topluluk hacminin sabit tutulabilmesi için, kromozomlarda eleme işlemi yapılır. Böylece, mevcut popülasyonda en iyi çözümü sağlayan bireyler, bir sonraki nesle aktarılabilir. (ŞAHİN, 2019)[11]

Sonlandırma kistası sağlanıncaya kadar devam eden süreç sonunda, en iyi çözümü sağlayan kromozom en iyi çözüm olarak sunulur. (ŞAHİN, 2019)[11]

Tez araştırmasında genetik algoritma yöntemi ile kavşaklarda ki taşıt gecikmesini minimize etmemiz gerekmektedir. Bunun için de Webster modellenmiş optimizasyon problem şeması aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3.3: Amaç Fonksiyonu, Karar Değişkeni, Kısıtları İçeren Optimizasyon Problem Şeması.

Amaç Fonksiyonu	$f=\min(d_{ort.} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * d_i}{\sum_{i=1}^n Q_i})$		
Karar Değişkenleri	g_1	Kuzey Yaklaşım Koluna Ait Yeşil Süre (sn) $5 \leq g_1 \leq 45$	
	g_2	Batı Yaklaşım Koluna Ait Yeşil Süre (sn) $5 \leq g_2 \leq 45$	
	g_3	Doğu Yaklaşım Koluna Ait Yeşil Süre (sn) $5 \leq g_3 \leq 45$	
Kısıtlar	$0 \leq \frac{Q_1 * C}{g_1 * S_1} \leq 0.95$		
	$0 \leq \frac{Q_2 * C}{g_2 * S_2} \leq 0.95$		
	$0 \leq \frac{Q_3 * C}{g_3 * S_3} \leq 0.95$		
Kısıtlardaki Q, C ve S'ler değişken olmadığından dolayı kısıtlar, karar değişkeninin kısıtlarıdır.			

Amaç fonksiyonundan da görülebileceği üzere, optimizasyon probleminin amacı, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini minimize etmektir. Bundan dolayı da amaç fonksiyonun belirlenmesinde, minimum gecikme değeri baz alınmıştır.

Kavşaktaki araç yoğunluğunu azaltmanın temel yöntemi ise, yaklaşım kollarındaki trafik ışıklarının sinyal sürelerinin optimize edilmesi ile mümkündür.

Webster optimum sinyal süresi ve hesabı yaklaşımı incelendiği zamanda (x, λ, C) gibi gecikme süresini etkileyen parametre değerlerinin, fazlara ait yeşil ışık sürelerine bağlı olduğu açıkça görülmektedir.

Bundan dolayı da amaç fonksiyonunu oluşturan problem için, karar değişkeni olarak fazlara ait yeşil sinyal süreleri baz alınmıştır. Yeşil sürelerin her faz için, minimum 5 ve maksimum 45 saniye aralığında olabileceği varsayımında bulunulmuştur.

Kavşaktaki yaklaşım koluna ait doyumluk derecesi (x) Webster sinyal süresi ve gecikme hesabı yaklaşımına göre 0 ile 0.95 değeri arasında olmalıdır. Aksi takdirde, Webster yöntemi gecikme minimizasyonu problemini çözümlmek için yetersiz kalmaktadır. Yani, 0.95-1.00 aralığında olan doyumluk derecesine sahip kavşaklar için (doyum üstü durum) Webster yaklaşımını kullanmak uygun olmayacaktır.

Doyumluk derecesi (x) fazların yeşil sinyal sürelerine (karar değişkenlerine) bağlı bir değişken olduğu için, karar değişkenlerini kısıtlayan bir durumun ortaya çıktığı görülmektedir. Karar değişkenlerinin kısıtları olarak doyumluk derecesinin minimum ve maksimum olabileceği değer aralığını almak, problem çözümü için uygun olacaktır.

Böylece yukarıda paylaşılan tablodan da görülebileceği üzerine, optimizasyon problemine ait amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve karar değişkenlerine bağlı kısıtlar belirlendikten sonra, problemin çözümüne yönelik meta-sezgisel algoritmalar Matlab programında yer alan kütüphaneden çekilerek, teorik olarak gecikme süresinin minimize olduğu değer hesaplanmıştır. Her bir yaklaşım kolu için, ayrı ayrı belirlenen yeşil ışık sinyal faz süreleri de Matlab programında yapılan hesaplamalar sonucu bulunmuştur.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer

senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

```
ObjFcn= @myFitness;
```

```
nvars=3;
```

```
LB= [5 5 5];
```

```
UB= [45 45 45];
```

```
ConsFcn= @myConstraints;
```

```
options= gaoptimset('TolFun',0,'TolCon',0,'Generations',1000);
```

```
[x,fval]= ga(ObjFcn,nvars,[],[],[],[],LB,UB,ConsFcn,options);
```

Genetik algoritma yönteminde tüm senaryolar için ortak kullanılacak main fonksiyon matlab formülasyonudur. Burada değişecek değerler; kısıtlar ve amaç fonksiyonu her bir senaryo için ayrı ayrı hesaplanacaktır.

Senaryo 1

Amaç Fonksiyonu:

```
function y= myFitness(x)
```

$$\begin{aligned}
y = & (((((((x(1) * 3.4 + 12) * (1 - (x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)))^2)/(2 * (1 \\
& - (x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)) * (500/((x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)) \\
& * (3600)))))) + (((500/((x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)) \\
& * (3600)))^2)/((2 * (0.14) * (1 - (500/((x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)) \\
& * (3600)))))) - ((65/100) * ((x(1) * 3.4 + 12)/((0.14)^2))^{1/3} \\
& * (((500/((x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)) * (3600))))^{(2) + (5)} \\
& * (x(1)/(x(1) * 3.4 + 12)))))) * (500)) + (((((((x(2) * 3.4 + 12) * (\\
& - (x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)) \\
& * (500/((x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)) * (3600)))))) \\
& + (((500/((x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)) * (3600)))^2)/((2 * (0.14) * (\\
& - (500/((x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)) * (3600)))))) - ((65/100) \\
& * (((x(2) * 3.4 + 12)/((0.14)^2))^{1/3}) * ((500/((x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)) \\
& * (3600))))^{(2) + (5)} * (x(2)/(x(2) * 3.4 + 12)))))) \\
& * (500)) + (((((((x(3) * 2.43 + 12) * (1 - (x(3)/(x(3) * 2.43 \\
& + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(3)/(x(3) * 2.43 + 12)) * (700/((x(3)/(x(3) * 2.43 + 12)) \\
& * (3600)))))) + (((700/((x(3)/(x(3) * 2.43 + 12)) \\
& * (3600)))^2)/((2 * (0.19) * (1 - (700/((x(3)/(x(3) * 2.43 + 12)) \\
& * (3600)))))) - ((65/100) * ((x(3) * 2.43 \\
& + 12)/((0.19)^2))^{1/3}) * ((700/((x(3)/(x(3) * 2.43 + 12)) \\
& * (3600))))^{(2) + (5)} * (x(3)/(x(3) * 2.43 + 12)))))) \\
& * (700)))/(500 + 500 + 700);
\end{aligned} \tag{3.11}$$

end

Formülasyondaki x1, x2 ve x3 değişkenleri her faza ait yeşil ışık sinyal süreleridir.

Fval (y) değeri de ortalama taşıt başına gecikme süresidir.

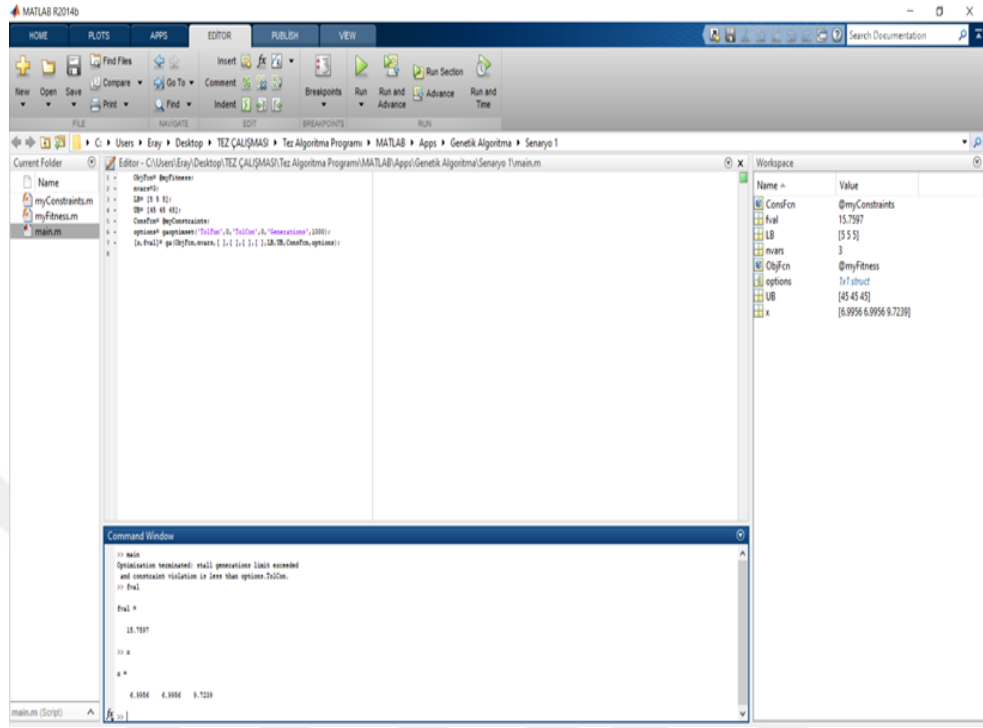
Kısıt Fonksiyonu:

function [c,c_eq]= myConstraints(x)

$$\begin{aligned}
c = & [(((500 * (x(1) * 3.4 + 12))/(x(1) * 3600)) - 0.95); (((500 * (x(2) * 3.4 \\
& + 12))/(x(2) * 3600)) - 0.95); (((700 * (x(3) * 2.43 + 12))/(x(3) \\
& * 3600)) - 0.95)];
\end{aligned} \tag{3.12}$$

c_eq= [];

end



Şekil 3.7: Genetik Algoritma Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.

Senaryo 2

Amaç Fonksiyonu:

function y= myFitness(x)

$$\begin{aligned}
y = & (((((((x(1) * 2.5 + 12) * (1 - (x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)))^2)/(2 * (1 \\
& - (x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) * (1000/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) \\
& * (3600)))))) + (((1000/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) \\
& * (3600)))^2)/((2) * (0.28) * (1 - (1000/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) \\
& * (3600)))))) - ((65/100) * ((x(1) * 2.5 + 12)/((0.28)^2))^(1/3) \\
& * (((1000/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) * (3600))))^(2) + (5) \\
& * (x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)))))) * (1000)) + (((((((x(2) * 3.33 + 12) \\
& * (1 - (x(2)/(x(2) * 3.33 + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(2)/(x(2) * 3.33 \\
& + 12)) * (750/((x(2)/(x(2) * 3.33 + 12)) * (3600)))))) \\
& + (((750/((x(2)/(x(2) * 3.33 + 12)) * (3600)))^2)/((2) * (0.21) \\
& * (1 - (750/((x(2)/(x(2) * 3.33 + 12)) * (3600)))))) - ((65/100) \\
& * (((x(2) * 3.33 + 12)/((0.21)^2))^(1/3) * (((750/((x(2)/(x(2) \\
& * 3.33 + 12)) * (3600))))^(2) + (5) * (x(2)/(x(2) * 3.33 \\
& + 12)))))) * (750)) + (((((((x(3) * 3.33 + 12) * (1 - (x(3)/(x(3) \\
& * 3.33 + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(3)/(x(3) * 3.33 + 12)) \\
& * (750/((x(3)/(x(3) * 3.33 + 12)) * (3600)))))) \\
& + (((750/((x(3)/(x(3) * 3.33 + 12)) * (3600)))^2)/((2) * (0.21) \\
& * (1 - (750/((x(3)/(x(3) * 3.33 + 12)) * (3600)))))) - ((65/100) \\
& * (((x(3) * 3.33 + 12)/((0.21)^2))^(1/3) * (((750/((x(3)/(x(3) \\
& * 3.33 + 12)) * (3600))))^(2) + (5) * (x(3)/(x(3) * 3.33 \\
& + 12)))))) * (750)))/(1000 + 750 + 750);
\end{aligned} \tag{3.13}$$

end

Formülasyondaki x1, x2 ve x3 değişkenleri her faza ait yeşil ışık sinyal süreleridir.

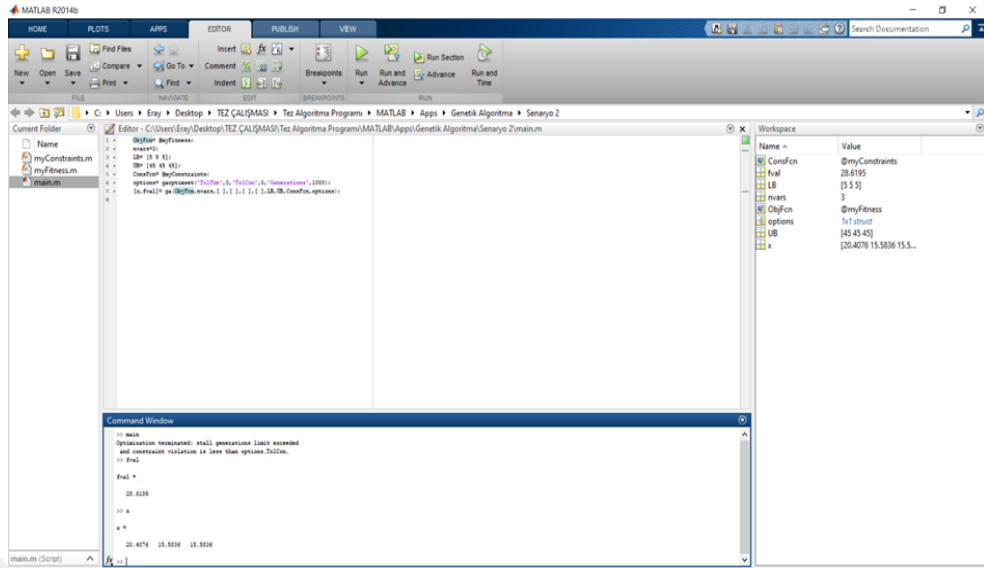
Fval (y) değeri de ortalama taşıt başına gecikme süresidir.

Kısıt Fonksiyonu:

function [c,c_eq]= myConstraints(x)

$$\begin{aligned}
c = & [(((1000 * (x(1) * 2.5 + 12))/(x(1) * 3600)) - 0.95); (((750 * (x(2) * 3.33 \\
& + 12))/(x(2) * 3600)) - 0.95); (((750 * (x(3) * 3.33 + 12))/(x(3) \\
& * 3600)) - 0.95)];
\end{aligned} \tag{3.14}$$

c_eq= []; end



Şekil 3.8: Genetik Algoritma Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.

Senaryo 3

Amaç Fonksiyonu:

function y= myFitness(x)

$$\begin{aligned}
 y = & (((((((((x(1) * 2.5 + 12) * (1 - (x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(1)/(x(1) * 2.5 \\
 & + 12)) * (1200/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) * (3600))))))))) \\
 & + (((1200/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) * (3600)))^2)/((2) * (0.33) * (1 \\
 & - (1200/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) * (3600)))))) - ((65/100) * (((x(1) * 2.5 \\
 & + 12)/((0.33)^2))^1/3) * (((1200/((x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)) \\
 & * (3600))))^((2) + (5) * (x(1)/(x(1) * 2.5 + 12)))))) * (1200)) + ((((((x(2) \\
 & * 3 + 12) * (1 - (x(2)/(x(2) * 3 + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(2)/(x(2) * 3 + 12)) \\
 & * (1000/((x(2)/(x(2) * 3 + 12)) * (3600)))))) + (((1000/((x(2)/(x(2) * 3 \\
 & + 12)) * (3600)))^2)/((2) * (0.28) * (1 - (1000/((x(2)/(x(2) * 3 + 12)) \\
 & * (3600)))))) - ((65/100) * (((x(2) * 3 + 12)/((0.28)^2))^1/3) \\
 & * (((1000/((x(2)/(x(2) * 3 + 12)) * (3600))))^((2) + (5) * (x(2)/(x(2) * 3 \\
 & + 12)))))) * (1000)) + (((((((((x(3) * 3.75 + 12) * (1 - (x(3)/(x(3) * 3.75 \\
 & + 12)))^2)/(2 * (1 - (x(3)/(x(3) * 3.75 + 12)) * (800/((x(3)/(x(3) * 3.75 \\
 & + 12)) * (3600)))))) + (((800/((x(3)/(x(3) * 3.75 + 12)) * (3600)))^2)/((2) \\
 & * (0.22) * (1 - (800/((x(3)/(x(3) * 3.75 + 12)) * (3600)))))) - ((65/100) \\
 & * (((x(3) * 3.75 + 12)/((0.22)^2))^1/3) * (((800/((x(3)/(x(3) * 3.75 + 12) \\
 & * (3600))))^((2) + (5) * (x(3)/(x(3) * 3.75 + 12)))))) * (800)))/(1200 \\
 & + 1000 + 800);
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

end

Formülasyondaki x1, x2 ve x3 değişkenleri her faza ait yeşil ışık sinyali süreleridir.

Fval (y) değeri de ortalama taşıt başına gecikme süresidir.

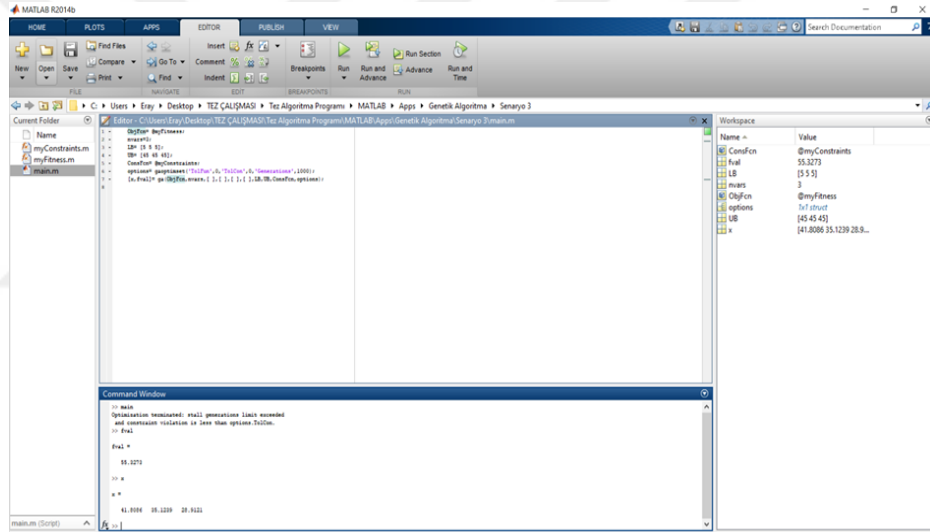
Kısıt Fonksiyonu:

function [c,c_eq]= myConstraints(x)

$$c = [(((1200 * (x(1) * 2.5 + 12)) / (x(1) * 3600)) - 0.95); (((1000 * (x(2) * 3 + 12)) / (x(2) * 3600)) - 0.95); (((800 * (x(3) * 3.75 + 12)) / (x(3) * 3600)) - 0.95)]; \quad (3.16)$$

c_eq= [];

end



Şekil 3.9: Genetik Algoritma Yönteminin Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.

Teorik değerler, gerçek yaşam dinamiğine uygun parametrelerin olduğu PTV Vissim ve Sidra Intersection adlı simülasyon programlarında test edilmiş ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikme sürelerinin kıyaslamaları yapılarak, reel yaşamdaki uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Tüm bu sonuçlar analiz edilerek ve birbirleri ile karşılaştırılarak, farklı trafik hacimlerine sahip kavşaktaki yaklaşım kollarında, ortalama taşıt gecikme süresini minimize eden analiz yöntemi tespit edilerek, reel yaşamdaki uygulanabilirliği, 2 farklı simülasyon programı kullanılarak gösterilmiştir.

Matlab programında yapılan hesaplamalar sonucunda, tüm senaryolara ait veriler aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 3.4: Genetik Algoritma Yöntemi ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Gecikmeler

ÖRNEK SENARYOLAR	SİNYAL SÜRELERİ (SN)				ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)
	KUZEY YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	BATI YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DEVRE SÜRESİ (SN)	
1	6,99	6,99	9,72	35,70	15,76
2	20,41	15,58	15,58	63,57	28,62
3	41,81	35,12	28,91	117,84	55,33
4	37,69	22,12	17,20	89,01	39,11
5	35,12	35,12	35,12	117,36	55,61
6	20,92	25,36	15,79	74,07	33,40
7	8,55	8,55	8,55	37,65	16,76
8	19,74	23,30	27,92	82,96	38,03
9	11,04	20,41	20,41	63,86	28,11
10	11,04	25,70	15,58	64,32	27,54

3.2.1.3.Sidra İle Gecikme Süresi Analizi:

Sidra Intersection simülasyon programının kendi içerisinde var olan algoritmalar kullanılarak, kavşaklardaki her bir yaklaşım kolu için, devre süresi ve optimum yeşil ışık sinyal faz süresi hesabı yapılmıştır. Bu hesap sonucunda bulunan (C(opt.)) Devre süresi Matlab programında Webster optimum gecikme ve sinyal süresi yaklaşım hesabında kullanılarak, teorik değerlerin bulunması açısından incelenmiştir.

$$\begin{aligned}
 d = & (((((c * (1 - a1)^2)/(2 * (1 - a1 * x1))) + ((x1^2)/((2) * (q1) * (1 - x1))) \\
 & - ((65/100) * (((c)/(q1^2))^{(1/3)}) * ((x1)^{(2) + (5) * (a1))))) \\
 & * (Q1)) + (((((c * (1 - a2)^2)/(2 * (1 - a2 * x2))) + ((x2^2)/((2) \\
 & * (q2) * (1 - x2))) - ((65/100) * (((c)/(q2^2))^{(1/3)}) * ((x2)^{(2) + (5) * (a2))))) \\
 & * (Q2)) + (((((c * (1 - a3)^2)/(2 * (1 - a3 * x3))) + ((x3^2)/((2) * (q3) * (1 - x3))) \\
 & - ((65/100) * (((c)/(q3^2))^{(1/3)}) * ((x3)^{(2) + (5) * (a3))))) * (Q3)))/(Q1 \\
 & + Q2 + Q3);
 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Sidra simülasyon programı algoritmaları tarafından hesaplanan optimum gecikme ve devre süresinin webster yaklaşımı içerisinde, tüm senaryolar için ortak kullanılacak matlab formülasyonudur. Burada değişken değerler her bir senaryo için ayrı ayrı hesaplanacaktır. Fval (d) değeri de ortalama taşıt başına gecikme süresidir.

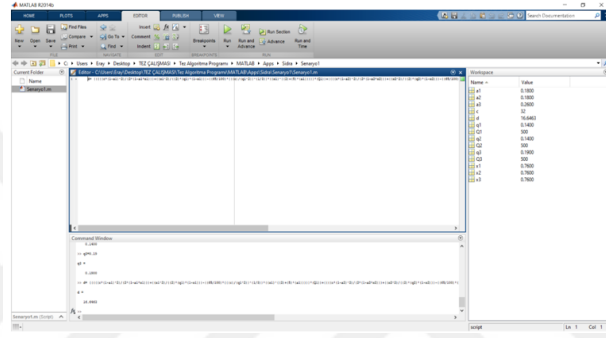
Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken, her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Senaryo 1

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
500	500	700	0,14	0,14	0,19	3600	3600	3600

y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	$c_{opt.}$
0,14	0,14	0,19	0,47	0,29	0,29	0,41	32,00

g(1)= 6	$\lambda(1)= 0,18$	x(1)= 0,76
g(2)= 6	$\lambda(2)= 0,18$	x(2)= 0,76
g(3)= 8	$\lambda(3)= 0,26$	x(3)= 0,76



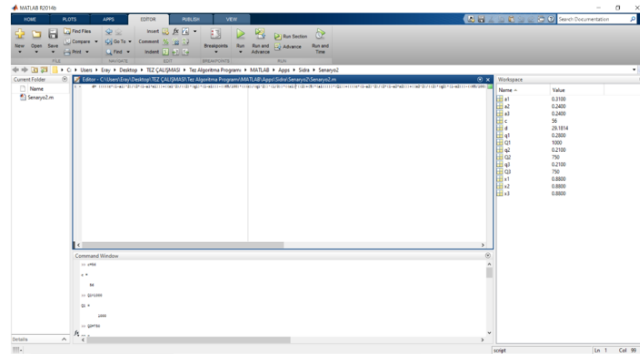
Şekil 3.10: Sidra Optimum Gecikme Süresinin Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.

Senaryo 2

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
1000	750	750	0,28	0,21	0,21	3600	3600	3600

y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	$c_{opt.}$
0,28	0,21	0,21	0,69	0,40	0,30	0,30	56,00

g(1)= 18	$\lambda(1)= 0,31$	x(1)= 0,88
g(2)= 13	$\lambda(2)= 0,24$	x(2)= 0,88
g(3)= 13	$\lambda(3)= 0,24$	x(3)= 0,88



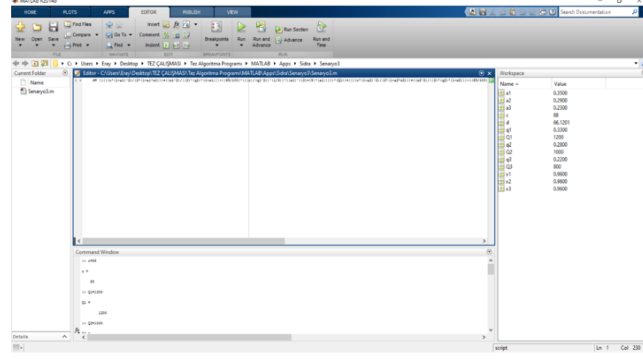
Şekil 3.11: Sidra Optimum Gecikme Süresinin Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.

Senaryo 3

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
1200	1000	800	0,33	0,28	0,22	3600	3600	3600

y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	
0,33	0,28	0,22	0,83	0,40	0,33	0,27	$c_{opt.} = 88,00$

g(1)= 30	$\lambda(1)= 0,35$	x(1)= 0,96
g(2)= 25	$\lambda(2)= 0,29$	x(2)= 0,96
g(3)= 20	$\lambda(3)= 0,23$	x(3)= 0,96



Şekil 3.12: Sidra Optimum Gecikme Süresinin Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.

İnceleme sonucunda oluşan tablo aşağıda paylaşılmıştır.

Tablo 3.5: Sidra Simülasyon Programı Algoritmaları ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Gecikmeler

ÖRNEK SENARYOLAR	SİNYAL SÜRELERİ (SN)				ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)
	KUZEY YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	BATI YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DEVRE SÜRESİ (SN)	
1	6	6	8	32,00	16,65
2	18	13	13	56,00	29,18
3	30	25	20	88,00	66,12
4	31	18	13	74,00	43,07
5	25	25	25	88,00	66,01
6	16	19	11	58,00	40,56
7	6	6	6	30,00	19,67
8	14	17	21	64,00	45,99
9	8	16	16	52,00	30,97
10	8	20	12	52,00	30,68

L Kayıp Süre = 12 sn. (Her fazın başlangıcında ve bitişinde olmak üzere; 2+2=4 sn. Sarı ışık süresi baz alınmıştır).

Burada dikkat edilmesi gereken 3.Senaryo ve 5.Senaryoda doygunluk derecesi (x) 0.96 değerinde Sidra programı tarafından hesaplanmıştır. Doygunluk derecesi 0.95'ten büyük olduğu için ve matlab programında webster optimum sinyal süresi ve gecikme hesabı formülasyonu kullanıldığından dolayı, yapılan hesaplamalarda tutarsızlık olduğu gözlenmiştir.

3.2.1.4. Sabit Devre Süresi İle Gecikme Süresi Analizi:

Sidra Intersection simülasyon programında kavşaklardaki devre süresi minimum 30 saniye, maksimum da 165 saniye olarak sınırlandırılmıştır. Rastgele seçilen devre süresi ile geleneksel ve meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılarak yapılan hesaplamaların, kavşaklarda ki trafik yoğunluğu üzerine etkinliğini, daha net bir şekilde görebilmemiz amaçlanmıştır.

Burada devre süresi her bir senaryo için, 162 saniye olarak alınmıştır. İdeal süre olarak 140 saniye üst limitte yeterliyken, devre süresi 162 saniye alınarak, özellikle rastgele yapılan sinyalizasyon işlemlerindeki farkı daha iyi kavrayıp, örnek senaryolar üzerinde gösterebilmek hedeflenmiştir. Trafik hacimlerinin değiştiği senaryolarda devre süresi sabit tutulup, her yaklaşım kolu için webster optimum gecikme süresi hesabı ile yeşil ışık faz süreleri bulunmuştur. Matlab programında da parametre değerleri yerine yazılıp, her senaryo için ortalama taşıt başına gecikme süresi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 d = & (((((c * (1 - a1)^2)/(2 * (1 - a1 * x1))) + ((x1^2)/((2) * (q1) * (1 - x1))) \\
 & - ((65/100) * (((c)/(q1^2))^{(1/3)}) * ((x1)^{(2) + (5) * (a1))))) \\
 & * (Q1)) + (((((c * (1 - a2)^2)/(2 * (1 - a2 * x2))) + ((x2^2)/((2) \\
 & * (q2) * (1 - x2))) - ((65/100) * (((c)/(q2^2))^{(1/3)}) * ((x2)^{(2) + (5) * (a2))))) \\
 & * (Q2)) + (((((c * (1 - a3)^2)/(2 * (1 - a3 * x3))) + ((x3^2)/((2) * (q3) * (1 - x3))) \\
 & - ((65/100) * (((c)/(q3^2))^{(1/3)}) * ((x3)^{(2) + (5) * (a3))))) * (Q3)))/(Q1 \\
 & + Q2 + Q3);
 \end{aligned} \quad (3.18)$$

Değişken trafik hacimleri için, önceden belirlenen sabit devre süresi ile her bir faz için hesaplanan yeşil sürelere bağlı gecikme süresinin webster yaklaşımı içerisinde, tüm senaryolar için ortak kullanılacak matlab formülasyonudur.

Burada değişken değerler her bir senaryo için ayrı ayrı hesaplanacaktır.

Fval (d) değeri de ortalama taşıt başına gecikme süresidir.

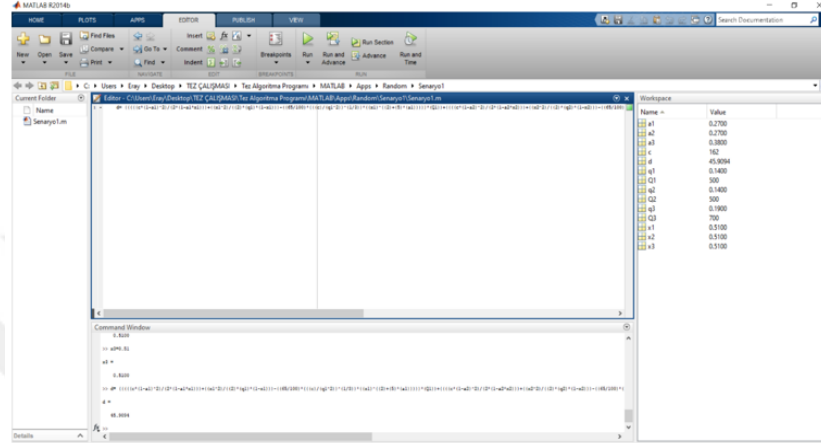
Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Senaryo 1

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
500	500	700	0,14	0,14	0,19	3600	3600	3600

y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	$c_{opt.}$
0,14	0,14	0,19	0,47	0,29	0,29	0,41	162,00

g(1)= 44	$\lambda(1)= 0,27$	x(1)= 0,51
g(2)= 44	$\lambda(2)= 0,27$	x(2)= 0,51
g(3)= 62	$\lambda(3)= 0,38$	x(3)= 0,51



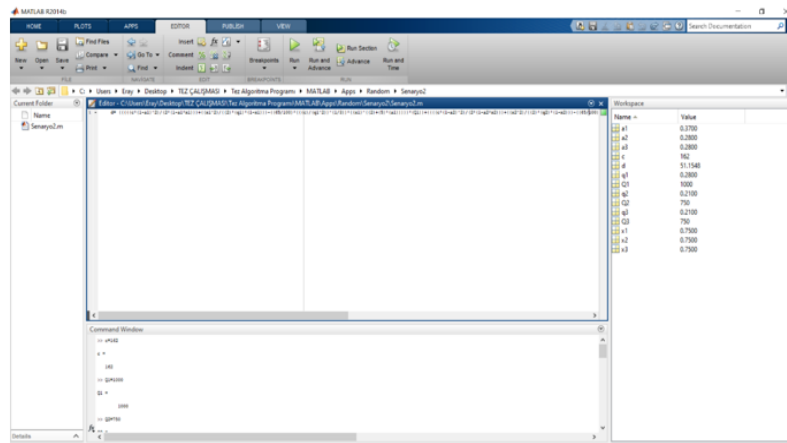
Şekil 3.13: Sabit Devre Süresi İle Yapılan Gecikme Hesabının Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 1 Örneği.

Senaryo 2

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
1000	750	750	0,28	0,21	0,21	3600	3600	3600

y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y	$c_{opt.}$
0,28	0,21	0,21	0,69	0,40	0,30	0,30	162,00

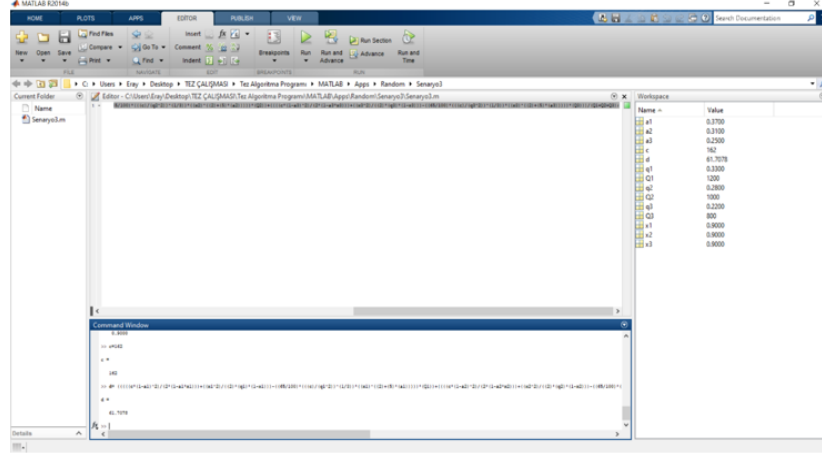
g(1)= 60	$\lambda(1)= 0,37$	x(1)= 0,75
g(2)= 45	$\lambda(2)= 0,28$	x(2)= 0,75
g(3)= 45	$\lambda(3)= 0,28$	x(3)= 0,75



Şekil 3.14: Sabit Devre Süresi İle Yapılan Gecikme Hesabının Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 2 Örneği.

Senaryo 3

Q1	Q2	Q3	q1	q2	q3	S1	S2	S3
1200	1000	800	0,33	0,28	0,22	3600	3600	3600
y(1)	y(2)	y(3)	Y	y(1)/Y	y(2)/Y	y(3)/Y		
0,33	0,28	0,22	0,83	0,40	0,33	0,27	$c_{opt.} = 162,00$	
g(1)= 60			$\lambda(1)= 0,37$		x(1)= 0,90			
g(2)= 50			$\lambda(2)= 0,31$		x(2)= 0,90			
g(3)= 40			$\lambda(3)= 0,25$		x(3)= 0,90			



Şekil 3.15: Sabit Devre Süresi İle Yapılan Gecikme Hesabının Webster Yöntemi Kullanılarak Matlab Programı İle Analiz Edilmesi Senaryo 3 Örneği.

Matlab programında tüm senaryolar için hesaplanan değerler, aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 3.6: Sabit Devre Süresi ile Analiz Edilen 10 Farklı Senaryoya Ait Sinyal Süreleri ve Ortalama Gecikmeler

ÖRNEK SENARYOLAR	SİNYAL SÜRELERİ (SN)				ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)
	KUZEY YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	BATI YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DEVRE SÜRESİ (SN)	
1	44	44	62	162,00	45,91
2	60	45	45	162,00	51,15
3	60	50	40	162,00	61,71
4	75	43	32	162,00	52,68
5	50	50	50	162,00	62,26
6	51	62	37	162,00	52,85
7	50	50	50	162,00	46,89
8	41	49	60	162,00	54,91
9	30	60	60	162,00	49,50
10	30	75	45	162,00	47,90

L Kayıp Süre = 12 sn. (Her fazın başlangıcında ve bitişinde olmak üzere; 2+2=4 sn. Sarı ışık süresi baz alınmıştır).

3.3. ANALİZ YÖNTEMLERİNİN SİMÜLASYON PROGRAMLARINDA İNCELENMESİ

Çağımızda hızlı şehirleşme ile birlikte ortaya çıkan trafik kargaşasının önüne geçmek için yapılan trafik mühendisliği hesaplamaları, kavşaklardaki gecikme süresinin optimize edilmesinde önemli bir yere sahip olmasına rağmen, tam anlamıyla yeterli olmayabiliyor.

Sürücü davranışları, kavşak geometrisi, taşıtların yayalarla olan ilişkisi, yaklaşım kollarının saatlik değişen trafik hacimleri, kavşaklarda ki sinyalizasyon sistemleri gibi birçok değişken parametreye bağlı yapılan hesaplamalar, geleneksel yöntemlerle çözülen optimizasyon problemleri için yetersiz kalabilmektedir.

Bilgisayar ortamında, çeşitli matematiksel modellemeleri ve algoritmaları içeriğinde barındıran benzetim yaklaşımlı simülasyon programları, günümüzde ki optimizasyon problemlerinin çözümsel etkinliğinin incelenmesinde kullanılmaktadır.

Her branş için farklı modellemeleri içeren, simülasyon (benzetim) programları geliştirilmiştir.

Trafik mühendisliği alanında yapılan çalışmalarda kullanılan PTV Vissim ve Sidra Intersection simülasyon programları da, kavşaklardaki optimum sinyal sürelerinin hesaplanmasında ve gecikme süresinin minimize olduğu değişken parametrelerin bulunmasında önemli bir yere sahiptir.

Benzetim programlarının tarihsel gelişimine bakıldığında;

Trafik akımının simülasyonunda bilgisayarın işlevsel kullanımı, 1950'li yıllara dayanmaktadır. Goode, Pollmar ve Wright bir sinyalizasyon kavşağın simülasyon modelini geliştirerek, 1956 yılında yayınlamışlardır. Benhard, iki şeritli bir yolun simülasyonu için daha detaylı bir modeli, master tezi olarak, 1959 yılında yayınlamıştır. Kell, Lewis ve Michael tarafından sürücü davranış karakteristikleri ve varış hızlarının dağılımı kullanılarak kavşak simülasyonu yapılmıştır. Gerlough tarafından da karayolu ağının simülasyonu yapılmıştır. Rathi ve Santiago, 1990 yılında NETSIM hakkında bir makale yayınlamışlardır. Bu program ile yol ağındaki simülasyon modellemelerinden, yakıt tüketimi ve egzoz gazı çıktılarına kadar, simülasyon ile bilgi alınabilmektedir. (HALAÇ, 1982) [12]

Simülasyon, bir sistemin reel hayata uyarlanması ve sistemin gerçekteki davranışlarını tekrardan oluşturmak için, model kurma yöntemidir. Simülasyon programı ile kurulan modeller gerçeğin benzetimi olarak bize yol göstermektedir.

Sistemin davranışını anlamak, çeşitli karar ve seçeneklerini değerlendirmek amacıyla, sistemin herhangi bir şekilde modeli kurularak istenilen sonuca ulaşmak amaçlanır. Bu model üzerinde çeşitli senaryolar kurgulanarak; sistemin yapısı, davranışı ve işleyişi gözlemlenir.

Başka bir ifade ile simülasyon; bir sistemin değişken parametrelerinin ve parametrelerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin bilgisayarla uygulanabilecek cebirsel ve lojikel işlemlerle modellenmesidir.

Simülasyonda Önemli Olan Hususlar:

1. Modeli kurulan sistem çok karmaşık ve dinamik özelliklere sahip ise, analitik yollarla çözüm bulunamayabilir, başvurulacak yöntem numerik bir yapıya sahip olan simülasyon yöntemidir.
2. Simülasyon ile değişkenler arasındaki çeşitli varyasyonlar denenebilir. Simülasyon, kontrollü bir laboratuvar aracıdır.
3. Simülasyon işlemi bilgisayarda yapıldığı için, hata ihtimali yok denecek kadar azdır.
4. Analitik olarak hesaplanan çözümlemelerin doğrulanması için, simülasyon kullanılabilir. Bir sistemi gerçeğe uyarlamak veya gerçek yaşamda test etmek oldukça pahalı ve maliyetli bir işlem olabilir. Simülasyon yöntemi ile test etmek son derece faydalı sonuçlar verebilmektedir.

Bir simülasyon programında, bir sistemin geliştirilmesinde ve kullanılmasında gerçekleştirilen ana adımları sıralayacak olursak;

- Problemin belirlenmesi
- Modelin formülasyonu
- Verilerin toplanması ve işlenmesi
- Modelin geçerliliğinin tespiti
- Bilgisayarda programın hazırlanması
- Simülasyon deneylerinin planlanması
- Simülasyon sonuçlarının analizi.

Yukarıdaki adımlar birbirinden bağımsız olmamak ile birlikte, işlemler bir önceki adıma dönebilirler.

Genellikle simülasyon sonuçları, sistemin daha iyi anlaşılmasını sağlar ve bu da modelin formüle edilmesine, hatta bazen problemin yeniden tanımlanmasına yol açabilir. (HALAÇ, 1982)[12]

Trafikte simülasyon modelleri genel olarak Mikroskopik (ayrıntılı), Makroskopik ve Mezoskopik modeller olarak üçe ayrılırlar. Sistemin en gerçekçi olarak benzetimi “Mikroskopik Simülasyon” modelleri ile yapılır.

Sistemdeki her bir eleman ve bireysel davranışlar, mikro düzeyde bir yaklaşım modeli ile ele alınır ve değerlendirilir. Değişkenler, matematiksel modellerde olduğu gibi ortalamalarla değil de, her bir elemana ait rastgele gerçek değişkenler kullanılarak hesaplanır. (HALAÇ, 1982)[11]

Makroskopik trafik simülasyon modellerinde; trafik akımında, hız, akım ve yoğunluk olarak kabul edilen etkinlik ölçülerini bir araya getirir. (ÇELİK F. , 1987)[13]

Mezoskopik modeller, hem makroskopik hem de mikroskopik modellerin yaklaşımlarından oluşur. Mezoskopik modeller, makroskopik modellerin toplu seviye yaklaşımı ile mikroskopik modellerin bireysel etkileşimleri arasındaki boşluğu, trafik varlıklarını yüksek ayrıntı düzeyinde tanımlayarak doldururken, davranışları ve etkileşimleri, daha düşük ayrıntı ile tasarlar. (ÇELİK F. , 1987)[13]

Simülasyon modelleri, kesin ve iddialı sonuçlardan daha çok, istatistiksel tahminler sağlar. Alternatiflerin optimum seçeneklerini bulmaktan çok, onları geliştirmeye ve karşılaştırmaya ağırlık verir.

3.3.1. PTV Vissim Simülasyon Programı İle Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi

PTV Vissim simülasyon programı, ulaşım modellemeleri ve operasyon analizleri için kullanılabilen etkili bir yazılım aracıdır. Bu yazılım ile yolların sahip olduğu kapasiteleri ve aynı zamanda trafik ve ulaşım taleplerini, gerçekçi bir şekilde simüle etmek mümkündür.

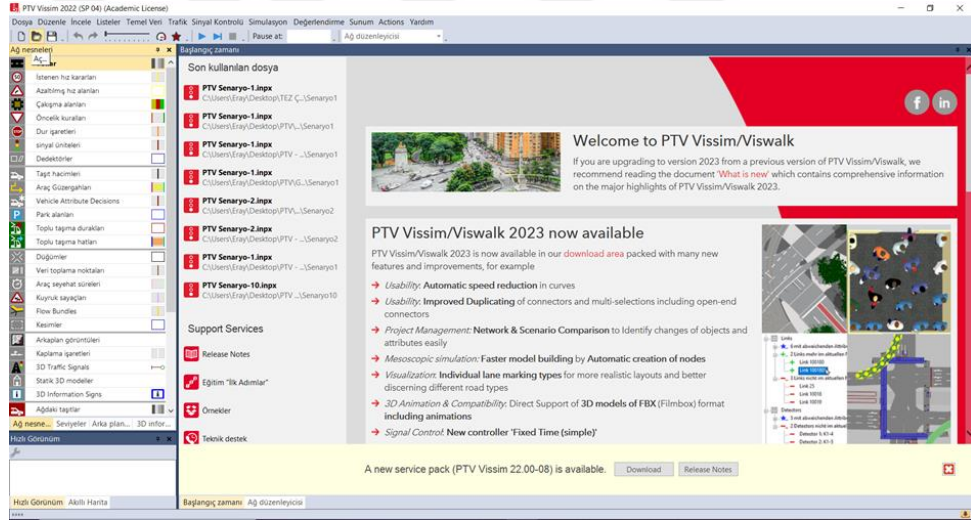
PTV Vissim simülasyon programı ile;

- Kavşakların gerçekçi yol geometrisi,

- Tüm ağ şebekesine ait doğru konumlandırmalar,
- İspatlanmış ve kabul edilebilir araç takip modeli,
- Şerit değiştirme ve şerit birleştirme operasyonlarının ayrıntılı simülasyonu,
- Makro dil kullanan özel mantık sistemi,
- Trafik kontrol donanım yazılımı için çoklu arayüzler,
- Emisyon hesaplaması,
- Eşzamanlı olarak 2 ve 3 boyutlu animasyonlar.

Tek bir program ile gerçekçi bir benzetim yapmak mümkün hale gelmektedir.

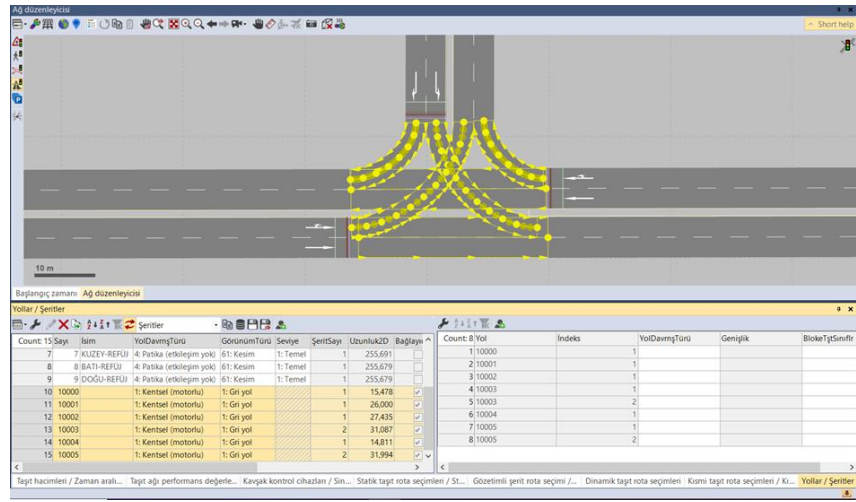
Tez çalışmasında, her bir analiz yöntemi ve senaryo için, ortak kullanılacak bazı parametreler ve özellikler, aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır. (AKKAYA & ENGİN, 2022) [14].



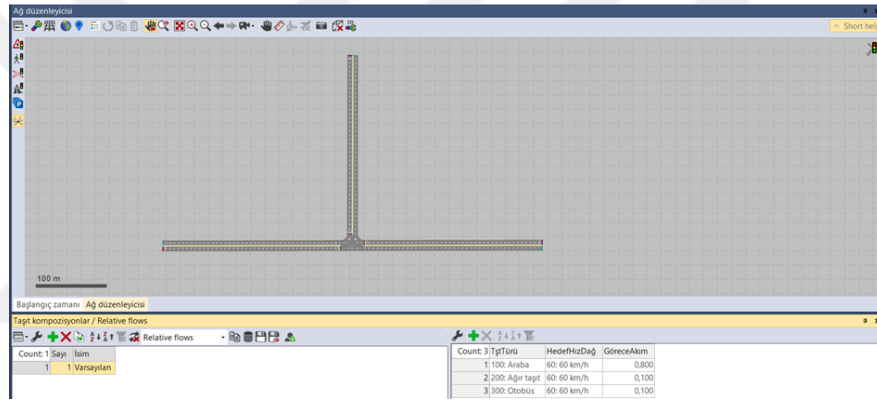
Şekil 3.16: PTV Vissim Programı Gösterimi.



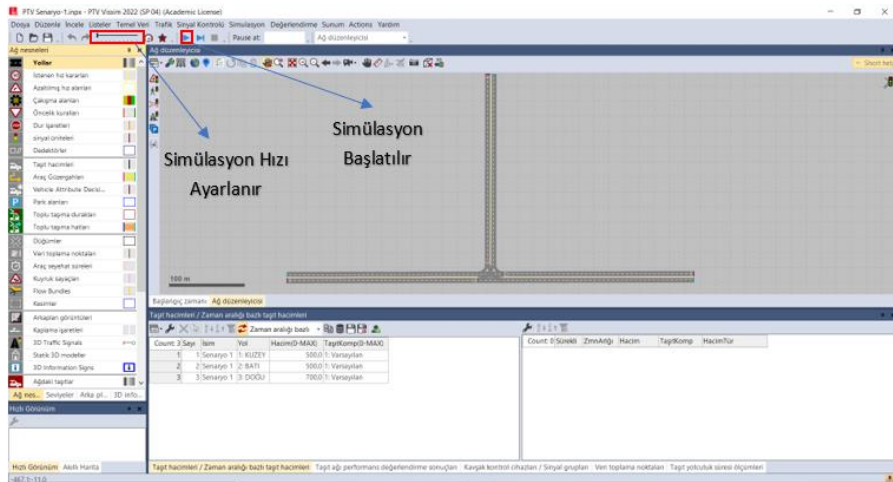
Şekil 3.17: PTV Vissim Programında 3 Farklı Yaklaşım Kolunun Gösterimi.



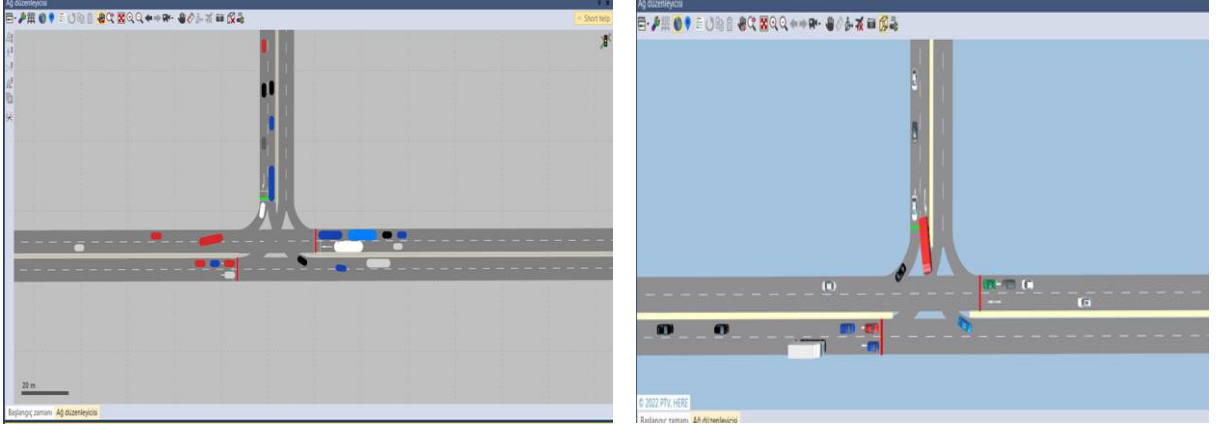
Şekil 3.18: Bağlantı Kollarına Ait Özellikler.



Şekil 3.19: Trafikteki Taşıt Kompozisyonunun Gösterimi.



Şekil 3.20: PTV Vissim Simülasyonu Etkinleştirme.



Şekil 3.21: PTV Vissim 2D ve 3D Araçların Kavşaktaki Hareketlerinin Gösterimi.

3.3.1.1. Webster Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:

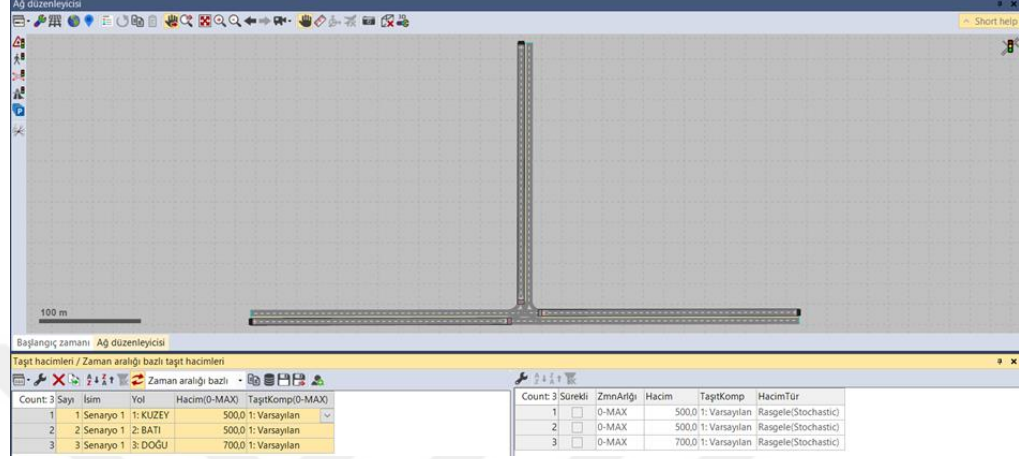
PTV Vissim simülasyon programında değişen trafik hacimlerine göre hesaplanan minimum gecikme süresi için ilk 3 senaryo incelendiğinde trafik hacminin minimum, maksimum ve ortalama hacme sahip olduğu görülmektedir.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

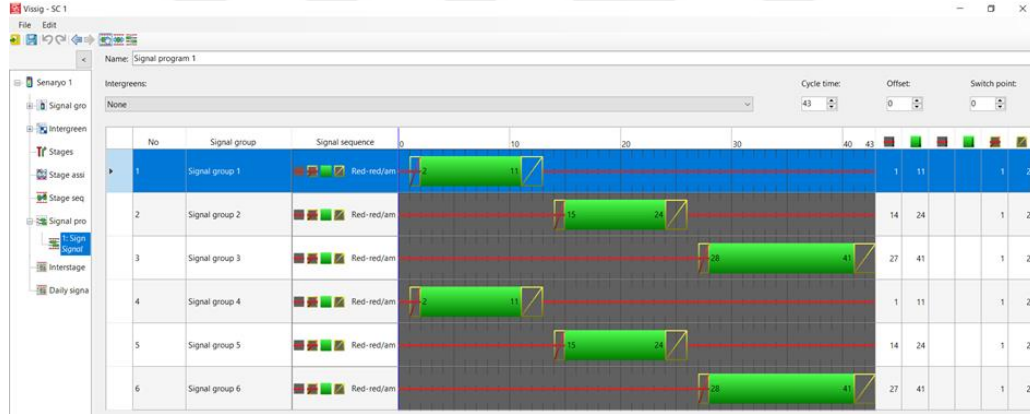
Senaryo 1

Senaryo 1 için belirlenen zaman aralığı bazlı taşıt hacimlerinin, her bir yaklaşım kolu için simülasyon programında tasarlanan yollara ataması gerçekleştiriliyor. Aşağıdaki şekilde Senaryo 1 için saatlik trafik hacimleri, her bir yaklaşım kolu için belirlenirken, trafikte yer alan taşıt kompozisyonunun %80 i hafif taşıtlar (otomobil, kamyonet, v.b.) ve %20 si ağır taşıtlardan (otobüs, kamyon, v.b.) oluşmaktadır. Sürücü davranış biçimleri belirlenirken, PTV Vissim simülasyon programının algoritma tasarımına uygun stokastik davranış biçimleri ile gerçeğe uygun tasarım metodu uygulanmıştır. Yolun yaya trafiğine kapalı olduğu varsayılmaktadır.

Her bir yaklaşım kolu için 2 adet olmak üzere toplamda 3 faz için, 6 adet sinyal grubu oluşturulmuştur. Sinyalizasyonda yeşil ışık harici geçen süre, her faz için 4 saniye olarak belirlenmiştir. Toplamda kayıp süre olarak 12 saniye belirlenmiştir.



Şekil 3.22: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Hacimleri ve Taşıt Kompozisyonu Gösterimi.



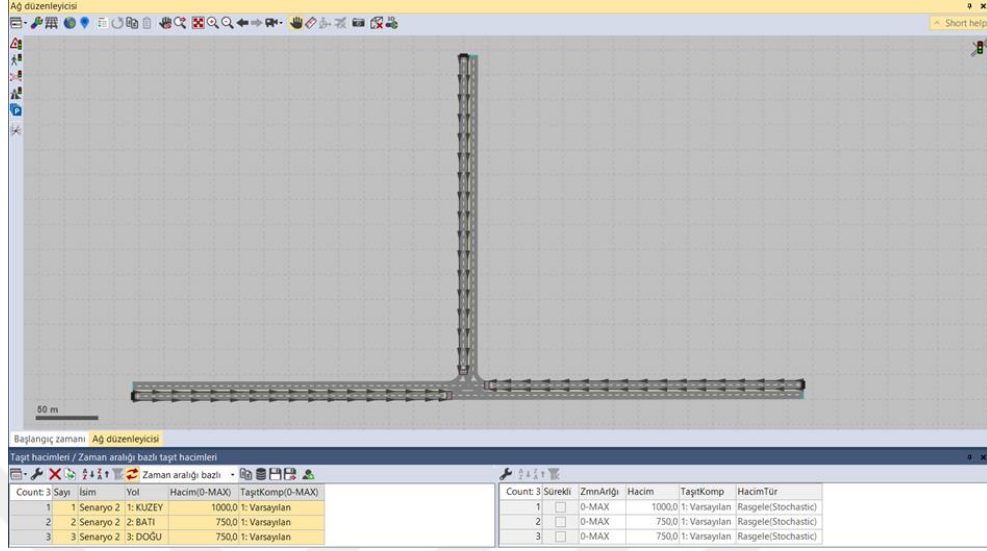
Şekil 3.23: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere, devre süresi webster yaklaşımının senaryo 1 örneğindeki 43 saniye olarak alınmıştır. Yeşil süreler de Faz 1 için 9 saniye, Faz 2 için 9 saniye ve Faz 3 için 13 saniye olarak ayarlanmıştır.

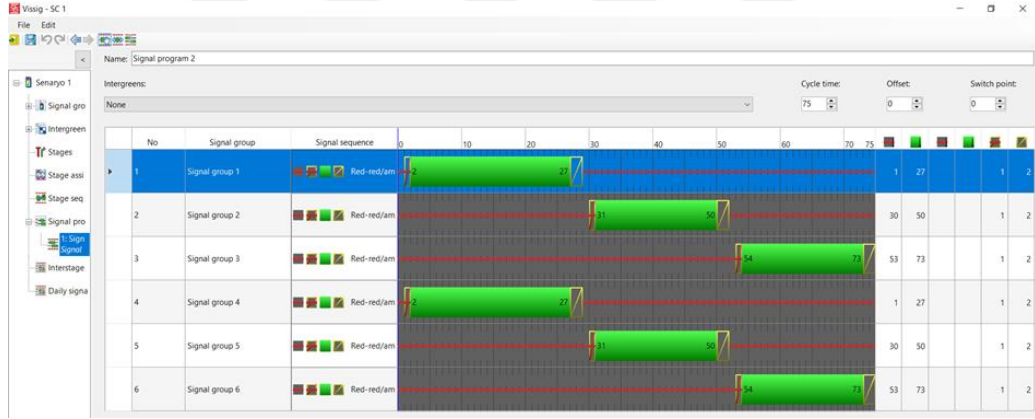
Teorik olarak Matlab programı tarafından hesaplanan sürelerin, PTV Vissim simülasyon programında sinyalizasyon sistemine girilmesiyle, teorik olarak hesaplanan değerlerin, pratikte test edilmesi amaçlanmıştır.

Simülasyon süresi gerçekçi olması için, 3600 saniye olarak ayarlanmıştır.

Senaryo 2



Şekil 3.24: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Hacimleri ve Taşıt Kompozisyonu Gösterimi.

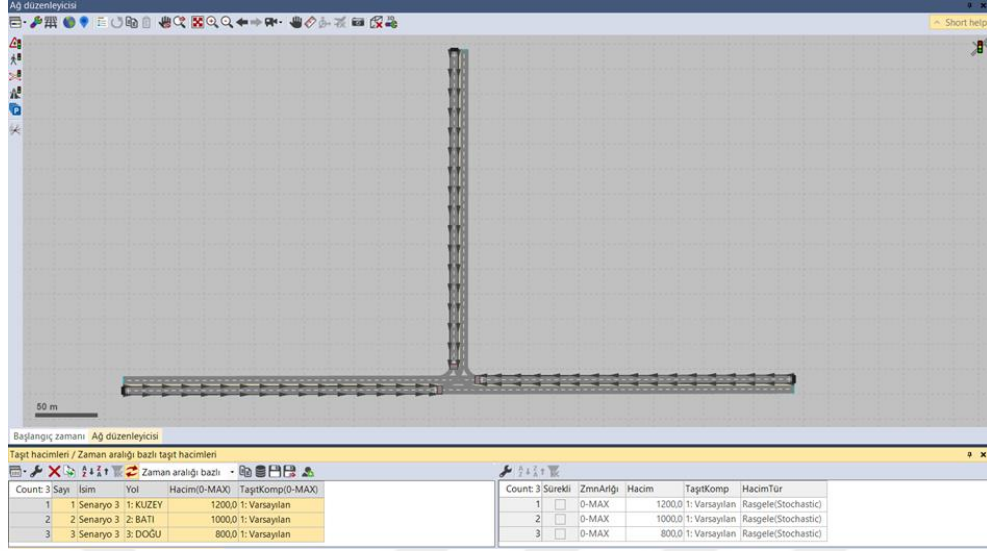


Şekil 3.25: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

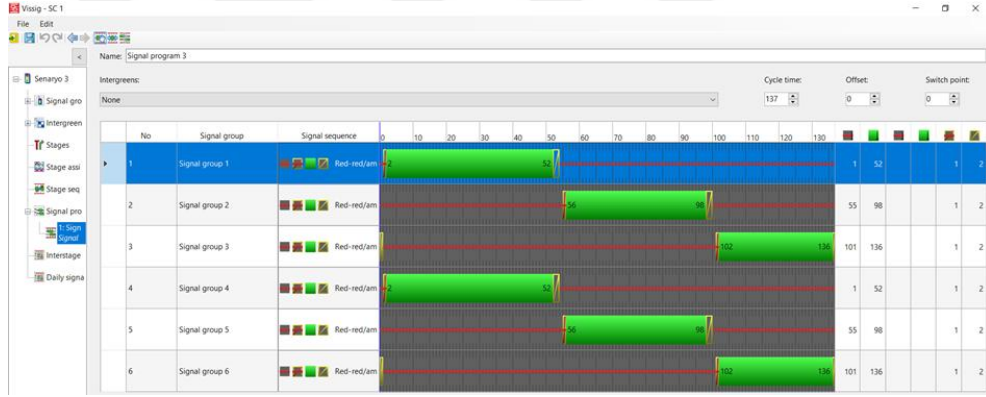
Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere, devre süresi webster yaklaşımının senaryo 2 örneğindeki 75 saniye olarak alınmıştır. Yeşil süreler de Faz 1 için 25 saniye, Faz 2 için 19 saniye ve Faz 3 için 19 saniye olarak ayarlanmıştır.

Simülasyon süresi gerçekçi olması için, 3600 saniye olarak ayarlanmıştır.

Senaryo 3



Şekil 3.26: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Hacimleri ve Taşıt Kompozisyonu Gösterimi.



Şekil 3.27: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere, devre süresi webster yaklaşımının senaryo 3 örneğindeki 137 saniye olarak alınmıştır. Yeşil süreler de Faz 1 için 50 saniye, Faz 2 için 42 saniye ve Faz 3 için 34 saniye olarak ayarlanmıştır.

Simülasyon süresi gerçekçi olması için, 3600 saniye olarak ayarlanmıştır.

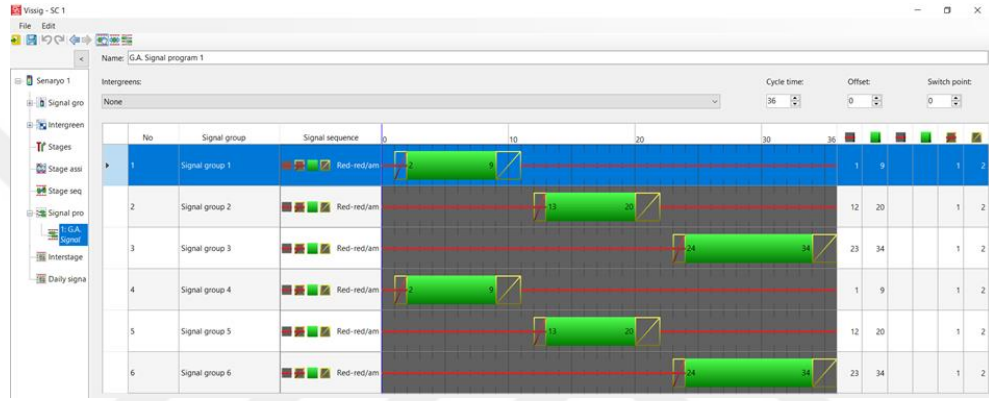
3.3.1.2. Genetik Algoritma Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:

Taşıt hacimleri ve kompozisyonu senaryo bazlı her yaklaşım analizi için aynıdır. Dolayısı ile Webster yaklaşımında paylaşım yapıldığı için, genetik algoritma ve diğer analiz yöntemlerinde tekrar paylaşımına gerek yoktur.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Her senaryo için simülasyon çalışma süresi 3600 saniye olarak belirlenmiştir.

Senaryo 1

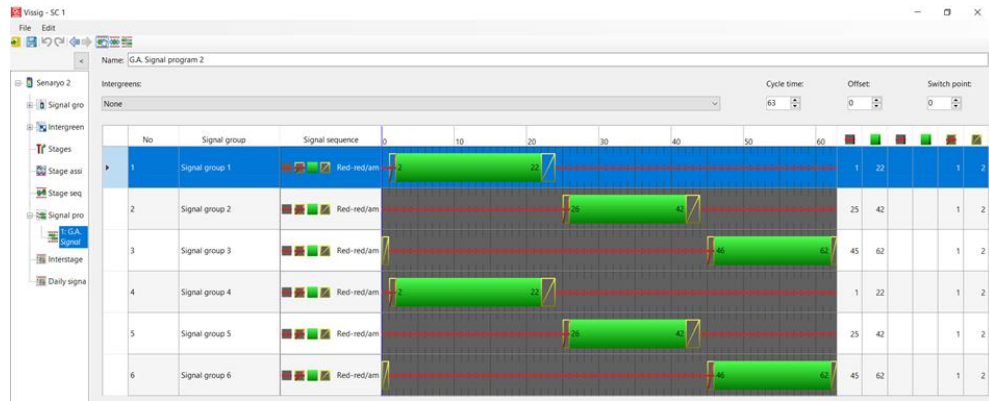


Şekil 3.28: Genetik Algoritma Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 36 saniye

Faz 1: 7 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 7 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 10 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi)

Senaryo 2

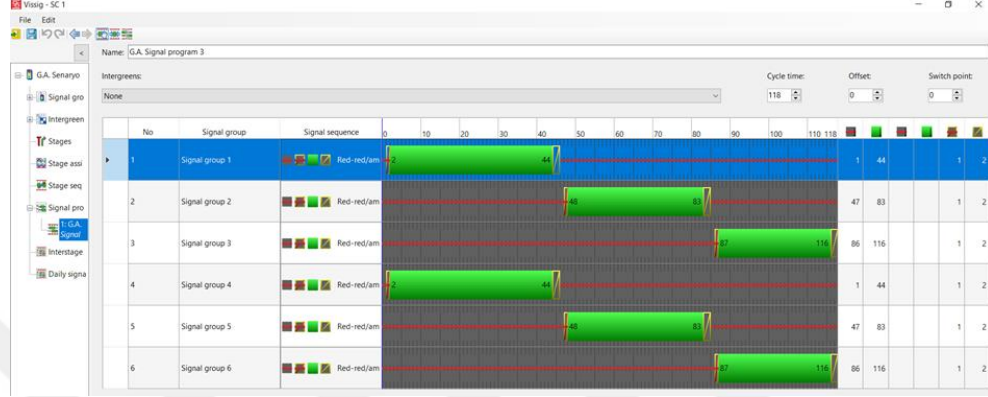


Şekil 3.29: Genetik Algoritma Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 63 saniye

Faz 1: 20 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 16 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 16 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi)

Senaryo 3



Şekil 3.30: Genetik Algoritma Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.
Devre Süresi: 118 saniye

Faz 1: 42 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 35 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 29 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi)

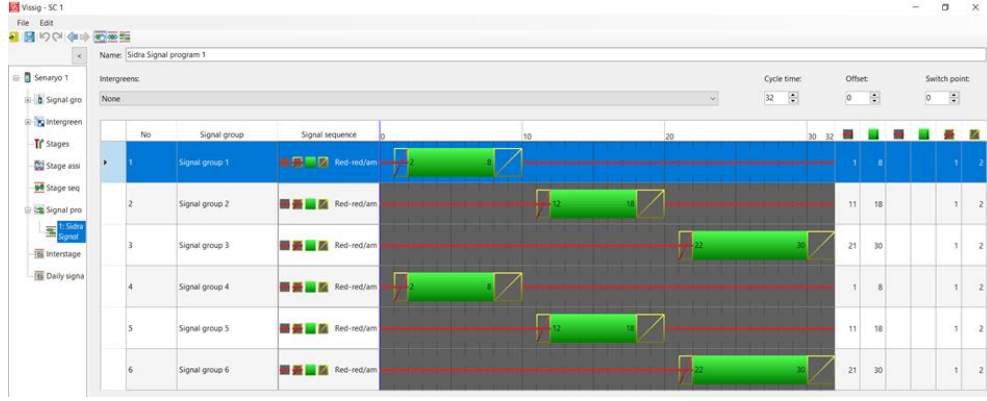
3.3.1.3. Sidra Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:

Taşıt hacimleri ve kompozisyonu senaryo bazlı her yaklaşım analizi için aynıdır. Dolayısı ile Webster yaklaşımında paylaşım yapıldığı için, sidra yaklaşımı ve diğer analiz yöntemlerinde tekrar paylaşım gerektirmez.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Her senaryo için simülasyon çalışma süresi 3600 saniye olarak belirlenmiştir.

Senaryo 1

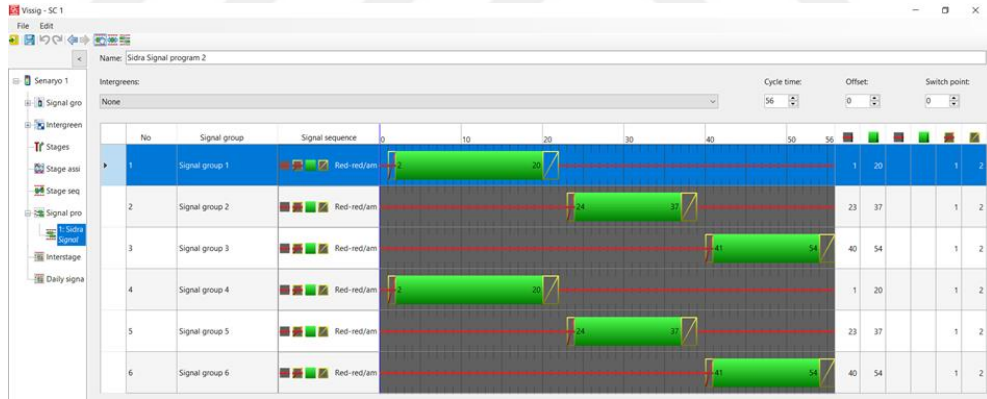


Şekil 3.31: Sidra Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 32 saniye

Faz 1: 6 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 6 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 8 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi)

Senaryo 2



Şekil 3.32: Sidra Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 56 saniye

Faz 1: 18 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 13 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 13 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi).

Senaryo 3



Şekil 3.33: Sidra Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 88 saniye

Faz 1: 30 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 25 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 20 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi).

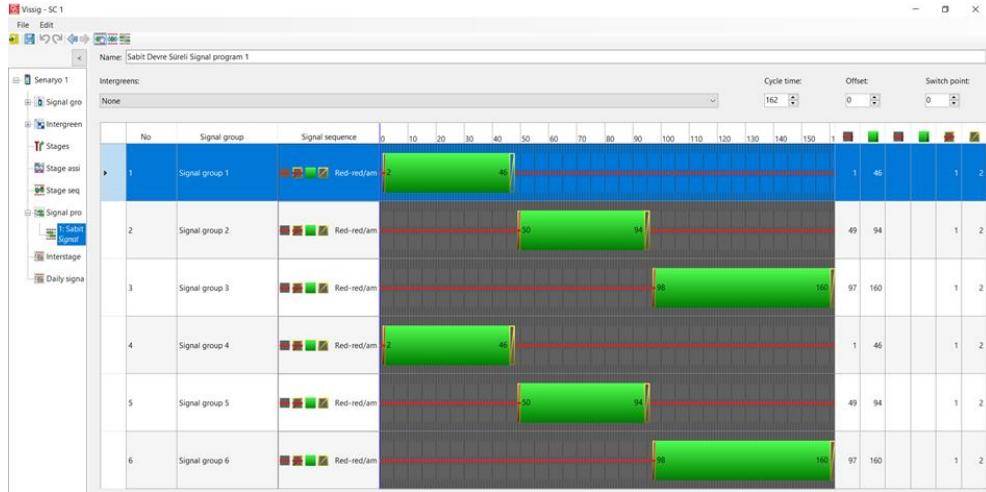
3.3.1.4. Sabit Devre Süreli Yaklaşımının PTV Vissim Programında Analiz Edilmesi:

Taşıt hacimleri ve kompozisyonu senaryo bazlı her yaklaşım analizi için aynıdır. Dolayısı ile Webster yaklaşımında paylaşım yapıldığı için, sabit devre süreli yaklaşım ve diğer analiz yöntemlerinde tekrar paylaşım gerektirmez.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Her senaryo için simülasyon çalışma süresi 3600 saniye olarak belirlenmiştir.

Senaryo 1

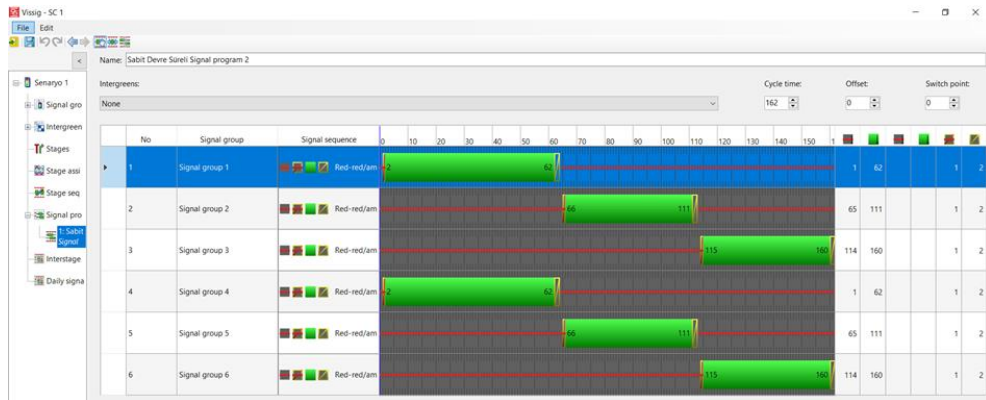


Şekil 3.34: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 162 saniye

Faz 1: 44 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 44 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 62 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi).

Senaryo 2

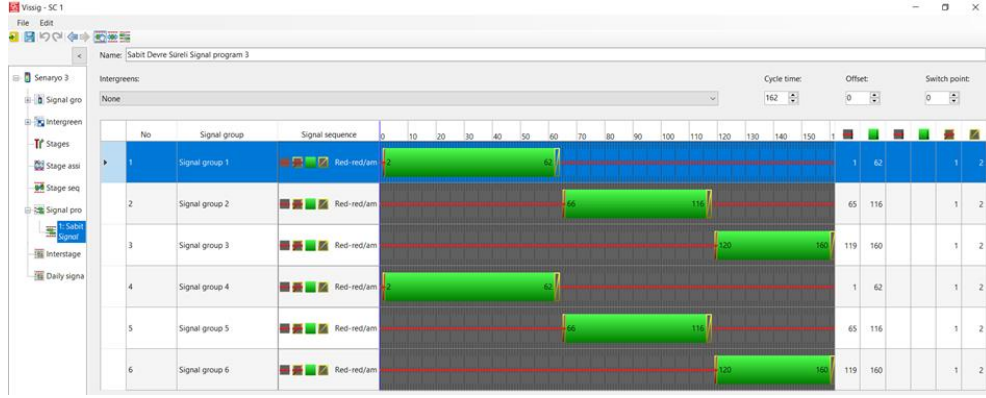


Şekil 3.35: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 162 saniye

Faz 1: 60 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 45 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 45 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi).

Senaryo 3



Şekil 3.36: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı Analiz Yönteminin PTV Vissim ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Devre Süresi: 162 saniye

Faz 1: 60 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 2: 50 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi) Faz 3: 40 saniye (Yeşil Işık Sinyal Süresi).

3.3.2. SIDRA Intersection Simülasyon Programı İle Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi

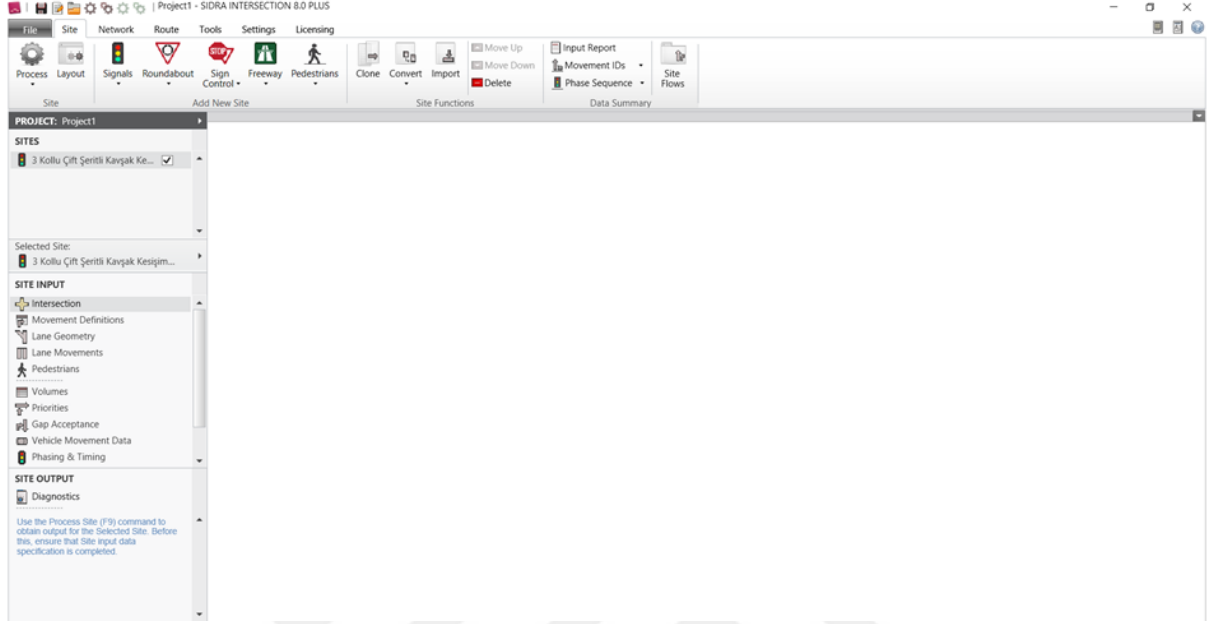
Sidra simülasyon programı ile sinyalizasyon ya da sinyalizasyon olmayan kavşaklardaki sürücü davranışları ve şeritlerin, yaklaşım kollarının geometrik yapıları dikkate alınarak ileri derecede mikro analitik modellemelerle, trafik optimizasyonu yapılmaktadır.

Sidra Intersection programında; kavşaktaki yaklaşım kolları, araç tipleri, saatlik trafik hacmi, şeritlerin geometrik yapıları, taşıt sürücülerinin davranışsal özellikleri, trafik denetleyici sinyal ya da uyarı levhaları, araç hız limitleri, v.b. birçok değişken parametreler, kavşaktaki trafiğin performansının hesaplanmasında giriş verileri olarak kullanılmaktadır.

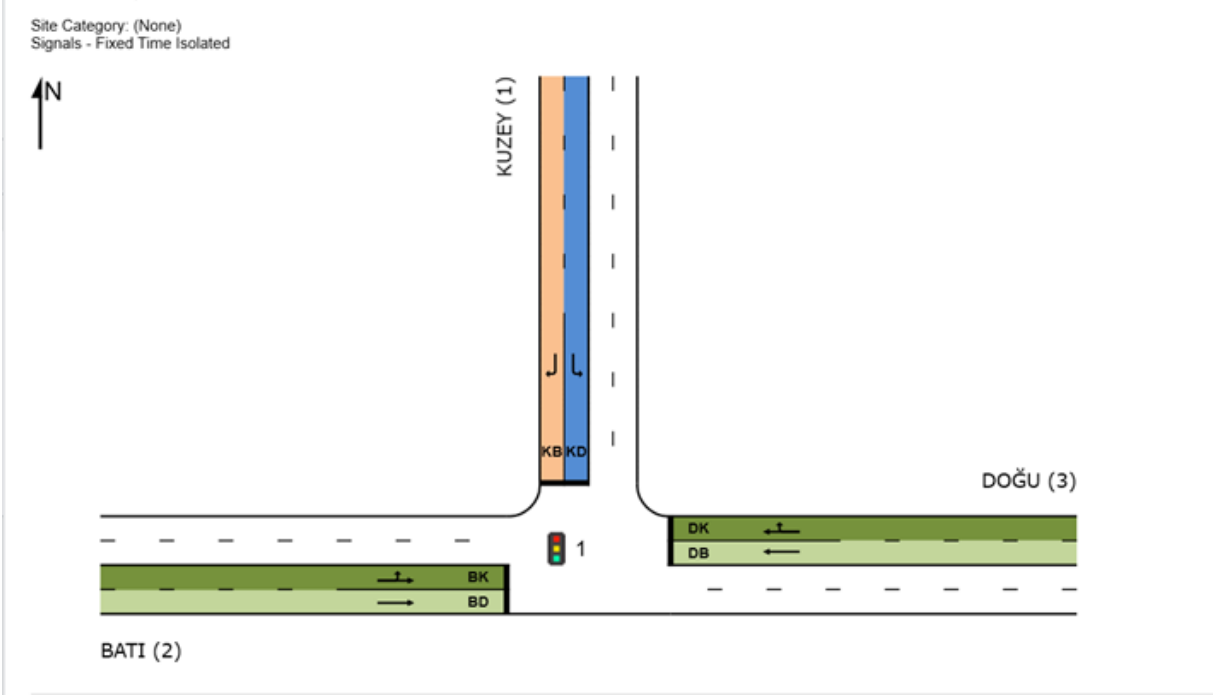
Trafik performansını doğrudan ya da dolaylı olarak ölçebilen ortalama taşıt gecikme süresi, seyahat süreleri, kuyruk uzunluğu, durarak hareket eden ortalama taşıt sayısı, taşıtların kuyrukta bekleme süresi, yakıt tüketim değerleri, emisyon gazı ölçümleri, v.b. birçok parametre de kavşaktaki trafik yoğunluğunu ve etkinliğini ölçebilen çıkış verileri olarak kullanılmaktadır.

PTV Vissim simülasyon programında incelemesini yaptığımız kavşak modelimizi, 4 farklı analiz yöntemi ile Sidra Intersection simülasyon programında da örnek alacağımız 10 farklı senaryo ile inceleyeceğiz. (AKMAZ & ÇELİK, 2016) [15]

Sidra Intersection programında giriş parametrelerini yazdığımız ve çıkış verilerini topladığımız modüllerin yer aldığı görseller aşağıdaki şekillerde paylaşılmaktadır.



Şekil 3.37: Sidra Intersection Simülasyon Programı Arayüzü.



Şekil 3.38: Sidra Intersection Simülasyon Programı Kavşak Modeli.

LANE GEOMETRY - 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Ke

Lane Configuration | Lane Disciplines | Lane Data

Quick Input View Display

Approach Selector

DOĞU (3)

Legend: Lane Editor

- Approach Lane
- Exit Lane
- Selected Lane/Island
- Strip Island/Short Lane

Lane Editor

East Approach Lane 1

App Lane Exit Lane Strip Island Delete

Lane Configuration Data

Lane Configuration: Full-Length Lane

Lane Type: Normal

Lane Control: Signals

Slip/Bypass Lane Control: NA

Lane Length: 250,0 m

Lane Width: 3,30 m

Grade: 0,0 %

Lane ID: DB

Lane Colour (Layout):

Dialog Tips

Help OK Cancel Apply Process Site

Şekil 3.39: Sidra Programında Şerit Geometrisi Ayarları.

PHASING & TIMING - 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Ke

Sequences | Sequence Editor | Phase & Sequence Data | Timing Options | Advanced

Quick Input View Display

Sequence All-Ped Phasing

Phase Data

Phase:	A	B	C
Variable Phase	☐	☐	☐
Reference Phase	☐	☐	☒
Phase Time (optional)	13 sec	13 sec	17 sec
Phase Frequency	Program	Program	Program
Yellow Time	4 sec	4 sec	4 sec
All-Red Time	0 sec	0 sec	0 sec
Dummy Movement Data:			
Dummy Movement Exists	☐	☐	☐
Minimum Green Time			
Maximum Green Time			

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

Detection Data

Major Movement Minor Movement

Effective Detection Zone Length 4,5 m 4,5 m

Help OK Cancel Apply Process Site

Şekil 3.40: Sidra Trafik Sinyal Işıkları ve Faz Sürelerinin Ayarlanması.

PARAMETER SETTINGS - 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Ke

Options | Model Parameters | Cost | Fuel & Emissions

Cost Options
Cost Unit: \$

The Cost Unit parameter for the Site will not affect network analysis results.
The corresponding parameter appears in the Network Data dialog

Movement Class
☒ Light Vehicles (LV)
☐ Heavy Vehicles (HV)

Select a Movement Class using radio buttons, and specify data

Vehicle Cost Parameters
Vehicle Cost Method: Operating Cost

Vehicle Operating Cost
Pump Price of Fuel: 1.30 \$/L
Fuel Resource Cost Factor: 0.50
Ratio of Running Cost to Fuel Cost: 3.0

Vehicle Time Cost
Average Income: 41.00 \$/h
Time Value Factor: 0.60

Pedestrian Cost Parameters
Pedestrian Average Income: 44.00 \$/h
Pedestrian Time Value Factor: 0.60
☒ Include Cost for Pedestrians

Help | OK | Cancel | Apply | Process Site

PARAMETER SETTINGS - 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Ke

Options | Model Parameters | Cost | Fuel & Emissions

Movement Class
☐ Light Vehicles (LV)
☒ Heavy Vehicles (HV)

Select a Movement Class using radio buttons, and specify data

Vehicle Parameters
Mass: 1600.0 kg
Maximum Power: 120 kW

Fuel and Emission Model Parameters
CO2 to Fuel Consumption Rate: 2.35

	Fuel	CO	HC	NOx
Idling Rate, \$	1200.0	1620.0	340.0	300.0
Drag Parameter, A	16.0	-138.0	-9.0	-14.0
Drag Parameter, B	0.004	0.0743	0.0031	0.0068
Efficiency Parameter, beta	0.1	0.294	0.029	0.166

PARAMETER SETTINGS - 3 Kollu Çift Şeritli Kavşak Ke

Options | Model Parameters | Cost | Fuel & Emissions

Movement Class
☐ Light Vehicles (LV)
☒ Heavy Vehicles (HV)

Select a Movement Class using radio buttons, and specify data

Vehicle Parameters
Mass: 15000.0 kg
Maximum Power: 170 kW

Fuel and Emission Model Parameters
CO2 to Fuel Consumption Rate: 2.633

	Fuel	CO	HC	NOx
Idling Rate, \$	2300.0	25000.0	3000.0	44000.0
Drag Parameter, A	200.0	320.0	1.0	2820.0
Drag Parameter, B	0.009	-0.06	-0.0016	0.21
Efficiency Parameter, beta	0.075	0.04	0.0013	1.9

Şekil 3.41: Sidra Intersection Simülasyon Programı Yakıt Tüketimi ve Emisyon Gazlarının Parametre Ayarlarının Gösterimi.

PTV Vissim simülasyon programında çalıştırdığımız analiz yöntemlerini özdeş parametreleri kullanarak Sidra Intersection simülasyon programında simüle etmeyi amaçlayacağız.

Senaryo bazlı değerlendirmeler yapılırken kavşaktaki yaklaşım kollarının genişlik, uzunluk gibi geometrik özellikleri PTV Vissim programdaki yaklaşım kolları ile aynı ele alınmıştır.

Değerlendirme sonuçlarının reel benzetimli olabilmesi için 60 dakika (3600 saniye) zaman aralığında simülasyon çalışması yapılmıştır.

Yaya trafiği aynı PTV Vissim programında olduğu gibi trafik akışına kapatılmıştır. Bundan dolayı da yayalar ile ilgili hesaplamalar ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada her senaryo için analiz yöntemleri tek tek incelense de trafik hacminin minimum olduğu, maksimum olduğu ve trafik hacminin ortalama değerde olduğu ilk 3 senaryo, her bir analiz yöntemi için detayları ile birlikte gösterilmiştir.

3.3.2.1. Webster Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması

Senaryo 1 için belirlenen zaman aralığı bazlı taşıt hacimlerinin, her bir yaklaşım kolu için simülasyon programında tasarlanan yollara ataması gerçekleştiriliyor. Aşağıdaki şekilde

Senaryo 1 için saatlik trafik hacimleri, her bir yaklaşım kolu için belirlenirken, trafikte yer alan taşıt kompozisyonunun %80 i hafif taşıtlar (otomobil, kamyonet, v.b.) ve %20 si ağır taşıtlardan (otobüs, kamyon, v.b.) oluşmaktadır. Sürücü davranış biçimleri belirlenirken, Sidra Intersection simülasyon programının algoritma tasarımına uygun davranış biçimleri ile gerçeğe uygun tasarım metodu uygulanmıştır.

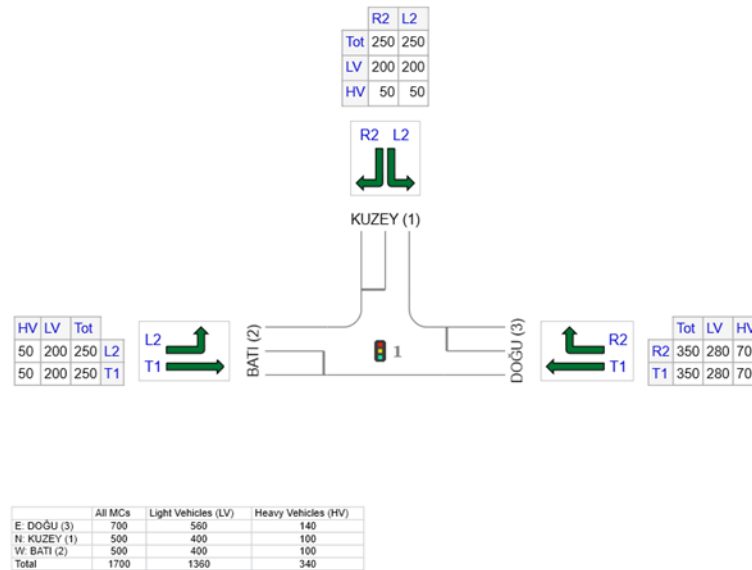
Yolun yaya trafiğine kapalı olduğu varsayılmaktadır.

Her bir yaklaşım kolu için 2 adet olmak üzere toplamda 3 faz için, 6 adet sinyal grubu oluşturulmuştur.

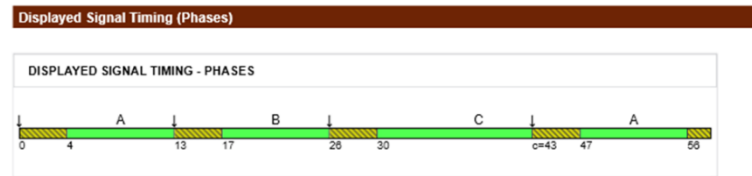
Sinyalizasyonda yeşil ışık harici geçen süre, her faz için 4 saniye olarak belirlenmiştir. Toplamda kayıp süre olarak 12 saniye belirlenmiştir.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Senaryo 1



Şekil 3.42: Webster Analizinin Sidra Simülasyon Programında Taşıt Kompozisyonu Senaryo 1 Örnekleme.



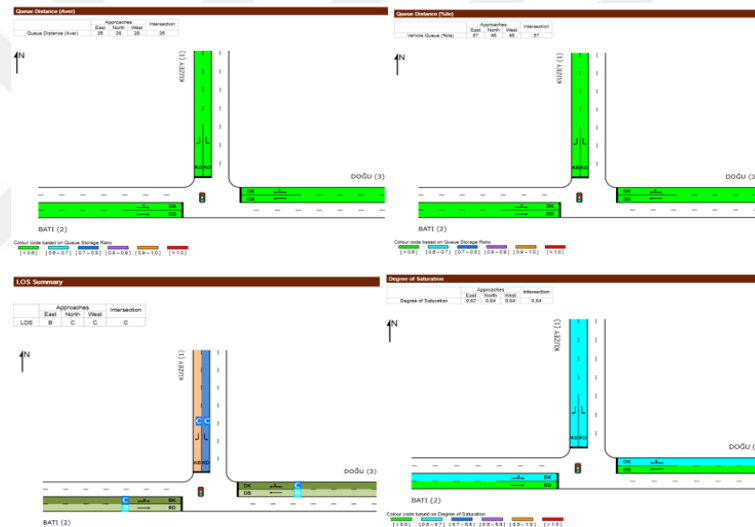
Şekil 3.43: Webster Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 43 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık Süresi: 9 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık Süresi: 9 Saniye.

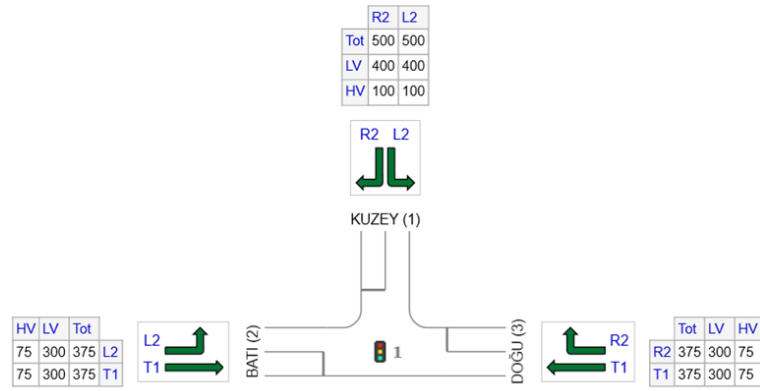
Faz 3 Yeşil Işık Süresi: 13 Saniye.



Şekil 3.44: Webster Yöntemi Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

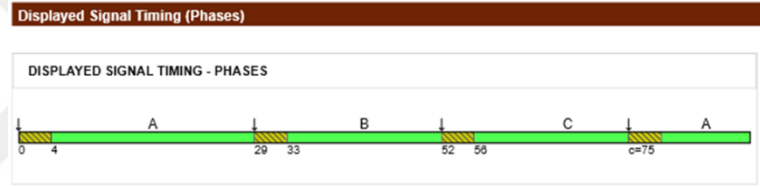
Kavşağın performans endeksi 77,2 olarak ölçülmüş olup, LOS C seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %36'sı daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %41,5 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 2



	All MCs	Light Vehicles (LV)	Heavy Vehicles (HV)
E. DOĞU (3)	750	600	150
N. KUZEY (1)	1000	800	200
W. BATI (2)	750	600	150
Total	2500	2000	500

Şekil 3.45: Webster Analizinin Sidra Simülasyon Programında Taşıt Kompozisyonu Senaryo 2 Örneklemesi.

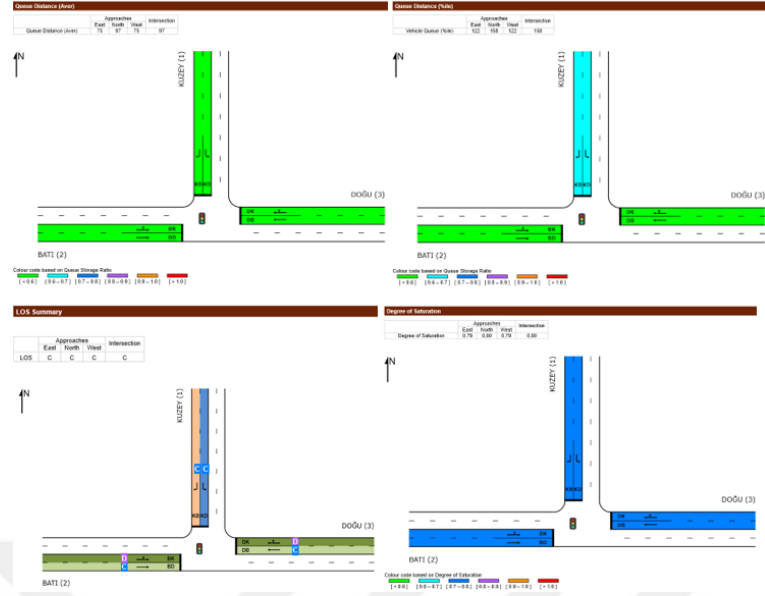


Şekil 3.46: Webster Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi. Kavşak Devre Süresi: 75 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık Süresi: 25 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık Süresi: 19 Saniye.

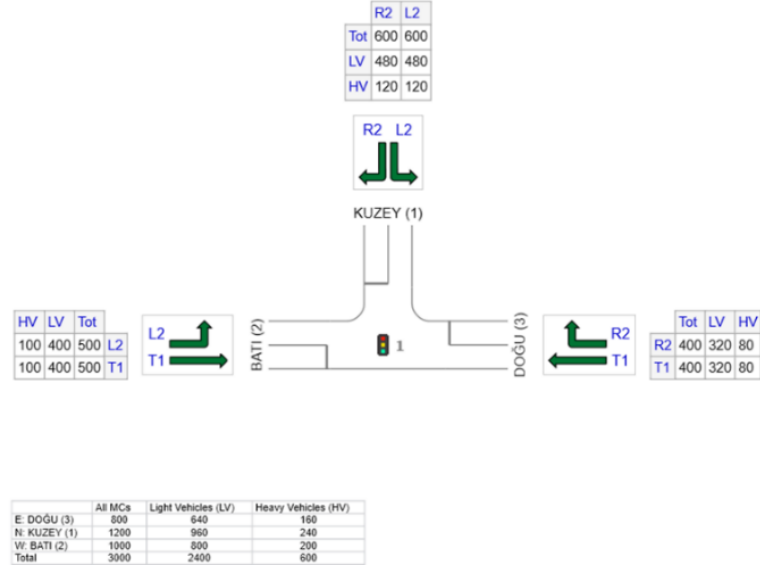
Faz 3 Yeşil Işık Süresi: 19 Saniye.



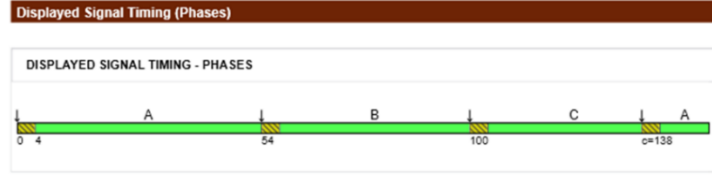
Şekil 3.47: Webster Yöntemi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 178,7 olarak ölçülmüş olup, LOS C seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %20'si daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %12,7 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 3



Şekil 3.48: Webster Analizinin Sidra Simülasyon Programında Taşıt Kompozisyonu Senaryo 3 Örnekleme.

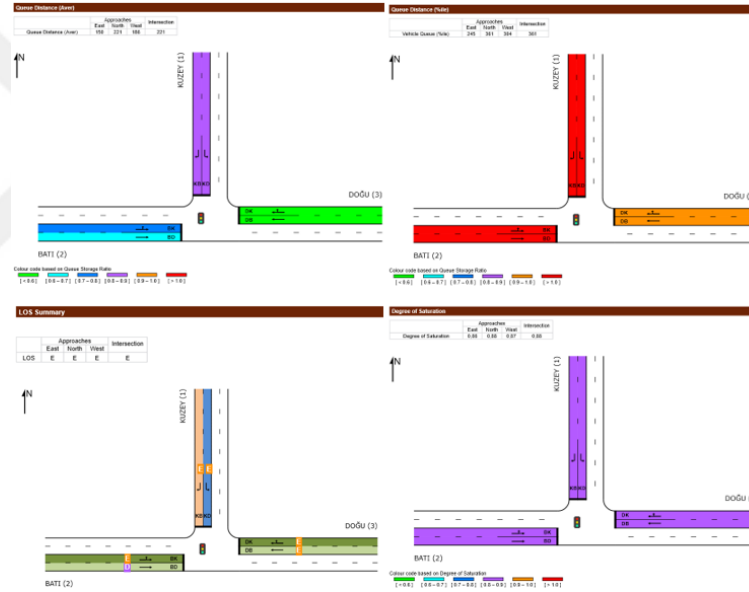


Şekil 3.49: Webster Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.
Kavşak Devre Süresi: 138 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık Süresi: 50 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık Süresi: 42 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık Süresi: 34 Saniye.



Şekil 3.50: Webster Yöntemi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.
Kavşağın performans endeksi 360,1 olarak ölçülmüş olup, LOS E seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %12'si daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %2,1 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

3.3.2.2. Genetik Algoritma Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması

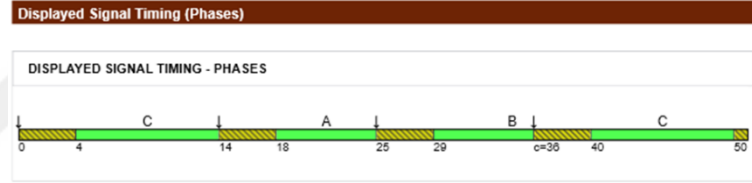
Webster ile analiz yönteminde ayarlanan parametrelerden farklı olarak genetik algoritma analizi ile Matlab programında her faz için hesaplanan devre süreleri ve yeşil ışık süreleri

değişkenlik göstermiştir. Yaklaşım kollarındaki değişen trafik hacmine göre hesaplanan faz sürelerinin farklı olması, kavşak performansı ve kuyruk oluşumlarını, taşıt başına ortalama gecikme sürelerini değiştirmektedir.

Kavşak geometrisi, taşıt sürücülerinin yapay zeka özellikleri, kavşaktaki kayıp süre, her senaryo için taşıt hacmi ve kompozisyonları aynı kalmak suretiyle, sinyalizasyon süreleri değiştirilerek 10 senaryo tek tek incelenmiştir.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Senaryo 1



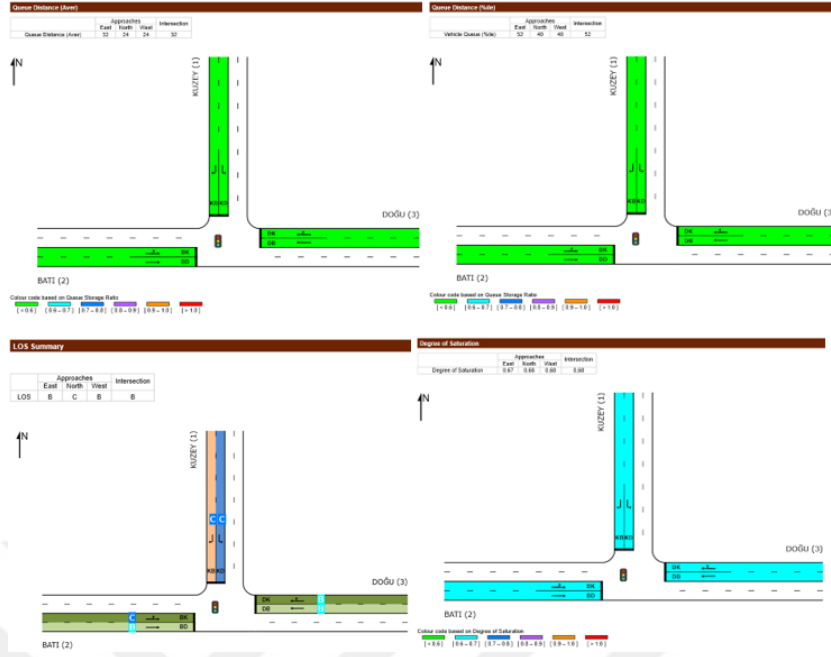
Şekil 3.51: Genetik Algoritma Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 36 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 10 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 7 Saniye.

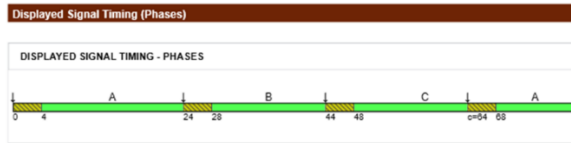
Faz 3 Yeşil Işık: 7 Saniye.



Şekil 3.52: G.A. Yöntemi Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 72,3 olarak ölçülmüş olup, LOS B seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %32'si daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %31,5 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 2



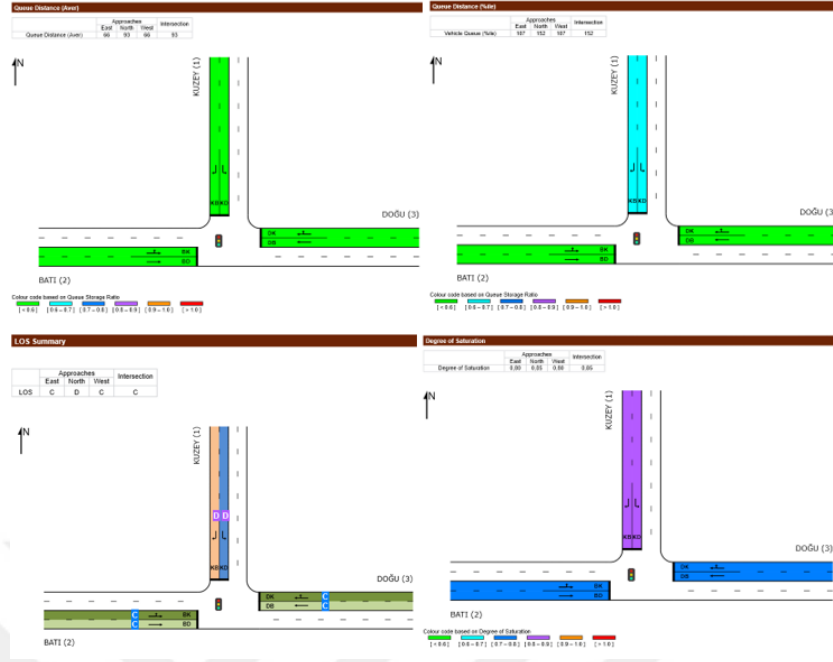
Şekil 3.53: Genetik Algoritma Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 64 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 20 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 16 Saniye.

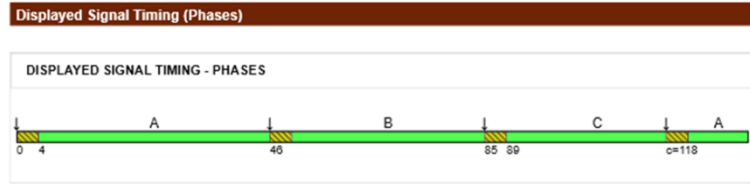
Faz 3 Yeşil Işık: 16 Saniye.



Şekil 3.54: G.A. Yöntemi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 167,5 olarak ölçülmüş olup, LOS B seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %15'i daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %5,6 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 3



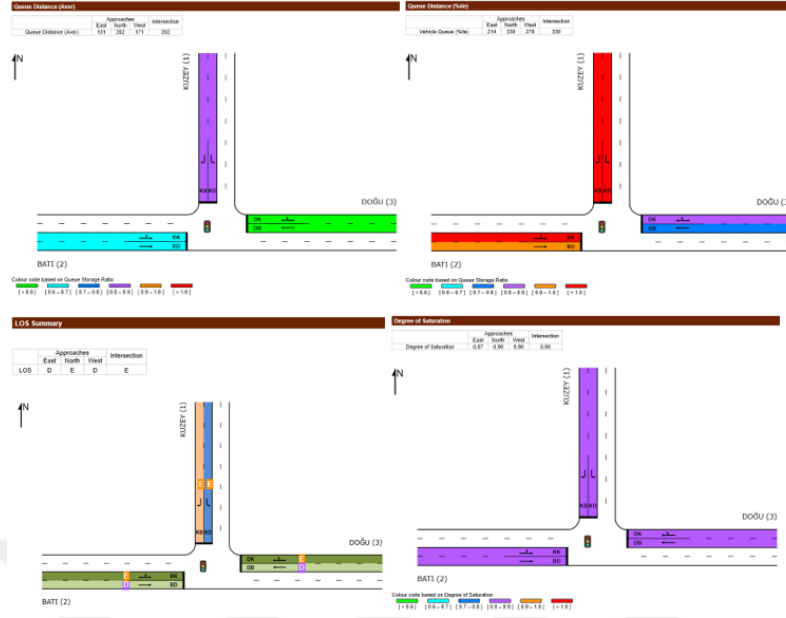
Şekil 3.55: Genetik Algoritma Yöntemi Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 118 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 42 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 35 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 29 Saniye.



Şekil 3.56: G.A. Yöntemi Senaryo 3 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 331,2 olarak ölçülmüş olup, LOS E seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %10'u daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %0,3 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

3.3.2.3. Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması

Diğer analiz yöntemlerinden farklı olarak sidra simülasyon programı tarafından her faz için hesaplanan devre süreleri ve yeşil ışık süreleri değişkenlik göstermiştir. Yaklaşım kollarındaki değişen trafik hacmine göre hesaplanan faz sürelerinin farklı olması, kavşak performansı ve kuyruk oluşumlarını, taşıt başına ortalama gecikme sürelerini değiştirmektedir.

Kavşak geometrisi, taşıt sürücülerinin yapay zeka özellikleri, kavşaktaki kayıp süre, her senaryo için taşıt hacmi ve kompozisyonları aynı kalmak suretiyle, sinyalizasyon süreleri değiştirilerek 10 senaryo tek tek incelenmiştir.

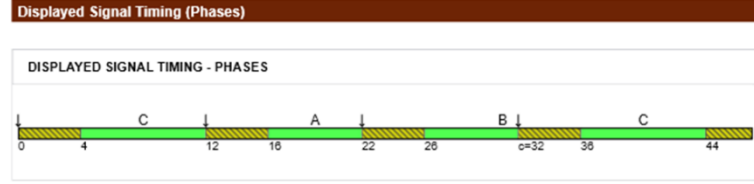
Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Senaryo 1

Tablo 3.7: Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Senaryo 1 Örneği Optimum Devre Süresi Seçimi.

Cycle Time (sec)	Eff. Cap.	Degree of Satn	Prod. Spare Cap.	Avar. Delay (sec)	Stop Rate	95% Back of Queue (veh)	Perf. Index	Cost Total \$/h
30	1920	0.932	-3	21.0	1.01	8.3	74.3	1168.6
32	2400	0.746	21	18.6	0.90	6.2	70.2	1115.5
34	2372	0.754	19	18.8	0.88	6.3	71.2	1116.8
36	2614	0.685	31	19.1	0.86	6.4	72.3	1116.0
38	2527	0.708	27	19.5	0.85	7.0	74.0	1123.9
40	2688	0.666	35	19.7	0.83	6.6	74.9	1122.1
42	2743	0.652	38	20.2	0.82	7.2	76.6	1128.9
44	2749	0.651	38	20.6	0.81	7.3	78.1	1133.9
46	2922	0.612	47	21.0	0.81	7.4	79.6	1138.2
48	2800	0.639	41	21.5	0.80	7.9	81.4	1146.8
50	2957	0.605	49	21.9	0.80	7.8	83.0	1151.3
52	2954	0.606	49	22.4	0.80	8.2	84.7	1159.0
54	2987	0.599	50	22.9	0.80	8.4	86.6	1167.7
56	3086	0.580	55	23.4	0.79	8.6	88.3	1174.3
58	3013	0.594	52	23.9	0.79	8.8	90.1	1181.7
60	3136	0.571	58	24.4	0.79	9.0	91.9	1190.1
62	3097	0.578	56	25.0	0.79	9.5	93.9	1200.6
64	3150	0.568	58	25.4	0.79	9.5	95.5	1206.1
66	3200	0.559	61	26.0	0.79	9.9	97.5	1216.5
68	3163	0.566	59	26.5	0.79	10.1	99.4	1225.1
70	3264	0.548	64	27.0	0.79	10.3	101.2	1232.7
72	3200	0.559	61	27.6	0.79	10.8	103.2	1243.2
74	3270	0.547	64	28.1	0.79	10.7	104.8	1249.2
76	3285	0.545	65	28.6	0.79	11.2	106.8	1259.6
78	3274	0.547	65	29.1	0.79	11.4	108.6	1268.3
80	3360	0.533	69	29.7	0.79	11.6	110.4	1276.1
82	3278	0.546	65	30.2	0.79	12.0	112.4	1286.6
84	3360	0.533	69	30.7	0.79	12.0	114.0	1292.8
86	3349	0.534	68	31.3	0.79	12.5	116.0	1303.2
88	3360	0.533	69	31.8	0.79	12.7	117.9	1311.9
90	3414	0.524	72	32.3	0.79	12.9	119.7	1319.9
92	3360	0.533	69	32.8	0.79	13.1	121.5	1328.7
94	3432	0.521	73	33.3	0.78	13.3	123.3	1336.7
96	3400	0.526	71	33.9	0.79	13.7	125.3	1347.1
98	3429	0.522	72	34.3	0.78	13.7	126.9	1353.6
100	3456	0.518	74	34.9	0.79	14.1	128.9	1364.0
102	3426	0.522	72	35.4	0.79	14.3	130.7	1372.8
104	3490	0.513	76	35.9	0.78	14.6	132.5	1380.9
106	3442	0.520	73	36.5	0.79	15.0	134.6	1391.3
108	3485	0.513	75	37.0	0.78	15.0	136.2	1397.9
110	3491	0.513	76	37.5	0.78	15.4	138.2	1408.2
112	3480	0.514	75	38.0	0.78	15.6	140.0	1417.0
114	3537	0.506	78	38.6	0.78	15.8	141.8	1425.2
116	3476	0.515	75	39.1	0.79	16.3	143.8	1435.6
118	3521	0.507	78	39.6	0.78	16.2	145.4	1442.3
120	3520	0.508	77	40.2	0.78	16.7	147.4	1452.6
122	3526	0.508	77	40.7	0.78	16.9	149.2	1461.4
124	3562	0.502	79	41.2	0.78	17.1	151.0	1469.7
126	3505	0.511	76	41.8	0.79	17.5	153.1	1480.0
128	3570	0.501	80	42.2	0.78	17.5	154.7	1486.8
130	3543	0.505	78	42.8	0.78	17.9	156.7	1497.1
132	3564	0.502	79	43.2	0.78	17.9	158.3	1504.0
134	3583	0.499	80	43.8	0.78	18.4	160.3	1514.3
136	3558	0.503	79	44.3	0.78	18.3	161.9	1521.2
138	3604	0.497	81	44.8	0.78	18.8	163.9	1531.4
140	3566	0.502	79	45.4	0.78	19.2	165.9	1541.7
142	3597	0.497	81	45.9	0.78	19.2	167.5	1548.6
144	3600	0.497	81	46.4	0.78	19.6	169.5	1558.9
146	3591	0.498	81	46.9	0.78	19.6	171.1	1565.9
148	3633	0.493	83	47.5	0.78	20.0	173.1	1576.1
150	3584	0.499	80	48.0	0.78	20.5	175.1	1586.3
152	3626	0.494	82	48.5	0.78	20.5	176.7	1593.3
154	3616	0.495	82	49.1	0.78	20.9	178.7	1603.5
156	3619	0.494	82	49.5	0.78	20.9	180.3	1610.6
158	3646	0.491	83	50.1	0.78	21.3	182.4	1620.7
160	3600	0.497	81	50.7	0.78	21.7	184.4	1630.9
162	3651	0.490	84	51.1	0.78	21.7	186.0	1638.0
164	3620	0.493	83	51.7	0.78	22.2	188.0	1648.2
165	3666	0.488	84	51.9	0.78	22.1	188.8	1651.7

Average values per person or total values for all persons are shown for delay, stop rate, performance index and cost parameters.



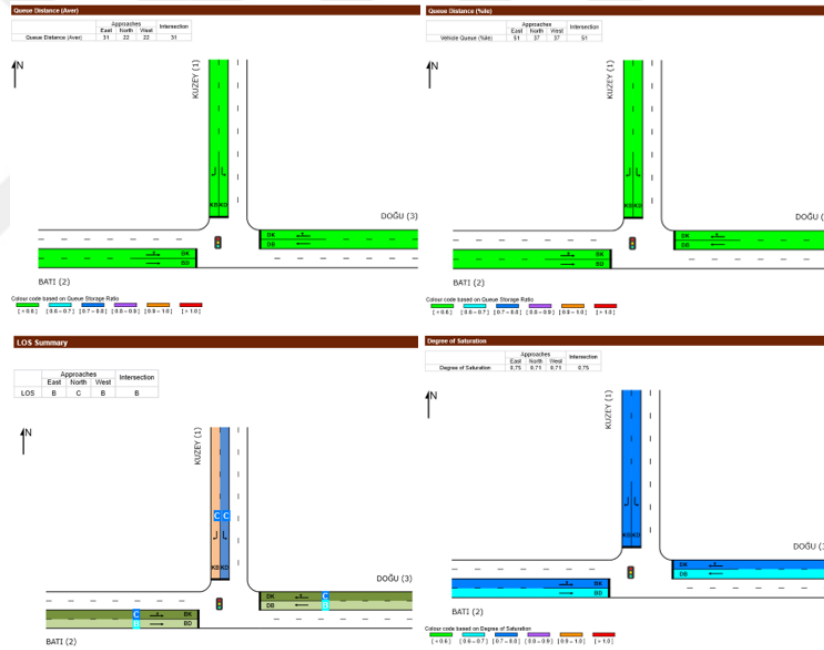
Şekil 3.57: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 32 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 6 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 6 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 8 Saniye.



Şekil 3.58: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 70,2 olarak ölçülmüş olup, LOS B seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %25'i daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %20,7 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 2

Tablo 3.8: Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Senaryo 2 Örneği Optimum Devre Süresi Seçimi.

INTERSECTION SUMMARY FOR OPTIMUM CYCLE TIME									
Cycle Time (sec)	Eff. Cap.	Degree of Satn	Peak Spare Cap.	Aver. Delay (sec)	Stop Rate	95% Back of Queue (veh)	Perf. Index	Cost Total \$/h	
30	1977	1.331	-32	152.2	2.52	63.6	279.2	5280.8	
32	2471	1.065	-15	80.7	1.90	27.3	255.6	3415.1	
34	2326	1.132	-20	80.8	1.76	38.0	251.2	3423.4	
36	2562	1.027	-12	48.5	1.45	16.9	187.5	2528.3	
38	2601	1.012	-11	45.4	1.35	22.0	180.9	2452.5	
40	2636	0.998	-10	40.1	1.26	18.1	170.3	2297.2	
42	2824	0.932	-3	34.1	1.16	16.1	157.5	2125.0	
44	2696	0.976	-8	37.3	1.15	20.2	165.9	2215.7	
46	2865	0.919	-2	31.5	1.08	14.7	153.3	2039.3	
48	2883	0.913	-1	31.9	1.06	16.9	155.8	2052.4	
50	2899	0.908	-1	31.5	1.03	16.3	155.9	2032.3	
52	3041	0.865	4	30.8	1.01	16.0	155.3	2007.4	
54	2928	0.888	0	31.9	1.00	17.8	156.7	2038.4	
56	3059	0.860	5	30.8	0.98	15.8	157.8	1996.4	
58	3067	0.858	5	31.4	0.97	17.2	160.8	2011.4	
60	3075	0.856	5	31.5	0.96	17.1	162.5	2010.9	
62	3188	0.825	9	31.5	0.95	17.1	163.8	2006.7	
64	3089	0.852	6	32.4	0.94	18.5	167.5	2028.5	
66	3195	0.824	9	32.0	0.93	17.3	167.8	2012.4	
68	3198	0.823	9	32.7	0.92	18.5	170.9	2027.4	
70	3200	0.822	9	33.0	0.92	18.5	173.0	2032.1	
72	3295	0.799	13	33.2	0.91	18.6	174.9	2034.7	
74	3205	0.821	10	33.9	0.91	19.8	178.4	2053.2	
76	3295	0.799	13	33.9	0.90	18.9	179.4	2046.7	
78	3295	0.799	13	34.5	0.90	20.0	182.5	2061.5	
80	3295	0.799	13	34.9	0.89	20.1	184.8	2068.5	
82	3375	0.780	15	35.2	0.89	20.2	187.0	2073.9	
84	3295	0.799	13	35.9	0.89	21.3	190.2	2090.8	
86	3371	0.781	15	36.0	0.88	20.6	191.6	2088.9	
88	3369	0.781	15	36.6	0.88	21.6	194.7	2103.5	
90	3368	0.781	15	37.0	0.88	21.7	197.1	2111.6	
92	3438	0.765	18	37.4	0.87	21.9	199.4	2118.6	
94	3365	0.782	15	38.1	0.87	22.9	202.6	2134.6	
96	3432	0.767	17	38.3	0.87	22.2	204.2	2135.2	
98	3429	0.767	17	38.9	0.87	23.2	207.2	2149.6	
100	3426	0.768	17	39.3	0.87	23.4	209.7	2158.9	
102	3488	0.754	19	39.7	0.86	23.5	212.0	2166.1	
104	3421	0.769	17	40.4	0.86	24.5	215.4	2183.4	
106	3481	0.756	19	40.6	0.86	23.9	216.9	2183.7	
108	3478	0.757	19	41.2	0.86	24.8	220.2	2200.4	
110	3474	0.757	19	41.7	0.86	25.0	222.7	2209.6	
112	3530	0.746	21	42.1	0.86	25.2	225.1	2218.5	
114	3468	0.759	19	42.8	0.86	26.1	228.6	2236.2	
116	3522	0.747	20	43.2	0.86	25.8	230.7	2244.5	
118	3518	0.748	20	43.7	0.85	26.5	233.5	2254.8	
120	3514	0.749	20	44.3	0.85	26.8	236.4	2268.9	
122	3565	0.738	22	44.8	0.85	27.2	239.3	2282.5	
124	3507	0.750	20	45.3	0.85	27.9	242.1	2293.3	
126	3556	0.740	22	45.9	0.85	27.8	245.1	2310.2	
128	3592	0.741	21	46.4	0.85	28.5	247.9	2320.9	
130	3548	0.742	21	47.0	0.85	28.5	250.8	2337.8	
132	3594	0.732	23	47.5	0.85	29.2	253.6	2348.5	
134	3540	0.743	21	48.1	0.85	29.9	256.7	2362.0	
136	3585	0.734	23	48.6	0.85	29.8	259.4	2376.1	
138	3581	0.735	22	49.3	0.85	30.5	262.5	2390.3	
140	3577	0.736	22	49.8	0.85	30.5	265.2	2403.7	
142	3619	0.727	24	50.4	0.85	31.2	268.3	2418.6	
144	3569	0.737	22	51.0	0.85	31.9	271.6	2434.0	
146	3610	0.729	23	51.5	0.85	31.8	274.2	2446.9	
148	3606	0.730	23	52.1	0.85	32.5	277.4	2462.2	
150	3602	0.731	23	52.6	0.85	32.5	280.0	2475.2	
152	3641	0.723	25	53.3	0.85	33.2	283.2	2490.5	
154	3594	0.732	23	53.9	0.85	33.9	286.4	2506.0	
156	3632	0.724	24	54.4	0.85	33.8	289.0	2518.8	
158	3628	0.725	24	55.0	0.85	34.5	292.2	2534.3	
160	3624	0.726	24	55.5	0.85	34.5	294.8	2547.2	
162	3661	0.719	25	56.1	0.85	35.2	298.1	2562.5	
164	3616	0.728	24	56.8	0.85	35.9	301.3	2578.0	
165	3654	0.720	25	57.0	0.85	35.9	302.6	2584.4	



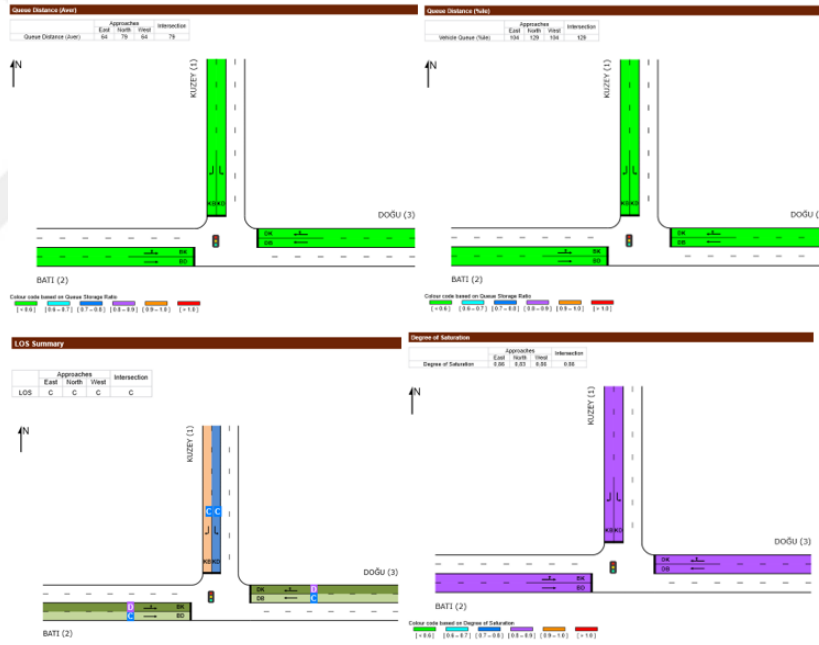
Şekil 3.59: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 56 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 18 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 13 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 13 Saniye.



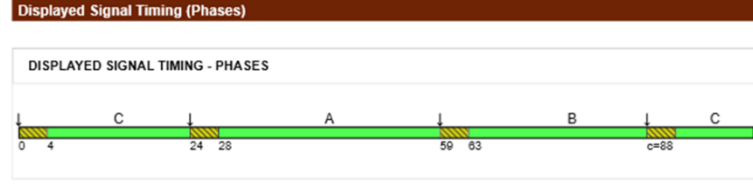
Şekil 3.60: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 157,8 olarak ölçülmüş olup, LOS C seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %14'ü daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %4,6 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 3

Tablo 3.9: Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Senaryo 3 Örneği Optimum Devre Süresi Seçimi.

Cycle Time (sec)	Eff. Cap.	Degree of Satn	Frac. Spare Cap.	Aver. Delay (sec)	Stop Rate	95% Back of Queue (veh)	Perf. Index	Cost \$/h
30	1977	1.398	-44	335.1	3.99	108.1	838.8	12185.0
32	2224	1.420	-37	260.9	3.42	74.1	716.1	9962.1
34	2442	1.293	-30	216.4	3.01	60.2	630.5	8584.6
36	2471	1.278	-30	187.5	2.68	50.1	567.9	7660.6
38	2601	1.214	-26	164.6	2.41	41.7	515.3	6956.5
40	2669	1.183	-24	146.0	2.21	33.6	474.6	6363.5
42	2824	1.118	-20	125.3	2.01	26.8	430.2	5687.3
44	2696	1.172	-23	119.7	1.88	26.8	414.0	5517.7
46	2826	1.113	-19	100.0	1.73	29.1	373.6	4839.9
48	2883	1.095	-18	94.6	1.64	25.0	360.7	4683.8
50	2965	1.065	-15	85.2	1.54	20.5	340.2	4356.0
52	2965	1.065	-15	78.5	1.47	16.7	326.1	4126.2
54	3020	1.046	-14	71.6	1.40	13.8	311.5	3883.3
56	3000	1.052	-14	72.3	1.36	10.6	313.4	3920.0
58	3067	1.030	-13	64.0	1.31	10.8	296.0	3609.3
60	3130	1.009	-11	62.9	1.27	11.2	294.8	3580.7
62	3109	1.016	-11	60.1	1.24	11.3	289.6	3474.9
64	3150	1.002	-10	57.6	1.21	11.8	285.2	3383.9
66	3145	1.004	-10	55.8	1.18	10.6	282.3	3312.6
68	3198	0.988	-9	56.5	1.16	11.0	285.9	3343.5
70	3219	0.981	-8	55.2	1.14	11.7	284.9	3295.7
72	3295	0.959	-6	53.2	1.12	12.7	281.3	3217.1
74	3205	0.985	-9	55.5	1.11	16.8	289.2	3301.3
76	3277	0.964	-7	51.7	1.09	11.3	281.1	3152.6
78	3295	0.959	-6	52.8	1.08	14.7	286.1	3192.9
80	3336	0.947	-5	51.8	1.07	11.9	285.4	3153.1
82	3327	0.949	-5	51.5	1.06	11.4	286.5	3136.1
84	3353	0.942	-4	50.9	1.05	11.0	286.8	3108.9
86	3373	0.948	-5	52.2	1.04	16.0	292.4	3156.9
88	3369	0.937	-4	50.8	1.03	12.5	290.0	3090.4
90	3404	0.928	-3	51.4	1.02	15.0	294.1	3116.7
92	3384	0.933	-4	51.3	1.02	14.7	295.5	3104.6
94	3407	0.927	-3	51.3	1.01	14.5	297.5	3099.6
96	3397	0.929	-3	51.3	1.01	14.4	299.2	3092.4
98	3429	0.921	-2	52.2	1.00	16.8	303.9	3124.5
100	3439	0.918	-2	52.3	0.99	16.6	306.3	3124.5
102	3488	0.905	-1	52.2	0.99	16.4	307.6	3113.1
104	3421	0.923	-2	53.4	0.98	18.8	313.2	3156.0
106	3469	0.910	-1	52.5	0.98	16.3	312.2	3113.4
108	3478	0.908	-1	53.4	0.98	18.4	316.9	3144.4
110	3504	0.901	0	53.4	0.97	18.3	318.8	3139.3
112	3495	0.904	0	53.7	0.97	18.2	321.5	3143.9
114	3511	0.899	0	53.8	0.96	18.2	323.5	3141.8
116	3493	0.904	0	54.7	0.96	20.3	328.4	3173.8
118	3518	0.898	0	54.4	0.96	18.3	328.8	3150.8
120	3542	0.892	1	55.1	0.95	20.2	333.1	3175.6
122	3524	0.896	0	55.3	0.95	20.2	335.4	3176.7
124	3539	0.892	1	55.6	0.95	20.2	338.2	3184.0
126	3530	0.895	1	55.9	0.95	20.3	340.6	3186.5
128	3552	0.889	1	56.7	0.94	22.1	345.1	3212.6
130	3535	0.893	1	56.6	0.94	20.5	346.2	3200.5
132	3594	0.879	2	57.2	0.94	22.2	350.0	3221.6
134	3540	0.892	1	58.1	0.94	24.0	355.0	3252.0
136	3576	0.883	2	57.9	0.94	22.3	355.7	3234.8
138	3581	0.882	2	58.7	0.93	24.0	360.1	3260.1
140	3600	0.877	3	58.9	0.93	24.1	362.5	3262.8
142	3592	0.879	2	59.3	0.93	24.2	365.5	3272.3
144	3603	0.876	3	59.6	0.93	24.3	368.0	3276.0
146	3588	0.880	2	60.3	0.92	25.9	372.5	3302.0
148	3606	0.876	3	60.3	0.92	24.5	373.7	3281.3
150	3624	0.871	3	61.0	0.92	26.1	377.8	3301.2
152	3609	0.875	3	61.3	0.92	26.2	380.4	3307.6
154	3620	0.872	3	61.7	0.92	26.3	383.4	3318.7
156	3611	0.874	3	62.0	0.92	26.4	386.0	3325.6
158	3628	0.870	3	62.7	0.92	28.0	390.3	3346.2
160	3614	0.874	3	62.8	0.91	26.7	391.8	3345.4
162	3661	0.863	4	63.5	0.91	28.2	395.8	3363.1
164	3616	0.873	3	64.2	0.91	29.8	400.2	3386.2
165	3654	0.864	4	64.2	0.91	29.1	400.7	3382.8



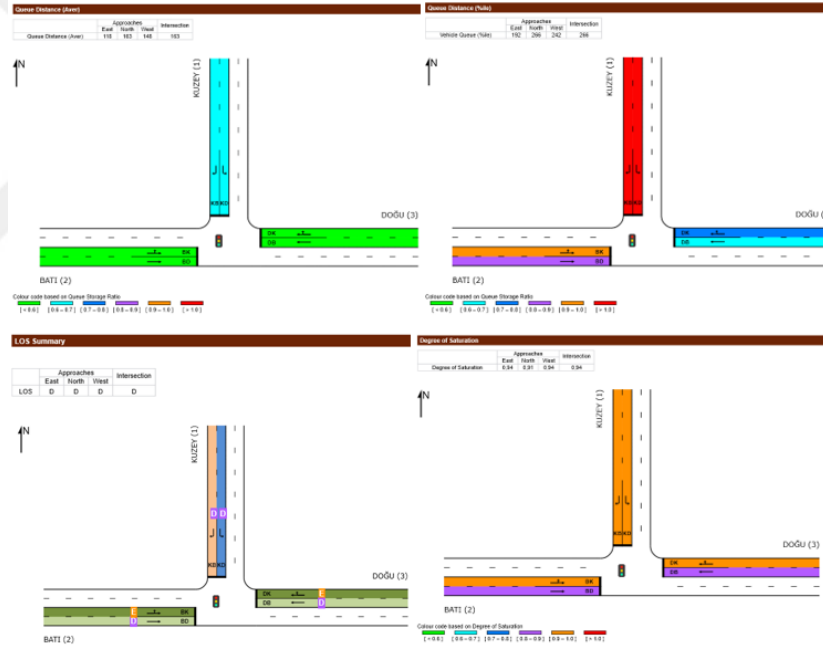
Şekil 3.61: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 88 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 31 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 25 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 20 Saniye.



Şekil 3.62: Sidra Optimum Devre Süresi Analizi Senaryo 3 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları.

Kavşağın performans endeksi 290 olarak ölçülmüş olup, LOS D seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %6'sı daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %0 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

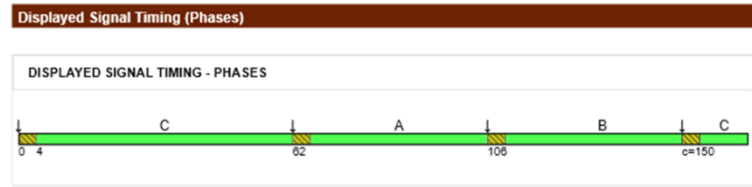
3.3.2.4. Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Çalıştırılması

Diğer analiz yöntemlerinden farklı olarak her senaryo için maksimum uzunlukta devre süresi sabit tutularak Matlab programında optimum yeşil ışık faz süreleri hesaplanmıştır. Trafik hacminin değişimine göre devre süresi sabit kalsa da yeşil ışık faz süreleri değişkenlik göstermektedir. Sabit devre süreli yaklaşımın sidra simülasyon programı tarafından her faz için hesaplanan yeşil ışık süreleri değişkenlik göstermiştir. Yaklaşım kollarındaki değişen trafik hacmine göre hesaplanan faz sürelerinin farklı olması, kavşak performansı ve kuyruk oluşumlarını, taşıt başına ortalama gecikme sürelerini değiştirmektedir.

Kavşak geometrisi, taşıt sürücülerinin yapay zeka özellikleri, kavşaktaki kayıp süre, her senaryo için taşıt hacmi ve kompozisyonları aynı kalmak suretiyle, sinyalizasyon süreleri değiştirilerek 10 senaryo tek tek incelenmiştir.

Trafik hacminin minimum olduğu senaryo 1, ortalama trafik hacim değerine sahip senaryo 2 ve maksimum trafik hacim değerindeki senaryo 3 örnekleri, detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer senaryoların sonuçları ve çalışma performansları da hesaplanmış olup, veriler analiz değerlendirmesi yapılırken her senaryo için kapsamlı olarak paylaşılmaktadır.

Senaryo 1



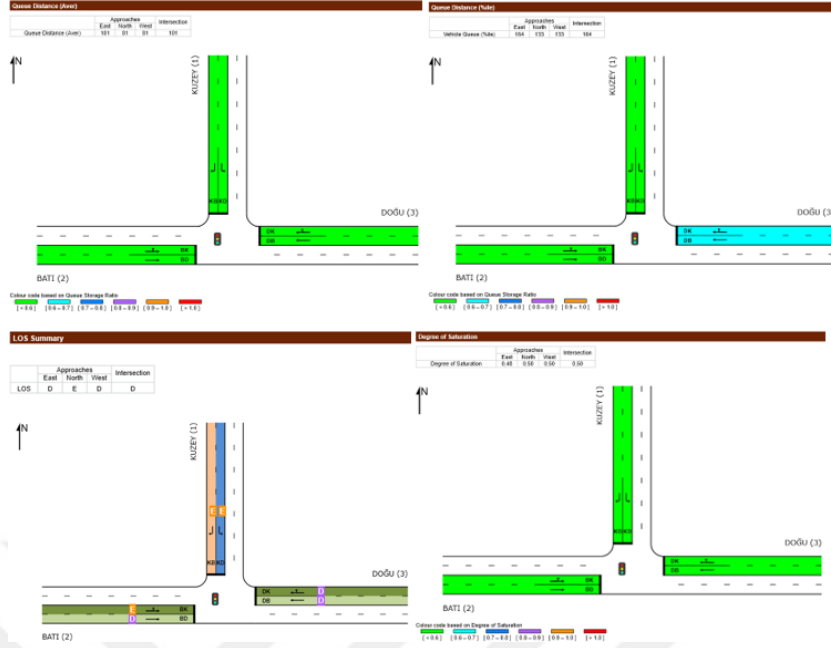
Şekil 3.63: Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection ile Senaryo 1 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 150 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 44 Saniye.

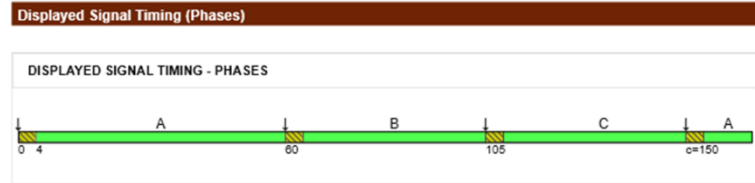
Faz 2 Yeşil Işık: 44 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 58 Saniye.



Şekil 3.64: Sabit Devre Süreli Analiz İle Senaryo 1 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları. Kavşağın performans endeksi 174,7 olarak ölçülmüş olup, LOS D seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %50'si daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %80,3 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 2



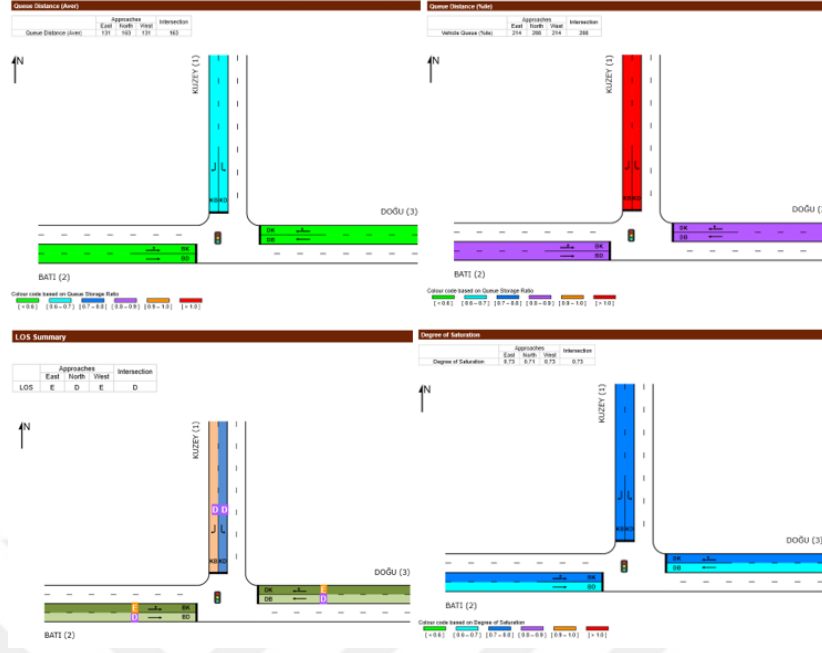
Şekil 3.65: Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection ile Senaryo 2 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 150 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 56 Saniye.

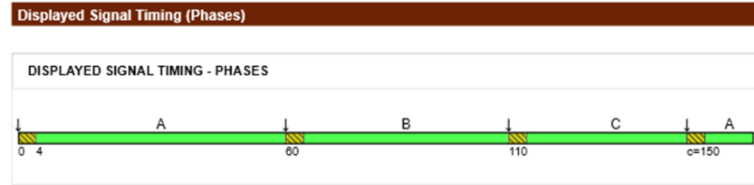
Faz 2 Yeşil Işık: 41 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 41 Saniye.



Şekil 3.66: Sabit Devre Süreli Analiz İle Senaryo 2 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları. Kavşağın performans endeksi 280 olarak ölçülmüş olup, LOS D seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %27'si daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %23,2 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir.

Senaryo 3



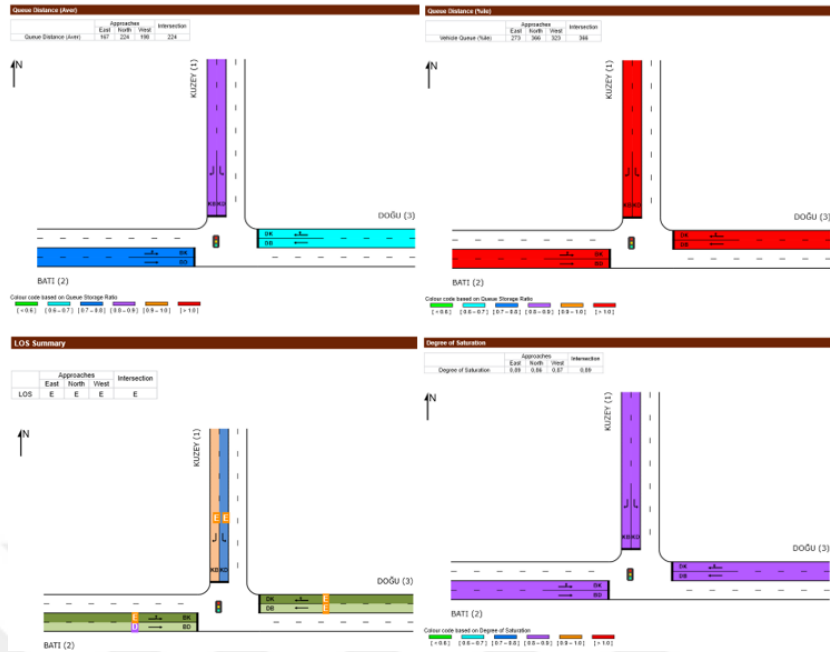
Şekil 3.67: Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection ile Senaryo 3 Trafik Sinyalizasyonu Gösterimi.

Kavşak Devre Süresi: 150 Saniye.

Faz 1 Yeşil Işık: 56 Saniye.

Faz 2 Yeşil Işık: 34 Saniye.

Faz 3 Yeşil Işık: 36 Saniye.



Şekil 3.68: Sabit Devre Süreli Analiz İle Senaryo 3 Kavşak Performansı Ölçüm Kriteri Sonuçları. Kavşağın performans endeksi 376,4 olarak ölçülmüş olup, LOS E seviyesinde gösterilmiştir. Kapasitesinin %11'i daha kullanılabilir durumdadır. Pratikte bu oran %1,4 olarak program algoritmaları tarafından belirlenmiştir. |

4. BULGULAR

4.1. PTV VISSİM SİMÜLASYON PROGRAMINDA ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1.1. Webster Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.1: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,83	80,96	365
1	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,39	57,83	357
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,42	78,05	462
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,11	55,18	344
2	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,43	72,73	353
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,7	73,28	453
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,75	59,22	358
3	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,64	79,68	374
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,35	111,65	469
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,34	59,65	361
4	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,5	59,09	386
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,14	75,95	487
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,3	58,42	379
5	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,38	61,73	455
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,39	77,44	480
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,87	62,68	361
ORTALAMA	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,67	66,21	385
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,6	83,28	470
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	0,71	10,36	13
STANDART SAPMA	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,08	9,55	41
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	0,67	15,97	14
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,11	55,18	344
MİNİMUM	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,39	57,83	353
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,7	73,28	453
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,83	80,96	379
MAKSİMUM	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,38	79,68	455
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,39	111,65	487

Tablo 4.2: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	18,82	0,73	38,75	8,27	1568
2	0-3600	18,4	0,71	39,05	8,04	1556
3	0-3600	18,6	0,71	38,94	8,37	1609
4	0-3600	18,31	0,7	39,1	8,76	1693
5	0-3600	19,43	0,75	38,25	9,39	1716
ORTALAMA	0-3600	18,71	0,72	38,82	8,57	1628
STANDART SAPMA	0-3600	0,45	0,02	0,34	0,53	73
MİNİMUM	0-3600	18,31	0,7	38,25	8,04	1556
MAKSİMUM	0-3600	19,43	0,75	39,1	9,39	1716

Senaryo 2

Tablo 4.3: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,22	154,82	775
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,51	108,35	610
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,76	132,65	590
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,45	134,18	717
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,1	105,89	591
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,27	138,7	608
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,41	128,92	713
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,63	116,62	629
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,6	133,9	603
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,11	137	706
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,84	111,51	641
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,38	119,15	695
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	45,59	176,61	912
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,57	136,17	725
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,44	114,79	648
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,16	146,3	765
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,13	115,71	639
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,49	127,84	629
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	6,45	19,54	87
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	3,02	12,12	52
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	2,4	10,29	43
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,11	128,92	706
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,1	105,89	591
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,27	114,79	590
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	45,59	176,61	912
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,57	136,17	725
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,38	138,7	695

Tablo 4.4: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOP.DURARAK GECİKME SÜRESİ (SN)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	30,94	0,86	30,96	20,49	2336
2	0-3600	29,39	0,84	31,76	19,49	2338
3	0-3600	29,94	0,84	31,47	20,07	2363
4	0-3600	30,66	0,86	31,07	21,18	2425
5	0-3600	33,51	0,94	29,68	23,79	2495
ORTALAMA	0-3600	30,89	0,87	30,99	21,00	2391
STANDART SAPMA	0-3600	1,59	0,04	0,8	1,68	68
MİNİMUM	0-3600	29,39	0,84	29,68	19,49	2336
MAKSİMUM	0-3600	33,51	0,94	31,76	23,79	2495

Senaryo 3

Tablo 4.5: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	73,05	243,08	994
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	70,78	251,51	923
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,9	164,97	648
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	86,3	262,81	1093
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	66,35	197,28	819
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,25	184,88	675
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	130,96	265,09	1460
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	65,35	213,85	805
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,69	177,14	727
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	63,53	198,47	914
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	75,57	195,98	994
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	141,24	265,04	1433
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	94,71	257,36	1217
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	129,38	264,63	1385
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	67,63	201,64	779
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	89,71	245,36	1136
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	81,49	224,65	985
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	74,74	198,73	852
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	25,99	27,58	214
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,08	31,65	237
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,62	39,38	328
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	63,53	198,47	914
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	65,35	195,98	805
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,9	164,97	648
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	130,96	265,09	1460
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	129,38	264,63	1385
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	141,24	265,04	1433

Tablo 4.6: Webster Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	50,29	0,99	23,43	39,78	2776
2	0-3600	52,68	1,01	22,73	41,92	2783
3	0-3600	65,96	1,25	19,52	52,29	2754
4	0-3600	71,52	1,45	18,35	58,76	2836
5	0-3600	70,66	1,34	18,61	59,73	2944
ORTALAMA	0-3600	62,22	1,21	20,53	50,5	2819
STANDART SAPMA	0-3600	10,06	0,2	2,38	9,29	76
MİNİMUM	0-3600	50,29	0,99	18,35	39,78	2754
MAKSİMUM	0-3600	71,52	1,45	23,43	59,73	2944

4.1.2. Genetik Algoritma Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.7: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,07	83,79	410
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,93	51,91	347
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,02	77,87	482
2	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,87	61,61	339
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,03	76,51	398
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,13	91,39	467
3	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	9,56	66,25	355
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,13	76,93	385
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,46	88,21	486
4	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	9,66	48,71	369
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,54	69,57	424
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,17	66,61	527
5	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,98	55,18	401
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,17	64,64	484
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,44	70,92	466
ORTALAMA	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,43	63,11	375
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,76	67,91	408
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,64	79	486
STANDART SAPMA	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,66	13,32	30
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,27	10,31	51
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	0,43	10,7	25
MİNİMUM	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,87	48,71	339
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,93	51,91	347
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,13	66,61	466
MAKSİMUM	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,07	83,79	410
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,17	76,93	484
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,17	91,39	527

Tablo 4.8: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	18,49	0,76	39,02	8,12	1569
2	0-3600	17,62	0,74	39,7	7,7	1557
3	0-3600	17,52	0,72	39,81	7,89	1605
4	0-3600	17,81	0,72	39,52	8,52	1695
5	0-3600	18,13	0,75	39,29	8,76	1716
ORTALAMA	0-3600	17,91	0,74	39,47	8,2	1628
STANDART SAPMA	0-3600	0,39	0,02	0,32	0,44	73
MİNİMUM	0-3600	17,52	0,72	39,02	7,7	1557
MAKSİMUM	0-3600	18,49	0,76	39,81	8,76	1716

Senaryo 2

Tablo 4.9: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	34,96	163,95	822
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	25,32	100,46	607
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	23,38	112,9	579
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	38,56	145,81	855
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	23,8	104,3	575
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,2	138,52	649
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	34	143,35	793
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,25	124,62	645
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,02	133,11	634
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	25,74	106,69	677
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,9	126,59	668
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,13	104,37	670
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	44,71	190,96	976
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	38,81	141	816
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,8	153,32	665
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,59	150,16	825
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,42	119,4	662
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,11	128,44	639
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	6,93	30,86	108
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	5,92	16,83	93
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	2,18	19,77	37
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	25,74	106,69	677
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	23,8	100,46	575
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	23,38	104,37	579
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	44,71	190,96	976
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	38,81	141	816
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,8	153,32	670

Tablo 4.10: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	27,86	0,87	32,62	18,45	2342
2	0-3600	29,81	0,91	31,52	19,77	2336
3	0-3600	28,54	0,88	32,21	19,13	2361
4	0-3600	26,93	0,81	33,13	18,61	2433
5	0-3600	33,53	1,02	29,64	23,81	2486
ORTALAMA	0-3600	29,33	0,9	31,82	19,95	2392
STANDART SAPMA	0-3600	2,57	0,08	1,36	2,22	65
MİNİMUM	0-3600	26,93	0,81	29,64	18,45	2336
MAKSİMUM	0-3600	33,53	1,02	33,13	23,81	2486

Senaryo 3

Tablo 4.11: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	77,6	257,3	1068
1	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	62,63	209,19	872
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,46	171,95	698
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	106,61	257,29	1355
2	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	62,43	183,15	843
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,4	145,3	701
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	71,03	201	1010
3	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	68,52	202,38	918
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,55	155,01	700
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	59,4	190,92	929
4	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	72,16	247,05	1001
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	71,19	174,57	884
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	134,99	265,08	1596
5	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	181,13	264,64	1856
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	58,87	184,12	771
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	89,92	234,32	1192
ORTALAMA	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	89,37	221,28	1098
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,69	166,19	751
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,62	35,34	277
STANDART SAPMA	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,46	33,55	428
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,78	15,7	81
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	59,4	190,92	929
MİNİMUM	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	62,43	183,15	843
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,46	145,3	698
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	134,99	265,08	1596
MAKSİMUM	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	181,13	264,64	1856
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	71,19	184,12	884

Tablo 4.12: G.A. Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	48,69	1,01	23,92	38,52	2779
2	0-3600	55,49	1,15	21,95	44,13	2779
3	0-3600	48,46	1	24,02	38,65	2813
4	0-3600	49,72	1,03	23,53	41,21	2892
5	0-3600	91,63	2	15,32	76,3	2877
ORTALAMA	0-3600	58,8	1,24	21,75	47,76	2828
STANDART SAPMA	0-3600	18,57	0,43	3,69	16,12	54
MİNİMUM	0-3600	48,46	1	15,32	38,52	2779
MAKSİMUM	0-3600	91,63	2	24,02	76,3	2892

4.1.3. Sidra Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.13: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,05	90,13	400
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	9,07	63,34	376
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,22	83,71	520
2	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,45	55,15	346
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,05	72,94	417
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,95	93,53	527
3	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	9,45	66,68	391
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,93	79,68	416
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	14,17	113,06	554
4	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,07	54,58	395
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,06	62,11	395
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	15,11	72,53	615
5	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,85	63	420
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,78	64,34	514
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	15,62	88,86	597
ORTALAMA	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	9,97	65,91	390
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,18	68,48	424
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	14,21	90,34	563
STANDART SAPMA	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,06	14,49	27
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,82	7,57	53
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,16	14,92	42
MİNİMUM	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	8,45	54,58	346
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	9,07	62,11	376
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	12,95	72,53	520
MAKSİMUM	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	11,05	90,13	420
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	13,78	79,68	514
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	15,62	113,06	615

Tablo 4.14: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	18,11	0,79	39,31	7,95	1566
2	0-3600	18,26	0,78	39,2	7,97	1558
3	0-3600	18,65	0,82	38,9	8,4	1609
4	0-3600	18,26	0,78	39,14	8,74	1695
5	0-3600	19,82	0,85	37,95	9,58	1714
ORTALAMA	0-3600	18,62	0,8	38,9	8,53	1628
STANDART SAPMA	0-3600	0,7	0,03	0,55	0,67	72
MİNİMUM	0-3600	18,11	0,78	37,95	7,95	1558
MAKSİMUM	0-3600	19,82	0,85	39,31	9,58	1714

Senaryo 2

Tablo 4.15: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	25,75	133,72	720
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,04	123,65	719
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,76	132,52	694
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,77	163,16	744
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,24	131,5	667
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,32	124,02	716
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,14	124,74	839
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,86	138,38	751
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,9	114,94	752
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,3	121,16	748
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	43,63	163,17	878
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,24	149,61	1059
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	41,8	198,97	1014
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	41,64	135,92	889
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,22	130,81	803
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,15	148,35	813
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,68	138,52	781
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,69	130,38	805
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	6,4	32,76	121
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	7,1	14,87	99
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,66	12,78	148
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	25,75	121,16	720
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,24	123,65	667
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,76	114,94	694
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	41,8	198,97	1014
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	43,63	163,17	889
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,24	149,61	1059

Tablo 4.16: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	28,24	0,92	32,37	18,7	2337
2	0-3600	28,66	0,91	32,14	19	2337
3	0-3600	31,34	1,02	30,76	21,01	2364
4	0-3600	36,53	1,18	28,37	25,24	2437
5	0-3600	35,28	1,13	28,86	25,05	2489
ORTALAMA	0-3600	32,01	1,03	30,5	21,8	2393
STANDART SAPMA	0-3600	3,77	0,12	1,84	3,18	68
MİNİMUM	0-3600	28,24	0,91	28,37	18,7	2337
MAKSİMUM	0-3600	36,53	1,18	32,37	25,24	2489

Senaryo 3

Tablo 4.17: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	105,42	258,42	1573
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	64,68	192,53	1043
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	64,9	220,43	956
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	85,95	257,24	1363
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	61,42	184,54	966
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	44,91	145,41	746
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	154,46	265,1	2108
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	71,86	212,53	1079
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,09	160,6	801
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	68,25	200,53	1165
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	83,11	240,27	1283
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	123,97	262,82	1621
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	144,97	265,06	1956
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	154,28	264,71	2055
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	75,25	176,15	1024
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	111,81	249,27	1633
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	87,07	218,92	1285
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	72,02	193,08	1030
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,17	27,49	395
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	38,48	33,43	446
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,35	48,03	349
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	68,25	200,53	1165
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	61,42	184,54	966
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	44,91	145,41	746
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	154,46	265,1	2108
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	154,28	264,71	2055
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	123,97	262,82	1621

Tablo 4.18: Sidra Yaklaşımı Analiz Yöntemi PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	59,85	1,44	20,88	47,35	2752
2	0-3600	48,73	1,17	23,94	38,78	2800
3	0-3600	69,25	1,77	18,88	54,82	2753
4	0-3600	69,47	1,68	18,66	56,95	2806
5	0-3600	90,16	2,21	15,47	73,88	2816
ORTALAMA	0-3600	67,49	1,66	19,57	54,36	2785
STANDART SAPMA	0-3600	15,26	0,39	3,12	13,04	31
MİNİMUM	0-3600	48,73	1,17	15,47	38,78	2752
MAKSİMUM	0-3600	90,16	2,21	23,94	73,88	2816

4.1.4. Sabit Devre Süreli Yaklaşımının PTV Vissim Programında Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.19: Sabit Devre Süresi Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 1 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,99	144,18	359
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,45	122,41	320
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	34,99	156,93	457
2	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,68	113,76	341
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,14	117,95	353
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	34,41	144,43	456
3	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,55	118,24	341
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,41	142,81	356
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,5	128,47	453
4	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,94	107,05	365
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,65	117,8	351
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,37	152,46	489
5	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,62	129,76	382
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,95	135,89	411
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	36,09	153,44	472
ORTALAMA	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,36	122,6	358
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	29,92	127,37	358
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,07	147,15	465
STANDART SAPMA	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	2,09	14,63	17
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,56	11,36	33
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	1,83	11,4	15
MİNİMUM	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	28,55	107,05	341
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	27,65	117,8	320
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,5	128,47	453
MAKSİMUM	KUZZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	32,99	144,18	382
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31,95	142,81	411
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	37,37	156,93	489

Tablo 4.20: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 1 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	44,83	0,74	25,32	19,69	1566
2	0-3600	45,93	0,75	24,93	20,05	1550
3	0-3600	43,2	0,73	25,85	19,45	1595
4	0-3600	43,91	0,73	25,53	21,01	1686
5	0-3600	44,13	0,75	25,48	21,33	1702
ORTALAMA	0-3600	44,4	0,74	25,42	20,31	1620
STANDART SAPMA	0-3600	1,03	0,01	0,33	0,82	70
MİNİMUM	0-3600	43,2	0,73	24,93	19,45	1550
MAKSİMUM	0-3600	45,93	0,75	25,85	21,33	1702

Senaryo 2

Tablo 4.21: Sabit Devre Süresi Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 2 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	57,91	219,16	744
1	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,52	176,49	567
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	52	157,64	599
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,12	182,42	722
2	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	49,05	154,31	569
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,64	163,87	589
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	64,75	257,24	803
3	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	47,74	155,1	570
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,79	171,1	580
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	54,98	183,92	690
4	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,64	138,12	598
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	60,87	169,33	684
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	63,92	235,55	794
5	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	57,72	175,4	683
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,14	185,78	640
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	59,54	215,66	751
ORTALAMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	51,13	159,88	597
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	54,29	169,54	618
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	4,51	32,59	48
STANDART SAPMA	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	3,87	16,16	50
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	4,22	10,49	43
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	54,98	182,42	690
MİNİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	47,74	138,12	567
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,79	157,64	580
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	64,75	257,24	803
MAKSİMUM	BATİ YAKLAŞIM KOLU	0-3600	57,72	176,49	683
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	60,87	185,78	684

Tablo 4.22: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 2 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	49,16	0,84	23,83	32,55	2330
2	0-3600	48,95	0,83	23,83	32,46	2323
3	0-3600	51,32	0,88	23,15	34,4	2347
4	0-3600	50,5	0,82	23,39	34,89	2423
5	0-3600	50,92	0,92	23,25	36,15	2484
ORTALAMA	0-3600	50,17	0,86	23,49	34,09	2381
STANDART SAPMA	0-3600	1,06	0,04	0,32	1,58	70
MİNİMUM	0-3600	48,95	0,82	23,15	32,46	2323
MAKSİMUM	0-3600	51,32	0,92	23,83	36,15	2484

Senaryo 3

Tablo 4.23: Sabit Devre Süresi Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 3 Kuyruk Ölçüm Çizelgesi.

SİM. ÇALIŞMASI	KUYRUK SAYACI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	KUYRUK UZUNLUK (M)	MAX. KUYRUK UZUNLUK (M)	KUYRUK DURMA (SN)
1	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	116,54	265,06	1267
1	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	89,09	256,75	984
1	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	68,47	190,51	725
2	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	112,49	259,97	1320
2	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	72,27	206,5	825
2	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	65,09	187,27	688
3	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	130,49	261,72	1337
3	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	77,66	245,55	859
3	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	66,39	168,01	714
4	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	76,08	228,79	930
4	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	82,05	262,53	919
4	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	89,98	200,12	924
5	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	108,2	262,85	1206
5	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	166,34	264,61	1530
5	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	71,45	194,92	743
ORTALAMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	108,76	255,68	1212
ORTALAMA	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	97,48	247,19	1023
ORTALAMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	72,28	188,17	759
STANDART SAPMA	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	20,09	15,15	166
STANDART SAPMA	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	38,98	23,92	290
STANDART SAPMA	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	10,19	12,26	94
MİNİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	76,08	228,79	930
MİNİMUM	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	72,27	206,5	825
MİNİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	65,09	168,01	688
MAKSİMUM	KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	130,49	265,06	1337
MAKSİMUM	BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	166,34	264,61	1530
MAKSİMUM	DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	89,98	200,12	924

Tablo 4.24: Sabit Devre Süreli Yaklaşımı PTV Vissim ile Senaryo 3 Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	71,74	1,24	18,4	56,71	2747
2	0-3600	66,52	1,19	19,39	52,07	2718
3	0-3600	73,51	1,24	18,05	58,12	2741
4	0-3600	61,85	1,03	20,4	51,26	2885
5	0-3600	87,47	1,6	15,85	72,94	2876
ORTALAMA	0-3600	72,22	1,26	18,42	58,22	2793
STANDART SAPMA	0-3600	9,68	0,21	1,7	8,74	80
MİNİMUM	0-3600	61,85	1,03	15,85	51,26	2718
MAKSİMUM	0-3600	87,47	1,6	20,4	72,94	2885

4.1.5. Analiz Sonuçlarının PTV Vissim Simülasyon Programında Karşılaştırmalı Genel Değerlendirilmesi:

PTV Vissim simülasyon programında her senaryo için değişen trafik hacmine göre dört farklı analiz yöntemi ile matlab programında hesaplanan sinyalizasyon değerleri, programın kendi dinamikleri ile beraber gerçek hayata uyarlanmıştır.

Simülasyon programı saatlik trafik akışına uygun olabilmesi için 0-3600 saniye aralığında çalıştırılmıştır. Programda kavşaktaki yaklaşım kollarındaki şeritler birbirine özdeş ve 3.30

metre genişliğinde ayarlanmıştır. Her bir yaklaşım kolu (Kuzey, Batı ve Doğu) 250 metre uzunluğunda bağlantı noktasına sahiptir.

Her yaklaşım kolu çift şeritli olup, maksimum şerit doygunluğu 1800 taşıt/saat olarak hesap edilmiştir.

Taşıt sürücülerinin davranış biçimleri stokastik olarak seçilmiştir. Taşıt ağırlıklı ortalaması %80 küçük taşıtlar (otomobil, kamyonet, v.b.), %20 ağır taşıtlar (otobüs, tır, v.b.) seçilmiştir. Kavşaktaki trafik akışının taşıt ağı performans değerleri ölçülürken, trafiğin yayalara kapalı olduğu varsayımı yapılmış olup, yaya bazlı değişken dinamikler, hesaplamalara dahil edilmemiştir.

PTV Vissim simülasyon programında performans ölçüm kriterleri olarak; kavşaktaki her yaklaşım kolu için kuyruk mesafe ölçümü yapılmıştır. Bir diğer performans ölçüm kriteri de duraklayan araçların kavşakta bekleme süreleridir.

Temel olarak kavşaktaki etkinlik değerini en iyi ölçen performans kriteri, kavşaktaki araçların ortalama gecikme süresidir. Bu süreyi hesaplayabilmek için kullanılan analiz ve optimizasyon yöntemleri ile teorik olarak hesaplanan süreler, PTV Vissim simülasyon programında hesaplanan ortalama gecikme süreleri ile yakınlığı değerlendirilmiştir.

Her analiz yöntemi için Matlab (teorik) hesaplamalı sinyal faz ve devre süreleri ve PTV Vissim (uygulamalı) değerleri senaryo bazlı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.25: Analiz Yöntemlerinin Teorik ve Uygulamalı Taşıt Gecikme Sürelerinin PTV Vissim Programında Karşılaştırılması.**Senaryo 1**

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	16,6	15,76	16,65	45,91
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	18,71	17,91	18,62	44,4
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,11	2,15	1,97	1,51

Senaryo 2

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	30,02	28,62	29,18	51,15
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	30,89	29,33	32,01	50,17
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	0,87	0,71	2,83	0,98

Senaryo 3

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	56,59	55,33	66,12	61,71
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	62,22	58,8	67,49	72,22
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	5,63	3,47	1,37	10,51

Senaryo 4

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	40,32	39,11	43,07	52,68
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	42,48	40,04	43,18	52,59
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,16	0,93	0,11	0,09

Senaryo 5

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	57,3	55,61	66,01	62,26
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	63,57	61,45	69,94	74,08
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	6,27	5,84	3,93	11,82

Senaryo 6

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	34,31	33,4	40,56	52,85
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	35,16	35,13	41,83	50,81
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	0,85	1,73	1,27	2,04

Senaryo 7

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	17,67	16,76	19,67	46,89
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	19,84	19,65	20,7	46,24
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,17	2,89	1,03	0,65

Senaryo 8

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	39,07	38,03	45,99	54,91
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	40,82	39,15	51,99	55,18
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	1,75	1,12	6	0,27

Senaryo 9

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	29,22	28,11	30,97	49,5
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	30,76	28,29	39,84	49,53
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	1,54	0,18	8,87	0,03

Senaryo 10

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	28,7	27,54	30,68	47,9
PTV Vissim Ort. Gecikme Süresi (sn)	30,03	28,95	39,16	47,78
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	1,33	1,41	8,48	0,12

PTV Vissim simülasyon programında her senaryo özdeş olarak rastgele başlangıç noktası seçilen 5 farklı değer için simülasyon programında çalıştırılıp trafik yoğunluğunu ölçen değerler çıktı olarak alınmıştır.

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, genetik algoritma analiz yönteminin trafik hacminin değiştiği senaryo bazlı kavşaktaki trafik yoğunluğunun incelenmesinde, ortalama taşıt gecikme süresini minimize eden en iyi devre ve faz sürelerini hesapladığını, hem teorik hem de uygulamalı yöntemlerle ispat etmiş bulunmaktayız.

Sabit devre süreli yaklaşımın kavşaktaki gecikmeyi etkin bir şekilde düzenleyemediğini ve trafik yoğunluğunun her senaryoda, diğer analiz yaklaşımlarına göre daha fazla olduğu yapılan değerlendirmelerde görülmektedir.

Tablo 4.26: PTV Vissim Simülasyon Programında Genetik Algoritma Analizi İncelemesi.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Genetik Algoritma Analizi			
		Ort.Gecikme Süresi (Saniye)	Ort.Hız (Km/Saat)	Top.Gecikme Süresi (Saat)	Top. Seyahat Süresi (Saat)
Senaryo 1	1700	17,91	39,47	8,20	22,10
Senaryo 2	2500	29,33	31,82	19,95	40,48
Senaryo 3	3000	58,80	21,75	47,76	72,05
Senaryo 4	2800	40,04	26,94	30,32	53,20
Senaryo 5	3000	61,45	21,21	49,45	73,47
Senaryo 6	2650	35,13	29,01	25,21	46,97
Senaryo 7	1800	19,65	38,08	9,56	24,31
Senaryo 8	2750	39,15	27,55	29,33	51,87
Senaryo 9	2500	28,29	32,46	19,18	39,73
Senaryo 10	2500	28,95	32,09	19,69	40,25

Tablo 4.27: PTV Vissim Simülasyon Programında Sabit Devre Süreli Yaklaşım İncelemesi.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Sabit Devre Süreli Yaklaşım			
		Ort.Gecikme Süresi (Saniye)	Ort.Hız (Km/Saat)	Top.Gecikme Süresi (Saat)	Top. Seyahat Süresi (Saat)
Senaryo 1	1700	44,40	25,42	20,31	34,16
Senaryo 2	2500	50,17	23,49	34,09	54,56
Senaryo 3	3000	72,22	18,42	58,22	82,25
Senaryo 4	2800	52,59	22,76	39,82	62,60
Senaryo 5	3000	74,08	18,21	59,86	83,90
Senaryo 6	2650	50,81	23,34	36,47	58,15
Senaryo 7	1800	46,24	24,79	22,49	37,20
Senaryo 8	2750	55,18	0,93	22,13	41,28
Senaryo 9	2500	49,53	23,73	33,52	53,96
Senaryo 10	2500	47,78	24,28	32,47	53,02

Tablo 4.28: PTV Vissim Simülasyon Programında Webster Analizi İncelemesi.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Webster Analizi			
		Ort.Gecikme Süresi (Saniye)	Ort.Hız (Km/Saat)	Top.Gecikme Süresi (Saat)	Top. Seyahat Süresi (Saat)
Senaryo 1	1700	18,71	38,82	8,57	22,46
Senaryo 2	2500	30,89	30,99	21,00	41,54
Senaryo 3	3000	62,22	20,53	50,50	74,73
Senaryo 4	2800	42,48	26,09	32,21	55,12
Senaryo 5	3000	63,57	20,27	51,55	75,77
Senaryo 6	2650	35,16	29,00	25,26	47,00
Senaryo 7	1800	19,84	37,94	9,66	24,41
Senaryo 8	2750	40,82	26,69	30,57	53,20
Senaryo 9	2500	30,76	31,11	20,81	41,35
Senaryo 10	2500	30,03	31,50	20,44	41,06

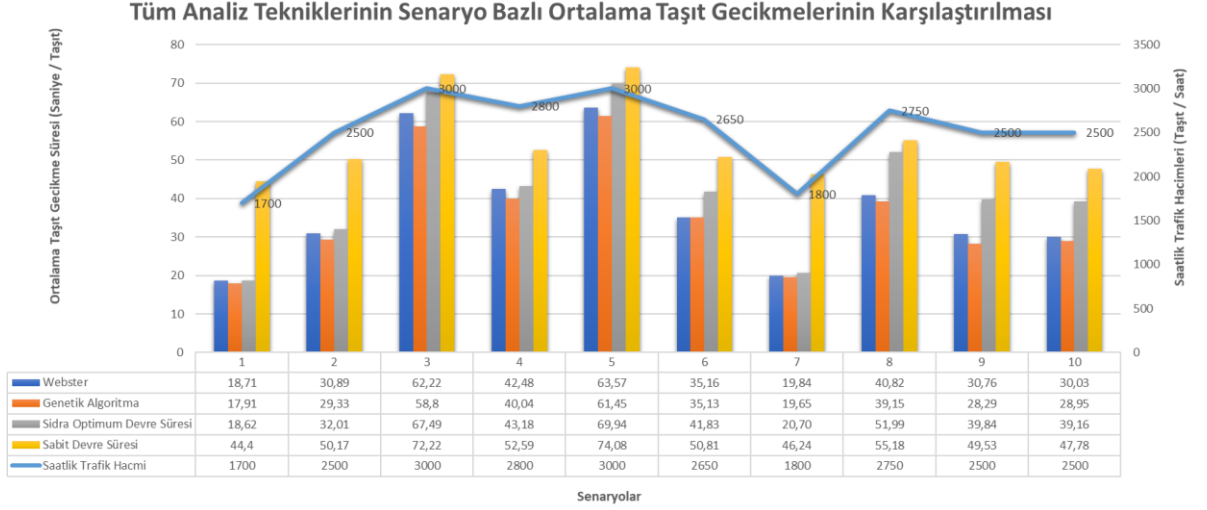
Tablo 4.29: PTV Vissim Simülasyon Programında Sidra Yaklaşım Analizi İncelemesi.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Sidra Yaklaşım Analizi			
		Ort.Gecikme Süresi (Saniye)	Ort.Hız (Km/Saat)	Top.Gecikme Süresi (Saat)	Top. Seyahat Süresi (Saat)
Senaryo 1	1700	18,62	38,90	8,53	22,42
Senaryo 2	2500	32,01	30,50	21,80	42,32
Senaryo 3	3000	67,49	19,57	54,36	78,33
Senaryo 4	2800	43,18	25,90	32,70	55,56
Senaryo 5	3000	69,94	19,40	55,92	79,68
Senaryo 6	2650	41,83	27,07	30,05	51,63
Senaryo 7	1800	20,70	37,30	10,07	24,82
Senaryo 8	2750	51,99	23,32	38,75	61,11
Senaryo 9	2500	39,84	27,89	26,88	47,20
Senaryo 10	2500	39,16	28,12	26,48	46,86

Kavşakta sinyalizasyon sisteminde, sabit devre süreli sinyalizasyondan genetik algoritma tabanlı sinyalizasyon sistemine geçiş yapıldığında, her bir senaryo için karşılaştırma yapacak olursak;

Tablo 4.30: Genetik Algoritma İle Sabit Devre Süreli Yaklaşımın Senaryo Bazlı Karşılaştırılması.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Genetik Algoritma Analizi				Sabit Devre Süreli Yaklaşım				Değişim Yüzdesi			
		Ort.Gecikme Süresi (Saniye)	Ort.Hız (Km/Saat)	Top.Gecikme Süresi (Saat)	Top. Seyahat Süresi (Saat)	Ort.Gecikme Süresi (Saniye)	Ort.Hız (Km/Saat)	Top.Gecikme Süresi (Saat)	Top. Seyahat Süresi (Saat)	Ort.Gecikme Süresi	Ort.Hız	Top.Gecikme Süresi	Top. Seyahat Süresi
Senaryo 1	1700	17,91	39,47	8,2	22,10	44,4	25,42	20,31	34,16	-147,91%	35,60%	-147,68%	-54,59%
Senaryo 2	2500	29,33	31,82	19,95	40,48	50,17	23,49	34,09	54,56	-71,05%	26,18%	-70,88%	-34,80%
Senaryo 3	3000	58,8	21,75	47,76	72,05	72,22	18,42	58,22	82,25	-22,82%	15,31%	-21,90%	-14,17%
Senaryo 4	2800	40,04	26,94	30,32	53,20	52,59	22,76	39,82	62,60	-31,34%	15,52%	-31,33%	-17,68%
Senaryo 5	3000	61,45	21,21	49,45	73,47	74,08	18,21	59,86	83,90	-20,55%	14,14%	-21,05%	-14,19%
Senaryo 6	2650	35,13	29,01	25,21	46,97	50,81	23,34	36,47	58,15	-44,63%	19,54%	-44,66%	-23,82%
Senaryo 7	1800	19,65	38,08	9,56	24,31	46,24	24,79	22,49	37,20	-135,32%	34,90%	-135,25%	-52,97%
Senaryo 8	2750	39,15	27,55	29,33	51,87	55,18	22,13	41,28	63,82	-40,95%	19,67%	-40,75%	-23,03%
Senaryo 9	2500	28,29	32,46	19,18	39,73	49,53	23,73	33,52	53,96	-75,08%	26,89%	-74,77%	-35,82%
Senaryo 10	2500	28,95	32,09	19,69	40,25	47,78	24,28	32,47	53,02	-65,04%	24,34%	-64,91%	-31,73%



Şekil 4.1: Analizlerin PTV Vissim Simülasyon Programında Değerlendirilmesi.

Kavşaktaki trafik hacminin özellikle daha az olduğu senaryolarda, etkin bir sinyalizasyon analizi yapılmadığında, taşıt başına ortalama gecikme süresi, toplam taşıt seyahat süresi ve toplam kavşak üzerindeki gecikme sürelerinin de ciddi oranlarda arttığını gözlemleyebiliriz. Yalnızca trafik hacmi çok yoğun olan alanlara, sinyalizasyon iyileştirilmesi yapılmasının doğru olmadığını, kavşaklarda ki etkinliğin artırılabilmesi için, trafik hacminin düşük olduğu alanlarda da, yapılacak sinyalizasyon çalışmasının önemli olduğunu, yukarıdaki tabloda da yorumlayabiliriz.

Hem teorik olarak Matlab programında hem de pratik olarak PTV Vissim simülasyon programında, faz süreleri ile devre süresini iyileştiren Webster optimizasyon tabanlı modellemenin çözümlemesini yapmış olan, meta – sezgisel yöntemlerden genetik algoritma analizi, modellemesini yaptığımız denetimli eş düzey kavşak üzerinde, dinamik trafik hacminin değiştiği her bir senaryo için, inceleme yaptığımız analiz metotları arasındaki, uygulanabilecek en iyi yöntemdir.

4.2. SIDRA INTERSECTION SİMÜLASYON PROGRAMINDA ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.2.1. Webster Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.31: Webster Analizi Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	24,1	0,85	0,64	31,2	3,52	8,70	526
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	20,9	0,82	0,64	34,3	3,05	7,91	526
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	17,3	0,79	0,62	36,8	3,54	10,32	736
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	20,3	0,82	0,64	34,2	10,09	26,99	1789

Yakıt Tüketimi (Toplam)	212,2	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	515,3	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,043	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,478	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	2,624	kg/h
Toplam Maliyet	1129,66	\$/h

Senaryo 2**Tablo 4.32:** Webster Analizi Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	34,1	0,92	0,8	26,7	9,96	20,33	1052
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	33,7	0,89	0,79	27,7	7,40	14,72	790
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	33,7	0,89	0,79	27,8	7,40	14,66	790
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	33,9	0,9	0,8	27,3	24,78	49,75	2632

Yakıt Tüketimi (Toplam)	332,3	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	806,6	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,074	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,778	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	4,039	kg/h
Toplam Maliyet	2047,70	\$/h

Senaryo 3

Tablo 4.33: Webster Analizi Senaryo 3 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	58,6	0,94	0,88	19,7	23,31	37,51	1432
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,6	0,92	0,87	20,7	16,54	26,22	1052
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	61,4	0,92	0,86	19,6	14,36	22,17	842
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	58,7	0,93	0,88	20	51,49	81,48	3158

Yakıt Tüketimi (Toplam)	433,2	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	1050,9	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,109	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	1,08	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	5,083	kg/h
Toplam Maliyet	3260,10	\$/h

Tablo 4.34: Webster Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SENARYOLAR	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	20,3	0,82	0,64	34,2	10,09	26,99	1789
2	0-3600	33,9	0,9	0,8	27,3	24,78	49,75	2632
3	0-3600	58,7	0,93	0,88	20	51,49	81,48	3158
4	0-3600	43,6	0,92	0,85	23,8	35,69	63,89	2947
5	0-3600	58,8	0,93	0,87	20	51,58	81,48	3158
6	0-3600	37,9	0,91	0,84	25,8	29,36	55,78	2789
7	0-3600	21,5	0,83	0,65	33,5	11,32	29,19	1895
8	0-3600	42	0,92	0,84	24,5	33,78	60,97	2895
9	0-3600	32,1	0,89	0,8	28,3	23,47	47,99	2632
10	0-3600	31,2	0,88	0,8	28,6	22,81	47,49	2632

SENARYOLAR	Yakıt Tüketimi (Lt/h)	CO ₂ Gazı Emisyonu (kg/h)	HxCy Gazı Emisyonu (kg/h)	CO Gazı Emisyonu (kg/h)	NO _x Gazı Emisyonu (kg/h)	Toplam Maliyet (\$/h)
1	212,2	515,3	0,043	0,478	2,624	1129,66
2	332,3	806,6	0,074	0,778	4,039	2047,70
3	433,2	1050,9	0,109	1,08	5,083	3260,10
4	385,5	935,4	0,09	0,927	4,619	2590,81
5	433,1	1050,7	0,109	1,08	5,083	3260,44
6	356,9	866,2	0,081	0,845	4,313	2284,20
7	226,7	550,5	0,047	0,512	2,802	1223,44
8	375,6	911,5	0,087	0,9	4,512	2494,41
9	328,7	797,9	0,072	0,766	4,005	1992,16
10	326,1	791,8	0,071	0,759	3,973	1963,48

4.2.2. Genetik Algoritma Analiz Yönteminin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.35: G.A. Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	22,5	0,88	0,68	32	3,29	8,48	526
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	19,2	0,86	0,68	35,4	2,81	7,67	526
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	16,5	0,83	0,67	37,4	3,37	10,15	736
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	19,1	0,86	0,68	35,1	9,49	26,30	1789

Yakıt Tüketimi (Toplam)	213,2 L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	517,8 kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,043 kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,478 kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	2,651 kg/h
Toplam Maliyet	1115,99 \$/h

Senaryo 2

Tablo 4.36: G.A. Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	35,4	0,98	0,85	26,2	10,34	20,72	1052
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,3	0,91	0,8	29,2	6,65	13,96	790
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,3	0,91	0,8	29,2	6,65	13,96	790
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	32,4	0,94	0,85	27,9	23,69	48,68	2632

Yakıt Tüketimi (Toplam)	332,9 L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	808 kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,074 kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,776 kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	4,061 kg/h
Toplam Maliyet	2028,51 \$/h

Senaryo 3

Tablo 4.37: G.A. Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,5	0,97	0,9	20,2	19,84	32,29	1264
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	53,8	0,96	0,9	21,4	15,72	25,37	1052
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	54,5	0,93	0,87	21,2	12,75	20,49	842
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	55,1	0,96	0,9	20,8	48,33	78,34	3158

Yakıt Tüketimi (Toplam)	431,7 L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	1047,3 kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,107 kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	1,067 kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	5,098 kg/h
Toplam Maliyet	3180,31 \$/h

Tablo 4.38: G.A. Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SENARYOLAR	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	19,1	0,86	0,68	35,1	9,49	26,30	1789
2	0-3600	32,4	0,94	0,85	27,9	23,69	48,68	2632
3	0-3600	55,1	0,96	0,9	20,8	48,33	78,34	3158
4	0-3600	41,8	0,95	0,87	24,4	34,22	62,32	2947
5	0-3600	54,6	0,96	0,89	21	47,90	77,60	3158
6	0-3600	36,2	0,95	0,87	26,5	28,04	54,31	2789
7	0-3600	20,4	0,87	0,69	34,1	10,74	28,68	1895
8	0-3600	39,5	0,95	0,87	25,3	31,76	59,04	2895
9	0-3600	30,4	0,94	0,84	29	22,23	46,83	2632
10	0-3600	29,7	0,92	0,83	29,3	21,71	46,35	2632

SENARYOLAR	Yakıt Tüketimi (Lt/h)	CO ₂ Gazı Emisyonu (kg/h)	HxCy Gazı Emisyonu (kg/h)	CO Gazı Emisyonu (kg/h)	NO _x Gazı Emisyonu (kg/h)	Toplam Maliyet (\$/h)
1	213,2	517,8	0,043	0,478	2,651	1115,99
2	332,9	808	0,074	0,776	4,061	2028,51
3	431,7	1047,3	0,107	1,067	5,098	3180,31
4	386	936,6	0,09	0,924	4,639	2571,99
5	431	1045,6	0,107	1,063	5,097	3159,55
6	358,2	869,3	0,081	0,844	4,35	2261,35
7	227,3	552,1	0,046	0,512	2,822	1209,82
8	376,3	913,1	0,086	0,893	4,552	2443,73
9	330,7	802,7	0,072	0,766	4,055	1969,73
10	328,1	796,6	0,071	0,759	4,02	1945,62

4.2.3. Sidra Optimum Devre Süresi Analizinin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.39: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GEÇİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GEÇİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZey YAKLAŞIM KOLU	0-3600	21,4	0,91	0,71	32,7	3,13	8,30	526
BATı YAKLAŞIM KOLU	0-3600	18,1	0,88	0,71	36,2	2,64	7,50	526
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	17	0,9	0,75	37	3,48	10,28	737
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	18,6	0,9	0,75	35,4	9,24	26,08	1789

Yakıt Tüketimi (Toplam)	214,7	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	521,5	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,043	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,48	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	2,681	kg/h
Toplam Maliyet	1115,45	\$/h

Senaryo 2**Tablo 4.40:** Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GEÇİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GEÇİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZey YAKLAŞIM KOLU	0-3600	30,4	0,96	0,83	28,2	8,89	19,27	1053
BATı YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31	1	0,86	28,9	6,79	14,09	789
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	31	1	0,86	28,9	6,79	14,09	789
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	30,8	0,98	0,86	28,6	22,52	47,49	2632

Yakıt Tüketimi (Toplam)	333,7	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	810	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,073	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,773	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	4,094	kg/h
Toplam Maliyet	1996,59	\$/h

Senaryo 3

Tablo 4.41: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Senaryo 3 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZEY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	49,4	1,01	0,91	21,9	17,33	29,76	1263
BATI YAKLAŞIM KOLU	0-3600	50,5	1,05	0,94	22,2	14,77	24,48	1053
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	53,2	1,05	0,94	21,5	12,44	20,21	842
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	50,8	1,03	0,94	21,9	44,56	74,41	3158

Yakıt Tüketimi (Toplam)	432,1	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	1048,2	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,105	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	1,055	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	5,155	kg/h
Toplam Maliyet	3090,39	\$/h

Tablo 4.42: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SENARYOLAR	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	18,6	0,9	0,75	35,4	9,24	26,08	1789
2	0-3600	30,8	0,98	0,86	28,6	22,52	47,49	2632
3	0-3600	50,8	1,03	0,94	21,9	44,56	74,41	3158
4	0-3600	40,1	1	0,91	24,9	32,83	61,07	2947
5	0-3600	50,7	1,03	0,94	21,9	44,48	74,41	3158
6	0-3600	34,4	1,03	0,91	27,2	26,65	52,91	2789
7	0-3600	19,7	0,98	0,8	34,6	10,37	28,26	1895
8	0-3600	37,8	1,04	0,91	25,9	30,40	57,68	2895
9	0-3600	29,1	1	0,87	29,6	21,28	45,88	2632
10	0-3600	28,6	1	0,87	29,8	20,91	45,57	2632

SENARYOLAR	Yakıt Tüketimi (Lt/h)	CO ₂ Gazı Emisyonu (kg/h)	HxCy Gazı Emisyonu (kg/h)	CO Gazı Emisyonu (kg/h)	NO _x Gazı Emisyonu (kg/h)	Toplam Maliyet (\$/h)
1	214,7	521,5	0,043	0,48	2,681	1115,45
2	333,7	810	0,073	0,773	4,094	1996,59
3	432,1	1048,2	0,105	1,055	5,155	3090,39
4	386,9	939	0,09	0,922	4,672	2548,93
5	432,5	1049,2	0,105	1,055	5,168	3084,30
6	360,7	875,3	0,081	0,844	4,411	2239,23
7	230,9	560,6	0,047	0,517	2,889	1210,03
8	379,3	920,5	0,086	0,895	4,62	2429,88
9	332,9	808	0,072	0,767	4,105	1956,10
10	331,6	804,9	0,072	0,763	4,09	1940,60

4.2.4. Sabit Devre Süreli Analizin Sidra Intersection Simülasyon Programında Senaryo Bazlı Değerlendirilmesi:

Senaryo 1

Tablo 4.43: Sabit Devre Süreli Senaryo 1 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZey YAKLAŞIM KOLU	0-3600	55,5	0,82	0,5	20,4	8,11	13,30	526
BATı YAKLAŞIM KOLU	0-3600	52,3	0,78	0,5	21,7	7,64	12,51	526
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	39,3	0,75	0,48	25,6	8,05	14,86	737
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	47,9	0,78	0,5	22,7	23,80	40,67	1789

Yakıt Tüketimi (Toplam)	227,4	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	551,9	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,054	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,556	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	2,681	kg/h
Toplam Maliyet	1583,16	\$/h

Senaryo 2

Tablo 4.44: Sabit Devre Süreli Senaryo 2 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZey YAKLAŞIM KOLU	0-3600	48,4	0,86	0,71	22,1	14,16	24,59	1053
BATı YAKLAŞIM KOLU	0-3600	55,4	0,84	0,73	21	12,14	19,39	789
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	55,4	0,84	0,73	21	12,14	19,39	789
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	52,6	0,85	0,73	21,4	38,46	63,46	2632

Yakıt Tüketimi (Toplam)	346,7	L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	841,2	kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,084	kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	0,854	kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	4,089	kg/h
Toplam Maliyet	2475,19	\$/h

Senaryo 3

Tablo 4.45: Sabit Devre Süreli Senaryo 3 Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
KUZİY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	56,5	0,92	0,86	20,2	19,82	32,26	1263
BATİY YAKLAŞIM KOLU	0-3600	59,2	0,91	0,87	20,1	17,32	27,03	1053
DOĞU YAKLAŞIM KOLU	0-3600	68,8	0,93	0,89	18,2	16,09	23,87	842
KAVŞAK PERFORMANSI	0-3600	60,7	0,92	0,89	19,6	53,25	83,14	3158

Yakıt Tüketimi (Toplam)	433,8 L/h
CO ₂ Gazı Emisyonu (Toplam)	1052,4 kg/h
HxCy Gazı Emisyonu (Toplam)	0,11 kg/h
CO Gazı Emisyonu (Toplam)	1,086 kg/h
NO _x Gazı Emisyonu (Toplam)	5,079 kg/h
Toplam Maliyet	3289,83 \$/h

Tablo 4.46: Sabit Devre Süreli Yaklaşımın Tüm Senaryolar Sidra Simülasyon Programı Taşıt Ağı Performans Değerlendirmesi.

SENARYOLAR	ZAMAN ARALIĞI (SN)	ORTALAMA GECİKME SÜRESİ (SN)	ORT. DURARAK GEÇEN TAŞIT SAYISI	DOYGUNLUK ORANI (X)	ORT. HIZ (KM/SAAT)	TOPLAM GECİKME SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM SEYAHAT SÜRESİ (SAAT)	TOPLAM TAŞIT SAYISI
1	0-3600	47,9	0,78	0,5	22,7	23,80	40,67	1789
2	0-3600	52,6	0,85	0,73	21,4	38,46	63,46	2632
3	0-3600	60,7	0,92	0,89	19,6	53,25	83,14	3158
4	0-3600	53	0,89	0,86	21,3	43,39	71,39	2947
5	0-3600	61,4	0,92	0,87	19,5	53,86	83,57	3158
6	0-3600	52,9	0,86	0,79	21,4	40,98	67,25	2789
7	0-3600	49,4	0,8	0,52	22,3	26,00	43,85	1895
8	0-3600	54,6	0,87	0,81	21	43,91	71,13	2895
9	0-3600	50,4	0,84	0,77	29,6	36,85	45,88	2632
10	0-3600	48,7	0,83	0,77	22,6	35,61	60,09	2632

SENARYOLAR	Yakıt Tüketimi (Lt/h)	CO ₂ Gazı Emisyonu (kg/h)	HxCy Gazı Emisyonu (kg/h)	CO Gazı Emisyonu (kg/h)	NO _x Gazı Emisyonu (kg/h)	Toplam Maliyet (\$/h)
1	227,4	551,9	0,054	0,556	2,681	1583,16
2	346,7	841,2	0,084	0,854	4,089	2475,19
3	433,8	1052,4	0,11	1,086	5,079	3289,83
4	392,3	951,8	0,096	0,966	4,635	2808,19
5	435	1055,1	0,111	1,091	5,083	3325,39
6	367,4	891,6	0,09	0,906	4,331	2633,04
7	243,5	591	0,059	0,597	2,871	1708,77
8	384,5	933	0,095	0,952	4,524	2796,45
9	341,1	827,9	0,082	0,838	4,024	2413,65
10	337,8	819,8	0,081	0,827	3,988	2363,57

Sidra Intersection simülasyon programında her senaryo için değişen trafik hacmine göre üç farklı analiz yöntemi ile matlab programında hesaplanan sinyalizasyon değerleri ve programın sahip olduğu optimizasyon algoritmaları ile hesaplanan sinyalizasyon değerleri, programın kendi dinamikleri ile beraber gerçek hayata uyarlanmıştır.

Simülasyon programı saatlik trafik akışına uygun olabilmesi için 0-3600 saniye aralığında çalıştırılmıştır.

Programda kavşaktaki yaklaşım kollarındaki şeritler birbirine özdeş ve 3.30 metre genişliğinde ayarlanmıştır.

Her bir yaklaşım kolu (Kuzey, Batı ve Doğu) 250 metre uzunluğunda bağlantı noktasına sahiptir.

Her yaklaşım kolu çift şeritli olup, maksimum şerit doygunluğu 1800 taşıt/saat olarak hesap edilmiştir.

Taşıt sürücülerinin davranış biçimleri, sidra programının kendi yapay zeka modeline göre seçilmiştir. Taşıt ağırlıklı ortalaması %80 küçük taşıtlar (otomobil, kamyonet, v.b.), %20 ağır taşıtlar (otobüs, tır, v.b.) seçilmiştir.

Kavşaktaki trafik akışının taşıt ağı performans değerleri ölçülürken, trafiğin yayalara kapalı olduğu varsayımı yapılmış olup, yaya bazlı değişken dinamikler, hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Sidra Intersection simülasyon programında performans ölçüm kriterleri olarak; kavşaktaki her yaklaşım kolu için kuyruk mesafe ölçümü yapılmıştır. Bir diğer performans ölçüm kriteri de duraklayan araçların kavşakta bekleme süreleridir.

Temel olarak kavşaktaki etkinlik değerini en iyi ölçen performans kriteri, kavşaktaki araçların ortalama gecikme süresidir. Bu süreyi hesaplayabilmek için kullanılan analiz yöntemleri ile teorik olarak hesaplanan süreler, Sidra Intersection simülasyon programında hesaplanan ortalama gecikme süreleri ile tutarlılığı değerlendirilmiştir.

Her senaryo için kavşaklardaki performansı gösteren LoS (Level of Service) değeri ile performans ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda yakıt tüketimi, emisyon gazlarının harcanması ve toplam seyahat süresi ile paralel olarak artan kavşak maliyeti de kavşağın etkinlik derecesini belirleyen parametrelerdendir.

İlave olarak Sidra programının iç algoritması içerisinde yer alan kavşak performans değerlendirme endeksi ile kavşakların verimli kullanılması ile ilgili performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Endeks değeri arttıkça, kavşağın verimliliği azalmaktadır.

Her analiz yöntemi için, Matlab (teorik) hesaplamalı devre ve sinyal faz süreleri ve Sidra Intersection (uygulamalı) değerleri senaryo bazlı olarak birlikte değerlendirilmiştir.



Tablo 4.47: Analiz Yöntemlerinin Teorik ve Uygulamalı Taşıt Gecikme Sürelerinin Sidra Intersection Programında Karşılaştırılması.**Senaryo 1**

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	16,6	15,76	16,65	45,91
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	20,3	19,1	18,6	47,9
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	3,7	3,34	1,95	1,99
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	77,2	72,3	70,2	174,70
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	C	B	B	D

Senaryo 2

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	30,02	28,62	29,18	51,15
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	33,9	32,4	30,8	52,6
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	3,88	3,78	1,62	1,45
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	178,7	167,5	157,8	280,00
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	C	C	C	D

Senaryo 3

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	56,59	55,33	66,12	61,71
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	58,7	55,1	50,8	60,7
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,11	0,23	15,32	1,01
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	360,1	331,2	290	376,40
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	E	E	D	E

Senaryo 4

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	40,32	39,11	43,07	52,68
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	43,6	41,8	40,1	53
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	3,28	2,69	2,97	0,32
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	259,2	242,6	225,1	322,20
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	D	D	D	D

Senaryo 5

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	57,3	55,61	66,01	62,26
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	58,8	54,6	50,7	61,4
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	1,5	1,01	15,31	0,86
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	359,6	327,9	289,5	378,10
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	E	D	D	E

Senaryo 6

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	34,31	33,4	40,56	52,85
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	37,9	36,2	34,4	52,9
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	3,59	2,8	6,16	0,05
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	212,4	198,5	181,7	300,50
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	D	D	C	D

Senaryo 7

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	17,67	16,76	19,67	46,89
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	21,5	20,4	19,7	49,4
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	3,83	3,64	0,03	2,51
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	85,4	80,8	76,2	188,90
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	C	C	B	D

Senaryo 8

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	39,07	38,03	45,99	54,91
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	42	39,5	37,8	54,6
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,93	1,47	8,19	0,31
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	242,2	224,4	204,5	319,40
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	D	D	D	D

Senaryo 9

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	29,22	28,11	30,97	49,5
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	32,1	30,4	29,1	50,4
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,88	2,29	1,87	0,90
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	174,9	162,8	152,2	275,50
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	C	C	C	D

Senaryo 10

ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRESİ (SANİYE/TAŞIT)	MİNİMUM GECİKME SÜRESİ HESABI İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ			
	Webster Analiz Yöntemi	Genetik Algoritma Analiz Yöntemi	Sidra Analiz Yaklaşımı	Sabit Devre Süreli Analiz Yaklaşımı
Matlab Ort. Gecikme Süresi (sn)	28,7	27,54	30,68	47,9
Sidra Intersection Ort. Gecikme Süresi (sn)	31,2	29,7	28,6	48,7
Teorik Süre ile Uygulama Süresi Farkı (sn)	2,5	2,16	2,08	0,80
Kavşak Performans Değerlendirme İndeksi	173,3	162,7	151,2	270,20
Kavşak Hizmet Düzeyi Derecesi (LoS)	C	C	C	D

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, trafik hacminin değiştiği senaryo bazlı kavşaktaki trafik verimliliğinin ölçütünde kullanılan ortalama taşıt gecikme süresi parametresinin karşılaştırılmasında; genetik algoritma analiz yönteminin teorik olarak en iyi analiz yöntemi olmasına rağmen; Sidra simülasyon programının kendi algoritmaları ile hesapladığı optimum devre süreli yaklaşım olan, Sidra analizi yaklaşımının simülasyon uygulamasında en iyi kavşak performans değerini uygulamalı olarak verdiği gözlenmiştir.

Sabit devre süreli yaklaşımın kavşaktaki gecikmeyi etkin olarak düzenleyemediği ve trafik yoğunluğunun her senaryoda diğer analiz yaklaşımlarına göre daha fazla olduğu yapılan değerlendirmelerde görülmektedir.

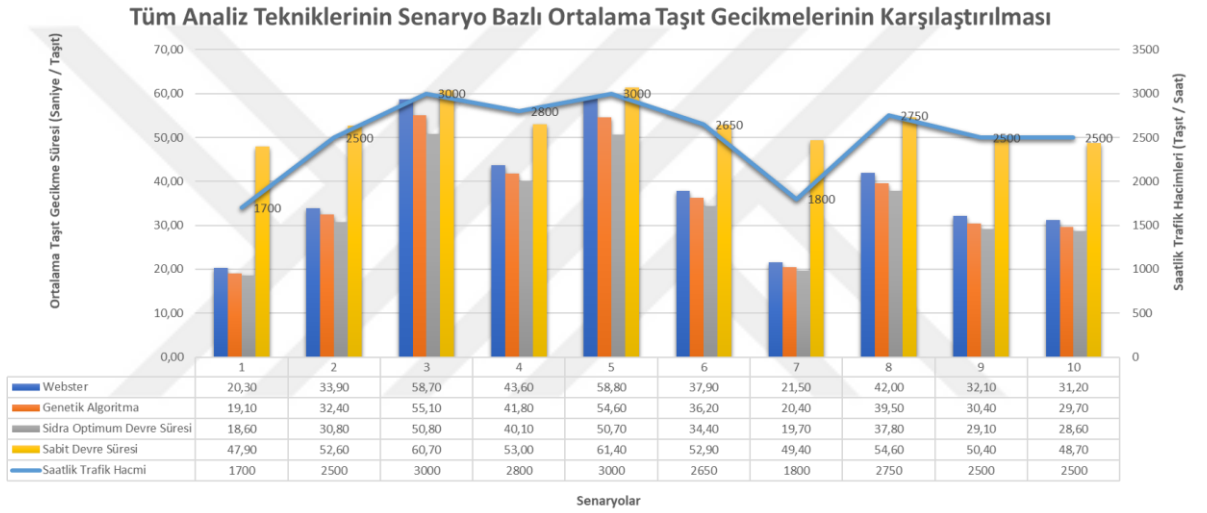
Yukarıdaki sonuçlardan yola çıkacak olursak; Sidra analizi yönteminin özellikle teorik değeri ile uygulamalı değeri arasındaki farkın arttığı Senaryo 3 ve Senaryo 5 incelendiğinde, şerit doygunluk oranının maksimum seviyeye yaklaştığı uygulamalarda tutarsızlık saptanmıştır. Taşıt hacminin değiştiği senaryoların genelinde de Sidra optimum devre süreli analizin teorik sürenin altında seyrettiği dikkat çekmektedir.

İncelemede teorik süre ile uygulamalı süreleri arasında kayda değer fark olan Sidra optimum devre süreli analiz yaklaşımının, sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için, farklı bir simülasyon programında da çalıştırılması ve test edilmesi gerekmektedir. Her simülasyon programı kendine has sahip olduğu yazılım algoritmaları doğrultusunda birbirinden ayrılmaktadır.

Değerlendirme yapılırken şüpheli görünen durumlar için, birkaç ispat yöntemi mevcuttur. Sidra optimum devre süreli analiz yöntemini PTV Vissim simülasyon programı ve Matlab sonuçları ile beraber değerlendirdiğimizde;

Tablo 4.48: Sidra Optimum Devre Süreli Analizin Matlab, PTV ve Sidra Programlarında Karşılaştırılması.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Ort.Gecikme Süresi (Saniye)			Ort.Hız (Km/Saat)		Top.Gecikme Süresi (Saat)		Top. Seyahat Süresi (Saat)	
		Matlab	PTV Vissim	Sidra Intersection	PTV Vissim	Sidra Intersection	PTV Vissim	Sidra Intersection	PTV Vissim	Sidra Intersection
Senaryo 1	1700	16,65	18,62	18,6	38,90	35,4	8,53	9,24	22,42	26,08
Senaryo 2	2500	29,18	32,01	30,8	30,50	28,6	21,80	22,52	42,32	47,49
Senaryo 3	3000	66,12	67,49	50,8	19,57	21,9	54,36	44,56	78,33	74,41
Senaryo 4	2800	43,07	43,18	40,1	25,90	24,9	32,70	32,83	55,56	61,07
Senaryo 5	3000	66,01	69,94	50,7	19,40	21,9	55,92	44,48	79,68	74,41
Senaryo 6	2650	40,56	41,83	34,4	27,07	27,2	30,05	26,65	51,63	52,91
Senaryo 7	1800	19,67	20,70	19,7	37,30	34,6	10,07	10,37	24,82	28,26
Senaryo 8	2750	45,99	51,99	37,8	23,32	25,9	38,75	30,40	61,11	57,68
Senaryo 9	2500	30,97	39,84	29,1	27,89	29,6	26,88	21,28	47,20	45,88
Senaryo 10	2500	30,68	39,16	28,6	28,12	29,8	26,48	20,91	46,86	45,57

**Şekil 4.2:** Analizlerin Sidra Intersection Simülasyon Programında Değerlendirilmesi.

Sidra optimum devre süreli analiz sonucu elde edilen faz sürelerinin, gerçek hayatta uygulanabilirliği ile ilgili yaptığımız karşılaştırma sonucunda, bu durumun Sidra programı dışında kavşak performansı anlamında yanıltıcı olabileceğini gözlemledik.

Özellikle trafik akımının değiştiği her senaryo için, hem teorik (Matlab) hem de uygulamalı (PTV Vissim) olarak inceleme yapıldığında, Sidra optimum devre süreli analiz değerleri, Sidra programında teorik değerlerin altında kalırken; PTV Vissim simülasyon programında teorik değerlerin üzerinde kaldığı ve her iki simülasyon programında yüzdesel değişimin bir hayli yüksek olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.49: Analiz Yöntemlerinin Taşıt Başına Ortalama Gecikme Sürelerinin Tüm Programlarda Karşılaştırılması.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Sıdra Optimizasyonu Analizi Ort.Gecikme Süresi (Saniye)						Genetik Algoritma Analizi Ort.Gecikme Süresi (Saniye)					
		Matlab	PTV Vissim	Sıdra Intersection	Matlab- PTV Fark Yüzdesi	Matlab- Sıdra Fark Yüzdesi	PTV- Sıdra Fark Yüzdesi	Matlab	PTV Vissim	Sıdra Intersection	Matlab- PTV Fark Yüzdesi	Matlab- Sıdra Fark Yüzdesi	PTV- Sıdra Fark Yüzdesi
Senaryo 1	1700	16,65	18,62	18,60	10,58%	10,48%	-0,11%	15,76	17,91	19,10	12,00%	17,49%	6,23%
Senaryo 2	2500	29,18	32,01	30,80	8,84%	5,26%	-3,93%	28,62	29,33	32,40	2,42%	11,67%	9,48%
Senaryo 3	3000	66,12	67,49	50,80	2,03%	-30,16%	-32,86%	55,33	58,8	55,10	5,90%	-0,42%	-6,72%
Senaryo 4	2800	43,07	43,18	40,10	0,25%	-7,41%	-7,67%	39,11	40,04	41,80	2,32%	6,44%	4,21%
Senaryo 5	3000	66,01	69,94	50,70	5,63%	-30,20%	-37,96%	55,61	61,45	54,60	9,50%	-1,85%	-12,55%
Senaryo 6	2650	40,56	41,83	34,40	3,04%	-17,91%	-21,61%	33,40	35,13	36,20	4,92%	7,73%	2,96%
Senaryo 7	1800	19,67	20,70	19,70	4,96%	0,15%	-5,06%	16,76	19,65	20,40	14,71%	17,84%	3,68%
Senaryo 8	2750	45,99	51,99	37,80	11,54%	-21,67%	-37,54%	38,03	39,15	39,50	2,86%	3,72%	0,89%
Senaryo 9	2500	30,97	39,84	29,10	22,27%	-6,43%	-36,91%	28,11	28,29	30,40	0,64%	7,53%	6,94%
Senaryo 10	2500	30,68	39,16	28,60	21,65%	-7,27%	-36,91%	27,54	28,95	29,70	4,87%	7,27%	2,53%

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Webster Analizi Ort.Gecikme Süresi (Saniye)						Sabit Devre Süreli Analizin Ort.Gecikme Süresi (Saniye)					
		Matlab	PTV Vissim	Sıdra Intersection	Matlab- PTV Fark Yüzdesi	Matlab- Sıdra Fark Yüzdesi	PTV- Sıdra Fark Yüzdesi	Matlab	PTV Vissim	Sıdra Intersection	Matlab- PTV Fark Yüzdesi	Matlab- Sıdra Fark Yüzdesi	PTV- Sıdra Fark Yüzdesi
Senaryo 1	1700	16,60	18,71	20,30	11,28%	18,23%	7,83%	45,91	44,4	47,90	-3,40%	4,15%	7,31%
Senaryo 2	2500	30,02	30,89	33,90	2,82%	11,45%	8,88%	51,15	50,17	52,60	-1,95%	2,76%	4,62%
Senaryo 3	3000	56,59	62,22	58,70	9,05%	3,59%	-6,00%	61,71	72,22	60,70	14,55%	-1,66%	-18,98%
Senaryo 4	2800	40,32	42,48	43,60	5,08%	7,52%	2,57%	52,68	52,59	53,00	-0,17%	0,60%	0,77%
Senaryo 5	3000	57,30	63,57	58,80	9,86%	2,55%	-8,11%	62,26	74,08	61,40	15,96%	-1,40%	-20,65%
Senaryo 6	2650	34,31	35,16	37,90	2,42%	9,47%	7,23%	52,85	50,81	52,90	-4,01%	0,09%	3,95%
Senaryo 7	1800	17,67	19,84	21,50	10,94%	17,81%	7,72%	46,89	46,24	49,40	-1,41%	5,08%	6,40%
Senaryo 8	2750	39,07	40,82	42,00	4,29%	6,98%	2,81%	54,91	55,18	54,60	0,49%	-0,57%	-1,06%
Senaryo 9	2500	29,22	30,76	32,10	5,01%	8,97%	4,17%	49,50	49,53	50,40	0,06%	1,79%	1,73%
Senaryo 10	2500	28,70	30,03	31,20	4,43%	8,01%	3,75%	47,90	47,78	48,70	-0,25%	1,64%	1,89%

Sıdra programı tarafından her bir senaryo için hesaplanan optimum devre süresi ve faz sürelerinin değerlendirilmesinin tek başına yapılamayacağını, alternatif test ve deneme yöntemlerinin de çıkan sonuçları kanıtlaması gerekliliği ön görülmüştür.

Bu sebeple, bütün analiz yöntemlerinin etkinlik ölçütü olarak kavşaktaki ortalama taşıt gecikme süresi parametresinin ortak olarak alındığı Matlab, PTV Vissim ve Sıdra Intersection programlarında derleme sonuçları yukarıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Bu sonuçlara göre, değerlerinde büyük bir tutarsızlık olan Sıdra optimum devre süreli analiz, Sıdra simülasyon programı dışında etkin ve tutarlı sonuçlar vermediği kanıtlanmıştır.

Diğer analiz yöntemlerinin tutarlılıkları açıkça görülmekte olup, kavşakta minimum ortalama taşıt gecikme süresini, Sıdra optimum devre süreli analizden sonra en iyi hesaplayan genetik algoritma analizi dikkat çekmektedir.

Genetik algoritma analizi sonucu elde edilen verilerin, 3 farklı program çıktılarında da tutarlı olduğu görülmektedir.

Genetik algoritma ile analiz edilen ve hesaplanan sürelerin tutarlılığının daha net görülebilmesi adına, aşağıdaki karşılaştırma tablosu paylaşılmıştır.

Tablo 4.50: Genetik Algoritma Analizinin Matlab, PTV, Sidra Programlarında Karşılaştırılması.

Senaryolar	Trafik Hacmi (Taşıt/Saat)	Ort.Gecikme Süresi (Saniye)			Ort.Hız (Km/Saat)		Top.Gecikme Süresi (Saat)		Top. Seyahat Süresi (Saat)	
		Matlab	PTV Vissim	Sidra Intersection	PTV Vissim	Sidra Intersection	PTV Vissim	Sidra Intersection	PTV Vissim	Sidra Intersection
Senaryo 1	1700	15,76	17,91	19,1	39,47	35,1	8,2	9,49	22,10	26,30
Senaryo 2	2500	28,62	29,33	32,4	31,82	27,9	19,95	23,69	40,48	48,68
Senaryo 3	3000	55,33	58,8	55,1	21,75	20,8	47,76	48,33	72,05	78,34
Senaryo 4	2800	39,11	40,04	41,8	26,94	24,4	30,32	34,22	53,20	62,32
Senaryo 5	3000	55,61	61,45	54,6	21,21	21	49,45	47,90	73,47	77,60
Senaryo 6	2650	33,40	35,13	36,2	29,01	26,5	25,21	28,04	46,97	54,31
Senaryo 7	1800	16,76	19,65	20,4	38,08	34,1	9,56	10,74	24,31	28,68
Senaryo 8	2750	38,03	39,15	39,5	27,55	25,3	29,33	31,76	51,87	59,04
Senaryo 9	2500	28,11	28,29	30,4	32,46	29	19,18	22,23	39,73	46,83
Senaryo 10	2500	27,54	28,95	29,7	32,09	29,3	19,69	21,71	40,25	46,35

Bu sonuçla genetik algoritma tabanlı hesaplanan değerlerin, kavşaktaki etkinlik düzeyini arttırmada hem teorik hem de uygulamalı olarak (Sidra simülasyon programında) kavşaktaki ortalama taşıt gecikme süresini en iyi şekilde minimize ettiğini söyleyebiliriz.]

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

[Tez çalışmamızda, kavşaklarda kullanılan sinyalizasyon sistemlerini iyileştirebilmek için, kullanılan geleneksel trafik optimizasyon modellemesi olan Webster analizi ve meta sezgisel yöntemlerden olan Genetik Algoritma analizi çıktılarının daha iyi anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi için, iki analiz yöntemine ek olarak Sidra Intersection simülasyon programının kendi algoritmalarına dayalı optimum devre süresi hesabı ve yine Webster tabanına dayalı sabit devre süreli sinyalizasyon ile yapılan analiz sonuçlarının, hem PTV Vissim hem de Sidra Intersection simülasyon programlarında, ortalama taşıt gecikme parametresine ait sonuçları karşılaştırılmıştır.

Normalde webster tabanlı yaklaşımda, optimum devre süresi hesabı yapıldıktan sonra, kavşaklardaki yeşil ışık süreleri minimum gecikme süresi anlayışına göre düzenlenmektedir. Sabit devre süreli sinyalizasyon sistemlerinde dışardan belirlenen sabit devre süresine göre, trafik hacmi değişse bile optimum devre süresi hesabı olmadığı için, kavşaktaki devre süresi sabit kalmakta, yalnızca fazlardaki yeşil ışık süreleri değişkenlik göstermektedir.

Genetik algoritma tabanlı yaklaşımda amaç fonksiyonu, kısıt fonksiyonu ve karar değişkenleri mevcuttur. Amaç fonksiyonu olarak Webster optimizasyon modellemesi ile kavşaktaki ortalama taşıt gecikme süresinin minimize edilmesi seçilmiştir. Karar değişkenleri olarak, fazlardaki yeşil ışık sürelerinin minimum ve maksimum değer aralıkları belirlenmiştir. Kısıt fonksiyonu olarak ta, kavşaktaki her yaklaşım koluna ait şerit doygunluk derecesi aralığı belirlenmiştir. Doygunluk derecesini oluşturan parametreler, değişken olmadığı için (sabit değerler olduğu için) kısıtlar, karar değişkeninin kısıtlarıdır.

Tüm bu analiz yöntemlerinin Matlab programında hesapladığı ortalama taşıt gecikme sürelerinin, kavşaklar üzerindeki etkinlik derecesini karşılaştırabilmek ve en iyi sonucu veren yöntemi tespit edebilmek için, PTV Vissim ve Sidra Intersection gibi simülasyon programlarında, analizlerin sonuçları ve kavşak üzerindeki etkinlikleri değerlendirilmiştir.

Tek bir simülasyon programında değerlendirme yapılması, programın sahip olduğu algoritmalara bağlı sonuçların gerçek hayatta uygulanabilirliğinin sapmalara yol açmasına neden olabilir. Bu nedenle de teorik olarak hesaplanan analiz yöntemi optimize sürelerinin, iki

farklı simülasyon programı tarafından derlenmesi, bize gerçeğe uygun sonuçların tespitinde değerli veriler sağlayacaktır.

Kavşaklardaki yaklaşım kollarını en iyi şekilde analiz edebilmek ve kapasite yeterliliklerini maksimum düzeye çıkartabilmek için, gerekli olan sinyalizasyonun en iyi şekilde yapılabilmesi için, kavşağın trafik akımının iyi hesaplanması gereklidir. Aksi taktirde, kavşağın en yoğun olduğu durumdaki trafik hacmi ile normal zaman aralığındaki trafik hacmi değerleri farklı olacağından, yapılan analizlerde baz alınan değerler yanıltıcı olabilmektedir.

Tez çalışmamızda yer alan üç kollu yaklaşım koluna sahip kavşak üzerinde, örnek senaryolar belirlenerek, kavşak üzerindeki her yaklaşım kolu için, farklı değerlerde saatlik trafik hacim verileri alınmış olup, kavşak performansının üst düzeyde olmasını sağlayan minimum ortalama taşıt gecikme süreleri bulunmaya çalışılmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda, sinyalizasyon kavşaklarda, kavşak performansını doğrudan etkileyen ve bu konuda yapılan önceki çalışmalarda kritik öneme sahip bazı parametreler mevcuttur. Bunlar;

- Ortalama Taşıt Gecikme Süresi (Saniye/Taşıt)
- Kavşaklardaki Kuyruk Uzunlukları (Metre)
- Taşıt Gecikme Süresi (Saat)
- Taşıt Seyahat Süresi (Saat)
- Ortalama Duraklama Yaparak Geçen Taşıt Sayısı
- Kavşak Doygunluk Derecesi

Yukarıda paylaşılan parametreler sayesinde, kavşaktaki ya da yaklaşım kolundaki trafik yoğunluğu, kapasite yeterliliği gibi konularda bilgi sahibi olmaktadır.

Bunların dışında karbon bileşeninin oluşturduğu atık gazlar gibi emisyon gazlarının çevreye verdiği zararlar, trafikte seyir halindeki taşıtların egzoz gazlarından açığa çıkmaktadır. Kavşakta kuyruklanma olduğu zaman trafikte bekleyen taşıt sayısı artacak bu da seyahat süresinin uzamasına ve taşıtların gerektiğinden daha fazla çalıştırılmasına neden olacaktır.

Bunun sonucunda yakıt tüketimi artacak, bu da kavşakta bekleme ile geçen atıl süre sonucunda, milli gelirin boşa harcanmasına neden olacaktır.

Tüm bu değişken ve hesaplanabilen parametrelerin optimum seviyede tutulabilmesi için, sinyalizasyon sistemlerine otonom olarak müdahale edebilecek, kavşak etkinlik düzeyini arttıracak, analiz tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmamızda 10 farklı senaryoya 4 adet analiz yöntemi uygulanmış olup hem PTV Vissim hem de Sidra Intersection simülasyon programlarında, kavşaktaki minimum taşıt gecikme süreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan gecikme sürelerinin etkinliğinin tam olarak ispat edilebilmesi için, kavşak iyileştirme analizlerinin, teorik olarak yapıldığı Matlab programı sonucunda elde edilen veriler ile PTV ve Sidra programlarında iyileştirilmiş sinyal faz ve devre sürelerinin derlenmesi sonucu çıkan veriler, birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1: Ortalama Taşıt Gecikme Sürelerine Göre Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması.

S e n a r y o l a r	Taşıt Hacmi (Taşıt/Saat)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (Saniye/Taşıt)											
		Matlab (Teorik Hesaplama)				PTV Vissim (Simülasyon)				Sidra Intersection (Simülasyon)			
		Genetik Algoritma	Webster	Sidra Optimizasyonu	Sabit Devre Süresi	Genetik Algoritma	Webster	Sidra Optimizasyonu	Sabit Devre Süresi	Genetik Algoritma	Webster	Sidra Optimizasyonu	Sabit Devre Süresi
Senaryo 1	1700	15,76	16,60	16,65	45,91	17,91	18,71	18,62	44,40	19,10	20,30	18,60	47,90
Senaryo 2	2500	28,62	30,02	29,18	51,15	29,33	30,89	32,01	50,17	32,40	33,90	30,80	52,60
Senaryo 3	3000	55,33	56,59	66,12	61,71	58,8	62,22	67,49	72,22	55,10	58,70	50,80	60,70
Senaryo 4	2800	39,11	40,32	43,07	52,68	40,04	42,48	43,18	52,59	41,80	43,60	40,10	53,00
Senaryo 5	3000	55,61	57,30	66,01	62,26	61,45	63,57	69,94	74,08	54,60	58,80	50,70	61,40
Senaryo 6	2650	33,40	34,31	40,56	52,85	35,13	35,16	41,83	50,81	36,20	37,90	34,40	52,90
Senaryo 7	1800	16,76	17,67	19,67	46,89	19,65	19,84	20,70	46,24	20,40	21,50	19,70	49,40
Senaryo 8	2750	38,03	39,07	45,99	54,91	39,15	40,82	51,99	55,18	39,50	42,00	37,80	54,60
Senaryo 9	2500	28,11	29,22	30,97	49,50	28,29	30,76	39,84	49,53	30,40	32,10	29,10	50,40
Senaryo 10	2500	27,54	28,70	30,68	47,90	28,95	30,03	39,16	47,78	29,70	31,20	28,60	48,70

Elde edilen bu sonuca göre; değişen trafik hacmi için oluşturulan 10 farklı senaryo örneği için 3 kollu kavşaktaki sinyalizasyonu, istenilen şartlarda sağlayabilecek analiz yönteminin PTV Vissim simülasyon programında çalıştırılan Genetik Algoritma analiz yöntemi olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Genetik algoritma analizinin PTV Vissim simülasyon programında test edilen değerlere göre, her senaryo için yaklaşım kolu bazlı sinyal sürelerini paylaşacak olursak;

Tablo 5.2: PTV Vissim Programı Genetik Algoritma Sinyal Süreleri Gösterimi.

ÖRNEK SENARYOLAR	TAŞIT HACİMLERİ	SİNYAL SÜRELERİ (SN)				ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)
		KUZEY YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	BATI YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DEVRE SÜRESİ (SN)	
1	1700	7	7	10	36,00	17,91
2	2500	20	16	16	63,00	29,33
3	3000	42	35	29	118,00	58,80
4	2800	38	22	17	89,00	40,04
5	3000	35	35	35	117,00	61,45
6	2650	21	25	16	74,00	35,13
7	1800	9	9	9	39,00	19,65
8	2750	20	24	28	83,00	39,15
9	2500	11	21	21	64,00	28,29
10	2500	11	26	16	64,00	28,95

Tablodaki verileri daha anlamlı kılmak için, aynı sinyalize kavşağın ilk başta sabit devre süreli olduğunu varsayacak olursak, yine PTV Vissim programında simüle edilen webster tabanlı sabit devre süreli analiz yönteminin 3 kollu kavşak üzerinde değişen trafik hacmine göre, minimize edilen taşıt gecikme sürelerini aşağıdaki tabloda inceleyebiliriz:

Tablo 5.3: PTV Vissim Programı Sabit Devre Süreli Analizin Sinyal Sürelerinin Gösterimi.

ÖRNEK SENARYOLAR	TAŞIT HACİMLERİ	SİNYAL SÜRELERİ (SN)				ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)
		KUZEY YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	BATI YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DOĞU YAKLAŞIM KOLU YEŞİL SÜRE (SN)	DEVRE SÜRESİ (SN)	
1	1700	44	44	62	162,00	44,4
2	2500	60	45	45	162,00	50,17
3	3000	60	50	40	162,00	72,22
4	2800	75	43	32	162,00	52,59
5	3000	50	50	50	162,00	74,08
6	2650	51	62	37	162,00	50,81
7	1800	50	50	50	162,00	46,24
8	2750	41	49	60	162,00	55,18
9	2500	30	60	60	162,00	49,53
10	2500	30	75	45	162,00	47,78

Sabit devre süreli sinyalize kavşaktan genetik algoritma tabanlı sinyalize kavşağa geçiş yaptığımızda, senaryo bazlı kavşak iyileştirme yüzdeliklerini hesapladıktan sonra, şehir içindeki kavşakların daha etkin ve verimli kullanılmasının önemini daha iyi kavramış olacağız.

Tablo 5.4: Sinyalizasyon İle Kavşak İyileştirme Değeri.

ÖRNEK SENARYOLAR	TAŞIT HACİMLERİ	GENETİK ALGORİTMA ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)	SABİT DEVRE SÜRESİ ORTALAMA GECİKME (SANİYE/TAŞIT)	KAVŞAK İYİLEŞTİRME YÜZDESİ
1	1700	17,91	44,4	148%
2	2500	29,33	50,17	71%
3	3000	58,80	72,22	23%
4	2800	40,04	52,59	31%
5	3000	61,45	74,08	21%
6	2650	35,13	50,81	45%
7	1800	19,65	46,24	135%
8	2750	39,15	55,18	41%
9	2500	28,29	49,53	75%
10	2500	28,95	47,78	65%

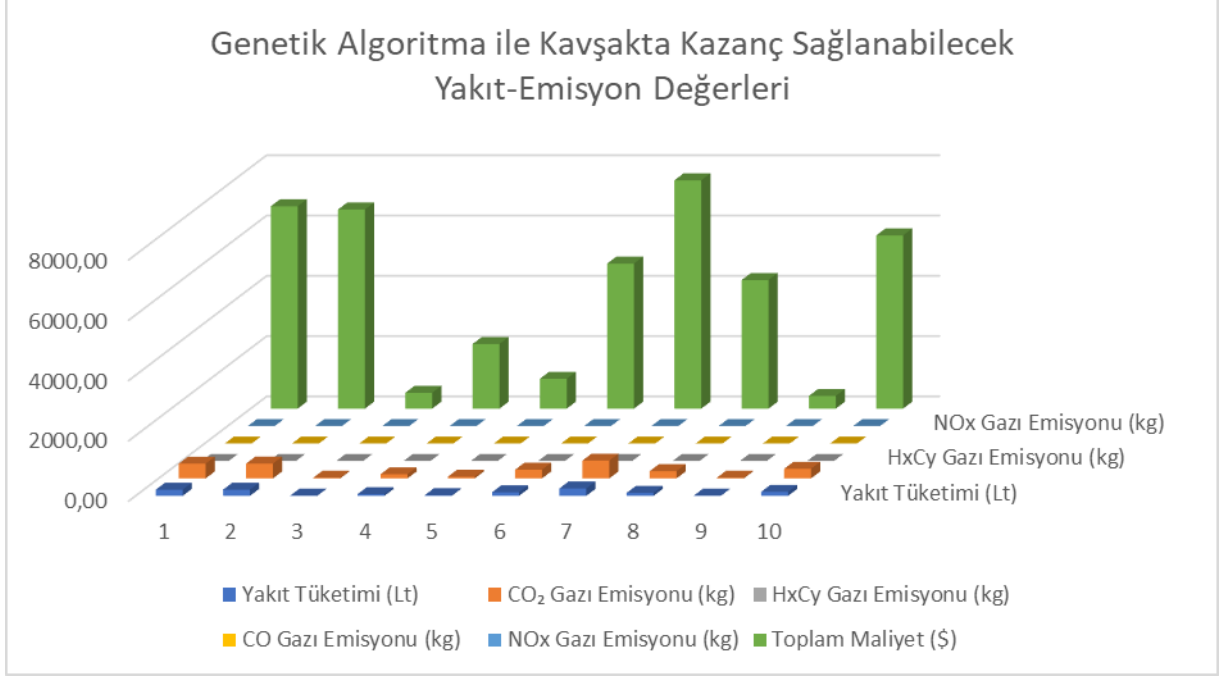
Buradan çıkarılacak sonuca göre, sinyalizasyon çalışmasının sadece trafik akımının yoğun olduğu zamanlarda değil, trafik akımının görece daha az yoğun olduğu zamanlarda da yapılacak olmasıyla birlikte, trafik akışındaki iyileştirmelerle, yüzdelik olarak kavşak verimliliğine daha fazla katkı sağlanacaktır.

Gecikme süresinin iyileştirilmesi ile birlikte, kavşaktaki seyahat süresi, kuyrukta araç bekleme süresi, durarak geçen taşıt sayısı, yakıt tüketimi, karbon gazı emisyonu gibi sera etkisi ile çevre kirliliğine yol açan yakıt atıkları ve kümülatif kavşak maliyetinde ciddi derecede azalma olacaktır.

Tablo 5.5: Sinyalizasyon İyileştirilmesi İle Birim Saatte Kazanılacak Tasarruf Potansiyeli.

SENARYOLAR	Yakıt Tüketimi (Lt)	CO ₂ Gazı Emisyonu (kg)	HxCy Gazı Emisyonu (kg)	CO Gazı Emisyonu (kg)	NO _x Gazı Emisyonu (kg)	Toplam Maliyet (\$)
1	204,00	489,90	0,16	1,12	0,43	6711,56
2	204,04	490,87	0,15	1,15	0,41	6604,31
3	10,07	24,46	0,01	0,09	0,09	525,31
4	57,14	137,87	0,05	0,38	0,04	2142,41
5	23,88	56,71	0,02	0,17	0,08	989,89
6	119,07	288,61	0,12	0,80	0,25	4810,49
7	245,81	590,24	0,20	1,29	0,74	7570,75
8	99,14	240,59	0,11	0,71	0,34	4264,39
9	9,88	23,94	0,01	0,07	0,03	421,72
10	133,29	318,80	0,14	0,93	0,44	5743,26

Kavşakta etkin bir sinyalizasyon çalışması yapılması ile birlikte kazanılabilecek pek çok tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Yukarıdaki tabloda da sabit devre süreli yaklaşımdan genetik algoritma tabanlı sinyalizasyona geçilmesi sonucu, kazanç sağlanabilecek ortalama tasarruf miktarları gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Kavşak İyileştirilmesi İle Birim Saatte Kazanç Sağlanabilecek Tasarruf Potansiyeli.

Artan nüfusla birlikte kalabalıklaşan şehirlerimizde, kavşak kapasitesinin gün geçtikçe azalma tehlikesiyle yüz yüze kaldığımız günümüz şartlarında şehir içi her sinyalizasyon kavşağının etkin bir şekilde kullanılması son derece önemlidir. Yaptığımız tez çalışması ile birlikte hem yurtiçi gayri safi milli hasılaya katkıda bulunmak hem de yeryüzündeki tüm canlılar için tehlike unsuru olan sera gazı emisyonlarının belli bir oranda azaltılması amaçlanmıştır. Bu hedefler doğrultusunda kavşaklarda yapılacak her iyileştirme, şehir içi ulaşım ağının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. İnsan sağlığına bir diğer katkısı da kavşaklarda kuyruk uzunluğuna bağlı sürücülerde oluşan stresin azaltılması olacaktır.

Yapılan kavşak iyileştirmelerinin farklı sinyal işleyiciler kullanılarak daha da geliştirilebilmesi mümkündür. Araçlara yerleştirilecek sensörler ile taşıtlar arası iletişim sağlanabilir. Kavşaklardaki sinyalizasyon sistemleri daha etkin olarak kullanılabilir.

Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri gibi daha kompleks algoritmalara sahip olan trafik denetim ve kontrol sistemleri ile çalışma konumun içeriği zenginleştirilebilir. Şehir içi kavşakların önemli bir bölümü, birbirine sinyalizasyon ağı ile bağlanabilir.

Tez çalışmasında, şehir içi ulaşım ağının iyileştirilmesinin çok maliyetli bir işlem olmadığı ve iyi bir sinyalizasyon sonucu ortaya çıkan iyileştirmelerin, milli servete ve doğal yaşama önemli katkılar sunduğu vurgulanmak istenmiştir.

Umarım, bu tez çalışması çeşitli optimizasyon teknikleri ile geliştirilerek şehir içi kavşaklarımız için etkin bir rol model olur.]



KAYNAKLAR

- [1]. Öztürk, N. (2006). Akıllı trafik sistemleri (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [2]. GÜLSÜN, B., & GONCA, C. K. (2019). Adaptif trafik yönetim sistemleri. OHS ACADEMY, 2(1), 32-40.
- [3]. Çelik, Y., & Soy, H. (2014). Trafik Tıkanıklığının Azaltması İçin Öz-Örgütlenme Tabanlı Akıllı Trafik Optimizasyonu Yaklaşımı. XVI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 5-7.
- [4]. Başkan, Ö. (2004). İzole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [5]. Çakıcı, Z. (2020). Sinyalize kavşaklar için optimizasyon tabanlı trafik yönetim modeli.
- [6]. Çetinkaya, G. (2008). Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [7]. Güler, Z. (2013). Akıllı trafik kontrol sistemi (Master's thesis, Hacettepe Üniversitesi).
- [8]. 2022, Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı, ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-planı.pdf (uab.gov.tr) [Ziyaret Tarihi: 01.06.2022]
- [9]. Savaş, K. (2019). Kavşaklarda yaya simülasyonu ve kavşak kapasitesine olan etkisinin incelenmesi: Çorlu İlçesi örneği (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [10]. Murat, Y. Ş., & Çakıcı, Z. (2015). Sezgisel optimizasyon algoritmalarının taşıt gecikmesi problemi üzerine uygulaması, 7. Altyapı Sempozyumu, Trabzon, 615-625.
- [11]. ŞAHİN, Y. (2019). SEZGİSEL VE METASEZGİSEL YÖNTEMLERİN GEZGİN SATICI PROBLEMİ ÇÖZÜM PERFORMANSLARININ KIYASLANMASI. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(4), 911-932.
- [12]. Halaç, O. (1982). İşletmelerde simülasyon teknikleri. İstanbul Üniversitesi.
- [13]. Çelik, F. (1987). Denetimsiz eşdüzey kavşak sisteminin simülasyonu ve taşıt gecikmelerinin formüle edilmesi (Doctoral dissertation).
- [14]. Akkaya, S., & Engin, T. Trafik Simülasyon Yazılımlarına Genel Bakış. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 5(2), 157-168.
- [15]. Akmaz, M. M., & Çelik, O. N. (2016). Examination of Signalized Intersections According to Australian and HCM (Highway Capacity Manual) Methods Using Sidra Intersection Software. Journal of Civil Engineering and Architecture, 10(2), 246-259. |

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	ERAY ERBAY
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Gaziantep Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	05.06.2015
Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Akıllı Ulaşım Sistemleri
Programı	Akıllı Ulaşım Sistemleri