

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİÇEK TOZLAŞMASI ALGORİTMASI İLE DEVRE SÜRESİ
MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

SEVİM YAVUZ

HAZİRAN 2019

İNŞAAT Anabilim Dalında Sevim Yavuz tarafından hazırlanan ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI İLE DEVRE SÜRESİ MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan(Danışman) : Prof. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR

Üye : Doç. Dr. Özgür BAŞKAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erdem DOĞAN

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme



ÖZET

ÇİÇEK TOZLAŞMASI ALGORİTMASI İLE DEVRE SÜRESİ MODELLERİNİN GELİŞTİRLMESİ

YAVUZ, Sevim

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

HAZİRAN 2019, 98 Sayfa

Günümüz koşullarında ulaşım talebindeki hızlı artış yol kapasitelerinin yetersiz kalmasına ve başta kavşaklar olmak üzere trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Bu nedenle trafik yönetiminde optimizasyon teknikleri etkin olarak kullanılmakta ve trafikten kaynaklı problemler çözülerek mevcut trafiğin daha etkili yönetilmesine çalışılmaktadır. Kavşaklarda sinyal kontrolü, kavşak geometrisi, mevcut araçların varlığı, yaya hareketleri gibi farklı nedenlerden dolayı gecikmeler meydana gelmektedir. Özellikle kavşak kontrolündeki eksiklikler gecikmeyle beraber kavşaklarda kapasitenin düşmesine, bekleme dolayısıyla da yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, kavşakların etkin işletilmesinde önemli bir parametre olan devre süresinin tayini temel bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez kapsamında da minimum gecikmeyi sağlayacak optimum devre süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tezde farklı trafik hacimlerinde optimum devre süresini veren modeller geliştirilmiş ve performansları ortaya konulmuştur. Modellerin geliştirilmesinde Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Çiçek Tozlaşması Algoritması (ÇTA) kullanılmış

olup, farklı model formları oluşturulmuştur. Modeller, literatürde yaygın olarak kullanılan Webster optimum devre süresi modeli ile karşılaştırılmış ve performanslar ortalama taşıt gecikmeleri ile incelenerek hangi modelin Webster modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Performans değerlendirmesinde kullanılan gecikme verisi VISSIM simülasyon programı üzerinden elde edilmiştir. Her bir trafik durumu için farklı yaklaşımlardan elde edilen devre sürelerine göre VISSIM ile farklı atama numaraları kullanılarak aynı trafik durumu için 3'er kez simülasyonu gerçekleştirilmiş ve böylece farklı sürücü karakteristiklerinin gecikmeye olan etkisi de göz önüne alınmıştır.

Geliştirilen model formları içerisinde her 3 modelde Webster Modeline göre daha başarılı olmakla birlikte, üstel formdaki model yapısının en iyi performansa sahip olduğu görülmüştür. Geliştirilen modellerin diğer bir başarısı da hem doygun altı hem de doygun üstü trafik durumlarında trafiği yönetebilmesidir.

Bu tez optimum devre süresi tayininde farklı optimizasyon tekniklerinin uygulanmasını da ortaya koymaktadır. Ayrıca, en düşük gecikme değerini veren devre süresi ile kavşağın yönetilmesini amaç edindiği için yerel yönetimin veya trafik kurumlarının trafik planlamalarında bu çalışmadan çıkacak sonuçlardan planlama, karar alma vb. işlemlerinde yararlanabilecekleri düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kavşak kontrolü, Optimizasyon, Websterin optimum devre süresi modeli, Diferansiyel gelişim algoritması, Çiçek tozlaşma algoritması, VISSIM

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF OPTIMUM CYCLE LENGTH MODELS WITH FLOWER POLLINATION ALGORITHM

YAVUZ, Sevim

Kırıkkale University

Graduate School of Natural And Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR

JUNE 2019, 98 Page

The rapid increase in transportation demands in today's conditions leads to inadequate road capacities and traffic congestion, especially at intersections. Therefore, optimization techniques are used effectively in traffic management and the existing traffic is managed more effectively by solving problems caused by traffic. There are delays at intersections due to different reasons such as signal control, intersection geometry, the presence of existing vehicles, pedestrian movements. In particular, the shortcomings in intersection control cause not only the delays but also the decrease in the capacity of the intersections and the increase in fuel consumption. For this reason, the determination of the cycle length, an important parameter, in the effective operation of intersection is a main factor. The main objective of this project is to determine the optimum cycle length to provide the minimum delay.

In the thesis, models were developed to determine the optimal cycle length for different traffic situations and performances of models were revealed. In the development of the models, Differential Evolution Algorithm (DEA) and Flower Pollination Algorithm (FPA) were used and different model forms were created. The models were compared with the Webster optimal cycle length model which is commonly used in the literature

and the performances were examined by average vehicle delays, it was revealed that which model gives better result than Webster model. The delay data to be used in the performance evaluation were obtained from the VISSIM simulation program. For each traffic situation by using various seed number 3 times simulation with VISSIM were performed to consider into effect different driver characteristics on the delay were examined in these simulations.

Among the developed model forms, it is seen that the model structure in the exponential form has the best performance in all three models with being more successful than the Webster Model. Another success of the developed models is that it can manage the traffic in both saturated and supersaturated traffic situations.

This thesis is also high lights that different optimization techniques are applied in the determination of the optimum cycle length. Moreover, it is considered that the local government or traffic agencies can benefit from results of this study in planning, decision making etc.

Key Words: Intersection control, Optimization, Webster's Optimum cycle length model, differential evolution algorithm, Flower pollination algorithm, VISSIM

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlama sürecinde çalışmalarımda ilgili rehberlik, tavsiye ve değerli engin birikimleri ile desteğini esirgemeyen, çalışmamın gerçekleşmesi ve ilerlemesini sağlayan, yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR' e, tez çalışmalarımın başından itibaren yardımlarını esirgemeyen, bilgi, tecrübe ve görüşlerinden yararlandığım, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm değerli hocam Sayın Ersin KORKMAZ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca her zaman beni anlamaya çalışarak yanımda olan hiçbir anımda beni yalnız bırakmayan canım annem Döndü DENEK'e; her şart ve koşulda yanımda olarak her türlü fedakarlığı gösteren, desteğini esirgemeyen sevgili eşim Ömer Faruk YAVUZ'a; her karamsar oluşumda yanımda olmasa da elinin elimin üzerinde olduğunu hissettiğim can dostum, meslektaşım Meryem Sümeyye ŞENER'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime başlamam ve ilerlemem hususunda her daim maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bana olan güven ve inancıyla güç veren çok değerli aile büyüklerim Mevlüt Yavuz ve Zeynep Yavuz' a ayrıca teşekkür ederim.

En özeli ise gerek lisans gerekse yüksek lisans serüvenim sürecinde dünyaya gelerek bana en büyük ve özel duyguları tattıran, her ne kadar anlayamasalar da sabırla beni bekleyen en kıymetlilerim, çocuklarım Mevlüd Selim YAVUZ, İbrahim Musab YAVUZ, ve Muhammed Fatih YAVUZ'a; yıllar önce kendisini ebediyete uğurladığım, başarımla en büyük gururu duyacağını bildiğim, bana çalışma azmimi kazandıran sevgili babam Yusuf Denek'e çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Literatür Özeti	2
2. KAVŞAK VE SİNYALİZASYON	9
2.1. Kavşak.....	9
2.1.1. Kavşak Türleri	9
2.1.2. Eş Düzey Kavşaklar	9
2.1.2.1. Denetimsiz Eş Düzey Kavşaklar	10
2.1.2.2. Denetimli Eş Düzey Kavşaklar	10
2.1.3. Katlı Kavşaklar	11
2.2. Sinyalizasyon	11
2.2.1. İzole Sinyalize Sistemler	12
2.2.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon	12
2.2.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon	13
2.2.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon	14
2.2.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon	14
2.2.2. Koordine Sistemler	14
2.2.3. Sinyalizasyon Temel Kavramları	14
3. ANALİTİK YÖNTEMLER	18
3.1. Yolların Kapasite Kullanımı (Highway Capacity Manual) Gecikme Modeli	18
3.2. Webster Yöntemi	21
3.3. Webster Yöntemiyle İlgili Diğer Çalışmalar	26

4. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ	29
4.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması	29
4.1.1. Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Avantajları	30
4.1.2. Başlangıç Popülasyonu	30
4.1.3. Mutasyon	31
4.1.4. Çaprazlama	34
4.1.5. Seçim	37
4.2. Çiçek Tozlaşma Algoritması	38
5. SİMÜLASYON VE MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ	42
5.1. PTV VISSIM	42
5.2. VISSIM' in Özellikleri	46
5.3. VISSIM İle Benzetimi Yapılan Kavşağın Geometrik Özellikleri	49
5.4. Modellerin Geliştirilmesi	54
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	61
7. SONUÇLAR	71
EK 1. Farklı Kayıp Zamanlara Göre Veriler	
EK 2. Webster ve Geliştirilen Arama Algoritmasına Göre Farklı Kayıp Zamanlara Ait Devre Süreleri	84
EK 3. Farklı Kayıp Zamanlar için Geliştirilen Modellere Ait Devre Süreleri	90
EK 4. Webster, DGA ve Geliştirilen Modellere Ait Gecikme Değerleri	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

SAYFA

2.1. Faz Düzeni Diyagramı	16
2.2. Devre Süresi Diyagramı.....	16
3.1. İngiliz Yöntemine Göre Doygun Akım Grafiği	
4.1. Temel Adımlar	29
4.2. Klasik DGA Algoritması.....	31
4.3. Mutasyon Sonucu Üretilen Yeni Fark Kromozomu_	32
4.4. Yeni Popülasyona Aday Deneme Kromozomu Üretimi_.....	34
4.5. Önerilen Çiçek Tozlaşma Algoritmasının Pseudo Kodu_	39
5.1. Tek Kavşaklar ve Ağlar	41
5.2. Wiedemann Parametreleri.....	43
5.3. Wiedemann 99 Parametreleri.....	44
5.4. Kavşak Geometrisi	48
5.5. Vissim Proogramına Girilen Araç Tipleri.....	50
5.6. Oluşturulan Devre Düzeneginin VISSIM Programında Gösterimi	50
5.7. Simülasyon Parametreleri	51
5.8. Simülasyon Anındaki Araç Geçişleri.....	52
6. 1. Kayıp Zaman 6 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	62
6.2. Kayıp Zaman 7.5 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	62
6. 3. Kayıp Zaman 9 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	63
6. 4. Kayıp Zaman 10.5 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	63
6.5. Kayıp Zaman 12 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	64

6.6	Kayıp Zaman 13.5 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	64
6.7	Kayıp Zaman 15 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri	65
6.8	Kayıp Zaman 6 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Gecikme Değerleri.....	66
6.9	Kayıp Zaman 9 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Gecikme Değerleri.....	67
6.10	Kayıp Zaman 12 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Gecikme Değerleri.....	67
6.11	Kayıp Zaman 15 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Gecikme Değerleri.....	68

TABLÖLAR DİZİNİ

TABLO

SAYFA

3.1. Gecikmeye Bağlı Hizmet Düzeyi.....	21
4.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması Parametreleri.....	35
5.1. Kayıp Zaman 6 sn İçin Oluşturulan Veriler.....	49
5.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması Kontrol Parametreleri	53
5.3. Kayıp Zaman 6 sn İçin Elde Edilen Devre Süreleri.....	54
5.4. Çiçek Tozlaşma Algoritması Kontrol Parametreleri.....	56
5.5. Model Katsayıları.....	56
5.6. Kayıp Zaman 6 sn İin Geliştirilen Modellere AitDevreSüreleri.....	57
5.7. Kayıp Zaman 6 sn İçin Elde Edilen Gecikme Değerleri.....	59
6.1. Optimum Devre Süresine Bağlı İstatistikî Bulgular	60
6.2. Gecikmeye Bağlı İstatistikî Bulgular	61

SİMGELER DİZİNİ

C	Devre süresi
n	Faz sayısı
t_s	Kayıp zaman
c	Kapasite
s	Doygun akım
g	Yeşil süre
q	Trafik akımı
y	Akımlar oranı
λ	Yeşil süre oranı
x	Doygunluk derecesi
T	Analiz periyodu
K	Gecikme parametresi
I	Ölçüm düzeltme faktörü
d	Taşıt başına düşen ortalama gecikme
PF	İlerleme faktörü
P	Yeşil süre boyunca gelen araçların oranı,
Co	Optimum devre süresi
L	Bir devredeki toplam kayıp süre
Y	Akımlar oranı

KISALTMALAR DİZİNİ

HCM	Otoyol Kapasite Kullanımı (Highway Capacity Manual)
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
HCS	Otoyol Kapasite Yazılımı (Highway Capacity Software)
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
OKHK	Ortalama Karesel Hataların Karakökü
OMH	Ortalama Mutlak Hatalar
ÇTA	Çiçek Tozlaşma Algoritması
ÖKM	Önsezili Kontrol Modeli
KTDP	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama
YAKA	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
VISSIM	Verkehr in Städten-Simulation: traffic in towns– simulation
PFE	Rota Akım Algoritması

1. GİRİŞ

Ulaştırma, canlı ve cansız varlıkların belli bir amacı yerine getirmek için bir noktadan diğer bir noktaya hareket etmesidir. Ulaştırmadaki amaç başlangıç noktasından hedef noktasına güvenilir, kısa sürede, ekonomik ve konforlu bir şekilde harekettir. Günümüzde hızlı nüfus artışı ve ekonomik refah seviyesinin yükselmesiyle artan ulaşım talebi ulaşım ihtiyaçlarının da sürekli artmasına neden olmaktadır [1,2]. Artan seyahat talebi ve taşıt sayısı özellikle kavşaklarda kapasitenin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Kavşaklarda geometrik standartların arttırılması her zaman mümkün olmadığından birçok trafik mühendisi ve planlamacısı sinyalizasyon sistemlerindeki düzenlemelerle kavşak performansını iyileştirmeye çalışmıştır. Kavşaklardaki kapasitenin arttırılması ve sinyalizasyondan kaynaklı gecikmenin azaltılmasında devre süresi oldukça etkilidir ve optimum devre süresinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında bir sinyalize kavşaktaki gecikmenin minimize edilmesini sağlayacak optimum devre süresinin belirlenmesi için yapay zekâ yöntemlerinden olan Diferansiyel Gelişim Algoritması(DGA) ve Çiçek Tozlaşma Algoritması(ÇTA) kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Vissim simülasyon programı aracılığıyla farklı trafik hacimleri için geliştirilen modellerin performansları ortaya konulmuş, mevcut yöntemlere göre üstünlükleri vurgulanmıştır.

Elde edilen sonuçların planlama, karar alma vb. durumlarda karar vericilere katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1. Amaç

Tezin temel amacı meta sezgisel algoritmalar kullanarak daha iyi performanslara sahip optimum devre süresini veren modelleri geliştirmek olmakla birlikte aşağıda sıralanan diğer amaçları da bulunmaktadır.

1. Farklı trafik akımlarının devre süresine olan etkisinin incelenmesi.

2. Farklı kayıp sürelerine göre her trafik durumu için minimum gecikmeyi verecek devre süresinin DGA ile araştırılması.
3. Kayıp süreye ve akımlar oranına bağlı olarak farklı optimum devre süresi modellerinin ÇTA yardımıyla geliştirilmesi.
4. Her trafik durumunun VISSIM simülasyon programı aracılığı ile benzetimi yapılmasıyla geliştirilen model sonuçlarına göre performans göstergelerinin elde edilmesi.
5. Her trafik durumu için Webster Modelinden elde edilen devre sürelerine göre performans göstergelerinin elde edilmesi.
6. Geliştirilen modellerin sonuçlarının Webster yaklaşım sonuçları üzerinden karşılaştırılarak değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

1.2. Literatür Özeti

Sinyalize kavşaklarda trafik kontrolü önemli bir konu olup, gecikme ve yakıt tüketimi gibi performans göstergelerini minimize etmeye dayalı optimizasyon yöntemlerinin uygulanması üzerinde uzun yıllardır çalışılmaktadır. Bir kavşağın kontrolünde optimum devre süresinin tayin edilmesi kavşak performansı açısından kaçınılmaz bir unsurdur. Bu nedenle geçmişten günümüze optimum devre süresini belirlemeye yönelik pek çok çalışma yapılmıştır.

1958 yılında Webster [3] geliştirmiş olduğu gecikme bağıntısı ve minimum gecikmeye dayalı optimum devre süresi modeli kavşak kontrolünde ve devre süresinin tayininde yapılan ilk çalışmalardandır. Özellikle doygun altı trafik durumlarında etkili bir performans gösteren model, doygun üstü trafik durumlarında etkisini yitirmektedir. Zaman içerisinde farklı yaklaşımların bu konuda uygulanmasıyla Webster Modeline göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Thomas ve Uphurch 1998 yılında yaptıkları çalışmada trafik hacimlerinin ve farklı devre sürelerinin gecikme üzerindeki etkilerini incelemişler ve devre süresi, trafik hacmi gibi parametrelerin belirgin oranda artmasıyla gecikmenin de çok fazla arttığını ortaya koymuşlardır [4].

Webster'in optimum devre süresi modelinde devre süresi tahmininin yüksek olma nedenini bulmayı amaçlayan Cheng ve arkadaşları 2003 yılında minimum gecikmeye dayalı devre süresi tahmin modeli geliştirip karşılaştırma yapmışlardır [5]. Yaptıkları çalışmada Webster ve HCM 2000 denklemlerini incelemişler, Synchro 5 ve HCS yazılımı kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda üç farklı regresyon modeli geliştirmişlerdir. Yüksek trafik hacmi durumlarında üstel formdaki modelin diğer modellere oranla ve Webster Modeline kıyasla optimum devre süresini daha iyi tahmin ettiğini gözlemlemişlerdir.

2004 yılında Lan minimum gecikmeye dayalı olarak doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemle kavşak kritik akım oranı, toplam kayıp süre ve analiz süresini içeren trafik akım parametreleri ve optimum devre süreleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ortaya koymuştur. Geliştirdiği bağıntı ile analitik çözümlerden %5,7 sapma ile oldukça doğru tahminler üretmiştir [6].

Cheng ve arkadaşları 2005 yılında regresyon yöntemine dayalı olarak Webster devre süresi modelini geliştirerek farklı devre süresi tahmin modelleri ortaya koymuşlardır [7]. Farklı hacim ve kayıp zamanlarına göre CORSIM simülasyon programı üzerinden modellerin sonuçlarını HCM 2000 sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Devre süresinin etkinliği ve verimliliğini değerlendirmeyi amaçlayan Day ve arkadaşları 2009 yılında Webster Modeli ve HCM 2000'in hesaplamalarını kullanarak devre süresi az, çok ve yeterli olduğunda kapasite problemlerini gün içindeki zirve saatlerini dikkate alarak sinyalize bir kavşaktaki devre süresinin etkinliğini değerlendirmişlerdir [8].

2009 yılında kavşaklardaki trafik performansını optimuma yakın sağlamayı hedefleyen Singh ve arkadaşları Genetik Algoritma kullanarak gerçek zamanlı trafik sinyal kontrolü stratejisi uygulamışlardır. Büyük ve karmaşık bir trafik ağı için zor olan etkili gerçek zamanlı trafik sinyal kontrolünde, yeşil sürenin uzatılıp uzatılamayacağına gelişmiş akıllı sistemler ile karar vermişlerdir. Genetik

Algoritmaya dayalı olarak geliştirilen modelin sonuçlarını sabit zamanlı sistemle karşılaştırmışlar ve geliştirdikleri modelin verimli olduğunu ifade etmişlerdir [9].

Sinyalize kavşaklarda araç gecikmesini minimuma indiren optimum devre süresini bulmayı amaçlayan Al- Kubaisi 2012 yılında sinyalize kavşakta araç davranışı için geliştirilen simülasyon modelinin uygulanmasına bağlı olarak bir regresyon modeli geliştirmiştir [10]. Geliştirdiği modelin çıktısını doğrulamak için OSCADY/3 yazılım paketi kullanmış ve sonuçların uyumlu olduğunu ifade etmiştir. Bağdat şehrindeki bir kavşak verilerine göre elde edilen devre süresi ve gecikme değerleriyle önerilen modelin sonuçlarını karşılaştırmış ve daha düşük gecikme ve devre süresinin elde edilebildiğini göstermiştir.

2012 yılında Sun ve arkadaşları devre süresi optimizasyonunu kullanarak sinyal kontrol sistemi geliştirmişlerdir. VISSIM simülasyon yazılımı ile doğrusal kontrol sisteminin kavşağın trafik kapasitesini arttırdığını ve kavşaktaki gecikmeyi azalttığını gösteren optimizasyon öncesi ve sonrasında karşılaştırmalar yapmışlardır [11].

Kentsel yolların kapasitesini artırmayı ve kavşaktaki sıkışıklığı gidermeyi amaçlayan Qiao ve arkadaşları 2013 yılında Çin 'deki trafik akımının özelliklerini incelemiş ve motorsuz taşıtların kavşaklara etkisini göz önüne almışlardır. VISSIM simülasyon yazılımından da yararlanarak motorsuz taşıtların motorlu taşıtlara dönüşüm katsayısı hesaplanmış ve devre süresinin belirlenmesine motorsuz taşıtların da etkisini ekleyerek devre süresi optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimize edilen devre süresinin gecikmeyi azaltacağını ve kavşağın etkinliğini arttıracığını öne sürmüşlerdir [12].

Trafikteki gecikmeyi azaltmayı ve kapasiteyi artırmayı amaçlayan Dai ve arkadaşları 2013 yılında farklı trafik akımlarına göre ve ortalama saatlik trafik hacmine dayanarak önerdikleri basit ve pratik bir kavşak kontrol yöntemi ile kavşağın devre süresini hesaplamışlardır [13]. Sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırmışlar ve uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

2013 yılında Dell’Orco ve arkadaşları trafik sinyal süresini optimize etmek için Harmoni Arama Algoritmasını kullanmışlardır [14]. Denge ağı tasarım problemini çözen bu çalışmada Harmoni Arama Algoritmasına göre ve Rota Akım Algoritmasına(PFE) göre sinyal süresi optimizasyonu yapılmıştır. Geliştirilen model orta ölçekli bir yol ağı üzerinde test edilmiş ve sonuçlar önerilen metodun kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Bir yol ağında devre süresinin, ışık sürelerinin ve ofsetin eş zamanlı ayarlandığı bir trafik sinyali kontrol şemasının önemini inceleyen Kamal ve arkadaşları 2015 yılında Öncezili Kontrol Modeli uyarlanmış bir trafik modeli geliştirmişlerdir. Modelin parametrelerini mikroskobik simülasyondan elde edilen veriler kullanarak kalibre ettikten sonra dinamik sisteme dönüştürmüş ve karışık tam sayılı doğrusal programlama kullanarak optimize etmişlerdir. Trafik koşullarındaki değişikliklere çabuk uyum sağlayan modeli doğrulamışlardır [15].

Çin’de sinyalizasyon kavşakları için optimizasyona dayalı bir devre süresi modeli geliştirmeyi ve modelin etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan Wu ve arkadaşları 2015 yılında Çin’in en büyük şehirlerinden biri olan Xi’an da 50 sinyalizasyon kavşaktan trafik verileri toplamışlardır [16]. Optimum devre süresi için Webster’in gecikme modeli Çin trafik koşullarında yeniden kalibre edilmiştir. Önerilen optimize edilmiş devre süresi modelinin etkisini değerlendirmek için VISSIM simülasyon programı kullanılmış ve üç sinyalizasyon kavşaklarından karşılaştırma yapılmıştır. Optimize edilmiş devre süresi modeline TRRL(Transportation and Road Research Laboratory) Modeline göre daha düşük gecikme ve devre süresini ortaya koymuştur.

2015 yılında Webster yönteminin gecikmeyi gerçek anlamda ne kadar temsil ettiğini belirlemek isteyen Murat ve Çakıcı [17] çalışmalarında önce Webster’in optimum devre süresi modeli kullanarak oluşturduğu 14 senaryonun optimum devre süresi ve gecikmelerini hesaplamışlardır. Sonraki aşamada ise sezgisel optimizasyon yöntemlerinden harmoni araması, diferansiyel gelişim ve parçacık sürü optimizasyonu kullanarak yeniden optimum devre süresi ve gecikmeleri hesaplamışlar ve Webster Modeline göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Çalışmalarında sinyalize dönel kavşakları ele alan Çakıcı ve Murat 2016 yılında 4 farklı senaryo oluşturup farklı trafik hacimleri ve sola dönüş oranlarına bağlı 50 farklı durumu ele almışlardır. Ortalama araç gecikmesi kriter olarak esas alınarak VISSIM programı ile örnek bir sinyalize kavşak baz alınıp analiz edilmiştir. Analizler sonucunda farklı faz ve devre süreleri uygulandığında ortalama araç gecikmelerinde azalma olduğu; kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacmi ve sola dönüş hacimlerinin artmasıyla ise ortalama araç gecikmelerinin hızla arttığı gözlemlenmiştir [18].

2016 yılında Zakariya ve Rabia Kanada Kapasite Rehberinde ve Otoyol Kapasite Kılavuzunda (HCM) kullanılan zamana bağlı gecikme modellerine göre minimum gecikmeyi veren optimum devre süresini tayin etmek için iki regresyon bağıntısı önermişlerdir. Bu regresyon bağıntısında gerekli verileri elde etmek ve optimum devre süresini saptamak için arama algoritması geliştirmişlerdir [19]. Sonuç olarak önerilen bağıntıların Webster modeline kıyasla yüksek trafik hacimlerinde optimum devre süresini daha iyi tahmin ettiği görülmüştür.

Aktaş ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada, kent içi sinyalize kavşaklarda oluşan ortalama gecikmelerin taşıt cinsi ve sayısına bağlı olarak nasıl etkilendiğini Mikro Ölçekli Trafik Simülasyon Yazılımı (PTV VISSIM) ile incelemişler ve çalışma kapsamında kent içi sinyalize kavşak belirleyerek yazılımda modellemişlerdir. Sakarya Büyükşehir Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Şube Birimi'nden aldıkları resmi taşıt cins, sayı ve ışık süreleri incelemenin asıl girdilerini oluşturmuş ve taşıt sayıları eşit yüzde oranlarıyla arttırılarak ortalama gecikmeye etkilerini gözlemlenmiştir [20].

2012 yılında trafik sinyal sürelerini optimize etmek için Yapay Arı Kolonisi Algoritmasını öneren Dell'Orco ve arkadaşları YAKA ile birlikte TRANSYT-7F programını kullanarak ABCTrans modelini geliştirmişlerdir. TRANSYT-7F trafik modeli toplam ağ performans indeksini tahmin etmede kullanılmış olup, geliştirilen ABCTrans modeli orta ölçekli sinyalize yol ağı üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar GA ve HC(Hill Climbing) yöntemlerinin birlikte kullanıldığı TRANSYT-7F'le karşılaştırılmış, önerilen modelin daha iyi performans gösterdiği görülmüştür [21].

Jovanovic ve arkadaşları 2017 yılında YAKA na dayalı bir yaklaşımla sinyalizasyon kavşakları boyunca toplam seyahat süresini minimize edecek şekilde devre süresinin, devre süreleri arası zamanın ve faz yeşil sürelerinin belirlenmesini sağlamışlardır. Benzetimli tavlama algoritmasıyla önerilen yaklaşımı karşılaştırmışlar ve arı kolonisi optimizasyonunun daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır [22].

Son zamanlarda metasezgisel algoritmalarından bir tanesi olan ÇTA da başta mühendislik problemleri olmak üzere ulaştırma mühendisliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yang 2012 yılında çiçeklerin tozlaşma sürecinden esinlenerek yeni optimizasyon algoritması tasarlamayı amaçlamıştır. Yeni algoritmayı doğrulamak içinde 10 test fonksiyonu kullanmış ve performansı GA ve PSO ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonuçları ise çiçek algoritmasının GA ve PSO'dan daha etkili olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda yakınsama hızının üstel olmasından dolayı doğrusal olmayan tasarım ölçütünü çözmek içinde kullanılabileceğini göstermiştir [23].

Balasubramani ve Marcus 2014 yılında ÇTA ve uygulamaları üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Bitkilerin tozlaşma sürecine dayanan en yeni geliştirilmiş doğa kaynaklı algoritma olan ÇTA nı esas olarak kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan ve araştırmacılar işlem hızı, ihtiyaç ve sağlamlık temelinde değişiklik yapma kolaylığı olduğundan bu algoritmaya yönelmişlerdir [24].

2015 yılında Wang ve arkadaşları en yaygın veri analizi yöntemi olan kümeleme analizinin başlangıç çözümüne büyük ölçüde bağlı olduğunu belirtmişler ve bu nedenle Arı tozlayıcı ile elde edilen çiçek tozlaşması algoritmasını önermişlerdir. Nüfusun çeşitliliğini arttırmak için polen operatörü atılıp ve çaprazlama operatörü uygulanmış ve elit tabanlı mutasyon operatörü kullanılarak yerel arama yeteneği artırılmıştır. Önerilen algoritmanın performansını değerlendirmek için on veri kümesi seçilmiş ve deney sonuçları YAKA ile ÇTA hem yüksek doğruluk hem de daha yüksek stabilite düzeyine sahip olduğunu göstermişlerdir [25].

2018 yılında yapay zekâ tekniğinin avantajlarından faydalanarak gecikme değerini doğru olarak tahmin etmeyi amaçlayan Korkmaz ve Akgüngör farklı gecikme modelleri geliştirmek için yapay arı kolonisi ve çiçek tozlaşma algoritmalarını kullanmışlardır. Giriş parametresi olarak doygunluk derecesi ve devre süresi değerleri girilmiş, elde edilen sonuçlar Avustralya (Akçelik) ve HCM sonuçları ile kıyaslandığında ortalama karesel hata, mutlak hata ve belirleme katsayısı açısından en iyi değerler elde edilmiştir [26]. Ayrıca ÇTA ile YAKA na göre daha az iterasyon ile daha iyi sonuçlar alındığı gösterilmiştir.

Korkmaz ve Akgüngör 2018 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada yine Çiçek Tozlaşması Algoritmasını kullanarak Türkiye’deki araç sahipliğini modelleyerek geleceğe yönelik tahminler yapmışlardır. Bu algoritma ile 3 bağımsız değişken kullanılıp 1000 kişi başına düşen araç sayısını tahmin eden doğrusal ve kuvvet formlarında modeller geliştirmişlerdir. Girdi parametreleri için 2004 ile 2016 yılları arasındaki Ehliyet sayısı (ES), Kişi Başına Düşen Gayri Safhi Milli Hasıla (GSMH) ve yakıt fiyatları (benzin, dizel ve lpg olarak) kullanılmış ve geliştirilen iki modelin katsayıları ÇTA ile optimize edilip belirlenerek ve her bir yakıt tüketimi için araç sayılarının bulunacağı modeller geliştirilmiştir. İstatistiksel sonuçlar ile ÇTA yaklaşımının etkin ve başarılı bir performans göstererek araç sahipliğinde kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır [27].

Bu tez çalışmasında da yapay zeka tekniklerinin avantajlarından faydalanarak farklı trafik durumlarını yönetebilen optimum devre sürelerinin modellenmesi hedeflenmiş ve ÇTA’nın bu alanda kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu tez kapsamında 2. bölümde kısaca kavşak, sinyalizasyon sistemleri ve optimum devre süresi hakkında bilgi verilmiştir. 3. bölümde analitik yöntemlerden HCM ve Webster yöntemi, 4. bölümde DGA ile ÇTA teknikleri hakkında bilgi verilip, 5. bölümde VISSIM simülasyonu ve ÇTA ile geliştirilen modeller açıklanmış, 6. bölümde geliştirilen modellerin gecikmeye bağlı performansları VISSIM simülasyon programı vasıtası ile değerlendirilmiştir. 7. bölümde ise tezden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

2. KAVŞAK VE SİNYALİZASYON

2.1. Kavşak

Kavşak, farklı yön ve doğrultudan gelerek yine aynı veya farklı yön ve doğrultulara giden akımların belirlenmiş düzene göre güvenli geçişi veya yön değiştirmesi için zamanda ya da mekanda sırayla kullandıkları ortak alandır. Bu ortak alanların farklı akımlarca zaman içinde sırayla kullanılmaları durumundaki kavşak eş düzey(hemzemin) kavşak olarak ifade edilir ve aynı kotta yolu farklı zamanda kullanırlar.

Kavşak kullanımı farklı akımlarla ve farklı mekanlarda gerçekleşiyorsa buna da katlı kavşak denir. Böylece katlı kavşaklarla aynı anda farklı akımların geçişine olanak sağlanmış olur [2].

2.1.1. Kavşak Türleri

Kavşaklarda oluşan gecikme probleminin optimum şekilde çözümlenmesi için kavşakların tür ve özelliklerinin doğru şekilde bilinmesi gerekmektedir. Eş düzey kavşaklarda gecikmeler daha fazla olduğu için kavşakların ayrıntılı olarak incelenmesi önemlidir.

2.1.2. Eş Düzey Kavşaklar

Trafik mühendisliğinde önemli bir yere sahip olan eş düzey kavşaklar, birbiriyle zıt ilişki içerisinde olan kapasite ve trafik güvenliğinde sorun yaratabilmektedirler. Yolun kapasitesini belirleyen kritik kesimler kavşaklar olup kapasitenin azalmasıyla gecikme ve tıkanmalar ortaya çıkmaktadır. Trafik kazalarının da %50'sinden fazlası eş düzey kavşaklarda meydana gelmekte ve ölümlerin yarısına yakınının eş düzey kavşaklarda meydana gelen kazalardan meydana gelmektedir [28, 29].

Eş düzey kavşaklar kontrol şekline göre denetimsiz ve denetimli olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.2.1. Denetimsiz Eş Düzey Kavşaklar

Denetimsiz kavşak, sadece işaret levhaları kullanılarak ya da hiç kullanılmadan trafik akımının sürekliliğinin sağlandığı kavşak türüdür. Sinyalizasyon sistemi olmadığı için bu kavşak türünde genellikle ana yol ve tali yol olmak üzere iki kavram bulunmaktadır. Trafik hacminin fazla olduğu ana yoldan gelen taşıtların tali yoldan gelen taşıtlara göre geçiş üstünlüğü bulunmaktadır. Bu kavşaklarda trafik kontrolü tali yola konulan “YOL VER” ve “DUR” levhaları ile sağlanmaktadır. Böylece kazalar azaltılmış ve geçiş üstünlüğü belirtilmiş olmaktadır [30]. Aynı zamanda bu kavşaklarda anayol ve tali yol haricinde trafik akımının birbirine yakın olduğu kavşaklarda sağdan gelen sürücünün geçiş üstünlüğü bulunmakta ve bu durum sürücülerin sorumluluğunda olmaktadır.

2.1.2.2. Denetimli Eş Düzey Kavşaklar

Bir sinyalizasyon sistemi ya da trafik polisi tarafından trafik akım düzeninin sağlandığı kavşaklardır. Dönel kavşak ve sinyalize kavşak olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

Dönel kavşaklar, trafik akımının merkezi bir ada çevresinde dairesel biçimde hareket ederek aktığı kavşaklardır. Bu kavşaklar düşük trafik hızlarından dolayı ölümlü ve yaralanmalı kazaları azaltmaktadır. Trafik ışığı olmadığından gereksiz durma ve gecikmeleri azaltır buna bağlı olarak yakıt tüketimi ve hava kirliliği azalır. Bu kavşakların en az dört kolun kesiştiği ve yeterli alana sahip yerlerde yapılması uygundur. Trafik kapasitesine göre adasız ya da sadece merkezi boya ile belirtilmiş olan dönel kavşaklarda bulunmaktadır [2].

Sinyalize kavşaklar, akım önceliğinin ışıklı trafik lambalarındaki renklere göre sağlandığı yolun kapasite ve güvenlik düzeyinin yükselmesine olanak sağlayan kavşak çeşitidir. Trafik hacminin fazla olduğu sinyalize kavşaklar ile yaya ve taşıtların belirli bir düzen içinde hareket etmeleri sağlanarak kaza oranının düşmesi sağlanıp

kavşakların güvenliği artırılmaktadır. Bu kavşaklarda genellikle arkadan çarpma tipinde kazalar olmakta fakat taşıt hızları düşük olduğu için ölüm riski düşük olmaktadır [28].

Sinyalize kavşakların avantajları olduğu gibi yetersiz devre süresi, uygun olmayan faz kullanımı ve kavşak geometrisinin yetersiz analizi gibi sorunlardan dolayı meydana gelen olumsuz etkileri de vardır. Yanlış uygulanan ya da yetersiz olan sinyalizasyon sistemleri yaya ve taşıtların güvenliğini tehdit etmekle birlikte kavşaktaki kapasiteyi azaltarak kuyruklanma ve gecikmeye sebep olabilmektedir. Bu tür sorunları engellemek için kavşak tasarımının ve işletiminin en doğru şekilde yapılması gerekir.

2.1.3. Katlı Kavşaklar

Geçkileri kesişen en az iki yolun, birbirini kesmeden farklı düzeylerden geçirilerek trafik akımının kesintisiz olarak sağlanmasına ve hızın mümkün olduğunca düşürülmeden devam edilmesine olanak veren zemin ayrımlı farklı kotlarda bulunan kavşak türüdür. Bu kavşak türünde tasarım, araçlara ilişkin sorunların azaltılması ile güvenliğin artırılması ön planda olup yüksek kapasite ile trafik akım hızında değişme olmadan trafik hareketlerini mümkün kılacak şekilde yapılır. Pahalı bir maliyete sahip olmasına rağmen doğru kavşak tasarlanır ise yüksek kapasiteli, gecikmelerin ve kazaların fazla olduğu yollarda önemli bir çözüm oluşturur [31].

2.2. Sinyalizasyon

Sinyalizasyon sistemleri temel amacı gecikmeleri azaltmak ve kazaları önlemek olan trafiği düzenleyen ışıklı sistemlerdir.

Bir kavşak ya da yaya geçidinde sinyalizasyon tesisinin kurulabilmesi için kaza sayısı ve kesişen trafik yükleri önem arz etmekte fakat tek başına yeterli olmamaktadır. Sıklıkla kaza ve tıkanmaların olduğu kavşakta güvenliğin ve düzenin sağlanması için çözüm yolunun sinyalizasyon olduğunu düşünmekte doğru olmaz, alt veya üst geçit yapmak daha güvenli olmakla birlikte bu duruma ekonomik kriterlerde göz önüne alınarak karar verilir [32].

Kaza sayısının az ve trafik yoğunluğunun yeterli olmadığı bir kavşakta sinyalizasyon tesisi kurmak gecikmeleri artıracığı için doğru karar olmaz. Bu nedenle kurulacak bir sistem için minimum şartların gerçekleşmiş olması gerekir. Sinyalizasyon sisteminin bulunduğu bir kavşakta gecikmenin azalmasıyla birlikte kazalarında büyük oranda azalması gerekmektedir, ancak bu duruma taşıt sürücülerinin davranışlarının da etkisi büyüktür.

Sinyalizasyon sistemleri kendi arasında izole sistemler ve koordine sistemler olmak üzere 2'ye ayrılırlar.

2.2.1. İzole Sinyalize Sistemler

Yakınındaki diğer kavşaklarda kurulmuş olan farklı sinyalizasyon sistemleri ile hiçbir bağıntısı olmayan ve etkilenmeyen sistemlerdir. Birçok kavşakta kullanımı oldukça yaygındır.

İzole sinyalizasyon sistemi kendi içerisinde dört farklı biçimde incelenir:

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi
- Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- El İle Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

2.2.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon

Sinyalize tesise değişik yönlerden gelen yaya ve taşıtların önceden hazırlanmış olan zaman programlarına uygun sırayla geçiş hakkı verilen sistemdir. Bu sistemde değişik yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek yeşil süreler ve bu sürelerin birbirine olan oranı ortalama trafik yükü değerine göre hesaplandığından sistemin başarısı için çok sayıda ve dikkatli trafik sayımı yapılmalıdır.

Kavşaklardaki trafik akımları günün değişik saatlerinde farklı özellikler göstermektedir. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi, bu özelliklere uygun belli saatlerde otomatik olarak değişen programlar uygulanarak, trafik akımlarının düzenlenmesini sağlar.

Genellikle hafta sonlarındaki trafik akım özellikleri ile normal iş günündeki trafik akım özellikleri farklı olduğundan sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminin tatil günleri için ayrı özel program uygulaması sağlanıp devreye sokulabilir fakat bu da sistemi yöneten trafik cihazının maliyetini artırır. Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminin en büyük sakıncası projedeki ortalama değere uyulmayarak kavşakta gereksiz beklemelemlere yol açmasıdır. Bu sakıncanın etkisini azaltmak için kurulan sistemin sürekli kontrol altında tutulması ve zamanla değişen trafik koşullarına uygun zaman programı düzeltilmesi gereklidir.

2.2.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde taşıtların geçiş hakkı sıra ve süreleri detektörler tarafından bulunmuş olan trafik yoğunluğuna göre düzenlenir ve sistemin devre süresi buna göre belirlenir. Kendi içerisinde yarı trafik uyarmalı ve tam trafik uyarmalı olmak üzere iki kısma ayrılır.

Yarı trafik uyarmalı sistemde, kavşak yaklaşım kollarından bazılarına uyarı verilir. Genelde ana yol üzerindeki akım yönlerine sürekli olarak yeşil ışık verilir ve tali yollardan geçiş talebi uyarısı alınmadıkça ana yoldaki ışık sinyalinde bir değişiklik olmaz [32].

Tam trafik uyarmalı sistemde ise bütün kavşak yaklaşım kollarından sürekli uyarı alınarak geçiş hakkı ve süresi trafik yoğunluklarına göre otomatik olarak düzenlenmektedir. Bu sistemler geçiş hakkını trafik yoğunluklarının gerçeğe yakın değerlerine göre sağladıkları için gecikme değerini en aza indiren ideal sistemdir fakat bu sistemde kullanılan cihaz maliyeti diğer sistemlerde kullanılan cihazlara göre daha yüksektir [32].

2.2.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon

Genellikle kavşaklarda kurulan sinyalizasyon sistemi yayalara güvenli geçiş hakkı sağlamak için kavşaklara uzak olan yaya geçitlerinde de uygulanabilir.

Sabit zamanlı ve trafik uyarmalı sistemlerde de yaya uyarmaları kullanılabilir. Özellikle sabit zamanlı çalışan kavşaklarda gecikmeleri azaltmak ve zaman kaybını önlemek için yayalardan talep gelmediği sürece anayola devamlı yeşil ışıklı sinyal verilir. Yayalar ise bu geçitleri kullanmak istediklerinde butonlara basarak beklemek zorundadırlar.

2.2.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon

Bu sistem trafik ve yaya uyarmalı sistemlere benzemektedir fakat istekler dışarıdan gelen gözlemler ile değerlendirilip manuel olarak bir kumanda ile sinyaller değiştirilerek çalışır.

2.2.2. Koordine Sistemler

Birbirine yakın kavşaklardaki sık duruş kalkışları gidermek ve gecikmeleri azaltmak maksadıyla sinyalizasyon sistemlerinin koordine edilmesi ile oluşan bu sistem, tali yol trafiğine de geçiş hakkı tanıyarak çok sayıda taşıtın durmadan geçişini sağlamış olurlar.

Koordine sistemlerin hedeflerinden biri de birbirine çok yakın kavşak sinyalizasyonu edilmiş olan kavşaklardaki taşıt kuyruklarının taşmasını önlemektir. Ayrıca bu sistemler ana yol trafiği için uygulanması dışında tüm yönlerdeki taleplerin fazlalığı ile gecikmeyi minimize eder.

Çalışma prensibine göre koordine sistemler senkronize, alternatif, progresif ve arazi trafik kontrolü sistemleri olarak dört gruba ayrılmaktadır.

2.2.3. Sinyalizasyon Temel Kavramları

Faz: Bir ya da daha çok aralığı kapsayan ve sinyal süresinin belirli bir trafik akımını aynı anda öngören bölümdür.

Devre süresi (C): Işıklı sinyallerin bir devreyi tamamlamaları sırasında geçen süre.

Aralık: Sinyalizasyon sisteminde ışıklı sinyallerin sabit kaldığı süre.

Aralık değişimi (Y): Sarı ve hepsine kırmızı aralığı içeren süredir.

Kayıp zaman: Kavşakta hiçbir hareket tarafından kullanılmayıp etkisizce gecen süredir.

Etkili yeşil süre (g): Geçiş hakkı olan faza geçiş hakkı verilen zaman.

Yeşil oranı (g/C): Etkili yeşil sürenin devre süresine oranıdır.

Yeşiller arası süre (I): Geçiş hakkı olan fazdaki yeşil sürenin bitip takip eden fazdaki yeşil sürenin başlangıcı arasındaki geçen süreye denir. Yeşiller arası süre faz sisteminin ayarlanmasına bağlı olarak farklı değerler alabilir.

Kırmızı süre (r): Fazdaki araçların durduğu süresidir.

Sarı süre (a): Sinyalize edilen alana yaklaşan taşıtlara geçiş hakkının son bulunduğunu belirten sarı ışıklı sinyalin süresi.

Doygun akım (s): Sinyalize bir kavşakta sürekli bir kuyruk bulunması durumunda kesintisiz geçiş hakkı koşulu ile sabit hızla boşalan akım.

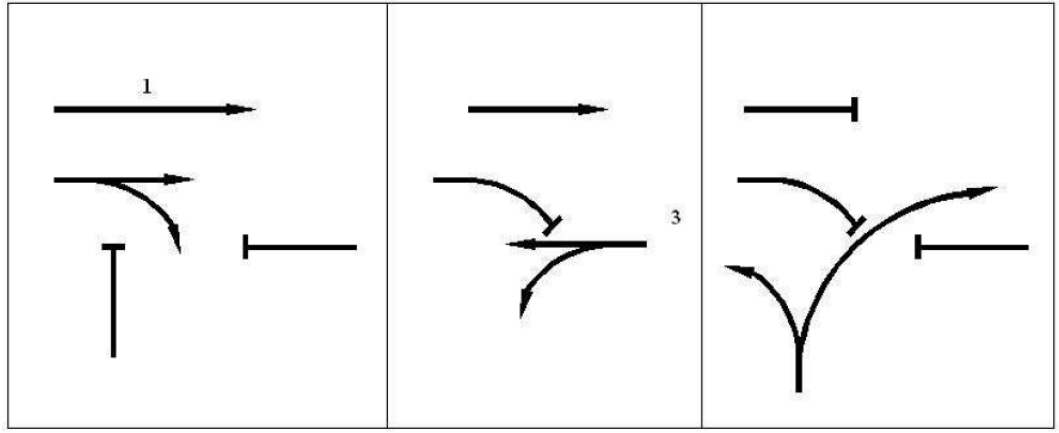
Analiz periyodu (T): Kavşaktaki gecikmenin tahmin edildiği süredir. Saat cinsinden ifade edilmektedir.

Sabit zamanlı kontrol: Devre süresi, faz düzeni, yeşil süre ve değişim aralıklarının trafiğe önceden hazırlanmış zaman programlarına uyularak sıra ile geçiş hakkının verildiği sabit ve belirli olan kontrol çeşididir.

Yarı zamanlı kontrol: Ana yoldaki faza her zaman yeşil yakıp, tali yoldan talep geldiğinde bu fazı aktif hale getirip geçiş hakkı veren bir kontrol çeşididir.

Tam zamanlı kontrol: Kavşaktaki trafik uyarılarının bütün yaklaşım kollarından alınarak geçiş hakkının ve devre süresi, yeşil süre, değişim aralıklarının gerçek trafik taleplerine göre belirlendiği kontroldür.

Faz Düzeni: Kavşaktaki mevcut birden çok akımın hangi düzen ve sıra ile geçeceğini gösteren faz diyagramıdır. Bir akımın birden fazla fazda geçme durumu var ise bu da tekrarlı akımlar olarak belirtilir.

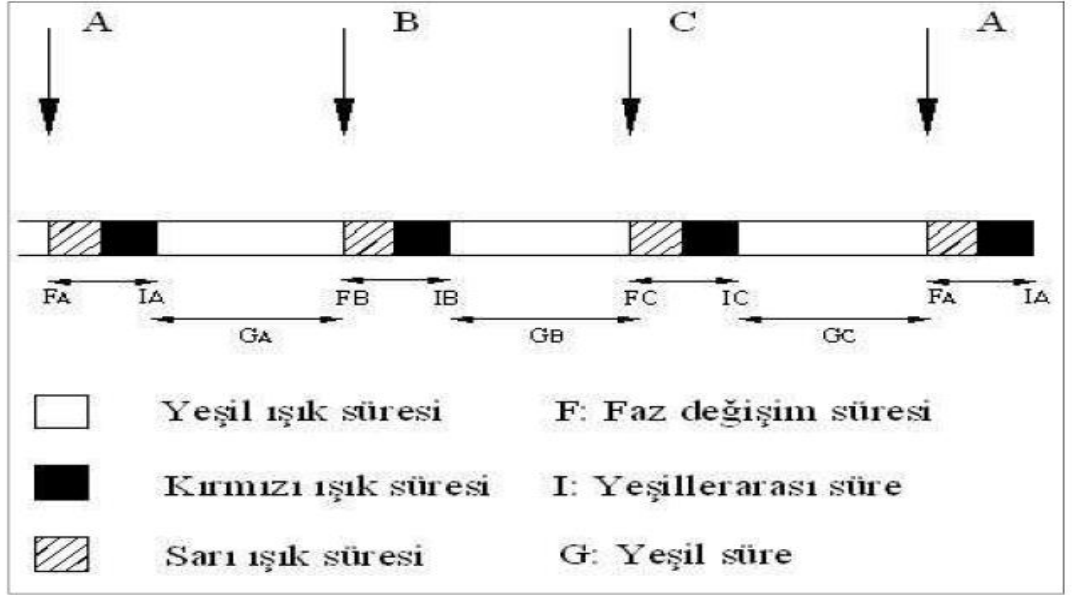


A FAZI

B FAZI

C FAZ

Şekil 2.1. Faz Düzeni Diyagramı [33]



Şekil 2.2. Devre Süresi Diyagramı [33]

Şekil 2.1. Faz Diyagramı ile verilen 3 fazlı kavşak sinyalizasyonun devre süresi diyagramı Şekil 2.2.'de gösterilmiş ve sinyalizasyondaki bütün süreler detaylı olarak ifade edilmiştir. Şekil 2.2. ile 3 faza ait devre süresi diyagramı gösterilmiştir.

Bir sinyalizasyon sisteminin kurulumunda en önemli kısım, geometrik özellikler, faz düzeni ve trafik koşullarını göz önüne alarak devre süresinin belirlenmesidir. Bu amaçla farklı yaklaşımlara dayanan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [32]. Bir kavşaktaki devre süresi iki bileşkeden oluşmaktadır:

- Yeşil süreler toplamı
- Kayıp zaman

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + t_s \quad (2.1)$$

C = Devre süresi

n = Faz sayısı

G_i = i fazına ait yeşil ışık süresi

t_s = Kayıp zaman

3. ANALİTİK YÖNTEMLER

3.1 . Yolların Kapasite Kullanımı (Highway Capacity Manual) Gecikme Modeli

Zamana bağlı gecikme modellerinden biri olan bu yaklaşım, kavşakların kapasitelerini analiz etmekte ve hizmet düzeyini belirlemektedir. Bir kavşakta oluşan gecikmeler hizmet düzeyinin belirlenmesindeki en önemli göstergelerdir.

Bir kavşakta analiz yapabilmek için HCM'nin çalışma temelini oluşturan kapasite, trafik akımı, sinyalizasyon özellikleri, kavşağın geometrik ve trafik özellikleri gibi girdi parametrelerinin detaylı şekilde bilinmesi gerekli olup sonucunda analitik yöntemden gecikme değeri alınmaktadır.

Kapasite: Kavşak performansı üzerinde en etkin parametrelerden bir olan kapasite, ideal şartlar altında yolun belli bir kesitinden ya da şeridinden 1 saatlik süre zarfında geçebilen maksimum araç sayısı olarak ifade edilebilir [34]. Kavşak analizi, sinyalizasyon optimizasyonu ve gecikme hesabında kapasitenin doğru hesaplanması önem arz etmektedir. Kapasite yeşil süre, doygun akım ve devre süresinin bir fonsiyonu olup Denklem 3.1'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

Kapasitenin analitik ifadesi;

$$c = s(g / C) \quad (3.1)$$

c = Kapasite (araç/saat),

s = Doygun akım (araç/saat),

g = Yeşil süre (sn),

C = Devre süresi (sn),

Bir kavşakta mevcut sinyalizasyona bağlı olarak belirlenmiş olan yeşil süre ve devre süresinin oransal olarak kapasite üzerindeki etkisi önemli bir parametredir. Bu oran doygunluk derecesidir ve ifadesi;

$$x = q / c \quad (3.2)$$

q = Trafik akımı,

Akımlar oranı ise Denklem 3.3 de verilen bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$y = q / s \quad (3.3)$$

Doygunluk derecesi akımlar oranı ve yeşil süre oranı cinsinden de şu şekilde ifade edilebilir;

$$x = q / c = q C / s g = y / \lambda \quad (3.4)$$

y = Akımlar oranı (q / s),

λ = Yeşil süre oranı (g / C)'dir.

Doygun altı ve üstü durumlarda farklı trafik şartları oluştuğu için, gecikme hesabında doyumluk derecesinin 1 den büyük veya küçük olması önemlidir. Doyumluk derecesinin bir diğel önemi de kritik akımı belirlemesidir. Belirlenmiş olan faz düzeninde, devre süresi boyunca birbirini takip eden araçlar, fazdaki yeşil süre boyunca kavşağı terk ettiğinden akımların ihtiyaç duyduğu yeşil süreler doyum akıma göre belirlenir. Yeşil süreye en çok ihtiyaç duyulan en yüksek doyumluk derecesindeki akıma ise kritik akım denir.

Kavşaktaki taşıt başına düşen gecikme hesaplanırken 3 farklı durumda oluşan gecikme değelri toplanır. Bu gecikme ifadesi Denklem 3.5 de verilmektedir.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (3.5)$$

d = Taşıt başına düşen ortalama gecikme,

d_1 = Üniform gecikme,

d_2 = Artan (eklenik) gecikme veya aşırı akım gecikmesi

d_3 = Başlangıç kuyruk gecikmesi,

PF = İlerleme faktörü

Bu gecikme hesabında d_1 üniform gecikme ifadesi olup başlangıç kuyruklanmasının oluşmadığı ve trafik ışıklarından kaynaklanan gecikme değeridir. Bu gecikme ifadesi ise;

$$d_1 = 0.5 \frac{C(1-\lambda)^2}{1 - [\min(1, x)\lambda]} \quad (3.6)$$

Yeşil süre boyunca gelen araçların hacmi arttıkça, sinyalize bir kavşakta araçların ilerlemesi daha iyi olacaktır. Denklem 3.5'te ifade edilen “PF” değeri ise aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$PF = \frac{(1-P) \cdot f_{PA}}{1 - \frac{g}{C}} \quad (3.7)$$

P: Yeşil süre boyunca gelen araçların oranı,

f_{PA} : Yeşil süre boyunca gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme faktörü.

Bir diğer gecikme ifadesi olan d_2 gecikmesi araçların kavşağa rastgele gelişleri ve sürekli araç gelişlerine bağlı olarak meydana gelen gecikmedir. Bu gecikmenin ifadesi;

$$d_2 = 900T \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8klx}{cT}} \right] \quad (3.8)$$

T = Analiz periyodu (Saat),

k = Gecikme parametresi,

I = ölçüm düzeltme faktörü

Analiz başlangıcında kavşakta bulunan kuyruğun oluşturduğu gecikme değeri ise d_3 gecikmesidir ve genelde başlangıç durumunda kuyruk mevcut değilse sıfır olarak kabul edilir.

Gecikme değerine bağlı olarak bir kavşanın performansı A hizmet düzeyi ile F hizmet düzeyi arasında değişmektedir. Kavşakta araç başına düşen ortalama gecikme 10 sn nin altında olduğunda kavşak A hizmet düzeyinde işletilirken 80 sn' nin üzerine çıktığında ise F hizmet düzeyinde işletildiği anlaşılmaktadır. Bir kavşanın hizmet düzeyi ile araç başına düşen ortalama gecikme arasındaki ilişki Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Gecikmeye Bağlı Hizmet Düzeyi[26]

Hizmet Düzeyi HDS	Araç Başına Düşen Gecikme (sn)
A	$\dots < 10$
B	$10 < \dots < 20$
C	$20 < \dots < 35$
D	$35 < \dots < 55$
E	$55 < \dots < 80$
F	$80 < \dots$

3.2 . Webster Yöntemi

İlk olarak Webster tarafından 1958 yılında İngiltere'de önerilen bu yöntem 1965 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Ulaşım Araştırmaları İdaresi tarafından da geliştirilerek daha sonraki bu konuda yapılan çalışmalara ışık tutmuştur.

Webster yöntemine göre ışıklı bir kavşanın kapasitesi kavşaktan geçebilecek taşıt miktarı; bu trafiğin aldığı yeşil süreye ve yeşil süre boyunca dur çizgisini geçen maksimum taşıt sayısına bağlıdır. Yeşil süre başladığı zaman taşıtların normal akış hızına ulaşana kadar bir miktar zamana ihtiyacı vardır. Bu birkaç saniyelik süreden sonra kuyruklanma sabit bir oranda boşalmaktadır ve bu sabit orana bağlı olarak elde edilen değere doygun akım denir [32,35].

Trafik akımının doygun olarak aktığı süreye etkin yeşil süre, kavşağa yeşilde giren son taşıtın kırmızı yandıktan sonra kavşağı güvenle terk etmesi için gerekli olan süreye ise

kayıp süre denilmektedir. Kayıp süre, koruma süresi ya da yeşiller arası süre olarak da tanımlanır. Bu durumda kapasite, etkili yeşil süre ile doğrudan orantılıdır.

Etkili Yeşil Süre;

$$g_i = g - l \quad (3.9)$$

Burada,

Webster yöntemine göre kavşağın kapasitesi, devre içindeki kayıp sürelerin toplamına (L) bağlıdır.

Toplam Kayıp Süre;

$$L = \sum_{i=1}^n (I - a) + \sum_{i=1}^n l \quad (3.10)$$

Burada,

L: Bir devredeki toplam kayıp zaman (sn)

l: i. fazdaki kayıp zaman (sn)

a: Sarı ışık süresi (sn)

I: Yeşiller arası süre (sn)

Webster tarafından geliştirilen optimum devre süresini veren bağıntı Denklem 3.11’de verilmektedir.

$$C_o = \frac{\varphi * L + 5}{1 - Y} \quad (3.11)$$

Burada,

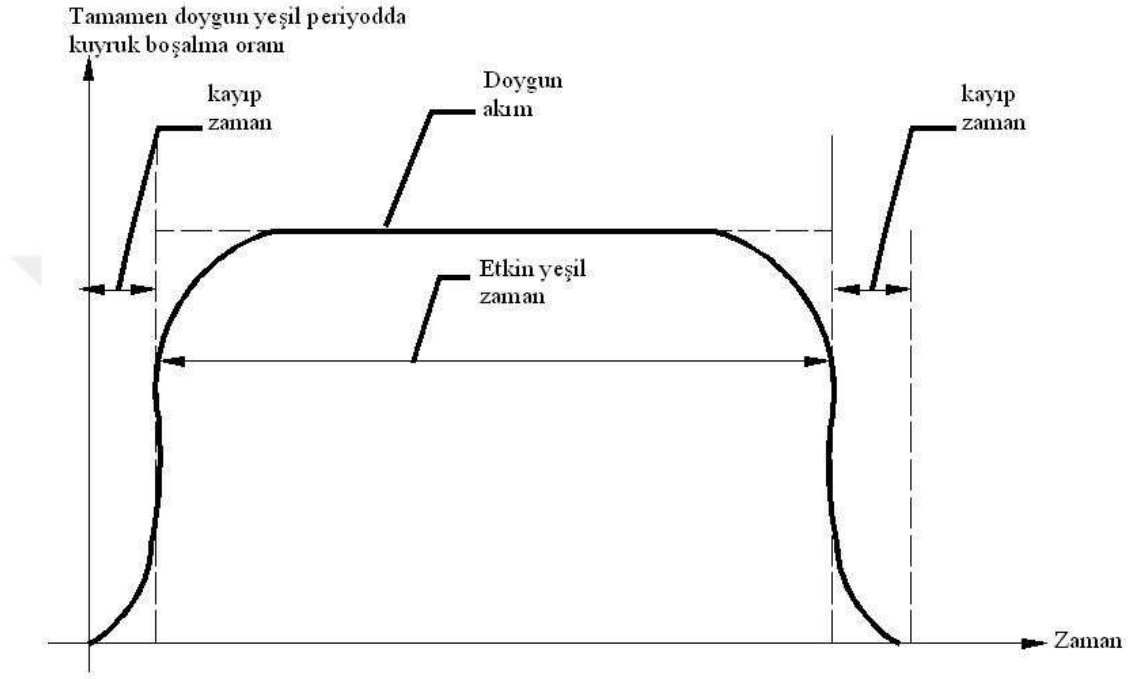
Co: Optimum devre süresi (sn)

Y : Her bir fazdaki kritik akım oranı

φ : 1,2-1,8 arasında bir değer olarak alınan koşullara göre değişken bir katsayı

Doygun Akım Değeri: Temel doymun akım değeri kavşak yaklaşım kolu genişliğine göre hesaplanmaktadır ve trafik kompozisyonu, eğim, sağa ve/veya sola dönen trafik, park şeridi etkisi ve yaya etkisine göre düzeltme yapılmaktadır.

Doygun akım grafik olarak Şekil 3.1'deki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 3.1. İngiliz Yöntemine Göre Doygun Akım Grafiği [36]

Webster Yöntemi'nde doymun akım, kırmızı ışıktaki kuyruktaki duran araçların harekete geçinceye kadar belli bir süre kaybettikten sonra sabit bir orana ulaşan tahliye oranları ile ifade edilmektedir.

Yaklaşım Genişliğinin Etkisi: Doygun akım (S), yolcu taşıt birimi saat ile ifade edilmektedir.

$$s = 160 * w_a \quad (3.12)$$

s : Doygun akım (bo /sa),

w_a : Kavşak yaklaşım kolu genişliği, (ft)

Eğim Etkisi: Her %1 çıkış eğimi için doymun akımın %3 azaldığı, %1 iniş eğimi için doymun akımın %3 arttığı gözlenmiştir.

Trafik Kompozisyonunun Etkisi: Farklı araç türlerinin doymun akıma etkisi otomobil birimi eşdeğerleri kullanılarak yapılmaktadır. Buna göre;

1ağır yük taşıyan araç = 1.75 bo

1otobüs = 2.25 bo

1tramvay = 2.50 bo

1hafif yük taşıtı = 1 bo

1motosiklet = 1/3 bo

1bisiklet = 1/6 bo

Sola Dönen Trafiğin Etkisi: Eğer zıt yönde sola dönen trafik kavşakta kilitlenmelere sebep oluyorsa kavşağın kapasitesi olumsuz etkilenmektedir. Genellikle dört durum söz konusu olmaktadır.

- Zıt yönde akım yok ve özel sola dönüş şeridi mevcut değil ise dönüş akımları dikkate alınmadan diğer kurallara göre doymun akım tahmin edilir.
- Zıt yönde akım yok ve tekil sola dönüş şeridi mevcut ise, sola dönen akımın doymun akımı ayrı bir şekilde bulunur. Buna göre R (dönüş yarıçapı olmak üzere) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

Sola dönüş şeridi tek şerit ise

$$S = \frac{1800}{1 + \frac{5}{R}} \quad (3.13)$$

Sola dönüş şeridi çift şerit ise

$$S = \frac{3000}{1 + \frac{5}{R}} \quad (3.14)$$

- Zıt yönde akım mevcut, tekil sola dönüş şeridi yok ise aşağıda belirtilen gecikme durumları oluşur. Bunlar;
 - a) Zıt trafikten dolayı taşıtlar kendilerini ve dönüş yapmayan diğer taşıtları geciktirir.
 - b) Sola dönen taşıtların var olması direkt geçen taşıtları engeller ve geciktirir.
 - c) Yeşil periyodun sonunda sola dönen taşıtların hala kavşakta mevcut olması tahliye için belli bir süre alarak geçiş fazının başlamasını geciktirir.
- Zıt yönde akım mevcut, özel sola dönüş şeridi var ise, düz geçen trafikte (aynı yaklaşım kolunu kullanan) gecikme olmamalıdır. Fakat sola dönenlerde geçiş fazında bir etki söz konusu olabilir ve bir üst maddedeki şekilde hesaplanır.

Sağa dönen trafiğin etkisi: Doygun akıma sağa dönenlerin etkisi dönüş sayısına ve yaya akımına bağlıdır. Sağa dönen araçlar akımın %10'undan az ise düzeltme gerekmez, %10'dan çok ise 1 sağa dönen araç, 1.25 düz geçen araca eşit olmaktadır.

Park şeridi etkisi: Kavşak dur çizgisinde park varsa yol genişliği park genişliği kadar azaltılır. Bu durumda kayıp yol genişliği:

$$w_{kayıp} = 5.5 - \frac{0.9 * (z - 25)}{g} \quad (3.15)$$

$w_{kayıp}$: Park eden araç yüzünden şerit genişliğindeki kayıp (m),

z : Park eden aracın dur çizgisine olan mesafesi (m).

Gecikme Hesabı: Yaklaşım kolundaki ortalama gecikme aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$d = \frac{c - (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2-5\lambda)} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16'in son kısmı gecikmenin %5-%15 arasında bir değeri ifade eder. Bu sebeple denklemin aşağıda gösterilen daha basit forma dönüştürülmesi mümkündür.

$$d = \frac{9}{10} \left\{ \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right\} \quad (3.17)$$

3.3. Webster Yöntemiyle İlgili Diğer Çalışmalar

2003 yılında Webster'in denklemine göre trafik yoğun olduğunda devre süresi tahmininin yüksek olma nedenini bulmayı amaçlayan Cheng ve arkadaşları minimum gecikmeye dayalı devre süresi tahmin modelleri geliştirmişlerdir [5]. Webster ve HCM2000 denklemlerini inceleyerek Synchro 5 ve HCS yazılımlarını kullanmışlardır. Denklem 3.18-3.20'de geliştirilen üç farklı regresyon modelleri gösterilmektedir.

$$C_{opt} = \frac{1.0L + 7.6}{1-Y} \quad (3.18)$$

$$C_{opt} = \frac{0.6 + 2.90L}{1-Y} \quad (3.19)$$

$$C_{opt} = 1.5Le^{1.8Y} \quad (3.20)$$

Bu modellerden Denklem 3.20'de verilen üstel formdaki modelin diğer modellere oranla ve yüksek trafik hacmi durumlarında Webster Modeline kıyasla optimum devre süresini daha iyi tahmin ettiğini gözlemlemişlerdir.

Cheng ve arkadaşları 2005 yılında regresyon yöntemine dayalı olarak Webster devre süresi modelini geliştirerek ve üstel formda model oluşturarak farklı devre süresi tahmin modelleri ortaya koymuşlardır. Farklı hacim ve kayıp zaman durumlarına göre CORSİM simülasyon programı üzerinden modellerin sonuçlarını HCM2000 sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır [7].

HCS 2000' de optimum devre süresi için optimizasyon motoru olmamasından, optimum devre süresi ve yeşil aralığı, başlangıç değeri türetmek için Synchno 5 programı kullanılarak HCS 2000' de gradyan arama metodu ile toplam kontrol gecikmesi hesaplanmış ve optimum devre süresi bulunmuştur.

Aynı kayıp zaman ve hacimler Webster'in devre süresi modelinde de kullanılarak optimum devre süresi hesaplanmıştır. Webster ve HCM 2000 tahmin sonuçları ile karşılaştırıldığında düşük doyumluk derecelerinde optimum devre süreleri benzer çıkmıştır. Ancak yüksek hacim ve doyumluk derecelerinde Webster Modelinin optimum devre süresi daha yüksek tahminlerde bulunmuştur.

Webster modelini geliştirmek için sunulan üç regresyon modeli aşağıda verilmiştir.

$$C_{opt} = \frac{1.0L + 7.6}{1 - Y} \quad (3.21)$$

$$C_{opt} = \frac{0.6L + 2.9}{1 - Y} + 40 \quad (3.22)$$

$$C_{opt} = 1.5Le^{1.8Y} \quad (3.23)$$

Üstel modelinin hem yüksek hem de düşük hacim durumlarında HCM 2000 metodundan daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

Sinyalize kavşaklarda araç gecikmesini minimuma indiren optimum devre süresini bulmayı amaçlayan Al- Kubaisi 'nin 2012 yılında gözlemlediği trafik hareketlerinden simülasyon modeline dayalı geliştirdiği regresyon modeli aşağıdaki bağıntıda verilmektedir [10].

$$C_{opt} = \frac{2.79L}{1 - Y} + 12.87 \quad (3.24)$$

Geliştirdiği modelin çıktısını doğrulamak için OSCADY/3 yazılım paketi kullanmış ve sonuçların uyumlu olduğunu görmüştür. Bağdat şehrindeki bir kavşak verilerine göre elde edilen devre süresi ve gecikme değerleriyle önerilen modelin sonuçlarını karşılaştırmış ve daha düşük gecikme ve devre süresinin elde edilebildiğini göstermiştir.

Zakariya ve Rabia 2016 yılında Kanada Kapasite Rehberinde ve Otoyol Kapasite Kılavuzunda (HCM) kullanılan zamana bağlı gecikme formülüne göre minimum gecikmeyi veren optimum devre süresini tahmin etmek için regresyona dayalı modeller önermişler ve optimum devre süresini saptamak için arama algoritması geliştirmişlerdir [19].

İlk olarak Webster'in orijinal devre süresi formülünü değiştirerek kayıp zaman, optimum devre süresi ve kavşak akış oranı değerlerini MATLAB yazılımına girerek optimum devre sürelerini veren aşağıdaki bağıntıları elde etmişlerdir.

$$C_{opt} = \frac{1.978L + 5.109}{1 - 0.9013Y} \quad (3.25)$$

$$C_{opt} = 0.625Le^{3.694Y^{1.712}} + 14.87 \quad (3.26)$$

Sonuç olarak önerilen formüllerin düşük doyumluk derecelerinde Webster formülü ile aynı performansa sahip iken kavşaktaki trafik hacmi arttıkça Webster modeline göre optimum devre süresini daha iyi tahmin etmiştir.

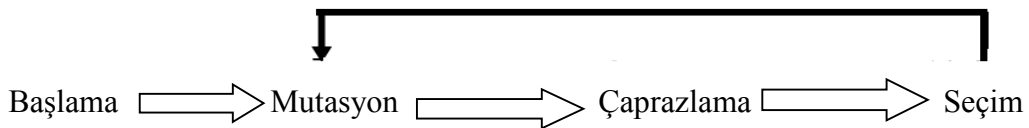
4. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

4.1 . Diferansiyel Gelişim Algoritması

Popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniği olan DGA, Rainer Storn ve Kenneth Price tarafından ortaya atılan Chebyshev polinomsal uyum problemini çözme amacı ile geliştirilmiş, özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu problemlerde etkin sonuçlar verebilen, işleyiş ve operatörleri itibariyle genetik algoritmaya benzeyen popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir [37,38]. GA’da kullanılan çaprazlama, karşılaştırma ve mutasyon işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirildiği için genetik algoritmalarda optimizasyon için uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır. DGA ile gelişime dayalı bir strateji önerilerek bu dezavantajın giderilmesi sağlanmıştır.

GA’daki çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri DGA’da da kullanılmaktadır fakat DGA’da her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanmakta ve DGA’da gelişime dayalı bir strateji önerilerek (gerçek değerlerle kodlama yapılmak şartıyla) problemin çözümüne daha kısa sürede ulaşılmaktadır. Öncelikle başlangıç popülasyonundaki en iyi kromozomlar seçilip çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak yeni bir birey elde edilmekte ve mevcut kromozomlar ile uygunlukları karşılaştırılarak en iyi olan birey seçim operatörü de kullanılarak bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır. Bu şekilde tüm popülasyon, istenilen iterasyon sayısı yada hata değerine ulaşıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemlerine tabi tutulur. Yapılan işlemin amacı ise problemin tüm koşullarını sağlayan en iyi çözüme ulaşmaktır.

Başlangıç, mutasyon, çaprazlama ve seçim olarak 4 temel adımdan oluşan bir yapıya sahiptir.



Şekil 4.1. Temel Adımlar

4.1.1. Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Avantajları

Algoritma temel olarak üç avantaja sahiptir. Bunlar;

- Başlangıç parametrelerine bağlı olmaksızın probleme bağlı olarak global minimumun değerinin bulunması,
- Yerel optimuma hızlı yakınsaması,
- Az sayıda kontrol parametresi kullanılmasıdır.

DGA'nın diğer sezgisel algoritmalara göre önemli bir üstünlüğü de kolayca kodlanabilmesidir.

DGA'nın diğer meta sezgisel yöntemlerden bir diğer farkı, seçim aşamasında, en iyi bireylerin yaşamaya devam etmesi ya da bireylerin her iterasyonda yeniden oluşturulması yerine, popülasyondaki bireylerin iterasyonlar boyunca varlıklarını devam ettirerek ve ancak kendilerinden türetilen daha iyi bir vektörle yer değiştirip, erken yakınsamanın önüne geçmesidir. Algoritma, gerçel sayı formatıyla çalışması sebebiyle, bu formata uygun problemlerde oldukça başarılı sonuçlar vererek çözüm uzayını daha iyi tarayabilmektedir. Tamsayı, kesikli ve sürekli eniyileme problemlerinde kullanılabilen algoritma, hızlı, basit, kolayca kullanılabilir bir yapıya sahip olmasının yanında, hesaplama süresi açısından da avantajlı olması sebebiyle global optimizasyon problemleri için oldukça uygundur. Ancak, sürekli yüzeylerdeki eniyileme problemlerinde oldukça başarılı olmasına rağmen Gezgin Satıcı Problemi(GSP) gibi permütasyonel problemlerdeki başarısı henüz sınırlıdır.

4.1.2. Başlangıç Popülasyonu

Doğru bir şekilde oluşturulduğunda en iyi sonuca ulaştıran başlangıç popülasyonu sezgisel arama yöntemlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. En iyi çözümü bulmak için gereken hesaplama süresi popülasyonun kalitesiyle doğru orantılıdır. Probleme ait karar değişkeni sayısı (D) her bir kromozomun boyutunu belirlerken, popülasyondaki kromozom sayısı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Fakat popülasyon sayısı (NP) 3'den daha az olamaz. Fark vektörü ve baz vektörün elde edilebilmesi için en az 3 farklı kromozoma ihtiyaç vardır. Çünkü DGA da yeni

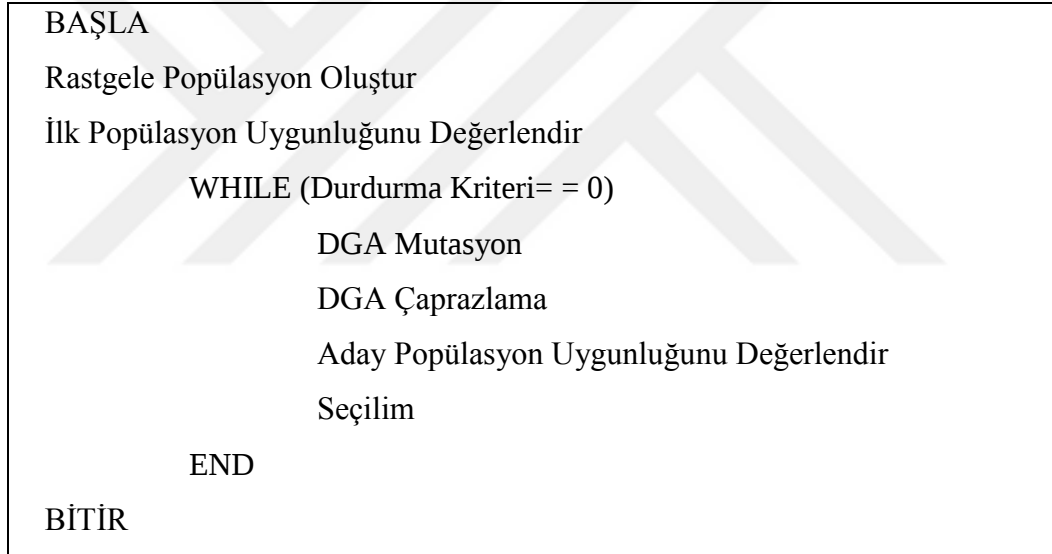
kromozomların üretilmesi için mevcut kromozom dışında üç adet kromozom gerekmektedir ($r_{1,2,3}$).

Genellikle başlangıç popülasyonu her bir parametrenin belirlenen alt ve üst sınırları dahilinde Denklem 4.1’de verildiği gibi elde edilmektedir [39].

$$X_{j,i(0)} = X_{j\min} + rand_j(0,1).(X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (4.1)$$

Buradaki $X_{j\max}$ and $X_{j\min}$ her bir karar değişkeninin alt ve üst sınırı olup $i = 1 \dots NP$ (Popülasyonun sayısı) ve $j = 1,2,\dots,D$ (parametre sayısı)’dır.

Klasik bir DGA’ nın yapısı Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Klasik DGA Algoritması

4.1.3. Mutasyon

Mutasyon, mevcut kromozomun bir kısım genleri üzerinde, rastgele belirlenmiş miktarlarda değişiklikler yapmaktır. Bu değişiklikler sayesinde kromozomunun temsilcisi olduğu çözüm noktası, çözüm uzayında hareket etmektedir. Mutasyonun hedefine ulaşması için, doğru yönde ve doğru miktarda hareketi sağlayacak

değişikliklerin belirlenmesi gerekmektedir. DGA’da bunların belirlenmesi fark vektörüne ve özellikle fark vektörünü oluşturan vektörlere bağlıdır. Böylelikle popülasyon boyutundaki ya da fark vektörleri oluşturmak için kullanılan vektör sayısındaki artış daha fazla alternatif mutasyon yönünü sağlamaktadır.

Diferansiyel gelişim algoritmasında, mutasyon işlemi uygulanacak olan kromozom dışında ve birbirlerinden de farklı olan üç kromozom seçilir (r_1, r_2, r_3). Bu uygulamada r_1 kromozomu her iterasyonda x_{best} olarak belirlenir ve seçilen kromozomlardan ilk ikisinin farkı alınır. Daha sonra bu fark kromozomu F parametresiyle çarpılır. F parametresi genellikle 0.5-1 arasında değerler almaktadır. Elde edilen ağırlıklandırılmış fark kromozomu ile seçilen üçüncü kromozomu (r_3) ile toplanır. Böylece mutasyon sonucu çaprazlamada kullanılacak olan kromozom elde edilmiş olur ($n_{j,i,G+1}$) [40].

Mutasyon işleminde genellikle bir ya da iki tane fark vektörü kullanılır. Eğer bir tane fark vektörü kullanılacaksa Denklem 4.2’de matematiksel ifadesi verilmektedir.

$$X_i'^{(G)} = X_a^{(G)} + F(X_b^{(G)} - X_c^{(G)}) \quad (4.2)$$

$i:1 \dots NP$

$X_i'^{(G)}$: Mutant vektörü

$X_a^{(G)}$: Baz vektörü

G : Nesil numarası

F : Mutasyon katsayısı

$X_b^{(G)}$ ve $X_c^{(G)}$: Vektör farkı oluşturmak amacıyla gelişigüzel seçilen vektör

Mutasyon işleminde DGA birçok farklı strateji sunmaktadır ve bunun ifade şekli /x/y/z’dir. Burada;

x: mutant vektörü oluşturmak için kullanılan baz vektörü,

y: mutasyon işleminde kullanılan fark vektörünün sayısını

z : çaprazlama işleminde kullanılan çaprazlama şemasını ifade eder.

X ile ifade edilen baz vektörü seçerken kullanılan yöntemler “rand, best, rand to best, current ve current to best and current to rand” olarak kullanılmaktadır. Rand işlemi ile baz vektörünün seçimi rastgele olarak yapılmaktadır. Böylece her kromozomun eşit oranda seçilme oranı mevcuttur ve aynı kromozomun birden fazla seçilme ihtimali vardır. Bu durumda en iyi seçim yaklaşımı, kromozomun çoklu seçildiği evrensel stokastik örneklemedir. Kromozomun seçildiğini gösteren permutasyon seçiminde her bir kromozom seçildiğinde sırası karıştırılır ve böylece baz vektör yeni sıraya göre seçilmiş olur [39].

Bir diğer yöntem olan best’te en iyi kromozom baz vektör olarak mutasyonda kullanılabilir ve yakınsama oranı artmış olmakla birlikte erken yakınsama durumuna da olanak sağlayabilir.

Mutasyon işleminde birçok yöntem olmasına rağmen literatürde en çok tercih edilen 4 yöntem mevcut olup bunların matematiksel ifadesi Denklem 4.3-4.6 arasında verilmektedir.

$$DE/rand/1/bin : Vi,g = Xr0,g + F(Xr1,g - Xr2,g) \quad (4.3)$$

$$DE/best/1/bin : Vi,g = Xbest,g + F(Xr1,g - Xr2,g) \quad (4.4)$$

$$DE/best/2/bin : Vi,g = Xbest,g + F(Xr1,g - Xr2,g + Xr3,g - Xr4,g) \quad (4.5)$$

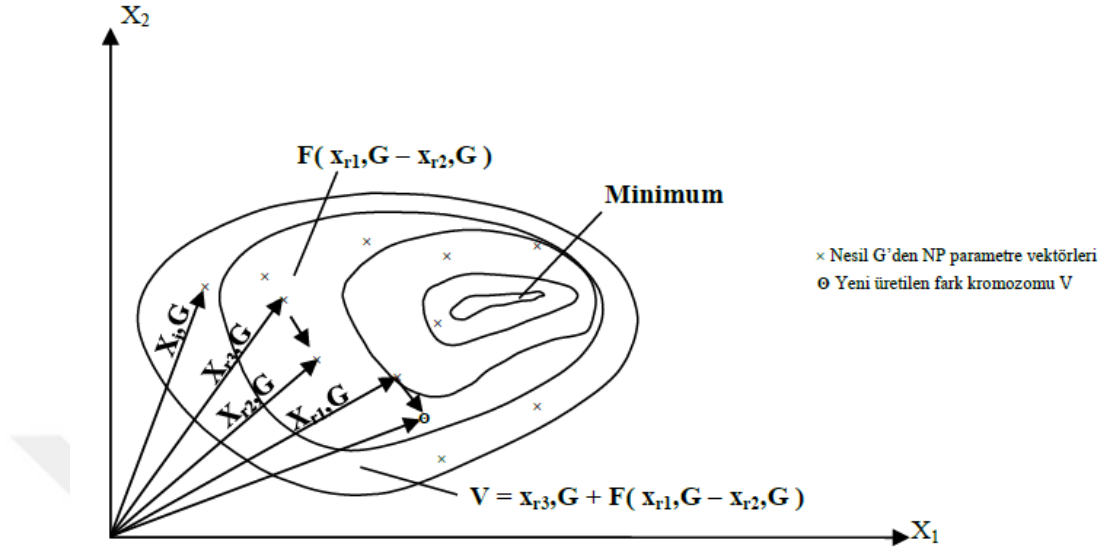
$$Vi,g = Xi,g + F(Xbest,g - Xi,g) + F(Xr1,g - Xr2,g) \quad (4.6)$$

DE/current-to-best/1/bin

Bu denklemlerde; Vi,g mutasyon sonucu oluşturulan mutant vektörü olup $Xi'(G)$ ile aynıdır. $Xbest,g$ popülasyondaki en iyi kromozomu ve $Xr0,g$ rastgele seçilmiş kromozomu ifade eder.

Mutasyon sonucu elde edilen çaprazlama da kullanılacak olan kromozomun gösterimi

Şekil 4.3'te verilmektedir.



Şekil 4.3. Mutasyon Sonucu Üretilen Yeni Fark Kromozomu [41]

4.1.4. Çaprazlama

Çaprazlamanın amacı; var olan vektör parametrelerinden faydalanarak yeni vektörleri oluşturmak suretiyle araştırmanın başarılı olması için yardımcı olmaktır. Sezgisel algoritmalar temelde, oluşturdukları çözüm kümeleri içerisinde en iyi olanı seçerek bir sonuç üretirler. Çaprazlama işlemi, çözüm oluşturacak seçenek sayısının arttırmak ve seçeneklerin çözüm havuzunda farklı yerlerden seçilebilmesini sağlamaktadır.

Çaprazlamada kullanılan metotlar iki terimli (Binomial), üstel (exponential), aritmetiktir [42].

İkili çaprazlama metodunda deneme vektörünü oluşturan vektörler çaprazlama oranı ile mutant vektöründen ve hedef vektörden seçilir. Her bir vektörün seçimi birbirinden

bağımsızdır. Bundaki amaç deneme vektörünün hedef vektörün tekrarı olmasını engellemek ve deneme vektörünü oluşturan vektörlerden birinin mutant vektöründen olmasına zorlamaktır. Bu şartlar altında yapılan çaprazlama metodunun ifadesi Denklem 4.7' de verilmektedir.

$$X_i^{''(G)} = \begin{cases} X_i^{'(G)} & \text{if } rand_j(0,1) \leq C_r \text{ or } j = j_{rnbr(i)} \\ X_i^{'(G)} & \text{if } rand_j(0,1) > C_r \text{ or } j \neq j_{rnbr(i)} \end{cases} \quad (4.7)$$

$X_i^{''(G)}$ olarak ifade edilen deneme vektörü 0 ile 1 arasında bir değer alırken, $rnbr(i)$ ise 0 ile D arasında bir değer alır. p_m mutant vektörünün parametre olasılığı çaprazlama oranı ile farklı olduğu için vektörlerden birinin mutant vektörü olması sağlanır ve popülasyonun ihtimaline de bağlıdır. Bu ihtimal:

$$p_m = CR \left(1 - \frac{1}{D}\right) + \frac{1}{D} \quad (4.8)$$

İhtimalin oranı ile popülasyondaki parametre sayısını çarptığımız zaman, mutant vektöründen alınabilecek parametrelerin sayısını elde edilir ve ifadesi Denklem 4.9'da verilmektedir.

$$E(L) = NP * p_m \quad (4.9)$$

Üstel metot, genetik algoritmada tercih edilen çaprazlama ile aynı olarak bir ya da iki noktadaki çaprazlama operatörü gibidir. Rastgele seçilen iki kromozom seçilir. Bu kromozomlar yeni birey üretmeye hazırdır. Bu iki kromozomun ilerisinde gelişigüzel bir nokta seçilir ve iki kromozomun birbirine yakın olması durumunda, aynı yeni birey oluşur. İki kromozomun birbirine uzak ise iki ayrı nokta seçilir. Biri mutant vektörü, öteki ise hedef vektörden alınmış olur.

Üstel çaprazlama metodunun ifadesi Denklem 4.10' da verilmektedir.

$$X_i^{''(G)} = \begin{cases} X_i^{'(G)} & \text{if } j = (n)_D, (n+1)_D \dots (n+L-1)_D \\ X_i^G & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.10)$$

n : Rastgele bir sayı (1 ile D arasında)

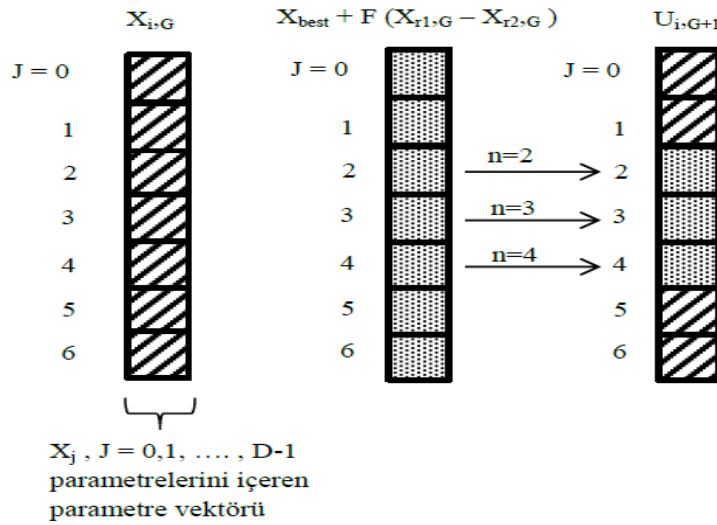
$(n)_D$: n/D bölümünün kalan ifadesi

Hem genetik algortmada hem de diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan aritmetik çaprazlama metodunda hedef vektör ile mutant vektör beraber çalıştırılır ve ifadesi Denklem 4.11' de verilmektedir.

$$X_i^{''(G)} = (1 - q)X_i^{(G)} + qX_i^{'(G)} \quad (4.11)$$

q : Ağırlık katsayısı (Mutant ve hedef vektör arasındaki denge sağlayıcıdır.)

Çaprazlama sonucu oluşturulan aday deneme kromozomu üretimi Şekil 4.4.'te verilmektedir.



Şekil 4.4. Yeni Popülasyona Aday Deneme Kromozomu Üretimi [41]

4.1.5. Seçim

Seçim operatörü ile mevcut jenerasyon ve üretilen yeni kromozomlar değerlendirilerek yeni jenerasyon oluşturulur. Kromozomların yeni jenerasyonda yer alma olasılıkları uygunluklarına bağlıdır. DGA’ da karşılaştırma birebir yapıldığından seçim için karmaşık prosedürü olan seçim operatörlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Karşılaştırılan kromozomlardan uygunluğu yüksek olan kromozom yeni jenerasyonun bireyi olarak atanmaktadır. Eğer deneme vektörü daha iyi bir değere sahip ise yeni jenerasyona aktarılır, bunun tersi bir durum söz konusu olduğunda mevcut jenerasyon işlevini sürdürmeye devam eder. Bunun ifadesi Denklem 4.5’de verilmektedir.

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} x_{u,G+1} & \text{eger } f(x_{u,G+1}) \leq f(x_{i,G}) \\ x_{i,G} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.5)$$

Diferansiyel gelişim algoritmasında temel adımlar uygulanırken kullanılan parametreler Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması Parametreleri

Sembol	Açıklama
NP	Popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı) $NP \geq 4$ (1,2, ...i)
D	Karar değişkeni sayısı (gen sayısı) (1,2,3, ..i)
CR	Çaprazlama oranı [0.1,1.0]
G	Jenerasyon Sayısı (1, 2, 3, ..., Gmax)
F	Ölçekleme faktörü [0.1,2]
$x_{j,i,G}$	G nesli için, i kromozomunun j parametresi (gen)
$n_{j,i,G+1}$	Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom
$u_{j,i,G+1}$	$x_{j,i,G}$ ‘den bir sonraki jenerasyon için üretilen kromozom (child-trial)
R,1,2	Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilmiş kromozomlar $r1,2,3 \in \{1,2,3, \dots, NP\}$ $r1 \neq r2 \neq r3 \neq i$
x_j^u, x_j^l	Değişkenlerin üst ve alt limitleri

4.2. Çiçek Tozlaşma Algoritması

Doğada çeyrek milyondan fazla çiçekli bitki türü olduğu ve bütün bitki türlerinin yaklaşık %80'inin çiçekli türler olduğu tahmin edilmektedir. Çiçekli bitkiler en az 125 milyon yılda evrim geçirmekte ve çiçekler bitki dünyası için büyük önem arz etmektedir.

Bir çiçeğin temel amacı, tozlaşma ile çoğaltılmasıdır. Çiçek tozlaşması tipik olarak polenlerin transferiyle ilişkilidir ve bu transferler genellikle böcekler, kuşlar, yarasalar ve diğer hayvansal tozlayıcılarla gerçekleştirilmektedir. Aslında, bazı çiçekler ve böcekler çiçek tozlaştırıcı ortaklığını çok özel bir uzmanlığa dönüştürmüşlerdir. Örneğin, bazı çiçekler yalnızca çekebilir ve başarılı tozlaşma belirli bir böcek veya kuş türüne bağlıdır.

Karmaşık yapıya sahip pek çok problemin analitik yöntemler ile çözüme kavuşturulamamasından araştırmacılar farklı yaklaşımlara yönelmişlerdir. En kısa sürede en iyi sonuca ulaşmak için sezgisel ve meta sezgisel optimizasyon yöntemleri birçok probleme uygulanmıştır. Bu süreçte evrimdeki çiçeklerin amacının türün hayatta kalması, sayı ve nitelik açısından en uygun popülasyonun üretilmesi olduğu kanısından yola çıkılarak 2012 yılında Xie-She Yang tarafından Çiçek Tozlaşma Algoritması (ÇTA) ortaya konulmuştur [43]. Doğanın bu ilginç işleyişinden ilham alınarak ortaya konan bu algoritma meta sezgisel yöntemlerden birisi olup, temel olarak çiçekli bitkilerin üreme sürecinden ilham alınarak geliştirilmiştir.

Çiçek tozlaşmasında asıl amaç, en uygun canlılığın ve optimum biyolojik üreme evresinin sağlanmasıdır. Polenleşme işlemi biyotik ve abiyotik olmak üzere iki farklı tipte gerçekleşmektedir. Tüm türlerin %90'ına yakını polenleşmede biyotik yöntemi kullanıp ve üremeyi sağlayıcı polenler kuşlar böcekler gibi hayvanlar yardımı ile taşınarak üreme işlemi gerçekleştirirken, %10 oranında herhangi bir tozlaştırıcı olmadan abiyotik üreme gerçekleştirirler. Geri kalan çiçeklerde üremek için rüzgar ve sudaki difüzyon gibi doğal olayları kullanmaktadır.

Polenleme aprazlama (cross) veya kendi kendine (self) olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Çapraz polenlemede farklı tür çiçeklerden gelen polenler kullanılırken, kendi kendine polenlemede bitki kendisinin ürettiği poleni ya da aynı türden farklı bir çiçekten polen kullanılmaktadır. Biyotik polenleme uzak mesafelerde bulunan kaynaklardan arılar, sinek, kuşlar gibi doğal taşıyıcılar kullanılarak gerçekleşebilir. Bu işlem global bir işlem olmakla beraber yapılan araştırmalarla taşıyıcıların hareket karakteristiği Levy uçuşuna benzerlik göstermektedir. Aşağıdaki 4 temel kural kullanılarak mühendislik problemlerinin czm için iek polenleme algoritması geliştirilmiştir.

Bu kurallar;

1. Biyotik ve çaprazlama polenleme işlemi taşıyıcıların Levy uçuşuna uygun şekilde davranarak gerçekleştirilen küresel polenleme işlemidir
2. Abiyotik ve kendiliğinden gerçekleşen polenleme işlemi yerel polenleme işlemi olarak kabul edilmektedir.
3. iek sabiti adı verilen katsayı üretim olasılığı olarak ifade edilir ve iek türlerinin benzerliği ile orantılı olarak değişirmektedir.
4. Yerel ve global polenleme işlemi [0-1] aralığında belirlenen geçiş olasılığı değişkeni ile kontrol edilir.

Gerçek durumda her bir türün birden fazla çiçeği ve her bir çiçeğin milyarlarca polen gameti bulunmasına rağmen algoritma oluşturulurken kolaylık olması açısından her türün tek çiçeği ve her çiçeğin tek bir polen gameti ürettiği varsayımı kabul edilmiştir. Bu sayede polenleri ayrı ayrı ifade etme ve belirleme zorunluluğu ortadan kalkmıştır.

iek sabitesinin matematiksel ifadesi Denklem (4.6) ile aşağıda gösterilmiştir.

$$x^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(g^* - x_i^t) \quad (4.6)$$

Burada ;

x^{t+1} : czm vektörü,

g^* : mevcut en iyidir

γ : adım boyutunu ayarlama faktörüdür.

Lévy dağıtımı tozlaşma kuvvetini karşılamak için kullanılır. Böcekler uzun mesafeli seyahat ederken, böceklerin hareketi Lévy dağılımına göre gösterilebilir. Lévy'nin matematiksel ifadesi Denklem 4.7 ile aşağıda verilmektedir.

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}}, (s \gg s_0 > 0) \quad (4.7)$$

Burada;

$\Gamma(\lambda)$ standart gama fonksiyonudur(s adım büyüklüğündedir).

Bu dağılım $s > 0$ büyük adımlar için geçerlidir. Teoride, $s_0 \gg 0$ gereklidir, ancak uygulamada s_0 0.1 kadar küçük olabilir.

Yerel tozlanma için, Kural 2 ve Kural 3, aşağıdaki Denklem 4.8 ile gösterilmiştir.

$$x^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t) \quad (4.8)$$

Burada x_i^t ve x_k^t aynı bitki türlerinin farklı çiçeklerinden gelen polen türüdür.

Levy dağılımını kullanarak arama uzayında birçok çözüm noktasının araştırılması bu algoritmanın optimizasyon için en önemli özelliği oluşturmaktadır. Algoritmanın optimizasyon mantığını çiçeklerdeki gibi biyotik tozlaşma modeliyle uzak mesafelerdeki çözüm noktalarının belirlenmesi ve abiyotik tozlaşma modeliyle çözüm noktalarının komşuluğunun araştırılması oluşturmaktadır. Algoritmanın çalışma adımlarını gösteren Pseudo kodu ise aşağıda verilmektedir [43].

Amaç fonksiyonu: $f(x)$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)$

Rastgele başlangıç popülasyonunu üret. (n : Polen sayısı)

Başlangıç popülasyonu için en iyi çözümü hesapla g^*

Olasılık anahtarı $p \in [0, 1]$

while($t < \text{Max İterasyon}$)

for $i = 1 : n$

if $\text{rand} < p$ (üniform dağılım)

Levy dağılımı L (*Parametre sayısı kadar*)

 Biyotik üreme $x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda) (g_* - x_i^t)$

else

Draw ϵ (Üniform dağılıma göre $[0,1]$)

 Rastgele j ve k çözümlerini seç

 Abiyotik üreme $x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t)$

end if

Yeni çözümü al ve kontrol et

 Yeni çözüm daha iyiye popülasyonu güncelle

end for

 En iyi çözümü seç g_*

end while

Şekil 4.5. Önerilen Çiçek Tozlaşma Algoritmasının Pseudo Kodu [43]

5. SİMÜLASYON VE MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

5.1. PTV VISSIM

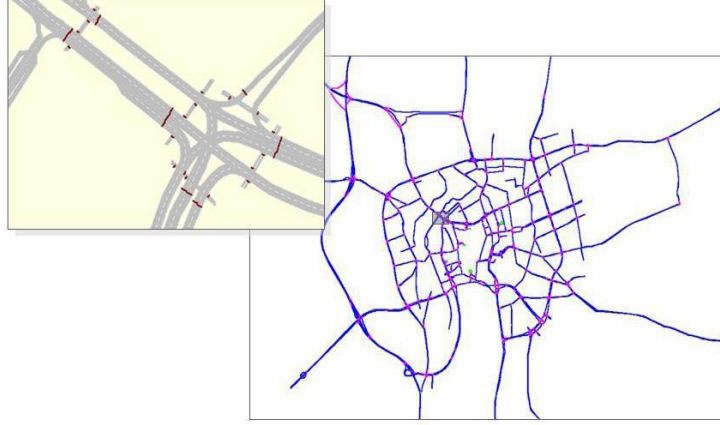
Bu çalışmada, sinyalizasyon bir kavşaktaki minimum gecikmeyi veren optimum devre süresi değerinin diferansiyel gelişim ve çiçek tozlaşma algoritmalarıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle çalışmada devre süresini etkileyen bağımsız değişkenlerin ve bu bağımsız değişkenlerin oluşturduğu farklı trafik durumları için devre süresi değerlerinin elde edilmesi önemli bir unsurdur. Bu noktada optimum devre süresinin en doğru şekilde elde edilmesi için farklı trafik durumları simülasyon ortamında daha kolay oluşturulduğundan ve bu esnada bazı parametrelerde sabit tutulabildiğinden bu çalışmada VISSIM simülasyon programından yararlanılmıştır.

VISSIM, kırsal ve kentsel düzenin yaya ve taşıt akışını modellemek için kullanılan davranış esaslı, mikroskobik, zaman artışına yönelik simülasyon programıdır.

Bir zaman adımı ve davranışsal tabanlı mikroskobik trafik akışı simülasyon yazılım paketi olan PTV VISSIM 1992 yılında Almanya, Karlsruhe’de PTV Planung Transport Verkehr AG tarafından geliştirilmiştir [44]. “VISSIM” yazılımının adı “Şehirlerde simülasyon modeli” (i) anlamına gelen “Verkehr In Städten - SIMulationsmodell (simülasyon modelleri)” den türemiştir.

Gerçekçi şehir modellemesi ve analiz etme, yaya hareketi ve şehirler arası trafik modelleme amaçlı bir simülasyon modeli olan VISSIM, trafiğin yanında demiryolu ve karayolu temelli toplu taşıma (TT) sistemlerini de modelleyebilmektedir.

VISSIM en karmaşık yol ağlarında dahi çözüm üretebilmektedir ve Şekil 5.1’ de kavşaklara ait ağlar verilmektedir.



Şekil 5.1. Tek Kavşaklar ve Ağlar [44]

VISSIM, şehir trafiğini modelleme ve analiz etme, farklı şerit konfigürasyonları altında toplu taşıma işlemleri, araç kompozisyonları ve trafik kontrol stratejileri gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca, özellikle yaya akışlarını modelleme ya da taşıma işlemleri ile birleşme yeteneğine de sahiptir.

VISSIM gerçek hayatta trafik dedektörleri üzerinden alınabilecek mikroskobik akım parametrelerinin sanal ortamda üretilebilmesi ve simülasyon sürecinde trafiğin görünüşü ve kontrol parametrelerine ilişkin verilerin monitörden canlı olarak izlenebilmesi gibi yenilikleri ile aynı amaç için kullanılan farklı simülasyon programlarına göre daha esnek kullanım imkanına sahiptir [44].

VISSIM, çok şeritli bir yol üzerindeki taşıtların davranışını belirlerken, hem aynı şeritteki birbirini takip eden araç davranışlarının etkileşimlerini hem de komşu şeritlerdeki taşıt davranışlarının etkilerini de dikkate alarak kavşağa yaklaşan taşıtların, duruş çizgisine 100 metreden daha yakın mesafede şerit değişimine izin vererek kuyrukların bir şerit boyunca uzamasını engellemektedir.

VISSIM, her sürücü-taşıt biriminin davranışına ilişkin karakteristikleri belirlemek için aşağıda belirtilen üç ayrı gruptaki etkenlere göre değerlendirme yapmaktadır.

- **Taşıtın teknik özellikleri:** Uzunluk, maksimum hız, hızlanma potansiyeli, güncel konum, güncel hız ve ivme
- **Sürücü-taşıt biriminin davranışı:** Sürücünün psiko-fiziksel hassasiyet eşiği (uyumluluğa yatkınlık veya agresiflik gibi), sürücü hafızası, sürücünün istediği hız ve yürürlükteki hıza bağlı hızlanma
- **Trafiğin çevresel referansları:** Önde giden ve takip eden araçların kendi şeritleri ve bitişik şeritlere göre belirlenen bağımsız hareket sınır değerlerine ilişkin referanslar, yürürlükteki yol ve bir sonraki kavşağa göre belirlenen referanslar, bir sonraki trafik ışıklarına göre belirlenen referanslar

Wiedamann Parametreleri

VISSIM Wiedamann 74 ve Wiedamann 99 olmak üzere iki tür parametre kullanılmaktadır. Wiedamann 74 kentsel trafik ve birleşim yolları için, Wiedamann 99 ise birleşim yolları olmaksızın otoyol trafiği için uygundur.

Wiedamann 74 için parametreler aşağıda verilmiştir.

- Ortalama durma mesafesi
- Güvenlik mesafesinin ek parçası
- Güvenlik mesafesinin ek parçası
- Güvenlik mesafesinin çoklu parçası

The screenshot shows a software window titled 'Driving Behavior'. At the top, there are fields for 'No.: 1' and 'Name: Urban (motorized)'. Below this, there are four tabs: 'Following' (selected), 'Lane Change', 'Lateral', and 'Signal Control'. The 'Following' tab contains several parameter groups:

- Look ahead distance:** min.: 0,00 m, max.: 250,00 m, and a dropdown menu set to '4 Observed vehicles'.
- Look back distance:** min.: 0,00 m, max.: 150,00 m.
- Temporary lack of attention:** Duration: 0 s, Probability: 0,00 %.
- Smooth closeup behavior:** A checked checkbox.
- Standstill distance (in front of static obstacles) is fix:** A checkbox and a text box containing '0,50 m'.
- Car following model:** A dropdown menu set to 'Wiedemann 74'.
- Model parameters:**
 - Average standstill distance: 2,00 m
 - Additive part of safety distance: 2,00
 - Multiplic. part of safety distance: 3,00

Şekil 5.2. Wiedemann Parametreleri

Wiedemann 99 için parametreler ise aşağıdaki gibidir.

- CC0 (Durma Mesafesi)
- CC1 (Seyahat Süresi)
- CC2 ('Takip Eden' Varyasyon)
- CC3 (Girme Eşiği Takip Eden)
- CC4 (Negatif Eşik 'Takip Eden')
- CC6 (Salınım Hız Bağımlılığı)
- CC7 (Salınım İvmesi)
- CC8 (Durma İvmesi)
- CC9 (80 Km/sa Hızlanma)

Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Lane Change Lateral Signal Control

Look ahead distance

min.: 0,00 m

max.: 250,00 m

4 Observed vehicles

Look back distance

min.: 0,00 m

max.: 150,00 m

Temporary lack of attention

Duration: 0 s

Probability: 0,00 %

☒ Smooth closeup behavior

Standstill distance (in front of static obstacles) is fix 0,50 m

Car following model

Wiedemann 99

Model parameters

CC0 (Standstill Distance):	1,50 m
CC1 (Headway Time):	2: 0,9 s
CC2 ('Following' Variation):	4,00 m
CC3 (Threshold for Entering 'Following'):	-8,00
CC4 (Negative 'Following' Threshold):	-0,35
CC5 (Positive 'Following' Threshold):	0,35
CC6 (Speed dependency of Oscillation):	11,44
CC7 (Oscillation Acceleration):	0,25 m/s ²
CC8 (Standstill Acceleration):	3,50 m/s ²
CC9 (Acceleration with 80 km/h):	1,50 m/s ²

Şekil 5.3. Wiedemann 99 Parametreleri

5.2. VISSIM' in Özellikleri

VISSIM sisteme girilen birleşim geometrisi ve öncelikli sinyali göz önüne alarak toplu taşıma, yaya ve bisiklet, motorlu özel taşımacılık gibi birleşenlerin modellenebileceği bir mikro benzetim programıdır. Yazılım, yol bağlantılarından sürücü ve taşıt parametrelerine kadar sinyal denetleyicileri, emisyon modelleri gibi sistemlere de hitap edecek şekilde tasarlanmıştır.

Kavşak Geometrisi: VISSIM ile herhangi bir düğüm geometrisini, basit kavşaklardan, sinyal kontrollü düğüm noktalarına, toplu taşıma önceliğinden yaya etkilişimine kadar modellemek ve işaretlemek mümkündür.

Sinyal Kontrolü: VISSIM, trafik sinyalleri, trafik akışları gibi alanlar da etkili bir programdır.

- Sinyalize kavşaklar için seyahat rağbeti senaryolarını simüle eder.
- Trafik hareket kontrolünü karmaşık algoritmalarda bile etkili veri girişiyle analiz eder.
- Uygulamaya geçilmeden önce hız kesiciler için yapım ve sinyal planları simüle eder ve oluşturur.
- VISSIM, sinyal kontrollerinin etkisini denetlemenize imkân tanıyan çok sayıda test fonksiyonları sunar.

Multimodal Sistemler: VISSIM, dünyanın tek mikro benzetim aracı olarak tüm nakliye modlarını temsil etmek ve etkileşimleri simüle etmek için kullanılır. VISSIM’de kullanıcının yerel koşullara uyarlayabileceği yol seçimi, şerit seçimi, şerit değiştirme veya taşıt takip davranışını doğru bir şekilde taklit edebilmek için çeşitli modeller uygulanmaktadır. Buna Wiedemann’ın araç takip modeli, kural tabanlı bir şerit değiştirme modeli ve yaya dinamikleri için sosyal güç modeli dahildir ve sonuç olarak 82 farklı çok modlu senaryolar gerçekçi olarak modellenebilmektedir

Toplu taşıma: Kullanıcılara toplu taşıma sistemlerini ayrıntılı olarak göstermek için PTV VISUM’da planlanan toplu taşıma modellerini VISSIM’ e aktarabilmektedir. Program bekleme sürelerini, zaman çizelgelerini, toplu taşıma hatlarını, farklı taşıt türlerini, durakları, tanımlamayı sağlar ve toplu taşıma önceliği sinyalizasyonunda modelleyebilmektedir. Simülasyon yapılarak planlanan bir zaman çizelgesinin gerçekte ne kadar çalıştığını ve planlanan bağlantı sürelerinin yolcular için uygun olup olmadığını öğrenmek mümkündür. Bu, VISSIM çok modlu aktarma durakları için ideal planlamacı yapmaktadır.

- Otobüs, tramvay, metro, hafif yaylı taşıma, günlük raylı ulaşım sağlanan sistemler için detaylı bir şekilde modelleme yapar.
- Dahili endüstriyel standart sinyal önceliği kullanarak ulaşımın belirli işlevsel gelişmelerini analiz eder.
- Özel toplu taşıma yolları ve farklı durak lokasyonları için birbirinden farklı rotalar gösteren birkaç yaklaşımı karşılaştırır ve simüle eder.
- Değişebilir, trafik hareket sinyal kontrollerini ulaşım araçlarına öncelik tanıyarak test eder ve optimizasyonunu sağlar.

Otoyol trafiği : Otoyollardaki hizmet seviyesinin değerlendirilmesi, seyahat süreleri ve sıra uzunlukları gibi makroskopik değerşkenlere dayanır. VISSIM bir araya getirilmiş ayrıntılı geometri ve mikroskobik davranış modelleri aracılığı ile gerçekçi sonuçlar verir.

Emisyon modellemesi: Trafik çalışmalarında emisyonlar her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. TNO'dan VERSIT ve egzoz emisyon modeline dayanan eklenti modülü, EnViVer'ı kullanarak, taşıt yörüngeleri ve VISSIM den gelen diğer bilgiler ile kirletici emisyonların tespiti mümkündür.

Özel bir senaryonun test edilmesi: VISSİM otomobil üreticilerine, hız sınırları olan veya olmayan otobanlarda, şehir trafiği bağlamında özerk taşıtların davranışını test edebilecekleri sanal gerçeklik testlerine olanak sağlamaktadır. Kullanıma hazır standart ve özelleştirilebilir trafik senaryolarının hazırlanmasıyla yazılım, kullanıcıların dünya üzerindeki her noktada, mevcut tüm yerel koşulların simüle edilebilmesinesağlar. Yağmur, sis veya kar gibi hava koşulları da programda tanımlanabilmektedir.

Yol Ayrım Geometrisi Karşılaştırması

- Yol ayrım geometrisini çeşitli şekillerde modeller.
- Çeşitli açılardan karmaşıklaşan trafik varyasyonlarını simüle eder.

Trafik Gelişim Planlaması

- Kentsel gelişim planlarının etkisini analiz eder ve modeller.
- Şantiye alanlarının kurulum ve koordinasyonunda yazılım desteği sağlar.
- Park araştırması, araç park alanlarının boyutu ve bunların park etme tutumuna etkisini simüle eder.

Kapasite Analizi

- Karmaşık kavşak sistemlerinde trafik akışını gerçeğe uygun olarak modeller.

- Düzensiz iki yeşil ışık arası zaman farkı ve kavşaklar arasında geçmeli tarama trafik akışının, yaklaşan trafik yoğunluğunun etkilerini grafiksel olarak gösterir ve nedenini açıklar

Trafik Kontrol Sistemleri

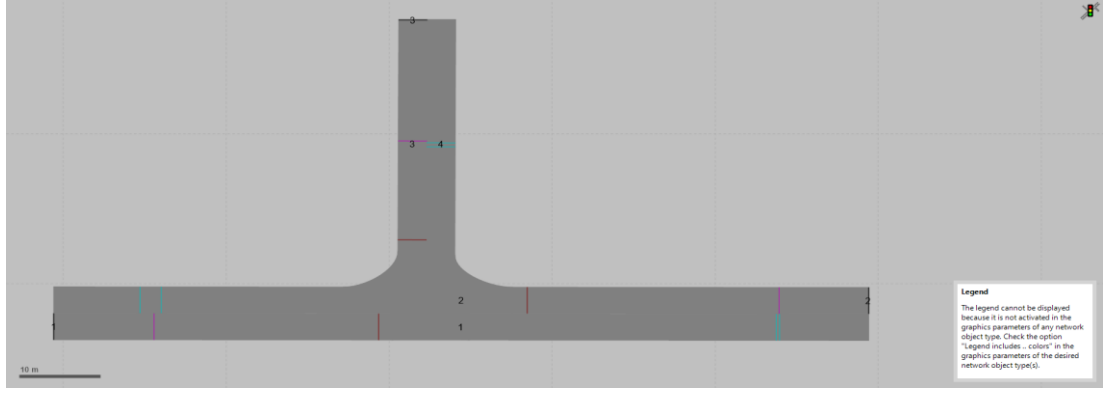
- Çok sayıda trafik parametrelerine ilişkin simülasyonları analiz eder. (hız, sefer süresi, rötarlar)
- Değişken mesajlı işaretlerin ve trafik hareket kontrolünün etkilerini inceler.
- Trafik akışının hızını artıracak çözümler geliştirir.

Sinyal Sisyemleri Yönetimi ve Zamanlamayı Yeniden Düzenleme Çalışmaları

- Sinyalize kavşaklar için seyahat talebi senaryolarını simüle eder.
- Trafik hareket kontrolünü karmaşık algoritmalarda bile etkili veri girişiyle analiz eder.
- Uygulamaya geçilmeden önce hız kesiciler için yapım ve sinyal planları simüle eder ve oluşturur.

5.3. VISSIM İle Benzetimi Yapılan Kavşağın Geometrik Özellikleri

VISSIM programı ile bu tez çalışması için üç kollu sinyalize bir kavşak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kavşak iki şeritli olup sabit zamanlı sinyalizasyon kullanılmıştır. Kavşağın geometrik yapısı Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Kavşak Geometrisi

Oluşturulan kavşağın geometrik özellikleri şu şekildedir:

- Şerit genişliği olarak 3,5 m tercih edilmiştir.
- Kavşak kolları eğimsiz kabul edilmiştir.
- Her bir kolun uzunluğu 500 m olarak seçilmiştir.
- Her koldan gelen taşıt hacimleri sağ, sol ve düz yönlerde hareket edebilmektedir.
- Gelen trafik hacimleri %70 otomobil, %20 kamyon, pikap vs. ve %10 otobüs olarak belirlenmiştir.

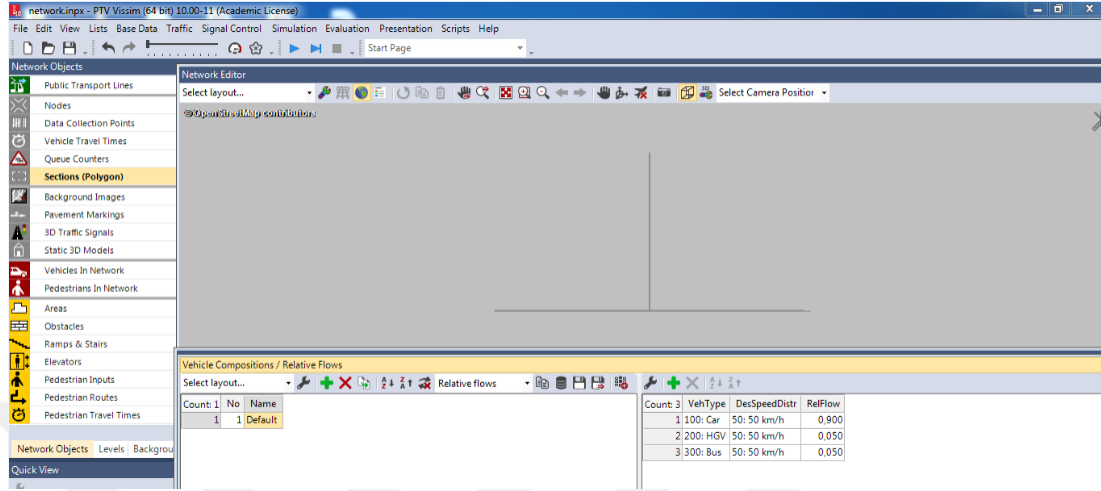
3 kollu olarak oluşturulan sinyalizasyon kavşağında farklı trafik durumlarının değerlendirilebilmesi ve kritik akım oranı aralığını koruyabilmek için 180 araç/saat ile 576 araç/saat arasında değişen farklı trafik hacimleri belirlenmiştir. Kavşak kollarının boşalımı esnasında ortalama taşıt aralıkları 2 sn kabul edildiğinden doygun akım değeri 1800 araç/saat olarak hesaplanmış ve kayıp zaman süresinin 6 sn. ile 15 sn. arasında değişen farklı trafik durumları oluşturulmuştur. Kavşak üzerinde sinyalizasyon sistemi kurulmuş olup, 3 fazda işletilecek şekilde ayarlanmıştır. 1. fazda batı yönündeki koldan gelen trafik hacimleri, 2. fazda doğu yönünden gelen trafik hacimlerinin hareketini ve 3. fazda ise kuzey yönünden gelen trafiğin hareketine izin verilmiştir. Sarı süreleri 1 sn. ile 3 sn. arasında değiştiğinden farklı kayıp süreler elde edilmiştir. Her yöne kırmızı süresinin ise 1sn. ile 2 sn. arasında farklı kombinasyonu kullanılmıştır. Böylece 266 farklı trafik durumunu içeren veri seti oluşturulmuştur.

Kayıp zamanın 6 sn. değeri için farklı trafik durumlarını gösteren veri seti Tablo 5.1 ile gösterilmiştir. Diğer kayıp zamanlar için ise Ekler bölümünde yer almaktadır.

Tablo 5.1. Kayıp Zaman 6 sn İçin Oluşturulan Veriler

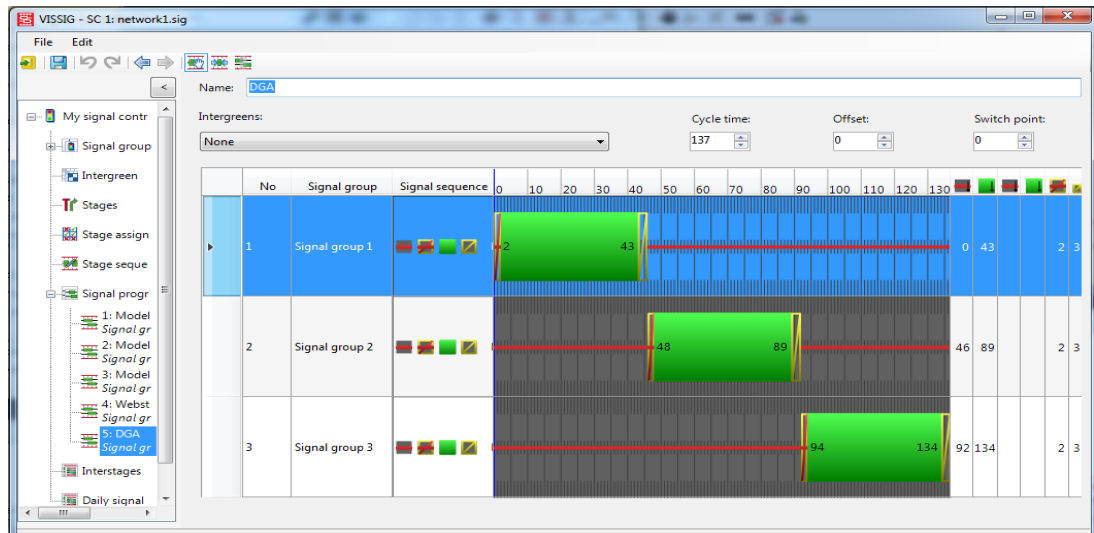
Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
1	3	1	1	6	1800	180	180	180
2	3	1	1	6	1800	270	180	180
3	3	1	1	6	1800	270	270	180
4	3	1	1	6	1800	270	270	270
5	3	1	1	6	1800	360	180	180
6	3	1	1	6	1800	360	270	180
7	3	1	1	6	1800	360	270	270
8	3	1	1	6	1800	360	360	180
9	3	1	1	6	1800	360	360	270
10	3	1	1	6	1800	360	360	360
11	3	1	1	6	1800	450	180	180
12	3	1	1	6	1800	450	270	180
13	3	1	1	6	1800	450	270	270
14	3	1	1	6	1800	450	360	180
15	3	1	1	6	1800	450	360	270
16	3	1	1	6	1800	450	360	360
17	3	1	1	6	1800	450	450	180
18	3	1	1	6	1800	450	450	270
19	3	1	1	6	1800	450	450	360
20	3	1	1	6	1800	450	450	450
21	3	1	1	6	1800	540	180	180
22	3	1	1	6	1800	540	270	180
23	3	1	1	6	1800	540	270	270
24	3	1	1	6	1800	540	360	180
25	3	1	1	6	1800	540	360	270
26	3	1	1	6	1800	540	360	360
27	3	1	1	6	1800	540	450	180
28	3	1	1	6	1800	540	450	270
29	3	1	1	6	1800	540	450	360
30	3	1	1	6	1800	540	450	450
31	3	1	1	6	1800	540	540	180
32	3	1	1	6	1800	540	540	270
33	3	1	1	6	1800	540	540	360
34	3	1	1	6	1800	540	540	450
35	3	1	1	6	1800	540	540	540
36	3	1	1	6	1800	558	558	540
37	3	1	1	6	1800	576	558	558
38	3	1	1	6	1800	576	576	558

Aşağıda Şekil 5.5’ te kurulan sinyalizasyon sistemindeki araç tiplerinin hız ve yüzdelikleri verilmiştir.



Şekil 5.5. VISSİM Programına Girilen Araç Tipleri

Şekil 5.6’ da belirlenmiş olan faz sisteminin PTV VISSIM programına aktarılmış hali gösterilmektedir. İlk 41 saniye 1. faz için yeşil yanarken 43 ile 46 saniye arası 1. Faz için yeşilden kırmızıya geçiş için kaybedilen süreyi, 2. Faz için ise kırmızıdan yeşile geçişte kaybedilen süreyi ifade etmektedir.



Şekil 5.6. Oluşturulan Devre Diyagramının VISSİM Programında Gösterimi

Simülasyon sonuçlarına göre elde edilen gecikme değerlerinin daha hassas olabilmesi için her bir trafik durumu için 3 farklı rastgele atama numarası kullanılarak program çalıştırılmıştır. Böylece simülasyon modülü her bir rastgele atama numarası ile sürücü ve araç karakteristiklerinin değişmesine olanak sağlanmış ve gerçek hayatta olduğu gibi sürücü davranışlarının da etkisinin simülasyon ortamında kullanarak gecikme değerleri üzerindeki etkileri hesaba katılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon sonucu elde edilmiş olan gecikme değerlerinin ortalaması alınarak her bir durum için kavşağa ait gecikme değeri elde edilmiştir. Böylece gecikme üzerinde etkili olan parametrelerin kullanımının yanı sıra gecikme üzerinde önemli etkisi olan sürücü davranış farklılıkları da bu çalışmaya dâhil edilerek gecikme üzerindeki etkisi yansıtılmaya çalışılmıştır.

Simülasyon parametreleri Şekil 5.7’ de, araç geçişlerinin 3 boyutlu görüntüsü ise Şekil 5.8’ de gösterilmiştir.

Simulation parameters

General

Comment:

Period: 3600 Simulation seconds

Start time: 00:00:00 [hh:mm:ss]

Start date: [DD.MM.YYYY]

Simulation resolution: 10 Time step(s) / Sim. sec.

Random Seed: 1

Number of runs: 1

Random seed increment: 1

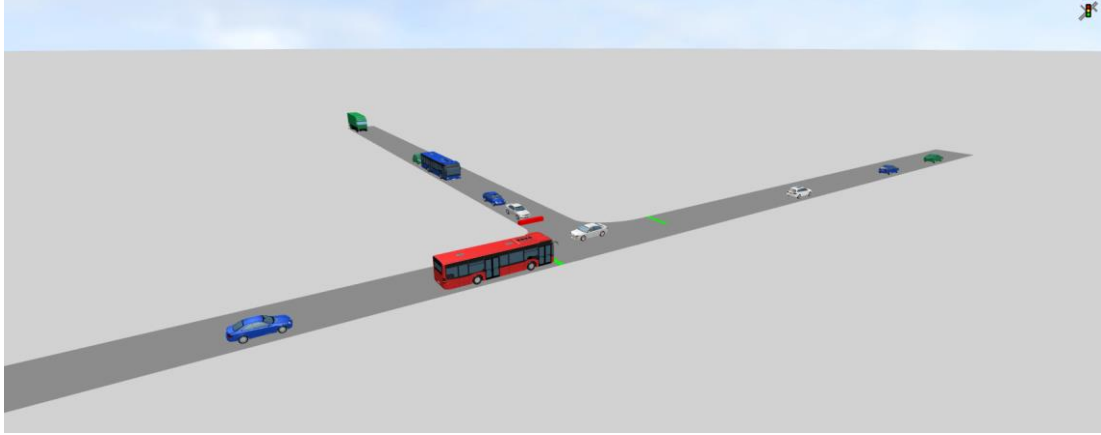
Simulation speed: ☐ 10.0 Sim. sec. / s
☒ Maximum
☐ Retrospective synchronization

Break at: 0 Simulation seconds

Number of cores: use all cores

OK Cancel

Şekil 5.7. Simülasyon Parametreleri



Şekil 5.8. Simülasyon Anındaki Araç Geçişleri

5.4. Modellerin Geliştirilmesi

Optimum devre süresi tahmin modellerinin geliştirilmesinde DGA ve ÇTA olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. DGA yaklaşımına dayalı olarak geliştirilen arama algoritmasında her bir trafik drumu için optimum devre süreleri elde edilmiştir. ÇTA yaklaşımında ise geliştirilen model formlarının optimizasyonu gerçekleştirilerek optimum devre süresi modelleri oluşturulmuştur. Modeller Webster optimum devre süresi ile karşılaştırılmış ve performans değerlendirmeleri VISSIM simülasyon programı üzerinden elde edilen gecikme değerlerine göre ortaya konulmuştur.

Oluşturulan farklı trafik durumları için Webster'in optimum devre süresi modeline göre hesaplanan optimum devre süreleri elde edilmiştir. Her trafik durumu için kollardaki akım oranı (y) belirlenmiş ve Denklem 5.1 ile her trafik durumunun Webster modeli ile de optimum devre süreleri belirlenmiş ve bu belirlenen optimum devre sürelerine göre VISSIM simülasyonundan elde edilen gecikme değerleri geliştirilen modellerin performanslarını ortaya koymak için karşılaştırma verisi olarak kullanılmıştır.

Zamana bağlı gecikme modellerinden birisi olan yolların kapasite kullanımı (Highway Capacity Manual, HCM) gecikme modeline göre 3 kollu bir kavşağın farklı trafik durumları için en düşük gecikmeyi verecek devre süresinin araştırılması için bir arama algoritması oluşturulmuştur. Oluşturulan arama algoritmasında DGA yaklaşımı

kullanılmış olup, araç başına düşen gecikmeyi minimum yapan değer amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi ise Denklem 5.2 de verilmiştir.

$$D_{Best} = Min \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{q_i} \quad (5.1)$$

Burada;

d_i : i kolundaki toplam gecikme değeri

q_i : i kolundaki trafik akım miktarı

n : faz sayısı

D_{Best} : Minimize edilmiş araç başına düşen gecikme değeri

Modelleri geliştirmek için ihtiyaç duyulan DGA parametre değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması Kontrol Parametreleri

Popülasyon Boyutu (Np)	30
Çaprazlama Oranı(CR)	0.90
Mutasyon Katsayısı(F)	0.95
Mutasyon Stratejisi	DE/best/1/exp
Max İterasyon Sayısı	2000

DGA parametre aralıklarında farklı değerler denenmesi sonucu bu problem için en optimum parametre değerleri olarak Tablo 5.2’de gösterilen değerler belirlenmiştir.İterasyon sayısı olarak çok kısa ve çok uzun olmaması amacıyla ortalama bir değer olan 2000 seçilmiştir.

Webster ve geliştirilen arama algoritmasına göre trafik durumlarının devre süreleri elde edilmiştir. Elde edilen devre süreleri kayıp zamanın 6sn deki değerleri için Tablo 5.3’te verilmiştir. Diğer kayıp zamanlara ait değerler ise Ekler bölümünde sunulmuştur.

Tablo 5.3. Webster ve Geliştirilen Arama Algoritmasına Göre Kayıp Zaman 6 sn İçin Elde Edilen Devre Süreleri

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
1	3	1	1	6	0,1	0,1	0,1	0,3	20	30
2	3	1	1	6	0,15	0,1	0,1	0,35	22	32
3	3	1	1	6	0,15	0,15	0,1	0,4	23	30
4	3	1	1	6	0,15	0,15	0,15	0,45	25	30
5	3	1	1	6	0,2	0,1	0,1	0,4	23	35
6	3	1	1	6	0,2	0,15	0,1	0,45	25	34
7	3	1	1	6	0,2	0,15	0,15	0,5	28	32
8	3	1	1	6	0,2	0,2	0,1	0,5	28	36
9	3	1	1	6	0,2	0,2	0,15	0,55	31	30
10	3	1	1	6	0,2	0,2	0,2	0,6	35	30
11	3	1	1	6	0,25	0,1	0,1	0,45	25	38
12	3	1	1	6	0,25	0,15	0,1	0,5	28	37
13	3	1	1	6	0,25	0,15	0,15	0,55	31	34
14	3	1	1	6	0,25	0,2	0,1	0,55	31	41
15	3	1	1	6	0,25	0,2	0,15	0,6	35	36
16	3	1	1	6	0,25	0,2	0,2	0,65	40	32
17	3	1	1	6	0,25	0,25	0,1	0,6	35	44
18	3	1	1	6	0,25	0,25	0,15	0,65	40	38
19	3	1	1	6	0,25	0,25	0,2	0,7	47	34
20	3	1	1	6	0,25	0,25	0,25	0,75	56	30
21	3	1	1	6	0,3	0,1	0,1	0,5	28	41
22	3	1	1	6	0,3	0,15	0,1	0,55	31	40
23	3	1	1	6	0,3	0,15	0,15	0,6	35	37
24	3	1	1	6	0,3	0,2	0,1	0,6	35	44
25	3	1	1	6	0,3	0,2	0,15	0,65	40	35
26	3	1	1	6	0,3	0,2	0,2	0,7	47	34
27	3	1	1	6	0,3	0,25	0,1	0,65	40	49
28	3	1	1	6	0,3	0,25	0,15	0,7	47	42
29	3	1	1	6	0,3	0,25	0,2	0,75	56	47
30	3	1	1	6	0,3	0,25	0,25	0,8	70	44
31	3	1	1	6	0,3	0,3	0,1	0,7	47	52
32	3	1	1	6	0,3	0,3	0,15	0,75	56	46
33	3	1	1	6	0,3	0,3	0,2	0,8	70	54
34	3	1	1	6	0,3	0,3	0,25	0,85	93	60
35	3	1	1	6	0,3	0,3	0,3	0,9	140	69
36	3	1	1	6	0,31	0,31	0,3	0,92	175	74
37	3	1	1	6	0,32	0,31	0,31	0,94	233	76
38	3	1	1	6	0,32	0,32	0,31	0,95	280	77

Modellerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin elde edilmesinden sonra Çiçek Tozlaşma Algoritması kullanılarak farklı formda optimum devre süresi tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Optimum devre süresinin tahmini için Webster model formunda ve farklı formlarda tahmin modelleri önerilmiş olup, önerilen model formları Denklem 5.2- 5.4'te verilmektedir.

$$C = \frac{(aL + b)}{(1 - cY)} \quad (5.2)$$

$$C = \frac{(aL + b)}{(1 - cY)} + d \quad (5.3)$$

$$C = aLe^{bY^c} + d \quad (5.4)$$

Burada C optimum devre süresini, L kayıp zamanları, Y toplam kritik akımlar oranını ifade etmekte olup, a,b,c ve d değerleri ise model katsayılarıdır.

ÇTA yaklaşımıyla model katsayılarının belirlenmesi için amaç fonksiyonu olarak ortalama mutlak yüzdesel hataların(OMYH) minimum edilmesi amaçlanmış ve OMYH bağıntısı amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır Buna göre, DGA yaklaşımıyla her bir trafik durumu için minimum gecikmeyi veren devre süresi referans alınan devre süresi olup, ÇTA yaklaşımı kullanılarak tahmin edilen optimum devre süreleri arasındaki yüzdesel fark amaç fonksiyonunun değerini vermektedir. Amaç fonksiyonun matematiksel ifadesi Denklem 5.5 ile verilmiştir.

$$F(x) = \sum |(C_{opt_{DGA}} - C_{opt_{ÇTA}}) / C_{opt_{DGA}}| * 100 \quad (5.5)$$

ÇTA algoritmasıyla modellerin optimize edilmesinde algoritmanın kontrol parametrelerinin doğru bir şekilde tayin edilmesi için önem arz etmektedir. Buna göre

en kısa sürede ve en düşük hata ile çözüm veren kontrol parametrelerinin değerleri belirlenmiş olup, bu kontrol parametreleri Tablo 5.4’de verilmiştir. Ayrıca modelleri kullanırken kullanılan amaç fonksiyonu da Denklem 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5.4. Çiçek Tozlaşma Algoritması Kontrol Parametreleri

Popülasyon Sayısı (Np)	20
Olasılık Değeri	0.8
Toplam İterasyon Sayısı	2000

ÇTA parametre aralıklarında farklı değerler denenmesi sonucu bu problem için en optimum parametre değerleri olarak Tablo 5.4’de gösterilen değerler belirlenmiştir. İterasyon sayısı olarak çok kısa ve çok uzun olmaması amacıyla ortalama bir değer olan 2000 seçilmiştir.

Farklı kayıp zamanlar ve trafik durumları göz önüne alınarak oluşturulan 266 adet veri kullanılarak modellerin katsayıları belirlenmiştir. Geliştirilen model formlarının ÇTA yaklaşımı ile optimize edilmesi sonucu belirlenen her modele ait katsayı değerleri Tablo 5.5’te verilmektedir.

Tablo 5.5. Model Katsayıları

Katsayılar	Denklem 5.2	Denklem 5.3	Denklem 5.4
<i>a</i>	1,59	1,60	0,51
<i>b</i>	9,53	9,98	2,96
<i>c</i>	0,81	0,81	1,11
<i>d</i>		-0,78	23,17

ÇTA ile optimize edilen modellerin devre süreleri hesaplanmış ve kayıp zamanın 6 sn. deki değerleri Tablo 5.6 da örnek gösterim için verilmiştir. Diğer kayıp zamanlara ait değerler Ekler bölümünde yer almaktadır.

Tablo 5.6: Kayıp Zaman 6 sn İçin Geliştirilen Modellere Ait Devre Süreleri

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model1	Model2	Model3
1	3	1	1	6	0,1	0,1	0,1	0,3	25	25	30
2	3	1	1	6	0,2	0,1	0,1	0,35	27	26	31
3	3	1	1	6	0,2	0,15	0,1	0,4	28	28	32
4	3	1	1	6	0,2	0,15	0,15	0,45	30	30	34
5	3	1	1	6	0,2	0,1	0,1	0,4	28	28	32
6	3	1	1	6	0,2	0,15	0,1	0,45	30	30	34
7	3	1	1	6	0,2	0,15	0,15	0,5	32	32	35
8	3	1	1	6	0,2	0,2	0,1	0,5	32	32	35
9	3	1	1	6	0,2	0,2	0,15	0,55	34	34	37
10	3	1	1	6	0,2	0,2	0,2	0,6	37	37	40
11	3	1	1	6	0,3	0,1	0,1	0,45	30	30	34
12	3	1	1	6	0,3	0,15	0,1	0,5	32	32	35
13	3	1	1	6	0,3	0,15	0,15	0,55	34	34	37
14	3	1	1	6	0,3	0,2	0,1	0,55	34	34	37
15	3	1	1	6	0,3	0,2	0,15	0,6	37	37	40
16	3	1	1	6	0,3	0,2	0,2	0,65	40	40	42
17	3	1	1	6	0,3	0,25	0,1	0,6	37	37	40
18	3	1	1	6	0,3	0,25	0,15	0,65	40	40	42
19	3	1	1	6	0,3	0,25	0,2	0,7	44	44	46
20	3	1	1	6	0,3	0,25	0,25	0,75	49	49	49
21	3	1	1	6	0,3	0,1	0,1	0,5	32	32	35
22	3	1	1	6	0,3	0,15	0,1	0,55	34	34	37
23	3	1	1	6	0,3	0,15	0,15	0,6	37	37	40
24	3	1	1	6	0,3	0,2	0,1	0,6	37	37	40
25	3	1	1	6	0,3	0,2	0,15	0,65	40	40	42
26	3	1	1	6	0,3	0,2	0,2	0,7	44	44	46
27	3	1	1	6	0,3	0,25	0,1	0,65	40	40	42
28	3	1	1	6	0,3	0,25	0,15	0,7	44	44	46
29	3	1	1	6	0,3	0,25	0,2	0,75	49	49	49
30	3	1	1	6	0,3	0,25	0,25	0,8	54	54	54
31	3	1	1	6	0,3	0,3	0,1	0,7	44	44	46
32	3	1	1	6	0,3	0,3	0,15	0,75	49	49	49
33	3	1	1	6	0,3	0,3	0,2	0,8	54	54	54
34	3	1	1	6	0,3	0,3	0,25	0,85	61	61	59
35	3	1	1	6	0,3	0,3	0,3	0,9	70	71	66
36	3	1	1	6	0,3	0,31	0,3	0,92	75	75	68
37	3	1	1	6	0,3	0,31	0,31	0,94	80	80	72
38	3	1	1	6	0,3	0,32	0,31	0,95	83	83	73

VISSIM simülasyon programı vasıtasıyla modellere ait gecikme değeri elde edilmiştir.

Geliştirilen ve Denklem 5.2-5.3-5.4 olarak adlandırılan bağıntılar bundan sonra Model 1-2-3 olarak adlandırılacaktır.

Tablo 5.7. Kayıp Zaman 6 sn İçin Elde Edilen Gecikme Değerleri

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	DGA	Webster	Model1	Model2	Model3
1	3	1	1	6	11	9	10	9	11
2	3	1	1	6	12	9	10	10	11
3	3	1	1	6	11	10	11	11	12
4	3	1	1	6	12	11	12	12	13
5	3	1	1	6	13	12	12	12	12
6	3	1	1	6	12	14	12	12	13
7	3	1	1	6	13	13	13	13	14
8	3	1	1	6	14	15	14	14	15
9	3	1	1	6	15	14	14	14	16
10	3	1	1	6	16	17	17	17	17
11	3	1	1	6	15	15	13	14	13
12	3	1	1	6	15	14	14	14	14
13	3	1	1	6	16	16	16	15	17
14	3	1	1	6	17	16	15	15	17
15	3	1	1	6	18	17	17	17	17
16	3	1	1	6	18	18	18	19	19
17	3	1	1	6	21	14	19	16	19
18	3	1	1	6	22	21	19	19	19
19	3	1	1	6	22	21	21	23	21
20	3	1	1	6	26	25	24	24	24
21	3	1	1	6	22	30	20	19	20
22	3	1	1	6	17	25	18	18	18
23	3	1	1	6	26	15	26	25	24
24	3	1	1	6	21	17	19	19	18
25	3	1	1	6	20	18	18	18	19
26	3	1	1	6	26	24	22	22	25
27	3	1	1	6	23	21	21	19	24
28	3	1	1	6	24	21	22	23	22
29	3	1	1	6	23	25	23	23	23
30	3	1	1	6	28	29	28	28	28
31	3	1	1	6	30	33	34	24	29
32	3	1	1	6	28	29	27	27	27
33	3	1	1	6	29	29	29	29	29
34	3	1	1	6	32	38	32	34	32
35	3	1	1	6	38	65	37	37	37
36	3	1	1	6	40	78	48	48	43
37	3	1	1	6	45	113	46	46	49
38	3	1	1	6	47	135	49	49	53

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

FPA yaklaşımına dayalı olarak geliştirilen optimum devre süresi tahmin modelleri ile Webster optimum devre süresi modeli arama algoritmasından elde edilen optimum devre süreleri ile karşılaştırılmış ve değerlendirmelerde ortalama karesel hataların karekökü (OKHK), ortalama mutlak hatalar (OMH) ve belirleme katsayısı (R^2) performans kriterleri olarak kullanılmıştır. Kullanılan performans kriterlerinin ifadeleri Denklem 6.1-6.3’de verilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{n=1}^m (C_{arama algoritması} - C_{FPAtahmin})^2} \quad (6.1)$$

$$OMYH = \frac{1}{m} \left| \sum_{n=1}^m ((C_{arama algoritması} - C_{FPAtahmin}) / C_{arama algoritması}) \right| * 100 \quad (6.2)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_1^m (C_{arama algoritması} - C_{FPAtahmin})^2}{\sum_1^m (C_{arama algoritması} - C_{ortalama})^2} \right] \quad (6.3)$$

Webster ve geliştirilen modellere ait OKHK, OMH ve belirleme R^2 değerlerinin optimum devre süresine ve gecikmeye bağlı istatistiksel sonuçları aşağıda Tablo 6.1 ve 6.2’de verilmektedir.

Tablo 6.1. Optimum Devre Süresine Bağlı İstatistikî Bulgular

	Webster	Model 1	Model 2	Model 3
OKHK	73,36	4,48	4,46	4,19
OYMH	33,48	7,04	7,03	6,14
R^2	0.74	0.96	0.96	0.97

Optimum devre süresine bağlı statiksel sonuçlara bakıldığında zaman ÇTA nı kullanarak geliştirdiğimiz modellerden Model-3 ‘ün en düşük OKHK ve OYMH ile en yüksek R^2 değeri, en iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda Model 3 e

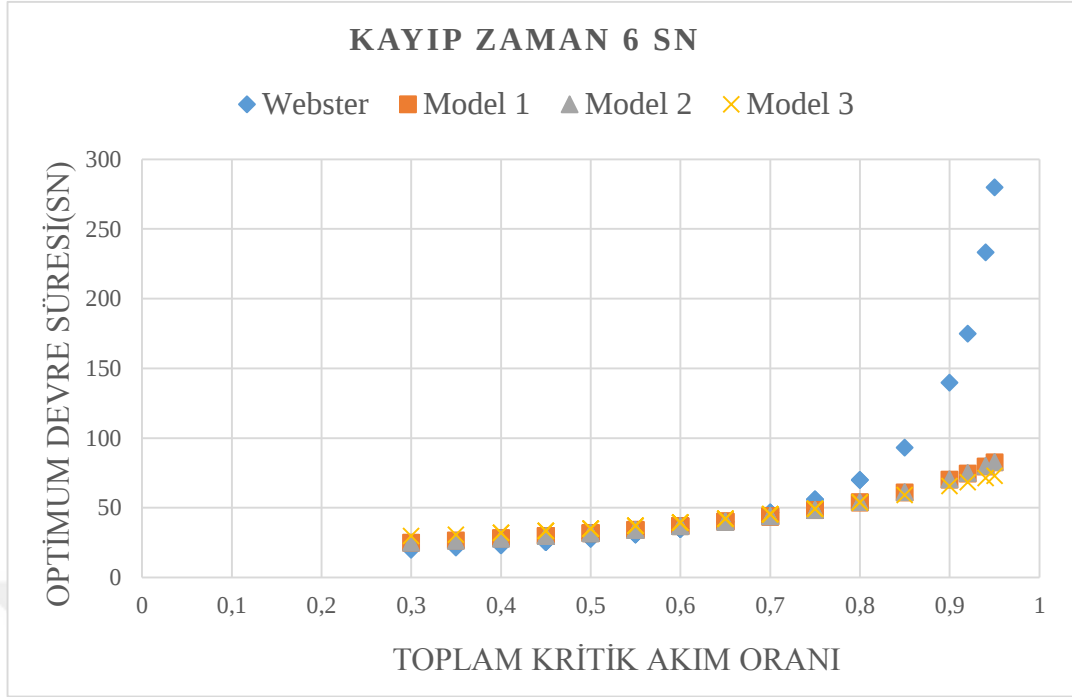
göre daha düşük performansa sahip olan diğer 2 modelde Websterin geliştirdiği optimum devre süresi modeline göre daha iyi performansa sahip olmuştur.

Tablo 6.2. Gecikmeye Bağlı İstatistiki Bulgular

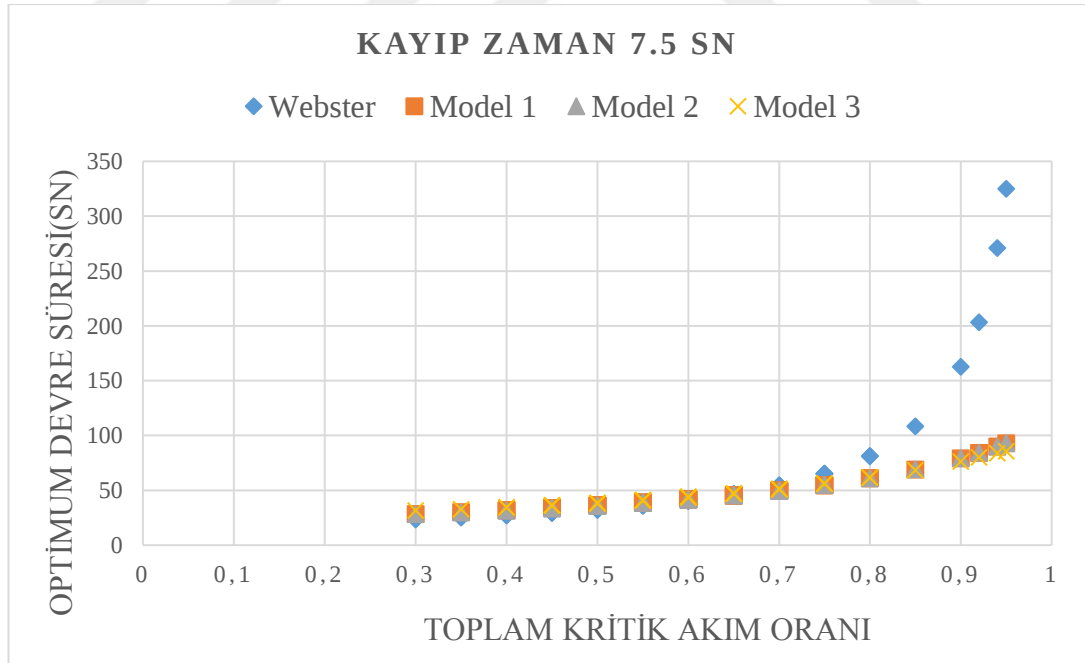
	Webster	Model 1	Model 2	Model 3
OKHK	23,99	4,40	4,68	4,87
OYMH	20,71	6,19	7,31	6,48

Gecikmeye bağlı istatistiki sonuçlar incelendiğinde geliştirilen modellerin önermiş olduğu devre sürelerine bağlı olarak elde edilen gecikme değerlerinin istatistiksel analizlerine bakıldığında performans olarak Webster modelinin çok üzerinde olduğu görülmektedir. Önerilen 3 modelinde gecikme performanslarına bağlı olarak OKHK değerleri 4.40 ile 4.87 arasında değişirken Webster modelinin OKHK değeri modellerinkinden yaklaşık 5.5 kat daha fazla çıkmıştır. Benzer durum OYMH istatistiklerinde de görülmektedir. Bütün bu analizler her 3 modelinde performanslarının Webster modelinden daha iyi olduğunu ve izole sinyalizasyon kavşaklarda optimum devre süresi tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir.

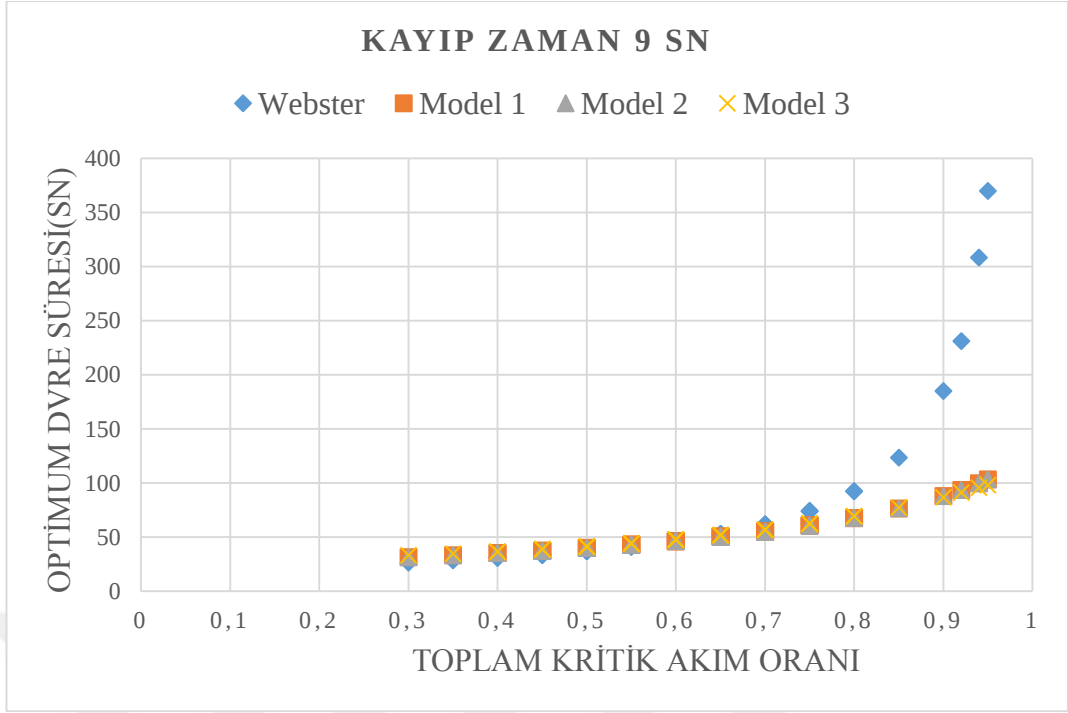
Farklı kayıp zamanlara ait geliştirilen modellerle Webster modelinin karşılaştırılmasında toplam kritik akım oranına karşılık gelen optimum devre sürelerinin grafiksel gösterimleri ise Şekil 6.1 – 6.8’de verilmektedir.



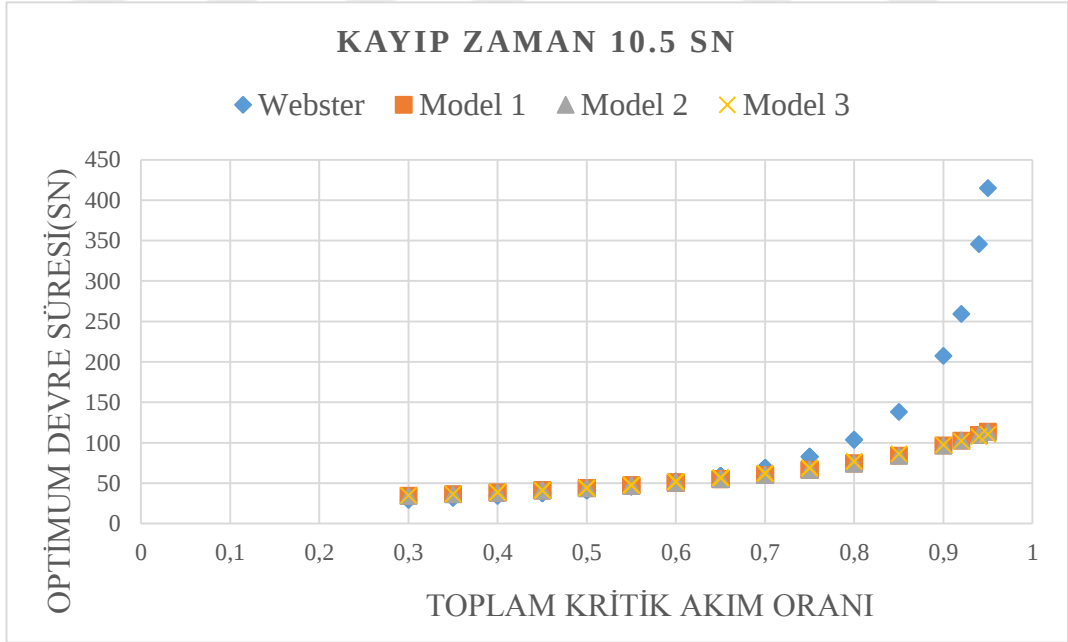
Şekil 6. 1. Kayıp Zaman 6 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere Ait Optimum Devre Süreleri



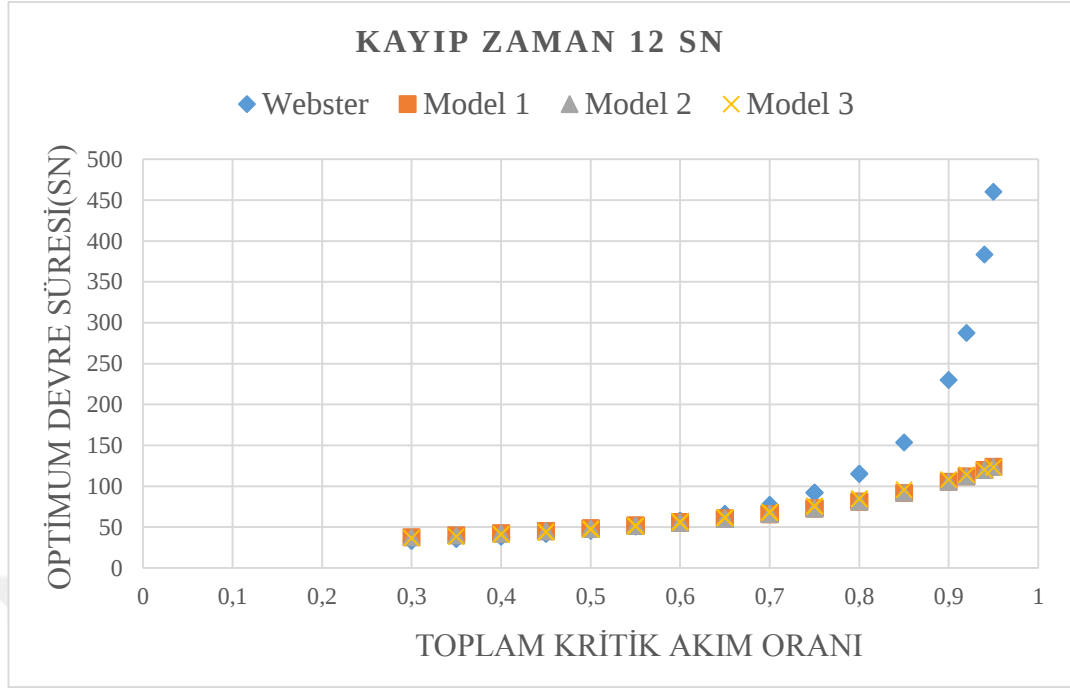
Şekil 6.2. Kayıp Zaman 7.5 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Optimum Devre Süreleri



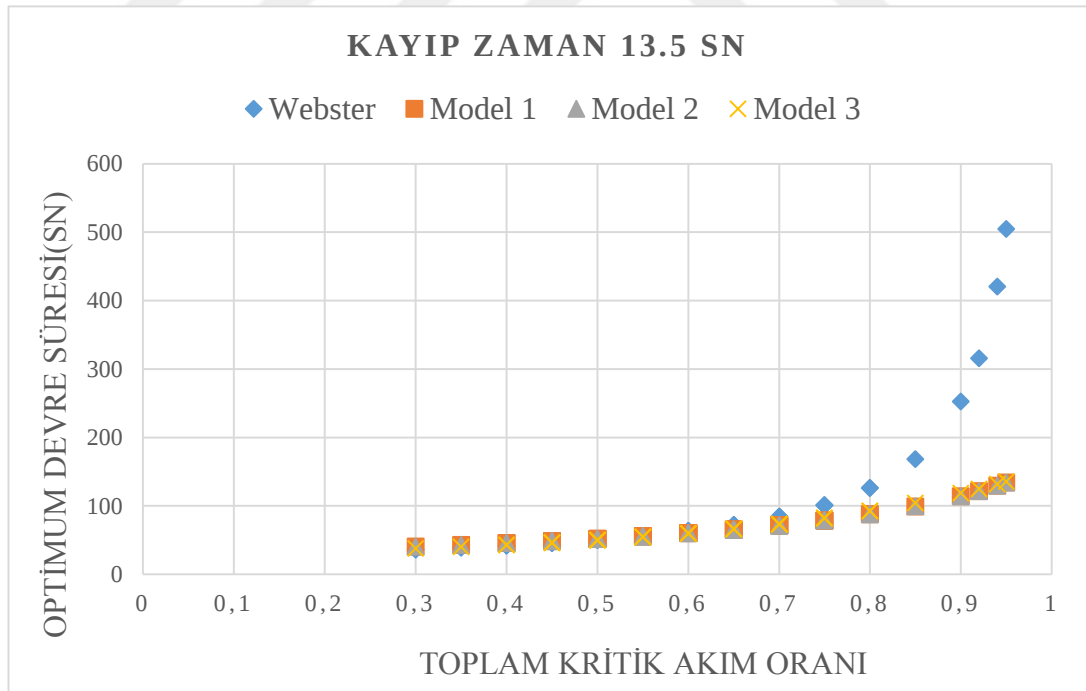
Şekil 6. 3. Kayıp Zaman 9 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Optimum Devre Süreleri



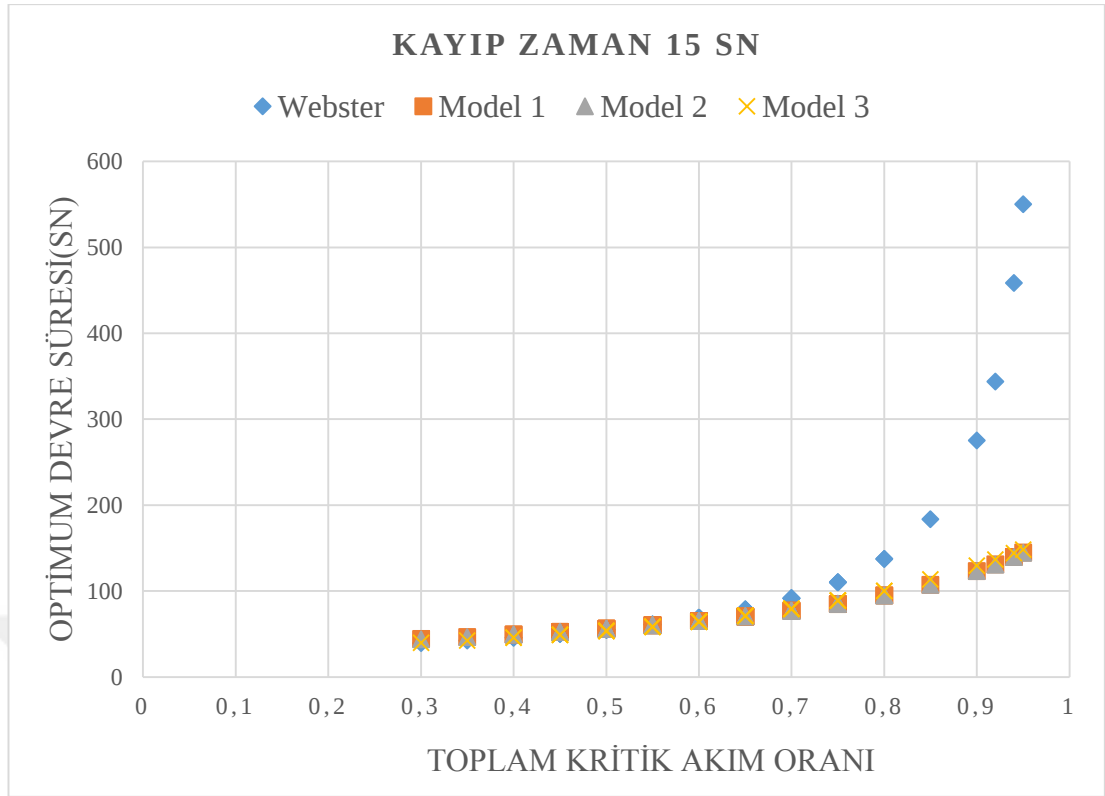
Şekil 6. 4. Kayıp Zaman 10.5 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Optimum Devre Süreleri



Şekil 6.5. Kayıp Zaman 12 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Optimum Devre Süreleri



Şekil 6.6. Kayıp Zaman 13.5 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Optimum Devre Süreleri

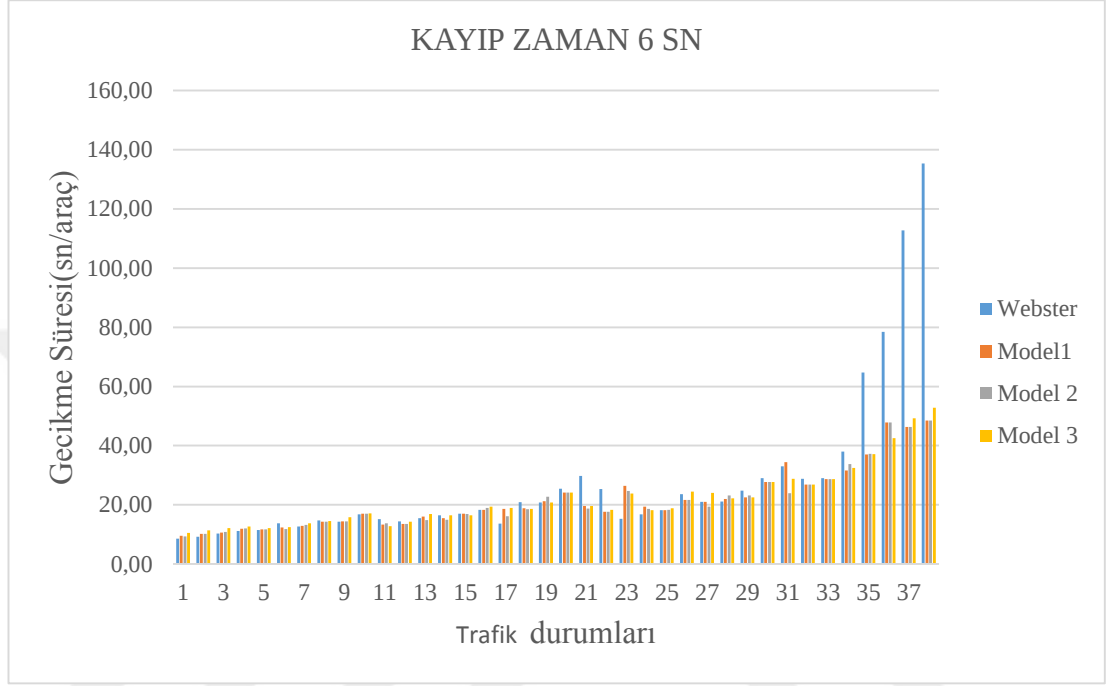


Şekil 6.7. Kayıp Zaman 15 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Optimum Devre Süreleri

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde; kayıp zamanların her bir değeri için toplam kritik akım oranı 0,75 seviyesine kadar Webster modeli ile geliştirilen her üç modelin birbirine yakın devre süresi değerleri verdiği görülmektedir. Ancak kritik akım oranı 0,75 ve daha yüksek değerlerde olduğunda Webster modelinin performansı düşüş göstermekte ve kritik akım oranı 1'e yaklaştıkça bu model çok yüksek devre süreleri önermektedir. Geliştirilen modellerse tüm kritik akım oranlarında genel olarak birbirine yakın optimum devre süresi değerleri önermekte olup, Webster modeline göre daha düşük optimum devre süreleri tahmin etmişlerdir.

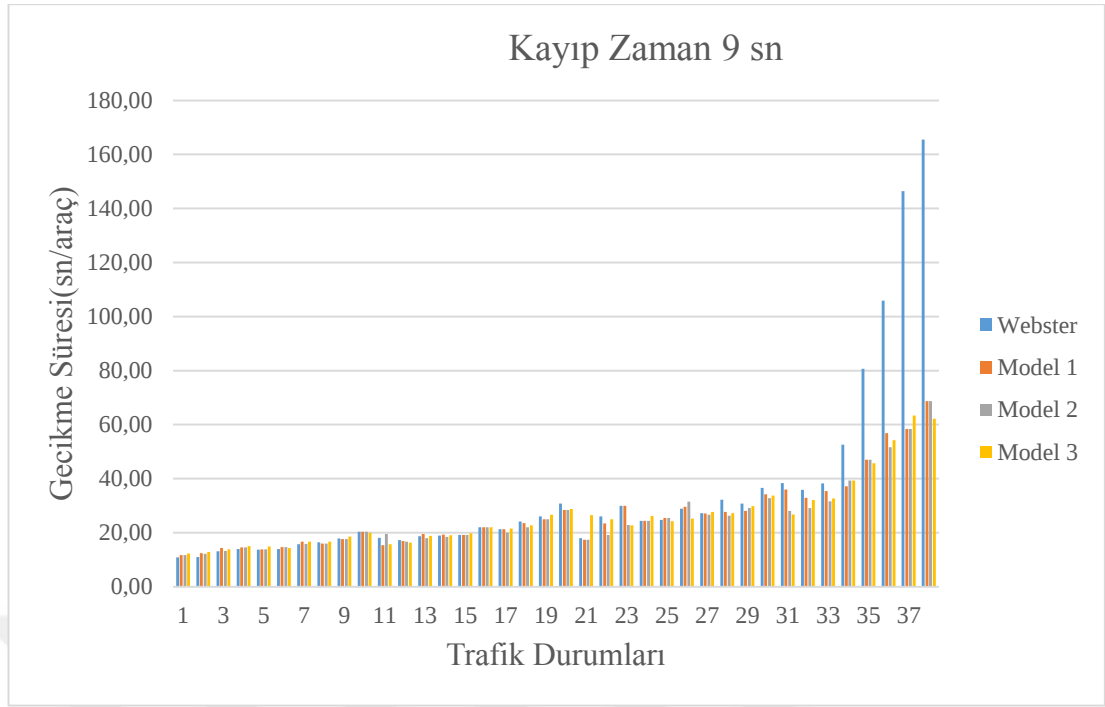
Kayıp zamanın artışıyla beraber kritik akım oranının 0.75 ve üzeri değerlerinde Webster modeli ve geliştirilen modellerin verdiği devre süreleri değerlerinde de artış gözlemlenmektedir. Ancak geliştirilen modellerdeki artış Webster'e göre daha az olup bu durum kavşak kollarına gelen trafik hacmindeki artışlarla da ilişkilidir.

Webster modeli ve geliştirilen modellerle ortaya konulan optimum devre sürelerinin etkinlikleri gecikme değerleri üzerinden incelenmiştir. VISSİM simülasyon programı üzerinden elde edilen gecikme değerlerinin farklı kayıp zamanlara ait grafiksel gösterimi Şekil 6.8 – 6.11’de verilmektedir.

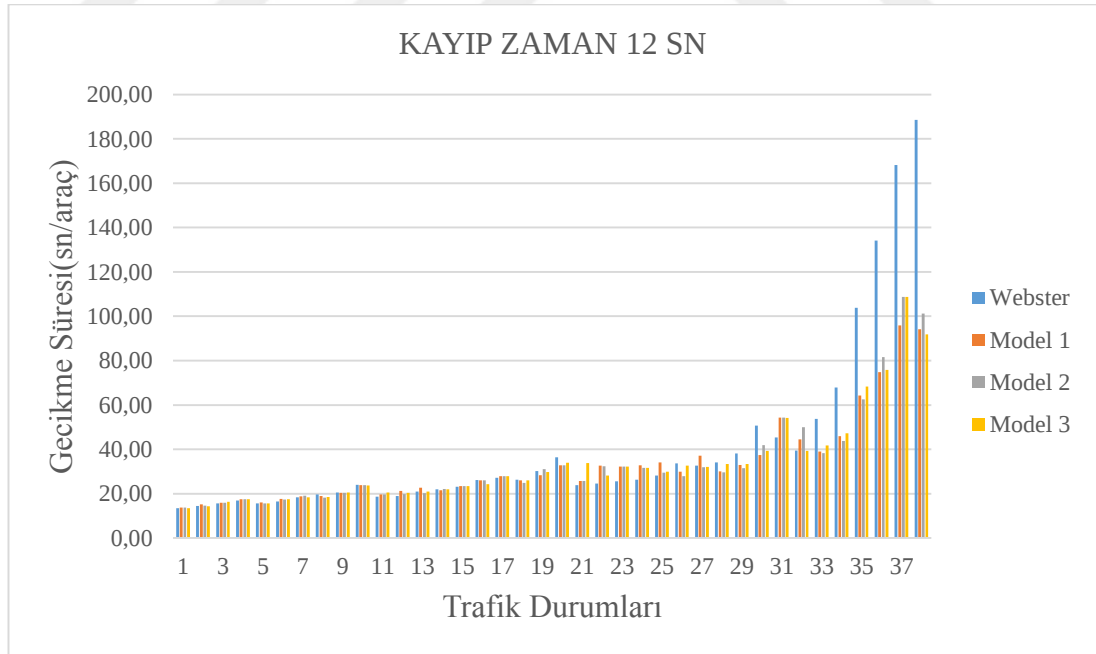


Şekil 6.8. Kayıp Zaman 6 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Gecikme Değerleri

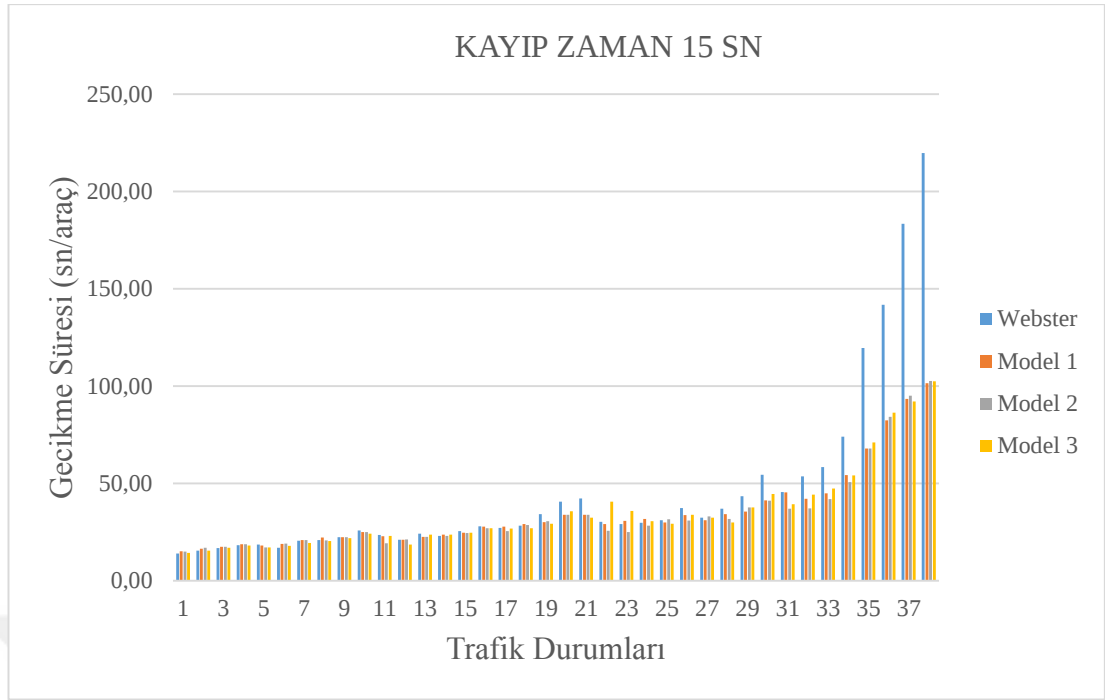
Şekil 6.8’ de kritik akım oranının 0.85 olduğu 34. trafik durumunda Webster modeline ait gecikme değeri 38 sn/araç iken geliştirilen model 1-2-3 için gecikme değerleri sırasıyla 61, 61 ve 59 sn/araç olarak gözlenmiştir. Kritik akım oranının 0.95 sn olduğu 38. trafik durumunda ise Webster modeli 135 sn/araç gecikme değeri verirken modeller sırasıyla 49, 49 ve 53 sn/araç gecikme değerleri vermiştir. Geliştirdiğimiz modellerin gecikme değerlerine bakıldığında doyumluk derecesi 1’e yaklaşan trafik durumlarında gecikme değerlerinde Webstere göre %50 ve üzeri bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 6.9. Kayıp Zaman 9 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Gecikme Değerleri



Şekil 6. 10 Kayıp Zaman 12 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Gecikme Değerleri



Şekil 6.11. Kayıp Zaman 15 sn İçin Webster ve Geliştirilen Modellere ait Gecikme Değerleri

Kayıp sürelerin 6, 9, 12 ve 15 sn için trafik durumlarındaki gecikme değerleri incelenmiştir. Ancak 7.5, 10.5, ve 13.5 sn lik kayıp aman değerleri için optimum devre süreleri tahmin edilmiş olmasına rağmen simülasyona ondalıklı değerler girilemediğinden bunlara ait gecikme değerleri alınamamıştır.

Özellikle kritik akım oranının 0,75 ve üzeri değerlerinde Webster modelinin Model-1, Model-2 ve Model-3'e göre daha yüksek gecikme değerleri verdiği görülmektedir. Bu durum daha önce bahsedilen kritik akım oranı 0,75'e kadar etkin performans gösteren Webster modelinin geliştirilen modeller ile benzerlik gösterirken 0,75'ten sonra Webster modelinin performansını yitirmiş olması, optimum devre süresinde oluşan ani artışla beraber daha fazla gecikme oluşmasına da sebebiyet vermektedir. Ancak geliştirilen Model-1, Model-2 ve Model-3 için kritik akım oranının 0,75 üzeri değerlerinde de devre süreleri Webster'e göre daha düşük olup buna bağlı daha düşük gecikme ile genel olarak birbirine yakın değerler vermiş ve Webster modelinden daha iyi çalıştığı görülmüştür. Böylelikle de geliştirilen modellerle doygunluk derecesi 1'e

yakın trafik durumlarına ait olan kavşakların işletilmesinde daha düşük gecikme ile işletilebilmesi söz konusudur.

Gecikme değerinin düşmesiyle beraber kavşaklarda kapasitenin düşmesi, gereksiz bekleme dolayısıyla da yakıt tüketiminin artması engellenmiş olunacaktır ve buna bağlı olarak emüsyon değeri düşürülecek, sürücülerin trafikteki agresif davranışlarından kaçınması sağlanmış olunacaktır.



7. SONUÇLAR

Bu tezde meta sezgisel algoritmalar kullanarak daha iyi performanslara sahip minimum gecikmeyi veren optimum devre süresini elde etmek için modeller geliştirmek amaçlanmış olup bir kavşaktaki farklı trafik durumlarının devre süresine olan etkisi incelenmiştir. Farklı kayıp sürelerine göre her trafik durumu için DGA ile arama algoritması oluşturularak minimum gecikmeyi verecek devre süresi araştırılmıştır. ÇTA ile kayıp süre ve akımlar oranına bağlı 3 farklı optimum devre süresi modelleri geliştirilmiştir. Her trafik durumu için VISSIM simülasyon programı aracılığı ile 3' er kez simülasyonu gerçekleştirilerek bu simülasyonlarda farklı sürücü karakteristiklerinin gecikmeye olan etkisi de değerlendirmeye katılmıştır. Webster ve geliştirilen modellerin önermiş oldukları devre süreleri VISSIM simülasyon programına girilerek ayrı sürücü davranışları ve trafik durumları için gecikme değerleri elde edilmiştir. 266 farklı trafik durumu kullanılarak elde edilen modellerin optimum devre sürelerine ve gecikme değerlerine bakıldığında Webster e göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Devre süresine ait performans istatistikleri incelendiğinde özellikle üstel formdaki model 3 ün 4,19 OKHK, 6,14 OYMH ve 0.968 R^2 değeri ile en iyi performansı ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Gecikme istatistiklerine bakıldığında ise yine geliştirilen modellerden model 3 ün 6,48 OYMH değeri ile en az hatayla en yüksek performansa sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte geliştirilen diğer 2 modelinde performansları yüksek olup trafik mühendisliğinde alternatif devre süresi modelleri olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma ile farklı yaklaşımların ve model formlarının minimum gecikmeyi veren optimum devre süresi hesabında etkin şekilde kullanılıp daha kolay ve pratik ulaşılabilir parametre değerleriyle minimum gecikmenin hesaplanabilmesinin mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

Bu tez optimum devre süresi tayininde farklı optimizasyon tekniklerinin uygulanmasını da ortaya koymaktadır. En düşük gecikme ile kavşağın yönetilmesini

amaç edindiği için yerel yönetimin veya trafik kurumlarının trafik planlamalarında bu çalışmadan çıkacak sonuçlardan planlama, karar alma vb. süreçlerde yararlanabilecekleri düşünülmektedir.

Optimizasyon yöntemleri her geçen gün gelişmeye devam etmekte ve literatüre yeni yaklaşımlar ile yeni algoritmalar katılmaktadır. Farklı algoritmalarında performanslarının incelenmesi ve daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için farklı yaklaşımlarında uygulanabilirliği çalışmanın daha ileriye gitmesi açısından önem arz etmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Kutlu, K., Trafik Tekniği, İTÜ İnşaat Fakóltesi Matbaası, İstanbul, 1993.
- [2] Yayla, N., Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [3] Webster, F. V., Traffic signal settings, road research technical paper no. 39. Road Research Laboratory, 1958.
- [4] Thomas, G. B. & Upchurch, J. E., Effect of non-optimal cycle lengths and traffic volumes on progression. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, 68(5), 38, 1998.
- [5] Cheng, D., Messer, C. J., Tian, Z. Z., & Liu, J., Modification of Webster's minimum delay cycle length equation based on HCM 2000. In the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board in Washington, DC, 2003.
- [6] Lan, C. J., New optimal cycle length formulation for pretimed signals at isolated intersections. Journal of Transportation Engineering, 130(5), 637-647, 2004.
- [7] Cheng, D., Tian, Z. Z., & Messer, C. J., Development of an improved cycle length model over the highway capacity manual 2000 quick estimation method. Journal of Transportation Engineering, 131(12), 890-897, 2005.
- [8] Day, C., Bullock, D., & Sturdevant, J., Cycle-length performance measures: revisiting and extending fundamentals. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2128), 48-57, 2009.
- [9] Singh, L., Tripathi, S., & Arora, H., Time optimization for traffic signal control using genetic algorithm. International Journal of Recent Trends in Engineering, 2(2), 4-6, 2009.

- [10] Al-Kubaisi, M. I., Optimum Cycle Time Prediction for Signalized Intersections at Baghdad City. Cankaya University Journal of Science and Engineering, 9(2). 11: 341-359, 2012.
- [11] Sun, S. N., Xiao, W., Qiu, X., Chen, J. D., & Ying, L. X., Design and Simulation of Urban Road Intersection Signal Linear Control System. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 178, pp. 2713-2716). Trans Tech Publications, 2012.
- [12] Qiao, J. G., Hu, P., & Yu, D., Optimization of Signal Timing for the Mixed Traffic Flow in Vissim Simulation Environment. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 253, pp. 1726-1730). Trans Tech Publications, 2013.
- [13] Dai, L. L., Sun, Z. L., Liu, D. B., & Li, Y., An Improved Method of Traffic Control Period Division for Intersection Based on Signal Cycle Calculation. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 253, pp. 1731-1735). Trans Tech Publications, 2013.
- [14] Dell'Orco, M., Baskan, O., & Marinelli, M., A Harmony Search Algorithm approach for optimizing traffic signal timings. PROMET-Traffic&Transportation, 25(4), 349-358, 2013.
- [15] Kamal, M. A. S., Imura, J. I., Hayakawa, T., Ohata, A., & Aihara, K., Traffic signal control of a road network using MILP in the MPC framework. International journal of intelligent transportation systems research, 13(2), 107-118, 2015.
- [16] Wu, Y., Lu, J., Chen, H., & Yang, H., Development of an optimization traffic signal cycle length model for signalized intersections in China. Mathematical Problems in Engineering, 2015.
- [17] Çakıcı, Z. & Murat, Y. Ş., Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Taşıt Gecikmesi Problemi Üzerine Uygulaması. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, 2015.

- [18] Çakıcı, Z. & Murat, Y. Ş., Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi. 11. Ulaştırma Kongresi, 2016.
- [19] Zakariya, A. Y. & Rabia, S. I., Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula. Alexandria Engineering Journal, 55(3), 2509-2514, 2016.
- [20] Aktaş, Y. , Aslan, H. & Pistil, F., Sinyalize kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmelerinin VISSIM simülasyon modellenmesi, Academic Platform, 2017.
- [21] Dell’Orco, M., Başkan, Ö., & Marinelli, M., Artificial Bee Colony-based algorithm for optimising traffic signal timings. In Soft Computing in Industrial Applications (pp. 327-337). Springer, Cham, 2014.
- [22] Jovanović, A., Nikolić, M., & Teodorović, D., Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 77, 329-350, 2017.
- [23] Yang, X., .Flower pollination algorithm for global optimization, 2012.
- [24] Balasubramani, K. & Marcus, K., A study on flower pollination algorithm and its applications, 2014.
- [25] Wang, R., Zhou, Y., Qiano, S. & Huang, K., Flower pollination algorithm with bee pollinator for cluster analysis, 2015.
- [26] Korkmaz, E. , Akgüngör, A. P., Comparasion artificial bee colony and flower pollination algorithms in vehicle delay models at signalized intersections. Neural Computing and Applications, 1-17, 2018.
- [27] Korkmaz, E. , Akgüngör, A. P., Türkiye’deki Araç Sahipliğinin Çiçek Tozlaşma Algoritması ile Tahmini. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(1):39-45,2018.

- [28] Gedizlioğlu, E., Trafik Yönetimi Ders Notları, İstanbul, 2007.
- [29] Karayolları Trafik Kaza İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, 2004.
- [30] Korkmaz, E., Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modelleri. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2016.
- [31] Çubuk, M.K., Köprülü Kavşak Tiplerinin Avantaj Ve Dezavantajları, II Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara, 1999.
- [32] Ayfer, M. Ö. , Trafik Sinyalizasyonu. Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1977.
- [33] Murat, Y.Ş., Trafik Mühendisliği Ders Notları, Denizli.
- [34] F. H. Administration, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 2010.
- [35] Webster, F.V. and Cobbe, B.M., Traffic Signals, Road Research Technical Paper No.56, HMSO London, 1966.
- [36] Dağüstü, H.Ş., Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [37] Storn. R.. Differential evolution-a simple and efficient heuristic strategy for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, 1977.
- [38] Yılmaz. A.R.. Fpga Üzerinde Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Yapay Sinirli Eğitimi. Yüksek Lisan Tezi. Y.T.Ü.. İstanbul, 2014.
- [39] Price, K.v., Storn, R.M., Lampinen, J.A., . Differential evolution: a practical approach to global optimization, Springer, 538, 2005.

- [40] Keskindürk T., Diferansiyel Gelişim Algoritması , İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,9: 85-99, 2006.
- [41] Ortaç, E. , Diferansiyel Gelişim Algoritması Tabanlı Öngerilmeli Beton Köprü Kirişlerinin Optimum Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ,2017.
- [42] Zaharie, D., Influence of crossover on the behavior of Differential Evolution Algorithms, Applied Soft Computing. 9: 1126-1138, 2009.
- [43] Yang X.-S., Nature-inspired optimization algorithms. Elsevier, 2014.
- [44] <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/use-cases/>

EKLER

EK 1. Farklı Kayıp Zamanlara Göre Veriler

Tablo 1. Kayıp Zamanın 7.5 sn. ve 15 sn. Arasında Değiştiği Farklı Trafik Durumlarına Göre Oluşturulmuş Veriler.

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
1	3	1,5	1	7,5	1800	180	180	180
2	3	1,5	1	7,5	1800	270	180	180
3	3	1,5	1	7,5	1800	270	270	180
4	3	1,5	1	7,5	1800	270	270	270
5	3	1,5	1	7,5	1800	360	180	180
6	3	1,5	1	7,5	1800	360	270	180
7	3	1,5	1	7,5	1800	360	270	270
8	3	1,5	1	7,5	1800	360	360	180
9	3	1,5	1	7,5	1800	360	360	270
10	3	1,5	1	7,5	1800	360	360	360
11	3	1,5	1	7,5	1800	450	180	180
12	3	1,5	1	7,5	1800	450	270	180
13	3	1,5	1	7,5	1800	450	270	270
14	3	1,5	1	7,5	1800	450	360	180
15	3	1,5	1	7,5	1800	450	360	270
16	3	1,5	1	7,5	1800	450	360	360
17	3	1,5	1	7,5	1800	450	450	180
18	3	1,5	1	7,5	1800	450	450	270
19	3	1,5	1	7,5	1800	450	450	360
20	3	1,5	1	7,5	1800	450	450	450
21	3	1,5	1	7,5	1800	540	180	180
22	3	1,5	1	7,5	1800	540	270	180
23	3	1,5	1	7,5	1800	540	270	270
24	3	1,5	1	7,5	1800	540	360	180
25	3	1,5	1	7,5	1800	540	360	270
26	3	1,5	1	7,5	1800	540	360	360
27	3	1,5	1	7,5	1800	540	450	180
28	3	1,5	1	7,5	1800	540	450	270
29	3	1,5	1	7,5	1800	540	450	360
30	3	1,5	1	7,5	1800	540	450	450
31	3	1,5	1	7,5	1800	540	540	180
32	3	1,5	1	7,5	1800	540	540	270
33	3	1,5	1	7,5	1800	540	540	360
34	3	1,5	1	7,5	1800	540	540	450
35	3	1,5	1	7,5	1800	540	540	540

Tablo 1. (Devam)

Trafik durum	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
36	1,5	1	7,5	1800	558	558	540
37	1,5	1	7,5	1800	576	558	558
38	1,5	1	7,5	1800	576	576	558
1	2	1	9	1800	180	180	180
2	2	1	9	1800	270	180	180
3	2	1	9	1800	270	270	180
4	2	1	9	1800	270	270	270
5	2	1	9	1800	360	180	180
6	2	1	9	1800	360	270	180
7	2	1	9	1800	360	270	270
8	2	1	9	1800	360	360	180
9	2	1	9	1800	360	360	270
10	2	1	9	1800	360	360	360
11	2	1	9	1800	450	180	180
12	2	1	9	1800	450	270	180
13	2	1	9	1800	450	270	270
14	2	1	9	1800	450	360	180
15	2	1	9	1800	450	360	270
16	2	1	9	1800	450	360	360
17	2	1	9	1800	450	450	180
18	2	1	9	1800	450	450	270
19	2	1	9	1800	450	450	360
20	2	1	9	1800	450	450	450
21	2	1	9	1800	540	180	180
22	2	1	9	1800	540	270	180
23	2	1	9	1800	540	270	270
24	2	1	9	1800	540	360	180
25	2	1	9	1800	540	360	270
26	2	1	9	1800	540	360	360
27	2	1	9	1800	540	450	180
28	2	1	9	1800	540	450	270
29	2	1	9	1800	540	450	360
30	2	1	9	1800	540	450	450
31	2	1	9	1800	540	540	180
32	2	1	9	1800	540	540	270
33	2	1	9	1800	540	540	360
34	2	1	9	1800	540	540	450
35	2	1	9	1800	540	540	540
36	2	1	9	1800	558	558	540
37	2	1	9	1800	576	558	558
38	2	1	9	1800	576	576	558

Tablo 1. (Devam)

Trafik durum	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
1	2,5	1	10,5	1800	180	180	180
2	2,5	1	10,5	1800	270	180	180
3	2,5	1	10,5	1800	270	270	180
4	2,5	1	10,5	1800	270	270	270
5	2,5	1	10,5	1800	360	180	180
6	2,5	1	10,5	1800	360	270	180
7	2,5	1	10,5	1800	360	270	270
8	2,5	1	10,5	1800	360	360	180
9	2,5	1	10,5	1800	360	360	270
10	2,5	1	10,5	1800	360	360	360
11	2,5	1	10,5	1800	450	180	180
12	2,5	1	10,5	1800	450	270	180
13	2,5	1	10,5	1800	450	270	270
14	2,5	1	10,5	1800	450	360	180
15	2,5	1	10,5	1800	450	360	270
16	2,5	1	10,5	1800	450	360	360
17	2,5	1	10,5	1800	450	450	180
18	2,5	1	10,5	1800	450	450	270
19	2,5	1	10,5	1800	450	450	360
20	2,5	1	10,5	1800	450	450	450
21	2,5	1	10,5	1800	540	180	180
22	2,5	1	10,5	1800	540	270	180
23	2,5	1	10,5	1800	540	270	270
24	2,5	1	10,5	1800	540	360	180
25	2,5	1	10,5	1800	540	360	270
26	2,5	1	10,5	1800	540	360	360
27	2,5	1	10,5	1800	540	450	180
28	2,5	1	10,5	1800	540	450	270
29	2,5	1	10,5	1800	540	450	360
30	2,5	1	10,5	1800	540	450	450
31	2,5	1	10,5	1800	540	540	180
32	2,5	1	10,5	1800	540	540	270
33	2,5	1	10,5	1800	540	540	360
34	2,5	1	10,5	1800	540	540	450
35	2,5	1	10,5	1800	540	540	540
36	2,5	1	10,5	1800	558	558	540
37	2,5	1	10,5	1800	576	558	558
38	2,5	1	10,5	1800	576	576	558

Tablo 1. (Devam)

Trafik durum	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
1	3	1	12	1800	180	180	180
2	3	1	12	1800	270	180	180
3	3	1	12	1800	270	270	180
4	3	1	12	1800	270	270	270
5	3	1	12	1800	360	180	180
6	3	1	12	1800	360	270	180
7	3	1	12	1800	360	270	270
8	3	1	12	1800	360	360	180
9	3	1	12	1800	360	360	270
10	3	1	12	1800	360	360	360
11	3	1	12	1800	450	180	180
12	3	1	12	1800	450	270	180
13	3	1	12	1800	450	270	270
14	3	1	12	1800	450	360	180
15	3	1	12	1800	450	360	270
16	3	1	12	1800	450	360	360
17	3	1	12	1800	450	450	180
18	3	1	12	1800	450	450	270
19	3	1	12	1800	450	450	360
20	3	1	12	1800	450	450	450
21	3	1	12	1800	540	180	180
22	3	1	12	1800	540	270	180
23	3	1	12	1800	540	270	270
24	3	1	12	1800	540	360	180
25	3	1	12	1800	540	360	270
26	3	1	12	1800	540	360	360
27	3	1	12	1800	540	450	180
28	3	1	12	1800	540	450	270
29	3	1	12	1800	540	450	360
30	3	1	12	1800	540	450	450
31	3	1	12	1800	540	540	180
32	3	1	12	1800	540	540	270
33	3	1	12	1800	540	540	360
34	3	1	12	1800	540	540	450
35	3	1	12	1800	540	540	540
36	3	1	12	1800	558	558	540
37	3	1	12	1800	576	558	558
38	3	1	12	1800	576	576	558

Tablo 1.(Devam)

Trafik durum	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
1	2,5	2	13,5	1800	180	180	180
2	2,5	2	13,5	1800	270	180	180
3	2,5	2	13,5	1800	270	270	180
4	2,5	2	13,5	1800	270	270	270
5	2,5	2	13,5	1800	360	180	180
6	2,5	2	13,5	1800	360	270	180
7	2,5	2	13,5	1800	360	270	270
8	2,5	2	13,5	1800	360	360	180
9	2,5	2	13,5	1800	360	360	270
10	2,5	2	13,5	1800	360	360	360
11	2,5	2	13,5	1800	450	180	180
12	2,5	2	13,5	1800	450	270	180
13	2,5	2	13,5	1800	450	270	270
14	2,5	2	13,5	1800	450	360	180
15	2,5	2	13,5	1800	450	360	270
16	2,5	2	13,5	1800	450	360	360
17	2,5	2	13,5	1800	450	450	180
18	2,5	2	13,5	1800	450	450	270
19	2,5	2	13,5	1800	450	450	360
20	2,5	2	13,5	1800	450	450	450
21	2,5	2	13,5	1800	540	180	180
22	2,5	2	13,5	1800	540	270	180
23	2,5	2	13,5	1800	540	270	270
24	2,5	2	13,5	1800	540	360	180
25	2,5	2	13,5	1800	540	360	270
26	2,5	2	13,5	1800	540	360	360
27	2,5	2	13,5	1800	540	450	180
28	2,5	2	13,5	1800	540	450	270
29	2,5	2	13,5	1800	540	450	360
30	2,5	2	13,5	1800	540	450	450
31	2,5	2	13,5	1800	540	540	180
32	2,5	2	13,5	1800	540	540	270
33	2,5	2	13,5	1800	540	540	360
34	2,5	2	13,5	1800	540	540	450
35	2,5	2	13,5	1800	540	540	540
36	2,5	2	13,5	1800	558	558	540
37	2,5	2	13,5	1800	576	558	558
38	2,5	2	13,5	1800	576	576	558

Tablo 1.(Devam)

Trafik durum	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Doygunluk Akımı	q1	q2	q3
1	3	2	15	1800	180	180	180
2	3	2	15	1800	270	180	180
3	3	2	15	1800	270	270	180
4	3	2	15	1800	270	270	270
5	3	2	15	1800	360	180	180
6	3	2	15	1800	360	270	180
7	3	2	15	1800	360	270	270
8	3	2	15	1800	360	360	180
9	3	2	15	1800	360	360	270
10	3	2	15	1800	360	360	360
11	3	2	15	1800	450	180	180
12	3	2	15	1800	450	270	180
13	3	2	15	1800	450	270	270
14	3	2	15	1800	450	360	180
15	3	2	15	1800	450	360	270
16	3	2	15	1800	450	360	360
17	3	2	15	1800	450	450	180
18	3	2	15	1800	450	450	270
19	3	2	15	1800	450	450	360
20	3	2	15	1800	450	450	450
21	3	2	15	1800	540	180	180
22	3	2	15	1800	540	270	180
23	3	2	15	1800	540	270	270
24	3	2	15	1800	540	360	180
25	3	2	15	1800	540	360	270
26	3	2	15	1800	540	360	360
27	3	2	15	1800	540	450	180
28	3	2	15	1800	540	450	270
29	3	2	15	1800	540	450	360
30	3	2	15	1800	540	450	450
31	3	2	15	1800	540	540	180
32	3	2	15	1800	540	540	270
33	3	2	15	1800	540	540	360
34	3	2	15	1800	540	540	450
35	3	2	15	1800	540	540	540
36	3	2	15	1800	558	558	540
37	3	2	15	1800	576	558	558
38	3	2	15	1800	576	576	558

EK 2. Webster ve Geliştirilen Arama Algoritmasına Göre Farklı Kayıp

Zamanlara Ait Devre Süreleri

Tablo 2. Kayıp Zaman 7.5 sn. ve 15 sn. Arasındaki Farklı Trafik Durumlarına Göre

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
1	3	1,5	1	7,5	0,1	0,1	0,1	0,3	23	32
2	3	1,5	1	7,5	0,15	0,1	0,1	0,35	25	34
3	3	1,5	1	7,5	0,15	0,2	0,1	0,4	27	32
4	3	1,5	1	7,5	0,15	0,2	0,2	0,45	30	32
5	3	1,5	1	7,5	0,2	0,1	0,1	0,4	27	37
6	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,1	0,45	30	37
7	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,2	0,5	33	34
8	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,1	0,5	33	40
9	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,2	0,55	36	36
10	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,2	0,6	41	32
11	3	1,5	1	7,5	0,25	0,1	0,1	0,45	30	40
12	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,1	0,5	33	40
13	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,2	0,55	36	37
14	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,1	0,55	36	45
15	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,2	0,6	41	40
16	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,2	0,65	46	34
17	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,1	0,6	41	48
18	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,2	0,65	46	45
19	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,2	0,7	54	50
20	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,3	0,75	65	62
21	3	1,5	1	7,5	0,3	0,1	0,1	0,5	33	44
22	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,1	0,55	36	45
23	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,2	0,6	41	39
24	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,1	0,6	41	48
25	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,2	0,65	46	43
26	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,2	0,7	54	50
27	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,1	0,65	46	53
28	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,7	54	48
29	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,75	65	56
30	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,3	0,8	81	62
31	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,1	0,7	54	56
32	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,75	65	56
33	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,8	81	64
34	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,25	0,85	108	73

Tablo 2. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
35	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,3	0,9	163	80
36	3	1,5	1	7,5	0,31	0,31	0,3	0,92	203	85
37	3	1,5	1	7,5	0,32	0,31	0,31	0,94	271	87
38	3	1,5	1	7,5	0,32	0,1	0,31	0,95	325	94
1	3	2	1	9	0,1	0,1	0,1	0,3	26	33
2	3	2	1	9	0,15	0,1	0,1	0,35	28	35
3	3	2	1	9	0,15	0,15	0,1	0,4	31	37
4	3	2	1	9	0,15	0,15	0,15	0,45	34	33
5	3	2	1	9	0,2	0,1	0	0,4	31	38
6	3	2	1	9	0,2	0,15	0,1	0,45	34	40
7	3	2	1	9	0,2	0,15	0,15	0,5	37	35
8	3	2	1	9	0,2	0,2	0,1	0,5	37	43
9	3	2	1	9	0,2	0,2	0,15	0,55	41	39
10	3	2	1	9	0,2	0,2	0,2	0,6	46	33
11	3	2	1	9	0,25	0,15	0,1	0,45	34	42
12	3	2	1	9	0,25	0,15	0,1	0,5	37	43
13	3	2	1	9	0,25	0,2	0,15	0,55	41	38
14	3	2	1	9	0,25	0,2	0,1	0,55	41	46
15	3	2	1	9	0,25	0,2	0,15	0,6	46	41
16	3	2	1	9	0,25	0,2	0,2	0,65	53	37
17	3	2	1	9	0,25	0,1	0,1	0,6	46	51
18	3	2	1	9	0,25	0,15	0,15	0,65	53	43
19	3	2	1	9	0,25	0,2	0,2	0,7	62	54
20	3	2	1	9	0,25	0,25	0,25	0,75	74	63
21	3	2	1	9	0,3	0,25	0,1	0,5	37	45
22	3	2	1	9	0,3	0,1	0,1	0,55	41	46
23	3	2	1	9	0,3	0,15	0,15	0,6	46	40
24	3	2	1	9	0,3	0,15	0,1	0,6	46	51
25	3	2	1	9	0,3	0,2	0,15	0,65	53	51
26	3	2	1	9	0,3	0,2	0,2	0,7	62	54
27	3	2	1	9	0,3	0,2	0,1	0,65	53	54
28	3	2	1	9	0,3	0,25	0,15	0,7	62	54
29	3	2	1	9	0,3	0,25	0,2	0,75	74	64
30	3	2	1	9	0,3	0,25	0,25	0,8	93	73
31	3	2	1	9	0,3	0,3	0,1	0,7	62	59
32	3	2	1	9	0,3	0,3	0,15	0,75	74	62
33	3	2	1	9	0,3	0,3	0,2	0,8	93	73
34	3	2	1	9	0,3	0,3	0,25	0,85	123	80
35	3	2	1	9	0,3	0,3	0,3	0,9	185	90
36	3	2	1	9	0,31	0,31	0,3	0,92	231	92
37	3	2	1	9	0,32	0,31	0,31	0,94	308	97
38	3	2	1	9	0,32	0,32	0,31	0,95	370	98

Tablo 2. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
1	3	2,5	1	10,5	0,1	0,1	0,1	0,3	30	35
2	3	2,5	1	10,5	0,15	0,1	0,1	0,35	32	38
3	3	2,5	1	10,5	0,15	0,2	0,1	0,4	35	35
4	3	2,5	1	10,5	0,15	0,2	0,15	0,45	38	35
5	3	2,5	1	10,5	0,2	0,1	0,1	0,4	35	41
6	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,1	0,45	38	42
7	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,15	0,5	42	38
8	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,1	0,5	42	45
9	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,15	0,55	46	44
10	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,2	0,6	52	51
11	3	2,5	1	10,5	0,25	0,1	0,1	0,45	38	44
12	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,1	0,5	42	45
13	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,15	0,55	46	40
14	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,1	0,55	46	50
15	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,15	0,6	52	50
16	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,2	0,65	59	53
17	3	2,5	1	10,5	0,25	0,3	0,1	0,6	52	53
18	3	2,5	1	10,5	0,25	0,3	0,15	0,65	59	56
19	3	2,5	1	10,5	0,25	0,3	0,2	0,7	69	62
20	3	2,5	1	10,5	0,25	0,3	0,25	0,75	83	74
21	3	2,5	1	10,5	0,3	0,1	0,1	0,5	42	48
22	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,1	0,55	46	51
23	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,15	0,6	52	50
24	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,1	0,6	52	54
25	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,15	0,65	59	57
26	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,2	0,7	69	63
27	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,1	0,65	59	58
28	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,15	0,7	69	61
29	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,2	0,75	83	71
30	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,25	0,8	104	78
31	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,1	0,7	69	63
32	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,15	0,75	83	69
33	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,2	0,8	104	78
34	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,25	0,85	138	90
35	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,3	0,9	208	98
36	3	2,5	1	10,5	0,31	0,3	0,3	0,92	259	103
37	3	2,5	1	10,5	0,32	0,3	0,31	0,94	346	108
38	3	2,5	1	10,5	0,32	0,3	0,31	0,95	415	109

Tablo 2. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
1	3	3	1	12	0,1	0,1	0,1	0,3	33	36
2	3	3	1	12	0,15	0,1	0,1	0,35	35	39
3	3	3	1	12	0,15	0,2	0,1	0,4	38	37
4	3	3	1	12	0,15	0,2	0,15	0,45	42	36
5	3	3	1	12	0,2	0,1	0,1	0,4	38	42
6	3	3	1	12	0,2	0,2	0,1	0,45	42	45
7	3	3	1	12	0,2	0,2	0,15	0,5	46	40
8	3	3	1	12	0,2	0,2	0,1	0,5	46	48
9	3	3	1	12	0,2	0,2	0,15	0,55	51	52
10	3	3	1	12	0,2	0,2	0,2	0,6	58	58
11	3	3	1	12	0,25	0,1	0,1	0,45	42	46
12	3	3	1	12	0,25	0,2	0,1	0,5	46	48
13	3	3	1	12	0,25	0,2	0,15	0,55	51	41
14	3	3	1	12	0,25	0,2	0,1	0,55	51	51
15	3	3	1	12	0,25	0,2	0,15	0,6	58	54
16	3	3	1	12	0,25	0,2	0,2	0,65	66	61
17	3	3	1	12	0,25	0,3	0,1	0,6	58	56
18	3	3	1	12	0,25	0,3	0,15	0,65	66	62
19	3	3	1	12	0,25	0,3	0,2	0,7	77	68
20	3	3	1	12	0,25	0,3	0,25	0,75	92	78
21	3	3	1	12	0,3	0,1	0,1	0,5	46	49
22	3	3	1	12	0,3	0,2	0,1	0,55	51	52
23	3	3	1	12	0,3	0,2	0,15	0,6	58	55
24	3	3	1	12	0,3	0,2	0,1	0,6	58	57
25	3	3	1	12	0,3	0,2	0,15	0,65	66	63
26	3	3	1	12	0,3	0,2	0,2	0,7	77	68
27	3	3	1	12	0,3	0,3	0,1	0,65	66	61
28	3	3	1	12	0,3	0,3	0,15	0,7	77	71
29	3	3	1	12	0,3	0,3	0,2	0,75	92	75
30	3	3	1	12	0,3	0,3	0,25	0,8	115	89
31	3	3	1	12	0,3	0,3	0,1	0,7	77	66
32	3	3	1	12	0,3	0,3	0,15	0,75	92	80
33	3	3	1	12	0,3	0,3	0,2	0,8	115	87
34	3	3	1	12	0,3	0,3	0,25	0,85	153	97
35	3	3	1	12	0,3	0,3	0,3	0,9	230	108
36	3	3	1	12	0,31	0,3	0,3	0,92	288	113
37	3	3	1	12	0,32	0,3	0,31	0,94	383	115
38	3	3	1	12	0,32	0,3	0,31	0,95	460	119

Tablo 2. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
1	3	2,5	2	13,5	0,1	0,1	0,1	0,3	36	38
2	3	2,5	2	13,5	0,15	0,1	0,1	0,35	39	41
3	3	2,5	2	13,5	0,15	0,15	0,1	0,4	42	44
4	3	2,5	2	13,5	0,15	0,15	0,15	0,45	46	38
5	3	2,5	2	13,5	0,2	0,1	0,1	0,4	42	45
6	3	2,5	2	13,5	0,2	0,15	0,1	0,45	46	47
7	3	2,5	2	13,5	0,2	0,15	0,15	0,5	51	42
8	3	2,5	2	13,5	0,2	0,2	0,1	0,5	51	52
9	3	2,5	2	13,5	0,2	0,2	0,15	0,55	56	53
10	3	2,5	2	13,5	0,2	0,2	0,2	0,6	63	59
11	3	2,5	2	13,5	0,25	0,1	0,1	0,45	46	48
12	3	2,5	2	13,5	0,25	0,15	0,1	0,5	51	51
13	3	2,5	2	13,5	0,25	0,15	0,15	0,55	56	57
14	3	2,5	2	13,5	0,25	0,2	0,1	0,55	56	55
15	3	2,5	2	13,5	0,25	0,2	0,15	0,6	63	61
16	3	2,5	2	13,5	0,25	0,2	0,2	0,65	72	66
17	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,1	0,6	63	60
18	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,15	0,65	72	66
19	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,2	0,7	84	73
20	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,25	0,75	101	83
21	3	2,5	2	13,5	0,3	0,1	0,1	0,5	51	52
22	3	2,5	2	13,5	0,3	0,15	0,1	0,55	56	56
23	3	2,5	2	13,5	0,3	0,15	0,15	0,6	63	61
24	3	2,5	2	13,5	0,3	0,2	0,1	0,6	63	59
25	3	2,5	2	13,5	0,3	0,2	0,15	0,65	72	69
26	3	2,5	2	13,5	0,3	0,2	0,2	0,7	84	73
27	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,1	0,65	72	64
28	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,15	0,7	84	73
29	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,2	0,75	101	85
30	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,25	0,8	126	94
31	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,1	0,7	84	75
32	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,15	0,75	101	87
33	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,2	0,8	126	94
34	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,25	0,85	168	105
35	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,3	0,9	253	116
36	3	2,5	2	13,5	0,31	0,31	0,3	0,92	316	121
37	3	2,5	2	13,5	0,32	0,31	0,31	0,94	421	126
38	3	2,5	2	13,5	0,32	0,32	0,31	0,95	505	127

Tablo 2. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Copt Webster	Cdga
1	3	3	2	15	0,1	0,1	0,1	0,3	39	39
2	3	3	2	15	0,15	0,1	0,1	0,35	42	42
3	3	3	2	15	0,15	0,2	0,1	0,4	46	45
4	3	3	2	15	0,15	0,2	0,15	0,45	50	48
5	3	3	2	15	0,2	0,1	0,1	0,4	46	46
6	3	3	2	15	0,2	0,2	0,1	0,45	50	49
7	3	3	2	15	0,2	0,2	0,15	0,5	55	54
8	3	3	2	15	0,2	0,2	0,1	0,5	55	53
9	3	3	2	15	0,2	0,2	0,15	0,55	61	59
10	3	3	2	15	0,2	0,2	0,2	0,6	69	63
11	3	3	2	15	0,25	0,1	0,1	0,45	50	49
12	3	3	2	15	0,25	0,2	0,1	0,5	55	54
13	3	3	2	15	0,25	0,2	0,15	0,55	61	58
14	3	3	2	15	0,25	0,2	0,1	0,55	61	60
15	3	3	2	15	0,25	0,2	0,15	0,6	69	66
16	3	3	2	15	0,25	0,2	0,2	0,65	79	73
17	3	3	2	15	0,25	0,3	0,1	0,6	69	66
18	3	3	2	15	0,25	0,3	0,15	0,65	79	70
19	3	3	2	15	0,25	0,3	0,2	0,7	92	80
20	3	3	2	15	0,25	0,3	0,25	0,75	110	90
21	3	3	2	15	0,3	0,1	0,1	0,5	55	53
22	3	3	2	15	0,3	0,2	0,1	0,55	61	58
23	3	3	2	15	0,3	0,2	0,15	0,6	69	69
24	3	3	2	15	0,3	0,2	0,1	0,6	69	66
25	3	3	2	15	0,3	0,2	0,15	0,65	79	70
26	3	3	2	15	0,3	0,2	0,2	0,7	92	81
27	3	3	2	15	0,3	0,3	0,1	0,65	79	70
28	3	3	2	15	0,3	0,3	0,15	0,7	92	79
29	3	3	2	15	0,3	0,3	0,2	0,75	110	90
30	3	3	2	15	0,3	0,3	0,25	0,8	138	101
31	3	3	2	15	0,3	0,3	0,1	0,7	92	81
32	3	3	2	15	0,3	0,3	0,15	0,75	110	93
33	3	3	2	15	0,3	0,3	0,2	0,8	138	103
34	3	3	2	15	0,3	0,3	0,25	0,85	183	114
35	3	3	2	15	0,3	0,3	0,3	0,9	275	123
36	3	3	2	15	0,31	0,3	0,3	0,92	344	128
37	3	3	2	15	0,32	0,3	0,31	0,94	458	133
38	3	3	2	15	0,32	0,3	0,31	0,95	550	137

EK 3. Farklı Kayıp Zamanlar için Geliştirilen Modellere Ait Devre Süreleri**Tablo 3.** Kayıp Zamanın 7.5 sn. ve 15 sn. Arasındaki Farklı Trafik Durumlarına Göre

Devre Süreleri

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model 1	Model 2	Model 3
1	3	1,5	1	7,5	0,1	0,1	0,1	0,3	28	28	31
2	3	1,5	1	7,5	0,15	0,1	0,1	0,35	30	30	33
3	3	1,5	1	7,5	0,15	0,2	0,1	0,4	32	32	34
4	3	1,5	1	7,5	0,15	0,2	0,2	0,45	34	34	36
5	3	1,5	1	7,5	0,2	0,1	0,1	0,4	32	32	34
6	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,1	0,45	34	34	36
7	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,2	0,5	36	36	38
8	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,1	0,5	36	36	38
9	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,2	0,55	39	39	41
10	3	1,5	1	7,5	0,2	0,2	0,2	0,6	42	42	44
11	3	1,5	1	7,5	0,25	0,1	0,1	0,45	34	34	36
12	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,1	0,5	36	36	38
13	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,2	0,55	39	39	41
14	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,1	0,55	39	39	41
15	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,2	0,6	42	42	44
16	3	1,5	1	7,5	0,25	0,2	0,2	0,65	45	45	47
17	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,1	0,6	42	42	44
18	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,2	0,65	45	45	47
19	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,2	0,7	50	50	51
20	3	1,5	1	7,5	0,25	0,3	0,3	0,75	55	55	56
21	3	1,5	1	7,5	0,3	0,1	0,1	0,5	36	36	38
22	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,1	0,55	39	39	41
23	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,2	0,6	42	42	44
24	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,1	0,6	42	42	44
25	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,2	0,65	45	45	47
26	3	1,5	1	7,5	0,3	0,2	0,2	0,7	50	50	51
27	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,1	0,65	45	45	47
28	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,7	50	50	51
29	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,75	55	55	56
30	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,3	0,8	61	61	62
31	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,1	0,7	50	50	51
32	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,75	55	55	56
33	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,2	0,8	61	61	62
34	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,3	0,85	69	69	68
35	3	1,5	1	7,5	0,3	0,3	0,3	0,9	79	79	76
36	3	1,5	1	7,5	0,31	0,3	0,3	0,92	84	84	80
37	3	1,5	1	7,5	0,32	0,3	0,3	0,94	90	90	84
38	3	1,5	1	7,5	0,32	0,3	0,3	0,95	93	93	86

Tablo 3.(Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model 1	Model 2	Model 3
1	3	2	1	9	0,1	0,1	0,1	0,3	31	31	33
2	3	2	1	9	0,15	0,1	0,1	0,35	33	33	35
3	3	2	1	9	0,15	0,15	0,1	0,4	35	35	37
4	3	2	1	9	0,15	0,15	0,15	0,45	37	37	39
5	3	2	1	9	0,2	0,1	0,1	0,4	35	35	37
6	3	2	1	9	0,2	0,15	0,1	0,45	37	37	39
7	3	2	1	9	0,2	0,15	0,15	0,5	40	40	41
8	3	2	1	9	0,2	0,2	0,1	0,5	40	40	41
9	3	2	1	9	0,2	0,2	0,15	0,55	43	43	44
10	3	2	1	9	0,2	0,2	0,2	0,6	46	46	48
11	3	2	1	9	0,25	0,1	0,1	0,45	37	37	39
12	3	2	1	9	0,25	0,15	0,1	0,5	40	40	41
13	3	2	1	9	0,25	0,15	0,15	0,55	43	43	44
14	3	2	1	9	0,25	0,2	0,1	0,55	43	43	44
15	3	2	1	9	0,25	0,2	0,15	0,6	46	46	48
16	3	2	1	9	0,25	0,2	0,2	0,65	50	50	52
17	3	2	1	9	0,25	0,25	0,1	0,6	46	46	48
18	3	2	1	9	0,25	0,25	0,15	0,65	50	50	52
19	3	2	1	9	0,25	0,25	0,2	0,7	55	55	57
20	3	2	1	9	0,25	0,25	0,25	0,75	61	61	63
21	3	2	1	9	0,3	0,1	0,1	0,5	40	40	41
22	3	2	1	9	0,3	0,15	0,1	0,55	43	43	44
23	3	2	1	9	0,3	0,15	0,15	0,6	46	46	48
24	3	2	1	9	0,3	0,2	0,1	0,6	46	46	48
25	3	2	1	9	0,3	0,2	0,15	0,65	50	50	52
26	3	2	1	9	0,3	0,2	0,2	0,7	55	55	57
27	3	2	1	9	0,3	0,25	0,1	0,65	50	50	52
28	3	2	1	9	0,3	0,25	0,15	0,7	55	55	57
29	3	2	1	9	0,3	0,25	0,2	0,75	61	61	63
30	3	2	1	9	0,3	0,25	0,25	0,8	68	68	69
31	3	2	1	9	0,3	0,3	0,1	0,7	55	55	57
32	3	2	1	9	0,3	0,3	0,15	0,75	61	61	63
33	3	2	1	9	0,3	0,3	0,2	0,8	68	68	69
34	3	2	1	9	0,3	0,3	0,25	0,85	76	77	77
35	3	2	1	9	0,3	0,3	0,3	0,9	88	88	87
36	3	2	1	9	0,31	0,31	0,3	0,92	93	94	91
37	3	2	1	9	0,32	0,31	0,31	0,94	100	100	96
38	3	2	1	9	0,32	0,32	0,31	0,95	103	103	98

Tablo 3. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model 1	Model 2	Model 3
1	3	2,5	1	10,5	0,1	0,1	0,1	0,3	35	34	35
2	3	2,5	1	10,5	0,15	0,1	0,1	0,35	37	36	37
3	3	2,5	1	10,5	0,15	0,15	0,1	0,4	39	39	39
4	3	2,5	1	10,5	0,15	0,15	0,15	0,45	41	41	41
5	3	2,5	1	10,5	0,2	0,1	0,1	0,4	39	39	39
6	3	2,5	1	10,5	0,2	0,15	0,1	0,45	41	41	41
7	3	2,5	1	10,5	0,2	0,15	0,15	0,5	44	44	44
8	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,1	0,5	44	44	44
9	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,15	0,55	47	47	48
10	3	2,5	1	10,5	0,2	0,2	0,2	0,6	51	51	52
11	3	2,5	1	10,5	0,25	0,1	0,1	0,45	41	41	41
12	3	2,5	1	10,5	0,25	0,15	0,1	0,5	44	44	44
13	3	2,5	1	10,5	0,25	0,15	0,15	0,55	47	47	48
14	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,1	0,55	47	47	48
15	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,15	0,6	51	51	52
16	3	2,5	1	10,5	0,25	0,2	0,2	0,65	55	55	57
17	3	2,5	1	10,5	0,25	0,25	0,1	0,6	51	51	52
18	3	2,5	1	10,5	0,25	0,25	0,15	0,65	55	55	57
19	3	2,5	1	10,5	0,25	0,25	0,2	0,7	61	61	62
20	3	2,5	1	10,5	0,25	0,25	0,25	0,75	67	67	69
21	3	2,5	1	10,5	0,3	0,1	0,1	0,5	44	44	44
22	3	2,5	1	10,5	0,3	0,15	0,1	0,55	47	47	48
23	3	2,5	1	10,5	0,3	0,15	0,15	0,6	51	51	52
24	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,1	0,6	51	51	52
25	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,15	0,65	55	55	57
26	3	2,5	1	10,5	0,3	0,2	0,2	0,7	61	61	62
27	3	2,5	1	10,5	0,3	0,25	0,1	0,65	55	55	57
28	3	2,5	1	10,5	0,3	0,25	0,15	0,7	61	61	62
29	3	2,5	1	10,5	0,3	0,25	0,2	0,75	67	67	69
30	3	2,5	1	10,5	0,3	0,25	0,25	0,8	74	75	77
31	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,1	0,7	61	61	62
32	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,15	0,75	67	67	69
33	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,2	0,8	74	75	77
34	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,25	0,85	84	84	86
35	3	2,5	1	10,5	0,3	0,3	0,3	0,9	97	97	98
36	3	2,5	1	10,5	0,31	0,31	0,3	0,92	103	103	102
37	3	2,5	1	10,5	0,32	0,31	0,31	0,94	110	110	108
38	3	2,5	1	10,5	0,32	0,32	0,31	0,95	114	114	111

Tablo 3. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model 1	Model 2	Model 3
1	3	3	1	12	0,1	0,1	0,1	0,3	38	38	36
2	3	3	1	12	0,15	0,1	0,1	0,35	40	40	39
3	3	3	1	12	0,15	0,15	0,1	0,4	42	42	41
4	3	3	1	12	0,15	0,15	0,15	0,45	45	45	44
5	3	3	1	12	0,2	0,1	0,1	0,4	42	42	41
6	3	3	1	12	0,2	0,15	0,1	0,45	45	45	44
7	3	3	1	12	0,2	0,15	0,15	0,5	48	48	47
8	3	3	1	12	0,2	0,2	0,1	0,5	48	48	47
9	3	3	1	12	0,2	0,2	0,15	0,55	52	52	51
10	3	3	1	12	0,2	0,2	0,2	0,6	56	56	56
11	3	3	1	12	0,25	0,1	0,1	0,45	45	45	44
12	3	3	1	12	0,25	0,15	0,1	0,5	48	48	47
13	3	3	1	12	0,25	0,15	0,15	0,55	52	52	51
14	3	3	1	12	0,25	0,2	0,1	0,55	52	52	51
15	3	3	1	12	0,25	0,2	0,15	0,6	56	56	56
16	3	3	1	12	0,25	0,2	0,2	0,65	60	60	61
17	3	3	1	12	0,25	0,25	0,1	0,6	56	56	56
18	3	3	1	12	0,25	0,25	0,15	0,65	60	60	61
19	3	3	1	12	0,25	0,25	0,2	0,7	66	66	68
20	3	3	1	12	0,25	0,25	0,25	0,75	73	73	76
21	3	3	1	12	0,3	0,1	0,1	0,5	48	48	47
22	3	3	1	12	0,3	0,15	0,1	0,55	52	52	51
23	3	3	1	12	0,3	0,15	0,15	0,6	56	56	56
24	3	3	1	12	0,3	0,2	0,1	0,6	56	56	56
25	3	3	1	12	0,3	0,2	0,15	0,65	60	60	61
26	3	3	1	12	0,3	0,2	0,2	0,7	66	66	68
27	3	3	1	12	0,3	0,25	0,1	0,65	60	60	61
28	3	3	1	12	0,3	0,25	0,15	0,7	66	66	68
29	3	3	1	12	0,3	0,25	0,2	0,75	73	73	76
30	3	3	1	12	0,3	0,25	0,25	0,8	81	81	85
31	3	3	1	12	0,3	0,3	0,1	0,7	66	66	68
32	3	3	1	12	0,3	0,3	0,15	0,75	73	73	76
33	3	3	1	12	0,3	0,3	0,2	0,8	81	81	85
34	3	3	1	12	0,3	0,3	0,25	0,85	92	92	95
35	3	3	1	12	0,3	0,3	0,3	0,9	105	106	108
36	3	3	1	12	0,31	0,31	0,3	0,92	112	112	114
37	3	3	1	12	0,32	0,31	0,31	0,94	120	120	120
38	3	3	1	12	0,32	0,32	0,31	0,95	124	124	123

Tablo 3. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model 1	Model 2	Model 3
1	3	2,5	2	13,5	0,1	0,1	0,1	0,3	41	41	38
2	3	2,5	2	13,5	0,15	0,1	0,1	0,35	43	43	41
3	3	2,5	2	13,5	0,15	0,15	0,1	0,4	46	46	43
4	3	2,5	2	13,5	0,15	0,15	0,15	0,45	49	49	47
5	3	2,5	2	13,5	0,2	0,1	0,1	0,4	46	46	43
6	3	2,5	2	13,5	0,2	0,15	0,1	0,45	49	49	47
7	3	2,5	2	13,5	0,2	0,15	0,15	0,5	52	52	50
8	3	2,5	2	13,5	0,2	0,2	0,1	0,5	52	52	50
9	3	2,5	2	13,5	0,2	0,2	0,15	0,55	56	56	55
10	3	2,5	2	13,5	0,2	0,2	0,2	0,6	60	60	60
11	3	2,5	2	13,5	0,25	0,1	0,1	0,45	49	49	47
12	3	2,5	2	13,5	0,25	0,15	0,1	0,5	52	52	50
13	3	2,5	2	13,5	0,25	0,15	0,15	0,55	56	56	55
14	3	2,5	2	13,5	0,25	0,2	0,1	0,55	56	56	55
15	3	2,5	2	13,5	0,25	0,2	0,15	0,6	60	60	60
16	3	2,5	2	13,5	0,25	0,2	0,2	0,65	65	65	66
17	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,1	0,6	60	60	60
18	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,15	0,65	65	65	66
19	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,2	0,7	72	72	74
20	3	2,5	2	13,5	0,25	0,25	0,25	0,75	79	79	82
21	3	2,5	2	13,5	0,3	0,1	0,1	0,5	52	52	50
22	3	2,5	2	13,5	0,3	0,15	0,1	0,55	56	56	55
23	3	2,5	2	13,5	0,3	0,15	0,15	0,6	60	60	60
24	3	2,5	2	13,5	0,3	0,2	0,1	0,6	60	60	60
25	3	2,5	2	13,5	0,3	0,2	0,15	0,65	65	65	66
26	3	2,5	2	13,5	0,3	0,2	0,2	0,7	72	72	74
27	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,1	0,65	65	65	66
28	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,15	0,7	72	72	74
29	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,2	0,75	79	79	82
30	3	2,5	2	13,5	0,3	0,25	0,25	0,8	88	88	92
31	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,1	0,7	72	72	74
32	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,15	0,75	79	79	82
33	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,2	0,8	88	88	92
34	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,25	0,85	99	100	105
35	3	2,5	2	13,5	0,3	0,3	0,3	0,9	114	114	119
36	3	2,5	2	13,5	0,31	0,31	0,3	0,92	121	121	125
37	3	2,5	2	13,5	0,32	0,31	0,31	0,94	130	130	132
38	3	2,5	2	13,5	0,32	0,32	0,31	0,95	134	134	136

Tablo 3. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Y1	Y2	Y3	Ytoplam	Model 1	Model 2	Model 3
1	3	3	2	15	0,1	0,1	0,1	0,3	44	44	40
2	3	3	2	15	0,15	0,1	0,1	0,35	47	46	42
3	3	3	2	15	0,15	0,15	0,1	0,4	49	49	45
4	3	3	2	15	0,15	0,15	0,15	0,45	52	52	49
5	3	3	2	15	0,2	0,1	0,1	0,4	49	49	45
6	3	3	2	15	0,2	0,15	0,1	0,45	52	52	49
7	3	3	2	15	0,2	0,15	0,15	0,5	56	56	53
8	3	3	2	15	0,2	0,2	0,1	0,5	56	56	53
9	3	3	2	15	0,2	0,2	0,15	0,55	60	60	58
10	3	3	2	15	0,2	0,2	0,2	0,6	65	65	64
11	3	3	2	15	0,25	0,1	0,1	0,45	52	52	49
12	3	3	2	15	0,25	0,15	0,1	0,5	56	56	53
13	3	3	2	15	0,25	0,15	0,15	0,55	60	60	58
14	3	3	2	15	0,25	0,2	0,1	0,55	60	60	58
15	3	3	2	15	0,25	0,2	0,15	0,6	65	65	64
16	3	3	2	15	0,25	0,2	0,2	0,65	70	71	71
17	3	3	2	15	0,25	0,25	0,1	0,6	65	65	64
18	3	3	2	15	0,25	0,25	0,15	0,65	70	71	71
19	3	3	2	15	0,25	0,25	0,2	0,7	77	77	79
20	3	3	2	15	0,25	0,25	0,25	0,75	85	85	89
21	3	3	2	15	0,3	0,1	0,1	0,5	56	56	53
22	3	3	2	15	0,3	0,15	0,1	0,55	60	60	58
23	3	3	2	15	0,3	0,15	0,15	0,6	65	65	64
24	3	3	2	15	0,3	0,2	0,1	0,6	65	65	64
25	3	3	2	15	0,3	0,2	0,15	0,65	70	71	71
26	3	3	2	15	0,3	0,2	0,2	0,7	77	77	79
27	3	3	2	15	0,3	0,25	0,1	0,65	70	71	71
28	3	3	2	15	0,3	0,25	0,15	0,7	77	77	79
29	3	3	2	15	0,3	0,25	0,2	0,75	85	85	89
30	3	3	2	15	0,3	0,25	0,25	0,8	95	95	100
31	3	3	2	15	0,3	0,3	0,1	0,7	77	77	79
32	3	3	2	15	0,3	0,3	0,15	0,75	85	85	89
33	3	3	2	15	0,3	0,3	0,2	0,8	95	95	100
34	3	3	2	15	0,3	0,3	0,25	0,85	107	107	114
35	3	3	2	15	0,3	0,3	0,3	0,9	123	123	129
36	3	3	2	15	0,31	0,31	0,3	0,92	131	131	136
37	3	3	2	15	0,32	0,31	0,31	0,94	140	140	144
38	3	3	2	15	0,32	0,32	0,31	0,95	145	144	148

EK 4. Webster, DGA ve Geliştirilen Modellere Ait Gecikme Değerleri

Tablo 4. Farklı Kayıp Zamanlara Ait Gecikme Değerleri

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Webster	Dga	Model1	Model2	Model3
1	3	2	1	9	12	11	12	12	12
2	3	2	1	9	13	11	12	12	13
3	3	2	1	9	14	13	14	13	14
4	3	2	1	9	14	14	15	15	15
5	3	2	1	9	14	14	14	14	15
6	3	2	1	9	15	14	15	15	14
7	3	2	1	9	15	16	17	16	17
8	3	2	1	9	17	16	16	16	17
9	3	2	1	9	18	18	18	18	19
10	3	2	1	9	19	20	20	20	20
11	3	2	1	9	17	18	15	20	16
12	3	2	1	9	18	17	17	17	16
13	3	2	1	9	18	19	20	18	19
14	3	2	1	9	19	19	19	18	19
15	3	2	1	9	19	19	19	19	20
16	3	2	1	9	22	22	22	22	22
17	3	2	1	9	22	21	21	20	22
18	3	2	1	9	22	24	24	22	23
19	3	2	1	9	22	26	25	25	27
20	3	2	1	9	33	31	28	28	29
21	3	2	1	9	21	18	17	17	27
22	3	2	1	9	24	26	23	19	25
23	3	2	1	9	31	30	30	23	23
24	3	2	1	9	25	24	24	24	26
25	3	2	1	9	25	25	25	25	24
26	3	2	1	9	25	29	30	31	25
27	3	2	1	9	25	27	27	27	28
28	3	2	1	9	26	32	28	26	27
29	3	2	1	9	28	31	28	29	30
30	3	2	1	9	34	37	34	33	34
31	3	2	1	9	34	38	36	28	27
32	3	2	1	9	38	36	33	29	32
33	3	2	1	9	37	38	35	32	33
34	3	2	1	9	39	53	37	39	39
35	3	2	1	9	49	81	47	47	46
36	3	2	1	9	52	106	57	52	54
37	3	2	1	9	60	146	58	58	63
38	3	2	1	9	62	165	69	69	62

Tablo 4. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Webster	dga	Model1	Model2	Model3
1	3	3	1	12	13	13	14	14	13
2	3	3	1	12	14	14	15	15	14
3	3	3	1	12	15	16	16	16	16
4	3	3	1	12	16	17	17	17	18
5	3	3	1	12	16	16	16	16	16
6	3	3	1	12	18	16	18	17	17
7	3	3	1	12	18	18	19	19	18
8	3	3	1	12	19	20	19	18	19
9	3	3	1	12	20	21	20	20	21
10	3	3	1	12	24	24	24	24	24
11	3	3	1	12	22	19	20	20	20
12	3	3	1	12	20	19	21	20	20
13	3	3	1	12	21	21	23	20	21
14	3	3	1	12	24	22	22	22	22
15	3	3	1	12	23	23	23	23	23
16	3	3	1	12	25	26	26	26	24
17	3	3	1	12	28	27	28	28	28
18	3	3	1	12	28	26	26	25	26
19	3	3	1	12	30	30	28	31	30
20	3	3	1	12	33	36	33	33	34
21	3	3	1	12	40	24	26	26	34
22	3	3	1	12	33	25	33	32	28
23	3	3	1	12	39	26	32	32	32
24	3	3	1	12	35	26	33	32	32
25	3	3	1	12	27	28	34	29	30
26	3	3	1	12	31	34	30	28	33
27	3	3	1	12	32	33	37	32	32
28	3	3	1	12	33	34	30	30	33
29	3	3	1	12	36	38	33	32	33
30	3	3	1	12	40	51	37	42	39
31	3	3	1	12	39	45	54	54	54
32	3	3	1	12	42	39	44	50	39
33	3	3	1	12	39	54	39	38	42
34	3	3	1	12	48	68	46	44	47
35	3	3	1	12	61	104	64	63	68
36	3	3	1	12	63	134	75	82	76
37	3	3	1	12	89	168	96	109	109
38	3	3	1	12	135	189	94	101	92

Tablo 4. (Devam)

Trafik durum	Faz Sayısı	Sarı	Her yön kırmızı	Kayıp zaman	Webster	dga	Model1	Model2	Model3
1	3	3	2	15	14	14	15	15	14
2	3	3	2	15	15	15	16	17	15
3	3	3	2	15	17	17	17	17	17
4	3	3	2	15	18	18	19	19	18
5	3	3	2	15	18	18	18	17	17
6	3	3	2	15	18	17	19	19	18
7	3	3	2	15	20	21	21	21	19
8	3	3	2	15	20	21	22	21	20
9	3	3	2	15	22	22	22	22	22
10	3	3	2	15	25	26	25	25	24
11	3	3	2	15	19	24	23	19	23
12	3	3	2	15	22	21	21	21	19
13	3	3	2	15	24	24	22	22	24
14	3	3	2	15	25	23	24	23	24
15	3	3	2	15	25	25	25	24	25
16	3	3	2	15	28	28	28	27	27
17	3	3	2	15	26	27	28	25	27
18	3	3	2	15	29	28	29	29	27
19	3	3	2	15	30	34	30	30	29
20	3	3	2	15	36	41	34	34	36
21	3	3	2	15	32	42	34	34	32
22	3	3	2	15	30	30	29	26	41
23	3	3	2	15	29	29	31	25	36
24	3	3	2	15	34	30	32	28	30
25	3	3	2	15	30	31	30	32	29
26	3	3	2	15	33	37	34	31	34
27	3	3	2	15	32	32	31	33	32
28	3	3	2	15	32	37	34	32	30
29	3	3	2	15	36	43	35	38	38
30	3	3	2	15	43	54	41	41	44
31	3	3	2	15	39	46	45	37	39
32	3	3	2	15	41	54	42	37	44
33	3	3	2	15	48	58	45	42	47
34	3	3	2	15	55	74	54	51	54
35	3	3	2	15	68	120	68	68	71
36	3	3	2	15	80	142	82	84	86
37	3	3	2	15	93	183	93	95	92
38	3	3	2	15	99	220	102	103	102