



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Kentiçi Sinyalize Kavşaklarda Ofset-Gecikme
İlişkisinin Geliştirilmesi
Tahseen Saad Ali Al-SHAIKHLI

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği (Ulaştırma Prğ.) Anabilim Dalı

Ekim-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Tahseen Saad Ali Al-SHAIKHLI tarafından hazırlanan “**Kentiçi Sinyalize Kavşaklarda Ofset-Gecikme İlişkisinin Geliştirilmesi**” adlı tez çalışması 7/11/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği (Ulaştırma Prğ.) Anabilim Dalı** Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR

.....

Danışman

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

.....

Üye

Prof. Dr. Mete KALYONCU

.....

Üye

Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ARSLAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

Bu tez çalışmasıtarafındannolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Tahseen Saad Ali AL-SHAIKHLI

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KENTİÇİ SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME-OFFSET İLİŞKİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Danışman

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

TAHSEEN SAAD ALI AL-SHAIKHLI

Selçuk Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ÖZET

Bu çalışma kapsamında yeni bir matematiksel yaklaşım olan gecikme-ofset ilişkisinin belirlenmesi için matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen matematiksel formülasyon, Diferansiyel Gelişim Algoritmasıyla (DEA) birlikte sinyalize trafik alanındaki koordinasyon ve gecikme minimizasyon problemlerinin optimizasyonunda kullanılmıştır. Gecikme-ofset fonksiyonunda hem üniform hem de aşırı doygun gecikmeler formüle edilmiş, ayrıca bu çalışmada örnek ulaşım ağındaki her giriş ve çıkışı olmayan linkler için sabit varış akışı benimsenmiştir. İki farklı gecikme türü için periyodik ve yarı-periyodik varış modelleri varsayımı yapılmış ve her iki gecikme bileşeni için gecikme-ofset matematiksel amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. İlk önce devre süreleri, giriş linkleri için optimize edilmiş ve optimize edilen bu değerler, çıkışı olmayan linkler için devre süresi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen matematiksel model, Allsop & Charlesworth örnek çalışmasında uygulanmış, önerilen yaklaşım ve optimizasyon tekniği ile her bir linkteki gecikme süreleri hesaplanmıştır. Bulgular, önerilen matematiksel formülasyonun, geleneksel modellerle kıyaslandığında toplam üniform gecikmeyi yaklaşık %50 iyileştirdiği bulunmuştur. Örnek ulaşım ağı için uygulanan öneri matematiksel model sonuçları, Ceylan (2002) ile uyum içerisinde olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gecikme-ofset ilişkisi, Periyodik Fonksiyon, Yarı-periyodik Fonksiyon.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF DELAY-OFFSET RELATIONS IN URBAN SIGNALIZED TAHSEEN SAAD ALI AL-SHAIKHLI

NETWORKS

Danışman

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

**Technical University Insti-
tute of Graduate Studies**

Department of Civil Engineering

A new mathematical approach development of the delay-offset objective function is derived. The coordination and delay minimization problems in a signalized traffic network using the differential evolution algorithm (DEA) are optimized. The uniform delay and oversaturated delay are formulated in this study. the Fixed arrival flow for each entry and non-entry link in a large network is adopted in this study. This work assumes periodic and quasi-periodic arrival patterns for the two delay types, respectively, and derives a directed delay-offset mathematical objective function. The cycle time is optimized at the entry links and the optimized value is used in the non-entry links as the common cycle time. The offset optimization algorithm technique is used to calculate the total delay at each link. The results are illustrated by using the Allsop & Charlesworth case study. The findings found that the proposed mathematical formulation improved the overall uniform delay by approximately 50% when compared to conventional models. The proposed mathematical model results applied for the sample transportation network were found to be in agreement with Ceylan (2002).

Keywords: Delay-Offset relations, Periodic Function, Quasi-periodic Function.

TEŞEKKÜR

Değerli hocam, Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK her adımda verdiği destekten dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca eş danışmanım Prof. Dr. Halim CEYLAN'a çalışma yolunu çizmedeki destekleyici rehberliği ve çalışma esnasında verdiği güven için teşekkür ederim.

Prof. Dr. Jonathan WEAVER'a tezin matematiksel gelişimindeki destekleri için teşekkür ederim.

Çalışmamı tamamlamama yardım ettiği için sevgili arkadaşım Onur Güngör Şahin'e teşekkür ederim.

Onlarla gurur duymamı sağlayan sonsuz destekleri için anne, babama ve kız kardeşlerim ve sevgili amcam teşekkür ederim. Verdiğim desteğin onlardan aldığım desteğin yanında yetersiz kalacağından emin olduğum bu çalışmayı onlara adıyorum.

Çalışmam sırasında bana verdiği destek için Dr. Rafal Malik Kâmil'e teşekkür ederim.

Tahseen Saad AL-SHAIKHLI
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	2
1.2. Çalışmanın Amacı	7
1.3. Çalışmanın kapsamı	8
BÖLÜM II	9
LİTERATÜR TARAMASI.....	9
2.1. Trafik Sinyal Kontrolü Terminolojisi	9
2.2. Trafik Sinyal Kontrol Tipleri	11
2.2.1 Sabit Zamanlı Trafik Kontrol	11
2.2.2. Yarı Uyarmalı Trafik kontrol.....	11
2.2.3. Tam Uyarmalı Trafik kontrol	11
2.3. Koordine Trafik Kontrol.....	11
2.4. Alansal Trafik Kontrolü	12
2.5. Sinyalize Kavşaklarda gecikme ve türleri	15
2.7. Trafik Akış Teorisinde Periyodik Fonksiyonların Uygulanması.....	21
2.8. Ofset Optimizasyonu İçin Genel Teknikler	24
2.9. Ofset Optimizasyonu için Öneri	28
2.10. Gecikme Parametresi ve Ofset Değişken İlişkisi.....	32
2.11. Sinyal Optimizasyonu.....	34
2.12. Yarı Periyodik Fonksiyonlar.....	37
BÖLÜM III.....	39
FARKLI EVRİM OPTİMİZASYON ALGORİTMASI.....	39
3.1. Başlangıç Popülasyonun Başlatılması	40
3.2. Mutasyon	41
3.3. Çaprazlama	41

3.4. Seçim	42
3.5. Yakınsama Kriterleri.....	42
BÖLÜM IV	44
MATERYAL VE YÖNTEM	44
4.1. Problem Formülasyonu.....	45
4.2. Matematiksel Model Geliştirilmesi	48
4.3. Gecikme ve Ofset Değişken İlişkisi (Kısım I).....	57
4.4. Doygun Üstü Gecikme için Yarı Periyodik Amaç Fonksiyonu (Kısım II)	59
4.5. Üniforma ve Toplam gecikmenin Amaç Fonksiyonları	62
BÖLÜM V	66
ÖRNEK UYGULAMA.....	66
5.1. Üniform Gecikme	71
5.2. Doygun Üstü Gecikme	71
5.2. Bulgular ve Değerlendirme.....	72
5.2.1. Üniforma Gecikme Sonuçlar	72
5.2.2. Toplam Gecikme Sonuçları	76
BÖLÜM VI.....	82
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	84

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Dinamik ve TRANSYT-7F program sonuçları arasında karşılaştırma	34
Tablo 4.1. Setler, alt Setler, değişken ve parametre gösterimleri	46
Tablo 5.1. B-V matrisi (taşıt/saat)	69
Tablo 5.2. Linklerdeki doymun akım (taşıt/saat).	69
Tablo 5.3. Rotalar ve trafik hacmi (taşıt/saat).	70
Tablo 5.4. Önerilen modelin üniform gecikme bileşeninin HCM ve Webster ile karşılaştırılması ($x \leq 0.95$)	74
Tablo 5.5. Önerilen matematiksel model yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar.	76
Tablo 5.6. Üniform gecikme ve çıkış kavşağı ofsetler dikkate alınır.	77
Tablo 5.7. Ulaşım ağı için önerilen matematiksel yaklaşım ile elde edilen sonuçlar.	79
Tablo 5.8. En yüksek çıkış kavsak ofsetleri dikkate alınır.	80
Tablo 5.9. Sabit akış kümesi için ağı ofsetleri Ceylan, (2002).	81
Tablo 5.10. Sabit talep için yol başına ve bölgeler arasındaki toplam gecikme.	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sekil 1.1 Zamanın bir fonksiyonu olarak talebi (trafik) gösterir ve doygun üstü dönemi (Urbanik vd., 2015)	5
Şekil 1.2 Taşma kuyruğu	6
Şekil 1.3 Geri yayılmadır	6
Şekil 2.1. İki Fazlı Sinyal Sistemi	10
Şekil 2.2. Her kavşaktaki devre süresini kontrol etmek için zaman-mesafe diyagramı (Gordon vd., 2005)El Kitabı.	12
Şekil 2.3. Kümülatif varış ve ayrılış (ayrık ve sürekli) (Fawaz ve Khoury, 2016)	18
Şekil 2.4. Üniörm gecikme gösterimi	19
Şekil 2.5. Rastgele gecikme gösterimi	19
Şekil 2.6. Gecikme/ofset ilişkisinin çizimi	21
Şekil 2.7. Zamanın bir fonksiyonu olarak varış ve ayrılışın sinüzoidal yaklaşımı (Coogan vd., 2015)	29
Şekil 2.8. Gecikme ile ofset karşılaştırmasını gösteren çizim TRANSYT-7F ve Fourier serileri.	33
Şekil 3.1. DEA Akış Şeması	43
Şekil 4.1. Basit Trafik Ağı	47
Şekil 4.2. Kesişen noktalar a_1 ve a_2	53
Şekil 4.3. Periyodik geliş ve gidiş oranları örneği, devre başına sınırlanan alan	58
Şekil 4.4. Sırasıyla geliş ve geliş oranları için yaklaşık periyodik ve yarı periyodik	60
Şekil 5.1. Örnek ulaşım ağı (Ceylan, 2002)	67
Şekil 5.2. Sinyalizasyon kavşaklar faz planı.	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$\sum$	Toplama Operatörü
$ \cdot $	Mutlak Değer operatörü
$\int$	Entegrasyon operatörü

Kısaltmalar

ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
BD	İş bölgesi (BD)
BM	Burer-Monteiro
$\mathbb{C}$	Kompleksler seti
CA	Hücrel Otomasyon
CR	Çapraz Operatör
CTM	Hücre İletim Modeli
DEA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
DP	Dinamik Programlama
GA	Genetik Algoritma
HCM	Otoyol Kapasite El Kitabı
KAM	Kolmogorov, Arnold, Moser
KKT	Karush-Kuhn-Tucker optimizasyon eşitsizliği
LPF	Bağlantı Performansı İşlevi
NETSIM	Mikroskobik simülasyon modeli
OD	Doygu Üstü Gecikme
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
QCQP	İkinci Dereceden Kısıtlı İkinci Dereceden Program
$\mathcal{R}$	Gerçekler Seti
TD	Toplam Gecikme
TST	Trafik Sinyali Zamanlaması
TUD	Toplam Tekdüzen Gecikme
UD	Üniforma Gecikme

BÖLÜM I

GİRİŞ

Nüfus artışlarıyla tartan otomobil sahipliği ulaşım ağlarına olan talebi artırmakta ve trafik sıkışıklığının oluşmasına neden olmaktadır. Trafik sıkışıklığının en önemli nedenlerinden birisi iyi düzenlenmemiş kentiçi kavşaklardır. Özellikle sinyalize kavşaklarda, sinyal planlarının tüm ulaşım ağını dikkate alacak şekilde optimize edilmemesi trafik sıkışıklığının asıl nedenlerinden birisini oluşturmaktadır. Bu nedeni ortadan kaldırmanın en önemli bileşeni gecikme-ofset ilişkisinin kurularak sinyal planlarının kentiçi ulaşım ağlarında optimizasyonu gerekmektedir. Ofset iki kavşak arasındaki ilişkiyi ifade ettiği için matematiksel olarak gecikme parametreleri ile birlikte formüle etmek oldukça zordur. Bunun nedeninin başında sinyal parametreleri konveks, ofset parametreleri ise non-konveks bir yapıya sahiptir. Problemin çözümü için yeni yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır.

Geçmiş dönemlerde trafik talebi düşük seviyelerde olduğu için basit trafik kontrol algoritmaları ile yönetilebilir seviyede olduğu, ancak, günümüzde İstanbul, Meksika Şehri, Delhi ve benzeri büyük şehirlerde, özellikle zirve saatlerde trafik talebinde öngörülemeyen bir artış yaşandığı için kompleks algoritmalara ihtiyaç olduğu söylenebilir. Trafik artışı trafik kontrolü problemlerini giderek zorlaştırmaktadır. Zaman kaybı, yakıt tüketimi ve araç bakımını içeren ekonomik ve sosyolojik faktörler bu problemlerin karmaşıklığını arttırmaktadır. Ayrıca, sinyalize kavşaklar arasında etkin bir koordinasyonun olmaması sonucu yol kullanıcıları yüksek gecikmelerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, sürücünün hem psikolojik durumlarını hem de ekonomik durumunu etkilemektedir.

Daha önceki çalışmalarda sinyalize kavşaklar için üniform gecikme, Poisson dağılımını takip eden, giren ve çıkan taşıtlar arasında üçgen şeklinde bir alan olarak tanımlanmıştır (Akcelik, 1981; Webster, 1958). Allsop, (1971) çalışmasında, sabit zamanlı trafik için gecikmeyi en aza indirebilmek için çalışma yapmış, ancak gecikmeleri ofsetlerle ilişkilendirebilecek net bir matematiksel ilişki kuramamıştır. Son zamanlarda literatürde önerilen yeni varsayım, araçların sinüzoidal yaklaşım olarak temsil edilen periyodik bir zaman fonksiyonunda sinyalize kavşağa vardığı ve ayrıldığıdır (Amini vd., 2018; Coogan vd., 2015, 2017; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2020). Ancak, yeni sinüzoidal

yaklaşımın geliştirilmesi gerekmektedir. Araştırmacılar, sinyalize ulaşım ağlarında kuyruk uzunluğunu en aza indirmeyi amaçlayan çalışmalar gerçekleştirmişler, ancak gecikme-ofset ilişkisini net olarak ortaya koyamamışlardır (Amini vd., 2018; Coogan vd., 2015, 2017; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2017, 2020).

Bu çalışma, literatürdeki yaklaşımlara yeni bir kavram ekleyerek varsayımları geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın ana fikri, taşıtların sinyalize ağa giriş ve çıkışlarının periyodik olduğu varsayımıyla sinyalize kavşaktan ayrılan ve gelen taşıtlar arasındaki alanın doğrusal fonksiyon olmadığı, ancak gecikmenin tamamen dengelenmesini sağlayan periyodik sinüzoidal fonksiyonlar olduğudur. Hipotez; iki fonksiyon arasında sınırlanan alanın gecikmeyi ofset fonksiyonu olarak temsil etmesidir. Bu iki aşamada ele alınan varsayım daha önceki çalışmaları desteklemek amacıyla literatüre tamamen yeni bir katkıdır. İlk olarak ofset bağımlı yeni bir gecikme formülasyonu geliştirilmiş ve daha sonra varış hızı ve periyodik kalkış hızı için zamanın yarı-periyodik fonksiyonunu göz önünde bulunduran, doymun üstü gecikmenin yeni bir formülasyonu geliştirilmiştir. Gecikme modelinde aşırı doymunluk durumu göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada, sinyalize ağlardaki gecikme-ofset ilişkisi için literatüre yeni matematiksel bir katkıdır ve var olan genel konseptin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Tezin temel amacı, geliştirilen matematiksel model ile trafik kontrol alanındaki ofsetleri kontrol ederek gecikmeleri minimize etmektir. Çalışmanın diğer amacı; sinyalize ağlarda her iki durumda üniform ve aşırı doymun gecikme için gecikme-ofset değişkeni için geliştirilmiş bir model oluşturmaktır.

1.1. Problemin Tanımı

Problemin tanımı iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısım mevcut konseptlerin yetersizliğini, ikinci kısım ise sinyalize ağdaki sıkışık trafikteki aşırı doyma durumunu içermektedir.

Kısım 1. Şehirler büyüdükçe, artan talep, nüfus artışı ve bölgeler arası yolculuklar nedeniyle, İş bölgesi (BD) trafik akışı hareketinde kesintiye uğramaktadır. Bunların nedenlerinden birisi, trafik akışında efektif olmayan gecikme-ofset ilişkisinden kaynaklanabilir. Ceylan, (2006) sinyalize kavşak için optimizasyon problemlerinin

konveks olmaması nedeniyle çözümü zor problemler olduğunu ayrıca diğer zorluğun yeşil zamanın başlangıcı için uygun bir kısıtlama olmaması (yani gecikme-ofset değişkeninin görünür bir ilişkisinin olmadığını) olduğunu belirtmiştir.

Trafik sinyallerinin temel görevi, çarpışmayı önlemek amacıyla trafiği ayırmaktır. Sinyalize kavşaklarda farklı trafik hareketlerinin ayrılması aşamalandırmayla yapılmaktadır. Aşamalandırmaya her trafik hareketi atanır ve her faza bir devre süresi verilir. Devre süresi, birlikte çeşitli renk uyarı için göstergesidir (kırmızı, sarı ve yeşil). Yetersiz zamanlama trafik sinyali zamanlamasının bir sonucu olarak trafik ağı eksikliği, sinyalize kavşaklarda uzun taşıt kuyruklar ve daha yüksek gecikmeler yaratacaktır. Trafik talebi, belirli bir sinyalize kavşak veya bağlantıda yolculuk talep eden araç sayısıdır. Talebin kapasite eşiğinin üzerine çıkması trafik sıkışıklığına ve ağ düzensizliğine neden olur.

Sinyalize trafik ağlarında ortak üç koşul bulunmaktadır. Bunlar; doygun altı, doygun ve doygun üstü koşullardır. Doygun altı koşullarda, herhangi bir trafik sıkışıklığından bahsedilmezken, doygun ve doygun üstü koşullarda, yol kullanıcıları trafik sıkışıklığına maruz kalmaktadırlar. Trafik sıkışıklığı, talebin kapasiteyi belirli bir zaman dilimi boyunca geçmesi olarak tanımlanabilir. Talebin kapasiteye eşit olduğu bir nokta da doygun akım olarak kabul edilir. Sinyalize kavşaktaki kuyruklanma durumu doygun üstü durumu ifade etmektedir. Bununla birlikte, doygun üstü belirtileri, belirli bir hareket ve ağ geometrisi için duruma veya senaryoya göre değişir. Trafik ağının koordinasyonu, özellikle en yoğun trafik periyoduna ulaşıldığında zordur. Koordinasyon parametreleri ofset, devre süresi ve yeşil süreleridir. Kötü koordinasyon, uzun kuyruklara ve gecikmelere yol açacaktır.

Trafik sinyali hedefini yerine getirmek için değişiklikler yapılmalıdır. Belirli bir aşamaya etkin yeşil süre verildiğinde, doygun altı durumdaki ağlar için talep yönetilebilir. Ancak, etkin yeşil süre olması gerekenden daha uzun sürebilir. Başka bir deyişle, fazladan kullanılmayan efektif yeşil zaman kavşaktaki diğer fazlara hizmet etmek için tahsis edilebilir. Efektif yeşil zamanın düzgün tahsis edilememesinin sebepleri, talep ölçümlerinin belirsizliği ve zayıf sinyal zamanlaması olabilir. Talepler, geliş oranı olduğu için geliş ve gidiş oranlarının her l linkinde periyodik olduğu varsayılmıştır. Doğru Ofset seçimiyle kuyruk uzunluğu en aza indirilebilir ve doğrudan gecikme de en aza

indirilecektir (Amini vd., 2018; Coogan vd., 2015, 2017; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2020). Bu çalışmalar kuyruk uzunluğu hesabı için Eşitlik (1)'i önermiştir. (1) önermiştir.

$$q_l(t) = a_l(t) - d_l(t) \quad (1)$$

Burada: -

$q_l(t)$: - (t) zamanında kuyruk uzunluğu

$a_l(t)$: - t anında değerlendirilen l yoluna varış oranı

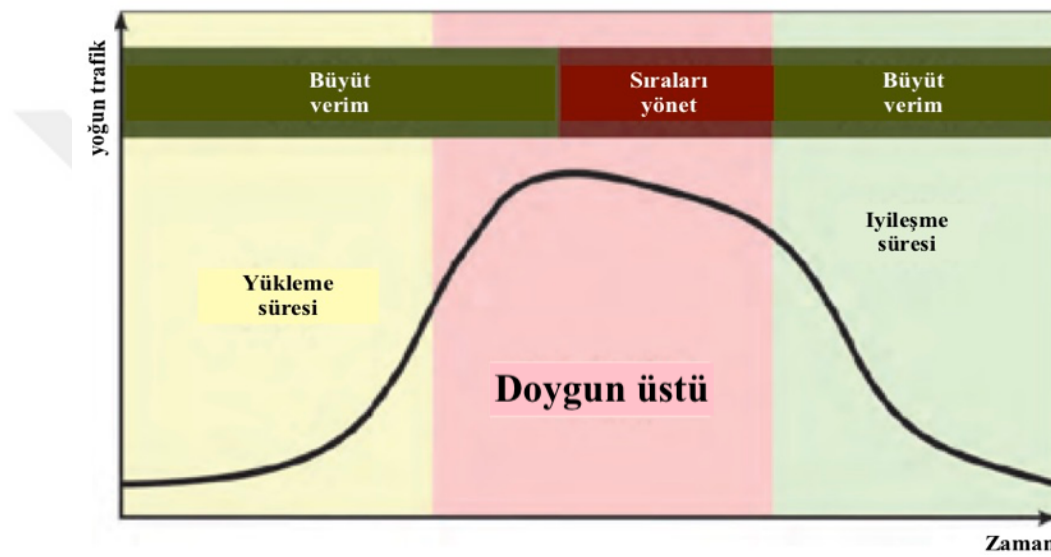
$d_l(t)$: - l yolundaki t anında değerlendirilen ayrılma oranı

Literatürdeki çalışmalar, akışkan kuyruğu modelini benimsemişler ve sinyalize kavşaklarda çok sayıda trafik akışı ile kuyruk uzunluğunu en aza indirmeyi başarmışlardır. Ancak, doğrudan bir gecikme-ofset ilişkisi matematiksel olarak geliştirilmedikçe kuyruk uzunluğunun en aza indirilmesi etkili olmayabilir. Çalışmada, ofset ve gecikme arasındaki doğrudan türetme modelinin koordinasyon sorununu azaltabileceğini ve büyük ölçekli ağlarda üniform ve toplam gecikmeyi en aza indirebileceğini varsaymaktadır. Geliş ve gidiş hızları periyodik sinüzoidal fonksiyonlar olduğundan, bu iki fonksiyon arasında sınırlanmış bir alan gecikme parametresini temsil etmektedir. Parametre, araçların kırmızı ışık süresi boyunca l linkine gelip sıraya girmesiyle açıklanır, geliş ve gidiş sinüzoidal fonksiyonları sınırlanan alanı oluşturur. Yeşil ışık göstergesinde, varış ve ayrılış oranları sınırlanmış başka bir alanı oluşturur (arabalar kavşaktan ayrıldığında). Bu konsept 4. bölümde ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Eşitlik (2)'de verildiği üzere iki alan arasındaki fark, atıfta bulunulan gecikme fonksiyonudur.

$$UD_l = \left| \begin{array}{l} \text{Kırmızı aralığın altındaki alanlar} \\ - \text{Yeşil aralığın altındaki alanlar} \end{array} \right| \quad (2)$$

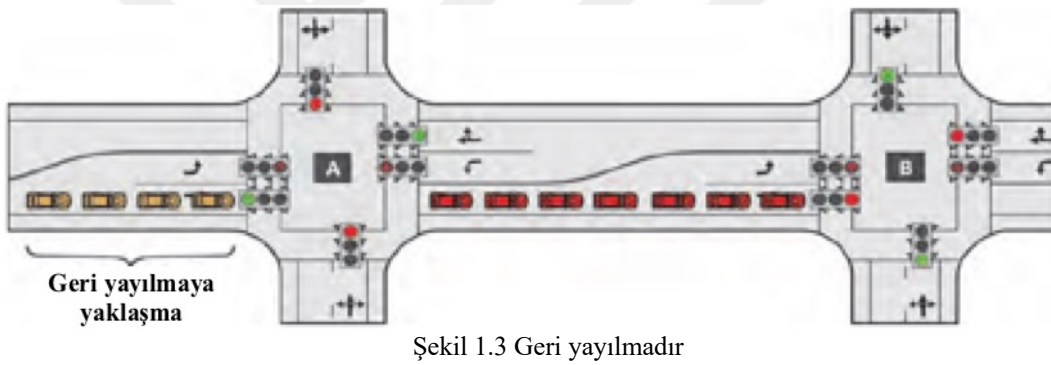
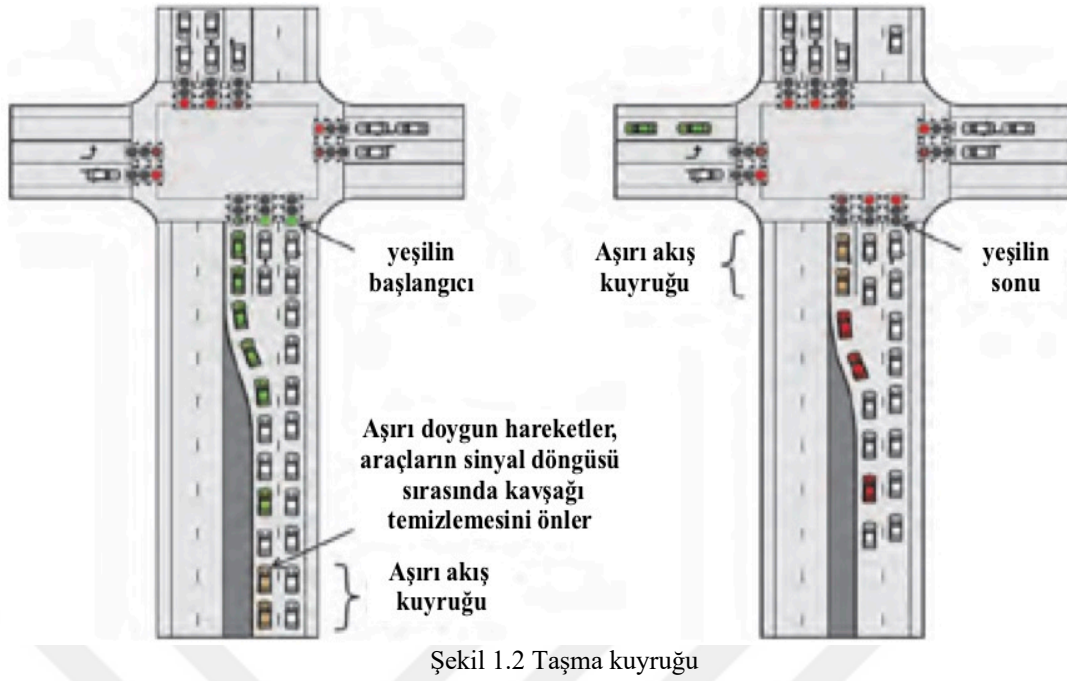
Kelimenin tam anlamıyla, bir devre süresi içerisinde, sınırlanan alan, ofset seçimi ile arttırılabilir ve azaltılabilir. Gecikme varsayımı, bu sinüzoidal fonksiyonlar tarafından oluşturulan sınırlı alandır. Varış hızının üniform olduğu varsayılır ve farklılık görülmemiştir.

Kısım 2: Kentsel alanlarda trafik sıkışıklığı yaygın bir sorundur. Zirve saatlerde, talep beklenen kapasiteden daha yüksek olmaktadır. Trafik sinyalleri, ağdaki her bir bağlantıdaki araçları boşaltmaya çalışırken maksimum kapasitede çalıştırılır. Sorun, maksimum kapasiteye ulaşılsa bile, talebin daha yüksek olması ve durumun daha karmaşık hale gelmesidir. Ek olarak, doymun üstü gecikmenin ölçülmesi gerekmektedir. Bu duruma aşırı doyma denir. Şekil 1.1 zamanın bir fonksiyonu olarak talebi (trafik) gösterir ve doymun üstü dönemi, kuyrukların oluşturulduğu, kapasitenin aşıldığı ve gecikmenin en yüksek değere ulaştığı orta aşamadır (Urbanik vd., 2015).



Şekil 1.1 Zamanın bir fonksiyonu olarak talebi (trafik) gösterir ve doymun üstü dönemi (Urbanik vd., 2015).

En fazla doymunluk belirtileri, Şekil 1.2'deki taşma kuyruğu ve Şekil 1.3'teki vakaları geometrik olarak gösteren geri yayılmadır.



(Amini vd., 2018; Coogan vd., 2015, 2017; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2018, 2020) çalışmalarında belirtildiği gibi, kuyruk ölçümü, akışkan kuyruk modelinin uyarlanmasıyla ofset bağımlı olan parametredir. Akışkan kuyruk modeli, Kuyrukların ve varış ve ayrış oranlarının periyodik olduğunu ve trafik talebi tamamen varış hızı modeline bağlı olması nedeniyle varış modelinin artık periyodik değil, yarı-periyodik olduğunu bildiren ikinci tez hipotezini desteklemektedir. İlk terim, Akçelik, (1980) tarafından deterministik taşma temelinde varış hızındaki artışın lineer olduğu varsayılarak lineer, ikinci terim ise alındığı gibi periyodiktir (Amini vd., 2018; Coogan vd., 2015, 2017; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2018, 2020).

Kalkış hızının periyodik olduğu varsayıldığında, sinyalizasyon kavşaktan geçişte hissedilir bir değişiklik olmayacağından, bu durum birinci kısımdan itibaren aşırı doygun gecikme

fonksiyonuna götürecektir, kırmızı ve yeşil aralıklar altında oluşan alanların farkları aşırı doymun gecikmeyi temsil eder. İkinci hipotez, geliş hızı modelinin periyodik sinüzoidal fonksiyondan ziyade yarı periyodik olduğudur. Bu durum 4. Bölümde ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Taşma deterministik gecikmesi Eşitlik (3)'teki gibi gösterilebilir:-

$$OD_t = \left| \begin{array}{l} \text{Kırmızı aralığın altındaki alanlar} \\ - \text{Yeşil aralık altındaki alanlar} \end{array} \right| \quad (3)$$

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, DEA kullanarak sinyalizasyon trafikte ofset optimizasyonuna dayalı yeni bir matematiksel gecikme tahmini yaklaşımı sunmaktır. Gecikme, kavşaktaki gelen ve giden linklerin ofset seçimleriyle ilişkilidir. Bu, matematiksel gecikme tahmini modeli kullanarak ofset optimizasyonuna dayalı üniform gecikmeyi ve aşırı doymun gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlar. Ayrıca, periyodik sinüzoidal yaklaşım fonksiyonlarının varsayımına dayalı olarak alan trafik kontrolü için gecikme modlarını (doymamış ve aşırı doymun) kapsayan ilk kapsamlı çalışma olarak kabul edilebilir. Üniform varışlarda, sinüzoidal periyodik fonksiyonlar, üniform gecikme bileşenini tahmin ederken, aşırı doymun durum için gecikme de varış hızının yarı-periyodik fonksiyon olduğu düşünülerek en aza indirilir. Amaç son olarak, oluşan tüm koordinasyon değişkenlerini tek bir matematiksel modelde toplayarak daha kolay ve hızlı olacak olan gecikme-ofset ilişkisini optimize etmek için yeni matematiksel modeller geliştirmektir. Bunların yanında aşağıda özel amaçlar verilmiştir.

- 1- Üniform gecikme olan yetersiz doymunluğa sahip sinyalizasyon ağı için doğrudan bir gecikme-ofset matematiksel modeli geliştirmek.
- 2- Belirleyici gecikme olan aşırı doymun sinyalizasyon ağı için doğrudan bir gecikme-ofset matematiksel modeli geliştirmek.
- 3- Her bir link için toplam gecikme değerlerini kullanarak ofset seçimine dayalı olarak her bir linkteki tekdüze ve aşırı doymun gecikmeyi analiz etmek.
- 4- Üniform ve aşırı doymun gecikme modellerini objektif olarak toplayarak ofset bağımlı hem üniform hem de aşırı doymun gecikmeler için genel bir matematiksel model formüle etmek.

1.3. Çalışmanın kapsamı

Çalışma, ofset seçimine dayalı olarak doğrudan bir gecikme tahmini ilişkisi bulmaya odaklanmaktadır. Düzgün gecikme ve aşırı doygun gecikme olarak model ikiye ayrılmıştır. İki modelin toplamı, toplam gecikmeyi ve ofset bağımlı fonksiyonu vermektedir. Aşırı doygun koşullarda gecikme için matematiksel bir model formüle edilmiştir. Ofset değişkenini optimize etmek için diferansiyel gelişim algoritması (DEA) kullanılmıştır.

Optimizasyon prosedürü basitçe ofset değerleri arasında geçiş yapar ve geliş kavşağı ile çıkış kavşağının ofsetlerini ayarlar. Bu ofset değerleri, bir saatlik analitik süre boyunca gecikmeyi tahmin eder. Aşırı doygunluk durumu, büyük ağlarda aşırı talep trafiğini kontrol etmek için de optimize edilmiştir. Her iki model de büyük ölçekli ağlarda toplam gecikmeyi ölçmek için periyodik ve yarı-periyodik fonksiyonlardaki varış araçlarını araştırmıştır. Ancak, sapma oranları her iki modelde de sinüzoidal periyodik bir fonksiyon olarak kalmıştır. Bunun nedeni, yeşil zaman periyodu boyunca trafik kavşağının sabit verimidir. Bu çalışmanın kapsamı, ofset bağımlı sinyalize şebekenin toplam gecikmesi için matematiksel bir model türetmektir.

BÖLÜM II

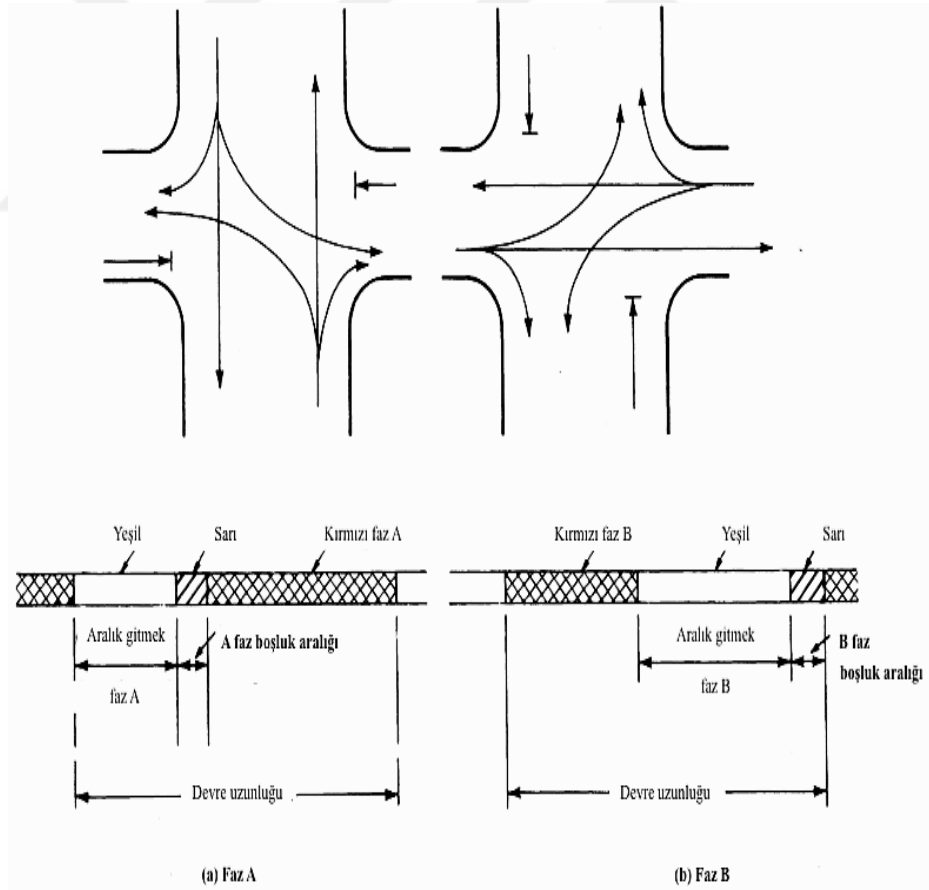
LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, araştırma konusunu kapsayacak şekilde ilgili kaynaklar araştırmaya dahil edilmeye çalışılmıştır. İncelenen kaynaklar, sorunu ele almak, kolaylaştırmak ve çözümler önermek için tartışılmıştır. Önce trafik terminolojileri ele alınmış, ardından trafik işareti türleri tartışılmıştır. Bu yaklaşım, bu konuda nelerin mevcut olduğu hakkında kabaca bir fikir verecektir. Alan trafik kontrol bölümü, trafik koordinasyonu ve talep yerleşimine ilişkin tarihsel bir genel bakış sunmaktadır. Bu tezin temel amacı gecikme fonksiyonunu en aza indirmektir ve bu nedenle şimdiye kadar kullanılan gecikme türleri ve gecikme ölçüm teorilerinden bahsetmek gerekmektedir. Son trafik teorileri de trafiğin geliş ve gidişinin zamanın sinüzoidal periyodik bir fonksiyonu olduğu düşünülerek tartışılmaktadır. Bu bölüm birden fazla bölüme ayrılmıştır. Ofset optimizasyonu bu çalışmada ele alınmıştır. Ofset değişkenini optimize etmek için kullanılan en önemli tekniklerden söz edilmiştir. Kaynaklarda bazı gecikme-denge ilişkisi girişimleri yapılmıştır. Çalışmalarda sinyal zamanlama kontrolü ve bu konuda hangi yöntemin kullanıldığı tartışılmıştır.

2.1. Trafik Sinyal Kontrolü Terminolojisi

- 1- Denetleyici. Sabit veya değişken bir plana göre sinyal lambalarının gösterdiği renkleri değiştiren bir trafik sinyal lambalarında bulunan bir cihaz. Uygun zamanlarda farklı yaklaşımlara geçiş hakkı verir.
- 2- Devre süersi. Sinyal göstergesinin tam bir renk dizisi için gereken saniye cinsinden süre. Şekil 2.1 bir devrenin şematik görünümüdür. Şekil 2.1’de, örneğin, devre uzunluğu, yeşil göstergenin başlangıcından kırmızı göstergenin sonuna kadar geçen süredir.
- 3- Faz (sinyal fazı). Şekil 2.1'deki. Bir veya daha fazla aralıkta eşzamanlı olarak geçiş hakkına sahip olan bir trafik akışına veya iki veya daha fazla trafik akışının birleşimine tahsis edilen bir devre bölümü.
- 4- Aralık. Sinyal göstergelerinin değişmediği devre süresinin herhangi bir kısmı.

- 5- Ofset. Bir kavşakta yeşil fazın başlangıcı ile bir sonraki kavşakta karşılık gelen yeşil fazın başlangıcı arasındaki devre uzunluğunun saniye cinsinden süresi veya yüzdesi. Sistem denetleyicisinin zaman tabanıdır.
- 6- Yeşillerasarı süre. Sarı ve tamamen kırmızı sinyal göstergelerinin saniye cinsinden toplam süresi. Bu süre, araçların çakışan hareketler serbest bırakılmadan önce yeşil aralıktan sonra kavşağı boşaltması için sağlanır.
- 7- Tamamen kırmızı aralık. Tüm yaklaşımlar için kırmızı bir göstergenin görüntülenme süresi. Bazen sadece yaya geçidi için bir aşama olarak veya karşıt yaklaşımlara yeşil işaret verilmeden önce araçların ve yayaların çok büyük kavşaklardan geçmesine izin vermek için kullanılır.
- 8- Bölünmüş faz (yeşil bölünmüş). Bir aşamanın birincil hareketten ayrılan kısmı, böylece ana aşamayla ilgili özel bir aşama oluşturur. Başka bir deyişle, yeşil süreler, devrenün her aşamaya tahsis edilen kısmıdır.



Şekil 2.1. İki Fazlı Sinyal Sistemi

2.2. Trafik Sinyal Kontrol Tipleri

Trafik sinyal kontrol türleri, trafik akışı ve belirli bir bölgedeki trafik talebi gibi farklı faktörlere göre değişen sabit zamanlı sinyaller, araç tahrikli sinyaller ve yarı araç tahrikli olmak üzere üç ana bölüme ayrılır. Açıklamalar kısaca şu şekilde açıklanmıştır.

2.2.1 Sabit Zamanlı Trafik Kontrol

Bu tip trafik devre süresi ve yeşil gösterge önceden belirlenmiş ve sabit sürelerle sahiptir. Bu nedenle bahsedilen değişkenlerin üretimi, zaman devresi ve yeşil göstergenin hesaplanması istenen trafik kavşaklarının geçmiş verileri ölçülerek yapılabilir. Ayrıca diğer türlere göre ucuz sayılırlar (Webster ve Cobber 1966).

2.2.2. Yarı Uyarmalı Trafik kontrol

Bu tipte trafik akışı arttığında trafiğe olan talep de artacaktır. Kavşağa girmeden önce yol yaklaşımına dedektörler takılarak talep kontrol edilir ve kavşaklar arasındaki trafik hacminin ölçülmesi bu ölçümlere göre yeşil ışık yakılır. Bu tip, onu daha esnek hale getirebilecek çok işleve sahiptir. Tip esnekliği, kavşakta uygulanan yeşil süre ile bulunur (Webster ve Cobber, 1966).

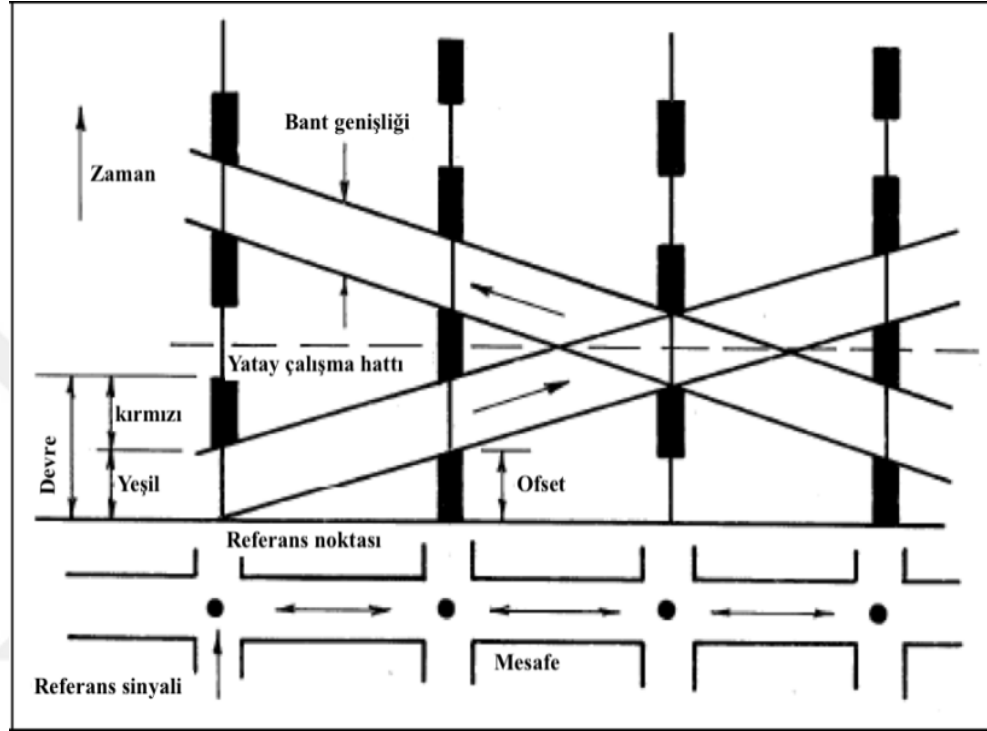
2.2.3. Tam Uyarmalı Trafik kontrol

Bu tipte bir öncekinden farkı, dedektörlerin sadece yan yollara kurulması ve geçiş hakkının normalde ana yola ait olmasıdır (Webster ve Cobber, 1966). Böyle bir türün bir avantajı olarak, ana yol akışının düzensiz olduğu (ana-küçük kavşak) böyle bir kavşakta daha yüksek verim sağlayan bir yere kurulması arzu edilir (Pline, 1999).

2.3. Koordine Trafik Kontrol

Webster ve Cobber, (1966) iki veya daha fazla kavşağın ana yola arka arkaya düştüğünü ve bu rotadaki trafik miktarının kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Gecikmenin en aza indirilmesi için durak sayısı arttırılmalıdır. Minimum gecikme ile akıcı bir trafik akışı için her kavşakta kuyruk uzunluğunun azaltılması

gerekmektedir. Kavşaklar sabit zamanlı olup, trafik kontrol sinyali tipine göre çalıştırılır (senkronize sistem) ve sınırlı aşamalı sistem dahildir. Tek fark, birinci bölümün aynı trafik akışına aynı açıyla ve aynı zamanda ikinci tip ise ters gösterge olarak çalışmasıdır. Esnek aşamalı zaman söz konusu olduğunda, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi her kavşaktaki devre süresini kontrol etmek için zaman-mesafe diyagramı yürütülür.



Şekil 2.2. Her kavşaktaki devre süresini kontrol etmek için zaman-mesafe diyagramı (Gordon vd., 2005)El Kitabı.

2.4. Alansal Trafik Kontrolü

Ulaşım talebinin artması her zaman büyük şehirlerin sorunu olmuştur. Trafik taleplerinin karşılanabilmesi için toplu bir sistem yapma gerekliliği ve daha büyük trafik ağları oluşturmak gerekmiştir. Alansal trafik kontrolü, ulaşım sorunlarının arz/talebin üstesinden gelmek için tasarlanmıştır. Basitçe bu alan, büyük sıkışık bölgelerde bir trafik sinyal ağı olarak temsil edilir. Amaç, ağ içindeki trafik sinyallerini kontrol edebilen bağlantılar oluşturarak gecikmeyi azaltmaktır. Ek olarak, tıkanıklığı azaltmak için trafik hareketinin bölünmesi (Webster ve Cobbe, 1966)’de, açıklandığı gibi gelgit akış rotasında zirve saat tek yönlü sistemin ayrılması gerekmektedir.

Bu koordineli sistem ABD’de 1928’de sabit zamanlı sinyallerde mekanik bir cihaz kullanılarak geliştirilmiş ve farklı zaman periyotlarında çalıştırılan araç tipleri kullanılmıştır (Hillier, 1962). Çalışmada, ayrıca sinyal koordinasyon dedektörlerini kullanarak büyük sinyalize ağları kontrol etmek için teknikleri ve olası önerileri de gözden geçirmiştir. Talebi hesaplamak için bilgisayar yardımı kullanılır ve gecikmeleri en aza indirmek için bilgisayarlardan elde edilen hesaplama gücü etkili bir yöntemdir. (Webster ve Cobber, 1962) koordineli sinyalize kavşaklarla geniş alanları kontrol etmek için üç olası yöntem önermiştir.

Öncelikle geniş alanlar bölümlere ayrılarak ortalama akış ve seyir hızının hesaplanması için bunlara dedektör ve kameralar sağlanması gerekmektedir. İkinci yöntem, ya park etme ve sağa dönüş (sola dönüş) yasaklayarak ya da sinyal ayarını koordine ederek otoyol kapasitesini iyileştirmektir. Ayrıca, bu yöntem, o bölgedeki akışı ve yoğunluğu ölçmek için dedektörler ve bilgisayarlar kullanarak satranç oynamaya benzer. Alansal trafik kontrolü koordineli bir sistemdir, koordinasyon esas olarak ofset adı verilen koordinasyon değişkenine bağlıdır. Kombinatorial yöntem (Hillier, 1966) tarafından önerilmiş ve Allsop, (1971) tarafından, sinyalize kavşak dizisinin ofset seçimi veya paralel sinyalize kavşaklar arasındaki farklılıklara dayalı olarak gecikmeyi en aza indirmek için geliştirilmiştir. Gartner vd., (1975) ofset değişkenini seçmek ve daha iyi trafik kontrol senkronizasyonu elde etmek için bir optimizasyon yöntemi önermiştir. Çalışmada dikkate alınan değişkenler, ofset-yeşil dökülme ve devre süresidir. Trafik ağındaki trafik talebinin rastgeleliği önerildiği için deterministik ve stokastik trafik akış modelleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu akış modelleri, alan trafik kontrolünde aşırı doymuluk durumunu simüle etmek içindir. Sonuçlar, alan trafik ağı koordinasyonunda uyarı sisteminin önemini göstermektedir.

Wong vd., (2000) mikroskobik simülasyon modelini TRANSYT ve NETSIM kullanarak alansal trafik kontrolünde zaman-talep ilişkisini araştırmıştır. Modellerde gecikme ve kuyruk uzunlukları için kalibre edilmiş formüller trafik kontrolü için sabit zamanlı sinyal zamanlaması kullanılarak simüle edilir. Sonuçlar, TRANSYT'deki performans indeksi ile karşılaştırılmış ve Wong'un çalışma varsayımı, zamana bağlı talep olarak kabul edilmek yerine talep için zamana göre değişmektedir. Bulgular, zamanla değişen talebin iyi bir tahmin verdiğini göstermiştir. Bu, alan trafik kontrolü için ölçülen performans endeksi terimleridir. Ölçümler, doymun altı, doymun ve doymun üstü olmak üzere üç koşula dayandırılmıştır.

Chiou, (2003) alansal trafik kontrolünü optimize etmek için iki seviyeli matematiksel programlama tekniğini uygulamıştır. Trafik sinyalizasyon kavşakları için yetersiz doygunluk ve aşırı doygunluk koşulları göz önünde bulundurulmuştur. TRANSYT modeli kullanılarak çeşitli performans indeksleri elde edilmiştir. Çalışma, alan trafik kontrolünü üst düzey bir problem olarak ele alarak problemi azaltmayı amaçlamaktadır ve alt problem, kullanıcıların denge trafik ataması ile ele alınmaktadır. Sonuçlar, hesaplama açısından karmaşık olmasına rağmen, soruna önemli ölçüde değinilmiştir.

Chiou, (2005) Wardrop'un trafik akışı ilkesini takip eden iki seviyeli programlama yöntemiyle alan trafik ağındaki akışında trafik atama problemini çözmeye çalışmıştır. Sezgisel, amaç fonksiyonunun yerel optimalliğini elde etmek için üç çeşit formülasyona dayanan ortak optimizasyon problemi kullanılır. Ortak optimizasyon yöntemi dört sezgisel formülasyon içerir. Bunlardan üçü Karush-Kuhn-Tucker (KKT) optimizasyon eşitsizliği kullanılarak sonlandırılır. Çalışma sonuçları trafik atama probleminin iki sinyalizasyon kavşakları arasındaki trafik akışına bağlı olduğunu göstermektedir. Seyahat süresi, karşı trafiğin akışıyla güçlü bir şekilde ilişkilidir.

(Chiou, 2014; Chiou, 2015) tarafından İki seviyeli programlama belirsiz seyahat talebi için alan trafik kontrolünü optimize etmek için kullanılmıştır. Çalışmalar, koordinasyon değişkenini optimize etmek için seçilen vaka çalışmalarının akışında bir iyileşme olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca optimize edilmiş algoritmaların büyük ölçekli ağlarda uygulanabileceği de önerilmiştir. Bu algoritmalar daha yüksek bir hesaplama yükü gerektirmektedir.

Alansal trafik kontrolünde yapılan araştırmaların çoğu, gecikmeyi en aza indirmek ve ortak bir devre süresi önererek her kavşaktaki devre süresini kontrol etmek amaçlıdır. Başka bir deyişle, gecikmeyi en aza indirmek için ofset kontrol edilir. Yukarıda bahsedilen yöntemlerin hesaplama açısından daha karmaşık olma eğiliminde olduğu söylenebilir. Bu kaynak çalışmasının amacı, sinyalizasyon edilmiş ağ verimliliğini artırmak için daha iyi alternatif algoritmalar bulmak ve aynı zamanda üç trafik koşulunu da (doygun altı, doygun ve aşırı doygun) yani zaman parametresi devam ederken çalışma esnekliğini sağlamaktır.

2.5. Sinyalize Kavşaklarda gecikme ve türleri

Gecikme, trafik hareketini kontrol etmek için maliyet ve trafik sinyal ağı ile doğrudan ilişkisi olan trafikte çok önemli bir parametredir. Gecikme nasıl ölçülür gibi soruları yanıtlamaya ihtiyaç vardır ayrıca gecikme ölçümlerinin arkasındaki teori nedir? Bu bölümde, yeni gecikme teorisi uygulanacağı için bu sorular incelenmeye çalışılmıştır. En önemli teoriler sonraki paragraflarda açıklanmıştır.

İlk aşamalarda gecikme, Danimarkalı bir sinyal mühendisi olan N.Forchhammer tarafından akışın bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Gecikme, istatistiksel dağılımları takip eden varış ve ayrılıştan kaynaklanan farklı akış hızlarını temsil etmektedir. Beckmann vd., (1956) sabit zamanlı sinyalize kavşak için binom varış sürecini ve deterministik yöntemler önermektedir. Beckman'ın formülü, tam ifadeyle gecikme modeli altında yer almıştır. Webster, (1958) Poisson dağılımını, doyumluk akışlarını ve sinyal ayarını izleyen çeşitli akışlar için sabit zamanlı sinyal gecikmesini kullanmıştır ve sonuçlardan sabit zamanlı sinyal tarafından kontrol edilen bir kesişim üzerindeki ortalama gecikme için bir formül çıkarılmıştır Webster'in (1958) gecikme formülü Eşitlik (4)'te verilmiştir.

$$Gecikme = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65\left(\frac{C}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}}x^{(2+5\lambda)} \quad (4)$$

Burada: -

d : – araç başına ortalama gecikme

q : – trafik akışı araç/saati

λ : – etkin yeşil süre oranı (g/c)

C : Devre süresi

x : – Doygunluk derecesi. Bu, sinyallerin verilen yeşil süre altında akışın mümkün olan maksimum akışa oranıdır.

Rouphail vd., (1992) gecikme parametresi ve trafik akış özellikleri üzerine kapsamlı çalışmaları gözden geçirmiştir. Çalışma her bir modele odaklanmıştır ve gecikme parametresi üzerine sınırlamalar ele alınmıştır. Çalışma aynı zamanda daha önceki çalışmalarda önerilen deterministik gecikme (tekdüzen gecikme) varsayımlarını şu şekilde ifade etmiştir;

- 1- Yeşil fazın her başlangıcında, sıfır kuyruk varsayılır;
- 2- varış akış hızı üniiformdur;
- 3- talep kapasiteyi aşamaz; ve
- 4- geliş oranı kavşağa girdiğinde kuyruk kaybolur.

Webster ve Cobber (1966) toplam taşıt gecikmesi için Eşitlik (5)'i geliştirmiştir. Eşitlik (5)'teki 1. bileşen, uniform gecikme (UD), ikinci bileşen ise gelişigüzel gecikme bileşenidir. Uniform gecikme bileşeni Eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$d = \left\{ \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right\} * \frac{9}{10} \quad (5)$$

$$UD = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} \quad (6)$$

Burada: -

d : –araç başına ortalama gecikme (sn/taşı)

c : –devre süresi (sn)

q : – trafik hacmi ($\frac{\text{taşı}}{\text{saat}}$)

λ : – etkin süre oranı

x : – Doygunluk derecesi.

Highway Capacity Manual (HCM, 2010) üniform gecikme modeli, Eşitlik (7)'de gösterildiği gibi küçük değişikliklerle Webster gecikme modeline benzemektedir.

$$d = \frac{0.5c(1-\frac{g}{c})^2}{1 - [\min(1, X)\frac{g}{c}]} \quad (7)$$

Allsop (1972) yukarıda önerilen ve bahsedilen gecikme ifadelerinin pratik amacı öngörmek için gecikme ifadelerinin geçerliliğinin gerçek kavşaklarda test edilmesi gerektiğini ve değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, trafik ağındaki gerçek durumu simüle etmek için daha fazla matematiksel model önermiştir. Allsop'un gecikme tanımı, iki nokta arasındaki zaman farkları, bir aracın içinden geçtiği seyahat geçiş süresini temsil eder, ilki trafik işaretinden önce, ikincisi trafik işaretinden sonrasındır. Kırmızı sinyal göstergesi, aracı durmaya zorlar, bu durma süresi seyahat süresine eklenen gecikmedir.

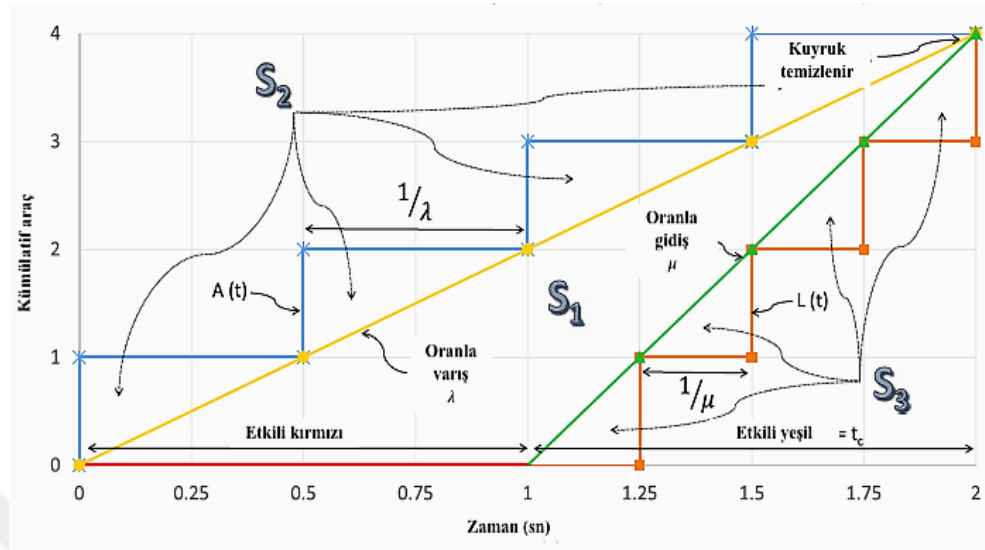
Akçelik (1980) sabit zamanlı modda çalışan trafik sinyallerinde gecikme, durak sayısı ve kuyruk uzunluğu konusunda yeni bir kavram sunmuştur. Çalışmanın ana çerçevesi doymamış akış koşullarından doyun üstü akış koşullarına. Bu çalışma gecikme teorisinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır ve Webster (1958) tarafından önerilen geleneksel gecikmelerle karşılaştırılmıştır.

Vincent vd., (1980) gecikmeyi üç bölüme ayırmıştır (üniform, aşırı doygun ve rastgele). Üniform bileşen, 'tipik devre süresi' sırasında bağlantıda sıralanan ortalama araç sayısına eşdeğerdir. Rastgele gecikme, bağlantıdaki trafik varışlarındaki rastgele dalgalanmaların neden olduğu toplam gecikme oranının bileşenidir. Bağlantıdaki doygunluk derecesi yüzde 100'ü aşarsa, toplam gecikme oranı, kalkışları aşan varışlar nedeniyle dönem boyunca kuyruk uzunluklarındaki istikrarlı artışı açıklayan başka bir 'aşırı doygunluk' bileşenini içerir. Toplam gecikme, yukarıda bahsedilen üç bileşenin toplamıdır.

Araştırmacılar Roupail'in trafik akışı revizyon çalışmasına dayanarak ve koordinat dönüştürme yöntemini kullanarak, ya üçgen veya yamuk alanını dikkate alarak deterministik gecikme yaklaşımını geliştirmişlerdir. (Kimber ve Hollis, 1979) tarafından önerilen zamana bağlı teorisini kullanarak doygun üstü akım koşullarında gecikmeyi gerçekçi bir şekilde hesaplamaktadır. Bu formül ayrıca Akçelik, (1980) tarafından da geliştirilmiştir.

Fawaz ve El Khoury, (2016) doygun sinyalizasyon kavşak altında tam bir düzgün gecikme ifadesi geliştirmiştir. Çalışma, hipotezini test etmek için hem analitik hem de

pratik yollarda yapılmıştır. Çalışma, geliş ve gidiş arasındaki ilişkiyi Şekil 2.3'te gösterildiği gibi üç alana dağıtmıştır.



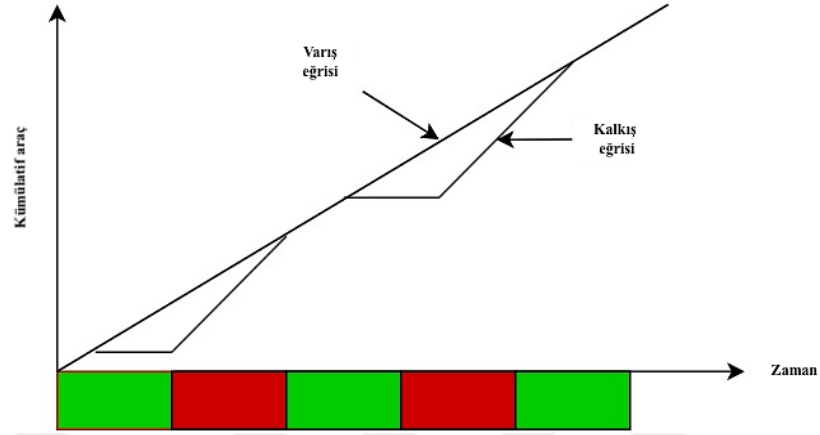
Şekil 2.3. Kümülatif geliş ve gidiş (ayrık ve sürekli) (Fawaz ve Khoury, 2016)

Burada s_1 üçgensel bir alanda temsil edildiği gibi sürekli varış ve ayrılış arasında oluşan alandır. s_2 , Kümülatif ayrık ve sürekli varış fonksiyonları arasında oluşan üçgen alanlardır, s_3 kümülatif ayrık ve ayrık fonksiyon arasında oluşan üçgendir.

Gecikme ifadelerinin ortaya çıkması için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar, trafik takip teorisi açısından sınırlamaları olan kesin ve yaklaşık formlardır. Bunlar ofset değişkeninin dahil edilmesi ve yokluğu olmak üzere iki biçimdedir. Gecikme ifadesi için son formüller kalibre edilmiş terimleri içerir ve bu kalibrasyon kesişmeden diğerleriyle farklıdır. Bu, pratik ölçümlerin yanı sıra koordinasyon parametreleri hariç tutar ancak hesaplama çabası gerektirir. Gecikmeyi büyük ölçekli ağlardan ziyade yalnızca izole kavşaklar için geçerli kılar. Sinüzoidal periyodik yaklaşım, 4. bölümde sunulacağı gibi başka bir görünüme sahiptir.

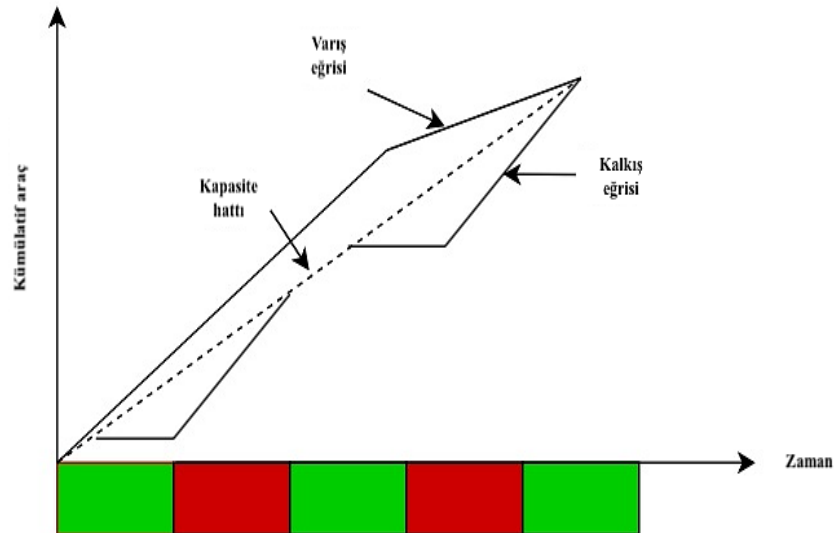
Gecikme üniform olduğunda, kavşağa gelen araçların üniform varış akışı olduğu, yani düzgün akış olduğu varsayılır ve trafik devresi, hiçbir arıza kaydedilmeden verimli bir şekilde çalışır. Devre süresinde herhangi bir arıza kaydedilmediğinde, araçlar ayrılır ve kavşağı hiçbir sorun olmadan terk eder. Bu durumda geliş ve gidiş fonksiyonları üçgen

bir alan oluşturur. Talep, kavşağın kapasitesini aşamaz. Bu alan, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi üniform gecikme olarak adlandırılır.



Şekil 2.4. Üniform gecikme gösterimi.

Webster'ın rasgele gecikme için ikinci terimi, üniform dağılımdan ziyade rasgele akış dağılımı nedeniyle üniform gecikmeye eklenen gecikme miktarıdır. Mevcut durumda talep de kapasiteyi aşmaz. Kapasitenin (kesikli çizgi) rastgele gecikmeyle sonuçlanan üniform gecikmeye eklenen kısmı. Şekil 2.5 rastgele gecikmeyi gösterir.



Şekil 2.5. Rastgele gecikme gösterimi

Webster'ın toplam doygun üstü gecikmesi, daha önce bahsedilen iki gecikme bileşeninin toplamını temsil eder. Ancak, bu modelde bir sınırlama vardır. Pratik olarak, Webster modeli, doygunluk derecesi x , 1'e yaklaştığında, rastgele gecikme terimi sonsuz değere ulaşacaktır. (Kimber ve Hollis, 1979) koordineli dönüşüm tekniğini kullanarak bu probleme matematiksel olarak bir çözüm bulmuştur ayrıca bu çözüm TRANSYT bilgisayar programında da kullanılmıştır (Robertson ve Gower, 1976; Robertson, 1979; Vincent vd., 1980). Doygunluk derecesi literatürdeki ana tartışma konularından biri olduğu için Akcelik (1988), Eşitlik (8)'de verilen yeni bir gecikme formülü önermiştir.

$$OD = 0.25 cT \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{12(X - X_o)}{cT}} \right] \quad (8)$$

Burada:

OD : – taşma gecikmesi (saniye)

c : –şerit kapasitesi, $s(\text{doygunluk derecesinde akış } (\frac{\text{araç}}{\text{saat}}))$
 $\times \frac{g(\text{etkili yeşil zaman(saniye)})}{C(\text{devre uzunluğu (saniye)})}$

x : –doygunluk derecesi (varış akış oranı (v) $(\frac{\text{araç}}{\text{saat}})$ şerit kapasitesine(c) $(\frac{\text{araç}}{\text{saat}})$

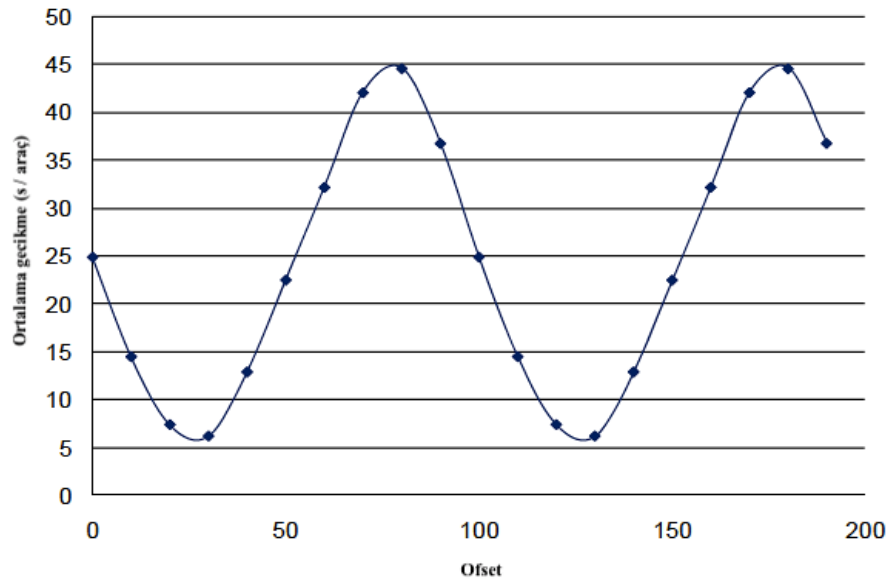
T : – analiz dönemi (genellikle alınır 3600)

X_o : –altında ortalama taşma kuyruğunun yaklaşık sıfır olduğu doygunluk derecesi.

Yukarıda tartışılan modellerin günümüzde çeşitli sınırlamaları vardır. Örneğin her iki model de devre süresine, şeridin kapasitesine, etkin yeşil süreye, doygunluk derecesine ve varış ve çıkış akış hızına bağlıdır. İlk sınırlama, yukarıdaki modeller ofsetten bağımsızdır. Başka bir deyişle, gecikme koordinasyon parametreleriyle çok iyi bağlantılı değildir. Bu, kavşaklar arasındaki trafik akışını kontrol etmeyi zorlaştıracaktır. Ayrıca, ağda beklenen yüksek gecikme ile zayıf trafik koordinasyonuna yol açabilir. İkinci olarak, gelen ve giden araçlar Poisson dağılımını takip etmektedir. Bir sonraki bölümde, geliş ve gidişler zamanın periyodik fonksiyonları olarak kabul edildiğinden bu kavram ihlal edilecektir.

2.7. Trafik Akış Teorisinde Periyodik Fonksiyonların Uygulanması

Trafik sinyallerinde sinüzoidal periyodik fonksiyon uygulaması ve gelişimi hakkında bir zemin sağlamaktadır. Periyodik fonksiyon kavramı (Gartner ve Deshpande, 2009b, 2009a), tarafından uygulanmıştır. Çalışma, üç genel faktöre bağlı olarak Link Performansı İşlevini (LPF) formüle etmeye odaklanmıştır. Bu üç özellik sırasıyla; trafik akış özellikleri, fiziksel bağlantı özellikleri ve trafik sinyali kontrolüdür. LPF, gecikmeleri ve seyahat süresini ofset fonksiyonu olarak ölçerek, trafik sinyali ağını senkronize eden bir fonksiyondur. Ayrıca, çalışma ilk olarak, gecikmelerin ve sapmaların Şekil 2.6’da gösterildiği gibi Gecikme/ofset ilişkisinin çizimi periyodik olarak ilişkilendirildiğini varsayarak Fourier Serilerini uygulamıştır. İlişki periyodik olduğundan, yani zamanla devresel olarak tekrarlandığından, Fourier serisi Eşitlik (9)’da gösterildiği gibi sinüs ve kosinüs terimlerinin bir toplamıdır.



Şekil 2.6. Gecikme/ofset ilişkisinin çizimi.

$$f(x) = \frac{1}{2} \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \cos (nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin (nx) \quad (9)$$

Burada Eşitlikler (10), (11), ve (12) sabitler, sinüs ve kosinüs fonksiyonlarını içermektedir.

$$\alpha_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \quad (10)$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx \quad (11)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx \quad (12)$$

Periyodik kararlı durum (Muralidharan vd., 2015) tarafından sunulmuştur. Çalışmanın ana katkısı, eğer trafik sinyal ağı düşük doygunluk modunda (talep kapasiteden az) çalışıyorsa, trafik ağının benzersiz bir değere yakınsaması, araçların ağa beslenmesi ve sonlu sayıda seyahat ederek terk edilmesidir. Bu durum ağ koordinasyonunun başlangıç koşulu ne olursa olsun geçerlidir. $X(t)$ ile temsil edilen periyodiklik, zaman fonksiyonu ile periyodik olarak tekrarlanan kuyruk uzunluğunu temsil eder. Bu temel bulgu, aşağıdaki paragraflarda tartışılacak olan sonraki çalışmalar için esastır.

Önceki çalışmalar, yeni trafik konsepti hakkında bir ipucu vermektedir ki sinyal grupları kırmızı ve yeşil trafik gösterge ışığı ile gömülü olduğundan ağa giren ve çıkan taşıtlar için sinüzoidal bir yaklaşımdır (Coogan vd., 2015). Bu nedenle, trafik akışının akışkanlığı, zamanın sinüzoidal periyodik fonksiyonu olarak kabul edilir. Gruplar, her kavşağa girmeden önce, devre süresi eksikliği olduğunda kavşağı bloke edebilecek bir kuyruk oluşumuna neden olur. Coogan'ın araştırması, izin verilen bir kuyruk uzunluğu elde etmek için ofset değişkeninin nasıl optimize edileceğine odaklanır. Bu problem diğer araştırmacılar için ilgi çekici bir problem olmuştur (Amini vd., 2018; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2018, 2020).

(Coogan vd., 2015, 2017) tarafından trafik sinyal ağı için temelli bir sabit zamanlı kontrol stratejisi formüle etmek ve çakışan trafikten kaçınmak için takımlar için sinüzoidal yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmalar iki varsayıma dayalı olarak oluşturulmuştur:

- 1- Ortak devre süresi,
- 2- Ağ, periyodik sabit durum altında çalışır, yani kuyruklar, giriş ve çıkışlarda, zamanın bir fonksiyonu ile tekrarlanır.

Trafik sinyal ağı, araçların girip çıkmasına ve ağdan ayrılmasına izin veren besleyici linklere sahiptir. Varışlar ve ayrılışların, sırasıyla varış giriş linkleri için Eşitlik (13) ve linkler için Eşitlik (14)'te gösterildiği gibi periyodik fonksiyonlar olduğu varsayılır.

$$\hat{a}_l(t) = A_l + \alpha_l \cos(\omega t - \varphi_l) \quad (13)$$

$$\hat{d}_l(t) = A_l(1 + \cos(\omega t - (\theta_{\sigma(l)} + \gamma_l))) \quad (14)$$

$\hat{a}_l(t)$: – zamanın bir fonksiyonu olarak varış oranı

A_l : – aracın l bağlantısında kuyruğa ortalama varış hızı

α_l : – varış oranındaki dönem dalgalanması

ω : – açısal frekans

$\theta_{\sigma(l)}$: – mansapkesişmenoktasındaki offsettir (bağlantı'ınsonunda)

(Coogan vd., 2017) önceki çalışmada alınan kavramı değerlendirerek, periyodiklik olgusunun karmaşık uzaya yayıldığını belirtmiştir. Özel olarak, Euler formülü ve özdeşlikleri, ofset varsayımı, 1'e eşit olan birim çember etrafındaki yukarı ve aşağı akış arasındaki farklardır. Ayrıca besleyici linklerindeki ofset değerinin $\theta_e = 0$ 'a karşılık gelir ve sıfır olduğu varsayılmıştır.

Burada $z_s \in \mathbb{C}$, ve $\mathbb{C}$ karmaşık düzlem tatmin edici $|z_s| = 1$, θ_s çıkış kavşağında ofset $\sigma(l) = s$. olduğu gibi (15)

$$z_s = e^{i2\pi\theta_s} \quad (15)$$

Bu yoruma dayanarak, varışların sonucu olarak giriş ve giriş olmayan linkler için sırasıyla Eşitlik (16) ve (17) verilmiştir.

$$a_l(t) = A_l + \Re\{a_l z_{\tau(l)}^* e^{i2\pi t}\} \quad (16)$$

$$d_l(l) = A_l + \Re\{d_l z_{\sigma(l)}^* e^{i2\pi t}\} \quad (17)$$

Burada:

$a_l = \alpha_l e^{-2\pi\varphi}$: – geliş kavşağındaki karmaşık ofset

$d_l = A_l e^{-2\pi\gamma_l}$: – çıkış kavşağındaki karmaşık ofset

A_l : -l bağlantısında bir müfreze oluşturmak için araçların ortalama varış oranı

α_l : -l bağlantısındaki varış hızındaki dalgalanma

Araştırmacılar, geliş ve gidiş yaklaşımının sinüzoidal olduğunu, ancak karmaşık bir düzlemde (basitleştirilmiş form) olmadığını düşünerek Coogan vd., (2015)'da geliştirilen yaklaşımla devam etmeyi tercih etmişlerdir (Amini vd., 2018; Kim vd., 2017). Sunulan çalışmalarda, problemin konveks olmama durumunu çözmek ve büyük ölçekli ağlarda değerlendirmek için yeni bir algoritma sunmuşlardır. Bunun nedeni, Coogan'ın çözüm yönteminin daha az sayıda kesişim ve yanlış zamanlanmış ofset üyesi üzerinde uygulanmış olmasıdır. Zahra'nın çalışması, ofsetleri optimize etmeye dayalı gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlamıştır. Simülasyon yazılımı, ofset optimizasyonunun simülasyonunu yapmak için kullanılır ve Synchro olarak adlandırılır. Çalışma, depolama kapasitesi için yeni bir kısıtlama sunmaktadır. Periyodiklik varsayımı ile ilgili önceki literatürde belirtildiği gibi depolama kapasitesi sonsuz değer olarak kabul edilir. Kısıtlılar Eşitlik (18)'e verildiği gibidir.

$$Q^2 - \left(\frac{\omega k_l}{2}\right)^2 \leq 0 \quad (18)$$

Burada:

Q : - l bağlantısındaki kuyruk uzunluğu

k_l : - sıkışmayoğunluğufaktörü

ω : - açısal frekans

Coogan vd, (2017) tarafından karmaşık $\mathbb{C}$ düzlemlili sinüzoidal fonksiyon, (Ouyang vd., 2018, 2020)küçük farklı varsayımlarla benimsenmiştir. Coogan vd., (2017) problem formülasyonu, Ouyang'ın çalışmasındaki gibi tam olarak benimsenmiştir. Ancak, giriş bağlantısı $\theta_\epsilon \neq 0$ için ofset ancak $[0,1)$ aralığına aittir, bunun yerine diğer akış aşağı kavşaklar arasındaki farktır.

2.8. Ofset Optimizasyonu İçin Genel Teknikler

Bu bölümde ofset optimizasyon teknikleri ele alınacak, ofset değişken optimizasyonu için algoritmaların farklılıkları ve verimliliği de tartışılacaktır. Ayrıca, son

yıllarda yapılan çalışmaların matematiksel amaç fonksiyonları açısından algoritmaların benzerlikleri vurgulanmıştır. Bu konuda yapılan eski çalışmaların yanı sıra en yeni çalışmaların da izini sürmek önemlidir. Bu bir sonraki bölümde ele alınacaktır. Bu bölümde hiyerarşik ve tarihsel olaylar sırayla sunulmuştur. Son olarak, bu konuyla ilgili literatürde kullanılan her bir teknik için önemli sonuçlar sunulmuştur.

Ofset optimizasyonu ile ilgili olarak, erken literatürde, çok az çalışmada gecikme parametresini minimize etmek yerine sadece ofset değişkenini optimize etmek üzerine çalışmalar yapılmıştır. Devre süresi ve yeşil zamanın yanı sıra önemli ölçüde koordinasyon parametrelerinden biri olarak kabul edildiğinden ofset değişkeni, ağ koordinasyon verimliliğini artırmak için dolaylı olarak optimize edilmektedir. Ayrıca henüz ofset ve gecikme arasında net bir matematiksel korelasyon keşfedilmemiştir. Ayrıca, gecikme formülü sadece izole sinyalizasyon kavşakları için hayati öneme sahiptir (Akçelik ve Roupail, 1993; Webster, 1958).

Allsop, (1968) ve Hillier (1966) tarafından önerilen gecikmeyi en aza indirmek için ofseti seçme yöntemini incelenmiştir. Çalışmasının genişletilmiş versiyonu, aşağıda belirtildiği gibi Hillier ve Whiting tarafından yapılan gerçekçi olmayan varsayımlarla problemi çözme amaçlamışlardır:

- 1- N tamsayı sayısı kadar tekrarlanan c devre süresinin sinyallerin eşit devre süresine sahip olmadığı varsayılır. Bazı sinyaller T süresi alırken diğerleri $T \cdot N$ 'nin katlarını alır. Her kesişme noktasında devre süresinin başlangıcı, göreceli bir kayma olarak T/N 'dir.
- 2- Toplam gecikme, her kavşaktaki ofsetler arasındaki farktır. Bu, ağdaki diğer ofsetlerden bağımsızdır.

Mevcut çalışma için, gecikmeyi en aza indiren ofseti seçmek için teori grafik yöntemi ve tekrarlı süreç kullanılmıştır. Tekrarlı süreç, konsepti gerçekleştirmek için Fortran tarafından yazılmış basit bir bilgisayar programı kullanılmıştır. x_i , ofset seçimine dayalı gecikmeyi en aza indirmek için Amaç fonksiyonu Eşitlik (19) verildiği şekildedir.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^{j=n} d_{ij}(x_i - x_j) \quad (19)$$

Burada

d_{ij} : – bağlantılardaki toplam gecikme $A_i A_j$

x_i, x_j : – bağlantılardaki ofsetler $A_i A_j$

Sinyalize kavşaklar için ötelemenin önemli bir koordinasyon bileşeni olduğundan önceki paragraflarda bahsedildiği gibi, araştırmacılar gecikmeyi en aza indirmek için ideal öteleme değerini bulmak için önemli çalışmalar yapmışlardır. Gartner, (1972) sinyalize ağ stratejisini geliştirmek için çizge-teorik yaklaşım adı verilen bir yöntem sunmuştur. Çalışmasında elektrik devresi analizi için Kirchhoff'un Gerilim Yasası uygulanmıştır. Bu, trafik ağını düğümlere (sinyalize kavşak) ve kenarlara (bağlar) bölünmüş bir elektrik devresi olarak düşünmek gibidir. Ağ içinde, devreler, belirli sayıda düğümü sonsuz düğüm sayısına bağlayan bağlantılardır ve ağaçlar, sonlu sayıda düğüme (belirli düğüm sayısında sona eren) bağlanan düğümlerdir. Kombinatoryal yöntemde, ofsetlerin paralel olduğu kabul edilir. Her ne kadar fikir trafik kontrolü için yeni olsa da pratik uygulamalardan uzaktır.

Gartner vd., (1975) sinyal ağını optimize etmek için karışık tam-sayıli doğrusal programlamayı sunmuştur. Devre süresi, yeşil bölmeler ve ofset değişkenini içeren koordinasyon sorunu optimize edilmiştir. Bu parametreler problem için değişkenler olarak kabul edilir. Matematiksel bakış açısından, problemi optimize etmek için amaç fonksiyonu hem Link Performans Fonksiyonu (LPF) hem de ağ devre süresi eşitlik kısıtlarını içermektedir. Çalışma sonuçları, trafik zamanlaması optimizasyon problemini çözmek için karışık tam-sayıli doğrusal programlamanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, problem için değişken olarak ofset ve yeşil bölünmeyi düşünmek de uygundur.

Gartner'ın sinyalli ağ parametrelerini optimize etmek için tam-sayıli programlamayı uygulamaya yönelik çalışmalarından sonra, Improta ve Sforza, (1982) ofset değişkenini optimize etmek için bir ikili tamsayı programlama önermiştir. Çalışma, önceki çalışmalardan miras alınan aşağıdaki varsayımlarla gerçekleştirilmiştir.

- 1- Talep sabittir ve trafik koordinasyon parametrelerinden ve kullanıcılar tarafından seçilen yoldan bağımsızdır.
- 2- k giriş bağlantısındaki gecikme, yalnızca iki sinyalize kesişim arasındaki ofset f_k 'nin bir fonksiyonudur. Bu ofset, ağ içindeki diğer ofsetlerden bağımsızdır.

Yukarıdaki varsayımlar, Kombinasyon Yöntemindeki temel varsayımlardır.

- 1- Devre süresi sabittir. Her aşama için etkin yeşil verilir.
- 2- Her bağlantı için bir gecikme/ofset ilişkisi formüle etmek uygundur.

Gecikme-ofset fonksiyonu, konveks bir optimizasyon problemi olarak çözülür. Çalışma sonuçları, optimal ofset değerine ulaşmak için problemin karmaşıklığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, çalışmada yöntemin bir hesaplama çabası ve karmaşıklık gösterdiği belirtilmiştir.

Gartner ve Wagner, (2004) arteriyel ağ için trafik akışının özelliklerini araştırmak için hücresel otomasyon (CA) adlı bir simülasyon modeli önermektedir. Ofset, yoğunluk ve akış arasındaki üç boyutlu model olarak çizilir. Temel olarak, sonuçlar (CA) simüle edilmiş model kullanıldığında ofset değişkeni ile yoğunluk arasında daha yüksek bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Öte yandan karayolu kapasitesi el kitabı HCM'de tanımlanan arteriyel kapasite, koordinasyon üzerinde önemli bir etki göstermemektedir. Diğer araştırmacılar, ofset değişkenini optimize etmek için farklı görüşlere sahiptir. (Almasri ve Friedrich, 2005) ofset değişkenini optimize etmek için sezgisel bir yaklaşım yürütmüştür. Kullanılan teknik, hücre iletim modeli (CTM) olarak adlandırılır. Bahsedilen yöntem, makroskobik modelleme yaklaşımının ayrılaştırılmış versiyonudur. (CTM) yamuk şeklinde olan temel akış yoğunluk diyagramını kullanmıştır. Varsayımlar, düşük yoğunlukta meydana gelen serbest akış hızı ve yüksek yoğunlukta meydana gelen geri dalga hızı sabittir. Talebin (akış) dinamik olduğu varsayılır. Amaç, gecikme fonksiyonunu en aza indirmek için ofseti seçmektir. Gecikme işlevi, tüm sinyalizasyon kavşaklarının toplamıdır. Ofset değişkenini optimize etmek için genetik algoritma kullanılır.

Day vd., (2011) sistem üzerinde etkileşime girdiği için ofset optimizasyonunun zor bir problem olduğunu, yani algoritmanın problemin üstesinden gelmek için verimli olmadığını belirtmiştir. Çalışma, sekiz koordineli sinyalin arteriyel için ofset değişkenini optimize etmektedir. Gecikme parametresini en aza indirmek için farklı ofsetler seçilmiştir. Bu ofsetler, arteriyel ağın performansına göre seçilir. Arteriyel ağın performansı üzerinde marjinal etkisi olan seçili ofsetler için temel oluşturmak için kullanılan gözlem verileri, önerilen algoritmadaki problemin üstesinden gelmek için ve optimal ofseti bulmak için daha yüksek verimliliği nedeniyle Kombinasyon Yöntemi

algoritması kullanılmıştır. Prosedür, bir geliş kavşağından başlar ve ofsetler, ardışık kavşakla (çıkış kavşağı) ayarlanır.

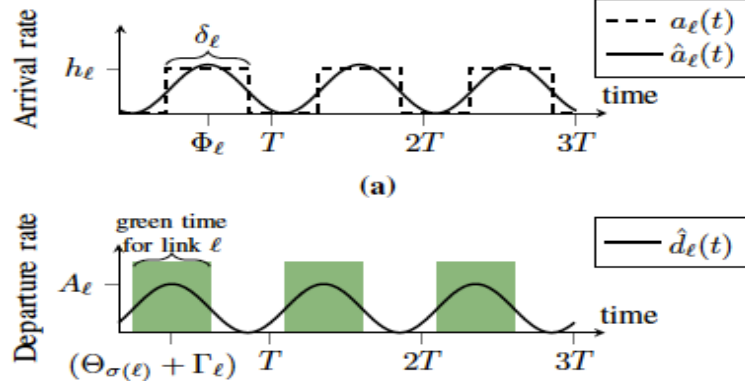
Ofset, giriş ve çıkış kavşakları arasındaki seyahat süresinin bir fonksiyonudur. Hu ve Liu (2013) yüksek çözünürlüklü trafik verilerini kullanarak ofseti optimize etmiştir. Çalışmaları, yeşile erken dönüş problemi ve belirsiz kavşak kuyruk uzunluğu problemi olarak ikiye ayrılan problemi optimize etmeye odaklanmıştır. Bu problemler, fazı koordine etmek için yeşil zaman başlatılarak fazlar arasında dağıtılan ek yeşil zaman getirilerek formüle edilmiştir. Kuyruk uzunluğu, trafik akışında bir dizi kullanarak en uygun ofsetleri üretmek için senaryo tabanlı yaklaşımla kontrol edilir. Çalışmanın amacı, sinyalizasyonadaki gecikme bileşenini en aza indirmektir. Çalışma sonuçları gecikme bileşeninde önemli bir azalma olduğunu göstermektedir, karmaşık problemi çözmek için genetik algoritma (GA) kullanılmıştır.

Sonuç olarak, gecikmeyi en aza indirmek için ofset optimizasyonu konusunda bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, gecikme ve ofset değişkeni arasında net bir matematiksel ilişki ortaya konulamamıştır. Önceki çalışmalar çoğunlukla optimal ofsetleri bulmak için simülasyon programlarına dayanmaktadır. Bunlardan bazıları; tam-sayıli programlama, dinamik programlama, genetik algoritma (GA) ve benzeri tekniklerdir. Giriş ve çıkış trafik hacimleri dikkate alınarak yeni bir ofset-gecikme ilişkisinin bulunmasında ya da araştırılmasında fayda bulunmaktadır.

2.9. Ofset Optimizasyonu için Öneri

Trafik akışı kavramı temel değişikliklere sahip olduğu için bu bölüm literatür taramasının diğer bölümlerinden ayrı tutulabilir. Ancak bu kısımda değindiğimiz bu noktadan önce ve sonra yayınlanan son çalışmalar arasında bazı çelişkiler tespit edilmiştir. Bir önceki bölümde, trafik teorisinde periyodik fonksiyon uygulaması yapan bir grup araştırmacı, araç geliş ve gidiş periyodunun zamanın periyodik bir fonksiyonu olduğunu öne sürmüştür. Sinüzoidal periyodik fonksiyon, elektrik devresi analizinden miras alınmıştır ve bu kavrama dayalı olarak, aşağıdaki literatür tartışılmıştır. Yeni yaklaşımın sinüzoidal eşitliklerinin geliştirilmesidir. Ancak, problem çözme tekniği burada tartışılmaktadır. (Coogan vd., 2015), Şekil 2.7’de gösterildiği gibi giriş ve çıkış

oranları için sinüzoidal periyodik fonksiyon yaklaşımını dikkate alarak sinyalizasyon ağ problemini formüle etmiştir.



Şekil 2.7. Zamanın bir fonksiyonu olarak giriş ve çıkışın sinüzoidal yaklaşımı (Coogan vd., 2015).

Şebeke ağı için problem formülasyonunun konveks olmaması, matematiksel dışbükey optimizasyon tekniğini önermiştir. Coogan, Eşitlik(20)'de gösterildiği gibi ofset maksimizasyonu için konveks olmayan amaç fonksiyonu için bir çözüm yöntemi olarak ikinci dereceden kısıtlı ikinci dereceden program (QCQP) önermiştir.

$$\underset{\{\theta_s\}_{s \in S}}{\text{maximize}} \sum_{l \in \mathcal{L}} A_l \alpha_l \cos(\theta_{\tau(l)} - \theta_{\sigma(l)} + \varphi_l - \gamma_l) \quad (20)$$

Burada: -

A_l : - aracın l bağlantısında kuyruğa ortalama varış hızı

$\theta_{\tau(l)}$: - geliş kavşağındaki ofset

$\theta_{\sigma(l)}$: - çıkış kavşağındaki ofset

γ_l : - çıkış kavşağındaki yeşil bölme

φ_l : - l bağlantısındaki kuyruğa katılmak için ortalama en yüksek varış oranıdır

Bu problem yarı tanımlı programlamaya uygundur. Giriş olmayan ve giriş linklerinde kuyruk uzunluğunu en aza indirmek için kullanılan ölçeklenebilir yöntem. Yakın tarihli tüm çalışmaların benzerliklerini vurgulamakta fayda var (Coogan vd., 2015, 2017, Kim vd., 2017, Zahra vd., 2018, Ouyang vd., 2018, 2020) bunlar:

- 1- Sinyalizasyon probleminin mantıksal bağlam açısından formüle edilmesi,

- 2- Akışkan kuyruk modelini uygulayarak giriş linkindeki kuyruk uzunluğunun en aza indirgenmesi, ve
- 3- Ofset optimizasyon probleminin yarı kesin gevşemesine uygun olan dışbükey optimizasyon için ikinci dereceden kısıtlamalı ikinci dereceden programlama yapısının benimsenmesidir.

Bu çalışmalar arasında optimizasyon teknikleri açısından farklılıkların nerelerde ortaya çıktığını da belirtmekte fayda vardır. Kim vd., (2017) Coogan'ın çalışmasında kullanılan aynı amaç fonksiyonunu gerçekleştirmiş, yarı kesin programlamayı çözmek için Burer-Monteiro adlı bir algoritma kullanılmıştır. Python 2.9 programlama dilinde çalışan CVXOPT paketi kullanılmıştır. Önceki çalışmadaki sorun, büyük ağlar kullanıldığında (daha fazla sayıda düğüm ve bağlantı) bellekteki yarı kesin programlama tükenmesi bu çalışmanın sonucu ise çözümdür. Sonuçlar, kuyruk uzunluğunda önemli bir azalma olduğunu ve BM algoritmasının hesaplama sürecini hızlandığını göstermiştir.

Coogan vd., (2017) önceki çalışmada küçük değişiklikler yapmıştır. Önceki bölümde, problem formülasyonu için basitleştirilmiş varsayımın, onu kosinüs özdeşliklerinden Euler form temsiline değiştirmiştir. Amaç fonksiyonu, esas olarak formun üstel olarak yazılmasıdır. Yapılan değişiklikler, ofset değişkeninin karmaşık C düzlemi etrafındaki hareketlerini göz önünde bulundurarak ve amaç fonksiyonunu çözmek için optimizasyon tekniği, yarı tanımlı dışbükey gevşemesi yoluyla QCQP'dir. (21)'deki karmaşık $\mathbb{C}$ düzlemine göre amaç fonksiyonu ve Eşitlik (22)'de kısıtlar verilmiştir.

$$\underset{z_s \in \mathbb{C}, s \in S \cup \epsilon}{\text{maximize}} \sum_{l \in \mathcal{L}} \Re\{d_l a_l^* z_{\tau(l)} z_{\sigma(l)}^*\} \quad (21)$$

$$\text{Kısıtlama } |z_s| = 1 \text{ for all } s \in S \cup \epsilon \quad (22)$$

z_s 'nin mutlak değeri ofset θ_s 'nin, varlığını garanti eder, öyle ki $z_s = e^{i2\pi\theta_s}, |z_s| = 1$ 'e tabi olarak $s \in S$ için z_s üzerindeki bu verim optimizasyonu, ofset değişkenleri üzerinde optimizasyona eşdeğerdir $\theta_s \in [0,1)$ için $s \in S$. Problemi çözmek için çözücü CVX paketi kullanılmıştır. Daha sonra çalışma sonuçları (Gartner vd., 1975)'da hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kuyruk uzunluğunda önemli bir azalma

olmasına rağmen, araştırmacılar daha iyi sonuçlara yol açabilecek başka bir optimizasyon yöntemi kullanarak sorunu daha da optimize etmeye çalışmışlardır.

Amini vd., (2018), (Coogan vd., 2015) tarafından önerilen sinüzoidalın basitleştirilmemiş formuyla gitmeyi tercih etmiştir. Çalışmanın amaçları (Coogan vd., 2017) tarafından sunulan çalışmayı, yani ofsetin bir fonksiyonu olarak önerilen basitleştirilmiş minimizasyon kuyruğu problemini değerlendirmek, gecikmeyi ve durma sayısını en aza indirmek ve yeni bir depolama kapasitesi kısıtlaması sunmaktır. Bu, trafik özelliği açısından daha gerçekçi olacaktır. Ayrıca bir diğer amaç sinyalizasyon kavşaklarda geri sıçrama olgusunu ortadan kaldırmaktır. Ofsetleri elde etmek için Synchro gibi simülasyon programları kullanılır ve daha sonra elde edilen ofsetler VISSIM programında simüle edilir.

Depolama kapasitesi kısıtlaması, periyodik fonksiyon yaklaşımı teorisini oluşturmak için mantıksal olarak mükemmel bir fikirdir. Ancak mevcut çalışmada, kapasite kısıtının dahil edilmesi ve nihai amaç fonksiyonuna sunulması gerekmektedir. Bu, onu daha gerçekçi ve kullanılabilir hale getirecektir. Çalışmadaki çeliş, daha önce de belirttiğimiz gibi, gecikmeyi en aza indiren ofsetleri elde etmek için Synchro programı kullanılmasına rağmen bu paketdeki gecikme modelinde (HCM, 2010) formülünü kullanılmaktadır. Bu, eski yorumlanmış fikirlere dayanan trafik karakteristiğinin nasıl yorumlandığı konusunda tamamen farklı bir konseptte sahiptir. Başka bir deyişle, varış ve ayrılış varsayımları, Amini'nin araştırmasında varsayıldığı gibi periyodiklikten ziyade fonksiyonun Poisson dağılımını temsil eder. Son olarak, bu noktadan önce sunulan ve açıklananlar günümüz çalışmaları için geçerli değildir.

Karmaşık değerli ikinci dereceden kısıtlama ikinci dereceden problem (QCQP) (Ouyang vd., 2018) tarafından incelenmiştir. Çalışmanın amacı, giriş ve giriş olmayan bağlantılardaki kuyruk uzunluğunu ofset açısından en aza indirmektir. Son tartışılan çalışmalar, daha büyük ağlarla amaç fonksiyonunu optimize etmek için kabul edilebilir bir çaba gösterdiğinden, sorun, büyük ölçekli ağlar optimize edildiğinde, algoritmanın ya belleğinin bitmesi ya da ofset değişkeni için tam optimum değeri elde edememesidir. Ouyang ve ortakları, trafik ağının seyrek yapısının avantajlarından yararlanarak SDP gevşemesini kullanarak bunu yapmak için bir algoritma önermektedir. Algoritma, ağaç

ayrıştırmasına dayanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, 0.99'a yakın veya daha yüksek ofset optimallik değerini garanti eder.

Ouyang vd., (2020) trafik ağının topolojisinin “ağaç benzeri” olduğunu varsayarak önceki yaklaşımı benimser, algoritmanın doğrusala yakın $O(n^{1.5})$ zaman karmaşıklığına ve doğrusal $O(n)$ kesişme sayısına göreyse bellek karmaşıklığı n 'dir. Algoritma verimliliği, bir saat içinde on iki bin kavşağa kadar küresel optimumu elde edebilir. Mevcut tezde, amacımızı belirlemek için Ouyang vd., 2019 arafından yürütülen çalışmayı benimsemiştir. Bu amaç 3. bölümde sunulacaktır.

2.10. Gecikme Parametresi ve Ofset Değişken İlişkisi

Ofset tanımı temel olarak, alansal trafik kontrolü içindeki sinyal kontrollü kavşaklar arasındaki koordinasyonun sağlanmasıdır. (Vincent vd., 1980) denge değişkenini optimize etmek için tepe tırmanma (Hill Climbing, HC) sürecini ve Performans İndeksini (PI) kullanmıştır. Minimum bir PI değeri elde edilene kadar aynı yönde aynı sayıda adımla ofseti art arda değiştirmek için hesaplanan PI'nin minimum bir değere sahip olması gerekir.

Hillier (1966) ve Allsop (1971) tarafından Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı'nda uygulanan ve birbirine bağlı iki sinyal için yeşilin başlaması arasındaki farklardan kaynaklanan minimum gecikmeyi bulmak için bir kombinasyon yöntemi önermişlerdir. Varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Sinyallerin ayarları trafik miktarını veya kullanılan rotayı etkilemez. Tüm sinyallerin devre süresi aynıdır.
- 2- Her sinyalde mevcut yeşil zamanın fazlar arasında dağılımı bilinir.
- 3- Ağın herhangi bir bağlantısı boyunca bir yönde trafik gecikmesi, yalnızca bağlantının her iki ucundaki sinyallerin ayarları arasındaki farka bağlıdır

(Gartner ve Deshpande, 2009b) olduğu gibi Eşitlik (23)'te Fourier Serisini kullanarak ofsetin bir fonksiyonu olarak bir gecikme yaklaşımı önerilmiştir.

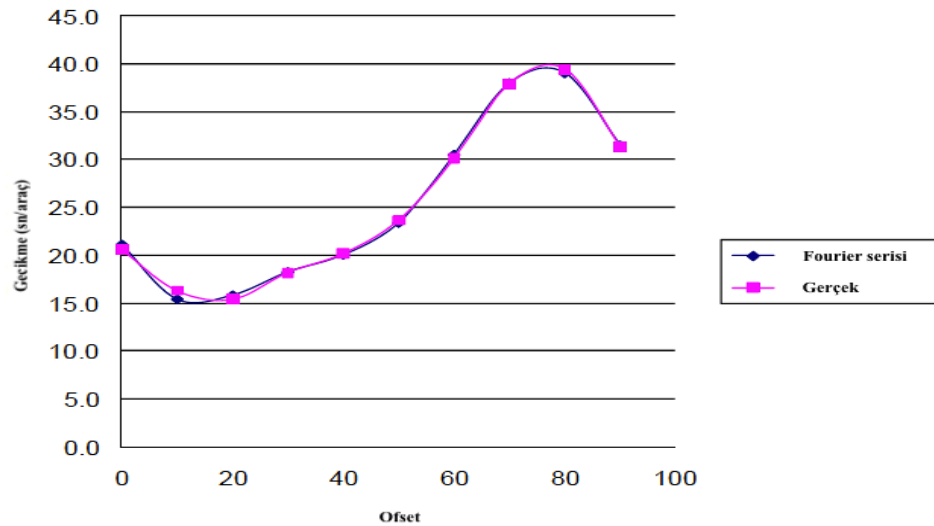
$$f(x) = \frac{A_0}{2} + a_1 \cos \left[\frac{2\pi x}{C} \right] + b_1 \sin \left[\frac{2\pi x}{C} \right] + a_2 \cos \left[\frac{4\pi x}{C} \right] + b_2 \left[\frac{4\pi x}{C} \right] \quad (23)$$

Burada:

$F(x)$: – x ofsetindeki gecikme değeri

C : – devir süresi

Basitçe Link Performans Fonksiyonu (LPF) iki adımda ifade edilebilir. İlk olarak iki harmonik Fourier Serisi terimi, devre süresi C ve ofset x cinsinden yazılan LPF'yi temsil eder. Gecikme yaklaşımı o zaman $f(x)$ olur. LPF'yi hesaplamak için TRANSYT-7F programı kullanılır. Ardından, TRANSYT-7F'den geçiş ve dönüş hareketi için gerçek gecikmeye karşı ofset eğrisi hesaplanır, ardından yaklaşık eğri Fourier Serisi kullanılarak hesaplanır. Sonuçlardan TRANSYT-7F ve Fourier serilerinden elde edilen eğrilerin birbiriyle neredeyse örtüştüğü ve her iki yöntemin iyi korelasyonunu yansıttığı görülmüştür. Şekil 2.8 gecikme ile ofset arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Her ne kadar sonuçlar tatmin edici olsa da bağlantılar için gecikme fonksiyonu TRANSYT-7F'deki simülasyon verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak, çalışma değişkenler arasında daha yüksek bir korelasyon vermesine rağmen matematiksel ilişkiyi simüle edebilecek bir amaç fonksiyonu yoktur. Bu çalışmanın amacı bahsedilen matematiksel modelinin oluşturulmasıdır.



Şekil 2.8. Gecikme ile ofset karşılaştırmasını gösteren çizim TRANSYT-7F ve Fourier serileri.

Gartner ve Deshpande, (2013) link performansının sadece akış düzenine değil, aynı zamanda önceki linklerin akış düzenine de bağlı olduğu hipotezine dayalı olarak sinyal kontrolünü optimize etmek için link performans fonksiyonu LPF'lerini kullanmıştır. Yöntem, yukarıdaki kombinasyon yönteminin bir dalıdır. Dinamik programlama DP arteriyel optimizasyonu ve TRANSYT-7F arasındaki çalışma karşılaştırma sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Dinamik ve TRANSYT-7F program sonuçları arasında karşılaştırma.

Kavşak	Ofset (sn)	T7-F ^a		DP ^b	
		Gecikme (sn/ta)	Ofset (saniye)	Gecikme (sn/ ta)	
A	0	24.2	0	24.2	
B	9	17.2	28	11	
C	32	10.6	56	9.5	
D	53	15.9	7	14.4	
E	23	12.8	49	14.4	

NOT: - T7-F=TRANSYT-7F model; (saniye/taşıt) = taşıt başına saniye.

^aArter ortalama gecikme -EB = 80.7 saniye/taşıt

^aArter ortalama gecikme -EB = 73.5 saniye/taşıt

2.11. Sinyal Optimizasyonu

Büyük ulaşım ağlarında ofset değişkeninin gecikme parametresine nasıl etki ettiğini hakkında net bir ilişki olmadığı için literatür, bu bağlantının açıklamasını yapmakta ve trafik sinyali zamanlamasında ofset değişkeninin nasıl oynadığının önemini vurgulamıştır. Gecikme parametresi ise sinyale ağların maliyetinin ve verimliliğinin ölçüldüğü parametredir. Trafik sinyali zamanlaması TST'yi iyileştirmek için, araştırmacılar trafik sinyali kontrolünü optimize etmek için bir çözüm uyguladılar. Trafik sinyalinin optimizasyonu literatürde iki şekilde ele alınmaktadır. Birincisi izole sinyal optimizasyonu, diğeri ise tüm ağı optimize etmektir. Ayrıca gelişmiş matematiksel algoritmalar, Genetik algoritma vb. gibi birçok optimizasyon aracı kullanılmıştır.

İzole Kavşaklar için Sinyal Optimizasyonu: Bu bölümde trafik sinyali zamanlamasının nasıl optimize edildiğine dair farklı yöntemler tartışılmaktadır. Yalıtılmış kavşak optimizasyon tekniği de gözden geçirilmiştir.

Heydecker ve Dudgeon, (1987) sabit zamanlı sinyal ayarını hesaplamak için matematiksel bir programlama algoritması kullanarak sinyal optimizasyonu için bir çerçeve geliştirmiştir. Algoritma sinyal zamanlamasını tahmin eder, sonuçta ortaya çıkan performans ve performans hassasiyeti üç kritere, toplam gecikme hızına, ayrılmış kapasiteye ve kritik devre süresine göre ölçülür.

Gallivan ve Heydecker, (1988) kontrol problemini analiz etmek için iki yöntem kullanarak optimal kontrol performansını araştırmıştır. İlk yöntem kombinatoriyal teknik, diğeri ise dışbükey programlama teknikleridir.

Çerçeveleme optimizasyonu tekniği kullanılarak, sinyal grupları için geçiş hakkı sürelerinin başlangıçları ve süreleri ile ilgili değişkenler açısından her aşama için belirli bir zaman atayarak. Her iki tekniğin kısıtlamaları vurgulanmıştır.

Heydecker, (1992) bir yol kavşağında trafik sinyal kontrolünü optimize etmiştir. Sürekli ve kesikli değişkenler alınarak işlem yapılmıştır. Sürekli değişkenler, zaman süresi ile ilgilenir ve ayrık değişkenler, sinyal ayarını kontrol etmek için mantık sırası ile ilgilenir. Optimizasyon aracı iki seviyeli matematiksel bir programlamadır ve formülasyon iki seviyeye üst seviye sürekli değişken için ve alt seviye ayrık değişkenler için bölünmüştür. Muhtemel bir sıralama, yürütülecek kapsamlı bir teknikle oluşturulur.

Trafik Ağı için Sinyal Optimizasyonu: Talep arttığında kentsel alanlarda meydana gelen gecikmeyi azaltmak için sinyal kontrolünü optimize etmek için kullanılan farklı teknikler tartışılmaktadır. (Charlesworth, 1977) ağ içindeki gecikmeyi kontrol etmek için bir bağlantı üzerindeki belirli trafik akışı ve ağ koordineli sabit zamandaki dönüş hareketi için saat başına toplam seyahat süresini optimize etmiştir. Bir histogram, ağdaki bir noktadan geçen trafiğin ortalama akış modeli, eşit adımlara bölünmüş bu histogram üzerindeki sinyal periyodunun ortak devre süresi ile sunulur. TRANSYT7 bilgisayar programı, ofset değişkenini ve devre süresini kontrol etmek için kullanılır.

Çalışma, HC optimizasyon prosedürünün kullanılmasının amacını vurgular, böylece ofset ve yeşil zaman, ağdaki gecikmeyi en aza indirmeye yol açan minimum PI değerini sunmak üzere optimize edilir. Seyahat maliyetini ağ sinyali ayarına bağlayan

matematiksel bir ilişki yoktur, yine PI, genellikle birçok yerel minimuma sahip olan sinyal ayarının işlevi olarak kabul edilir.

Fisk, (1984) trafik ağını kontrol etmek için matematiksel bir optimizasyon tekniği uygulamıştır. Kullanıcı optimal rota seçim kriterini karşılamak için ağ akışlarını varsaymıştır. Rota seçimi tek bir doğrusal olmayan kısıtlamadır.

Heydecker, (1996) trafik sinyal ağını iki adımda optimize etmek için ayrıştırma adı verilen bir yaklaşım kullanmıştır, ilk adım, izole kavşak sinyal zamanlaması, ardından tüm ağ optimize edilmiştir. Değişkenler devre süresi, aşama süresi ve denge gibi içsel olarak ayrılırken, dışsal değişkenler aşamaların sırası ve aşamalar arasındadır. Sonuçlar, sinyalizasyon kavşak optimizasyon tekniklerinin, pratik önerme ağı içindeki bu değişkenlerle çok iyi bir şekilde ilişkili olmadığını göstermektedir.

Wong, (1996) alansal trafik kontrolünü optimize etmek için doğrusal olmayan matematiksel programı kullanmıştır. Kullanılan teknik tam-sayıli programlama yöntemidir. Çalışma kapsamında, alan trafik denetimi konusu literatürde tam olarak açıklığa kavuşturulmadığından dolayı grup temelli değişken araştırılmıştır. Sinyal kontrollü bir ağı PI'si ve bu, grup tabanlı kontrol değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak kabul edilir. Bu değişkenler, her bir sinyal grubu için ortak devre süresi, başlangıç zamanı ve geçiş hakkı süresinin süresidir. Bu değişkenler doğrusal olmayan matematiksel programlarda formüle edilir. Ağı PI'si dışbükey olmayan bir fonksiyondur, daha sonra deneme-yanılma temelli tekniğe tepe tırmanma denir. Bu teknik, bu açıdan yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknikler, standart optimizasyon prosedürü, rastgele sapma hesaplamaları ve sıralama analizi sağlamak için geliştirilmiştir. Sonuçlar, rastgele ofset ve sıralama analizinin çok daha büyük hesaplama çabası gerektirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, vaka çalışması olarak seçilen deneme ağı için sınırlı faydalar elde edilmektedir.

Sinyal zamanlama sırasını optimize etmede yinelemeli bir yöntem olarak kullanılan tepe tırmanma yönteminin, optimizasyon probleminin dışbükey olmamasının problemin çözülmesini zorlaştırdığını ortaya koymuştur Ceylan, (2006). Bir başka neden, yeşil zamanın başlangıcında uygulanabilir bir kısıtlamanın olmamasıdır. Bu nedenle (Chan ve Wong, 2013) ve Ceylan, (2006), tepe tırmanmaya kıyasla genetik algoritma kullanarak alan trafik kontrolünü optimize etmeyi önermiştir. Sonuçlar, GA'nın daha iyi

sinyal zamanlama optimizasyonuna yol açan küresel optimuma yakınsayan iyi bir olasılıksal teknik olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Chan'ın gösterdiği gibi, tüm değişkenler ortak devre süresi, ofset, yeşil bölmeler ve aşama sıralamasının optimize edilmesini sağlamıştır. Ceylan, GA'nın, TRANSYT trafik programı ile karşılaştırıldığında, alan trafik kontrol sinyali zamanlaması ve performans indeksi için daha iyi bir optimizasyon aracı olduğunu gözlemlemiştir.

2.12. Yarı Periyodik Fonksiyonlar

Yarı-periyodik fonksiyonlar çoğunlukla iki terimle oluşturulur. İlk terim sinüs ve kosinüs gibi sinüzoidal fonksiyonu içerecektir. Diğer terim ya çarpılır ya da birinci terime eklenir Maeda (1996). Bu tip fonksiyonlar doğrusal değildir. Wayne (1990) dalga eşitliklerdekii yarı-periyodik fonksiyonların çözümünü Kolmogorov, Arnold, Moser (KAM) tekniğini kullanarak araştırmıştır. (Schilder vd., 2005) yarı-periyodik salınım sistemlerini çözmek için iki tür sayısal yöntem benimsemiştir. Bunlar ortalama alma ve yarı ayırıklaştırma yöntemidir. Ortalama alma sayısal yöntemi, çalışmanın periyodik olarak zorlanmış adi eşitlikler için periyodik ve yarı-periyodik çözümlere ana odak noktası olmuştur. Periyodik çözüm, olağan sinüzoidal periyodik işlevi içerir. Diğer yöntem, Fourier polinomunu ilk adım olarak kullanarak üç matematiksel adıma dayalı yarı-periyodik çözümü periyodik çözüme indirgemek için kullanılır. Torus işlevi, ikinci adım olarak iki açısal koordinatta türetilir. Son olarak, Galerkin yöntemi uygulanarak açısal koordinatlardan herhangi biri elimine edilir. Üç adıma yarı-ayırıklaştırma denir. Bu yöntemin sonlu boyutlu cebir sistemi yoktur. İki boyutlu yarı-periyodik bir fonksiyon incelenir.

Barnett and Greengard (2010) periyodik engel dizilerinden akustik ve elektromanyetik saçılma için integral sınırının önemine değinir. Çalışma, hızlı çok kutuplu yöntem (FMM) ile büyük ölçekli örneklerin kullanılması gibi daha fazla araştırmaya açık olacak belirsiz noktalar olmasına rağmen yarı periyodik yeşil fonksiyonun umut verici olduğu sonucuna varmıştır.(De Leo ve Maltsev, 2018) yarı-periyodik fonksiyondaki pek çok uygulamadan önemli bir tanesini gözden geçirmiştir: Seviyelerinin topolojisi, Seksenler ve Doksanlar olmak üzere iki çağda düzlemde yer almaktadır. Çalışma, yarı-periyodik fonksiyon altında elektron hareketini simüle edebilen yarı-periyodik fonksiyon ile elektron taşınmasını birleştirmektedir. (Xie vd., 2019), yarı-

periyodik bir sınıf fonksiyonlarının (asimptotik olarak) yarı-periyodik fonksiyonların genelleştirilmesine katkıda bulunabileceğini önermektedir. Yarı-periyodik çözümlerin varlığını kontrol etmek için soyut Cauchy problemleri önerilmiştir.

Bu çalışmada doğun altı ve doyun üstü koşullar altında trafik varış oranlarını simüle etmek için bir yarı-periyodik fonksiyon sınıfını benimsemiştir.



BÖLÜM III

FARKLI EVRİM OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Sezgisel algoritmalar, trafik sinyal planlama problemlerinin çözümünde (Ceylan, 2002, 2006; Ceylan ve Bell, 2004) sunulduğu gibi etkin bir sonuç göstermektedir. Ayrıca doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarını Abdel-Basset vd., (2018) uygulamak ve çözmek için basit ve efektif hesaplama yöntemleridir Karınca kolonisi optimizasyonu (ACO), genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüşü optimizasyonu (PSO) gibi oldukça fazla sayıda sezgisel algoritma olmasına rağmen son çalışmalar, diferansiyel gelişim algoritmasının (DEA), sinyalizasyon kavşaklarındaki toplam gecikmeyi azaltabilecek trafik sinyali zamanlaması için uygun bir optimizasyon aracı olduğunu göstermiştir. Ayrıca makul bir hesaplama süresinde global optimal çözümü bulmak için güçlü bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Cakici ve Murat, 2019; Ceylan, 2013; Korkmaz ve Akgüngör, 2017). Leal vd., (2017), ortalama gecikme tahmini, genetik ve diferansiyel gelişim olmak üzere iki sezgisel algoritmanın sonuçları karşılaştırmış ve DE algoritmasının en iyi yakınsama oranını sunduğunu göstermiştir. Model, mühendislik problemlerini çözmek için basit, hızlı ve yaygın olarak kullanılan bir teknik olan diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak optimize edilmiştir Storn ve Price (1995). Popülasyon tabanlı bir meta-sezgisel algoritma olmasının yanı sıra genetik algoritmanın geliştirilmiş bir versiyonudur.

Storn ve Price (1997) orijinal olarak, sürekli problemleri çözmek için basit ve etkili bir global optimizasyon tekniği olan Diferansiyel Gelişim Algoritmasını (DEA) geliştirmiştir. Efektif bir algoritmadır ve icat edildiğinden beri çeşitli mühendislik ve bilimsel amaçlardaki üstün performansı nedeniyle iyi bir üne sahiptir (Price ve Storn, 2005). Bu algoritma (70), (75) ve (81)'deki, doğrusal olmayan amaç fonksiyonları için global minimumu aramak için kullanılır. Diferansiyel gelişim algoritması, doğrusal olmayan, sürekli olmayan, çok boyutlu ve çok ötesi gibi hemen hemen her mühendislik probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Algoritma temel olarak dört aşamalı başlatma, mutasyon, çaprazlama ve seçimden oluşur. Ayrıca, küresel minimumları ararken hızlı, etkili ve verimli olarak kabul edilir. Bu nedenle bu çalışmada kullanılmıştır. Optimizasyon prosedürünün akış şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

3.1. Başlangıç Popülasyonun Başlatılması

İlk olarak başlangıç popülasyonunun oluşturulması gerekmektedir (24). Bu j^{th} 'inci vektörler için H ve L alt simgelerinde belirtildiği gibi üst ve alt sınırları belirtir. G , nesil sayısıdır; NP, popülasyonun büyüklüğüdür; ND, karar değişkenlerinin sayısıdır; x_j^H, x_j^L karar değişkenlerinin maksimum ve minimum sınırlarıdır.

$$x_{i,j,G=0} = rand[0,1](x_j^H - x_j^L + 1) + x_j^L$$

$$i = \{1, 2, 3 \dots NP\}, j = \{1, 2, 3 \dots ND\} \quad (24)$$

Rastgele nesil rastgeleri $rand[0,1]$ 'den yakın aralık istatistikleri ile açık aralık 1 arasında seçilen düzgün bir dağılım döndürür. Şekil 3.1'e, göre, başlatma aşaması G neslindeki P popülasyonunun bulunduğu ikinci dikdörtgendedir.

Matris, devre süresi C , yeşil zaman g , gibi karar değişkenlerine göre yapılır ve matrisin sütununu temsil eden θ 's ile gösterildiği gibi yukarı ve aşağı yöndeki ofsetler, satırlar ise popülasyon sayısını temsil eder. Her bir karar değişkeni için daha sonra uygunluk, yalnızca (25)'teki olduğu gibi tek tip gecikme için popülasyonu belirlemek için UD_l değerlerinin bir vektörü olarak üretilir ve $UD_l + OD_l$ 'nin toplamı için (26)'daki gibi her bağlantı link l 'deki (TD_l) toplam gecikmeyi üretmek için hesaplanır.

$$\text{popülasyonunun} = \begin{bmatrix} C_1^1 & g_1^1 & \theta_1^1 & \theta_2^1 & \dots & \theta_L^1 \\ C_1^2 & g_1^2 & \theta_1^2 & \theta_2^2 & \dots & \theta_L^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_1^{NP} & g_1^{NP} & \theta_1^{NP} & \theta_2^{NP} & \dots & \theta_L^{NP} \end{bmatrix} \rightarrow \text{Fitness} = \begin{bmatrix} (\sum_{l=1}^L UD_l)^1 \\ (\sum_{l=1}^L UD_l)^2 \\ \vdots \\ (\sum_{l=1}^L UD_l)^{NP} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\text{popülasyonunun} = \begin{bmatrix} C_1^1 & g_1^1 & \theta_1^1 & \theta_2^1 & \dots & \theta_L^1 \\ C_1^2 & g_1^2 & \theta_1^2 & \theta_2^2 & \dots & \theta_L^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_1^{NP} & g_1^{NP} & \theta_1^{NP} & \theta_2^{NP} & \dots & \theta_L^{NP} \end{bmatrix} \rightarrow \text{Fitness} = \begin{bmatrix} (\sum_{l=1}^L UD_l + OD_l)^1 \\ (\sum_{l=1}^L UD_l + OD_l)^2 \\ \vdots \\ (\sum_{l=1}^L UD_l + OD_l)^{NP} \end{bmatrix} \quad (26)$$

3.2. Mutasyon

Ş'in merkezinde yer alan diferansiyel gelişim algoritmasının (DEA) ilk aşamasıdır. Bu operatörde, Eşitlik (27)'de gösterildiği gibi $x_{r1,j,G}$ 'den $x_{r2,j,G}, x_{r3,j,G}$ elemanları rastgele seçilir. Bu üç vektörden yeni mutant değer $\mu_{i,j,G}$, elde edilir.

$$\mu_{i,j,G} = x_{r3,j,G} + F \cdot (x_{r1,j,G} - x_{r2,j,G}) \quad (27)$$

DEA stratejisindeki mutasyon operatörü, çözümü geliştirmek için yeni mutasyona uğramış adaylar oluşturmak için uygulanır (25). Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan mutasyon stratejisi ' $DE/rand/1$ ' tercih edilmiştir. F , ölçekleme katsayısıdır; $r1, r2, r3$ $[1, NP]$ arasından rastgele seçilmiş tam sayılardır ve birbirine eşit olamazlar. Herhangi bir yeni aday çözüm için karar değişkenleri alt veya üst sınırları aşarsa, tekrar (24) kullanılarak yeniden üretilir. Tek tip gecikme (UD_l) ve aşırı doygun gecikmenin (OD_l) toplamı, her bir çözüm için amaç fonksiyonunu oluşturur. DEA'nın seçim operatörleri, "En Uygunun Hayatta Kalma" ilkesine göre toplam gecikmeyi en aza indiren aday çözümleri seçer ve sonraki nesillere aktarır. Yeni bir mutasyon vektörü daha az gecikme üretirse, önceki neslin yerini alır ve bu işlem durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder Şekil 5.1'de. Gösterildiği gibi $[0,1]$ giriş bağlantısı, 23 farklı yukarı ve aşağı ofset (θ) karar değişkeni vardır (7 giriş linki ve 16 giriş olmayan linkler için). Diğer karar değişkenleri Devre (C) süresi ve etkin yeşil süre (g) 'dir.

3.3. Çaprazlama

DEA'nın merkezindeki ikinci aşama, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi çaprazlamadır. Bu operatör, mutant vektör ve hedef vektör için bir çaprazlama işlemi yapılır. Bir iz vektörü $\gamma_{i,j,G}$ hem mutant vektörden gelen çözümler kullanılarak üretilir hem de hedef vektörler (28)'deki eşitsizliğe uyar.

$$\gamma_{i,j,G} = \begin{cases} \mu_{i,j,G}, & \text{if } rand(0,1) < CR \text{ or } j = j_{rand} \\ x_{i,j,G}, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (28)$$

Çaprazlama operatörü ile önceki nesillerden $(x_{i,j,G})$ ve mutant vektör $(\mu_{i,j,G})$. Seçilerek çözümün çeşitliliği arttırılmaya çalışılır CR, [0-1] arasında değişen gerçek bir sayıdır. Mutant vektörden en az bir genin alınmasını sağlamak için j_{rand} eklenir.

3.4. Seçim

DEA'nın seçin süreci Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir. Daha iyi popülasyon için en iyi çözüm bu adımda seçilir. Çözüm, çözümün uygunluk fonksiyonunu en aza indirdiği deneme ve hedef vektörler arasındaki bir karışımdır. Deneme ve hedef vektörler arasında karşılaştırma yapan (29)'daki gösterilen aşağıdaki eşitsizliktir.

$$x_{i,j,G+1} = \begin{cases} \gamma_{i,j,G}, & \text{iff } (\gamma_{i,j,G}) < f(x_{i,j,G}) \\ x_{i,j,G}, & \text{aksihalde} \end{cases} \quad (29)$$

Gecikmeler, aday mutant vektör için hesaplanır. Gecikmeler öncekiyle elde edilenlerden daha azsa, seçim operatöründe yeni çözüm eski çözümle değiştirilir.

3.5. Yakınsama Kriterleri

DEA ile optimizasyon, istenen durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. Durdurma kriteri olarak uygunluk değerlerinin standart sapmasının tolerans değeri veya maksimum simülasyon sayısı seçilebilir. Bu çalışmada, Uygunluk matrisinin (F) standart sapması (σ) $\varepsilon_{tol} = 0.001$ 'den küçük olduğunda algoritma durdurulmuştur. Şekil 3.1 genel algoritmanın bir akış şemasını göstermektedir.

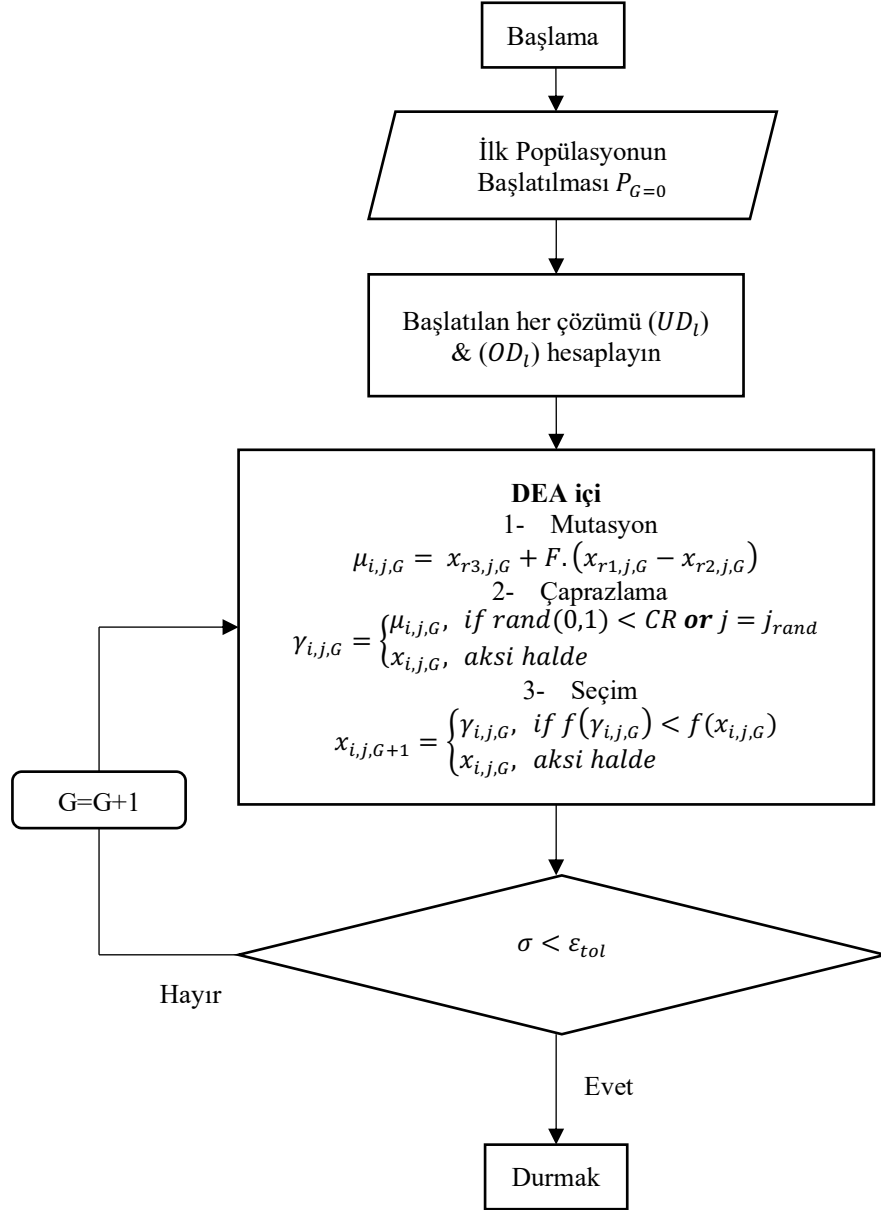
Uygunluk sayısının popülasyon sayısına bölümü olan uygunluk matrisinin (30)'da gösterildiği gibi ortalama değer:

$$\bar{f} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} f^i \quad (30)$$

Ortalama, Eşitlik (31)'de gösterildiği gibi standart sapmayı σ belirlemek için kullanılır. Bu, Şekil 3.1'de belirtildiği gibi, durdurma kriterleri için çok önemli bir parametredir, standart sapmanın uygunlukları $\varepsilon_{tol} = 0.001$ referans (32)'den küçük olduğunda, algoritma durur ve yerel minimum hesaplanır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} (f^i - \bar{f})^2} \quad (31)$$

$$\sigma < \varepsilon_{tol} \quad (32)$$



Şekil 3.1. DEA Akış Şeması

BÖLÜM IV

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm, problem formülasyonunun ve problemi çözmek için yürütülen matematiksel yaklaşımın iki önemli yönünü göstermektedir. Şekil 4.1'de dört sinyalizasyon kavşak ve çekim (kaynak) ve üretim bölgelerine sahip basit bir ağ gösterilmiştir. Amaç sadece ağdaki trafik hareketlerini simüle etmekti ve bu nedenle kümeler, alt kümeler, değişkenlere ve parametre gösterimlerine ayrılmıştır. Çatışma trafiğini ayırt etmek için trafik hareketleri uygun karakterlere atanır. Ayrıca, problem formülasyonunda trafik sinyalizasyon edilmiş ağ için varsayımlar yapılmıştır.

Problemi çözmek için yapılan matematiksel yaklaşım, analiz periyodundaki trafik koşullarına göre inşa edilir. Önceki bölümlerde incelendiği gibi, trafik sinyal zamanlama parametresinde geliş ve gidiş oranlarının doğrudan büyük rolü vardır. Ayrıca, geliş modeli trafik ağındaki talebi simüle etmektedir. UD_l ve OD_l parametrelerine dayalı olarak matematiksel yaklaşımla ele alınır. Toplam gecikme, UD_l ve OD_l 'nin toplamıdır. Gecikmelerin hesaplanmasında ki varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- 1- UD_l 'de geliş ve gidiş oranları periyodik sinüzoidal fonksiyondur.
- 2- OD_l geliş periyodik sinüzoidal fonksiyondan ziyade yarı-periyodiktir. Trafik ağının durumu ne olursa olsun, trafik akışı devre başına her efektif yeşil g'de aynı olduğundan, kalkış hızı periyodik sinüzoidal yaklaşıktır.

Gecikme-ofset için matematiksel yaklaşımı geliştirmek için, kavramsal yaklaşım Eşitlik (2) ve (3) verilmiştir. Belirli integral matematiği UD_l ve OD_l amaç fonksiyonlarını üretmek için eşitlikleri çözmek için kullanılır.

Daha önceki Eşitliklerde (70) ve (75)'de verildiği gibi iki tip gecikme amaç fonksiyonu vardır. Matematiksel açıdan (70)'deki skalerlerin hariç tutulup, (75)'deki skalerlerin dahil edilmesi dışında iki amaç fonksiyonu arasında büyük bir fark yoktur. Çalışma amacına yönelik yapılır ve değişkenlerdeki girdi değişkenlerinde optimizasyon açısından herhangi bir değişiklik olmaz.

4.1. Problem Formülasyonu

Periyodik fonksiyonlar ve yarı periyodik fonksiyon açısından toplam gecikmenin nasıl tahmin edileceği problemi sunulmuştur. Periyodik fonksiyon için tek tip gecikme formülü Bölüm I'de formüle edilmiştir. Bu, Webster'ın varış ve ayrılış oranları arasında oluşturduğu önerilen üçgensel alana benzer; kavram aynıdır ancak buradaki alan iki sinüsoidal fonksiyon arasında oluşturulmuştur. Bölüm I'de, tek tip gecikme, Webster'ın HCM 2010 modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bölüm I'deki Eşitliler (70), (75) ve (81)'deki amaç fonksiyonları, bu çalışmada karşılaştırmak amacıyla küçük değişiklikler yapılmıştır ve bunlar bölümde açıklanacaktır. Daha sonra, Bölüm II'yi formüle etmek için yapılan varsayım ise, yarı-periyodik bir varış modelini zamanın bir fonksiyonu olarak düşündürmektedir. Deterministik akış aşırı doymuş bileşeni için bu temsil formüle edilmiştir. Varsayım, aşırı doymuşluk sinyalleri için Akçelik, (1980)'de açıklandığı gibi, varış hızında kapasiteyi aşan sabit bir artış olduğudur. Bu artış, zamanın yarı-periyodik bir fonksiyonudur.

Düzenli gecikme modeli, periyodik sinüzoidal gelişler ile çıkış hızı fonksiyonları arasındaki sınırlanan alan farkları kırmızı ve yeşil aralıklar altında dikkate alınarak formüle edilmiştir. Bu matematiksel yaklaşım, toplam gecikme değerini tahmin etmek için kullanılan aşırı doymuş durumda da benimsenmiştir.

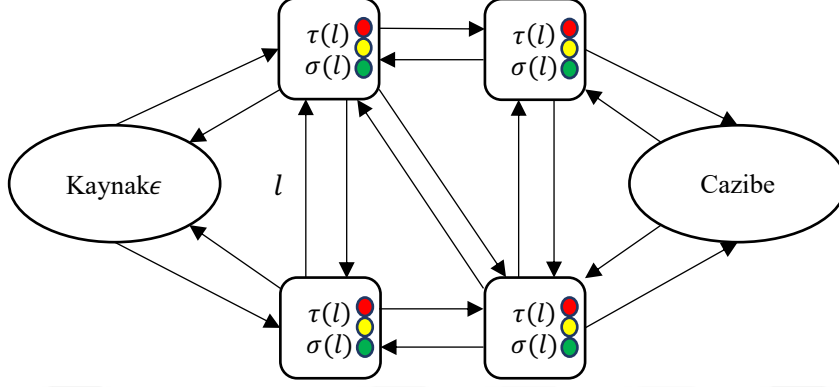
Giriş bölümünde açıklandığı gibi, araştırmacılar sinyalizasyon trafik ağlarında kuyruk uzunluğunu simüle etmek için akışkan kuyruk modelini benimsediler (Coogan vd., 2015, 2017; Amini vd., 2018; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2020). Bu çalışmada, yarı-periyodik gelişler belirlenmesi gerekmektedir, bu nedenle trafik sinyal ağı içindeki trafik durumunu görmek için analize ihtiyaç duyulmaktadır. Trafik talebi tüm bağlantılar için aynı olmayabilir, model, giriş olmayan ve sinyalizasyon düğümlere giren giriş linklerindeki bloke veya aşırı doymuşluk durumlarını tanımlayabilir. Alandan gerçek zamanlı veri ölçümleri ile uygulanabilecek bir durumda türetilen modellerle karşılaştırılabilir (çalışmanın kapsamı dışındadır). Her giriş bağlantısında 1, geliş ve ayrılış oranları, yukarı ve aşağı yöndeki sapmalar ve yeşil bölünmeler analiz edilir. Bu çalışmada kullanılan parametre gösterimleri Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Setler, alt setler, değişken ve parametre gösterimleri

Setler	
G	kavşakları ve linkleri içeren grafik($W \cup \{\epsilon\}, \mathcal{L}$)
W	tüm kavşakların setleri $\in W = \{1, 2, \dots, W \}$
$\mathcal{L}$	tüm linklerin settler
$\mathcal{E}$	tüm giriş linklerinin settler $\{l \in \mathcal{L}, \tau(l) = \epsilon\} \subset \mathcal{L}$
Endeksler	
$\tau(l)$	Geliş kavşağı $\in W$
$\sigma(l)$	Çıkış kavşağı $\in W$
l	Geliş ve çıkış kavşaklarını birbirine bağlayan giriş linkleri = 1, 2, ... k
W	ızgara ağındaki bir nod $w \in W = 1, 2, \dots, n$
Parametreler	
C	Devre uzunluğu (saniye)
g	Etkili yeşil zaman (saniye)
r	Etkili kırmızı zaman (saniye)
Q_l	l linkteki kapasitesi (tasıt /saat)
s_l	l linkteki doyumluk akış hızı (tasıt /saat)
q_l	l linkteki akış (tasıt / saat)
x_l	l Linki için doyumluk akım oranı
Devir süresi	$C = 1$
Ofset of $w \in W$	$\theta_w \in [0, 1)$
φ_l	$\varphi_l \in [0, 1)$ tepe varış hızının merkezindeki ofset
Bağlantıdaki trafik talebil	bir giriş bağlantısında yolculuk talep eden trafik hacmi/sinyalize bir kavşağa
yeşil bölünmüş	$\gamma_l \in [0, 1)$ link için aktivasyon zamanının orta noktası ile ofset zamanının başlangıcı arasındaki zaman farkıdır. $\sigma(l).n + \theta_{\sigma(l)} + \gamma_l \text{ for } n = 0, 1, \dots$ Yeşil bölme, linkin arasındaki trafik talebinin oranı olarak da tanımlanabilir. l ve k . It tüm devre uzunluğunun etkin yeşilinin oranı da olabilir $\gamma_l = \frac{g}{c}$
Aktivasyon ofseti	$\theta_{\sigma(l)} + \gamma_l$
A_l	$e^{-i2\pi\varphi_l}$ tepe varış hızının merkezindeki ofset
D_l	$e^{-i2\pi\gamma_l}$ çıkış kavşağında yeşil bölme
$z_{\tau(l)}$	$e^{-i2\pi\theta_{\tau(l)}}$ geliş kavşağındaki ofset
$z_{\sigma(l)}$	$e^{-i2\pi\theta_{\sigma(l)}}$ çıkış kavşağındaki ofset
P	$e^{-i \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l z_{\tau(l)} - f_l D_l z_{\sigma(l)}}{B_l D_l z_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l z_{\tau(l)}}\right)}$ her kavşaktaki gecikmeyi tahmin etmek için arctanjant $W. P \in [0, \frac{\pi}{2}]$
UD_l	l linkteki tahmini üniform gecikme
OD_l	l linkteki tahmini doyum üstü gecikme
TD_l	l linki için elde edilen toplam gecikme (tasıt -saat/saat)
$TUD_{\mathcal{L}}$	$\mathcal{L}$ Tüm bağlantılarda tahmini toplam gecikme (tasıt - saniye/ saniye)
m_l	linkteki varış hızı için doğrusal kısım için eğim değişkeni
f_l	l Linkteki ortalama varış hızı sayısı $f_l \geq \alpha_l$
d_l	l Linkteki ortalama kalkış hızı sayısı
α_l	l Linkteki geliş oranındaki dalgalanma
B_l	$f_l e^{-i\pi/2}$ sabit

Gecikme parametresi ile ofset değişkeni arasındaki ilişkiyi belirlemek için bu çalışma, sinüzoidal yaklaşımlı trafik ağı modelini benimser (Coogan vd., 2017; Ouyang vd., 2020). Böyle bir uzaklıkta, önce modelleri tanımlayacağız ve bu sinüzoidal yaklaşım tekniğini açıklayacağız. Daha sonra, bu modeli kullanarak matematiksel bir optimizasyon problemi formüle edeceğiz, çalışmanın Bölüm I ve Bölüm II'si olarak sinyalize kavşak

için üniform gecikmeyi ve toplam gecikmeyi en aza indirmek için DEA operatörlerini kullanılarak ofset seçimi yapılır.



Şekil 4.1. Basit Trafik Ağı

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi basit bir trafik ağını ele alalım $G = (W \cup \{\epsilon\}, L)$. Sinyalize kavşaklar düğümlerle temsil edilir; kavşaklar $i \in W = \{1, 2, 3, \dots, |W|\}$ bir sinyalize kavşak kümesini temsil eder ve kavşaklarağ dışından gelen trafik için kukla kavşaktır (kaynak). $n = |W| + 1$ kukla kavşağı içeren kavşak sayısı olsun. Sahte düğüm ϵ aynı zamanda düğüm n olarak da adlandırılır kavşak n . $\mathcal{L}$ 'deki her yönlendirilmiş kenar, iki kavşak sinyali ve bağlantıyla ilişkili araç kuyruğu arasındaki bir trafik bağlantısını temsil eder. $\epsilon \in L, \sigma(\epsilon)$ bir trafik ışığı tarafından kontrol edildiğinden, giriş (kukla) linklerinin çıkış kavşağını belirtir. Böylece $\sigma(\epsilon) = \tau(l)$, her bir $l \in L, \tau(l) \in W$ araçların ağa girdiği geliş kavşağını, $\sigma(l) \in W$ ise link kuyruğunu boşaltan çıkış kavşağı temsil eder. $\mathcal{E} = \{\epsilon \in L, l \in L, \tau(l) = \epsilon, \sigma(\epsilon) = l\} \subset \mathcal{L}$ dış trafiği yapay kavşaktan (kaynak) ağa yönlendiren giriş linkleri kümesidir; diğer linkler giriş, olmayan linklerdir ve gelişten çıkış kavşaklarına olan seyahat süresi λ_l ile gösterilir. Ağda var olan linkleri açıkça modellemeye gerek yoktur, çünkü daha sonra açıklanacak olan dönüş oranının hesaplanmasında mevcut trafik dikkate alınır.

Literatürde, akışkan dinamiği modeli, her bir $l \in \mathcal{L}$ bağlantısındaki kuyruk uzunluğunu en aza indirmek için kullanılır. Basitçe, t zamanındaki $\tilde{a}_l(t)$ 'de değerlendirilen varış hızı ile aynı zamanda t' 'de $d_l(t)$ 'de değerlendirilen kalkış hızı arasındaki fark en aza indirilmeye çalışılır. $q_l(t)$ linkin uzunluğunu temsil eder. Kırmızı ve yeşil aralıklarla ele alalım, kalkış ve varış oranı fonksiyonları, her devre süersinde

sınırlandırılmış bir alan oluşturur. Bu alanlar, alt ve üst sınırların kırmızı aralığın başlangıcını ve yeşil aralığın başlangıcını temsil ettiği belirli integraller kullanılarak matematiksel olarak hesaplanır. Son üst sınır 1 olarak kabul edilen devre sonudur. Tekdüze gecikme, 1 saatlik bir analiz periyodunda her devre için kırmızı ve yeşil aralıklar için alanlardaki farkların pozitif değeridir. Varış ve ayrılış zamanının sinüzoidal periyodik fonksiyonu olduğundan, düzgün gecikme her devrede periyodiktir. Geliş modelinin tek tip sinüzoidal fonksiyon olduğu varsayılır. Bu, gecikmeleri ofsetlerin bir fonksiyonu olarak tahmin etmeyi mümkün kılabilir. Bu durumda gecikmeyi hesaplayacak kavram, bir sonraki bölümde daha sonra tanımlayacağımız, zaman ölçeğinde geliş ve gidiş oranları arasında sınırlanan alandır.

Link için trafik sinyali, yani yeşil ışık ile bağlantı etkinleştirildiğinde, bir linkten gelen araçların bir kavşaktan geçmesine izin verilir. Bu, çarpışmayla sonuçlanabilecek çatışma hareketinden kaçınmak için yapılır. Her sinyal, sinyal kontrol dizisine göre çakışmayan linklerin aktivasyon modelleri arasında geçiş yapar. Devre uzunluğu ve yeşil süre, giriş linkler için optimize edilmiştir. Optimize edilmiş değerler, giriş olmayan bağlantılar için kullanılır ve giriş linklerinde devre süresi optimize edilir. Optimize edilmiş devre süresi, giriş olmayan linklerde kullanılır. Tüm kavşakların ortak bir devre ile sabit zaman kontrolü altında çalıştığı varsayılmaktadır. Bu, her kavşak için sinyal kontrolünün sabit bir periyodik devreye sahip olduğu ve tüm kavşakların ortak bir devre süresi $C = 1$ zaman birimine sahip olduğu anlamına gelir. Yeşil gösterge ve kırmızı gösterge olmak üzere iki aralığa bölünmüştür. Bir $w \in W$ kesişimi için sinyal ofseti $\theta \in [0,1)$ global saatten sinyal kontrol dizisinin faz farkını temsil eder. Her $l \in \mathcal{L}$ bağlantısı için, araçların $\sigma(l)$ kesişiminden $n + \theta_{\sigma(l)} + \gamma_l$ farklı geçiş izni vardır $n = 1,2,3, \dots$ burada $\gamma_l \in [0,1)$ etkin yeşilin aşağı akış ofsetinin etkin kırmızısına oranının zamanını temsil eden bağlantının yeşil bölünmesi olarak adlandırılır $\theta_{\sigma(l)}$. Giriş linklerinde yukarı akış ofsetleri olmadığı için, yapay linklerdeki ofsetler sıfır olarak alınır. Sonraki bölümlerde, gecikme-ofset amaç fonksiyonu türetilmiştir.

4.2. Matematiksel Model Geliştirilmesi

Bu bölümde, benimsenen matematiksel yaklaşıma ilişkin ayrıntılar sunulmaktadır. Varış ve ayrılış oranları matematiksel olarak türetilmiştir. Sinyalize

ağlarda koordinasyon ve gecikme parametresi ilişkisini elde etmek için, Şekil 4.3 Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterildiği gibi geliş ve gidiş eğrileri arasında oluşturulan a_1 ve β kesişim noktaları matematiksel olarak türetilmiştir. Son bölümde ise amaç fonksiyonları sunulmuştur.

Geliş oranı, dönüştürüldüğü akış (taşıt/saat) (taşıt/saniye) dikkate alınarak hesaplanır ve saniye cinsinden devre süresi c ile çarpılır. Sonuçlar, sinyalize kavşakta kuyruğa katılan araç sayısı olacaktır. Hesaplamalar (33)'teki gibidir.

$$f_l = q_l \left(\frac{\text{taşıt}}{\text{saniye}} \right) * C_l(\text{saniye}) \quad (33)$$

Burada:

f_l : – *linkteki ortalama geliş oranı* (taşıt)

q_l : – *girişlinkinindeki akış* $l \left(\frac{\text{taşıt}}{\text{saat}} \right) / 3600$

C_l : – *linkteki devre uzunluğu* (saniye)

Kalkış hızının ortalama araç sayısı olması gerekir. Bu, trafik akışının (taşıt/saat) etkin yeşil süre g ile çarpımı hesaplanarak gerçekleştirilebilir. Sonuçlar, sinyalize kavşaktan ayrılan ortalama kalkış oranları olacaktır. Kalkışlar için tahmin eşitliği (34)'deki denklem ile hesaplanabilir.

$$d_l = s_l \left(\frac{\text{taşıt}}{\text{saniye}} \right) * g_l(\text{saniye}) \quad (34)$$

Burada:

d_l : – *linkteki gidiş oranı* (taşıt)

s_l : – *linkde doygunlu gidiş* taşıt/saniye

g_l : – *linkde etkin yeşil zaman* (saniye)

Kısım 1: Coogan vd., (2017)'e benzer şekilde, ağın periyodik kararlı durumda olduğu varsayılmıştır ve $C = 1$ periyodu ile sinüzoidal fonksiyonlarla tüm geliş ve gidişleri yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Özellikle, l bağlantısının sinüzoidal periyodik fonksiyonu altında ayrılma oranı (35)'de verilmiştir.

$$\tilde{d}_l(t) = d_l + d_l \cos(2\pi(t - \theta_{\sigma(l)} - \gamma_l)) \quad (35)$$

Burada d_l (34)'ten 1 bağlantısı için araçlardaki ortalama kalkış hızıdır. Kosinüs ayrıştırılır ve Euler kimliği ve fazörler kullanılarak yazılır. Tanım $j \in W$ için $z_j = e^{i2\pi\theta_w}$ olur ve $D_l = d_l e^{-i2\pi\gamma_l}$ olur, γ_l yeşil bölmedir (36)'daki gibi l linkinden çıkış oranı aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\tilde{d}_l(t) = d_l + \text{Re}(e^{i2\pi t} D_l z_{\sigma(l)}) \quad (36)$$

Burada:

d_l : – l linke (taşıt)ortalama gidiş oranı

$z_{\sigma(l)}$: – Çıkış kavşağında ofset

γ_l : – Çıkış kavşağında yeşil bölme

Araçlar, geliş ve gidiş araçlarında tek tip bir gecikmeden sonra, giriş yönü linklerinden giriş olmayan bir bağlantıya ulaşır.

$A_l = e^{-i2\pi\lambda_l}$, $\lambda_l \in [1,0)$ sabit tutulur ve (37)'deki gibi girişsiz bağlantılara gelen 0,5 araç olarak alınır. Bir giriş bağlantısı $l \in \mathcal{E}$ için, varış hızı, (38)'deki gibi Euler Kimliği ve fazörler kullanılarak daha fazla ifade edilebilir.

$$\tilde{a}_l(t) = f_l + \alpha_l \cos(2\pi(t - \phi_l)) \quad (37)$$

$$\tilde{a}_l(t) = f_l + \text{Re}\{e^{i2\pi t} A_l z_{\tau(l)}\} \quad (38)$$

f_l : – l bağlantıya (araç) ortalama geliş oranı

$z_{\tau(l)}$: – Geliş kavşağında ofset

ϕ_l : – Tepe geliş merkezinin kaymasıdır

α_l : – Geliş tepe noktasının göreceli genliği eksi ortalama geliş

Burada f_l linka (33) ve $z_{\tau(l)} = e^{i2\pi\theta_n} = 1$ 'den araçların ortalama varışları ve kukla kavşağın ϵ (kavşak indeksi n) 0 olarak tanımlanan ofseti θ_n , olduğunda yukarıdaki eşitlikte, $\alpha_l \leq f_l$, varış tepe noktasının göreceli genliği eksi ortalama varış hızıdır, $A_l = \alpha_l e^{-2\pi\phi_l}$, ve $\phi \in [0,1)$ tepe geliş merkezinin kaymasıdır, giriş linklerinde ϕ optimize edilmiş giriş olmayan linklerde 0,5 olarak alınmıştır α_l, f_l . Geliş oranının %50'si olarak alınan geliş oranındaki dalgalanmadır.

Kısım 2: Yarı-periyodik fonksiyonlar, probleme ve amaç fonksiyonuna dayalı olarak çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir (Andres vd., 2012; Barnett vd., 2011; Wayne, 1990; De Leo ve Maltsev, 2018; Schilder vd., 2005; Xie et al., 2019). Ofset parametresi, sinyalizasyon bir ağın trafik koordinasyonunda çok önemli bir parametredir. Ofset değişkenini optimize etmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Son çalışmalarda, araç kuyruğu oluşumu, ofseti optimize etmek için ana amaç argümanıydı (Coogan vd., 2017; Kim vd., 2017; Ouyang vd., 2020). Kuyruk modelinin trafik sinyal ağı için yetersiz uygun koşul olduğu varsayılır, aşırı uygun koşullar için gecikme modelini bulmanın mümkün olup olmadığını netleştirmek için bir stratejiye ihtiyaç duyulduğundan senaryo hala tamamlanmamıştır. Varsayım, uygun üstü durumun baskın olduğu durumda, geliş oranının yarı-periyodik fonksiyon olarak tahmin edilmesidir.

Denklem (39)'da yarı-periyodik varsayım altında varış oranları verilmiştir.

$$\hat{a}_l(t) = mt + f_l + f_l \cos(2\pi t - \phi_l) \quad (39)$$

Geliş Euler fazörleri cinsinden yazmak yazarsak Denklem (40) elde edilir.

$$\hat{a}_l(t) = m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t} e^{-i2\pi \theta_{\tau(l)}} e^{i2\pi \phi_l} \quad (40)$$

Burada:

$$z_{\tau(l)} = e^{-i2\pi \theta_{\tau(l)}}$$

$$A_l = e^{i2\pi \phi_l}$$

$m_l t$: – *doğru üstü durum için geliş artışı*

t : – *analiz süresi (1 saat olarak alınmıştır)*

m_l : – *devre başına talep yüzdesi*

f_l : – *l linka (taşıt) ortalama geliş oranı*

$$m_l = \frac{\text{Geliş} - \text{Gidiş}}{\text{Gidiş}} \geq 0$$

Lineer kısımda Denklem (33)'teki gibi f_l geliş ve Denklem (35)'teki gibi ayrılma oranlarının, Akçelik, (1980) tarafından elde edilen sinyalizasyon kavşakları için lineer

varsayımlara uygundur. t , değişkeni, yarı-periyodik fonksiyondaki fonksiyonun zaman alanıdır, belirli bir zaman periyodu boyunca her devrede varış hızında kümülatif bir artış gösterir.

m_l için açık Eşitlik (41)'deki gibidir.

$$m_l = \left| \frac{q_l * C}{s_l * g_l} - 1 \right| \geq 0 \quad (41)$$

$m_l = 1$, olduğunda, eğer ve sadece $q_l = 0$ aşırı talep olmayan araçların girmesi bağlantı kapasitesine ve x , doyma derecesine bağlıysa, devre süresi $c > 0$ 'dır ve bu her zaman pozitif tanımlıdır. Payda, sırasıyla doyunluk debisini ve efektif yeşil zamanı $s_l > 0$, $g > 0$ içerir. Normalde, payda hiçbir zaman sıfıra eşit olmaz, ancak paydan çok daha büyük olduğunda, varışların ayrılışlara oranı çok küçük bir değer haline gelir. Payda paya eşitse, m_l birden küçüktür. Payda paydan daha büyükse $m_l = 0$ 'dır.

q_l akış değerindeki artış sebebiyle m_l değeri büyük veya küçük olabilir. Bu durum Denklem (34)'de verilmiştir. Sinüzoidal periyodik ayrılma oranı Denklem (35)'de gösterilmiştir.

$$\bar{z}_{\tau(l)} = e^{-i2\pi\theta_{\tau(l)}} \text{ burada } \theta_{\tau(l)} \in [0,1]$$

$$A_l = e^{i2\pi\varphi_l} \text{ burada } \varphi_l \in [0,1]$$

$$\bar{z}_{\sigma(l)} = e^{-i2\pi\theta_{\sigma(l)}} \text{ burada } \theta_{\sigma(l)} \in [0,1]$$

$$D_l = e^{-i2\pi\gamma_l} \text{ burada } \gamma_l \in [0,1]$$

$$m_l = \text{devre başına geliş - gidiş oranıdır}$$

$$t = \text{analiz süresi bir saat}$$

Değişken tanımları **Error! Reference source not found.**'e verilmiştir.

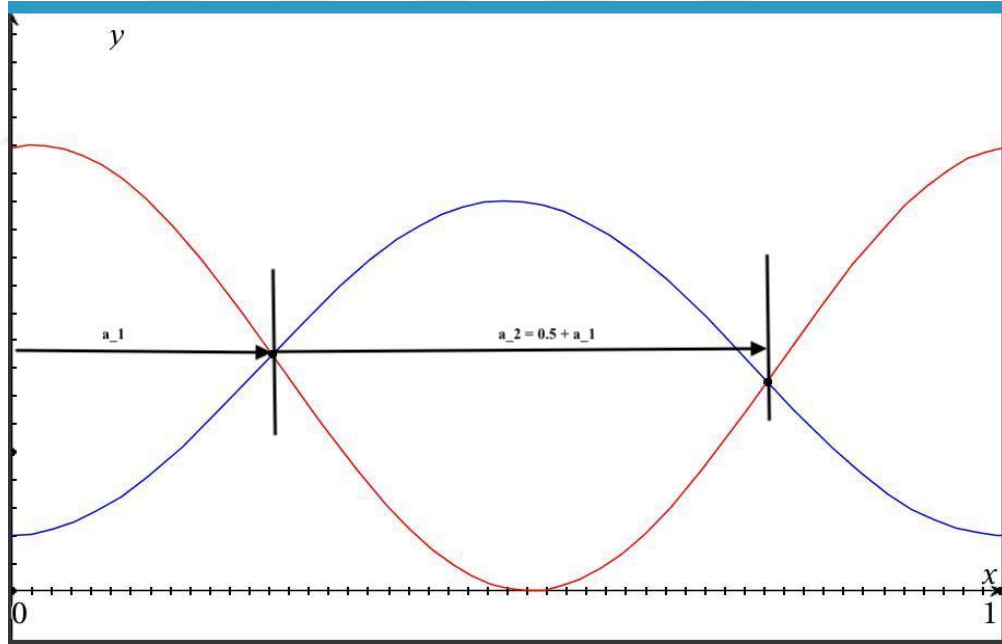
Kesişme Noktasını Bulma Prosedürü, a_1 : Şekil 4.2'da a_1 ve a_2 kesişim noktalarının geometrik olarak nasıl ilişkilendirildiğini gösterilmektedir. TD_l 'yi üretmek için UD_l ve OD_l 'yi (alan-sınırlı) değiştirmede a_1 kesişme noktasının büyük bir rolü vardır. Başka bir deyişle, ofsetler ve yeşil bölme optimize edildiğinde, a_1 x -ekseni boyunca gözle görülür kayma gösterir (bir olarak alınan zaman devresi). Bilinmeyen iki dönemi nasıl bütünleştirebiliriz? Cevap hem geliş hem de çıkış oranlarındaki farklı

sapmalar ve her iki eşitlikteki yeşil bölünme senaryosunda, a_1 ve a_2 arasındaki faz farkını 0,5 olarak yapılabilir. Böylece, a_2 'yi Denklem (42)'deki gibi değiştirebilir.

$$a_2 = a_1 + 0.5 \quad (42)$$

Bu da a_2 'den kurtulmayı kolaylaştırır. a_1 'i bulmak için bu bölümde matematiksel bir prosedür gerçekleştirilir.

Amaç fonksiyonuna göre, a_1 eğrinin altındaki alanın arktanjanıdır. a_1 için çözüm, kosinüs kimlik ayrıştırmasını kullanmaktır. $a_1 \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ 'ye izin verirse, bu, UD_l ve OD_l alan oluşumu için hem gelişdeki hem de akış yukarısındaki ofsetlere göre tüm olası senaryoları almamıza izin verir. Geliş kavşağı ve çıkış kavşakta yeşil bölünmüş. Arada, trafik ağı için minimum gecikme elde etmek için ofsetleri optimize edebileceğimiz çeşitli gecikme alanlarımız olacaktır.



Şekil 4.2 Kesişen noktalar a_1 ve a_2

Kesişme noktası a_1 iki sinüzoidal eğrinin değerler açısından eşit olduğu yerdir. Matematiksel olarak, a_1 için çözülecek iki işlevi eşitleyebiliriz. F_1 ve F_2 olmak üzere iki sinüzoidal fonksiyonumuz olduğunu varsayalım. Bu fonksiyonlar sinüzoidal periyodik ve yarı-periyodik geliş modellerinde geliş ve gidiş oranlarını temsil eder. basitleştirilmemiş

biçimde kosinüs kimlikleri. a_1 , yarı-periyodik geliş paterni altında incelendiğinde, bu durumda kesişme noktası, iki sinüsoidal fonksiyon değerinin buluştuğu noktadır.

$$\tilde{a}_l(t) = \tilde{d}_l(t) = a_1 = F_1 \quad (43)$$

$$\tilde{a}_l(t) = \tilde{d}_l(t) = a_2 = F_2 \quad (44)$$

$$F_1 = \alpha_l \cos(2\pi a_1 - 2\pi \phi_l) \quad (45)$$

$$F_2 = f_l \cos(2\pi a_1 - 2\pi \psi_l) \quad (46)$$

$F_1 = F_2$ olduğu durumda a_1

$$\alpha_l \cos(2\pi a_1 - 2\pi \phi_l) = f_l \cos(2\pi a_1 - 2\pi \psi_l) \quad (47)$$

Kosinüs özdeşliğini kullanarak sağ taraftaki terimi ayrıştırırız, o zaman:

$$\alpha_l \cos(2\pi a_1 - 2\pi \phi_l) = f_l \cos 2\pi a_1 \cos 2\pi \psi_l + f_l \sin 2\pi a_1 \sin 2\pi \psi_l \quad (48)$$

Her iki taraf $\cos 2\pi a_1$ bölünerek aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\frac{\alpha_l \cos(2\pi a_1 - 2\pi \phi_l)}{\cos 2\pi a_1} = f_l \cos 2\pi \psi_l + f_l \tan 2\pi a_1 \sin 2\pi \psi_l \quad (49)$$

$$\tan 2\pi a_1 = \frac{\alpha_l \cos 2\pi a_1 \cos 2\pi \phi_l + \alpha_l \sin 2\pi a_1 \sin 2\pi \phi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l \cos 2\pi a_1} - \frac{\cos 2\pi \psi_l}{\sin 2\pi \psi_l} \quad (50)$$

$$\tan 2\pi a_1 = \frac{\sin 2\pi a_1}{\cos 2\pi a_1}$$

$$\tan 2\pi a_1 = \frac{\alpha_l \cos 2\pi \phi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l} + \frac{\alpha_l \tan 2\pi a_1 \sin 2\pi \phi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l} - \frac{\cos 2\pi \psi_l}{\sin 2\pi \psi_l} \quad (51)$$

Yukarıdaki terimler basitleştirerek aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\frac{\alpha_l \cos 2\pi \phi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l} - \frac{\cos 2\pi \psi_l}{\sin 2\pi \psi_l} = \tan 2\pi a_1 - \frac{\alpha_l \tan 2\pi a_1 \sin 2\pi \phi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l} \quad (52)$$

$\tan 2\pi a_1$ sağ taraftan çarpanlarına ayrılırsa

$$\frac{\alpha_l \cos 2\pi \phi_l - f_l \cos 2\pi \psi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l} = \tan 2\pi a_1 \left(1 - \frac{\alpha_l \sin 2\pi \phi_l}{\sin 2\pi \psi_l} \right) \quad (53)$$

Eşitliği elde dirmiştir.

Sadeleştirmelerin yapılması ile Eşitlik (54) elde bulunur.

$$\tan 2\pi a_1 = \frac{\alpha_l \cos 2\pi \phi_l - f_l \cos 2\pi \psi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l - f_l \alpha_l \sin 2\pi \phi_l} \quad (54)$$

a_1 aşağıdaki gibi giriş ve çıkış kavşakları arasındaki ofset farklarının arktanjanı olarak ortaya çıkmaktadır.

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} \arctan \left(\frac{\alpha_l \cos 2\pi \phi_l - f_l \cos 2\pi \psi_l}{f_l \sin 2\pi \psi_l - f_l \alpha_l \sin 2\pi \phi_l} \right) \quad (55)$$

Dikkat:

$$\phi_l = -(\varphi_{\tau(l)} + \theta_n), \quad \psi_l = -(\theta_{\sigma(l)} + \gamma_l)$$

a_l eşitlik (56) yardımıyla bulunur.

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} * \arctan \left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}} \right) \quad (56)$$

Giriş ve çıkış kesişimlerinde ofsetlerin her ikisinin de sıfır olduğunu alırsak, bu durumda arktanjan argümanı sonsuza kadardır. Matematiksel olarak, bu bir sorun olmaz çünkü arktanjan tanımı bitişik ve hipotenüs arasında oluşan açıdır. Bitişik sıfıra yaklaştığında, tersi büyük olacak ve $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ 'ye ait bir açı oluşturacaktır. Aşağıda gösterildiği gibi sonsuza yaklaşan bir fonksiyonun limitine sahip olsaydık.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\infty)^1 = \pi/2$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (-\infty)^1 = -\pi/2$$

Bu, $a_1 \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ 'ye izin vermeyi kolaylaştırır. Bu durumda, $a_1 \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ 'yi yapmak için bir kısıtlama eklenir, bu nedenle, bu kısıtlamada a_1 'yi ilk çeyrekte hareket etmeye ve her devrede ofset seçimine dayalı olası alanları hesaplamaya zorluyoruz. Devre süresi kırmızı ve yeşil olarak iki aralığa bölündüğünden, β değişkeni de önemlidir, çünkü

hem yukarı hem de aşağı kesişmelerde ofset değişkeni arasında geçiş yapmak, aralığı a_1' 'den β 'ya değiştirecektir. Bu bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

Değişken β : β değişkeni, belirli integralin varış hızı ile kalkış hızı arasındaki sınırlı alanı üretmesi için ya üst sınır ya da alt sınırdır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterildiği gibi a_1' 'den kırmızı aralığın sonuna ve yeşil aralığın başlangıcına kadar olan mesafedir. β Hesaplama prosedürü aşağıdaki gibidir:

Yeşil oranı, etkin yeşilin devre uzunluğuna oranıdır.

$$\gamma_l = \frac{g}{c}, \gamma_l \in [0,1] \quad (57)$$

Etkili kırmızıyı bulmak için aşağıdaki Eşitlik kullanılabilir:

$$r = 1 - \gamma_l \quad (58)$$

$\gamma_l \in [0,1]$ olduğundan, kırmızı zaman saniye cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$r = (1 - \gamma_l) * C \quad (59)$$

C 'nin devre süresi olduğu durumlarda, β tanımı kullanılarak ve Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'ten itibaren β Eşitliği aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\beta = 1 - \gamma_l - a_1 \quad (60)$$

γ_l ne de a_1 değerleri sıfır değeri alamaz ve β 1 değeri alamaz. Dolayısıyla, γ_l ve a_1 toplamı negatiftir ve büyüklük olarak birden büyük olmamalıdır; bu β değeri olacaktır. Bu mesafe, ofset seçimine göre değişecektir. Varışlar ve ayrılışlar arasında sınırlanan alan buna göre değişecektir. Gecikme de değişecektir. İki aralık arasında kaybedilen zaman, daha önce açıklandığı gibi tek tip gecikmedir.

4.3. Gecikme ve Ofset Değişken İlişkisi (Kısım I)

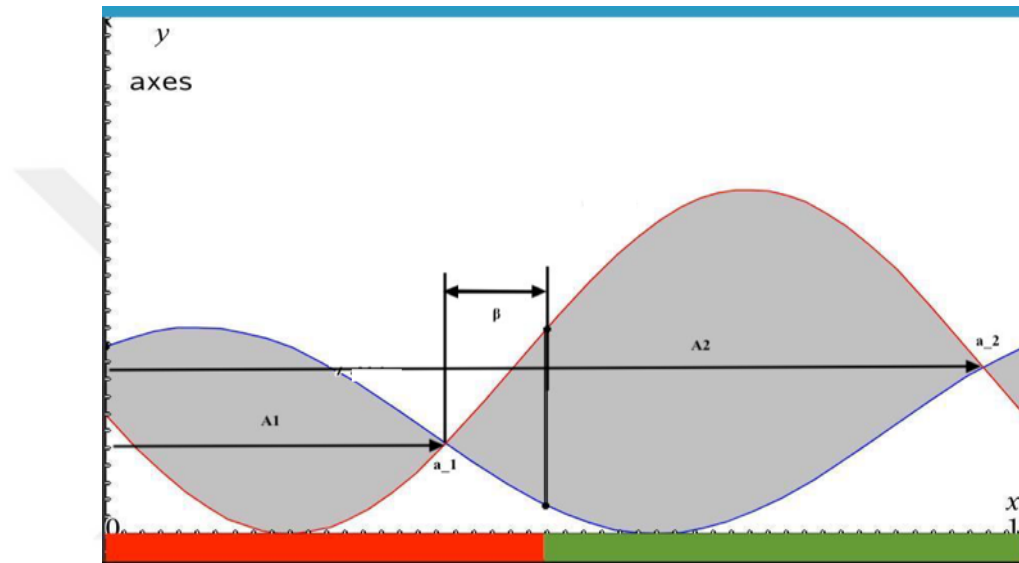
Bu çalışmanın ilk kısmı, düzgün gecikme (UD_l). için maliyet fonksiyonunu formüle etmektir. Araçlar giriş bağlantısına ϵ ulaştığında, giriş linklerinde kavşağı olmadığından, her bir giriş linkinin sonunda yer alan sinyalize çıkış kavşakları $\sigma(l)$ tarafından kontrol edilirler. Bu tür bağlantılar, giriş olmayan linklerin başlangıcında yer alan $\tau(l)$ ş kavşakları yoluyla ağa giren trafik talebi miktarını kontrol eder. Anlaşılır bir şekilde, giriş linkleri için çıkış kavşağı ϵ , giriş olmayan bağlantılar için geliş kavşağı olur. Giriş linkleri $\mathcal{E}$ için yukarı yönde kesişme olmadığına dikkat edilmelidir. Geliş kavşakları aynı zamanda giriş olmayan bağlantılar için $\tau(l)$ ile gösterilen geliş kavşakları olacaktır. Yukarıdaki Şekil 4.1 olası trafik yönlerini göstermektedir. Bu nedenle her bir sinyalize kavşak, giriş linkleri için aşağı yönde ve giriş olmayan bağlantılar için yukarı akışta çalışır. Bu hareketler zamanın sinüzoidal periyodik fonksiyonu olarak kabul edilir. Varış ve ayrılış oranları arasındaki alan-sınırlı (oluşturulmuş) ile temsil edilen C devre başına her w kesişiminde (saniye) tek tip bir zaman kaybı olacaktır. Bu gösterim, önceki bölümde bahsedildiği gibi sinüzoidal fonksiyonlara matematiksel olarak değinilmiştir.

Devre süresi, etkin kırmızı r (saniye) ve etkin yeşil g (saniye) olmak üzere iki aralığa bölünmüştür. Tek tip gecikme senaryosu Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Sinüzoidal geliş ve gidiş hızı iki aralıkta işlev görür, çakışmayla oluşan bir alan, araçlar hem giriş linkleri (besleyiciler) hem de giriş olmayan bağlantılar için kuyruğa girer kırmızı göstergede, araçların geçişine izin verilen yeşil göstergede sinyalize kavşağı temizlemek için hareket edilir. Buradaki kavram, etkin kırmızı periyot sırasında $\tilde{a}_l(t)$ ve $\tilde{d}_l(t)$ arasında sınırlanan alanların toplamı ile, etkin kırmızı periyot sırasında $\tilde{a}_l(t)$ ve $\tilde{d}_l(t)$ arasında sınırlanan alanların toplamının farkıdır. Etkili yeşil döneminde alan, bir devre için kesin entegrasyon kullanılarak hesaplanır. Bu durum Eşitlik (2)'de gösterilmiştir.

İki periyodik fonksiyona dahil edilen ofset, faz kayması adı verilen bir değişkendir. Fonksiyonların zaman farkı ve gecikmesi, ofset seçimine (faz kayması değeri) bağlı olarak alanın küçülmesine ve genişlemesine neden olacaktır. Ayrıca, varış ofseti, devre süresinin akış yukarısına $\theta_{\tau(l)} \in [0,1)$ değerini verir. Yukarı akış ofset değeri, tepe varış ofsetinin φ merkezi tarafından ayarlanır. Bununla birlikte, devre

süresinin akış aşağı kesişiminde $\theta_{\sigma(l)} \in [0,1)$ aşağı akış ofseti, yukarıdaki bölümdeki eşitliklerde (36) ve (38) açıkça görülen her kesişme noktasında takım hareketini ayarlamak için yeşil bölme $\gamma_l \in [0,1)$ kısmı ile ayarlanır.

Yeşil oranı yukarı akış ve aşağı akış ofsetleri $[0,1)$ aralığına aittir, bu, bu sinüzoidal fonksiyonlar arasındaki alanla sınırlandırılmış alanı çözmeyi zorlaştırır. Senaryoyu Şekil 4.3'deki gibi görselleştirmek için bir örnek olarak düşünülebilir.



Şekil 4.3 Periyodik geliş ve gidiş oranları örneği, devre başına sınırlanan alan.

Şekil 4.3'te $C = 1$ devre süresi başına alan-sınırlı için dört terim vardır. Buradaki gecikme hipotezimiz, bu sinüzoidal periyodik fonksiyonların sınırlı alanıdır. Her ters türev terimi için üst ve alt sınır dört alana bölünmüştür. (2)'den, efektif kırmızı ve efektif yeşil altındaki alanların toplamının farkı olan düzgün gecikmeyi temsil eder, (2)'ye göre, Şekil 4.3 'yi kullanarak (61)'i elde ederiz.

$$UD_l = \int_0^{a_1} \tilde{a}(t) - \tilde{d}(t)dt + \int_{a_1}^{\beta} \tilde{d}(t) - \tilde{a}(t)dt - \left(\int_{\beta}^{a_2} \tilde{d}(t) - \tilde{a}(t)dt + \int_{a_2}^1 \tilde{a}(t) - \tilde{d}(t)dt \right) \quad (61)$$

Eşitlik (61)'de dört terim üzerinden entegrasyon gerektirir. İlk terim, a_1 ile gösterilen üst sınırdaki x eksenine karşılık gelen zaman içinde ilk kesişme noktasına bir alt sınır olarak sıfırdan periyot boyunca entegre edilir. İkinci alan sınırlı, a_1 ile β periyoduna

karşılık gelir. Devresel periyodun 1 olduğu varsayıldığından, β ile a_2 periyodu boyunca entegre edilen üçüncü terimdir. Son integral için entegrasyon sınırları a_2 ile 1'dir. Bu, (61)'in hesaplanmasını kolaylaştırabilir. Böylece, (36), (38), β (58)'deki gibi, a_1 (42)'deki gibi (61)'de değiştirilirse, (62) elde edilir ve UD_l elde edilir.

$$UD_l = \int_0^{a_1} f_l + \alpha_l e^{i2\pi(t-\phi_l)} - d_l - d_l e^{i2\pi(t-\psi_l)} dt + \int_{a_1}^{1-\gamma_l-a_1} d_l + d_l e^{i2\pi(t-\psi_l)} - f_l - \alpha_l e^{i2\pi(t-\phi_l)} dt - \int_{1-\gamma_l-a_1}^{0.5+a_1} d_l + d_l e^{i2\pi(t-\psi_l)} - f_l - \alpha_l e^{i2\pi(t-\phi_l)} dt + \int_{0.5+a_1}^1 f_l + \alpha_l e^{i2\pi(t-\phi_l)} - d_l - d_l e^{i2\pi(t-\psi_l)} dt \quad (62)$$

(62), 'deki entegrasyonu değerlendirdikten sonra, UD_l (63)'deki gibi olur:

$$\frac{4f_l a_1 \pi i + \alpha_l e^{i2\pi(a_1-\phi_l)} - 4d_l a_1 \pi i - 2d_l e^{i2\pi(a_1-\psi_l)} - \alpha_l e^{-i2\pi\phi_l} + d_l e^{-i2\pi\psi_l} + 4d_l \pi i(1-\gamma_l-a_1) + 2d_l e^{i2\pi(1-\gamma_l-a_1-\psi_l)} - 4f_l \pi i(1-\gamma_l-a_1) - 2\alpha_l e^{i2\pi(1-\gamma_l-a_1-\phi_l)} - 4d_l \pi i(0.5+a_1) - 2d_l e^{i2\pi(0.5+a_1-\psi_l)} + 4f_l \pi i(0.5+a_1) + 2\alpha_l e^{i2\pi(0.5+a_1-\phi_l)} - 2\pi f_l i - \alpha_l e^{i2\pi(1-\phi_l)} + 2\pi d_l i + d_l e^{i2\pi(1-\psi_l)}}{i2\pi} \quad (63)$$

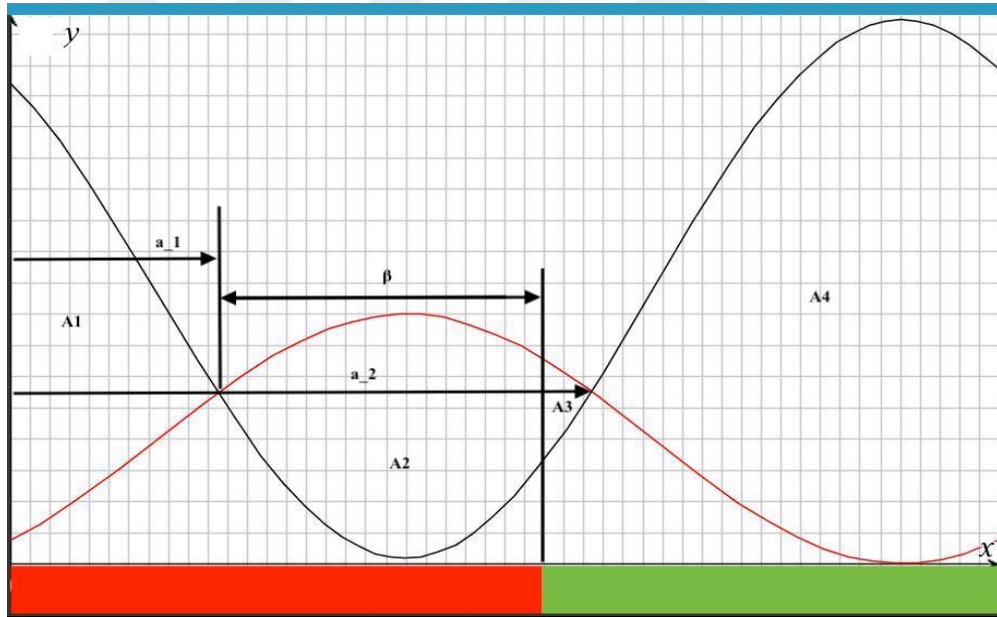
4.4. Doygun Üstü Gecikme için Yarı Periyodik Amaç Fonksiyonu (Kısım II)

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda sinyalize kavşakta kuyruk uzunluğunu en aza indirecek şekilde ofset optimize edilmiştir. Araç geliş ve gidiş hızlarının, yeterince doymun olmayan sinyalize kavşak için ortak devre süresi ile zamanın periyodik fonksiyonu olduğu varsayılmıştır.

Duygun üstü durum, bu çalışmanın ikinci ana katkısıdır. Durum, sıkışık trafik sinyal ağlarında en büyük problem olarak kabul edildiğinden, sahadaki gerçek durumu simüle etmek için araç varış ve kalkış hızlarının yarı-periyodik ve zamanın periyodik fonksiyonu olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, Akçelik (1980)'de de açıklandığı gibi deterministik taşma koşulunda her devre süresi boyunca kümülatif varış zamanının bir fonksiyonu olarak her devre süresi için lineer olarak artar. Buna göre, bu çalışmanın ikinci yeniliği olan aşırı doymunlukta ortak devre süresi ve rastgele varış oranlarının yarı-periyodik fonksiyon olduğu varsayılmıştır.

Şekil 4.4 varış hızı için yaklaşık bir yarı-periyodik fonksiyonu ve kalkış hızı için periyodik zamanın fonksiyonunu göstermektedir. Yeşil zamana bağlı olarak her devre süresi için değişmeyen trafik sinyali kapasitesi nedeniyle kalkış hızının periyodik olduğu varsayılır. Ek olarak, trafik talebi, kalkış hızının değil varış hızının bir fonksiyonudur.

Yukarıdaki tartışma bizi yarı-periyodik varış oranı olan yeni bir teoriye götürebilir. Yeni varsayım, sinyalizasyonun yetersiz doymuş ve doymuş koşullar için tamamen periyodik olduğunu kabul eder. Başka bir deyişle, kapasitenin altında veya kapasiteye eşit taleptir. Ancak, varış modeli (talep) arttığında, dolayısıyla artık periyodik olarak adlandırılmadığında, artış doğrusaldır. Başka bir deyişle, her bağlantı iki gecikme bileşenine sahip olacaktır, bunlar tek tip gecikme ve aşırı doymuş gecikmedir. Buna toplam gecikme denir, her bir bağlantıdaki her iki bileşenin toplamıdır. Yarı-periyodik terimi, doğrusal ve periyodik fonksiyon olmak üzere iki koşuldan oluşur.



Şekil 4.4. Sırasıyla gidiş ve geliş oranları için yaklaşık periyodik ve yarı periyodik

Şekil 4.4, siyah bir çizgiyle gösterilen yarı-periyodik varış oranını açıkça göstermektedir ve kırmızı bir çizgi göstergesi, periyodik sinüzoidal ayrılma oranını temsil etmektedir. Kalkış değişmeyen değer olduğundan, sinüzoidal periyodik fonksiyon varsayılır. Aşırı doymuşluk durumu, talepte kapasiteyi aşan aşırı bir artış olduğunda gerçekleşir. Doymuşluk derecesi x , özellikle 1'in üzerine çıktığında aşırı doymuşluk durumunun bir göstergesi olarak kabul edilir. Trafik talebi, her devre için geliş hızı

modelidir. Amaç, periyodik kısımdaki ofsetleri ve yeşil bölünmeyi optimize ederek ve ikinci kısımda devre süresi ve efektif yeşili optimize ederek aşırı doygun durumdaki gecikmeyi ölçmektir. Kesin olarak, algoritma doğrusal kısmı mümkün olduğunca minimumda tutmaya çalışır. Buradaki kavram, doymamış gecikme koşullarında, periyodik ve yarı-periyodik fonksiyonlar arasında oluşan alanların kırmızı aralık altında ve yeşil aralık altında alanların toplamının farklılıklarına benzer. Bu alan farklılıkları (3)'e göre aşırı doygun gecikmeyi temsil eder. (3)' Eşitliliği uygulayarak, Eşitlik (64) elde edilmiştir.

$$OD_l = \int_0^{a_1} \hat{a}(t) - \tilde{d}(t)dt + \int_{a_1}^{\beta} \tilde{d}(t) - \hat{a}(t)dt - \left(\int_{\beta}^{a_2} \tilde{d}(t) - \hat{a}(t)dt + \int_{a_2}^1 \hat{a}(t) - \tilde{d}(t)dt \right) \quad (64)$$

(36), (40), (42)'deki gibi a_1 ve (58)'deki gibi β 'yı (64) yerine koyarak (65) elde ederiz.

$$OD_l = \int_0^{a_1} m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)} - (d_l + d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)})dt + \int_{a_1}^{\beta} d_l + d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)} - (m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)})dt - \left(\int_{\beta}^{0.5+a_1} d_l + d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)} - (m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)})dt + \int_{0.5+a_1}^1 m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)} - (d_l + d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)})dt \right) \quad (65)$$

Eksi işaretinin (65), dağıtılmasıyla (66) elde edilir.

$$OD_l = \int_0^{a_1} m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)} - d_l - d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)}dt + \int_{a_1}^{1-\gamma_l-a_1} d_l + d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)} - m_l t - f_l - f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)}dt - \int_{1-\gamma_l-a_1}^{0.5+a_1} d_l - d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)} + m_l t + f_l + f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)}dt - \int_{0.5+a_1}^1 m_l t - f_l - f_l e^{i2\pi t(t-\phi_l)} + d_l + d_l e^{i2\pi t(t-\psi_l)}dt \quad (66)$$

Yukarıdaki entegrasyonu değerlendirdikten sonra, OD_l (67) 'deki gibi olacaktır.

$$\frac{2m_l a_1^2 \pi i + 4f_l a_1 \pi i + 2f_l e^{i2\pi(a_1-\phi_l)} - 4d_l a_1 \pi i - 2d_l e^{i2\pi(a_1-\psi_l)} - f_l e^{i2\pi\phi_l} + d_l e^{-i2\pi\psi_l} + 2d_l e^{i2\pi(1-\gamma_l-a_1-\psi_l)} - 2\pi i(1-\gamma_l-a_1)^2 - 2\pi f_l i(1-\gamma_l-a_1) - 2f_l e^{i2\pi(1-\gamma_l-a_1-\phi_l)} - 4\pi d_l i(0.5+a_l) - 2d_l e^{i2\pi(0.5+a_1-\psi_l)} + 2\pi f_l(0.5+a_1) + 2f_l e^{i2\pi(0.5+a_1-\phi_l)} - m_l \pi i - 2\pi f_l i + 2\pi d_l i - f_l e^{i2\pi(1-\phi_l)} + d_l e^{i2\pi(1-\psi_l)}}{2\pi i} \quad (67)$$

4.5. Üniforma ve Toplam gecikmenin Amaç Fonksiyonları

Önceki bölümlerde, üniform gecikme UD_l ve aşırı doygun gecikme OD_l . için amaç fonksiyonlarının ortaya çıkarılması için hazırlıklar yapılmıştır. UD_l 'nin nihai amaç fonksiyonu Eşitlik (63) sadeleştirilerek elde edilir. Sadeleştirmelerden sonra Eşitlik (68) elde edilir. UD_l için matematiksel maliyet fonksiyonunun sağlamlılığını test etmek için Webster modeli ve HCM 2010 gibi önceki modelleri mevcut UD_l modeliyle karşılaştırma amacındadır.

$$\left| \frac{12f_l\pi i - 12d_l\pi a_1 i + 4d_l\pi i - 4d_l\pi\gamma_l i + 4f_l\pi\gamma_l i - 4f_l\pi\gamma_l i - P_l(\alpha_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l - 2\alpha_l D_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 2d_l D_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l) - \bar{z}_{\tau(l)}A_l - \alpha_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 2d_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l}{i2\pi} \right| \quad (68)$$

Eşitlik (68)'de karşılaştırmayı gerçekleştirmek için skalerler kaldırılır çünkü algoritma sadece değişkenleri optimize eder. Böylece, nihai düzgün gecikme UD_l amaç fonksiyonu (69)'da görüldüğü gibi olacaktır.

$$\left| \frac{f_l\pi i - d_l\pi a_1 i + d_l\pi i - d_l\pi\gamma_l i + f_l\pi\gamma_l i - f_l\pi\gamma_l i - P_l(\alpha_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l - 2\alpha_l D_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 2d_l D_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l) - \bar{z}_{\tau(l)}A_l - \alpha_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + d_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l}{i2\pi} \right| \quad (69)$$

UD_l 'nin minimizasyon maliyet fonksiyonu (70)'de görüldüğü gibi olacaktır. Kısıtlamalar (71), (72), (73) ve (74)'dedir.

Kısıt (71), her bir yukarı ve aşağı kesişimdeki w optimize edilmiş rastgele seçilen ofsetlerin bir vektörüdür. Kısıt (72) a_1 'nin üssüdür, birinci ve dördüncü çeyrek için arktanjan olan periyodik sinüzoidal fonksiyonların kesişme noktasıdır. Dördüncü kadran hariç tutulur; bu nedenle kesişme noktasının hareketi birinci pozitif kadran $\in [0, \frac{\pi}{2}]$ ile sınırlıdır. Kısıtlamada (73) yeşil bölme $\gamma_l = \frac{g_l}{c_l}$. içindir. Her bir giriş bağlantısı l 'deki devre süresi C_l (sn) ve etkin yeşil süre g_l (sn) optimize edilir. g_l , [30,90] yakın aralığına aittir ve C_l , [106,180] yakın aralığına aittir. Bu aralıklar, izin verilen minimum değeri verecek şekilde optimize edilmiştir. Kısıtlamada (74), arktanjan olan iki sinüzoidal fonksiyonun kesişme noktasının a_1 değeridir. Bu bölgenin, geliş ve gidiş oranları

arasında oluşan alan sınırlamasında büyük rol oynayan ilk pozitif kadranda olması gerekir.

$$\min_{\theta_w} \left| \frac{f_l \pi i - d_l \pi a_1 i + d_l \pi i - d_l \pi \gamma_l i + f_l \pi \gamma_l i - f_l \pi \gamma_l i}{-P_l(\alpha_l \bar{z}_{\tau(l)} A_l - 2\alpha_l D_l \bar{z}_{\tau(l)} A_l + 2d_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} D_l) - \bar{z}_{\tau(l)} A_l - \alpha_l \bar{z}_{\tau(l)} A_l + d_l \bar{z}_{\sigma(l)} D_l} \right| / i2\pi \quad (70)$$

Kısıtlar:

$$\bar{z}_w = e^{-i2\pi\theta_w}, \quad w = 1, 2, \dots, n \quad (71)$$

$$P = e^{-i \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}}\right)}, \quad \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \quad (72)$$

$$\gamma_l = \frac{g_l}{C_l} \in [0,1), \quad g_l \in [30,90], \quad C_l \in [106,180] \quad (73)$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} * \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}}\right), \quad \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \quad (74)$$

TD_l , 'yi bulmak için, skalerler (68)'deki UD_l 'de tutulur. Böylece Eşitlik (68) aynı tutulur. TD_l 'nin üretilmesinde ihtiyaç duyulan UD_l için matematiksel maliyet fonksiyonunun sağlamlığını test etmek için çalışma, Ceylan (2002)'in önceki sonuçlarını bu araştırmada geliştirilen mevcut TD_l modeliyle karşılaştırma eğilimindedir.

Kısıt (76), her bir yukarı ve aşağı kesişme w 'de rasgele seçilen ofsetlerin bir vektörü olarak optimize edilir. Kısıt (77), a_1 'nin üssüdür, birinci ve dördüncü çeyrek için arktanjan olan periyodik sinüzoidal fonksiyonların kesişme noktasıdır. Dördüncü kadrant hariç tutulur; bu nedenle kesişme noktasının hareketi birinci pozitif kadrant $\in \left[0, \frac{\pi}{2}\right)$ ile sınırlıdır. Kısıtlamada (78), yeşil bölme $\gamma_l = \frac{g_l}{C_l}$ içindir. Her bir giriş bağlantısı l 'deki devre süresi C_l (sn) ve etkin yeşil süre g_l (sn) optimize edilir. g_l yakın aralığa $[30,90]$ ve C_l yakın aralığa $[106,180]$ aittir. Bu aralıklar, izin verilen minimum değeri verecek şekilde optimize edilmiştir. Kısıtlamada (79), arktanjan olan iki sinüzoidal fonksiyonun kesişme noktasının a_1 değeridir. Bu bölgenin, geliş ve gidiş oranları arasında oluşan sınırlı alanda büyük rol oynayan ilk pozitif kadranda olması gerekir.

Skiler ($\frac{1}{2\pi i}$) sabittir, maliyet fonksiyonundaki ofsetlere veya herhangi bir değişkene bağlı değildir, bu nedenle eşitliklerden atılır. Eşitlik (68)'deki amaç fonksiyonu TD_l 'nin ilk bölümünü temsil eder. UD_l 'nin minimizasyon amaç fonksiyonu Eşitlik (75)'de gösterilmiştir.

$$\min_{\theta_w} |12f_l\pi i - 12d_l\pi a_1 i + 4d_l\pi i - 4d_l\pi\gamma_l i + 4f_l\pi\gamma_l i - 4f_l\pi\gamma_l i - P_l(\alpha_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l - 2\alpha_l D_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 2d_l D_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l) - \bar{z}_{\tau(l)}A_l - \alpha_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 2d_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l| \quad (75)$$

Kısıt

$$\bar{z}_w = e^{-i2\pi\theta_w}, \quad w = 1, 2, \dots, n \quad (76)$$

$$P = e^{-i \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}}\right)}, \quad \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \quad (77)$$

$$\gamma_l = \frac{g_l}{C_l} \in [0, 1), \quad g_l \in [30, 90], \quad C_l \in [106, 180] \quad (78)$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} * \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}}\right), \quad \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \quad (79)$$

(67) eşitliğini sadeleştirerek OD_l 'yi hesaplamak için OD_l , TD_l 'nin ikinci terimidir. Aşırı doygun gecikme ve amaç fonksiyonu için son adım şöyle olacaktır:

$$OD_l = \left| \frac{2d_l\bar{z}_{\sigma(l)}D_l - 2f_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 2d_lD_l^2P_l\bar{z}_{\sigma(l)} - 2f_lD_lP_l\bar{z}_{\tau(l)}A_l + 8\pi f_l a_1 i - 3\pi m_l i - 3\pi f_l i - 2\pi m_l \gamma_l^2 i + 4\pi m_l \gamma_l i - 4\pi m_l \gamma_l a_1 i + 4\pi m_l a_1 i + 2\pi f_l \gamma_l i + 4\pi d_l a_1 i}{i2\pi} \right| \quad (80)$$

Kısıt (82)'de, (41)'deki gibi rastgele seçilen varışların kalkış oranlarına oranlarının bir vektörüdür, her zaman pozitif yarı tanımlıdır. C_l (sn) ve g_l (sn) sırasıyla $[106, 180]$ ve $[30, 90]$ yakın aralıklarına aittir. Kısıtlamadaki bu lineer terimde zamanlama parametreleri önemlidir, çünkü aşırı doygunluk durumunda kümülatif bir artış sağlar. Kısıt (83), optimize edilmiş her bir yukarı ve aşağı kesişim w 'de rastgele seçilen ofsetlerin bir vektörüdür. Kısıt (84) a_1 'nin üssüdür, birinci ve dördüncü çeyrek için arktanjan olan periyodik sinüzoidal fonksiyonların kesişme noktasıdır. Dördüncü kadran hariç tutulur, bu nedenle kesişme noktasının hareketi birinci pozitif kadran $\in \left[0, \frac{\pi}{2}\right)$ ile sınırlıdır. Kısıt

(85) yeşil oranı $\gamma_l = \frac{g_l}{C_l}$ içindir. Her bir giriş bağlantısı l 'deki devre süresi C_l (sn) ve etkin yeşil süre g_l (sn) optimize edilir. g_l yakın aralığa $[30,90]$ ve C_l yakın aralığa $[106,180]$ aittir. Bu aralıklar, izin verilen minimum değeri verecek şekilde optimize edilmiştir. Kısıtlamada (86), arkatanjant olan iki sinüzoidal fonksiyonun kesişme noktasının a_1 değeridir. Bu bölgenin, geliş ve gidiş oranları arasında oluşan alan sınırlamasında büyük rol oynayan ilk pozitif kadranda olması gerekir.

Skiler $(\frac{1}{2\pi i})$ sabittir, maliyet fonksiyonundaki ofsetlere veya herhangi bir değişkene bağlı değildir, bu nedenle ihmal edilir. (68)'deki amaç fonksiyonu TD_l 'nin ilk bölümünü temsil eder. Minimizasyon amaç fonksiyonu Eşitlik (81)'de gösterilmiştir.

$$\min_{\theta_w} |2d_l \bar{z}_{\sigma(l)} D_l - 2f_l \bar{z}_{\tau(l)} A_l + 2d_l D_l^2 P_l \bar{z}_{\sigma(l)} - 2f_l D_l P_l \bar{z}_{\tau(l)} A_l + 8\pi f_l a_1 i - 3\pi m_l i - 3\pi f_l i - 2\pi m_l \gamma_l^2 i + 4\pi m_l \gamma_l i - 4\pi m_l \gamma_l a_1 i + 4\pi m_l a_1 i + 2\pi f_l \gamma_l i + 4\pi d_l a_1 i| \quad (81)$$

Kısıt

$$\left| \frac{q_l * C}{s_l * g_l} - 1 \right| \geq 0, g_l \in [30,90], C_l \in [106,180], l = 1,2,3 \dots n \quad (82)$$

$$\bar{z}_w = e^{-i2\pi\theta_w}, w = 1,2 \dots, n \quad (83)$$

$$P = e^{-i \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}}\right)}, \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \quad (84)$$

$$\gamma_l = \frac{g_l}{C_l} \in [0,1), g_l \in [30,90], C_l \in [106,180] \quad (85)$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} * \arctan\left(\frac{\alpha_l A_l \bar{z}_{\tau(l)} - f_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)}}{B_l D_l \bar{z}_{\sigma(l)} - \alpha_l A_l B_l \bar{z}_{\tau(l)}}\right) \quad (86)$$

TD_l iki gecikmenin toplamı olarak Eşitlik (87)'de verilmiştir.

$$TD_l = UD_l + OD_l \quad (87)$$

(87)'yi Eşitlikler olarak göstermek istenirse, amaç fonksiyonu Eşitlik (88)'deki gibi olacaktır.

$$TD_l = (73) + (79) \quad (88)$$

BÖLÜM V

ÖRNEK UYGULAMA

Bu bölümde, önerilen matematiksel modellerin geçerlilik testi için literatürden seçilen Allsop ve Charlesworth (1977), Chiou (1998) ve Ceylan v.d., (2002) tarafından kullanılan örnek ulaşım ağı seçilmiştir. Ağ 7 zondan ve 23 linkten oluşmaktadır. Başlangıç-varış bölgeleri (A, D & E) iken diğer bölgeler ya çıkış (G & C) gibi ya da (B & F) gibi varış yerleridir. Zonlar arasındaki trafik talebi 6 adet sinyalize kavşak tarafından kontrol edilmektedir. Linkler iki türe ayrılmıştır. $\epsilon \in \mathcal{L}$ ile gösterilen giriş linkleri ve $\ell \in \mathcal{L}$ ve ile gösterilen giriş olmayan bağlantılardır. Burada $\mathcal{L}$ tüm linklerin kümesidir.

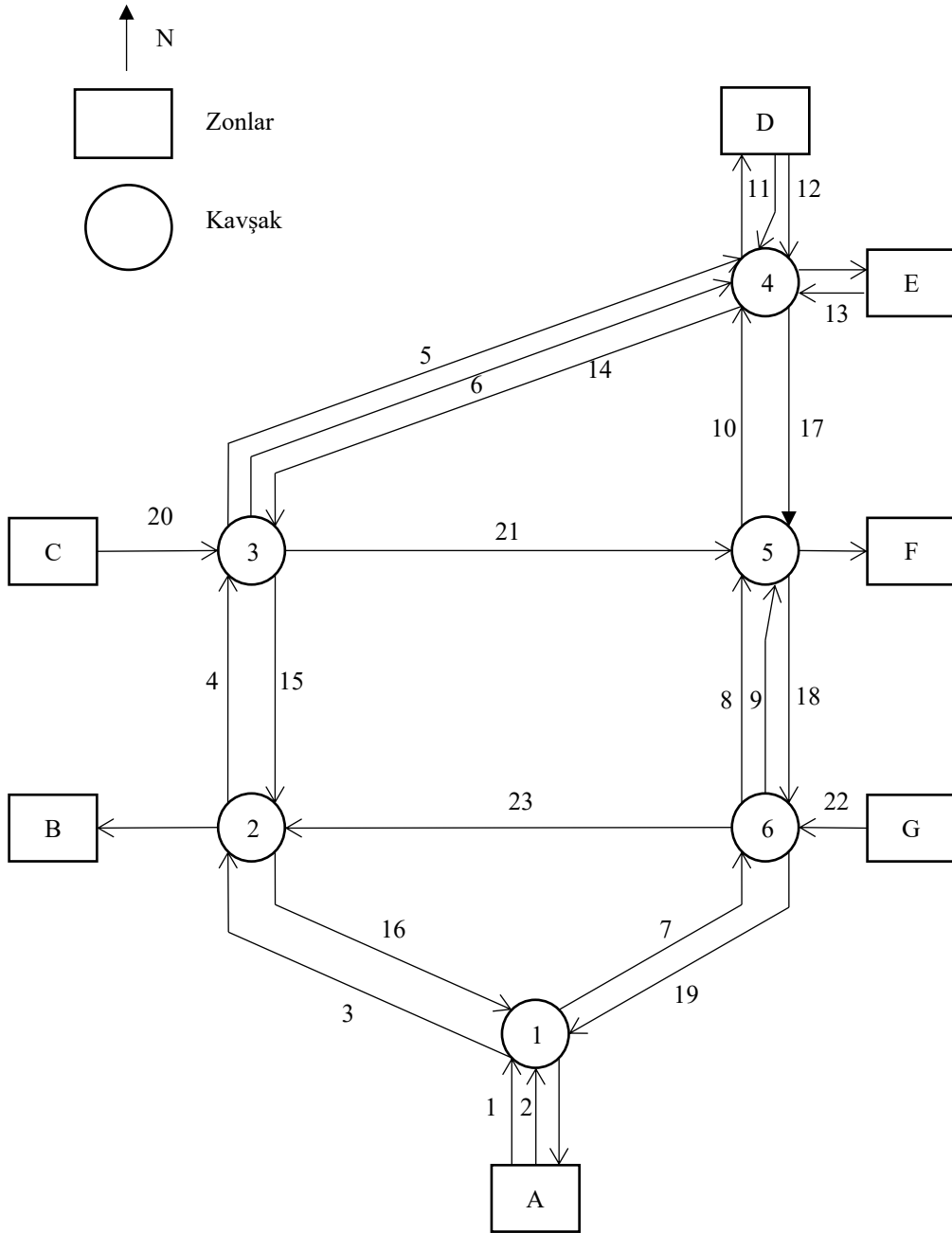
Örnek ulaşım ağında 7 giriş linki ve 16 giriş olmayan linki bulunmaktadır. Toplam ulaşım talebi 1500 taşıt/saat ile 3000 taşıt/saat arasında olduğu kabul edilmiştir. Örnek ulaşım ağı sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.1, zonları, sinyalize kavşakları ve linkleri göstermektedir. Şekil 5.2 sinyalize kavşaklardaki faz sayısı ve düzenini göstermektedir. Giriş linkleri $\tau(l)$ ve çıkış linkleri $\sigma(l)$ ile gösterilmiştir. Yukarı akıştaki $\theta_{\tau(l)}$ ve aşağı akıştaki $\theta_{\sigma(l)}$ ofsetler optimize edilerek her bir linkteki gecikmeyi hesaplamak için kullanılmıştır.

Trafik hacmi her bir link için trafik atama sonuçlarından alınmıştır (Ceylan, 2002). Trafik talebi (her bağlantıya varış oranı) arttığında, ağ içindeki bağlantı yönüne ve her hareket için linke bağlı olarak en yüksek gecikme değeri beklenir.

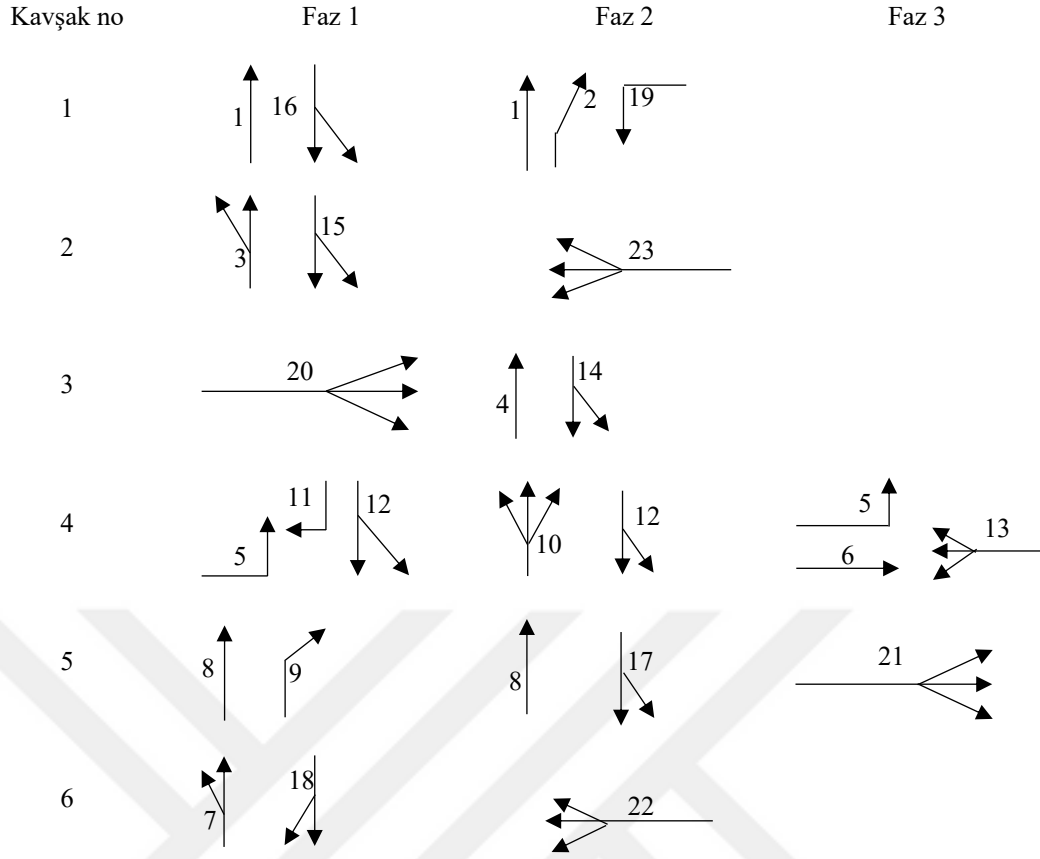
Tablo 5.1'te başlangıç-varış (B-V) matrisi verilmiştir. Bununla birlikte, tek tip gecikme modeline dayalı olarak, her girişte ve giriş olmayan bağlantıda $\mathcal{E}, \ell \in \mathcal{L}$ ortalama varış hızına ihtiyaç duyulur; burada $\mathcal{L}$, ağdaki tüm linklerin kümesidir. Doygun akım oranları giriş ve giriş olmayan linkler için Tablo 5.2'de verilmiştir. Tablo 5.3, ağ içindeki tüm olası hareketleri ortaya koymaktadır. Başka bir deyişle, iki zon arasındaki B-V noktaları arasındaki seyahat etmek için yol kullanıcılarının kullanabileceği seçimlerdir. Tablodaki ilk sütun, bölgeler arasındaki B-V yolculuklarını vermektedir. İkinci sütun, başlangıç bölgesinden hedef bölgeye yaklaşılacak rota içindir. Üçüncü sütun, belirli bir yola veya harekete yaklaşmak için tahmin edilen trafik talebinin yüzdesidir. Bu, hangi

hareketin daha az sayıda sinyalize kavşağa sahip olduğuna bağlı olarak rastgele varsayılır.

Tablo 5.3'ün dördüncü rotalardaki trafik hacmini göstermektedir.



Şekil 5.1. Örnek ulaşım ağı (Ceylan,2002)



Şekil 5.2. Sinyalizasyon kavşakları faz planı.

Her bir kavşağa belirli bir renk verildiğini belirtmekte fayda vardır ve bu kavşaklara bağlanan linklere, bu kavşakların bağlı olduğu renklerin verilmiştir. Geliş hacmi dalgalanması $\alpha_l \leq f_l$ olarak gösterilir. Bu değer, doygun durum için geliş oranının %50'si olacak şekilde tüm bağlantılar için sabit tutulur. Öte yandan, aşırı doygunluk durumu için, dalgalanma genliği dikkate alındığında $\alpha_l = f_l$, geliş trafik hacmi benzerdir.

Tablo 5.1. B-V matrisi (taş/sa)

Başlangıç /Varış	A	B	D	E	F	Başlangıç Topamları
A	--	250	700	30	200	1180
C	40	20	200	130	900	1290
D	400	250	--	50*	100	800
E	300	130	30*	--	20	480
G	550	450	170	60	20	1250
Varış Topamları	1290	1100	1100	270	1240	5000

Tablo 5.2. Linklerdeki doymun akım (taşt/sa).

Kavşak no	Link	Doymun akım (s)(taş/sa)
1	1	2000
	2	1600
	16	2900
	19	1500
2	3	3200
	15	2600
	23	3200
3	4	3200
	14	3200
	20	2800
4	5	1800
	6	1850
	10	2200
	11	2000
	12	1800
	13	2200
5	8	1850
	9	1700
	17	1700
	21	3200
6	7	1800
	18	1700
	22	3600

Tablo 5.3. Rotalar ve trafik hacmi (taş/saat).

Başlangıç/Variş	Rotalar	Trafik talebinin yüzdesi (%)	Trafik hacmi, q, (taş/saat)
A – B	3	100%	250
A – D	1, 3, 4, 5 ^a	26%	182
	1, 3, 4, 21, 10	7%	49
	2, 7, 8, 10	33%	231
	2, 7, 23, 4, 5	18%	126
	2, 7, 23, 4, 21, 10	16%	112
	1, 3, 4, 6	20%	6
A – E	1, 3, 4, 21, 10	22%	7
	2, 7, 8, 10	41%	12
	2, 7, 23, 4, 6	12%	4
	2, 7, 23, 4, 21, 10	5%	1.5
	1, 3, 4, 21	23%	46
	2, 7, 9	59%	118
C – A	2, 7, 23, 4, 21	18%	36
	20, 15, 16	80%	32
C – B	20, 21, 18, 19	20%	8
	20, 15	85%	17
C – D	20, 21, 18, 23	15%	3
	20, 5	88%	176

^a1. bağlantı için Kırmızı renk, 2. bağlantı için Sarı renk, 3. bağlantı için Siyah renk, 4. bağlantı için Yeşil renk, 5. bağlantı için Mor renk ve 6. bağlantı için Kahverengi renk.

	20, 21, 10	7%	14
	20, 15, 16, 7, 8, 10	5%	10
C – E	20, 6	89%	116
	20, 21, 10	8%	10
	20, 15, 16, 7, 8, 10	3%	4
C – F	20, 21	92%	828
	20, 15, 16, 7, 9	8%	72
D – A	12, 17, 18, 19	46%	184
	11, 14, 15, 16	23%	92
	11, 14, 21, 18, 19	10%	40
	12, 17, 18, 23, 16	16%	64
	11, 14, 21, 18, 23, 16	5%	20
D – B	11, 14, 15	73%	183
	12, 17, 18, 23	17%	43
	11, 14, 21, 18, 23	10%	25
D – E	12	100%	50
D – F	12, 17	86%	86
	11, 14, 21	10%	10
	11, 14, 15, 16, 7, 9	4%	4
E – A	13, 17, 18, 19	32%	96
	13, 14, 15, 16	25%	75
	13, 14, 21, 18, 19	17%	51
	13, 17, 18, 23, 16	16%	48
	13, 14, 21, 18, 23, 16	10%	30
E – B	13, 14, 15	52%	68
	13, 17, 18, 23	40%	52
	13, 14, 21, 18, 23	8%	10.4
E – D	13	100%	30
E – F	13, 17	88%	18
	13, 14, 21	10%	2
	13, 14, 15, 16, 7, 9	2%	1
G – A	22, 19	80%	440
	22, 23, 16	10%	55
	22, 8, 10, 14, 15, 16	5%	28
	22, 8, 10, 14, 21, 18, 19	4%	22
	22, 8, 10, 14, 21, 18, 23, 16	1%	5.5
G – B	22, 23	94%	423
	22, 8, 10, 14, 15	6%	27
G – D	22, 8, 10	95%	162
	22, 23, 4, 5	5%	8.5
G – E	22, 8, 10	91%	55
	22, 23, 4, 6	6%	4
	22, 23, 4, 21, 10	3%	2
G – F	22, 9	96%	19
	22, 23, 4, 21	4%	1

Giriş linkleri (1, 2, 11, 12, 13, 20, 22) nolu linkler olup, link 1, sinyalize link değildir.

$\alpha_l = 0 \forall \ell \in \mathcal{E}$ linklerde trafik hacimleri sabit alınmıştır. Başlangıç koşullarında, giriş

linklerdeki ofsetler değerlerinin sıfır olduğu varsayılmıştır. Çıkış kavşağı ofseti $\bar{z}_{\tau(l)} = 1$ olarak alınmıştır. Çıkış kavşağı ofset değerleri optimize edilmiştir. Hesaplanan aşağı akış ofsetleri, tüm giriş olmayan linkleri için çıkış kavşağı ofsetleridir. Giriş olmayan linkler (16, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23) nolu linkleridir. Aşağıda önerilen matematiksel formüllerin değerleri hesaplanmıştır.

5.1. Üniform Gecikme

Trafik ağı için amaç fonksiyonunu optimize etmek için diferansiyel evrim algoritması (DEA) olarak adlandırılan sezgisel yaklaşım kullanılmıştır. Devre süresi C , etkin yeşil g , yukarı akış ofsetleri $\theta_{\tau(l)}$ ve aşağı akış ofseti $\theta_{\sigma(l)}$, ve giriş linkleri için merkez tepe varış oranındaki ofset optimize edilmiştir. Trafik sinyal ağı, araçların ağa girdiği giriş linklerine ve ağ içindeki sinyalizasyon kavşakları birbirine bağlayan giriş olmayan bağlantılara bölünmüştür. Optimizasyon prosedürü iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada, her iki grup arasındaki temel fark, giriş linklerinin tümü sıfır olduğu için $\theta_{\tau(l)}$ 'dir. Bunun nedeni, giriş linklerinin sahte bağlantılara bağlanmasıdır. Bu durumda, çıkış kavşağındaki $\theta_{\sigma(l)}$ (trafik sinyalinin bulunduğu yer) ofsetleri ve araçların giriş bağlantısı ϵ kuyruğuna periyodik varış $\varphi_{(\epsilon)}$ ofsetleri değişkenler olarak kabul edilir.

Ofset değişkeni, sinyalizasyon ağındaki trafik akışını senkronize etmekten sorumlu olduğundan, giriş linkleri için aşağı akış ofset bilgisi, giriş olmayan link ofsetlerinin yukarı akış ofsetleri için önemlidir. Aşağı akış kavşağında $\theta_{\sigma(l)}$ ve giriş linklerinin $\varphi_{(\epsilon)}$ merkezindeki periyodik varışın ofsetleri, devre süresi ve etkin yeşil zamanla optimize edilir. Bu parametreler karar değişkenleri olarak kabul edilir. Tek tip gecikme, ofsetler için ölçü parametresidir. Karar değişkenleri, giriş linkleri için en aza indirilmiş tek biçimli gecikme UD_l değerini verecek şekilde optimize edilmiştir. Giriş linkleri için aşağı akış uzaklıkları, giriş olmayan bağlantılar için yukarı akış uzaklıkları olarak alınır. Bu değerlere dayalı olarak, tüm giriş olmayan bağlantılar ofsetleri optimize edilir. Amaç, yukarı ve aşağı yönde ofsetlerin toplanmasıyla her bağlantıdaki tek tip gecikmeyi en aza indirmektir. Gerekli ofsetler, hesaplamada dikkate alınan akış aşağısındadır. Giriş olmayan bağlantılarda $\varphi_{(l)}$ zirve varış merkezinin ofseti, 0,5'e eşit sabit değer olarak alınır. Varış oranlarındaki α_l dalgalanması, gelen akış hızı değeri f_l 'nin %50'si olarak kabul edilir.

5.2. Doygun Üstü Gecikme

Doygun üstü gecikme, varış zonları değiştiği için doygun altı kısımdan farklı bir amaç fonksiyonudur. İlk bölümden farklı olarak, varış oranındaki artış, zamanın yarı-periyodik bir fonksiyonu olarak adlandırdığımız doğrusal ve periyodiktir. Bu durumda, aşırı talep sağlandığında sinyalize trafik ağlarında aşırı doygunluk durumunu simüle edilmeye çalışılmaktadır. Giriş linkleri için karar değişkenleri, giriş bağlantısının sonundaki tepe varış oranlarının $\varphi_{(\epsilon)}$ merkezinin ve aşağı akış uzaklığının $\theta_{\sigma(l)}$ kaymalarıdır. Giriş linkleri için yukarı akış ofsetleri, sinyalize bir kavşak tarafından kontrol edilmediğinden 0 olarak alınır. Giriş linkleri için akış aşağı kaymalar $\theta_{\sigma(l)}$ giriş olmayan bağlantılar için yukarı akış kaymalarıdır ($\theta_{\tau(l)}$). Giriş linklerindeki pik varış ofsetlerinin merkezi $\varphi_{(\epsilon)}$ bir karar değişkeni olarak alınır. Giriş linklerinde, en yüksek varış ofsetleri ve aşağı akış ofsetleri optimize edilmiştir. Tepe varış ofsetleri $\varphi_{(l)}$ giriş olmayan bağlantılar için sabit 0,5 değeri olarak alınır. Bu optimizasyon prosedürü ilk kısımla aynıdır.

$\alpha_l = f_l$ Durumunda, gelen akımdaki dalgalanma ile akım oranı eşit kabul edilmiştir.

5.2. Bulgular ve Değerlendirme

Webster gecikme modeli Eşitlik (6)'dan elde edilen ($D_{Webster}$) ve (HCM, 2010) gecikme modeli Eşitlik (7)'den elde edilen (D_{HCM}) ve Eşitlik (70)'den elde edilen ($D_{önerilen}$) önerilen yeni model ile karşılaştırılmıştır.

5.2.1. Üniforma Gecikme Sonuçlar

($D_{önerilen}$) gecikme değerleri Eşitlik (70) kullanılarak hesaplanmış ve Webster'ın ilk terimi ($D_{Webster}$) Eşitlik (6)'dan ve HCM (2010) Eşitlik (7)'den (D_{HCM}) karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 5.1'de verilmiştir. Webster's ve HCM 2010 modelleri akademik araştırmalarda oldukça kabul edilmiş bir çalışmadır. Webster'ın üniform gecikme sonuçları üçüncü sütunda ($D_{Webster}$) gösterilmiştir. Dördüncü ve beşinci sütunlarda, sırasıyla (D_{HCM}) ve ($D_{önerilen}$) gösterilmiştir.

UD için periyodik varsayım ile elde edilen sonuçlar, doygun altı akımlar için HCM ve Webster ile karşılaştırılmıştır. Tablo 5.4'den görülebileceği üzere, periyodik fonksiyon yaklaşımı ile hesaplanan Uniform Gecikme (UG) değerleri doygun altı akımlar için hem HCM hem de Webster yaklaşımına göre yaklaşık %50 daha iyi gecikme değerlerini hesaplamıştır. Doygunluk akım oranı, üniform durumu için doygun altı koşulunu simüle etmek için $x \leq 0.95$ olacak şekilde şartlandırılmıştır.

Tablo 5.4'den, tüm giriş ve giriş olmayan linkleri için ($D_{Webster}$) ve (D_{HCM}) arasında minimum 1 saniye ile maksimum 11 saniye arasında bir UD farkı aralığı olduğu görülmüştür. Önerilen model ($D_{önerilen}$) ile karşılaştırılabilir modeller ($D_{Webster}$) ve (D_{HCM}) arasındaki UD farkı aralığı sırasıyla (2-28 sn) ve (2-25 sn)'dir. Önerilen modelin ($D_{önerilen}$) UD bileşenini Webster yaklaşımına göre yaklaşık %52 ve HCM modeline göre yaklaşık %50 oranında iyileştirdiği bulunmuştur. Bu iyileştirmenin nedeni, önerilen model ($D_{önerilen}$) ile karşılaştırıldığında ($D_{Webster}$) ve (D_{HCM}) standart modellerinde sunulan varış oranları modelidir. Önerilen gecikme modelinde, gecikme bileşenleri koordinasyon parametresi dikkate alınarak yapıldığı için bu iyileşmenin ortaya çıktığı söylenebilir.

Standart modellerde gecikme fonksiyonunun giriş ve çıkış oranları arasında oluşan üçgenin alanı olduğu varsayılmıştır. Ancak, bu çalışmada, gecikme üçgensel alan değil, ofset değişken seçimi ile bağlantılı giriş ve çıkış oranları arasındaki iki periyodik fonksiyonun sınırladığı alandır. Önerilen yeni alan, her giriş ve giriş olmayan linkleri için Tablo 5.4'de beşinci sütun ($D_{önerilen}$)'de belirtildiği gibi gecikme parametresini temsil eder. En yüksek gecikme değeri link 21'de ve en küçük gecikme değeri, link 11'de bulunmuştur.

Tablo 5.4. Önerilen modelin üniform gecikme bileşeninin HCM ve Webster ile karşılaştırılması ($x \leq 0.95$)

Link No	q (taş/sa)	$D_{Webster}$ (sn)	D_{HCM} (sn)	$D_{önerilen}$ (sn)	Önerilen Modelin Webster'e göre karşılaştırılması (%)	Önerilen Modelin HCM'ye göre karşılaştırılması (%)	Doygun akım oranı (x)
1	540	0	0	0	0,0	0,0	0
2	640	31,68	30,48	5,35	83,1	82,4	0,95 ^b
11	374	26,95	25,94	3,94	85,4	84,8	0,66
12	427	29,66	28,45	4,13	86,1	85,5	0,84
13	480	28,58	27,51	4,64	83,8	83,1	0,77
20	1290	31,68	30,48	9,97	68,5	67,3	0,95
22	1250	31,68	30,48	9,97	68,5	67,3	0,95
3	540	31,68	25,11	14,41	54,5	42,6	0,60
16	539	26,09	25,9	12,99	50,2	49,8	0,66
7	731	26,91	30,48	24,89	7,5	18,4	0,95
19	833	31,68	30,48	28,40	10,4	6,8	0,95
4	547	31,68	25,22	13,28	58,1	47,4	0,60
15	611	26,21	28,42	21,04	19,7	26,0	0,83
23	1080	29,54	30,48	36,83	24,7	20,8	0,95
5	529	31,68	30,48	18,22	42,5	40,2	0,95
6	129	31,68	21,39	4,06	87,2	81,0	0,25
14	692	22,23	27,4	23,74	6,8	13,4	0,76
21	1333	31,68	30,48	45,17	58,6	48,2	0,95
17	590	31,68	30,48	20,20	36,2	33,7	0,95
10	751	31,68	30,48	17,16	45,8	43,7	0,95
18	701	31,68	30,48	15,94	49,7	47,7	0,95
8	555	31,68	30,48	19,16	39,5	37,1	0,95
9	214	31,68	30,48	7,68	75,8	74,8	0,95
Average=					52%	50%	

Tablo 5.5'te önerilen yaklaşımın performans sonuçları verilmiştir. Ofset değerleri, altıncı ve yedinci sütunlarda listelenmiştir. Son sütundaki doymun akım oranı, gecikme ofset sonuçları üzerinde etkiye sahip olmayıp, her link için bir koşul göstergesi olarak kabul edilmiştir. Giriş linkler için gidiş kavşağı ofsetleri sıfır iken giriş olmayan linkler (13-86) saniye arasında değiştiği bulunmuş, en az UD değerini üretmek için çıkış kavşağı ofsetlerini ayarlamak için gidiş kavşağı ofsetlerine ihtiyaç vardır. Çıkış kavşağı ofsetleri, trafik ağı içindeki trafik hareketleri ve koordinasyon için önemlidir. Bunlar (86-96) saniye aralığındadır. Önerilen modele dayalı olarak, çıkış kavşağı ofset değerleri, sinyal taşıma ağında minimum tekdüze gecikme ile daha yüksek koordinasyon sağlayabilir.

Devre süresi optimizasyonundan sonraki tüm sonuçlar, yukarı akış ofsetleri (sn), varış oranındaki dalgalanma ile üniform gecikmeyi (sn) ölçmek için aşağı akış ofsetleri (sn) $\alpha_l = \%50$ alınmış ve Tablo 5.5'de verilmiştir.

^b 0,95 olan tüm linkler kuyruklanma olan linkler olup sadece UD kısmı alınmıştır

Tablo 5.5. Önerilen matematiksel model yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar.

Link No.	$q(\text{taşıt/sa})$	$D_{\text{önerilen}}$ (sn)	Theta ofset		C (sn)	Yukarı akış ofsetleri (sn) = $\theta_{\tau(l)} * \text{devre}$	Aşağı akış ofsetleri (sn) = $\theta_{\sigma(l)} * \text{devre}$	(x)
1*	540	0	$\theta_{\tau(l)}$	$\theta_{\sigma(l)}$		0	0	0,95
2	640	5	0	0,81		0	86	1,4
22	1250	10	0	0,80		0	96	1,22
20	1290	10	0	0,80		0	96	1,62
13	480	5	0	0,81		0	91	0,77
11	374	4	0	0,81		0	86	0,66
12	427	4	0	0,81		0	86	0,83
3	540	14	0	0,83		0	86	0,59
16	539	13	0,12	0,80		13	86	0,65
7	731	25	0,81	0,84		86	89	1,43
19	833	28	0,80	0,84		86	86	1,96
4	547	13	0,12	0,80		13	89	0,60
15	611	21	0,80	0,83	106	86	89	0,83
23	1080	37	0,80	0,83		86	86	1,19
5	529	18	0,80	0,84		86	89	1,03
6	129	4	0,80	0,89		86	89	0,24
14	692	24	0,81	0,83		86	89	0,76
21	1333	45	0,80	0,83		86	95	1,47
17	590	20	0,81	0,84		86	89	1,22
10	751	17	0,12	0,80		13	89	1,20
18	701	16	0,12	0,81		13	89	1,45
8	555	19	0,80	0,84		86	86	1,06
9	214	8	0,80	0,87		86	86	1,07
$TUD_L(\text{araç -sn/sn})$		360						

* 1 numaralı link, sinyalizasyonu için gecikme değeri serbest akım koşullarındadır.

Tablo 5.6’da tüm giriş ve giriş olmayan linkler için toplam UD ile çıkış kavşağı ofsetlerini verilmiştir. Optimum ofsetler Tablo 5.6’te gösterilmiştir. Ofsetler (86-96) saniye aralığındadır. Başka bir deyişle, 1. kavşakta, 1. ve 2. faz için 86 saniye, 4. kavşakta, ofsetler (89, 89 ve 91) saniye olarak bulunmuştur.

Tablo 5.6. Üniorm gecikme ve çıkış kavşağı ofsetler dikkate alınır.

Toplam Gecikme (Sn)	Devre süresi (Sn)	Kavşak numarası	Optimum ofsetler (sn)		
			Faz 1	Faz 2	Faz 3
360	106	1	86	86	-
		2	89	86	-
		3	96	89	-
		4	89	89	91
		5	86	89	95
		6	89	96	-

5.2.2. Toplam Gecikme Sonuçları

Giriş ve çıkış kavşaklarındaki ofsetler ve devre süresi Eşitlik (88)'de verildiği gibi toplam gecikmeyi en aza indirecek şekilde optimize edilmiştir. Ağdaki her link için, TD_l , gidiş kavşağı ofseti ve çıkış kavsak ofseti, saat başına akış aracı ve doyumluk derecesi hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.8'da verilmiş ve

5.9'da karşılaştırılmıştır. Doygun altı ve doyum üstü bileşenler, DEA algoritması kullanılarak ofset optimizasyonuna dayalı olarak her bir linki için hesaplanmıştır.

Tablo 5.7'teki sonuçlara göre her bir giriş ve giriş olmayan linklerdeki ortalama geliş oranları (talep) ikinci sütunda olup, analiz süresi bir saattir. Optimize edilmiş devre süresi $C=106$ saniye olarak bulunmuştur.

Önceki bölümde belirtildiği gibi, besleyici bölgesinin ($e^{2\pi i\theta_{\tau(l)}}$) ofseti sıfıra eşit ve daha sonra giriş linkinin başlangıcındaki ofset bir önceki bölümdeki formülasyona göre şekillenmektedir. Her linkte, optimizasyon hesaplandıktan sonra amaç fonksiyonlarının Eşitlik (75) ve Eşitlik (81)'in toplamı, toplam gecikme sonuçları Tablo 5.7'te (taşıt -saat/saat) üçüncü sütunda gösterilmektedir. Her l linkindeki TD_l 'yi analiz etmek için, 21 numaralı linkte TD_{21} 15,08 taşıt-saat/saat'ye eşittir. Bu da 1333 taşıt/saat'lik ve 1,47 doyum akım oranı ile yüksek talep oranına sahiptir. Link 6 için değerler aynı sütunda gösterilir, en düşük toplam gecikme süresi TD_6 2,55 taşıt-saat/saat. Bu değer, 129 taşıt/saat varış debisine ve 0,24 doyum akım oranına karşılık gelir.

Genel olarak, talebin yüksek olması durumunda daha fazla kayıp süresi beklenir. Ancak bu her zaman aynı olamayabilir. Tablo 5.7 geliş orana bağlı olmayan bazı önemli değerleri de vurgulamaktadır. Örneğin, linkler 2 ve 15'te, geliş hacmi, araştırma hipotezine göre sırasıyla 640 taşıt/saat ve 611 taşıt/saat değerini karşılamaktadır. Prensip olarak, sonuçlar, link 2 için elde edilen toplam gecikme TD_2 7,05 taşıt-saat/saat iken, link 15 için TD_{15} 7,57 taşıt-saat /saat olduğu için hipotezle eşleşmez. Bu benzersiz durum bazı nedenlerden dolayı gerçekleşebilir. Bu nedenler, ağ içindeki linki geometrik yönü ve giriş olmayan linki ve giriş gibi linki türüdür. Buna karşılık, hem 2 hem de 15 numaralı linkler için ofsetin sütunlarına yakından bakarsak, büyüklük 2 numaralı link için gidiş kavşağı

sıfır kaymasıdır. Çünkü bu bir giriş linki olup, link 15 gidiş kavşağı ofset değeri 96 saniyedir ve giriş dışıdır. Link ofsetteki bu değişimin TD_{15} değeri üzerinde önemli bir etkisi vardır, Şekil 5.1'e bakarsak, 14 nolu giriş olmayan linkten ve 20 nolu giriş linkinden hacımı alan link 15'in geometrik yönü, bunların karşılığı TD_{14} sırasıyla 8,70 taşıt-saat/saat ve TD_{20} 13,82 taşıt-saat/saat'dir. Bu, link 15'i link 2'dekinden daha güçlü bir şekilde etkileyebilir. Bununla birlikte, link 15'e karşılık gelen geliş hacımı, link 2'ye eşit olan 640'tan (taşıt/saat) 611(taşıt/saat) daha düşüktür.

Son sütundaki doymuş akım oranı, giriş linklerinin (2, 22 ve 20) doymuş üstü olduğunu ve giriş olmayan linklerin (7, 19, 23, 5, 21, 17, 10, 18, 8 ve 9) çalıştığını gösterir. Doymuş üstü durumu altında. 1,96 değeri ve TD_{19} değeri ile link 19'daki en yüksek doymuş akım oranı α 1,47 ile ağdaki en yüksek toplam gecikmeye sahip linki 21 ile karşılaştırıldığında 9,40'tır (taşıt-saat/saat). Bunun nedeni 21 nolu linkteki kapasitenin 19 nolu linkteki kapasiteden daha yüksek olması olabilir. Ancak, her linkteki geliş oranı, her link için doymuş akım oranı değerinin değiştirebilir. α , geliş hacımının bir kez periyodik ve diğer durumda yarı-periyodik olduğu zaman iyi bir gösterge vermesine rağmen, yine de her iki geliş oranı modelini de dikkate alan bir matematiksel model geliştirmeye ihtiyaç vardır.

Sinyalize ulaşım ağındaki TD_L , için, tüm giriş ve giriş olmayan linkler için her linkte matematiksel optimize edilmiştir. Ağdaki TD_L 'yi bulmak için tüm linklerdeki toplam gecikmeleri toplarız. Sonuçlar Tablo 5.8'da gösterilmiştir. Tablo 5.8'de, örnek ağda belirli bir sinyalize kavşağı paylaşan belirli bir linkin en yüksek çıkış kavşağı ofset kaymasını gösterir. Tablo 5.6 Ceylan (2002) ile karşılaştırıldığında, TD_L tam olarak Tablo 5.8'da gösterilen değeri göstermektedir. Ancak, sapmalar tam olarak aynı değildir. Tablo 5.8, ve Tablo 5.9'deki kavşak 2 ve 3, anlamlı sonuçlar gibi görünen yüksek sapmaları göstermektedir. Çalışma sonuçları, kuyruk modelini bir ev sahibi parametresi olarak kullanmadan bu parametreler arasında yeni bir türetilmiş model olarak kullanılabilir geliştirilen gecikme-ofset matematiksel yaklaşımının sağlamlığını göstermektedir. Başka bir deyişle, bu araştırmada gecikme-ofsetinin doğrudan matematiği başarıyla elde edilmiştir.

Tablo 5.7. Ulaşım ağı için önerilen matematiksel yaklaşım ile elde edilen sonuçlar.

Link No.	q (taş/sa)	TD_L Link (taş/sa)	Teta ofset		Devre süresi (sn)	Gidiş ofsetleri (sn)= $\theta_{\tau(l)} * \text{devre}$	Çıkış ofsetleri (sn)= $\theta_{\sigma(l)} * \text{devre}$	(x)
1*	540	0	$\theta_{\tau(l)}$	$\theta_{\sigma(l)}$		0	0	0,95
2	640	7,05	0	0,86		0	92	1,4
22	1250	13,74	0	0,91		0	96	1,22
20	1290	13,82	0	0,907		0	96	1,62
13	480	5,65	0	0,863		0	91	0,77
11	374	4,48	0	0,86		0	92	0,66
12	427	4,97	0	0,854		0	90	0,83
3	540	7,01	0	0,963		0	102	0,59
16	539	6,36	0,333	0,870		35	92	0,65
7	731	8,52	0,866	0,003		91	1	1,43
19	833	9,40	0,909	0,996		96	106	1,96
4	547	6,54	0,333	0,873	106	35	92	0,60
15	611	7,57	0,907	0,995		96	105	0,83
23	1080	12,52	0,909	0,973		96	103	1,19
5	529	6,40	0,907	0,011		96	2	1,03
6	129	2,55	0,907	0,199		96	21	0,24
14	692	8,70	0,866	0,992		91	105	0,76
21	1333	15,08	0,907	0,969		96	103	1,47
17	590	7,03	0,866	0,015		91	2	1,22
10	751	8,24	0,243	0,879		26	93	1,20
18	701	7,60	0,239	0,869		25	92	1,45
8	555	6,70	0,909	0,007		96	1	1,06
9	214	2,67	0,909	0,231		96	25	1,07
$TD_L =$		172,60						

Doygun üstü durumdaki yarı-periyodik geliş modellerini ve periyodik kalkışları varsayarak mevcut çalışmanın hipotezi başarılı bir şekilde uygulanmış ve literatür sonuçlarıyla eşleştirilmiştir. Bununla birlikte, doygun akım oranı, linki koşullarını gösterir, ancak her durumda değil. Bunun nedeni, geliş modelinin artık Poisson dağılımı değil, yarı-periyodik sinüzoidal periyodik fonksiyon olmasıdır.

Tablo 5.8. En yüksek çıkış kavşak ofsetleri

TD_L (taşıt-saat/saat)	Devre süresi (Saniye)	Kavşak no	Optimum Ofsetler (sn)		
			Faz 1	Faz 2	Faz 3
172,60	106	1	92	106	-
		2	105	103	-
		3	96	105	-
		4	92	93	91
		5	25	2	103
		6	92	96	-

Tablo 5.9. Sabit akış kümesi için ağın ofsetleri Ceylan, (2002)

TD_L (Araç-saat/saat)	Devre süresi (Saniye)	Kavşak numarası	Optimum ofsetler (sn)		
			Faz 1	Faz 2	Faz 3
172.8	106	1	55	0	-
		2	37	99	-
		3	95	45	-
		4	83	13	48
		5	53	87	16
		6	22	81	-

Tablo 5.10'da gösterilen sinyalizasyon ağındaki bölgeler başlangıç-varış zonları arasındaki link başına TD_L değerleri hesaplanmıştır. Gecikme davranışını anlamak, B-V bölgeleri arasındaki talebi vurgulayabilir, ayrıca ağ yolunu yola göre analiz etmek gerekir. Örneğin, geniş seçim veya kullanıcının hangi amaçla hangi yolu seçeceğine karar vermesi nedeniyle A zondan D zona gitmek için daha yüksek gecikme süresi harcamak normaldir. G ve A zonu arasındaki TD_L 255,47 taşıt-saat/saat değerine eşit olan daha yüksek gecikme miktarı, iki bölge arasındaki talebin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 5.1'deki sütundaki G zonadaki son varış değeri ve A zonlardaki varış noktası, talep hızı yaklaşık 550 taşıt/saat'dir ve bu değer diğer zonlara kıyasla nispeten yüksektir. Yanı sıra A-D zonlar, G-A zonlarla aynı konsepti paylaşır. Daha yüksek gecikmeye katkıda bulunabilecek başka bir neden, linklerin girişi ve girilmemesidir. Giriş linkleri, giriş olmayan linklerden daha az gecikme süresi harcar çünkü her çıkış kavşak linkinde, ağa girecek trafik miktarını kontrol eden sinyalizasyon bir

trafik kavşağı vardır. Ancak, giriş olmayan linklerin diğer giriş olmayan linklerden ikiden fazla kaynağı olabilir ve bu, diğer linki türlerinde daha yüksek gecikmenin amacı olabilir.

Tablo 5.10. Sabit talep için yol başına ve bölgeler arasındaki toplam gecikme

Başlangım/varış yeri	Rotalar	TD/rota (araç-saat/saat)	Zon arasındaki toplam gecikme (araç-saat/saat)
A – B	3	7,01	7,01
A – D	1, 3, 4, 5	19,95	
	1, 3, 4, 21, 10	36,87	
	2, 7, 8, 10	57,95	
	2, 7, 23, 4, 5	41,03	
	2, 7, 23, 4, 21, 10	57,95	186,31
A – E	1, 3, 4, 6	16,10	
	1, 3, 4, 21, 10	36,87	
	2, 7, 8, 10	30,51	
	2, 7, 23, 4, 6	37,18	
	2, 7, 23, 4, 21, 10	57,95	178,61
A – F	1, 3, 4, 21	28,63	
	2, 7, 9	18,24	
	2, 7, 23, 4, 21	49,71	96,58
C – A	20, 15, 16	27,75	
	20, 21, 18, 19	45,90	73,65
C – B	20, 15	21,39	
	20, 21, 18, 23	49,02	70,41
C – D	20, 5	20,22	
	20, 21, 10	37,14	
	20, 15, 16, 7, 8, 10	51,21	108,57
C – E	20, 6	16,37	
	20, 21, 10	37,14	
	20, 15, 16, 7, 8, 10	51,21	104,72
C – F	20, 21	28,90	
	20, 15, 16, 7, 9	38,94	67,84
D – A	12, 17, 18, 19	29,00	
	11, 14, 15, 16	27,11	
	11, 14, 21, 18, 19	45,26	
	12, 17, 18, 23, 16	38,48	
	11, 14, 21, 18, 23, 16	54,74	194,59
D – B	11, 14, 15	20,75	
	12, 17, 18, 23	32,12	
	11, 14, 21, 18, 23	48,38	101,25
D – E	12	4,97	4,97
D – F	12, 17	12,00	
	11, 14, 21	28,26	
	11, 14, 15, 16, 7, 9	38,30	78,56
E – A	13, 17, 18, 19	29,68	
	13, 14, 15, 16	28,28	
	13, 14, 21, 18, 19	46,43	
	13, 17, 18, 23, 16	39,16	
	13, 14, 21, 18, 23, 16	55,91	199,46
E – B	13, 14, 15	21,92	
	13, 17, 18, 23	32,80	
	13, 14, 21, 18, 23	49,55	104,27

E – D	13	5,65	5,65
E – F	13, 17	12,68	
	13, 14, 21	29,43	
	13, 14, 15, 16, 7, 9	39,47	81,58
G – A	22, 19	23,14	
	22, 23, 16	32,62	
	22, 8, 10, 14, 15, 16	51,31	
	22, 8, 10, 14, 21, 18, 19	69,46	
	22, 8, 10, 14, 21, 18, 23, 16	78,94	255,47
G – B	22, 23	26,26	
	22, 8, 10, 14, 15	44,95	71,21
G – D	22, 8, 10	28,68	
	22, 23, 4, 5	39,20	67,88
G – E	22, 8, 10	28,68	
	22, 23, 4, 6	35,35	
	22, 23, 4, 21, 10	56,12	120,15
G – F	22, 9	16,41	
	22, 23, 4, 21	47,88	64,29

BÖLÜM VI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sinyalize trafik ağı için ofset değişkeni ve gecikme parametresi arasında yeni bir matematiksel yaklaşım geliştirerek, literatürdeki kıyas örnekleri kullanarak doğrulamasını yapılmıştır. DEA matematiksel modelin optimizasyonu için kullanılmıştır. Çalışmada, matematiksel yaklaşım geliştirme iki bölüme ayrılmıştır. Bu temelde, üniform ve doygun üstü gecikme altında kırmızı ve yeşil aralıkların altında oluşan alanlar arasındaki farktır.

Bölüm I, (UD) için koordinasyona bağlı yeni bir matematiksel model oluşturmaktır. Bu kısımda, geliş ve gidiş modelinin sinüzoidal periyodik fonksiyon olduğu varsayılır. Yeni geliştirilen matematiksel modeli karşılaştırmak için Webster'ın ilk terimi ve HCM 2010 (UD) modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar, (UD) değerinde Webster tarafından (6) ve HCM modelinde (7) verilen değerlerin neredeyse 52% ve 50% sırasıyla kadar önemli bir düşüş olduğunu göstermektedir. (70)'de geliştirilen model, üniform gecikmenin ofset bağımlı olduğunu göstermektedir. Bu, büyük ölçekli sinyalize trafik ağlarında koordinasyon sorununu çözebilir. Ayrıca, periyodik geliş varsayımı, ulaşım trafik ağındaki koordinasyon değişkenini (ofset) başarılı bir şekilde bağlamanın yanı sıra üniform gecikmede bir iyileşme sağlamıştır.

Bölüm II, doygun üstü durumunu simüle etmek ve TD 'yi ofsetin bir fonksiyonu olarak bulmak için yeni bir matematiksel yaklaşım geliştirmektir. TD , (75) ve (81)'deki gibi iki bileşenden (UD ve OD) oluşur. Mevcut varsayım, üniform koşulundaki geliş oranının sinüzoidal periyodik fonksiyon olmasıdır. Bununla birlikte, doygun üstü koşulunun, geliş oran modeli için sinüzoidal yarı-periyodik bir fonksiyon olduğu varsayılır. Gidiş oranı, sinyalize kavşak verimi açısından devresel olarak değişmediğinden, her iki koşulda da değişmez ve periyodik olarak sinüzoidal fonksiyon olarak kabul edilir. Sonuçlar, gecikme-dengeleme amaç fonksiyonunun güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ve bu çalışmanın hedeflerinin ele alındığını göstermektedir. Bu çalışmanın hesaplanan toplam gecikmesi, Ceylan (2002) elde ettiği toplam gecikme ile aynıdır; bu, sırasıyla 172.6 taşıt-saat/saat ve 172.8 taşıt-saat/saat olarak hesaplanmıştır. Ancak bu çalışmada oluşturulan modelin çalıştırılması için gereken hesaplama yükü diğer

modellere göre oldukça azdır. Bu, önceki çalışmalar tarafından desteklenen önerilen amaç fonksiyonunun sağlamlığını ve duyarlılığını ortaya koymaktadır.

Kapasite ve doymun akım oranı için geleneksel modeller tatmin edici sonuçlar verir ve her linklerdeki trafik sıkışıklığını gösterir. Ancak, aynı link için daha yüksek geliş hacmi veya daha düşük TD gibi bazı durumlardan dolayı bu bulgular kesin değerleri tahmin etmeyebilir. Kapasite ve doymun akım oranının, yukarıda önerilen varsayımlarla karşılaştırılması gerekebilir ve bu tezin devam çalışması olarak bu konular çalışılabilir.



KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Abdel-Fatah, L., & Sangaiah, A. K. (2018). Metaheuristic algorithms: A comprehensive review. In *Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813314-9.00010-4>
- Akcelik, R. (1981). Traffic signals: capacity and timing analysis. *Australian Road Research Board.ARRB*, 108. <http://worldcat.org/isbn/0869100157>
- Akçelik, R. (1980). *Time-dependent expressions for delay, stop rate and queue length at trafficsignals*. https://www.researchgate.net/profile/Rahmi_Akcelik/publication/265162396_Time_Dependent_Expressions_for_Delay_Stop_Rate_and_Queue_Length_at_Traffic_Signals/links/540114d20cf2bba34c1ae544.pdf?inViewer=true
- Akçelik, R., & Roupail, N. M. (1993). Estimation of delays at traffic signals for variable demand conditions. *Transportation Research Part B*, 27(2), 109–131. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(93\)90003-S](https://doi.org/10.1016/0191-2615(93)90003-S)
- Akcelik, Rahmi. (1988). The highway capacity manual delay formula for signalized intersections. *ITE Journal*, 85(3), 23–27. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.417.5693&rep=rep1&type=pdf>
- Allsop, R. E. (1968). Selection of Offsets to Minimize Delay to Traffic in a Network Controlled by Fixed-Time Signals. *Transportation Science*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.1287/trsc.2.1.1>
- Allsop, R. E. (1971). Delay-minimizing settings for fixed-time traffic signals at a single road junction. *IMA Journal of Applied Mathematics (Institute of Mathematics and Its Applications)*, 8(2), 164–185. <https://doi.org/10.1093/imamat/8.2.164>
- Allsop, R. E. (1972). Estimating the traffic capacity of a signalized road junction. *Transportation Research*, 6(3), 245–255. [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(72\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0041-1647(72)90017-2)
- Almasri, E., & Friedrich, B. (2005). Online offset optimisation in urban networks based on cell transmission model. *Institute of Transport, Road Engineering and Planning University of Hannover, Appelstr. 9A, 30167 Hannover, Germany*. https://www.researchgate.net/profile/Bernhard-Friedrich/publication/228793640_Online_offset_optimisation_in_urban_networks_based_on_cell_transmission_model/links/53d8bb040cf2a19eee836be4/Online-offset-optimisation-in-urban-networks-based-on-cell-transmission-model.pdf
- Amini, Z., Coogan, S., Flores, C., Skabardonis, A., & Varaiya, P. (2018). Optimizing Offsets in Signalized Traffic Networks: A Case Study. *Conference on Control Technology and Applications (CCTA) IEEE*. <https://coogan.ece.gatech.edu/papers/pdf/amini2018offset.pdf>
- Andres, J., Pennequin, D., & Cz, J. A. (2012). Semi-periodic solutions of difference and differential equations. *Boundary Value Problems 2012* 2012:1, 2012(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/1687-2770-2012-141>
- Barnett, A., & Greengard, L. (2010). A new integral representation for quasiperiodic fields and its application to two-dimensional band structure calculations. *Journal of Computational Physics*, 229(19), 6898–6914. <http://www.math.dartmouth.edu/>
- Barnett, A., Greengard, L., Barnett, A., & Greengard, L. (2011). A new integral representation for quasi-periodic scattering problems in two dimensions. *BIT Numer Math*, 51, 67–90. <https://doi.org/10.1007/s10543-010-0297-x>
- Beckmann, M., McGuire, C., & Winsten, C. (1956). *Studies in the Economics of Transportation*. <https://trid.trb.org/view/91120>

- Cakici, Z., & Murat, Y. S. (2019). A Differential Evolution Algorithm-Based Traffic Control Model for Signalized Intersections. *Advances in Civil Engineering*, 16. <https://doi.org/10.1155/2019/7360939>
- CE Wayne. (1990). Periodic and quasi-periodic solutions of nonlinear wave equations via KAM theory. *Communications in Mathematical Physics*, 127, 479–528. <https://projecteuclid.org/journalArticle/Download?urlid=cmp%2F1104180217>
- Ceylan, Halim. (2002). *A genetic algorithm approach to the equilibrium network design problem*. University of Newcastle upon Tyne.
- Ceylan, Halim. (2006). Developing combined genetic algorithm—Hill-climbing optimization method for area traffic control. *Journal of Transportation Engineering*, 132(8), 663–671. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2006\)132:8\(663\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:8(663))
- Ceylan, Halim., & Bell, M. G. H. (2004). Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach, including drivers' routing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(4), 329–342. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00015-8)
- Ceylan, Huseyin. (2013). Optimal Design of Signal Controlled Road Networks Using Differential Evolution Optimization Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 11. <https://doi.org/10.1155/2013/696374>
- Chan, K. W., & Wong, S. C. (2013). Optimisation of Fixed-Time Signal Timings for Area Traffic Control Using Genetic Algorithm. *Transactions HKIE*, 6(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/1023697X.1999.10667785>
- Charlesworth, J. A. (1977). MUTUALLY CONSISTENT TRAFFIC ASSIGNMENT AND SIGNAL TIMINGS FOR A SIGNAL-CONTROLLED ROAD NETWORK. *Publication of: Newcastle-Upon-Tyne University, England*, 24, 41. <http://worldcat.org/issn/03063402>
- Chiou, S. W. (2003). TRANSYT derivatives for area traffic control optimisation with network equilibrium flows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(3), 263–290. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(02\)00013-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(02)00013-9)
- Chiou, S. W. (2005). Joint optimization for area traffic control and network flow. *Computers and Operations Research*, 32(11), 2821–2841. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.04.006>
- Chiou, S. W. (2014). Optimization of robust area traffic control with equilibrium flow under demand uncertainty. *Computers and Operations Research*, 41(1), 399–411. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.06.008>
- Coogan, S., Gomes, G., Kim, E., Arcaç, M., & Varaiya, P. (2015). *Offset optimization for a network of signalized intersections via semidefinite relaxation*. Conference Publication IEEE. <https://doi.org/10.1109/CDC.2015.7402531>
- Coogan, S., Kim, E., Gomes, G., Arcaç, M., & Varaiya, P. (2017). Offset optimization in signalized traffic networks via semidefinite relaxation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 100, 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.01.016>
- Day, C. M., Brennan, T. M., Hainen, A. M., Remias, S. M., Premachandra, H., Sturdevant, J. R., Richards, G., Wasson, J. S., & Bullock, D. M. (2011). Reliability, Flexibility, and Environmental Impact of Alternative Objective Functions for Arterial Offset Optimization. *Transportation Research Record*, 2259(1), 8–22. <https://doi.org/10.3141/2259-02>
- De Leo, R., & Maltsev, A. Y. (2018). Quasiperiodic functions on the plane and electron transport phenomena. *ArXiv Preprint ArXiv:1811.10727*.
- Fawaz, W., & El Khoury, J. (2016). An exact modelling of the uniform control traffic delay in undersaturated signalized intersections. *Journal of Advanced Transportation*, 50(5), 918–932. <https://doi.org/10.1002/atr.1387>

- Fisk, C. S. (1984). Optimal signal controls on congested networks. *Papers Presented during the Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory Held in Delft the Netherlands*, 197–216. <https://trid.trb.org/view/210831>
- Gallivan, S., & Heydecker, B. (1988). Optimising the control performance of traffic signals at a single junction. *Transportation Research Part B: Methodological*, 22(5), 357–370. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(88\)90040-9](https://doi.org/10.1016/0191-2615(88)90040-9)
- Gartner, N. (1972). Letter to the Editor—Constraining Relations Among Offsets in Synchronized Signal Networks. *Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS)*, 6(1), 88–93. <https://doi.org/10.1287/TRSC.6.1.88>
- Gartner, N. H., & Deshpande, R. (2009a). Assessing quality of progression with cyclic coordination functions. *Transportation Research Record*, 2130(2130), 66–74. <https://doi.org/10.3141/2130-09>
- Gartner, N. H., & Deshpande, R. (2009b). Harmonic Analysis and Optimization of Traffic Signal Systems. *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*. Springer, Boston, MA., 345–364. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0820-9_17
- Gartner, N. H., & Deshpande, R. M. (2013). Dynamic programming approach for arterial signal optimization. *Transportation Research Record*, 2356, 84–91. <https://doi.org/10.3141/2356-10>
- Gartner, N. H., Little, J. D. C., & Gabbay, H. (1975). Optimization of Traffic Signal Settings By Mixed-Integer Linear Programming - 2. the Network Synchronization Problem. *Transportation Science*, 9(4), 344–363. <https://doi.org/10.1287/trsc.9.4.344>
- Gartner, N. H., & Wagner, P. (2004). Analysis of Traffic Flow Characteristics on Signalized Arterials. *Transportation Research Record*, 1883(1), 94–100., 1883(1), 94–100. <https://doi.org/10.3141/1883-11>
- Gordon, R. L., Reiss, R. A., Haenel, H., Case, E., French, R. L., Mohaddes, A., & Wolcott, R. (2005). *TRAFFIC CONTROL SYSTEMS HANDBOOK*. Traffic control systems handbook (No. FHWA-SA-95-032). Office of Technology Applications.
- Heydecker, B., & Dudgeon, I. (1987). Calculation of signal settings to minimise delay at a junction. *Transportation and Traffic Theory*.
- Heydecker, B. G. (1992). SEQUENCING OF TRAFFIC SIGNALS. *MATHEMATICS IN TRANSPORT PLANNING AND CONTROL (INSTITUTE OF MATHEMATICS & ITS APPLICATIONS CONFERENCE SERIES 38)*., 231–9. <https://trid.trb.org/view/376204>
- Heydecker, B. G. (1996). A decomposition approach for signal optimisation in road networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 30(2), 99–114. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00025-9](https://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00025-9)
- HIGHWAY CAPACITY MANUAL. (2010). *HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2010* (Issue 193). Transportation Research Board.
- Hillier, J. A. (1962). A review of developments in area traffic control. *Conference. Australian Road Research Board (ARRB)* . <https://trid.trb.org/view/1209117>
- Hillier, J. A. (1966). Appendix to Glasgow's experience in area traffic control. *Traffic Engineering and Control No.7*, 569–571.
- Hu, H., & Liu, H. X. (2013). Arterial offset optimization using archived high-resolution traffic signal data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 37, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.10.001>
- Improta, G., & Sforza, A. (1982). Optimal offsets for traffic signal systems in urban networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 16(2), 143–161. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(82\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0191-2615(82)90032-7)

- Kim, E. S., Wu, C. J., Horowitz, R., & Arcaç, M. (2017). Offset optimization of signalized intersections via the Burer-Monteiro method. *Proceedings of the American Control Conference*, 3554–3559. <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963497>
- Kimber, R., & Hollis, E. (1979). Traffic queues and delays at road junctions. (No. LR909 Monograph). <https://trid.trb.org/view/148210>
- Korkmaz, E., & AP AKGÜNGÖR. (2017). Delay estimation models for signalized intersections using differential evolution algorithm. *Journal of Engineering Research*, 5(3), 16–29. https://scholar.google.com/scholar?q=Delay+estimation+models+for+signalized+intersections+using+differential+evolution+algorithm&hl=en&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- Leal, S. S., De Almeida, P. E. M., & Chung, E. (2017). Active control for traffic lights in regions and corridors: An approach based on evolutionary computation. *Transportation Research Procedia*, 25, 1769–1780. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.140>
- Maeda, I. (1996). Simple Quasi-periodic Functions and an Inverse Power Law. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics)*, 10(1), 21–30.
- Muralidharan, A., Pedarsani, R., & Varaiya, P. (2015). Analysis of fixed-time control. *Transportation Research Part B: Methodological*, 73, 81–90. <https://doi.org/10.1016/J.TRB.2014.12.002>
- Ouyang, Y., Zhang, R. Y., Lavaei, J., & Varaiya, P. (2018). Conic Approximation with Provable Guarantee for Traffic Signal Offset Optimization. *IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, 229–236.
- Ouyang, Y., Zhang, R. Y., Lavaei, J., & Varaiya, P. (2020). Large-Scale Traffic Signal Offset Optimization. *Transactions on Control of Network Systems IEEE*, 7(3), 1176–1187. <https://doi.org/10.1109/TCNS.2020.2966588>
- Pline, J. L. (1999). *Traffic engineering handbook*. Institute of Transportation Engineers.
- Price, K. V, Storn, R. M., & Lampinen, J. A. (2005). *Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization*. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=hakXI-dEhTkC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Differential+Evolution+A+Practical+Approach+to+Global+Optimization&ots=c00DHS95-&sig=5xzkzfy9GcANT20JborMrW9glzA>
- Robertson, D. I., & Gower, P. (1976). USER GUIDE TO TRANSYT VERSION 6. *Transport and Road Research Laboratory (TRRL) (No. Report No. 255)*, 106.
- Robertson D.I. (1979). *Traffic models and optimum strategies Control--A Review*. Paper for the International Symposium on Traffic Control Systems, University of California,Transport and Road Research. <https://scholar.google.com/scholar?q=Robertson%2C D. I.%3A Traffic models and optimum strategies of control%3A a survey. In Proc. of Int. Symp. Traffic Control Systems. University of California%2C %281979%29 262–288>
- Rouphail, N., Tarko, A., & Li, J. (1992). Traffic flow at signalized intersections. In *Revised Monograph on Traffic Flow Theory*. <https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Mourad-Lafifi/post/Relation-between-average-delay-of-vehicles-and-throughput-on-intersection/attachment/59d6457879197b80779a0933/AS%3A453390510628871%401485108129406/download/TRAFFIC+FLOW+AT+SIGNALIZED+INTERSE C>
- Schilder, F., Vogt, W., Schreiber, S., & Osinga, H. M. (2005). Fourier methods for quasi-periodic oscillations. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*,

- 67(5), 629–671.
<http://hdl.handle.net/1983/439><http://www.bristol.ac.uk/red/research-policy/pure/user-guides/ebr-terms/>
- Storn, R., & Price, K. (1995). Differential evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. In *Technical Report* (Issue TR-95-012). https://scholar.google.com/scholar?as_q=Differential+Evolution+simple+and+efficient+adaptive+scheme+for+global+optimization+over+continuous+spaces&as_occt=title&hl=en&as_sdt=0%2C31
- SW Chiou. (2015). A cutting plane projection method for bi-level area traffic control optimization with uncertain travel demand. *Applied Mathematics and Computation, Elsevier*, 266, 390–403.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300315006256>
- Urbanik, T., Tanaka, A., Lozner, B., Lindstrom, E., Lee, K., Quayle, S., Beaird, S., Tsoi, S., Ryus, P., Gettman, D., Sunkari, S., Balke, K., & Bullock, D. (2015). *Signal timing manual*. <https://www.webpages.uidaho.edu/trafficsignalsystems/stm/ch01.pdf>
- Vincent, R. A., Mitchell, A. I., & Robertson, D. I. (1980). USER GUIDE TO TRANSYT VERSION 8. *Transport and Road Research Laboratory (TRRL) (No. LR 888 Monograph)*, 86.
- Webster, F.V. and Cobbe, B. (1962). Possible developments in traffic signal techniques. *Australian Road Research Board (ARRB), Conference, Trid.Trb.Org*.
<https://trid.trb.org/view/1209159>
- Webster, F. V. (1958). Traffic signal settings. *Road Research Technical Paper, No.39, Road Research Laboratory, London*, 44.
- Webster, F. V., & Cobbe, B. M. (1966). Traffic signals. *Road Research Technical Paper No. 56. HMSO, London*, 111.
https://scholar.google.com/scholar?cluster=9652177581162392532&hl=en&as_sdt=2005&sciodt=0,5
- Wong, S. C. (1996). Group-based optimisation of signal timings using the TRANSYT traffic model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 30(3), 217–244.
[https://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00028-3)
- Wong, S. C., Wong, W. T., Xu, J., & Tong, C. O. (2000). A time-dependent TRANSYT traffic model for area traffic control. *Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS*, 578–585. [https://doi.org/10.1061/40503\(277\)90](https://doi.org/10.1061/40503(277)90)
- Xie, R., Xia, Z., & Liu, J. (2019). Space of Quasi-Periodic Limit Functions and Its Applications. *Mathematics 2019, Vol. 7, Page 1132*, 7(11), 1132.
<https://doi.org/10.3390/MATH7111132>