

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNYALİZE KAVŞAKTA ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRELERİNİN
OPTİMİZASYONU

MAGSUD GULİYEV

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

TEMMUZ 2022

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNYALİZE KAVŞAKTA ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRELERİNİN
OPTİMİZASYONU

MAGSUD GULİYEV

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

TEMMUZ 2022

ONAY

Magsud Guliyev tarafından hazırlanan “**SİNYALİZE KAVŞAKTA ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRELERİNİN OPTİMİZASYONU** ” adlı tez çalışması 25/07/2022 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Milani
(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet Tektaş
(Üye)

Dr.Öğr.Üyesi Taymaz Akan
(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç.Dr. Abdullah YEŞİL
Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum "**SİNYALİZE KAVŞAKTA ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRELERİNİN OPTİMİZASYONU**" adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimiz tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 25/07/2022

Magsud GULİYEV

ÖNSÖZ

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ve dünyada nüfusun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte kentlerin değişim ve dönüşüme uğraması kaçınılmaz olmuştur. Yaşanan bu değişim ve dönüşümler ise kentlerde ekonomik, sosyal ve çevresel sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda hızla artan nüfus başta ulaşım sektörü olmak üzere çeşitli alanlarda sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşım sisteminde yaşanan zaman kayıpları, yakıt tüketimi, karbon salınımı, trafik sıkışıklıkları vb. sorunların çözüm noktasında ise akıllı ulaşım sistemleri kullanılmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri gelişen bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla insanların kentsel alanlarda yaşadığı ulaşım sorunlarını minimize etmek ve hatta ileri zamanlarda ulaşımında yaşanacak sorunları önceden tahmin edip önlemler alma noktasında çözümler sunmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri bu sorunlara ilişkin çözümler sunarken elde edilen verilerin çok büyük boyutlarda ve karmaşık yapıya sahip olması ve klasik yöntemlerle çözüm sunulmasının zor olması nedeniyle yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinden faydalanmaktadır. Böylece elde edilen büyük verilerin analiz edilmesi sürecinde hem daha fazla hem de daha doğru çözüm alternatifleri sunmaktadır. Aynı zamanda verilerin işleme süreçleri de kısaltmaktadır.

Bu tez çalışması Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında yapılmıştır. Böyle bir çalışmayı bana öneren, çalışmamla ilgili rehberlik, tavsiye, yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Milani'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen değerli aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNYALİZE KAVŞAKTA ORTALAMA TAŞIT GECİKME SÜRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Magsud GULİYEV

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLÂNİ

Temmuz 2022, 63 sayfa

Kentlerde ve kentler arası yollarda trafik hacminin artması nedeniyle yol ağlarının artmasına sebep olmaktadır. Yol ağlarının artması farklı türlü trafik akımlarının çarpışmasına yol açmaktadır. Bu çarpışmaları önlemek amacıyla eşdüzey ve farklı seviyeli kavşaklar yapılmaktadır. Kavşaklar sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklar olarak düzenlenir. Trafik yoğunluğu fazla olan yollarda sinyalizasyona ihtiyaç olmaktadır. Bir kavşağın genel olarak güvenlikten sonraki en önemli performans kriterlerinden biri ortalama taşıt gecikmeleridir. Kavşağın performansının yükselmesini etkileyen ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılmasıdır.

Bu tez çalışmasında, Azerbaycanın başkenti olan Bakü ilinde bulunan Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı kavşağı incelenmiştir. Bu kavşaktan elde edilen verilerle Webster yöntemi kullanılarak kavşak analizler yapılmış ve analizler sonucunda kavşağın devre süresi mevcut devre süresi olarak belirlenmiştir. Bu devre süresine göre kavşağın performans kriterleri kapasite, yeşil süre, kuyruk uzunluğu ve ortalama taşıt gecikmeleri hesaplanmıştır. Sonra parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılarak ortalama taşıt gecikmeleri ve kapasite değeri tahmin edilmiş ve çözümleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda parçacık

sürü optimizasyonu algoritmasıyla hesaplanan ortalama taşıt gecikmeleri ve kavşak kapasite değerleri Webster yöntemine göre en iyi çözümleri vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinyalize Kavşaklar, Webster (İngiliz) yöntemi, PSO, Kavşak Kapasitesi ve Ortalama Taşıt Gecikmesi



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

OPTIMIZING AVERAGE VEHICLE DELAY TIMES AT SIGNALIZED INTERSECTION

Magsud GULİYEV

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muhammed MİLANİ

July 2022, 63 pages

Due to the increase in traffic volume in cities and on interurban roads, it causes an increase in road networks. The increase in road networks causes different types of traffic flows to collide. In order to prevent these collisions, at-grade and different-level intersections are made. The intersections are organized as signalized and non-signalized intersections. Signaling is needed on roads with high traffic density. After safety in general, one of the most important performance criteria of an intersection is average vehicle delays. It is the reduction of average vehicle delays that affect the performance of the intersection.

In this thesis, the Badamdar-Ismayil Qutqaşanlı junction in Baku, the capital of Azerbaijan, was examined. With the data obtained from this intersection, intersection analyzes were made using the Webster method and as a result of reductions, the circuit time of the intersection was determined as the current circuit time. According to this circuit time, the performance criteria of the intersection, capacity, green time, queue length and average vehicle delays were calculated. Then, the average vehicle delays and capacity values were estimated using the particle swarm optimization algorithm and the analysis results were compared. As a result of this comparison, the average vehicle delays and intersection capacity values calculated

with the particle swarm optimization algorithm gave the best solutions according to the Webster method.

Keywords: Signalized Junctions, Webster (British) method, PSO, Junction Capacity and Average Vehicle Delay.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. TRAFİK SİNYALİZASYONUNDA BAZI TERİMLER	3
2. KAVŞAKLAR VE TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ	5
2.1. KAVŞAK TANIMI	5
2.1.1. Kavşak Geometrisi	6
2.1.2. Kavşakta Çatışmalar	7
2.2. KAVŞAK TÜRLERİ	7
2.2.1. Eşdüzey Kavşaklar	8
2.2.1.1. Eşdüzey Kavşakların Planlamasında Dikkat Edilecek Hususlar	8
2.2.1.2. Eşdüzey Kavşak Türleri ve Sınıflandırılması	9
2.2.1.2.1. Kol Sayısına Göre Eşdüzey Kavşaklar	9
2.2.1.2.1.1. Üç Kollu Kavşaklar	10
2.2.1.2.1.2. Dört Kollu Kavşaklar	10
2.2.1.2.2. Trafik Kontrol Sistemine Göre Eşdüzey Kavşaklar	11
2.2.1.2.2.1. Sinyalize Olmayan Kavşaklar	11
2.2.1.2.2.2. Sinyalize Kavşaklar	12
2.2.1.2.2.3. Dönel Kavşaklar	13
2.2.1.2.3. Kanalize Durumuna Göre Kavşaklar	14
2.2.2. Farklı Seviyeli Kavşaklar	15
2.2.2.1. Üç Kollu Farklı Seviyeli Kavşaklar	16
2.2.2.2. Dört Kollu Farklı Seviyeli Kavşaklar	17
2.3. TRAFİK SİSTEMLERİNİN TARİHİ.....	18
2.4. TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ	19
2.4.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri	20

2.4.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri	20
2.4.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi	20
2.4.1.2.1. Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....	21
2.4.1.2.2. Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi	21
2.4.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi	21
2.4.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi	22
2.2.2. Koordine Sinyalizasyon Sistem	22
2.2.3. Adaptif Trafik Yönetim Sistemi.....	22
3. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA KAPASİTE VE GECİKMENİN HESAPLANMA YÖNTEMİ.....	23
3.1. WEBSTER (İNGİLİZ) YÖNTEMİYLE SİNYALİZASYON HESAPLANMASI.	23
3.1.1. Kapasite ve Doygun Akımın Hesaplanması.....	23
3.1.2. Kayıp Zaman Hesabı.....	27
3.1.3. Devre Süresi	27
3.1.4. Yeşil Süre.....	28
3.1.4. Kuyruk Uzunluğu	29
3.1.5. Gecikme Hesabı	29
4. YAPAY ZEKA VE OPTİMİZASYON METODLARI	31
4.1. YAPAY ZEKA	31
4.1.1. Yapay Zeka Yöntemleri	31
4.2. OPTİMİZASYON.....	32
4.2.1. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü	32
4.2.1.1. Tek Amaçlı Optimizasyon	33
4.2.1.2. Çok Amaçlı Optimizasyon	33
4.3. SEZGİSEL OPTİMİZASYON	34
4.4. SÜRÜ ZEKASI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI	34
4.4.1. Ateş Böceği Sürü Optimizasyon Algoritması.....	35
4.4.2. Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması.....	35
4.4.3. Kurt Koloni Optimizasyon Algoritması	35

4.4.4.	Kullanılan Optimizasyon Algoritması	36
4.4.4.1.	Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	36
4.4.4.1.1.	Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Formülasyonu	38
5.	ARAŞTIRMA BULGULARI	40
5.1.	BAKÜ'DE ULAŞIM	40
5.2.	ÇALIŞMA ALANI.....	40
5.2.1.	Verilerin Toplanması	41
5.3.	WEBSTER YÖNTEİİYLE ANALİZ.....	44
5.3.1.	Doygun Akım Hesabı	44
5.3.2.	Mevcut Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları	45
5.4.	PSO ALGORİTMASINA GÖRE ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI.....	46
6.	SONUÇ	50
6.1.	ÖNERİLER	51
7.	KAYNAKLAR.....	52
8.	EKLER	56
	ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2- 1. 90 Dereceli Dört Kollu Kavşak	6
Şekil 2- 2. 60 Dereceli Dört Kollu Kavşak	7
Şekil 2- 3. Kavşaktaki Çarpışma Noktaları	7
Şekil 2- 4. T Tipli Üç Kollu Kavşak	10
Şekil 2- 5. Üç Kollu Y Tipli Kavşak	10
Şekil 2- 6. Dört Kollu Kavşak.....	11
Şekil 2- 7. Beş Kollu Kavşak Türü	11
Şekil 2- 8. Üç Kollu Yarım Dönel Kavşak	14
Şekil 2- 9. Dört Kollu Modern Dönel Kavşak	14
Şekil 2- 10. Üç Kollu Adalı Kazalize Kavşak	14
Şekil 2- 11. Ayırma Adalı Kavşak	15
Şekil 2- 12. Farklı Seviyeli Kavşak Türleri	16
Şekil 2- 13. Trompet Kavşak	16
Şekil 2- 14. Yarım Yonca Kavşak.....	16
Şekil 2- 15. Tek Döngülü Dört Kollu Kavşak.....	17
Şekil 2- 16. Yonca Kavşak.....	17
Şekil 4 - 1. Parçacık Sürü Optimizasyonunda Sürülerin Dağılımı	37
Şekil 4 - 2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Akış Şeması	39
Şekil 4 - 3. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Sözde Kodu.....	39
Şekil 5 - 1. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağı	41
Şekil 5 - 2. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağının Planı	42
Şekil 5 - 3. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağının Akım Düzeni	43
Şekil 5 - 4. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağının Sinyalizasyon Faz Süreleri.....	43
Şekil 5 - 5. Problem Verileri	47
Şekil 5 - 6. PSO Parametreleri.....	47
Şekil 5 - 7. Devre Süresinin PSO ile Hesaplanması	47
Şekil 5 - 8. PSO Sürecinde gBest Değerleri	48
Şekil 6- 1. Hesaplanan Devre Sürelerine Göre Kavşak Kollarının Ortalama Taşıt Gecikme Değerleri	50
Şekil 6- 2. Hesaplanan Devre Sürelerine Göre Kavşak Kollarının Kapasite Değerleri.....	51

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3- 1. Kavşak Girişlerindeki Şerit Genişliğine Göre Doygun Akım Değerleri	25
Tablo 5 - 1. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağı 1 Saatlik Trafik Hacim Değerleri...	42
Tablo 5 - 2. Badamdar - İsmayıl Qudqaşanlı Kavşağının Doygun Akım Değerleri.....	44
Tablo 5 - 3. Doygun Akım Oranlarının Değerleri	45
Tablo 5 - 4. Kuyruk Uzunluğu Değerleri.....	45
Tablo 5 - 5. Webster Yöntemiyle Çözümleme Sonuçları	46
Tablo 5 - 6. PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümleme Sonuçları.....	48

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Sarı Süre
g	: Etkin Yeşil Süre
$g_{t.e}$	: Toplam Effektiv Yeşil Süre
G	: Gerçek yeşil süre
D	: Kapasite
C	: Devre Süresi
C_o	: Optimum Devre Süresi
C_{min}	: Minimum Devre Süresi
S	: Doygun Akım
w_a	: Kavşak Girişlerindeki Şerit Genişliği
$W_{kayıp}$	: Kayıp Şerit Genişliği
W_{etkin}	: Etkin Şerit Genişliği
r	: Dönüş yarıçapı
L	: Toplam Kayıp Zaman
l	: i Fazındaki Kayıp Zaman
R	: Ortak Kırmızı Süre
n	: Faz Sayısı
K	: Kırmızı Süre
Y	: Maksimum Toplam Akım Oranı
y	: Akım Oranı
q_i	: i Kolundakı Trafik Hacmi
Q	: Kuyruk Uzunluğu
d	: Ortalama Taşıt Gecikmesi
x	: Doygunluk Derecesi
λ	: Etkin Yeşil Oran

Kisaltmalar	Açıklama
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
HCM	: Highway Capacity Manual
FHWA	: ABD Federal Yol Idaresi

STM	: Signal Timing Manual
NS-LS	: Yerel aramaya dayalı çok amaçlı optimizasyon algoritması
SA-LS	: Bulanık mesafe ve yerel aramaya dayalı taşıyıcı destekli optimizasyon algoritması
NSGA-II	: Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması
MOEA/D	: Ayırıştırmaya Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma
SIDRA	: Sinyalize Kavşak Tasarımı ve Yardım Araştırması
TRB	: Ulaştırma Araştırma Kurulu
AASHTO	: Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği
KGM	: Karayolu Tasarım El Kitabı
ITS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
ERGS	: Elektronik Güzergah Kılavuzu
ARCS	: Otomatik Rota Kontrol Sistemi
CACS	: Otomobil Kontrol Sistemi
USDOT	: Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı

1. GİRİŞ

Canlı veya cansız varlıkların bir noktadan diğer noktaya ulaştırılmasına ulaşım denir. Ulaşım ekonomik büyümeye ve insan hayatında iyileştirmelere sebep olduğu için toplum için çok büyük öneme sahiptir. Teknolojinin ilerlemesi ve nüfus artışı ulaşım sektöründe sorunlara yol açmaktadır. Özellikle ulaşım sektörü kentsel alanlarda farklı türde zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklardan ilki trafik tıkanıklığıdır. Araçların yoğun olduğu yerlerde, hava kirliliği, CO₂ emisyonları, yakıt tüketiminde artış ve başka sorunlar ortaya çıktığı için ekonomide keskin olarak düşüş yaşanmaktadır. İkinci zorluk ise trafik kazaları ve ölümlerdir [1]. Bu zorluklar en çok kavşaklarda meydana gelmektedir. Bu sorunların çözüm arayışı nedeniyle trafik mühendisliğinin doğmasına sebep olmuştur. Günümüzde bu sorunlarla hala karşılaşmaktadır. Trafik yoğunluğu nedeniyle seyahat zamanı kavşaklarda trafik sıkışıklığı olmaktadır. Bu sıkışıklık gecikmelere sebep olmuştur. İstatistiklere göre kavşaklarda en çok tıkanıklıklar kentiçi ulaşımında olmakta ve bu gecikmelere sebep duraklamalar neden oluyor [2]. Gecikmelere neden olan bu duraklamalar sonucunda yakıt tüketimi, kirlilik ve işletme maliyetleri artmaktadır. Genel olarak bir çok ülkeler bu problemlerle karşı karşıya gelmektedir. Bu problemleri çözmek için ilk önce kavşak planlaması doğru şekilde olmalıdır. Bu planlamanın başında sürücü davranışları gelmektedir. Davranış sadece bilinçli olarak yapılan hareketler değil, aynı zamanda duygusal, kavrama, düşünme gibi zihinsel etkinliklerdir. İnsanın trafik ortamındaki tüm yönlerini trafik psikolojisi inceler [3].

Trafik mühendislerinin amacı gecikmeleri azaltmak ve optimal bir devre süresi uygulamaktır. Bunun sonucunda kuyruklama azalmakta ve gecikmeler minimize edilmektedir. Bunun için sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Ulaşımında sinyalizasyon önemli bir yere sahiptir. Sinyalizasyon tek düşünülmemeli ve genel bir sistemin parçası olarak görülmelidir. Bunları göz önüne alınarak her faz için ışık süreleri optimize edilmelidir. Sinyalizasyonun bu parametrelerini hesaplama bilmemiz için kavşağın trafik hacmi, doymuş akım, faz sayısı ve minimum süreler gibi parametreler belirlenmelidir. Bunlar saha çalışmaları yapıldığından doğrudan mülkiyetlidir, bu yüzden bunları analitik yollarla belirlemek daha uygun olmaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanları Webster, HCM ve Akçelik yöntemleridir. Bu çalışmalarla ilgili farklı yöntemlerle araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan literatürde genel olarak bahsedilmiştir. Kavşaklarda yapılan çalışmaların bazıları kısaca aşağıdakiler gibi özetlenebilir:

Kavşaklarda trafik sinyalizasyonunu iyileştirmek amacıyla NS-LS, SA-LS, NSGA-II ve MOEA/D algoritmalarını kullanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda NSGA-II ve MOEA/D algoritmalar geliştirilmiş etkinlikleri gösterilmiştir [1].

İstanbulda bulunan kavşağın gecikme değerini hesaplamak için farklı gecikme yöntemleri kullanılmış ve bu gecikme değerlerini karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda gecikme değerlerini en aza indirenin Akçelik yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır [51].

Denizlide bazı kavşakların gecikmelerini ve kuyruk uzunluklarını incelenmiş ve yeni bir devre süresi önerilmiştir [52]. Kapasite ile davranış parametreleri arasında ilişki olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır [52]. Sinyalize kavşakta oluşan gecikmeler kuyruk teorisi ile incelenmiştir [54]. Ankara ilinde Adnan Kahveci Kavşağını incelemiş ve kameralar ile trafik gözlemleri yapılmıştır. Kavşağın kapasitesi ve gecikmelerini belirlemek için Webster, HCM, Avustralya yöntemleri ve “Sidra intersection 3.2” programıyla yapılmış ve çözümleme sonuçları gözlemlere yakın olduğunu belirlenmiştir [55]. Makurdi kasabesindeki Webster modelini kullanan 4 kollu trafik sinyalizasyonlu kavşakları incelenmiştir [27]. Davranışların psikolojik olarak trafiğe etkisinin olduğunu incelenmiştir [3]. Sinyalizasyon sistemlerinin hiç uygulanmadığı kavşaklarda oluşan olumsuz durumlar yapılmıştır [22]. Sinyalizasyonlu kavşaklarda taşıtların ortalama gecikmelerini yapılmıştır [26]. Doygun akım, kayıp zaman, etkin yeşil faz ile ilgili çalışmalar yapılmıştır [56]. Sinyalizasyon sistemleri izole ve koordine olarak iki grupta incelenerek, bu sistemlerin özellikleri ve olumlu-olumsuz yönlerini belirtilmiştir [57].

Sürücü ve trafik davranışları çoğunlukla sinyalize kavşaklarda sinyal fazlarının geçişlerinde, yani sarı veya yeşil ışıkların başlangıcında olmaktadır. Sinyalize kavşaklarda güvenlik ve verimlilik sorunları bir sinyal döngüsündeki süreçlere odaklanılmıştır [40]. Çalışma kapsamında incelenen literatür araştırmaları neticesinde kavşaklarda yaşanan gecikme süreleri ve kavşağın kapasitesini iyileştirmek amacıyla sorunların optimize edilmesi ve hatta tamamen çözülmesi noktasında farklı model ve çözüm yöntemleri önerildiği görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, Azerbaycan Cumhuriyetinin Bakü ilinde olan Badamdar-İsmayıl Qutqaşnılı ışıklı kavşağı incelenmiştir. Kavşağın performansını iyileştirmek amacıyla kavşak kolunun kapasitesi ve gecikme çözümlemeleri yapılmıştır. Çözümlemeler ilk önce uygulanan kavşakta mevcut devre süresine göre yapılmıştır. Çözümlemeler öncelikle kapasite çözümleme yöntemi olan Webster yöntemiyle hesaplanmıştır. Daha sonra Matlab R2022a programında PSO algoritmasını kullanarak gecikme değerleri hesaplanmıştır. Ve çözümleme sonucu olarak en iyi ortalama taşıt gecikme değerini ve en iyi kavşak kapasitesini bulmak için Webster yöntemiyle ve PSO algoritmasıyla hesaplanan gecikme değerleri ve kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının kapsamında, 2. bölümde kavşak özellikleri ve sinyalizasyon sistemleri, 3. bölümde sinyalizasyon kavşaklarda kapasitesi ve gecikme hesaplamalarından Webster yöntemi açıklanmıştır. 4. bölümde optimizasyon ve yapay zeka, 5. bölümde araştırma bulguları, 6. bölümde sonuçlar ve öneriler yapılmıştır.

1.1. TRAFİK SİNYALİZASYONUNDA BAZI TERİMLER

Bu tez çalışmasında kullanılan bazı terimler aşağıda gösterilmiştir:

- **Kavşak-** İki ve ya daha fazla yolun kesiştiğinde oluşan alandır.
- **Anahtar kavşak-** En az iki kavşaktaki bütün ışıkları kontrol eden kavşaktır.
- **Sinyalizasyon-** Kavşaktaki trafik ışıklı işaretleri kontrol etmek için kullanılan cihazların düzenlenmesidir.
- **Trafik hacmi-** Kavşakta her bir koldan geçen araçların sayısıdır.
- **Gecikme-** Kavşaktan geçen her bir taşıtın kontrol sistemleri nedeniyle kaybettiği zamandır.
- **Kapasite-** Kavşağın her bir kolundan geçebilecek maksimum taşıt sayısıdır.
- **Devre süresi-** Kavşağa gelen tüm yaklaşım kollarının geçiş hakkı aldıkları faz sürelerinin toplamıdır.
- **Kayıp zaman-** Bir devre süresi boyunca trafik ışıklarının hiç birinde yeşil ışık yanmadığı sürelerin toplamıdır.
- **Doygun akım-** Kavşakta yeşil ışık boyunca geçebileceği maksimum araç sayısıdır.
- **Yeşil süre-** Taşıtların sinyalizasyon kavşağından harekete geçtikleri süredir.
- **Sarı süre-** Taşıtların sinyalizasyon kavşağında harekete geçmek için beklenen süredir.
- **Kırmızı süre-** Taşıtların sinyalizasyon kavşağında durduğu süredir.
- **Ortak kırmızı süre-** Işıklı kavşaklarda birbiri ile kesişen bütün taşıt veya yayaların aynı anda kırmızı ışığın yandığı süredir.
- **Faz süresi-** Kavşaktaki yaklaşım kollarındaki trafik akımlarından en az bir tanesinin geçiş aldığı süredir.
- **İzole sistem-** Tek başına çalışan sinyalizasyon sistemidir.
- **Koordine sistem-** Aynı yolda bir çok kavşağın birbirine bağlı olarak çalışmasını sağlayan sistemdir.

- **Senkronize sistem-** Koodine sistemle çalışan kavşakların hepsinde aynı anda aynı ışıkları veren sistemdir.
- **Alternatif sistem-** Bitişik kavşaklarda sırayla zıt ışık sinyalleri veren sistemdir.
- **Sabit zamanlı sinyal düzeni-** Farklı yönden yaklaşan taşıtların ve yayaların önceden hazırlanmış programlarıyla geçiş hakkı vermektedir.
- **Trafik uyarmalı sinyal düzeni-** Devre süresi ile yeşil ve kırmızı süreleri kavşağa giren taşıtların trafik yoğunluklarına göre ayarlanan sistemdir.
- **Yarı-trafik uyarmalı sinyal düzeni-** Sadece araç geldiğinde geçiş hakkı verilmekte ve trafiğin minimum gecikme ile yapılan sistemidir.
- **Tam-trafik uyarmalı sinyal düzeni-** Trafik yoğunluklarının gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladıkları ve gecikmeleri minimuma indiren sistemdir.
- **Yaya uyarmalı sinyal düzeni-** Sinyalize edilmiş kavşaktaki ışıktaki sinyallerin yayaların GEÇ butonuna basarak uyarısına göre ayarlanan sistemdir.
- **El ile kumandalı sinyal düzeni-** Her hangi bir kavşaktaki ışıkların bir kumandaya bağlanarak ışıklı sistemleri dışarıdan yönetilmesidir [4].

2. KAVŞAKLAR VE TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Şehiriçi trafiğinde hızlıca artan araç sayısı nedeniyle kavşaklarda büyük ölçüde tıkanıklıklara yol açmaktadır. Bunu çözmek için trafik sayımı iyice incelenerek doğru şekilde kavşaklar ve kavşaklar için trafik sinyalizasyon sistemleri tasarlanmalıdır. Çalışmanın bu bölümünde, öncelikle kavşaklar ve kavşak özelliklerinden, sonra ise trafik sinyalizasyon sistemlerinden bahsedilmiştir.

2.1. KAVŞAK TANIMI

İki ve daha fazla karayollarının birleşmesinden, kesişmesinden ve ayrılmasından oluşan ortak alana kavşak denir. Bu alan araçların farklı noktalara ve farklı yönlere dönmelerini sağlamaktadır. Kavşağın asıl amacı taşıtları kendi yönlerine yönlendirmektir. Özellikle taşıtların ve yayaların ulaştırılmasında kavşaklar çok büyük öneme sahiptir. Ayrıca yayalar da bu alanı kullanmaktadır. Sürücüler bir kavşakta rotasını, kavşak geometresini, diğer araçların hızını ve rotasını dikkate alarak anlık karar vermek zorundadırlar. Kavşakta ciddi bir hata kaza yapılmasına yol açmaktadır. Genellikle kavşaklar üç veya dört kollu tasarlanmaktadır, fazla kolun olması arzu edilmezdir [5].

Kavşaklarda oluşan bazı kesintiler sebebiyle trafik akımında gecikmeler yaşanmaktadır. Bu gecikmeleri azaltmanın bir çok yolları vardır. Gecikmeleri azaltmak için öncelikle kavşağı iyi analiz etmek ve taşıt ve yayaların akımlarını doğru tespit ettikten sonra düzenlemeler yapılmaktadır. Günümüzde ışıklı kavşaklar sıkça kullanılır. Işıklı kavşaklar doğru kullanılmazsa iyi bir sonuç veremez. Bu nedenle kavşağa giren taşıtlar iyi belirlenmeli, kavşağın kapasitesi hesaplanmalı ve doğru faz planı yapılmalıdır. Kavşak düzenlemesi yapılırken aşağıdakılar göz önüne alınmalıdır [6].

- Çarpışmaları önlemek,
- Yakıt ve zaman kaybının toplamını en aza indirmek,
- Farklı yönlerden gelen araçlara güvenlik ve yeterli süre sağlamak.

Kavşak tasarımında dikkate alınması gereken üç unsur vardır:

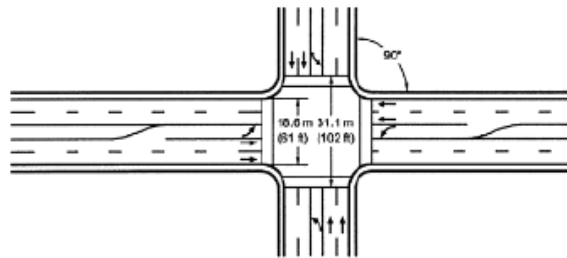
- Algı-tepki mesafesi
- Manevre mesafesi
- Kuyruk depolama mesafesi

Algı-tepki mesafesi araç hızına, sürücünün psikolojisine ve sürücünün konumu belirlemesine göre değişir. Aracın manevre mesafesine sola dönüş şeritlerinde fren yapmasına ve şerit değiştirmesine göre yapılan mesafe olarak belirlenir. Bu mesafe sürücünün fren yapması içindir. Kuyruk depolama mesafesi en uzun kuyruğu barındırmak için yeterli olan mesafedir. Kavşak tasarımında sağa dönüş şeritleri önem arz etmektedir. Sağa dönüşlerin düzgün çalışması için sağa dönüş yapan trafiğin güvenli bir şekilde akıma karışması ve erişim noktalarında belli bir hızlanma mesafesine sahip olmalıdır [7]. Tasarım açısından kavşaklar kontrolsüz, alan paylaşımı (yuvarlak), öncelikli (yol ver), trafik sinyal kontrollü olmalarına göre ayrılabilir [8].

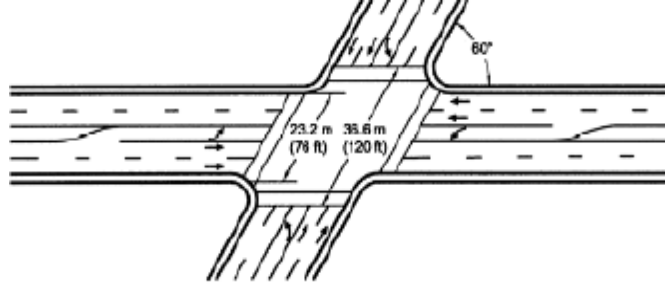
- **Kontrolsüz eşdüzey kavşak:** Daha düşük trafik hacmine sahip ve hiçbir yolun diğerine üstünlüğü yoktur.
- **Seviye ayrılmış kavşak:** Bu türde olan kavşaklarda araçlar ve yayalar için farklı seviyeli geçitler inşaa etmişler. Bunlara üst geçitli ve alt geçitli kavşakları örnek gösterebiliriz.
- **Sinyalize kavşaklar:** Bu kavşaklar trafik işaretleriyle görülen kavşaklardır.
- **Öncelikli kavşaklar:** “Yol Ver” ve “Dur” işaretleriyle kontrol edilen kavşaklardır.

2.1.1. Kavşak Geometrisi

Kavşak güvenliği kavşağın geometrisine bağlıdır. Yayalar karşıdan karşıya geçerken genellikle kavşaklardaki araç trafiği için sağlanan seyahet şeritleri kullanılmaktadır. Bir kavşağın şerit sayısının çok olması kapasiteye etki göstermektedir. Yani iki şeritli yaklaşım kolu tek şeritli yaklaşım kolundan daha fazla kapasiteye sahiptir. Bir yaklaşım kolunda şerit sayısı arttıkça zaman yayaların geçmesi için gereken süre artacaktır ve böylece trafiğin büyümesiyle kapasitenin bir kısmı dengelenecektir. Bu sebeple kavşağın kolunun açısı azaldığında, yani şekil 2-1’de ve şekil 2-2’de gösterildiği gibi 90 dereceden 60 dereceye düşürüldüğünde yaya geçidinin uzunluğu yaklaşık olarak 3.5 metre kadar artarak yayaların geçmesi için olan süre artacaktır [4].



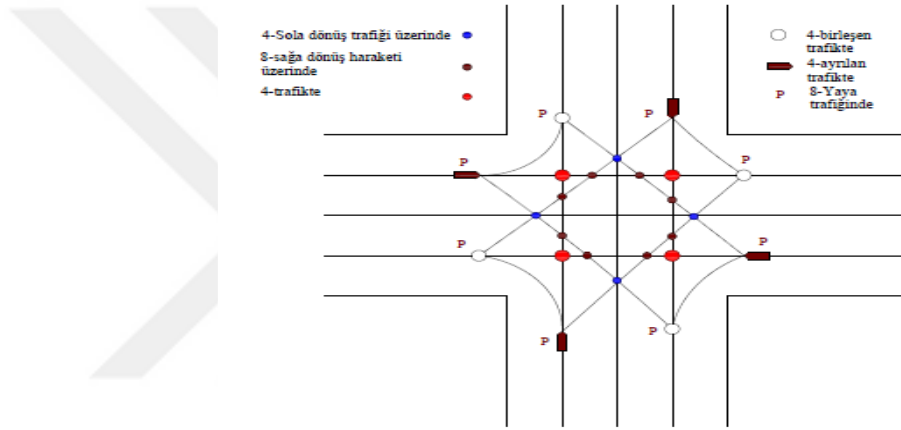
Şekil 2- 1. 90 Dereceli Dört Kollu Kavşak [4]



Şekil 2- 2. 60 Dereceli Dört Kollu Kavşak [4]

2.1.2. Kavşakta Çatışmalar

Bir kavşakta çatışmalar her bir kavşak türleri için aynı değildir. Örneğin dört kollu kavşaklarda oluşan çatışmalar şekil 2-3’de gösterildiği gibidir [5].



Şekil 2- 3. Kavşaktaki Çarpışma Noktaları [5]

Şekil 2-3’den görüldüğü gibi hareket üzerinde 4 çatışma noktası, sağa dönüş ve hareketleri üzerinde 8, sağa dönüş trafikleri arasında 4, sola dönüş ile trafik birlikte çatışma sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dört kollu kavşak olduğundan 32 çatışma noktası vardır. Çatışma noktasına bazen konflikt nokta da denilir [5]. Genellikle trafik kazaları daha çok kavşaklarda olmaktadır. Bu noktalar kavşaklarda kazaların en çok olduğu yerleri gösteriyor. Taşıt sayısı, trafik sinyalizasyonu ve kavşağa yaklaşan kol sayısı trafik kazalarına büyük ölçüde etkilemektedir.

2.2. KAVŞAK TÜRLERİ

Kavşaklarda genel olarak trafik yoğunluğu az olan yollarda eşdüzey kavşaklar, trafik yoğunluğu fazla olan yollarda ise farklı seviyeli kavşaklar düzenlenir. Kavşakların eşdüzey veya farklı seviye olarak tasarlanmasına trafik yoğunlukları nedeniyle trafik mühendisleri karar

vermektedir. Trafik mühendisleri kavşak tasarlarken genel olarak gelecek 20 yıldaki trafik hacmine göre tasarlanmaktadır ve buna tasarım yılı denilmektedir.

Kavşaktaki trafik sorununu çözmek ve kavşağın verimli şekilde düzenlenmesi için kavşak özellikleri iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Tasarım açısından kavşaklar kontrolsüz, alan paylaşımı (yuvarlak), öncelikli (yol ver), trafik sinyal kontrollü olmalarına göre bölünebilir. Aşağıdaki bölümde eşdüzey kavşaklardan bahs edilmiştir.

2.2.1. Eşdüzey Kavşaklar

Farklı yönlerden gelen trafik akımlarının kullandıkları ortak alana eşdüzey kavşak denir [2]. Kavşak tasarımında öncelik kavşağa giren ve çıkan kollardaki trafik hacmi, yaya, arazi şartları ve güvenlidir. Trafik mühendisliği açısından eşdüzey kavşaklar kapasite ve güvenlik unsuru konusunda sorun teşkil etmektedir. Kavşakta kapasitenin azalması durumunda gecikmeler ve tıkanmalar ortaya çıkmaktadır. Şehir içi kavşaklarda trafik tıkanıklığı ve gecikmeler çoğu zaman eşdüzey kavşaklarda oluyor. Kavşaklarda trafik yoğunluğu, güvenlik, gecikme gibi kriterleri çözmemek taktirinde trafik kazaları ve ölümler daha çok gözlenilecektir [5]. Farklı düzeyli kavşakların tasarlanması yatırım açısından bütçesi fazla olan ülkelerde bile ekonomik olarak zordur. Çünkü farklı seviyeli kavşaklar daha geniş alanı kapsamakta ve daha fazla inşaat maliyeti gerekmektedir. Bu yüzden trafik ve ulaştırma mühendisleri zorunlu olmadıkça farklı seviyeli kavşakları tasarlamaktan kaçınmaktadırlar. Bundan dolayı şehir içi kavşakları eşdüzey olarak tasarlanmaktadır.

2.2.1.1. Eşdüzey Kavşakların Planlamasında Dikkat Edilecek Hususlar

Eşdüzey kavşakları planlarken aşağıda gösterilmiş hususlara dikkat edilmelidir:

- Kavşak planlamasında sürücüleri şaşırtacak karmaşık düzenlemelerden kaçınılmalıdır. Sürücü, diğer yönden gelen taşıtların hangi yöne gittiklerini görmeleri için açık mesafede anlayabilmelidirler.
- Trafiğin hareketi zamanı trafik akımlarını kavşak içinde hareketlerini kesin bir şekilde sınırlandırmalı, birleşme, kesişme ve ayrılımlarını güvenli ve kapasiteyi artıracak şekilde düzenlenmelidir.

- Eşdüzey kavşaklarda taşıtların hareketleri zamanı kolayca dönmeleri için köşe yarı çapları yeterli düzeyde olmalıdır. Kavşaklarda yarı çapları ağır taşıtlar için 10 m, otomobiller için ise 5 m yeterlidir.
- Eşdüzey kavşaklarda kapasite ve güvenlik açısından trafik işaretleri ve aydınlatmalar önem arz etmektedir.

2.2.1.2. Eşdüzey Kavşak Türleri ve Sınıflandırılması

Eşdüzey kavşaklar geometrik durumuna göre, trafik kontrol sistemine göre ve kanalize durumuna göre kavşaklar üç tipte gruplandırılır. Bunlar kendileri de farklı durumlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bunlar aşağıda gösterilmiştir:

Geometrik durumuna (Kol sayısına) göre kavşaklar:

- Üç kollu eşdüzey kavşaklar bunlara örnek olarak T şekilli veya Y şekilli kavşaklar
- Dört kollu eşdüzey kavşaklar
- Çok kollu eşdüzey kavşaklar

Trafik kontrol sistemine göre kavşaklar:

- Sinyalize (Denetimli) kavşaklar
- Sinyalize olmayan (Denetimsiz) kavşaklar
- Dönel kavşaklar

Kapasiteni artırmak için ve araçları adalar ile yönlendirmeye göre:

- Kanalize edilmiş kavşaklar
- Kanalize edilmemiş kavşaklar

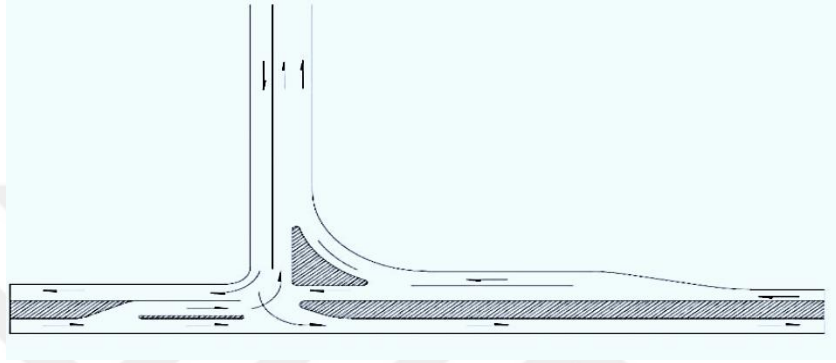
olarak sınıflandırılır [5].

2.2.1.2.1. Kol Sayısına Göre Eşdüzey Kavşaklar

Kol sayısına göre eşdüzey kavşaklar üç kollu, dört kollu ve çok kollu kavşaklara ayrılır ve bu kavşakların tipleri ve özellikleri aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmıştır.

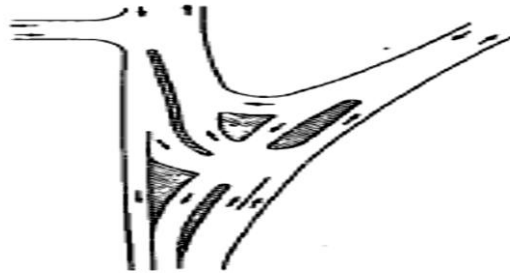
2.2.1.2.1.1. Üç Kollu Kavşaklar

T tipli kavşaklar: Kavşak türleri öncelikle kavşak kollarının sayısına göre belirlenir. En yaygın olan kavşak türlerinden T kavşaklarıdır. T türlü kavşaklarda yönlendirme yapılmadan önce trafik hacminin az olduğu 2x1 şehir dışı yollarında olduğu gibi 2x2 şehir içi yollarda da kullanılmaktadır. Bu türlü kavşaklar şehir içi çok şeritli kavşaklar için tatmin edici olabilir. T tipli kavşak şekil 2-4’de gösterilmiştir.



Şekil 2- 4. T Tipli Üç Kollu Kavşak [7]

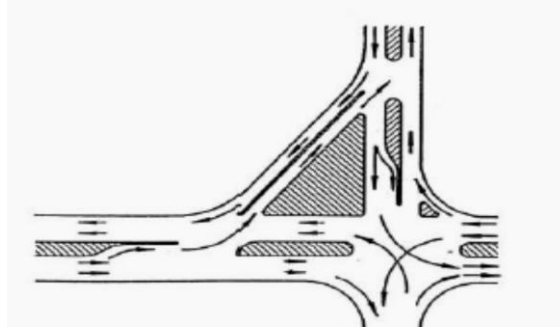
Y tipli kavşaklar: Ana yol ve yan yol çakışmalarında dar açılı yol ile birleştiği, yan yol dike yakın düzenlenmesinin kamulaştırma nedeniyle yapılamadığı durumlarda tasarlanan yol olarak tanınmaktadır ve aşağıdaki şekil 2-5’de gösterilmiştir.



Şekil 2- 5. Üç Kollu Y Tipli Kavşak [7]

2.2.1.2.1.2. Dört Kollu Kavşaklar

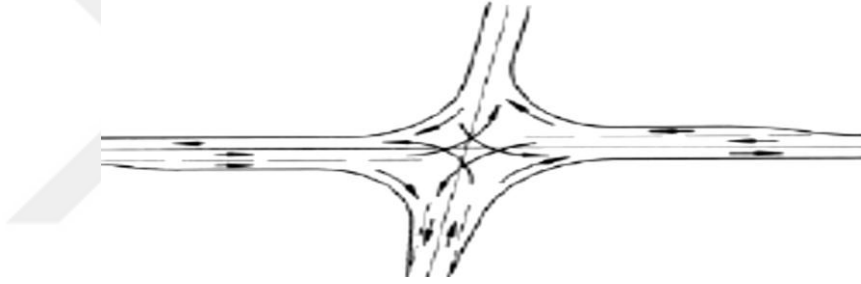
Üç kollu kavşaklarda olduğu gibi ana yol ve yan yol kesişmesinden oluşan açı 60 ile 120 derece arasında olmalıdır. Kavşaklarda anayoldan geçen taşıtların kesintisiz trafik akımını sağlamak amacıyla hız değiştirme şeritleri tasarlanmaktadır. Hızlanma şeritleri anayoldan ayrılmalarda en az 45 metre, ana yola birleşmelerde ise en az 60 metre uygulanmalıdır. Şekil 2-6’da dört kollu kavşakğın görseli gösterilmiştir.



Şekil 2- 6. Dört Kollu Kavşak [5]

2.2.1.2.1.3. Çok Kollu Kavşaklar

Çok kollu kavşaklardan mümkün olan her yerde kaçınmak gerekiyor. Tüm kavşak kollarındaki trafik hacminin az olduğu ortak alanda çok kollu kavşaklar teşkil edilir ve şekil 2-7’de gösterilmiştir.



Şekil 2- 7. Beş Kollu Kavşak Türü [5]

2.2.1.2.2. Trafik Kontrol Sistemine Göre Eşdüzey Kavşaklar

Trafik kontrol sistemlerine göre eşdüzey kavşaklar sinyalizasyonlu ve sinyalizasyon olmayan kavşaklara ayrılır. Bu türlü kavşaklara birde dönel kavşakları ilave edebiliriz. Bu türlü kavşaklar alt bölümde iyice anlatılmıştır.

2.2.1.2.2.1. Sinyalize Olmayan Kavşaklar

Polis veya ışıklı trafik işaret cihazlarıyla kontrol olunmayan kavşaklara sinyalizasyon olmayan kavşaklar denir. Sinyalizasyon olmayan kavşakların kapasitesi sinyalizasyon kavşaklara göre oldukça düşüktür. Sinyalizasyon olmayan kavşakları belirlemek için farklı hesaplama yöntemleri kullanılarak devre süresi 30 sn’den azdır. Bu nedenle bu kavşaklarda sinyalizasyona gerek duyulmamaktadır. Sinyalizasyon olmayan kavşaklarda trafik hacimlerine ve kavşak geometrisine göre ana yol ve yan

yol belirlendikten sonra trafik işaretleriyle düzenlemeler yapılır. Herhangi bir trafik işaretlerinin bulunmadığı yollarda kavşağa girerken “Dur” ve “Yol Ver” işaretleri güvenlik açısından olmak zorundadır. Araçlar hareketlerini sürdürme bilmeleri için muhakkak bu işaret levhalarına uymalıdır. Sinyalize olmayan kavşaklarda düzenleme yapılırken amaçlanan en önemli kriterler güvenlik, kapasiteyi artırmak ve çevreye uyum sağlamaktır [9].

2.2.1.2.2.2. Sinyalize Kavşaklar

İsminden de anlaşılacağı üzere polis veya trafik sinyalizasyon sistemleriyle kullanılmakta olan kavşaklardır. Bu türlü kavşaklar genellikle şehir içi yollarda ve araç yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde kullanılır [10]. Trafik sinyalizasyon sistemleriyle kullanılan kavşaklar yaya ve taşıt güvenliğini sağlamak ve kavşak kapasitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu tür işaretler güvenliğini sağlamak, kapasiteyi artırmak, gecikmeleri azaltmak ve başka kriterlere göre sürücülere ve yayalara anlaşılır ve basit şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle taşıt ve yayaların kavşağı geçebilmeleri için yeterli yeşil süre yapılmalıdır. [11]. Genel olarak ışıklı kavşaklar kırmızı, yeşil ve sarı şeklindedir. Bu ışıkların görevi, taşıtların ve yayaların kırmızı ışıkta durmasını, yeşil ışıkta harekete geçmesini ve sarı ışıkta harekete hazır olmasını ifade eder. Işıklı kavşakların faydaları olduğu gibi dezavantajları da olabilmektedir. Arkadan çarpma gibi dezavantajları örnek göstermek olur [12]. Sinyalize kavşaklarda uygulanmış devre süresi ve yeşil süre kavşağı uygun değilse burada gecikmeler olabilir. Bunun için sinyalizasyon sistemi uygulanmadan önce kavşağın iyi analiz edilmesi ve doğru hesaplamalar yapılması gerekir. Gözlemler ve hesaplamalar sonucunda uygulanması gerektiğine karar verilir. Eşdüzey sinyalize kavşaklar üç şekilde yapılmaktadır. Bunlar aşağıda gösterilmiştir.

- **El ile kumandalı eşdüzey kavşaklar:** Yetkili bir görevli tarafından kullanılan denetim türüdür [13].
- **Otomatik ışıklı kumanda:** Kavşağın yaklaşım yönünden belli bir uzaklıkta kurulan bir sinyalize kumanda türüdür. Kavşağı geçmesine kadar taşıtın hızına göre o yöndeki yeşil süreyi açık tutar. Bundan dolayı diğer yönlerdeki taşıtların gerektiğinden fazla beklememeleri için yeşil süre sınırlıdır [13].
- **Zamana bağlı ışıklı kumanda:** Sinyalize kavşaklarda sıklıkla kullanılmakta olan bu denetim şekli yeşil, kırmızı ve sarı süreler taşıt hacmi değerine bağlı olarak ayarlanır [13].

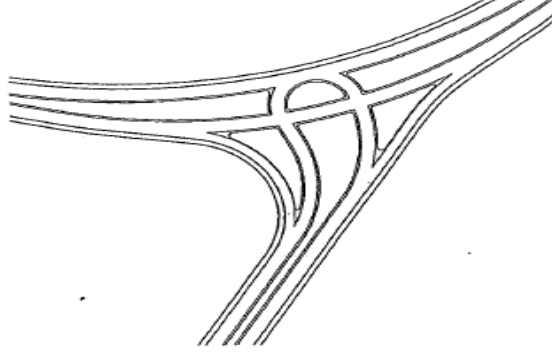
2.2.1.2.2.3. Dönel Kavşaklar

Araçların yönlerini değiştirirken dönüşlerini kolaylaştıran ada tipli kavşaklara dönel kavşaklar denir [14]. Dönel kavşaklara göbekli kavşaklarda denilmektedir. Dönel kavşak uygulamasını ilk defa Amerika Birleşik Devletleri 1904 yılında New York City'deki Columbus Circle'da yapmıştır. 1950 yılına kadar bu çemberler kullanıldı ve sonra Amerika Birleşik Devletlerinde bu çemberler zamanla gözden düştü. 20. yüzyılın ilk yarısında inşa edilen çemberleri ve dönel kavşaklarla ilgili deneyimleri nedeniyle, yurt dışına göre az kullanılmıştır [7]. Sonra Avrupa ve Avustralya'daki birçok ülkelerde kullanılan modern dönel kavşaklar Amerika Birleşik Devletlerinin bazı bölgelerinde bu modern dönel kavşaklara ilgi ortaya çıkmıştır. Dünyada dönel kavşaklarla ilgili gelişim sürecinde Fransa 15.000 modern dönel kavşaklarla liderdir. Fransa yılda 1.000 oranında modern dönel kavşak inşa ediyor. Amerika Birleşik Devletleri ne kadar modern dönel kavşaklar inşa etsede Fransaya ve birçok ülkelere nazaran küçük kalıyor.

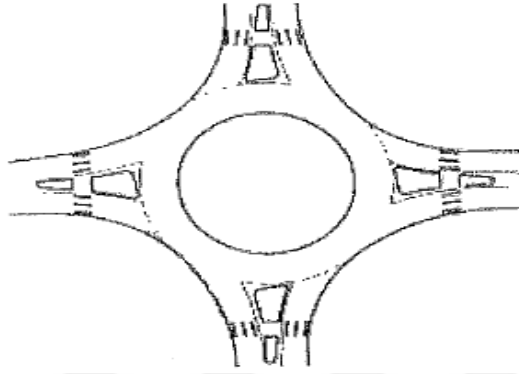
Dönel kavşaklarda tipik olarak her yönden gelen kollar kavşağa bağlanır [15]. Dönel kavşaklar genel olarak sinyalizasyonla edilmiş otoyollarda kullanılmaz ancak daha düşük standartlı yollarda kullanılır. Modern dönel kavşak uygulamasında kollardan gelen araçlar hızlarını düşürerek sırasıyla dönel kavşağa girmektedirler. Burada üstünlük dönel kavşaktaki araçlardadır. Modern döner kavşak uygulamasının çok fazla faydalarının olmasını uzmanlar tarafından belirtilmiştir [16]. Modern dönel kavşakların yakıt tüketimi, gecikme, kapasite, trafik kazalarının azalması, emisyonun azalması ve başka faydaları bulunmaktadır. Farklı tasarımlı dönel kavşaklar 3 ayrı gruba ayrılır. Bunlar aşağıda gösterilmiştir [5].

- Modern dönel kavşaklar (üç ve fazla kola sahip kavşaklar),
- Mini dönel kavşaklar (Üç ve daha fazla kola sahip kavşaklar),
- Yarım dönel kavşaklar (Üç kollu kavşaklar)

Modern ve mini dönel kavşaklar için genellikle dört koldan fazla tasarlanmasına gerek duyulmaz. Mini dönel kavşaklarda ada yarıçapının ölçüsü en az 8 metre, modern dönel kavşaklarda ise en az 20-25 metre olarak tasarlanmalıdır. Dört koldan fazla kola sahip olan modern dönel kavşakların yarı çapı 60 metreye kadar tasarlanabilir. Üç kollu yarım orta adalı dönel kavşaklar sola dönüşü uygundur ama U dönüşü yapması uygun değildir. Aşağıdaki şekil 2-8'de üç kollu yarım dönel kavşak ve şekil 2-9'ta modern dönel kavşak gösterilmiştir.



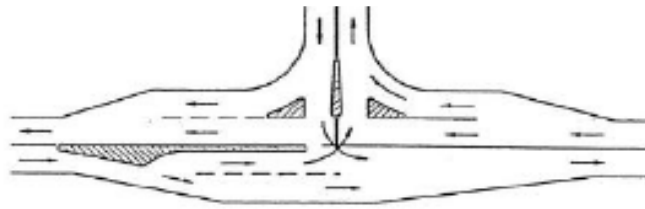
Şekil 2- 8. Üç Kollu Yarım Dönel Kavşak [5]



Şekil 2- 9. Dört Kollu Modern Dönel Kavşak [5]

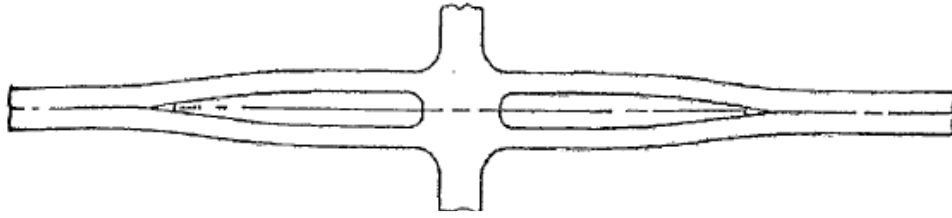
2.2.1.2.3. *Kanalize Durumuna Göre Kavşaklar*

Eşdüzey kavşakların gerekli olan ara noktalarında kavşağın kapasitesini artırmak ve trafiğin güvenliğinin sağlamak için taşıt ve yayaların hız, yörunge ve başka yönlerden kontrol altına alınmasına kanallama denilir [2]. Eşdüzey kavşakları yönlendirmek için farklı tipte adalar, kaplama üzerinde çizilen yatay işaretleme alanlar veya kaplama üzerinde uyarıcı butonlar vasıtasıyla güvenli trafik seyri sağlanır. Kontrolsüz, kontrollü, basit yönlendirilmiş, tam kontrollü yönlendirilmiş ve trafik sinyalizasyonu ile yönlendirilmiş eşdüzey kavşaklar en ideal kavşak tipine kadar iyileştirilebilir. Bu iyileştirmeleri yapı bilmek için trafik hacmi, sağ ve sol dönen taşıt sayısı, gecikme süresi, servis seviyesi gibi hususları dikkate alarak sırayla iyileştirmeler yapılabilmektedir [17]. Aşağıdaki şekil 2-10'da üç kollu adalı kanalize kavşak gösterilmiştir.



Şekil 2- 10. Üç Kollu Adalı Kazalize Kavşak [7]

Ayırma adaları: Kavşağa yaklaşan araçlara irelide kavşak olduğunu bildiren adalara ayırma adaları denilir. Özellikle bu adalar bölünmemiş yollarda olan kavşaklarda düzenlenir. Bu adalar çoğu zaman zıt yönde giden araçları ayırmak için kullanılır [5]. Ayırma adalarına örnek olarak aşağıdaki şekil 2-11’de gösterilmiştir.

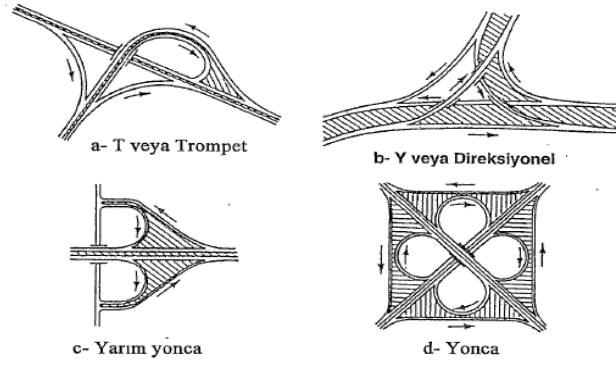


Şekil 2- 11. Ayırma Adalı Kavşak [5]

Ayırma adaları uzun ve bölünmemiş yollarda genişliği 1.2 metre, uzunluğu ise 6-8 metre olarak kullanılır. Bazı durumlarda ise ayırma adalarının genişliği 0.6 metreye kadar düşürülerek uygulanılmaktadır [5].

2.2.2. Farklı Seviyeli Kavşaklar

Karayolların birbirinin altından veya üstünden geçerek birleşmesinden veya ayrılmasından ortaya çıkmış alana farklı seviyeli kavşaklar denilmektedir [5]. Kavşaklar arasında en fazla kapasiteyi farklı seviyeli kavşaklar ile sağlanır. Araçların karşılıklı geçiş manevrası sonucunda meydana gelecek çakışmaları tamamen devre dışı bırakarak çakışmaların sayısını en aza indirmek farklı seviyeli kavşakların en önemli özelliklerindendir. Kavşak tasarımcıların asıl amacı yayaların veya taşıtların kavşağın içinde rahat ve güvenli hareket etmelerini sağlamaktır. Güvenlik açısından taşıt veya yayaları tek noktada buluşturmak ciddi sorunlara sebep ola bilir. Bu yüzden kavşak tasarımcıları için farklı düzeyde kavşaklar üretmek daha verimli ola bilir [18]. Bu tipte olan kavşaklar genellikle şehirler arası yollarda kullanılır. Farklı seviyeli kavşaklar serbest kontrollü, yarı trafik kontrollü ve trafik sinyalizasyonlu uygulamalara göre yapılır. Farklı seviyeli kavşaklara şekil 2-12’de örnek gösterilmiştir [5].

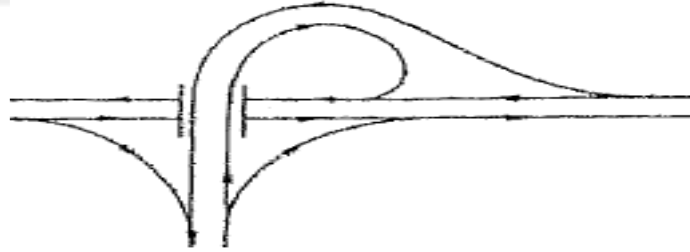


Şekil 2- 12. Farklı Seviyeli Kavşak Türleri[5]

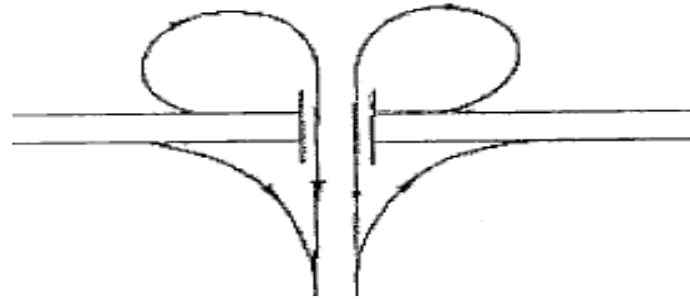
Farklı seviyeli kavşaklar üç ve dört kollu kavşaklar olarak kavşak koluna göre iki ayrı gruba ayrılır [5].

2.2.2.1. Üç Kollu Farklı Seviyeli Kavşaklar

Ana yolda trafik akımının fazla ve yan yolda ise az olduğu zaman kullanılan kavşağa üç kollu farklı seviyeli kavşaklar denilir [7]. Bu türde olan kavşaklara trompet, yarım yonca ve başka kavşak tasarımlarını örnek göstere biliriz. Trompet kavşak aşağıdaki şekil 2-13’de ve yarım yonca tipli farklı seviyeli kavşak ise şekil 2-14’de gösterilmiştir:



Şekil 2- 13. Trompet Kavşak [5]



Şekil 2- 14. Yarım Yonca Kavşak [5]

Şekil 2-13’de gösterilen trompet kavşak bir çok üçlü kollarda sadece bir yapı, yani köprü kullanılarak yapıla bilir. Bu tipli kavşaklarda trafik akımı hareketlerini serbest olarak gerçekleştirmekte ve tek bir yapı ile tasarlandığından ekonomik olarak da uygundur.

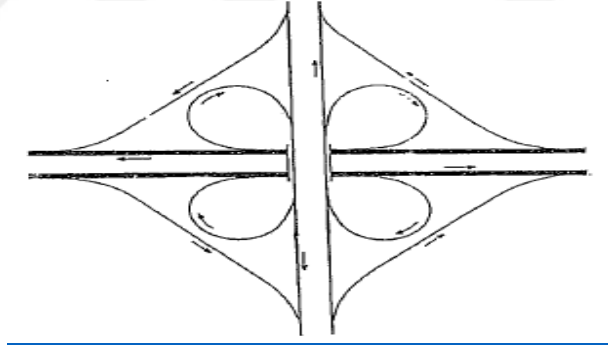
Şekil 2-14’de gösterilen yarım yonca tipli kavşaklar sola dönüş hareketlerini dönel rampalar vasıtasıyla uygulanan kavşaklardır. Bu kavşaklar gerektiği zaman tam yoncaya dönüştürüle bilen ve yan yolda geriye dönüş yapılmaktadır [5].

2.2.2.2. Dört Kollu Farklı Seviyeli Kavşaklar

Dört kollu farklı seviyeli kavşaklarda dönel rampalar fazla alanı kapsamaması için topografik, kültürel, doğa değişkenleri nedenlerinden devlet veya il yollarında trafik akımının en düşük standartlara sahip olduğu yerlerde tasarlanır [5]. Bunlara tek döngülü, tam yonca tipli ve başka tasarımı kavşakları örnek olarak gösterilir. Ve bunlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 2- 15. Tek Döngülü Dört Kollu Kavşak [5]



Şekil 2- 16. Yonca Kavşak [5]

Şekil 2-16’da gösterilen yonca tipli kavşakda döngü rampaları sola dönüş, dış rampalar ise sağa dönüş için tasarlanmıştır. Yonca tipli kavşaklarda sinyalizasyona gerek duyulmamakta ve trafik akışı akıcı bir şekilde devam etmektedir [5]. Bu tipli kavşakların avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Yonca tipli kavşağını tasarlamak için büyük alan gerekmektedir ve bu alanın inşası için maliyet artmaktadır. Bu nedenle böyle kavşaklardan ekonomi açısından lider ülkeler bile gerek duymadıkça böyle kavşaklar kullanılmamaktadır. Ancak kavşak kapasitesini iyileştirmedikleri zaman böyle kavşaklar kullanılmaktadır.

2.3. TRAFİK SİSTEMLERİNİN TARİHİ

Trafik işaretleri. Yol işaretleri Roma imparatorluğu döneminden bu yana kullanılmaktadır. İlk defa yol işaretleri Romada taşlarla kullanılmıştır. Romada ilk yol MÖ 312 yılında yapılmış Appian yoludur. Romalılar kavşaklardaki mesafeleri ölçmek için mil işaretleri kullanmışlardır. Antik Romada insanlar at sırtında veya öküzlerin taşıdığı arabalarla seyahet ederlerdi. O zaman fazla yoğunluk olmadığı için sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaçları olmamıştır. 1885-1886 yılları arasında otomobiller icat edilmiş ve yol işaretlerine daha çok ihtiyaç olmuştur. 1923 yılında trafik kaosunu azaltmak için trafik ışıkları levhaları tasarlanmıştır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- Sekizgen – durdurmak için,
- Dikdörtgen – yön ve düzenlemeler için,
- Yuvarlak – demiryolu geçişi uyarısı,
- Elmas – belirli alanlarda önlemler,
- Yıldız – otoyolları işaretlemek için,
- Kare – ara sıra alınması gereken bakım ihtiyacı

Yol işaretlerinin üzerinde olan boya siyah kabarık şekilde tasarlanmıştır. 1923' yılına kadar bu işaret levhalarında düzenlemeler yapılmış ve sarı zeminin üzerine siyah boyayla çizilmesi ve yol levhaları yansıtıcı ve ışıklı şekilde tasarlanmıştır [19].

Akıllı Ulaşım Sistemler. Akıllı Ulaşım sistemleri (ITS) dönemine, 1960 ve 1970 yılları arasında Elektronik Güzergah Kılavuzunun (ERGS) geliştirilmesinden hemen sonra Amerika Birleşik Devletlerinde başlanmıştır. Bu programın amacı, kavşaklarda olan araçlara navigasyon vasıtasıyla sürücülere rota yönlendirme bilgilerini vermektedir. Sürücüye gelen mesaj ile kavşakta kolay manevre yapmasını sağlamaktadır. 1970 yılında geliştirilmiş yeni uygulama olan otomatik rota kontrol sistemi (ARCS), önceden geliştirilen ERGS'ne göre daha karmaşık ve otomatiktir. Bu uygulama diğerine göre aracın konumunun koordinatlarını ölçüyor ve önceden belirlenmiş olan rotanın koordinatlarıyla karşılaştırılıyor. Ve sonuçta rehberlik sağlamaktadır. Japonyada geliştirilen Otomobil Kontrol Sistemi (CACS), esas olarak hareketde olan araç ve veri işleme merkezini birbirine bağlayan sistemdir ve 1977 yılında bir pilot programında başarılı şekilde test edilmiştir. 1970 yılında Almanyada geliştirilen otomobil yönetim ve bilgi sistemi CACS'ne benzerlik göstermektedir. ITS uygulamalarının hızı, 1980 yılında teknolojilerin gelişimi sonucunda yükselmeye başlamıştır. Japonyada 1984 yılında yapılan otomobil iletişim sistemi bugün kullanılan navigasyon sisteminin temelini şekillendirmiştir. CV Güvenli Pilot

Model Dağıtımı 2012-2013 yıllarında Ann Arbor, Michigan’da uygulanmıştır. 15 Eylül 2015 yılında USDOT, üç CV dağıtım sitesi duyurmuştur [20].

2.4. TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Eşdüzey kavşaklar, ulaşım sistemlerinin en karmaşık birleşmelerindendir. Bununun nedeni, çakışan akımların bir kavşakta geçebilmek için rekabet etmesidir. Trafik hacminin düşük olduğu kavşaklarda temel yol kurallarını ve Dur-Verim işaretlerini kullanarak düzenlenebilir. Trafik yoğunluğu arttıkça sürücülerin manevre etmeleri bir hayli zorlanmaktadır. Bu nedenle böyle kavşaklarda trafik sinyalizasyon sisteminin uygulanması gerekmektedir [21].

Trafik sinyalizasyon kontrolünün en önemli amacı trafiği düzenlemektir. Bunun sonucunda trafik tıkanıklığı en aza indirilir, emisyonlar azaltılır, ortalama taşıt gecikmeleri minimuma indirilir ve kolay seyahat etmeleri için tasarlanmaktadır. Bu sebeple trafik sinyalizasyonunu uygulamak için trafik sinyal kontrol sistemleri kullanılır. Trafik sinyal kontrol sistemi, trafik hareketlerini düzenlemek amacıyla kavşaklara ve yaya geçitlerine yerleştirilen cihazlardır. Birçok ülkelerde trafik sinyal kontrol sistemleri üç ışıktan oluşmaktadır. Kırmızı ışık araçların veya yayaların durması gerektiğini, sarı ışık harekete geçmesi için hazır durumda beklemesini, yeşil ışık ise harekete geçmesini sağlamaktadır. Kırmızı ve sarı süre aynı anda yandığında tüm kollardaki araçların tamamen durması gerekiyor. Yayalar için kullanılan iki ışık vardır. Bunlar yayaların durması için kullanılan kırmızı ışık ve yayaların hareket etmeleri için olan yeşil ışıklardır. Kavşaklarda araçların, bisikletlerin ve yayaların kontrolünü sağlamak amacıyla trafik sinyal zamanlaması uygulanır. Sinyal zamanlaması tasarlarırken bisiklet, yaya ve diğer kullanıcılar da dikkate alınmalıdır [1].

Trafik sinyalleri önceden ayarlanmış ve harekete geçirilmiş sinyaller olarak iki gruba ayrılır. Önceden ayarlanmış sinyaller genel olarak devre süresi önceden belirlenmiş ve sabittir. Buna sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi de denilmektedir. Harekete geçirilmiş sinyalizasyon sistemi ise kavşaklarda düzenlenmesi gereken trafik hacmi yoğun olan kavşaklarda kullanılır. Bu sistemle çalışan kavşaklar, “izole” kavşaklar ve koordineli bir sinyalizasyon sisteminin bir parçası olarak çalışan kavşaklardır. Kavşaklar arasındaki mesafe 800 metreden fazlaysa, bu zaman izole sistemli kavşaklar uygulanmaktadır [21]. Genel olarak sinyalizasyon sistemleri izole ve koordineli olarak iki gruba ayrılır. Ve bu sistemler alt bölümlerde sırasıyla açıklanmıştır.

2.4.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri

İzole sinyalizasyon sistemler kavşağın yakınında olan sinyalizasyon sistemli diğer kavşaklarla bağıntısı olmayan sistemlerdir. İzole sinyalizasyon sistemleri aşağıda gösterilen sinyalizasyon sistemleri oluşturulabilir.

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi,
- Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi,
- Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi,
- El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi, olarak ifade edilir.

2.4.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi, kavşağa farklı yönlerden yaklaşan taşıt ve yayaların hareketlerini sırasıyla sağlamak için önceden hesaplanmış sinyalizasyon sistemidir. Kavşaklara farklı yönlerden yaklaşan trafiğin geçişini sağlamak amacıyla yeşil süreler ortalama trafik hacminin değerine göre belirlenir. Her kavşaklardaki trafik akımı günün her saatinde farklı özellikler göstermektedir. Bu özellikler dikkate alınarak günün belli zamanında değişen birkaç programlar uygulanmalıdır. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde gereksiz bekleme sürelerinin azaltılması amacıyla sürekli olarak kontrol altında tutularak uygulanan programlar düzeltilmelidir.

2.4.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Yaklaşım kollarına yeşil ışık süreleri anlık olarak sahadaki trafik akımını değerlerini tespit etmek için detektörler yardımıyla sahadaki trafik talebine ve yoğunluklarına göre sistem düzenlenir. Bu sisteme trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi denilir. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri, trafik yoğunluğu sonucunda kavşağı düzenlemek için eşdüzey kavşaklarda yaranan gecikmeleri minimize eder. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri genel olarak iki ana gruba ayrılır. Bunlar yarı trafik uyarmalı ve tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleridir [22].

2.4.1.2.1. Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Bu sistemlerde kavşağın yan yollarına önceden yerleştirilmiş detöktörler kullanılmakta ve yeşil ışık yakılacak ana yoldaki trafiği minimum gecikme ile yolu kullanması planlanmaktadır. Bu sistemde genellikle kavşaklarda ana yolda devamlı yeşil ışık vermekte ve yan yollarda geçiş talebi uyarısı alınmadıkça ana yolda, yani trafik yoğunluğu fazla olduğu yerde geçiş sağlanmaktadır. Bu sistemler ana yoldaki trafik akımının yan yollardaki trafik akımına göre daha fazla olmakta ve kırmızı ışığa yakalanmamakla gecikmeleri ve kapasiteyi iyileştirmektedir [23].

2.4.1.2.2. Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Bu sinyalizasyon sistemi tüm fazları çalıştırdığı kavşakları kapsar ve tüm trafik akımlarını algılar. Tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde detöktörler her yaklaşım kolunda yerleştirilir ve kavşak kollarındaki trafik değerlerine göre sırasıyla yeşil süreler otomatik olarak ayarlanmaktadır. Bu sistem gerçek zamanlı ve gecikmeleri her durumda minimuma indiren en uygun sistemdir [22].

2.4.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Genel olarak bu sistemi kavşaklarda, bazı bağlantı yollarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kullanılır. Günün belirli saatlerinde yayalara güvenli geçid hakkı sağlamak amacıyla yaya uyarmalı sistemler uygulanmaktadır. Bu sistemde araçların hareketini kesmek amacıyla yayalar Geç butonunu basarak kendileri karşıya geçmektedir. Bu sistem kavşaklarda da uygulanabilmektedir. Bu sistem kavşaklarda yarı ve tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerinde düzenlenmekte ve sabit zamanlı olan kavşaklarda da yararlı olabilir. Sabit zamanlı kavşaklarda gecikmeleri azaltmak amacıyla yayalardan herhangi uyarı talebi gelmediği sürece araçlar durmaz ve yayaların geçmeleri için olan sinyalizasyon sistemi hep kırmızı kalır. Bu geçitten yararlanmak isteyen yayalar butonu basar basmaz hemen taşıtların geçmeleri için olan sinyalizasyon sisteminde kırmızı ışık yanmaz ve bu yüzden yayalar karşıya geçebilmek için beklemek zorundadırlar [22].

2.4.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

Her hangi bir kavşaktaki trafik ışıklarının bir kumandaya bağlanarak trafik ışıklarını dışarıdan yönetilmesini sağlamaktadır. Bu sistemler genellikle sabit zamanlı kavşaklarda uygulanmakta ve bazı zamanlarda trafik akımının ortalama değerden fazla olduğu yerlerde kullanılır [13].

2.2.2. Koordine Sinyalizasyon Sistem

Ana yolların birbirine çok yakın olan sinyalize kavşaklarda her kavşağın kapasitesini ve gecikmeleri önlemek amacıyla kavşaklar kendi aralarında koordine olarak düzenlenmelidir. Koordine sinyalizasyon sistemli anayoldaki kavşaklardan yan yoldan gelen araçları etkilemeden en fazla araçların durmadan geçmesini amaçlar. Bu sistemler bilgisayar kontrollü olup ve durma, gecikme ve yol verme gibi zamanları ayarlamayı amaçlar. Bunun sonucunda ulaşım güvenliğinin artması, kapasite, beklemlerin azalması, seyahet sürelerinin azalmasına ve başka trafik sorunlarının iyileştirilmesini sağlar [22].

2.2.3. Adaptif Trafik Yönetim Sistemi

Bu sistem ulaşım ağında bulunan kavşakların birbiriyle haberleşmesini sağlayan ve gelişmiş algoritmalarla birçok sensörlerden gelen verilere göre optimize edilen ve kavşaklardaki yoğunluğu ve gecikmeleri azaltarak yakıt tüketimine katkı sağlayan sistemdir. Bu sistem anlık verilere göre geçiş hakkı sağladıklarından kavşaklardaki toplam gecikmeleri minimuma indiren en ideal sistemdir. Sahadan aldıkları verileri merkezde değerlendirerek sinyal süreleri optimize edilerek anında müdahale edilir. ATAK izole ve koordineli olarak çalışabilmektedir. Bu sistemin uygulandığı zaman kavşaklarda taşıt gecikmelerinde %20, gecikmeler sonucunda oluşan emisyonlarda %18 ve yakıt tüketiminde ise %18 azalmalar olmaktadır [22].

3. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA KAPASİTE VE GECİKMENİN HESAPLANMA YÖNTEMİ

Sinyalizasyon kavşaklarındaki kuyruk uzunluklarını ve ortalama taşıt gecikmelerini tahmin etmek amacıyla bir çok model geliştirilmiştir. Bunlardan ilk başta geleni Webster gecikme modelidir. Sinyalizasyon kavşaklarının gecikmelerini hesaplamak için ilk olarak 1958 yılında Webster yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem kuyruk teorisine dayalı olarak geliştirilen Webster yöntemi birçok teorisinin temelidir. Bu yöntemin asıl amacı kuyruklanmanı ve gecikmeleri en aza indirmektir. Bu yöntemden sonra birçok çalışmalar yapılmıştır. Webster yönteminden sonraki yıllarda ikinci geliştirilmiş model Akçelik modeli ve sonra HCM (Highway Capacity Manual) olmuştur. Akçelik modeli 1981 yılında Dr. Rahmi Akçelik tarafından geliştirilmiş, faz ve devre sürelerinin hesaplanması Webster modeliyle benzerlik göstermektedir. Bu yöntem sürekli geliştirilmekte olan yöntemdir ve Sidra Intersection 3.2 programıyla çözümler yapılmıştır. Sonra HCM yöntemi 1985 yılında Amerikada geliştirilmiştir [24]. Bu tez çalışmasında sinyalize kavşağın kapasitesini ve gecikmelerini iyileştirmek amacıyla Webster yöntemiyle hesaplamalar yapılmıştır.

3.1. WEBSTER (İNGİLİZ) YÖNTEMİYLE SİNYALİZASYON HESAPLANMASI

Webster yönteminin asıl amacı kuyruklanmanı ve gecikmeyi azaltarak kapasiteni iyileştirmektir. Webster yöntemine göre ışıklı kavşakların kapasitesi kavşağın aldığı yeşil süreye ve yeşil süreden geçebilecek maksimum taşıt miktarına bağlıdır. Bunun için devre süresini optimum süreyle tasarlanmalıdır [22].

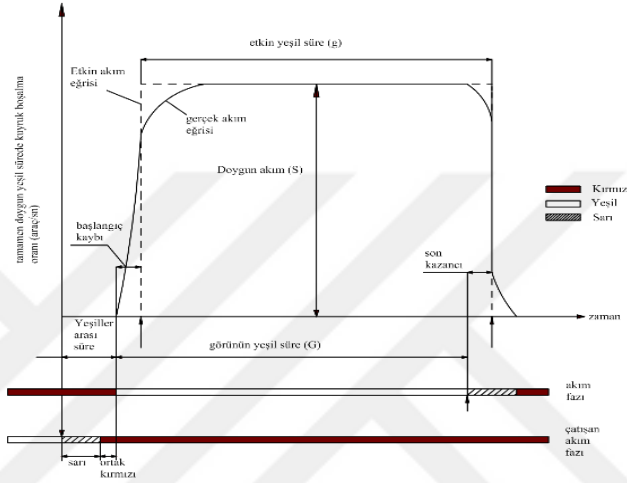
3.1.1. Kapasite ve Doygun Akımın Hesaplanması

Kapasite. Kavşakların kapasitesini ve güvenliğini iyileştirmek için 1920 yıllarından bu yana sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Kent içi trafiğinin kapasitesini iyileştirirken denetim sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Kapasitenin tahmin yöntemleri sinyalizasyon kavşaklarında yol tasarımı ve etkili trafik yönetimi için önemlidir [25].

Sinyalizasyon kavşaklarında kırmızı ışık yandığında araçlar birikmekte ve yeşil ışık yandıktan sonra ise araçların hareket etmeleri sağlandığı için kapasite kaybı kontrol edilir ve ışıksız kavşaklara göre %50 iyileştirme sağlandığı görülmektedir. Sinyalizasyon sistemli kavşağın kapasitesi şerit sayısına ve tipine bağlı olmakla birlikte uygulanan akım ve devre

düzenine de bağlıdır. Kavşağın kapasitesini etkileyen en önemli kriterlerden biri de yeşil süredir [9].

Kavşağın kapasitesini büyük ölçüde etkileyen diğer bir etmen de doygun akım değeridir. Yeşil süre yanmağa başladığı andan kırmızı ışık yanana kadar sabit hızla boşalan akıma doygun akım denir. Doygun akım değeri, kavşak kolunun genişliğine ve eğimine, sağa ve sola dönen taşıtların sayısına, ağır taşıtların sayısına, trafik düzenlenmesine, yaya etkisine ve park eden taşıtların varlığına bağlı olarak düzenlenir. Doygun akım grafiği aşağıdaki şekil 3-1’de gösterilmiştir.



Şekil 3 - 1. Webster Yöntemine Göre Doygun Akım Grafiği [59]

Şekil 3-1’deki grafikten görüldüğü gibi yeşil ve sarı süreyi kapsayan etkin yeşil süreyi ve kayıp süreyi tanımlayabiliriz. Etkin yeşil süre trafik akımının doygun olarak aktığı süredir. Trafik akımının geçmediği süreye kayıp süre denir. Kayıp süreye koruma süresi veya yeşiller arası süre de denilmektedir. Kayıp sürenin amacı yeşilde giren son taşıtın kırmızı yandıktan sonra kavşağı güvenle terk ettiği süredir. Kavşak kolunun kapasitesi etkin yeşil süre ile doğrudan orantılıdır ve kavşak kolunun kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [26].

$$D = \frac{g \cdot S}{C} \quad (3.1)$$

Burada, D- kavşak kolunun kapasitesi (taşıt/saat), g- etkin yeşil süre (sn), S- doygun akım değeri (taşıt/saat), C- devre süresini (sn) ifade etmektedir.

Doygun akım tahmini. Webster yöntemine göre doygun akım değeri kavşak kolu genişliğine göre belirlendikten sonra, sağ veya sol dönen trafik etkisine, eğime, trafik kompozisyonua, yaya ve park şerit etkisine göre düzeltmeler yapılmaktadır.

- **Kavşak kolunun genişliğine göre etkisi**

Düzeltilmelerin yapılmadığı durumlarda doygun akım değeri aşağıdaki formülü ile hesaplanmaktadır.

$$S = 525 \cdot w_a \quad (3.2)$$

Burada, S- doygun akım değerini, w_a - kavşak girişlerindeki şerit genişliğini ifade etmektedir. Ve bu formülde kavşak kolunun genişliği metre ile ifade edilmektedir. 3m ile 5 m arasındaki kavşak girişlerindeki şerit genişliğine göre doygun akım değerleri aşağıdaki tablo3-1'de gösterilmiştir.

Tablo 3- 1. Kavşak Girişlerindeki Şerit Genişliğine Göre Doygun Akım Değerleri

w_a ,metre	3	3.5	4	4.5	5
S,araç/saat	1850	1890	1950	2250	2250

- **Eğimin etkisi**

Kavşak kolunda olan eğimlerde her %1'lik çıkış eğiminde doygun akım değeri %3 azaltılır, %1'lik iniş durumlarında ise doygun akım değeri %3 artmaktadır

- **Trafik kompozisyonunun etkisi**

Farklı araç türlerinin doygun akıma olan etkisi aşağıdakılar ile değerlendirilmektedir. Ve bu değerler otomobil birim eşdeğeri ile ifade edilmektedir:

Bir ağır yük taşıyan taşıta göre 1.75 birim oto, bir otobüse göre 2.25 birim oto, bir tramvaya göre 2.5 birim oto, hafif yük taşıtında 1 birim oto olarak kabul edilir ve düzeltmeye gerek yoktur.Bir motosiklete göre 1/3 birim oto ve bisiklete göre ise 1/6 birim oto olarak doygun akım değerine etki edebilir.

- **Sola dönen trafiğin etkisi**

Kavşaklarda sola dönen taşıtlar sıkışıklıklara neden oluyorsa kavşağın kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Buna sebep olarak dört durum söz konusu olmaktadır.

- Karşı yönde akım yok ve sola dönüş şeriti yok ise bu zaman dönen akımlar dikkate alınmayarak doygun akım değeri diğer kurallara göre tahmin edilmektedir.
- Karşı yöne giden akım yok ve sola dönüş için şerit var ise bu zaman doygun akım değeri hesaplanarak bulunur. Sola dönen akımda doygun akım değerini elde etmek için akımın

yarıçapına bağlıdır. r yarıçapı olmak üzere tek şeritli ve iki şeritli sola dönüş akımları olmak üzere aşağıdaki ifadeler ile bulunmaktadır.

$$\left\{ \begin{array}{ll} S = \frac{1800 \text{ otomobil}}{1 + \frac{5}{r} \text{ saat}} & \text{tek şerit için} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} S = \frac{3000 \text{ otomobil}}{1 + \frac{5}{r} \text{ saat}} & \text{iki şerit için} \end{array} \right. \quad (3.4)$$

- c. Karşı yöne akım varsa ve sola dönüş şeriti yok ise bu zaman sola dönen akımların durumu üç şekilde gözlenmektedir. Bunlardan birincisi karşı yöndeki akım kendilerini ve dönüş yapmayan akımı geciktirirler. İkinci olarak sola dönen akım doğru yöne geçen taşıtları engeller ve gecikmelere sebep olurlar. Ve üçüncü olarak yeşil süre periodun sonunda sola dönen akım kavşakta hala mevcut durumda olduğundan, kavşağı tahliye etmek için belli bir zamanı boşa boşuna tüketerek geçiş fazının başlamasında gecikmelere sebep olmaktadır.
- d. Karşı yönde akım mevcut ve sola dönüş için en az bir şerit dahi varsa düz geçen trafikte gecikme olmamalıdır.

- **Sağa dönüşte trafik etkisi**

Sağa dönüş zamanı trafiğin doymuş akıma etkisi keskin dönüşler ve yaya akımlarının olmasına bağlıdır. Bu zaman doymuş akımı belirlemek için yukarıda bahs edilen akımın yarıçapına göre yapılan bağlantıyla hesaplanmaktadır. Sağa dönüşlerde bazı unsurlar vardır. Eğer sağa dönen taşıtlar akımın %10'dan az ise düzeltmelere gerek yoktur. Ama %10'dan fazla ise o zaman sağa dönüş yapan bir taşıt 1.25 düz geçen taşıta eşit olması gerekiyor.

- **Yayaların etkisi**

Yaya sayısı çok fazlaysa bu zaman ayrı faz düzenlemesi yapılmalıdır ve sola dönüş yapan taşıtlar incelenmelidir.

- **Park şerit etkisi**

Kavşak dur çizgisinde park edilen taşıt varsa o zaman doymuş akım değerini tahmin etmek için yol genişliği park edilen taşıtın genişliği kadar azaltılır. Kayıp olarak ortaya çıkan yol genişliği aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$W_{kay;p} = 5.5 - \frac{0.9 \cdot (z-25)}{g} \quad (3.5)$$

Burada, z - park edilen aracın dur çizgisine kadar olan uzaklığıdır. Ve $z < 25$ olursa bu zaman kısa şerit etkisi yok olarak kabul edilir, $z > 25$ olursa $W_{kay;p}$ - hesaplanarak W_{etkin} - etkin şerit genişliği hesaplanıyor. g - etkin yeşil süre, $W_{kay;p}$ - park eden araç yüzünden kayıp şerit genişliğidir. Etkin şerit genişliği aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$W_{etkin} = W_a - W_{kay;p} \quad (3.6)$$

Burada, W_a - şerit genişliğidir.

3.1.2. Kayıp Zaman Hesabı

Webster yöntemiyle devre süresini hesaplariken, kavşakta taşıt başına ortalama gecikme devre süresinin kayıp zaman ve fazların değerlerine bağlı olduğu görülmüştür. Londrada yapılan çalışmada kayıp zamanı belirlemek amacıyla ortalama bir sinyal devresinde başlangıç gecikmesi ve yavaşayan akımdan dolayı ortaya çıkan kayıp zamanı her bir faz için 2 sn olarak belirlenmiştir, lakin bu değerler çok değişken olduğundan 0 ile 7 sn arasında değer almaktadır. Devre süresini hesaplamak için toplam kayıp zaman belirlenmelidir. Toplam kayıp zaman bir kavşakta bütün fazlardaki kayıp zamanlar ile ortak kırmızı zamanın toplamıdır. Ve aşağıdaki ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$L = n \cdot l_i + R \quad (3.7)$$

Burada, n - faz sayısı, l_i - i fazındaki kayıp zaman, R - ortak kırmızı (sarı ile kırmızı dahil) süredir. Ortak kırmızı süre başka deyişle yaya ve taşıt cephelerinde aynı anda kırmızının yandığı süredir.

3.1.3. Devre Süresi

Devre süresi, kavşağın tüm yaklaşım kollarından gelen akımın geçiş hakkı aldıkları faz sürelerinin toplamıdır. Faz süreleri sırasıyla yeşil, sarı ve kırmızı ışık yanmaktadır. Kavşaktaki taşıtların toplam gecikme süresini en aza indirecek uygun devre süresini hesaplamak için F.V.Webster tarafından geliştirilen optimum devre süresini aşağıdaki ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$C_0 = \frac{\varphi \cdot L + 5}{1 - Y} \quad (3.8)$$

Burada, C- devre süresi (sn), L- toplam kayıp zaman (sn), Y- her bir fazdaki kritik akımlar için maksimum doymun akım oranlarının toplamı, ϕ - 1.2-1.8 arasında değerler almaktadır ve değişken katsayıdır. Genel olarak optimum devre süresini hesaplamak için $\phi=1.5$ olarak kabul edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$C_0 = \frac{1.5 \cdot L + 5}{1 - Y} \quad (3.9)$$

Minimum devre süresini hesaplamak için aşağıdaki formül verilmiştir:

$$C_{min} = \frac{L}{1 - Y} \quad (3.10)$$

Burada, y_i - i fazındaki doymunluk oranıdır ve i kolundaki araçların hacminin (q_i), i kolunda olan doymun akıma olan oranı şeklinde ifade edilmektedir ve aşağıdaki formülle belirlenir.

$$y_i = \frac{q_i}{S_i} \quad (3.11)$$

3.1.4. Yeşil Süre

Trafik akımının doymun olarak aktığı etkin yeşil süre aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$g = G - l + a \quad (3.12)$$

Bu formülde, G- gerçek yeşil süre (sn), l- kayıp süre (sn), a- sarı süredir (sn).

Etkin yeşil sürenin iki fazlı sistemde fazlara dağılımı aşağıdaki formüller ile belirlenir:

$$\begin{cases} g_1 = \frac{y_1}{Y} \cdot g_{te} \\ g_2 = \frac{y_2}{Y} \cdot g_{te} \end{cases} \quad (3.13)$$

Burada, y_1 ve y_2 - 1 ve 2 fazındaki doymun akım oranlarıdır. Y- maksimum toplam doymun akım oranları, g_{te} - toplam efektif yeşil süredir.

Buradan toplam efektif yeşil süre devre süresi ile toplam kayıp sürenin farkı alınarak hesaplanmaktadır. Ve aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$g_{te} = C - L \quad (3.14)$$

Etkin yeşil süre değerlerini belirledikten sonra gerçek yeşil süre hesaplanır. Gerçek yeşil süre 2 fazlı sistem için aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\begin{cases} G_1 = g_1 + l_1 - a_1 \\ G_2 = g_2 + l_2 - a_2 \end{cases} \quad (3.15)$$

3.1.4. Kuyruk Uzunluğu

Kuyruk uzunluğu, kavşağın kapasitesini belirlemek için başka bir performans ölçüsüdür. Kuyruk uzunluğu gecikme ile birlikte kullanılmaktadır. Kavşakların en önemli amaçlarından biri gecikmeyi azaltmak olduğu için kuyruklanmanında gecikmeye etkisi fazladır. Bu yüzden kapasiteni iyileştirmek ve gecikmeleri optimallaştırmak amacıyla her kolda olan kavşak uzunluklarını aşağıdaki gibi hesaplanılmaktadır [27].

$$Q = \frac{q}{3600/C} \quad (3.16)$$

Burada, Q- kuyruk uzunluğu, q ve C ise önceki bölümlerde bahs ettiğimiz gibi sırasıyla trafik hacmi ve devre süresidir.

3.1.5. Gecikme Hesabı

Sinyalize kavşakta beklemeden kavşağı boşalttığı süre ile durma gecikmesine maruz kalan süre arasındaki zaman farkı toplam gecikme olarak bilinir. Webster yöntemine göre ortalama araç gecikmesi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [28].

$$d = \frac{C \cdot (1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)} \quad (3.17)$$

Bu formülde, C- devre süresi, q- trafik hacmi, λ - etkin yeşil süre oranıdır. Etkin yeşil süre oranı belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$\lambda = \frac{g}{C} \quad (3.18)$$

Bu oran etkin yeşil süreden ve devre süresinden asılıdır. Ve gecikmelerin azalması ve artması etkin yeşil süre oranına bağlıdır ve aynı zamanda doygunluk derecesinde etkisi fazladır. Doygunluk derecesi x ile işaret edilmektedir ve her kol için doygunluk dereceleri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$x = \frac{q}{\lambda \cdot s} \quad (3.19)$$

4. YAPAY ZEKA VE OPTİMİZASYON METODLARI

4.1. YAPAY ZEKA

Yapay zeka, zeka ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayar vasıtasıyla yapılan araştırmaların yapılmasını ve yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerçekleştiren ana bilim dalıdır. Yapay zekayı anlamak için ilk önce zeka kavramının anlaşılması gerekiyor. Zekayı anlamak için beynimizin nasıl çalışma prensibine sahip olmasını, yaptığı işlevleri ve işlemleri anlamak gerekiyor. Zekayla ilgili birçok bilim adamları araştırmalar yapmış ve buna göre farklı tanımlar yapılmıştır. Zekayı soyut düşünme bilme süreci, algılama, sorgulama yaratıcılık, problem çözme, yeni ürünler ortaya çıkarmak ve başka yönleri gibi tanımlamışlar. Yapay zeka daha geniş anlamda aşağıdaki gibi tarif edilmektedir:

- “Bilgisayrların bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgün olması”
veya
- Programlanmış bir bilgisayar düşünme girişimidir [29].

Yapay zekanın günümüzdeki kullanım alanları aşağıda gösterilmiştir:

- Planlama
- Problem çözme, arama ve sezgisel programlama
- Oyunlar
- Robotik
- Doğal dil anlama
- Bilgi tabanlı sistemler
- Makine öğrenmesi
- Yüz tanıma

Ve başka alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

4.1.1. Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka algoritmaları herhangi bir çözümü gerçekleştirmek veya hedefe varmak amacıyla doğal olaylardan esinlenen algoritmalarlardır. Yapay zeka algoritmaları optimal çözüm garanti edememektedir ama bu optimal çözümün yakınlarında bir çözüm üretebilmektedir [31]. Sezgisel algoritmalar karar vericiliği açısından çok basit olabilmesinden dolayı, optimizasyon

problemlerinde optimal çözüme ulaşmak için sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır [32].

Yapay zeka yöntemlerinin avantajları aşağıda gösterilmiştir:

- Çeşitli kısıtlamaların üstesinden gelmek
- Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümlemesinde başarılı olması
- Tek bir simülasyon çalışmasında birden çok optimum çözüm bulmak
- Küresel olarak optimum çözüm bulabilmek

Küresel arama yeteneklerini aşmak amacıyla deterministik olmayan optimizasyon yöntemlerinin sayısı geliştirilmiş ve küresel optimizasyon problemlerinde uygulanmıştır. Bu yöntemle geliştirilen algoritmaldan bazıları genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu algoritması, yapay sinir ağı, kurbağa sıçraması algoritması, yapay arı koloni algoritmalarıdır.

4.2. OPTİMİZASYON

Bir problemi çözmek için belirli bir kısıtlamalar yapılarak en uygun çözümü bulma sürecine optimizasyon denilir. En uygun çözüm probleme ve problemi çözen kişiye bağlı olarak bir veya bir kaç kriterle bağlı olarak çözülür [33]. Bir problemi çözmek için farklı kısıtlamalar olmaktadır. Eğer bir problemin çözümü bu kısıtlamaları karşılıyorsa o zaman optimal çözümdür.

Optimizasyon genel olarak maksimum karın veya minimum maliyetin elde edilmesi için kısıtlamalar yapmayı amaçlar. Günümüzde optimizasyon çok çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Bunlar ulaşım, inşaat, otomotivde ve başka alanlarda kendilerine uygulama sahası bulmaktadır. Örneğin, Kavşaklarda trafik sıkışıklığı, yol planlama gibi birçok problemler günlük hayatımızda sıklıkla karşılaştığımız problemlerdendir. Bu problemleri çözmek için bilim adamları yeni bir fikir ortaya koyar ve bu problemlere yönelik optimizasyon aracılığıyla bir çözüm geliştirirler.

4.2.1. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü

Optimizasyon problemi eğer bir tane amaç fonksiyonu içeriyor ve sonuçta tek bir çözüm elde ediliyorsa bu zaman tek amaçlı optimizasyon problemi denilmektedir. Ama birden fazla çözüm elde ediyorsa bu zaman çok amaçlı optimizasyon olarak tanımlanır. Çoğu zaman bu problemler karşımıza çok amaçlı olarak çıkmaktadır [34].

4.2.1.1. Tek Amaçlı Optimizasyon

Bir problemi tek bir amaçla çözüm üreten optimizasyona tek amaçlı optimizasyon denilir. Bu problemin genel matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir [35].

f- $R^n \rightarrow R$ 'ye giden vektör amaç fonksiyonudur

$$\begin{cases} \min y = f(\bar{x}) \\ g_j(\bar{x}) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \\ h_k(\bar{x}) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, e \\ \bar{x}_i^l \leq \bar{x}_i \leq \bar{x}_i^u, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4.1)$$

Burada, y- amaç değerini, $\bar{x}$ - karar değişkenini, f - amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. g – eşitsizlik h ise eşitlik sınırlama fonksiyonudur. $\bar{x}^l$ – karar değişkeninin alabileceği alt sınır, $\bar{x}^u$ – üst sınırdır.

4.2.1.2. Çok Amaçlı Optimizasyon

Çok amaçlı optimizasyonun amacı bir problemi çözmek için birden fazla amacı birlikte optimize etmektir [36]. Çok amaçlı optimizasyonunda bir problemin matematiksel ifadesi aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$\begin{cases} (\min/\max) y = f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)\} \\ g(x) \leq \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_i(x)\} \leq 0 \\ h(x) = \{h_1(x), h_1(x), \dots, h_j(x)\} = 0 \\ X = [x_1, x_2, \dots, x_B]^T \\ A_b \leq x_b \leq U_b, b = 1, 2, \dots, B \end{cases} \quad (4.2)$$

Bu denklemde, $y = f(x)$ diziliminde M- amaçlanan bir vektör, $y = f(x)$ 'i minimize veya maksimize edilmek istenen m- amaç fonksiyonudur ve $m=1, 2, \dots, M$ olmaktadır. $g(x)$ ve $h(x)$ sırasıyla sağlanması gereken eşitsizlik ve eşitliktir. X- karar değişkeni vektörüdür. A_b ve U_b sırasıyla b karar değişkeninin alabileceği alt ve üst sınırlardır.

4.3. SEZGİSEL OPTİMİZASYON

Herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe ulaşmak amacıyla kullanılan doğal fenomenlerden esinlenen algoritmalara sezgisel algoritmalar denir. Bu algoritmalar kesin bir çözüm garanti değildir, ama bu çözümlerin yakınlarından bir çözüm garanti edebilmektedir [37]. Sezgisel yöntemler genel olarak biyoloji, fiziki, sürü, sosyal, müzik ve kimya tabanlı olarak farklı gruplara ayrılır. Bunlardan farkı olarak melez yöntemler de vardır. Bu yöntemler aynı zamanda tek noktalı ve çok noktalı olarak iki yere ayrılır. Tek noktalı olarak sabit amaç fonksiyonu, tek komşuluk yapılı ve hafızalı olarak ayrılmaktadır. Değişken amaç fonksiyonu, değişken komşuluk yapılı ve hafızasız olarak çok noktalıya ayrılabilir. Biyoloji tabanlı algoritmalara genetik algoritmaları, karınca kolni algoritmaları, yapay sinir ağları arı kolonisi gibi algoritmaları örnek gösterebiliriz. Sürü algoritmasına en iyi örneklerden biri parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasıdır [38].

4.4. SÜRÜ ZEKASI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Sürü zekası, kuşlar, karıncalar, yaban arıları ve başka hayvanların sürü şeklinde davranışlarından esinlenerek çok etmenli sistemlerin dizaynı ile ilgilenmektedir. Sürülerde N adet temsilci bir amaca yönelik davranış sergilemekte ve hedef noktasına ulaşabilmek için birlikte çalışmaktadır. Sürü zekası genel olarak canlılar, hayvan topluluklarından özellikle karıncalar alemine baktığımızda, sosyal bir yapıyla karşılaşırız. Böcekler sınıfından olan karıncalar köprü zinciri şeklinde geniş aralıkları aşabilmeleri için işçi karıncaları bulunmaktadır. İşçi karıncalarından herhangi bir karınca bütün görevleri yapan değil, yapısına göre bazı görevlerde uzmanlaşan karıncalar olarak gözlenmiştir. Karıncalar fiziksel olarak iki veya daha fazla şekilde farklı türde olan işçi karıncalar vardır. Sürü zeka terimini ilk olarak 1988 yılında Beni tarafından en yakın komşuları birbirleriyle etkileşimleri sonucunda organize etmek amacıyla basit etmenlerden oluşan hücresel robotik alanında kullanılmıştır. Sürü zekası optimizasyon alanlarında çok başarılıdır [39].

Birçok araştırmalar farklı alanlarda araştırmalar yapmış ve bir çok sürü optimizasyonu algoritmaları önermişlerdir. Bunlardan bazıları alt başlıklar şeklinde aşağıda açıklanmıştır.

4.4.1. Ateş Böceği Sürü Optimizasyon Algoritması

Ateş böceği algoritması Dr. Xin-She tarafından ateş böceklerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilen metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır [40]. Bu algoritma sürü zekası algoritmalarına bir çok benzerliği olsa da kavram ve uygulanması daha basit bir algoritmadır. Ateş böceğinin ışıklarını yakıp söndürmesi diğer ateş böceklerine sinyal sistemi olarak hareketini amaçlar. Bu algoritmada optimal bir çözüm elde etmek için belirli bir optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunu, ateş böceği sürüsüne parlak veya daha çekici yerlere gitmesini amaçlamak için yanıp sönen ışıkla ilişkili olmaktadır. Bir ateş böceğinin daha parlak olması diğer ateş böcekleri için daha çekici hale gelebilir. Yani bir ateş böceği ne kadar parlaksa ateş böceği sürüsü ona taraf gelecektir [41]. 2005 yılında K. N. Krishnanand ve D. Ghose tarafından ateş böceği sürü optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Çoklu fonksiyonlara sahip bir optimizasyon problemini optimize etmek için kullanılan ateş böceği sürü optimizasyon algoritmasıdır. Bu yöntemin temel amacı maksimum değerleri yakalamayı sağlayabilmesidir. Ateş böceği sürü optimizasyon algoritmasının ateş böceği algoritmasından ayıran temel fark, birden fazla zirveyi verimli olarak yerleştiren sürüdeki bireylerin kullandıkları karar alanıdır. Yani bu algoritmanın ateş böceği algoritmasından farklı olan yönü uygulandığı yerlerde algı sınırının olmamasından geçiyor [42].

4.4.2. Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması

Karınca kolonisi matematiksel modellerine dayalı bir algoritmadır. Bu algoritma ilk olarak Dorigo ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [43]. Dorigo ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sisteme karınca sistemi ve algoritmaya ise karınca algoritması adını vermişler. Doğada karıncalar besin kaynağı ile evi arasındaki gidebileceği yolu belirleme amaçlar. Belirlediği yere ulaşmak için karınca yola feromon adında bir koku bırakarak diğerlerinin bu karıncayı izlemesini sağlar. Ve bu koku daha kısa yollarda daha yoğun şekilde olmaktadır. Örneğin iki yolun kesiştiği noktada karınca hangi yoldan gidebileceğini belirler. Bu zaman karıncanın hangi yoldan gitmesi gerektiğini ilk önce kokunun miktarına göre ve ikinci olarak ise gelişlere göre belirler [44].

4.4.3. Kurt Koloni Optimizasyon Algoritması

Kurt kolonisinin sıkı bir organize sisteminden ilham alınarak geliştirilen algoritmadır. Kurtlar avlandıklarında sürülerle birlikte avlanmakta ve görevleri aralarında paylaşmaktadırlar.

Yapay kurtlar arama ve av kurtları şeklinde olmaktadır. Arama kurtlarının görevi avı keşf ederek diğer kurtlara konumu bildirmek için uluyarak bildirirler. Diğer yapay kurtlar ise av yerine gelip avı sürü halinde kuşatmaktadırlar. Kurt kolonisinde yiyeceği ilk olarak güçlü kurta sonra ise zayıf kurta verilmektedir [45].

4.4.4. Kullanılan Optimizasyon Algoritması

Bu tez çalışmasında problemin çözümü için sürü zekası optimizasyon algoritması olan parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılmıştır. PSO algoritmasını kullanarak önce uygulanan kavşakta optimal bir devre süresi belirlenmiş daha sonra ise ortalama taşıt gecikmelerinin optimal çözümünün yapılması amaçlanmıştır.

4.4.4.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

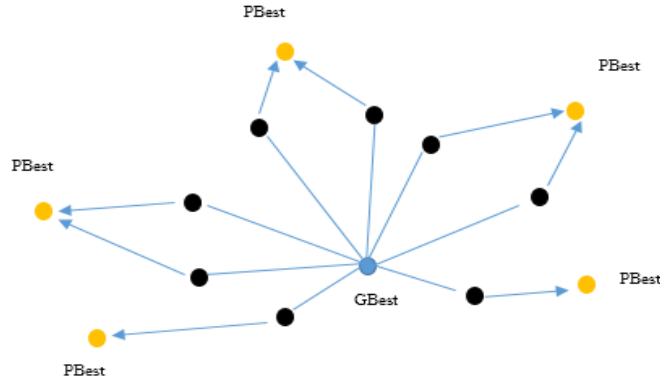
Parçacık sürü optimizasyonu, sürü halinde hareket eden kuşlar ve balıklardan esinlenerek 1995 yılında J. Kennedy ve R.C Eberhart tarafından yapılan algoritmadır. PSO sezgisel bir yöntem olarak tasarlanmış ve doğrusal olmayan problemleri çözmek için kullanılır [46]. Kuş sürüsü yiyecek arayışına çıktığında yiyecek kaynaklarının nerede olduğunu bilmemelerine rağmen, yiyecek kaynaklarından ne kadar uzakta olduğunu öğrenmeğe çalışırlar. Bunun için yiyecek kaynağına en yakın olan kuşu takip ederler. Parçacık sürü optimizasyon algoritmasında her bir kuş bir parçacık, kuş topluluğu ise bir sürü olarak düşünülmektedir. Parçacığın hareketi zamanı yiyeceğe ne kadar uzaklıkta olduğu hesaplanır. Bu sistemde çözümler rastgele olarak başlatılır ve en iyi çözümü bulmak amacıyla sistemi güncelleyerek aramalar yapılır. Bu algoritmanın mantığı, yiyeceğe daha yakın olan kuş diğerlerine haber vermek için daha yüksek ses çıkarmasıyla diğer kuşlar ona doğru [47]. Algoritma genel olarak üç değişken kaydı ile ilerler:

- Hedef değer veya koşul,
- Hedefe en yakın olduğunu gösteren global en iyi gBest değeri,
- Hedefi bulamadığı zaman algoritmanın ne zaman duracağını gösteren değer.

Her bir parçacık aşağıdakılardan oluşmaktadır:

- Bir problemin çözümünü temsil eden veriler,
- Verilerin ne kadar değiştirilebileceğini gösteren hız değeri,
- Parçacığın verilerine en yakın olan pBest değeri.

Parçacık sürü optimizasyonda sürülerin hareketleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4 - 1. Parçacık Sürü Optimizasyonunda Sürülerin Dağılımı

Şekil 4-1’de her kuşun koordinatları hedefe en yakın olan kuşun koordinatlarına daha yakın olacak şekilde yaklaşmaya çalışılacaktır. Bu gBest olarak tanımlanmaktadır. Algoritma başlatılmasından bu yana verinin hedefe en yakın koordinatı gösteren pBest olarak tanımlanmaktadır. Algoritmanın her güncellenmesi zaman gBest değeri parçacıklardan biri hedefe yaklaşıncaya kadar yavaş yavaş ilerler. Sürü içerisindeki pBest değeri aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$p_i(t + 1) = \begin{cases} x_i(t + 1), & \text{eğer } f(x_i(t + 1)) \leq f(p_i(t)) \\ p_i(t) & \text{değilse} \end{cases} \quad (4.3)$$

Sürünün gBest değeri ise aşağıdaki şekilde belirlenir. Her bir iterasyon için pBest değerinde $f(x)$ fonksiyonunu minimum yapan gBest değeridir ve her iterasyonda bu işlem tekrarlanarak gBest değeri yenilenir.

$$p_g(t) = \arg \min_i f(p_i(t)) \quad (4.4)$$

Ar, yani argmin fonksiyonu parçacıkların en iyi pozisyonlarını belirlemek için bu fonksiyon kullanılmaktadır. Argmin fonksiyonu, optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonları minimum değerler almasını sağlayan argümanları veren fonksiyondur [48].

4.4.4.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Formülasyonu

Tüm optimizasyon problemlerinin asıl amacı $f(\bar{x})$ fonksiyonunu minimum veya maksimum yapmaktır. x vektörü gerçek sayılardan oluşan karar değeridir [48]. Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında bireylerin yerdeğiştirmesi aşağıdaki formül ile belirlenmektedir.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t) \quad (4.5)$$

Bu formülde, x_i - o andaki bireyin değişkeninin değeri, v_i - hız vektörü ve t ise o andaki döngü sayısıdır. Hız vektörü olan v_i PSO'da aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

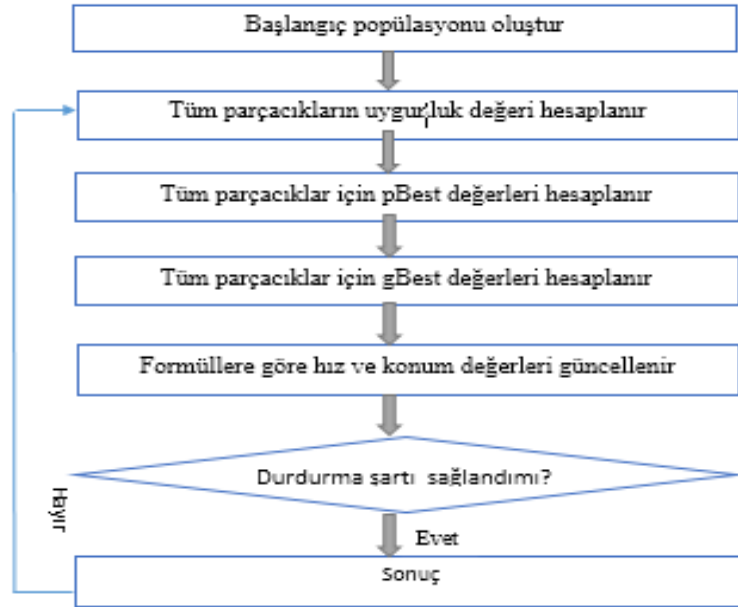
$$v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t)(y_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_{2j}(t)(\hat{y}_j(t) - x_{ij}(t)) \quad (4.6)$$

Burada, $v_{ij}(t)$ - t döngüsündeki $j= 1, 2, \dots, n$ boyutunda i parçacığının hızı, $x_{ij}(t)$ - i parçacığının pozisyonu, $y_{ij}(t)$ - j boyutundaki i parçacığının o ana kadarki kendisinin bulduğu en iyi konum, $\hat{y}_j(t)$ - j boyutundaki i parçacığının o ana kadarki bulduğu en iyi çözümün konumu, r_{1j} ve r_{2j} o ile 1 aralığında olan rastgele bir sayı, c_1 - kişisel öğrenim katsayısı ve c_2 ise sosyal öğrenim katsayısıdır. En iyi çözümlerden hangisinin kullanılacağı, c_1 ve c_2 ' ye bağlıdır. Eberhart ve Shi'nin yaptıkları çalışmada c_1 ve c_2 değerlerini 1.494 olarak alınmıştır [49]. PSO algoritmanın hesaplanması aşağıdaki adımlara göre yapılmaktadır.

- **Adım 1:** Başlangıç: Her parçacık için popülasyon oluşturulur ve her parçacığın rastgele olarak üretilen başlangıç değeri ve hızı ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- **Adım 2:** Tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır. Her bir parçacığın uygunluk değeri amaç fonksiyonlarına göre belirlenir.
- **Adım 3:** Her bir parçacık için en iyi değer bulunur. Hesaplanan uygunluk değeri en iyi pBest ile karşılaştırılır. Eğer uygunluk değerinin hesaplama sonucundaki değer mevcut en iyi pBest değerinden daha iyiye o zaman yeni sonuç pBest ile değiştirilir.
- **Adım 4:** En iyi global parçacık bulunur. Hesaplanan uygunluk değeri programın hafızasında bulunan en iyi gBest ile karşılaştırılır. Eğer daha iyi bir sonuç veriyorsa gBest ile değiştirilir.
- **Adım 5:** Her parçacığın hızı ve pozisyonu ayarlanılır. Yukarıdaki 4.6 denkleminde parçacığın hızı ayarlanır ve 4.5 denkleminde ise parçacığın pozisyonu ayarlanır.

- **Adım 6:** Eğer sonuca yeterince yaklaşıldı ise hesaplama durulur, eğer hala sonuca yaklaşılmayıpsa hesaplama adım 2’den itibaren işlemler tekrarlanır.

Parçacık sürü optimizasyonun algoritmasının akış şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4 - 2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Akış Şeması

Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının sözde kodu aşağıda gösterilmiştir [49].

x_i ve v_i ’ye başlangıç değeri vererek sürüyü oluştur

Do

For $i=1$ to Parçacık sayısı

If $f(x_i) < f(y_i)$ **then** $y_i = x_i$ lokal (kişisel) en iyiyi güncelle

$\hat{y}_j(t) = \min(x_{\text{komşular}})$ global en iyiyi güncelle

For $j=1$ to Optimize edilen boyut sayısı

$v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t)(y_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_{2j}(t)(\hat{y}_j(t) - x_{ij}(t))$

$x_{ij}(t+1) = x_{ij} + v_{ij}$ Pozisyon vektörünü güncelle

Next j

Next i

Until Sonlandırma kriteri

Şekil 4 - 3. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Sözde Kodu [49]

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Üçüncü bölümde anlatılan sinyal zamanlamada analitik yolla hesaplanan Webster yöntemini kullanarak Bakünün Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı kavşağında performans analizi yapılmış, sonra ise PSO algoritmasını kullanarak optimal devre süresi, kavşak kapasitesi ve ortalama taşıt gecikme değerleri için hesaplamalar yapılmıştır. Bunu uygulamadan önce Bakü ulaşımı ve trafik yönetimiyle ilgili kısa şekilde bilgi verilmiştir. Sonra çalışma yapılan kavşak incelenmiş, daha sonra bu hesaplamalar sonucunda her iki yöntem ile bulunun kapasite ve ortalama gecikme değerleri karşılaştırılarak en iyi değerler bulunmuştur.

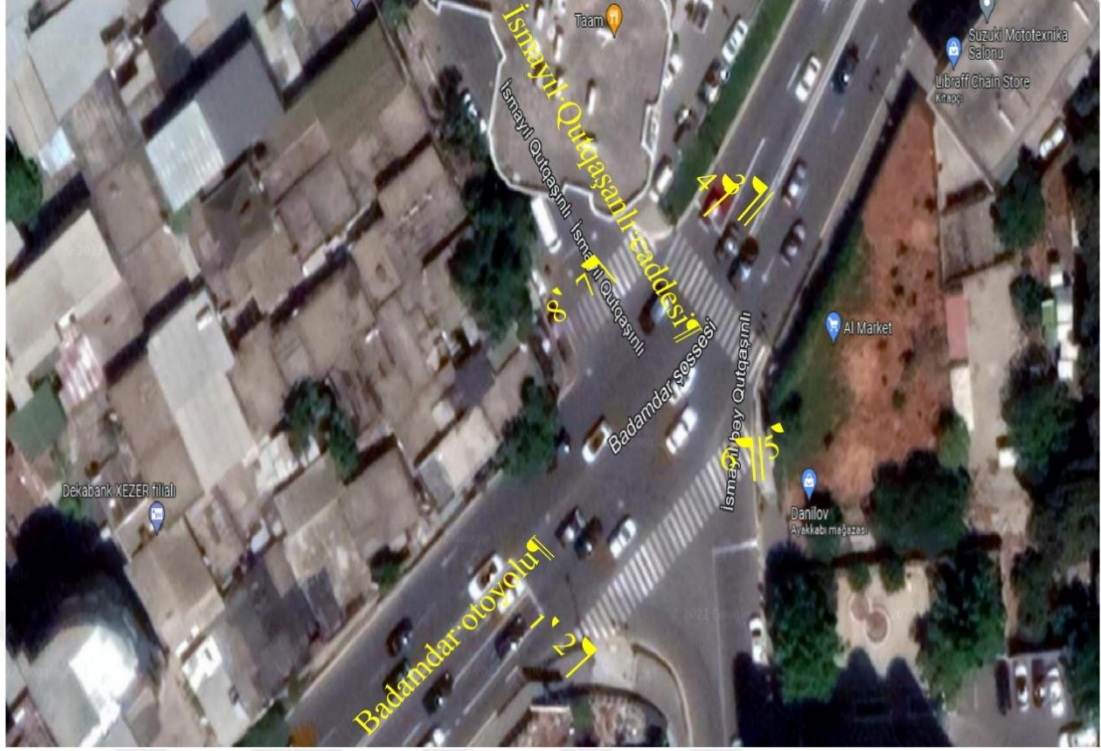
5.1. BAKÜ'DE ULAŞIM

Azerbaycanın başkendi olan Bakü ilinde 12 ilçe bulunmaktadır. 2018 yılı istatistiklerine göre Bakü ilinin idari sınırları içerisinde 59 yerleşim yeri ve 47 köy bulunmaktadır. Baküde 2 milyondan fazla insan yaşamaktadır. Fazla nüfus artışı nedeniyle ulaşım da tıkanıklıklar olmaktadır. Her ülkede olduğu gibi Bakü'de de kavşaklarda trafik sorunlarıyla karşılaşmaktadır. 2010 yılının verilerine göre Bakü 310 otobüs hattına sahiptir. Şehirde 1.130 belediye otobüsü ve 3.300 minibüs hizmet vermektedir. Minibüsler otobüs hatlarını kullanmaktadır. Genel olarak bu şehirde her gün 950 otobüs hareket etmektedir. Baküde 1543 adet otobüs durağı, 547 adet otobüs bilgi terminali, 1486 adet yaya geçidi, bulunmaktadır [58].

Bakü'de toplamda 342 adet trafik sinyalizasyon sistemli kavşaklar bulunmaktadır. 155 adet sinyalizasyon kavşakları Bakü Ulaşım Ajansı (BNA) tarafından yönetilmektedir. Genel olarak sinyalizasyon kavşaklarının yönetimi Akıllı Ulaşım Yönetim Merkezi tarafından yapılmaktadır. Kavşakların trafik sinyalizasyonunu yabancı şirketlerin uyguladığı programlarla gerçekleştirilir. Bakünün akıllı ulaşım yönetiminde İSBAK ve Asya Trafik'inin büyük ölçüde katkıları olmuştur.

5.2. ÇALIŞMA ALANI

Bu tez çalışmasında Azerbaycanın başkenti olan Bakünün Badamdar ilçesinde yerleşen Badamdar – İsmayılqutqaşanlı sinyalizasyon kavşağı incelenmiştir. Bu kavşak 4 kollu kavşaktır. Her kolda 4 şerit bulunmaktadır. Yani her yöne 2 şerit bulunmaktadır. Her bir koldaki akımın hareket yollarını ayırmak amacıyla 2 çizgi çekilmiş ve bunlar arası mesafe 1 metre olarak belirlenmiştir. Bu kavşağın üstten görünüşü google map'den alınarak şekil 5-1'de gösterilmiştir [50].

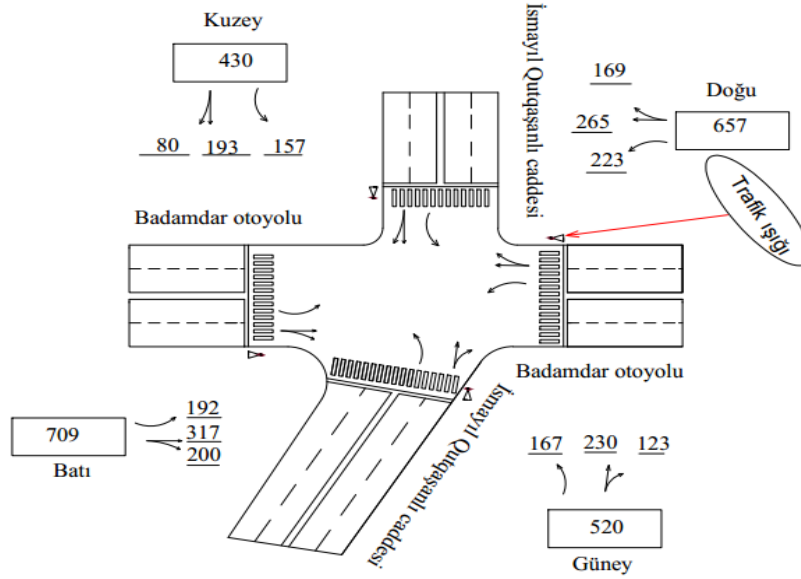


Şekil 5 - 1. Badamdar-İsmayıl Qutqashanlı Kavşağı [50]

Bu kavşakta bir koldan diğer kolların hepsine akım vardır. Yani, bir kolda sağa, sola ve doğru olarak akım olmaktadır. Bu akımlar sağa ve doğru giden bir şeritde, sola dönüş ise diğer şeritde olmaktadır ve hesaplamalar bu akımlara göre yapılmaktadır. Bu akımlar batı kolunda 1 ve 2, kuzey 7 ve 8, doğu 3 ve 4, güney ise 5 ve 6 şeklinde numaralandırılmıştır.

5.2.1. Verilerin Toplanması

Bu çalışma için bulunan veriler 17.11.2021 Çarşamba saat 09.00-10.00 arasında kamera ile yapılan gözlemler sonucunda elde edilmiştir. Bu sinyalizasyon kavşak sabit zamanlı, devre süresi 60 sn ve 2 fazlı sistem olarak çalışmaktadır. Herbir yaklaşım kolundaki trafik hacimlerini 60 dakikalık gözlemler sonucunda elde edilmiştir. Gözlemler sonucunda sola sağa ve doğru giden taşıtlar belirlenmiştir. Bu kavşağın plan görünümü autocad programıyla çizilmiş ve şekil 5-2'de gösterilmiştir.



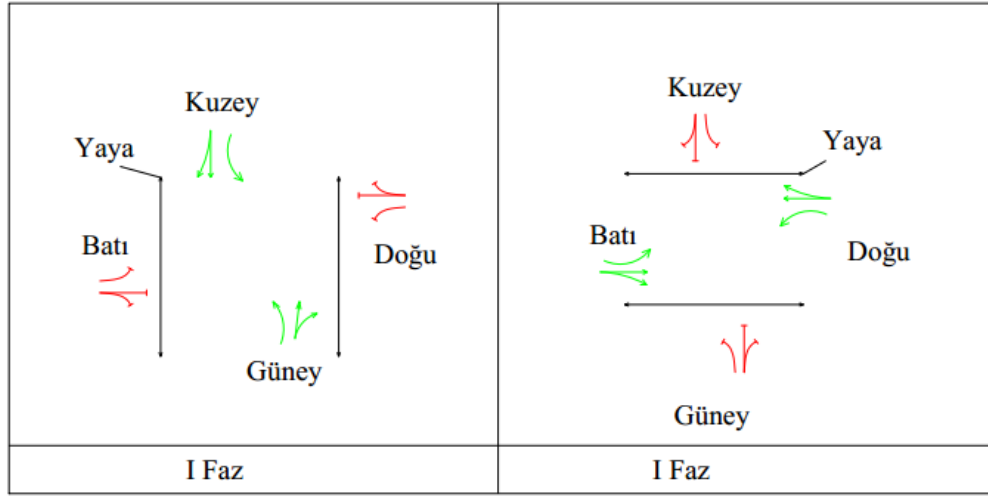
Şekil 5 - 2. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağının Planı

Plandanda görüldüğü gibi trafik hacimleri sol ve sağa-doğru şeklinde yapılmıştır. Uygulanan kavşakta gözlem yapılan saat arasında toplam taşıt hacmi 2316 taşıt/saat olarak belirlenmiştir. Burda batı kolunda 709 taşıt/saat, kuzey yaklaşım kolunda 430, doğu yaklaşım kolunda 657 ve güney yaklaşım kolunda ise 520 trafik akımı olmaktadır. Bu kavşağın her bir kolundan trafik akımı her üç yöne akım sağlamaktadır ve trafik akım değerleri tablo 5-1’de gösterilmiştir.

Tablo 5 - 1. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağı 1 Saatlik Trafik Hacim Değerleri

kavşak kolu	akım yönü	hacim değeri araç/saat
Batı	sol dönen	192
	doğru giden	317
	sağ giden	200
	Toplam	709
Doğu	sol dönen	223
	doğru giden	265
	sağ giden	169
	Toplam	657
Güney	sol dönen	167
	doğru giden	230
	sağ giden	123
	Toplam	520
Kuzey	sol dönen	157
	doğru giden	193
	sağ giden	80
	Toplam	430

Bilindiği üzere kavşak kollarında akımlar farklı yoğunluklarla hareket etmektedir. Bu yüzden kollardaki sinyal zamanlaması yoğunluklara göre belirlenmelidir. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı kavşağı 2 faza sahip bir kavşaktır ve uygulanan devre süresi her faz için 60 saniye olarak belirlenmiştir. Bu kavşakta yaya süresi Badamdar otoyolunda 15 saniye ve İsmayıl Qutqaşanlı caddesinde ise 12 saniye olarak belirlenmiştir. İsmayıl Qutqaşanlı caddesinin Kuzey ve Güney kollarında 21 saniye yeşil süre ve Badamdar otoyolu Doğu ile Batı kollarında ise 24 saniye yeşil süre almaktadır. Bu kavşakta iki faz içinde sarı süreler 3 saniye olarak kabul edilmiştir. Ve sarı süre genelde a harfiyle işaret edilmektedir. Ortak kırmızı süre, yani yeşil süreden önce uygulanan sarı süre ile aynı anda yanan kırmızı sürenin toplamı olarakta biliniyor. Bu kavşakta aynı anda yanan kırmızı süre 2 saniye olarak belirlenmiştir. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı kavşağının fazlara göre akım düzeni şekil 5-3’de gösterilmiştir.



Şekil 5 - 3. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağının Akım Düzeni

Bu kavşağın taşıtların akımı için kullanılan sinyalizasyon süreleri şekil 5-4’de gösterilmiştir.

I Faz. Doğu ve Batı kolları için



II Faz. Güney ve Kuzey kolları için



Şekil 5 - 4. Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Kavşağının Sinyalizasyon Faz Süreleri

5.3. WEBSTER YÖNTEİİYLE ANALİZ

Bu bölümde, uygulanan kavşağın analizi 3. bölümde anlatılan Webster yöntemiyle hesaplanmıştır. Burada kavşağın kapasitesi, doygun akım değerleri, akım oranları, devre süresi, kuyruk uzunlukları ve ortalama taşıt gecikme değerleri analiz edilerek 2 alt bölümlerde sunulmuştur. 5.4 bölümde ise Webster yöntemiyle hesaplanan çözümleme sonuçları parçacık sürü optimizasyon algoritmasıyla hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Doygun Akım Hesabı

Doygun akım hesabında uygulanan kavşağın geometrik özellikleri dikkate alınmıştır. Bu kavşağın doygun akımını belirlemek için 3.1.1 bölümündeki formüllerle hesaplamalar yapılmıştır. İlk önce şerit genişliğine göre, sonra ise sola dönüş şeritine, park etkisine, kavşağın her kolunun eğimlerine göre hesaplanmıştır. Kavşağın tek bir şeritinin genişliği 3.5 metredir ve bir kolunun genişliği ise 15 metredir. Uygulanan kavşağın batı, doğu ve kuzey kollarında eğim %0 olarak belirlenmiştir. Yani bu kollarda araçlara eğim etkisi olmamaktadır. Ama Güney kolu %2'lik çıkış eğimine sahiptir. Batı ve doğu kollarında park şerit etkisi olmamaktadır. Kuzey ve güney kollarında park şerit etkisi olmaktadır. Kuzey kolunda park edilen aracın dur çizgisine uzaklığı $z=9$ m yani 29 ft olarak belirlenmiş ve 3.5 denklemini kullanarak park şerit etkisi hesaplanmıştır.. Güney kolunda ise $z= 7.6$ m, yani 25 ft olarak belirlenmiş ve bu zaman park şerit etkisi yok kabul edilir. Bunları belirledikten sonra doygun akım değerlerinin sonuçları şekil 5-1'de gösterildiği akım yönleri gibi numaralanır ve Excel programında hesaplanarak aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5 - 2. Badamdar - İsmayıl Qudqaşanlı Kavşağının Doygun Akım Değerleri

S1	1600	S5	1552
S2	3780	S6	3667
S3	1600	S7	1500
S4	3780	S8	2860

Doygun akım oranı. Doygun akımları belirledikten sonra devre süresini hesaplamak için doygun akım oranlarını belirlememiz gerekir. Doygun akım oranlarının değerlerini belirlemek için 3.11 formülünü kullanarak belirlenir ve doygun akım oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5 - 3. Doygun Akım Oranlarının Değerleri

Şerit grubu	Batı sol	Batı sağ+doğru	Doğu sol	Doğu sağ+doğru	Güney sol	Güney sağ+doğru	Kuzey sol	Kuzey sağ+doğru
q	192	517	223	434	167	353	157	273
s	1600	3780	1600	3780	1552	3667	1500	2860
y=q/s	0.12	0.14	0.14	0.115	0.108	0.096	0.125	0.099
Y	0.26		0.255		0.204		0.224	

Devre süresini hesaplamak amacıyla toplam maksimum doygun akım oranlarını belirlememiz gerekiyor. Burada toplam maksimum doygun akım oranı her fazdaki doygun akım oranlarının maksimum değerlerinin toplamına eşittir. Bu kavşak iki fazlı olduğundan iki faz içinde maksimum doygun akım oranları her koldaki maksimum doygun akım değerlerinin toplanması sonucunda belirlenir. Yani, tablo 4'den görüldüğü gibi I faz için maksimum doygun akımı $Y = 0.26$, II faz için maksimum doygun akımı değeri ise 0.224 olarak belirlenmiştir. Ve devre süresinin hesaplanmasında Y değeri $0.26 + 0.224 = 0.484$ toplamı olarak belirlenir.

5.3.2. Mevcut Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

Analiz sonucunda devre süresinin belirlenmesinde mevcut devre süresine göre sarı süre 3 saniye ve aynı anda yanan kırmızı süre 2 saniye alınmıştır. Kayıp süre 3.5 saniye götürülmüştür. Ve buna göre devre süresi 3.9 formülüne göre analiz yapılarak mevcut devre süresi gibi 60 saniye belirlenmiştir. Devre süresi, yeşil ve kırmızı süreler Webster yöntemiyle incelendikten sonra mevcut verilere göre kuyruk uzunlukları 3.16 formülünü kullanarak belirlenmiştir. Tablo 5'de incelenen mevcut devre süresine göre kuyruk uzunlukları gösterilmiştir.

Tablo 5 - 4. Kuyruk Uzunluğu Değerleri

Yaklaşım Kolu	Q değerleri
Batı	11.82
Doğu	10.62
Güney	8.67
Kuzey	7.17

Bu kuyruk uzunluğu değerine göre en az kuyruklanma kuzey kolunda görülmektedir. Bunları belirledikten sonra kavşağın ne kadar kapasitesi ve ortalama taşıt gecikmesi olduğunu

belirlemek için 3. bölümdeki formüller kullanılarak hesaplanmış ve tablo 5-4’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre en düşük toplam kapasite değeri kuzey kolunda olmaktadır. En düşük ortalama taşıt gecikmesi ise doğu kolunda görülmektedir. Burada toplam taşıt gecikmesi 58.224 saniye olarak belirlenmiştir.

Tablo 5 - 5. Webster Yöntemiyle Çözümleme Sonuçları

Yöntem	Kavşak kolu	Düzeltilmiş akım (tş/saat)	Düzeltilmiş doygun akım	Akım oranları	Devre süresi	Yeşil süre (sn)	Kapasite (tş/saat)	Gecikme değeri (sn/tş)
Webster yöntemi	Batı 1 yönü	192	1600	0.12	60	24	640	15.024
	Batı 2 yönü	517	3780	0.14			1512	
	Doğu 3 yönü	223	1600	0.14	60	24	640	13.5
	Doğu 4 yönü	434	3780	0.141	60	24	1512	
	Güney 5 yönü	167	1552	0.108	60	21	543	14.8
	Güney 6 yönü	353	3667	0.096	60	21	1284	
	Kuzey 7 yönü	157	1500	0.125	60	21	525	14.9
	Kuzey 8 yönü	273	2860	0.099	60	21	1001	

5.4. PSO ALGORİTMASINA GÖRE ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

Çalışmanın bu bölümünde uygulanan kavşağın sinyal zamanlamasını parçacık sürü optimizasyon algoritmasını kullanarak Matlab R2022a programında optimize edilmiştir. Badamdar otoyolunda bulunan İsmayıl Qutqaşanlı kavşağının mevcut durum analizi ve trafik hacimleri önceki bölümde verilmiştir. Burada PSO algoritmasını kullanarak öncelikle devre süresini belirlememiz gerekiyor. Bunun için başlangıç popülasyonu oluşturmak için önceden belirlenen doygun akım, trafik hacmi, maksimum toplam akım oranı ve devre süresi 4 değişkenli problem verileri olarak belirtilmiş, sonra PSO parametreleri gösterilmiştir. Ve sırasıyla aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

```

%% problem datas

global Y;
global S;
global Q;
global C;

Y= 0.484;
S= [3780 3780 3667 2860];
Q = [709 657 520 430];

```

Şekil 5 - 5. Problem Verileri

```

%% PSO Parameters
MaxIt=10;      % Maximum Number of Iterations
nPop=50;       % Population Size (Swarm Size)
% PSO Parameters
w=0.5;         % Inertia Weight
wdamp=1;       % Inertia Weight Damping Ratio
c1=1.5;        % Personal Learning Coefficient
c2=2.0;        % Global Learning Coefficient

```

Şekil 5 - 6. PSO Parametreleri

Bu verileri belirledikten sonra yeni çözümlenmiş devre süreni belirlemek için Matlab programında Webster yöntemiyle hesaplanan devre süresi formülünü kullanarak hesaplanmıştır. Burada ortak kırmızı süreyi, yani R'i 3 saniye, kayıp zaman ise 5 saniye olarak belirlenmiştir. PSO algoritmasına göre devre süresinin çözümleme sonucu aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi belirlenmiştir.

```

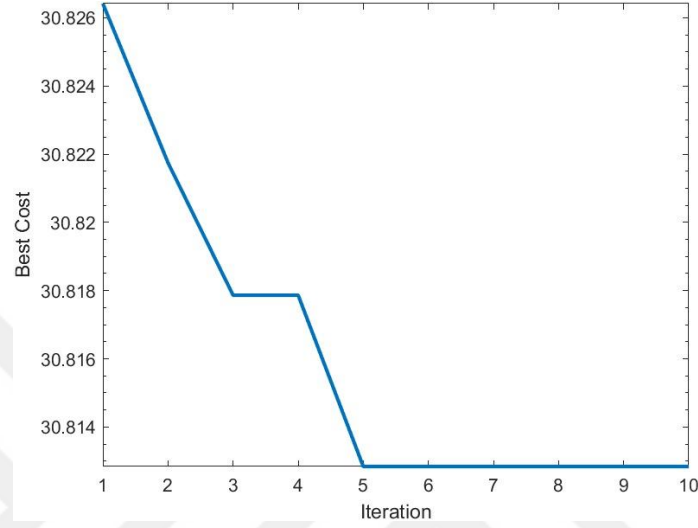
%% Results
figure;
plot(BestCost,'LineWidth',2);
semilogy(BestCost,'LineWidth',2);
xlabel('Iteration');
ylabel('Best Cost');
%grid on;

g1 = bestP(1);
l = bestP (2);
r1 = bestP(3);
r2 = bestP(4);
R = r1+r2;
L = 2*l + R;
C = round((1.5*L + 5) / (1-Y));
g2 = C - L -g1;
[C g1 g2 l r1 r2]

```

Şekil 5 - 7. Devre Süresinin PSO ile Hesaplanması

PSO algoritmasıyla Matlab programında yapılan hesaplama sonucunda devre süresi 47 saniye olarak hesaplanmıştır. Ve 47 saniyelik devre süresinde I fazda olan yeşil 19 saniye ve II fazdaki yeşil süre ise 15 saniye olarak hesaplanmıştır. Burada sarı süre 2 saniye ve aynı zamanda yanan kırmızı süre ise 1 saniye olarak belirlenmiştir. Kavşağın bütün kolunda olan gecikmelerin toplamını PSO algoritmasıyla en uygun çözümü bulmak için Webster yönteminin 3.17 formülünü kullanarak çözülmüştür.



Şekil 5 - 8. PSO Sürecinde gBest Değerleri

Şekilden de PSO algoritmasına göre maksimum iterasyon 10 olarak kabul edilmiş ve bunlardan kavşağın en az toplam gecikmesi 30.8128 olarak hesaplanmıştır. Ve PSO algoritmasına göre yapılan çalışmanın çözümleme sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5 - 6. PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümleme Sonuçları

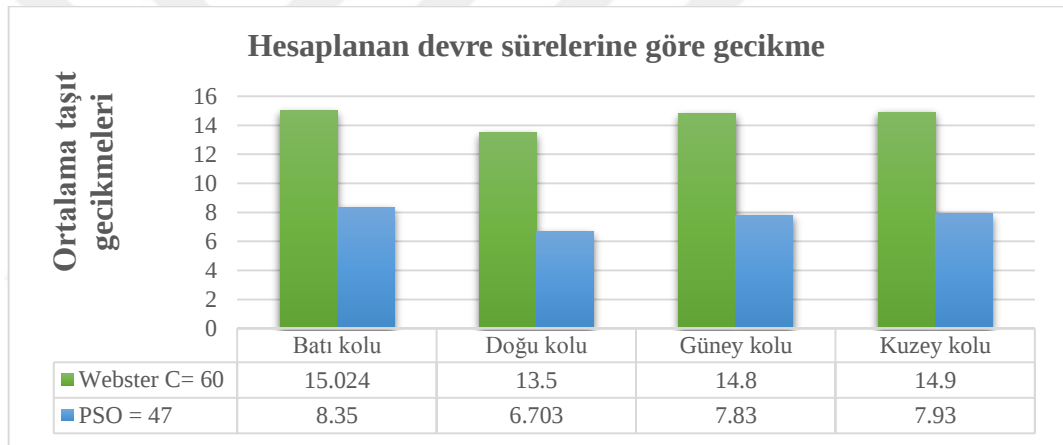
kavşak kolu	Devre süresi	Yeşil süre	Kapasite	Kuyruk uzunluğu	Ortalama gecikme
Batı 1 yönü	47	19	647	9.26	8.35
Batı 2 yönü			1528		
Doğu 3 yönü	47	19	647	8.57	6.703
Doğu 4 yönü			1528		
Güney 5 yönü	47	15	495	6.79	7.83
Güney 6 yönü			1170		
Kuzey 7 yönü	47	15	479	5.6	7.93
Kuzey 8 yönü			913		

Burada kırmızı süreler I faz için $47-19-2 = 26\text{sn}$, II faz içinse 30 saniye olarak belirlenmiştir. Ve sinyalizasyon hesaplanmasında kullanılan PSO algoritmasının kodu ekte gösterilmiştir.



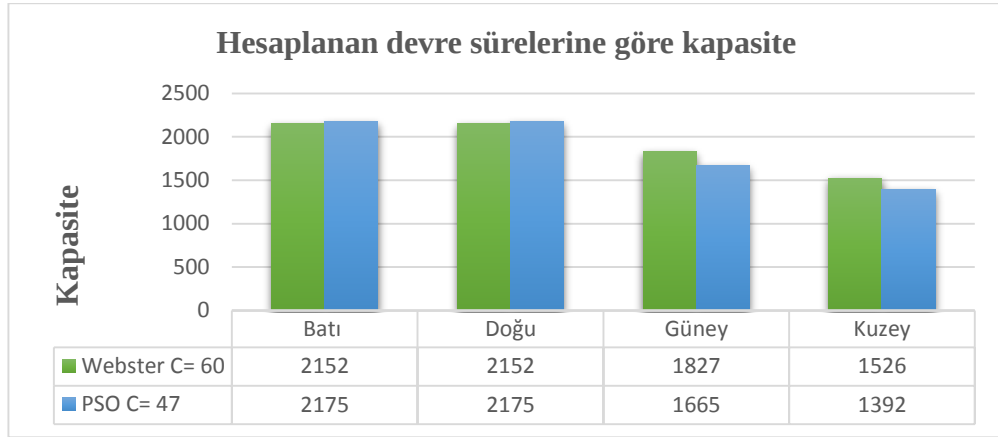
6. SONUÇ

Bu çalışmada ışıklı kavşaklardaki kavşak kapasite yöntemi olan Webster yöntemiyle ortalama taşıt gecikmeleri ve kavşak kapasite değerleri analiz edilmiş ve sonra parçacık sürü optimizasyonu algoritmasıyla en iyi değerler alınmıştır. Taşıt başına olan ortalama gecikmeler kavşak kapasitesinin önemli bir parametresidir. Yapılan hesaplamaların asıl amacı ortalama taşıt gecikmelerine dayanılmaktadır. İlk önce Webster yöntemiyle hesaplanan devre süresi 60 saniye olarak belirlenmiş ve kapasite, kuyruk uzunluğu ve gecikme gibi kavşağın performans kriterleri bu yönteme göre incelenmiştir. Sonra PSO algoritmasıyla yeni bir devre süresi 47 saniye olarak belirlenerek kavşağın performans kriterleri için çözümleme yapılmıştır. Ve bu devre sürelerine göre ortalama taşıt gecikme değerlerinin en iyi çözümünü bulmak için çözümleme sonuçları karşılaştırılmış ve şekil 6-1’de verilmiştir.



Şekil 6- 1. Hesaplanan Devre Sürelerine Göre Kavşak Kollarının Ortalama Taşıt Gecikme Değerleri

Uygulanan kavşakta en iyi ortalama taşıt gecikme değerleri PSO algoritmasıyla yapılan değerlerdir. Kavşağın bütün kollardaki ortalama taşıt gecikmelerinin toplamı Webster yönteminde 58.224 ve PSO ile yapılan hesaplamada 30.8128 olarak belirlenmiştir. Bu zaman PSO algoritmasına göre hesaplanan gecikme değerleri en iyi çözümleri vermiştir. Ve en az ortalama taşıt gecikmesi kavşağın doğu kolunda gözlemlenmiştir.



Şekil 6- 2. Hesaplanan Devre Sürelerine Göre Kavşak Kollarının Kapasite Değerleri

Hesaplanan devre sürelerine göre en düşük kapasite değeri kuzey kolunda belirlenmiştir ve en yüksek kapasite ise batı ve doğu kolunda gözlenilmiştir. Şekil 6-2’den de görüldüğü gibi PSO algoritması 47 saniye olarak belirlenen devre süresine göre performans kriterlerinde en iyi çözümleme değerlerini vermektedir.

6.1. ÖNERİLER

Trafikte yaranan ortalama taşıt gecikmelerini azaltmak amacıyla birçok yöntem kullanılmaktadır. Kavşaklar arasında koordinasyon kurulması, kavşakların geometrik düzenlemeleri ve kavşak kapasitelerinin artırılması sonucunda oluşan ortalama toplam taşıt gecikme değerlerini azaltsa da bu kalıcı bir çözüm değildir. Giderek artan teknoloji, şehirleşme ve dolayısıyla artan taşıt sayısı, şehirlerdeki trafik sıkışıklığı nedeniyle her zaman bir problem haline gelmektedir. Bu yüzden insanların bireysel araç kullanımını kısıtlayarak toplu taşıma ve ulaşım araçlarına yönelmeleri önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Nguyen, Phuong, (2019). "Multi-objective Optimization in Traffic Signal Control", A Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, De Montfort University, Leicester.
- [2] Yayla, N. 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi. 211-223
- [3] Cüceloğlu, D., (1992). İnsan ve Davranışı. Remzi Kitabevi, İstanbul.
- [4] STM. (2008). Signal Timing Manual. Department of Transportation, Federal highwayadministration (FHWA). Washington, D.C, USA.
- [5] Anonim, (2005). Karayolları Tasarım El Kitabı, KGM Yayınları, Ankara.
- [6] Sonuç, T, (1983). Turhan. Karayolu tekniği: trafik-güzergah-ekonomi-toprak işleri. Birsen
- [7] AASHTO, A. Green Book Fourth edition (2001). Policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, Page 559-582.
- [8] Planning Tank. <https://planningtank.com/transportation/road-intersection>, Erişim tarihi 17/06/2015
- [9] Gedizlioğlu, E., (2007). Trafik Yönetimi Ders Notları, İTÜ İstanbul
- [10] AASHTO. Green Book 6th Edition (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [11] Uysal, Y., (2001). Kavşak ve Kavşaklarda Sinyalizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [12] Kutlu, K.,(1993). Trafik Tekniği. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.110-130, 261-298
- [13] Alçelik, N., (2010). Kent İçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması, Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [14] Trafik Kuralları. <https://www.trafikkurallari.net/donel-kavsak-nedir.php>, Erişim tarihi 21.05.2022
- [15] Federal Highway Administration. FHWA (2010), U.S., “Department Of Transportation,Roundabouts: An Informational Guide”, page 4-3_4-22
- [16] Florida Department of Transportation, (2010). Standard Specifications for Road and Bridge Construction.

- [17] Tunç, A., (2003). Trafik mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti, Ankara, 655–783.
- [18] Massachusetts, ABD, (2006). Massachusetts Highway Department, Project Development and Design Guide.
- [19] Did You Know Cars. <https://didiyouknowcars.com/the-interesting-history-of-road-signs>, Erişim Tarihi 14.04.2022
- [20] Chowdhury, M., Apon, A., & Dey, K. (Eds.). (2017). Data analytics for intelligent transportation systems. Elsevier.
- [21] Chowdhury, M. A., & Sadek, A. W. (2003). Fundamentals of intelligent transportation systems planning. Artech House.
- [22] Ayfer, M.Ö., (1977). Trafik Sinyalizasyonu. Ankara: Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.7-82
- [23] Varlıorpak, Ç. (1982). Trafik ders notları. İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Matbaası.
- [24] Akdoğan, E., (2001), Mikrodenetleyici Kullanarak Kavşak Kontrol Cihazı Tasarımı ve Kontrol Eğitiminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] Cartagena, R. I. P., Tarko, A. P., (2005). Calibration of Capacity Parameters for Signalized Intersections in Indiana, Journal of Transportation Engineering.
- [26] Webster, F.V. and Cobbe, B.M., (1966). Traffic Signals, Road Research Technical Paper No.56, HMSO London.
- [27] Adeke, P. T., Ato, A. A., & Zava, A. E. (2018). Traffic signal design and performance assessment of 4-leg intersections using Webster’s model: A case of ‘SRS’and ‘B-division’Intersections in Makurdi Town. Traffic, 5(05).
- [28] Mousa, R. M. (2002). Analysis and modeling of measured delays at isolated signalized intersections. Journal of transportation engineering, 128(4), 347-354.
- [29] Sağiroğlu, S., Beşkok, E. ve Erler, M.,(2003). “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları - I”, Ufuk Yayıncılık, Kayseri, 1-5.
- [30] Kocabaş, Ş. VE ÖZtemel, E., (1998). “Harp Oyunlarında Yapay Zeka Uygulamaları”, Modelleme ve Simülasyon Konferansı, Ankara, 1-4.
- [31] Pandya, K. S. (2008). A survey of optimal power flow method. Journal of theoretical and Applied information technology, 4(5), 450-458.
- [32] Sarker, R. A., & Newton, C. S. (2007). Optimization modelling: a practical approach. CRC press.

- [33] Coello, C. A. (2008). Solving Engineering Optimization Problems with Simple Constrained Particle Swarm Optimizer. Meksika: Mexico D. F
- [34] Deb, K., (2004). Optimization for Engineering Design: Algorithms and Examples, Prentice Hall, New Delhi, India.
- [35] Karaca, A. Ş, (2020). Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritmaları Kullanarak Trafik Akış Probleminin Çözümü (Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [36] Osyczka, A., (1985). Multicriteria optimization for engineering design, In: Design optimization, Eds: Elsevier, p. 193-227
- [37] Karaboga, D., & AKAY, B. (2009). A survey: algorithms simulating bee swarm intelligence. Artificial intelligence review, 31(1), 61-85.
- [38] Alataş, B., Akin, E., & Özer, A. B. (2007). Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları. In ELECO 2007 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering.
- [39] Blum, C., & LI, X. (2008). Swarm intelligence in optimization. In Swarm intelligence (pp. 43-85). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [40] Yang, X. S. (2009, October). Firefly algorithms for multimodal optimization. In International symposium on stochastic algorithms (pp. 169-178). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [41] Apostolopoulos, T., & Vlachos, A. (2011). Application of the firefly algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem. International journal of combinatorics, 011.
- [42] Krishnanand, K. N., & Ghose, D. (2009). Glowworm swarm optimization for simultaneous capture of multiple local optima of multimodal functions. Swarm intelligence, 3(2), 87-24.
- [43] Dorigo, M., Maniezzo, v., & Coloni, A. (1991). DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA-POLITECNICO DI MILANO.
- [44] Karaboğa, D. (2011). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayın Dağıtım, GeniŞletilmiş 2. Basım, Ankara.
- [45] Liu, C., Yan, X., Liu, C., & Wu, H. (2011). The wolf colony algorithm and its application. Chinese Journal of Electronics, 20(2), 212-216.
- [46] Coello, C. A. C., Lamont, G. B., & Van Veldhuizen, D. A. (2007). Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems (Vol. 5, pp. 79-104). New York: Springer.

- [47] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
- [48] Cagnina, L. C., Esquivel, S. C., & Coello, C. A. C. (2008). Solving engineering optimization problems with the simple constrained particle swarm optimizer. *Informatica*, 32(3).
- [49] Eberhart, R. C., & Shi, Y. (2000, July). Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization. In Proceedings of the 2000 congress on evolutionary computation. CEC00 (Cat. No. 00TH8512) (Vol. 1, pp. 84-88). IEEE.
- [50] Google Map. [https://www.google.com.tr/maps/place/Badamdar-İsmayil Qutqaşnılı, Baku, Azərbaycan](https://www.google.com.tr/maps/place/Badamdar-İsmayil+Qutqaşnılı,Baku,Azərbaycan). Erişim Tarihi 21.10.2022
- [51] Eraslan, O. (2008). Işıklı Kavşaklarda Amerikan Ve Avustralya Yöntemleri İle Gecikme Analizi Ve Örnek Bir Kavşak Çözümü (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [52] Murat, Y. Ş., (1996). Denizli şehiriçi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [53] Akçelik, R. (2008, May). The relationship between capacity and driver behaviour. In TRB National Roundabout Conference (Vol. 18, p. 21).
- [54] Güneş, F., Bayraklı, S., & Zaim, A. H. (2020). Sinyalize bir kavşakta oluşan trafik akımının kuyruk teorisi ile performansının incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 56-65.
- [55] Çetinkaya, G. (2008). Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [56] Transportation Research Board (TRB), 2000. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board.
- [57] Dülger, C., (2009). Trafik Sinyalizasyonunun Acil Durumlarda Kontrolü için Sistem Tasarımı ve Yapımı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [58] Azərbaycan Cumhuriyeti Devlet İstatistik Komitesi. <https://www.stat.gov.az>. Erişim Tarihi 10.05.2022
- [59] Akçelik, R., 1993. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Australian Road Research Board, Research Report ARR No.123.

8. EKLER

Sinyal Zamanlama Kodu

Webster Hesap Prosedürü

```
function [result] = calcFunc(particle)
global Y;
global S;
global Q;
global C;

%y_ad = Y(2:5);
g1 = particle(1);
%g2 = particle(2);
n = particle (2);
r1 = particle(3);
r2 = particle(4);
R = r1+r2;
L = 2*n + R;
C = round((1.5*L + 5) / (1-Y));
result = inf;
if g1+L+R<C && g1> R
    g2 = C - L -g1;

    lambda(1) = g1 / C ;
    lambda(2)=lambda(1);
    lambda(3) = g2 / C ;
    lambda(4)=lambda(3);

    DD = [0 0 0 0];
    for i=1:4
        X(i) = Q(i)/(lambda(i) * S(i));
        DD(i) = (C*(1-lambda(i))^2)/(2*(1-lambda(i)*X(i))) + X(i)^2/(2*Q(i)*(1-X(i)))
- 0.65*(C/(Q(i)^2))^(1/3)*X(i)^(2+5*lambda(i));
    end
    result = sum(DD)/4;
```

```
end  
end
```

Sinyal Zamanlamasi için Kullanılan PSO Algoritmasi

```
clc;  
clear;  
close all;  
  
%% problem datas  
  
global Y;  
global S;  
global Q;  
global C;  
  
Y= 0.484;  
S= [3780 3780 3667 2860];  
Q = [709 757 520 430];  
  
P=0;  
  
%% Problem Definition  
CostFunction=@(x) calcFunc(x);          % Cost Function  
nVar=4;          % Number of Decision Variables  
VarSize=[1 nVar]; % Size of Decision Variables Matrix  
VarMin=[0 0 1 1]; % Lower Bound of Variables  
VarMax= [50 7 5 5]; % Upper Bound of Variables  
%% PSO Parameters  
MaxIt=10; % Maximum Number of Iterations  
nPop=50; % Population Size (Swarm Size)  
% PSO Parameters
```

```

w=0.5;           % Inertia Weight
wdamp=1;        % Inertia Weight Damping Ratio
c1=1.5;         % Personal Learning Coefficient
c2=2.0;         % Global Learning Coefficient
% If you would like to use Constriction Coefficients for PSO,
% uncomment the following block and comment the above set of
parameters.
% % Constriction Coefficients
%phi1=2.05;
%phi2=2.05;
%phi=phi1+phi2;
%chi=2/(phi-2+sqrt(phi^2-4*phi));
%w=chi;         % Inertia Weight
%wdamp=1;       % Inertia Weight Damping Ratio
%c1=chi*phi1;   % Personal Learning Coefficient
%c2=chi*phi2;   % Global Learning Coefficient
% Velocity Limits
VelMax=0.1*(VarMax-VarMin);
VelMin=-VelMax;

example = CostFunction([20 3 3 3]);
%% Initialization
empty_particle.Position=[];
empty_particle.Cost=[];
empty_particle.Velocity=[];
empty_particle.Best.Position=[];
empty_particle.Best.Cost=[];
particle= repmat(empty_particle,nPop,1);
GlobalBest.Cost=inf;
for i=1:nPop

    % Initialize Position
    particle(i).Position=round(unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize),P);

```

```

% Initialize Velocity
particle(i).Velocity=zeros(VarSize);

% Evaluation
particle(i).Cost=CostFunction(particle(i).Position);

% Update Personal Best
particle(i).Best.Position=particle(i).Position;
particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;

% Update Global Best
if particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost

    GlobalBest=particle(i).Best;

end

end

BestCost=zeros(MaxIt,1);
%% PSO Main Loop
for it=1:MaxIt

    for i=1:nPop

        % Update Velocity
        particle(i).Velocity = w*particle(i).Velocity ...
            +c1*rand(VarSize).*(particle(i).Best.Position-
particle(i).Position) ...
            +c2*rand(VarSize).*(GlobalBest.Position-
particle(i).Position);

        % Apply Velocity Limits

```

```

particle(i).Velocity = max(particle(i).Velocity, VelMin);
particle(i).Velocity = min(particle(i).Velocity, VelMax);

% Update Position
particle(i).Position = particle(i).Position +
particle(i).Velocity;
%particle(i).Position =myunifrnd(particle(i).Position);
% Velocity Mirror Effect
IsOutside=(particle(i).Position<VarMin |
particle(i).Position>VarMax);
particle(i).Velocity(IsOutside)=-
particle(i).Velocity(IsOutside);

particle(i).Position = round(particle(i).Position ,P);
% Apply Position Limits
particle(i).Position = max(particle(i).Position,VarMin);
particle(i).Position = min(particle(i).Position,VarMax);
%particle(i).Position =myunifrnd(particle(i).Position);

% Evaluation
particle(i).Cost = CostFunction(particle(i).Position);

% Update Personal Best
if particle(i).Cost<particle(i).Best.Cost

    particle(i).Best.Position=particle(i).Position;
    particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;

% Update Global Best
if particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost
    GlobalBest=particle(i).Best;

end

```

```

        end

    end

    BestCost(it)=GlobalBest.Cost;

    disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best Cost = '
num2str(BestCost(it))]);

    w=w*wdamp;

end
BestSol = GlobalBest
bestP = GlobalBest.Position;

%R2=1-calcR2(c)

%R2adj = 1- ((1-R2)*(nVar-1)/(nVar-2))
%% Results
figure;
plot(BestCost,'LineWidth',2);
semilogy(BestCost,'LineWidth',2);
xlabel('Iteration');
ylabel('Best Cost');
%grid on;

g1 = bestP(1);
n = bestP (2);
r1 = bestP(3);
r2 = bestP(4);
R = r1+r2;
L = 2*1 + R;

```

```

C = round((1.5*L + 5) / (1-Y));
g2 = C - L -g1;
[C g1 g2 n r1 r2]

%figure;
%c = GlobalBest.Position;
%x=0:96;
%y=c(1)+c(2)*(1-exp(-1*c(3)*(x+c(4)))));
%plot(x,y,'b',t,p,'*')

%figure;
%c = [29.20 39.24 0.0259 0.1470];
%x=0:96;
%y=c(1)+c(2)*(1-exp(-1*c(3)*(x+c(4)))));
%plot(x,y,'b',t,p,'*')
%1-calcFunc(c)

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Magsud Guliyev	
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	Bandırma Onyedli Eylül
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri
Programı	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Yüksek Lisans

Makale ve Bildiriler
Baküde Badamdar-İsmayıl Qutqaşanlı Sinyalize Kavşağında Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Webster Yöntemiyle Hesaplanması