

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK AKIM ETKİLEŞİMLERİ
VE BULANIK MANTIK İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
BALIKESİR ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YİĞİT NAZIM GÜLGEÇ

BALIKESİR, EYLÜL - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK AKIM ETKİLEŞİMLERİ
VE BULANIK MANTIK İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
BALIKESİR ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YİĞİT NAZIM GÜLGEÇ

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Füsun ÜÇER ÇİFTÇİ (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN

BALIKESİR, EYLÜL - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Yiğit Nazım GÜLGEÇ tarafından hazırlanan “SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK AKIM ETKİLEŞİMLERİ VE BULANIK MANTIK İLE DEĞERLENDİRİLMESİ (BALIKESİR ÖRNEĞİ)” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 11.09.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Füsun ÜÇER ÇİFTÇİ

Üye
Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK AKIM ETKİLEŞİMLERİ
VE BULANIK MANTIK İLE DEĞERLENDİRİLMESİ:
BALIKESİR ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YİĞİT NAZİM GÜLGEÇ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ FÜSUN ÜÇER ÇİFTÇİ)
BALIKESİR, EYLÜL - 2019**

Gelişen ve büyüyen dünya nüfusunda araç sayısı da artmaktadır. Bu durumun yarattığı sorunlardan birisi de trafiktir. Günümüzde trafik dolayısıyla zaman ve maddi kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıpların kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için trafikte alt yapı, güvenlik, sinyalizasyon ve akım etkileşimleri ele alınmalıdır. Tez çalışmasında hedeflenen yakın mesefali sinyalize kavşakları modern yöntemler ve bulanık mantık yöntemi ile çalışmalar yapıp sonuçların trafik gecikmelerine etkilerinin incelemesidir. Balıkesir şehri için Hükümet kavşağı ile Gar kavşağı arasındaki trafik etkileşimlerinin incelenmesi mevcut duruma göre değişebilir mobilize bir bulanık mantık çözüm algoritması sunulmuştur. Sunulan algoritmalar mevcut duruma göre %5-10 arasında gecikmeler konusunda iyileşmeler olduğu saptanmıştır. Bulanık mantık yönteminin webster yöntemine göre gecikme sürelerini azaltmada daha iyi bir yöntem olduğu gözlenmiştir. Bulanık mantık yöntemi ile gecikmelerin minimuma indirilmesi hedeflenmiştir. Sunulan algoritmada yanyol etkileşimleri düşünülmüş, yaya etkileşimleri ihmal edilmiştir. Gar kavşağından akan trafiğin aynı olması durumunda yeşil sürede Hükümet kavşağına katılmasının etkileri göz önüne alınmıştır. Webster ve bulanık mantık çözüm yolları ile de irdelenerek iki yöntemin de doygun akıma kadar yakın sonuçlar verdiği görülmüş, fakat doygun akımdan fazlasında ise webster yöntemin de gecikme süresinin arttığı, bulanık mantık yönteminde gecikmenin minimuma kadar indiği görülmüştür. .

ANAHTAR KELİMELEER: Sinyalize kavşak etkileşimleri, bulanık mantık etkileşim algoritması, bulanık mantık ortalama gecikme

ABSTRACT

TRAFFIC CURRENT INTERACTIONS IN SIGNALIZED JUNCTION AND EVALUATION WITH FUZZY LOGIC BALIKESİR SAMPLE

MSC THESIS

YIĞIT NAZIM GÜLGEÇ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CİVİL ENJİNİERİNG

(SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. FÜSUN ÜÇER ÇİFTÇİ)

BALIKESİR, SEPTEMBER 2019

The number of vehicles in the developing and growing world is increasing. One of the problems created by this situation is traffic. Today, time and financial losses occur due to traffic. In order to reduce these losses to an acceptable level, infrastructure, safety, signaling and current interactions in traffic should be considered. The aim of this thesis is to investigate the effects of close interchange signalized intersections with modern techniques and fuzzy logic technique and to investigate the effects of results on traffic delays. For the City of Balıkesir, the investigation of the interactions between the intersection of the Hükümet and the Gar junction, a fuzzy logic solution algorithm that is mobilized may vary according to the current situation is presented. The presented algorithms have been found to have progresses in the range of 5-10% delays according to the current situation. It has been observed that this approach can be improved. In the presented algorithm, pedestrian and side-way interactions are not considered. If the traffic flowing from the Gar junction is the same, the effects of joining the Hükümet intersection in the green period are considered. These results were also examined with deterministic solutions and it was observed that they gave close results. According to deterministic solutions, the adaptation of the algorithm to automation is important for ease of application.

KEYWORDS: Signalized junction effects, fuzzy logic interaction algorithm, fuzzy logic average delay

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Konusu	1
1.2 Çalışmanın Yöntemi.....	2
1.3 Literatür	2
2. KAVŞAKLARDA SİNYALİZASYON	6
2.1 Sinyalizasyon Kavramı ve Gelişimi	6
2.2 Trafiğin Yönetimi.....	6
2.3 Kavşaklar.....	8
2.3.1 Kavşak Yönetimi	8
2.3.2 Kavşak Tasarımını Etkileyen Faktörler	9
2.3.3 Kavşak Tipleri.....	10
2.3.3.1 Eş Düzey Kavşaklar	11
2.3.3.2 Eş Düzey Kavşaklarda Trafik Akımı	11
2.3.4 Kavşak Tasarımı İçin Gerekli Veriler.....	14
2.4 Kavşak Sinyalizasyonu.....	15
2.4.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri.....	15
2.4.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi.....	16
2.4.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi	16
2.4.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....	17
2.4.1.4 El İle Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi.....	17
2.4.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri.....	17
2.4.2.1 Senkronize Sinyalizasyon Sistemi	18
2.4.2.2 Alternatif Sinyalizasyon Sistemi.....	18
2.4.2.3 Progresif Sinyalizasyon Sistemi.....	19
2.4.2.4 Arazi Trafik Kontrol Sistemi	20
2.4.3 Kavşaklarda Trafik İşaretleri	20
2.5 Trafik Akım Dinamikleri.....	22
2.5.1 Asal Değişkenler.....	22
2.5.1.1 Akım Hacmi	24
2.5.1.2 Yoğunluğun Elde Edilmesi	25
2.5.1.3 Hızın Elde Edilmesi	26
2.5.2 Temel Trafik Akım Parametreleri Arasındaki İlişki.....	26
2.5.2.1 Akım Hacmi -Yoğunluk İlişkisi.....	27
2.5.2.2 Hız-Yoğunluk İlişkisi.....	27
2.5.2.3 Hız-Akım Hacmi İlişkisi.....	28

3. KAVŞAK GÜVENLİĞİ.....	29
3.1 Güvenlik Prensipleri.....	29
3.2 Kavşak Güvenliğini Etkileyen Parametreler	30
4. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK AKIM ETKİLEŞİMLERİ	33
4.1 Yakın Mesafeli Sinyalize Kavşaklar	33
4.1.1 Sinyalize Kavşak Karakteristikleri	34
4.1.2 Sinyalize Kavşaklarda Hız Dağılımı.....	35
4.1.3 Yakın Mesafeli Sinyalize Kavşaklarda Kuyruk Uzunluğu.....	38
5. SİNYALİZASYON HESAPLARI	42
5.1 Veri Toplama.....	42
5.2 Devre Hesap Yöntemleri	43
5.2.1 Devre Hesabı İçin Gerekli Temel Tanımlar	44
5.2.2 Amerikan Hcm Yöntemi.....	44
5.2.3 İngiliz Webster Yöntemi.....	49
5.2.4 Avustralya Akçelik Yöntemi	52
5.3 Kavşaklarda Kapasite Analizi	54
5.3.1 Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi.....	54
5.3.2 Kapasite Analiz Bileşenleri	56
5.3.2.1 Yollar İçin Uygun Koşullar.....	56
5.3.2.2 Yol Ve Trafik Bütünlüğü	56
5.3.2.3 Kavşak Tipinin Kapasiteye Etkisi	57
5.4 Sinyalizasyonlu Kavşaklarda Analizin Bulanık Mantık Tekniği İle Yapılması	58
5.4.1 Klasik Küme Teorisi	58
5.4.2 Bulanık Mantık Teorisi	59
5.4.2.1 Bulanık Mantık Küme İşlemleri.....	60
5.4.2.2 Bulanık Küme İlişkileri.....	60
5.4.2.3 Üyelik Fonksiyonları.....	62
5.4.2.4 Bulanıklaştırma	64
5.4.2.5 Üyelik Derecelerinin Atanması.....	65
5.4.3 Bulanık Mantık Kural Tabanı	65
5.4.3.1 Sözel Değişkenler.....	66
5.4.3.2 Bulanık Kurallar.....	66
5.4.3.3 Bulanık Çıkarım	67
5.4.3.4 Durulaştırma.....	67
5.4.4 Bulanık Mantık Yönteminin Trafiğe Uyarlanması.....	69
5.4.4.1 Bulanık Mantık Yönteminin Sabit Faz Düzeninde Uygulanması.....	69
5.4.4.2 Bulanık Mantık Yönteminin Değişken Faz Düzeninde Uygulanması.....	71
6. KAVŞAK ANALİZİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	74
6.1 Saha Verilerinin Toplanması	74
6.1.1 Hükümet Kavşağı Faz Düzeni ve Süreleri.....	75
6.1.2 Saatlik Trafik Hacim Değerinin Belirlenmesi	77
6.1.3 Kavşak Yaklaşım Kolları İçin Ortalama Kuyruk Uzunluklarının Belirlenmesi	78
6.1.4 Yaklaşım Kollarındaki Ortalama Taşıt İzleme Aralıkları.....	80
6.2 Ortalama Gecikme Analizinin Yapılması	80
6.2.1 Kavşak Analizinin İngiliz Webster Yöntemi ile yapılması	80
6.2.2 Ortalama Gecikmelerin Bulanık Mantık İle Analizi.....	82

6.2.2.1	Şerit İçin Ortalama Trafik Hacmi	83
6.2.2.2	Şerit İçin Ortalama Kuyruk Uzunluğu	83
6.2.2.3	Kırmızı Işık Süresinin Devre Süresine Oranı.....	84
6.2.2.4	Ortalama Gecikme Süresi	85
6.2.2.5	Veri Analizinin Yapılması ve Kural Tabanının Oluşturulması....	85
6.3	Bulanık Mantık Etkileşimli Sinyalizasyon Denetim Algoritması Önerisi	90
6.3.1	Faz Yeşil Süresini Belirleme Modülü.....	90
6.3.1.1	Yeşil Sürede Yaklaşım Koluna Katılan Taşıt Miktarı	91
6.3.1.2	Kırmızı Işıқта Oluşan En Büyük Kuyruk Uzunluğu	92
6.3.1.3	Artık Yeşil Oranı.....	93
6.3.1.4	Yeşil Faz Süresinin Değişimi Miktarı.....	93
6.3.1.5	Kural Tabanı.....	94
6.3.1.6	Durulaştırma Çıkarım Sonuçları ve Yorumlanması.....	95
6.3.2	Faz Seçici Modül	96
6.3.2.1	Kırmızı Işıқта Bekleyen Kuyruk Uzunluğu	97
6.3.2.2	Gelecek Fazdaki Kuyruk Uzunluğu	98
6.3.2.3	En Büyük Kuyruk Uzunluğuna Sahip Fazın Kırmızı Süresi	98
6.3.2.4	Faz Değişim Kararı	99
6.3.2.5	Kural Tabanı ve Durulaştırma Yöntemi.....	100
6.4	Kavşak Etkileşimin Performans Analizinin Yapılması.....	102
6.5	Yaklaşım Algoritması Sonuçlarının İrdelenmesi	104
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	104
8.	KAYNAKLAR.....	113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kavşaklarda trafik hareketleri.....	14
Şekil 2.2: Alternatif sistemler (Ayfer, 1977).....	19
Şekil 2.3: Yol – zaman gösterimi (Saplıoğlu, vd.,2010).....	23
Şekil 2.4: Taşıt sayısı - zaman ve eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimi.....	24
Şekil 2.5: Mesafeye bağlı yığışımli taşıt grafiği.....	25
Şekil 2.6: Yol-zaman eğrilerinin çıkarılması.....	26
Şekil 2.7: Akım yoğunluk ilişkisi.....	27
Şekil 2.8: Hız-yoğunluk ilişkisi.....	28
Şekil 2.9: Hız-akım hacmi ilişkisi.....	28
Şekil 2.10: Akım-hız-yoğunluk arasındaki ilişkiler.....	27
Şekil 4.1: Yakın kavşaklarda kuyruk etkileşimleri (Roubhail, vd., 1992).....	35
Şekil 4.2: Doğgun ve doğgun olmayan akımlar için trafik hızları (Roubhail, 1998).....	37
Şekil 4.3: Yakın mesafeli sinyalize kavşak operasyonları (Roubhail, vd., 1992).....	38
Şekil 5.1: Devre ve faz süreleri.....	44
Şekil 5.2: Kritik akım için akış diyagramı örneği.....	52
Şekil 5.3: Kavşak tipine göre kapasite analiz grafiği.....	58
Şekil 5.4: Küme gösterimi.....	59
Şekil 5.5: A kümesinin bulanık mantık ile gösterimi.....	59
Şekil 5.6: Bulanık mantık küme işlemleri.....	60
Şekil 5.7: Bulanık mantık ilişkileri gösterimi.....	61
Şekil 5.8: Bulanık mantık üyelik fonksiyonları genel gösterimi.....	63
Şekil 5.9: Bulanık mantık üyelik fonksiyonları (a) dış bükey (b) dış bükey olmayan.....	64
Şekil 5.10: Bulanık mantık üyelerinin değişim aralıklarının gösterimi (b) klasik.....	64
Şekil 5.11: Bulanık mantık sözel değişkenlerin gösterimi.....	66
Şekil 5.12: Bulanık bir küme girdi ve çıktıları.....	67
Şekil 5.13: EBO metodu grafik gösterimi.....	68
Şekil 5.14: AM metodu grafik gösterimi.....	68
Şekil 5.15: İBAM metodu grafik gösterimi.....	68
Şekil 5.16: İki fazlı bulanık denetim sistemi.....	70
Şekil 5.17: Tzes bulanık mantık akış diyagramı (Tzes, vd., 1995).....	71
Şekil 6.1: Kavşak planı.....	75
Şekil 6.2: Hükümet kavşağı için 1. devre süreleri.....	76
Şekil 6.3: Hükümet kavşağı için 2. devre süreleri.....	76
Şekil 6.4: 1 Numaralı faz düzeni.....	76
Şekil 6.5: 2 Numaralı faz düzeni.....	76
Şekil 6.6: 3 Numaralı faz düzeni.....	77
Şekil 6.7: Kavşak için ortalama trafik hacmi (KOTH).....	83
Şekil 6.8: Ortalama trafik kuyruk uzunluğu (OTKU).....	84
Şekil 6.9: Kırmızı ışığın devre süresine oranı (KISDO).....	84
Şekil 6.10: Ortalama gecikme saha değerleri (OG).....	85
Şekil 6.11: MATLAB programına kural tabanı girilmesi.....	88
Şekil 6.12: MATLAB veri analizi sonuçları.....	89
Şekil 6.13: Yeşil sürede yaklaşım koluna gelen taşıt miktarı (YSYGTM).....	91

Şekil 6.14: Kırmızı ışıktaki oluşan kuyruk uzunluğu (KIOKU).....	92
Şekil 6.15: Artık yeşil oranı (AYO).....	93
Şekil 6.16: Yeşil faz süresinin değişimi miktarı (YFSDM).....	93
Şekil 6.17: MATLAB analiz sonuçları.....	96
Şekil 6.18: Kırmızı ışıktaki bekleyen kuyruk uzunluğu (KIBKU).....	97
Şekil 6.19: Gelecek fazdaki kuyruk uzunluğu (GFKU).....	98
Şekil 6.20: En büyük kuyruğa sahip fazın kırmızı süresi (EKSFKS).....	99
Şekil 6.21: Faz değişimi üyelik fonksiyonu.....	99
Şekil 6.22: MATLAB sonuçları.....	102
Şekil 7.1: Karşılaştırma sonuçları.....	108

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Kavşak kol sayısının karışıklık noktası sayısına etkisi.....	13
Çizelge 3.1: Kavşak güvenliğini etkileyen parametreler.....	31
Çizelge 4.1: Araç cinsine göre uzunlukları.....	40
Çizelge 5.1: Ülkelere göre doymuş akım oranları.....	43
Çizelge 5.2: Giriş aşaması girdi parametreleri.....	45
Çizelge 5.3: Doymuş akım düzeltme katsayıları.....	47
Çizelge 5.4: Gecikme hesabı için ilerleme faktörleri.....	48
Çizelge 5.5: Gecikme sürelerine göre hizmet düzeyleri.....	49
Çizelge 5.6: Trafik kompozisyonu birim değerleri.....	51
Çizelge 5.7: Hizmet düzeyleri için gecikme ve hacim/kapasite oranları.....	55
Çizelge 5.8: Gerson beauchamp'ın kural tabanı örnekleri.....	72
Çizelge 5.9: Yapılan çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	73
Çizelge 6.1: Hükümet kavşağı için saatlik trafik sayım bilgileri (sabah, öğle, akşam).....	77
Çizelge 6.2: Bir devrede gözlenen trafik kuyruk oluşumu.....	78
Çizelge 6.3: Bir devrede gözlenen trafik kuyruk oluşumu saha verileri.....	79
Çizelge 6.4: Webster analiz sonuçları.....	81
Çizelge 6.5: Webster özet analiz sonuçları.....	82
Çizelge 6.6: MATLAB sonuçları.....	89
Çizelge 6.7: Yeşil sürede katılan araç sayıları.....	91
Çizelge 6.8: Bulanık mantık yöntemi ile kırmızı sürede oluşan kuyruk uzunluğu.....	92
Çizelge 6.9: Yeşil süresi değişimi sonuçları.....	96
Çizelge 6.10: 1 nolu yaklaşım kolu için hacim değerleri.....	103
Çizelge 6.11: 1 nolu yaklaşım kolu için hız değerleri.....	103
Çizelge 6.12: 1 nolu akım kolu için yoğunluk değerleri.....	103
Çizelge 6.13: 1 nolu yaklaşım kolu için şok dalgası hızı değerleri.....	104
Çizelge 6.14: Etkileşimli deterministik gecikme süreleri.....	104
Çizelge 6.15: Akşam trafiğı için etkileşimli bulanık mantık denetleyici sistemin uygulaması.....	105
Çizelge 6.16: Etkileşimli bulanık mantık sinyalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	107
Çizelge 7.1: Karşılaştırma sonuçları.....	110

SEMBOL LİSTESİ

ui	: Anlık hız
a i	: Anlık ivme
T	: Toplam gözlem süresi
hi	: Taşıt izleme aralığı
q	: Taşıt hacmi
t	: Zaman
k	: Yoğunluk
N	: Taşıt sayısı
x	: Yol mesafesi
t	: Zaman
xc	: Kavşak için kritik hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi)
$\Sigma(q/s)ci$: Her fazdaki kritik akım ya da akımlara ait akım oranları toplamı
D	: Devre süresi (sn)
c	: Kapasite
qP	: Zirve saat akım değeri
q	: Saatlik trafik hacimleri (taşıt/saat)
ZSF	: Zirve saat faktörü
qeşdeğer-sol dönen	: Yaklaşık eşdeğer sol dönen akım (tş/sa)
qsoldönen	: Gerçek sol dönen akım (tş/sa)
qo	: Toplam çatışan akım (tş/sa)
wa	: A kavşak kolu için gecikme değeri (sn/tş)
wi	: A kavşak kolundaki şerit grubu için gecikme değeri (sn/tş)
qi	: Şerit grubu için düzeltilmiş akım (tş/sa)
wI	: Kavşaktaki her bir taşıt başına ortalama gecikme değeri (sn/taşıt)
qa	: A kavşak kolu için düzeltilmiş akım (taşıt/saat)
g	: Etkin yeşil süre (sn)
s	: Doymuş akım (taşıt/saat)
L	: Devredeki toplam kayıp süre (sn)
ϕ	: Düzeltme katsayısı (1,2-1,8)
Yt	: Toplam akım oranı (Trafik hacmi/doymuş akım)
Y	: Her bir fazdaki kritik akımlar için doymuşluk dereceleri toplamı
I	: Yeşiller arası süre
a	: Sarı ışık süresi
l	: Bir fazdaki kayıp süre
d	: Her koldaki taşıt için ortalama gecikme (sn)
x	: Doymuşluk derecesi($(D/g)*y$) ($x = q / \delta *s$)
K	: Kırmızı süre (sn)
N	: Kuyruk uzunluğu
δ	: Yeşil süre oranı ($\delta = g/D$)
wa	: Kavşak kolu genişliği (feet)
U	: Toplam yeşil süre
K	: Duruş katsayısı

Cp	: Pratik devre süresi (sn)
Co	: Optimum devre süresi (sn)
N	: Ortalama kuyruk uzunluğu
Q	: Kapasite
Tf	: q değerinin elde edildiği süre
z	: x-1
d	: Toplam gecikme süresi
du	: Üniform gecikme süresi
dk	: Kuyruk gecikme süresi
u	: Yeşil süre/devre süresi
y	: Akım oranı
Wr	: Kırmızı sürenin başlangıcından itibaren oluşan şok dalgası hızı
V	: Kırmızı süre esnasında gelen akımın hacmi (araç/sa)
k	: Trafik akım yoğunluğu (araç/km)
kq	: Depolanan kuyruklanma yoğunluğu (araç/km)
Wg	: Yeşil sürede oluşan grup dalga hızı (km/sa)
S	: Yeşil süre esnasındaki doygun akım (araç/sa/şerit)
ks	: Doygun akım esnasında grup yoğunluğu (araç/km/şerit)
kq	: Depolanan kuyruklanma yoğunluğu (araç/km/şerit)
Wc	: Temizlenme dalga hızı (km/sa)
V	: Giriş kavşağına gelen akımın hacmi (araç/sa)
Tg	: Kuyruk boşalma süresi (sn)
R	: Kırmızı süre (sn)
Wr	: Şok dalgası hızı (km/sa)
Wg	: Grup dalga hızı (km/sa)
Lm	: Maksimum kuyruk uzunluğu.
Lb	: İki kavşak arasındaki mesafe (m)
Lj	: Kuyruktaki ortalama araç aralığı (m/araç)
Nb	: Tıkayıcı kuyruk uzunluğu
Ni	: Engellenen Kuyruk Uzunluğu
Nc	: Kritik Kuyruk Uzunluğu
Nmd	: Çıkış akımın maksimum kuyruk uzunluğu
t	: Kuyruk oluşum süresi (sn)
Qred	: Kırmızı aralık sonundaki kuyruk uzunluğu (araç)
Qmax	: Bir devre süresince oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğu (araç)

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasındaki tecrübesi, yardım ve katkıları nedeniyle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Füsun ÜÇER ÇİFTÇİ'ye teşekkür ediyorum.

Çalışmada kullanılan verilerin sağlanması araştırılması ve incelenmesi için yapılan çalışmalara yardımını esirgemeyen her konuda manevi desteğini üstümden hiç bırakmayan ve Yüksek Lisans yapmamda bana teşvik olan Eşim Ezgi GÜLGEÇ'e ve beni doğurup bu yaşlara getiren Annem Afet YILMAZ'a, ayrıca her konuda olduğu gibi tezimde de katkısı olan Dayım Zafer YILMAZ'a, teşekkür ediyorum.

Balıkesir, 2019

Yiğit Nazım GÜLGEÇ

1. GİRİŞ

Günümüzde trafik hayatın önemli bir kısmını geçirdiğimiz bir bölüm olmuştur. İnsanlar bir yerlere seyahat ederken trafiğin katılımcıları oluştururlar. Bununla birlikte trafikte güvenlik ve zaman kaybı terimleri ortaya çıkmıştır. Araçların ilk keşfinden günümüze kadar olan süreçte trafik sayıları giderek artmış ve devletler bu sorunlar için ilgili birimler oluşturmuşlardır. Devletler tarafından trafik güvenliği ve zaman kaybını önlemek için çeşitli projeler oluşturulmuştur.

1.1 Çalışmanın Konusu

Trafikte zaman kaybının önlenmesi, güvenliğin sağlanması ve kapasitenin artırılması için kavşaklarda trafik sinyalizasyon sistemleri oluşturulmaya başlanmış ve zamanla bunları geliştirmek için projeler oluşturulmuştur. Yetersiz yapılan sinyalizasyon sistemleri gecikme sürelerini yükseltmekte ve güvenliği tehdit ederek kaza ihtimalini artırmaktadır. Sinyalizasyon sisteminin gelişimine bakıldığında önce tek kavşak olarak düşünülen sistemlerin günümüzde birbiri ile etkileşimli kavşak ağının oluşturulmasına kadar gelişirilmiştir. Kavşakların birbiri ile etkileşimli olduğu ve daha etkili çözümler sunduğu görülmektedir. Çalışma konusu bulanık mantık ile trafik akım etkileşimlerinin değerlendirilebilmesi için çözüm algoritması sunulmasıdır.

Kavşağın sinyalizasyonunun doğru bir şekilde yapılabilmesi için saha gözlem verilerinin doğru bir şekilde toplanması gerekmektedir. Saha verilerin toplanması kadar önemli olan bir diğer konu da analizlerin doğru ve sorunun çözümüne odaklı olmasıdır.

Böyle bir trafik modelinin oluşturulması saha durumlarının değişkenlerinin sisteme bağlanarak mobil bir sistem kurulması gecikmelerinin minimuma çekilmesi için oluşturulmuştur.

Tezin 2. Bölümünde sinyalizasyon kavşakları hakkında temel kavramlar kavşak kapasite analizi ve elde etme yöntemleri açıklanmıştır. 3. Bölümde ise kavşak güvenliği konularına değinilmiştir. 4. Bölümde trafik akım etkileşimleri ve değerlendirme ölçütleri anlatılmıştır. 5. Bölümde saha verilerinin toplanması analizi ve Webster ile bulanık mantık gecikme sürelerinin elde edilmesi anlatılmıştır. Etkileşimli bulanık mantık sinyal denetleyicisi sistem önerisi ve etkileşimli kavşak performans ölçütlerinin hesabı ve değerlendirilmesi 6. Bölümde anlatılmıştır. 7. Bölümde oluşturulan sistemin karşılaştırılması ve faydaları tartışılmıştır.

1.2 Çalışmanın Yöntemi

Trafik sinyalizasyonunun denetiminde en çok kullanılan iki yöntem vardır. Birincisi sabit zamanlı sinyalizasyon, sürelerin daha önceden hazırlanıp uygulandığı sistemlerdir. İkincisi ise trafik uyarlamalı sinyalizasyon, günün çeşitli saatlerin de trafik verilerinin toplandığı, analizlerinin yapıp yoğunluk ve ihtiyaca göre sürelerin belirlendiği sistemlerdir.

Günümüzde daha çok trafik uyarlamalı sistemler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra etkileşimli kavşak hesapları da yapılmaktadır. Bunun için daha önceden yapılmış olan akıllı kavşak çalışmalarına paralel olarak, yapılan araştırmaları geliştirmek adına Webster ve bulanık mantık yöntemi ile irdelenmiştir.

Bulanık mantık yöntemi için Mandami yöntemi ve durulaştırma yöntemi için ağırlık merkezi birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Kural tabanının oluşturulması için saha gözlem verileri ve daha önce yapılan çalışmalar incelenip trafikte gecikme konusunda gelişme sağlanması adına özgün kural tabanları oluşturulmuştur. Oluşturulan kural tabanları gelişime açık olup daha iyi sonuçların elde edilebilmesi adına değerlendirme ölçütleri artırılabilir.

1.3 Literatür

20. yy. başlarında araç sayısının artışı ile İngilterede sinyalizasyon kavşaklarının kullanımı ile günümüze kadar bu konuda araştırmacılar araştırmalar yapmıştır.

Trafik yönetimi ve kavşak tesislerinin etkileşiminin saptanması konusunda Dokuz Eylül üniversitesi trafik ders notları incelenmiş ve bir kavşakta sinyalizasyon tesisinin kurulabilmesi için kesişen trafik yükleri veya kaza sayılarının belirli bir düzeye ulaşması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır (Varlıorpak, 1982).

Trafik sinyalizasyon çeşitleri konusunda Gazi üniversitesinde daha önce yapılan araştırmalardan faydalanmıştır (Ayfer, 1977).

Kavşaklarda yönetimde sinyalizasyondan sonra kullanılabilir ikinci yöntem trafik işaret ve levhalarıdır. Karayolları genel müdürlüğünün trafik işaretleri el kitabı kaynaklarından faydalanılarak bir kavşakta bulunması gereken işaret ve levhaları belirlenmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2004).

Bu çalışmada şehiriçi sinyalizasyonsuz kavşak kazalarının oluşmasına sebep olan insan unsuru ve araç unsuru hariç, yol ve çevre unsuru, özellikle kavşak geometrik özellikleri ile kazalar üzerindeki etkilerinin tümü ayrıntılı olarak incelenmiştir. 2001 yılında bulanık mantık ve yapay sinir ağlarına dayalı gecikme modellerinin sonuçlarını HCM ve Avustralya gecikme modelleri ile karşılaştırmış ve ortaya konan sonuçların oldukça umut verici olduğu görülmüştür. Özellikle yapay sinir ağlarına dayalı model en iyi sonucu vermiş ve bağıl hata miktarının doygun altı akım durumlarda %7 ve doygun üstü akım durumlarda %5 olduğu görülmüştür (Saplıoğlu, vd. 2010).

Webster tarafından ortaya konan gecikme modelinde kavşaklara gelen ve çıkan araçlarının dağılımının uniform olduğu ortaya konmuştur. Bu model gecikme ifadesi 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk terim düzenli araç gelişlerinden kaynaklı uniform gecikmeyi, ikinci terim düzensiz araç gelişlerinden ortaya çıkan rastgele gecikmeyi ve son olarak üçüncü terimde bir düzeltme terimi olarak kullanılmaktadır. Webster modeli doygunluk derecesinin 1'den küçük olduğu durumlarda etkili çalışmakta ve akımın kapasiteye yaklaştığı durumda bu modelin etkinliği ortadan kalkmakta ve de sonsuza giden bir gecikme tahmini yapmaktadır. Doygunluk derecesi 1'den büyük olduğu durumlarda ise kullanılamamaktadır. Doygunluk derecesi 1'den büyük olan akımlarda deterministik gecikme modelleri kullanılmakta olup bu yaklaşımda akımın devamlı kapasiteyi aştığı düşünüldüğü için bu modele sürekli aşırı akım modeli de denilmektedir. Fakat gerçek hayatta akımın

rastgelelikten ayrılmayan bir yapısı olduğu gerçeği bu yaklaşımda ihmal edilmiş olması en büyük dezavantajdır (Webster, 1958).

Rahmi Akçelik tarafından ortaya konan gecikme hesabı modeli Avustralya modeli olarakta bilinir. Bu modelde Akçelik gecikme hesabında kuyruk uzunluğu hesabı, kuyruklanmanın, kavşak hızlanma ve yavaşlamalarının gecikme üzerinede etkisi göz önünde bulundurulmuştur. 1988 yılında Akçelik yapmış olduğu çalışmada HCM modelinin kalibrasyonunu sağlayarak yeni bir model oluşturmuş ve bu modeli mevcut gecikme modelleri ile karşılaştırmıştır. Doygunluk derecesi 1'den küçük olan durumlarda kalibre edilen hesaplar mevcut modele çok yakın sonuçlar verirken, doygunluk derecesi 1'den büyük olan durumlarda alınan sonuçların grafiği deterministik modellerin eğrisine benzerlik gösterdiği görülmüştür (Rouphail, vd. 1988-1998).

1985 yılında Amerikan karayolları tarafından yayınlanan Otoyol kapasite kullanımı (HCM) koordinat dönüşüm sistemini kullanarak zamana bağlı olarak gecikme hesabını yapmıştır Koordinat sisteminin kullanılması doygun altı ve üstü durumlarda gecikmenin daha doğru hesaplanmasını ve doygunluk derecesi 1 için stokastik ve deterministik modellerde oluşan süreksizlik durumunun da ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır (HCM, 1985).

İstanbul Teknik üniversitesinde Türkiye'deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi ve tasarımın etkinliği, farklı tip kavşaklar ve farklı faz planları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş, gecikme performans kriteri dikkate alınarak ölçülmüştür. Analizler sonucunda, sola dönüş oranı arttıkça, faz sayısı artışına da bağlı olarak, sinyalize dönel kavşaklar yerine, farklı alternatiflerin tercih edilebileceği bulgusu gözlenmiştir (Tanyel, 2001).

Yapılan çalışmalarda sabit fazlı sinyalizasyon sistemlerinin bulanık mantık ile değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapmışlar ve bu konuda Webster ve Hcm yöntemlerine göre elde edilen gelişmeleri incelemişlerdir (Janecek, vd. 1995; Niitty, 1997).

Yapılan çalışmalarda değişken fazlı sinyalizasyon sistemlerinin bulanık mantık ile değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapmışlar ve bu konuda sabit fazlı sistemlere göre avantajlı olduklarını saptamışlar ve bu sonuçları grafik olarak sunmuşlardır (Tzes, vd., 1995; Beauchamp-Baez, vd., 1997; Lee, vd., 1995).

2. KAVŞAKLARDA SİNYALİZASYON

Şehirçi trafikte araç sayısının hızla artması, yerel yönetimlerin fiziksel düzenlemeler konusunda imkansızlıklar yaşamaması, trafikte ileri teknoloji kullanımını önemli bir alternatif haline getirmiştir. Trafik yönetimi, üst yapı verimliliğini arttırmakla birlikte, trafik güvenliğini en ileri seviyeye taşımaktadır. Bunun için öncelikle sinyalizasyon ve trafik yönetimi ele alınmıştır.

2.1 Sinyalizasyon Kavramı ve Gelişimi

Işıklı trafik işaretleri adlandırılan sinyalizasyon, trafiğin yönünü belirleyerek, trafikte yaya ve sürücülerin düzenli ve problemsiz olarak trafikte seyredebilmeleri için kullanılan bir sistemdir. Rasyonel bir sinyalizasyon sistemi trafik akışını düzenleyerek zaman ve ekonomiye katkı sağlamakta, trafik kazalarını azaltmakta ve güvenliği de artırmaktadır.

Sinyalizasyon ve trafik işaretlerinin tarihine bakıldığında ilk trafik ışığı on dokuzuncu yüzyılın ortalarında, İngiltere'de kurulmuştur. Yirminci yüzyılın başlarında ise New York'ta periyotlu sisteme geçilerek daha gelişmiş olarak otomatik ışıklı trafik işaretlerinin yani sinyalizasyonun temeli atılmıştır.

Türkiye'de ise sinyalizasyon alanında ilk adımlar yirminci yüzyılın ortalarında atılmış olup, büyük kentlerdeki stratejik kavşaklar dışında pek önemli gelişme sağlanamamıştır.

2.2 Trafiğin Yönetimi

Trafiğin yönetimi mevcut karayolunun trafik kural ve teçhizatları ile optimum kullanım durumunda olmasını amaçlar. Optimum kullanım ilkesi yolun sadece kapasite ve gecikme olarak optimize edilmesi değil, trafiği kullanan yaya ve araçların güvenliğini de kapsamalıdır.

Düzenlemeler yol için belirlenmiş hedefleri sağlamak amacı ile yapılmalıdır. Trafiğin kontrolü ile ulaşacağımız hedefleri;

- Yol ağındaki trafik akımlarını geliştirmek ve restore etmek,
- Bölgeye insanların ulaşımını kolaylaştırmak,
- Kazaları azaltarak yol emniyetini geliştirmek,
- Çevresel gelişme sağlamak

şeklinde sıralayabiliriz. Trafiğin yönetimi elde bulunan verilerin değerlendirilmesi tasarım ve kusur analizlerinin yapılması, yapılan analizlerle ileride karşılaşılması olası kaza ve kusurların önüne geçilmesi açısından önemlidir. En etkin trafik yönetimi önlemleri şunlardır;

- Yol kenarı durma ve park etmenin düzenlenmesi,
- Yol ağının altyapısı düzenlenerek kapasitesinin artırılması,
- Tek yön yol sistemlerinin kurulması,
- Kavşakların geometrik düzenlemeleri,
- Dönüş hareketlerinin yasaklanması,
- Yaya ve servis trafiğinin planlı bir şekilde düzenlenmesi,
- Sinyalizasyon sistemleri,
- Bölgesel trafik kontrol sistemlerinin tesisi,
- Trafik ışıkları ve yön levhalarının kullanılması,
- Yol kaplamalarının iyileştirilmesi.

2.3 Kavşaklar

Kavşaklar; kavşak yönetimi, tasarımını etkileyen parametreler ve kavşak tipleri olarak üç ayrı parametre üzerinden değerlendirilmiştir.

2.3.1 Kavşak Yönetimi

Kavşaklar sadece için de bulunduğu yolları etkilemezler, kendinden sonra gelen kavşaklarının performanslarına da etki ederler. Bir kavşağa giren ve bu kavşağı geçen taşıt trafiği miktarı; şerit sayısı, tipi ve genişliği gibi kavşak giriş platformunun özelliğine, sürücünün tecrübe, çevre koşullarına, trafik akımının karakteristiklerine ve trafik kontrol tedbirlerine bağlıdır.

Kontrollü kavşaklar, trafik kontrol işaretleri, ışıklı veya ışiksiz levhalar ve polis ile kontrol edilebilirler. Kavşağın kontrol altına alınması sinyalizasyon işlemi, kontrol altına alınmış kavşağa ise sinyalize kavşak denir.

Bir kavşakta sinyalizasyon tesisinin kurulabilmesi için kesişen trafik yükleri veya kaza sayılarının belirli bir düzeye ulaşması gerekir. Bu nedenle;

- Şehirci yollarda şerit başına düşen araç sayısının 750 taşıt/sa. aşması halinde,
- Şehirci yollarda tali yollarda 125 taşıt/sa. ve ana arterde 500 taşıt/sa. aşması halinde,
- Sinyalize tesis kurulduğunda bir yıl boyunca önlenebilecek trafik kaza sayısının en az 5 olması durumunda,
- Yaya yoğunluğu olarak, günün en kalabalık 8 saati boyunca saatte ortalama 250'den fazla yayanın bir yolu kullanması ve bu yoldan kavşağa gelen araç trafiğinin 600 taşıt/sa aşması halinde, söz konusu kavşağın sinyalizasyonu gerekmektedir. (Varlıorpak,1982)

2.3.2 Kavşak Tasarımını Etkileyen Faktörler

Kavşak tasarımını etkileyen faktörler ve bunların alt faktörleri aşağıda özetlenmiştir.

İnsan faktörü

- Sürücü alışkanlıkları,
- Sürücünün karar verme kabiliyeti,
- Karar verirken reaksiyon süresi,
- Hareket yörüngesine uyum,
- Yaya alışkanlıkları ve kavşağın kullanım sıklığı.

Trafik faktörü

- Mevcut kapasitenin tasarım kapasitesi ile uyumu,
- Dönüş trafiğini de içeren trafik hacim değeri (taşıt sınıflarına göre saatlik, günlük hacim değerleri),
- Zirve saat trafik değerleri ve sürekliliği,
- Taşıtların nitelik ve boyutları,
- Taşıt hareketlerinin ayrılma, katılma, örülme, kesişme olarak dağılımı,
- Taşıtların ortalama hızları,
- Trafik kazalarının sayısı ve analizi,
- Yaya hareket ve yoğunlukları.

Fiziksel faktörler

- Kavşakların geometrik özellikleri,
- Çevresel etkenler,
- Güvenlik ölçütleri,
- Trafik işaretlemeleri ve aydınlatma donanımları,
- Yaya geçitleri.

Ekonomik faktörler

- Yapım maliyeti,
- Bakım ve işletme maliyeti.

İşlevsel kavşak alanı

Bir kavşak fiziksel ve işlevsel olarak iki bölümle tanımlanabilir. Kesişen yolların birleştiği bölge fiziksel alanı oluşturur. İşlevsel alan ise, fiziksel alanı da içine alan, reaksiyon-algıma, manevra ve depolama mesafelerini de kapsayan alan olarak tanımlanır.

2.3.3 Kavşak Tipleri

Kavşaklar eş düzey ve farklı seviyeli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Eş düzey kavşaklar; kol sayısına göre, üç kollu, 4 kollu ve çok kollu olarak veya işaretleme veya adalar ile yapılan yönlendirmeye göre kanalize edilmiş yada kanalize edilmemiş olarak belirlenir.

Farklı düzeyli kavşaklar; Bir veya daha fazla yolun kesişmesi durumunda çatışmaları ortadan kaldırmak amacıyla tasarlanırlar. Burada amaç çatışmaları kaldırmak için farklı düzeyde kesişmeyi sağlamaktır. Aşağıdaki durumların sağlanması durumunda tasarlanması istenir.

- Yolun işlevsel sınıflama derecesinin yüksekliği,
- Trafik hacminin fazlalığı,
- Kapasite yetersiz olması,
- Güvenliğin artırılması ihtiyacı, gibi şartlardan bir veya birkaçının bir arada olması durumunda tasarlanır.

2.3.3.1 Eş Düzey Kavşaklar

Trafik akımlarının aynı düzlemde kesişmesi durumunda eş düzey kavşak adı verilir. Eş düzey kavşaklar, kol sayısına göre dört ana tipte gruplandırılır.

- Üç kollu kavşaklar (T veya Y kavşaklar)
- Dört kollu kavşaklar
- Çok kollu kavşaklar
- Dönel kavşaklar

Eş düzey kavşaklarda trafik akımını incelemek gerekirse; nüfus, teknolojik gelişmelerin yoğun kullanımı ve araç sayısındaki artış ile kavşaklardaki kaza sayısı da artmaktadır. Sinyalizasyonlu kavşakların sayısı sinyalizasyonsuz kavşaklardan azdır. Sayının fazla olması kaza sayısında sinyalizasyonsuz kavşaklarda daha fazla olacağı anlamına gelir. Sinyalizasyonsuz kavşakların güvenliğinde yol geometrik özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bir eş düzey kavşakta dört çeşit trafik hareketi bulunabilir. Bu hareketler şunlardır;

- Ayrılma
- Katılma
- Kesişme
- Örüme

2.3.3.2 Farklı Seviyeli Kavşaklar

Gecikmelere karşı en köklü çözüm kavşağın farklı düzeyli tipte (katlı) yapılmasıdır. Bununla birlikte, katlı kavşakların bazı sakıncaları vardır: Büyük yatırım gerektirmektedir. Kentiçi yollarda ve özellikle merkez bölgelerinde kavşak için kullanılacak alan sınırlıdır. Gereksiz hız artışına neden olabilmektedirler. Bir hat boyunca tüm kavşakların benzer olması uygun olacaktır. Farklı seviyeli kavşaklar aşağıdaki gibi gruplandırılır.

- T veya Trompet tipi
- Y veya Direksiyonel tipi
- Yarım yonca tipi
- Yonca tipi
- Diamond tipi
- Direksiyonel tipi
- Dönel tipi

Yollardaki trafik hacmine göre, farklı düzeyli kavşağın ne zaman gerektiği hakkında bir değer vermek zor olmakla beraber, aşağıdaki durumlarda bu tip kavşak tesisi zorunlu ve uygun olmaktadır.

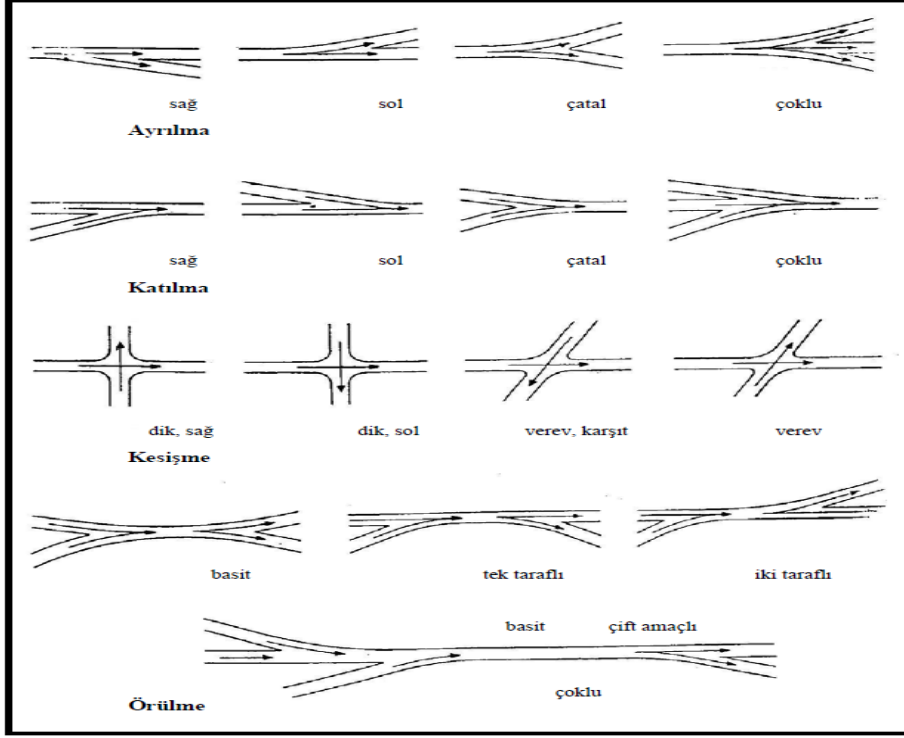
- Otoyollar gibi giriş kontrollü hız yollarında
- Alınan çeşitli önlemlere rağmen trafik sıkışıklığının azaltılamadığı eşdüzey kavşaklarda
- Topoğrafik koşullar itibariyle eşdüzey kavşağın daha zor ve pahalı olacağı yerlerde uygun olmaktadır.

Ayrılma, anayol trafiğinden taşıtların tali yola geçmesi durumudur, Şekil 1 de gösterildiği gibidir. Katılma tali yolda bulunan araçların anayol trafiğine dahil olması durumudur. Kesişme birbirini ne ters yöndeki iki trafik akımının bir noktada

kesişimine denir. Örülme ise bir veya birden fazla ayrılma katılma noktalarının çakışması veya kesişmesi durumudur (Şekil 2.1). Çakışma veya kesişme hareketi ayrılma, katılma, doğrusal geçişler ve dönüşler olarak sıralanabilirler. Ayrılma, kesişme, çakışma ve katılma gibi hareketler trafikte karışıklık yaratır ve kaza olma olasılığını artırır. Belirtilen bu noktalarda araçlar hız düşürmek veya kural hatası yaparak kaza ihtimalini yükseltir. Bu duruma muhtemel kaza sahası denir. Çizelge 2.1 de kavşaklarda yol sayısına göre karışıklıkların adedi verilmiştir. (Varlıorpak, 1982).

Çizelge 2.1: Kavşak kol sayısının karışıklık noktası sayısına etkisi (Varlıorpak, 1982).

Kavşağa ulaşan çift yön sayısı	Karışıklık noktalarının sayısı			
	Kesişme	Yaklaşma	Ayrılma	Toplam
3	3	3	3	9
4	16	8	8	32
5	49	15	15	79
6	124	24	24	172



Şekil 2.1: Kavşaklarda trafik hareketleri. (Varlıorpak, 1982).

2.3.4 Kavşak Tasarımı İçin Gerekli Veriler

Kavşak tasarımı için trafik ve bölgesel planlamalara ihtiyaç vardır.

Bölgesel veriler

- Kavşak bölgesinin topografik haritası ve plankotesi,
- Kesişen yolların geometrik özellikleri, en kesit, boy kesit tipleri ve yol kaplama durumları,
- Mevcut alt yapı sistemi ve zemin etüdü,
- Kavşak bölgesinde bulunan yerel, imar yolları, mevcut veya planlanmış kavşakların kategori ve tipleri,
- Mevcut imar durumu,
- İlgili yerel yönetim, idarenin yol gereksinimleri,

- Kavşak bölgesinde bulunan tesislerin ihtiyaçları ve konumu.

Trafik verileri

- Anayol ve tali yolların trafik sayımları,
- Zirve saat trafik değerleri,
- Taşıtların cinsi,
- Anayol ve tali yollar için taşıt hızları,
- Yaya trafik sayımları ve hareketleri,
- Kaza raporları, analizleri,
- Mevcut kavşakların kapasite analizleri,
- Planlanan kavşakların kapasite analizleri.

2.4 Kavşak Sinyalizasyonu

Genel olarak sinyalizasyon sistemlerini izole ve koordine sistemler olarak ele alınır.

2.4.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri

İzole sinyalizasyon sistemleri, diğer kavşaklarda bulunan sinyalizasyon sistemleri ile herhangi bir bağlantısı olmayan ve diğer sinyalizasyon tesislerini etkilemediği sistemlerdir. Ayrık sistemler olarak da adlandırılır. Dört başlıkta incelenebilir.

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi
- Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

- Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

2.4.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi

Sabit zamanlı sinyalizasyonda devre süreleri, faz süresi, faz sayıları ve değişim aralıkları daha önceden belirlenir. Sistemde değişik yönlerden yaklaşan araç ve yaya trafiğine daha önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilmektedir. Kavşağı kullanan araçlara verilecek geçiş hakkı süreleri ve bu sürelerin birbirine olan oranı ortalama trafik yükü değerine göre hesaplanır. Dolayısıyla bu sistemin başarılı olabilmesi yapılacak sayımların çok sayıda ve güvenli olması gerekir. Türkiye’de daha çok sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminde, kavşağı değişik yönlerden yaklaşan araç ve yaya trafiğine önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilmektedir.

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin avantajları:

- Trafik hacminin düzenli ve tahmin edilebilir olduğı kavşaklarda,
- Ana yol-tali tol birleşimlerinde ana yolun kesintisiz kullanılmasını öngören sistemler, olarak ifade edilebilir.

2.4.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Bu sistemde araçların geçiş hakkı sıra ve süreleri, detektörler tarafından saptanan trafik talep ve yoğunluklarına göre düzenlenir. İki farklı şekilde uygulanabilir.

- Yarı-trafik uyarmalı sistemde, kavşak kollarından birisi referans kabul edilip diğer yollardan gelen uyarılara göre sistem oluşturulur. Genellikle ana yol niteliğinde olan yol üzerindeki akım yönlerine sürekli olarak yeşil ışıklı sinyal verilir

ve tali yol veya yolların herhangi birinden geçiş talebi uyarısı alınmadıkça cephe gruplarının ışıklı sinyallerinde bir değişiklik olmaz.

- Tam-trafik uyarmalı sistemde ise, kavşak kolları üzerinde bulunan tüm yollardan gelen uyarılar dikkate alınarak düzenlenir. Geçiş hakkı ve süreleri, uyarı ve trafik yoğunluklarına göre otomatik ve şaşırtmalı olarak programlanır.

2.4.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Sinyalizasyon tesisleri genellikle kavşak olmayan bazı bağlantı yollarında, kavşak giriş ve çıkışlarında yaya trafiğinin fazla olmadığı yollarda kurulur. Sürekli geçiş hakkı bulunan taşıt trafiğinde yaya verdiği uyarı ile geçiş hakkı elde eder.

2.4.1.4 El İle Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

El ile kumandalı sinyalizasyon sistemleri, herhangi bir kavşaktaki bütün işaretli cephe grupları bir kumanda çizelgesine bağlanarak işaretli sinyallerin dışardan yönetilmesini sağlar. Bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş bulunan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerden büyük sapmalar ve dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır. Bu sistem taşıt ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekte, fakat talepler dışarıdan gözlem ile belirlenmektedir.

2.4.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

Aynı ana yol üzerinde bir veya birden fazla kavşağın trafik hareketlerinin ve yarattığı sıkışıklıkları gidermek amacı ile kavşakların sinyalizasyon sistemlerinin ortak çözülmesidir. İzole sinyalizasyon sisteminde olduğu gibi, koordine sinyalizasyon sistemi de dört değişik biçimde gerçekleştirilebilir:

- Senkronize Sistem
- Alternatif Sistem

- Progresif Sistem
- Arazi Trafik Kontrol Sistemi

Sinyalize edilen iki kavşak arasındaki uzaklık 750 metreden az ise, dalga hareketleri bozulmayacağından, bu kavşaklar arasında bir koordinasyon kurulması gerekebilir. Koordine sistemler daha uzak kavşaklar arasında da kurulabilmekte birlikte, bunun başarısı dalga hareketinin bozulmamasını sağlamak için araç hızlarının istenilen mertebede tutulabilmesi olanağına bağlıdır.

2.4.2.1 Senkronize Sinyalizasyon Sistemi

Bu sistemde, birbirine bağlanan kavşaklarda ana yol üzerindeki ve aynı güzergâhtaki araçlar için yeşil sinyali verilir.

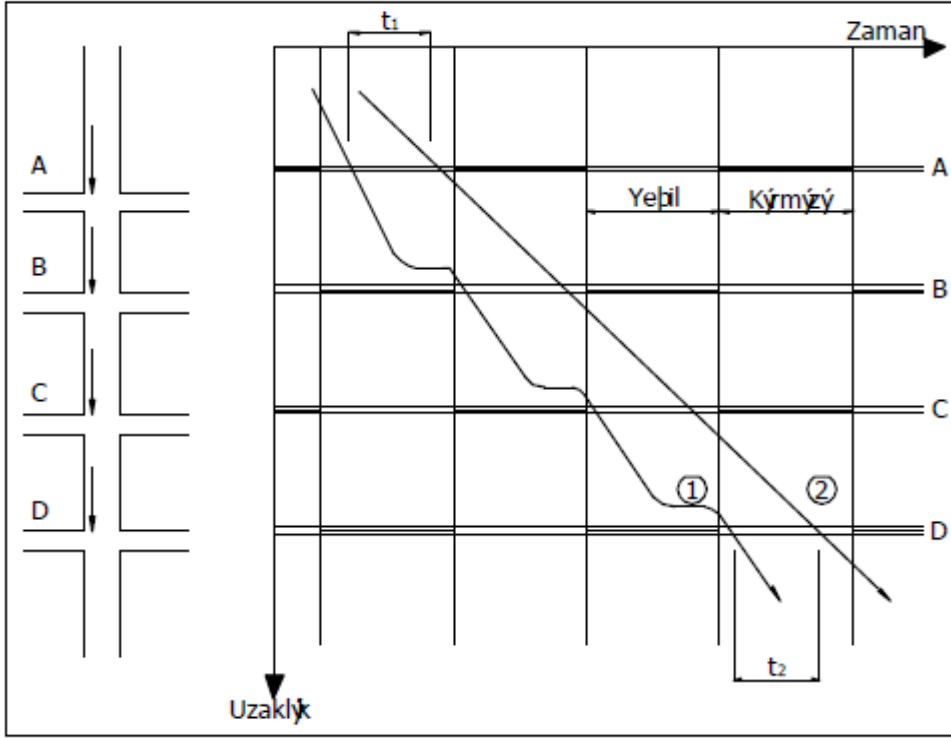
Genel olarak verimsiz bir sistem olup, birini bağlayan kavşaklarda kapasiteyi düşürür, uygulaması güçtür. Hızların artmasına sebebiyet verir. Yetersiz zaman ayarları ile her kavşağa uymayabilir, karışıklık olur. Tali yollardan çıkarak dönüş yapacak taşıtlar günlük içinde kalırlar. Bütün kavşakların sinyalli, kavşaklar arasının kısa olması ve ana yola daha fazla yeşil bırakılması gereken durumlarda kullanılabilirler.

2.4.2.2 Alternatif Sinyalizasyon Sistemi

Sistem de birbirini izleyen kavşaklarda zıt ışık verilmesi prensibi vardır. Sistem Şekil 2.2’de görüldüğü gibi birbirini izleyen kavşaklarda zıt ışıklar verilerek aradaki yolu bir devrenin yarı süresinde araçlara kat ettirebilmektir.

Şekil 2.2’de görülebileceği gibi (2) numaralı araç proje hızına yakın bir hızda seyrettiğinden bütün kavşaklarda yeşil ışık bularak geçmekte, kalkışından sonra yüksek hızla seyreden (1) numaralı araç ise her kavşakta durmak zorunda kalmaktadır. (A) kavşağında (2) numaralı araç (1) numaralı aracın t1 saniye gerisinde iken (D) kavşağı geçildiğinde bu zaman farkı ancak t1-t2 kadar artmaktadır.

Dolayısıyla alternatif sistem, hızlı giden araçları beklemeye zorladığından araç hızlarında bir düşme olacağı söylenebilir.



Şekil 2.2: Alternatif sistemler (Ayfer,1977).

Alternatif sistemi etkileyen en önemli parametre uzaklıktır. Uzaklık ardışık kavşaklar arasında ki mesafenin birbirine yakın olması sistemin daha iyi çalışacağı anlamına gelir. Etkileyen diğer önemli parametreler ise yeşil ve kırmızı süreler, araçların seyir hızına bağlı olarak değerlendirilir.

2.4.2.3 Progresif Sinyalizasyon Sistemi

Sistemde birbirini izleyen kavşaklarda devre ve faz süreleri aynı olup, proje hızına uygun seyir eden araçların kesintisiz trafiğe devam etmesi amaçlanmıştır. Bu sistemlerde özellikle belirli hız limitleri dışına çıkmadan seyreden taşıtların birbiri ardınca her kavşakta durmadan geçiş hakkı elde edebilmeleri için, zaman-uzaklık ilişkisi içinde bulunmaları gerekir. Bu ilişkiye “yeşil dalga” denir. Yeşil dalga içinde seyreden bir taşıt her kavşakta kesinlikle yeşil ışıklı sinyal bulacaktır.

2.4.2.4 Arazi Trafik Kontrol Sistemi

Daha önce ifade edilmeye çalışılan sistemler, aynı doğrultu üzerinde yer alan kavşaklar arasındaki gecikmeleri azaltmak veya en uygun işletmeyi gerçekleştirmek amacı ile bir yeşil dalga tesis etmek için uygulanmaktadır. Ancak, birçok farklı doğrultu üzerindeki trafik akımları için aynı ilkenin uygulanması söz konusu olursa, kesişmeler nedeniyle basit bir koordinasyon sistemi kurularak çözüme ulaşılması mümkün olmamaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin tümü arasında genel olarak gecikmelerin minimuma indirilmesini sağlamak üzere, özellikle şehir içi yollarda belirli bir bölgeye ait kavşaklardaki ışıklı işaret tesislerinin tümü arasında bir koordinasyon sağlayıp düzenleme ve kontrolün bilgisayar kullanılarak yürütüldüğü sistemlere bölge trafik kontrolü adı verilmektedir (Ayfer, 1977).

Bu sistem, özellikle büyük kentlerin ana yol şebekelerinde uygulanır ve aşağıda özetlenmiştir:

- Sistemin kurulduğu çevrede trafik verilerinin aktarıldığı bir merkezin olması gerekir,
- Elde edilen verilere göre önceden hazırlanmış sinyal programları arasından en uygun olanının bilgisayar aracılığı ile seçilmesi,
- Seçilen programların sinyalize tesislerine iletilerek uygulanmasıdır.

2.4.3 Kavşaklarda Trafik İşaretleri

Trafik işaretleri yolu kullanan bütün unsurlara yapılacak uyarı ve ikazların yazı veya işaretlerle iletilmesidir. Yol işaretçilerinin amacı; yol güvenliği, seyahat hızı, yol kapasitesi, sürücü konforu ve rahatlığı olarak tanımlanan yol ağının servis kalitesini iyileştirmektir. Trafik kontrol ve uyarı işaretleri aşağıdaki esasların bir veya birden fazlasını barındırıyor olmalıdır.

- Bir ihtiyacı karşılıyor olmalı,
- Yeterince dikkat çekici olmalı,

- Karmaşık olmamalı anlaşılabilir olmalı,
- Saygı ve itibar ediliyor olmalı,
- Kolay okunabiliyor olmalı,
- İşaret ile verilen emrin yerine getirilebilmesi için kullanıcıya yeterli zamanı tanıyor olmalıdır

Trafik işaretlemelerinin sınıflandırılması

1. Tehlike Uyarı İşaretleri (T - Grubu)

2. Trafik Tanzim İşaretleri (TT - Grubu)

- Öncelik bildiren trafik işaret levhaları
- Yasaklama ve kısıtlama bildiren trafik işaret levhaları
- Mecburiyet bildiren trafik işaret levhaları

3. Bilgi İşaretleri (B - Grubu)

- Kavşak öncesi yön levhaları
- Diğer yön levhaları
- Yer ve sınır levhaları
- Meskûn mahal isim levhaları
- Coğrafi bilgi levhaları
- Karayolları teşkilatına ait bilgi levhaları
- Uzaklık levhaları

4. Durma ve Park Etme İşaretleri (P - Grubu)

5. Yapım Bakım Onarım İşaretleri (YB - Grubu)

6. Paneller (Karayolları Genel Müdürlüğü,2004).

2.5 Trafik Akım Dinamikleri

Trafik akım dinamikleri, trafik akımını modellemek ve daha detaylı inceleyebilmek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Trafik akımı tümevarım veya tümünden gelim modeli ile modellenebilir. Tümevarım tekniği ile trafiğin geneli, tüm dengelim tekniği ile her bir taşıt özelinde incelenebilir. Bu iki yöntemin karma olarak da incelenebilir.

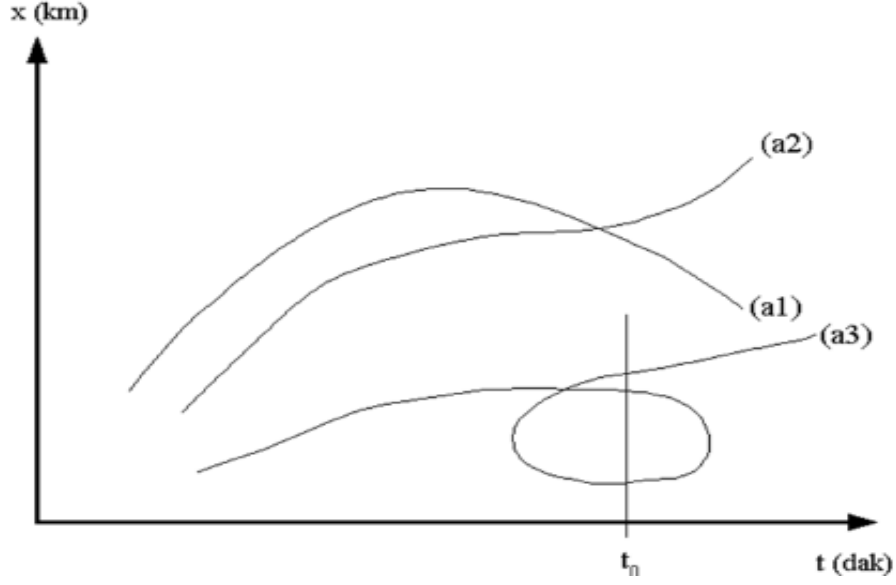
Trafik akımı için değişkenler asal ve türetilmiş değişkenler olarak iki gruba ayrılabilir. Trafik akımının asal ve türetilmiş değişkenler mevcuttur, bu türetilmiş değişkenler asal değişkenlerden türetilmektedir. Asal değişkenler zaman, uzunluk ve taşıt sayısından oluşur. Türetilmiş değişkenler yoğunluk, hacim ve hız değişkenlerinden oluşur.

2.5.1 Asal Değişkenler

Trafik akımı için üç tane daha küçük bileşenlerine ayrılmayan asal değişken tanımlanabilir. Bunlar yol boyu (x) metre, zaman (t) saniye, trafik taşıt birimi (n) olarak söylenebilir.

- **Yol – zaman gösterimi**

Şekil 2.3’de gösterilen a1 ve a2 eğrileri taşıt hareketlerini doğrudan ifade etmektedir. A1 eğrisi bir yönde taşıtın hareket ettiğini, ilk olarak bir yönde hızlanıp daha sonra yavaşlayıp ters yönde harekete geçtiğini gösterir. A2 eğrisi ise ilk başta durma pozisyonunda olup daha sonra a1 eğrisindeki taşıt ile aynı yönde harekete geçmektedir. A3 eğrisi hiçbir yörüngedeki hareketi ifade etmez, çünkü a3 eğrisi a1 ve a2 ye göre herhangi bir zamanda birden fazla konumda bulunuyor. Geçerli bir taşıt yörüngesi her t değeri için ayrı bir x değeri ortaya koymalıdır (Saphioğlu, ve Karaşahin,2010).



Şekil 2.3: Yol – Zaman gösterimi (Saplıoğlu, Karaşahin, 2010).

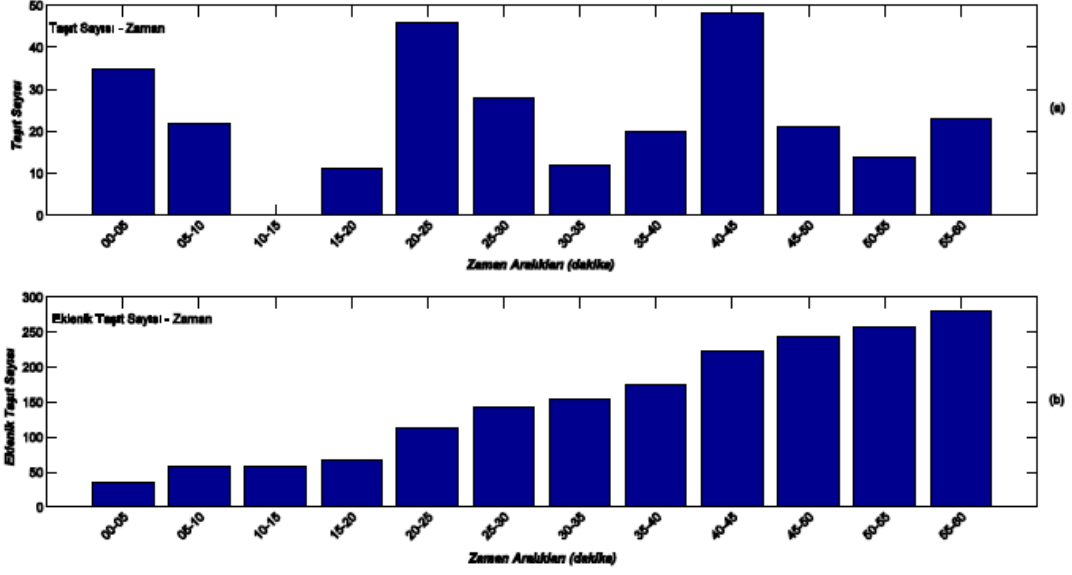
Yörünge üzerinde çizilen teğetin eğimi yani türevi o noktadaki hızı, ikinci türevi ise o noktadaki anlık ivmeyi verir. Nokta hız, bir anda bir taşıtın sahip olduğu hız olarak tanımlanabilir. Bunu tespit etmek yoldaki trafik sensörleri ile ölçülür. Bağıntı 2.1 ve 2.2 de gösterildiği gibi taşıt yolunun zamana göre birinci türevi hız değerini, ikinci türevi ise anlık ivme değerini verdiği gösterilmektedir.

$$u_i = dx / dt \quad (2.1)$$

$$a_i = d^2x / dt^2 \quad (2.2)$$

• Taşıt sayısı - zaman gösterimi

Taşıt zaman gösterimi Şekil 2.4a’da gösterildiği gibi taşıt hacminin zamanın küçük birimleri dâhilinde gösterilmesidir. Eklenik taşıt –zaman gösterimi ise Şekil 2.4b’de görüldüğü gibi belirli bir nokta için zamanın küçük birimlerinde taşıt hacminin yekûn olarak toplamını ifade eder. Eklenik taşıt-zaman değişimi grafiğinin bir veya birden fazla kesitte çizilmesi ile yolun belirli kısmı için yolculuk süresi, taşıt sayısının zaman aralıklarında yığışımlı yoğunlukları ve kesitler arası taşıt değişimleri bulunabilir.



Şekil 2.4: Taşıt sayısı - zaman ve eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimi (Saplıoğlu, Karaşahin, 2010).

Şekil 2.4a'da 1 saat boyunca 5 dk ara ile o kesitten geçen taşıt miktarını gösterir, başka bir ifade ile taşıt sayısı - zaman değişimini ifade etmektedir. Şekil 2.4b'de 1 saat boyunca o kesitten geçen taşıt sayısının zamanın biriminde yekûn olarak toplamını, ($\Sigma N-T$) eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimini Şekil 2.4'de ifade etmektedir.

2.5.1.1 Akım Hacmi

Belirli bir yolun bir kısmı veya tamamı için birim zamanda geçen taşıt miktarını ifade eder. Zaman birimi saat, dakika veya saniye olabilir. Trafiğin asal değişkenleri ile ifade edilecek olursa taşıt hacmi $q = n / t$ ampirik olarak ifade edilebilir; burada taşıt sayısının hacime oranı olur ve birimi taşıt/saat'tir

Taşıtlarının birbirini güvenle takip edebilmesi için güvenli mesafe ve zaman cinsinden ifadesi incelenir. Taşıt izleme aralıklarının birbirine yakın olması durumu taşıt kullanıcılarının birbine benzer davranışlar sergilediğini gösterir. Bu durumda akım hacmi ile taşıt izleme aralığı ilişkilidir. Bağıntı 2.3'de gösterildiği gibi toplam gözlem süresi taşıt izleme aralıklarının toplamı olarak gösterilmiştir. Bağıntı 2.4'de ise akım hacminin taşıt sayısı, izleme aralığı ile değişimi gösterilmiştir.

$$T = \sum_{i=1}^n h_i \quad (2.3)$$

$$q = \frac{n}{\sum_{j=1}^n h_j} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j} = 1/h \quad (2.4)$$

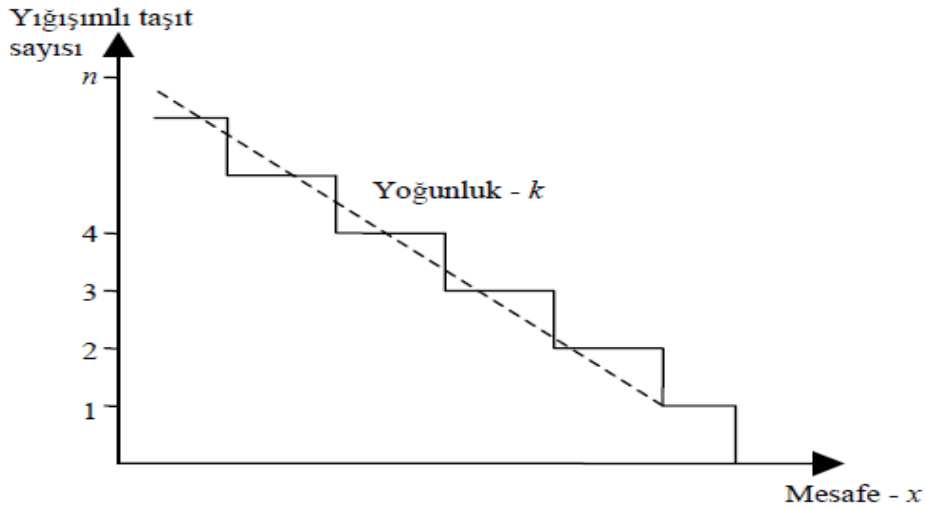
T: Toplam gözlem süresi

h_i: Taşıtların izleme aralığı

q: Taşıtların hacmi

2.5.1.2 Yoğunluğun Elde Edilmesi

Yoğunluk, belirli yol uzunluğu içerisinde ve yolun belirli bir kesiminde bir anda var olan taşıtların sayısının sayılması ile elde edilir. Bağlantı 2.5 ile Şekil 2.5’de yığılımlı taşıtların sayısının mesafeye göre değişimi olarak yoğunluğun elde edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Mesafeye bağlı yığılımlı taşıtların sayısının grafiği (Saplıoğlu, Karaşahin, 2010).

$$t = \Delta t \rightarrow k = \frac{N}{x} \frac{ts}{km} \quad (2.5)$$

t: Zaman

k: Yoğunluk

N: Taşıtların sayısı

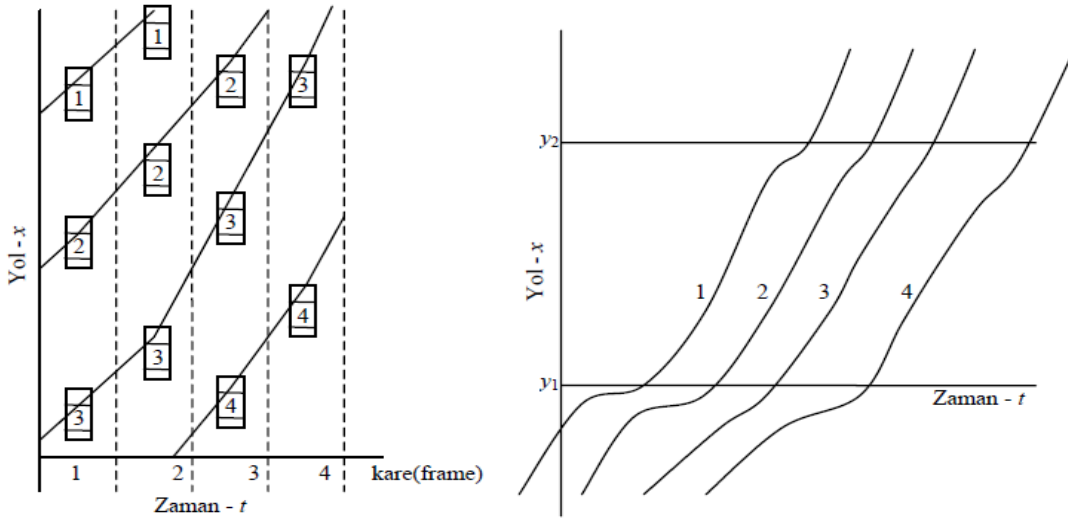
2.5.1.3 Hızın Elde Edilmesi

Trafik birimin birim zamanda aldığı yolu ifade eder. Genellikle bir saniye veya bir saat birim zaman olarak dikkate alınır. Nokta hız, bir anda bir taşıtın sahip olduğu hız olarak tanımlanabilir. Ortalama hız: Bir noktadan diğerine giden bir taşıtın aldığı yolun, durma dâhil kaybettiği zamana oranıdır. Akım hızı, taşıt hızından oldukça farklı, genellikle taşıtların ortalama hızlarından da düşük, yol üzerindeki akım durumunun hızıdır. Yolculuk hızı, taşıtın bir duruşundan bir diğer duruşuna kadar aldığı yolun, bu yolu aldığı süreye oranıdır. Şekil 2.6'da yol-zaman eğrilerinin çıkarılması gösterilmiştir.

$$N \rightarrow 1 \quad U = \frac{x}{t} \text{ km/sa} \quad (2.6)$$

x: Yol mesafesi

t: Zaman



Şekil 2.6: Yol-Zaman eğrilerinin çıkarılması (Varlıorpak, 1982).

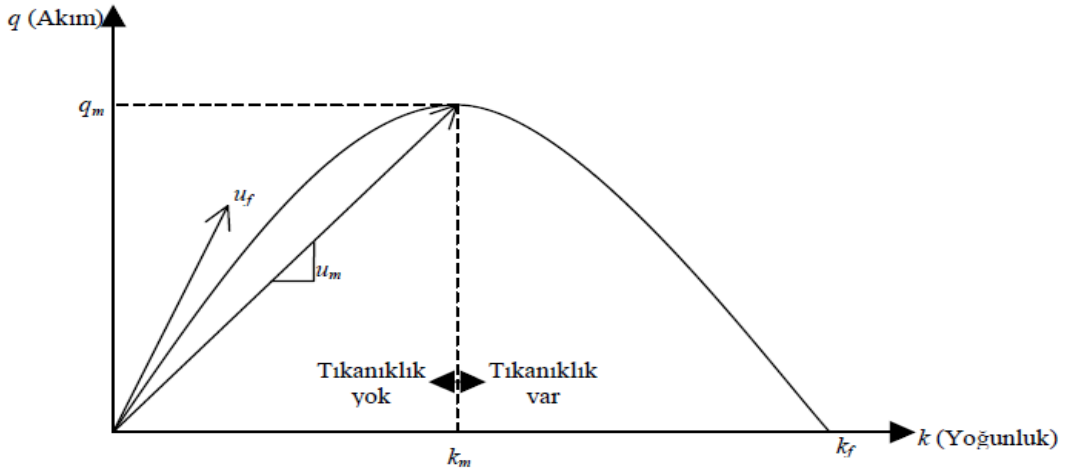
2.5.2 Temel Trafik Akım Parametreleri Arasındaki İlişki

Trafik temel akım parametreleri arasındaki ilişki 3 yönde incelenmiştir. Bunlar akım hacmi-yoğunluk, hız-yoğunluk ve hız-akım hacmi ilişkisi şeklinde aşağıda açıklanmıştır.

2.5.2.1 Akım Oranı -Yoğunluk İlişkisi

Akım oranı (q) herhangi bir yol kesiminin dikkate alınan bir kesitinden yada bir şeridinden bir saatten daha az bir süre içinde geçen taşıt sayısının saatlik değeridir. (Başkan,Ö.,Ceylan, H., 2007)

Akım oranı: Şeritte bulunan trafik hacminin doymuş akıma oranını ifade eder. Akım oranı - yoğunluk ilişkisi Şekil 2.7'deki grafikte görülmektedir. Yolun kapasitesine erişinceye kadar akım arttıkça yoğunlukta artmaktadır. Bu noktadan sonra yoğunluk artmaya devam ettikçe hacim düşüşe geçer. Bu durum araçlar tampon tampona gelinceye ve tam anlamıyla tıkanıklık oluşana kadar devam eder. Bu noktada yoğunluk en büyük değerini alır ve hacim sıfıra düşer. Bu grafikte, herhangi bir noktayı orjinle birleştiren doğrunun eğimi, q/k oranından akımın hızını verir. Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi serbest hızı verir.

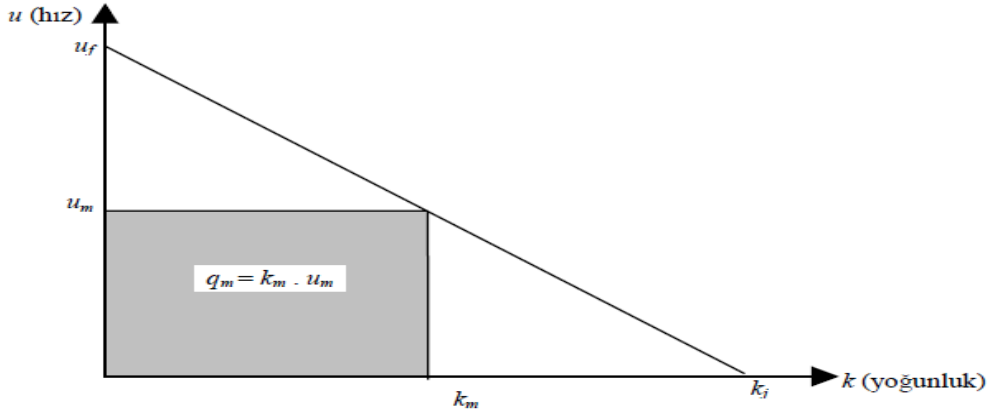


Şekil 2.7: Akım yoğunluk ilişkisi (Varlıorpak, 1982).

2.5.2.2 Hız-Yoğunluk İlişkisi

Bir taşıtın veya bir akımın yolun fiziki özelliklerinin ve aracın mekanik özelliklerinin izin verdiği ölçüde, yapabileceği maksimum hıza serbest akım hızı denir. Serbest akım hızına ulaşabilmek için ortam şartları da önemlidir, bu ortam şartları trafikte akım yoğunluğunun az olup trafikte taşıtların birbiri ile etkileşiminin az

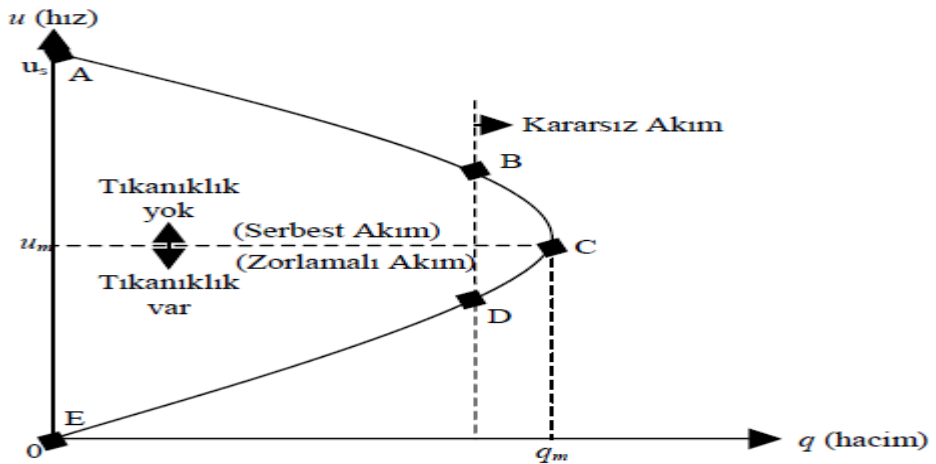
olmasıdır. Bu uygun durumun oluşması için yoğunluğun yaklaşık sıfır olduğu kabul edilebilir. Yani bir akımın serbest akım hızına ulaşabilmesi için yoğunluk sıfır olmalıdır. Şekil 2.8’de yoğunluğun sıfır olduğu noktada hız maksimumdur.



Şekil 2.8: Hız-Yoğunluk ilişkisi (Varlıorpak, 1982).

2.5.2.3 Hız-Akım Hacmi İlişkisi

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi, tıkanıklığın olmadığı serbest akım bölgesinde akım arttıkça hız düşmektedir. Bu durum kapasiteye ulaşınca kadar devam eder. Kapasite aşıldıktan sonra hem akım hem hız düşüşe geçerler. Kapasitenin hemen altında ve üstündeki bölgede trafik akımı kararsız bir hal almaktadır; akımın, AB bölgesinde serbest ve DE bölgesinde zorlamalı aktığı bilinmektedir.



Şekil 2.9: Hız-Akım hacmi ilişkisi (Varlıorpak, 1982).

3. KAVŞAK GÜVENLİĞİ

Trafik güvenliği konusu dünya genelinde önemli görülmektedir. Daha çok güvenlik konusunda alkollü araç kullanma, yol verme önceliği, aşırı hız gibi kaza analizleri yapılarak sonuçlara ulaşması amaçlanmaktadır. Avrupa birliği üyesi ülkelerden bazıları bu yaklaşımla güvenliği artırıp kaza oranını düşürmüşlerdir. Avrupa’da farklı bir yaklaşım olan sürdürülebilir güvenlik araç, altyapı ve insan arasında etkileşimleri konu alır.

Sürdürülebilir Güvenliğin amacı, mevcutta bulunan sorunların analizi ve gelecekte karşılaşılabilecek sorunları öngörerek önlemini almaktır. Sürdürülebilir güvenlik sisteminin Türkiye’de uygulanması yayaların trafik kurallarına uyması ve alt yapının trafik güvenlik ölçütüne uygunluğu ile alakalıdır.

Sürdürülebilir güvenlik sistemleri kaza noktalarının belirlenmesi, analiz ve çözüm yolunun sunulması konusunda önemlidir. Türkiye’de hemzemin kavşakların kaza oranı diğer kavşaklara göre daha fazladır. Bu kavşaklarda kaza raporlarının toplanması analizi ve çözümleri kavşakların işlevliği açısından önemlidir. Güvenliğin optimum düzeye çekilmesi ve işlevsellik konusunda önemli bir çözüm yöntemidir.

3.1 Güvenlik Prensipleri

Sürdürebilir güvenlik sistemlerinin referans noktası insanlardır. O yüzden insanların sınırları ve yetenekleri düşünülerek uygulanmalıdır. Karayolu kullanıcılarının yetenek ve sınırlarına göre tasarlanan yolda kullanıcılarına gerekli bilgilendirilmeler gerekli uyarılar yapılmalıdır. Trafik karayolu altyapısı, kullanıcıları, araçları ve yönetmeliği ile sistem olarak kabul edilmelidir.

Trafiğin güvenliğini asgari seviyede karşılamak için; yolun tasarımı, yolun kullanımı ve yolun kullanım ilkeleri referans alınarak bir model oluşturulmalıdır. Yolun fonksiyonu yolun kullanımı için gerekli kuralları içerir. Yolun tasarımı yolun geometrik ve fiziksel hususlarını içerir. Yolun kullanımı ise yolun gerçekteki kullanım şekli ve ihtiyaca karşılık vermesi hususudur.

Güvenliğin daha fonksiyonel tasarım için; işlevsellik, homojenlik, tanınabilirlik ve affedebilirlik ilkeleri referans alınmalıdır. İşlevsellik konusunda farklı tasarlanan yollar için farkı analizler ve uygun çözümlerin sunulmasıdır. Homojenlik karayolu ağında bulunan araçların kütle ve hız farklarının azaltılmasını konu alır. Kavşak veya yolların özelliklerinin sürücüler tarafından fark edilebilir ve anlaşılır olması gerekir. Kavşaklarda kaza oranının minimize edilmesi konusunu ele alır.


3.2 Kavşak Güvenliğini Etkileyen Parametreler

Kavşak güvenliği için sınır değerler aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmiştir. Dört kollu kavşakta ki çakışma ve karışma noktası otuz, üç kollu iki kavşakta toplam çakışma sayısı dokuz olduğu biliniyor. Bu bilgiye dayanarak dört kollu bir kavşağın iki adet 3 kollu kavşağa dönüştürülmesi halinde kaza oranı yüzde 40 azalacağı araştırmalarda tespit edilmiştir. Bu durumun ikinci açıklaması üç kollu kavşakta görüş mesafesinin daha açık olduğu içindir

Kanallama sayesinde kavşakta oluşacak çakışma ve karışma noktalarının kısıtlanması ve çeşit bakımından azaltılması amaçlanmaktadır. Türkiye’de trafik hacmi yüksek olan kavşaklarda sol dönüş şeridi yapılması zorunlu koşulmuştur. Araştırmalarda sinyalizasyonlu kavşaklarda sol dönüş serdi yapılması halinde kaza oranının yüzde 38 azaldığı istatikselsel olarak tespit edilmiştir.

Kanallama sayesinde kavşakta oluşacak çakışma ve karışma noktalarının kısıtlanması ve çeşit bakımından azaltılması amaçlanmaktadır. Türkiye’de trafik hacmi yüksek olan kavşaklarda sol dönüş şeridi yapılması zorunlu koşulmuştur. Araştırmalarda sinyalizasyonlu kavşaklarda sol dönüş serdi yapılması halinde kaza oranının yüzde 38 azaldığı istatikselsel olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1: Kavşak güvenliğini etkileyen parametreler (Saplıoğlu, Kardeşin, 2010).

Sınır ölçüler	Üç kollu kavşaklar	Dört kollu kavşaklar
Kavşak kolları arası açı derece cinsinden	 <p>Açının 90 derece olması ideal durumdur. $70 < \text{açı} < 110$ durumu ideale yakın, $110 < \text{açı} < 120$ izin verilen en yüksek sınır, $60 < \text{açı} < 70$ minimum izin verilen, $\text{açı} < 60$ ve $\text{açı} > 120$ ise istenmeyen durumdur. Açının 60 dan küçük olması durumunda kaza sayısı %50 oranında artıyor.</p>	
Kavşak kol sayısı	Üç kollu kavşaklar dört kollu kavşaklara göre %30 daha emniyetlidir.	
Kanallama	Sol dönüş şeridi var ise kaza ihtimali %8 azalır.	Sol dönüş şeridi var ise kaza ihtimali %10 azalır.
	Sol dönüş şeridi var ise kaza ihtimali %8 artar.	Sol dönüş şeridi var ise kaza ihtimali %10 artar.
Şerit genişliği	3,5 < şerit < 3,75 metre ideal sınır olup 3,5 metreden küçük olması durumunda kaza ihtimali %20 artar.	
İki kavşak arası mesafe	Mesafenin 50 metreye eşit veya büyük olması ideal durumudur. 50 metre den küçük olması durumunda kaza ihtimali %15 artar.	
Yol kenarı engellerin yola mesafesi	Yol kenarında bulunan ve diğer kavşaktan gelen aracın görüşünü engellemesi durumudur. Engelin yola mesafesi 3 metreden büyük olmalıdır.	
Boyuna eğim yüzdesi	Boyuna eğimin %2 den küçük olması istenir ve tehlikeli sayılabilecek eğim yüzdesi %6'dan büyük olması durumudur.	
Yol aydınlatması	Yol aydınlatmalarının olması trafiği daha güvenli kılar. Aydınlatma olmayan yollara göre %80 daha güvenli bir durumdur.	
Yol kaplaması durumu ve yağış durumu	Yol kaplamasının ıslak, hasarlı olması durumudur. Şehir içi yapılan kazaların %20 si bu yüzden meydana gelmektedir. Yağış etkisinin %16 olduğu tespit edilmiştir. Gece kaza oranlarının da daha fazla olduğu tespit edilmiştir.	
Ağır taşıt yüzdesi	Zirve saat hacminin %5'ni aşarsa tehlikeli durumlar oluşturur.	
Hız durumu	Hız sınırın aşılması tehlikeli bir durum olup istatistiksel olarak 30 ila 50 arası ideal kabul edilir.	

Türkiye’de yapılan kazaların büyük bir bölümü şeritlerde araçların manevra yapamamasıdır. Araçların manevra yapamayıp şerit ihlali yaparak kaza oluşmadır. Türkiye’de dar şerit kavramı 3,5 metreden daha şeritler için kullanılmaktadır.

Kavşaklar için düz bir yol en iyi durum olmakla beraber, şehir içinde yükselti farklarının olması ve eğimli yolların yapılması zorunlu olduğu hallerde eğimin %2’yi aşmaması amaçlanır.

4. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK AKIM ETKİLEŞİMLERİ

Birbirlerinin trafik hacmi, kapasitesi, kuyruklanma, ortalama gecikme, doymun akım değerleri vb. durumlarını etkileyebilecek yakınlıktaki bir veya birden fazla kavşağa ikili kavşak denir. İkili kavşakları kategorize etmek gerekirse aşağıdaki gibi kategorilere ayrılabilir.

- Otoyol giriş ve ıkışları,
- Yakın mesafeli izole kavşaklar,
- Ortasında geniş bir alana sahip kavşaklar,
- Sinyalize demiryolu geçişleri,
- Farklı bölgelere yönlendirilmiş T kavşaklar.

Yukarıda belirtilen kavşaklar; sinyalize edilmiş şehir içi ve şehir dışı yol ağlarında, şehir giriş ve çıkışlarında her geçen gün sayılarında büyük bir artış göstermektedir. Çalışmada sinyalize şehir içi kavşakların trafik etkileşimleri, bunların Webster ve Bulanık mantık ile değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. Bunun için şehir içinde en fazla kullanılan kavşak tipinden olan yakın mesafeli izole kavşaklardan biri olan Hükümet Kavşağı ve bununla etkileşimli olan Gar Kavşağı irdelenmiştir.

4.1 Yakın Mesafeli Sinyalize Kavşaklar

Yakın mesafe sinyalize kavşaklar; Birbirini etkileyebilecek yakınlıkta ve tek bir devre süresi içinde olan geniş bir sinyalizasyon kontrol sistemi olarak tanımlanabilir.

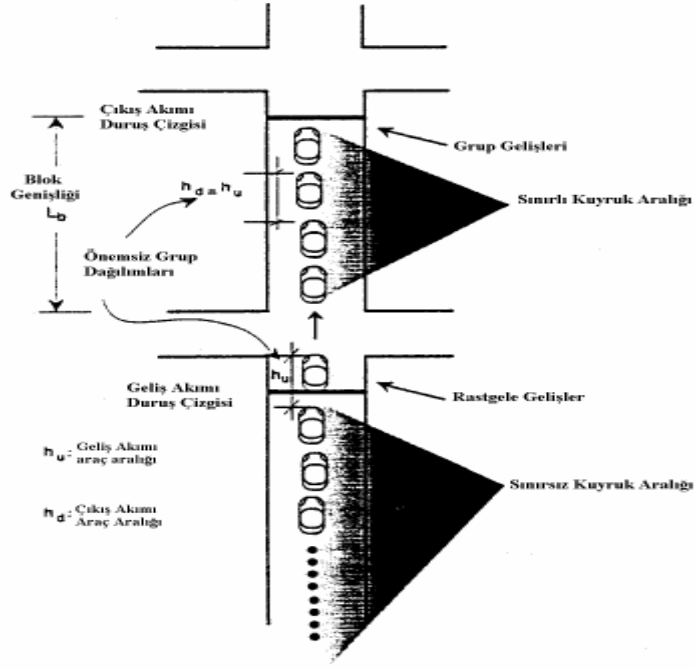
Yakın mesafeli sinyalize kavşaklarda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan birisi, koordineli sinyalize edilmiş iki kavşak arasındaki kuyruk oluşumu

ve yaklaşım kollarından gelecek araçların geçişini engellememektir. Bu sorunun önünü geçilmesi önemli bir husustur. Bu nedenle kavşak hesabı yaparken kuyruk etsini göz önünde bulundurulması gerekir. Kuyruk etkisi akımın karakteristiğini belirler.

Kuyruk etkileşimleri incelendiğinde; Birbirine yakın olana iki kavşak için akım karakterini bozduğu, hacimde artış ve hacim/kapasite oranında artış yaşandığı görülür. Yakın mesafe kavşakların sinyalizasyon hesaplarının yapılmasında kuyruk etkilerinin dâhil edilmesi daha doğru bir analiz için önemlidir.

4.1.1 Sinyalize Kavşak Karakteristikleri

- Kavşağa gelen akım rastgeledir. Trafik akımı kesintiye uğramamaktadır.
- Çıkış kavşağında oluşan trafiğin büyüklüğü, bu trafiğe katılacak araçlarla buradaki araç miktarı ise geliş kavşağındaki sinyal zamanlaması ve çıkış kavşağındaki akım talebine bağlıdır.
- Yakın kavşaklarda, trafik parametreleri çıkış yolunun kuyruk uzunluğuna bağlıdır (Şekil 4.1).
- Sinyalize iki kavşak arasında, giriş ve çıkış kavşakları arasındaki mesafe kısa ise, grup halinde çıkış kavşağından çıkan araçlar giriş kavşağına grup halinde girer. Bu durumda grup dağılımının önemi kalmaz ve araçlar birbirine yakın seyrederek.
- İki kavşağın arasında kaybolan veya artan araç trafiği önemsizdir.
- Yakın kavşaklarda, kuyruk uzunluğu kapasitede öngörülen sınırı aştığında kavşak kitlenecektir. Fakat giriş kavşağında kuyruk uzunluğu öngörülmemiştir. Sadece çıkış kavşağında trafik kitlenecektir.



Şekil 4.1: Yakın kavşaklarda kuyruk etkileşimleri (Rouphail, ve Akçelik 1992).

4.1.2 Sinyalize Kavşaklarda Hız Dağılımı

Yakın mesafeli kavşaklarda; araçlar birbirine yakındır ve giriş, çıkışlardaki yeşil, kırmızı ışık süreleri nedeniyle yavaşlayıp hızlanacaktır. Bu hızlanma, yavaşlama olayını inceleyecek olursak; şok dalgası hızı, grup dalgası hızı, temizlenme dalgası hızı ve kuyruk boşalması hızı parametreleri başlığında aşağıdaki gibi irdelenecektir.

- Şok dalgası hızı (W_r): Yeşil sinyal ile giriş kavşağından geçen trafik akımı ve bu akımın kırmızı ışık ile çıkış kavşağına hızının V 'den sıfıra düşmesi ile; ortalama araç aralığının 7 metre olduğu kuyruklanmanın geriye doğru yayılması ile oluşan hıza denir (Bağıntı 4.1).

$$W_r = \frac{\Delta_v}{\Delta_k} = \frac{V}{k_q - k} \quad (4.1)$$

W_r : Kırmızı sürenin başlangıcından itibaren oluşan şok dalgası hızı (km/sa)

V : Kırmızı süre esnasında gelen akımın hacmi (araç/sa)

k: Trafik akım yoğunluğu (araç/km)

kq: Depolanan kuyruklanma yoğunluğu (araç/km).

• Bağntı 4.2’de grup dalga hızı (W_g): Kavşakta, kırmızı ışık nedeniyle oluşan kuyruklanmanın Amerikan Hcm yöntemine göre doygun akıma ulaştığı varsayılrısa, bu kuyruklanmanın yeşil ışık yandığında oluşturduğı hıza denir.

$$W_g = \frac{\Delta_v}{\Delta_k} = \frac{V}{k_q - k_s} \quad (4.2)$$

W_g : Yeşil sürede oluşan grup dalga hızı (km/sa)

S: Yeşil süre esnasındaki doygun akım (araç/sa/şerit)

k_s : Doygun akım esnasında grup yoğunluğu (araç/km/şerit)

kq: Depolanan kuyruklanma yoğunluğu (araç/km/şerit).

• Temizlenme dalga hızı (W_c): Yeşil ışık yandığında; çıkış kavşağının durma çizgisinde itibaren araçların oluşturduğı hızdır (Bağntı 4.3).

$$W_c = \frac{\Delta_v}{\Delta_k} = \frac{S-V}{k_s - k} \quad (4.3)$$

W_c : Temizlenme dalga hızı (km/sa)

S: Yeşil süre esnasındaki doygun akım (araç/sa)

V: Giriş kavşağına gelen akımın hacmi (araç/sa)

k_s : Doygun akım esnasındaki grup yoğunluğu (araç/km)

k: Trafik akım yoğunluğu (araç/km).

Hız büyüklüleri $W_c > W_g > W_r$, şeklinde olması beklenir.

• Kuyruk boşalması (T_g): Çıkış ile giriş kavşağı arasında etkileşimi ifade eder. Birimi saniyedir. Çıkış kavşağına gelen trafik akımının doygun olmadığı varsayılr. Eğer doygun kabul edilmez ise trafik boşalmayacaktır. Kuyruk boşalması

ve maksimum kuyruk uzunluğu aşağıdaki bağıntılardan faydalanılarak bulunabilir (Bağıntı 4.4).

$$L_m = W_g \cdot T_g \quad (4.4)$$

$$T_g = \frac{W_r}{W_g - W_r} r \quad (4.5)$$

T_g: Kuyruk boşalma süresi (sn)

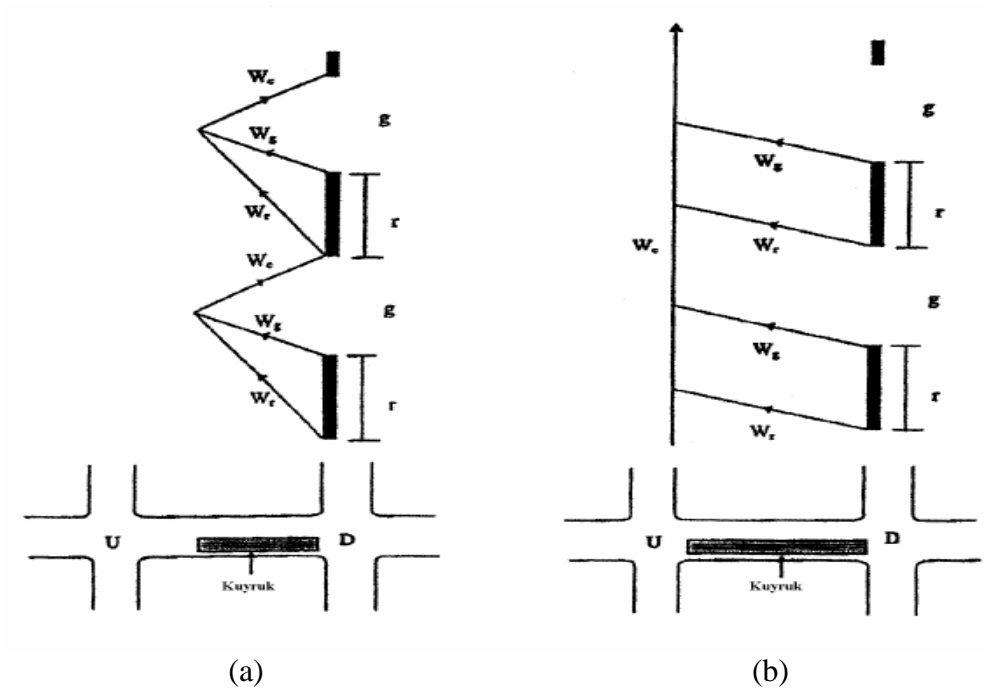
r: Kırmızı süre (sn)

W_r: Şok dalgası hızı (km/sa)

W_g: Grup dalga hızı (km/sa)

L_m: Maksimum kuyruk uzunluğu.

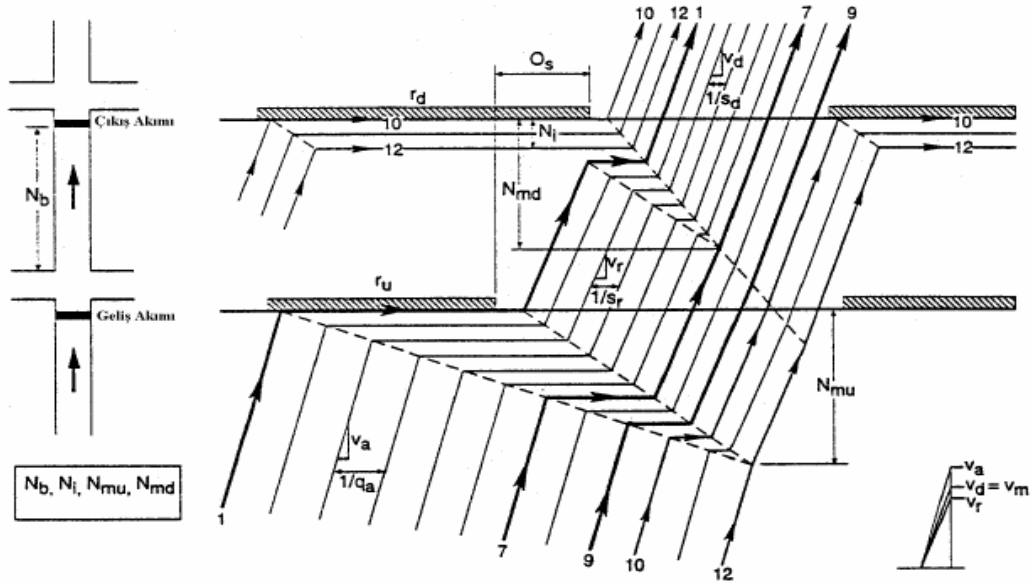
Yakın kavşaklarda çıkış kavşağındaki doygun ve doygun olmayan akımlar için dalga değişim hızları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: (a) Doygun ve (b) doygun olmayan akımlar için trafik hızları (Rouphail, Akçelik 1992).

4.1.3 Yakın Mesafeli Sinyalize Kavşaklarda Kuyruk Uzunluğu

Yakın mesafe sinyalize kavşaklarda kuyruk uzunluğu; Kavşağa giren akım doygunluğu ve kavşaktan çıkacak akıma göre belirlenir. Kavşak için oluşabilecek kuyruk uzunluğu tahmin edilse de bunun maksimum olması durumunda trafik zorlanacağı için istenmeyen bir durumdur. Bunun için iki kavşak arası maksimum kuyruk uzunluğunun olması önlenmelidir. Şekil 4.3'de kavşak operasyonları için ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.



Şekil 4.3: Yakın mesafeli sinyalize kavşak operasyonları (Rouphail, N.M. & Akçelik R. (1988-1998)).

Şekil 16'da oluşan dört farklı kuyruk araç etkileşimlerinin farklı olmasından dolayı oluşmuştur. Bunlar; engellenen kuyruk uzunluğu, kritik kuyruk uzunluğu, tıkayıcı kuyruk uzunluğu ve çıkış akımı maksimum kuyruk uzunluğudur. Bu kuyruk uzunluklarından aşağıda bahsedilmiştir.

- Engellenen Kuyruk Uzunluğu (N_i)

Birinci kavşaktan çıkan araçların ikinci kavşakta geçemeyip oluşturduğu kuyruktur. Bu kuyruk uzunluğunun Şekil 4.3'de 10 ile 12 arasında gösterilmiş olup oluşumu rastgeledir.

- Kritik Kuyruk Uzunluğu (N_c)

Geliş kavşağından çıkan araçların; belirli hız (V_m) ve ivme ile ikinci kavşağa gelmesi, burada ikinci kavşakta kuyruk bulunması durumunda burada engellenir. Engellenen araç belirli ivme ile yavaşlar ve durursa ikinci kavşak için maksimum kritik kuyruk uzunluğu oluşacaktır.

- Tıkayıcı Kuyruk Uzunluğu (N_b)

Geliş-çıkış kavşağı arasında ki yolun araçlarla fiziki olarak dolması nedeniyle geliş kavşağındaki araçların hareket edememesidir. Bu olay maksimum kuyruk oluşumudur. Bağntı 4.6'da tıkayıcı kuyruk uzunluğu hesaplanabilir.

$$N_b = \frac{L_b}{L_j} \quad (4.6)$$

L_b : İki kavşak arasındaki mesafe (m),

L_j : Kuyruktaki ortalama araç aralığı (m/araç).

Kuyruktaki ortalama araç aralığı olan (L_j) Kavşakta bulunan araçların nitelik dağılımına bağlıdır. Kavşakta bulunan ağır ve uzun araçların (L_j) ye etkisi aşağıda özetlenmiştir.

- Ağır ve uzun araçlar, otomobillere nazaran büyük ve geniş oldukları için daha geniş bir yol kesimini kaplamaktadır.
- Ağır ve uzun araçlar, otomobillere göre daha düşük hareket, hızlanma ve manevra kabiliyeti zayıf olduğu için alanların verimsiz kullanımına sebep olur.

Çeşitli araçlar için araç uzunluklarının sınıflandırılması Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Araç cinsine göre uzunlukları (Tanyel, 2001).

Araç cinsi	Uzunluk	Hesaplarda kullanılan uzunluk
Otomobil	2,5-6,0 metre	6,0 metre
Minibüs, kamyon	6,5-8,0 metre	7,5 metre
Otobüs	10,0-12,0 metre	12,0 metre
Körüklü otobüs	16,0-18,0 metre	17,0 metre

- Çıkış Akımın Maksimum Kuyruk Uzunluğu (Nmd)

Yakın mesafeli iki kavşak arası oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğudur. Burada kuyruğu; çıkış kavşağına geliş kavşağından ve yan yaklaşım yolundan gelen araçlar oluşturur. Kuyruk uzunluğunun hesabı Bağntı 4.7'de gösterilmiştir.

$$Q_{red} = r \cdot q \quad (4.7)$$

$$t = \frac{Q_{red}}{s-q} \quad (4.8)$$

$$Q_{max} = \frac{s}{s-q} r \cdot q \quad (4.9)$$

t: Kuyruk oluşum süresi (sn)

Qred: Kırmızı aralık sonundaki kuyruk uzunluğu (araç)

Qmax: Bir devre süresince oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğu (araç)

s: Doymun akım değeri (araç/sn)

q: Gelen akım değeri (araç/sn)

r: Kırmızı süre (sn).

Daha önceden bahsedildiği gibi geliş kavşağında bekleyen araçlar yeşil yandığı zaman çıkış kavşağına ulaşmak için belirli ivme ve hız (Vm) değerlerine ulaşacaktır. Fakat iki kavşak arasında oluşan kuyruk veya yan yollardan gelen araçların oluşturduğu kuyruk yüzünden geliş kavşağından gelen araçlar engellenecek ve hız, ivme değerlerine ulaşamayacak. Bu durumun olması söz konusu olduğunda ilk

kavşaktan çıkan araçların trafik akım doygunluğunda düşme olacak ve hızlanmaları ($V_r < V_m$) şeklinde olacaktır. Kuyruk bulunması durumunda engelleme kuyruğuna ilk kavşaktan gelen araçlarda katılacaktır (N_i). Kritik kuyruk uzunluğu (N_c), kavşağa gelen akımın kapasitesinin ve hızının düştüğünün bir göstergesi olacaktır. Bu durumda kuyruk etkileşimleri için ($N_i > N_c$) koşulu sağlanması istenecektir.

Araçların hızlanmasının (V_m) olduğu ve bu hıza ulaştığı düşünülürse; iki kavşak arasında maksimum kuyruk uzunluğu (N_{md}), tıkayıcı kuyruk uzunluğu (N_b) ile oluştuğu durumlar için. Çıkış kavşağındaki kuyruk talebi (N_b) aşarsa, bu durumda geliş kavşağından gelen araçların çıkış kavşağındaki kuyruk talebi yüzünden akım değerinde azalma oluşacaktır. Bu durumun engellenmesi için ($N_{md} > N_b$) koşulunun sağlanması gerekecektir.

Çıkış hızındaki azalama ve kuyruk etkileşimleri olan ($N_i > N_c$) ve ($N_{md} > N_b$) koşulları yukarıdaki gibi sağlanırsa, diğer bir husus olan doygun akım değerinin tahmini öne çıkacaktır. Bu iki durumun oluşması durumunda trafik akımının geliş kavşağından gelen araçların hızında düşme ve gruplarda değişme olacağından doygun akım tahminine bunların yansıtılması daha doğru bir sonuç verecektir.

5. SİNYALİZASYON HESAPLARI

Sinyalizasyon sistemlerinin projelendirilmesi ve faz, devre sürelerinin hesabı aşağıdaki üç adım izlenerek hesaplanabilir.

- Veri toplama,
- Devre hesabı,
- Değerlendirme.

5.1 Veri Toplama

Tasarımın başlangıç aşaması olup temelini oluşturur. Aşağıda gerekli verilerin toplanmasıdır.

- Kavşağın geometrik özellikleri
- Kavşak trafik verileri
- Kavşak kaza verileri
- Kavşağın ileriye dönük planlama analizi
- Doygun akım etüdü

Doygun akım, ışıklı (sinyalize) bir kavşakta ışık yeşile döndükten sonra en fazla boşaltılabilecek olan araç sayısıdır. Başka bir ifade ile kavşak kolunda sürekli bir kuyruk bulunması ve ışığın bir saat süreyle yeşil yanması durumunda bir şeritten geçebilecek olan en yüksek araç sayısıdır. (Çalışkanelli, P.S., Tanyel, S. 2017)

Doygun akım ışıklı kavşak tasarımında kullanılan temel parametrelerden birisidir. Doygun akımın doğru olarak tespit edilmemesi, kapasite ve hizmet seviyesinin doğru olarak belirlenememesinde temel değerlendirme kriteridir.

Sinyalizasyon devre hesabının yapılacağı kavşaklarda doygun akım değeri ülkelere göre Çizelge 5.1 de verilmiş olup, bu değerler şerit genişliği, şerit sayısı, eğim oranı ve dönüş yapan araç yüzdesi gibi faktörlerle çarpılarak düzeltilmiş doygun akım sayıları bulunur.

Doygunluk derecesi: Trafik hacminin kapasiteye oranını ifade eder. Kullanım yüzdesidir ve önemli bir değerlendirme ölçütüdür.

Çizelge 5.1: Ünelere göre doygun akım oranları (HCM, 1985).

ÜLKE	DURUM	DOYGUN AKIM	GELİŞTİREN
İngiltere	İdeal	2080 taşıt	Kimber 1986
Kanada	Maksimum	1900 taşıt	Teply 1991
Avustralya	Maksimum	2475 taşıt	Troutbeck 1994
Avustralya	İdeal	2000 taşıt	Troutbeck 1994
İsrail	Ortalama	2176 taşıt	Hakkert 1994
Polonya	İdeal	1890 taşıt	Tracz, Tarko 1991
Yugoslavya	İdeal	2290 taşıt	Stanic 1994
Güney Afrika	İdeal	1928 taşıt	Stander 1994
Türkiye	İdeal	1900 taşıt	TRB 1994
Almanya	İdeal	2000 taşıt	Brilon 1994
Hong Kong	İdeal	1895 taşıt	Lam 1994
Litvanya	Maksimum	2045 taşıt	Noreika 1994
Japonya	İdeal	2000 taşıt	Fujiwara 1994
ABD	İdeal	1900 taşıt	TRB 1994
Finlandiya	Ortalama	1940 taşıt	Niittymaki, Pursula 1995

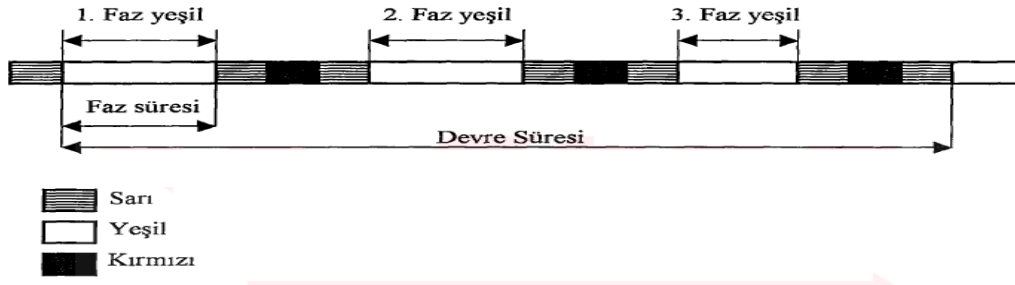
5.2 Devre Hesap Yöntemleri

Devre hesabı için çeşitli yöntemler vardır. Çalışmada en çok kullanılan üç yöntem üzerinde durulmuştur.

- Amerikan Hcm yöntemi
- İngiliz Webster yöntemi
- Avustralya Akçelik yöntemi

5.2.1 Devre Hesabı İçin Gerekli Temel Tanımlar

Devre süresi: Bir kavşaktaki bütün kolların faz süreleri toplamına eşittir. Sinyal devresi tamamlanan bir dizi sinyal fazının toplamından meydana gelir. Buna göre bir devrede sinyal fazları yeşil, sarı ve kırmızı ışıkların yanı sıra birbirini takip etmektedir. Bir fazdaki yeşil periyodun bitişi ile, takip eden fazdaki yeşil periyodun başlangıcı arasındaki süreye yeşillerarası süre adı verilmekte ve sinyalizasyon hesaplarında etkin yeşil sürenin tespitinde önemli bir parametre olarak yer almaktadır. Şekil 5.1’de gösterilen faz değişim süreleri F ile, yeşillerarası süreler ise I ile ifade edilmektedir. Tüm fazların yeşillerarası ve yeşil sürelerinin toplamı devre süresini oluşturmaktadır. Faz süresi kavşaktaki bir kolun geçiş hakkı almak için beklediği süredir.



Şekil 5.1: Devre ve faz süreleri (HCM, 1985).

5.2.2 Amerikan Hcm Yöntemi

Bu yöntemde sinyalizasyon hesabı 5 adımda yapılmaktadır.

Giriş aşaması; kavşak ile ilgili trafik hacmi, şerit sayısı, şerit genişliği, kol sayısı, eğim oranı, geometrik özellikler ve faz sayısı gibi özelliklerin belirlendiği aşamadır (Çizelge 5.2).

Kavşak için kritik hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi) ve kapasite aşağıdaki bağıntılar ile tanımlanabilir (Bağıntı 5.1).

$$x_c = \sum \left(\frac{q}{s} \right)_{ci} * \left(\frac{D}{D-L} \right) \quad (5.1)$$

$$c = s * \left(\frac{g}{D}\right) \quad (5.2)$$

xc: Kavşak için kritik hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi)

$\Sigma(q/s)_{ci}$: Her fazdaki kritik akım ya da akımlara ait akım oranları toplamı

D: Devre süresi (sn)

L: Devredeki toplam kayıp süre (sn)

c: Kapasite

s: Doymuş akım değeri

Çizelge 5.2: Giriş aşaması girdi parametreleri (HCM, 1985).

Genel Özellikler	Parametre
Geometrik Özellikler	Kavşak tipi
	Şerit sayısı, N
	Ortalama şerit genişliği, W
	Eğim, G(%)
	Sol veya sağa şerit varlığı
	Park şeridi
Trafik Özellikleri	Her bir akım için trafik hacimleri, V
	Temel doymuş akım değerleri, so
	Zirve saat faktörü, ZSF
	Ağır taşıt yüzdesi, HV
	Park eden araç sayısı, Nm
	Kavşak yaklaşım hızı, Sa
	Yeşil sürede geçen taşıt sayısı, P
Sinyalizasyon Özellikleri	Devre süresi, C
	Yeşil süre, G
	Yeşiller arası süre
	Analiz periyodu
	Faz planı

Hacim aşaması; trafik gruplarının şeritlere göre hacimlerinin ayrıştırılması ve zirve saat faktörünün zirve saat trafiğine dönüştürülmesini içerir.

$$q_P = \frac{q}{ZSF} \quad (5.3)$$

qP: Zirve saat akım değeri

q: Saatlik trafik hacimleri (taşıt/saat)

ZSF: Zirve saat faktörü

Birden fazla şeritli kavşaklarda sağa ve sola dönüşler var ise; sola veya sağa dönüşlerin fazla olması durumunda bu şerit özel bir şerit gibi davranacaktır. Bu kararı vermek için Bağıntı 5.4 kullanılmaktadır. Sola dönen trafik akımını eşdeğer akıma çevirmek gerekir.

$$q_{sol\ dönen-eşdeğer} = q_{sol\ dönen} * \frac{1800}{1400-q_o} \quad (5.4)$$

q_{eşdeğer-sol dönen} : Yaklaşık eşdeğer sol dönen akım (tş/sa)

q_{sol dönen} : Gerçek sol dönen akım (tş/sa)

q_o : Toplam çatışan akım (tş/sa)

Çizelge 5.3'de kavşak yaklaşım kollarında düz giden şerit sayısına göre (Uf) düzeltmesi uygulanır. Eğer kavşak yaklaşım kolunda düz giden şerit sayısı 1 ise Uf=1, düz giden şerit sayısı 2 ise Uf=1,05, 3 veya daha fazla ise 1,10 dur. Bunlar talep akımı düzeltmesidir.

Düzeltilmiş doygun akım aşaması; temel doygun akım sayılarının trafik veri katsayıları ile çarpılarak düzeltilmiş doygun akım sayısına çevrilmesi işlemini kapsar. Bölge katsayısı (fa); MIA bölgesi için 0,9, diğer bölgeler için 1 alınır.

Kapasite analiz aşaması; faz durumlarına göre her şerit için akım oranları hesaplanır ve en büyük akım oranı kritik seçilerek devre hesabı, hacim/kapasite oranı bulunarak kapasite analizi yapılır.

Hizmet seviye aşaması; kavşağın her şeridi için gecikme süresi hesaplanır ve bu süreye göre hizmet düzeyi belirlenir. Gecikme hesabı aşağıdaki Bağıntı 5.6 ile bulunabilir.

$$s = s_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{sağ\ dönen} * f_{sol\ dönen} \quad (5.5)$$

$$w = w_1 + w_2 \quad (5.6)$$

$$w_1 = 0,38 * D \left[\frac{\left(1 - \left(\frac{g}{D}\right)\right)^2}{1 - \left(\frac{g}{D}\right) * x} \right] \quad (5.7)$$

$$w_2 = 173 * x^2 * \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + (16 * \frac{x}{c})} \right] \quad (5.8)$$

Çizelge 5.3: Doygun akım düzeltme katsayıları (HCM, 1985).

Şerit genişliği(ft)	8	9	10	11	12	13	14	15	16 ve üstü
Şerit faktörü (f_w)	0,87	0,9	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	2 şerit al
Ağır taşıt yüzdesi	0	2	4	6	8	10	15	25	30
Ağır taşıt faktörü (f_h)	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,90	0,86	0,83
Eğim %	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
Eğim faktörü(f_g)	1,03	1,02	1,01	1	0,99	1,98	0,97	0,96	0,95
Park Şeridi etkisi			Park manevra sayısı						
Şerit sayısı	Park yasağı ise	0		10		20		30	
1	1	0,9		0,85		0,80		0,75	
2	1	0,95		0,92		0,89		0,87	
3	1	0,97		0,95		0,93		0,91	
Otobüs duruş sayısı faktörü		Bir saatte meydana gelen otobüs duruş sayısı							
Şerit sayısı	0	10		20		30		40	
1	1	0,96		0,92		0,88		0,83	
2	1	0,98		0,96		0,94		0,92	
3	1	0,99		0,97		0,96		0,94	

Çizelge 5.4'de gecikmenin değeri w₁ ve w₂ değerinin toplamının ilerleme faktörü ile çarpımıdır.

Çizelge 5.4: Gecikme hesabı için ilerleme faktörleri (HCM, 1985).

Sinyal türü	Şerit grup türü	q/c oranı	1	2	3	4	5
Sabit zamanlı	Doğru giden ve sağa dönen	≤0,6	1,85	1,35	1,00	0,72	0,53
		0,8	1,5	1,22	1,00	0,82	0,67
		1,0	1,4	1,18	1,00	0,9	0,82
Trafik uyarlamalı	Doğru giden ve sağa dönen	≤0,6	1,54	1,08	0,85	0,62	0,4
		0,8	1,25	0,98	0,85	0,71	0,5
		1,0	1,16	0,94	0,85	0,78	0,61
Tüm sola dönenler		Tümü	1	1	1	1	1

Çizelge 5.4'de belirtilen geliş türleri için; 1.tür kırmızı sinyalin başlangıcından itibaren yoğun akımın gelmedi durumu, 2. tür kırmızı sinyalin başlangıcından sonra sürenin ortalarına doğru yoğun akım gelmesi durumu, 3. tür rastgele gelişleri ifade eder. 4. tür yeşil sinyalin ortalarında kavşağa yoğun akım gelmesi durumu, 5. tür yeşil sürenin başlangıcından itibaren yoğun akımın gelmesi durumunu ifade eder.

Kavşağın her bir yaklaşım kolu gecikmeler hesaplanır ve Çizelge 5.5'deki gecikme süresine göre hizmet düzeyi belirlenir

$$w_a = \frac{\sum_i w_i * q_i}{\sum_i q_i} \quad (5.9)$$

$$w_I = \frac{\sum_a w_a * q_a}{\sum_a q_a} \quad (5.10)$$

wa: A kavşak kolu için gecikme değeri (sn/tş)

wi: A kavşak kolundaki şerit grubu için gecikme değeri (sn/tş)

qi: Şerit grubu için düzeltilmiş akım (tş/sa)

wI: Kavşaktaki her bir taşıt başına ortalama gecikme değeri (sn/taşıt)

qa: A kavşak kolu için düzeltilmiş akım (taşıt/saat)

Çizelge 5.5: Gecikme sürelerine göre hizmet düzeyleri (HCM, 1985).

Hizmet düzeyi	Taşıt başına ortalama gecikme (sn)
A	$\leq 5,0$
B	5,1-15,0
C	15,1-25,0
D	25,1-40,0
E	40,1-60,0
F	$>60,0$

5.2.3 İngiliz Webster Yöntemi

Kavşağa gelen trafik akımları kol bazında değerlendirilir ve kol üzerindeki en büyük akım değeri seçilerek yeşil faz süresi hesaplanır.

Kavşağın faz sayısı belirlenir. Bağlantı 5.1 ile kayıp süreler, toplam kayıp süre, akım oranı, doymun akım değeri belirlenir ve bunlardan büyük olanlar kritik olacak şekilde minimum ve optimum devre süreleri hesaplanır. Faz yeşil süreleri etkin devre süresinin akım oranına paylaştırılması ile bulunur.

$$D_{min} = \frac{L}{1-\gamma t} \quad (5.11)$$

İngiliz Webster modeline göre gecikme süresinin hesabı için aşağıdaki işlemler yapılır.

- Kavşak kolunun kapasitesi (taşıt/saat):

$$c = \frac{g*s}{D} \quad (5.12)$$

- Etkin yeşil süre (sn):

$$g = G - 1 \quad (5.13)$$

- Bir devrede bütün trafiği geçirecek olan devre süresi (Dm)

$$D_m = \frac{L}{1-\gamma} \quad (5.14)$$

c: Kavşak kolunun kapasitesi (taşıt/saat)

g: Etkin yeşil süre (sn)

s: Doymun akım (taşıt/saat)

D: Devre süresi (sn)

L: Devredeki toplam kayıp süre (sn)

ϕ : Düzeltme katsayısı (1,2-1,8)

Yt: Toplam akım oranı (Trafik hacmi/doymun akım)

Y: Her bir fazdaki kritik akımlar için doymunluk dereceleri toplamı

Devredeki toplam kayıp süre (L):

$$L = \sum I - a + \sum l \quad (5.15)$$

I: Yeşiller arası süre

a: Sarı ışık süresi

l :Bir fazdaki kayıp süre

• Webster kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi hesabı:

$$d = \frac{9}{10} \left\{ \frac{D(1-\frac{g}{D})^2}{2(1-\frac{g}{D})x} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right\} \quad (5.16)$$

$$N = qK \quad (5.17)$$

d: Her koldaki taşıt için ortalama gecikme (sn)

g: Etkin yeşil süre (sn)

D: Devre süresi (sn)

x: Doymunluk derecesi((D/g)*y) ($x = q / \delta * s$)

q: Taşıt hacmi (taşıt/sn)

K: Kırmızı süre (sn)

N: Kuyruk uzunluğu

• Webster gecikme süresi:

$$d = \left[\frac{D*(1-\delta)^2}{2*(1-\delta*x)} \right] + \left[\frac{x^2}{2*q*(1-x)} \right] - \left[0,65 * \left(\frac{D}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} * x^{(2+5*\delta)} \right] \quad (5.18)$$

δ : Yeşil süre oranı ($\delta = g/D$)

• Webster modeline göre doymun akımın tahmini: Modele göre doymun akım şerit genişliğine göre bulunur ve düzeltme katsayıları ile bulunur.

$$s = 160 * w_a \quad (5.19)$$

s: Doymun akım (bo/saat)

wa: Kavşak kolu genişliği (feet)

Diğer düzeltme katsayıları eğim etkisi, trafik kompozisyonu, yaya, park şeridi, sola ve sağa dönen trafik etkisidir.

• Eğim etkisi % 1'lik iniş eğimi %3 doymun akımı artırır, % 1'lik çıkış eğimi %3 doymun akımı azaltır.

• Sola dönüş şeridi var ise: bir tane ise bağıntısı iki tane ise 5.21 bağıntısı kullanılır. R dönüş yarıçapıdır ve birimi feetdir.

$$s = \frac{1800}{1 + \frac{5}{R}} \quad (5.20)$$

$$s = \frac{3000}{1 + \frac{5}{R}} \quad (5.21)$$

• Trafik kompozisyonu: Çizelge 5.6 kullanılarak düzeltme işlemi yapılır.

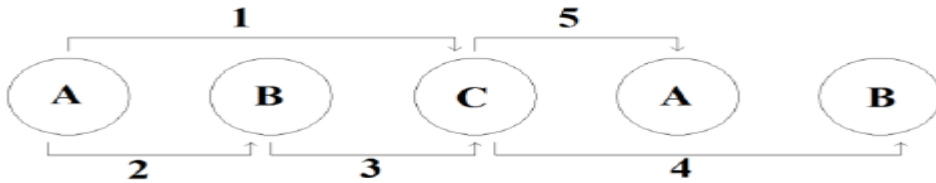
Çizelge 5.6: Trafik kompozisyonu birim değerleri (Webster,1958).

1 Ağır taşıt	1,75 bo
1 Otobüs	2,25 bo
1 Motosiklet	0,33 bo
1 Bisiklet	0,20 bo
1 Tramvay	2,50 bo
1 Hafif taşıt	1,00 bo

5.2.4 Avustralya Akçelik Yöntemi

Bu yöntemde her akım için ayrı olacak şekilde akım oranı, doygun akım değeri ve doygunluk derecesi belirlenerek her akım için kritik olanlar belirlenir. Devre süresi ve faz süresi hesabında bu kritik oranlar kullanılır. Hesap adımları aşağıdaki gibidir.

- Faz sayısının belirlenmesi: Trafik akım hacimleri göz önünde bulundurularak faz sayısı belirlenir.
- Kayıp sürelerin belirlenmesi: Her akım için yeşil faz süresinin ve yeşilden yeşile geçen kayıp sürenin hesabı yapılır.
- Doygun akımın hesaplanması: Her akım için doygun akım oranları belirlenip düzeltme katsayıları ile çarpılıp düzeltilmiş doygun akım oranı belirlenir.
- Kritik akımın belirlenmesi: Tüm akım kolları için kombinasyonlar oluşturularak akış diyagramı elde edilir. Kritik akım bu süreler toplamının en büyüğüdür. Şekil 5.2’de bir örneği gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Kritik akım için akış diyagramı örneği (Rouphail, vd. 1988-1998).

- Devre ve faz süresi hesabı: Daha önce belirlenen kritik akım için akım oranı, kayıp zaman ve optimum, pratik devre süreleri Bağıntı 5.3 ile hesaplanır.

$$Cp = \frac{L}{1-U} \quad (5.22)$$

$$Co = \frac{(1,4k)L+6}{1-Yt} \quad (5.23)$$

L: Devredeki toplam kayıp süre

Yt: Kavşak için toplam akım oranı

U: Toplam yeşil süre

k: Duruş katsayısı

Cp: Pratik devre süresi (sn)

Co: Optimum devre süresi (sn)

• Doygunluk derecesi: Tüm kollar ve akımlar için doygunluk dereceleri hesaplanır. Doygunluk derecesinin pratik doygunluk derecesinden 0,9 küçük olması gerekir. Eğer küçük değilse yeni diyagram seçilerek işlem tekrarlanır.

Değerlendirme ölçütü olarak kullanılan kuyruk uzunluğu hesabı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiş olup performans analizi olarak kullanılmaktadır.

• Akçelik kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi hesabı:

$$d = d_u + d_k \quad (5.24)$$

$$d = \frac{qC(1-u)^2}{2(1-y)} + Nx \quad (5.25)$$

Burada gecikme süresi hesabı gösterilmiştir. Ortalama gecikme bağıntı 5.26 ve kuyruk uzunluğu bağıntı 5.27 gösterilmiştir.

$$d_0 = \frac{d}{q} \quad (5.26)$$

$$N = \frac{QT_f}{4} + \left[z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x+0,67+(\frac{sg}{600}))}{QT_f}} \right] \quad (5.27)$$

N: Ortalama kuyruk uzunluğu

Q: Kapasite

Tf: q değerinin elde edildiği süre

x: Doygunluk derecesi

z: x-1

s: Doygun akım

g: Etkin yeşil süre

d: Toplam gecikme süresi
du: Üniform gecikme süresi
dk: Kuyruk gecikme süresi
q: Trafik hacmi
C: Devre süresi
u: Yeşil süre/devre süresi
y: Akım oranı

5.3 Kavşaklarda Kapasite Analizi

Kavşakta kapasite kavramı, bir şerit veya yol için belirli bir zaman içinde geçebilecek araç ve yaya miktarı olarak tanımlanır. Kapasite analizi yapılabilmesi için mevcut kapasitenin belirlenmesi, analiz birleşenleri olan çevresel ve geometrik altyapının incelenmesi buna göre hizmet düzeylerinin belirlenmesidir.

5.3.1 Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi

Sinyalizasyon hesaplarında elde edilen kritik akım değeri ve hacim/kapasite oranı kullanılarak kavşakların hizmet düzeyleri belirlenir. Kavşağın her bir akım kolu veya şeridi için kontrol gecikmesi ve hacim/kapasite oranı kullanırken, yaklaşım kolları için sadece kontrol gecikmesi kullanılır. Gecikme, yeşil fazdan artan süreler için kullanılır. Hizmet düzeyleri için gecikme ve hacim/kapasite oranları çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Hizmet düzeyi, trafik içindeki işletme koşullarını belirlemek etmek amacı ile miktar ölçüleri ile belirlenir. Hizmet düzeyi, genellikle, hız, manevra serbestliği, trafik sıkışıklığı, bekleme süresi ve rahatlık gibi düzey parametreleri açısından trafik içindeki işletme koşullarının açıklandığı bir kalite ölçüsüdür.

• A hizmet düzeyi: A hizmet düzeyi için gecikme 10 sn./taşıt, hacim/kapasite oranı 1'den küçük olup kavşağı kullanan araçlar yeşil fazda çoğunluğu geçip oldukça elverişli, devre süresi kısa ve trafiğin az olduğu bir hizmet düzeyidir.

• B hizmet düzeyi: B hizmet düzeyi için gecikme 10-20 sn./taşıt, hacim/kapasite oranı 1'den küçük olup kavşağı kullanan araçlar için devre süresi kısa ve bekleme süresi azdır. Araçlar çok az beklerler.

• C hizmet düzeyi: C hizmet düzeyi için gecikme 20-35 sn./taşıt, hacim/kapasite oranı 1'den düşük olup kavşağı kullanan araçlar için bekleme süresi orta seviye ve geçiş elverişlidir. Yetersiz kapasite sonucu önemli ölçüde kuyruklar oluşumu vardır.

• D hizmet düzeyi: D hizmet düzeyi için gecikme 35-55 sn./taşıt, hacim/kapasite oranı 1'den küçüktür. Kavşağı kullanan araçlar için bekleme süresi ve devre süresi uzundur. Kuyruklar önemli ölçüde artmıştır.

• E hizmet düzeyi: E hizmet düzeyi için gecikme süresi 55-80 sn./taşıt, hacim/kapasite oranı 1'den küçüktür. Kavşağı kullanan araçlar için bekleme süresi uzun ve kapasite yetersizdir. Kuyruklar sık sık oluşmaktadır.

• F hizmet düzeyi: F hizmet düzeyi için gecikme süresi 80 sn./taşıt hacim/kapasite oranı 1'den büyüktür. Kavşağı kullanan araçlar için bekleme süresi çok uzun ve kuyruklar çok sık görülmektedir. Devre süresi başarısızdır.

Çizelge 5.7: Hizmet düzeyleri için gecikme ve hacim/kapasite oranları. (Rouphail, vd. 1988-1998).

LOS (Hizmet Düzeyi)	Araç başına kontrol gecikmesi (saniye/araç)	Hacim / kapasite oranı (v/c)
A	≤ 10	≤ 1.0
B	$> 10 - 20$	≤ 1.0
C	$> 20 - 35$	≤ 1.0
D	$> 35 - 55$	≤ 1.0
E	$> 55 - 80$	≤ 1.0
F	> 80	> 10

5.3.2 Kapasite Analiz Bileşenleri

Kapasite analizinin öncelikli amacı; yolu kullanan araç ve yaya sayılarının mevcut veya gelecekteki sayılarını tespit edebilmek ve bu sayılara göre karayolu elemanının hizmet seviyesi, doluluk oranı ve geometrik özelliklerini trafik güvenliği ve maliyet ekseninde belirleyebilmektir.

Hâkim yol, trafik ve kontrol koşulları kapasite analizini etkileyen parametrelerdir. Bu etmenlerin homojen olduğu varsayılır. Homojen olmadığı düşünülürse trafiğin herhangi noktasında değişen bu etmenler trafiğin kapasitesinin de değişmesine neden olacaktır.

5.3.2.1 Yollar İçin Uygun Koşullar

Uygun koşullar trafik için havanın iyi, kullanıcıların yolu bildiğini ve kaplamaların iyi durumda olduğunu varsayar. Aşağıda uygun koşullar sıralanmıştır.

- 3,60 m şerit genişliği,
- 1,80 m yol servis alanı,
- Arazi topografik koşullarının uygun olması,
- Trafiğin çoğunluğunun küçük araçlardan oluştuğu varsayılır.

5.3.2.2 Yol Ve Trafik Bütünlüğü

Trafik için hacmi ve diğer geometrik özellikleri kapasiteyi doğrudan etkilemektedir. Aşağıda kapasiteyi etkileyen yol unsurları sıralanmıştır.

- Yol unsurları
- Şerit sayısı ve genişliği,
- Yatay ve düşey aliymanlar,

- Banket ve yanal güvenlik şeritleri
- Proje tasarım hızı.

Arazi topografik koşulları küçük araçlar için kapasiteyi etkilemezken, ağır tonajlı araçlar için arazinin eğimli olması kapasiteyi düşürür. İki şeritli yollar için trafikte ağır tonajlı araçların bulunması kapasiteyi düşürüp kuyrukların oluşmasına neden olur. Fakat ikiden fazla şeritli yollar için ağır tonajlı araçların önemli ölçüde etkisi yoktur. Kapasiteyi etkileyen diğer trafik unsuru da trafik dağılımıdır. Sabah bir yönde yoğun olan trafik akşam ters istikamette yoğun olur.

5.3.2.3 Kavşak Tipinin Kapasiteye Etkisi

Kavşak geometrisi de trafik akımı ve kapasiteye etkisi vardır. Bu geometrik özellikler yaklaşım yolu uzunluğu, yolun kavisi, kavşak çemberinin boyutları ve kavşak girişi boyutları kavşağın trafik akımı özellikleri ve hızını etkiler.

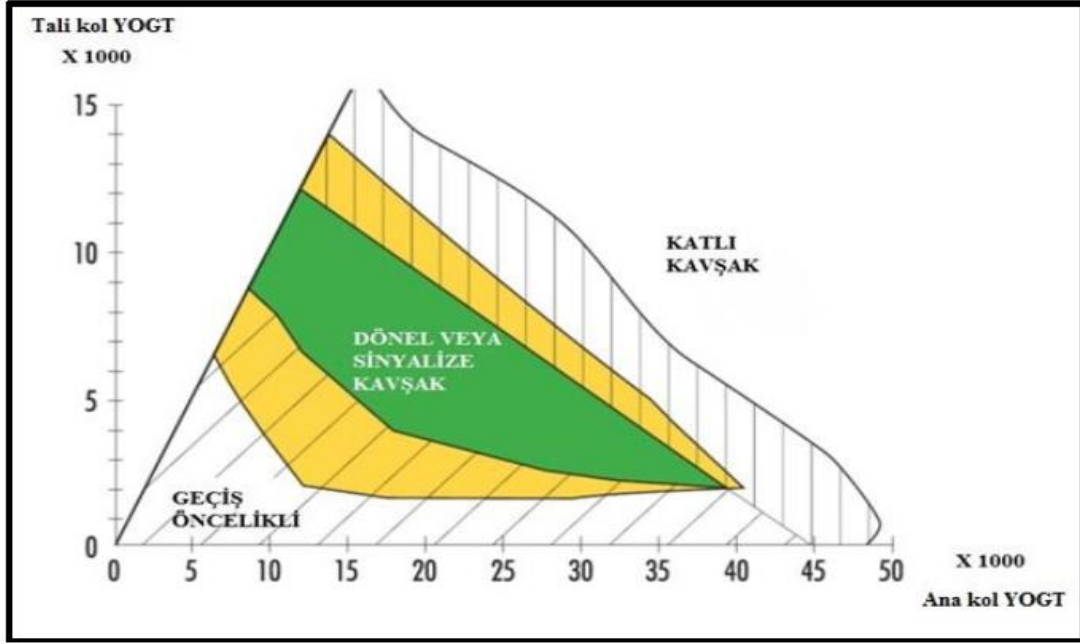
İngiliz analiz yönteminde bu geometrik özellikler kullanılarak performans analizi yapılır. İngiliz teorisine göre geometrik parametrelerde ki, değişiklikler kapasiteye etkisi önemli ölçüdedir.

Kavşak kapasitesini etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Çıkış kapasitesi,
- Performans analizi,
- Kuyruk boyu,
- Kavşağı kullanan yaya miktarı,
- Doygunluk derecesi.

Sinyalize kavşaklardaki kapasite hesabı, belirlenen sinyalizasyon süreleri içerisinde tüm şeritlerdeki trafik hareketlerinin düzenlendiği ve yolların uygun

olduğu kabulüyle yapılmaktadır. Şekil 5.3'deki grafikte kavşaklarda kapasiteye göre kavşak tipi seçiminin nasıl yapıldığı gösterilmektedir.



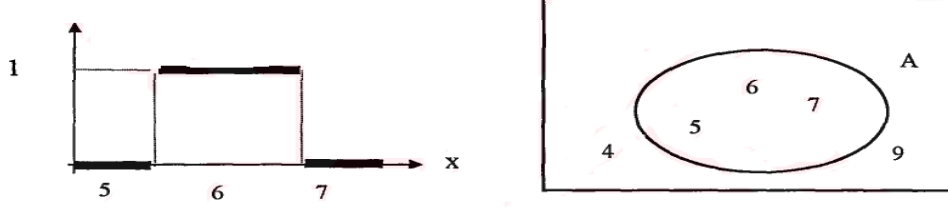
Şekil 5.3: Kavşak tipine göre kapasite analiz grafiği (Ayfer,1977)

5.4 Sinyalizasyonlu Kavşaklarda Analizin Bulanık Mantık Tekniği İle Yapılması

Bulanık mantık yöntemi, küme teorisinden yola çıkmış olup klasik küme teorisine göre farklı olarak istatistiksel ve tahmin verilerini kapsar. Klasik küme teorisinde sadece iki değer vardır (0 ve 1). Bulanık mantık yönteminde ise çoklu değerlendirme modelini esas alır.

5.4.1 Klasik Küme Teorisi

Klasik küme teorisinde; küme elemanları ve kümenin şartlarını net belirleyen topluluğu tarif eder. Yani bir eleman o kümenin elemanıdır veya değildir, kurallarında kesinlik vardır. Kural olarak küme elemanı olması 1, küme elemanı olmaması 0 ile ifade edilir. Verilen $A=[5,6,7]$ kümesi için gösterim şekil 5.4'de gösterilmiştir.

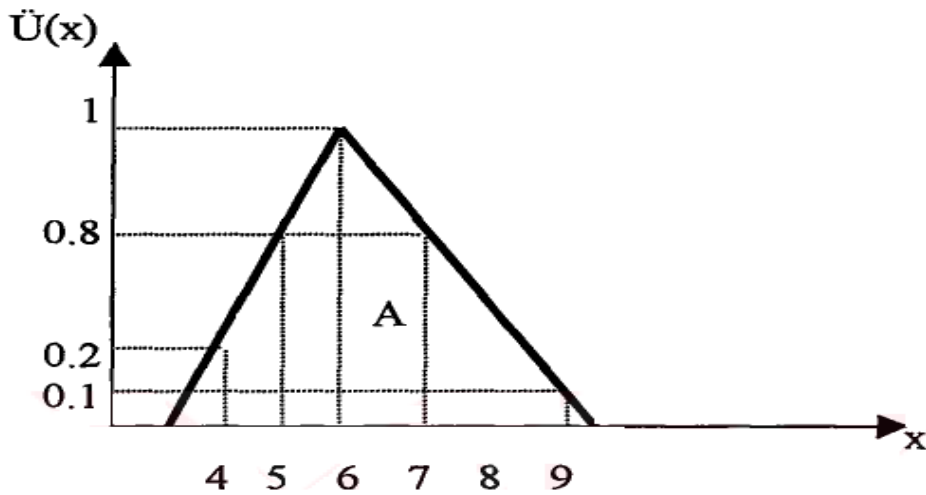


Şekil 5.4: Küme gösterimi (Janecek, vd. 1995).

5.4.2 Bulanık Mantık Teorisi

Bulanık mantık teorisi 1965 yılında öne sürülmüş ve klasik küme teorisine göre keskin çizgileri olmayan esnek küme teorisidir. Temeli bulanık küme ve alt kümelere dayanır. Bu teoride sebep-sonuç ilişkisi içinde birçok değişkeni barındıran mantık tekniğidir. Klasik mantığa göre daha başarılı olmasının sebebi de çok değişkenli olmasıdır.

Bulanık mantık için örnekleme yapacak olursak, $A = [(0,2/4)-(0,8/5)-(1/6)-(0,8/7)-(0,1/9)]$ burada verilen küme örneğinde küme elamanlarının üyelik derecesi vardır. Klasik küme teorisinde küme elamanı olmayan 4 ve 9 un bulanık mantık teorisinde belirli bir yüzde ile üye olma ihtimalleri vardır. Şekil 5.5’de küme gösterimi çizilmiştir.



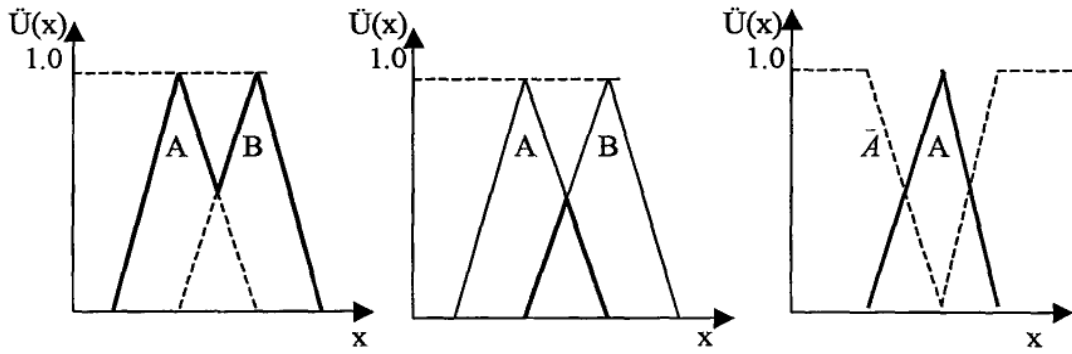
Şekil 5.5: A kümesinin bulanık mantık ile gösterimi (Janecek, vd. 1995).

Bulanık mantık kümelerinin gösterimi için pratikte en fazla kullanılan dört şekli vardır. Üçgen, yamuk, gaussian ve çan şekilli üyelik fonksiyonları olarak adlandırılırlar.

5.4.2.1 Bulanık Mantık Küme İşlemleri

Bulanık mantık ile küme işlemleri ve grafikleri aşağıda ki gibidir.

- Birleşim: $\tilde{U}_{A \cup B}(x) = \tilde{U}_A(x) \vee \tilde{U}_B(x)$
- Kesişim: $\tilde{U}_{A \cap B}(x) = \tilde{U}_A(x) \wedge \tilde{U}_B(x)$
- Tümleneyen: $\tilde{U}_{\bar{A}}(x) = 1 - \tilde{U}_A(x)$

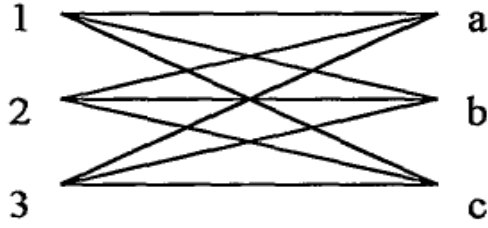


Şekil 5.6: Bulanık mantık küme işlemleri (Janecek, vd. 1995).

Bulanık mantık küme işlemleri grafiği şekil 5.6'da görüldüğü gibidir. Bu işlem grafikleri üçgen olduğu gibi diğer küme gösterim şekline de sahip olabilir.

5.4.2.2 Bulanık Küme İlişkileri

Bulanık mantıkta küme ilişkileri; küme elamanları sayılarının Kartezyen çarpımı kadar ortak çakışma noktası vardır ve bunlar küme ilişkileri olarak adlandırılır. Aşağıda küme ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Bulanık mantık ilişkileri gösterimi (Janecek, vd. 1995).

İlişkileri matris formatında gösterecek olursak, ilişkilere 1 dersek aşağıdaki gibi olacaktır.

$$i = \begin{matrix} & a & b & c \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ Şeklinde gösterilir.}$$

İki farklı ilişki matrisinin en büyük çarpım ve en büyük-en küçük gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$T = R \circ S$$

- En büyük çarpım: $\dot{U}T(x,z) = v[\dot{U}R(x,y)] \times [\dot{U}S(y,z)]$
- En büyük- En küçük: $\dot{U}T(x,z) = v[\dot{U}R(x,y)] \wedge [\dot{U}S(y,z)]$

Bulanık mantıkta ilişkiler sadece 0 ve 1 le ifade edilmez. Arada ki ondalık değerleri de alabilir. X-Y Kartezyen uzayında A ve B bulanık ilişki matrisin üye ilişkileri küme işlemleri aşağıdaki gibi yapılır.

- Birleşim : $\dot{U}A \cup B(x,y) = E_B[\dot{U}A(x,y), \dot{U}B(x,y)]$
- Keşişim : $\dot{U}A \cap B(x,y) = E_K[\dot{U}A(x,y), \dot{U}B(x,y)]$
- Tamamlayıcı : $\dot{U}\tilde{A}(x,y) = 1 - \dot{U}A(x,y)$
- İçerme : $A \subset B \rightarrow \dot{U}A(x,y) \leq \dot{U}B(x,y)$

Bulanık mantık ilişki matrislerinin üyelik işlemlerinin belirlenmesinde işlemler aşağıda özetlenmiştir.

Birinci yöntem Kartezyen çarpım metodudur. Kapalı şekil ifadeleri; Burada ilişki giriş ve çıkış ilişkisi içinde incelenir. Gözlemlenen bir fiziksel olayın

giriş ve çıkış sonuçları gözlemlenir, eğer değişim gözlenmiyorsa bu ilişki klasik küme teorisi ile çözümlenebilir. Sonuç olarak X giriş, Y çıkış kümesi olup, $Y = f(x)$ kapalı formunda yazılabilir.

Tablo yöntemi; Giriş ve çıkış kümesi için biraz farklılık gösteriyorsa bunlar 0 ile 1 arasında küme elamanı derecelendirilmesi yapılır.

Bilgi derecelendirmesi; Burada giriş ve çıkış için (eğer-ise) gibi sözel komutlar eklenerek derecelendirilme yapılır.

Veri işleminde benzerlik; En çok kullanılan yöntemlerdendir. Verilerden ilişki kümesinin değerlerinin tespiti ile işlem yapılır. Bu yöntemlerden bir tanesinde kosinüs genliği metodudur. Kosinüs genliği metodunda X kümesinin n tane elamanı ve bu elamanlar m tane veri içermektedir. Bunların gösterimi aşağıdaki gibidir. Bu verilerin ilişkisi rij olarak adlandırılıp, xj ve xi verileri üzerinde sayısal işlem yapılarak Bağıntı 5.28'de ki rij bulunur. İlişki matrisi $\ddot{U}R(x_i, x_j)$ şeklinde gösterilir. rij 0 ile 1 arasında bir değer alır.

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

$$X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]$$

$$r_{ij} = \frac{|\sum_{k=1}^m x_{ik} \cdot x_{jk}|}{\sqrt{(\sum_{k=1}^m x_{ik}^2)} \sqrt{(\sum_{k=1}^m x_{jk}^2)}} \quad i, j = (1, 2, \dots, n) \quad (5.28)$$

En büyük ve en küçük işlemlerinin kosinüs genliği metodu ile yapılması Bağıntı 5.29'da olduğu gibidir.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m EK(x_{ij} \cdot x_{jk})}{\sum_{k=1}^m EB(x_{ij} \cdot x_{ik})} \quad i, j = (1, 2, \dots, n) \quad (5.29)$$

5.4.2.3 Üyelik Fonksiyonları

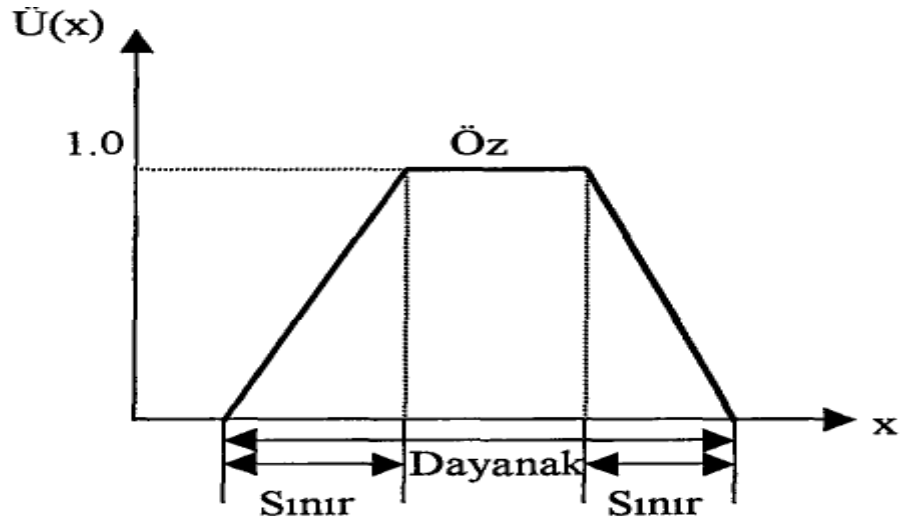
Bulanık küme üyelik fonksiyonları o konu hakkında ki bilgileri içerir. Bu bilgiler alt kümeler halinde gruplandırılabilir. Örneğin Balıkesir için hava sınırları -5 ile +38 arası değişeceği bilinmektedir. Bunların alt kümesi şu şekilde olabilir; ılık,

sıcak, çok sıcak, çok soğuk, soğuk gibi alt kümeler oluşturulabilir. Fakat bu alt kümeler kesinlik içermez. Bu bilgiler kesinlik içermeyeceği gibi sınır geçişleri de göreceli olacaktır. Şekil 5.8’de bulanık küme grafiği gibi alt kümelerin ortası için üyelik katsayısı yüksek olurken sınır değerler için üyelik katsayısı düşük olacaktır. Sınır değerlerde bir alt gruba geçişler olacaktır.

Bulanık mantık küme grafiğinde ki eğriye önem eğrisi denir. Üyelik grupları için ortaya yakın değerler 1’e yakın değer alırken sınır değerler için 0’a yakın önem katsayıları verilir. Bu önem katsayılarının değişime ise üyelik fonksiyonu adı verilir.

- Üyelik Fonksiyonun Kısımları:

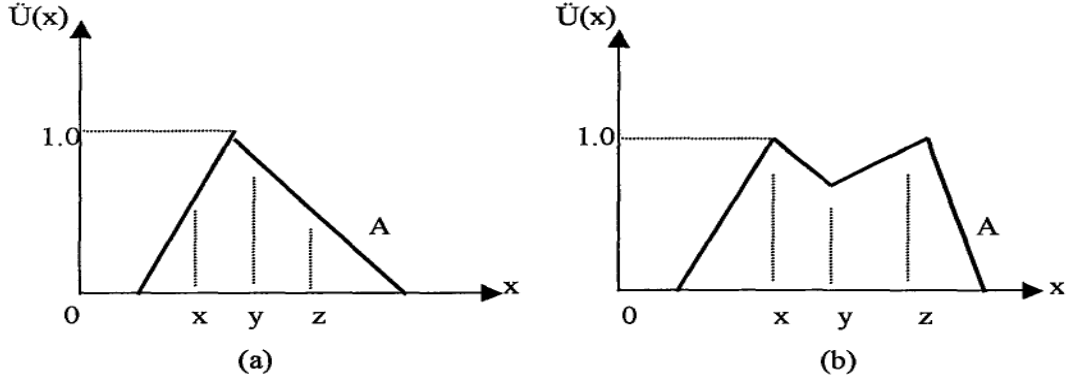
Bulanık mantık fonksiyonlarının grafikleri, üçgen, yamuk veya parabolik olabilir. En genel hali ile üyelik fonksiyonları yamuk halidir. Burada yamuk olması birden fazla alt kümenin üyelik derecelerinin bire eşit olması anlamına gelmektedir.



Şekil 5.8: Bulanık mantık üyelik fonksiyonları genel gösterimi.

Bulanık mantık üyelik fonksiyonları grafiğinde normal olanlarda en az bir tane bire eşit olma üyelik fonksiyonu bulunması gerekir. Normal olmayan üyelik fonksiyonları grafiğinde bire eşit olması gerekmez. Bir diğer özelliği ise bulanık mantık üye fonksiyonları grafiklerinin dış bükey olmasıdır. Bu özellik fonksiyonlarının dayanaklarının yani üyelik derecelerinin sıfırdan başlayıp bire eşit olana kadar artıp daha sonra düşüşe geçmesidir. Dış bükey olmayan grafiklerde de vardır bunlar Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

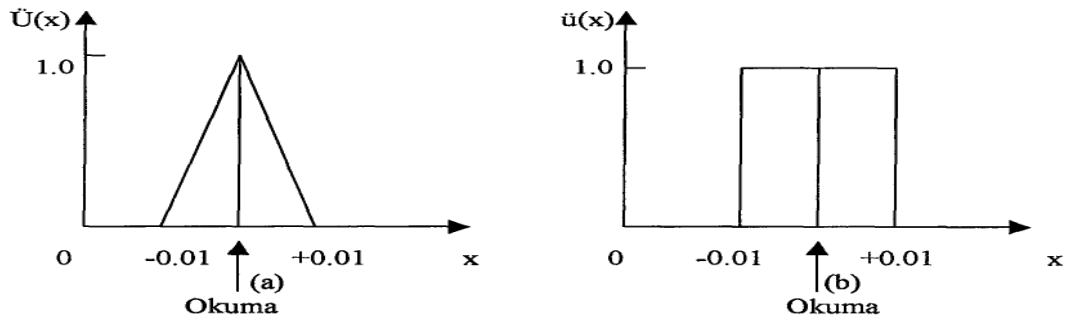
Normal bulanık kümelerde üyelik derecesi bire eşittir. Normal olmayan bulanık kümelerde ise normalleştirme işlemi yapılmalıdır. Bu işlem her üye derecesinin en büyük üye derecesine bölünmesiyle yapılır.



Şekil 5.9: Bulanık mantık üyelik fonksiyonları (a) dış bükey (b) dış bükey olmayan. (Janecek, vd. 1995).

5.4.2.4 Bulanıklaştırma

Bulanık kümede üyelik fonksiyonlarının derecesinin bire eşit olduğu ve diğer üyelerin sıfır ila bir arasında değiştiği bu belirsizliğin aralıklarla olduğu düşünülür. Belirsizliğin sayısal olmadığı durumlarda bulanık olduğu varsayılır. Örneğin belirsizliğin değişim oranının +/- %1 olduğu düşünülürse, ölçümün değerlerinin $x+0,01$ ve $x-0,01$ olur. Bu örnek şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Bulanık mantık üyelerinin değişim aralıklarının gösterimi (b) klasik (Niitty vd. 1997).

5.4.2.5 Üyelik Derecelerinin Atanması

Bulanık mantıkta sonsuz tane üyelik fonksiyonu ve üyelik derecesi atanabilir. Üyelik derecesi atanırken ve fonksiyonu oluşturulurken şunlar temel fikir alınır. Sezgi, çıkarım, derecelendirme, açılı bulanık kümeler, yapay sinir ağları, muhakeme ve algoritmalarıdır. Bu yöntemlerden sezgi kişiye göre değişiklik göstermektedir. Örneğin sıcaklığın alt kümeleri sıcak çok sıcak gibi gruplandırılırsa sıcak yerlerde yaşayanlarla soğuk yerlerde yaşayan insanlar için bu sınırlar farklı olacaktır. En çok kullanılan yöntemlerden birisi de algoritmalarıdır.

5.4.3 Bulanık Mantık Kural Tabanı

Bulanık mantık ilk etapta düşünsel tabanda ortaya çıkıp, düşüncelerinin olgunlaşması ile sayısal bir değer alabilir veya sözel mantık olarak kalabilir. Düşüncelerinin sayısallaşması bulanık küme tekniği ve birbiri ile etkileşimi ile ortaya çıkar. Bulanık mantık üye fonksiyonlarının birbiri ile etkileşimi için ve veya bağlacı kullanılır.

Kural tabanlı sistemlerde eğer-ise komutları ile kullanılır. Bu sistemler eğer ön koşulu temsil eder, ise komutu çıkarım kısmını temsil eder. Sistemde x_1 ve x_2 gibi öncülü ve y gibi tek çıkarımı olan r tane kural tabanlı eğer-ise ile modellenenabilir. Bunu oluşturmanın dört tane yöntemi vardır.

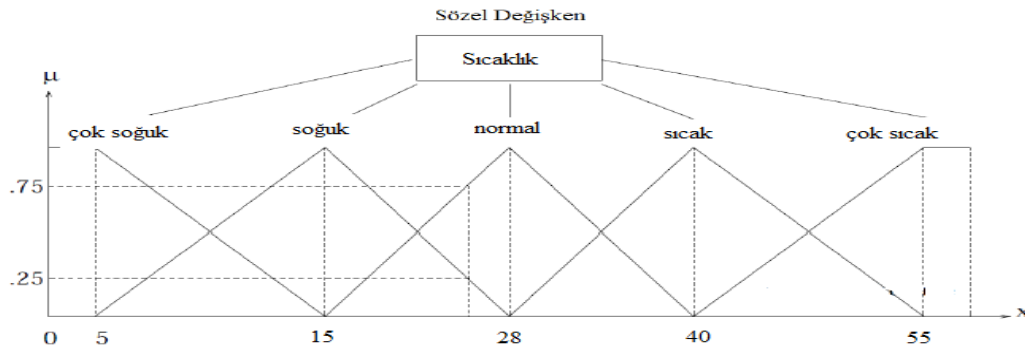
- Girdilerinin bulanık olması EB-çarpım yöntemi
- Girdilerin bulanık olması durumunda EB-EK yöntemi
- Girdilerin klasik olması durumunda EB çarpım yöntemi
- Girdilerin klasik olması durumunda EB-EK yöntemi

Bu yöntemler çeşitli formüllerle türetilip grafik oluşturularak sonuca ulaşmayı amaçlar.

5.4.3.1 Sözel Değişkenler

Bulanık teoride başta kavramsal ve düşünsel örüntüler vardır. Sayısal sonuç bunların olgunlaşması ile ortaya çıkar. Bu olayı matematik deki formüllerle kanıtlamak mümkün değildir. Bu yüzden bulanık kümeler sözel teorilerden sayısal sonuca geçiş için kullanılır. Bu aşamada bulanık kümeler ve sözel değişkenler önemlidir. Bu konuda verilen örnek devam edersek sıcak, çok sıcak, ılık, soğuk ve çok soğuk bunlar sözel değişkenlerdir. Bunlar şekil 5.11 deki gibi bulanık kümelerle temsil edilir.

Şekil 5.11'i yorumlayacak olursak soğuk olma durumu için 15 derecenin üyelik değeri 1 iken, 28 dereceden sonraki sıcaklıklar için üyelik değeri 0'dır.



Şekil 5.11: Bulanık mantık sözel değişkenlerin gösterimi (Niitty vd. 1997)

5.4.3.2 Bulanık Kurallar

Bulanık mantık sistemini tasarlarken eğer, ise ve o halde kurallarını içerir. Girdi değerleri sözel değişkenlere çevrilerek bulanık mantık kural tabanında sistem kurularak çıktı verileri incelenir. Çıktı verileri incelenerek sonuç bölümünde sayısal verilere çevrilir.

Bulanık mantık kural tabanı sözel verilerin girdisi ve sonucunu içermelidir. Örneğin eğer A değeri B ise, o halde X değeri Y'dir. Bu duruma bulanık mantık kural tabanında sonuca bağlama işlemi denir. Burada B ve Y sözel değişkenlerdir. A ve X ise hangi duruma ait olduklarını gösterir. Örneğin, 'Eğer yağmur yağar ise, o halde trafiğe çıkmak tehlikelidir.' gibi örneklenebilir.

5.4.3.3 Bulanık Çıkarım

Bulanık çıkarım sözel değişkenlerin üyelik dereceleri göz önünde bulundurularak çıktı değerlerinin alınmasıdır. Üyelik fonksiyonlarına derece verilerek bulanık kural tabanında birleştirilmesi sonuçların anlamlı şekilde yorumlanması ile hesaplanır. Çıkarım modelleri Mandani, TSK çıkarım modelleri altında incelenmiştir.

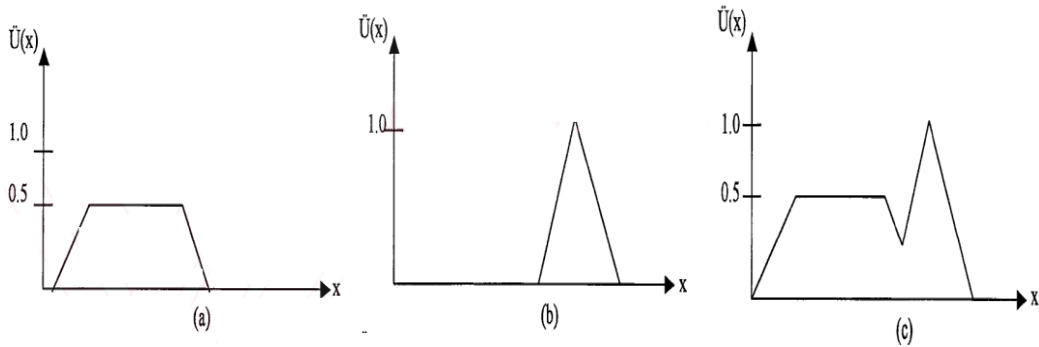
Mandani çıkarım modeli sözel kurallardan oluşur. $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ den U' ya sonuç tanımlayarak çıkarım oluşturur.

H kuralı: Eğer $c_1 X_{i1}$ ise ve $c_2 X_{i2}$ ise o halde $y = U_i$, burada c bulanık küme olup, y çıkış değişkenidir.

TSK çıkarım modeli ise Mandani modelinin karmaşık problemler karşısında kural sayısını azaltmak amacı ile ortaya çıkmıştır. Lineer giriş değişkeni denklemi ile çift girişli tek çıkışlı bulanık analiz yaparak kural sayısını azaltarak çözüme ulaşır.

5.4.3.4 Durulaştırma

Bulanık işlemler sonrasında ortaya çıkan değerlendirme sonucunu yani bulanık değerleri sayısallaştırma işlemidir. Üç tane durulaştırma metodu Şekil 5.12'den faydalanılarak bahsedilecektir.



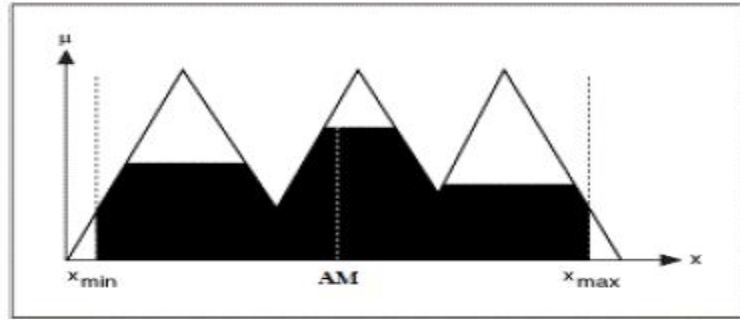
Şekil 5.12: Bulanık bir küme girdi ve çıktıları (Tzes, vd. 1995).

- En büyüklerin ortası metodu(EBO): Şekil 5.13'de üyelik fonksiyonlarının en büyüğe ulaştığı denetimin ortalama değerlerini temsil edecek etkinliği temel alır.



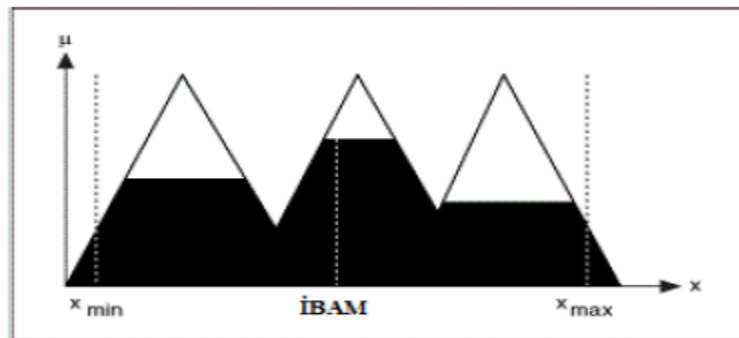
Şekil 5.13: EBO metodu grafik gösterimi (Jarko 1997).

- Şekil 5.14’de ağırlık merkezi metodu (AM): Bu ilke bulanık kümelerdeki üyelerin ağırlık merkezine denk gelen değerin bulunması ile yapılır.



Şekil 5.14: AM metodu grafik gösterimi (Jarko 1997).

- Şekil 5.15’DE İki bölümlü alan metodu (İBAM): Bulanık çıkış kümelerinin alt kümeleri en az iki adet dış bükey küme içeriyorsa, iki bölümlü ağırlık merkezi metodu uygulanabilir.



Şekil 5.15: İBAM metodu grafik gösterimi (Jarko 1997).

5.4.4 Bulanık Mantık Yönteminin Trafığe Uyarlanması

Bulanık mantık yönteminin trafiğe uyarlanması 1965 yıllarında ortaya atılmıştır. Yöntemin trafiğe uygulanması sabit faz ve değişken faz düzenine göre iki farklı şekilde sınıflandırılabilir.

5.4.4.1 Bulanık Mantık Yönteminin Sabit Devre Süresi ve Sabit Faz Düzeninde Uygulanması

Sabit fazda bulanık mantık tekniğinin uygulaması ilk olarak tek yönlü iki yolun kesiştiği kavşakta kullanılmıştır. Burada iki faz olup gelen taşıt ve kuyruk uzunluğu girdi, çıktı parametresi ise yeşil ışık süresidir. Yirmi beş kuraldan tabanından oluşmuştur. Taşıt uyarlamalı sistemlere göre daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

J.J.J. Janecek 1995 yılında yapmış olduğu çalışmalarda 4 kollu ve 4 fazlı bir kavşakta bulanık mantığın uyarlanması konusunda çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucu elde ettiği sonuçlar, dakikada trafikteki araç sayısının bir adet artması devre süresinde 1,8 sn'lik bir artış olması gerektiğini izlemiştir. Denetim kuralları ise 'eğer x fazında trafik arttıysa, x fazındaki yeşil ışık süresini artır.' Çalışmalar sonucunda sabit sinyalizasyon sistemlerinde taşıt uyarlamalı yöntemine göre bulanık mantık yönteminin ortalama bekleme süreleri yönünden etkili olduğunu göstermiştir [Janecek, J.J. And Zargham M.R. (1995)].

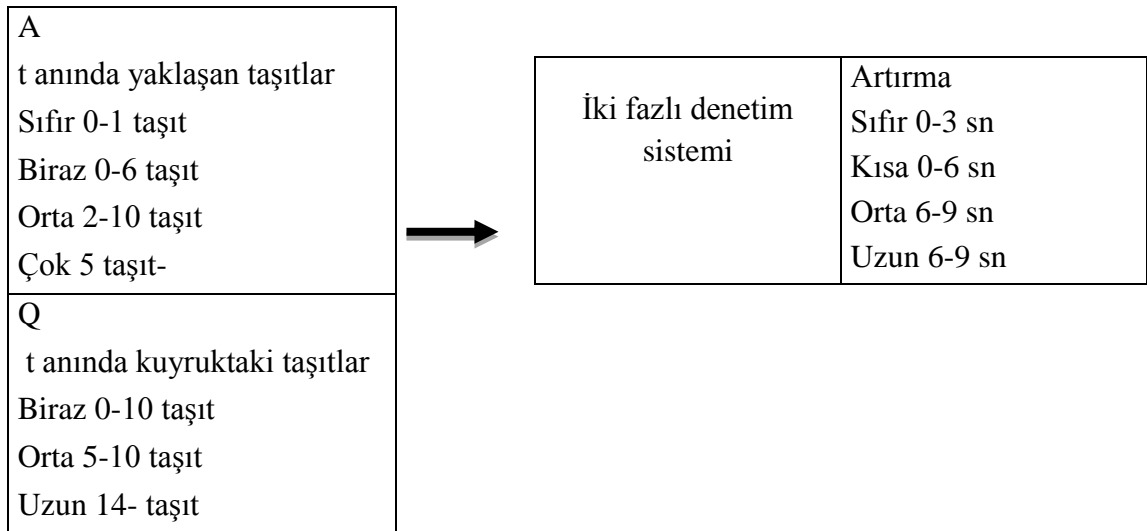
Sabit fazda en geniş çalışmalardan birisini Jarkko P. Nittymaki tarafından 1997 yılında yapılan çalışmadır. Yapılan çalışmada iki fazlı bir sonuç elde etmiştir. İki aşamalı olan çalışmada birinci aşama trafik hacmini, ikinci kısım ise yeşil ışık sürelerinin düzenlenmesini içermektedir. Çalışmada yaklaşım kolları üzerine detektör konulması ve bu detektörler sayesinde trafiğin durumunun takibinin yapılması, yapılan takip sonucu ilk aşama sonuçlarının oluşması ve ikinci aşama olan yeşil ışık devre sürelerinin düzenlenmesini içerir [Nittymaki, Jarkko (1997)].

Bu yöntem için bulanık mantık kuralları şöyledir.

Minimum yeşilden sonra

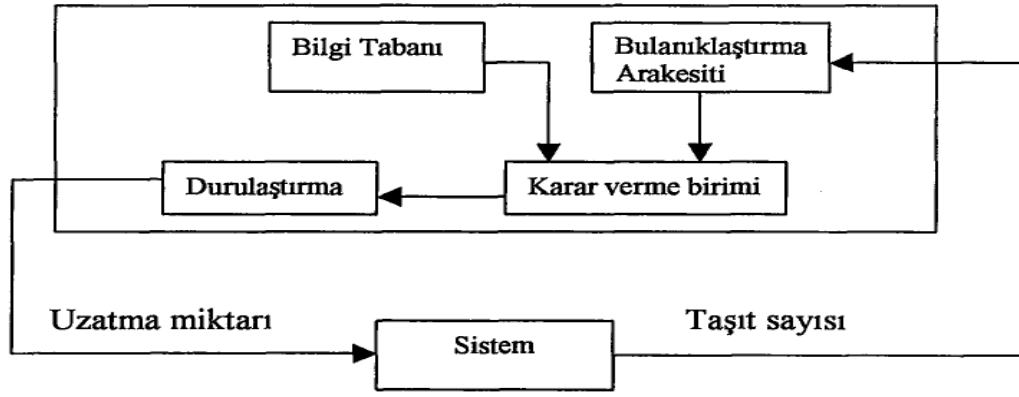
- Eğer A sıfır ise derhal sinyal fazını iptal et
- Ya da A biraz ve Q biraz ise artırma kısa
- Ya da A orta ve Q herhangi ise artırma orta
- Ya da A çok ve Q herhangi ise artırma uzun

Birinci artırma, ikinci ve üçüncü artırımlarda yukardaki kurallar geçerlidir. Diğer bir kural ise Şekil 5.16'da gösterildiği gibi Q fazla ise fazı iptal et.



Şekil 5.16: İki fazlı bulanık denetim sistemi (Niitty vd. 1997).

Tzes tarafından yapılan çalışmalarda ayırık kavşaklar için yapılan çalışmalarda Şekil 5.17'deki çalışma diyagramını önermiştir.



Şekil 5.17: Tzes bulanık mantık akış diyagramı (Tzes, vd., 1995).

5.4.4.2 Bulanık Mantık Yönteminin Sabit Devre Süresi ve Değişken Faz Düzeninde Uygulanması

Değişken faz düzeninde trafik akımı durumuna göre faz sayısı veya faz sırası değişebilmektedir.

Robert Hoyer yaptığı çalışmalarda kavşaklarda değişken fazda bulanık mantık uygulamasını ortaya atmıştır. Yaptığı çalışmalarda çift yönlü arterde ve dönüş kollarında 2 ila 4 fazda incelediği sistemlerin girdisi, trafik verileri ve hacmidir. Çıktı verileri ise faz süresi uzatımı ve gelecek fazın seçimidir. Faz seçimi için 6 faz ve 72 kural belirlenmiştir. Fazların kural tabanına göre değişeceği öngörülmüştür. Örneğin; yoğun olarak sola dönen trafik varsa 3 ve 4 numaralı fazları işlet gibi kural tabanına sahiptir.

Gerson Beauchamp'ın yaptığı çalışmalarda yeşil ışıktaki kuyruk uzunluğu, kırmızı ışıktaki kuyruk uzunluğu ve devre süresi girdi parametreleri kullanılarak fazın seçiminin değişebilirliği üzerine aşağıdaki Çizelge 5.8'de kural tabanını sunmuştur. Sonuç olarak sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerine göre taşıt gecikmelerinde ve kuyruk uzunluğunda %25'lik bir azalma belirlemiştir.

Çizelge 5.8:Gerson Beauchamp'ın kural tabanı örnekleri (Beauchamp-Baez, vd.1997)

Kural	Yeşil ışıktaki kuyruk uzunluğu	Kırmızı ışıktaki kuyruk uzunluğu	Devre süresi	Fazın değişme süresi
1	Sıfır	Sıfır	-	Hayır
2	Sıfır	Düşük	-	Evet
3	Sıfır	Orta	-	Evet
4	Sıfır	Yüksek	-	Evet
5	-	Sıfır	-	Hayır
6	Düşük	Düşük	-	Hayır
7	Orta	Orta	-	Hayır
8	Yüksek	Yüksek	-	Hayır
9	Düşük	Orta	Kısa	Olabilir
10	Düşük	Düşük	Orta	Muhtemelen evet
11	Düşük	Orta	Kısa	Olabilir
12	Düşük	Yüksek	Kısa	Muhtemelen hayır
13	Düşük	Yüksek	Orta	Olabilir
14	Düşük	Yüksek	Uzun	Muhtemelen evet
15	Orta	Düşük	Kısa	Muhtemelen hayır
16	Orta	Düşük	Orta	Muhtemelen hayır
17	Orta	Düşük	Uzun	Olabilir
18	Orta	Yüksek	Kısa	Olabilir
19	Orta	Yüksek	Orta	Muhtemelen evet
20	Orta	Yüksek	Uzun	Evet
21	Yüksek	Düşük	Kısa	Olabilir
22	Yüksek	Düşük	Orta	Muhtemelen evet
23	Yüksek	Düşük	Uzun	Evet
24	Yüksek	Orta	Kısa	Muhtemelen hayır
25	Yüksek	Orta	Orta	Muhtemelen hayır
26	Yüksek	Orta	Uzun	Olabilir

Jee-Hyong Lee eşgüdümlü kavşaklarda bulanık mantık denetleyici sistemler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Faz uzunluğu ve faz süresi kavşağın trafiğini etkileyen diğer kavşaklarla etkileşim içerisinde olduğunu belirtmiştir. Yaptığı çalışmalarda üç tane girdi parametreleri aşağıdaki gibidir

- Bir şeritte detektörler arasında bekleyen taşıt sayısı,
- Kırmızı ışık başlangıcından beri geçen süre,
- Kavşağın trafiğini etkileyen yan kavşaklardaki taşıt trafiğinin hesap yapılan kavşağa geliş süresi ve yan kavşaktaki taşıt sayısı.

Yeşil faz süresi ve gelecek faza karar verilir. Duruş modülü ve gelecek fazın çıktıları karar modülünün girdisidir. Lee'in yaptığı modelin saha çalışması yapılmış olup 9 tane kavşak belirlenip 10 adet trafik göz önünde bulundurularak aşağıdaki Çizelge 5.9'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.9: Yapılan çalışma sonuçlarının karşılaştırılması (Lee, vd., 1995).

Trafik hacmi (taşıt/saat)	Ortalama gecikme (sn/taşıt)		Gelişme oranı (%)
	Trafik uyarımlı sistem	Bulanık sistem	
1100	54,3	44,2	18,6
1200	55,1	45,6	17,2
1300	54	48,6	10,0
1400	56,6	52,9	6,5
1500	59,8	58,7	1,8
1600	64,3	65,5	-1,9
1700	71,3	71,0	0,4
1800	79,3	77,8	1,9
1900	111,1	88,4	20,4
2000	137,2	105,6	23,0

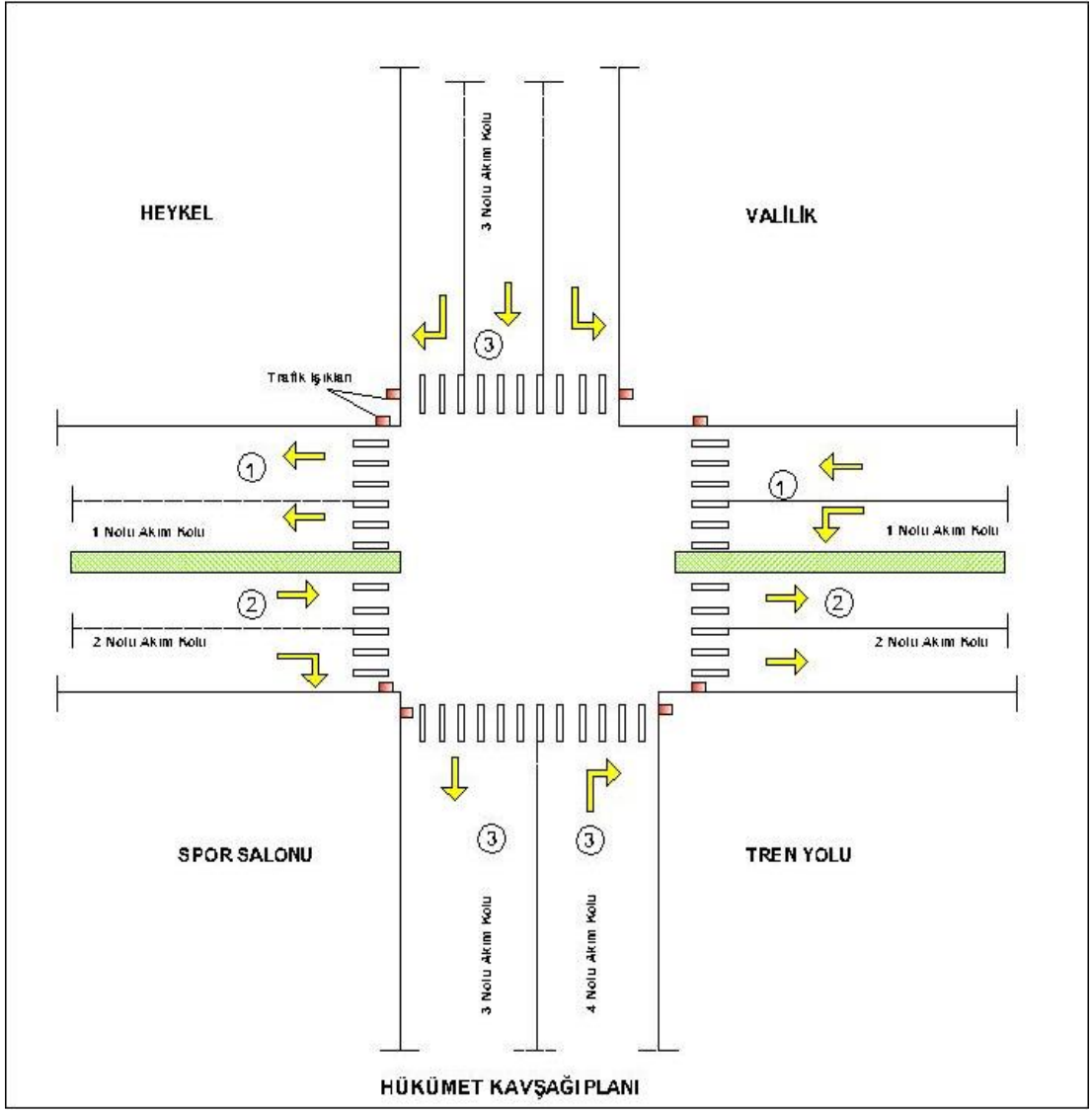
6. KAVŞAK ANALİZİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma konusu trafik akım etkileşimleri ve bulanık mantık değerlendirmesi olarak sahada yakın mesafeli izole kavşak olarak Balıkesir ilinde Hükümet kavşağı, buna etkiyen Gar kavşağı ve yan yollar dikkate alınmıştır. Bunun için sahada üç değişik zamanda sabah, öğle ve akşam saatlerinde trafik verileri toplanmıştır. Çalışma planına göre önce kavşak verilerinin toplanması daha sonra toplanan verilerin Webster yöntemi ile gecikmelerin hesabı daha sonra Bulanık mantık yöntemi ile gecikme sürelerinin hesabı yapılmıştır. Daha sonra gar kavşağından gelen verilerinde birleştirilmesiyle değişken fazlı sinyalizasyon denetim sistemi kurulmuştur. Kurulan sinyalizasyon denetim sistemi için performans ölçümü ve hız yoğunluk ilişkileri incelenmiştir.

6.1 Saha Verilerinin Toplanması

Alınan veriler 01.02.2019 günü verileri olup 3 aşamalı incelenmesi planlanmıştır. Sabah 07.30-08.30, öğle 12.00-13.00, akşam 17.00-18.00 olarak 3 aşamalıdır. Balıkesir ilinde Hükümet kavşağı 3 fazlı olup, 4 akım kolu vardır. Devre süresi akşam ve sabah 132 saniye öğlen ise 114 saniye olarak gözlemlenmiştir. Caddeler Bursa-İzmir istikametinde 2'şer şerit olup valilik tarafı 3 şeritli, köprü tarafı gidiş-geliş olarak toplamda 2 şeritlidir. Her hesap yöntemi için kullanılan temel parametre saatlik trafik hacim değeri çizelge 14'de verilmiştir. Verilerin saha gözlem formu ek-1 de verilmiştir. Veriler için sabah, öğle ve akşam olarak her aşama için 60 dakika veriler toplanmıştır. Kavşak trafiği ağır taşıt trafiğine kapalıdır. Kavşak sadece Gar kavşağı tarafından etkileşimlidir.

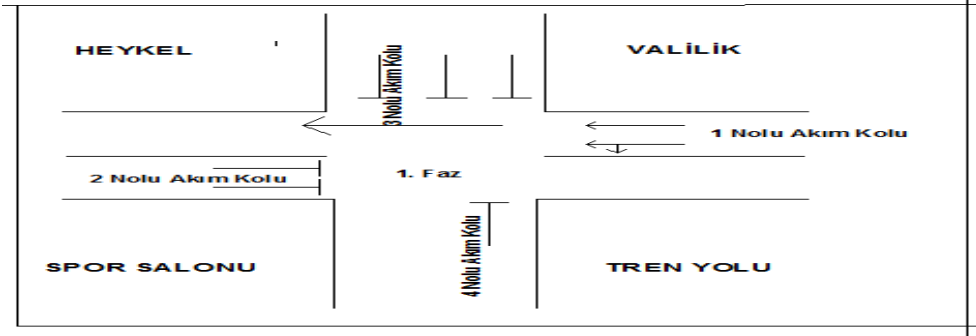
Kavşak için gözlenen diğer veriler gecikme, ortalama kuyruk uzunluğu ve faz düzeni elde edilmiştir. Bu verilerin toplanması ek dokümanlarda verilmiştir. Arazi çalışmalarında belirlenemeyecek parametreler daha önce anlatılan ampirik formüllerle elde edilmiştir. Kavşak planı Şekil 6.1 de verilmiştir.



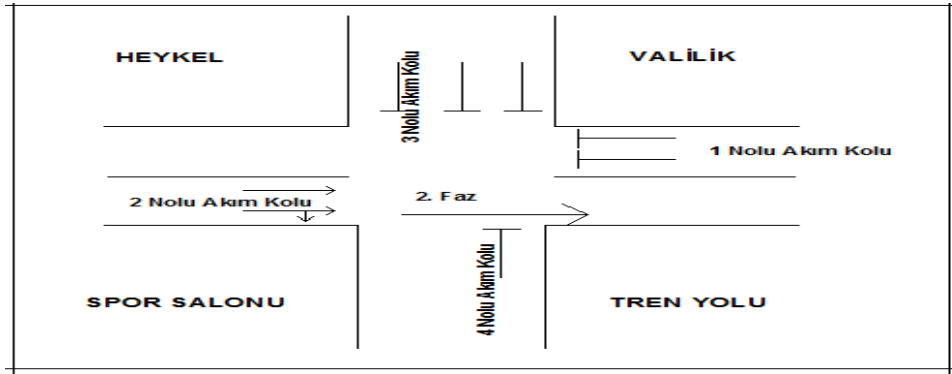
Şekil 6.1: Kavşak planı.

6.1.1 Hükümet Kavşağı Faz Düzeni ve Süreleri

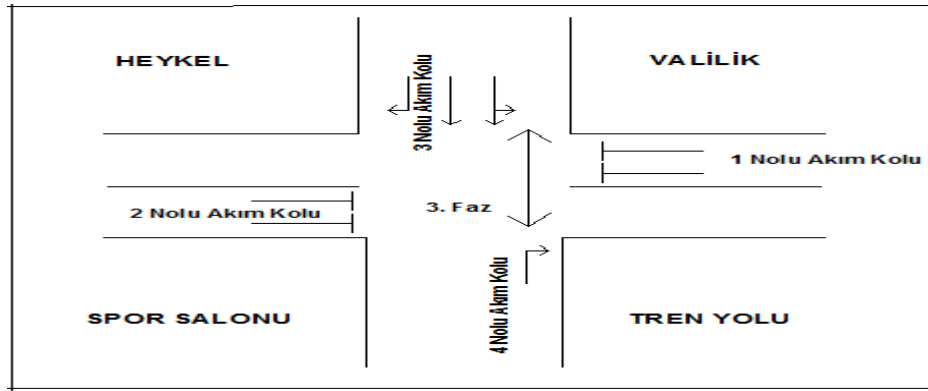
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de kavşak için devre süresi sabah ve akşam süreleri için 132 sn. ve öğlen için 114 saniyedir. Kavşak için yeşilden sonra uygulanan sarı süre 3 saniye, kırmızı +sarı süre 3 saniye ve devre tamamlandığında bütün taşıt trafiği için yanan kırmızı süre 6 saniyedir. Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de grup isimleri faz isimleri ile adlandırılmıştır. Grup 1 bir numaralı faz düzenini kullanan trafik içindir. Grup 4-5-6 ise yaya trafiği için çizilmiştir. Şekillerde ve çizelgelere faz düzenleri ve akış düzenleri gösterilmiştir..



Şekil 6.2: 1 numaralı faz düzeni.



Şekil 6.3: 2 numaralı faz düzeni.



Şekil 6.4: 3 numaralı faz düzeni.

Grup 1	6	3	49	3	71	3	29
Grup 2			61	3	36	3	29
Grup 3			103			3	23
Grup 4			55				
Grup 5					42		
Grup 6							29
Kavşak İsmi: Hükümet		Kırmızı			Kırmızı ve yeşilden önce,sonra bekleme sarı süresi 3 sn'dir		
Şehir: Balıkesir		Sarı					
Devre süresi: 132sn		Yeşil					

Şekil 6.5: Hükümet kavşağı için 1. devre süreleri.

Grup 1	6	3	44	3	58	27
Grup 2			56	3	25	27
Grup 3			87			21
Grup 4			50		64	
Grup 5			83		31	
Grup 6			87			27
Kavşak İsmi: Hükümet		Kırmızı			Kırmızı ve yeşilden önce,sonra bekleme sarı	
Şehir: Balıkesir		Sarı			süresi 3 sn'dir	
Devre süresi: 114sn		Yeşil				

Şekil 6.6: Hükümet kavşağı için 2. devre süreleri.

6.1.2 Saatlik Trafik Hacim Değerinin Belirlenmesi

Bu verinin belirlenmesi için Ek-A de verilen gözlem formu oluşturulmuştur. Ayrıca Balıkesir Büyükşehir Belediyesi ile ibirliği yapılarak yaptığım ölçüm çalışmalarında gerek ellerinde ve arşivlerinde olan veriler ile gerekse kurdukları taşıt ölçüm sistemindeki veriler ile yardımcı olmuşlardır. Şubat ayının birinde Cuma günü sabah, öğle ve akşam birer saat verilerin tabloya işlenmesi ile bulunmuştur. Kavşakta belirlenen güzergâh ve akım yönlerindeki trafik sayımları Çizelge 6.1'deki gibidir.

Çizelge 6.1: Hükümet kavşağı için saatlik trafik sayım bilgileri (Sabah, Öğle, Akşam).

Akım kolu	Akım yönü	Hacim değeri (taşıt/saat)	Faz sırası
1	Doğru giden ve sola dönen	688 (sabah)	1
		736 (öğle)	
		841 (akşam)	
2	Doğru giden ve sağa dönen	926 (sabah)	2
		612 (öğle)	
		853 (akşam)	
3	Doğru giden ve sağa, sola dönen	989 (sabah)	3
		1060 (öğle)	
		1042 (akşam)	
4	Sağa dönen	450 (sabah)	3
		568 (öğle)	
		665 (akşam)	

6.1.3 Kavşak Yaklaşım Kolları İçin Ortalama Kuyruk Uzunluklarının Belirlenmesi

Her sinyal devresi için oluşan kuyruk uzunlukları Ek-B de verilen form ile tutulmuş olup akşam 1 nolu yaklaşım kolu için örnek doldurulmuş form Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2: Bir devrede gözlenen trafik kuyruk oluşumu.

Kavşak adı: Hükümet Kavşağı		Tarih: 01.02.2018		
Kavşak yaklaşım kolu: 1 nolu yaklaşım kolu		Saat:17:00		
Şerit sayısı: 2		Devre süresi:134sn		
Yeşil süre: 50		Hareket türü: Düz gidiş		
Kırmızı süre: 84				
Saat	Yeşil başlangıcından sonra gelen araç sayısı	Yeşil sürede geçen taşıt sayısı	Kırmızı ışıkta bekleyen araç sayısı	Kuyruk boşalma süresi
17:01	23	37	60	36
17:03	20	38	58	35
17:05	25	35	60	34
17:07	22	36	58	33
17:09	25	35	60	34
17:12	27	33	60	36
17:14	28	30	58	33
17:16	30	31	61	32
17:18	28	33	61	35
17:21	25	31	56	32
17:23	27	28	55	30
17:25	29	29	58	32
17:27	33	30	63	36
17:29	32	25	57	35
17:31	34	22	56	34
17:33	35	23	58	33
17:35	34	25	59	34
17:37	37	23	60	36
17:39	36	24	60	33
17:41	38	25	63	32
17:43	41	23	64	35
17:45	38	24	62	32
17:47	41	25	66	30
17:49	42	26	68	32
17:51	43	31	74	36
17:53	41	32	73	35
17:55	33	33	66	34
17:57	32	29	61	33
17:59	26	31	57	34
18:01	27	32	59	36
Max Ort	31,73333333	29,3	61,0222222	33,73333333

Çizelge 6.3'ün oluşumunda sahada yapılan gözlemlerle oluşturulmuş Çizelge 6.2'de bulunan gözlem föylerinin değerlendirilmesi yapılarak bir devrede gözlenen trafik kuyruk oluşumları gösterilerek, trafik uyarlamalı ve bulanık mantık sinyal denetleyici sisteminde kullanılacaktır. Her yaklaşım kolu için tutulan trafik verileri Çizelge 6.3' de özetlenmiştir.

Çizelge 6.3: Bir devrede gözlenen trafik kuyruk oluşumu saha verileri.

Yaklaşım kolu	Kırmızı Işıқта oluşan ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt)			Yeşil başlangıcından itibaren gelen araç ortalaması
1 numaralı yaklaşım kolu	Minimum	Sabah	1,11	1
		Öğle	2,09	1,14
		Akşam	3,57	1,86
	Ortalama	Sabah	10,07	4,73
		Öğle	4,49	2,11
		Akşam	23,41	12,5
	Maksimum	Sabah	16,34	8,49
		Öğle	7,46	3,87
		Akşam	61,02	31,73
2 numaralı yaklaşım kolu	Minimum	Sabah	7,86	3,05
		Öğle	4,32	2,02
		Akşam	7,39	3,21
	Ortalama	Sabah	15,33	10,25
		Öğle	7,43	3,71
		Akşam	29,81	16,98
	Maksimum	Sabah	34,28	17,2
		Öğle	8,87	4,65
		Akşam	60,89	40,25
3 numaralı yaklaşım kolu	Minimum	Sabah	4,37	1,37
		Öğle	5,41	2,22
		Akşam	8,31	3,21
	Ortalama	Sabah	10,22	5,64
		Öğle	7,43	3,57
		Akşam	10,67	4,89
	Maksimum	Sabah	17,62	8,75
		Öğle	9,81	3,96
		Akşam	13,13	8,61
4 numaralı yaklaşım kolu	Minimum	Sabah	2,37	1,10
		Öğle	2,67	1,27
		Akşam	3,38	2,01
	Ortalama	Sabah	3,77	1,36
		Öğle	3,80	1,58
		Akşam	6,39	2,34
	Maksimum	Sabah	5,33	2,65
		Öğle	5,88	2,74
		Akşam	9,77	4,56

6.1.4 Yaklaşım Kollarındaki Ortalama Taşıt İzleme Aralıkları

Kırmızıdan yeşile geçen ışık ile araçların kavşak dur çizgisini terk etme süresini ifade eder. Bu süre değişken olup 2 ile 4 saniye arasında değiştiği gözlenmiştir. Hesapta kullanılacak değerin 2 alınmasına karar verilmiştir.

6.2 Ortalama Gecikme Analizinin Yapılması

Ortalama gecikme analizleri aşağıda gösterilen yöntemler ile yapılabilmektedir.

6.2.1 Kavşak Analizinin İngiliz Webster Yöntemi ile yapılması

Hükümet kavşağı için Webster (İngiliz) yöntemi ile uygulanan devre süresine göre çözümlene sonuçları çizelge 6.3’de gösterilmiştir. Bu tabloda verilen kavşak kollarına göre düzeltilmiş akım, düzeltilmiş doygun akım, akım oranları, kapasite ve gecikme değerleri daha önce anlatıldığı gibi yapılmış olup hesap raporları Çizelge 6.4’de sunulmuştur. Çözüm için 2 devre planı ele alınmıştır. Birinci devre süresi 132 saniye, ikinci devre süresi ise 114 saniyedir. Hesap için kullanılan gözlem saatlik akım değerleri çizelge 6.1’den alınmıştır. Hesap için eğim, sola dönüş, trafik kompozisyonu değerleri göz önünde tutulmuştur. Sağa dönüş, yaya ve park şeridi etkisi sınır değerlere ulaşmadığı için ihmal edilmiştir. Çizelge 6.3 ve 6.4 kavşağın bütün kolları için gecikme değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplarda kavşağın diğer kavşaklarda etkileşimli olmadığı ve etkileşimin kavşaklarda gecikme değeri üzerinde etkilerini belirlemek için etkileşimli gecikme değerleri daha sonra hesaplanacaktır.

Çizelge 6.4: Webster detaylı analiz sonuçları.

Sol dönüş ise: $sd=1800/(1+5/R)$																			
1.Devre Süresi (D): 132 sn				2.Devre Süresi (D) 114 sn				Düz+sağ ise: $sd=u*48,8*n*k$		2.devre	1.devre	2.devre	1.devre	2.devre	2.devre	1.devre	1.devre	1.devre	2.devre
Yöntem	Kavşak kolu	k (Eğim)	R(mt) (Dönüş Yarıçapı)	u(mt) (Yeşil Süre/Devre)	n (Trafik Kompozisyonu)	Saha Akım Değeri (tş/sa)	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)(Sd)	Düzeltilmiş Doygun Akım (tş/sa)(sd)	Akım Oranları: (y) (Sd/sd)(%)	Yeşil Süre(g) (sn)	Yeşil Süre(g) (sn)	Kapasite ((c=g*sd/D)(c)	Kapasite ((c=g*sd/D)(c)	$\delta = g/D$ (Yeşil Süre Oranı)	x = (D/g)*y (Doygunluk Derecesi)	$\delta = g/D$ (Yeşil Süre Oranı)	x = (D/g)*y (Doygunluk Derecesi)	gecikme (sn/taşıt)	gecikme (sn/taşıt)
WEBSTER Yöntemi	1 Numaralı Kavşak Kolu (sol)	1	11,25	3,25	1,25	311	388,75	1585,20	0,245			611,83	588,45						
	1 Numaralı Kavşak Kolu (düz)	1	1	3,25	1,25	530	662,5	2132	0,311	44	49	822,88	791,42	0,39	0,85	0,37	0,76	36,37	31,94
	2 Numaralı Kavşak Kolu (düz+sağ)	1	1	6,5	1,25	926	1157,5	4264	0,271	25	36	935,09	1162,91	0,22	1,43	0,27	1,00	47,98	50,58
	3 Numaralı Kavşak Kolu (sol)	1	12,5	3,25	1,17	378	442,26	1604,35	0,276			295,54	279,55						
	3 Numaralı Kavşak Kolu (sağ+düz)	1	1	6,5	1,17	682	797,94	3991,10	0,200	21	23	735,20	695,42	0,18	1,39	0,17	1,27	57,76	50,92
	4 Numaralı Kavşak Kolu (sağ)	1,06	1	3,75	1,08	665	761,292	2252,97	0,338	21	23	415,02	392,56	0,18	2,12	0,17	1,94	67,70	61,97

Çizelge 6.5: Webster özet analiz sonuçları.

Kavşak kolu	Gözlem değerleri (t _s /sa)	Düzeltilmiş akım (Sd)	Düzeltilmiş doymun akım (sd)	Akım oranları (Sd/sd)	Yeşil süre (g)(sn)		Kapasite (t _s /sa)		Gecikme (sn/t _s)	
1 Numaralı Kavşak Kolu (sol)	311	388,75	1585	0,245	49	44	588	611	36,3	31,9
1 Numaralı Kavşak Kolu (düz)	530	662,5	2132	0,311	49	44	791	822	36,3	31,9
2 Numaralı Kavşak Kolu (düz+sağ)	926	1157,2	4264	0,271	36	25	1162	935	47,9	50,6
3 Numaralı Kavşak Kolu (sol)	378	442,26	1604	0,276	23	21	279	295	57,7	50,9
3 Numaralı Kavşak Kolu(sağ+düz)	682	797,94	3991	0,200	23	21	695	735	57,7	50,9
4 Numaralı Kavşak Kolu(sağ)	665	761,29	2252	0,338	23	21	392	415	67,7	61,9

Kavşak için sahada tespit edilen trafik verileri ile Webster ile gecikme hesabı konusunda anlatılan kurallara göre hesap yapılmıştır. Sonuçlarda gözlenen veriler doymunluk oranının arttığı trafik akım kollarında gecikme değerlerinde sapma olduğu gözlenmiştir. Dört numaralı kavşak kolu için trafik hacmi ortalama olmasına rağmen gecikme değerlerinin yüksek çıkmasının sebebi doymun akım değerinin yüksek olmasıdır.

6.2.2 Ortalama Gecikmelerin Bulanık Mantık İle Analizi

Gecikme modeli tasarlanırken sahadan elde edilen verilerin analizi yapılmıştır. Hükümet kavşağı için sahada elde edilen faz ve devre süresi, saatlik trafik hacmi, bir devrede kırmızı fazda oluşan kuyruk uzunluğu, yeşil fazda kuyruğa katılım ve yeşil fazda kuyruk boşalma araç sayısı gibi veriler elde edilmiştir. Bu verilerin analizi ve ortalama gecikme süresi analizi için girdi parametreleri aşağıdaki gibidir. Çıktı verisi Ortalama gecikmedir. Verilerin bulanık mantık ile değerlendirilmesi MATLAB 2018b programı ile yapılması düşünülmüştür.

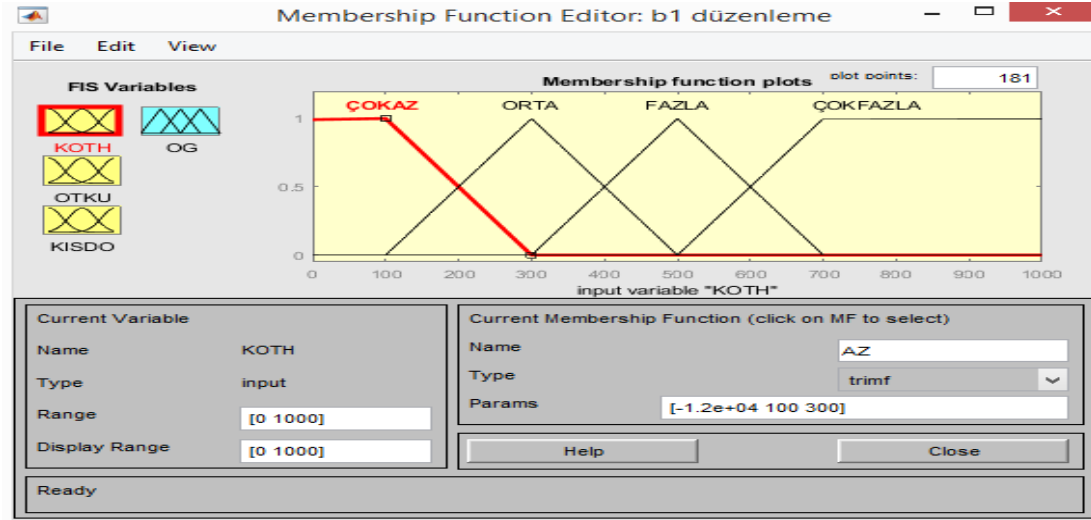
Girdi parametreleri:

- Bir şerit için trafik hacmi

- Bir şerit için ortalama kuyruk uzunluğu
- Bir devrede toplam ortalama kırmızı/devre süresi oranı

6.2.2.1 Şerit İçin Ortalama Trafik Hacmi

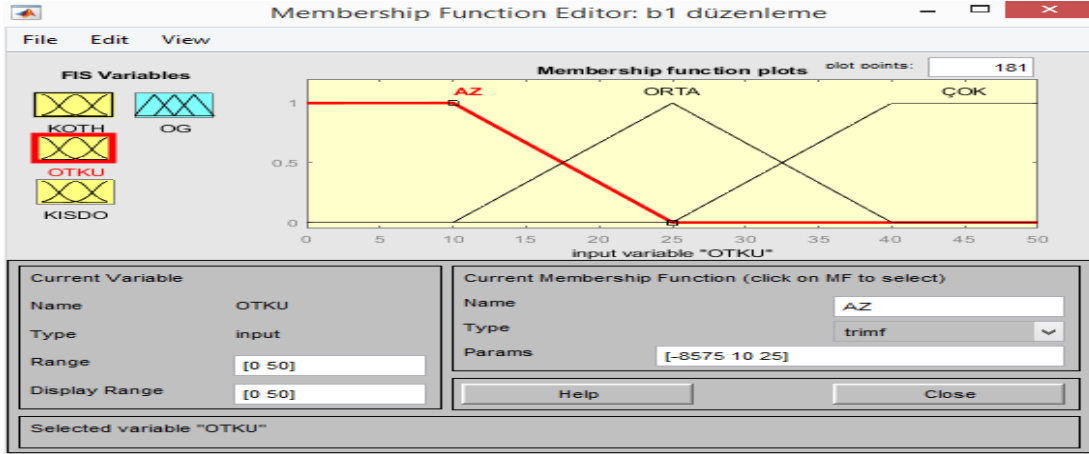
Bu parametre kapsamında saatlik ortalama trafik hacim verilerinin şerit bazında incelenmesi sonucunda elde edilmiştir. Şerit bazında trafik araç sayısının fazla değiştiği gözlenmiştir. Bir şerit için ortalama saatlik hacim 300 araç/saat olarak hesaplanmıştır. Verilerin MATLAB programına girişi Şekil 6.7'deki gibidir.



Şekil 6.7: Kavşak için ortalama trafik hacmi (KOTH).

6.2.2.2 Şerit İçin Ortalama Kuyruk Uzunluğu

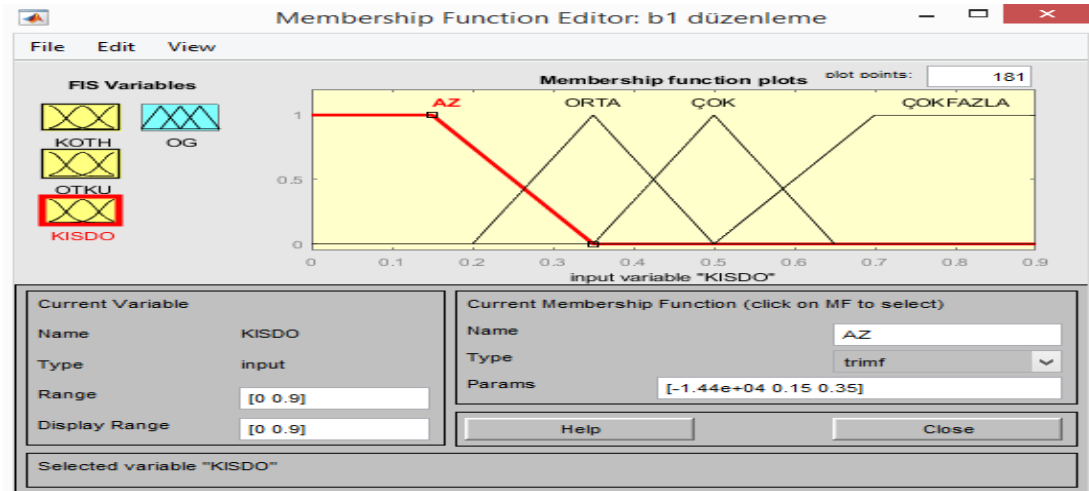
Bu parametre bir devrede oluşan kuyruk uzunluğu verisinin analizi sonucunda elde edilmiştir. Bir devrede kırmızı ışıkta oluşan kuyruk uzunluğunun toplamının şerit bazında incelenmesi sonucu bir şerit için ortalama 25 araç/devre kuyruk olduğu gözlenmiştir. Bu verilerin MATLAB programına girilmesi Şekil 6.8'deki gibidir.



Şekil 6.8: Ortalama trafik kuyruk uzunluğu (OTKU).

6.2.2.3 Kırmızı Işık Süresinin Devre Süresine Oranı

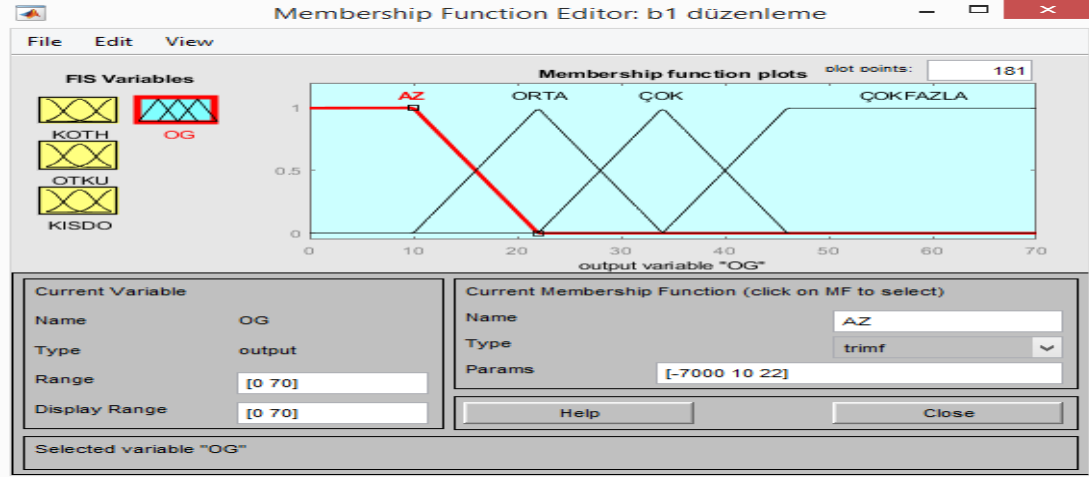
Bu parametre kavşakta bir devre süresinin kırmızı ışık süresine oranını ifade eder. Verilerin MATLAB programına girilmesi Şekil 6.9'daki gibidir.



Şekil 6.9: Kırmızı ışığın devre süresine oranı (KISDO).

6.2.2.4 Ortalama Gecikme Süresi

Çıktı parametresi olan bu verinin elde edilmesi kavşakta oluşan toplam gecikme değerinin toplam araç sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. Ortalama araç başına düşen toplam gecikme verisi 28 sn/araç tır. Bir devrede ortalama kuyruk boşaltım verisi ise şerit başına 16 araçtır. Verinin MATLAB programına girilmesi Şekil 6.10'daki gibidir.



Şekil 6.10: Ortalama gecikme saha değerleri (OG).

6.2.2.5 Veri Analizinin Yapılması ve Kural Tabanının Oluşturulması

Verilerin analizi için durulaştırma yönteminin seçilmesi ve kural tabanının oluşturulması gerekmektedir. Bunun için durulaştırma yöntemi en çok kullanılan yöntem olan ağırlık merkezi metodu seçilmiştir. Kural tabanı için 48 tane kural belirlenmiştir. Kurallar aşağıdaki gibidir.

KOHT: Kavşak için ortalama trafik hacmi

OTKU: Ortalama trafik kuyruk uzunluğu

KISDO: Kırmızı ışığın devre süresine oranı

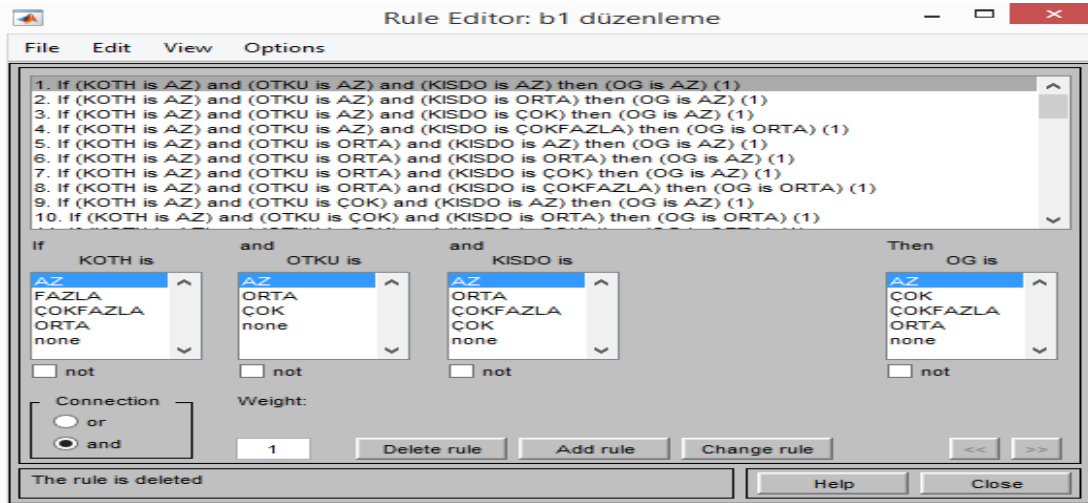
OG: Ortalama gecikme saha değerleri

- KOHT az ve OTKU az ve KISDO az ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU az ve KISDO orta ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU az ve KISDO çok ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU az ve KISDO çok fazla ise OG ortadır.
- KOHT az ve OTKU orta ve KISDO az ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU orta ve KISDO orta ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU orta ve KISDO çok ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU orta ve KISDO çok fazla ise OG ortadır.
- KOHT az ve OTKU çok ve KISDO az ise OG azdır.
- KOHT az ve OTKU çok ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT az ve OTKU çok ve KISDO çok ise OG ortadır.
- KOHT az ve OTKU çok ve KISDO çok fazla ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU az ve KISDO az ise OG azdır.
- KOHT orta ve OTKU az ve KISDO orta ise OG azdır.
- KOHT orta ve OTKU az ve KISDO çok ise OG azdır.
- KOHT orta ve OTKU az ve KISDO çok fazla ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU orta ve KISDO az ise OG azdır.
- KOHT orta ve OTKU orta ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU orta ve KISDO çok ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU orta ve KISDO çok fazla ise OG çoktur.

- KOHT orta ve OTKU çok ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU çok ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU çok ve KISDO çok ise OG ortadır.
- KOHT orta ve OTKU çok ve KISDO çok fazla ise OG çoktur.
- KOHT çok ve OTKU az ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU az ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU az ve KISDO çok ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU az ve KISDO çok fazla ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU orta ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU orta ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU orta ve KISDO çok ise OG çoktur.
- KOHT çok ve OTKU orta ve KISDO çok fazla ise OG çoktur.
- KOHT çok ve OTKU çok ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU çok ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT çok ve OTKU çok ve KISDO çok ise OG çoktur.
- KOHT çok ve OTKU çok ve KISDO çok fazla ise OG çoktur.
- KOHT çok fazla ve OTKU az ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT çok fazla ve OTKU az ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT çok fazla ve OTKU az ve KISDO çok ise OG çoktur.
- KOHT çok fazla ve OTKU az ve KISDO çok fazla ise OG çoktur.

- KOHT çok fazla ve OTKU orta ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT çok fazla ve OTKU orta ve KISDO orta ise OG ortadır.
- KOHT çok fazla ve OTKU orta ve KISDO çok ise OG çoktur.
- KOHT çok fazla ve OTKU orta ve KISDO çok fazla ise OG çoktur.
- KOHT çok fazla ve OTKU çok ve KISDO az ise OG ortadır.
- KOHT çok fazla ve OTKU çok ve KISDO orta ise OG çoktur.
- KOHT çok fazla ve OTKU çok ve KISDO çok ise OG çoktur.
- KOHT çok fazla ve OTKU çok ve KISDO çok fazla ise OG çok fazladır.

Kural tabanı oluştururken olası senaryolar trafik gözlem verileri göz önünde bulundurulmuştur. Kuralların MATLAB programına girişi Şekil 6.11'deki gibidir.



Şekil 6.11: MATLAB Programına kural tabanı girilmesi.

Programaya girilen veriler aracılığıyla elde edilen veriler çizelge ve grafik halinde aşağıda verilmiştir. Verilerin saha gecikme değerlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Burada verilen kurallar çevresinde bulanık mantık sinyal denetleyicisi kurulacaktır.

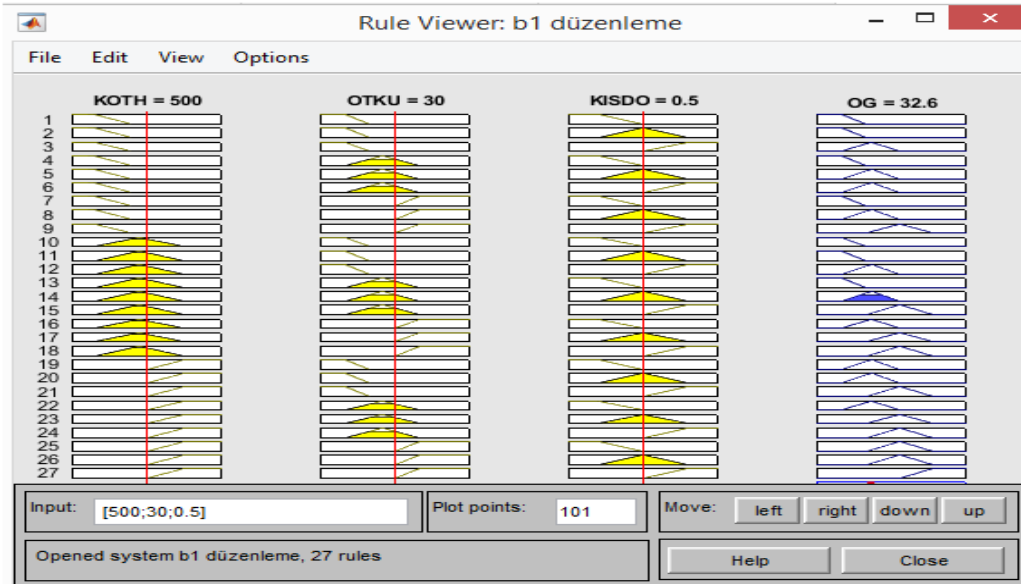
Programaya girilen veriler aracılığıyla elde edilen veriler Çizelge 6.5'de ve grafik halinde Şekil 6.12'de verilmiştir. Verilerin saha gecikme değerlerine yakın olduğu

gözenmiştir. Burada verilen kurallar çevresinde bulanık mantık sinyal denetleyicisi kurulacaktır.

Çizelge 6.6: MATLAB sonuçları.

Veri numarası	Trafik hacmi	Kırmızı süre/devre süresi	Ortalama gecikme
1	841	0,65	31,2
2	853	0,72	42,2
3	1042	0,83	30,83
4	665	0,83	25,7

Çizelgede yer alan veriler incelendiğinde Webster modelinin doygunluk oranı artıka sapma miktarının artığı ve yoğun olmayan trafikte doğruya yakın yoğun trafikte ise yanlış değerler verdiği gözlenmiştir. Bu sistemin kurulması bulanık mantık sinyal denetleyici sistemin kurulması ve çıkan sonuçların bu veriler ile ortalama gecikmelerin karşılaştırılması düşünülmüştür.



Şekil 6.12: MATLAB veri analizi sonuçları.

6.3 Bulanık Mantık Etkileşimli Sinyalizasyon Denetim Algoritması Önerisi

Önerilen bulanık mantık etkileşimli denetim algoritması için iki modül belirlenmiştir. Modüller yeşil süresinin değişimi ile faz değişim kararı modülüdür. Bunun için daha önce belirlenen veriler gibi kavşak verileri ve gar kavşağından hükümet kavşağına akan trafik hacmi etkileşimin de göz önünde bulundurarak bir algoritma tasarlanmıştır.

Algoritmanın oluşturulması daha sonra ortalama gecikmeler üzerinde etkisi ve performans düzeyi belirlenmesi amaçlanmıştır. Modüller aşağıdaki gibi gösterilir.

- Faz sırasını belirleme modülü
- Fazın yeşil süresini belirleme modülü

Amaç trafiğin fazla olduğunun iki kavşak arasına yerleştirilen sensörler aracılığıyla tespiti ve bilgi girişi olarak sağlanıp modül sonuçlarının otomasyon verisi olarak sinyalizasyon sistemine entegre edilmesidir. Dinamik değişkenleri bulunan kavşaklar için daha iyi bir sonuç elde edilmesi düşünülmektedir.

6.3.1 Faz Yeşil Süresini Belirleme Modülü

Bu modül sonucunda uygulanan fazın yeşil süresinin trafik parametrelerine bağlı olarak azaltılması, artırılması veya sabit kalması konusunda çıktı parametrelerine sahiptir. Uygulanan fazın yeşil süresinin değişimi kuyruk uzunluğu en büyük olanı, yeşil sürede yaklaşım koluna gelen taşıt miktarı ve kalan yeşil sürenin faz yeşil süresine oranı olarak belirlenmiştir.

- Yeşil sürede yaklaşım koluna katılan trafik miktarı
- Fazlardaki kuyruk uzunluğu en büyük olanı
- Artık yeşil süre oranı

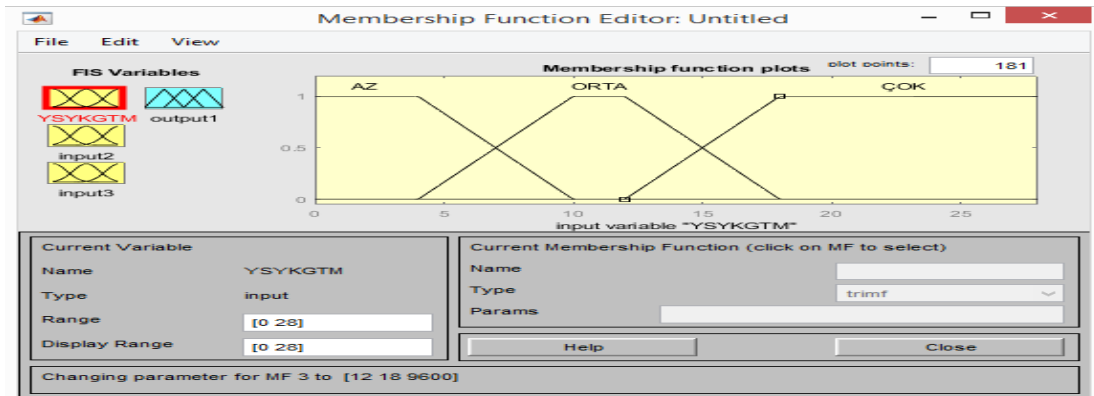
Bu girdi ve çıktı parametreleri değerlendirilmesi MATLAB programı yardımı aracılığıyla yapılması planlanmıştır. Mantık olarak yeşil sürede gelen araç az ve fazlarda kuyruk uzunluğu fazla ve kalan yeşil süre az ise faz yeşil süresini biraz artır olarak uygulanması düşünülmüştür.

6.3.1.1 Yeşil Sürede Yaklaşım Koluna Katılan Taşıt Miktarı

Kavşak 4 kollu olup 3 faz düzeni vardır bunun için 3 faz için yeşil sürede yaklaşan taşıt sayısı Çizelge 6.7’de verilmiştir. Bu durum kavşak için iki kavşak arasına yerleştirilen sensörlerle tespit edilebilir. Yeşil faz süreleri devam ederken gelen taşıt sayıları fazla değişim göstermediği gözlenmiş ve Şekil 6.13’deki gibi genelleştirilmiştir.

Çizelge 6.7: Yeşil sürede katılan araç sayıları.

Faz sırası	Üyelik fonksiyonu	Minimum	Ortalama	Maksimum
1	Az	1	2	8
	Orta	3	5	11
	Çok	8	12	22
2	Az	1	3	7
	Orta	3	6	15
	Çok	7	12	25
3	Az	1	5	9
	Orta	5	10	15
	Çok	10	18	28



Şekil 6.13: Yeşil sürede yaklaşım koluna gelen taşıt miktarı (YSYKGTM).

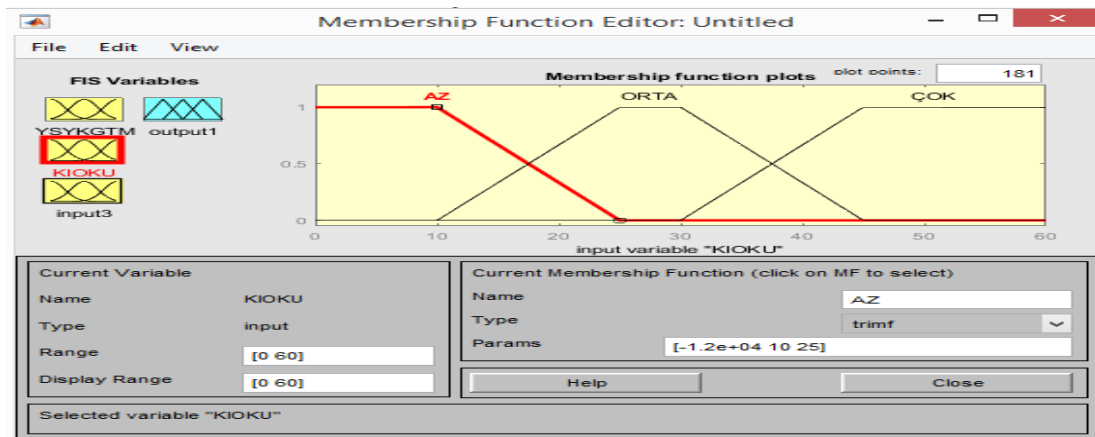
Yeşil sürelerde yaklaşım koluna gelen taşıt miktarı diğer kavşaklardan etkileyen hacimlerin hesaba katılması için düşünülmüştür.

6.3.1.2 Kırmızı Işıқта Oluşan En Büyük Kuyruk Uzunluğu

Oluşan kuyruk uzunluğu yeşil süresinin değişimi etkileyen önemli faktörlerdendir. Daha önce yaklaşım kolları için verilen kuyruk uzunluğu değerlerinin fazlara göre oluşumu aşağıdaki gibidir. Kırmızı sürede yaklaşım kollarında oluşan kuyruk uzunlukları şerit sayısı ve miktara bakıldığında fazla değişmediği gözlenmiştir. Genelleştirilmiş kırmızı ışıkta oluşan kuyruk uzunluğu Çizelge 6.8'deki gibidir.

Çizelge 6.8: Bulanık mantık yöntemi ile kırmızı sürede oluşan kuyruk uzunluğu.

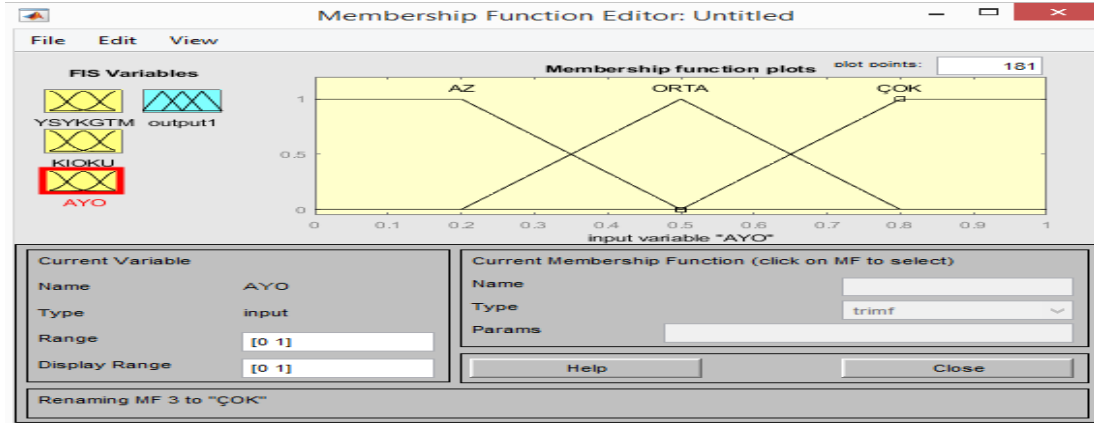
Faz sırası	Üyelik fonksiyonu	Minimum	Ortalama	Maksimum
1	Az	2	4	12
	Orta	4	10	28
	Çok	8	23	42
2	Az	3	5	15
	Orta	6	12	34
	Çok	10	28	40
3	Az	4	7	14
	Orta	8	15	28
	Çok	12	30	44



Şekil 6.14: Kırmızı ışıkta oluşan kuyruk uzunluğu (KIOKU).

6.3.1.3 Artık Yeşil Oranı

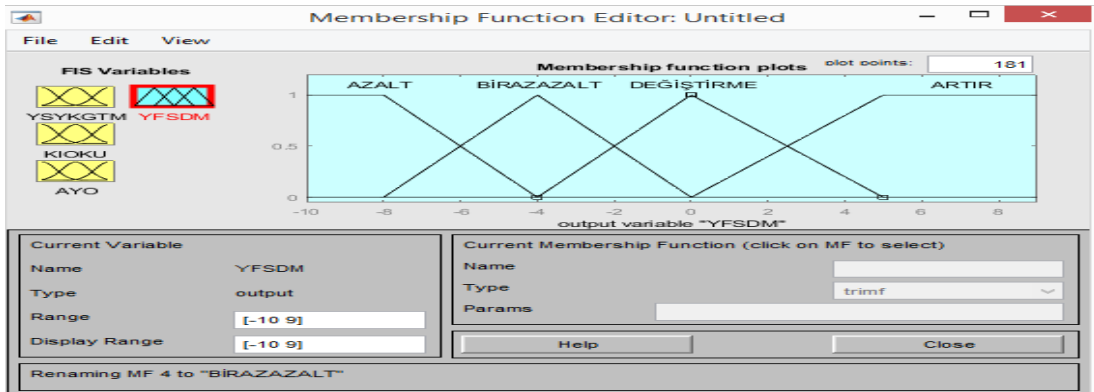
Bu oran mevcut fazdaki yeşil sürenin kullanımı ifade eder. Yani 50 saniyelik yeşil süresinin 25. saniyesinde bu oran 0,5'dir. Bu oranın kullanılması yeşil sürenin kullanım oranı ve bu süre boyunca mevcut trafik verilerinin durumuna göre yeşil süresini değişimini amaçlar. Kontrol Anında yeşilin bulunduğu durumdur. Bu veri için oluşturulan üyelik fonksiyonu Şekil 6.15'deki gibidir.



Şekil 6.15: Artık yeşil oranı (AYO).

6.3.1.4 Yeşil Faz Süresinin Değişimi Miktarı

Planlanan sistemde çıktı parametresi olan yeşil sürenin değişimi miktarının 0 ila 19 saniye arasında değişmesi planlanmıştır. Bunun için oluşturulan üyelik fonksiyonu Şekil 6.16'daki gibidir.



Şekil 6.16: Yeşil faz süresinin değişim miktarı (YFSDM).

6.3.1.5 Kural Tabanı

Modül için belirlenen 27 adet kural tabanı, maksimum taşıt geçişini hedefleyerek oluşturulmuştur.

YSYGTM: Yeşil sürede yaklaşım koluna gelen taşıt miktarı (YSYGTM).

KIOKU: Kırmızı ışıpta oluşan kuyruk uzunluğu (KIOKU).

AYO: Artık yeşil oranı (AYO).

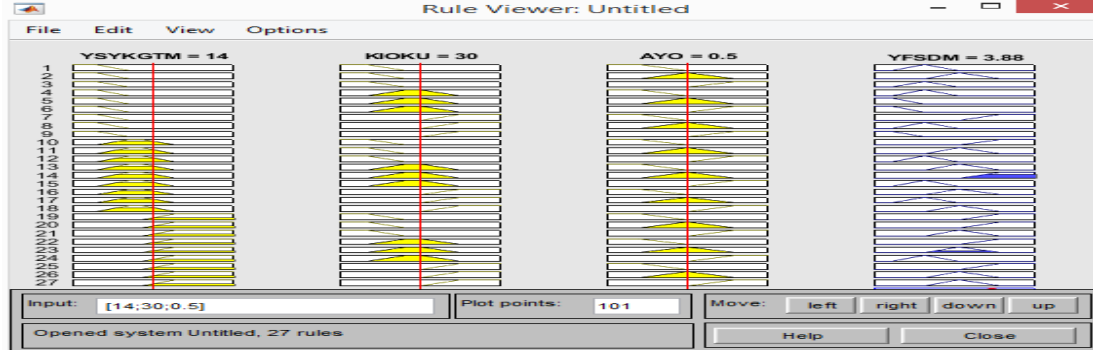
YFSDM: Yeşil faz süresinin değişim miktarı (YFSDM).

- YSYGTM az ve KIOKU az ve AYO az ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM az ve KIOKU az ve AYO orta ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM az ve KIOKU az ve AYO çok ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM az ve KIOKU orta ve AYO az ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM az ve KIOKU orta ve AYO orta ise YFSDM azalt.
- YSYGTM az ve KIOKU orta ve AYO çok ise YFSDM azalt.
- YSYGTM az ve KIOKU çok ve AYO az ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM az ve KIOKU çok ve AYO orta ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM az ve KIOKU çok ve AYO çok ise YFSDM azalt.
- YSYGTM orta ve KIOKU az ve AYO az ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM orta ve KIOKU az ve AYO orta ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM orta ve KIOKU az ve AYO çok ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM orta ve KIOKU orta ve AYO az ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM orta ve KIOKU orta ve AYO orta ise YFSDM biraz artır.

- YSYGTM orta ve KIOKU orta ve AYO çok ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM orta ve KIOKU çok ve AYO az ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM orta ve KIOKU çok ve AYO orta ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM orta ve KIOKU çok ve AYO çok ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM çok ve KIOKU az ve AYO az ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM çok ve KIOKU az ve AYO orta ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM çok ve KIOKU az ve AYO çok ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM çok ve KIOKU orta ve AYO az ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM çok ve KIOKU orta ve AYO orta ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM çok ve KIOKU orta ve AYO çok ise YFSDM biraz azalt.
- YSYGTM çok ve KIOKU çok ve AYO az ise YFSDM biraz artır.
- YSYGTM çok ve KIOKU çok ve AYO orta ise YFSDM değiştirme.
- YSYGTM çok ve KIOKU çok ve AYO çok ise YFSDM değiştirme.

6.3.1.6 Durulaştırma ıkarım Sonuçları ve Yorumlanması

Durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Burada çıkan sonuçlar mevcut durumdaki trafiğe yeşil faz süresine verilecek ekleme sürelerinin elde edilmesidir. Bu durum her devre süresince yeniler gelen bilgiler güncellenir ve her devre için ekleme süresi farklı oluşacaktır. MATLAB programından elde edilen çıktı verileri aşağıdaki gibidir. Verilerin analizi için kullanılan Şekil 6.17 incelendiğinde diğer kavşaklardan gelen taşıt trafiğinin yeşil süresince az olduğu ve kırmızı ışıkta kuyruk oluşumunun daha yoğun olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.17: MATLAB analiz sonuçları.

Elde edilen veriler daha anlamlı sonuçların çıkarılabilmesi için Çizelge 6.8’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.9: Yeşil süresi değişimi sonuçları.

Veri numarası	YSYKGTM	KIOKU	AYO	YFSDM
1	14	30	0,5	+3,88
2	5	30	0,5	-2,77
3	21	30	0,5	+0,33
4	14	13	0,5	2,18
5	14	40	0,5	0,2
6	14	30	0,25	+1,91

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde yeşil oranı ve kırmızı ışıktaki kuyruk uzunluğunun sabit olduğu durumda yeşil fazda akıma katılan araç sayısının arttığında yeşil sürenin değişimi +0,38 olduğu azaldığında ise yeşil süredeki değişimin -2,77 saniye olduğu gözlenmiştir.

6.3.2 Faz Seçici Modül

Yeşil faz süresinde değişimin belirlenmesinin ardından faz seçici modülün kullanılması gerekir. Burada amaçlanan sonuç ise mevcut fazın durumunun diğer fazlara göre karşılaştırılması ve kritik durumun oluşması durumunda fazın değişmesi, eğer mevcut faz durumunun daha kritik olması durumunda fazın değişmemesinin kararının verilmesidir. Bu işlem bir devrede yapıp trafik değerlerinin değiştiği bir sonraki devreyi kapsamamaktadır. Her devre için farklı trafik verilerinin oluşması ve bunun toplanıp işlenmesi gerekir. Bir devredeki fazların ise önce kendi içinde yeşil sürenin yeterliliği daha sonra faz değişimin belirlenmesi amaçlanır.

Faz seçici modül için girdi parametreleri:

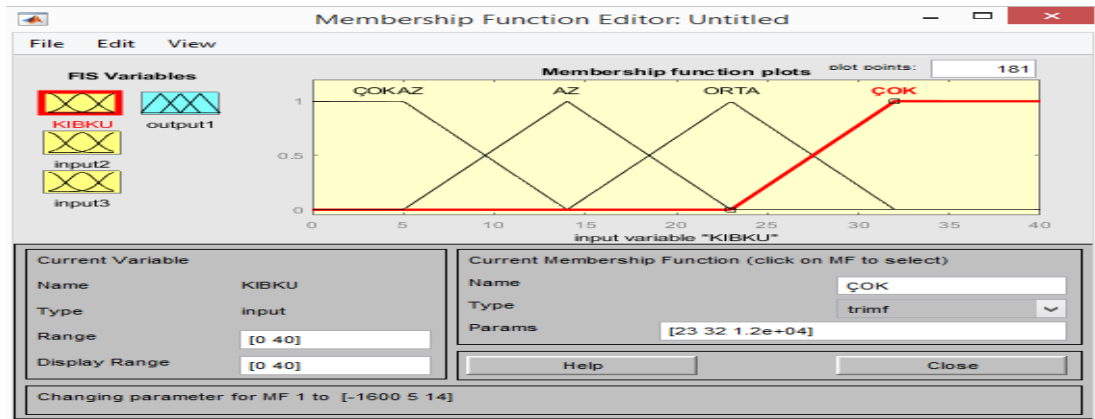
- Kırmızı ışıpta bekleyen kuyruk miktarı
- Bir sonraki fazdaki bekleyen kuyruk uzunluğu
- En büyük kuyruk için kırmızı süresi

Bu girdi parametreleri değerlendirilmesi sonucunda fazın değişim kararı verilecektir.

6.3.2.1 Kırmızı Işıpta Bekleyen Kuyruk Uzunluğu

Bu parametre denetim anında bir kolun yeşil fazda olduğunu ve diğer kırmızı fazlarda oluşan kırmızı ışıktaki kuyruk uzunluğunun ifadesidir. Bir devre süresince fazlar sırası ile değişeceği için 1. fazın denetiminde 2 ve 3. faz kırmızı olacaktır. Ve bu değer 2 veya 3. fazın büyük olanının kuyruk uzunluğudur. 2. fazın denetimi anında ise 1 ve 3. faz kırmızı fazlarının en büyük kuyruk uzunluğunu ifade edecektir. Verilerin elde edilmesi saha gözlemleri sonucunda elde edilmiştir. Bu verinin MATLAB programına işlenmesi aşağıdaki gibidir.

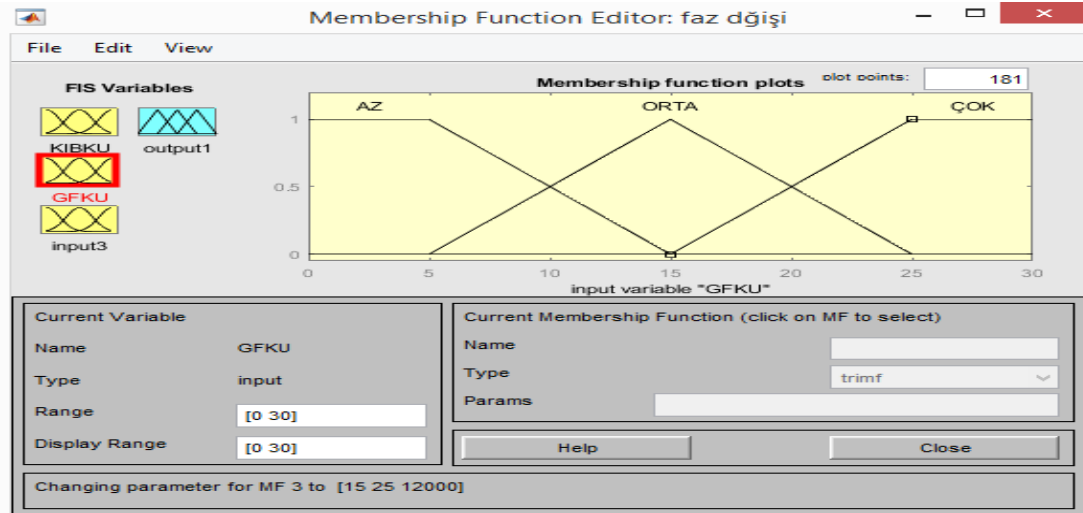
Veriler incelendiğinde kırmızı ışık kuyruk uzunluğu ortalama değerleri incelendiğinde Şekil 6.18'deki veriler elde edilmiştir.



Şekil 6.18: Kırmızı ışıpta bekleyen kuyruk uzunluğu (KIBKU).

6.3.2.2 Gelecek Fazdaki Kuyruk Uzunluğu

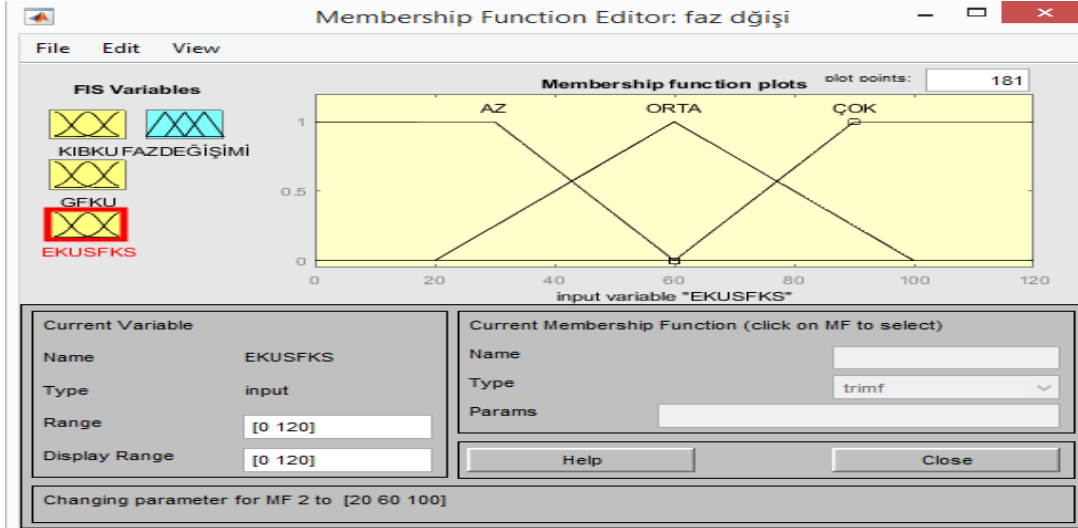
Faz değiştirme kararını alırken bir sonraki fazın kuyruk uzunluğu önemli bir parametredir. Bunun için sahadan elde edilen kuyruk uzunlukları değerleri Şekil 6.19’da kullanılmıştır.



Şekil 6.19: Gelecek fazdaki kuyruk uzunluğu (GFKU).

6.3.2.3 En Büyük Kuyruk Uzunluğuna Sahip Fazın Kırmızı Süresi

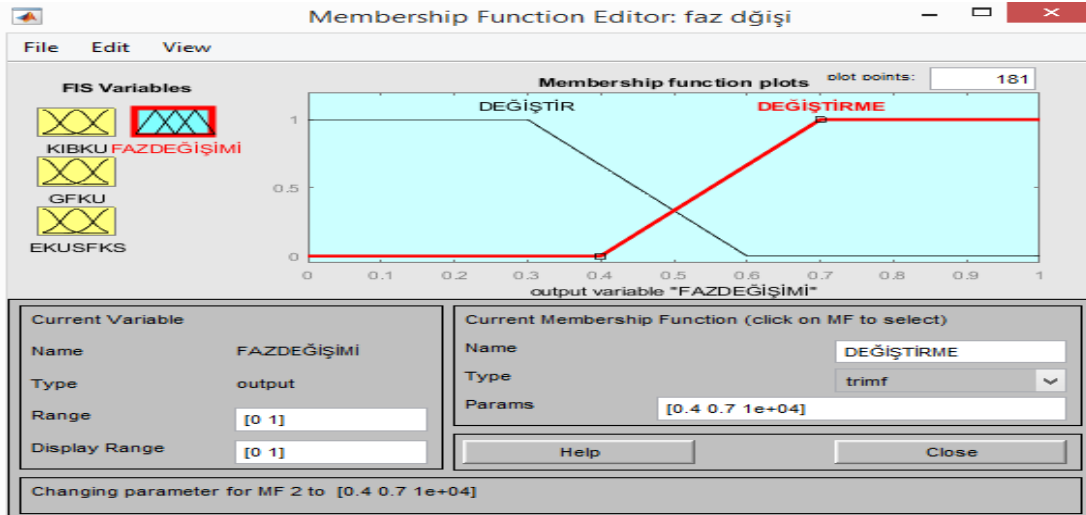
Bu parametre kuyruk uzunluğu fazla olan fazın kırmızı süresinin irdelenmesi ve buna göre faz değişim kararının verilmesini temsil eder. Hükümet kavşağı için iki farkı devre düzeni olduğu gözlenmiştir. Bunlar 114, 132 saniyedir. Devreler için maksimum kırmızı ışık süresi 100 saniye, minimum süre ise 40 saniye olarak tespit edilmiştir. Bu değerler göz önünde bulundurularak Şekil 6.20’deki üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur.



Şekil 6.20: En bđyđk kuyruğa sahip fazın kırmızı sđresi (EKUSFKS).

6.3.2.4 Faz Değişim Kararı

Girdi parametrelerinin değerlendirilmesi sonucunda fazın değişimi kararı iÇin iki alt üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Bu üyelik fonksiyonları Şekil 6.21'deki gibidir.



Şekil 6.21: Faz değişimi üyelik fonksiyonu

6.3.2.5 Kural Tabanı ve Durulaştırma Yöntemi

Kural tanı oluşturulurken gecikmelerin minimuma indirilmesi ve maksimum trafik hacminin geçişi göz önünde bulundurularak aşağıdaki kurallar oluşturulmuştur. Durulaştırma için ağırlık merkezi metodu kullanılmıştır.

KIBKU: Kırmızı ışıktaki bekleyen kuyruk uzunluğu

GFKU: Gelecek fazdaki kuyruk uzunluğu

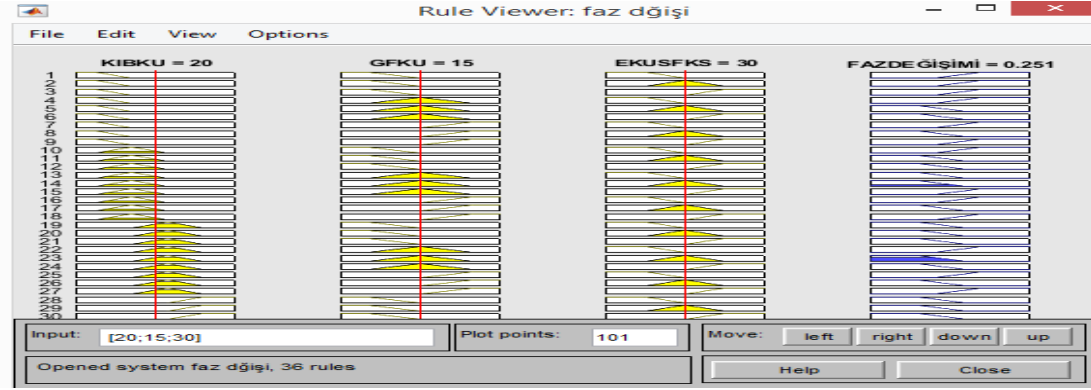
EKUSFKS: En büyük kuyruğa sahip fazın kırmızı süresi

- KIBKU çok az ve GFKU az ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok az ve GFKU az ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok az ve GFKU az ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok az ve GFKU orta ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok az ve GFKU orta ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok az ve GFKU orta ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok az ve GFKU çok ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok az ve GFKU çok ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok az ve GFKU çok ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştirme.
- KIBKU az ve GFKU az ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU az ve GFKU az ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU az ve GFKU az ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştir.
- KIBKU az ve GFKU orta ve EKUSFKS az ise Fazı değiştir.
- KIBKU az ve GFKU orta ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU az ve GFKU orta ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştirme.

- KIBKU az ve GFKU çok ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU az ve GFKU çok ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU az ve GFKU çok ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştirme.
- KIBKU orta ve GFKU az ve EKUSFKS az ise Fazı değiştir.
- KIBKU orta ve GFKU az ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU orta ve GFKU az ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştir.
- KIBKU orta ve GFKU orta ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU orta ve GFKU orta ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU orta ve GFKU orta ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştir.
- KIBKU orta ve GFKU çok ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU orta ve GFKU çok ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU orta ve GFKU çok ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok ve GFKU az ve EKUSFKS az ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok ve GFKU az ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok ve GFKU az ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok ve GFKU orta ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok ve GFKU orta ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok ve GFKU orta ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştir.
- KIBKU çok ve GFKU çok ve EKUSFKS az ise Fazı değiştirme.
- KIBKU çok ve GFKU çok ve EKUSFKS orta ise Fazı değiştir.

- KIBKU çok ve GFKU çok ve EKUSFKS çok ise Fazı değiştirme.

Oluşturulan bu kuralların MATAB programı aracılığıyla analizi sonrasında elde edilen veriler Şekil 6.22'deki gibidir.



Şekil 6.22: MATLAB sonuçları.

6.4 Kavşak Etkileşimin Performans Analizinin Yapılması

Hükümet kavşağı Balıkesir için yoğun kullanımı olan araç, otobüs, minibüs ve kamyonetler için yoğun kullanımı olan bir kavşak olup taşıtların bir birimde değerlendirilmesi için eşdeğerleri bulunmuştur. Bunun için saha veri gözlem raporlarında işlenen veriler kullanılmıştır.

Hükümet kavşağı verilerin incelenebilmesi için 20'şer metre ara ile bölgelere ayrılmıştır. Etkileşimin inceleneceği bölgeler için 4 bölgeye ayrılması düşünülmüştür. Bursa-İzmir istikametinde yollar iki şeritli olup dönüşler mevcuttur. Kavşak için faz düzeni 3 fazlı olup, devre süresi 132 saniyedir. İnceleme düzeni yakın mesafeli izole kavşak olarak gar kavşağı ile etkileşimi incelenmek istenmiştir.

Kavşak için ardışık iki devre için trafik hacim değerleri birim otomobil cinsinden şeritlere göre tespit edilmiştir. Oluşturulan bölgeler ile geçiş süreleri ölçülmüş ve taşıt hız değerleri tespit edilmiştir. Taşıtların şeritlere göre hacim ve hız değerleri Çizelge 6.9 ve 6.10'daki gibidir.

Çizelge 6.10: 1 nolu yaklaşım kolu için hacim değerleri

1 nolu yaklaşım kolu	Bir devrede geçen taşıt sayısı		Trafik hacmi saatlik
	Sol şerit	21	
Sağ şerit	32	29	530

Çizelge 6.11: 1 nolu yaklaşım kolu için hız değerleri.

1 nolu yaklaşım kolu	Ortalama hız taşıt/km		Ortalama hız km/sa	
	Sol şerit	32.55	31.25	25
Sağ şerit	41.35	39.25	30	28,5

Verilerin elde edilmesi saha gözlem raporlarının tutulması ve ardışık iki devre için yapılan hız analizi sonucunda elde edilmiştir. Şerit yoğunluklarının bulunması için $q = \text{hacim} / \text{ortalama hız}$ bağıntısı kullanılarak yapılmıştır.

- Yoğunluk ve şok dalgası analizi

Yoğunluk ve şok dalgası için trafik akım etkileşimleri konusunda işlenen kuramlar kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Şok dalgasının iki türü vardır. Birincisi Araçların durması ile ikincisi ise araçların harekete geçmesi ile oluşur. Daha önce hesaplanan hız ve hacim değerleri ile yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Burada hesaplanan yoğunluk 2-3-4 bölgelerdeki yani trafik dur işaretinden sonraki 60 metrelik kısım için Çizelge 6.11’de hesaplanmıştır.

Çizelge 6.12: 1 nolu akım kolu için yoğunluk değerleri.

	Taşıt sayısı		Hacim	Ortalama hız		Yoğunluk	
Sol şerit	21	19	311	25	22	12,44	14,13
Sağ şerit	32	29	590	30	28,5	19,66	20,7

Trafik akım etkileşimleri konusunda şok dalgası hızı formülleri kullanılacak olursa aşağıdaki sonuçlar elde edilecektir. Çizelge 6.12’de şok dalgası hesabı için

harekete yeni başlayan trafik akımı gibi düşünülürse bölünen bölgelerin hacim farklarının yoğunluk farklarına oranı şok dalgası hızını verecektir.

Çizelge 6.13: 1 nolu yaklaşım kolu için şok dalgası hızı değerleri.

Şok dalgası hızı		
Sol şerit	-4,57	-4,25
Sağ şerit	-3,98	-3,85

Kavşağın etkileşimli performans analizi için efektif kırmızı süre ve kuyruklanmanın analizi sonrasında değerlendirme ölçütleri olan maksimum kuyruk uzunluğu, ortalama kuyruk uzunluğu, kuyruğa gar kavşağından katılan kuyruk uzunluğu, maksimum bekleme süresi ve toplam gecikme süreleri gözlem ve ampirik formüller sonucu elde edilmiş Çizelge 6.13’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.14: Etkileşimli deterministik gecikme süreleri.

1.	Nolu	Kuyruğa	Maksimum	Ortalama	Bekleme	Ortalama
yaklaşım		giren taşıt	kuyruk	kuyruk	süresi	gecikme
kolu		sayısı	uzunluğu	boyu		
1.	sol	14	12	5	88	33,4
devre	sağ	18	13	8	88	31,24
2.	sol	16	13	6	88	34,56
devre	sağ	19	14	9	88	32,25

6.5 Yaklaşım Algoritması Sonuçlarının İrdelenmesi

Hükümet kavşağı için saha verilerinin toplanmasından sonra bağımsız bir kavşak gibi düşünülüp webster analiz yöntemi ve bulanık mantık algoritması ile incelenmiştir. Oluşturulan etkileşimli bulanık mantık yöntemi ile yeni sinyalizasyon denetim algoritması oluşturulup yeni yeşil süreler için bulanık mantık gecikme süreleri bulunup etkileşimli deterministik analiz yöntemi ile gecikme süreleri hesap edilip oluşturulan etkileşimli denetim sisteminin doğruluğa yakınlığı tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.15: Akşam Trafığı İçin Etkileşimli Bulanık Mantık Denetleyici Sistemin Uygulaması

Faz sırası	Faz süreleri	Gözlem süresi	Devre süresi
1,2,3	52,41,23	18:01:20	134
1,2,3	53,36,27	17:59:06	134
1,2,3	51,34,31	17:56:52	134
1,2,3	50,36,30	17:54:38	134
1,2,3	50,36,30	17:52:24	134
1,2,3	53,32,31	17:50:10	134
1,2,3	44,44,27	17:47:57	133
1,2,3	45,44,27	17:45:43	134
1,2,3	43,47,26	17:43:29	134
1,2,3	48,39,29	17:41:15	134
1,2,3	50,39,27	17:39:01	134
1,2,3	52,42,22	17:36:47	134
1,2,3	48,48,21	17:34:32	135
1,2,3	40,50,25	17:32:19	133
1,2,3	43,46,27	17:30:05	134
1,2,3	43,48,26	17:27:50	135
1,2,3	47,46,23	17:25:36	134
1,2,3	48,47,21	17:23:22	134
1,2,3	50,46,20	17:21:08	134
1,2,3	46,50,20	17:18:54	134
1,2,3	46,50,20	17:16:40	134
1,2,3	48,41,27	17:14:26	134
1,2,3	52,39,25	17:12:12	134
1,2,3	54,40,22	17:09:58	134
1,2,3	51,44,21	17:07:44	134
1,2,3	44,51,21	17:05:30	134
1,2,3	47,49,20	17:03:16	134
1,2,3	51,46,19	17:01:02	134

Burada konusu olan kavşak için durum değerlendirilmesi için tavsiye edilen bulanık mantık sinyalizasyon denetim algoritması güvenilirliğinin yaklaşık sonuçlar vermesinin gösterilmesi amaçlanmıştır. İşlemlerin yoğunluğu açısından 1 nolu yaklaşım kolunun bölgelere ayrılıp detaylı olarak incelenmiş ve detaylı hesap raporları sunulmuştur.

Çizelge 6.16’de görüleceği gibi etkileşimli bulanık mantık gecikmeleri ile etkileşimli deterministik sonuçların birbirine yakın ve orantılı olduğu görülmüştür. Sonuçlar irdelencek olursa 1 nolu faz düzeni için Webster gecikme süresi 36 saniye olduğu Bulanık mantık yöntemi ile gecikme süreleri hesaplanan gecikme süreleri 31,2 saniye olduğu gözlenmiştir. Etkileşimli Bulanık mantık yöntemi ile hesaplanan değer 32,7 saniye olduğu görülür. Burada yapılacak yorum etkileşimli sonuçların sonuçları daha gerçeğe yakın olduğu trafikteki etkileşim az olduğu yaklaşım kolları için etkileşimli gecikme süreleri düşecektir ama yaklaşım kolunda etkileşim fazla ise değer daha yükselecektir.

Hesaplanan analiz sonuçları çizelgelere işlendiğinde, webster analizi, bulanık mantık analizi, etkileşimli yeni sistem önerisi ile yeni yeşil süreler ile hesaplanan gecikmeler ve etkileşimli performans analizleri toplanmıştır.

Hesap döküm cetvelinde gündüz, akşam ve öğlen trafiği için sabit faz, değişken fazlar ve değişken trafik hacimleri için sonuçlar Çizelge 6.15’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.16: Etkileşimli bulanık mantık sinyalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

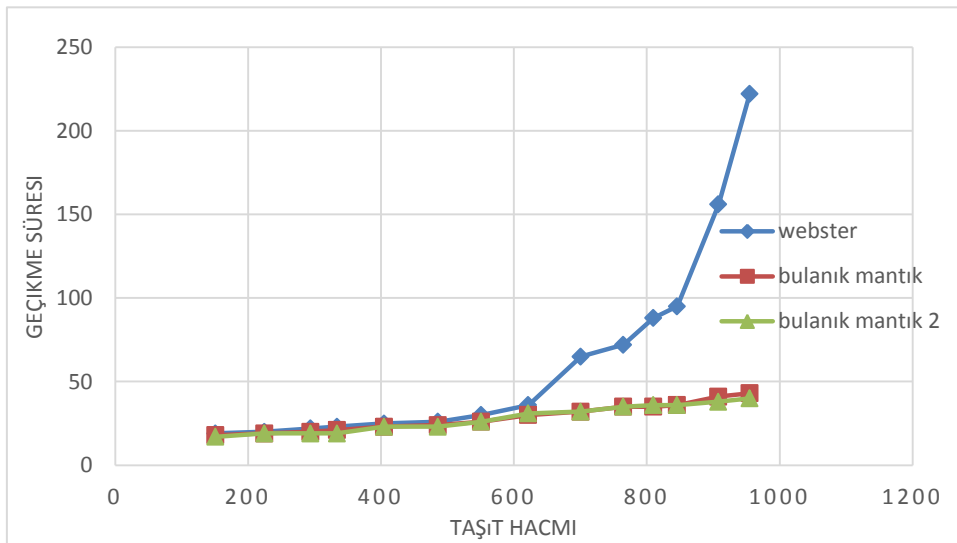
1. Durum akşam için ortalama trafik değerleri	Faz düzeni	Ortalama taşıt hacmi	Uygulanan yeşil süre	Kırmızı süre	Devre süresi	Kuyruk taşıt sayısı	Kırmızı ışıkta bekleyen kuyruk uzunluğu	Yeşil sürede katılan taşıt miktarı	Webster gecikme süresi	Bulanık mantık gecikme süresi	Faz değişimi kararı	Yeni yeşil süresi	Yeni yeşil süresi için Bulanık mantık gecikme süresi
	1.faz	841	49	83	132	37	24	13	36	31,1	Değiştir	45	32,7
2.faz	853	36	96	132	45	29	16	48	42,2	Değiştir	40	38,2	
3.faz	1042	23	109	132	19	12	7	57	30,8	Değiştirme	23	30,8	
3.faz	665	23	109	132	13	8	5	67	25,7	Değiştirme	23	25,7	
2. Durum öğle trafiği	1.faz	736	44	70	114	10	6	4	32	28,4	Değiştir	42	28,4
	2.faz	612	25	89	114	15	9	6	50	26,9	Değiştir	23	26,7
	3.faz	1060	21	93	114	14	8	6	51	30,9	Değiştir	23	30,6
	3.faz	568	21	93	114	10	6	4	61	20	Değiştir	23	19,8
3. Durum sabah trafiği	1.faz	688	49	83	132	18	12	6	36	28,3	Değiştir	46	29,4
	2.faz	926	36	96	132	29	18	11	48	42,4	Değiştir	39	36,8
	3.faz	989	23	109	132	19	13	6	57	33,4	Değiştirme	23	33,4
	3.faz	450	23	109	132	10	6	4	67	23,4	Değiştirme	23	23,4

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma konusu olan trafik akım etkileşimlerini bulanık mantık ile incelemek adına yapılan saha analiz ve veri gözleme sonrasında iki kavşak arasında etkilerinin ne kadar etkilendiği ve bunu gösterebilmek adına neler yapılabileceği konusunda bir tez çalışması sunulmasıdır. Bu çalışmada bağımlı ve bağımsız değerlemelerin bulanık mantık ile araştırılıp faydalarını saptanması konusunda faydalı bilgi ve uygulamaya yönelik bir takım öneriler oluşturulması hedeflenmiştir.

Hedefler doğrusunda kavşak için etkileşimli kavşak denetim sistemleri üzerinde durulmuştur. Sonuçlarda da görüldüğü gibi iki kavşağın etkileşimli düşünülmesi trafiğin gerçek durumunu yansıttığı ve trafik için en önemli değerlendirme kriteri olan gecikme değerleri kullanılmıştır.

Şekil 7.1’de görüldüğü üzere çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda, esas alınan temel doygun akım değerinin 1000 araç/saat/şerit olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca tıkaııcı kuyruk uzunluğuna göre maksimum kuyruk uzunluğunun Çizelge 6.8’de 44 taşıt olduğu ve ortalama kuyruk uzunluğunun 25 taşıt olduğu görülmüştür. Gecikme süreleri Çizelge 7.1’de de görüldüğü gibi taşıt hacmi arttıkça Webster yönteminde 222 saniyeye, Bulanık Mantık Yönteminde ise 43 saniyeye kadar uzanan bir çıkış görülmüştür.



Şekil 7.1: Karşılaştırma sonuçları

Geçikme süreleri kavşak için en önemli değerlendirme parametrelerindedir. Bu kavşakların birbirinden bağımsız düşünülüp gecikme değerlerinin incelenmesinde Webster, Bulanık mantık yöntemleri kullanılmıştır. Yöntem sonuçları incelendiğinde doygunluk değerinin biri aşması durumunda çok büyük gecikmeler verdiği ve bu değerlerin gerçeği yansıtmadığı gözlenmiştir. Bulanık mantık yöntemi ile hesaplanan gecikmelerin daha gerçeğe yakın olduğu belirlenmiştir. Yöntemler arası fark doygunluk değerinin bire yaklaşması ve aşması durumunda %20- %200 e varan sapmalar olduğu gözlenmiştir.

Bu konuda ortak değerlendirme sonuçları Çizelge 6.16'de özetlenmiştir. Çizelgede verilen değerler incelendiğinde öncelikli olarak Webster modeli ile bulanık mantık ile gecikme değerleri hesabı yapılırken Webster modelinin doygunluk oranına göre sonuçlardaki sapmaların değiştiği gözlenmiştir. Daha sonra verilen verilerin oluşturulan etkileşimli bulanık sinyalizasyon denetim algoritmasına girildiğinde elde edilen verilerle yeşil faz süreleri değişimi ve bu faz sürelerine göre gecikme değerlerinin değişimi gözlenmiştir.

Çizelge 6.16'de görüleceği gibi etkileşimli bulanık mantık gecikmeleri ile etkileşimli deterministik sonuçların birbirine yakın ve orantılı olduğu görülmüştür. Sonuçlar irdelenecek olursa 1 nolu faz düzeni için Webster gecikme süresi 36 saniye olduğu Bulanık mantık yöntemi ile gecikme süreleri hesaplanan gecikme süreleri 31,2 saniye olduğu gözlenmiştir. Etkileşimli Bulanık mantık yöntemi ile hesaplanan değerin 32,7 saniye olduğu görülür. Burada yapılacak yorum etkileşimli sonuçların sonuçları daha gerçeğe yakın olduğu trafikteki etkileşim az olduğu yaklaşım kolları için etkileşimli gecikme süreleri düşecektir ama yaklaşım kolunda etkileşim fazla ise değer daha yükselecektir.

Hesaplanan analiz sonuçları çizelgelere işlendiğinde, Webster analizi, bulanık mantık analizi, etkileşimli yeni sistem önerisi ile yeni yeşil süreler ile hesaplanan gecikmeler ve etkileşimli performans analizleri toplanmıştır.

Çizelge 6.15'de görüleceği gibi sahada gözlemlenen akşam trafiği verileri için bulanık mantık denetleyici sistemin uygulanması ve devre süreleri sabit kalıp yeşil faz sürelerinin trafik yoğunluğu, kuyruklanma ve diğer kavşaktan gelen araçlar gibi parametrelerden sisteme aktarılması ile faz değişimi ve yeni yeşil sürelerin hesabı yapılmıştır.

Bulanık mantık kural tabının oluşturulması kullanıcının gözetiminde olup kural tabını sahada en iyi sonucun alınması için temel alınarak kurulmuştur. Matlab programı aracılığıyla çözülen algoritmalar için Mandami yöntemi, durulaştırma için en çok kullanılan yöntemlerden birisi olan ağırlık merkezi birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

Etkileşim sonuçlarının karşılaştırılması için deterministtik bir yöntem kullanılıp gecikme süreleri hesap edilmiştir. Burada bu yöntem ile hesap edilerek sonuçların etkileşimli bulanık mantık sonuçları ile karşılaştırılmasıdır.

Sonuç olarak bulanık mantık ile etkileşimli sinyalize denetimin yapılması taşıt gecikmelerine olumlu yansıdığı görülmüştür. Sinyalize denetim kural tabanı değiştirilip daha detaylı incelenebilir. Burada görülmek istenen bulanık mantık tabanlı tesislerin trafiğe faydalarıdır.

Çizelge 7.1: Karşılaştırma sonuçları

Veri numarası	Ortalama taşıt hacmi yaklaşım kolu	Uygulanan yeşil süre	Kırmızı süre	Devre süresi	Kuyruk taşıt sayısı	Webster geçikme süresi	Bulanık mantık geçikme süresi	Yeni yeşil süresi	Yeni yeşil süresi için Bulanık mantık geçikme süresi
1	151	23	109	132	3	19	18	22	17
2	225	23	109	132	3	20	19	23	19
3	294	23	109	132	4	22	20	21	19
4	334	23	109	132	5	23	21	22	19
5	405	36	96	132	5	25	23	36	23
6	486	36	96	132	5	26	24	35	23
7	551	36	96	132	7	30	26	37	26
8	622	44	88	132	7	36	30	45	31
9	701	44	88	132	9	65	32	44	32
10	765	44	88	132	9	72	35	43	35
11	810	49	83	132	9	88	35	50	36
12	846	49	83	132	10	95	36	49	36
13	908	49	83	132	10	156	41	47	38
14	955	49	83	132	10	222	43	45	40

Şekil 7.1’de ki sonuçlar incelendiğinde Webster modelinde doygunluk oranının 1 veya daha üstü çıkması durumunda Çizelge 6.4’de yapılan hesaplamalar

ile kurulan 1. ve 2. Devre düzeneklerindeki gecikmeler(sn/taşıit) olarak hesaplanmış ve bu hesaplamalarda gecikme miktarlarının 1 numaralı kavşak kolu için 36,37'den 31,94'e, 2 numaralı kavşak kolu için 47,98'den 50,58'e, 3 numaralı kavşak için 57,76'dan 50,92'ye, 4 nolu kavşak için 67,70'den 61,97'ye gecikme değerlerinde değişmeler olduğu görölmüştür. Ayrıca Çizelge 7.1'de webster gecikme süreleri 19sn'den başlayıp doğunluğa ulaştıkça 222sn'ye kadar çıkmıştır. Buradan anlaşılacağı doğunluk oranı 1'in üstüne çıkması durumunda %10-200 arasında gecikme değerlerinde sapma meydana geldiği gözlenmiştir.

Çizelge 6.16'de bulanık mantık ile yakın kavşakların etkileşimli olarak sinyalizasyon edilmesi durumunda kavşak gecikme değerlerinde %5-10 luk iyileşme olduğu görölmüştür. Oluşturulan modelin çok düşük verilere sahip yaklaşım yolunun yeşil süresinin kısılması, trafik verilerinin ve yakın mesafeli kavşaklardan gelen taşıit verilerine göre yüksek olduğunda yaklaşım kolundaki yeşil sürelerin uzatılmasını temel almaktadır. Bu teoride düşük verilere sahip yaklaşım yolunda yeşil süresinin kısılması gecikme değerlerine etkisinin az olduğunu, trafik verisinin yüksek olan yaklaşım kolunda yeşil sürenin uzatılmasının daha etkili olduğu görölmektedir.

- Tez çalışmasında bulanık mantığa dayalı etkileşimli bir sinyalizasyon denetim sistemi kurulmuştur. Algoritma yeşil değişim süresi ve faz belirleme olarak iki parçadan oluşmaktadır.

- Geliştirilen trafik uyarlamalı sinyalizasyon denetim sistemi daha önceki yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve ortalama gecikme süreleri bakımından daha önceki çalışmalara paralel olduğu gözlenmiştir.

- Bulanık mantık sinyalizasyon denetim sistemi için 4 kollu, 3 fazlı ve kollarından 2 si 2'şer şeritli, diğerleri ise 3 ve 1'er şeritli bir kavşak seçilmiştir.

- Webster yöntemi ile yapılan ortalama gecikme hesabı doğunluk oranının artması ile yanlış sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bulanık mantık ile hesaplanan gecikme sürelerinin ise doğunluğun birden düşük olduğu gecikme değerlerinde Webster yöntemine yakın değerler, birden büyük doğunluk değerleri için Webster yöntemine göre daha düşük gecikme değerleri verdiği gözlenmiştir.

- Bulanık mantık etkileşimli sinyalizasyon denetim sisteminin durulması ile kavşağın mevcut durumundaki gecikme değerlerine göre %5-10 arasında iyileşme sağladığı belirlenmiştir.

- Bulanık mantık modelleyicisi—olan MATLAB 2018b programının kullanılmıştır. Verilerin analizi Mandami modeline göre ve Ağırlık merkezi yöntemi esas alınarak düzenlenmiştir.

- Bulanık mantık etkileşimli algoritma sisteminin karşılaştırılması deterministik etkileşimli trafik parametreleri ile Şekil 7.1’de karşılaştırılmış ve yeşil ve kırmızı çizgilerden de sonuçların birbirine çok yakın olduğu %1 lik sapma olduğu gözlenmiştir.

- Kavşak için yaya trafiği göz önüne alınmamıştır. Yaya trafiğinin algoritmalara katılması daha olumlu sonuçlar verecektir.

- Modelin tasarımı ve uygulanması bulanık mantık denetleyicileri hakkında bilgi edinmek ve uygulanabilirliği noktasında bir adım oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir.

- Ayrıca yolun iyileştirilmesi için yerinde yapılan ölçümlerde iki yönde yaya kaldırımlarının 2,5m içeri alınmasının uygun olduğu, bu genişletmede yeterli yaya kaldırımının kalabileceği de ölçülmüştür. Bu sayede 2 yönde iki şerit olan yol 3 er şerite çıkarılabilecek ve taşıt hacmi artırılarak daha iyi bir sistem sağlanmış olacaktır. 3 şerite çıkarılan gidiş geliş yolunda kuyruk uzunluğunun azaltılmasında faydası olacak ve gecikme süreleri aşağıya çekilebilecektir.

8. KAYNAKLAR

Ayfer, M.Ö., (1977). *Trafik sinyalizasyonu*, Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.

Beauchamp-Baez, G., Rodriguez-Morales, E., and Muniz Marrero, E.,I., (1997). *A Fuzzy Logic Based Phase Controller for Traffic Control*, Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1533-1539.

Karayolları Genel Müdürlüğü, (2004). *Trafik İşaretleri El Kitabı*, Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.

Lee, J.H., Lee K.M., and Leek Wang, H., (1995). *Fuzzy Controller for Intersection Group*, 376-382.

Niitty, M. and Jarko, P., (1997). Isolated Traffic Signals-Vehicle Dynamics and Fuzzy Control. *Ph.D. Thesis, Helsinki university of Technology, Civil and Environmental Engineering*, Finland.

Rouphail, N.M. and Akçelik R., (1992). *A Preliminary Model of Queue Interaction at Signalised Paired Intersections*, USA. Conference.

Rouphail, N.M., (1998). Capacity Analysis of Interchange Ramp Terminels, The National Academy of Sciences., 3, 334-350.

Saplıoğlu, M., Karaşahin, M. (2011). Şehir içi Kontrolsüz Eş düzey Kavşak Kazalarını etkileyen. *Süleyman .Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,2, 26-49 Isparta.

Saplıoğlu, M. ve Karaşahin, M., (2010). Şehir içi kavşaklar için bir kaza tahmin modeli. Doktora Tezi, *Süleyman .Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Isparta.

Tanyel, S., (2001). Türkiye'deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Tzes, A., McShane, W.R., and Kim, S., (1995.) *Expert Fuzzy Logic Traffic Signal Control for Transportation Networks*, Institute of Transportation Engineers 65 Annual Meeting, Denver USA.

U.S. Department of Transportation, (2000). *Roundabouts: An Informational Guide*. Federal Highway Administration, Virginia , 2-181.

U.S. Department of Transportation, (1985). *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, Special Report 209, National Research Council Washington D.C.

Janecek, J.J. And Zargham M.R., (1995). *A Fuzzy Logic Controller For A Traffic Signal*, 687-691.

Webster, F.V. and Cobbe, B.M., (1966). *Traffic Signals*, Road Research Technical, HMSO London.

Varlıorpak, Ç., (1982). *Trafik ders notları*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Matbaası.

Başkan,Ö.,Ceylan, H., (2007) *Kent İçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi ve Kapasite Kullanım Oranının Belirlenmesi*, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 159-170.

Çalışkanelli, P.S., Tanyel, S. (2017) *Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi* İMO Teknik Dergi, 496, 8225-8248.

EKLER

EK C: 1 NOLU YAKLAŞIM KOLU AKŞAM TRAFİĞİ İÇİN SAHA İŞGALİYE VERİLERİ

Gözlem saati	Kırmızı ışık kuyruk miktarı	Kuyruk boşalma süresi
18:01:19	9,1400	390
17:58:49	21,6900	380
17:56:16	31,2400	383
17:53:46	38,3100	380
17:51:14	50,3400	556
17:48:44	50,3000	376
17:46:12	50,5200	693
17:43:42	61,0200	570
17:41:10	58,0600	376
17:38:40	32,3600	576
17:36:07	13,5200	376
17:33:37	13,4300	376
17:31:05	19,0200	383
17:28:35	25,0600	686
17:26:03	17,1500	583
17:23:33	5,0200	380
17:21:00	4,7500	393
17:18:30	3,5700	376
17:15:58	10,2700	396
17:13:28	29,1400	593
17:10:56	22,5200	536
17:08:26	4,6500	383
17:05:53	3,6700	380
17:03:23	5,1800	373
17:00:51	6,8700	376

**EK-D. 1 NOLU YAKLAŞIM KOLU İÇİN AKŞAM TRAFİĞİ ARAÇ
HACİMLERİ**

Gözlem saati	Trafik hacmi
18:00:58	486,0000
17:57:52	514,0000
17:54:52	618,0000
17:51:51	654,0000
17:48:51	662,0000
17:45:51	590,0000
17:42:45	600,0000
17:39:45	614,0000
17:36:45	566,0000
17:33:44	546,0000
17:30:44	564,0000
17:27:39	516,0000
17:24:38	452,0000
17:21:38	430,0000
17:18:37	398,0000
17:15:37	444,0000
17:12:32	550,0000
17:09:31	502,0000
17:06:31	414,0000
17:03:30	412,0000
17:00:30	420,0000