

Erdem DOĞAN

Doktora Tezi

KÜ 2014

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ

Optimize Edilmiş Bulanık Mantık Yöntemi ile  
İzole Sinyalize Kavşak Kontrolü

Erdem DOĞAN

NİSAN 2014

## ONAY SAYFASI

**İnşaat Anabilim Dalında** Erdem DOĞAN tarafından hazırlanan OPTİMİZE EDİLMİŞ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE İZOLE SİNYALİZE KAVŞAK KONTROLÜ adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR  
Danışman

### Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR \_\_\_\_\_  
Üye : Doç. Dr. Serhan TANYEL \_\_\_\_\_  
Üye : Doç. Dr. Necaattin BARIŞÇI \_\_\_\_\_  
Üye : Doç. Dr. İlhami DEMİR \_\_\_\_\_

04/04/2014

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

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Aileme**

## ÖZET

### OPTİMİZE EDİLMİŞ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE İZOLE SİNYALİZE KAVŞAK KONTROLÜ

DOĞAN, Erdem

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

Nisan 2014, 159 sayfa

Bu çalışmada, izole kavşakların kontrolü için mevcut kontrol sistemlerinin yerine kullanılabilen yeni Bulanık Mantık Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi (BMT-SDS) geliştirilmiştir. Geliştirilen BMT-SDS içinde iki adet ana bulanık mantık tabanlı modül bulunmaktadır. İlk modül, kavşağa ait şeritlerdeki trafik yoğunluğuna göre yeşil faz olarak seçilen fazın süresini ayarlamaktadır, ikinci modül ise yeşil süresi sona ermiş ve uzatma kararı verilmiş olan fazın, uzatılma sürelerini belirlemektedir.

BMT-SDS' in farklı kavşak geometrileri ve trafik akım koşulları altında verdiği tepkileri ölçebilmek için yeni bir mikroskobik trafik simülasyon programı geliştirilmiş olup, Kırıkkale Üniversitesi Trafik Simülasyon Programı (KU-Trsim) olarak isimlendirilmiştir. KU-Trsim' in geçerliğinin kanıtlanması için arazi gecikme verileri ile simülasyon gecikme verileri karşılaştırılmış ve  $R^2$  değeri 0,98 olarak elde edilmiştir.

Günümüzde sık olarak kullanılan Ön Zamanlı Sinyal Denetim Sistemi (OZ-SDS), BMT-SDS ve Tam Uyarmalı Sinyal Denetim Sistemi (TU-SDS) ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada her kavşak türü için 15 farklı trafik durumu seçilmiştir. Sonuç olarak, BMT-SDS' in gecikme değerleri diğer iki sistem ile karşılaştırıldığında % 20 ile % 60 arasında daha düşük çıktığı gözlenmiştir.

BMT-SDS' in farklı trafik akımlarına daha iyi adapte olabilmesi için, BMT-SDS üyelik fonksiyonları iki aşamalı olarak optimize edilmiştir. Birinci aşamada, her bir bulanık kümeye ait en küçük ve en büyük sınır değerleri, geliştirilen Bulanık Mantık Sınır Arama Programı (BM-SAP) ile en iyilenmiştir. İkinci aşamada ise, elde edilen sınır değerlerine sahip bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonlarına ait alt, orta ve üst değerlerinin en iyi durumları Genetik Algoritma (GA) ile araştırılmıştır. Ayarlanmış BMT-SDS' ler ile ilk durumdaki BMT-SDS' ler karşılaştırıldığında % 2,78 ile % 32,48 arasında iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bulanık Mantık, Genetik Algoritma, Optimizasyon, Sinyalize Kavşak, Trafik Kontrolü.

## ABSTRACT

### ISOLATED SIGNALIZED INTERSECTION CONTROL BY OPTIMIZED FUZZY LOGIC METHOD

DOĞAN, Erdem

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Ph. D. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

April 2014, 159 pages

In this study, a new Fuzzy Logic Based Signal Control System (FLB-SCS) is developed for signal controls instead of existing control systems. There are two main modules in FLB-SCS which are based on fuzzy logic. First module is determining green signal length of selected phase which is determined with considering traffic densities on intersection lanes. Second module is determining the extension time of the phase whose time is over and decided to extend.

A microscopic traffic simulation program whose is named as Kırıkkale University Traffic Simulation Program (KU-Trsim) was developed to evaluate the reactions of FLB-SCS under different intersection geometry and traffic flow circumstances. To validate, accuracy of KU-Trsim delay results, they were compared with field results and  $R^2$  value was obtained around 0.98.

FLB-SCS was compared with pre-timed signal control and fully actuated signal control on three leg and four leg intersection. There were 15 different traffic flow used for each intersection. Results show that FLB-SCS can decrease the delays between 20 % and 60 % compared to the other two systems.

FLB-SCS' fuzzy logic membership functions were optimized in two step to adapt the controller to various traffic flow conditions. In first stage, minimum and maximum range of each fuzzy set values were searched with developed Fuzzy Logic Range Search Program (FL-RSP). In second stage, each triangle shaped membership function's low, middle and high values' best positions were tuned with using Genetic Algorithm (GA). Comparison between tuned FLB-SCS' and original FLB-SCS' results shows that optimized control systems have better delay results between 2.78 % and 32.48 %.

**Keywords:** Fuzzy Logic, Genetic Algorithm, Optimization, Signalized Intersection, Traffic Control.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen ve büyük destek olan, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR' e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm sayın hocalarım Prof. Dr. Yetiş Şazi Murat, Doç. Dr. Necaattin BARIŐI, Doç. Dr. Osman YILDIZ ve Prof. Dr. Hesham A. RAKKA' ya, bana destek olan arkadaşım Hao CHEN' e, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm kardeşim Ebru DOĞAN' a ve son olarak manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim annem, babam ve hayat arkadaşım Özlem DOĞAN' a teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
3. KAVŞAK KONTROL TEORİSİ.....	10
3.1. Genel.....	10
3.2. Trafik Kontrol Teorisi ile İlgili Tanımlar .....	10
3.3. İzole Kavşaklarda Uygulanan Kontrol Sistemleri .....	14
3.3.1. Ön Zamanlı Sinyal Kontrol Sistemleri.....	14
3.3.2. Uyarmalı Sinyal Kontrol Sistemleri.....	15
3.3.2.1.Tam Uyarmalı Sinyal Kontrol Sistemleri Tasarım Esasları.....	16
3.3.2.1.1. En kısa Yeşil Işık Süresi .....	16
3.3.2.1.2. Yeşil Işık Süre Uzatımı .....	17
3.3.2.1.3. Geçiş Süresi.....	18
3.3.2.1.4. En Fazla Yeşil Süre.....	18
3.3.2.1.5. Değişim ve Boşaltma Süreleri.....	18
3.4. Trafik Sinyallerinin Faz Düzenlemesi .....	19
3.5. Sinyalizasyon Hesapları.....	21
3.5.1. Veri Toplama .....	22
3.5.2. Devre Süresi Hesabı.....	24
3.5.2.1.Webster Yöntemi .....	24
3.5.2.2.HCM Yöntemi.....	25

4. BULANIK MANTIK TEORİSİ .....	27
4.1. Genel.....	27
4.2. Bulanık Küme Teorisi.....	27
4.2.1. Bulanık Kümelerde İşlemler .....	29
4.3. Sözel Değişkenler .....	31
4.4. Bulanık Önermeler.....	32
4.5. Bulanık Eğer-İse Kuralları.....	32
4.6. Bulanık Mantık Sisteminin Temel Bileşenleri.....	33
4.6.1. Bulanıklaştırma Arayüzü .....	33
4.6.2. Bulanık Kural Tabanı.....	34
4.6.3. Bulanık Çıkarım Arayüzü .....	35
4.6.4. Durulaştırma Arayüzü.....	36
4.6.4.1.Ağırlık Merkezi (Sentroid) Yöntemi.....	37
4.6.4.2.Bisector Yöntemi .....	38
4.6.4.3.En Büyük Alan Yöntemleri.....	38
5. İZOLE KAVŞAKTA TRAFİK KONTROLLÜNÜN BULANIK MANTIK TABANLI MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU .....	40
5.1. Genel.....	40
5.2. İzole Kavşak Sinyal Denetleyicisi için Bulanık Mantık Modelinin Geliştirilmesi.....	39
5.2.1. Yeşil Faz Seçim Modülü.....	41
5.2.2. Yeşil Süre Bulanık Mantık Modülü .....	41
5.2.3. Yeşil Süre Uzatma Karar Modülü.....	46
5.2.4. Uzatma Süresi Bulanık Mantık Modülü .....	48
5.2.5. Bekleme Süresi Kontrol Modülü .....	52
5.3. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonlarının Optimizasyonu.....	52
5.3.1. Bulanık Mantık Sınır Arama Programı .....	53
5.3.2. Genetik Algoritma ile Üyelik Fonksiyonlarının Düzenlenmesi .....	56
5.3.2.1.Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	57
5.3.2.2.Kodlama .....	57
5.3.2.3.Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması.....	59
5.3.2.4.Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması .....	59
5.3.2.5.Yeniden Üretim.....	59

5.3.2.6.Çaprazlama.....	60
5.3.2.7.Mutasyon.....	61
5.3.2.8.Elitizm.....	62
6. TRAFİK VE KAVŞAK KONTROL SİMÜLASYON PROGRAMI.....	63
6.1. Genel.....	63
6.1.1. Makroskobik Modeller.....	64
6.1.1.1.Greenshields Modeli .....	65
6.1.1.2.Greenberg Modeli .....	66
6.1.2. Mikroskobik Modeller .....	66
6.1.3. Mezoskopik Modeller .....	67
6.2. Geliştirilen Trafik Simülasyon Programı.....	68
6.2.1. Araç Üretim Modülü.....	69
6.2.1.1.Araç Geliş Aralıkları Üretimi.....	70
6.2.1.1.1. Üstel Dağılım .....	70
6.2.1.1.2. Ters dönüşüm Yöntemi ve Üstel Dağılıma Uygulanması.....	70
6.2.1.1.3. Araç Geliş Aralıklarının Üstel Dağılıma Uygunluğun Kontrolü .....	71
6.2.1.2.Araç Tipleri ve Sisteme Giriş Hızlarının Üretimi.....	73
6.2.1.3.Araç Üretim Modülü Girdi Değişkenleri.....	74
6.2.1.4.Araç Üretim Modülü Çıktı Değişkenleri .....	75
6.2.2. Araç Dinamiği Modülü .....	75
6.2.2.1.Araç Dinamiği Modülü Girdi Değişkenleri .....	77
6.2.2.2.Araç Dinamiği Modülü Çıktı Değişkenleri.....	77
6.2.3. Sinyal Denetim Modülü .....	78
6.2.3.1.Sinyal Denetim Modülü Girdi Değişkenleri .....	78
6.2.3.2.Sinyal Denetim Modülü Çıktı Değişkenleri.....	78
6.3. Simülasyon ve Arazi Gecikme Verilerinin Karşılaştırılması.....	79
6.4. KU-Trsim Kullanıcı Arayüzü .....	82
7. GELİŞTİRİLEN SİNYAL DENETİM SİSTEMİ VE FARKLI TRAFİK DURUMLARI ALTINDA KARŞILAŞTIRILMASI.....	85
7.1. Genel.....	85
7.2. Kullanılan Kavşakların Geometrik Özellikleri .....	85

7.3. Trafik Sinyal Denetim Sistemlerin Düzenlemesi .....	87
7.3.1. Ön Zamanlı Sinyal Denetim Sistemi.....	87
7.3.2. Tam Uyarmalı Sinyal Denetim Sistemi .....	89
7.3.3. Bulanık Mantık Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi .....	90
7.4. Sinyal Denetim Sistemlerinin Karşılaştırmaları .....	94
7.4.1. Yapılan Kabuller .....	94
7.4.2. Kullanılan Trafik Akım Durumları .....	95
7.4.3. Üç Kollu Kavşak için Karşılaştırmalar .....	97
7.4.3.1.Üç Kolu Kavşakta Farklı Sola Dönüş Oranlarının Etkileri.....	99
7.4.3.2.Dört Kollu Kavşak için Karşılaştırmalar.....	102
7.4.3.3.Dört Kolu Kavşakta Farklı Sola Dönüş Oranlarının Etkileri	104
8. BULANIK MANTIK TABANLI SİNYAL DENETİM SİSTEMİ OPTİMİZASYONU .....	109
8.1. Genel.....	109
8.2. BM- Genetik Algoritma ile Üyelik Fonksiyonlarının En iyilenmesi .....	109
8.3. BM-SAP ile Bulanık Küme Sınırlarının En iyilenmesi.....	111
8.4. Optimizasyon ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	115
8.4.1. Üç Kollu Kavşak İçin BMT-SDS Karşılaştırmaları .....	115
8.4.2. Dört Kollu Kavşak İçin BMT-SDS Karşılaştırmalar.....	120
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	125
KAYNAKLAR .....	128
EKLER.....	131
EK.1.a.....	131
EK.1.b .....	132
EK.2.a.....	133
EK.2.b .....	134
EK.2.c.....	135
EK.3.a.....	136
EK.3.b .....	137
EK.4.a.....	138
EK.4.b .....	139
EK.5.a.....	140
EK.5.b .....	141

EK.6.a.....	142
EK.6.b .....	143
EK.7.a.....	144
EK.7.b .....	145
EK.8.a.....	146
EK.8.b .....	147
EK.8.c.....	148
EK.8.d .....	149
EK.9.a.....	150
EK.9.b .....	151
EK.9.c.....	152
EK.10.a.....	153
EK.10.b .....	154
EK.11.a.....	155
EK.11.b .....	156
EK.12 .....	157
EK.13 .....	158
ÖZGEÇMİŞ .....	159

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Yeşil süre bulanık mantık modülüne ait kural tabanı .....	44
5.2. Uzatma süresi bulanık mantık modülüne ait kural tabanı.....	50
6.1. AÜM' nin 250 araç/st.' lik trafik hacmi için üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğu için $\chi^2$ testi. ....	71
6.2. AÜM' nin 500 araç/st.' lik trafik hacmi için üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğu için $\chi^2$ testi .....	72
6.3. AÜM' nin 800 araç/st.' Lik trafik hacmi için üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğu için $\chi^2$ testi .....	73
6.4. Taşıtlı tipleri ve benzetim programında kullanılan uzunluklar .....	74
6.5. Taşıtlı tiplerine ait ivmelenme değerlerinin hız aralıklarına göre değişimi .....	75
6.6. Yeni Sanayi Kavşağı kollarına ait gecikme ve tahmin değerleri.....	81
7.1. US-BMM bulanık küme sınırları.....	91
7.2. Üç kollu kavşağa ait trafik akım senaryoları. ....	95
7.3. Dört kollu kavşağa ait trafik akım senaryoları.....	96
8.1. Üç kollu kavşak bulanık modüllerine ait $\alpha$ ve $\beta$ değerleri. ....	110
8.2. Dört kollu kavşak bulanık modüllerine ait $\alpha$ ve $\beta$ değerleri. ....	111
8.3. Üç kollu kavşak için farklı popülasyon ve çaprazlama oranları ile oluşan Gort değerleri. ....	113
8.4. Dört kollu kavşak için farklı popülasyon ve çaprazlama oranları ile oluşan Gort değerleri. ....	114
8.5. Üç kollu kavşak için kollara ait trafik akım oranları ve ortalama yüzdeler gecikmeler. ....	116
8.6. Üç kollu kavşak için kuyrukta bekleyen ortalama araç sayısı ve iyileşme oranları.....	118
8.7. Dört kollu kavşak için kollara ait trafik akım oranları ve ortalama yüzdeler gecikmeler. ....	121
8.8. Dört kollu kavşak için kuyrukta bekleyen ortalama araç sayısı. ....	121

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yol ve zaman ölçeğinde izole kavşakta yaşanan gecikmeler.....	13
3.2. Trafik uyarımalı sinyal denetim sistemi.....	17
3.3. NEMA numaralandırma sistemi.....	19
3.4. İki faz düzenine sahip sola dönüş hacminin düşük olduğu 4 kollu kavşak örneği .....	20
3.5. Sekiz faz çift halkalı kavşak sinyal kontrol sistemi için faz seçenekleri .....	21
3.6. Kuyruk boşaltma eğrisi ve ilgili değerler .....	23
3.7. Kuyruk boşaltımında araçlar arası sürelerin değişimi.....	24
4.1. A bulanık kümesi ve üyelik dereceleri .....	28
4.2. Bazı üyelik fonksiyonu şekilleri.....	28
4.3. Sıcaklık kümesi ve üyelik fonksiyonları.....	29
4.4. Bulanık kümelerde birleşim, kesişim ve bütünleyen işlemleri.....	31
4.5. Bulanık mantık sisteminin temel bileşenleri .....	33
4.6. Hız değişkeni için farklı üyelik fonksiyonu tipleri ve bulanıklaştırma. ....	34
4.7. EB-EK yöntemi ile grafiksel bulanık çıkarım gösterimi.....	36
4.8. Bulanık mantık durulaştırma yöntemleri.....	39
5.1. Bulanık mantık tabanlı sinyal denetleyicisi akış diyagramı.....	42
5.2. Kırmızı ve yeşil faz kuyruk bölgesi araç sayısı ile yeşil süre 'ye ait bulanık kümeler.....	43
5.3. Yeşil süre bulanık mantık modülüne ait kural tabanı yüzeyi.....	45
5.4. Yaklaşım ve kuyruk bölgeleri ile detektörler. ....	46
5.5. Uzatma süresi bulanık mantık modülüne girdi ve çıktı değişkenlerine ait bulanık kümeler.....	49
5.6. Uzatma süresi bulanık mantık modülüne ait kural tabanı yüzeyleri.....	51
5.7. <u>A</u> kümesinin üyelik fonksiyon değerlerinin ayarlanması. ....	53
5.8. Bulanık küme sınırlarına ait popülasyonun elde edilmesi. ....	54

5.9.	Bulanık küme sınırlarına ait popülasyonun elde edilmesi.....	55
5.10.	Yeşil süre bulanık kümelerinin kodlanması.....	58
5.11.	Rulet tekeri örneği. ....	60
5.12.	GA' da bir noktadan çaprazlama işlemi. ....	60
5.13.	GA' da bit bazında mutasyon .....	61
5.14.	Üyelik fonksiyonuna ait mutasyon işlemi. ....	62
6.1.	Trafik akımına akım, hız, yoğunluk ilişkileri .....	64
6.2.	Yeni Sanayi Kavşağı' na ait kroki. ....	79
6.3.	Yeni Sanayi Kavşağı ve yaklaşım kollarına ait görüntü.....	80
6.4.	Yeni Sanayi Kavşağı gerçek ve tahmin değerleri saçılım grafiği ve $R^2$ değerleri.....	81
6.5.	KU-Trsim kavşağına ait trafik ve geometrik değişken tanımlama arayüzü. ....	82
6.6.	KU-Trsim kavşağına BMT-SDS tanımlama arayüzü. ....	83
6.7.	KU-Trsim kavşağına TU-SDS tanımlama arayüzü. ....	84
6.8.	KU-Trsim kavşağına OZ-SDS tanımlama arayüzü. ....	85
7.1.	Üç kollu kavşak. geometrisi ve detektörler. ....	86
7.2.	Dört kollu kavşak. geometrisi ve detektörler.....	86
7.3.	Üç kollu kavşağına ait ön zamanlı faz planı. ....	88
7.4.	Dört kollu kavşağına faz planları.....	89
7.5.	Üç kollu kavşak YS-BMM' ye ait bulanık kümeleri.....	91
7.6.	Dört kollu kavşak YS-BMM' ye ait bulanık kümeleri. ....	92
7.7.	Üç kollu kavşak için farklı en fazla bekleme sürelerinin etkileri. ....	93
7.8.	Dört kollu kavşak için farklı en fazla bekleme sürelerinin etkileri.....	94
7.9.	Üç kollu kavşak için farklı sinyal denetim sistemlerinin karşılaştırılması. ....	97
7.10.	Üç kollu kavşak için D3 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri. ....	99
7.11.	Üç kollu kavşak için D10 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri. ....	100
7.12.	Üç kollu kavşak için D15 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri. ....	101



7.13.	Üç kollu kavşakta sol dönüş oranının % 10' dan % 40' a çıkması durumunda oluşan ortalama gecikme fark eğrileri.....	102
7.14.	Dört kollu kavşak için farklı sinyal denetim sistemlerinin karşılaştırılması. ....	103
7.15.	Dört kollu kavşak için D3 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri. ....	105
7.16.	Dört kollu kavşak için D7 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri. ....	106
7.17.	Dört kollu kavşak için D15 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri. ....	107
7.18.	Dört kollu kavşakta sol dönüş oranının % 10' dan % 40' a çıkması durumunda oluşan ortalama gecikme fark eğrileri.....	108
8.1.	Benzetim kavşaklarına ait 300 farklı geliş aralığı gecikmesi ile örnek geliş aralığı gecikmelerine ait dağılımları. ....	110
8.2.	Üç kollu kavşak D15 için farklı popülasyon ve çaprazlama oranları ile oluşan $G_{ort}$ değerleri.....	112
8.3.	Üç kollu kavşağa ait optimize edilmiş BMT-SDS' lerin $G_{ort}$ için karşılaştırılmaları. ....	116
8.4.	Üç kollu kavşak D4 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi. ....	117
8.5.	Üç kollu kavşak D9 durumu BMT-SDS1 ve BMT-SDS3' e ait kollara ait araç sayıları ve zamana göre değişimi...	118
8.6.	Üç kollu kavşak D12 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.....	119
8.7.	Dört kollu kavşağa ait optimize edilmiş BMT-SDS' lerin $G_{ort}$ için karşılaştırılmaları. ....	120
8.9.	Dört kollu kavşak D4 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.....	122
8.10.	Dört kollu kavşak D9 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.....	123
8.11.	Dört kollu kavşak D12 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.....	124

## SİMGELER DİZİNİ

$q$	Trafik akımı
$s$	Doygun akım
$V$	Trafik hacmi
$v$	Hız.
$C$	Devre süresi (sn.)
$C_o$	Optimum devre süresi (sn.)
$S_y$	Yeşil ışık süresi (sn.)
$S_{sa}$	Sarı ışık süresi (sn.)
$S_{hk}$	Her yöne kırmızı ışık süresi
$g$	Efektif yeşil süre (sn.)
$r$	Kırmızı süre (sn.)
$c$	Kapasite
$h$	İki araç arası zaman aralığı (sn.)
$h_s$	Doygun akım zaman aralığı
$G_t$	Toplam gecikme
$G_d$	Durma gecikmesi
$G_y$	Yavaşlama gecikmesi
$G_h$	Hızlanma gecikmesi
$d_{ort}^*$	Araç başına düşen ortalama gecikmelerin ortalaması (sn./araç).
$d_{ort}$	Araç başına düşen ortalama gecikme (sn./araç).
$h_s$	Doygun akım araç takip aralığı (sn.)
$S_y^{\min}$	En kısa yeşil ışık süresi
$S_{uzat}$	Uzatma Süresi
$S_{sa}$	Sarı ışık süresi
$S_{hk}$	Bütün yönlere kırmızı
$S_{ara}^{\max}$	En uzun aralık alma süresini
$S_{ara}$	Uyarı alma aralığı
$S_{y\_top}$	Net toplam yeşil süre.
$S_y^{\max}$	Olabilecek en fazla faz süresi

$S_{\text{bekle}}$	Faz ait bekleme süresi
$S_{\text{mxbekle}}$	Faz ait en fazla bekletilme süresi
$L_s$	Kalkış kaybı süresi
$L$	Toplam kayıp süre
$d_{\text{kd}}$	Kuyruk detektörü ile dur çizgisi arası mesafe.
$x$	Araç uzunluğu.
$X_i$	$i$ fazına ait kritik kol doygunluk derecesi
$n$	Detektörün algılayabildiği alan içerisindeki araç sayısı
$n_{\text{pop}}$	Popülasyon büyüklüğü.
$V_{85}$	% 85' lik hız
$V_{15}$	% 15'lik hız
$t_r$	Reaksiyon süresi
$a_d$	Yavaşlama ivmesi
$g$	Yaklaşım kolu eğimi
$W$	Kavşak geçiş uzunluğu
$Y_i$	Kritik akım oranı
$n_f$	Faz sayısı
$\alpha$	Bulanık küme alt sınır değeri
$\beta$	Bulanık küme üst sınır değeri
$P_c$	Çaprazlama oranı.
$P_m$	Mutasyon oranı.
$\Phi$	Faz

## KISALTMALAR DİZİNİ

BM	Bulanık Mantık
GA	Genetik Algoritma
BMT-SDS	Bulanık Mantık Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi.
TU-SDS	Tam Uyarmalı Sinyal Denetim Sistemi.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
HCM	Highway Capacity Manual
YF-SM	Yeşil Faz Seçim Modülü
YS-BMM	Yeşil Süre Bulanık Mantık Modülü
YS-UKM	Yeşil Süre Uzatma Karar Modülü
US-BMM	Uzatma Süresi Bulanık Mantık Modülü
BS-KM	Bekleme Süresi Kontrol Modülü
TopAs	Toplam Araç Sayısı.
$Böl_{kuy}A_{S_{yf}}$	Yeşil Faz Kuyruk Bölgesindeki Araç Sayısı
$Böl_{kuy}A_{S_{kf}}$	Kırmızı Faz Kuyruk Bölgesindeki Araç Sayısı
$Böl_{yak}A_{S_{yf}}$	Yeşil Faz Yaklaşım Bölgesindeki Araç Sayısı
$Böl_{yak}A_{S_{kf}}$	Kırmızı Faz Yaklaşım Bölgesindeki Araç Sayısı
$Böl_{kuy}$	Kuyruk Bölgesi
$Böl_{yak}$	Yaklaşım Bölgesi

# 1-GİRİŞ

## 1.1. Genel

Günümüz şehirlerinde ciddi miktarlarda artan ve her geçen yıl bu artışına devam eden karayolu trafiğine bağlı olarak yolların eş düzey olarak kesiştiği kavşak noktalarında çözülmesi gereken yeni sorunlar ortaya çıkmaktadır. Geleneksel yöntemlerin artık bu yeni problemler ile baş edemediğinden dolayı yeni yaklaşımların geliştirilmesinin gerekli olduğu gerçeği net olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle günümüzde yeni yöntem ve yaklaşımlar kullanılarak kavşak noktalarında ki kontrol sistemleri daha verimli hale getirilmeye çalışılmaktadır.

Kavşaklarda kullanılan sinyal denetim sistemleri iki ana grupta incelenmektedir. Bunlar: Ön Zamanlı Sinyal Denetim Sistemleri (OZ-SDS) ve Adaptif Sinyal Denetim Sistemleri' dir. OZ-SDS' de sinyal süreleri bütün trafik koşulları altında sabit olarak çalıştırılmakta olup, bu durum gereksiz durma ve beklemlere sebep olmaktadır.

Adaptif sinyal denetim sistemlerinde ise Elektronik ve bilgisayar teknolojisinde ki ilerlemeler sayesinde, kavşak üzerinde bulunan alıcılar yardımıyla, mevcut trafik durumuna göre çeşitli algoritmalarla en iyi sinyal süreleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Böylelikle kavşağın kapasitesi arttırılmakta ve gecikme değerleri düşürülebilmektedir.

Bu tezde, ana amaç olarak yapay zeka tekniklerinin bir alt kolu olan bulanık mantık yönteminden faydalanılarak yeni bir sinyal denetim sistemi geliştirilmiştir. Bulanık Mantık Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi (BMT-SDS) olarak tanımlanan bu sistem içerisinde barındırdığı modüller sayesinde, sinyal süresini mevcut duruma göre değiştirerek gecikme ve diğer performans değerlerini iyileştirebilmektedir. Ayrıca OZ-SDS ve Tam Uyarmalı Sinyal Denetim Sistem' leri (TU-SDS) ile yapılan karşılaştırmalarda, BMT-SDS' in kavşak kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiği anlaşılmıştır.

Kavşakların, kendilerine özel geometrileri trafik yapıları bulanmaktadır. Bu nedenle geliştirilen BMT-SDS' e ait bulanık küme değerlerinin incelenen kavşaklar özelleştirilmesi ikinci amaç olarak ele alınmıştır. Yeni geliştirilen, Bulanık Mantık Sınır Arama Programı (BM-SAP) ile bulanık kümelerle ait ana sınır değerleri belirlenmiştir. Arkasından, Genetik algoritma (GA) en iyileme tekniği uygulanarak, her bir üyelik fonksiyonunun en iyi halinin aranması çalışması gerçekleştirilmiştir. İlk BMT-SDS' e göre yapılan değerlendirmelerde, gecikme değerlerinin ciddi oranlarda azaltılabildiği anlaşılmıştır.

Tez çalışması ilk olarak Bölüm 2 altında verilen geçmiş çalışmaların ve sonuçlarının özetlendiği literatür çalışması ile devam etmektedir. Ardından Bölüm 3' de kavşak kontrolüne ait değişkenler açıklanarak, OZ-SDS ve TU-SDS kontrol teknikleri hakkında detaylı açıklamalar yapılmıştır. Kullanılan bulanık mantık tekniğinin nasıl çalıştığının açıklandığı ise Bölüm 4 altında verilmiştir. Yeni geliştirilen BMT-SDS' e ait parçaların açıklaması ve nasıl çalıştığını gösteren akış diyagramı Bölüm 5 altında açıklanmıştır. Devam eden Bölüm 6' da BMT-SDS' in üzerinde çalışacağı trafik simülasyon programı (KU-Trsim) geliştirilme detayları anlatılmıştır. Geliştirilen BMT-SDS' in diğer sistemler ile farklı kavşak tipleri ve trafik durumları altında karşılaştırılması ve değerlendirilmesi Bölüm 7' de yapılmıştır. Bölüm 8, yeni BMT-SDS' in bulanık modüllerinin optimizasyonu için BM-SAP ve GA' nın nasıl kullanıldığı detaylandırılmış ve optimizasyon öncesi ve sonrası için performans karşılaştırmaları sunulmuştur. Son olarak Bölüm 9' da elde edilen sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

## **1.2. Tezin Amacı**

Bu tezin ana amacı bulanık mantık ile çalışan, farklı türdeki eş düzey kavşaklara uygulanabilen yeni bir kavşak sinyal kontrol tekniği geliştirmektir. Bu amaç için bulanık mantık ile koordineli çalışabilen araç benzetim programı geliştirilmiş ve arazi verileri ile test edilerek doğruluğu onaylanmıştır.

Ayrıca bu tez içinde farklı trafik koşulları altında dört kollu ve üç kollu kavşaklar için benzetim ortamları oluşturulmuştur. Böylelikle günümüzde kullanılan ön

zamanlı ve tam uyarmalı sinyal denetim sistemleri ile aynı koşullar atındaki davranışlarının gözlenmesi amaçlanmıştır.

Geliştirilen bulanık mantık sisteminin farklı geometri ve trafik koşulları altında, optimizasyon tekniklerinden olan genetik algoritma (GA) ile bulanık küme sınırlarının iyileştirilmesi ve bu iyileşmenin boyutlarının tespiti bir diğer amaç olarak belirlenmiştir.

## 2-KAYNAK ÖZETLERİ

İzole sinyalizasyon kavşaklarının BM içeren algoritmalar ile kontrol edilmesi ilk olarak 1977 yılında Pappis ve Mamdani [1] tarafından yapılan çalışma ile başlamıştır. İki adet tek yönlü kesişen kavşakta 2 faz ile çalışacak şekilde geliştirilen uygulamada, girdi değişkenleri olarak; zaman, kuyruk uzunluğu ve yaklaşan taşıt sayısı kullanılmıştır. Yeşil süre ve uzatma süresi de çıktı değeri olarak elde edilmiştir. Bulanık mantık kontrolü için de 25 adet kural yazılmıştır. Çalışmanın performansını değerlendirmek için kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinden 360 taşıt/saat ile 2520 taşıt/saat arasında değişen hacim değerleri ile benzetim yapılmıştır. Trafik uyarımlı sistem ile ortalama gecikme süreleri için yapılan karşılaştırmalar sonucunda, bulanık mantık denetleyicisinin diğer denetleyiciye göre bahsedilen hacim aralıkları için % 10 ile % 21 arasında daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu çalışma, gelecekteki birçok araştırma için önemli bir kaynak olmuştur.

Kavşak sistemlerinin, kontrolü için yapılan çalışmada [2-3], araştırmacılar, devre süresi, faz düzeni ve ofset sürelerini ayarlamak için BM Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi (BMT-SDS) geliştirmişlerdir. Doğunluk oranının 0,55 civarında sabit tutulması ile kavşağın optimum çalışacağını öne süren araştırmacılar, bunu sağlamak üzere BM kontrolüne devre süresini doğunluk oranına göre değiştiren kurallar eklemiştirler. Faz düzeninin ayarlanması için kavşak doğu-batı, kuzey-güney yaklaşımlarına ait en yüksek doğunluk oranı ile yaklaşımlar arasında ki doğunluk oranı farklı kullanılmıştır. Son olarak ofset zamanları hacimler ve yakın kavşaklar arasında ki sürelerle bağlı olarak belirlenmiştir. Yapılan 6 adet kavşağa sahip ağ üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarında 30 dk. sonrasında ilk 3 kavşağın, 60 dk. sonrasında ise tüm kavşakların adapte olduğu ve araç başına düşen gecikme miktarında % 60 düzeylerinde iyileşmelerin olduğu gözlenmiştir.

Nakatsuyama ve diğerleri [4], tek yönlü kollardan oluşan izole iki kavşak için BMT-SDS ve BM faz kontrolörü geliştirmişlerdir. Çalışmada iki kontrolör öncelikle ayrı olarak sistemde uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Kontrolörlerin toplam gecikme bakımından birbirlerine olan üstünlüklerinin trafik akımının dağılımına ve



yoğunluğuna bağlı olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir. Ardından hangi durumda hangi kontrolörün kullanılacağını belirleyen yeni bir strateji geliştiren araştırmacılar bu stratejinin tek yönlü arterlerde umut verici olduğunu belirtmişlerdir.

Magdeburg Otomobil ve Komünikasyon Enstitüsü tarafından yapılan bir çalışma ile [5], 4 kollu ve toplam 12 adet ana hareket yönü olan kavşak için BM içeren durum otomati geliştirilmiştir. Yeşil yanan ve kırmızı yanan yaklaşımlara ait araç yoğunlukları ile zamanı girdi olarak alan çalışmada, bir sonraki fazın hangisinin seçileceği yada uzatma süresinin ne kadar olacağı çıktı olarak seçilmiştir. Kural tabanı toplam 72 kuraldan oluşan çalışmada herhangi bir simülasyon veya gerçek değerlendirme sonucu belirtilmemiştir.

Sakarya Üniversitesi' inde 1995 yılında yapılan çalışmada [6], yeşil ışıkta geçen araç sayısı ve kırmızı ışıkta bekleyen araç sayıları BM girdileri olarak alınmiştır. Çıktı değerkenleri ise kırmızı ışığın yanma süresi ve yeşil ışığın yanma süresi alınarak iki adet BM sistemi oluşturulmuştur. Girdi ve çıktı bulanık kümeleri "Az" , "Orta" ve "Yüksek" olmak üzere 3 adet üyelik fonksiyonu ile tanımlanmiştır. Kural tabanları toplam 9 adet kuraldan oluşturulmuştur. Arazi üzerinden alınan veriler yardımıyla kullanılan girdi değerkenlerinin ortalamaları elde edilmiş ve üçgen tip üyelik fonksiyonlarına ait sınır değerleri, bu ortalamalar yardımıyla seçilmiştir. Sonuç olarak kırmızıda bekleyen araç sayısının düştüğü ve yeşil ışıkta geçen araç sayısının da azaldığı belirtilmiştir fakat gecikme değerlerinden bahsedilmemiştir.

Malezya' da yapılan diğer bir çalışmada [7], geliştirilen simülasyon programı ile dört kollu izole sinyalize kavşağa ait bir BMT-SDS geliştirilmiştir. Yaklaşan araç sayıları ve kuyrukta bekleyen araç sayısı girdi, yeşil ışık uzatma süresi ise çıktı değerkeni olarak kullanılmıştır. Bulanık kümelerin tümünde üçgen tip dört adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Kural tabanında bulunan 16 adet kural, genel olarak yaklaşan araçlar arttıkaça uzatma süresini arttırmakta; kuyrukta bekleyen araçlar arttıkaça ise azaltmaktadır. Sabit trafik akımı ve değerken akım altında BMT-SDS ve ön zamanlı kontrolörle yapılan simülasyonlarda BMT-SDS' nin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

ABD’ de yapılan bir diğ er BMT-SDS ç alışmasında [8], kuyruklarda bekleyen araç sayısı ve trafik akımı girdi olarak değerlendirilirken, yeşil sũre ve hangi kollara yeşil sinyalin verileceği ç ıktı değişkenleri olarak kullanılmıştır. Faz planını on-line olarak değiştirebilen sistemin geliştirilebilmesi için gelecek olan trafik akımlarının tahmin edilmesine yœnelik yœntem geliştiren araştırmacılar, tahmin yœnteminin isabetli ç alıştığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, araştırmacılar, geliştirilen sistemin zaman alan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlara hızlı ulaştığının vurgusunu yapmışlardır.

Nevada Őniversitesi’ nden araştırmacılar tarafından yapılan ve iki aşamalı olduğu belirtilen [9] ç alışma, BM izole bir kavşak Őzerinde benzetim ç alışması ile denenmiştir. İlk aşamada kavşak Őzerinde bulunan detektœrler yardımıyla mevcut yaklaşımlara ait araç yoğunlukları BM ile tahmin edilmektedir. Kırmızı ve yeşil yanan fazlara ait yoğunluklar ayrı ayrı belirlendikten sonra ikinci aşamada, araç yoğunluk tahminleri kullanılarak, mevcut yeşil fazın, yeşil ışık sũresinin uzatılmasına veya sona erdirilmesine karar verilmektedir. Ortalama gecikme ve durma sayılarını performans kriterleri olarak alınan ç alışmada, BMT-SDS ile trafik uyarmalı sinyal kontrol sistemleri karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, BMT-SDS œzellikle orta ve yœksek akım değerlerinde uyarmalı sisteme gœre daha iyi ç alıştığını belirtmişlerdir. BMSK bũtœn akım durumları için ortalama durma ve gecikme değerleri için sırasıyla % 1,3 ve % 9,5 iyileşme sağladığı yapılan bilgisayar simũlasyonları neticesinde elde edilmiştir.

Cabrera tarafından geliştirilen BMT-SDS algoritmasında [10], yeşil ve kırmızı ışık yanan fazlara ait yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluğu ve mevcut yeşil ışık sũresi girdi değişkenleri olarak; fazın değişme ihtimali ise ç ıktı değişkeni olarak kullanılmıştır. Bir sonra ki faza geçiş ihtimali bulanık kœmesi [0 1] aralığında sınırlanmıştır. Girdi ve ç ıktı değişkenleri 5 adet Őyelik fonksiyonu ile tanımlanmış ve Őgen tip fonksiyonları kullanılmıştır. Ő kollu, sola dœnœř şeridi bulunmayan dœrt kollu ve her yœnde sola dœnœř şeridi bulunan dœrt kollu kavşak sistemi simũlasyon ortamında oluşturularak ç eşitli akım durumları için denemeler yapılmıştır. Tam uyarmalı sistem ve BM sistemini karşılaştıran araştırmacılar, BMT-SDS’ ın neredeyse bũtœn geliştirilen senaryo ve durumlar için daha dœřœk gecikme değerleri verdiğini belirlemişlerdir.

Niittymaki ve diğeri [11], Helsinki Üniversitesinde geliştirdikleri HUTSİM simülasyonu ile BMT-SDS geliştirmişlerdir. Çok kaymalı olarak tanımladıkları kontrol programının en üst katmanında BM yeşil süre uzatım ara yüzü bulunmaktadır. İkinci katmanda ise BM faz seçici, bir sonraki fazın hangi düzende olacağını belirlemektedir. Araç geliş aralıklarının (h), üretilmesi için, kaydırılmış ters üstel dağılım fonksiyonu ve durulaştırma işlemi için ise ağırlık merkezi metodu kullanılmıştır. Uzatma kararında toplu taşıma yapan otobüslere öncelik verilmesi amacıyla kurallar eklenmişlerdir. Finlandiya’ da bulunan izole bir kavşak üzerinde sabah, akşam, öğle zirve saatlerinde ve normal zamanlarda yapılan deneyler sonucunda, akşam saati ve öğle zirve saati dışında ki zamanlarda yaklaşık % 14’ lük iyileştirmelerin gözlemlendiğini rapor etmişlerdir.

Niittymaki [12], diğeri bir makalesinde BM sinyal kontrollünün sahada uygulanışında kazanılan deneyimleri anlatmıştır. Çalışmada ayrıca BMT-SDS ile Tam Uyarımlı Sinyal Denetim Sistemi (TU-SDS) hem simülasyon hem de arazi üzerinde karşılaştırılmıştır. Ortalama kuyruk uzunlukları, ortalama devre süreleri, ortalama durma yüzdeleri, ortalama gecikmeler bakımından karşılaştırıldığında çoğu durum için iyi ayarlanmış uyarımlı sisteme göre BMT-SDS ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Murat 2001 yılında yaptığı çalışmasında [13], BM ile çalışan yeni bir sinyal kontrol sistemi önermiştir. Sistemde süre ve faz seçici olmak üzere iki adet BM denetleyicisi çalışmaktadır. Yeşil sinyalde gelen taşıt sayısı, gelecek fazda yeşil alacak kola ait en büyük kuyruk uzunluğu, kalan yeşil oranı, en uzun kuyruğa sahip kolun kırmızı süresi ve kırmızı sinyalde en uzun kuyruk girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Süre denetleyici bölümde sürekli kontrol edilen trafik durumu ile yeşil fazın süresinin azaltılması veya arttırılması kontrol edilmektedir. Süre denetleme kural tabanı 65 adet kuraldan oluşmaktadır ve durulaştırma işleminde ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır. Faz seçici bölümde ise toplam 37 adet kural ile kural tabanı oluşturulmuş ve durulaştırma için maksimum üyelik yöntemi kullanılmıştır. Gerçek arazi sayımları ve benzetim çalışması ile üretilen geliş aralıkları kullanılarak test edilen çalışma ayrıca literatürde ismi geçen kontrol sistemleri ile

karşılaştırılmıştır. Bu sistemlerden FUSICO modeline göre trafik hacimlerinin farklı olduğu durumda ortalama gecikme sürelerinde bulanık mantık denetim modelinin ortalama %34 oranında iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Pappis ve Mamdani modelleri ile yapılan karşılaştırmada da geliştirilen modelin üstün olduğu belirtilmiştir. İleride yapılabilecek çalışmalar içerisinde, BM üyelik kümelerinin GA ile ayarlanabileceği, yaya trafiğini de göz önüne alan modellerin geliştirilebileceği ve farklı sağ-sol dönüş oranları için denemelerin yapılabileceği vurgulanmıştır.

Chou ve Teng [14], izole ve ardışık kavşaklar için kullanılabilir bir BMT-SDS önermişlerdir. Pappis ve Mamdani tarafından oluşturulan kavşak modelini gerçek arazi koşullarına göre değiştiklerini savunan araştırmacılar önerdikleri sinyal kontrol sistemde trafik akımını parabolik denklem yardımıyla elde etmişlerdir. BMT-SDS kural tabanında dört adet girdi kullanmışlardır. Bunlar: dört kollu bir kavşak için her bir yaklaşım koluna ait kuyrukta bekleyen araç sayılarıdır. Çıktı değişkeni ise mevcut yeşil fazın uzatma kararıdır. Çalışmada kısa, orta ve uzun olmak üzere üç adet BM üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Çalışmanın, Mamdani, Nakatsuyama ve Favilla ile karşılaştırılması bir tablo halinde özetlenmiş ve basitlik ve kapsam yönünden önerilen sistemin daha iyi olduğu vurgulanmıştır. Düşük yoğunlukta ön zamanlı sisteme göre çok iyi sonuçlar aldıklarını belirten araştırmacılar, orta ve yüksek yoğunluk için iyileşmenin sınırlı olduğunu belirtmişlerdir.

Kent içi kavşak sisteminin BM ile koordinasyonu ile ilgili yapılan çalışmada [15], yeşil fazda gelen trafik akımı, kırmızı fazda bekleyen araç sayısı, kırmızı fazda geçen süre girdi değerleri olarak alınmıştır. Çıktı değişkeni ise uzatma süresi ve mevcut fazın değişip değişmeyeceğidir. Çalışmada iki komşu kavşağın BM ile koordinasyonu da ele alınmıştır. Tam uyarımlı sistem ile BMT-SDS' in, düşük ve yüksek trafik akımları için yapılan karşılaştırmalarda her iki durum için % 7' lik iyileşmeler elde edilmiştir.

Trafik anormalitesinin BM ile kontrolünü anlatan bir diğer çalışma Türkiye' de düzenlenen 2007 Akıllı Araçlar Sempozyumu' nda [16] sunulmuştur. BM gidileri olarak kırmızı faza sahip araç kuyrukları, kalan yeşil sürenin toplam yeşil süreye oranı, yaklaşan araç sayıları ve anormallik oranı kullanılmıştır. Poisson dağılımını

araç üretimi için kullanan araştırmacılar, 30.000 sn.' lik makro simülasyon ile ileri sürdükleri algoritmayı denemişlerdir. Ayrıca yolun tamamen kapanması, kötü yol koşulu, bir şeridin kapanması ve bir sonraki bağlantının kapanması nedeniyle araçların boşaltılamaması durumlarını anormalite durumları olarak incelemişlerdir. Performans karşılaştırmasını uyarmalı ve anormalite içermeyen BM kontrolü ile yapmışlardır. Normal ve anormal trafik koşullarında yapılan karşılaştırmalarda, önerilen kontrolörün daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

## 3-KAVŞAK KONTROL TEORİSİ

### 3.1 Genel

Yolların eş düzey olarak kesiştiği noktalarda taşıt sayısına bağlı olarak trafiği yönlendiren kontrol ve uyarı sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Bu sistemlerin kurulması kadar, sistemin o kavşak için trafik mühendisliği teknikleri ile işletim planının doğru olarak yapılandırılması da önemlidir. Aksi durumlarda, o kavşak içinde ki araçların gecikme, durma, yakıt ve emisyon değerlerinde artma, trafik güvenliğinde ise azalmalar yaşanmaktadır.

Geliştirilen bulanık mantık ile kavşak sinyalizasyonu tasarımını daha iyi anlayabilmek ve karşılaştırmalar yapabilmek için bu bölümde günümüze kadar geliştirilen çeşitli yöntemlerin de açıklanması yapılmıştır. Bölüm 3.2’ de trafik kontrol teorisinde kullanılan genel terimler kısaca açıklanmış, Bölüm 3.3’ de izole kavşaklara kullanılan kontrol tekniklerinden ön zamanlı sinyal kontrolü ve uyarı sistemleri anlatılmıştır. Bölüm 3.4’ de ise kavşaklarda sinyalizasyon analizinin nasıl yapıldığı üzerinde durulmuştur.

### 3.2 Trafik Kontrol Teorisi ile İlgili Tanımlar

Trafik Kontrol Teorisi ile ilgili tanımlar genel olarak [17], [18] ve [19] numaralı kaynaklardan derlenmiştir.

**(q):** Bir zaman aralığı veya süre (t) boyunca karayolunun belli bir kesitinden geçen motorlu araç sayısı (As) dır. Trafik akımına ait denklem Eşitlik 3.1’ de görülmektedir.

$$q = \frac{As}{t} \quad (3.1)$$

**Hacim (V):** Bir saat boyunca belirli bir noktadan geçen araç sayısıdır (araç/saat).

**Hız (v):** Birim zamanda kat edilen mesafe olup, trafik mühendisliğinde hız iki farklı şekilde ölçülmektedir.

Zaman ortalamalı hız ( $v_t$ ), araçların bir noktadan alınan hızlarının ortalamasıdır.

Mesafe ortalamalı hız ( $v_s$ ), Eşitlik 3.2.'de görüldüğü üzere, belirli araç sayısının ( $n$ ) belirlenen bir yol uzunluğunu ( $U$ ), ne kadar sürelerde ( $S_i$ ) aldığı hesaplanmaktadır. Daha sonra  $U$  değeri  $S_i$  değerlerinin ortalamasına bölünerek, bulunmaktadır.

$$v_s = \frac{U}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i} \quad (3.2)$$

**Yaklaşım Kolu:** Kavşağa oluşturan her bir şerit grubudur.

**Devre:** Sinyal ışıklarının (yeşil, sarı, kırmızı) bütün yaklaşım kolları için sırayla tam bir turudur.

**Devre Süresi (C):** Bir devrenin tamamlanması için geçen süre (sn.) dir.

**Aralık:** Sinyal ışıklarında hiçbir değişikliğin olmadığı süre (sn.) dir.

**Değişim Aralığı:** Çakışan trafiğe yeşil ışık yanmasından önceki (sarı + kırmızı) süre (sn.) olup, kavşak içini araçlardan temizlemek için kullanır.

**Yeşil Süre ( $S_y$ ):** Başlatılan bir hareket için yeşil gösterge süresidir (sn.).

**Kayıp Süre:** Hiçbir yaklaşım kolu tarafından kullanılmayan süredir (sn.). Bu süre değişim aralığında oluşmaktadır.

**Efektif Yeşil (g):** geçişine izin verilen trafik hareketinin etkin olarak kullanabildiği süredir. Bu süre: ( $S_y + \text{Değişim Aralığı} - \text{Kayıp Süre}$ ) olarak alınmaktadır.

**Efektif Kırmızı (r):** Geçişine izin verilmeyen hareketin etkin bir şekilde beklediği süredir (sn.).

**Doymun Akım (s):** Etkin yol ve trafik şartları altında sürekli yeşil ışık verilmesi durumunda belirtilen yaklaşım kolundan geçebilecek en fazla araç sayısıdır.

**Kapasite (c):** Etkin yol ve trafik şartları altında yaklaşım koluna ayrılan etkin yeşil süre boyunca geçebilecek araç sayısıdır. Eşitlik 3.3' de görülmektedir.

$$c = s * \frac{g}{C} \quad (3.3)$$

Burada:

s : Doymun akım.

G : Yeşil süre.

C : Devre süresi' dir.

**İki Araç Arası Zaman Aralığı (h):** Belli bir kesitten birinci aracın ön tamponun geçtiği zaman ile takip eden aracın ön tamponun aynı kesitten geçtiği zamanın farkıdır.

**Faz:** Bir sinyal devresinde bir veya birden fazla trafik akımının hareketini aynı anda ön gören kumanda şeklidir. Fazların sürelerinin toplamı devre süresini vermektedir.

**Çevrimdışı Sinyal Sistemleri:** Sadece belirli sabit bir trafik hacmini dikkate alarak devre süresi, kırmızı, sarı ve yeşil ışık sürelerinin belirlendiği sinyal uygulama sistemidir.

**Çevrimiçi Sinyal Sistemleri:** Bu sistemlerde kavşağa yerleştirilmiş olan kamera veya detektörler yardımı ile mevcut trafik bilgisi toplanmakta ve bu bilgiler ile geçiş sürelerinin belirlendiği sistemlerdir. Anlık trafik bilgisi ile çalışan bu sistemler, gün boyunca yaşanan gecikmeleri azaltmaktadır. Yarı uyarmalı, tam uyarmalı ve son yıllarda gelişmekte olan adaptif sistemler bunlara örnek olarak sayılabilir. Bu tezinde kullanılan BM tekniği adaptif sistemler sınıfına girmektedir.



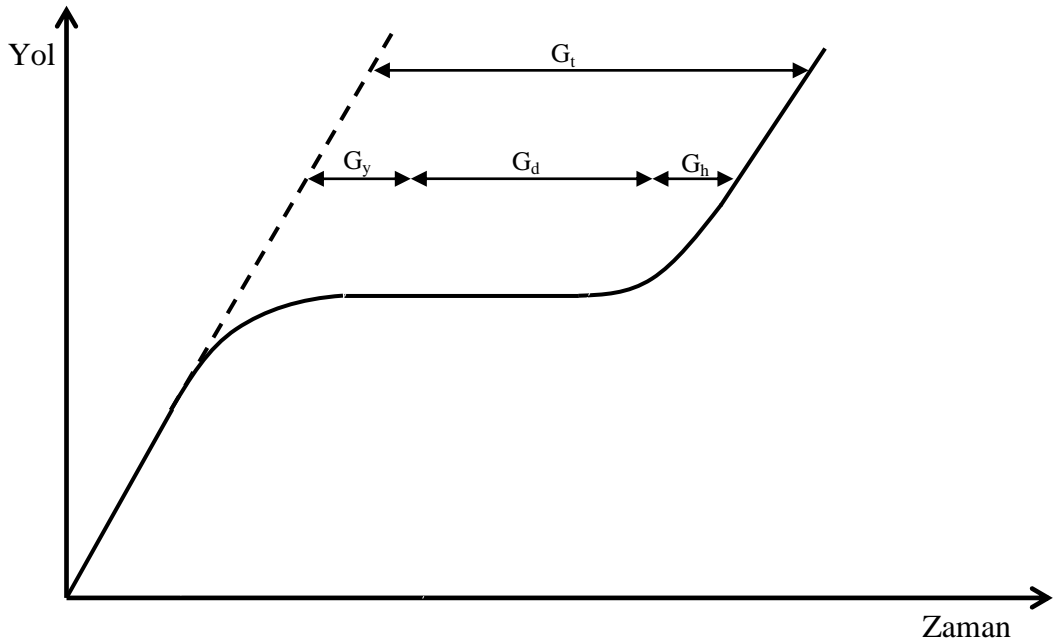
**İkilem Bölgesi:** Trafik ışığının sarı olduğu zamanda, sürücünün durmak ya da ışığı geçmek konusunda kararsız kaldığı yol parçasıdır.

**Gecikme (G):** Bir aracın kavşak sisteminden hız sınırları içinde hiçbir engellemeye maruz kalmadan geçtiği süre ile sinyal sisteminden veya mevcut trafikten kaynaklanan yavaşlama ve durmalar ile birlikte kavşak sistemini terk ettiği süre arasındaki farktır.

**Durma Gecikmesi ( $G_d$ ):** Araçların kavşak sistemini terk etmeden önce tekerleri kilitli olarak geçirdiği sürelerin toplamıdır. Şekil 3.1’ de  $G_d$  olarak görülen kısımdır.

**Yavaşlama Gecikmesi ( $G_y$ ):** Aracın kavşak sistemine girerken ışıklardan veya diğer araçlardan dolayı yavaşlaması durumu ile bu durumun oluşmaması arasındaki süre farkıdır. Şekil 3.1’ de  $G_y$  olarak görülen eğimli bölgedir.

**Hızlanma Gecikmesi ( $G_h$ ):** Aracın hızlanırken geçirdiği süre ile aynı mesafeyi, durmadan geçmesi arasında ki süre farkıdır. Şekil 3.1’ de durma gecikmesinden sonraki bölümdür.



**Şekil 3.1** Yol ve zaman ölçeğinde izole kavşakta yaşanan gecikmeler.

**Toplam Gecikme ( $G_t$ ):** Şekil 3.1' de görüldüğü üzere kavşaktan geçiş yapmış araca ait durma, hızlanma ve yavaşlama gecikmelerinin toplamıdır.

### **3.3. İzole Kavşaklarda Uygulanan Kontrol Sistemleri**

İzole kavşaklarda kontrol sistemleri genel olarak iki kısımda incelenebilir. Bunlar; çevrimiçi ve çevrimdışı kontrol sistemleridir. Kavşakta herhangi bir veri toplama sistemi bulunmayan sistemler olan çevrimdışı sistemlere en genel örnek ön zamanlı sinyal kontrol sistemleridir. Diğer taraftan, kavşaktan çeşitli cihazlarla veri toplayarak devre süresini, yeşil süreyi ve fazları ayarlayan sistemler uyarmalı ve adaptif sistemler olarak anılmaktadır. Uygulanacak olan kontrol sisteminin seçiminde birbirlerine olan avantajları her bir kavşak için değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin kollara gelen hacim miktarı düşük olan kavşaklarda, uyarmalı sistemin kurulması ile iyi ayarlanmış ön zamanlı bir sistem arasında gecikmeler yönünden hizmet ömrü içerisinde önemli bir düşüş sağlanmayabilmektedir. Diğer taraftan uygun kavşaklarda kurulan bu tür sistemler çok önemli faydalar sağlamaktadır.

Kontrol sistemlerinin kavşaklara uygulanmasındaki amaçlar genel olarak, bekleme sürelerini azaltmak, kavşağın kapasitesini ve güvenliği arttırmak şeklindedir. Fakat uygulamalarda bu amaçlar birbirleri ile ters çalışabilmektedir. Örneğin kavşak güvenliğinin arttırabilmesi için kesişme sayının azaltılması gerekmektedir. Bu durum faz sayısının artmasına neden olurken gecikme miktarını da arttırmaktadır.

#### **3.3.1. Ön Zamanlı Sinyal Kontrol Sistemleri**

Bu sistemde, yeşil süreler, yaklaşım kollarının hareket düzenleri, sarı ve her yöne kırmızı ışık süreleri, kavşakta pik saatlerde oluşan trafik durumu temel alınarak düzenlenmektedir. Faz düzeninde, son faz süresi bittikten sonra tekrar ilk olarak belirlenmiş faz düzenine dönerek bir devre süresini tamamlar. Güncel bazı uygulamalarda günün farklı saatlerinde faz düzeni ve sürelerinde değişikliğe

gidilerek gün içindeki akım değişkenliğini karşılamaya yönelik çalışılmaktadır. Bu değişken ön zamanlı sistemlerde dahi trafiğin tam değişimine tepki verilemediği için sadece trafik akım değişim frekansı düşük olan kavşaklarda, iyi bir düzenleme ile tatmin edici sonuçlar alınabilmektedir. Bu sistemin başarısı, kavşaktan elde edilen veri sayısı ve bunların kalitesi ile doğrudan ilişkili olduğundan, veri toplama işinin özenle yapılması da önem arz etmektedir.

### **3.3.2. Uyarmalı Sinyal Kontrol Sistemleri**

İzole kavşaklarda ki bu kontrol sisteminde, kavşak yaklaşım kollarından bazılarına veya hepsine yerleştirilen alıcılar yardımıyla trafik akımında oluşan değişikliklere tepki verilmektedir. Yeşil süreler ve faz düzenleri ayarlanmaktadır. Faz düzeni ayarlamasını fazlar arasından uyarı almayan kolları atlayarak diğer fazlara geçiş hakkı vermektedir. Uyarmalı sistemlerin avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir [20]

Avantajları:

- Gecikmeleri azaltabilirler.
- Trafik akımında kısa aralıklarda oluşabilecek değişikliklere adapte olabilirler.
- Kapasiteyi arttırabilirler.
- Özellikle yüksek sayıda faz uygulanması gereken kavşaklarda etkilidirler.

Dezavantajları:

- Trafik akımları düzenli olan kavşaklarda fazla fayda sağlayamazlar.
- Kurulum giderleri ön zamanlı sistemlere göre 2-3 kat daha fazladır.
- Bakım giderleri daha fazladır.
- Bakım ve kurulumda uzman kişilere gerek duyulmaktadır.

Genel olarak yarı ve tam uyarmalı sistemler olarak iki tür uyarmalı sistem bulunmaktadır.

Yarı uyarmalı sistemler, kollar arasında hacim olarak fazlaca fark olması durumunda uygulanmaktadır. Hacim olarak düşük olan tali kol veya kollara detektörler yerleştirilmekte ve bu detektörlerden uyarı alınmadığı sürece ana yol olarak tanımlanan yüksek hacimli yola geçiş hakkı verilmektedir. Böylelikle sürekli araç geçişinin bulunduğu yol kesiminde gereksiz gecikmeler yaşanmamaktadır.

Tam uyarmalı sistemlerde ise yaklaşım kollarının tümünde detektörler bulunmaktadır. Buralardan gelen veriler yardımıyla, faz sıraları ve geçiş süreleri belirlenmektedir. Kollardan gelen veriler ışığında bazı faz süreleri uzatılırken, bazıları ise tamamen atlanarak sıradaki faza geçiş yapılmaktadır. Bu sisteme ait tasarım esasları 3.3.2.1’ de detaylı olarak tartışılmıştır.

### **3.3.2.1. Tam Uyarmalı Sinyal Kontrol Sistemleri Tasarım Esasları**

Günümüzde yeni teknolojilerin yardımıyla birçok farklı uyarmalı sistem çalışmaları yapılmaktadır. Fakat genel tasarım esasları çok değişmemektedir. Bu bölümde genel olarak tam uyarmalı sistem kurulumunda kullanılan değişkenler tartışılacaktır.

#### **3.3.2.1.1. En kısa Yeşil Işık Süresi**

Uyarı alınan faza geçiş hakkı verildiğinde, bu faza ilk olarak En Kısa Yeşil Işık Süresi ( $S_y^{\min}$ ) kadar bir geçiş hakkı verilir. Bu süre kavşakta bulunan bütün fazlar için ayrı olarak hesaplanmalıdır. Kullanılan detektör tipine göre iki farklı hesap yöntemi bulunmaktadır. Eğer nokta detektör ise Eşitlik 3.4’ de; alan detektörü ise Eşitlik 3.5’ de gösterilen eşitlikler kullanılmaktadır.

$$S_y^{\min} = L_s + \left[ h_s * tam\ sayı \left( \frac{d_{kd}}{x} \right) \right] \quad (3.4)$$

Burada:

$S_y^{\min}$  : En kısa yeşil ışık süresi.

$L_s$ : Başlangıç kaybı.

- $d_{kd}$  : Kuyruk detektörü ile dur çizgisi arası mesafe.  
 $x$  : Şerit boyunca bir aracın kapladığı kabul edilen uzunluğu.  
 $h_s$  : Doygun akım takip aralığı (sn.)

$$S_y^{min} = L_s + 2n \quad (3.5)$$

Burada:

$S_y^{min}$  : En kısa yeşil ışık süresi.

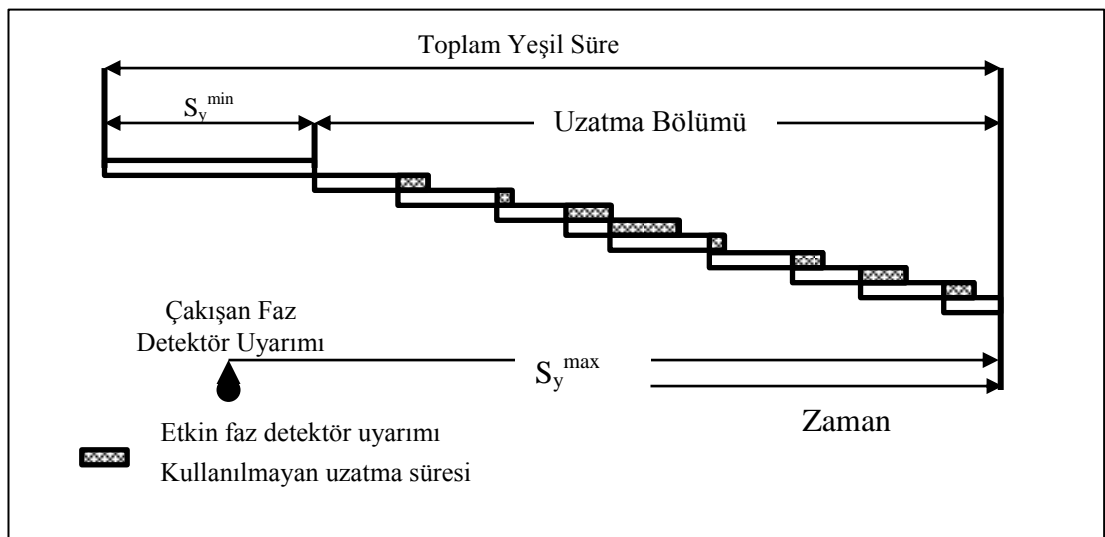
$L_s$ : Başlangıç kaybı.

$n$  : detektörün algılayabildiği alan içerisindeki araç sayısı.

Olarak verilmektedir.

### 3.3.2.1.2. Yeşil Işık Süre Uzatımı

Faza verilen  $S_y^{min}$  sona erdikten sonra, detektörlerin uyarı alma aralıkları ( $S_{ara}$ ), en uzun aralık alma süresini ( $S_{ara}^{max}$ ) aşmadığı sürece ve diğer çakışan kollardan alınan uyarı sonrasında en fazla yeşil süre uzatımına ( $S_y^{max}$ ) kadar mevcut faza  $S_{ara}^{max}$  kadar süre uzatımı yapılır. Şekil 3.2' de görüldüğü üzere aslında uzatma süresi  $S_{ara}^{max}$  süresi ile aynı anlama gelmektedir.



Şekil 3.2. Trafik uyarmalı sinyal denetim sistemi.

Bu sürenin belirlenmesinde genel olarak iki ölçüt göz önüne alınmaktadır. Bunlar:  $S_{ara}^{max}$  yoğun trafikte, araçlar arasında güvenli mesafe kalması olarak verecek ve trafik akışını  $S_y^{max}$  a kadar kesintisiz sağlayabilecek büyüklükte olmalıdır. Diğeri ise dağınık şekilde hareket eden araçların uyarı göndermesine olanak vermeyecek kadar kısa olmasıdır.

Süre uzatımı için, 48 km/saat ve altında ki yaklaşım hızları için 3 sn. olarak alınması; bu değerden yüksek yaklaşım hızları için ise 3,5 sn. alınması önerilmektedir [21]

### 3.3.2.1.3. Geçiş süresi

Geçiş süresi aracın detektöre uyarı verdiği zaman ile dur çizgisini geçtiği zaman arasında ki fark aralığıdır. Aslında bu süre  $S_{ara}^{max}$  ile aynı anlama gelmektedir. Bu geçiş aralığından daha az sürede detektörler uyarı aldıklarında süre uzatılmaktadır.

### 3.3.2.1.4. En Fazla Yeşil Süre

Bu süre, Şekil 3.2' de çakışan faz tarafından uyarı verildiği andan başlayarak devam eden süredir. Genelde 30~60 sn arasında bir süre seçilmesi önerilmektedir [22]

### 3.3.2.1.5. Değişim ve Boşaltma Süreleri

Değişim (sarı) ve boşaltma (Hep Kırmızı) süreleri, yeşil ve kırmızı süreler arasında araçların güvenli geçişini sağlamak amacıyla düzenlenmiş sabit sürelerdir. Bu sürelerin hesabında uyarı ve ön zamanlı sistemlerde aynı mantık kullanılır. Eşitlik 3-6 ve 3-7'de sarı ve hep kırmızı sürelerin hesap detayları verilmiştir.

$$S_{sa} = t_r + \left[ \frac{v_{85}}{2a_d + 19,6g} \right] \quad (3.6)$$

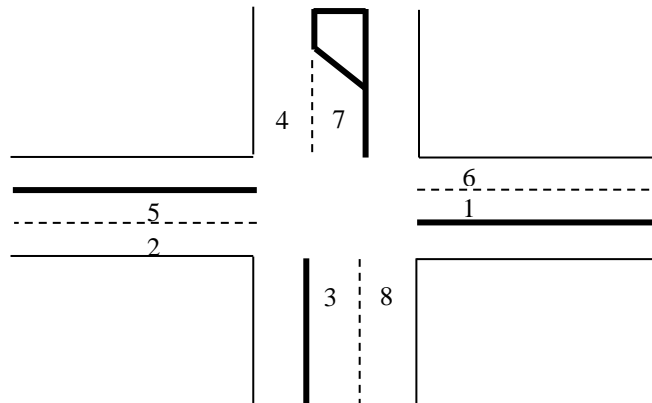
$$S_{hk} = \frac{(W + x)}{v_{15}} \quad (3.7)$$

Burada;

- $S_{sa}$ : Sarı ışık süresi.
- $S_{hk}$ : Her yöne kırmızı ışık süresi.
- $V_{85}$ : % 85' lik hız.
- $V_{15}$ : % 15'lik hız.
- $t_r$ : Reaksiyon süresi.
- $a_d$ : Yavaşlama ivmesi.
- $g$ : Yaklaşım kolu eğimi.
- $W$ : Kavşak geçiş uzunluğu.
- $x$ : Araç uzunluğu.

### 3.4. Trafik Sinyallerinin Faz Düzenlemesi

Faz düzenlemesi, kavşak içinde trafik güvenliğini arttırmak için, kesişim nokta sayısının azaltılması tekniğidir [22]. Bu konuda karışıklığın kaldırılması için A.B.D kökenli National Electrical Manufacturers Association (NEMA) kavşaklarda faz düzenli için bir teknik geliştirmiştir.



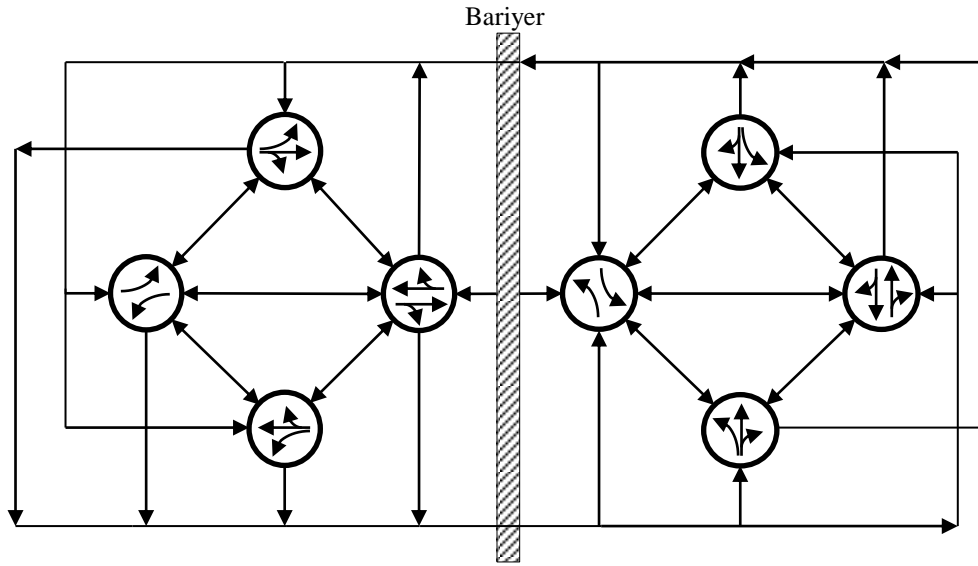
Şekil 3.3. NEMA numaralandırma sistemi.





Faz sayısının düşük olması, belli bir zaman aralığı için yeşiller arasında geçen kayıp süreleri azalmaktadır. Diğer taraftan düşük faz sayısı, kavşak içindeki kesişim noktalarının sayısını arttırmaktadır. Bu nedenle faz düzenlemesi yapılırken, trafik güvenliğini azaltacak olan kesişim sayısı arttırımından kaçınılmalıdır.

Tam uyarımalı sistemlerin kurulu olduğu kavşaklarda ise daha çeşitli faz düzenlemeleri yapmak mümkün olmaktadır. Uyarı almayan kollara ait fazların atlanabilmesi ve bu sürenin diğer fazlara verilmesi ile gecikmelerin azaltılması da sağlanabilmektedir. Şekil 3.5’ de 4 kollu ve her kolunda sola dönüş şeridi bulunan bir kavşağa ait çift halkalı ve 8 fazlı kontrol sistemi görülmektedir. Bariyer kavşaktaki iki caddeyi birbirinden ayırmaktadır. Sol bölümde ilk cadde öncelikli iken, bariyerin sağında ise diğer cadde öncelikli olmaktadır. Böylelikle kollardaki araç yoğunluğuna göre seçenekler arasından en yüksek faydalı faz seçilmektedir.



Şekil 3.5. Sekiz faz çift halkalı kavşak sinyal kontrol sistemi için faz seçenekleri.

### 3.5. Sinyalizasyon Hesapları

Sinyalizasyon hesaplarında günümüze kadar çeşitli yöntemler geliştirilmiş olup bu hesaplar genel olarak üç aşamada yapılmaktadır [13].

Bunlar:

- Veri toplama
- Devre hesabı
- Değerlendirme

Olarak sıralanabilir.

### **3.5.1. Veri Toplama**

Kavşağa ait sinyal sürelerinin hesaplamasına geçilmeden önce bu hesaplarda kullanılacak olan aşağıda verilmiş olan verilerin toplanması gerekmektedir.

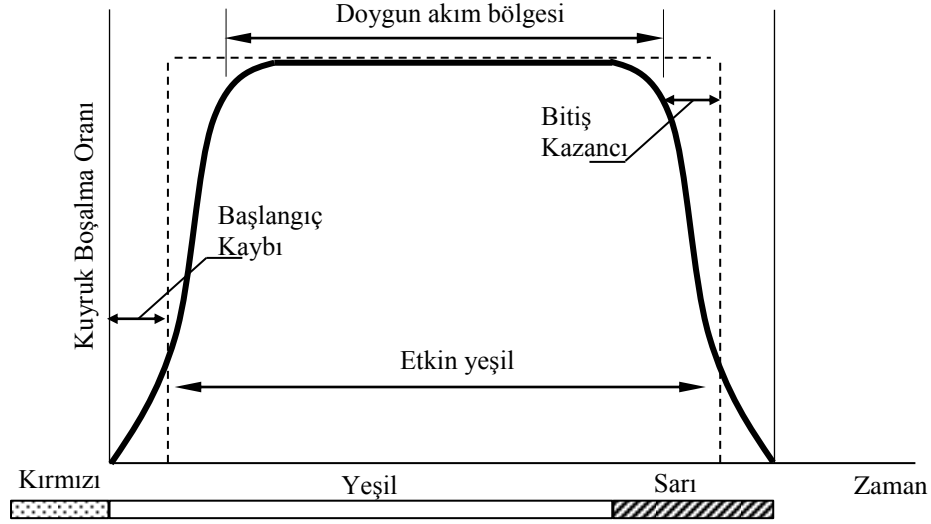
- Tasarım yapılacak kavşağın geometrik özellikleri
- Yaklaşım kolları veya şerit bazında saatlik trafik hacim değerleri.
- Trafik kompozisyonu
- Yaya hacim değerleri.
- Doygun akım
- Başlangıç kaybı ve bitiş kazancı.

Kavşağa ait yaklaşım kolu sayısı, bu kollara ait şerit sayıları, eğim durumları, genişlikleri kavşağa ait gerekli geometrik özelliklerdir.

Saatlik hacim değeri sinyal hesaplarında kullanılan en önemli ve etkili veridir. Bu değer yaklaşım kolu veya şerit bazında hesaplanır.

Kavşak içinde hareket eden bütün araçlar aynı olmayıp, çeşitli boyut ve özelliklerdedirler. Farklı araçlar farklı davranış özelliği sergilediklerinden kavşağın kapasitesi ve doygun akım değerlerini etkilemektedirler. Bu nedenle aynı tip araç türüne dönüştürülerek işleme sokulmalıdır.

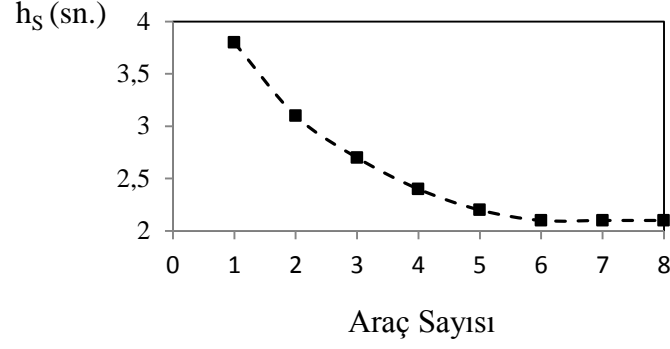
Yaya trafiğinin yüzeyden ve yoğun olduğu kavşaklarda, yayalar için ayrı bir faz düzenlenmesi gerekmektedir. Bu sürelerin belirlenebilmesi için yaya hacimlerinin belirlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Yayaların yürüme hızı ve cadde boyları bu sürelerin hesabında kullanılan parametrelerdendir.



**Şekil 3.6.** Kuyruk boşaltma eğrisi ve ilgili değerler.

Şekil 3.6’ da [22] doygun akım, başlangıç kaybı ve bitiş kazancı görülmektedir. Araçlar, kırmızı ışığın ardından yeşil ışık yanması ile ilk araç hemen harekete geçemez ve bir gecikme oluşturur. Şekil 3.7’ de [19] ilk beş aracın arkasından araç aralıkları (sn.) bir düzen göstererek doygun akım durumu gözlenmektedir. Kuyruktadaki beşinci araçtan sonra araç aralıkları 2,1 sn.’ ye yani doygun akım zaman aralığına ( $h_s$ ) ve doygun akım boyunca bu zaman aralığı korunmaktadır. Doygun akım değeri basitçe Eşitlik 3.8’ de olduğu gibi hesaplanabilir. Fakat doygun akım değeri hesaplarda doğrudan kullanılmamaktadır. Her kavşak trafik kompozisyonu, geometrisi, eğimi, şerit sayıları ve genişlikleri gibi farklı özellikleri  $h$  değerini etkilemekte dolayısıyla doygun akım değeri değişmektedir. Literatürde bu etkiler ele alınarak düzeltilmiş doygun akım değeri ile hesaplar yapılmaktadır.

$$S = \frac{3600}{h_s} \quad (3.8)$$



Şekil 3.7. Kuyruk boşaltımında araçlar arası sürelerin değişimi.

### 3.5.2. Devre Süresi Hesabı

Bu bölümde genel olarak izole kavşaklar için devre süresinin hesabında yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş yöntemlerden Webster ve HCM yöntemi açıklanacaktır.

#### 3.5.2.1. Webster Yöntemi

İzole kavşaklarda devre süresinin hesabının bir yöntem dahilinde ele alınması ilk olarak Webster'in [24] ortaya attığı ve kendi adı ile anılan yöntem ile olmuştur.

Bu yöntemde öncelikle faz sayısı, her fazdaki kayıp süreler (L), sarı süreler ve doymun akım değerleri belirlenmektedir. Ardından şerit başına düşen hacim değerlerinden fazlara ait en yüksek değerler kritik akım değerleri olarak belirlenir. Kritik akım değerinin doymun akım değerine bölünmesi ile kritik akım oranları ( $Y_i$ ) bulunmuş olur.  $Y_i$  değerlerinin toplanması ile toplam akım oranı (Y) elde edilir. Elde edilen değerler Eşitlik 3.9' da yerine konularak optimum devre süresi ( $C_o$ ) elde edilir.

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum Y_i} \quad (3.9)$$

Burada:

$C_o$ : Optimum devre süresi.

$L$ : Toplam kayıp süre. (n.l)

$Y_i$ : i fazına ait kritik akım oranı

Toplam yeşil süre  $G_t$  ise Eşitlik 3.10 yardımıyla hesaplanır.

$$S_{y\_top} = C_o - \sum_{i=1}^{n_f} S_i - L \quad (3.10)$$

Burada :

$S_{y\_top}$ : Net toplam yeşil süre.

$C_o$ : Optimum devre süresi.

$n_f$ : Faz sayısı.

$S_i$ : i fazına ait sarı süre.

$L$ : Toplam kayıp süre

Yeşil sürelerin dağıtımı ise Eşitlik 3.11' de görüldüğü üzere, yine kritik akımların, toplam kritik akıma oranı ile  $G_t$ 'nin çarpılması ile elde edilir.

$$S_{yi} = \frac{Y_i}{Y} S_{y\_top} \quad (3.11)$$

Burada :

$S_{yi}$ : i fazına ait yeşil süre.

$S_{y\_top}$ : Toplam yeşil süre.

$Y_i$ : i fazına ait kritik akım / doygun akım oranı.

$Y$ : Bütün fazların toplam kritik akım / doygun akım oranı

### 3.5.2.2. HCM Yöntemi

Bu yöntemde [13] devre süresi, kavşağın kapasitesi yardımıyla belirlenmektedir. Bir yaklaşım kolu kapasitesi Eşitlik 3.3' de görüldüğü üzere doygun akımın, yeşil sürenin devre süresine oranına bölünmesi ile elde edilmektedir. İzole kavşakda

herhangi bir kolun hacminin kapasiteye oranı ise o kola ait doyunluk derecesi ( $X_i$ ) vermektedir (Eşitlik 3.12).

$$(V/c)_i = X_i = \frac{v_i}{s_i(g_i/C)} \quad (3.12)$$

Burada :

$X_i$ : i fazına ait kritik kol doyunluk derecesi.

$V_i$ : i fazına ait kritik kol hacmi.

$s_i$ : i fazına ait doyun akım değeri.

$g_i$ : i fazına ait yeşil süre.

$C$ : Devre süresi.

Diğer kısaltmalar önceki bölümlerde açıklanmıştır.

Yaklaşım kolunda ki hacim kapasiteye doğru yaklaştığında  $X_i$ ' de 1'e yaklaşmakta, hacim kapasiteye göre nisbeten küçülmeye başladığında ise  $X_i$  değeri 0'a doğru yaklaşmaktadır.

Bütün kavşak kollarının bir arada incelenerek kritik doyunluk derecesi ( $X_c$ ) elde edilmektedir. Burada fazlara ait kollar arasından kritik (en fazla) olan kolun  $X$  oranı, i fazının kritik doyunluk derecesi olarak alınmaktadır. Eşitlik 3.13' de bütün kritik hacimler bir arada değerlendirilerek, kavşağa ait  $X_c$  belirlenmektedir. Eşitlik 3.13'de yerine konan değişkenler yardımıyla devre süresi belirlenmektedir.

$$X_c = \sum_i (v/s)_{ci} \frac{C}{C-L} \quad (3.13)$$

Burada :

$X_c$ : Kavşağa ait doyunluk derecesi.

$\sum_i (v/s)_{ci}$ :Kavşağa ait kritik akım/doyun akım oranı.

$L$ : Toplam kayıp süre.

$C$ : Devre süresi.

## 4-BULANIK MANTIK TEORİSİ

### 4.1. Genel

İnsan düşünen ve karar veren bir varlıktır. Karar verme evresinde olan insan, öncelikle geçmişten gelen bilgileri ve deneyimleri çerçevesinde olayları yorumlamakta ve çıkan sonuca göre bir karar vermektedir. Fakat böyle süreçlerde bilgisayarlar karar verebilmek için kesin sayısal verilere ihtiyaç duyarken, insan beyni, farklı olarak sözel düşünmekte, girdileri sözel olarak değerlendirmekte, eksik veya kesin olamayan durumlar için varsayımlar yapabilmektedir. Ancak insan beyni, bilgisayarlar kadar fazla değişken ile bir arada işlem yapamamaktadır. İşte bu sebeplerden dolayı bilgisayarları, insan düşünme sistemine yakın çalışabileceği bir yaklaşım olarak bulanık mantık teorisi ortaya atılmıştır.

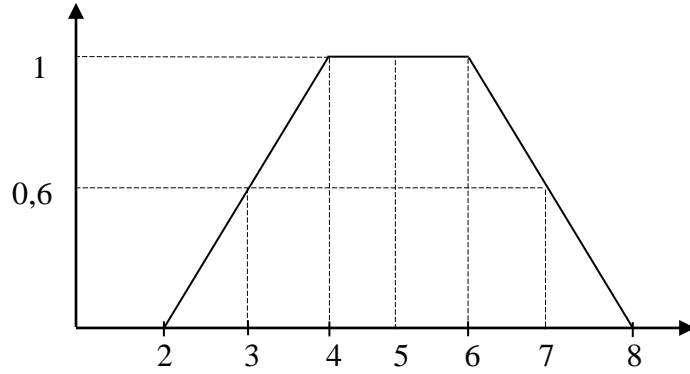
Bulanık mantık ile ilgili ilk ilkeler Lütü Asker Zade (Zadeh)'in [14] 1965 yılında“ Fuzzy Sets” isimli bulanık kümeleri anlatan çalışması ile literatüre girmiştir. Daha sonra 1973 yılında yayınladığı ve bulanık mantık tabanlı, kontrol sistemlerinin geliştirilmesi konusunu içeren çalışması ile dilsel girdileri, bulanık kural tabanını açıklamıştır [15]. İlk başlarda karşı tepkilere neden olan yeni yaklaşım, 1975 yılında Mamdani ve Assilian'ın bulanık mantık ile buhar motorunu kontrol etmeyi başarmaları ile dikkatleri üzerine çekmiş ve bu konuda çalışmaların artmasına sebep olmuştur [16]. Günümüzde ise bulanık mantık, endüstriyel kontrol sistem uygulamalarında, elektronik eşyaların çalışmasında kullanılmakla beraber, birçok yeni alana uygulama çalışmaları devam etmektedir

### 4.2. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme, diğer komşu küme elemanları arasında kesin bir ayrım olmayan elemanların oluşturduğu küme olarak tanımlanabilir. Bu tanım ile ortaya, her elemanın o kümeye ne kadar ait olduğunu gösteren üyelik derecesi tanımı ortaya çıkmaktadır. Üyelik derecesi, bulanık küme içinde ki değer ne kadar o alt kümeye

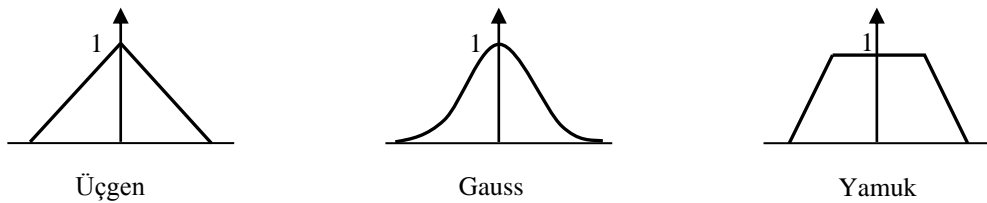
ait olduğunu gösteren  $[0 \ 1]$  sıraları içerisinde değerler alan bir niceliktir. Örneğin, Şekil 4.1’ de A bulanık kümesinde yer alan 3’ ün, üyelik derecesi  $\mu_a(3) = 0,6$  olarak görülmektedir. A bulanık kümesi, Eşitlik 4.1’ de payda kısmında küme değeri, pay kısmında ise üyelik derecesi olacak şekilde tanımlanmaktadır.

$$\underline{A} = \left\{ \frac{0,6}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{0,6}{7} \right\} \quad (4.1)$$



**Şekil 4.1.** A bulanık kümesi ve üyelik dereceleri.

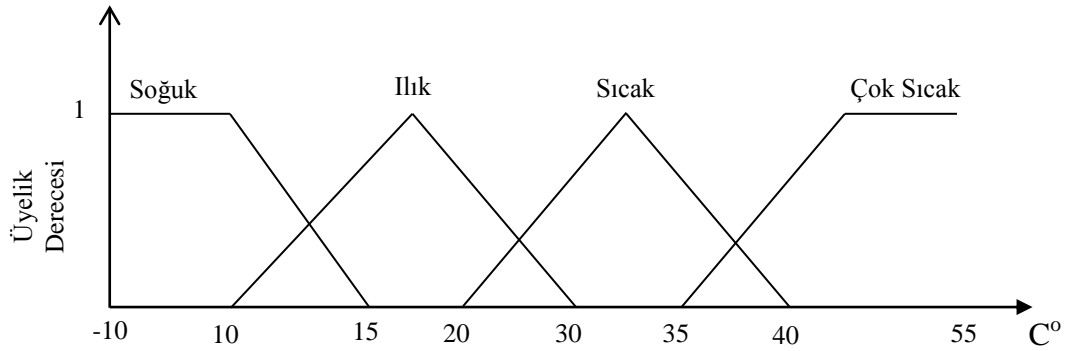
Üyelik derecelerinin oluşturduğu bu alt kümeye ise üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. Üyelik fonksiyonları, küme elemanlarının aldığı üyelik derecelerine göre şekil 4.2’ de görülen örneklerde olduğu gibi farklı şekiller alabilmektedir. Bu şekillerden genellikle hesap kolaylığı açısından, simetrik olanları uygulamacılar tarafından tercih edilmektedir. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları çalışmalarda sıklıkla tercih edilen şekillerdir.



**Şekil 4.2.** Bazı üyelik fonksiyonu şekilleri.



Bulanık küme yaklaşımında, her elemanın belirli bir oran ile o kümeye ait olması durumu aslında gerçek hayatla doğrudan örtüşmektedir. Gerçek hayatta durumlar arasında çoğu zaman kesin bir sınır bulunmamaktadır. Şekil 4.3’ de  $[-10\ 50]$  C° arasında sıcaklıklar bulanık kümeler ile ifade edilmiştir.  $[-10\ 15]$  C° arasında bulunan soğuk kümesinde  $10\ C^{\circ}$ ’ den sonra ılık kümesi de başlamıştır. Böylelikle  $10\ C^{\circ}$  ile  $15\ C^{\circ}$  arasında ki sıcaklıklar için biraz soğuk biraz da ılık diyebilirken, aynı şekilde  $[35\ 40]$  C° içinde biraz sıcak veya çok sıcak tabileri kullanılmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere değerler kesin olarak diğer küme ile ayrık olmamakta ve bulanık bir yaklaşım ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 4.3.** Sıcaklık kümesi ve üyelik fonksiyonları.

#### 4.2.1. Bulanık Kümelerde İşlemler

A ve B iki farklı bulanık kümeler ve  $x \in X$  olmak üzere,  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümelerine ait şu işlemler ve durumlar tanımlanabilir:

**Eşitlik:** Eğer  $\mu_{\underline{A}}(x) = \mu_{\underline{B}}(x)$ ,  $x \in X$  olmak üzere bütün  $x$ ' ler için doğru ise,  $\underline{A} = \underline{B}$ ' dir.

**Alt küme:** Eğer  $\underline{B}$  bulanık kümesi  $\underline{A}$  bulanık kümesinin tüm elemanlarını kapsıyor ise  $\underline{A} \subset \underline{B}$ ' dir.

**Bütünleyen:**  $\underline{A}$  bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu  $\mu_{\underline{A}}(x)$  olmak üzere,  $\underline{A}$  kümesinin bütünleyeni şu şekilde ifade edilir.

$$\mu_{\underline{A}}(x) = 1 - \mu_{\underline{A}}(x) \quad (4.2)$$

**Kesişim:**  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları  $\mu_{\underline{A}}(x)$  ve  $\mu_{\underline{B}}(x)$  olmak üzere  $x$  değeri kesişimleri üyelik fonksiyonu değerlerinden en küçük olanıdır. (Eşitlik 4.3)

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = EK[\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)] \quad x \in X \quad (4.3)$$

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \underline{A} \wedge \underline{B} \quad (4.4)$$

**Birleşim:**  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları  $\mu_{\underline{A}}(x)$  ve  $\mu_{\underline{B}}(x)$  olmak üzere  $x$  değeri kesişimleri üyelik fonksiyonu değerlerinden en büyük olanıdır. (Eşitlik 4.5)

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = EB[\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)] \quad x \in X \quad (4.5)$$

**Cebirsel Çarpım:**  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümeleri için cebirsel çarpımı Eşitlik 4.6' da verilmiştir.

$$\mu_{\underline{A} \cdot \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \cdot \mu_{\underline{B}}(x) \quad x \in X \quad (4.6)$$

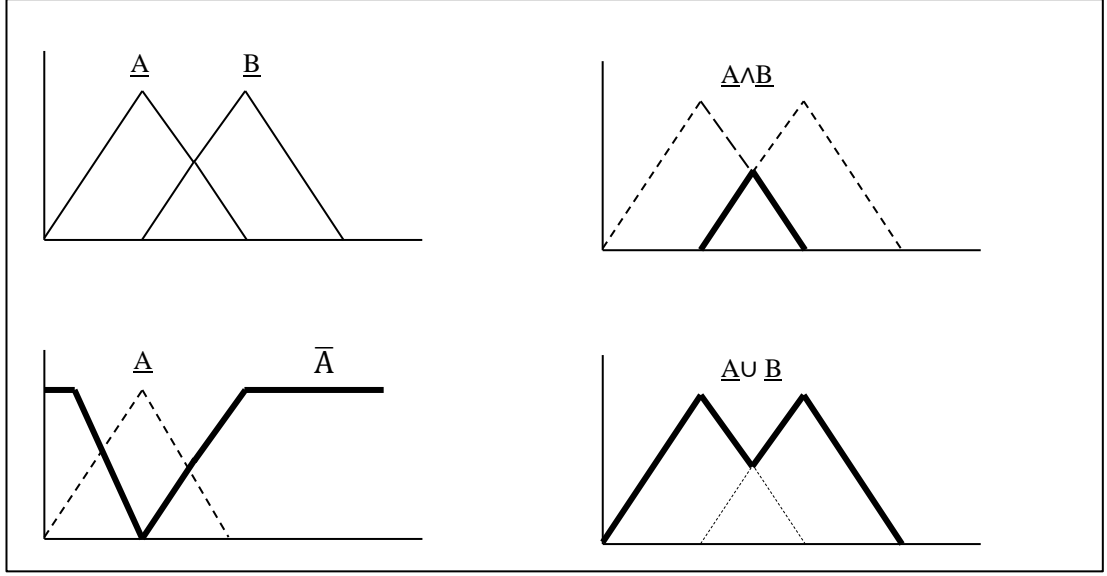
**Cebirsel Toplam:**  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümelerinin cebirsel toplamı  $\underline{A} \Delta \underline{B}$  olarak ifade edilirse,

$$\mu_{\underline{A} \Delta \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) + \mu_{\underline{B}}(x) - \mu_{\underline{A}}(x) \cdot \mu_{\underline{B}}(x) \quad x \in X \quad (4.7)$$

**Kartezyen Çarpım:**  $\underline{A} \times \underline{B}$  olarak gösterilen iki bulanık kümenin çarpımı, Eşitlik 4.8' de ki şekliyle tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\underline{A} \times \underline{B}}(x) = \min[\mu_{\underline{A}}(x) + \mu_{\underline{B}}(y)] \quad x \in \underline{A}, y \in \underline{B} \quad (4.8)$$

Şekil 4.4' de  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümeleri için birleşim, kesişim ve bütünleyen işlemleri örnekleri verilmiştir.



**Şekil 4.4.** Bulanık kümelerde birleşim, kesişim ve bütünleyen işlemleri.

### 4.3. Sözel Değişkenler

Sözel değişkenler, değerleri günlük hayatta kullandığımız kelime ya da cümleler olan değişkenler olarak tanımlanabilir [6]. Örneğin günlük hayatta yediğimiz bir yemek için yorumda bulunduğumuzda “... biraz tuzlu, ılık, tadı fena değil vb.” şeklinde yorumlar yapabilmekle birlikte yemek için iyi değil, idare eder, güzel, çok güzel gibi kategorize edebilmekteyiz. Ancak bu durumlar kesin sayısal değerler ile ifade edilememektedir. Durumları sözel olarak yaklaşık ifade etmek, sayısal olarak ifade edilebilmesi çok güç olan durumlar için avantaj sağlamaktadır [17].

Klasik mantık teorisinde bir durum için sadece “doğru” ya da “yanlış” [0 1] geçerli iken, bulanık mantıkta bir önceki paragrafta açıklandığı üzere, durumlar için “az, orta, biraz çok, çok, pek çok” gibi iç içe belli oranlarda geçmiş üyeliklerden bahsedilebilmektedir. Şekil 4.3’ de görüldüğü üzere, sıcaklık durumu için üyelik fonksiyonları “soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak” olmak üzere dört farklı kategoriye ayrılmış ve bu durumlar belli oranlarda iç içe geçmişlerdir.

#### 4.4. Bulanık Önermeler

Bulanık önermeler bulanık mantık kural tabanını oluşturan ana öğelerdendir. Bulanık önermeler genel olarak iki çeşit olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bunlardan ilki sadece tek bir önerme içeren atomik önermelerdir [6]. Örnek olarak: “*Hava sıcak*” cümlesinde, “*hava*”, incelenen durum iken “*sıcak*” dilsel olarak önermesidir.

Birleşik önermeler ise atomik önermelerin bir araya çeşitli dilsel bağlaçlar ile birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Bu bağlaçlar “*ve*”, “*veya*”, “*değil*” olarak sıralanabilirler. Burada “*ve*” bağlacı kesişimi “*veya*” birleşimi; “*değil*” ise bütünleyenini işlemlerini ifade etmektedir. “*Hava sıcak ve nem az veya basınç orta, yağmur çok değil*” bu bağlaçların tümünün kullanıldığı, birleşik önermeye örnek olarak verilebilir.

#### 4.5. Bulanık Eğer-İse Kuralları

Bulanık önermeler ile bulanık mantık kural tabanının oluşturulması için, sebep ve sonuç ilişkisi içeren “Eğer-İse” bağlaçları ile sebep ve sonuçlar birbirine bağlanmaktadır. Eşitlik 4.9’ da Eğer-İse ile bağlanmış sebep ve sonuç bulanık önermeleri görülmektedir.

$$\text{Eğer } \{ \text{Bulanık Önerme} \} \text{ İse } \{ \text{Bulanık Önerme} \} \quad (4.9)$$

Örnekler:

$$\text{Eğer } \{ \text{Trafik Yoğun ve Hava Yağmurlu} \} \text{ İse } \{ \text{Kaza Riski Yüksek} \} \quad (4.10)$$

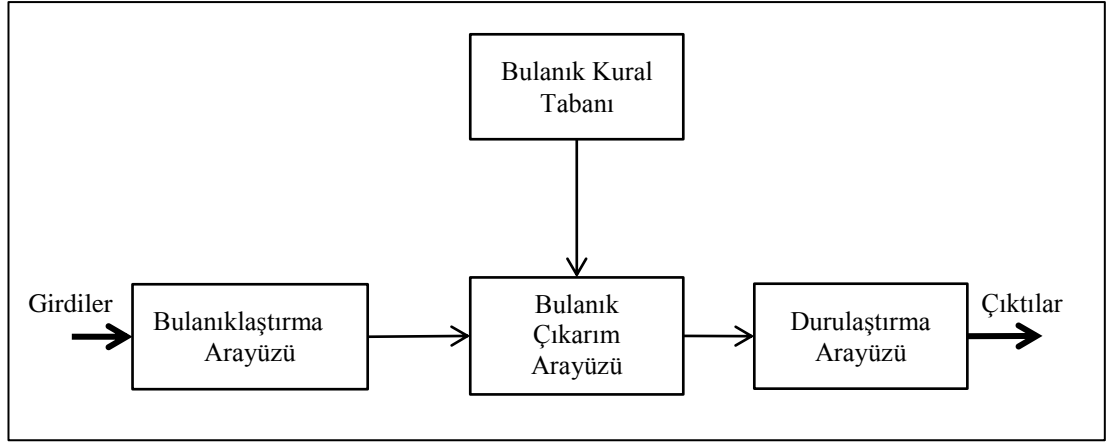
$$\text{Eğer } \{ \text{Trafik Orta ve Hava Yağmurlu} \} \text{ İse } \{ \text{Kaza Riski Biraz Yüksek} \} \quad (4.11)$$

$$\text{Eğer } \{ \text{Trafik Az ve Hava Yağmursuz} \} \text{ İse } \{ \text{Kaza Riski Düşük} \} \quad (4.12)$$

Eşitlikler 4.10-12’ den anlaşılacağı gibi trafiğin ve yağmurun durumunun kaza riski üzerindeki etkileri görülebilmektedir.

#### 4.6. Bulanık Mantık Sisteminin Temel Bileşenleri

Bulanık mantık sistemi dört ana bölümden oluşmaktadır. Şekil 4.5’ de görüldüğü üzere, bunlar: ilk olarak bulanık matematik ile çalışan Bulanıklaştırma Arayüzü; kuralların belirlendiği Bulanık Kural Tabanı Arayüzü; bulanık kümeler ve kural tabanının birlikte değerlendirilmesini yapan Bulanık Çıkarım Arayüzü ve çıkan bulanık sonucun gerçek sonuç olarak değerini hesaplayan Durulaştırma Arayüzü’ dür.



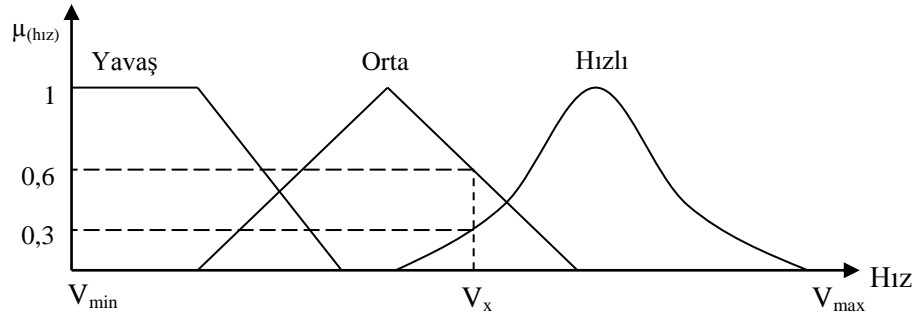
Şekil 4.5. Bulanık mantık sisteminin temel bileşenleri.

##### 4.6.1. Bulanıklaştırma Arayüzü

Bulanık mantık sisteminin ilk adımı, girdi ve çıktı değerlerinin bulanıklaştırılmasıdır. Bu işlem bulanıklaştırma arayüzü tarafından gerçekleştirilmektedir. Bulanık değer, gerçek değer, şekli ve değişim aralığı belirlenen üyelik fonksiyonları için aldığı değerlerdir.

Bulanıklaştırma işinde en önemli unsur, bulanık mantık sisteminin performansına büyük etkisi olan üyelik fonksiyonlarının tipi ve değişim aralığının belirlenmesi işidir. Üyelik fonksiyonlarının tipi, Bölüm 4.2’ de tartışıldığı üzere üçgen, yamuk ve gauss tipleri gibi sık kullanılan üyelik fonksiyonları şekillerinde olmakla birlikte problem tipine özel şekillerde kullanılabilir. Değişim aralığının belirlenmesi

ise çok daha tecrübe gerektiren bir işlemdir. Şekil 4.6’ da üç farklı tipte üyelik fonksiyonu bir araç için durumu ifade etmek için kullanılmıştır.  $V_x$  hız değeri,  $[V_{\min} V_{\max}]$  aralığında, orta bulanık kümesine 0,6; hızlı bulanık kümesine ise 0,3 üyelik değerini alarak bulanıklaşmıştır. Fakat  $V_{\min}$  ve  $V_{\max}$  değerlerinin nasıl belirleneceği konusu bu noktada çözülmesi gereken diğer bir problemdir. Örneğin eğer bu araç normal bir otomobil ise  $[20\ 160]$  aralığı kabul edilebilirken; eğer araç bir uçak ise bu aralığın farklı değerler alarak duruma uygun hale getirilmesi gerekmektedir.



**Şekil 4.6.** Hız değişkeni için farklı üyelik fonksiyonu tipleri ve bulanıklaştırma.

#### 4.6.2. Bulanık Kural Tabanı

Bulanık kural tabanı, sistemin karşılaştığı bütün olası durumlar için kurulmuş ve Bölüm 4.5’ de tartışılmış olan Eğer-İse kurallarından oluşmaktadır.

Bulanık kural tabanının doğru oluşturulması için iki önemli unsura dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki, bütün durumlar için bir kuralın olması gerektiğidir. Eğer kural tabanında eksik kural bulunursa, bu noktada sistem yanlış karar verecektir. İkinci durum ise, kuralların birbiri ile tutarlı olması gerektiğidir.

Örneğin:

Kural 1 “Hava Sıcak Ve Rüzgar Hızlı İse Çamaşırlar Hızlı Kurur.”

Kural 2 “Hava Sıcak Ve Rüzgar Hızlı İse Çamaşırlar Yavaş Kurur.”

Örnek’ de hava ve rüzgârın durumuna karşılık, çamaşırların kuruma hızı konusunda ki iki kural birbiri ile çelişmektedir. Böyle bir durumda bulanık mantık sistemi yine hatalı karar verecektir.

#### 4.6.3. Bulanık Çıkarım Arayüzü

Sebeup ve sonuç değişkenlerinin üyelik fonksiyonları belirlendikten ve kural tabanı oluşturulduktan sonraki adım, bu iki arayüzü kullanarak bulanık çıkarım yapma işidir. Bulanık çıkarımın yapılabilmesi için, kural tabanında bulunan bütün ilgili kuralların harmanlanması gerekmektedir.

Tek bir kuraldan, çıkarım yapabilmek için bulanık kümelerin bağlı oldukları “ve” – “veya” bağlalarına göre, iki türlü işlem yapılmaktadır. Bunlardan birincisinde “ve” bağlacı ile girdi değerleri  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  bulanık kümelerine ait  $x$  ve  $y$  değişkenleri,  $\underline{C}$  ise sonuç kümesi olmak üzere, öncelikle  $A$  bulanık kümelerinin her iki kümede de üyeliği bulunan  $x$  değerinin  $EB$  üyeliğe sahip olan kümesi seçilir. Aynı işlem  $B$  girdisine ait bulanık kümeler içinde uygulanır. Ardından Eşitlik 4.13’ de görüldüğü üzere üyelik fonksiyonu değerlerinin En Küçüğü ( $EK$ ) alınarak çıktı elde edilmektedir.

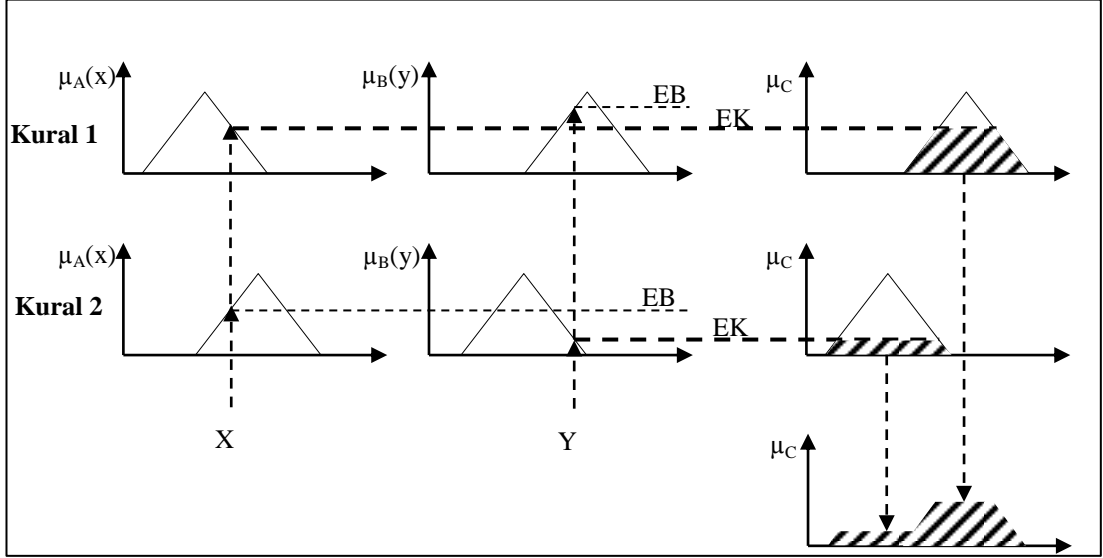
$$\mu_{\underline{C}} = EB\{EK\{\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(y)\}\} \quad (4.13)$$

İkinci durum olan “veya” bağlacında ise, bu bağlaca bulanık mantıkta karşılık gelen En Büyük ( $EB$ ) ile işlem yapılmaktadır. Eşitlik 4.14’ de  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$  ve  $\underline{C}$  bulanık kümelerinden elde edilen çıkarım görülmektedir.

$$\mu_{\underline{C}} = EB\{EB\{\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(y)\}\} \quad (4.14)$$

Yukarıda tek bir kural ile bulanık sistemin çıkarımı tartışılmıştır fakat genellikle kural tabanı birden fazla kuraldan oluşmakta ve bunların hepsinden bir çıkarım yapmak gerekmektedir. Şekil 4.7’ de  $EB$ - $EK$  tekniği ile grafiksel çözüm gösterilmiştir. Öncelikle  $x$  ve  $y$  girdi değerlerine ilişkin kurallar, bu değerler ile

kesiştirilmiş ardından en küçük (ve) üyelik değeri ile kural tabanında ki ilişkili üyelik fonksiyonu kesiştirilmiştir. Bütün kurallar için bu işlem tekrarlandıktan sonra elde edilen sonuç fonksiyonları EB noktalarından birleştirilerek sonuç fonksiyonu elde edilmiştir.



Şekil 4.7. EB-EK yöntemi ile grafiksel bulanık çıkarım gösterimi.

#### 4.6.4. Durulaştırma Arayüzü

Bulanık çıkarım sonrasında, kuralların ve ilgili üyelik fonksiyonların yardımıyla, birleştirilmiş yeni bir sonuç fonksiyonu elde edilmektedir (Şekil 4.7). Bu sonucun hala bulanık olması nedeniyle, sonuç olarak kullanılması için durulaştırılması gerekmektedir.

Durulaştırma işlemi için literatürde pek çok yöntem bulunmaktadır.

Bunlar:

- AI (Adaptif İntegrasyon)
- BADD (Temel Durulaştırma Dağılımları)
- BD (Bisektör Durulaştırma)
- CDD (Sabit Karar Durulaştırması)



- COA (Alan Merkezi)
- COG (Ağırlık Merkezi)
- ECOA (Genişletilmiş Alan Merkezi)
- EQM (Genişletilmiş Kalite Metodu)
- FCD (Bulanık Kümeleme Durulaştırması)
- FM (Bulanık Ortalama)
- FOM (En Büyüğün İlki)
- GLSD (Genelleştirilmiş Seviye Seti Durulaştırması)
- ICOG (İndeksli Ağırlık Merkezi)
- IV (Etkili Değer)
- LOM (En Büyüğün Sonu)
- MeOM (En Büyüklerin Ortalaması)
- MOM (En Büyüğün Ortası)
- QM (Kalite Metodu)
- RCOM (En Büyükten Rastgele Seçim)
- SLIDE (Yarı-Doğrusal Durulaştırma)

Bu yöntemlerden çalışmalarda sıklıkla rastlanan yöntemlerden olan ağırlık merkezi yöntemi (sentroid), bisektör ve en büyük alanın ilk, orta ve son değerleri durulaştırma yöntemleri tartışılacaktır.

#### **4.6.4.1. Ağırlık Merkezi (Sentroid) Yöntemi**

Uygulamalarda en sık kullanılan durulaştırma yöntemidir. Bulanık çıkarım sonucunda çıkan fonksiyon altına kalan alanının ağırlık merkezinden indirilen bir doğru ile apsis eksenini kesiştirilerek durulaştırma sağlanır. Şekil 4.8’ de verilen bulanık çıkarım fonksiyonuna ait sentroid durulaştırma Eşitlik 4.15’ de görülmektedir.

$$x^* = \frac{\int \mu(x) \cdot x dx}{\int \mu(x) dx} \quad (4.15)$$

#### 4.6.4.2 Bisector Yöntemi

Bu yöntem mevcut alanı dikey bir çizgi ile iki eşit alt alana ayırma yöntemidir. Ağırlık merkezi yöntemi ile bazen kesişmekle beraber her zaman aynı olmamaktadır. Şekil 4.8’de ki durum için Sentroid yöntemine yakın sonuç verdiği görülmektedir.

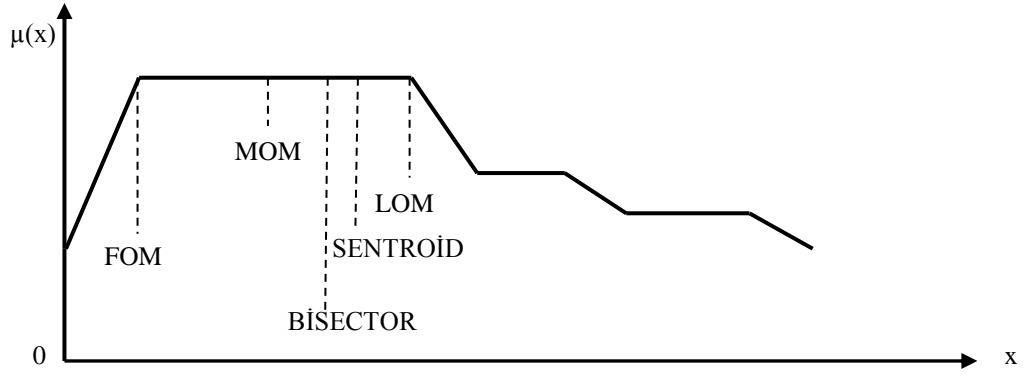
#### 4.6.4.3 En Büyük Alan Yöntemleri

Bu yöntemler esas olarak en büyük alan içerisinde en uygun değerini bulunabileceğini teorik olarak esas alan yöntem grubudur. Şekil 4.8’ de diğer durumlar ile karşılaştırmalı olarak verilmişlerdir.

**En Büyük Alanın İlki Yöntemi (FOM):** Yöntem oldukça basittir. En büyük alan belirlendikten sonra bu alanın en büyük üyelik derecesine sahip ilk değeri seçilir. Hesap gerektirmeyen hızlı bir yöntemdir.

**En Büyük Alanın Ortası Yöntemi (MOM):** En büyük alanın orta noktası belirlenerek ortasından indirilen dikey çizgi ile gerçek değer belirlenir.

**En Büyük Alanın Sonu Yöntemi (LOM):** En büyük alan içerisinde ki en son en büyük değer alınır.



**Şekil 4.8.** Bulanık mantık durulaştırma yöntemleri.

## **5-İZOLE KAVŞAKTA TRAFİK KONTROLÜNÜN BULANIK MANTIK TABANLI MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

### **5.1. Genel**

Modeller, girdi ve çıktı değişkenleri arasında bağlantı kuran haritalama araçlarıdır. Matematiksel modeller, çıktı üretebilmek için denklemlere ihtiyaç duyarken; bulanık mantık modelleri kural tabanı ve bulanık kümeleri kullanarak karar veren bir harmanlayıcı yardımıyla çıktıları üretebilmektedir.

Klasik analiz yöntemleri, temel fen bilimlerde kesin sonuçları üretilen durumlar üzerinde başarısı kanıtlanmış yöntemlerdir. Fakat insan faktörünün karıştığı durumlarda bu analiz yöntemleri çok karmaşık ve yetersiz kalmaktadır. Sinyalize kavşak kontrolü gibi insan faktörünün yoğun olduğu kontrol sistemlerinin uygulanmasında insan gibi düşünülebilen bulanık mantık sistemlerinin başarılı olduğu Bölüm 2’de belirtilen çalışmalar ile kanıtlanmıştır.

Bölüm 5.2’ de Bulanık Mantık Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi (BMT-SDS) algoritmasının nasıl geliştirildiği detaylı şekilde anlatılacaktır. Daha sonra Bölüm 5.3.’de kullanılan bulanık mantık modüllerine ait üyelik fonksiyonlarını en iyileme çalışması tartışılacaktır.

### **5.2. İzole Kavşak Sinyal Denetleyicisi için Bulanık Mantık Modelinin Geliştirilmesi**

BMT-SDS algoritması beş adet ana modülden oluşmaktadır.

Bunlar:

1. Yeşil Faz Seçim Modülü (YF-SM)
2. Yeşil Süre Bulanık Mantık Modülü (YS-BMM)

3. Yeşil Süre Uzatma Karar Modülü (YS-UKM)
4. Uzatma Süresi Bulanık Mantık Modülü (US-BMM):
5. Bekleme Süresi Kontrol Modülü (BS-KM) dır.

Bu modüller ilerleyen bölümlerde detaylı olarak tartışılmıştır.

### **5.2.1. Yeşil Faz Seçim Modülü**

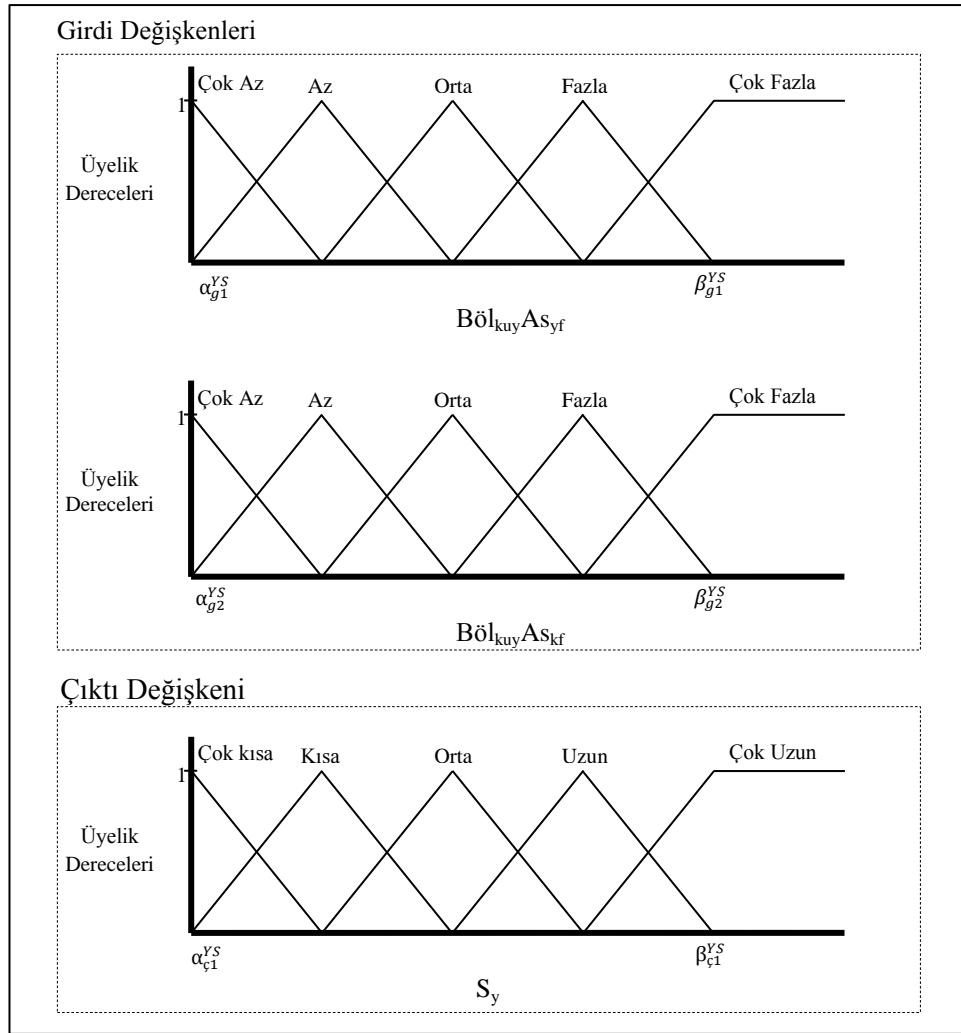
Yeşil Faz Seçim Modülü (YF-SM), hangi faza yeşil ışık yakılacağına kararını veren modüldür. YF-SM, kuyruk bölgesi araç sayısı bilgilerine bakarak en fazla araç sayısına sahip fazı belirlemekte ve bu faza yeşil ışığın yakılması bilgisini iletmektedir. YS-BMM ile birlikte değerlendirilen bu bilgi ile hangi faza ne kadar süre yeşil ışık yanacağı belirlenmiş olmaktadır. Şekil 5.1' de görülen akış şemasında, YF-SM öncelikle fazlarda bekleyen araç sayılarının eşit olup olmadığına bakmaktadır. Bütün fazlarda kuyruk bölgesinde bekleyen araç sayılarının eşit olması durumunda, şerit sayısı en az olan faz düzenine yeşil ışık yakma sinyali göndermektedir. Böylelikle kavşakta oluşan kuyruk uzunluğunun, azaltılması hedeflenmektedir. Fazlarda bekleyen araç sayılarının farklı olması durumunda ise en fazla araç sayısına sahip faz yeşil alacak faz olarak belirlenmektedir.

### **5.2.2. Yeşil Süre Bulanık Mantık Modülü**

Mevcut faz düzeninin sona ermesi sırasında sıradaki fazın hangisi olacağına karar veren YF-SM ile birlikte Yeşil Süre Bulanık Mantık Modülü (YS-BMM), sıradaki faza verilecek olan yeşil ışık süresini belirlemektedir. YS-BMM yeşil süre miktarına, içinde bulunan bulanık mantık karar vericisinin kullandığı iki adet girdi değişkeni ile karar vermektedir. Bunlar: Şekil 5.1'de görüldüğü üzere, YF-SM' in seçtiği ve yeşil ışık alacak faza ait kuyruk bölgesinde bulunan araç sayısı olan ( $Böl_{kuy}A_{S_{yf}}$ ) ve, diğer şeritler fazlara ait kuyruk bölgelerinde ki toplam araç sayısı ( $Böl_{kuy}A_{S_{kf}}$ )' dir. Çıktı değişkeni ise seçilen faza verilecek olan Yeşil Süre Miktarı ( $S_y$ ) 'dir.



Girdi değişkenleri, Çok Az, Az, Orta, Fazla, Çok Fazla olarak beşer adet sözel grup ile tanımlanmıştır. Çıktı değişkeni olan  $S_y$ ' nin sözel grupları ise Çok Kısa, Kısa, Orta, Uzun ve Çok Uzun şeklinde oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonlarında, üçgen, yamuk, gauss vb. tipte fonksiyonlar kullanılması yanı sıra bir çok farklı tiplerde oluşturularak kullanılmasında mümkün olmaktadır. Uygun fonksiyon tipinin seçiminde [25]'de verilen öneriler doğrultusunda üçgen tip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.



**Şekil 5.2.** Kırmızı ve yeşil faz kuyruk bölgesi araç sayısı ile yeşil süre 'ye ait bulanık kümeler.

Şekil 5.2’ de YS-BMM’ nin girdi ve çıktı değişkenlerine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Değişkenlerin alt ( $\alpha$ ) ve üst limit ( $\beta$ ) değerleri kavşak tipine ve detektör yerleşim planına göre değişim göstermektedir. Bu değerlerin belirlenmesi Bölüm 5.4’ de açıklanmıştır.

Kural tabanı, 5’er adet üyelik fonksiyonundan oluşan 2 adet girdi sayılarına bağlı olarak bütün durumları kapsayan 25 adet (5x5) kuraldan oluşmaktadır. Kurallar Eğer-İse şeklindeki sözel anlatım yolu Eşitlik 5.1’ de gösterildiği gibi kurulmuştur.

$$\text{EĞER } \{ \text{Böl}_{\text{kuy}}\text{A}_{\text{Syf}}, x_1 \text{ 'e eşit} \} \text{ ve } \{ \text{Böl}_{\text{kuy}}\text{A}_{\text{Syf}}, x_2 \text{ 'ye eşit} \} \text{ İSE } \{ S_y, A \text{ 'dır.} \} \quad (5.1)$$

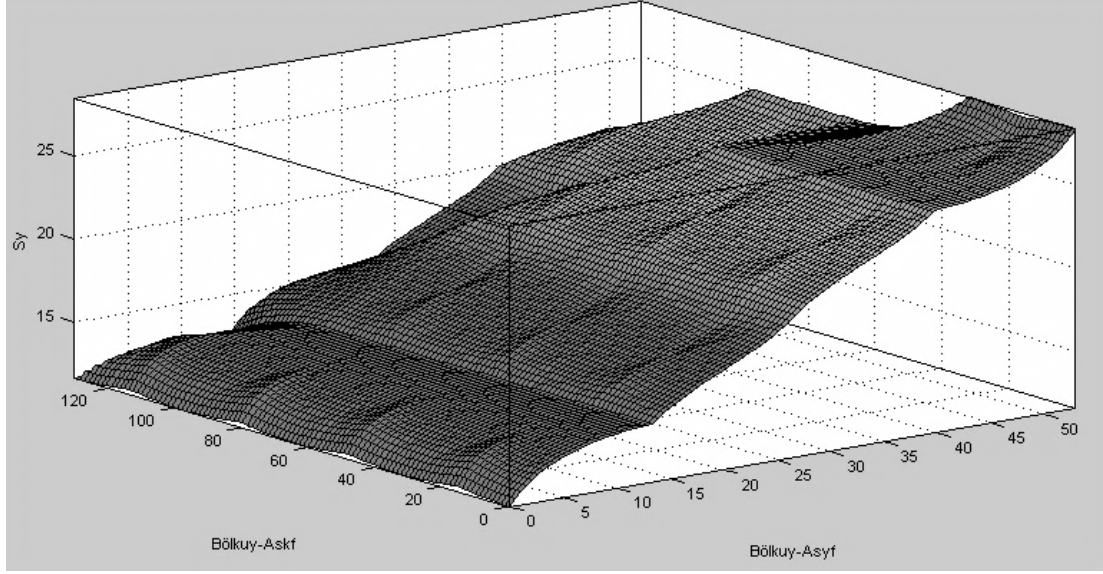
Çizelge 5.1’ de YS-BMM’ a ait kurallar verilmektedir. Tablo 5.1’ de çıktı değişkenleri için çok kısa, kısa, orta, uzun, çok uzun çok fazla dilsel tanımların yerine sırasıyla ÇK, K, O, U, ÇU kısaltmaları kullanılmıştır.

**Çizelge 5.1.** Yeşil Süre Bulanık Mantık Modülüne ait Kural Tabanı

		<b>Böl<sub>kuy</sub>A<sub>Skf</sub></b>				
		<b>Çok Az</b>	<b>Az</b>	<b>Orta</b>	<b>Fazla</b>	<b>Çok Fazla</b>
<b>Böl<sub>kuy</sub>A<sub>Syf</sub></b>	<b>Çok Az</b>	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK
	<b>Az</b>	A	A	A	A	ÇK
	<b>Orta</b>	O	O	O	O	A
	<b>Fazla</b>	F	F	F	O	O
	<b>Çok Fazla</b>	ÇF	ÇF	F	F	O

Böl<sub>kuy</sub>A<sub>Syf</sub> ve Böl<sub>kuy</sub>A<sub>Skf</sub> girdi değişkenleri ile S<sub>y</sub> çıktı değişkenlerinin kural tabanı ile birlikte değerlendirilmesinden elde edilen örnek kural tabanı yüzeyi Şekil 5.3’ de verilmiştir. Sınır değerleri, kavşak tipine ve detektörlerin pozisyonuna göre farklılık göstermektedir. Şekilden yeşil faz kuyruk bölgesinde bekleyen araç sayısının artmasına paralel olarak S<sub>y</sub>’ nin arttığı; kırmızı ışıpta kuyruk bölgesinde bekleyen araçların artması durumunun ise, S<sub>y</sub> değerini düşürdüğü gözlenmiştir.





**Şekil 5.3.** Yeşil süre bulanık mantık modülüne ait kural tabanı yüzeyi.

Bulanık kümelerin ve kural tabanın oluşturulmasından sonra bu iki parçadan çıkarım yapacak olan Bulanık Çıkarım Motoru tipi Mamdani modeline göre dizayn edilmiştir. Mamdani modeli Bölüm 4. 'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu modelde girdi değişkenleri *Ve* tipi bağlayıcı ile birbirine bağlanmıştır. Farklı kuralların girişimi ile elde edilen sonuçların birleştirilmesinde ise *En-Büyük* yöntemi ile kural ve bulanık kümelerden gelen çıktılar birleştirilmiştir.

Durulaştırma yöntemi olarak Bölüm 4'de anlatılan ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Sugeno [26] bu durulaştırma yöntemini:

“Ağırlık merkezi metodu, durulaştırma yöntemleri içinde en yaygın ve fiziksel olarak en çekici metottur.”

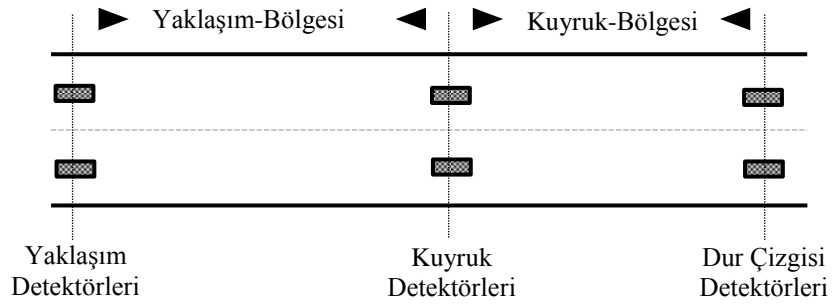
Şeklinde açıklamıştır.

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^{25} \bar{u}^{-i} \left[ \min_{k=1}^2 \mu_{A_k^i}(x_k) \right]}{\sum_{i=1}^{25} \left[ \min_{k=1}^2 \mu_{A_k^i}(x_k) \right]} \quad (5.2)$$

YS-BMM' ye ait ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma Eşitlik 5.2' de verilmiştir. Burada,  $\mu_{A_k^i}(x_k)$ , A bulanık kümesinin,  $x_k$  gerçek girdisinin  $k$ ' ıncı kurala göre değerlendirilmesi sonucundaki üyelik derecesini göstermektedir.  $\bar{u}$  ise ağırlık merkezine olan uzaklığı simgelemektedir.

### 5.2.3. Yeşil Süre Uzatma Karar Modülü

Mevcut yeşil fazın, yeşil devam edileceği veya diğer faza geçiş yapılacağına Yeşil Süre Uzatma Karar Modülü (YS-UKM) ile karar verilmektedir. Bu karar verme işlemi için, Şekil 5.4' de görülen yaklaşım koluna ait Kuyruk Bölgesi (Böl<sub>kuy</sub>) ve Yaklaşım Bölgelerine (Böl<sub>yak</sub>) ait araç sayıları kullanılmaktadır.



Şekil 5.4. Yaklaşım ve kuyruk bölgeleri ile detektörler.

Böl<sub>yak</sub>, yaklaşım detektörleri ile kuyruk detektörleri arasında kalan bölgeyi temsil etmektedir. Böl<sub>kuy</sub> ise kuyruk detektörü ile dur çizgisi detektörünün arasında kalan yol parçasıdır. Eşitlik 5.3' de uzatma kararının nasıl yapıldığı görülmektedir.

$$K^{uzat} = \begin{cases} Uzat, & \left[ \left[ (TopAs_{yf}) \geq \max(TopAs_{kf(i)}) - \rho \right] \wedge (K^B = 0) \right] \\ Uzat, & \left[ \left[ (Böl_{kuy}As_{yf}) > \max(Böl_{kuy}As_{kf(i)}) \right] \wedge (K^B = 0) \right] \\ Bitir, & [Diğer] \end{cases} \quad (5.3)$$

$i = 1, 2, \dots$  toplam kırmızı faz

$$Top\_As = Böl_{yak\_As} + Böl_{kuy\_As} \quad (5.4)$$

$$\rho = \left( \frac{S_{kayıp}}{h_s} * nL_{yf} \right) \quad (5.5)$$

Burada:

- $K^{uzat}$ : Uzatma karar değişkeni {Uzat, Bitir}.
- $K^B$ : Bekleme süresi aşılma karar değişkeni {0 1}.
- $\rho$ : Sistemden kayıp sürede boşaltılabilecek araç sayısı.
- $h_s$ : Doygun akım takip aralığı.
- $S_{kayıp}$ : sarı + tüm yönler kırmızı.
- $nL_{yf}$ : Yeşil faza ait şerit sayısı.

$Böl_{yak}As_{yf}$ , mevcut yeşil yanan faza ait yaklaşım bölgesinde ki araç sayısını;  $Böl_{kuy}As_{yf}$  ise mevcut yeşil yanan faza ait kuyruk bölgesindeki araç sayılarını temsil etmektedir. Toplam kavşakta uygulanan kırmızı faz adedi  $kf$  ile, Bekleme Kararı ise  $K^{bekle}$  ile gösterilmiştir.

$S_y$ ' nin uzatılabilmesi için Eşitlik 5.3' de verilen birinci durumda, yeşil faza ait kuyruk ve yaklaşım bölgelerindeki toplam araç sayısının  $\rho$  eksiğinin, diğer fazlardan daha fazla ya da eşit olması gerekmektedir. Faz değişimi sırasında sarı ve her yöne kırmızı sinyal verilmesinden dolayı yaşanan süre kaybının faz değişim kararında dikkate alınabilmesi için Eşitlik 5.4'de verilen " $\rho$ " sayısı kullanılmıştır. Böylelikle gereksiz faz değişimi yapılmamakta ve gecikmelerin azaltılması hedeflenmektedir.

#### 5.2.4. Uzatma Süresi Bulanık Mantık Modülü

Yeşil olan faza Bölüm 5.2.3' de açıklanan YS-UKM' in uzatma kararını vermesinin ardından uzatma süresini ( $S_{uzat}$ ) belirlemek için, bulanık mantık modülüne (US-BMM), Şekil 5.1' de görüldüğü üzere çalışma sinyali gönderilir.

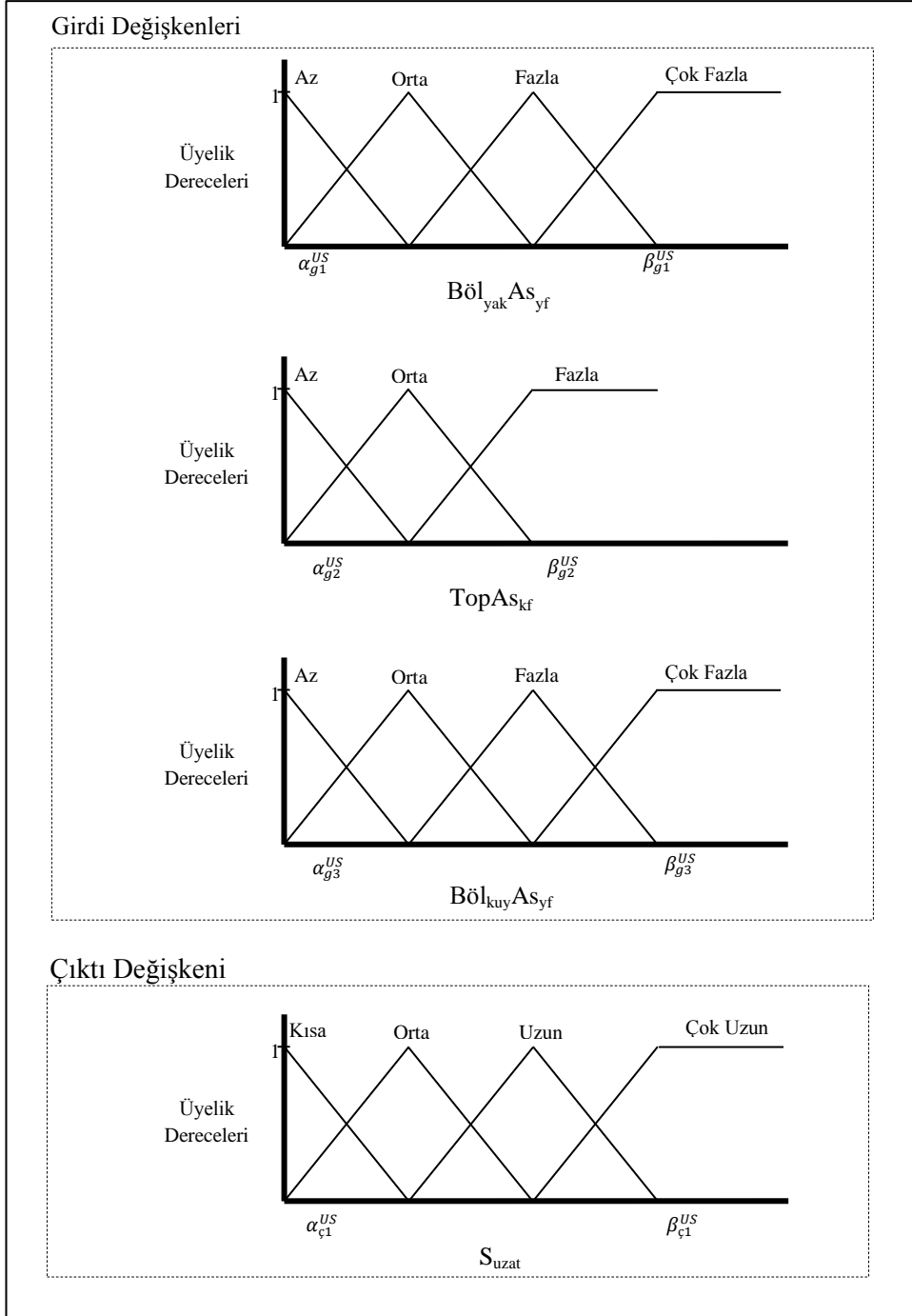
US-BMM üç adet girdi değişkeni ile  $S_{uzat}$ ' ı belirlemektedir. Bunlar:  $Top_{As_{yf}}$ ,  $Böl_{yak_{As_{yf}}}$  ve  $Böl_{kuy_{As_{yf}}}$ ' dir. Girdi değişkenlerine ait BM kümeleri üyelik fonksiyonları Şekil 5.5' de görülmektedir.  $Böl_{kuy_{As_{yf}}}$ ,  $Böl_{yak_{As_{yf}}}$  ve çıktı değişkeni olan  $S_{uzat}$  4 adet üyelik fonksiyonu ile tanımlanırken,  $Top_{As_{yf}}$ , 3 adet üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır.  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinde bulunana alt ve üst indislerden US üst indisi, US-BMM' ye ait olduğunu;  $g_1$  alt indisi ise birinci girdi  $\chi_1$  ise birinci çıktı olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.5' de US-BMM' nin girdi ve çıktı değişkenlerine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. US-BMM' ye ait üyelik fonksiyonlarının şekli, YS-BMM' de olduğu gibi üçgen tip seçilmiştir.

Kural tabanı, 3 adet girdi değişkeninden dolayı bütün durumları kapsayan 48 ( $4 \times 3 \times 4$ ) adet kuraldan oluşmaktadır. Kurallar "Eğer-İse" şeklindeki sözel anlatım yolu Eşitlik 5.6' de genellediği gibi kurulmuştur.

$$\text{EĞER } \{ Top_{As_{yf}}, x_1 \text{'e eşit} \} \text{ ve } \{ Böl_{yak_{As_{yf}}}, x_2 \text{'ye eşit} \} \text{ ve } \{ Böl_{kuy_{As_{yf}}}, x_3 \text{'e eşit} \} \text{ İSE } \{ S_{uzat}, A \text{'dir.} \} \quad (5.6)$$

Çizelge 5.2' de US-BMM'e ait kurallar verilmektedir. Girdi değişkenleri için az, orta, fazla ve çok fazla dilsel tanımlar için A, O, F, ÇF; çıktı değişkenleri için ise kısa, orta, uzun, çok uzun, çok fazla dilsel tanımların yerine sırasıyla K, O, U, ÇU kısaltmaları kullanılmıştır.



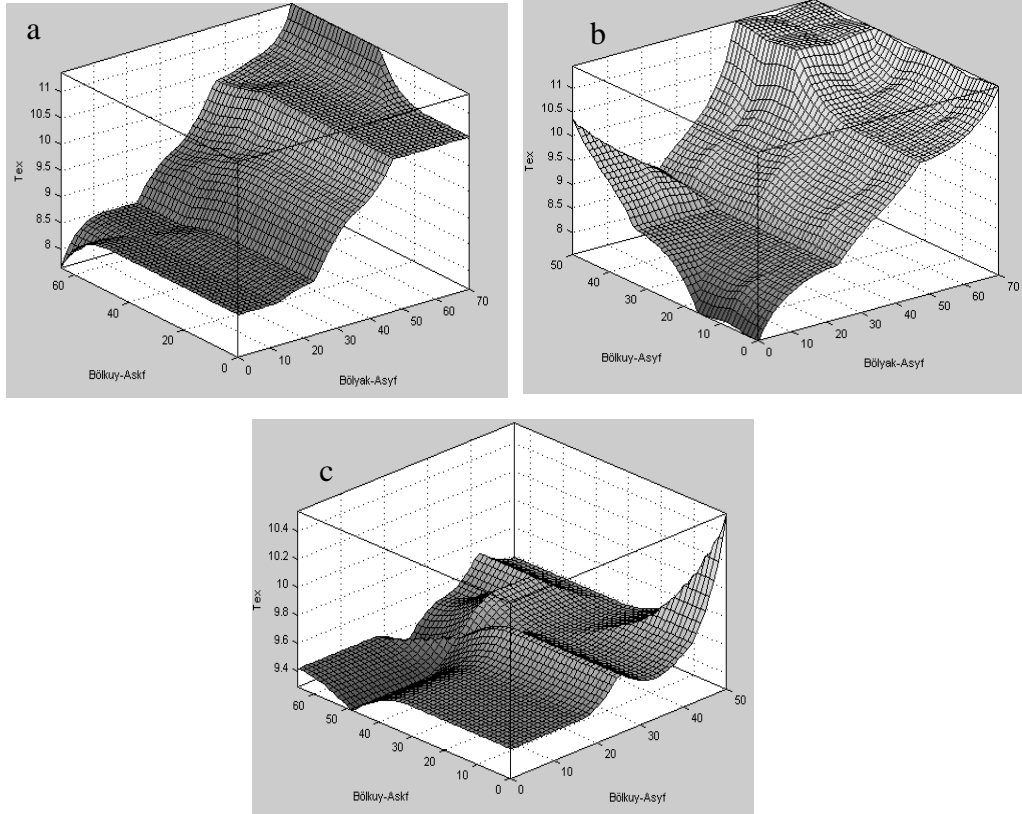
**Şekil 5.5.** Uzatma süresi bulanık mantık modülüne girdi ve çıktı değişkenlerine ait bulanık kümeler.

**Çizelge 5.2** Uzatma süresi bulanık mantık modülüne ait kural tabanı.

1	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	K
2	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	K
3	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	O
4	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	O
5	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	K
6	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	K
7	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	O
8	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	U
9	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	K
10	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	K
11	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	K
12	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	U
13	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	O
14	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	O
15	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	O
16	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	U
17	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	O
18	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	O
19	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	O
20	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	O
21	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	K
22	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	K
23	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	O
24	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	O
25	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	U
26	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	U
27	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
28	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
29	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	U
30	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	U
31	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
32	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
33	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	U
34	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	U
35	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	U
36	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
37	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	U
38	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	U
39	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
40	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	A	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
41	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
42	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
43	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
44	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	O	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
45	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	A	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
46	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	O	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
47	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	F	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU
48	Eğer	TopAs <sub>vf</sub>	CF	ve	Böl <sub>yak</sub> As <sub>vf</sub>	F	ve	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>vf</sub>	ÇF	ise	S <sub>uzat</sub>	ÇU

US-BMM’ de ikiden fazla girdi değişkeni bulunması sebebiyle sadece bir adet şekil ile göstermek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle,  $Böl_{yak}As_{yf}$  ile  $Böl_{kuy}As_{kf}$ ,  $Böl_{yak}As_{yf}$  ile  $Böl_{kuy}As_{yf}$  ve  $Böl_{kuy}As_{yf}$  ile  $Böl_{kuy}As_{kf}$  girdi değişkenlerini çiftlerinin  $S_{uzat}$  çıktı değişkeni ile oluşturdukları kural tabanı yüzeyi Şekil 5.6’ da gösterilmiştir.

Kural yüzeylerinin grafik üzerinden yorumlanmasında ikiden fazla girdi sayısına sahip olan BM modellerinde iki ve daha az girdi değişkeni olan modellerden daha karmaşık olmaktadır. Çıkarımın Şekil 5.6’ da görülen her üç gösterimin ortak değerlendirilmesinden oluştuğu unutulmamalıdır. Şekil 5.6.’ de  $TopAs_{yf}$ ’ nin diğer iki girdi değişkeni “0” olsa dahi  $S_{uzat}$  değerini arttırdığı görülmektedir.  $Böl_{kuy}As_{kf}$ ’ nin artması ile  $S_{uzat}$  değeri üzerinde azaltıcı yönde etkisi olduğu;  $Böl_{kuy}As_{yf}$ ’ nin ise çıktı değeri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. YS-BMM ve US-BMM’ de Şekil 5.3 ve Şekil 5.6’da şekiller üzerinde belirtilen değerler değişken olup Bölüm 5:3’ de bu değerlerin belirlenmesi konusu detaylı şekilde açıklanacaktır.



**Şekil 5.6.** Uzatma süresi bulanık mantık modülüne ait kural tabanı yüzeyleri.

### 5.2.5. Bekleme Süresi Kontrol Modülü

YF-SM genel olarak, trafik akımının yoğun olduğu faza öncelik verecek şekilde işlemektedir. Fakat bu durumda trafik akımının yoğun olmayan kolları çok uzun bekleme sürelerine maruz kalabilmekte ve kırmızı ışık ihlalleri yaşanabilmektedir. Trafik güvenliğini azaltacak böyle bir durumun oluşmasını önlemek amacıyla, Bekleme Süresi Kontrol Modülü (BS-KM), BMT-SDS' in bir parçası olarak çalışması gerektiği trafik güvenliğinin artırılması açısından karar verilmiştir.

BS-KM, Şekil 5.1' de olduğu üzere, fazların aralıksız kaldıkları kırmızı süreleri bekleme süresi ( $S_{bekle}$ ) olarak kontrol etmektedir. Önceden belirlenen en fazla bekleme süresini ( $S_{mxbekle}$ ) aşan herhangi bir fazı tespit etmesi durumunda o faza bir sonraki yeşil faz sırasını vermektedir. Bekleyen faz sayısının birden fazla olması durumunda ise daha fazla araca sahip faza öncelik vermektedir.

### 5.3. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonlarının Optimizasyonu

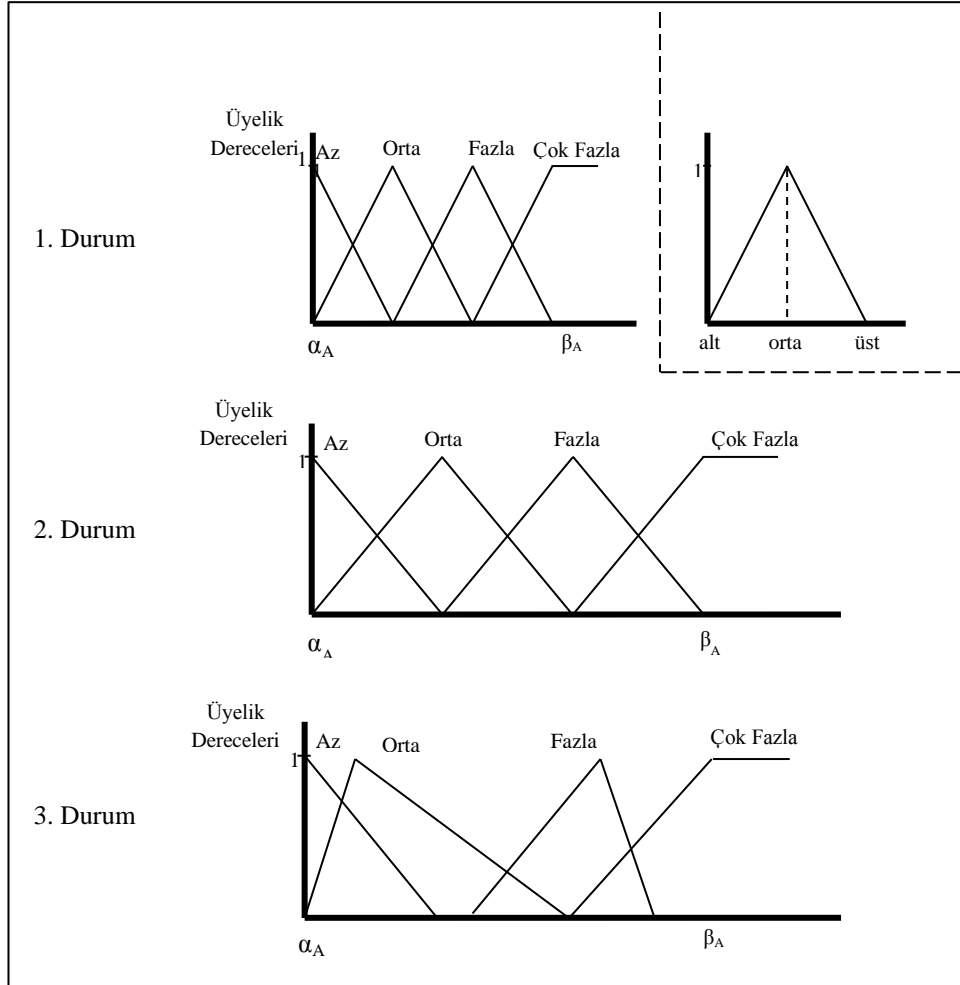
Bulanık mantık ile çalışan sistemler kurulurken, bulanık mantığa ait parametrelerin, sisteme özel olarak ayarlanması sistemin etkili çalışmasını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, bulanık mantığa ait üyelik fonksiyonlarının sınırları ve/veya kural tabanının düzenlenmesini amaçlayan yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışma da BM üyelik fonksiyon değerlerinin düzenlenmesi için ilk olarak, bulanık kümelerle ait Şekil 5.2 - 5.5' de verilen YS-BMM ait  $\alpha_{gi}^{YS}$  ve  $\beta_{ci}^{YS}$  ve US-BMM' ye ait  $\alpha_{gi}^{US}$  ve  $\beta_{ci}^{US}$  sınır değerleri Ek 5' de verilen sınır arama programı (BM-SAP) ile belirlenmiştir. Ardından GA kullanılarak bulanık kümelerle ait üyelik fonksiyonlarının nihai değerleri bulunmuştur.

Şekil 5.7' de başlangıç değerleri BM-SAP ve GA kullanılarak düzenlenen bulanık  $\underline{A}$  kümesi görülmektedir. 1. durumda  $\beta^{US1}$  ve  $\lambda^{US1}$  olan  $\underline{A}$  kümesinin alt ve üst sınır değerleri, BM-SAP' in gecikme değerlerini en az veren  $\beta^{US2}$  ve  $\lambda^{US2}$  değerlerini bulmasıyla 2. duruma dönüşmüştür. 3. durumda ise  $\underline{A}$  kümesinin üyelik



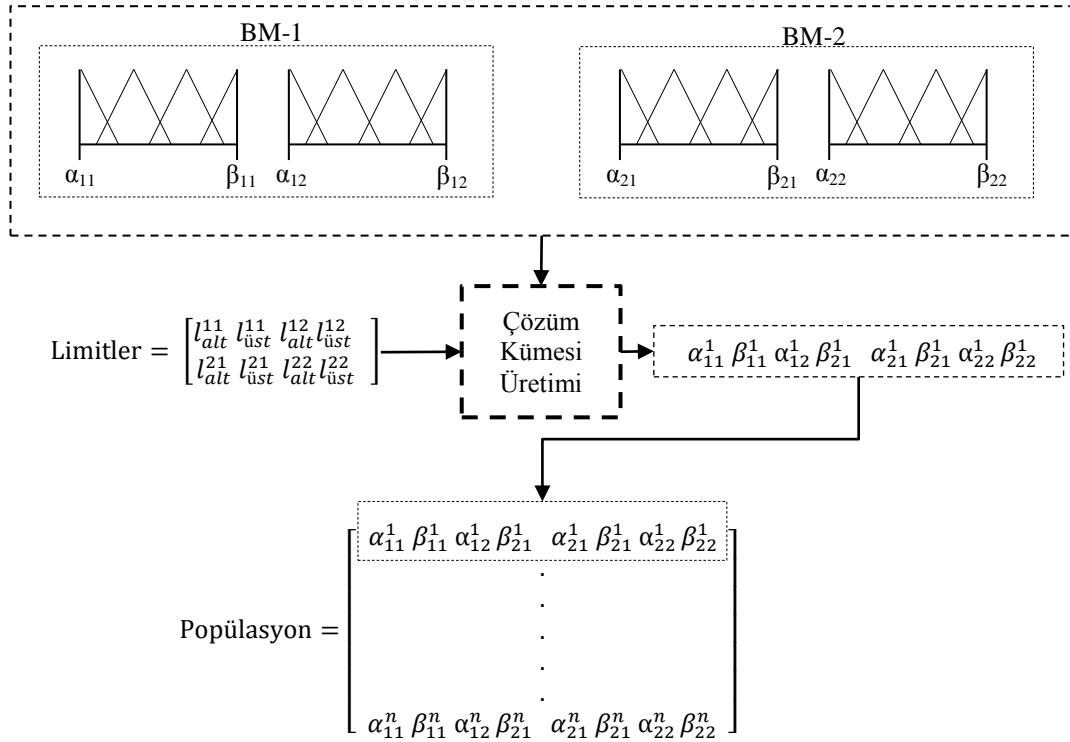
fonksiyonlarına ait alt, orta ve üst değerleri kümenin ana sınırları sabit tutulmak üzere GA ile gecikme değerlerini en az veren  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.7. A kümesinin üyelik fonksiyon değerlerinin ayarlanması.

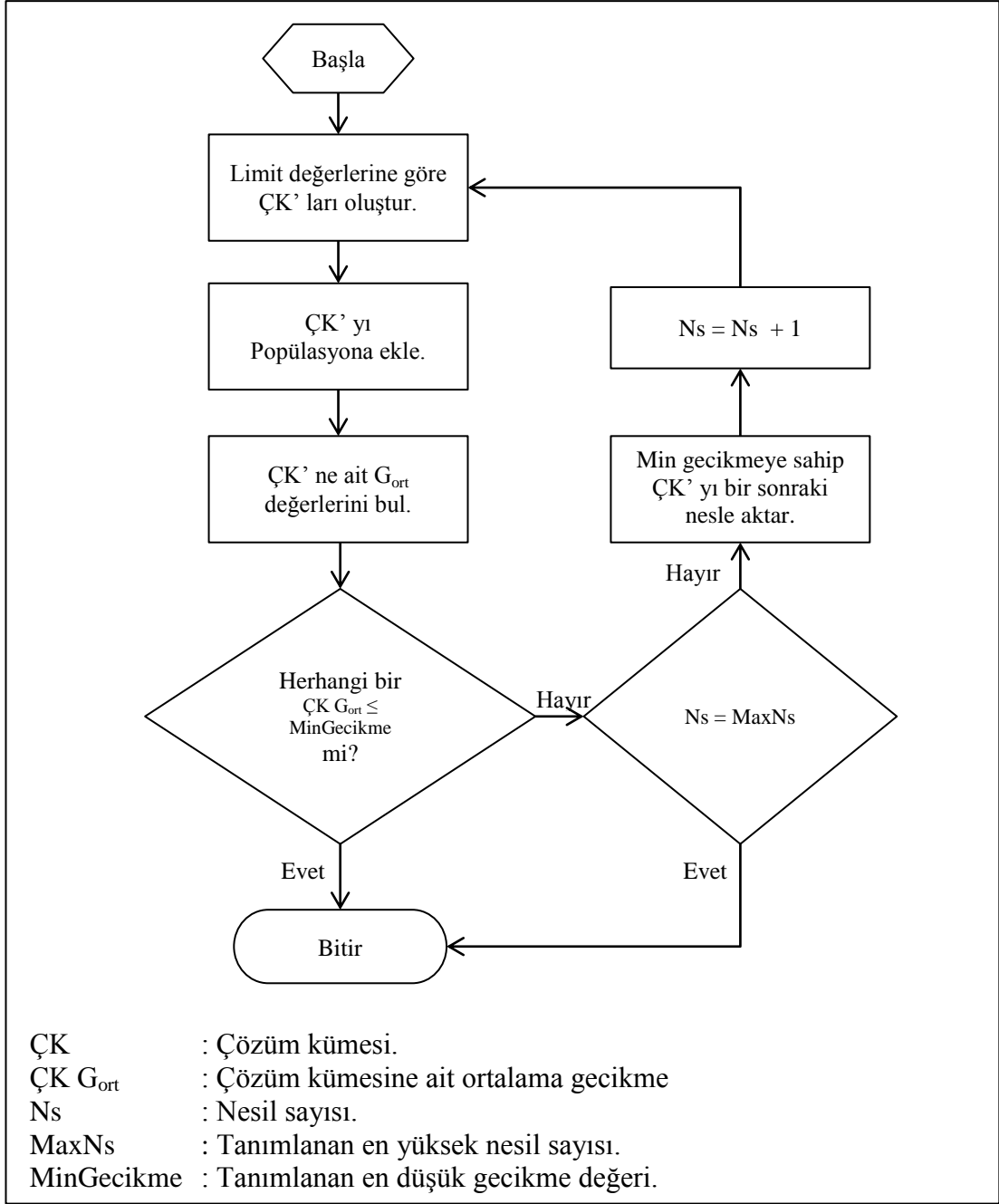
### 5.3.1. Bulanık Mantık Sınır Arama Programı

Bu çalışmada BM değişken kümelerine ait alt sınır ( $\alpha$ ) ve üst ( $\beta$ ) değerlerinin belirlenmesi amacıyla akış şeması Şekil 5.9' de görülen BM-SAP geliştirilmiştir. Belirlenen alt ve üst limitler aralığında  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri Şekil 5.8' de olduğu gibi belirlenmektedir. Ardından sistemde çalışan bütün bulanık kümelere ait  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinin bulunduğu Çözüm Kümesi (ÇK) oluşturulmaktadır. Önceden belirlenen popülasyon büyüklüğü kadar bu işlem tekrarlanarak popülasyon elde edilmektedir.



**Şekil 5.8.** Bulanık küme sınırlarına ait popülasyonun elde edilmesi.

Başlangıç popülasyonunun elde edilmesinin ardından, her bir ÇK Bölüm 6’ da detaylı olarak bahsedilen KU-Trsim ile aynı hacimler, fakat farklı araç geliş aralıkları kullanarak, ortalama gecikme/araç ( $G_{ort}$ ) değerleri elde edilmiştir. Eğer popülasyon içerisinde ki herhangi bir ÇK’ ne ait  $G_{ort}$  değeri, önceden kullanıcı tarafından tanımlanan en küçük gecikme değerinden küçük ise veya tanımlanan en fazla tekrar sayısına ulaşılmış ise işlem sonlandırılmakta ve aranan sınırlar bulunmuş olmaktadır. Aksi durumda ise, popülasyondaki en düşük gecikmeye ait ÇK, bir sonraki nesle aktarılmakta ve döngü devam ettirilmektedir.



**Şekil 5.9.** Bulanık küme sınırlarına ait popülasyonun elde edilmesi.

### 5.3.2. Genetik Algoritma ile Üyelik Fonksiyonlarının Düzenlenmesi

Bulanık kümelerin alt ve üst sınır değerlerinin BM-SAP ile elde edilmesinin ardından, Şekil 5.7' de ki 3. durum olarak belirtilen şeklin tespiti ve üyelik fonksiyonlarının en iyilenmesi için genetik algoritma (GA) tekniği kullanılmıştır. GA' lar bulanık mantık parametrelerinin ayarlanmasında literatürde başarı ile kullanılmaktadır [27]–[33].

Genetik algoritma (GA), yapay zekanın bir alt kolu olup, doğal seçilimi taklit ederek belirlenen sınırlar içerisinde çözüm arayan bir eniyileme metodudur. GA' lar çözüm ararken tek bir nokta yerine, birçok çözümden meydana gelen bir çözüm kümesi kullanılmaktadır. Bu çözüm kümesi, GA' da başlangıç popülasyonu olarak; bu küme içerisinde yer alan her bir çözüm ise kromozom olarak isimlendirilmektedir.

GA ilk olarak 1975 yılında John Holland tarafından temelleri atılmıştır. 1980' in sonlarına doğru General Electric' in ilk olarak GA kullanan donanımlar üretmesi ile bu konuya olan ilgi gün geçtikçe artmıştır.

GA' lar, çözüm arayışını genel olarak sekiz aşama ile sürdürmektedir.

Bunlar:

1. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi.
2. Kodlama.
3. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.
4. Uygunluk değerlerinin hesaplanması.
5. Yeniden üretim.
6. Çaprazlama.
7. Mutasyon.
8. Elitizm

### 5.3.2.1. Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Çözülme istenen probleme ait hangi değerlerin, amaç değişkenine ne ölçüde etki ettiğini gösteren fonksiyonlar amaç fonksiyonu olarak isimlendirilmektedir. Amaç fonksiyonu her probleme göre farklılık göstermektedir. Örneğin, yük taşımacılığında taşıma süresinin, güvenlik sınırları içerisinde en aza indirilmesi amaç olurken; bir işletmenin karını elde bulunan imkânlar sınırında en yükseğe çıkarması amaç olmaktadır. Bu çalışmada trafik ışıklarına ait sürelerin belirlenmesinde,  $G_{ort}$ 'nin en aza indirilmesi amacına ait denklem Eşitlik 5.7' de verilmektedir.

$$\min \{D_{ort} = f(\alpha, \beta, \lambda, T)\} \quad (5.7)$$

Burada:

$\alpha$  : Bulanık kümeler için alt sınır değerleri.

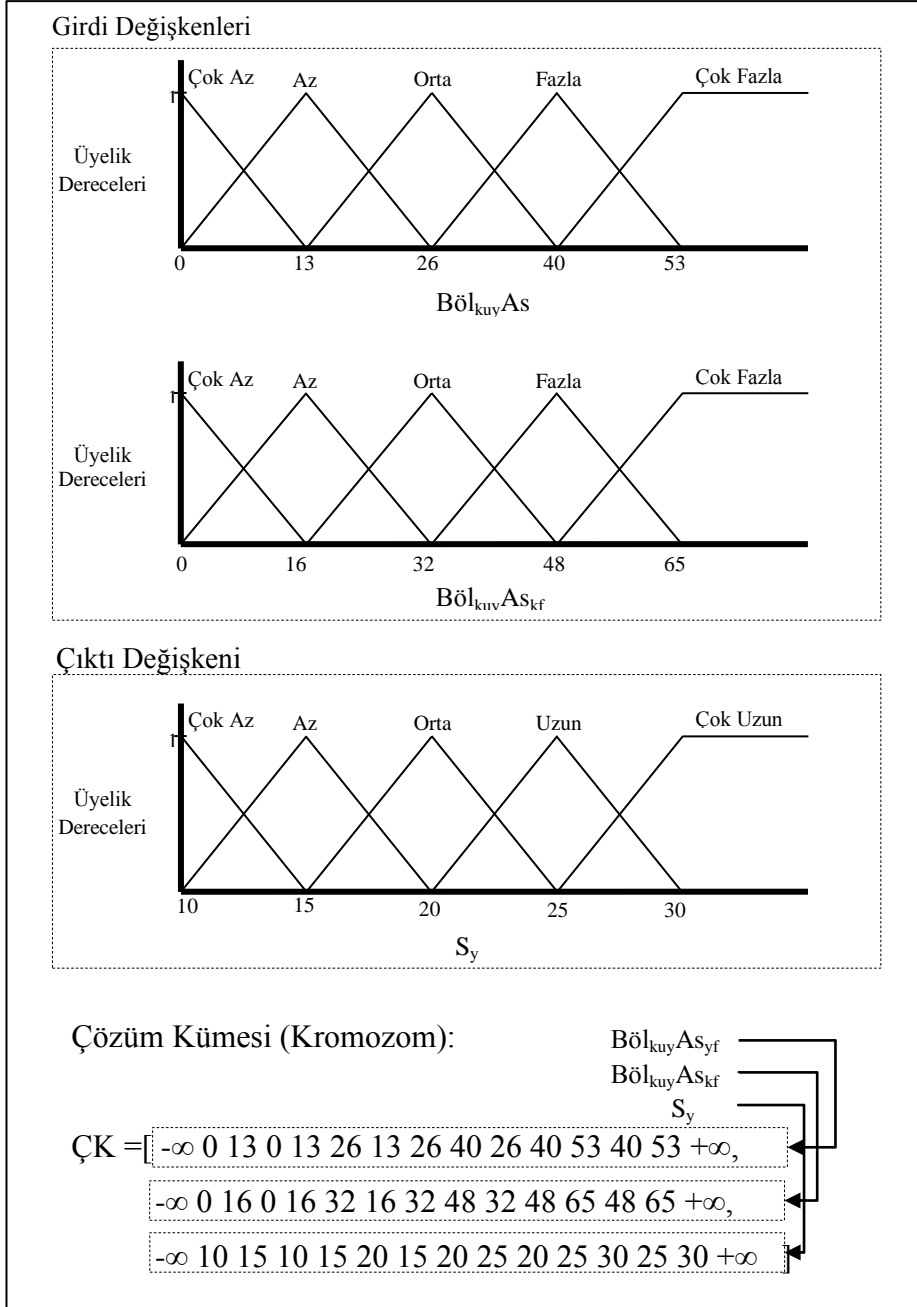
$\beta$  : Bulanık kümeler için üst sınır değerleri.

$\lambda$  : Üyelik fonksiyonlarına ait alt, üst, orta kısım değerleri.

$T$  : Kavşak geometrisi ve trafiğine ait değişkenler. (Yaklaşım hacimleri, Sağ-Sol dönüş yüzdeleri, Trafik kompozisyonu, vs.)

### 5.3.2.2. Kodlama

GA' lar da kromozomların oluşturulabilmesi için GA işlemlerine uygun olarak kodlanması gerekmektedir. İkili, gerçek değer ve ağaç kodlamaları literatürde kullanılan bazı kodlama türleridir [34]. Şekil 5.10' da YS-BMM girdilerinden olan üç kollu kavşağın Böl<sub>kuy</sub>As<sub>yf</sub>' ye ait üyelik fonksiyonlarının gerçek değerler kullanılarak oluşturulan kodlama düzeni örneği görülmektedir.



**Şekil 5.10.** Yeşil süre bulanık kümelerinin kodlanması.

### 5.3.2.3. Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması

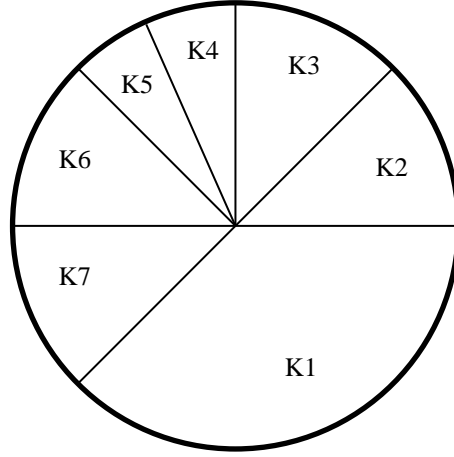
GA' nın çözüm döngüsüne başlayabilmesi için gerekli olan ilk popülasyon, rastgele olarak her bir bağımlı değişkene sınırları  $[\alpha \beta]$  içerisinde değer atayarak oluşturulmaktadır. Bu değer atama, önceden belirlenen popülasyon büyüklüğüne ( $n_{pop}$ ) ulaşıncaya kadar yapılmaktadır. Böylece içerisinde bir çözümü barındıran kromozomlardan  $n_{pop}$  adet barındıran başlangıç popülasyonu elde edilmektedir. Bu üç (25, 35 ve 45 adet) kromozomdan oluşan üç adet popülasyon sayısı kullanılmıştır. Bölüm 8' de bu popülasyonlara ait oluşan değerler detaylı olarak tartışılmıştır.

### 5.3.2.4. Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması

Popülasyon içerisindeki her bir kromozom, KU-Trsim programı ile çalıştırılmış ve  $G_{ort}$  değeri ile uygunluk değerleri bulunmuştur.  $G_{ort}$  değeri düştükçe kromozomun performansı yükselmektedir. Böylelikle yeniden üretim bölümünde seçilme olasılığı artmaktadır.

### 5.3.2.5. Yeniden Üretim

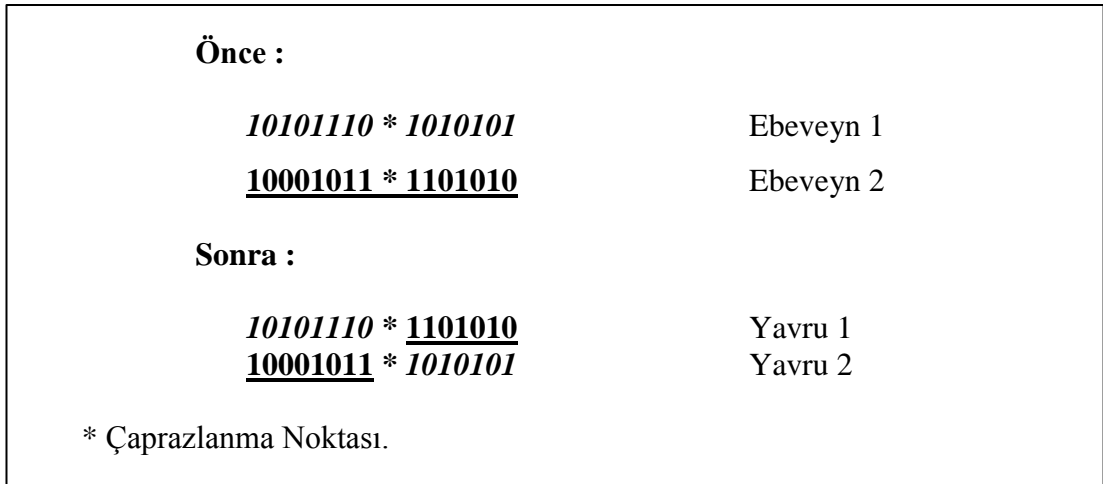
Uygunluk değerleri belirlenen kromozomlar, performans değerlerinin artmasıyla yeni popülasyona dahil olma şanslarının arttığı seçim teknikleri kullanarak yeni popülasyon için tekrar bir seçime girmektedir. Yeniden üretim için Ek-5'de bilgisayar kodu verilen rulet tekeri tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte, yüksek performansa sahip K1 kromozomların Şekil 5.11' de görülen rulet tahtası üzerinde daha fazla yer kaplaması ile seçilme şansları arttırılmaktadır. Her bir seçim, rulet tahtasının bir kez çevrilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Kötü performansa sahip kromozomların, ilerde çaprazlama ve mutasyon ile daha iyi kromozomlara ebeveynlik yapabilme ihtimallerinden dolayı küçük de olsa şans verilmeye devam edilmektedir.



Şekil 5.11 Rulet tekeri örneği.

### 5.3.2.6. Çaprazlama

Çaprazlama işlemi, GA' nın ana işlem unsurlarındandır. Ebeveyn olmak üzere seçilmiş olan iki kromozom belirli yerlerinden bölünerek çapraz olarak birbirlerine tekrar kopyalanmaktadır. Tek noktadan, iki noktadan, üniform, yarı üniform vs. çaprazlama teknikleri GA kullanılan tekniklerdendir [35]. Şekil 5.12' de bit düzeyinde kodlanmış iki kromozomun tek yerden örnek çaprazlanması görülmektedir.



Şekil 5.12. GA' da bir noktadan çaprazlama işlemi.



Çaprazlanacak olan bireyler çaprazlama oranı ( $P_c$ ) ile belirlenmektedir. Bu işlem kromozomlara [0 1] arasında değişen rasgele sayıların atanması ve ardından  $P_c$  oranı ile karşılaştırılarak bu orandan küçük olanlarının çaprazlanma işlemine alınması ile son bulur.

Bu çalışmada çaprazlama işlemi kromozoma ait BM kümeleri arasında tek noktadan çaprazlama tekniği kullanılmış olup, seçilen popülasyonlar için 0,5, 0,7 ve 0,9 olmak üzere üç farklı çaprazlama yüzdesi uygulanmıştır.

### 5.3.2.7. Mutasyon

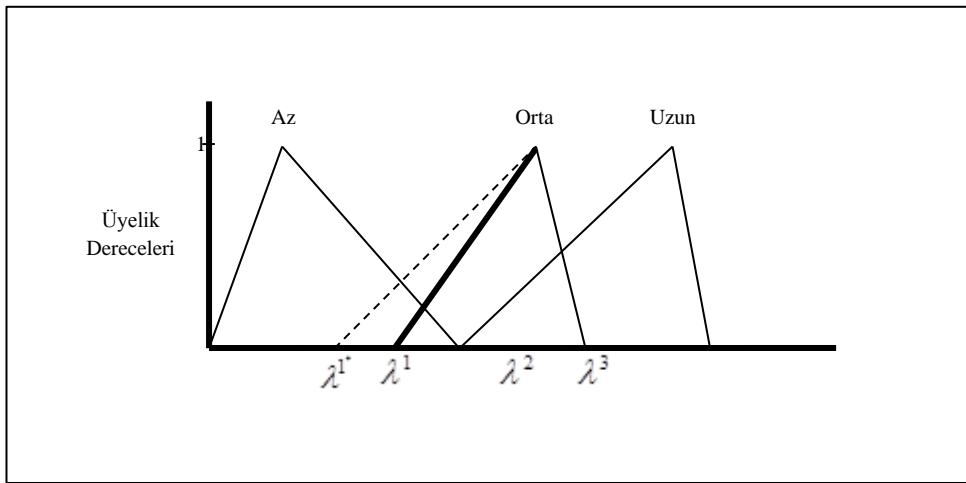
Çaprazlama gerçekleştikten sonra gerçekleştirilen mutasyon işlemi oluşan yeni çözümlerin olası yerel optimumlara yakalanmasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak için yapılır. Mutasyon oranı ( $P_m$ ) ile rastgele seçilen yeni bireylere ait gen istenilen aralıkta başka bir gen ile değiştirilir. Şekil 5.13’ de bit olarak kodlanmış orijinal bireyler mutasyon sonrası durumları görülmektedir.

<b>Önce :</b>	
1101010111 <u>1</u> 1011	Orijinal Birey 1
111101 <u>0</u> 11110111	Orijinal Birey 2
<b>Sonra :</b>	
1101010111 <u>0</u> 1011	Değişmiş Birey 1
111101 <u>1</u> 11110111	Değişmiş Birey 2

**Şekil 5.13** GA’ da bit bazında mutasyon.

Mutasyona uğrayacak olan bireyler  $P_m$  ile belirlenmektedir. Her bir bit için belirlenen rasgele sayılar  $P_m$  oranı ile karşılaştırılmakta ve belirlenen sayı  $P_m$  den küçük ise o bit mutasyona katılmaktadır. Mutasyon oranı farklı problemler için değişim göstermekle beraber, başlangıç olarak  $P_m = 1/n_{pop}$  kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Şekil 5.14.' de, mutasyona uğrayacak olan  $\lambda^1$  geni, o gene uygun belirlenen değişim aralığı içerisinde rastgele belirlenen  $\lambda^{1*}$  ile değiştirilmiştir.



**Şekil 5.14** Üyelik fonksiyonuna ait mutasyon işlemi.

### 5.3.2.8. Elitizm

Popülasyon üyelerinden kendi nesilleri boyunca iyi performans gösteren üyelerin bir sonraki nesile kopyalanması işlemidir. Böylelikle yakalanan iyi gene sahip kromozomlar nesiller içinden kaybolmadan korunabilmektedir.

Bu çalışmada da elitizm kullanılmış ve en iyi performans gösteren bir adet kromozom bir sonraki nesle kopyalanmıştır.

## 6-TRAFİK VE KAVŞAK KONTROL SİMÜLASYON PROGRAMI

### 6.1. Genel

Benzetim diğerk adıyla simülasyon, teknik anlamda gerçek bir dünya da işleyen süreçleri veya bir sistemin çalışmasının zamana bağılı olarak taklit edilmesidir. Son yarım asırda bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile benzetim teknikleri hemen hemen her duruma uygulanabilmekte ve gerçek hayatta uygulanması pahalı veya güç olan senaryolar oluşturularak sistemin vereceğı tepkiler gerçeğe yakın olarak gözlenebilmektedir.

Benzetim çalışmasının kullanıldığı durumlar genel olarak sıralanacak olursa:

- Sistemin deneysel düzeneğı oluşturulamıyorsa,
- Sistem tasarım aşamasında ise,
- Problem çok karmaşık ise,
- Tasarlanan düzeneğın yapıma geçilmeden önce davranış analizi yapılacak ise,

Benzetim teknikleri ile problemin çözümü hızlı ve diğerk yöntemlere göre çok daha ucuz olmaktadır.

Karayolu trafiğinin rastgele yapısı ve günümüz düzenindeki karmaşıklığının deneysel olarak oluşturabilmesinin neredeyse imkânsız olması nedeniyle benzetim programları, günümüz trafik mühendislerinin vazgeçilmez yardımcıları olmuşlardır. Bilgisayar ortamında kurulan benzetim programları yardımıyla, karmaşık kavşak sistemleri modellenenilmekte, yeni veya denenmemiş kavşak kontrol sistemlerine mevcut trafiğın vereceğı tepkiler gözlenebilmektedir. Ayrıca günümüz kentlerinin yol ağlarının daha verimli çalışabilmesi için geliştirilen tekniklerin amaçlarına ulaşip ulaşamayacaklarının kontrolleri yapılabilmektedir. Karayolu trafiğı ile akla gelebilecek daha başka pek çok konuda bilgisayarlı benzetim modellerinden başarı ile faydalanılmaktadır.

Trafik akımının benzetim modellerinin kurulmasında genel olarak üç farklı ana teknik kullanılmaktadır [21]. Bu modellerin bir araya getirilmesi ile yeni hibrid modellerde kurulmakla beraber burada üç ana tekniğe değinilecektir.

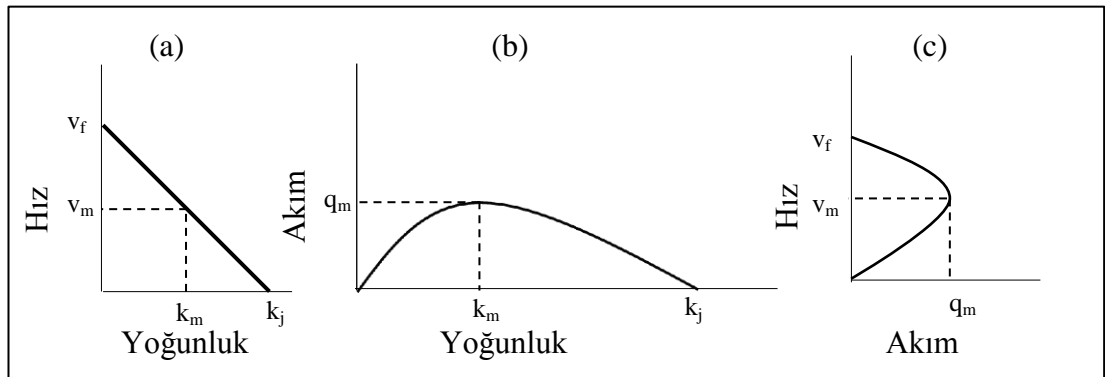
Bunlar:

- Makroskobik Modeller,
- Mikroskobik Modeller,
- Mezoskopik Modeller' dir.

### 6.1.1. Makroskobik Modeller

Bu modelleme tekniğinde, trafik içindeki araçlar, hidrolik biliminde ki boru içinde yol alan akışkan gibi kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Trafik genel karakteristikleri olan hız ( $v$ ), yoğunluk ( $k$ ) ve akıma ( $q$ ) bağlı olarak akım karakterize edilmekte ve sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Böylelikle tek bir aracın değil sistemin tümünün davranışı modellenmektedir.

Greenshields ve Greenberg modelleri sık kullanılan iki makroskobik modelleme yaklaşımıdır [22]. Bu yaklaşımların mekân ve zaman değişkenleri göz önüne alarak makroskobik benzetim çalışmaları yapılmaktadır. Bu modellerin daha iyi anlaşılabilmesi için trafik akım teorisine ait temel akım ( $q$ ), mesafe anlamlı hız ( $v_s$ ) ve yoğunluk ( $k$ ) değişkenlerine ait diyagramlar Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1. Trafik akımına akım, hız, yoğunluk ilişkileri.

Akım ve yoğunluk diyagramında (Şekil 6.1-a), yoğunluk değerinin artmasına karşılık olarak akım değeri artmakta fakat  $k_m$  değerine ulaşması ile yol maksimum kapasitesine ulaşmaktadır. Ardından mevcut yol kesiminde artan yoğunluktan dolayı hız azalmakta ve yoğunluğun  $k_j$  değerine ulaşması ile birlikte  $v = 0$  olmakta ve akım değeri  $q = 0$  a düşmektedir. Şekil 6.1-b akım ve yoğunluk arasında ki ilişkiyi göstermektedir. Yoğunluk  $k_m$  değerine ulaştığında  $q_m$  alabileceği en büyük değeri almaktadır. Yoğunluk  $k_j$  değerine ulaştığında ise trafik tıkanmakta ve  $q_m = 0$  olmaktadır. Hız ve akım ilişkisini gösteren Şekil 6.1-c' de serbest hızda ( $v_f$ ) hareket eden araçlar, akım değerinin artmasının ardından hızları azalmakta,  $v_m$  hızında yol kapasiteye ulaşmakta ve geçirebileceği en fazla aracı geçirmektedir. Artan akım değerini karşılık hız azalarak  $v = 0$  olmaktadır.

#### 6.1.1.1. Greenshields Modeli

Bu model trafik akımında ki hız ve yoğunluk ilişkisi hakkında yapılan ilk çalışmalardandır. Greenshields, hız ve yoğunluk arasında lineer bir ilişki oluşunu ortaya atmış ve bunu Eşitlik 6.1' deki şekliyle ifade etmiştir.

$$v_s = v_f - \frac{v_f}{k_j} k \quad (6.1)$$

Akımın, hız ve yoğunluğun çarpımı olduğu bilindiğine göre (Eşitlik 6.2)

$$q = v_s k \quad (6.2)$$

Bu durumda  $v_s$  yerine Eşitlik 6.1' deki değeri yazılırsa,

$$q = \left( v_f - \frac{v_f}{k_j} k \right) k \quad (6.3)$$

Elde edilir. Ayrıca  $\frac{dq}{dk} = 0$  olduğu Şekil 6.1-a' dan bilindiğine göre, maksimum akım veren Eşitlik 6.4 elde edilir.

$$q_{max} = \frac{k_j v_f}{4} \quad (6.4)$$

### 6.1.1.2. Greenberg Modeli

Trafik akımını, akışkanlar mekaniği yardımıyla çözümlenmeye çalışan Greenberg, hız ile yoğunluk arasındaki ilişkinin tam olarak lineer olmadığı fikrini savunmuştur. Greenberg oluşturduğu Eşitlik 6.5' e göre yoğunluk değeri, tıkanma yoğunluğuna ( $k_j$ ) yaklaştıkça, hız logaritmik olarak azalmaktadır. "c" değeri ise tıkanık akımdaki hız değerine karşılık gelmektedir.

$$v_s = c \ln \frac{k_j}{k} \quad (6.5)$$

$q = v_s k$  olduğuna göre,

Akım değeri:

$$q = c k \ln \frac{k_j}{k} \quad (6.6)$$

olmaktadır.

### 6.1.2. Mikroskobik Modeller

Makroskobik modellerin aksine bu model tipi, her bir aracı bireysel ele alarak incelemektedir. Araçların sahip oldukları hız, performans, ivmelenme, tip ve trafikte birlikte seyir aldıkları diğer araçlar ile olan ilişkilerini ele alarak; daha detaylı olarak trafik akımını modellemektedirler. Trafik mühendisleri tarafından son 50 yıldır, bu modelleme yaklaşımı tartışılmıştır. Kullanılan farklı mantıklara göre bu modeller üç gruba ayrılmaktadırlar.

Bunlar:

- **Gazis-Herman-Rothery modeli (GHR):** Bu modele göre takip eden aracın ivmelenmesi, takip eden aracın hızının, takip eden ile edilen arasındaki hız farkının ve iki aracın ön tamponları arasındaki uzaklığın bir oranıdır.
- **Güvenli-mesafe modeli:** Bu model mantığına göre, takip eden araç, önde seyir halinde olan araç ile arasına sürekli olarak güvenli bir mesafe koymaktadır.
- **Psikolojik - fiziksel araç takip modeli:** Bu model ise takip eden araç sürücüsünün, iki taşıt arasındaki en küçük hız farkını eşik olarak algıladığı mesafe değerlerini kullanarak hesap yapmaktadır.

### 6.1.3. Mezokobik Modeller

Makroskobik ve mikroskobik modelleme yaklaşımlarının, birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları ve bazı durumlar için bu iki yaklaşımın üstün noktalarını kullanma gerekliliği mezokobik modellerin doğmasına neden olmuştur. Makroskobik modeller genellikle trafik akımı içindeki varlıkları yüksek derecede tanımlarken; davranış ve birbirleri ile olan ilişkileri düşük derecede tanımlamaktadır [24].

Mezokobik modeller kendi içinde de farklı tekniklere ayırmak mümkündür. Bunların ilkinde, bir yol ağı içinde hareket eden araçlardan, aynı yol üzerinde hareket edenler grup halindeki araçlar, bir paket olarak ele alınmaktadır. Bu paket içindeki araçların tümünün hızı o bağlantıya ait hız-yoğunluk fonksiyonundan alınmakta ve eşit kabul edilmektedir. Yoğunluk değeri ise araç sayısının, bağlantı uzunluğuna bölünmesi ile elde edilmektedir.

Diğer bir teknik ise yine bağlantı üzerindeki araçlar bir grup olarak ele alınmakta, fakat önceki teknikten farklı olarak hız limitler içerisinde grup tarafından belirlenmektedir. Her bir araç, grup izin verdiğinde gruba girebilmekte ve ya terk edebilmektedir.

Kuyruk-sunucu yaklaşımında ise, bağlantı yolunun giriş kısmı hızlanma, çıkış kısmı ise kuyruklanma bölgesi olarak ayrılmakta ve bu noktalardan diğer bağlantılara geçiş yapılmaktadır. Her bir araç kendi hızını belirlemektedir. Bağlantı bölümlerinin kapasiteleri, doyumluk değeri ile kontrol edilmektedir. Ayrıca geçiş noktalarına yerleştirilecek kapılar ile sinyalizasyon benzeşimi yapılmaktadır.

Diğer bir yaklaşımda ise hücresele otomat yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntemde bağlantı yolu araç bulunan veya bulunmayan hücrelere ayrılmaktadır. Hücreler içinde bulunan araçlar bazı davranış kurallarını takip ederek hareket etmektedirler. Bunlardan en göze çarpanı Nagel-Schreckenberg kuralları olarak bilinmektedir.

## **6.2. Geliştirilen Trafik Simülasyon Programı**

Bu çalışmada, yeni kurulan kavşak kontrol tekniklerinin uygulanabileceği hazır benzetim programı bulunamadığından, araçların kontrol sistemine vereceği tepkileri ve etkinliğini ölçebilmek için Matlab bilgisayar programı kullanılarak; yeni mikroskobik bir trafik simülasyon programı yazılmıştır. Bu benzetim programı Kırıkkale Üniversitesi-Trafik Simülasyonu (KU-Trsim) olarak isimlendirilmiştir.

KU-Trsim üç ana bölümden oluşmaktadır:

1. **Araç Üretim Modülü (AÜM):** Kavşağa yaklaşan araçların hangi aralıkta ve özelliklerde (hız, araç tipi, sağ veya sol dönüş) sisteme giriş yapacaklarını oluşturan modüldür. Bu modül araçlar arasındaki geliş aralıklarını üstel dağılım kullanarak belirlemektedir.
2. **Araç Dinamikleri Modülü (ADM):** Aynı şeritte hareket eden araçların birbirleri ile girişimleri, kontrol sistemine verdikleri yavaşlama, hızlanma veya durma durumlarını kontrol eden modüldür. Araç takip modeli olarak güvenli mesafe modeli kullanılmıştır.



3. **Sinyal Denetim Modülü (SDM):** Kavşak içinde ki yaklaşım kollarına, hangi durumda hangi sırayla ve ne kadar süreyle geçiş hakkı verileceğini belirleyen modüldür. Burada, bulanık mantık kullanılarak, geliştirilen yeni trafik sinyal denetim algoritması ile karşılaştırma amacıyla tam uyarmalı ve ön zamanlı sistemler uygulanabilmektedir.

### 6.2.1. Araç Üretim Modülü (AÜM)

İzole bir kavşağa yaklaşan araçlar arasındaki saniye cinsinden zaman, trafiğin doğası gereği rastgele oluşmaktadır. Ayrıca bu araçların cinsleri ve buna bağlı olarak uzunluk ve ivmelenme değerleri de rastgele gelişmektedir.

Zaman cinsinden (i-1) taşıtının ön tamponun yolun enine belirlenen bir sınırdan geçmesi ile (i) taşıtının ön tamponun sınırdan geçmesi arasında ki sn. cinsinden zaman aralığı taşıt geliş aralığı olarak tanımlanmaktadır. Geliş aralıklarının, simülasyon programlarında modellenebilmesi için uygun rastgele sayılar üretebilen algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Matlab bulunan “rand” komutu, rastgeleye benzer sayılar (pseudorandom numbers) üretebilmektedir. İsimden de anlaşılacağı üzere, bu sayılar tam olarak rastgele olmayıp, bir başlangıç sayısına “seed” bağlı olarak belirli miktarda sayı üretmektedirler. Eğer “seed” değeri aynı tutulursa aynı dizi elde edilebilmektedir. Bu durum ise trafik gibi gerçek hayatta aynı senaryoyu tekrar gerçekleştirme durumu çok zor olan ve farklı kontrol durumları için tepkilerin ölçülmesi istendiği vaziyetlerde çok büyük avantajlar sağlamaktadır.

Teorik araç geliş aralıklarının üretilmesinde literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsi gerçek veriler ile karşılaştırıldıklarında çeşitli kısıtlar göstermektedir [27]. Bu çalışmada üstel dağılımın tersi alınarak araç geliş aralıkları üretilmiştir. Modüle ait Matlab kodu Ek 1.’de verilmiştir.

## 6.2.1.1. Araç Geliş Aralıkları Üretimi

### 6.2.1.1.1. Üstel Dağılım

Sürekli olasılık dağılımları ailesinden olan üstel dağılım Poisson sürecinde ki olaylar arasında ki zaman aralığının belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Üstel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$p(x, \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (6.6)$$

Eklenik yoğunluk fonksiyonu,

$$P(x, \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (6.7)$$

### 6.2.1.1.2. Ters Dönüşüm Yöntemi ve Üstel Dağılıma Uygulanması

Trafik mühendisliğinde gelen araçlar arasında ki zaman cinsinsen mesafenin KU-Trsim için rastgele üretilmesi gerekmektedir. Bunun için trafik benzetim programları tarafından genellikle kullanılan yöntem, üstel eklenik dağılım fonksiyonun tersinin alınması ile gerçekleşmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonundan, eklenik fonksiyonu bulabilmek için Eşitlik 6.8' da görülen integral işlemi yapılmaktadır.

$$r = P(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx \quad (6.8)$$

Bu işlem üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonuna uygulandığında, Eşitlik 6.7 elde edilmektedir. Fonksiyon r' rastgele sayı fonksiyonuna eşitlenirse, Eşitlik 6.9' da ki şekliyle tersi elde edilmektedir.

$$r = P(x) \Rightarrow x = P^{-1}(r) \quad (6.9)$$

Bu ters dönüşüm işlemi Eşitlik 6.10 için,  $x$  çekilir ve  $x = t$  (zaman aralığı),  $\lambda = q$  (trafik akım değeri) kabul edilir ise, Eşitlik 6.11 elde edilir.

$$r = 1 - e^{-\lambda x} \quad (6.10)$$

$$t = -\frac{1}{q} \ln(1 - r) \quad (6.11)$$

### 6.2.1.1.3. Araç Geliş Aralıklarının Üstel Dağılıma Uygunluğunun Kontrolü

AÜM' in ürettiği araç geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğunun kontrolü bu bölüm altında yapılmıştır. Bunun için 250 araç/saat, 500 araç/saat ve 800 araç/st.' lik trafik hacimlerine ilişkin  $\chi^2$  testi tabloları aşağıda verilmektedir.

**Çizelge 6.1.** AÜM' nin 250 araç/st.' lik trafik hacmi için üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğu için  $\chi^2$  testi.

Geliş Aralıkları	Gözlem Tekrar (f)	Orta Nokta (t)	t*f	Gözlem Eklenik Tekrar	Kuramsal Eklenik Tekrar ( $e^{-qt} \cdot \sum f$ )	Kuramsal Tekrar $F_b$	$\frac{\chi^2}{F_b} = \left[ \frac{(f - F_b)^2}{F_b} \right]$
0-5	19	2,5	47,5	64	64	19,21	0,002
5-10	12	7,5	90	45	44,78	13,44	0,155
10-15	8	12,5	100	33	31,34	9,41	0,210
15-20	9	17,5	157,5	25	21,93	6,58	0,886
20-25	4	22,5	90	16	15,34	4,61	0,080
25-30	4	26,5	106	12	10,74	3,22	0,1864
30-35	4	32,5	130	8	7,51	2,26	1,346
35-40	3	36	108	4	5,26	1,58	1,278
45-50	0	47,5	0	1	3,68	1,11	1,105
50-55	0	52,5	0	1	2,57	0,77	0,773
55-60	0	57,5	0	1	1,80	0,54	0,541
60-65	0	62,5	0	1	1,26	0,38	0,378
65-70	1	67,5	67,5	1	0,88	0,88	0,0155
<b>Toplam</b>	<b>64</b>		<b>896,5</b>				<b><math>\chi^2=6,960</math></b>

250 araç/st.' lik araç için Çizelge 6.1' de yapılan  $\chi^2$  test tablosunda:

$$\text{Ortalama geliş aralığı : } \bar{t} = \frac{\sum ft}{\sum f} = \frac{896,5}{64} = 14,01sn.$$

$$\text{Ortalama geliş oranı : } \bar{q} = \frac{1}{\bar{t}} = \frac{1}{14,01} = 0,071 \text{ taşıt/sn. olarak hesaplanır.}$$

Serbestlik derecesi  $(13-1)(2-1) = 12'$  e göre ve % 5 anlamlılık düzeyine göre  $\chi^2_{tablo} = 21,03$  olarak tablodan bulunmuştur. Buna göre  $\chi^2_{hesap} < \chi^2_{tablo}$  olduğu anlaşılmış ve 250 araç/st. Hacim değeri için AÜM' nün ürettiği araç geliş aralıklarının üstel dağıma uyduğu anlaşılmıştır.

**Çizelge 6.2.** AÜM' nin 500 araç/st.' lik trafik hacmi için üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğu için  $\chi^2$  testi.

Geliş Aralıkları	Gözlem Tekrar (f)	Orta Nokta (t)	t*f	Gözlem Eklenik Tekrar	Kuramsal Eklenik Tekrar ( $e^{-qt} \cdot \sum f$ )	Kuramsal Tekrar $F_b$	$\frac{\chi^2}{F_b} = \left[ \frac{(f - F_b)^2}{F_b} \right]$
0-5	90	2,5	225	156	156	92,35	0,060
5-10	45	7,5	337,5	66	63,64	37,67	1,422
10-15	12	12,5	150	21	25,96	15,37	0,739
15-20	9	17,5	157,5	9	10,59	10,59	0,239
<b>Toplam</b>	$\sum f=156$		870				$\chi^2= 2,461$

500 araç/st.' lik araç için Çizelge 6.2' de yapılan  $\chi^2$  test tablosunda:

$$\text{Ortalama geliş aralığı : } \bar{t} = \frac{\sum ft}{\sum f} = \frac{870}{156} = 5,57sn.$$

$$\text{Ortalama geliş oranı : } \bar{q} = \frac{1}{\bar{t}} = \frac{1}{5,57} = 0,179 \text{ taşıt/sn. olarak hesaplanır.}$$

Serbestlik derecesi  $(4-1)(2-1) = 3'$  e göre ve % 5 anlamlılık düzeyine göre  $\chi^2_{tablo} = 7,815$  olarak tablodan bulunmuştur. Buna göre  $\chi^2_{hesap} < \chi^2_{tablo}$  olduğu anlaşılmış ve 500 araç/st. Hacim değeri için AÜM' nün ürettiği araç geliş aralıklarının üstel dağıma uyduğu anlaşılmıştır.

**Çizelge 6.3.** AÜM' nin 800 araç/st.' Lik trafik hacmi için üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygunluğu için  $\chi^2$  testi.

Geliş Aralıkları	Gözlem Tekrar (f)	Orta Nokta (t)	t*f	Gözlem Eklenik Tekrar	Kuramsal Eklenik Tekrar ( $e^{-qt} \cdot \sum f$ )	Kuramsal Tekrar $F_b$	$\left[ \frac{\chi^2}{F_b} \right]$
0-5	202	2,5	505	264	264,00	181,32	2,358
5-10	38	7,5	285	62	82,68	56,79	6,214
10-15	15	12,5	187,5	24	25,89	17,78	0,436
15-20	7	17,5	122,5	9	8,11	8,11	0,152
20-25	2	22,5	45	2	2,54	2,54	0,115
<b>Toplam</b>	$\sum f=264$		1145				<b><math>\chi^2=9,160</math></b>

800 araç/st.' lik araç için Çizelge 6.3' de yapılan  $\chi^2$  test tablosunda:

$$\text{Ortalama geliş aralığı : } \bar{t} = \frac{\sum ft}{\sum f} = \frac{1145}{264} = 4,33 \text{ sn.}$$

$$\text{Ortalama geliş oranı : } \bar{q} = \frac{1}{\bar{t}} = \frac{1}{4,33} = 0,230 \text{ taşıt/sn. olarak hesaplanır.}$$

Serbestlik derecesi  $(5-1)(2-1) = 4$ ' e göre ve % 5 anlamlılık düzeyine göre  $\chi_{tablo}^2 = 9,48$  olarak tablodan bulunmuştur. Buna göre  $\chi_{hesap}^2 < \chi_{tablo}^2$  olduğu anlaşılmış ve 800 araç/st. Hacim değeri için AÜM' nün ürettiği araç geliş aralıklarının üstel dağılıma uyduğu anlaşılmıştır.

İncelenen örnek hacimlere bağlı AÜM' nün ürettiği araç geliş aralıklarının  $\chi^2$  testi ile irdelenmesi sonucunda üretilen geliş aralıklarının üstel dağılıma uygun olduğu ve kullanılabilir olduğu görülmektedir.

### 6.2.1.2. Araç Tipleri ve Sistem Giriş Hızlarının Üretimi

Araç tipleri, özellikle yolların keşişim bölgelerinde trafiğin akışı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Değişik araç tiplerinin sahip olduğu farklı özellikler nedeniyle bu araçların, kapladıkları alan, hızlanma, yavaşlama, dönüş çapları

farklılık göstermektedir. Ağır araç tipindeki artış, trafik akım performansını düşürmektedir [25-26 ].

KU-Trsim programı, otomobil, minibüs, kamyon, otobüs ve TIR olmak üzere beş farklı araç tipini uzunluğunu Çizelge 6.4’ de görülen değerleri kullanarak modellemektedir. Yine, Sorensen [26]’ in araç tipi sınıflandırması ve KU-Trsim’ de kabul edilen uzunluklar Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Araçlar sisteme girerken o şeridin yoğunluğuna bağlı olarak hızların ayarlanması için Eşitlik 6.1’ de verilen Greenshields’ in hız yoğunluk ilişki modeli kullanılmıştır. Bu model ile sistemin yoğun olması durumunda, üretilen araç için hız değeri hesaplanmakta ve araç bu hız ile sisteme giriş yapmaktadır.

**Çizelge 6.4.** Taşıt tipleri ve benzetim programında kullanılan uzunluklar.

Araç Tipi	Sorensen (m)	KU-Trsim (m)
Otomobil	2,5-4,8	4,45
Minibüs	4,8-6,0	6,00
Kamyon	7,0-12,0	8,5
Otobüs	14-22	12
TIR	12-22	13,6

### 6.2.1.3. Araç Üretim Modülü Girdi Değişkenleri

**Şerit hacimleri:** Sisteme ait her bir şeridin trafik hacim değerleridir.

**Yüzelik taşıt kompozisyonları:** Bölüm 6.2.1.2’ de anlatılan taşıt çeşitlerinin yüzelik olarak dağılımını vermektedir.

**Dönüş oranları:** AÜM’ de üretilen taşıtların sağa ya da sola dönüş oranlarının yüzde cinsinden ifadesidir.

**Greenshields modeli girdileri:** Bu modelin ihtiyaç duyduğu,  $k$ ,  $v_f$  ve  $k_j$  değerleri.

#### 6.2.1.4. Araç Üretim Modülü Çıktı Değişkenleri

**Geliş aralıkları:** Bölüm 6.2.1.1' de detaylı olarak tartışılmıştır.

**Giriş hızı:** araçların sisteme girerken sistemin izin verdiği giriş hızı değeridir.

#### 6.2.2. Araç Dinamiği Modülü (ADM)

Mikroskobik trafik benzetim programlarında, aynı şeritte yol alan araçların hızlanma, yavaşlama ve durma davranışlarını modellenmesi programın ana unsurlarındandır. Birbirleri ile olan etkileşimlerinden veya sinyalize kavşaklarda ki engellemelerden dolayı araçlar durma veya yavaşlama eyleminde bulunmakta; sinyalize kavşağın izin vermesi ve iki araç arası yeterli mesafe oluştuğunda ise araçlar hızlanma eylemine geçmektedir. Hangi koşullar altında araçların bu eylemleri ne oranda gerçekleştirecekleri bu bölümün kontrolü altındadır. Bu bölüme ait Matlab kodu Ek 2' de verilmiştir.

Araçların ivmelenme değerleri, hızlarına bağlı olarak değişen bir değer olup Çizelge 6.5' de verilen değerler yardımıyla belirlenmiştir. İvmelenme değerleri hız aralığı arttıkça düşmektedir. Çizelge 6.5' de verilen değerler, Synchro 7' programının kullandığı hızlanma değerleridir.

**Çizelge 6.5.** Taşıtlarına ait ivmelenme değerlerinin hız aralıklarına göre değişimi.

Taşıtlar Tipi	Hız Aralıkları								
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90
<b>Otomobil</b>	2,44	2,74	1,83	1,52	1,52	1,52	1,22	0,91	0,61
<b>Minibüs</b>	1,43	1,63	1,51	1,06	0,94	0,79	0,65	0,52	0,39
<b>Kamyon</b>	0,86	0,74	0,66	0,62	0,53	0,43	0,34	0,25	0,17
<b>Otobüs</b>	2,28	1,62	0,97	0,81	0,70	0,50	0,42	0,29	0,23
<b>TIR</b>	0,75	0,65	0,43	0,34	0,26	0,19	0,131	0,09	0,04

Aynı şeritte bulunan taşıtlarda, yavaşlama eylemini iki ana durumda gerçekleştirmektedir. Birinci durumda, takip eden araç ile lider araç arasındaki mesafenin sürücünün güvenlik mesafesini aşmasıdır. Güvenlik mesafesi, sürücüye, hava durumu, zemin durumu, yol eğimi gibi birçok değişkene bağlı belirlenmesi oldukça güç bir değerdir.

Bir araç,  $v$  (m/sn) hızı ve sahip olduğu  $a$  (m/sn<sup>2</sup>) yavaşlama ivmesi ile Eşitlik 6.12' de verilen  $s$  (m) mesafesinde durabilmektedir.

$$s = \frac{v^2}{2a} \quad (6.12)$$

Birbirini takip eden iki taşıtın hızı ve ivmeleri bilindiğinde güvenli takip mesafesi ( $s_{güv}$ ) değeri Eşitlik 6.13' de verildiği gibi olmaktadır.

$$s_{güv} = v_i t_r + \left[ \frac{v_i^2}{2a_i} - \frac{v_{i-1}^2}{2a_{i-1}} \right] + x_0 + L_{i-1} \quad (6.13)$$

Burada:

$v_i$  : Takip eden aracın hızı (m/sn).

$v_{i-1}$  : Takip edilen aracın hızı (m/sn).

$t_r$  : Reaksiyon süresi (sn.).

$a_i$  : Takip eden aracın yavaşlama ivmesi (m/sn<sup>2</sup>).

$a_{i-1}$  : Takip edilen aracın yavaşlama ivmesi (m/sn<sup>2</sup>).

$x_0$  : İki aracın durdukları anda aralarında kalacak olan mesafe (m).

$L_{i-1}$  : Takip edilen aracın uzunluğu (m).

olarak verilmektedir. Fakat gerçek hayatta sürücüler, güvenlik mesafelerini belirlerken, takip ettikleri aracın yavaşlama ivmesini kullanarak değil; kendi hızları ile öndeki araç arasında ki mesafe arasında algısal bir eşik oluşturarak takip mesafelerine karar vermektedirler. Bu nedenle KU-Trsim ile yapılan denemelerde güvenlik mesafesinin hesaplanmasında Eşitlik 6.14' de ki ampirik formüllerin



kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Burada v km/saat cinsinden girilmekte ve güvenlik mesafesi m. cinsinden elde edilmektedir. Ek olarak araçların arasındaki en az mesafenin 1,5 m olması için (+1,5) eklenmiştir.

$$s_{güv}(m) = \frac{v(km/saat)}{2,5} + 1,5 \quad (6.14)$$

#### 6.2.2.1. Araç Dinamiği Modülü Girdi Değişkenleri

**Kavşak geometrisi:** Kavşak kollarına ait şerit sayısı, sağ ve sol dönüş ceplerinin varlığı ve varsa uzunluklarıdır.

**Trafik değerleri:** Sinyalize ışık durumu (yeşil vs.), kalkış kaybı, sıkışık yoğunluk değeri, şeritlere ait serbest hız değeri, detektör konumlarıdır.

#### 6.2.2.2. Araç Dinamiği Modülü Çıktı Değişkenleri

**Gecikme değerleri:** Kavşak performansını belirlemede kullanılan başlıca parametrelerden biridir. KU-trsim, her bir araca ait yavaşlama, hızlanma ve durma gecikmelerini belirlemektedir. Bu değerler kullanılarak istenilen bölgeye ait gecikme değerleri belirlenebilmektedir.

**Araç bilgileri:** KU-Trsim, her bir aracın anlık şerit içindeki konumunu, hızını, ivmesini, öndeki araç ile olan mesafesini hesaplamaktadır. Detektör konumları verildiğinde, bu konumlar arasındaki bölgede ki araç sayılarını da hesaplamaktadır.

### 6.2.3. Sinyal Denetim Modülü (SDM)

Bu modül kavşağın sinyal sürelerinin belirlendiği bölümdür. Bu tezde kullanılacak kontrol teknikleri olan, BM tabanlı denetleyici, tam uyarmalı denetleyici ve ön zamanlı denetleyiciler Bölüm 3’ de detaylı olarak tartışılmıştır. KU-Trsim bu üç denetleyiciye de uyum sağlamış olup kullanıcıya karşılaştırma fırsatı vermektedir.

#### 6.2.3.1. Sinyal Denetim Modülü Girdi Değişkenleri

**Araç sayıları:** Tam uyarmalı ve bulanık mantık tabanlı kontroller, belirlenen detektör bölgelerinde bulunan araç sayılarına ihtiyaç duymaktadır. Bu girdi KU-Trsim Araç Dinamiği Modülü tarafından üretilmektedir.

**Faz düzeni ve süreler:** Ön zamanlı sistemler ve tam uyarmalı hangi şeride veya kola hangi sırayla geçiş hakkı verileceği bilgisine ihtiyaç duymaktadır. BM sistemde ise seçenekler içinden uygun olan faz düzenini seçtiği için, olabilecek bütün faz düzenlerine ihtiyaç duymaktadır. Ön zamanlı kontrol ve tam uyarmalı sistemler ise sırayla faz sürelerine ve uzatma süreleri girdi olarak girilmektedir. Bütün yönlere kırmızı ve sarı süreler ise bütün kontrollerde girilmesi gerekmektedir.

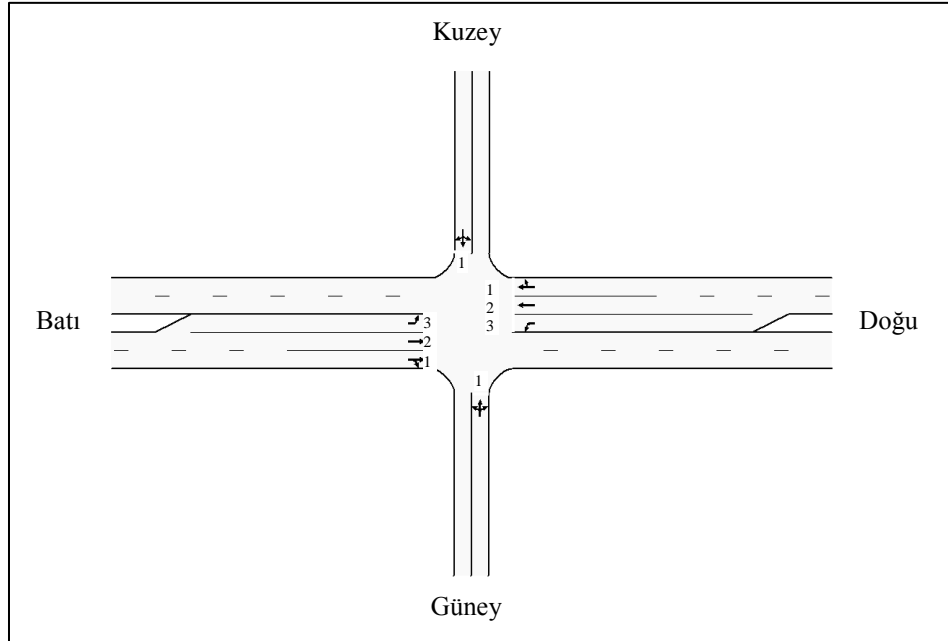
**Bulanık mantık girdileri:** Bulanık mantık kontrollerine ait bulanık kurallar, bulanık işlem ve üyelik fonksiyonları yeşil süreleri ve uzatma süresinin belirlenmesi için gerekmektedir. Ayrıca en fazla bekleme süreside ayarlanabilmektedir.

#### 6.2.3.2. Sinyal Denetim Modülü Çıktı Değişkenleri

Sinyal denetim modülü, araçların hareketlerini kontrol eden araç dinamiği modülünün çalıştığı süre boyunca sahip olduğu algoritmaya bağlı hangi zaman diliminde hangi ışığın yanacağına ait sinyalleri üretmektedir.

### 6.3. Simülasyon ve Arazi Gecikme Verilerinin Karşılaştırılması

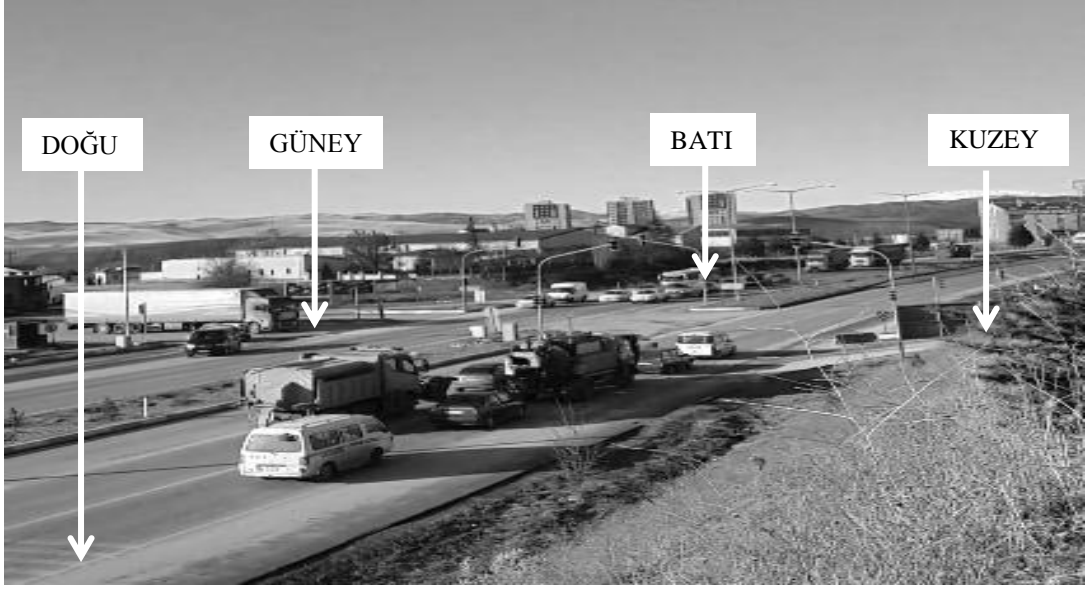
Bu bölümde geliştirilen izole kavşak trafik benzetim sisteminin ürettiği gecikme değerleri ile gerçek arazi verileri karşılaştırılmıştır. Böylelikle KU-Trsim' in ne oranda gerçek değerlere yaklaştığı araştırılmıştır.



Şekil 6.2. Yeni Sanayi Kavşağı' na ait kroki.

Gerçek arazi verisinin elde edilmesi için Şekil 6.2' de krokisi verilen Yeni Sanayi Kavşağında ölçümler yapılmıştır. Kavşak Doğu-Batı istikametinde 2 ana şerit ve 1'er adet sol dönüş cebi; Kuzey-Güney istikametinde ise 1'er şerit barındırmaktadır.

Yeni Sanayi Kavşağı 3 adet faz ile sabit zamanlı olarak işletilmektedir. 1. fazda, doğu-batı istikametindeki 1 ve 2 nolu şeritlere 47 sn., yeşil ışık yanmaktadır. 2. fazda doğu-batı yönlerindeki 3 nolu sol dönüş şeritlere 15 sn. geçiş hakkı verilmektedir. Son olarak, 3. fazda kuzey ve güney yönleri sağ, sol ve düz olmak üzere 16 sn. süre ile yeşil ışık hakkı verilmektedir.



**Şekil 6.3.** Yeni Sanayi Kavşağı ve yaklaşım kollarına ait görüntü.

Y. Sanayi kavşağına ait gecikme değerlerinin belirlenmesi amacıyla kavşağına üç adet kamera yerleştirilmiş ve çekimden 15 dakikalık bir bölüm incelenmek üzere seçilmiştir. Kameralardan elde edilen örnek fotoğraf karesi Şekil 6.3’ de görülmektedir. Gecikme ölçümleri hassasiyeti arttırmak amacıyla her şerit için 5’ er sn. ‘lik zaman dilimleri için hesaplanmış ve elde edilen gecikme tabloları Ek 8’ de verilmiştir. Elde edilen gerçek toplam durma gecikme değerleri Çizelge 6.6’ da görülmektedir. Karşılaştırma Eşitlik 6.15’ de verilen Mutlak Yüzdellik Hata (MYH) değerleri ile  $R^2$  değerleri kullanılmıştır.

$$MYH = \frac{|G_d^g - G_d^t|}{G_d^g} * 100 \quad (6.15)$$

Burada:

MYH: Mutlak yüzdellik hata.

$G_d^g$ : Gerçek durma gecikmesi.

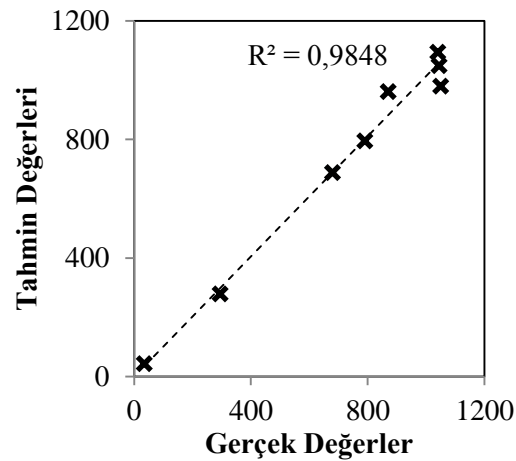
$G_d^t$ : Tahmin edilen durma gecikmesi.

**Çizelge 6.6.** Yeni Sanayi Kavşağı kollarına ait gerçek gecikme ve tahmin değerleri ve yüzdelik mutlak hata değerleri

Kollar	Şerit No.	Gerçek	Tahmin	MYH
Batı	1	680	688	1,2
	2	870	961,4	10,5
	3	35	42,1	20,3
Doğu	1	1045	1048,5	0,3
	2	790	794,2	0,5
	3	1050	979,3	6,7
Güney	1	1040	1093,6	5,2
Kuzey	2	295	278,4	5,6

MYH' lar incelendiğinde, batı kolu haricindeki tahminlere ait hataların % 10' un altında olduğu görülmüştür. Batı kolundaki en yüksek hata 3 nolu sol cep şeridinde meydana gelmiştir. Ek 9 incelendiğinde bu zaman diliminde sadece bir aracın geldiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu yüksek hatanın meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 6.3' de verilen gerçek ve tahmin edilen değerler yardımıyla oluşturulan saçılım grafiği ve eğri geçirme yöntemi ile elde edilen  $R^2$  değeri Şekil 6.4' de verilmiştir.  $R^2$  değeri % 98 olarak belirlenmiş olup, gerçeğe yakın sonuçlar ürettiği anlaşılmıştır.



**Şekil 6.4.** Yeni Sanayi Kavşağı gerçek ve tahmin değerleri saçılım grafiği ve  $R^2$  değerleri.

Simülasyon ve gerçek değerlerin tam anlamıyla karşılaştırılabilmesi için araç geliş aralıklarının da tam olarak ölçülmesi ve KU-Trsim' e girilmesi gerekmektedir. Bunun için yine arazi çalışması ile elde edilen videolar yardımıyla geliş aralıkları sn. cinsinden ölçülmüş olup Ek 9' da verilmiştir.

#### 6.4. KU-Trsim Kullanıcı Arayüzü

Geliştirilen trafik simülasyon modelinin daha kolay kullanılması amacıyla programa ait bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Şekil 6.5' de ki 1 numaralı kutu, kavşağın kaç kollu olduğu girilmektedir. "Şerit Oluştur" butonuna basıldığında, 2 nolu bölümde yer alan, kollara ait şerit sayılarının girileceği kutucuklar oluşmaktadır. Girilen şerit sayılarına göre, 3 nolu bölümde yer alan tablo oluşmaktadır. 3 nolu tabloda kavşağa ait trafik değişkenleri olan, trafik hacmi, araç kompozisyonlarının yüzdelik dağılımı, sola ve sağa dönüş oranları, cep uzunlukları, detektör yerleri ile serbest hız değerleri girilmektedir.

The screenshot shows the 'ERDEM GÜT' software interface. At the top, there are tabs for 'TRAFİK VE GEOMETRİK DEĞİŞKENLER', 'BULANIK MANTIK KONTROL', 'TAM UYARIMLI KONTROL', and 'ÖN ZAMANLI KONTROL'. The main area is divided into several sections:

- Section 1:** 'Koli Sayısı' (Lane Count) with a dropdown menu set to '4' and a 'Şerit Oluştur' button.
- Section 2:** 'Şerit Sayısı' (Lane Count) with a dropdown menu set to '2' and a 'Tablo Oluştur' button.
- Section 3:** 'Parametre Tablosu' (Parameter Table) with the following data:

Tür	Trafik Hacmi	Otomobil Yüzdeleri (%)	Minibüs Yüzdeleri (%)	Kamyon Yüzdeleri (%)	Otobüs Yüzdeleri (%)	Tır Yüzdeleri (%)	Sol Cep Değeri (0-2)	Sol Cep Uzunluk Değeri (m)	Sol Cebeli Dönüş Oranı (%)	Sola Dönüş Değeri (L,0)	Sola Dönüş Oranı (%)	Sağa Dönüş Değeri (L,0)	Sağa Dönüş Oranı (%)	Yaklaşım Detektör Uç. (m)	Kaynak Detektör Uç. (m)	Serbest Hız Değeri (km/saat)	Kol Uzunluğu (m)	
K1-S1	Düz	0	100	0	0	0	0	2	0	20	1	0	0	0	200	50	55	300
K1-S2	Cep	0	100	0	0	0	1	75	0	1	100	0	0	0	50	55	0	
K2-S1	Düz	300	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	50	55	300	
K2-S2	Düz	800	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	50	55	300	
K3-S1	Düz	300	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	50	55	300	
K3-S2	Düz	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	50	55	300	
K4-S1	Düz	500	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	50	55	300	
K4-S2	Düz	750	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	50	55	300	
- Section 4:** 'Faz Değişkenleri' (Phase Variables) with a dropdown menu set to '4' and a 'Faz Tablosunu Oluştur' button. The table below shows the phase variables:

Faz Sayısı	F-1	F-2	F-3	F-4
K1-S1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K1-S2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K2-S1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K2-S2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K3-S1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K3-S2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K4-S1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
K4-S2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
- Section 5:** Simulation parameters section with input fields for 'Simülasyon Süresi (sn)' (900), 'Kalış Kaybı (sn)' (3), 'Sıkışık Yoğunluk (arşim)' (0.16), 'Sarı Işık Süresi (sn)' (2), 'Tüm Yön Bek. Süresi (sn)' (1), and 'Besleme Süresi (sn)' (0).

Şekil 6.5. KU-Trsim kavşağa ait trafik ve geometrik değişken tanımlama arayüzü.

4 nolu bölgede kavşağın kaç adet faz ile yönetileceği bilgisi girilmektedir. 5 nolu bölümde ise simülasyon süresi, kalkış kaybı, sıkışık yoğunluk değeri (araç/m), tüm yönlere kırmızı ve sarı ışık süreleri girilmektedir.

BMT-SDS ile kavşağın kontrolü için US-BMM ile YS-BMM' lere ait bulanık mantık dosyaları Şekil 6.6' da ki 1 nolu bölümden yüklenmektedir. Simülasyonu başlatmak için "Simülasyonu Başlat" butonuna basılmaktadır. Ardından elde edilen ortalama gecikme, toplam gecikme, giren ve çıkan araç adetleri 2 nolu bölümde simülasyon sonunda yazdırılmaktadır.

The screenshot shows the ERDEM GUI interface. The 'BULANIK MANTIK KONTROL' tab is selected. In the top section, there are three input fields for loading fuzzy logic files: 'Uzatma Süresi BMM Dosyası:' (Yesil.BM.fs), 'Yeşil Süre BMM Dosyası:' (Ex.BM.fs), and 'En Fazla Bekleme Süresi (sn):'. A 'Simülasyonu Başlat' button is located below these fields. The bottom section, titled 'Sonuçlar', displays four output fields: 'Ortalama Gecikme (sn):', 'Toplam Gecikme (sn):', 'Giren Araç Sayısı:', and 'Çıkan Araç Sayısı:'. Arrows labeled '1' and '2' point to the input fields and the output fields respectively.

**Şekil 6.6.** KU-Trsim kavşağa BMT-SDS tanımlama arayüzü.

TU-SDS için gerekli olan uzatma süresi ve en fazla yeşil ışık süresi Şekil 6.7' de belirtilen bölümden girilmektedir. OZ-SDS için ise belirlenen fazlara ait yeşil ışık süreleri Şekil 6.8' den girilmektedir.

ERDEM GUI

TRAFİK VE GEOMETRİK DEĞİŞKENLER | BULANIK MANTIK KONTROL | TAM UYARIMLI KONTROL | ÖN ZAMANLI KONTROL

Uzama Süresi (sn):

En Fazla Yegililik Süresi (sn):

Sonuçlar

Ortalama Gecikme (sn):

Toplam Gecikme (sn):

Giren Araç Sayısı:

Çıkan Araç Sayısı:

Şekil 6.7. KU-Trsim kavşağa TU-SDS tanımlama arayüzü.

ERDEM GUI

TRAFİK VE GEOMETRİK DEĞİŞKENLER | BULANIK MANTIK KONTROL | TAM UYARIMLI KONTROL | ÖN ZAMANLI KONTROL

Faz Süreleri

F-1	F-2	F-3	F-4
20	40	20	40

Sonuçlar

Ortalama Gecikme (sn):

Toplam Gecikme (sn):

Giren Araç Sayısı:

Çıkan Araç Sayısı:

Şekil 6.8. KU-Trsim kavşağa OZ-SDS tanımlama arayüzü.



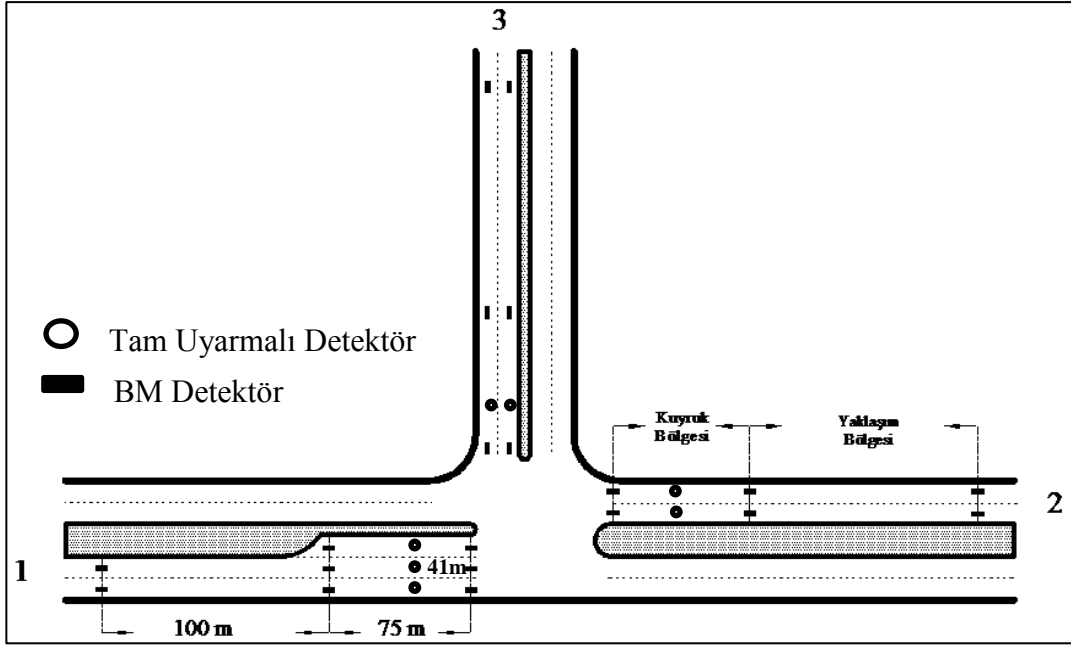
## 7- GELİŞTİRİLEN SİNYAL DENETİM SİSTEMİ VE FARKLI TRAFİK DURUMLARI ALTINDA KARŞILAŞTIRILMASI

### 7.1. Genel

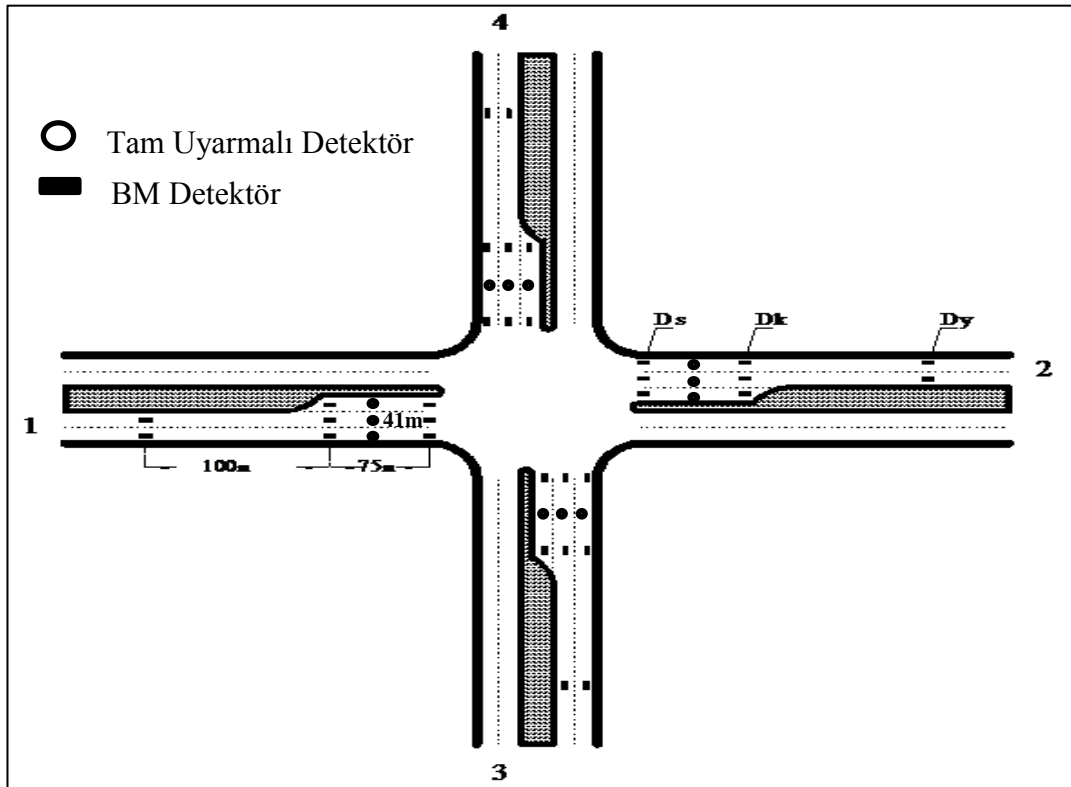
Bu bölümde, OZ-SDS, TU-SDS ile geliştirilen optimize edilmemiş BMT-SDS (BMT-SDS1) leri, belirlenen farklı trafik hacimleri altında üç kollu ve dört kollu izole kavşaklardaki performansları ortalama araç başına düşen gecikme değeri yönünden karşılaştırılmıştır. Öncelikle belirlenen kavşaklara ait özellikler tanıtılmış ardından denetim sistemlerinin kuruluş parametreleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra karşılaştırılan sinyal denetim sistemleri ayrı olarak ele alınarak, elde edilen sonuçlar tartışılmıştır:

### 7.2. Kullanılan Kavşakların Geometrik Özellikleri

Benzetim çalışmalarında kullanılan üç kollu ve dört kollu kavşak detayları Şekil 1 ve Şekil 2' de verilmiş olup, her kolda ikişer şerit bulunmakta ve her bir şerit genişliği 3,6 m olarak belirlenmiştir. Üç kollu kavşak için 1 no.' lu yaklaşım kolu üzerinde sol cep; dört kollu kavşakta ise bütün yönlerde sol cep bulunmaktadır ve uzunluğu 75 m. dir. Sinyal denetim algoritmasına bilgi akışını sağlayan detektörler, her bir şeritte üçer adet olarak yerleştirilmiştir. Dur çizgisinin üzerinde bulunanlar, Dur Detektörleri ( $D_s$ ), dur çizgilerinden trafik akış yönünün tersi istikametinde 75 m uzaklıkta olanlar Kuyruk Detektörleri ( $D_k$ ) ve 175 m uzaklıkta olanlar ise Yaklaşım Detektörleri ( $D_y$ ) olarak isimlendirilmiştir. Bu durumda  $Böl_{kuy}$  75 m ve  $Böl_{yak}$  ise 100 m olarak oluşmuştur.  $D_k$ ' nın uzaklık seçimi Detektör El kitabının [21], tam uyarmalı sistemler için 60-180 m olarak verilen önerisine dayanılarak 75 m olarak belirlenmiştir.  $D_y$  için ise önerilen yeni sistem doğrultusunda  $D_k$ ' dan uzaklığının 100 m alınması uygun görülmüştür. Yerleştirilen detektörlerin, üstünden araç geçme olayını ve geçen aracın tipini algılayabildikleri kabul edilmiştir.



Şekil 7.1 Üç kollu kavşak geometrisi ve detektörler.



Şekil 7.2 Dört kollü kavşak geometrisi ve detektörler.

Yaklaşım kolları üç kollu kavşak için Batı-Doğu yönünde 1 ve 2, tali yol için ise 3 olarak numaralandırılırken, dört kollu kavşak için Batı- Doğu için 1 ve 2, Güney-Kuzey yönünde 3 ve 4 olarak numaralandırılmıştır.

### 7.3. Trafik Sinyal Denetim Sistemlerinin Düzenlenmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan, Ön Zamanlı SDS (OZ-SDS), Tam Uyarımalı SDS (TU-SDS) ve BMT-SDS1' in belirlenen parametreler için ve 15 farklı trafik akım durumu altında karşılaştırılması bu bölümde yapılmıştır.

#### 7.3.1. Ön Zamanlı Sinyal Denetim Sistemi

Bölüm 3.3.1' detaylı olarak tartışılan OZ-SDS, kavşağa ait pik trafik akım dikkate alınarak, sinyal zaman çözümlemesi yapılan denetim sistemleridir. Üç kollu kavşağa ait faz düzeni Şekil 7.3' de verildiği gibi üç fazlı olarak belirlenmiştir. Sol dönüş akımı ayrı bir sol faz planı için 200 araç/saat' den küçük olmasına rağmen karşı yönden gelen akımın Eşitlikler 7.1-7.3 dikkate alındığında yüksek olması nedeniyle sola dönüş fazları ayrılmıştır.

$$f(v) = \begin{cases} g(x_p), & v_{sl} < 200 \\ Evet, & v_{sl} \geq 200 \end{cases} \quad (7.1)$$

$$g(x_p) = \begin{cases} Hayır, & x_p < 50,000 \\ Evet, & x_p \geq 50,000 \end{cases} \quad (7.2)$$

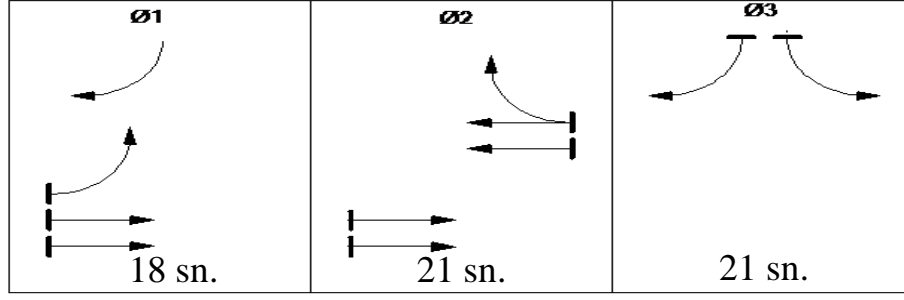
$$x_p = v_{sl} * \frac{v_k}{2} \quad (7.3)$$

Burada:

$v_{sl}$ : Sola dönecek hacim.

$v_k$ : Sola dönüşü kesen akım.

$x_p$ : Faz ayrımı belirleme katsayısı.

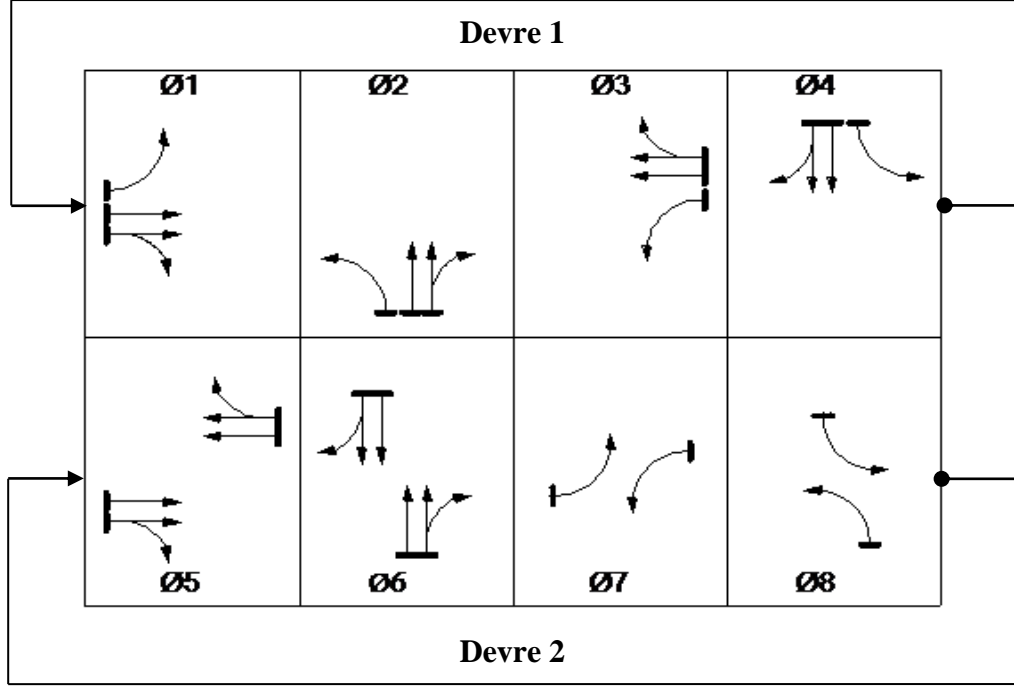


**Şekil 7.3.** Üç kollu kavşağa ait ön zamanlı faz planı.

OZ-SDS faz planına göre,  $\Phi 1'$  de öncelikle 1 no.lu yaklaşımın bütün şeritleri ve 3 no.lu kolun sağ dönüş şeridine geçiş izni verilmiştir.  $\Phi 2'$  de 1 ve 2 no.lu kollara izin, 1 no.lu kolun sol dönüşü kapalı olarak verilmiştir.  $\Phi 3'$  de ise 3 no.lu yaklaşıma ait sağ ve sol dönüşler hareket etmektedir.  $\Phi 1'$  de 2 no.lu yaklaşıma sağ dönüş izni güvenlik nedeniyle verilmemiş olup,  $\Phi 2'$  de bu kola dönüş izni verilmiştir.

Üç kollu kavşağın yeşil sürelerinin ve devre süresinin belirlenmesi için en kritik akım Çizelge 7.2' de verilen ve her bir koldan 1000 araç/ saat' lik hacim değeri olan D15 durumu kullanılmıştır. Yapılan çözümlenme sonucunda Devre süresi = 60 sn.,  $\Phi 1 = 18$  sn. ,  $\Phi 2 = 21$  sn. ve  $\Phi 3 = 21$  sn. olarak yeşil süreler hesaplanmıştır.

Dört kollu kavşak OZ-SDS faz planı için Şekil 7.4' de verilen Devre 2 planı uygulamasının uygun olduğu yapılan benzetim çalışmalarından görülmüştür.  $\Phi 1 = 26$  sn. ,  $\Phi 2 = 26$  sn. ve  $\Phi 3 = 14$  sn.  $\Phi 4 = 14$  sn. olarak yeşil süreler hesaplanmıştır.  $S_{sa}$  ve  $S_{hk}$  süreleri her iki kavşak için sırasıyla 3 sn. ve 1 sn. olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.4. Dört kollü kavşağa faz planları.

### 7.3.2. Tam Uyarmalı Sinyal Denetim Sistemi

Tam uyarmalı SDS (TU-SDS)' ler bütün yönlerde, dur çizginin belirli bir mesafe gerisindeki detektörlerden gelen uyarılar doğrultusunda karar veren sinyal denetim uygulamalarıdır.

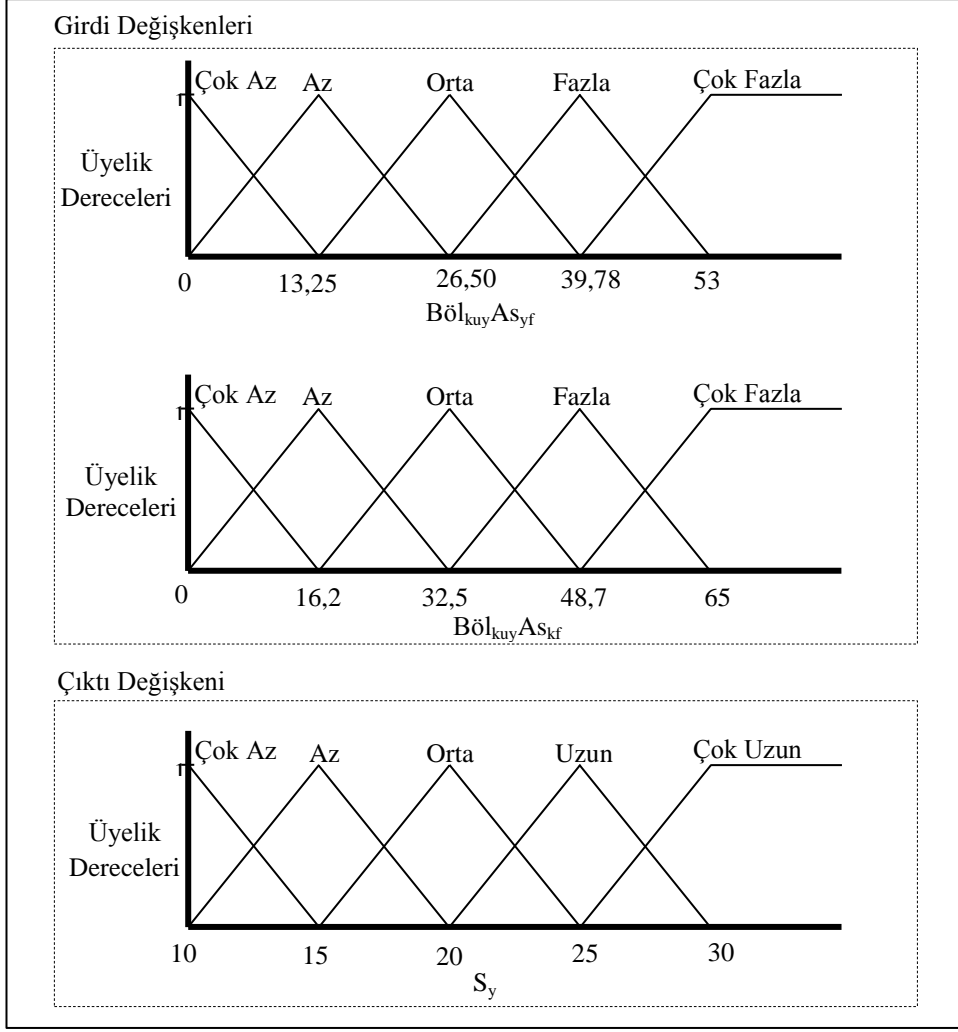
Her iki kavşak kolları üzerinde serbest hız değeri 55 km/saat olarak kabul edilmiştir. Traffic Detector Handbook' dan [21] bu hız değeri için  $S_{ara}^{max} = 3,5$  ve  $S_y^{max} = 60$  sn. alınırken; uyarı detektörlerinin pozisyonu ise 41 m dur çizgisinin gerisi olarak belirlenmiştir.  $S_y^{min}$  değeri, bütün kollarda ki detektör mesafeleri ve yaklaşım hızları eşit olduğundan, Eşitlik 3.4 ile  $h_s = 2$  sn.,  $L_s = 3,6$  sn., detektör mesafeleri 41 m ve araç uzunluğu 6 m için bütün yönler  $S_y^{min} = 17$  sn. olarak hesaplanmıştır.  $S_{sa}$  ve  $S_{hk}$  süreleri yine 3 sn. ve 1 sn. olarak kullanılmıştır. Üç kollü kavşak için Şekil 7.2' de verilen faz düzeni aynen kullanılmıştır. Dört kollü kavşak için yapılan çalışmalarda, Şekil 7.4' de verilen devre 1 ve devre 2 beraber kullanılmış, fakat göze alınan durumlar için devre 2 faz düzeninin daha iyi çalıştığı tespit edilmiş ve karşılaştırmalarda bu faz düzeni kullanılmıştır.

### 7.3.3. Bulanık Mantık Tabanlı Sinyal Denetim Sistemi

YS-BMM' ye ait birinci girdi değişkeni olan  $Böl_{kuy}As_{yf}$  ve  $Böl_{kuy}As_{kf}$ ' in bulanık küme sınır değerleri olan  $[\alpha \beta]$  ve üyelik fonksiyonlarına ait değerler Şekil 7.5 ve Şekil 7.6' de görülmektedir. Bu iki bulanık değişkene ait alt sınır değeri olan "α" her iki kavşak için 0 alınmıştır. Bu değer o fazda hiç araç olmaması durumunu göstermektedir. Üst sınır değeri β' nin hesaplanması için ise kullanılan fazlar içinde, kuyruk bölgesinde en fazla araç sayısı değeri araştırılmıştır. Doygun akım durumunda kuyruk bölgesi için en fazla araca sahip olabilecek fazların, üç kollu kavşak için Şekil 7.3' de verilen  $\Phi1$  ve  $\Phi2$ , dört kollu kavşak için ise  $\Phi5$  ve  $\Phi6$  olduğu belirlenmiştir. Araç uzunluğunun 6 m olduğu kabulüyle Eşitlik 7.4' den  $Böl_{kuy}As_{yf}$  ye ait β değeri her iki kavşak için 53 araç olarak hesaplanmıştır.  $Böl_{kuy}As_{kf}$  e ait en yüksek değere üç kollu kavşakta  $\Phi3$ ' ün; dört kollu kavşakta ise  $\Phi7$  veya  $\Phi8$  den herhangi birinin yeşil faz olması halinde ulaşılmaktadır. Bu durumda üç kollu için kırmızı fazların şerit sayısı toplamları 5 şerit; dört kollu kavşak için ise 10 şerit olmaktadır. Bu durumda  $Böl_{kuy}As_{kf}$  ye ait β değeri Eşitlik 7.4 yardımıyla, üç kollu için 63 araç, dört kollu kavşak için ise 130 araç olarak hesaplanmıştır.

$$\beta_{BöLAS} = \text{Şerit sayısı} * \text{Tamsayı} \left[ \frac{(d_{kd}=75)}{(x=6)} \right] \quad (7.4)$$

Her iki kavşak Şekil 7.5 ve Şekil 7.6' da verilen, YS-BMM çıkış değişkeni olan  $S_y$ ' nin en kısa süresinin 10 sn. alınması uygun bulunmuştur. En uzun süre ise  $Böl_{kuy}$  uzunluğu ve ilk kalkış kaybı dikkate alınarak 30 sn. olarak hesaplanmıştır.

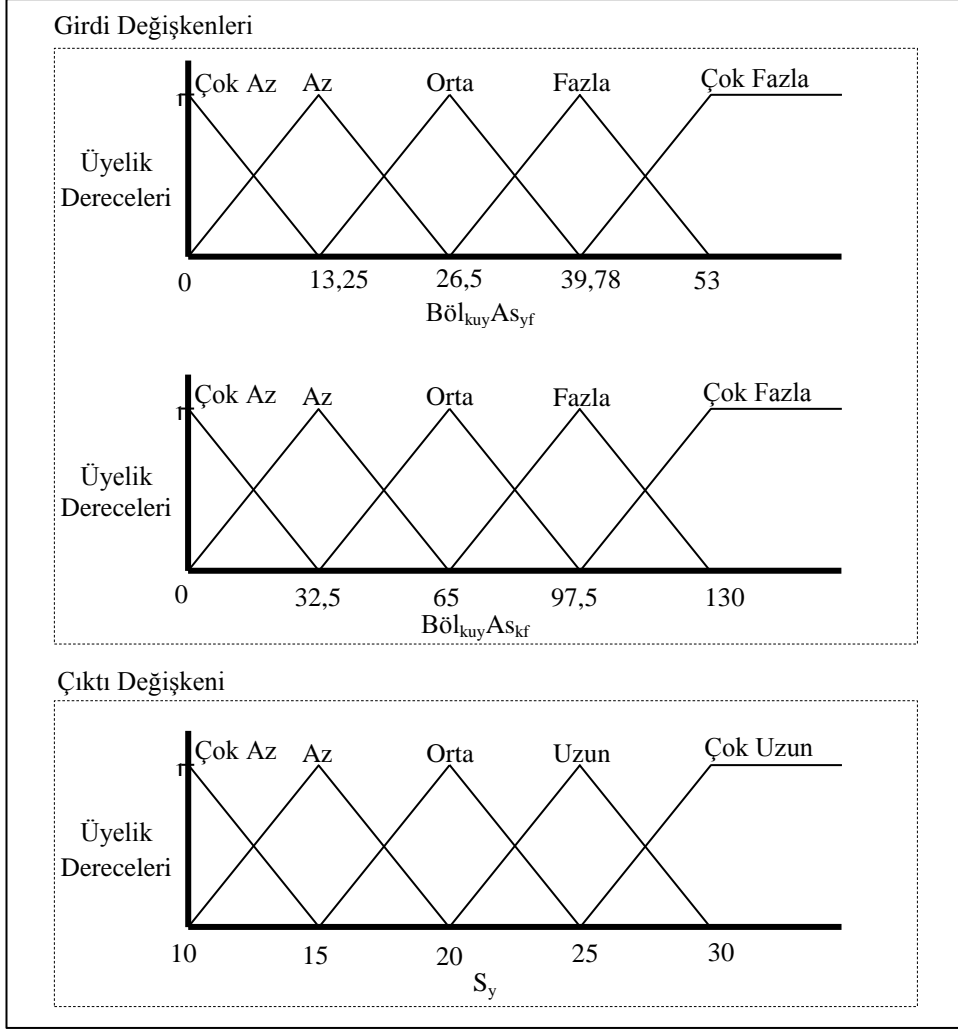


**Şekil 7.5.** Üç kollu kavşak YS-BMM' ye ait bulanık kümeleri.

US-BMM girdi ve çıktı değişkenlerine ait sınır değerleri Çizelge 7.1' de verilmiştir. Girdi değişkenlerine ait üst sınır değerleri ait oldukları bölgelerde bulunabilecek en fazla araç sayısı hesaplanarak belirlenmiştir.  $S_{uzat}$  süre değişkeni için [7 12] aralığı uygun görülmüştür.

**Çizelge 7.1.** US-BMM bulanık küme sınırları.

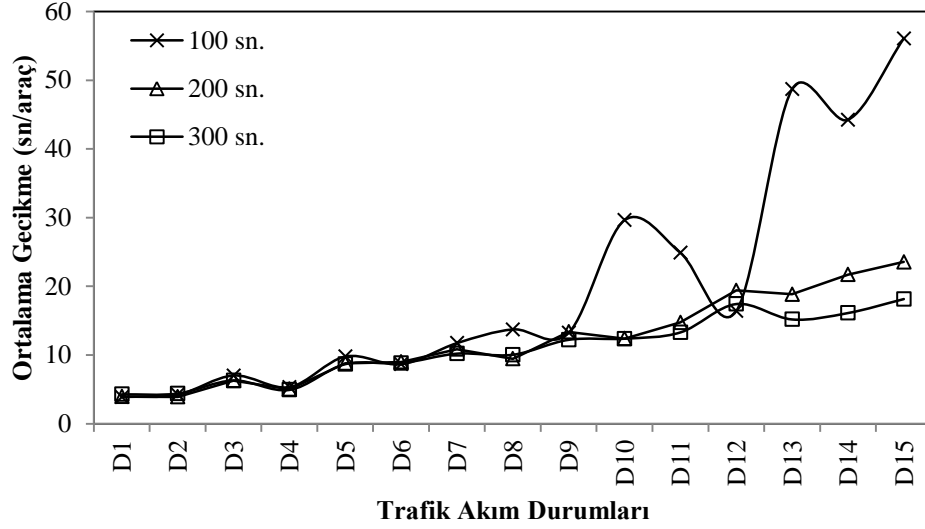
Değişkenler	Üç Kollu Kavşak	Dört Kollu Kavşak
$Böl_{yak}As_{yf}$	[0 68]	[0 68]
$TopAs_{kf}$	[0 133]	[0 266]
$Böl_{kuy}As_{yf}$	[0 53]	[0 53]
$S_{uzat}$	[7 12]	[7 12]



**Şekil 7.6.** Dört kollu kavşak YS-BMM' ye ait bulanık kümeleri.

BS-KM fazların bekleme sürelerini hesaplamakta ve bekleme süresini aşan faza bir sonraki yeşil ışık hakkını vermektedir. Bu modüle ait  $S_{mxbekle}$  süresinin belirlenmesi sürücünün kırmızı ışık karşısında ki davranışı ile ilgili olması nedeniyle trafik psikoloji ile ilgili araştırma konusuna girdiği düşünülmektedir. Fakat kullanılan en fazla devre süresileri A.B.D ve Türkiye' de 180 sn. iken Avusturalya' da 300 sn. ye kadar çıkabilmektedir. Kullanılan benzetim kavşaklarında 100 sn., 200 sn. ve 300 sn.  $S_{mxbekle}$  sürelerinin ortalama gecikme değerlerine olan etkileri, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8' de verilmiştir.

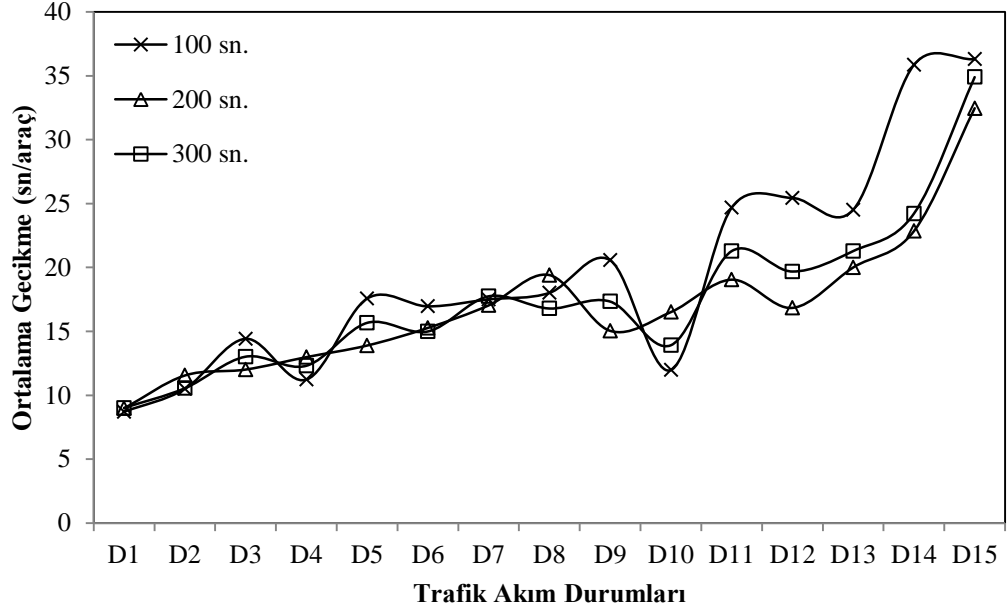




**Şekil 7.7.** Üç kollu kavşak için farklı en fazla bekleme sürelerinin etkileri.

Üç kollu kavşakta, 100 sn.  $S_{mxbekle}$  değeri, Çizelge 7.2’ de verilen D10’ dan sonra trafik akım değerinin artması ile artışa geçerek, en yoğun akım durumu olan D15’ de 56 sn./araç değerine ulaştığı Şekil 7.7’ den anlaşılmaktadır.. En fazla bekleme süresinin 300 sn. olması durumunda ise gerek düşük akım değerlerinde gerekse yüksek akım değerlerinde, düşük gecikmeler ürettiği gözlenmiştir. 200 sn. ise D12 durumundan sonra 3~5 sn. arasında yüksek gecikme değerleri vermiştir. Bu durumda  $S_{mxbekle}$  süresinin artması ile yüksek akım durumlarında daha düşük gecikme değerlerinin üretilebileceği düşünülebilir. Fakat sürücülerin yüksek bekleme sürelerine olan ışık ihlali yapma eğilimleri göz önüne alınarak  $S_{mxbekle} = 200$  sn. olarak kabul edilmiştir.

Dört kollü kavşak için bakıldığında,  $S_{mxbekle}$  100 sn. için D12’ değerinden sonra yüksek miktarda artış gösterdiği Şekil 7.8’ den gözlenmiştir. 200 sn. ile 300 sn. değerleri ise hemen hemen aynı sonuçları ürettiği anlaşılmıştır. Bu durumda dört kollü kavşak içinde  $S_{mxbekle} = 200$  sn. kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır.



**Şekil 7.8.** Dört kollü kavşak için farklı en fazla bekleme sürelerinin etkileri

#### 7.4. Sinyal Denetim Sistemlerinin Karşılaştırmaları

Geliştirilen BMT-SDS1, TU-SDS ve OZ-SDS, Şekil 7.1 ve Şekil 7.2' de verilen kavşaklar üzerinde benzetim çalışması yapılarak Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3' de verilen trafik akım durumlarına göre karşılaştırılmıştır.

##### 7.4.1. Yapılan Kabuller

Benzetim çalışmalarında şu kabuller yapılmıştır:

1. Benzetim çalışması 15 dakikadır.
2. Çalışmada kullanılan bütün araçlar otomobil olup uzunlukları eşittir.
3. Yayalar fazlar arası sürede geçiş yapmaktadır.
4. Sürücüler herhangi bir ışık ihlali yapmamaktadır.
5. Doygun akım 1900 araç/saat dir.
6. Sağ ve sol dönüş oranları % 5 dir.

7. İlk kalkış kaybı 3,6 sn 'dir.
8. Sistemde ki serbest hız değeri 55 km/saat' dir.
9. Kayıp süreler sarı ışık: 3 sn. ve her yöne kırmızı ışık: 1 sn. olarak alınmıştır.
10. Şerit genişlikleri 3,6 m' dir.

#### 7.4.2. Kullanılan Trafik Akım Durumları

Benzetimde kullanılan kavşaklar için trafik hacimleri 100 araç/saat ile 1000 araç/saat arasında değişen 15 adet farklı trafik akım durumunu gösteren senaryolar oluşturulmuş ve oluşturulan bu senaryolar Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3' de verilmiştir. Üç kollu kavşakta, 1 ve 2 no.lu kollardan gelen akım değerleri, 3' no.lu tali yaklaşım kolunun; dört kollu kavşakta ise 1 ve 2 no.lu kollar, 3 ve 4 no.lu kolların katları şeklinde düzenlenmiştir. Böylelikle hem farklı trafik akım değerleri hem de kollar arasındaki farklı akım oranlarının etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

**Çizelge 7.2.** Üç kollu kavşağa ait trafik akım senaryoları.

Üç Kollu Kavşak Yaklaşım Kolları			
Senaryo	1	2	3
D1	100	100	100
D2	200	200	100
D3	200	200	200
D4	300	300	100
D5	300	300	300
D6	400	400	200
D7	400	400	400
D8	600	600	200
D9	600	600	300
D10	600	600	600
D11	800	800	400
D12	1000	1000	200
D13	1000	1000	600
D14	1000	1000	800
D15	1000	1000	1000

**Çizelge 7.3.** Dört kollu kavşağa ait trafik akım senaryoları.

Dört Kollu Kavşak Yaklaşım Kolları				
Durum	1	2	3	4
D1	100	100	100	100
D2	200	200	100	100
D3	200	200	200	200
D4	300	300	100	100
D5	300	300	300	300
D6	400	400	200	200
D7	400	400	400	400
D8	600	600	200	200
D9	600	600	300	300
D10	800	800	100	100
D11	800	800	400	400
D12	900	900	300	300
D13	1000	1000	200	200
D14	1000	1000	400	400
D15	1000	1000	1000	1000

İncelenen üç farklı sinyal denetim sisteminin karşılaştırılması için, her akım durumu için 300 farklı geliş aralığı değerinin ürettiği ortalama araç başına düşen gecikme değerlerinin aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Üç kollu ve dört kollu kavşaklar için OZ-SDS, TU-SDS ve BMT-SDS ile oluşturulan farklı geliş aralıklarına ait gecikme değişim grafiklerinin oluşturulması için Eşitlik 7.5 kullanılmıştır. Araç başına düşen ortalama gecikmelerin ortalama değerleri, tekrar sayısının artmasına paralel olarak nihai ortalamaya yaklaşmakta olduğu ve eğilim çizgisinin yataylaştığı, Ek 3' den Ek 7' e kadar olan grafiklerden anlaşılmaktadır.

$$d_{ort}^* = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (d_{ort})_i \quad (7.5)$$

Burada:

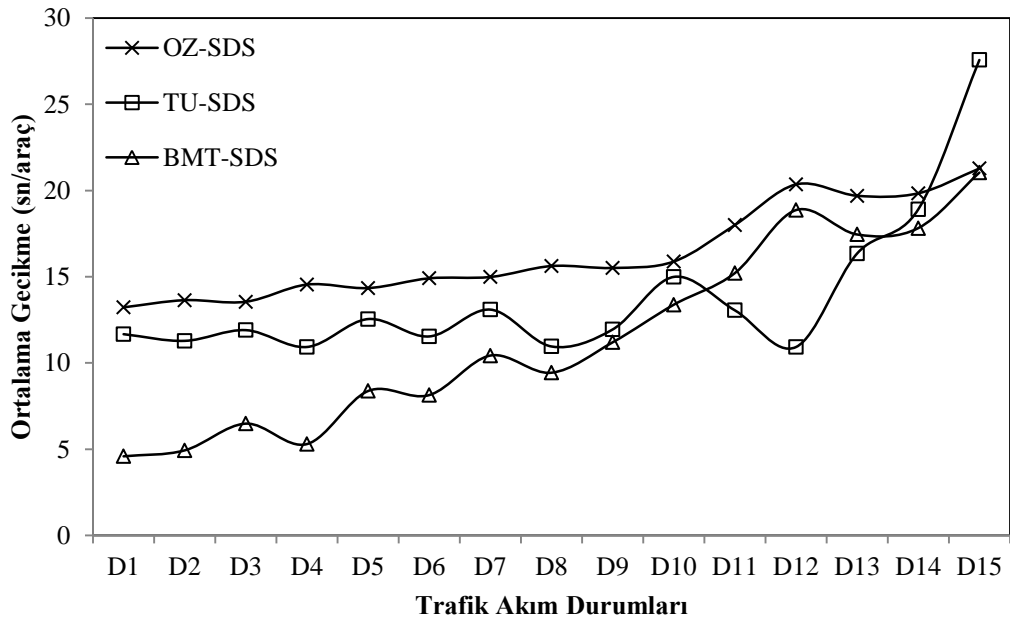
$d_{ort}^*$ : Araç başına düşen ortalama gecikmelerin ortalaması (sn./araç).

$d_{ort}$ : Araç başına düşen ortalama gecikme (sn./araç).

n:Tekrar sayısı.

### 7.4.3. Üç Kollu Kavşak için Karşılaştırmalar

Üç kollu kavşakta OZ-SDS, D1 için 13,22 sn./araç gecikme değeri ile başlayıp, D10' a kadar hafif eğim ile gecikme değerlerinde artış göstermiştir. Ana yöndeki trafik hacminin 800 araç/saat olması ile birlikte, gecikme değeri, D12 noktasında durumlar için en yüksek değer olan 20,35 sn./araç' a ulaşmıştır. D12 noktası, tali yol ile anayol arasında ki farkın en fazla olduğu trafik durumu olmasından yola çıkarak, OZ-SDS' in kollar arası hacim farklarının fazla olduğu durumlarda gecikme değerleri arttırdığı söylenebilir. Bu artışın D4, D6 ve D8' da, D12 noktasındaki kadar belirgin olmamakla birlikte Şekil 7.9' dan anlaşılmaktadır.



Şekil 7.9. Üç kollu kavşak için farklı sinyal denetim sistemlerinin karşılaştırılması.

TU-SDS, D1 için 11,66 sn./araç ile başlayıp dalgalanma yaparak D15 için 27,56 sn./araç değerine ulaştığı Şekil 7.9' dan anlaşılmaktadır. Hacim değerlerinin nispeten küçük olduğu değerlerde dalga genlikleri kısa iken hacim değerlerinin artması ile birlikte genlik değerinde artış olduğu görülmüştür. Kollar arasındaki farkların aynı ya da küçük olduğu: D1, D3, D5, D7, D10, D13, D14 ve D15 noktaları bu dalgalanın tepelerini oluştururken; hacim fark katlarının iki yada daha fazla olduğu D2, D4, D6,

D8, D9, D11 ve D12 noktaları vadilerini oluşturduğu net olarak Şekil 7.9' den anlaşılmaktadır. D12 noktası ana yüksek hacim değerlerine sahip olmasına rağmen, kollar arası hacim farkının en fazla olduğu durum olması nedeniyle bütün durumlar içerisinde TU-SDS için en küçük gecikme değerini üretmiştir.

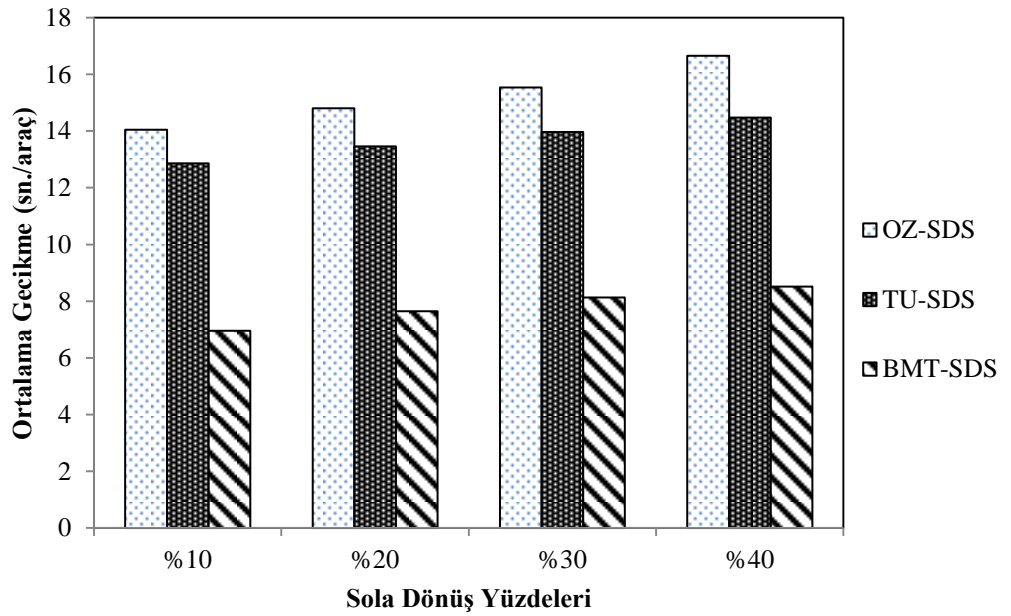
BMT-SDS1, D1 durumunda 4,58 sn./araç gibi diğer sinyal denetim sistemlerine göre oldukça küçük gecikme değeri ürettikten sonra, D15 için 21,03 sn./araç değeri üretmiştir. D1 ile D8 arasında dalgalı artış gösteren sistem, D8 ile D12 arasında doğrusal bir artış göstermiştir. D12 değerinden sonra D13 ve D14 için düşüş gösterdikten sonra D15 noktasında en yüksek değerine ulaşmıştır.

BMT-SDS1 ile OZ-SDS üç kollu kavşak için karşılaştırıldığında, D15 haricinde göze alınan durumlar için BMT-SDS1' in %7,3 ile % 65,3 arasında yüksek performanslar ürettiği gözlenmiştir. En büyük performans farklarının oranlarının, düşük hacimli durumlarda olduğu; hacim değerinin OZ-SDS' in sinyal süreleri ayarlanan D15' e yaklaştığı durumlarda ise bu farkın düştüğü anlaşılmıştır. D15 durumunda ise BMT-SDS1 gecikme değerinde % 1,1 lik bir iyileşme gösterebilmiştir.

BMT-SDS1 ile TU-SDS karşılaştırıldığında, D11,D12 ve D13 durumları haricinde, BMT-SDS1' in düşük gecikme değerleri ürettiği Şekil 7.9' den anlaşılmaktadır. En yüksek fark % 60 ile D1' de oluşurken; en düşük fark ise % 1 ile D10' da oluşmuştur. Düşük akım durumlarında BMT-SDS1' in TU-SDS' e göre oldukça iyi çalıştığı ancak hacim değerlerinde ki yükselmenin BMT-SDS1' i daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır. TU-SDS' in daha iyi performans gösterdiği durumlarda D12' de yüksek hacimli ana yol ile, düşük hacimli tali yollarda TU-SDS' in daha iyi olduğu görülmüştür. D11 ve D13 durumlarında ise fark çok daha düşük oluşmuştur. En yüksek araç hacmine sahip D15' de ise % 23' lük BMT-SDS1 lehine bir fark olduğu gözlenmiştir.

### 7.4.3.1 Üç Kolu Kavşakta Farklı Sola Dönüş Oranlarının Etkileri

Bu bölümde karşılaştırılan sinyal denetim sistemlerinin, farklı sola dönüş oranları olması halinde ki etkileri, üç kollu kavşakta bütün kollardan aynı akımların geldiği D3, D10 ve D15 durumları için araştırılmıştır. Her bir durum için % 10, % 20, % 30 ve % 40 sola dönüş oranları ele alınmıştır. Bütün kollardan aynı akımların seçilmesi ile sola dönüş oranlarının değişmesinin, gecikme üzerinde ki etkisinin net olarak görülmesi amaçlanmıştır.

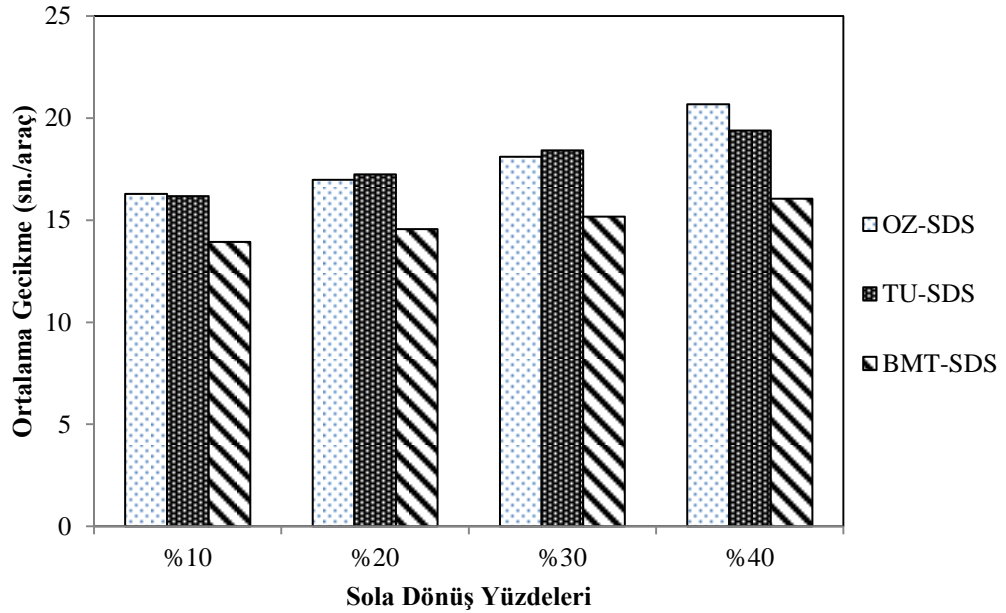


**Şekil 7.10.** Üç kollu kavşak için D3 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri.

Üç kollu kavşak için seçilen, D3, D10 ve D15 durumlarında, sırasıyla bütün yönlerden 200 araç/saat, 600 araç/saat ve 1000 araç/saat' lik hacimler bulunmaktadır. Bu durumlar düşük, orta ve yüksek hacim durumlarındaki değişimin gözlenebilmesi için uygun bulunmuştur.

D3 durumu Şekil 7.10 yardımıyla incelendiğinde, sola dönüş oranlarının artmasına karşılık incelenen bütün sinyal denetim sistemlerinin gecikme değerlerinde artış

olduğu görülmüştür. OZ-SDS, TU-SDS ve BMT-SDS1' in % 10 olan başlangıç sol dönüş oranının % 40 çıkması ile oluşan gecikme artış farkları sırasıyla 2,60 sn./araç, 1,62 sn./araç, 1,56 sn./araç oluşmuştur. Sola dönüş oranının artması sonucunda bütün sistemlere ait gecikme değerlerinin yükseldiği gözlenmiştir. OZ-SDS gecikme değerleri, sol dönüş oranı % 10' dan % 30' a ulaşınca kadar % 4 ile % 5 arasında bir önceki sol dönüş oranına göre artış göstermiştir. Buna karşın % 30' dan % 40 sol dönüş oranına çıkıldığında bu artış % 16,5 için seviyesine yükselmiştir. TU-SDS ve BMT-SDS içinde % 40 sol dönüş oranına çıkıldığında, ortalama gecikme değerleri % 30 ve önceki değerlere göre artış oranları 2 ile 3 kat arasında yükselmektedir.

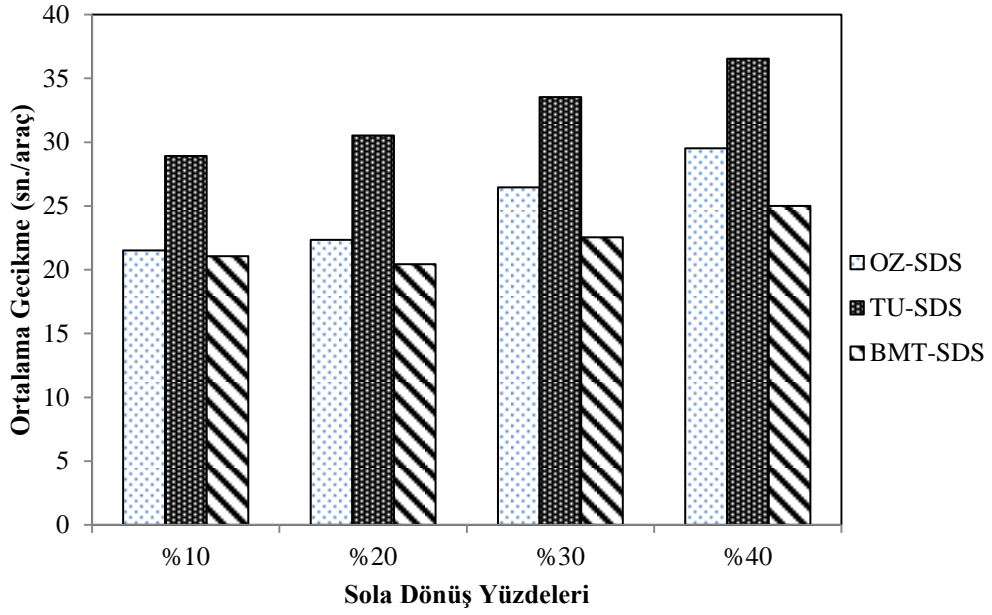


**Şekil 7.11.** Üç kollu kavşak için D10 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri.

D10 durumda da bütün denetim sistemlerinin sol dönüş oranının artışına bağlı olarak gecikme değerlerinin arttığı Şekil 7.11' den anlaşılmıştır. OZ-SDS, TU-SDS ve BMT-SDS1' in % 10 olan başlangıç sol dönüş oranının % 40 çıkması ile oluşan gecikme artış farkları OZ-SDS, TU-SDS ve BMT-SDS1 için sırasıyla 4,39 sn./araç, 3,21 sn./araç, 2,11 sn./araç olarak bulunmuştur. Bu farkların oransal değerleri ise sırasıyla % 21, % 16 ve % 13 olarak hesaplanmıştır. OZ-SDS sol dönüş oranının % 20'



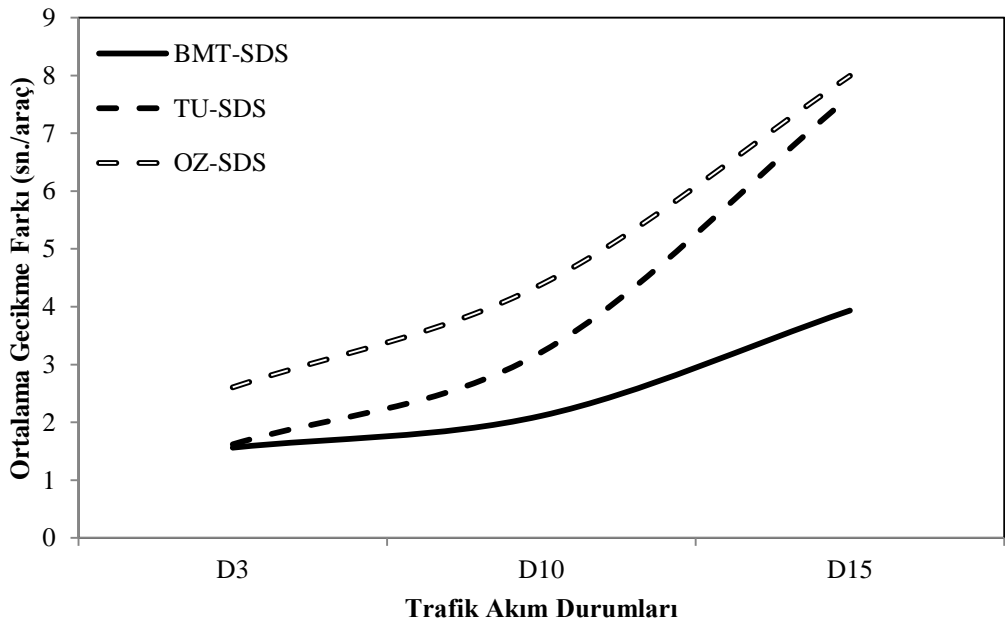
den % 30'a çıkış sırasında gecikme miktarı % 6,20 artarken,% 30' dan % 40' a çıkmasıyla oran ikiye katlanarak, % 12,41' e çıkmıştır. Aynı durum için TU-SDS' in ve BMT-SDS1 farklı davrandığı gözlenmiş olup, % 30' dan % 40 çıkış sırasında, TU-SDS' in % 1,3 kadar düştüğü, BMT-SDS1' in ise % 1 kadar yükseldiği anlaşılmıştır. Ayrıca OZ-SDS % 10 için TU-SDS' e göre daha iyi çalışmasına rağmen sol dönüş oranındaki artmasıyla gecikme değerini daha fazla arttırdığı ve % 40 için daha yüksek gecikme değerleri ürettiği anlaşılmıştır.



**Şekil 7.12.** Üç kollu kavşak için D15 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri.

D15 için bütün denetim sistemlerinin, sol dönüş oranının artışına bağlı olarak gecikme değerlerinin arttığı Şekil 7.12' den anlaşılmıştır. Ancak BMT-SDS1 % 10 ile % 20 arasında % 3' lük gecikme değerinde azalma göstermiştir. OZ-SDS, TU-SDS ve BMT-SDS1' in % 10 olan başlangıç sol dönüş oranının % 40 çıkması ile oluşan gecikme artış farkları OZ-SDS, TU-SDS ve BMT-SDS1 için sırasıyla 7,99 sn./araç, 7,63 sn./araç, 3,93 sn./araç olarak oluşmuştur. Bu değerler, BMT-SDS1' in OZ-SDS' e göre % 103; TU-SDS' e göre ise % 94 daha az sol dönüşten etkilendiğini göstermektedir.

Sol dönüş oranının % 10' dan % 40' a çıkması durumlarında, ele alınan durumlar içerisinde trafik hacminin artmasından en az BMT-SDS1' in etkilendiği Şekil 7.13' den açıkça görülmüştür. TU-SDS ile olan fark % 10 seviyelerinde hemen aynı iken trafik hacminin artması ile TU-SDS' in gecikme miktarının artmaya başladığı ve bütün yönlerden 1000 araç/saat' lik akımın geldiği D15 durumunda OZ-SDS' i yakaladığı gözlenmiştir.



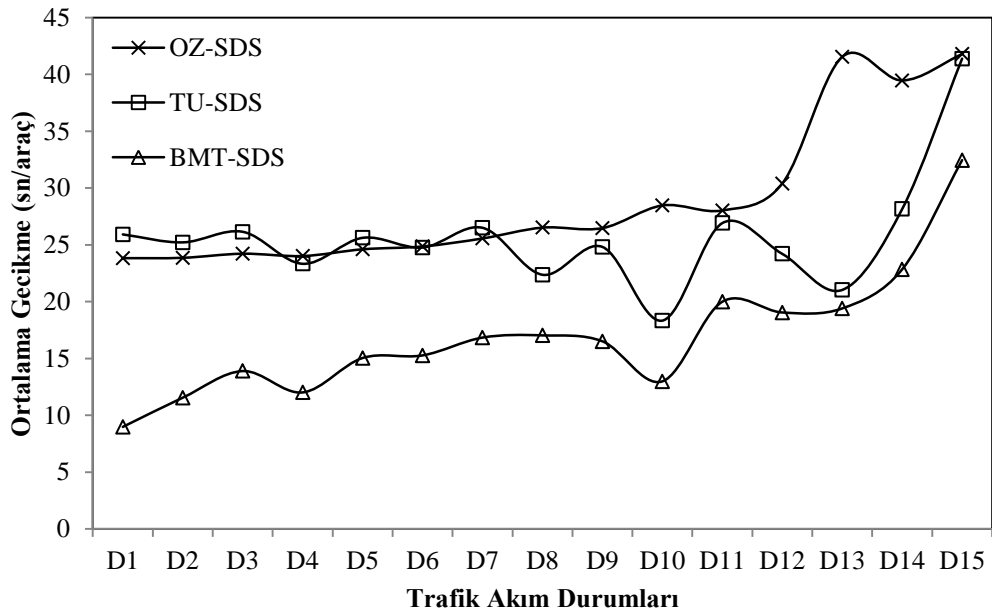
**Şekil 7.13.** Üç kollu kavşakta sol dönüş oranının % 10' dan % 40' a çıkması durumunda oluşan ortalama gecikme fark eğrileri.

#### 7.4.4. Dört Kollu Kavşak için Karşılaştırmalar

Benzetim çalışmalarında kullanılan dört kollü sinyalizasyon kavşak için yapılan çalışmalarda, OZ-SDS, D1' den D11' e kadar gecikme değerleri hafif eğimli bir artış göstermiştir. Ana yönde 900 araç/saat' lik Doğu-Batı hacmi ile 300 araç/saat' lik Kuzey-Güney araç hacminden oluşan D12' den sonra ise dikey yönde artan gecikmelerin D15' de 41,79 sn/araç değerine ulaştığı Şekil 7.14' den gözlenmiştir.

Kollar arası hacim farkının en fazla olduğu ve Çizelge 7.2’ de verilen D13 durumunda ve en fazla hacme sahip D15 durumlarında gecikme değerlerinin pik yaptığı görülmüştür.

Şekil 7.14’ den, TU-SDS, D1’ den D7’ ye kadar olan durumlarda, gecikme değerleri hafif dalgalanmalar göstermiştir. D7 ile D13 arasında ise dalga genlikleri büyümüş, ardından D15’ e kadar artan bir seyir izlemiştir. Üç kollu kavşak ile benzer şekilde kollardan gelen akım değerlerinin birbirine yaklaştığı, D1, D3, D5, D7, D9, D11 ve



**Şekil 7.14.** Dört kollu kavşak için farklı sinyal denetim sistemlerinin karşılaştırılması.

D15, dalgaların tepe noktasını oluştururken; D2, D4, D6, D8, D10, D12, D13, D14 noktaları vadi bölgelerini oluşturmuştur. D9 ve D11 noktaları, kollar arasında hacimsel farklar iki katı olmasına rağmen dalgaların tepe bölgelerinde kalmıştır. Bu durumdan TU-SDS için, yüksek trafik hacim değerlerinde nispeten düşük gecikme değerleri elde etmek için kollar arasında daha yüksek oranların olması gerektiği anlaşılmıştır.

BMT-SDS1, bütün kollardan 100 araç/saat' lik D1 durumunda, 8,97 sn./araç' lik gecikme değeri üretmesinin ardından, D3' e kadar yükselerek 13,89 sn./araç değerine ulaşmıştır. D4 durumu, Doğu-Batı yönünde 300 araç/saat, Kuzey-Güney yönünde ise 100 araç/saat' lik hacim değerlerinden oluşmaktadır. Yönler arasında üç kat bulunan bu durum için BMT-SDS1, gecikme değerini olarak düşürmesinden, yönler arası hacimsel farkların BMT-SDS1' i olumlu etkilediği anlaşılmıştır. Daha sonra, BMT-SDS1 gecikme eğrisi D5 ile D9 arasında yatay yakın bir eğim ile devam etmiştir. Yönler arasında sekiz kat olan D10 durumunda, tekrar gecikme eğrisini aşağı yöne çekmiştir. D9 ile D10 durumlarında, kavşağa giren toplam araç sayısı aynı olmasına rağmen, gecikme değerler arasında % 21' lik fark olduğu gözlenmiştir. BMT-SDS1 gecikme eğrisi D11 ile D13 arasında düz devam etmesinin ardından hacim değerinin yükselmesine paralel olarak yükselerek, D15 durumu için 32,45 sn./araç değerine ulaşmıştır.

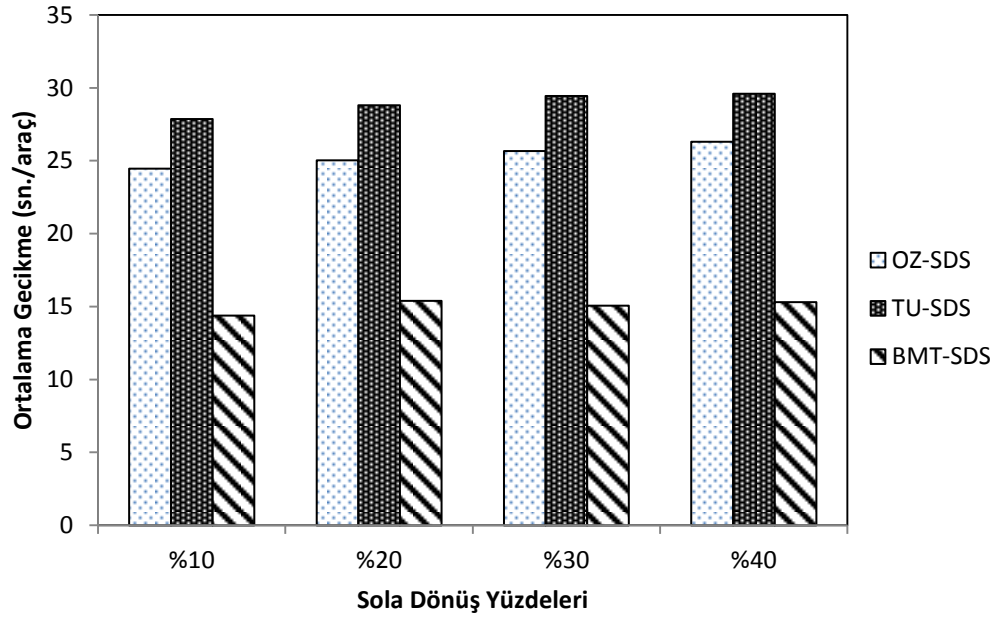
BMT-SDS1 ile OZ-SDS, karşılaştırıldığında, bütün göze alınan trafik durumları için BMT-SDS1' in düşük gecikme değerleri ürettiği Şekil 7.14' den anlaşılmaktadır. En büyük fark 22,13 sn./araç olarak, yönler arası hacimsel farkın yüksek olduğu D13' de oluşmuştur. Oluşan bu büyük farkın OZ-SDS' in yönler arasındaki farka verdiği negatif etkiden oluştuğu, BMT-SDS1 eğrisinin yataya yakın seyrederken, OZ-SDS' in yaptığı sıçramadan anlaşılmaktadır. En az fark ise 8,03 olarak, D11' de oluştuğu gözlenmiştir. Bu durumda ise yüksek farkın tersi olarak, BMT-SDS1 gecikme değerinin bir miktar yukarı yönelmesine karşılık oluştuğu söylenebilir. Ayrıca OZ-SDS' in D15' e göre ayarlanmasına rağmen, BMT-SDS1 ile arasında % 22,33' lük fark oluşmuştur.

BMT-SDS1 mevcut durumlar için TU-SDS' den dört kollu kavşak için daha iyi çalıştığı Şekil 7.14' den net olarak anlaşılmaktadır. En yüksek fark % 16,94 ile düşük hacimli D1' de meydana gelmiştir. En düşük fark ise Doğu-Batı yönünde yüksek hacimli ve Kuzey-Güney yönlerinde ise düşük hacimlere sahip D13' de % 1,62 olarak oluşmuştur. Her iki sinyal kontrol sisteminin de yönler arasındaki farkın artmasına olumlu tepki verdiği Şekil 7.14' deki D4, D10 ve D13 noktalarında meydana gelen aşağı yöne eğilim hareketinden anlaşılmaktadır. TU-SDS' in yönlerden gelen akım farklarından daha fazla etkilendiği, bu nedenle farklı yönlerden

aynı ya da yakın hacimlerin gelmesi durumlarında gecikme değerlerini fazla miktarda arttırdığı anlaşılmıştır. BMT-SDS1' ise gelen hacimlerin aynı olmasından çok fazla etkilenmediği ve düşük gecikme değerleri üretmeye devam ettiği anlaşılmıştır.

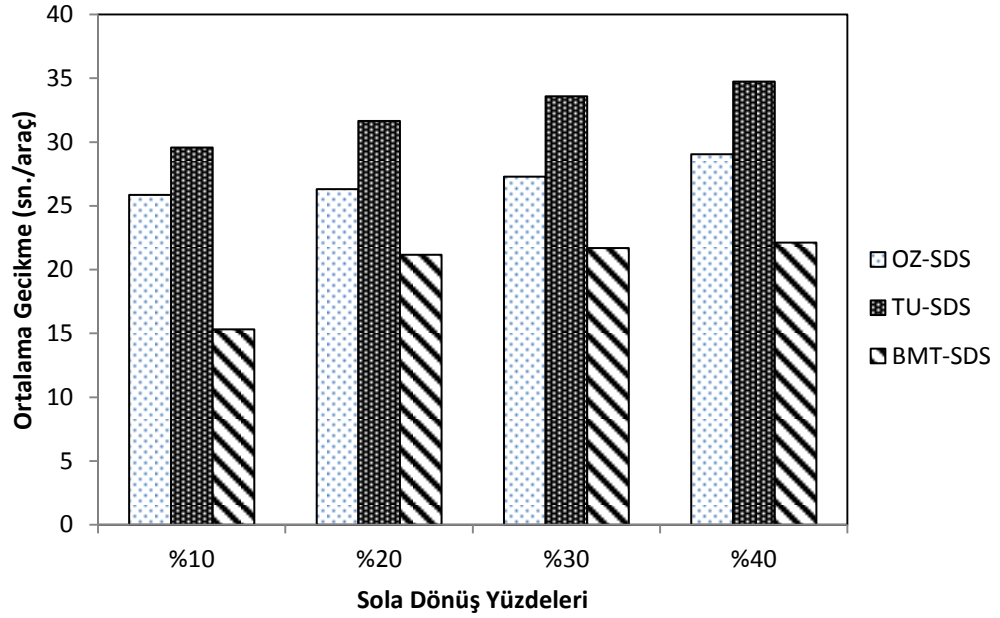
#### 7.4.4.1 Dört Kolu Kavşakta Farklı Sola Dönüş Oranlarının Etkileri

Dört kollu kavşaklarda sola dönüşlerin artması halinde kullanılan sinyal denetim sistemlerinin nasıl etkilendiğinin araştırılması için Çizelge 7.3' de verilen D3, D7 ve D15 akım durumları kullanılmıştır. Bu trafik akım durumlarının tamamında bütün kollardan kendi içlerinde eşit trafik akımı gelmektedir. D3, D7 ve D15 akımları bütün yönlerden sırasıyla 200 araç/saat, 400 araç/saat ve 1000 araç/saat' lik trafik hacimlerine sahiptir.



**Şekil 7.15.** Dört kollu kavşak için D3 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri.

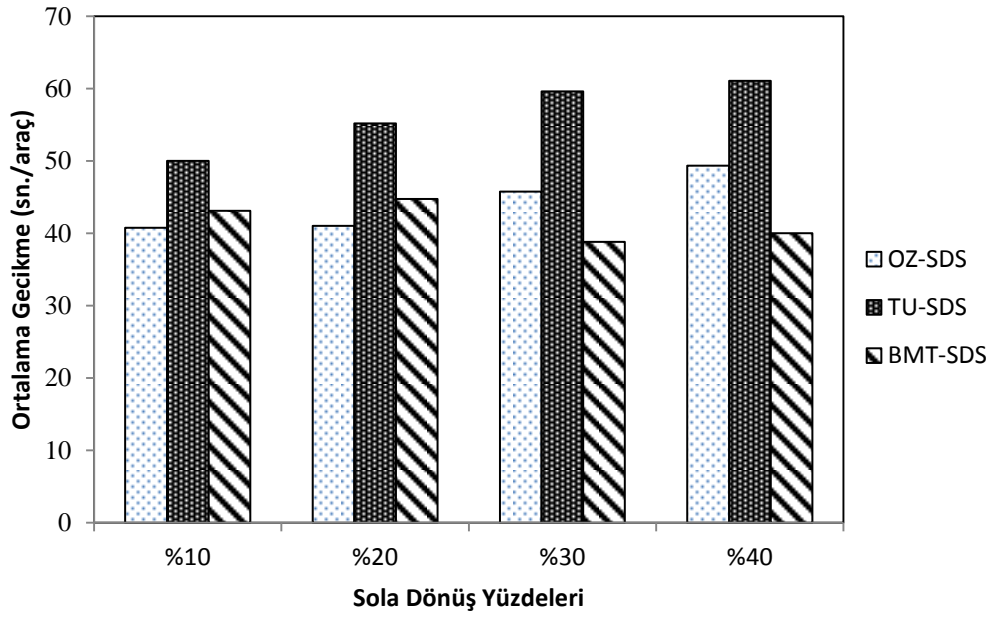
D3 durumu Şekil 7.15 yardımıyla incelenecek olursa, BMT-SDS1' in bütün farklı sol dönüşler için OZ-SDS için % 40; TU-SDS için % 48 civarlarında düşük gecikme değerleri ürettiği gözlenmiştir. OZ-SDS ise TU-SDS' e göre % 14 civarında daha iyi çalıştığı görülmüştür. Sol dönüş oranının artmasına sistemlerin verdikleri tepkiler kendi içlerinde incelenecek olursa; OZ-SDS' in her oran artışında 0,60 sn./araç civarında bir önceki orana göre gecikme fazlası ürettiği hesaplanmıştır. TU-SDS' in ise % 10 ile % 20 arasında 0,94 sn./araç olan fark; % 30 ile % 40 arasına 0,14 sn./araç' a gerilemiştir. BMT-SDS1 ise % 10 ile % 20 arasında 1,02 sn./araç' lık farkı, %20 ile % 30 arasında -0,33 sn./araç' a geriletmişti gözlenmiştir. Yani sol dönüş oranı artmasına rağmen gecikme değerlerini düşürmüştür. Son olarak % 30 ile % 40 arasındaki fark ise 0,23 sn./araç bulunmuştur.



**Şekil 7.16.** Dört kollu kavşak için D7 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri.

D7 durumunda BMT-SDS1' in önceki karşılaştırmalara benzer olarak, diğer sistemlerden daha iyi çalıştığı Şekil 7.15' den net olarak anlaşılmıştır. BMT-SDS1, OZ-SDS' e göre % 23; TU-SDS' e göre ise % 36 oranında düşük gecikmeler üretmiştir. BMT-SDS1' in sol dönüş oranının % 10' dan % 20' ye geçişinde 5,85

sn./araç'lık bir artış gösterdiği ardından gelen artışların ise 1 sn./araç' tan düşük olduğu ve değişmediği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, sol dönüş oranı artışının, orta akım durumu olarak değerlendirilebilecek olan bu akım durumu için, BMT-SDS1 gecikme değerlerini değiştirmedeği söylenebilir. Ele alınan bütün akım durumları gibi D6 durumunda da bütün yönlerden aynı hacimlerin gelmesi, TU-SDS' i olumsuz etkileyerek, OZ-SDS' den daha düşük performanslı çalışmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

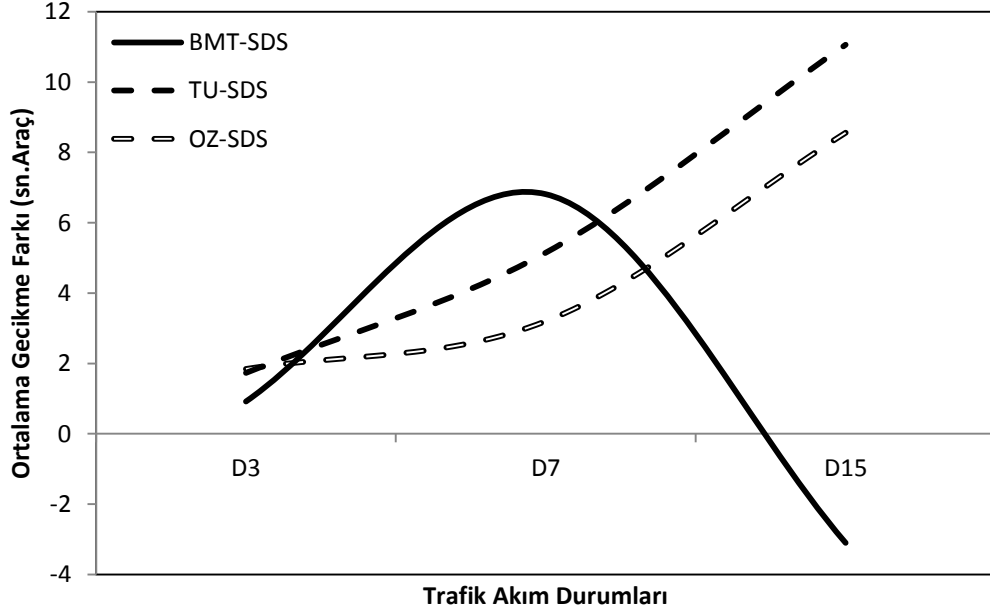


**Şekil 7.17.** Dört kollu kavşak için D15 farklı sol dönüşlere bağlı araç başına düşen gecikme değerleri.

D15 durumu, kollardan en yüksek araç hacminin geldiği durumdur. Ayrıca OZ-SDS, bu durumun en kritik akım olması nedeniyle, bu duruma göre sinyal süreleri düzenlenmiştir. % 10 ve % 20 luk sol dönüş durumlarında, OZ-SDS' in, sırasıyla 2,33 sn./araç ve 3,72 sn./araç kadar BMT-SDS1' e göre daha düşük gecikmeler ürettiği görülmüştür. Fakat % 30 ve % 40 sol dönüş oranları için bu durumun BMT-SDS1 lehine değiştiği Şekil 7.17' den anlaşılmıştır.

Sol dönüş oranının % 10' da % 40' a çıkması durumunda D3, D7 ve D15 durumlarında sistemler için ortaya çıkan gecikme farkları Şekil 7.18' de verilmiştir. Üç kollu

kavşaktan farklı olarak, OZ-SDS' in TU-SDS' e göre daha etkilendiği anlaşılmıştır. BMT-SDS1 ise D7 durumu haricindeki durumlarda, farkı diğer sistemlerden düşük tutmuş olup, D15 durumda % 40 dönüş oranında, % 10' a göre daha düşük gecikme değeri üretmiştir.



**Şekil 7.18.** Dört kollü kavşakta sol dönüş oranının % 10' dan % 40' a çıkması durumunda oluşan ortalama gecikme fark eğrileri.



## 8- BULANIK MANTIK TABANLI SİNYAL DENETİM SİSTEMİ OPTİMİZASYONU

### 8.1. Genel

BMT-SDS' in farklı trafik akım durumları için en iyileme çalışması bu bölüm altında tartışılmıştır. İlk olarak, Bölüm 5' de detayları verilen ve bulanık girdilerin ana sınırları olarak tanımlanan  $[\alpha \beta]$  değerlerinin BM-SAP ile elde edilmesine ait sonuçlar Bölüm 8.2' de verilmiştir. Daha sonra Bölüm 8.3' de GA ile üyelik fonksiyonlarının farklı popülasyon sayıları ve çaprazlama oranları ile iyilenmesine ait sonuçlar tartışılmıştır. Son olarak elde edilen optimize edilmiş bulanık mantık tabanlı sinyal denetleyicisi (BMT-SDS3) ile optimize edilmemiş BMT-SDS1 karşılaştırılarak, sonuçlar değerlendirilmiştir.

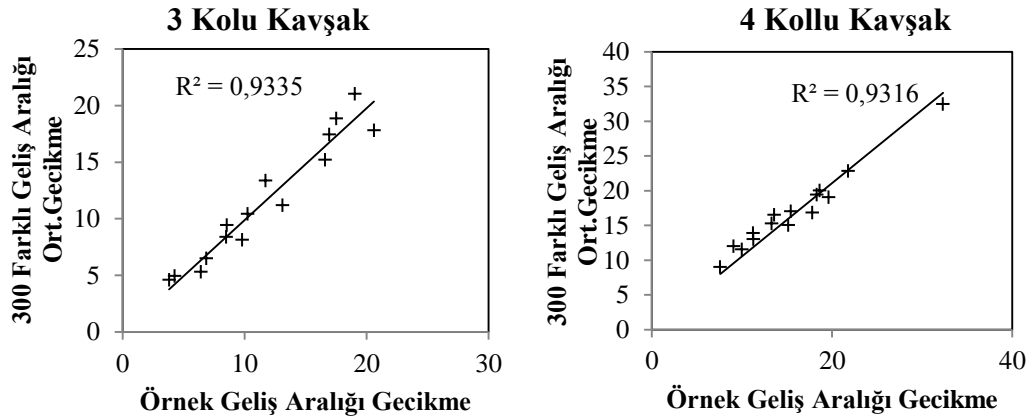
### 8.2. BM-SAP ile Bulanık Küme Sınırlarının En iyilenmesi

BMT-SDS' i oluşturan modüllerden YS-BMM ve US-BMM' nin girdi değişkenlerine ait  $[\alpha \beta]$  değerleri, ilk olarak BM-SAP ile ele alınan durumlar için tespit edilmiştir. Benzetim çalışmasında, Bölüm 7' den farklı olarak ortalama gecikme hesabı için 300 farklı geliş aralığının ortalaması yerine, tek bir örnek geliş aralığı durumu ele alınmıştır. Böylece en iyileme sürecinin etkisi net olarak görülmüştür. Şekil 8.1' den 300 farklı geliş aralığı ile örnek geliş aralığı durumunda, farklı trafik akım durumları için üretilen araç başına düşen ortalama gecikme değerlerine ait saçılım grafiği ve  $R^2$  değerlerinden, örnek araç geliş aralığının yüksek oranda ortalama ile benzeştiği anlaşılmıştır.

BM-SAP ile yapılan çalışmanın sonucunda oluşan ana sınır değerleri, üç kollu kavşak için Çizelge 8.1' de; dört kollu kavşak için ise Çizelge 8.2' de verilmiştir.

**Çizelge 8.1.** Üç kollu kavşak bulanık modüllerine ait  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri.

	YS-BMM						US-BMM							
	Böl <sub>kuy</sub> A <sub>svf</sub>		Böl <sub>kuy</sub> A <sub>skf</sub>		Sy		Böl <sub>yak</sub> A <sub>svf</sub>		TopAskf		Böl <sub>kuy</sub> A <sub>svf</sub>		Suzat	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
<b>D1</b>	0	26	0	39	11	27	0	38	0	46	0	38	3	14
<b>D2</b>	0	44	0	58	10	23	0	36	0	99	0	45	3	10
<b>D3</b>	0	9	0	5	11	24	0	56	0	42	0	39	4	12
<b>D4</b>	0	44	0	52	11	22	0	57	0	68	0	34	4	11
<b>D5</b>	0	34	0	20	10	30	0	58	0	52	0	39	4	12
<b>D6</b>	0	19	0	18	12	30	0	55	0	54	0	42	3	13
<b>D7</b>	0	21	0	51	10	25	0	42	0	88	0	42	5	12
<b>D8</b>	0	39	0	22	11	26	0	63	0	102	0	41	5	11
<b>D9</b>	0	53	0	46	11	26	0	59	0	25	0	40	3	10
<b>D10</b>	0	48	0	36	10	29	0	59	0	34	0	39	4	11
<b>D11</b>	0	51	0	7	15	21	0	42	0	117	0	47	4	11
<b>D12</b>	0	35	0	51	10	27	0	42	0	129	0	46	3	14
<b>D13</b>	0	52	0	35	10	20	0	54	0	48	0	38	5	13
<b>D14</b>	0	34	0	54	11	26	0	41	0	62	0	41	3	14
<b>D15</b>	0	50	0	63	11	20	0	54	0	50	0	51	4	10



**Şekil 8.1.** Benzetim kavşaklarına ait 300 farklı geliş aralığı gecikmesi ile örnek geliş aralığı gecikmelerine ait dağılımları.

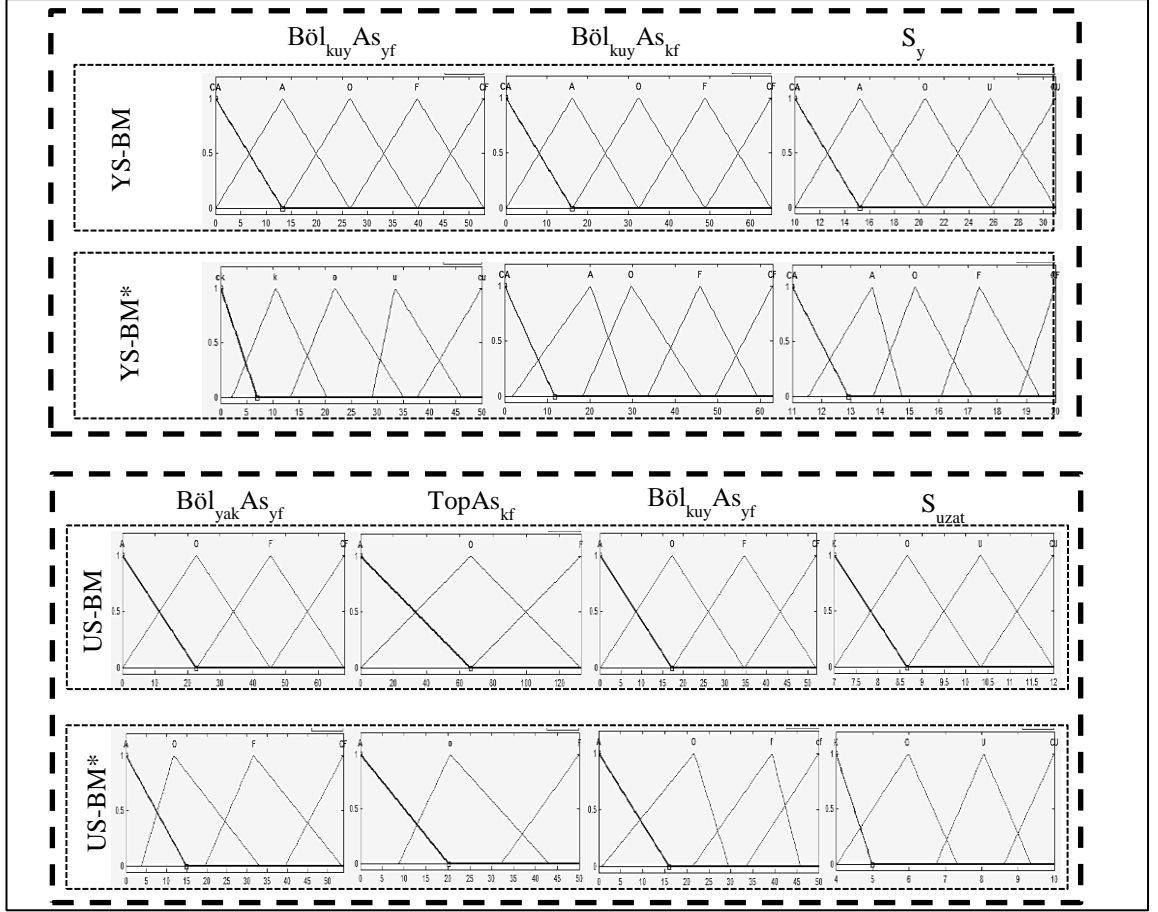
**Çizelge 8.2.** Dört kollu kavşak bulanık modüllerine ait  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri.

	YS-BMM						US-BMM							
	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>yf</sub>		Böl <sub>kuy</sub> As <sub>kf</sub>		S <sub>y</sub>		Böl <sub>yak</sub> As <sub>yf</sub>		TopAs <sub>kf</sub>		Böl <sub>kuy</sub> As <sub>yf</sub>		S <sub>uzat</sub>	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
<b>D1</b>	0	42	0	67	12	25	0	26	0	185	0	46	4	11
<b>D2</b>	0	19	0	123	12	21	0	39	0	183	0	41	4	11
<b>D3</b>	0	18	0	68	11	26	0	49	0	93	0	39	4	12
<b>D4</b>	0	48	0	113	10	30	0	65	0	264	0	43	4	11
<b>D5</b>	0	45	0	10	12	29	0	63	0	182	0	41	4	12
<b>D6</b>	0	38	0	60	11	20	0	19	0	120	0	33	3	14
<b>D7</b>	0	34	0	89	11	25	0	24	0	78	0	40	4	14
<b>D8</b>	0	46	0	13	10	20	0	63	0	165	0	44	3	14
<b>D9</b>	0	31	0	104	10	26	0	68	0	137	0	21	3	10
<b>D10</b>	0	31	0	92	13	26	0	63	0	67	0	16	3	12
<b>D11</b>	0	30	0	63	11	25	0	47	0	120	0	14	3	11
<b>D12</b>	0	51	0	45	11	22	0	50	0	94	0	21	5	14
<b>D13</b>	0	27	0	121	12	21	0	66	0	132	0	36	4	11
<b>D14</b>	0	51	0	20	10	22	0	63	0	31	0	49	4	14
<b>D15</b>	0	46	0	35	11	26	0	12	0	157	0	45	4	11

### 8.3. Genetik Algoritma ile Üyelik Fonksiyonlarının En iyilenmesi

Bölüm 7’ de detaylı olarak açıklanan, üçgen tip üyelik fonksiyonlarının alt, orta ve üst değerlerinin GA kullanılarak değiştirilmesi ve en iyilenmesi adımı, bu bölümde üç ve dört kollu kavşaklar için uygulanmıştır. Göze alınan 15’ er adet trafik akım durumu için ana sınır değerleri olan  $[\alpha \beta]$  değerlerinin saptanması BM-SAP ile yapıldıktan sonra bu sınırlar içerisinde, üçgen üyelik fonksiyonları GA ile optimize edilmiştir.

GA ile en iyi değerlerin araması yapılırken, 25, 35 ve 45 olmak üzere üç farklı popülasyon büyüklüğü denenmiştir. Her bir popülasyon ayrıca 0,5, 0,7, ve 0,9 olmak üzere yine üç farklı çaprazlama oranı kullanılmıştır. Mutasyon yüzdesi ise  $1/n_{pop}$  olarak şekilde her popülasyon büyüklüğü için oluşturulmuştur. Her bir durum için 9 (3x3) farklı en iyileme yapılmıştır. 2 farklı kavşak ve her bir kavşak için 15 durum için toplam 270 (9x15x2) adet en iyileme çalışması gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 8.2.** Üç kollu kavşak D15 için farklı popülasyon ve çaprazlama oranları ile oluşan  $G_{ort}$  değerleri.

Optimizasyonun ardından elde edilen bulanık küme şekillerine örnek olması açısından üç kollü kavşak D15 durumu bulanık kümeleri Şekil 8.2’ de verilmiştir. Şekilde verilen YS-BMM\* ve US-BMM\*, GA ile optimize edilmesinden sonra üyelik fonksiyonlarında oluşan yeni sınır değerlerini göstermektedir. Elde edilen yeni üyelik fonksiyonlarına ait değerler Ek 10’ da sayısal olarak ayrıca verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere simetrik üyelik fonksiyonlarına ait değerler değişmiş, simetrik olmayan fakat daha düşük gecikme değerleri üreten fonksiyonlar elde edilmiştir.

**Çizelge 8.3.** Üç kollu kavşak için farklı popülasyon ve çaprazlama oranları ile oluşan  $G_{ort}$  değerleri.

Trafik Akımları	Popülasyon Sayısı ve Çaprazlama Oranı								
	25			35			45		
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
<b>D1</b>	2,41	2,41	2,38	2,41	2,38	2,38	2,38	2,38	2,41
<b>D2</b>	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28
<b>D3</b>	4,72	4,99	5,01	4,81	4,94	5,08	5,16	5,24	4,9
<b>D4</b>	3,53	3,58	3,53	3,62	3,53	3,52	3,70	3,7	3,53
<b>D5</b>	6,21	6,86	6,66	6,62	6,72	6,66	6,72	6,72	6,46
<b>D6</b>	6,49	6,46	6,35	6,36	6,41	6,34	6,31	6,34	6,52
<b>D7</b>	7,01	7,03	6,96	6,93	6,75	6,89	6,72	6,72	6,79
<b>D8</b>	6,48	6,47	6,26	6,24	6,32	6,19	6,11	6,16	6,26
<b>D9</b>	8,36	8,07	8,3	7,93	7,96	8,01	7,96	8,38	7,96
<b>D10</b>	10,08	10,3	10,29	9,09	9,82	9,26	9,79	10,01	9,82
<b>D11</b>	10,71	10,65	10,72	10,71	9,98	9,69	11,09	10,45	9,69
<b>D12</b>	9,98	10,23	10,17	9,77	9,54	10,04	9,64	8,22	9,62
<b>D13</b>	13,29	12,72	12,92	13,03	14,19	12,77	11,81	13,03	12,24
<b>D14</b>	16,18	16,03	17,62	17,74	17,18	16,9	17,77	17,17	17,27
<b>D15</b>	15,27	15,72	15,93	15,26	15,92	15,09	15,60	15,43	15,06

Üç kollu kavşak için farklı GA parametreleri ile elde edilen  $G_{ort}$  değerleri Çizelge 8.3' de verilmiştir. Durumlar içinde en düşük  $G_{ort}$  değerini veren,  $n_{pop}$  ve  $P_c$  değerlerinin üstü çizilgede koyu olarak belirtilmiştir. En iyi performanslar  $n_{pop} = 25$ ' de 7,  $n_{pop} = 35$ ' de 9,  $n_{pop} = 45$ ' de ise 12 defa oluşmuştur. Çaprazlama oranlarına bakıldığında ise,  $P_c = 0,5$ ' de 12,  $P_c = 0,7$ ' de 7 ve  $P_c = 0,9$ ' da 9 defa en iyi performansları yakalanmıştır.

**Çizelge 8.4.** Dört kollu kavşak için farklı popülasyon ve çaprazlama oranları ile oluşan  $G_{ort}$  değerleri.

Trafik Akımları	Popülasyon Sayısı ve Çaprazlama Oranı								
	25			35			45		
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
<b>D1</b>	5,79	5,79	5,54	5,54	5,54	5,54	5,54	5,54	5,54
<b>D2</b>	7,38	7,81	7,19	7,22	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19
<b>D3</b>	8,87	9,13	9,13	9,40	8,87	9,13	9,13	9,13	9,34
<b>D4</b>	7,64	7,26	7,27	7,71	7,42	7,42	7,42	7,61	7,40
<b>D5</b>	12,45	11,99	12,47	12,31	12,22	12,22	12,22	12,31	12,54
<b>D6</b>	11,68	10,96	10,88	11,22	10,92	10,41	10,47	10,70	11,78
<b>D7</b>	12,54	12,82	12,79	12,60	12,73	12,71	12,78	12,77	13,19
<b>D8</b>	14,00	10,83	14,24	13,65	13,70	13,93	10,91	13,72	10,88
<b>D9</b>	10,69	10,79	9,87	10,16	10,31	10,55	10,45	10,12	10,59
<b>D10</b>	10,16	9,87	9,70	9,91	9,84	9,97	9,83	9,94	9,55
<b>D11</b>	16,01	15,73	16,09	16,12	15,90	15,82	15,72	15,60	15,52
<b>D12</b>	13,24	14,90	14,63	14,65	14,66	14,29	14,71	14,62	14,28
<b>D13</b>	14,49	14,62	14,22	14,43	14,79	14,61	14,50	15,05	14,73
<b>D14</b>	19,54	18,55	18,46	18,23	18,69	17,75	18,13	18,43	19,47
<b>D15</b>	32,34	32,01	32,08	31,40	31,79	31,98	31,69	31,70	31,39

Dört kollu kavşak için farklı GA parametreleri ile elde edilen  $G_{ort}$  değerleri Çizelge 8.4’ de verilmiştir. Durumlar içinde en düşük  $G_{ort}$  değerini veren,  $n_{pop}$  ve  $P_c$  değerleri yine koyu olarak çizelgede belirtilmiştir. En iyi performanslar  $n_{pop} = 25$ ’ de 10,  $n_{pop} = 35$ ’ de 8,  $n_{pop} = 45$ ’ de ise 9 defa oluşmuştur. Çaprazlama oranlarına bakıldığında ise,  $P_c = 0,5$ ’ de 6,  $P_c = 0,7$ ’ de 8 ve  $P_c = 0,9$ ’ da 13 defa en iyi performanslar yakalanmıştır. Elde edilen bulanık mantık üyelik fonksiyonları değerleri dört kollu kavşak için ise Ek 11’ de verilmiştir.

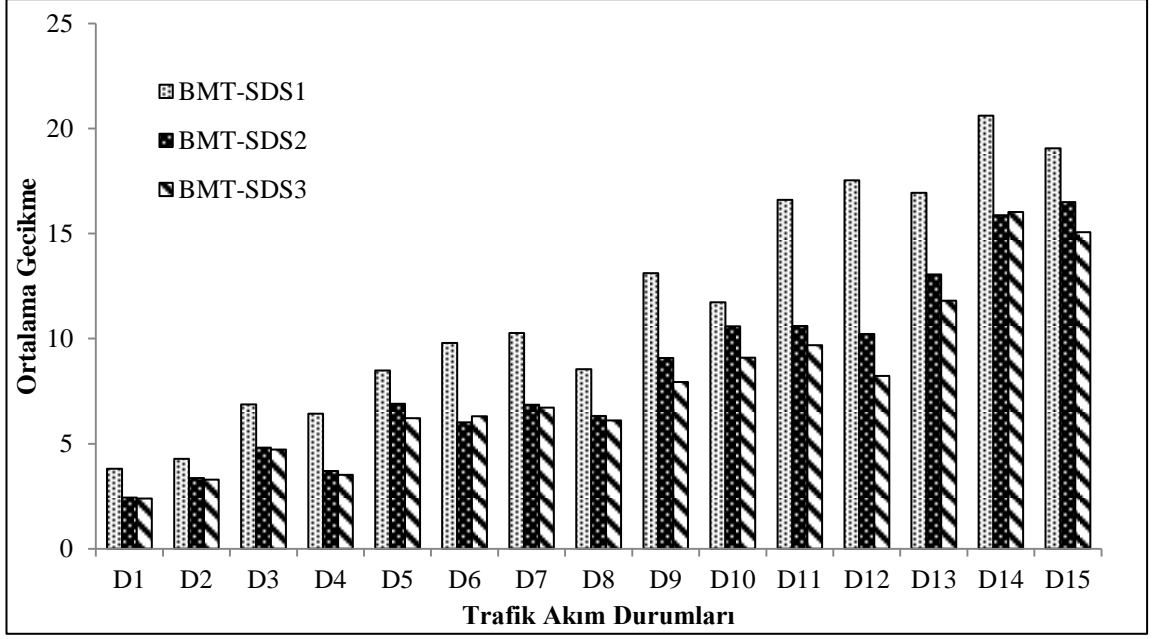
## 8.4. Optimizasyon ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Yeni geliştirilen BMT-SDS, Bölüm 7' de diğer sinyal denetim sistemleri olan OZ-SDS ve TU-SDS ile detaylı olarak karşılaştırılmış ve BMT-SDS1'in daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. Bu bölümde ise optimizasyon yapılmamış olan BMT-SDS1, BM-SAP ile ana sınır değerleri değiştirilmiş olan BMT-SDS2 ve son olarak GA ile üyelik fonksiyonlarına ait  $\lambda_{1i}$ ,  $\lambda_{2i}$  ve  $\lambda_{3i}$  değerlerinin elde edilmesi ile oluşturulan BMT-SDS3,  $G_{ort}$  ve kollarda bekleyen araç sayıları bakımından karşılaştırılmıştır.

### 8.4.1. Üç Kollu Kavşak İçin BMT-SDS Karşılaştırmaları

İlk çalışma kavşağı olan üç kollu izole kavşak için geliştirilen ve ardından optimize edilen BMT-SDS' lere ait  $G_{ort}$ ' ların değerleri Şekil 8.3' de görülmektedir. BM-SAP ile yapılan optimizasyonun ardından BMT-SDS1 değerlerinin bütün durumlara ait  $G_{ort}$ ' ların ortalama % 28,28 azaldığı gözlenmiştir. GA ile yapılan çalışma ile yine bütün durumlar için  $G_{ort}$ ' ların BM-SAP' a göre % 6,25 daha azaltılabildiği anlaşılmıştır. Bu değerlerden, iyileşmenin özellikle ana sınır değerlerine çok bağlı olduğu, bu nedenle BM-SAP' ın basit yapısına rağmen GA' ya göre  $G_{ort}$ ' ları yüzde olarak daha fazla aşağı değere çektiği düşünülmektedir.

BMT-SDS1' e ait  $G_{ort}$  değerleri ve BMT-SD3 ile elde edilen  $G_{ort}$  değeri Şekil 8.3' den incelendiğinde, yüzdesel en yüksek iyileşme D12' de görülmüştür. İlk durumda, 17,53 sn./araç olan gecikme değeri, GA işlemlerinin ardından % 61,27 azalarak, 8,22 sn./araç değerine gerilemiştir. İkinci en yüksek oransal iyileşme D4 durumunda gerçekleşmiştir. D4 durumda, % 47' lik iyileşme oluşurken D11' de ise 6,91 sn./araç' lık gecikme değerlerinde düşüş kaydedilmiştir. Her üç durumun ortak özelliği, tali koldan gelen araç sayının, ana yönlere göre iki ve daha fazla katlarda düşük olmasıdır. Tali kol ile ana yöndeki hacim farkları arttıkça iyileşme oranlarının arttığı Çizelge 8.5' den anlaşılmaktadır.



Şekil 8.3. Üç kollu kavşağa ait optimize edilmiş BMT-SDS' lerin  $G_{ort}$  için karşılaştırılmaları.

Çizelge 8.5. Üç kollu kavşak için kollara ait trafik akım oranları ve ort. yüzdeler gecikmeler.

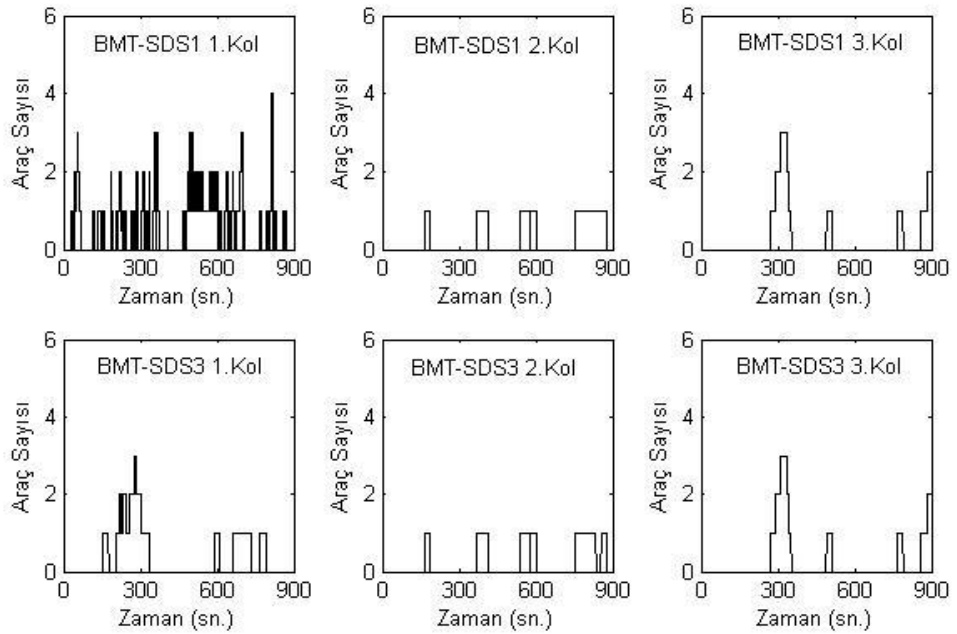
	<i>Ana Yön Kolu/Tali Yön Kolu</i>			
	1 Kat	2 Kat	3 Kat	5 Kat
<b>Trafik Akım Durumları</b>	D1 D3 D7 D10 D15	D2 D6 D9	D4 D8	D12 -
<b>Ort. %' lik İyileşmeler</b>	29,63	37,61	38,32	61,27

Çizelgede 8.5' de 1 kat oranında yani, ana yöne ait bir kol akımlarının değerlerinin, tali kol ile aynı olmaları durumlarında, diğer katlara göre daha düşük iyileşme değerlerinin yakalandığı gözlenmiştir. Özellikle incelenen en yüksek toplam hacim değerine sahip olan ve bütün kollarından 500 araç/saat' lik akım bulunan D15' de %



22,11 ile en düşük iyileşme oranı oluşmuştur. Sonuç olarak: kollardan farklı akımların gelmesi halinde, aynı akımın gelmesi halinden, gerek BMT-SDS' in ürettiği gecikme değerleri gerekse optimizasyon iyileşme oranlarında; çok daha iyi sonuçlar ürettiği anlaşılmıştır.

Optimizasyon sonrasında oluşan iyileşmeleri gözleyebilmek amacıyla sırasıyla düşük, orta ve yüksek akım durumları örnek olarak seçilen D4, D9 ve D12 durumlarına ait kuyruklarda biriken araç sayılarının zamana göre değişimleri BMT-SDS1 ve BMT-SDS3 için oluşturulmuştur.



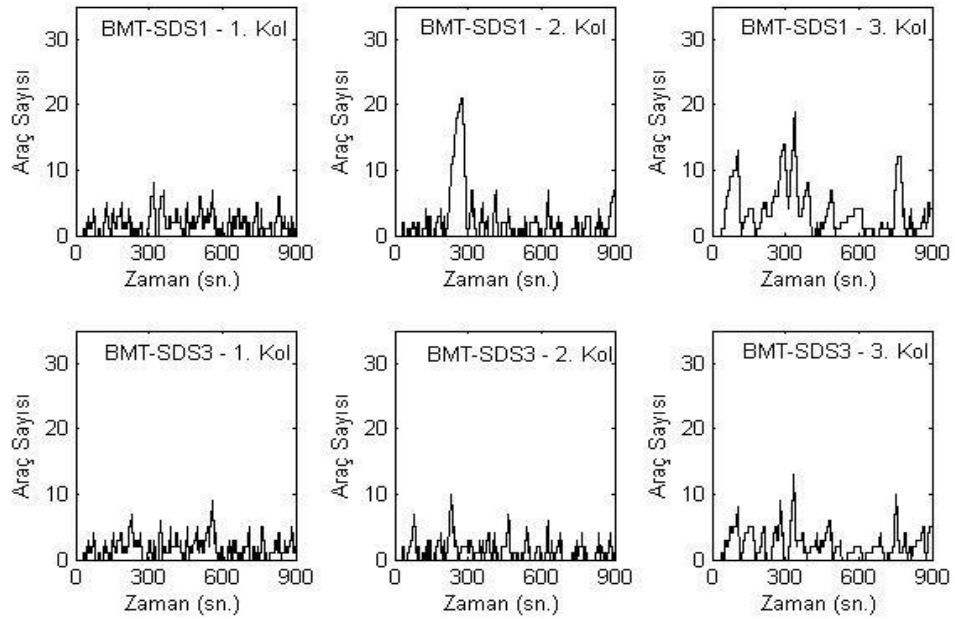
**Şekil 8.4.** Üç kollu kavşak D4 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.

D4 durumu ana yönlerden 300 araç/st., tali yönden ise 100 araç/st. hacim değerlerine sahiptir. Çizelge 8.6' dan iyileşme oranlarına bakıldığında, bütün kollarda ortalama bekleyen araç sayılarının BMT-SDS3 ile azaltıldığı gözlenmiştir. Şekil 8.4' de kollarda araç sayılarının zamana göre değişimi görülmektedir. 1. ve 2. kollar ana yön istikametleri olup, 3. kol ise tali yönü göstermektedir. 1. yaklaşım kolu

incelendiğinde BMT-SDS1' araçları BMT-SDS3' e göre daha fazla aracı kuyrukta beklettiği anlaşılmıştır. Diğer kollarda ise önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

**Çizelge 8.6.** Üç kollu kavşak için kuyrukta bekleyen ortalama araç sayısı ve iyileşme oranları.

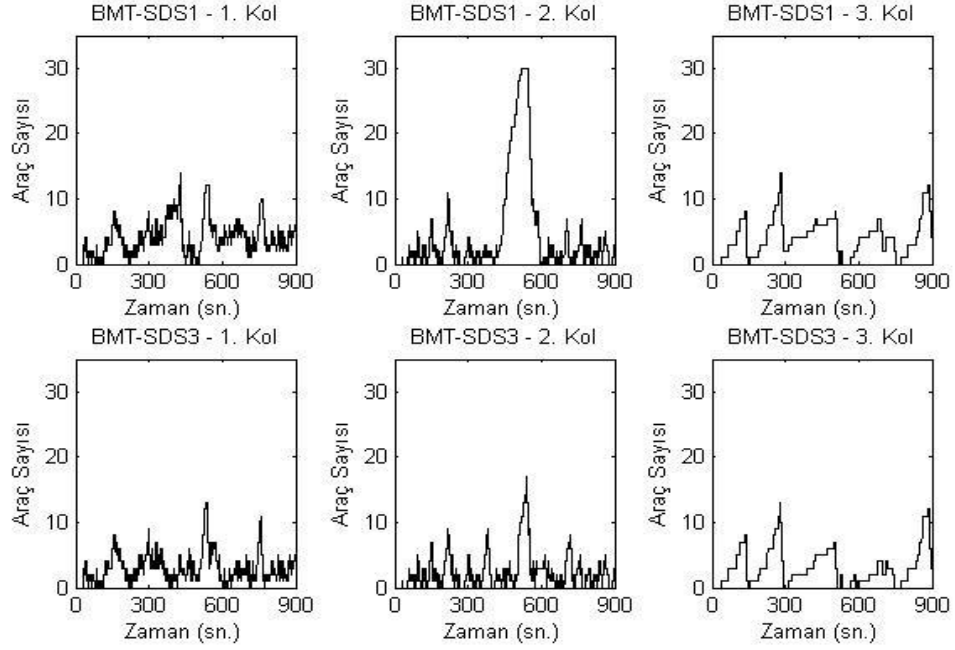
	D4			D9			D12		
	BMT- SDS1	BMT- SDS3	İyileşme %	BMT- SDS1	BMT- SDS3	İyileşme %	BMT- SDS1	BMT- SDS3	İyileşme %
<b>1.Kol</b>	0,66	0,62	6,06	1,79	1,77	1,12	3,96	2,95	25,51
<b>2.Kol</b>	0,60	0,51	15,00	2,41	1,48	38,59	4,58	2,48	45,85
<b>3.Kol</b>	0,86	0,40	53,49	3,81	2,37	37,80	3,99	3,11	22,06



**Şekil 8.5.** Üç kollu kavşak D9 durumu BMT-SDS1 ve BMT-SDS3' e ait kollara ait araç sayıları ve zamana göre değişimi.

D9 durumu için optimizasyon sonrasında tüm kollarda ortalama kuyruk sayılarının azaltıldığı Çizelge 8.6'dan anlaşılmaktadır. 1. koldaki iyileşme % 1 seviyesinde sınırlı olurken diğer kollarda % 38 civarlarında iyileşmeler gözlenmiştir. Şekil

8.5'den kollardaki zamana bağılı araç sayıları incelendiğinde, BMT-SDS3' ün özellikle 2. ve 3. kollarda ki en fazla kuyruk sayılarını % 50 civarında düşürdüğü görülmüştür.



**Şekil 8.6.** Üç kollu kavşak D12 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.

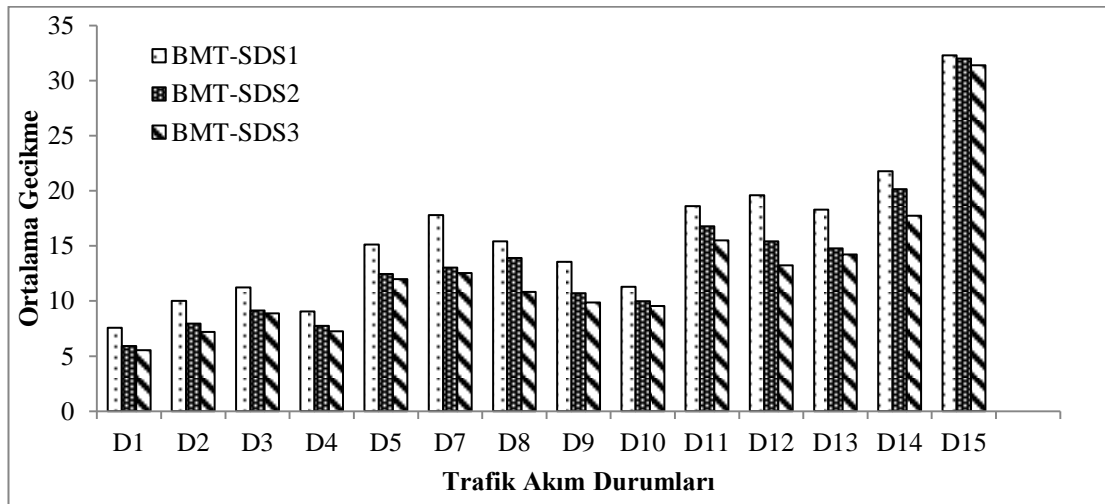
D12 durumunda ise 2. koldaki iyileşme oranının % 46 seviyelerine kadar ulaştığı Çizelge 8.6' da görülmektedir. 1. ve 3. kollarda ki iyileşme ise % 25 seviyelerinde olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle 2. kolda BMT-SDS1' in beklediği araç sayısının 500. sn. civarında 30 araca kadar ulaşırken, aynı zaman diliminde BMT-SDS3, en fazla 17 araç beklediği Şekil 8.6' dan görülmektedir. 3. kolda ise her iki sistemin yaklaşık benzer seyrin izlediği görülmekle beraber BMT-SDS3' ün daha düşük araç birikimleri oluşturduğu gözlenmiştir.

Üç kollu kavşak için optimizasyon sonrasında elde edilen gerek gecikme, gerekse kuyrukta bekleyen araç sayıları değerlerinden, optimizasyon sonrasında elde edilen BMT-SDS3' ün, üyelik sınır değerleri ayarlanmamış BMT-SDS1' e göre daha iyi performans ile çalıştığı anlaşılmıştır.

#### 8.4.2. Dört Kollu Kavşak İçin BMT-SDS Karşılaştırmaları

İkinci çalışma kavşağı olan dört kollu izole kavşak için geliştirilen ve ardından optimize edilen BMT-SDS' lere ait  $G_{ort}$  değerleri, Şekil 8.7' de görülmektedir. İlk olarak BM-SAP ile yapılan optimizasyonun ardından BMT-SDS2' nin  $G_{ort}$  değerlerini, bütün durumlar için ortalama % 15,42 azalttığı gözlenmiştir. Ardından GA ile yapılan çalışma ile yine bütün durumlar BMT-SDS3' ün  $G_{ort}$  ' ları % 7,95 daha azaltılabildiği görülmüştür. BM-SAP' ın GA' ya göre  $G_{ort}$  ' ları yüzde olarak daha fazla aşağı değere çektiği dört kollu kavşak içinde görülmüştür.

BMT-SDS1 ve GA işlemlerinin ardından elde edilen BMT-SDS3 ile elde edilen  $G_{ort}$  değerleri incelendiğinde, yüzdesel en yüksek iyileşme D12' de gerçekleşmektedir. İlk durumda, 19,61 sn./araç olan gecikme değeri, GA işlemlerinin ardından % 32,48 azalarak, 13,24 sn./araç değerine gerilemiştir. İkinci en yüksek yüzdesel iyileşme D8 durumunda; gerçek değer bakımından ise D7' de gerçekleşmiştir. D8 durumunda, % 29' luk iyileşme oluşurken D7' de ise 5,25 sn./araç' lık gecikme değerlerinde azalma kaydedilmiştir. Her üç durumun ortak özelliği, tali koldan gelen araç sayının, ana yönlere göre iki ve daha fazla katlarda düşük olmasıdır. D13 durumu haricinde, tali kol ile ana yöndeki hacim farkları arttıkça iyileşme oranlarının arttığı, Çizelge 8.7' den anlaşılmaktadır.



Şekil 8.7. Dört kollu kavşağa ait optimize edilmiş BMT-SDS' lerin  $G_{ort}$  için karşılaştırmaları.

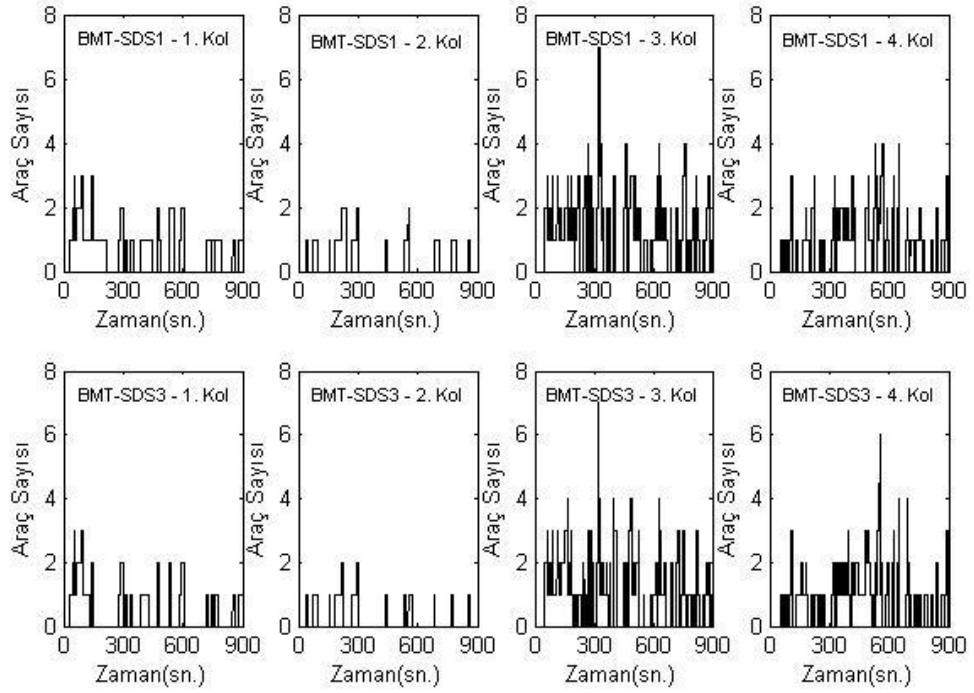
**Çizelge 8.7.** Dört kollu kavşak için kollara ait trafik akım oranları ve ort. yüzdeler gecikmeler.

	<i>Ana Yön Kolu/Tali Yön Kolu</i>			
	<b>1 Kat</b>	<b>2 Kat</b>	<b>3 Kat</b>	<b>5 Kat</b>
	D1	D2	D4	D13
<b>Trafik Akım Durumları</b>	D3	D6	D8	-
	D7	D9	D12	-
	D10	D11	-	-
	D15	-	-	-
<b>Ort. %' lik İyileşmeler</b>	20,20	23,43	27,35	22,33

**Çizelge 8.8.** Dört kollu kavşak için kuyrukta bekleyen ortalama araç sayısı.

	<b>D4</b>			<b>D9</b>			<b>D12</b>		
	<b>BMT- SDS1</b>	<b>BMT- SDS3</b>	<b>İyileşme %</b>	<b>BMT- SDS1</b>	<b>BMT- SDS3</b>	<b>İyileşme %</b>	<b>BMT- SDS1</b>	<b>BMT- SDS3</b>	<b>İyileşme %</b>
<b>1.Kol</b>	0,63	0,41	35,04	1,77	1,90	-7,34	10,71	10,56	1,40
<b>2.Kol</b>	0,28	0,20	29,51	2,23	1,36	39,01	11,67	9,78	16,20
<b>3.Kol</b>	1,16	1,08	7,20	2,29	2,07	9,61	13,49	11,90	11,79
<b>4.Kol</b>	0,85	0,85	0	2,99	1,78	40,47	8,28	7,43	10,27

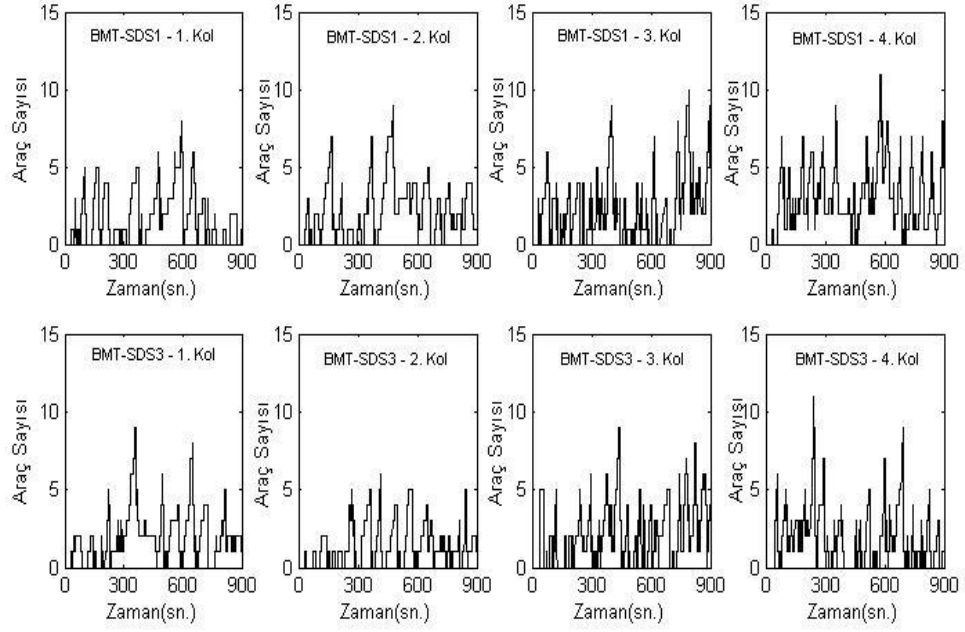
Optimizasyon sonrasında oluşan iyileşmeleri gözleyebilmek amacıyla, sırasıyla düşük, orta ve yüksek akım durumları örnek olarak değerlendirilebilecek olan D4, D9 ve D12 durumlarına ait kuyruklarda biriken araç sayılarının zamana göre değişimleri dört kollu kavşak için de oluşturulmuştur.



**Şekil 8.9.** Dört kollu kavşak D4 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.

Dört kollu kavşak için D4 durumunda, Doğu-Batı (1-2) yönünde 100 araç/saat'lik hacim oluşuyorken, Kuzey-Güney (3-4) yönünden ise 300 araç/saat'lik hacimler ile benzetim çalışması yapılmıştır. BMT-SDS3' ile BMT-SDS1 Şekil 8.9 ve Çizelge 8.8 ile karşılaştırıldığında, 4. kolda BMT-SDS3' ün ortalama bekleyen araç sayılarını % 0,21 gibi çok küçük bir oranda arttırdığı, bu karşın diğer bütün kollarda bu değerlerin ciddi oranlarda düşürdüğü görülmüştür.

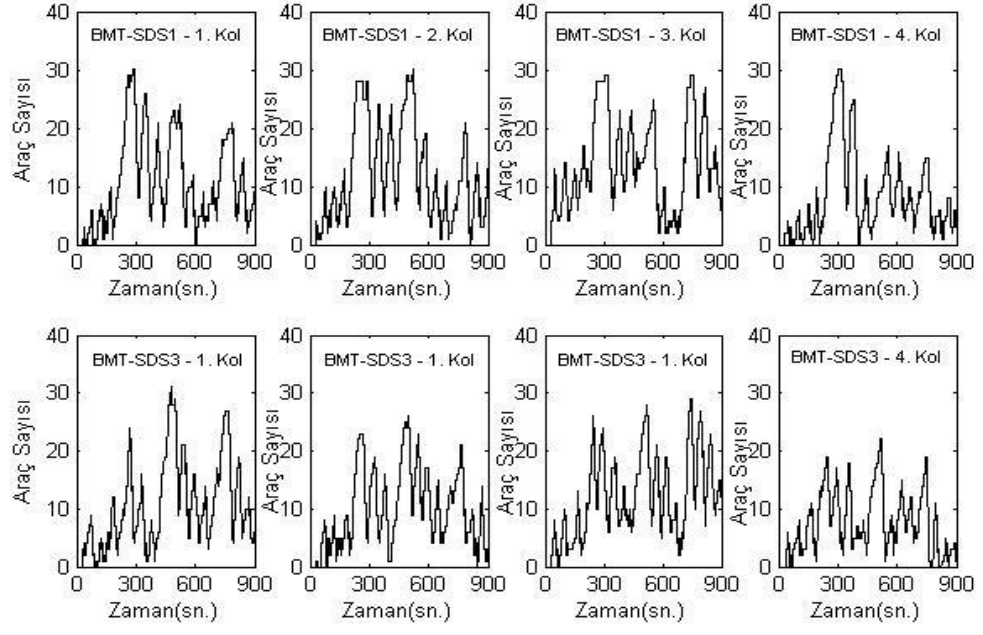
D9 durumunda Doğu-Batı (1-2) yönünde 300 araç/saat'lik hacim oluşuyorken, Kuzey-Güney (3-4) yönünden ise 600 araç/st.' lik hacimler ile benzetim çalışması yapılmıştır. Çizelge 8.9 'dan ortalama bekleyen araç sayıları incelendiğinde, BMT-SDS3' ün 1. kol haricinde ki kollarda bekleyen araç sayılarının azalttığı anlaşılmıştır. 1. koldaki artış ise % 7,34 seviyesinde gerçekleşmiştir. En fazla düşüş 1,22 araç ile 4. kolda meydana gelmiştir.



**Şekil 8.10.** Dört kollu kavşak D9 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.

Ortalama bekleyen araç sayısında ki düşüş miktarının yüksek olduğu, 2. ve 4. kollar Şekil 8.10 ile incelendiğinde, BMT-SDS3' ün bekleyen araç sayılarını belirli miktarların üzerine çıkarmama eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Böylelikle kol içinde bekleyen en fazla araç kuyruğu ile en az kuyruk arasındaki fark azaltılmıştır.

D12 durumunda Doğu-Batı (1-2) yönünde 300 araç/saat'lik hacim oluşuyorken, Kuzey-Güney (3-4) yönünden ise 900 araç/st.' lik hacimler ile benzetim çalışması yapılmıştır. Çizelge 8.9 'dan ortalama bekleyen araç sayıları incelendiğinde, BMT-SDS3' ün bütün kollarda ki ortalama bekleyen araç sayılarının azalttığı anlaşılmıştır. Şekil 8.11' den de kollarda oluşan en uzun kuyruk bakımından BMT-SDS3' ün özellikle 4. kolda avantajlı olduğu görülmüştür. Diğer kollarda bu durum oluşmamasına rağmen tepe noktalarının BMT-SDS1' e göre daha sivri olduğu gözlenmiştir. Bu sivrilik sebebinin, BMT-SDS3' ün hemen oluşan kuyruğa müdahale ettiği, BMT-SDS1' in ise bu müdahalede geç kaldığı ve neticesinde küt tepeler oluşturduğu sonucu çıkarılmıştır.



**Şekil 8.11.** Dört kollu kavşak D12 için kollara ait araç sayılarının zamana göre değişimi.



## 9- SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Motorlu kara taşıtlarındaki ve seyahat miktarlarındaki geline nokta kent içi kesişim bölgeleri olan eş düzey kavşakların çok daha verimli yönetilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada, kullanılan bulanık mantık ile çalışan yeni bir sinyal denetim sistemi algoritması önerilmiştir. Geliştirilen BMT-SDS, ülkemizde genellikle kullanılan, ön zamanlı denetim sistemi ve tam uyarmalı sinyal denetim sistemleri ile farklı kavşaklara ait farklı trafik akım durumları altında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında BMT-SDS' in diğer kontrol sistemlerine göre araç başına ortalama gecikme değerlerini ciddi miktarlarda azalttığı anlaşılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise bulanık mantık üyelik sınırları farklı trafik durumlarına göre iki aşamalı olarak en iyileme çalışması yapılmıştır. İlk aşamada bulanık mantık girdilerine ait Bölüm 8' de açıklanan ana sınır değerleri, yeni geliştirilen BM-SAP ile belirlenmiştir. Ardından genetik algoritma yöntemi ile her bir üyelik fonksiyonun en iyi hali aranmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimize olmuş BMT-SDS' in, ilk durumuna göre ciddi iyileşmeler kaydettiği görülmüştür.

Araştırma ve benzetim çalışmasının yapılabilmesi için kavşak simülasyon programı yazılmış ve KU-Trsim olarak adlandırılmıştır. Kullanılan programın araç üretimin aralıklarının üstel dağılıma uygun olduğu  $\chi^2$  testi ile belirlenmiştir. Programın ürettiği gecikme değerlerinin gerçekliği arazi verileri kullanılarak karşılaştırılmış ve kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

Elde edilen diğer sonuçlar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

1. BMT-SDS ve TU-SDS kollardan farklı akımların gelmesi durumlarında, aynı veya yaklaşık akım değerlerinin gelmesi durumlarına göre daha iyi çalıştığı gözlenmiştir. Fakat TU-SDS aynı veya yaklaşık akımların gelmesi durumlarında çok daha hassas davranmakta ve gecikme değerlerini

arttırmaktadır. Buna karşın ÖZ-SDS bu duruma tepkisi çok sınırlı olmakta, sadece artan veya azalan akıma bağlı olarak gecikme değerini aynı doğrultuda değiştirmektedir.

2. Üç kollu kavşak için BMT-SDS1' de kullanılan bir fazın en fazla bekletilebilme değerinin mümkün derecede yüksek seçilmesinin, 400 araç/st.' den yüksek akımlar için gecikme değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir. Buna karşın, çok yüksek seçilmesi durumunda, kırmızı ışık ihalelerinin oluşabileceği düşünülmektedir. Dört kollu kavşakta ise bu sürenin 200 sn. 'den 300 sn. yaklaştıkça bir miktar arttığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte kollarda aynı akımın olduğu ve akımın 400 araç/saat' den az olduğu durumlarda, 200 sn.' nin uygun olduğu gözlenmiştir. Farklı akım durumlarda ise 100 sn. bekleme süresi önerilebilir.
3. Üç kollu kavşak için sola dönüş oranlarının artmasından belirlenen üç trafik akımı için en fazla OZ-SDS' in etkilendiği, buna karşın BMT-SDS' in ise en az etkilenen denetleyici olduğu anlaşılmıştır. Dört kollu kavşakta ise bu artıştan BMT-SDS' in belirlenen düşük ve yüksek akımlı durumlarda diğerlerine göre az etkilenirken, her yönden 400 araç/st. akım durumunda en fazla etkilenmiştir.
4. Üç sinyal denetim sistemi içinde sola dönüş oranlarının artmasından en az BMT-SDS1' in etkilendiği anlaşılmıştır. OZ-SDS' in üç kollu kavşakta TU-SDS' e göre; dört kollu kavşakta ise TU-SDS' in ise OZ-SDS' e göre daha fazla etkilendiği gözlenmiştir.
5. Geliştirilen BMT-SDS' e ait girdi ve çıktı ana sınırlarının optimizasyonu, ardından yapılan üyelik fonksiyonlarına ait alt, orta ve üst değerlerinin optimizasyonundan oransal olarak daha fazla iyileşme yaptığı gözlenmiştir. Bu durumdan ana sınır optimizasyonunun sadece kendisinin kullanılması bile hız isteyen optimizasyonlarda tatmin edici olabileceği düşünülmüştür.
6. Genetik Algoritma' ya ait farklı popülasyon ve çaprazlama oranı parametreleri ile yapılan çalışmalar sonucunda, düşük akım durumlarda farklı parametrelerin aynı sonuca ulaşabildiği, yüksek akım durumlarda ise sadece bir parametrenin uygun olduğu gözlenmiştir.

Çalışma ilerlemeye açık bir durumdadır. Öncelikle, geliştirilen KU-Trsim bir koridor üzerindeki kavşakların ardından ise kavşak ağlarının simülasyonunu yapacak şekilde geliştirilmesi ileride yapılması uygun olan bir çalışmadır. Bu durumda, koridor ve ağ üzerindeki kavşakların geliştirilen BMT-SDS' in her kavşağı bağımsız olarak kontrol etmesi ile koordineli kavşak düzenlemesi arasında oluşan farklar gözlenebilecektir.

Günümüzde sezgisel en iyileme teknikleri sürekli olarak gelişim halindedir. Farklı optimizasyon tekniklerinin bulanık mantığın ayarlanması için kullanılması ve farklarının araştırılması bu konuyu ileriye taşıyacak olan diğer bir basamak olarak görülmektedir.

İlerleyen çalışmalar ile kavşağa gelen taşıt miktarlarının ve geliş aralıklarının nitelikli ve kullanılabilir düzeylere erişmesi ile, farklı trafik durumları için bulanık mantık parametreleri on-line olarak ayarlanması ve kavşak performanslarının artırılması bir diğer hedef olarak düşünülmektedir.

Önceliğe sahip taşıtların (Ör: Ambulans, itfaiye vb.) sistemler ile iletişime geçmesi ile oluşacak durumların incelenebilmesi ve bu öncelikli taşıtların güvenli ve mevcut trafiği en az düzeyde etkileyecek şekilde önceliklerinin sağlanması bir diğer geliştirme olanağı olarak görülmektedir.

Toplu taşıma yapan araçların önceliği düşünülen bir diğer unsurdur. Bunun için mevcut yol geometrilerinin iyileştirilmesi çoğu noktada gerekli olmasına rağmen, bu konuda önceliğin nasıl ve ne şekilde olması gerektiği ilerde araştırılması düşünülen diğer bir konudur.

Sonuç olarak, karmaşıklaşan taşıt trafiğini daha düzenli ve verimli kılabilmek için gelişen teknoloji kullanmak gerekmektedir. Yapay zeka tekniklerinin, karmaşık problemler için sağladıkları hızlı ve kabul edilebilir çözümler, bu konuyu trafik mühendisleri ve araştırmacılar için çekici kılmaktadır. Bu çalışmadan, yapay zeka tekniklerin kavşak trafik kontrolü konularında kullanılabilme potansiyelinin ve getirebilecekleri faydaların oldukça yüksek olduğu anlaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Pappis, C., Mamdani, E., A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction. Syst. Man Cybern. 10, 1977.
- [2] Chiu, S., Chand, S., Adaptive traffic signal control using fuzzy logic. Fuzzy Systems Second IEEE, s.1371-1376,1993.
- [3] Chiu, S., Sujeet, C., Self-organizing traffic control via fuzzy logic. Proceedings of the 32nd Conference on Decision and Control,1993,s. 1897–1902,1993.
- [4] Nakatsuyama, N., Nagahashi, M., Nishizura, H., Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction in the One-way Arterial Road. 9th PAC-World Congress, 1984, s. 13–18.1984.
- [5] Hoyer, R., Jumar, U., Fuzzy control of traffic lights. Fuzzy Control Of Traffic Lights, 1994, s. 1526–1531,1994.
- [6] Remzi,G., Trafik Akış Sisteminin Bulanık Mantık Denetimi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 1995.
- [7] Center, A., Semarak,J., Intelligent traffic lights control by fuzzy logic. Malaysian J. Comput., 9( 2): 29–35, 1996.
- [8] Lin,Q., Kwan,B. W., Tung, L. J., Traffic signal control using fuzzy logic. Cybern. Comput. Cybern. Simulation, 2, 1644–1649, 1997.
- [9] Zhao, X., Two-stage Fuzzy Control of Urban Isolated Intersection Signal for Complex Traffic Conditions, Intelligent Control and Automation,. WCICA 2004. Fifth World Congress, 2004, Hangzhou-China, s. 5287–5291,2004.
- [10] Luis, G. I., A Methodology To Design Traffic Signal Controllers Based On Fuzzy Logic. Doktora Tezi. University of Porto Rico Mayaguez Campus, Porto Rico, 2000.
- [11] Niittymäki, J., Kononen, V., Traffic Signal Controller Based On Fuzzy Logic. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2000,Nashville-A.B.D, s. 3578-3581, 2000.
- [12] Niittymäki, J., Installation And Experiences Of Field Testing A Fuzzy Signal Controller, Eur. J. Oper. Res. 131 ( 2): 273–281, 2001.
- [13] Murat ,Y. Ş., Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği İle Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul, 2001.

- [14] Chou, H. C., Teng, J. C., A Fuzzy Logic Controller For Traffic Junction Signals. *Inf. Sci. (Ny)*, 143 (1–4) :73–97, 2002.
- [15] Li, Y., Fan, X., Design Of Signal Controllers For Urban Intersections Based On Fuzzy Logic and Weightings. *Intelligent Transportation Systems*, Ekim 2003, s. 867–871.
- [16] Nair, B. M., Cai, J., A fuzzy Logic Controller for Isolated Signalized Intersection with Traffic Abnormality Considered. *2007 IEEE Intell. Veh. Symp.*, Haziran- 2007, s.1229-1233, 2007.
- [17] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*. 2000.
- [18] McShane, W. R., Roess, R. P., Prassas, E. S., *Traffic Engineering*. Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [19] Tunç, A., *Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları*, Asil Yayın Dağıtım. Ankara, 2003.
- [20] Ogden, K. W., Taylor, S. Y., *Traffic Engineering And Management*. Monash University, Institute of Transport Studies, Melbourne, 1996.
- [21] Institute of Transportation Engineers, *Traffic Detector Handbook*. Institute of Transportation Engineers, Georgetown Pike, 2006.
- [22] U. S. F. H. Administration, PAWA-Winkelmann, and Associates,. *Traffic Control Systems Handbook*. U. S. F. H. Administration, 1985.
- [23] Ayfer, M. Ö., *Trafik Sinyalizasyonu*. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1977.
- [24] Webster, F., Traffic signal settings. *Scientific and Industrial Research*, 39, s.44-48, 1958.
- [25] Pedrycz, W., Why triangular membership functions?. *Fuzzy Sets Systems*, 64, s. 21–30, 1994.
- [26] Takagi, T., Sugeno, M., Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *Syst. Man Cybern. IEEE*. 15(1): 116–132, 1985.
- [27] Herrera, F., Lozano, M., Verdegay, J. L., Tuning Fuzzy Logic Controllers by Genetic Algorithms, *International Journal of Approximate Reasoning*. 2(3-4):299-315, 1995.
- [28] Chin, T. C., Qi, X.M., Genetic algorithms for learning the rule base. *Fuzzy sets and systems*, 97, s.1-7 1998.

- [29] Larbes, C., S. Aït, C. M. T. Obeidi, Zerguerras,A., Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system. *Renewable Energy*.34, 2093-2100, 2009.
- [30] Breban, S., Saudemont, C.,Vieillard, S., Robyns, B., Experimental design and genetic algorithm optimization of a fuzzy-logic supervisor for embedded electrical power systems. *Math. Comput. Simul.*, 91, s. 91-107, 2013.
- [31] Belarbi, K., Titel, F.,Design of Mamdani fuzzy logic controllers with rule base minimisation using genetic algorithm.18(7): 875–880, 2005.
- [32] Lu, J., Nehrir,M. H., Pierre, D. A., A fuzzy logic-based self tuning power system stabilizer optimized with a genetic algorithm. *Electr. Power Syst. Res.*, 60(2): 77–83, 2001.
- [33] Gu, H. B., A genetic-algorithm-based method for tuning fuzzy logic controllers. 108, 39–47, 1999.
- [34] Bekiroğlu, Dede, S. T. Ayvaz, Y., Implementation of different encoding types on structural optimization based on adaptive genetic algorithm. *Finite Elem. Anal. Des.*, 45( 11): 826-835, 2009.
- [35] Anonim, Crossover (genetic algorithm), wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Crossover\\_\(genetic\\_algorithm\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Crossover_(genetic_algorithm)) (Erişim tarihi: 17.Eylül.2013).

## EK. 1.a. ARAÇ ÜRETİM MODÜLÜ MATLAB KODU.

```
%% GAP HIZ VE UZUNLUK URETİM.
%
% gap : Araç aralıklarına ait matris.
% hiz : Hızlara ait matris.
% L : Araç uzunluklarına ait matris.
% g,s : Araçlara ait değişkenler matrisi.
% q1 : 1. 15 dak. hacim.
% q2 : 2. 15 dak. hacim.
% q3 : 3. 15 dak. hacim.
% q4 : 4. 15 dak. hacim.
% time: Zaman.
% sim_time : Simülasyon süresi.
% yog : Şeride ait anlık yoğunluk değeri.

rg = rand(1,nl);
rnd=rand(1,nl);
rulet=rnd.*100;
gp0=zeros(1,nl);
n=zeros(1,nl);
sn=zeros(1,nl);

if time <= sim_time
    for p=1:nl
        gp0(p)=length(find(gap(:,p)));
        gp0(p)=gp0(p)+1;
        n(p) = length(find(s(:,1,p)>0));
        c(p) = length(find(g(:,1,p)<0));
        if sum(gap(:,p))<=time
            if time>=0&&time<=900
                gap(gp0(p),p)=(-1/(q1(1,p)/3600))*log(rg(1,p));
            elseif time>900&&time<1800
                gap(gp0(p),p)=(-1/(q2(1,p)/3600))*log(rg(1,p));
            elseif time>=1800&&time<2700
                gap(gp0(p),p)=(-1/(q3(1,p)/3600))*log(rg(1,p));
            elseif time>=2700&&time<=3600
                gap(gp0(p),p)=(-1/(q4(1,p)/3600))*log(rg(1,p));
            end

            if rulet(p)>=0 && rulet(p)<oto(p)
                L(gp0(p),p)=4.45;
            elseif rulet(p)>=oto(p) &&rulet(p)<(mini(p)+oto(p))
                L(gp0(p),p)=6.00;
            elseif rulet(p)>=(oto(p)+mini(p)) &&rulet(p)<...
                (mini(p)+oto(p)+kam(p))
                L(gp0(p),p)=8.5;
            elseif rulet(p)>=(oto(p)+mini(p)+kam(p)) &&rulet(p)<...
                (mini(p)+oto(p)+kam(p)+bus(p))
                L(gp0(p),p)=12;
            elseif rulet(p)>=(oto(p)+mini(p)+kam(p)+bus(p)) &&...
                rulet(p)<(mini(p)+oto(p)+kam(p)+bus(p)+Tir(p))
                L(gp0(p),p)=13.6;
            End

            if abs(K(p)) > 0
                yog(p) = c(p) / abs(K(p));
            elseif K(p) == 0
                yog(p) = c(p) / abs(sol_cep_uzunluk(p-1));
            end
        end
    end
end
```

## EK. 1.b. ARAÇ ÜRETİM MODÜLÜ MATLAB KODU

```
Vm(p) = vf * (1 - (yog(p) / yog_jam));

if Vm(p) ~= 0
    hiz(gp0(p),p) = Vm(p);
elseif Vm(p) == 0
    Vm(p) = 1.38;
end

if time>0
    if sol_cep_uzunluk(1,p) > 0
        left_or_thru = rand*100;
        if left_or_thru <= sol_cebe_donus_orani(1,p)
            s(n(p)+1,end,p) = 1;
        end
    end
    if sag_donus_logic(1,p) == 1
        right_or_thru = rand*100;
        if right_or_thru <= sag_donus_oran(1,p)
            s(n(p)+1,end,p) = 10;
        end
    elseif sol_donus_logic(1,p) == 1
        left_or_thru = rand*100;
        if left_or_thru <= sol_donus_oran(1,p)
            s(n(p)+1,end,p) = 20;
        end
    end
end

if n(p) == 0
    sn(p) = 1;
else
    sn(p) = n(p);
end

if abs(K(p)) - abs(g(sn(p),1,p)) >= (L(gp0(p),p)+50)
    Arac_Giren = Arac_Giren + 1;
    g(n(p)+1,1,p) = K(p);
    g(n(p)+1,2,p) = hiz(gp0(p),p);
    g(n(p)+1,3,p) = 0;
    g(n(p)+1,4,p) = 0;
    s(n(p)+1,1,p) = hiz(gp0(p),p);
    s(n(p)+1,2,p) = L(gp0(p),p);
    s(n(p)+1,3,p) = 0;
    GA(p) = GA(p) + 1;
elseif abs(K(p)) - abs(g(sn(p),1,p)) < (L(gp0(p),p)+50)
    Arac_Giren = Arac_Giren + 1;
    g(n(p)+1,1,p) = g(n(p),1,p) - ((L(gp0(p),p)/2)+20);
    g(n(p)+1,2,p) = 5;
    g(n(p)+1,3,p) = 0;
    g(n(p)+1,4,p) = 0;
    s(n(p)+1,1,p) = 5;
    s(n(p)+1,2,p) = L(gp0(p),p);
    s(n(p)+1,3,p) = 0;
    GA(p) = GA(p) + 1;
end
end
end
end
end
```



## EK. 2.a. ARAÇ DİNAMİKLERİ MODÜLÜ MATLAB KODU

```
if time > 0
    for k=1:n1
        if sol_cep_logic(1,k) == 1
            s(1:end,end,k) = 20;
        end
        n(k)=length(find(s(:,1,k)));
        for il=1:n(k)
            if il==2 && k==2
                er=1;
            end
            if g(il,5,k) == 3 && il > 1
                g(il,1:4,k) = g(il-1,1:4,k);
            elseif g(il,5,k) == 3 && il==1
                g(il,1:4,k) = [999 999 999 999];
                d(il,1:4,k) = [0 0 0 0 ];
            elseif g(il,5,k) == 4
                g(il,2,k) = 0;

            else
                enter1=0;
                if il==1 && g(1,1,k)<0
                    enter1=1;
                elseif g(il,1,k)<0 && g((il-1),1,k) >= 0
                    enter1=1;
                elseif il>=2
                    if g((il-1),1,k)<0 && g(il,1,k)<0
                        enter1=2;
                    end
                end
                if enter1==1
                    if yesil(k)==1&&g(il,1,k)<0
                        if g(il,2,k)>=Vk(k)
                            g(il,1,k)=g(il,1,k)+g(il,2,k)*aralik;
                        elseif g(il,2,k)<Vk(k)
                            g = acceleration_func (g,s,il,k,acceleration_file);
                            ah = g(il,3,k);
                            g(il,2,k) = g(il,2,k) + ah*aralik;
                            g(il,1,k)=g(il,1,k)+g(il,2,k)*aralik;
                            d(il,3,k)=d(il,3,k)+aralik*(1-(g(il,2,k)/Vk(k)));
                        elseif g(il,2,k) == 0
                            zc(k) = zc(k) + aralik;
                            if zc(k) >= kalkis_kaybi
                                g = acceleration_func (g,s,il,k,acceleration_file);
                                ah = g(il,3,k);
                                g(il,2,k) = g(il,2,k) + ah*aralik;
                                g(il,1,k)=g(il,1,k)+g(il,2,k)*aralik;
                                d(il,3,k)=d(il,3,k)+aralik*(1-(g(il,2,k)/Vk(k)));
                            end
                        end
                    end
                    elseif (sari(k)==1 && (g(il,2,k)*sari_t) >= ...
                        (abs(g(il,1,k))+30)) && g(il,1,k) < 0
                        g(il,1,k)=g(il,1,k)+g(il,2,k)*aralik;
```

## EK. 2.b. ARAÇ DİNAMİKLERİ MODÜLÜ MATLAB KODU (DEVAM).

```
        d(i1,3,k)=d(i1,3,k)+aralik*
        (1-(g(i1,2,k)/Vk(k)));
        g(i1,1,k)=g(i1,1,k)+g(i1,2,k)*aralik;
    end
elseif g(i1,4,k) <= s(i1,3,k)
    if g(i1,2,k)>0

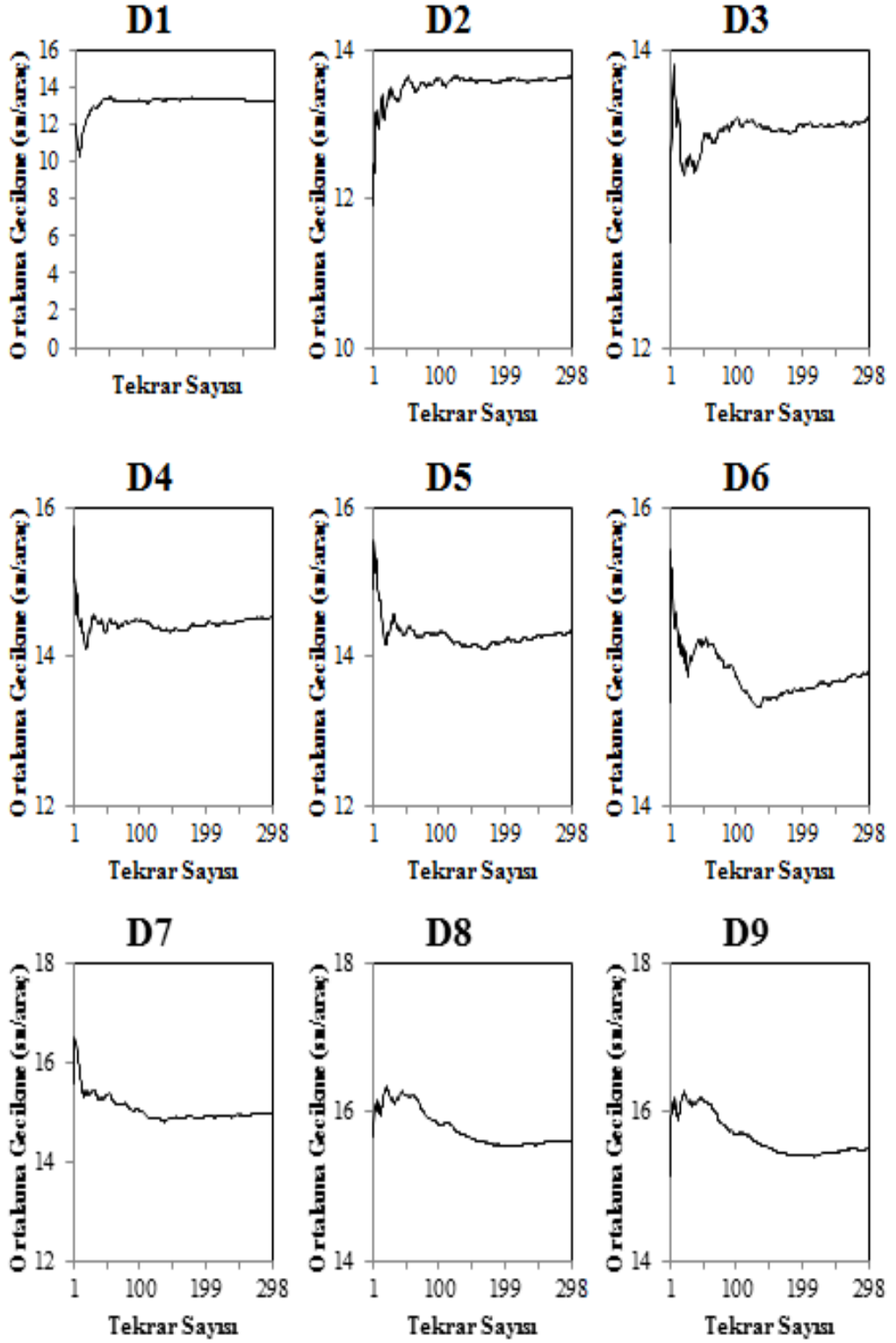
        if g(i1,4,k) > 3
            g(i1,3,k)=- (abs((g(i1,2,k)^2)-
                (g(i1-1,2,k)^2)) / (abs(2*((g(i1,4,k)-3)))));
        else
            g(i1,3,k)=- (abs((g(i1,2,k)^2)-
                (g(i1-1,2,k)^2)) / (abs(2*((g(i1,4,k))))));
        end
    elseif g(i1,2,k) == 0
        g(i1,3,k) = 0;
    end
    g(i1,2,k)=g(i1,2,k)+g(i1,3,k)*aralik;
    if g(i1,2,k)<0
        g(i1,2,k)=0;
    end
    if (g(i1,2,k)>=0)&&(g(i1,2,k)<1);
        g(i1,2,k) = 0;
        d(i1,2,k)=d(i1,2,k)+aralik*
        (1-(g(i1,2,k)/Vk(k)));
    else
        d(i1,1,k)=d(i1,1,k)+aralik*
        (1-(g(i1,2,k)/Vk(k)));
    end
    g(i1,1,k)=g(i1,1,k)+g(i1,2,k)*aralik;
end
end
if s(i1,4,k) == 1 && g(i1,2,k) > 0 && g(i1,1,k) >= ...
    -(sol_cep_uzunluk(1,k)+50) && g(i1,1,k) <
    -(sol_cep_uzunluk(1,k))
    if g(i1,2,k) > 5
        g(i1,3,k) = (5 - g(i1,2,k))/80;
        g(i1,2,k) = g(i1,2,k) + g(i1,3,k)*aralik;
        g(i1,1,k) = g(i1,1,k) + g(i1,2,k)*aralik;
    else
        g(i1,1,k) = g(i1,1,k) + g(i1,2,k)*aralik;
    end
end

if s(i1,4,k) == 1
    if n(k+1) > 0 && g(i1,1,k) >= sol_cep_uzunluk(1,k)+10)
    && -(sol_cep_uzunluk(1,k)) > (g(n(k+1),1,k+1)-s(i1,2,k)-10)
        g(i1,3,k) = -(g(i1,2,k)/20);
        g(i1,2,k) = g(i1,2,k) + g(i1,3,k)*aralik;
        if g(i1,2,k) < 0
            g(i1,2,k) = 0;
        end
        g(i1,1,k) = g(i1,1,k) + g(i1,2,k)*aralik;
    elseif (n(k+1)==0 && g(i1,1,k) >
        -(sol_cep_uzunluk(1,k))) || ((g(i1,1,k) >=
        -(sol_cep_uzunluk(1,k))&& n(k+1)>0 &&
        -(sol_cep_uzunluk(1,k)) <
        (g(n(k+1),1,k+1)-s(i1,2,k)-10)))
```

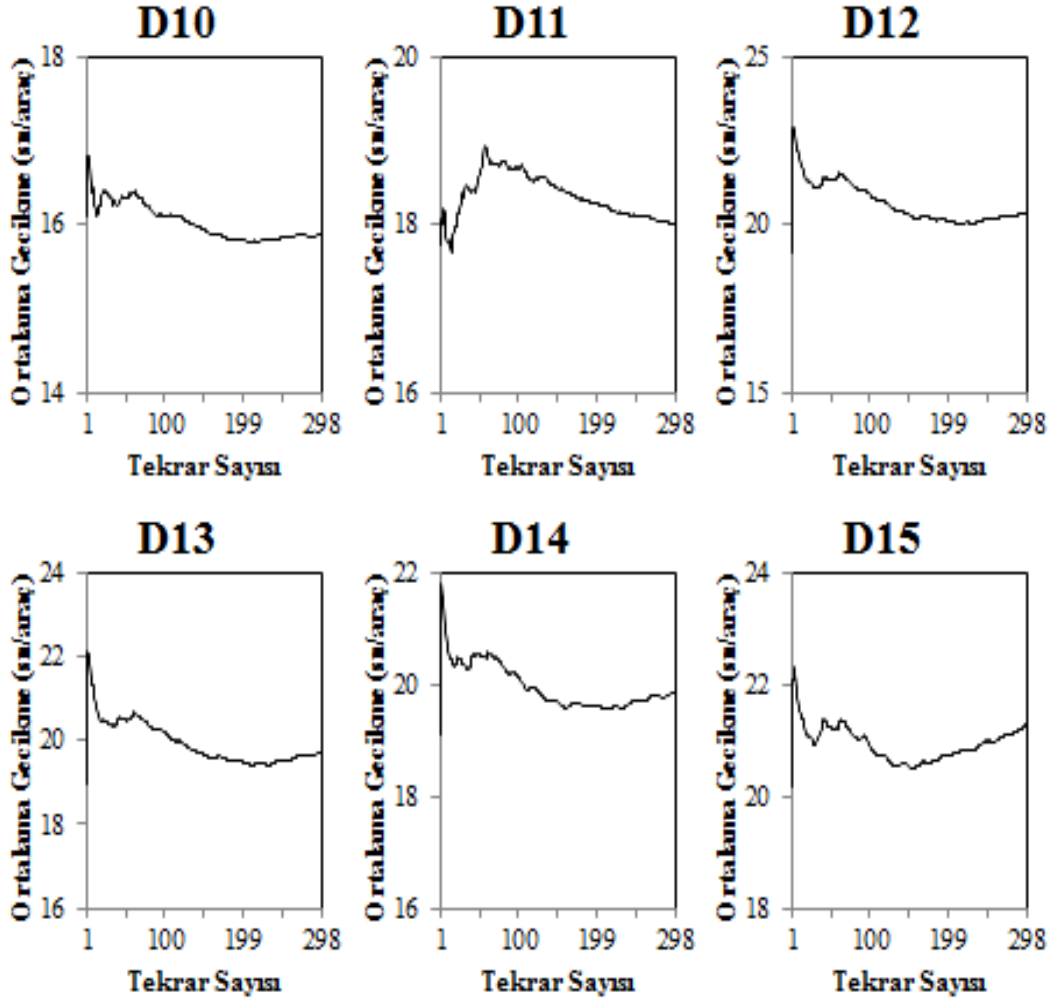
## EK. 2.c ARAÇ DİNAMİKLERİ MODÜLÜ MATLAB KODU

```
g(n(k+1)+1,1,k+1) = g(i1,1,k);
g(n(k+1)+1,2,k+1) = g(i1,2,k);
g(n(k+1)+1,3,k+1) = g(i1,3,k);
s(n(k+1)+1,1,k+1) = s(i1,1,k);
s(n(k+1)+1,2,k+1) = s(i1,2,k);
d(n(k+1)+1,1:3,k+1) = d(i1,1:3,k);
%% Guvenli durus mesafesi yeniden hesabi.
s(n(k+1)+1,3,k+1) = ((g(n(k+1)+1,2,k+1)*3.6)/2.5)
+1.5;
if n(k+1) > 1
    g(n(k+1)+1,4,k+1) = abs((g(n(k+1)+1,1,k+1)-
    g(n(k+1)+1,1,k+1)) - ((s(n(k+1)+1,2,k)+
    s(n(k+1)+1,2,k))/2));
end
if i1 == 1
    g(i1,1,k) = 100;
    g(i1,2,k) = 200;
    d(i1,1:end,k) = zeros(1,5);
elseif i1 > 1
    if g(i1,1,k) < 0
        g(i1,1:end,k) = g(i1-1,1:end,k);
        g(i1,end,k) = 3;
        s(i1,1:end,k) = s(i1-1,1:end,k);
        s(i1,end,k) = 3;
        d(i1,1:end,k) = zeros(1,5);
    end
end
end
end
end
end
end
```

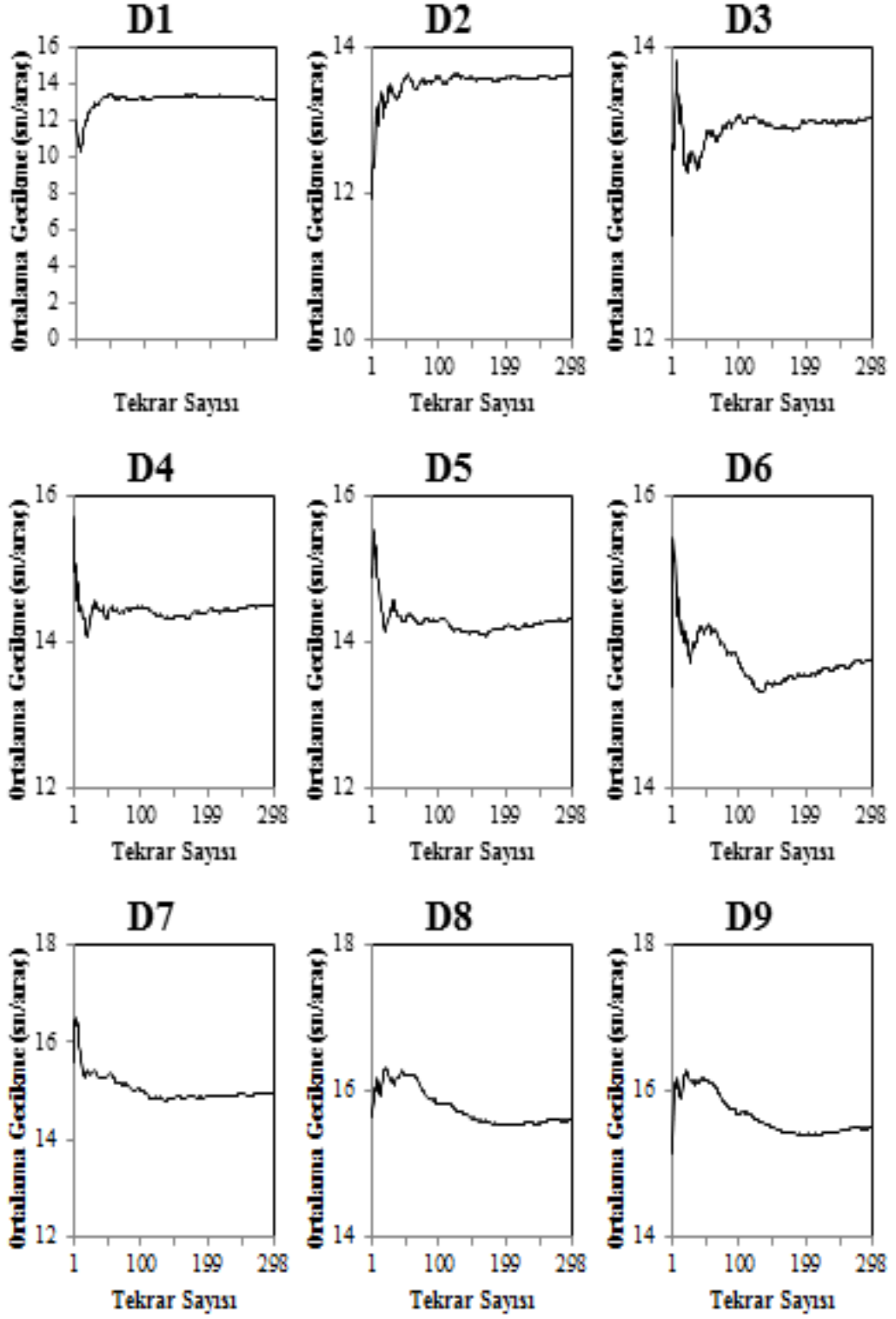
**EK 3.a. ÜÇ KOLLU KAVŞAK OZ-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



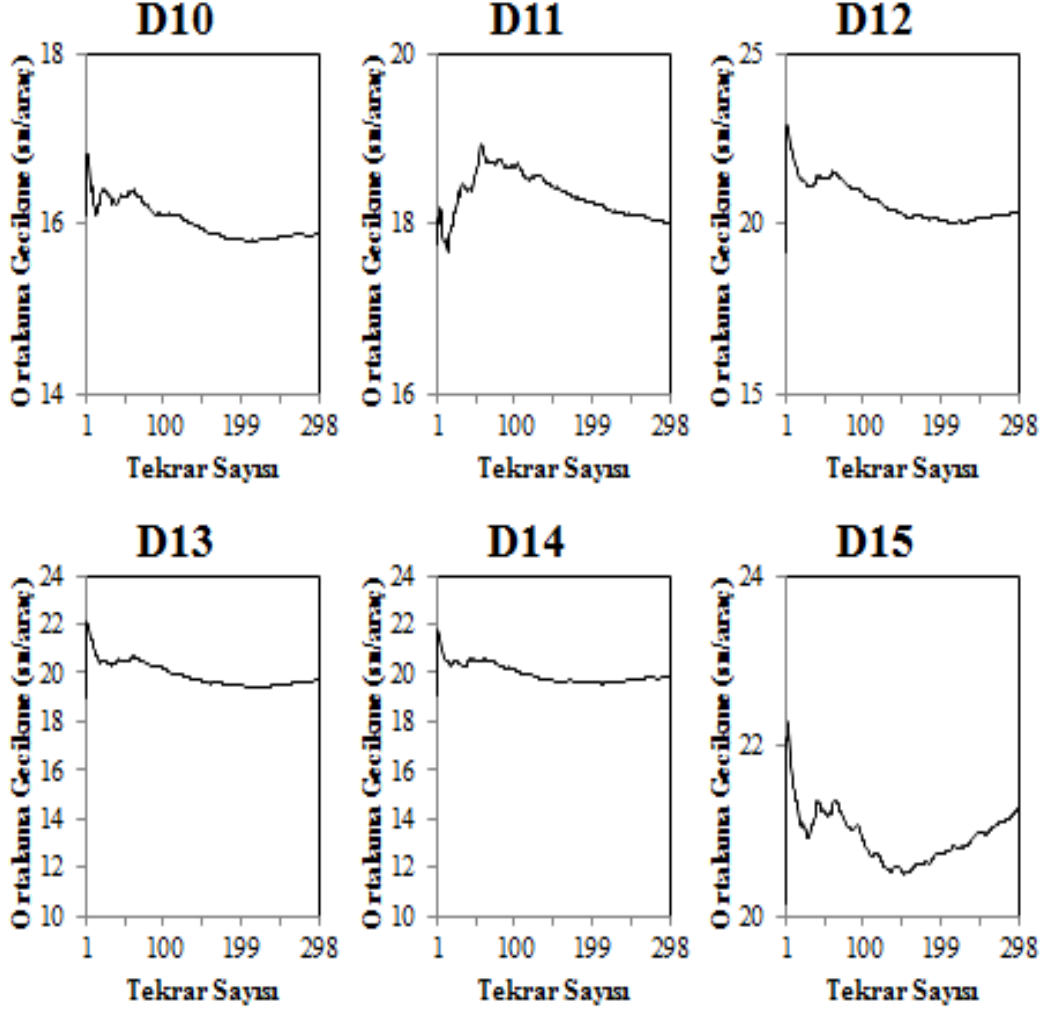
**EK 3.b. ÜÇ KOLLU KAVŞAK OZ-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



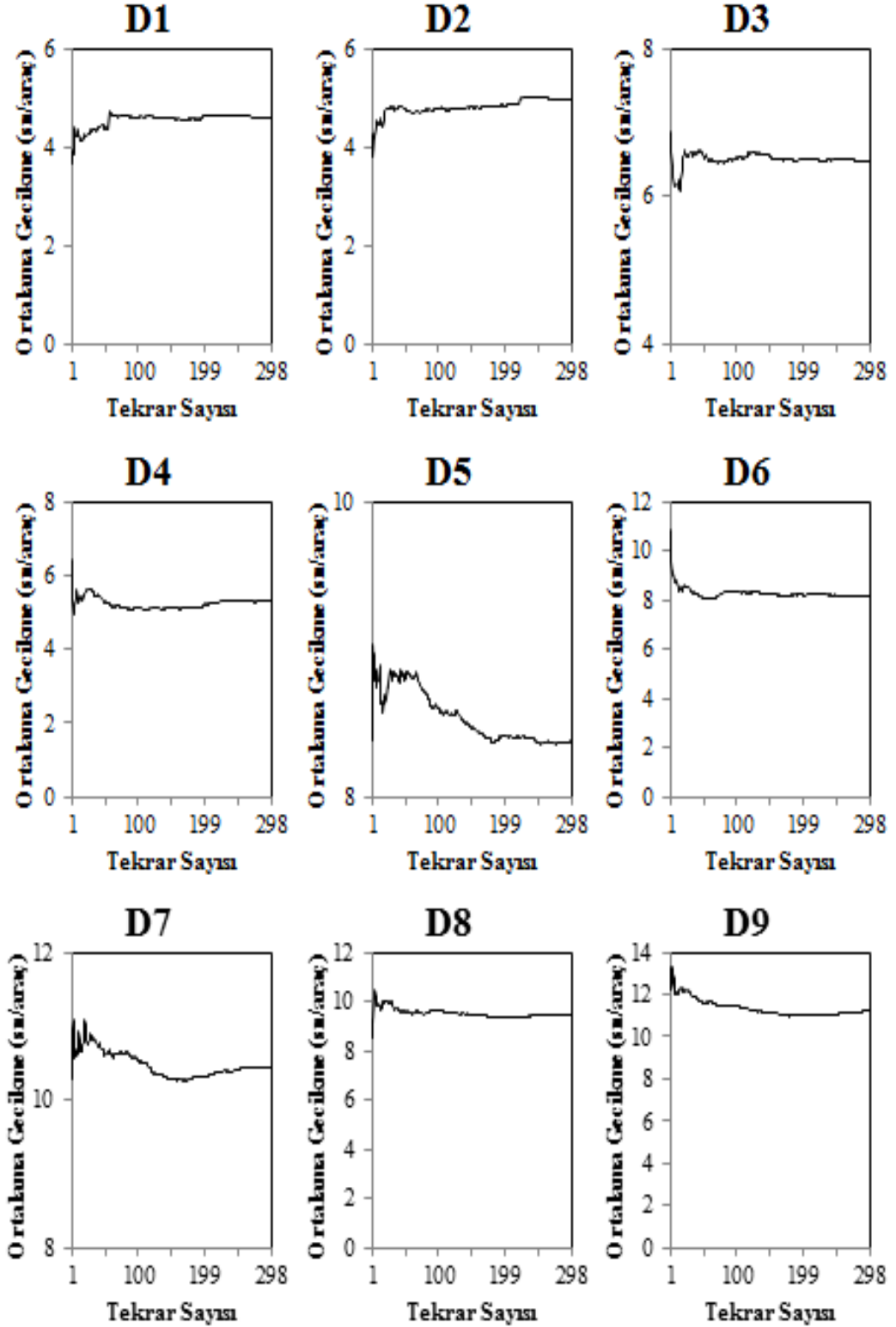
**EK 4.a. ÜÇ KOLLU KAVŞAK TU-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



**EK 4.b. ÜÇ KOLLU KAVŞAK TU-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**

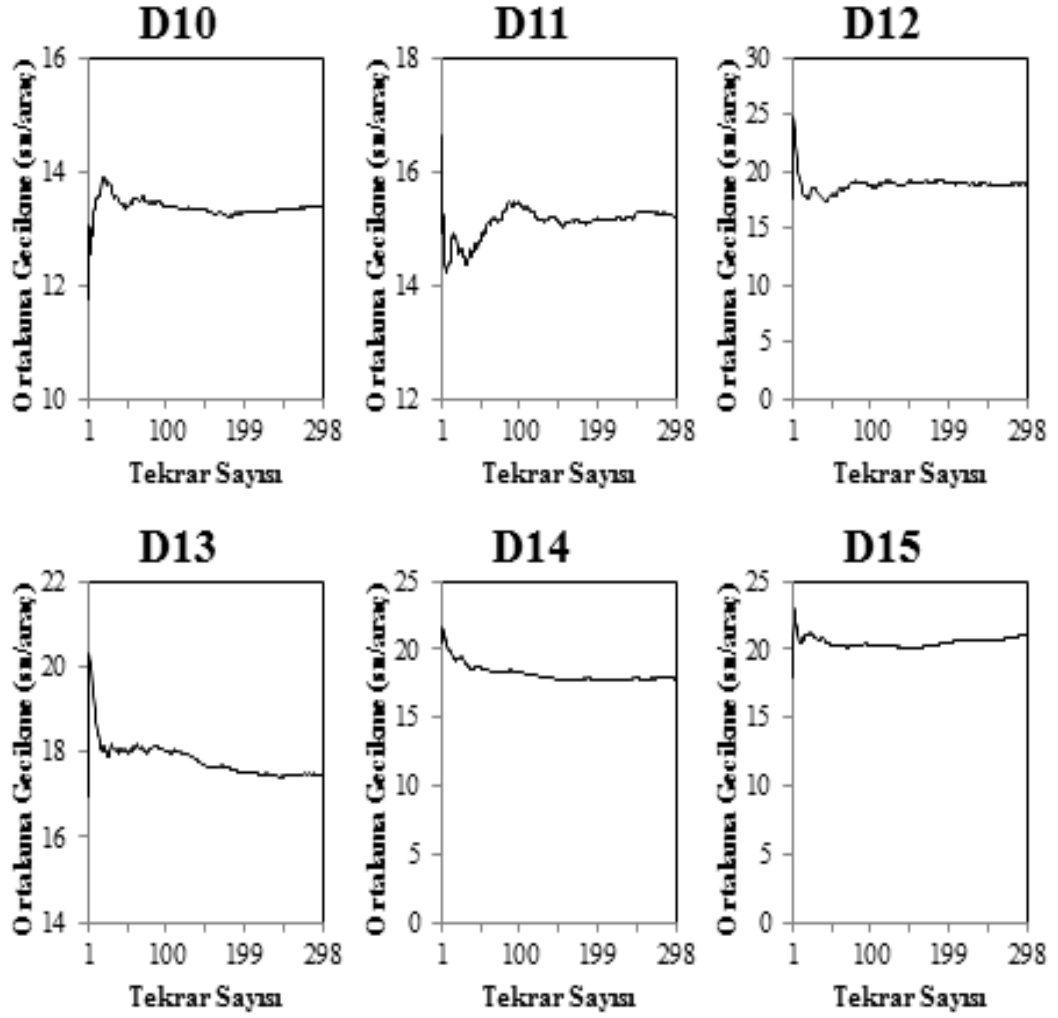


**EK 5.a. ÜÇ KOLLU KAVŞAK BMT-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**

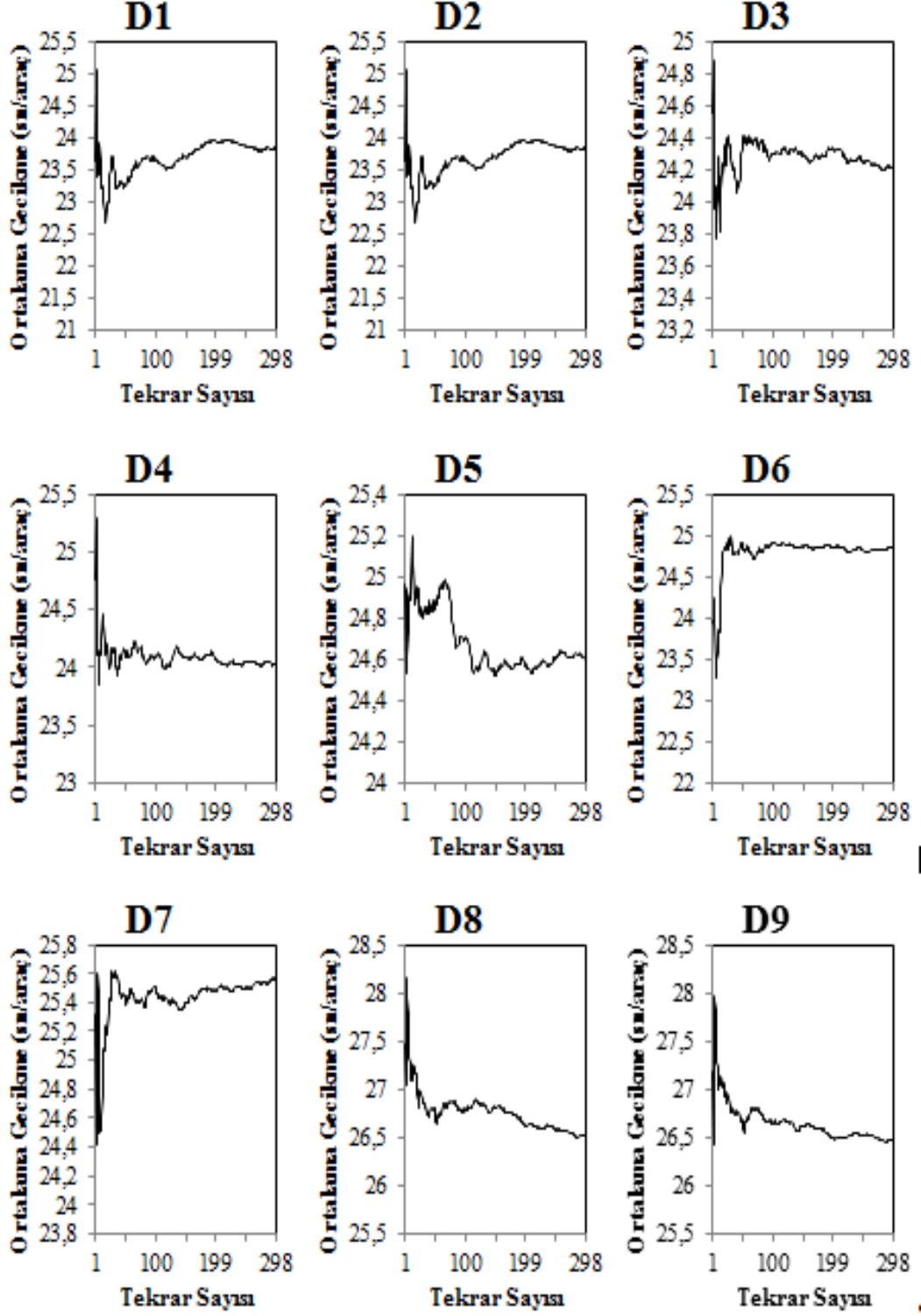




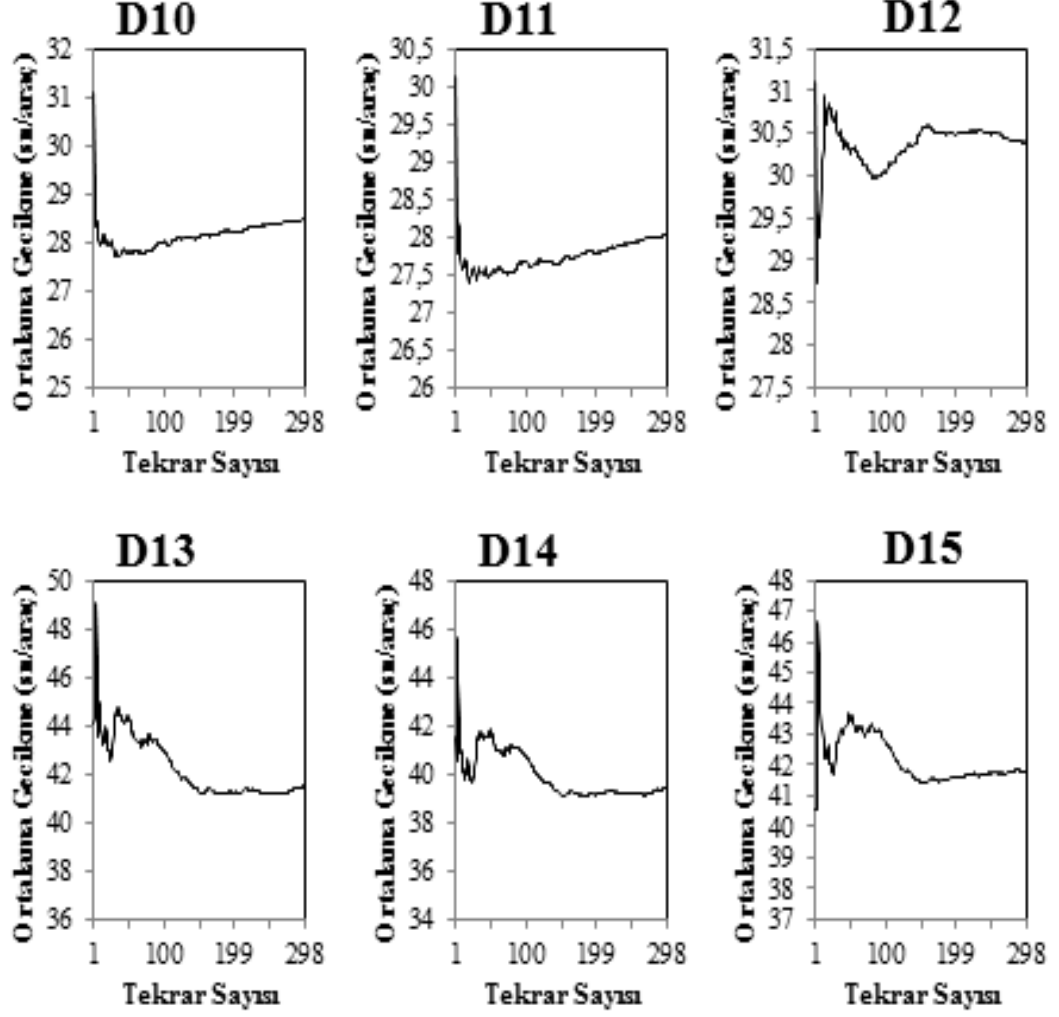
**EK 5.b. ÜÇ KOLLU KAVŞAK BMT-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



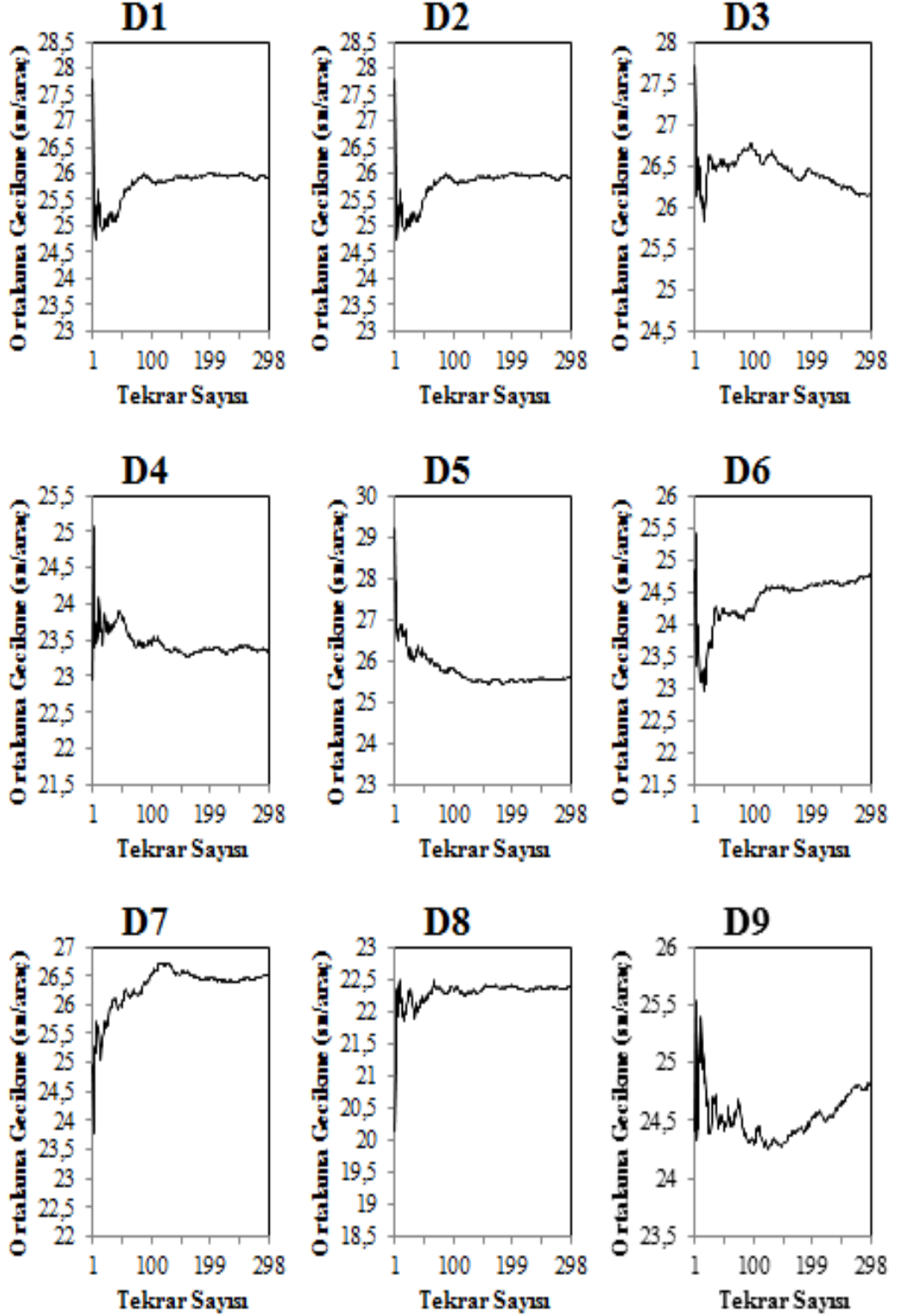
**EK 6.a. DÖRT KOLLU KAVŞAK OZ-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



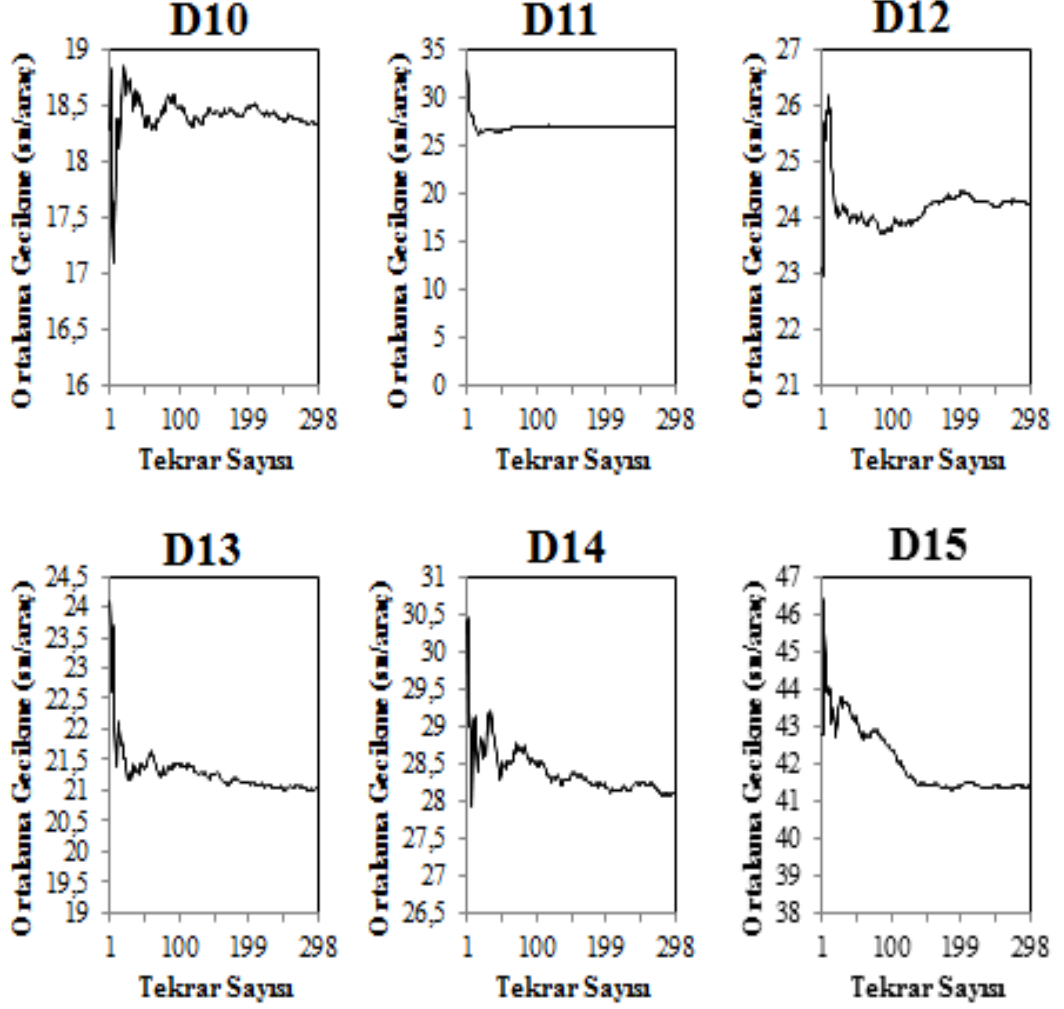
**EK 6.b. DÖRT KOLLU KAVŞAK OZ-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



**EK 7.a. DÖRT KOLLU KAVŞAK TU-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



**EK 7.b. DÖRT KOLLU KAVŞAK TU-SDS FARKLI GELİŞ ARALIĞI SAYILARI İÇİN ARAÇ BAŞINA DÜŞEN ORTALAMA GECİKME DEĞERLERİ DEĞİŞİMİ.**



**EK. 8.a YENİ SANAYİ KAVŞAĞI GECİKME TABLOLARI.**

SANAYİ BATI 1. ŞERİT													
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
1	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	
3	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
6	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	1	2	3	3	4	4	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	1	1	2	2	3	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	1	2	2	2	4	4	4	5	
12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
13	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	6	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
<b>TOPLAM</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	

SANAYİ BATI 2. ŞERİT													
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
1	0	0	0	0	2	4	5	8	10	10	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	
3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	
6	4	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	1	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	1	3	3	3	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	1	2	4	5	6	6	6	6	
12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	
15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	
<b>TOPLAM</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	

**EK. 8.b YENİ SANAYİ KAVŞAĞI GECİKME TABLOLARI. (DEVAM)**

SANAYİ BATI SOL CEP												
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

SANAYİ DOĞU 1. ŞERİT												
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1	0	1	2	2	3	3	3	3	4	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	4
3	4	4	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	3	3	3	4	4	4	4	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	3
6	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	1	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2
9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	1	3	4	5	5	5	5	6
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	1	1	1	2	3	5	6	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
TOPLAM	16	17	15	20	15	19	17	19	17	16	20	18

**EK. 8.c YENİ SANAYİ KAVŞAĞI GECİKME TABLOLARI. (DEVAM)**

SANAYİ DOĞU 2. ŞERİT												
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1	0	1	2	2	3	3	3	3	4	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	4
3	4	4	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	3	3	3	4	4	4	4	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	3
6	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	1	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2
9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	1	3	4	5	5	5	5	6
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	1	1	1	2	3	5	6	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
TOPLAM	16	17	15	20	15	19	17	19	17	16	20	18

SANAYİ DOĞU SOL CEP												
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1	2	0	0	0	0	1	2	3	3	3	3	3
2	3	3	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
3	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
6	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	0
7	0	0	0	1	2	2	2	2	3	3	3	4
8	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
10	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	1	1
11	4	4	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	1	1	2	3	3	3	3	5	0	0	0
13	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
TOPLAM	17	18	22	27	17	18	16	16	20	14	14	11



**EK. 8.d YENİ SANAYİ KAVŞAĞI GECİKME TABLOLARI. (DEVAM)**

SANAYİ GÜNEY													
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
1	2	2	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1	2	2
8	3	4	5	5	5	6	6	6	7	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	1	1	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
11	2	2	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2
13	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
14	1	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
15	1	2	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	0
TOPLAM	15	18	21	21	18	16	21	20	20	13	15	10	10

SANAYİ KUZAY													
DAKİKA	SANİYE ARALIKLARI												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
TOPLAM	3	4	4	5	5	7	8	6	6	3	4	4	4

**EK. 9.a. YENİ SANAYİ KAVŞAĞI TAŞIT GELİŞ ARALIKLARI.**

TAŞIT NO	BATI			KUZEY			GÜNEY	KUZEY
	1	2	3	1	2	3	1	1
1	0,00	6,32	325,00	0	6,54	0	0	60
2	19,23	2,27	-	3,38	3,58	0	0	72
3	13,24	3,66	-	8,88	10,4	8,03	8,54	131
4	2,48	2,27	-	18,13	6,2	14,74	4,03	251
5	5,21	6,32	-	24,07	1,95	2,34	13,65	388
6	5,43	3,60	-	7,06	7,39	5,33	3,85	455
7	9,90	2,93	-	5,59	0,82	33,88	20,43	659
8	25,67	1,92	-	6,01	2,43	1,69	1,31	767
9	1,29	1,87	-	8,68	12,48	2,52	3,34	832
10	1,41	32,30	-	3,11	5,45	20,26	9,46	-
11	3,50	1,39	-	1,86	1,09	13,28	21,08	-
12	1,56	1,13	-	5,88	3,33	8,81	40,51	-
13	4,11	3,38	-	11,49	20,21	9,08	20,48	-
14	9,08	1,71	-	7,65	17,59	27,27	57,59	-
15	5,97	2,34	-	13,06	4,01	110,46	11,03	-
16	18,22	1,95	-	3,42	21,82	10,56	43,67	-
17	6,75	2,78	-	7,62	11,9	4,57	3,86	-
18	5,34	6,96	-	10,07	4,2	7,21	28,89	-
19	9,83	10,66	-	6,14	6,2	4,15	3,81	-
20	26,19	35,46	-	4,41	7,1	3,55	4,33	-
21	18,87	6,12	-	7,71	15,79	29,98	3,82	-
22	7,50	1,65	-	1,91	3,92	50,6	15,94	-
23	5,94	2,51	-	4,11	1,66	8,14	25,91	-
24	4,43	3,64	-	5	17,79	19,64	2,6	-
25	1,80	5,07	-	1,26	11,64	10,51	58,38	-
26	4,16	8,84	-	1,38	10,08	23,01	18,3	-
27	16,00	1,38	-	15,89	12,81	48,39	5,24	-
28	20,92	2,90	-	6,02	5,03	52,29	21,14	-
29	5,38	6,26	-	21,18	10,09	4,92	50,02	-
30	3,78	38,31	-	3,38	19,9	21,91	2,76	-
31	1,52	2,74	-	20,07	12,63	13,41	31,09	-
32	13,77	13,51	-	10,62	2,73	3,04	26,22	-
33	5,42	3,60	-	2,42	3,69	6,82	8,35	-
34	13,91	6,42	-	2,51	27,42	12,23	45,91	-
35	4,26	2,56	-	18,47	3,24	6,07	21,09	-
36	3,58	5,81	-	3,81	3,37	47,2	14,96	-
37	21,81	4,48	-	7,76	5,1	7,82	38,29	-
38	11,49	1,26	-	19,17	7,52	6,07	18,25	-
39	5,24	4,45	-	11,99	30,13	37,09	2,65	-
40	7,66	14,43	-	1,9	24,86	2,65	8,61	-

**EK 9.b YENİ SANAYİ KAVŞAĞI TAŞIT GELİŞ ARALIKLARI.**

TAŞIT NO	BATI			KUZEY			GÜNEY	KUZEY
	1	2	3	1	2	3	1	1
41	16,70	2,77	-	2,39	5,45	3,76	10,1	-
42	23,07	2,72	-	4,29	4,24	10,24	5,84	-
43	9,37	5,07		18,95	5,44	1,72		
44	6,78	12,62	-	7,54	3,33	7,05	-	-
45	1,55	1,66	-	30,3	3,81	27,28	-	-
46	4,09	50,60	-	9,15	3,46	61,98	-	-
47	12,78	1,25	-	1,86	23,31	-	-	-
48	14,77	2,62	-	3,97	5,46	-	-	-
49	27,77	1,08	-	6,55	2,17	-	-	-
50	4,03	3,91	-	6,73	31,8	-	-	-
51	4,24	5,99	-	3,26	5,26	-	-	-
52	1,74	7,11	-	1,91	15,89	-	-	-
53	1,40	42,50	-	4,16	3,92	-	-	-
54	1,65	3,73	-	4,99	2,93	-	-	-
55	13,44	0,91	-	2,63	9,71	-	-	-
56	30,92	3,25	-	1,97	19,71	-	-	-
57	6,26	4,60	-	4,49	41,06	-	-	-
58	4,25	2,36	-	10,11	7,35	-	-	-
59	13,67	3,50	-	4,13	18,39	-	-	-
60	14,77	4,81	-	21,92	1,56	-	-	-
61	19,79	1,97	-	10,13	1,7	-	-	-
62	1,51	1,08	-	5,21	6,67	-	-	-
63	9,31	6,11	-	5,97	7,64	-	-	-
64	3,73	1,12	-	2,55	4,99	-	-	-
65	2,64	41,19	-	5,86	6,54	-	-	-
66	15,36	5,11	-	3,2	11,05	-	-	-
67	8,92	1,61	-	3,65	11,34	-	-	-
68	4,51	14,03	-	6,25	3,12	-	-	-
69	11,67	43,68	-	4,08	20,72	-	-	-
70	19,58	2,21	-	9,96	4,7	-	-	-
71	4,46	6,59	-	15,36	2,6	-	-	-
72	2,70	1,73	-	16,18	1,84	-	-	-
73	2,69	2,41	-	21,4	1,38	-	-	-
74	10,90	5,42	-	3,27	2,83	-	-	-
75	3,74	33,05	-	5,25	7,48	-	-	-
76	41,87	9,16	-	2,81	15,32	-	-	-
77	6,85	3,64	-	1,52	8,75	-	-	-
78	8,21	0,87	-	2,43	38,76	-	-	-
79	10,33	1,39	-	1,99	10,2	-	-	-
80	4,34	2,04	-	1,27	16,57	-	-	-

**EK 9.c YENİ SANAYİ KAVŞAĞI TAŞIT GELİŞ ARALIKLARI.**

TAŞIT NO	BATI			KUZEY			GÜNEY	KUZEY
	1	2	3	1	2	3	1	1
81	35,04	1,75	-	5,08	5,83	-	-	-
82	5,13	2,87	-	3,5	6,8	-	-	-
83	2,62	5,21	-	7,44	6,53	-	-	-
84	6,76	55,91	-	1,42	7,74	-	-	-
85	4,02	6,13	-	5,55	6,21	-	-	-
86	3,35	20,56	-	7,05	2,61	-	-	-
87	2,60	36,41	-	20,02	3,08	-	-	-
88	3,05	4,15	-	10,53	12,8	-	-	-
89	11,40	5,48	-	13,23	16,98	-	-	-
90	29,14	2,12	-	14,87	0,71	-	-	-
91	9,05	2,60	-	5,38	1,24	-	-	-
92	3,28	9,41	-	9,3	38,68	-	-	-
93	-	11,50	-	8,84	-	-	-	-
94	-	2,54	-	17,35	-	-	-	-
95	-	3,25	-	18,18	-	-	-	-
96	-	25,99	-	2,86	-	-	-	-
97	-	2,12	-	6,59	-	-	-	-
98	-	5,85	-	1,3	-	-	-	-
99	-	2,96	-	5,81	-	-	-	-
100	-	4,72	-	3,55	-	-	-	-
101	-	-	-	11,73	-	-	-	-
102	-	-	-	8,33	-	-	-	-
103	-	-	-	10,52	-	-	-	-
104	-	-	-	8,26	-	-	-	-
105	-	-	-	4,78	-	-	-	-
106	-	-	-	5,77	-	-	-	-
107	-	-	-	1,91	-	-	-	-
108	-	-	-	3,34	-	-	-	-
109	-	-	-	20,05	-	-	-	-
110	-	-	-	8,43	-	-	-	-
111	-	-	-	2,21	-	-	-	-
112	-	-	-	21,54	-	-	-	-
113	-	-	-	8,57	-	-	-	-
114	-	-	-	4,1	-	-	-	-
115	-	-	-	10,6	-	-	-	-

**EK 10.a ÜÇ KOLLU KAVŞAK İÇİN YS-BMM OPTİMİZASYON SONRASINDA ELDE EDİLEN ÜYELİK FONKSİYONLARI DEĞERLERİ.**

	Böl <sub>kuy</sub> As <sub>yf</sub>					Böl <sub>kuy</sub> As <sub>kf</sub>					S <sub>y</sub>				
	Çok Az	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Çok Az	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Çok Az	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla
<b>D1</b>	[-500 0 4]	[1 7 11]	[9 11 17]	[15 21 25]	[21 26 500]	[-500 0 8]	[4 13 17]	[12 16 27]	[22 32 39]	[29 39 500]	[-500 11 15]	[11 14 18]	[16 19 23]	[19 23 26]	[25 27 500]
<b>D2</b>	[-500 0 10]	[0 14 19]	[13 19 32]	[22 35 43]	[34 44 500]	[-500 0 6]	[5 10 24]	[16 28 42]	[34 45 56]	[48 58 500]	[-500 10 12]	[11 13 16]	[14 17 20]	[17 19 23]	[21 23 500]
<b>D3</b>	[-500 0 2]	[0 1 4]	[3 5 6]	[5 7 8]	[7 9 500]	[-500 0 1]	[0 1 2]	[1 2 3]	[2 3 4]	[3 4 500]	[-500 10 11]	[11 14 15]	[14 17 19]	[17 21 23]	[21 23 500]
<b>D4</b>	[-500 0 6]	[1 11 18]	[11 25 31]	[26 29 41]	[37 44 500]	[-500 0 8]	[4 15 23]	[15 25 34]	[31 40 52]	[44 52 500]	[-500 11 12]	[12 13 16]	[14 17 19]	[17 18 21]	[20 22 500]
<b>D5</b>	[-500 0 4]	[2 6 15]	[9 19 25]	[18 28 31]	[29 34 500]	[-500 0 5]	[2 6 10]	[5 11 13]	[10 13 19]	[16 20 500]	[-500 10 14]	[10 14 19]	[15 21 23]	[20 27 30]	[27 30 500]
<b>D6</b>	[-500 0 3]	[1 3 8]	[5 8 14]	[10 15 19]	[14 19 500]	[-500 0 3]	[1 4 9]	[6 10 13]	[9 12 17]	[14 18 500]	[-500 12 14]	[13 18 21]	[18 20 25]	[22 25 29]	[26 30 500]
<b>D7</b>	[-500 0 5]	[2 5 10]	[6 12 15]	[11 15 21]	[17 21 500]	[-500 0 8]	[5 16 22]	[15 28 36]	[28 42 50]	[44 51 500]	[-500 10 13]	[11 14 16]	[15 16 21]	[18 21 24]	[22 25 500]
<b>D8</b>	[-500 0 5]	[2 9 16]	[10 18 28]	[23 33 37]	[33 39 500]	[-500 0 4]	[1 7 9]	[7 10 16]	[13 18 21]	[17 22 500]	[-500 11 12]	[12 16 17]	[16 18 21]	[19 22 26]	[23 26 500]
<b>D9</b>	[-500 0 5]	[1 16 24]	[14 26 40]	[31 42 51]	[43 53 500]	[-500 0 5]	[0 9 22]	[13 22 34]	[26 36 44]	[38 46 500]	[-500 11 13]	[12 14 18]	[16 19 22]	[20 22 25]	[23 26 500]
<b>D10</b>	[-500 0 8]	[2 13 23]	[13 23 35]	[26 34 44]	[40 48 500]	[-500 0 8]	[1 10 15]	[10 15 24]	[18 30 34]	[28 36 500]	[-500 11 14]	[12 16 19]	[17 19 24]	[20 24 28]	[26 29 500]
<b>D11</b>	[-500 0 12]	[0 13 21]	[17 28 37]	[29 35 49]	[44 51 500]	[-500 0 1]	[0 2 3]	[2 3 5]	[4 5 7]	[6 7 500]	[-500 15 16]	[15 16 18]	[17 18 19]	[18 19 21]	[20 21 500]
<b>D12</b>	[-500 0 4]	[2 6 15]	[10 19 23]	[18 24 35]	[28 35 500]	[-500 0 9]	[1 8 23]	[15 22 36]	[27 37 51]	[38 51 500]	[-500 10 14]	[11 15 18]	[14 20 22]	[20 22 27]	[23 27 500]
<b>D13</b>	[-500 0 6]	[3 9 26]	[17 26 37]	[30 35 50]	[42 52 500]	[-500 0 8]	[3 8 15]	[10 17 24]	[20 29 34]	[28 35 500]	[-500 10 12]	[10 12 15]	[13 14 17]	[15 18 20]	[18 20 500]
<b>D14</b>	[-500 0 5]	[3 10 16]	[9 17 23]	[19 23 33]	[29 34 500]	[-500 0 7]	[3 12 23]	[17 31 37]	[32 43 54]	[46 54 500]	[-500 11 14]	[12 15 18]	[16 18 22]	[19 22 26]	[23 26 500]
<b>D15</b>	[-500 0 7]	[3 11 20]	[13 22 35]	[27 34 45]	[41 50 500]	[-500 0 12]	[2 20 29]	[18 30 46]	[34 46 59]	[49 63 500]	[-500 11 13]	[11 13 15]	[14 16 18]	[16 17 19]	[19 20 500]

**EK 10.b. US-BMM OPTİMİZASYON SONRASINDA ELDE EDİLEN ÜYELİK FONKSİYONLARI DEĞERLERİ.**

	Böl <sub>vak</sub> As <sub>vf</sub>				TopAskf			BölkuyAsyf				S <sub>uzat</sub>			
	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Az	Orta	Fazla	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Kısa	Orta	Uzun	Çok Uzun
<b>D1</b>	[-500 0 9]	[4 16 23]	[17 26 32]	[28 37 500]	[-500 0 16]	[4 24 39]	[31 46 500]	[-500 0 10]	[3 14 24]	[13 25 35]	[31 38 500]	[-500 3 6]	[3 8 9]	[7 10 14]	[11 14 500]
<b>D2</b>	[-500 0 11]	[4 10 20]	[13 24 32]	[28 35 500]	[-500 0 23]	[9 68 84]	[57 99 500]	[-500 0 11]	[0 20 25]	[20 30 40]	[33 45 500]	[-500 3 5]	[3 5 7]	[6 8 9]	[8 10 500]
<b>D3</b>	[-500 0 16]	[7 19 31]	[21 35 54]	[46 56 500]	[-500 0 21]	[2 16 40]	[31 42 500]	[-500 0 6]	[2 9 25]	[15 23 38]	[30 39 500]	[-500 4 6]	[4 8 9]	[7 10 12]	[10 12 500]
<b>D4</b>	[-500 0 8]	[0 14 32]	[19 34 54]	[43 57 500]	[-500 0 22]	[3 32 56]	[38 68 500]	[-500 0 6]	[3 13 22]	[15 25 30]	[27 34 500]	[-500 4 6]	[5 7 8]	[7 9 11]	[10 11 500]
<b>D5</b>	[-500 0 10]	[7 17 35]	[26 35 56]	[45 58 500]	[-500 0 10]	[1 29 46]	[39 53 500]	[-500 0 5]	[3 10 22]	[14 27 38]	[30 39 500]	[-500 4 5]	[5 7 9]	[7 10 11]	[10 12 500]
<b>D6</b>	[-500 0 13]	[6 17 30]	[23 36 49]	[39 52 500]	[-500 0 18]	[8 30 54]	[39 54 500]	[-500 0 9]	[0 19 24]	[14 30 40]	[34 42 500]	[-500 3 4]	[4 6 9]	[7 9 12]	[10 13 500]
<b>D7</b>	[-500 0 10]	[2 17 25]	[17 30 37]	[31 42 500]	[-500 0 34]	[13 33 81]	[58 88 500]	[-500 0 10]	[1 13 24]	[19 27 39]	[33 42 500]	[-500 5 6]	[6 8 9]	[8 9 12]	[10 12 500]
<b>D8</b>	[-500 0 19]	[3 17 39]	[22 37 61]	[49 63 500]	[-500 0 46]	[3 53 97]	[56 102 500]	[-500 0 11]	[4 15 24]	[14 23 41]	[29 41 500]	[-500 5 6]	[5 6 8]	[7 9 10]	[10 11 500]
<b>D9</b>	[-500 0 12]	[1 19 33]	[27 45 56]	[49 59 500]	[-500 0 5]	[2 14 21]	[13 25 500]	[-500 0 12]	[3 15 23]	[15 28 39]	[31 40 500]	[-500 3 5]	[3 6 7]	[6 8 10]	[9 10 500]
<b>D10</b>	[-500 0 11]	[0 20 34]	[26 41 54]	[48 59 500]	[-500 0 7]	[2 22 30]	[18 34 500]	[-500 0 12]	[4 17 26]	[16 28 36]	[32 39 500]	[-500 4 5]	[5 7 8]	[6 8 11]	[9 11 500]
<b>D11</b>	[-500 0 14]	[5 21 29]	[23 35 48]	[38 53 500]	[-500 0 32]	[1 78 101]	[84 117 500]	[-500 0 9]	[5 21 29]	[18 28 45]	[34 47 500]	[-500 4 5]	[4 6 8]	[6 9 11]	[9 11 500]
<b>D12</b>	[-500 0 7]	[4 16 28]	[14 25 39]	[29 42 500]	[-500 0 34]	[21 80 115]	[89 129 500]	[-500 0 8]	[5 20 27]	[21 26 43]	[37 47 500]	[-500 4 5]	[4 7 10]	[8 10 14]	[12 14 500]
<b>D13</b>	[-500 0 14]	[3 18 36]	[20 41 53]	[40 54 500]	[-500 0 9]	[1 19 40]	[24 48 500]	[-500 0 8]	[2 9 25]	[14 29 33]	[26 38 500]	[-500 5 6]	[5 8 9]	[8 10 12]	[11 13 500]
<b>D14</b>	[-500 0 6]	[5 10 26]	[16 30 40]	[27 41 500]	[-500 0 13]	[1 30 60]	[36 62 500]	[-500 0 12]	[5 18 26]	[16 27 39]	[31 40 500]	[-500 3 17]	[12 38 67]	[46 65 102]	[79 114 500]
<b>D15</b>	[-500 0 15]	[4 12 33]	[20 32 54]	[39 54 500]	[-500 0 20]	[9 20 43]	[35 50 500]	[-500 0 16]	[1 22 30]	[21 39 46]	[33 50 500]	[-500 4 5]	[4 7 7]	[7 8 9]	[9 10 500]

**EK 11.a. DÖRT KOLLU KAVŞAK YS-BMM OPTİMİZASYON SONRASINDA ELDE EDİLEN ÜYELİK FONKSİYONLARI DEĞERLERİ.**

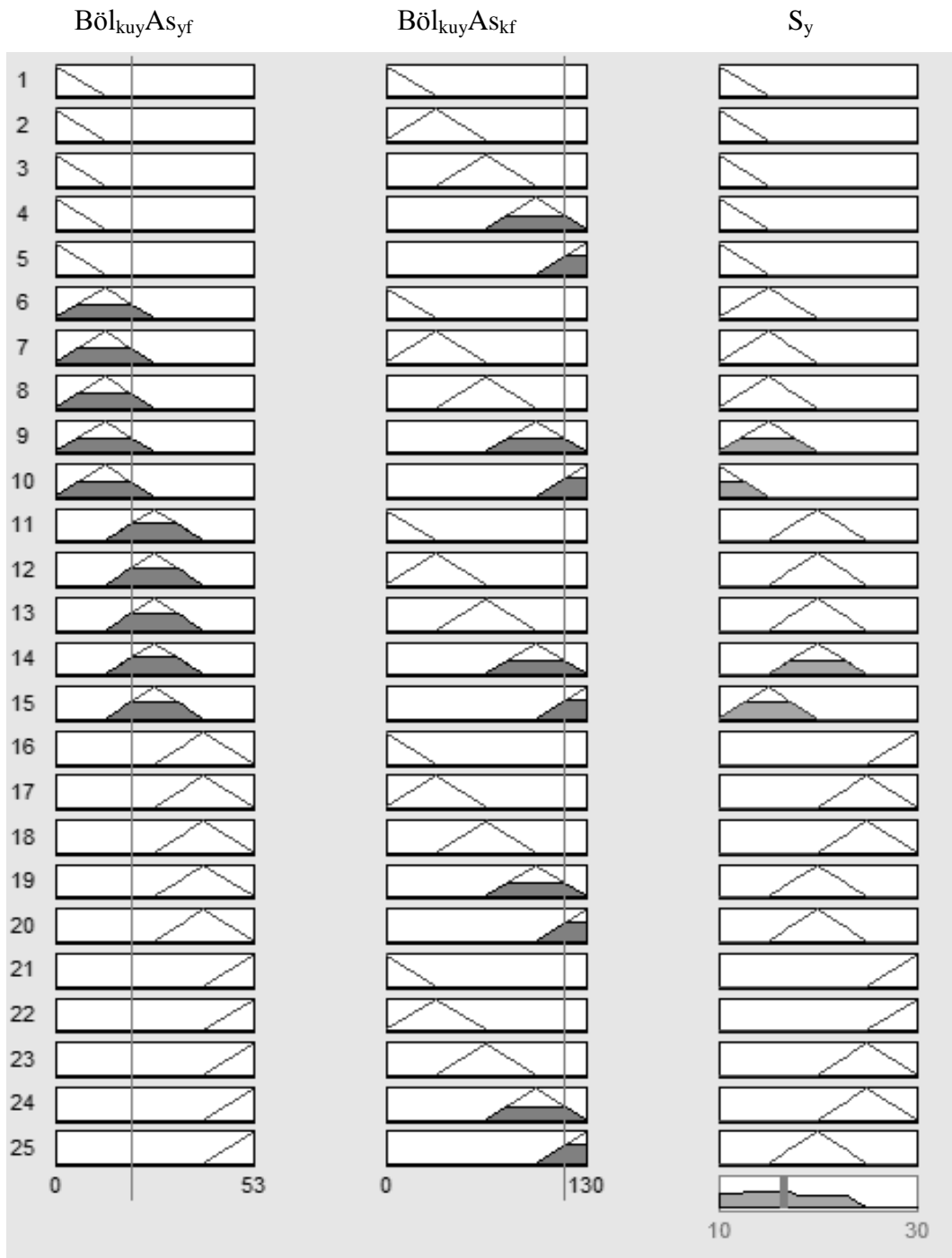
	Böl <sub>kuy</sub> AS <sub>yf</sub>					Böl <sub>kuy</sub> AS <sub>kf</sub>					S <sub>y</sub>				
	Çok Az	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Çok Az	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Çok Az	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla
<b>D1</b>	[-500 0 10]	[2 9 19]	[14 20 30]	[21 35 39]	[32 42 500]	[-500 0 13]	[5 20 29]	[19 35 49]	[36 51 65]	[54 67 500]	[-500 12 15]	[13 15 17]	[16 18 21]	[19 21 24]	[22 25 500]
<b>D2</b>	[-500 0 4]	[1 4 9]	[6 10 13]	[10 16 18]	[15 19 500]	[-500 0 20]	[4 34 59]	[39 54 91]	[72 94 120]	[98 123 500]	[-500 12 14]	[12 15 16]	[14 17 18]	[17 18 21]	[19 21 500]
<b>D3</b>	[-500 0 4]	[1 4 8]	[5 10 13]	[9 13 18]	[16 18 500]	[-500 0 16]	[2 19 34]	[22 34 50]	[39 53 62]	[53 68 500]	[-500 11 12]	[12 15 18]	[16 18 21]	[19 23 25]	[24 26 500]
<b>D4</b>	[-500 0 10]	[2 15 23]	[13 28 34]	[25 34 46]	[41 48 500]	[-500 0 27]	[9 32 52]	[36 49 78]	[61 81 104]	[88 113 500]	[-500 10 14]	[12 15 19]	[16 21 24]	[21 25 29]	[27 30 500]
<b>D5</b>	[-500 0 8]	[3 13 19]	[15 22 30]	[25 33 44]	[36 45 500]	[-500 0 2]	[1 3 4]	[3 5 7]	[5 8 9]	[8 10 500]	[-500 12 14]	[12 17 19]	[17 20 23]	[22 25 28]	[27 29 500]
<b>D6</b>	[-500 0 8]	[2 6 19]	[11 20 25]	[22 29 35]	[31 38 500]	[-500 0 8]	[0 19 25]	[15 28 44]	[30 46 58]	[51 60 500]	[-500 11 13]	[12 12 15]	[13 15 17]	[16 18 20]	[19 20 500]
<b>D7</b>	[-500 0 5]	[2 9 17]	[9 18 25]	[18 26 33]	[29 34 500]	[-500 0 12]	[4 27 37]	[27 53 63]	[45 72 89]	[70 89 500]	[-500 11 14]	[12 14 18]	[16 17 21]	[19 20 24]	[22 25 500]
<b>D8</b>	[-500 0 6]	[2 15 20]	[13 26 33]	[27 35 42]	[35 46 500]	[-500 0 2]	[1 2 6]	[3 6 9]	[7 11 12]	[10 13 500]	[-500 10 11]	[11 13 15]	[13 15 17]	[16 18 20]	[19 20 500]
<b>D9</b>	[-500 0 3]	[1 6 13]	[10 15 21]	[18 24 30]	[24 31 500]	[-500 0 11]	[2 21 44]	[32 56 77]	[57 73 100]	[89 104 500]	[-500 10 12]	[11 13 17]	[14 18 21]	[19 21 25]	[24 26 500]
<b>D10</b>	[-500 0 6]	[3 7 14]	[10 18 22]	[18 22 31]	[24 31 500]	[-500 0 13]	[2 25 46]	[26 52 69]	[54 75 89]	[70 92 500]	[-500 13 15]	[14 17 19]	[16 18 23]	[20 22 26]	[24 26 500]
<b>D11</b>	[-500 0 5]	[2 5 14]	[8 13 22]	[17 23 28]	[25 30 500]	[-500 0 10]	[6 15 28]	[19 32 46]	[32 53 63]	[52 63 500]	[-500 11 13]	[12 14 17]	[16 18 20]	[19 21 24]	[22 25 500]
<b>D12</b>	[-500 0 12]	[3 17 25]	[13 24 34]	[27 38 49]	[41 51 500]	[-500 0 10]	[2 9 21]	[14 21 32]	[24 31 42]	[38 45 500]	[-500 12 14]	[12 15 16]	[15 17 19]	[17 18 20]	[20 21 500]
<b>D13</b>	[-500 0 6]	[2 7 12]	[7 15 19]	[15 21 26]	[23 27 500]	[-500 0 13]	[4 26 59]	[38 55 88]	[71 93 111]	[100 121 500]	[-500 12 13]	[12 14 16]	[15 16 18]	[17 19 20]	[19 21 500]
<b>D14</b>	[-500 0 11]	[4 16 24]	[17 29 37]	[28 41 49]	[41 51 500]	[-500 0 2]	[0 5 9]	[5 9 13]	[11 14 19]	[15 20 500]	[-500 10 13]	[10 13 15]	[14 15 18]	[16 19 21]	[19 22 500]
<b>D15</b>	[-500 0 7]	[3 8 20]	[13 20 34]	[26 30 46]	[35 46 500]	[-500 0 7]	[2 9 17]	[9 16 26]	[18 29 34]	[27 35 500]	[-500 11 14]	[12 15 18]	[15 19 21]	[19 22 25]	[23 26 500]

**EK 11.b. DÖRT KOLLU KAVŞAK US-BMM OPTİMİZASYON SONRASINDA ELDE EDİLEN ÜYELİK FONKSİYONLARI DEĞERLERİ.**

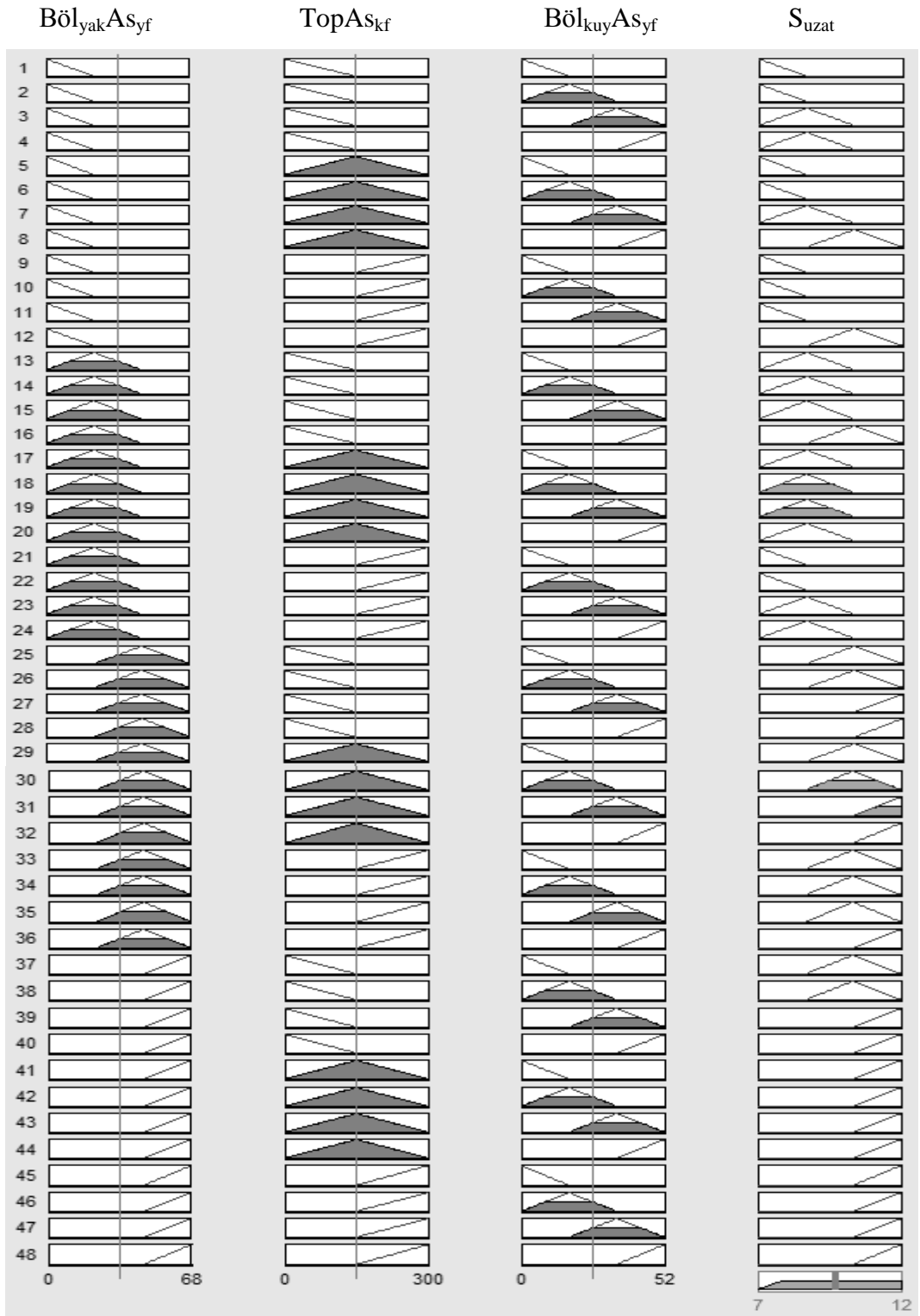
	Böl <sub>yak</sub> As <sub>yf</sub>				TopAskf			BölkuyAsyf				Suzat			
	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Az	Orta	Fazla	Az	Orta	Fazla	Çok Fazla	Kısa	Orta	Uzun	Çok Uzun
<b>D1</b>	[-500 0 4]	[0 11 17]	[10 18 24]	[19 26 500]	[-500 0 64]	[35 105 180]	[93 185 500]	[-500 0 7]	[4 19 30]	[18 34 41]	[36 46 500]	[-500 4 5]	[5 7 8]	[7 9 10]	[9 11 500]
<b>D2</b>	[-500 0 11]	[1 13 22]	[14 24 37]	[31 39 500]	[-500 0 37]	[31 110 160]	[118 184 500]	[-500 0 10]	[2 11 26]	[14 26 41]	[34 41 500]	[-500 4 6]	[5 6 8]	[6 9 11]	[9 11 500]
<b>D3</b>	[-500 0 16]	[1 13 28]	[21 37 46]	[36 49 500]	[-500 0 25]	[16 60 91]	[69 93 500]	[-500 0 5]	[3 12 26]	[15 25 35]	[27 39 500]	[-500 4 6]	[4 6 8]	[7 9 12]	[10 12 500]
<b>D4</b>	[-500 0 17]	[7 25 38]	[27 43 62]	[50 65 500]	[-500 0 51]	[15 91 244]	[174 265 500]	[-500 0 6]	[3 17 26]	[17 32 38]	[36 43 500]	[-500 4 5]	[5 7 8]	[6 8 10]	[10 11 500]
<b>D5</b>	[-500 0 15]	[4 16 40]	[27 49 56]	[50 63 500]	[-500 0 83]	[30 102 160]	[115 182 500]	[-500 0 6]	[1 17 27]	[16 32 37]	[31 41 500]	[-500 4 6]	[5 6 9]	[8 8 12]	[11 12 500]
<b>D6</b>	[-500 0 5]	[2 5 11]	[8 11 18]	[15 19 500]	[-500 0 49]	[6 44 98]	[86 120 500]	[-500 0 7]	[4 13 20]	[14 26 31]	[25 33 500]	[-500 3 6]	[4 8 9]	[7 11 13]	[12 14 500]
<b>D7</b>	[-500 0 7]	[3 8 16]	[9 17 22]	[18 24 500]	[-500 0 25]	[3 50 74]	[42 77 500]	[-500 0 5]	[4 9 22]	[15 25 36]	[27 40 500]	[-500 4 6]	[4 7 10]	[7 11 14]	[12 14 500]
<b>D8</b>	[-500 0 20]	[5 21 36]	[23 45 56]	[49 63 500]	[-500 0 49]	[16 75 155]	[97 164 500]	[-500 0 12]	[1 16 26]	[15 26 43]	[35 44 500]	[-500 3 5]	[4 6 10]	[8 10 13]	[11 14 500]
<b>D9</b>	[-500 0 11]	[6 31 45]	[29 39 65]	[54 68 500]	[-500 0 61]	[2 81 131]	[79 137 500]	[-500 0 6]	[0 7 13]	[9 15 19]	[15 21 500]	[-500 4 5]	[5 6 8]	[6 7 10]	[8 10 500]
<b>D10</b>	[-500 0 20]	[2 16 36]	[25 43 56]	[51 63 500]	[-500 0 21]	[10 36 60]	[49 67 500]	[-500 0 5]	[1 4 10]	[6 12 14]	[13 16 500]	[-500 3 4]	[4 7 8]	[6 8 11]	[10 12 500]
<b>D11</b>	[-500 0 13]	[4 21 28]	[20 29 47]	[34 47 500]	[-500 0 38]	[10 80 113]	[81 120 500]	[-500 0 5]	[0 3 9]	[6 9 13]	[10 14 500]	[-500 3 4]	[3 6 8]	[6 9 11]	[9 11 500]
<b>D12</b>	[-500 0 11]	[5 17 31]	[22 37 46]	[37 50 500]	[-500 0 26]	[0 39 82]	[53 94 500]	[-500 0 5]	[1 7 12]	[9 12 20]	[17 21 500]	[-500 4 5]	[5 7 9]	[7 9 11]	[9 11 500]
<b>D13</b>	[-500 0 22]	[2 16 41]	[30 46 59]	[53 66 500]	[-500 0 30]	[1 86 121]	[77 132 500]	[-500 0 11]	[3 13 23]	[13 25 36]	[24 36 500]	[-500 4 5]	[4 7 8]	[6 8 10]	[9 11 500]
<b>D14</b>	[-500 0 12]	[4 23 36]	[27 35 61]	[47 63 500]	[-500 0 15]	[2 18 25]	[23 31 500]	[-500 0 14]	[1 11 29]	[18 31 48]	[36 49 500]	[-500 5 7]	[5 7 10]	[8 11 14]	[11 14 500]
<b>D15</b>	[-500 0 2]	[1 3 7]	[4 9 11]	[9 12 500]	[-500 0 56]	[5 76 140]	[93 157 500]	[-500 0 11]	[4 13 29]	[15 29 44]	[37 45 500]	[-500 4 5]	[5 7 8]	[7 9 11]	[10 11 500]



**EK 12. YEŞİL SÜRE BULANIK MANTIK MODÜLÜNE AİT BULANIK ÇIKARIM ÖRNEĞİ**



**EK 13. YEŞİL SÜRE UZATMA BULANIK MANTIK MODÜLÜNE AİT BULANIK ÇIKARIM ÖRNEĞİ**



## ÖZGEÇMİŞ

Erdem Doğan, Ankara’da 1980 yılında doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Kırıkkale’de tamamlamıştır. 2002 yılında, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun olduktan sonra bir süre özel sektörde saha mühendisi olarak çalışmıştır. 2004 yılında Kırıkkale Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamış ve 2007 yılında yüksek lisansını tamamlamıştır. 2012 yılında doktora tez araştırması yapmak üzere VirginiaTech Transportation Institute ‘de bulunan Erdem DOĞAN akıllı optimizasyon ve trafik uygulamaları, sinyalizasyon konularına ilgi duymaktadır. Erdem DOĞAN evli ve iki çocuk babasıdır.