

155651

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ GECİKME TAHMİNİNDE
YAPAY ZEKA YÖNTEMİ İLE FARKLI YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Ahmet ATALAY

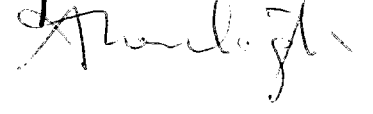
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2004**

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Mahir GÖKDAĞ danışmanlığında Ahmet ATALAY tarafından hazırlanan bu çalışma 08.08./2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mahir GÖKDAĞ İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Samet HAŞILOĞLU İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sinan HANISLIOĞLU İmza : 

Üye : İmza :

Üye : İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL
Enstitü Müdürü


Enstitü Müdürü

ÖZET

Y. Lisans Tezi

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME TAHMİNİNDE YAPAY ZEKA YÖNTEMİ İLE FARKLI YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ahmet ATALAY

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mahir GÖKDAĞ

Trafik kontrolünde en önemli performans ölçülerinden birisi taşıt gecikmesidir. Gecikmenin doğru bir şekilde gerçeğe uygun olarak tahmin edilmesi gereklidir. Bu çalışmanın amacı yapay zeka tekniklerini kullanarak taşıt gecikme tahminini yapmaktır. Bu çalışmada sinyalize kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmeleri ANFIS (Adaptive Network based Fuzzy Inferece System) ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada Erzurumda iki sinyalize kavşakta gözlem yapılmıştır. Kavşakların trafik hacimleri belirlenmiştir. Belirlenen değerleri kullanarak Sinyal Simulasyon Modeli (SSM) 50 sn ve 60 sn aralıklarla gecikme değerleri üretilmiştir. Bu SSM gecikmelerini kullanarak ANFIS ile gecikme tahmini yapılmıştır. Gecikme varolan gecikme formülleri Webster, Doherty, ve HCM ((Highway Capacity Manual) HCM 85, HCM 94, HCM 97, HCM 2000) formülleri ile hesaplanmıştır. Sonra elde edilen gecikme değerleri karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak doygunluk derecesinin 1 den büyük olduğu durumlarda Webster ve Doherty gecikme formülleri HCM formüllerinden yüksek gecikme değerleri verdikleri görülmüştür. ANFIS'in SSM ve gözlem gecikme değerlerine yakın gecikme tahmini yaptığı görülmüştür.

2004, 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sinyalize Kavşaklar, Taşıt Gecikmesi, Gecikme Tahmini, Yapay Zeka, ANFIS,

ABSTRACT

Master Thesis

THE COMPARISON OF DIFFERENT METHODS WITH PROCEDURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DELAY ESTIMATION AT THE SIGNALIZED INTERSECTIONS

Ahmet ATALAY

**Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mahir GÖKDAĞ

The principal measurement of performance is vehicle delay at traffic control. It is necessary that estimation of delay correctly must be done. The aim of study is to estimate vehicle delay by using techniques of artificial intelligence. In this study, vehicle delays occur at signalized intersections were studied to estimate by ANFIS (Adaptive Network based Fuzzy Inference System).

In this study, observation was done at two signalized intersection in Erzurum. Traffic volume of intersections are determined. Delay values are produced by Signal Sumulasyon Model with 50 and 60 sec intervals. Estimation delay is done by using this delay of SSM in ANFIS. Delay is calculated by formulas of delay that are Webster, Doherty and HCM ((Highway Capacity Manual) HCM 1985, HCM 1994, HCM 1997, HCM 2000) formulas. Afterwards, delays were compared.

Consequently, in degree of saturation is passed to 1, it is noticed that delay of Webster and Doherty are bigger than delays of HCM. It is noticed that ANFIS closely estimated vehicle delay to delay of SSM and observation.

2004, 119 pages

Keywords: Signalized Intersections, Vehicle Delay, Delay Estimation, Artificial Intelligence, ANFIS,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında destek, öneri, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanı hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mahir GÖKDAĞ'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma sürecindeki katkı ve desteklerinden dolayı Erzurum Narman Meslek Yüksekokulu Müdürü ve personeline, bilgi ve tecrübesinden faydalandığım hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Samet HAŞILOĞLU'na, bu çalışmada simulasyon programında yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur YAVUZ'a ve kamera çekimlerinde kamerasından faydalandığım Sayın Dr. Ahmet TORTUM'a ve Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğindeki Sayın Araştırma Görevlisi arkadaşlarım başta olmak üzere emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmanın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve eşime teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet ATALAY

Ağustos 2004

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1. 1. Sinyalize Kavşaklar.....	2
1. 2. Sinyalize Kavşakların Sevk ve İdaresi	4
1. 3. Sinyalize Kavşak Sistemleri	6
1. 4. Sinyalizasyon Hesapları	6
1. 4. 1. Faz.....	7
1. 4. 2. Devre.....	8
1. 4. 3. Sinyalize Kavşaklarda Kapasite.....	9
1. 4. 4. Doygun Akım ve Efektif Yeşil Süre.....	9
1. 5. Taşıt gecikmesi.....	13
1. 5. 1. Webster gecikme formülü	15
1. 5. 2. HCM (Highway Capacity Manual) gecikme formülleri.....	15
1. 5. 3. Doherty gecikme formülü	19
1. 6. Sinyalize Kavşaklarda İşlemsel Analizler.....	19
1. 7. Yapay Zeka.....	32
1. 8. Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri.....	33
1. 8. 1. Uzman Sistemler (Expert Systems).....	33
1. 8. 2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic).....	34
1. 9. Bulanık kontrolör.....	40
1. 10. Yapay sinir ağları (Artificial Intelligence Networks).....	42
1. 10. 1. Aktivasyon Fonksiyonları.....	43
1. 11. Esnek Programlama (Soft Computing).....	46

1. 12. Trafikte Yapay Zeka Uygulamaları.....	47
1. 12. 1. Uzman Sistemlerin Trafikte Kullanımı.....	48
1. 12. 2. Bulanık Mantığın Trafikte Kullanımı.....	48
1. 12. 3. Yapay Sinir Ağlarının Trafikte Kullanımı	49
1. 12. 4. Esnek Programlamanın Trafikte Kullanımı	49
1. 13. Sinir Bulanık Sistemler (Neurofuzzy System).....	50
1. 13. 1. Takagi, Sugeno, ve Kang Bulanık Model.....	51
1. 13. 3. ANFIS için Hybrid Öğrenme Algoritması	55
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	56
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	61
3. 1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	61
3. 2. Gözlem Yapılan Kavşaklar.....	62
3. 3. Uygulanan Gözlem Yöntemi	63
3. 3. 1. Gözlem sonuçları.....	63
3. 4. Sinyal Simulasyon Modeli.....	68
3. 5. ANFIS ile Gecikme Tahmininin Yapılması.....	69
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	75
4. 1. 50. Yıl Kavşağı Taşıt Gecikmesi Tahmini	75
4. 2. Aliravi Kavşağı Taşıt Gecikmesi Tahmini	90
4. 3. Sonuçların Değerlendirilmesi	102
5. SONUÇ.....	106
KAYNAKLAR.....	108
EKLER.....	110
EK 1.....	110
EK 2.....	115
EK 3.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	119

SİMGELER DİZİNİ

C	Devre süresi (sn)
L	Devre başına toplam kayıp zamanı (sn)
s	Doygun akım (tş/sa)
a	Sarı ışık süresi(sn)
g	Efektif (etkili) yeşil süre (sn)
c	Şerit Kapasitesi (tş/sa)
W	Yol şerit genişliği (m)
W _d	Yavaşlama gecikmesi (sn/tş)
W _s	Durma gecikmesi (sn/tş)
W _a	Hızlanma gecikmesi (sn/tş)
d	Ortalama kontrol gecikmesi (sn/tş)
m	Variş türü derecesinin etkisini gösteren artan gecikme kapasite terimi
d ₁	Ortalama üniform gecikme (sn/tş)
d ₂	Rastgele ve doygunluk üzeri kuyruklardan dolayı ortalama artan gecikme (sn/tş)
T	Analiz periyodunun süresi(saat)
k	Sinyal kontrolörün ayalarına bağlı artan gecikme faktörü
PF	Variş türü ve sinyal zamanlamasının bir fonksiyonu olarak ilerleme ayarlama faktörü
k	Sinyal kontrolörün ayalarına bağlı artan gecikme faktörü
l	Yokuş yukarı filtre/saat ayarlama faktörü
U	Şerit kullanım faktörü

Kısaltmalar:

LOS	Hizmet seviyesi
Yob	Yolcu otomobili eşdeğeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dört kollu sinyalize kavşaklarda iki fazlı sistem	7
Şekil 1. 2. Dört kollu sinyalize kavşaklarda üç fazlı sistem	7
Şekil 1. 3. Üç kollu sinyalize kavşaklarda iki fazlı sistem	8
Şekil 1. 4. Doygun şartlar altında $d(t)$ boşalma oran eğrisi ve efektif yeşil süre ...	10
Şekil1. 5. Trafik sinyallerdeki gecikmeler (Luttinen and Nevela 2002)	13
Şekil 1. 6. Bir uzman sistemin blok yapısı.....	34
Şekil 1. 7. Bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri	35
Şekil 1. 8. Bulanık küme işlemleri	36
Şekil 1. 9. Örnek bir Otomobil Hız Uzayının Bulanıklaştırılması.....	36
Şekil 1. 10. Üçgen üyelik fonksiyonu	37
Şekil 1. 11. Yamuk üyelik fonksiyonu	37
Şekil 1.12. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu	38
Şekil 1. 13. Fuzzy kümesinin core, desteği ve sınırları	38
Şekil 1. 14. Bulanık kümeler (a) normal (b) normal olmayan	39
Şekil 1. 15. Bulanık kümeler (a) dış bükey (b) dış bükey olmayan	40
Şekil 1. 16. Genel Bir Bulanık Kontrolör Yapısı.	40
Şekil 1. 17. Bulanık Kural Tabanlı Çıkarım Sistem Yapısı.....	41
Şekil 1. 18. Nöron' un Biyolojik Modeli	42
Şekil 1. 19. Bir Nöronun YSA Modeli	42
Şekil 1. 20. Lineer aktivasyon fonksiyonu	43
Şekil 1. 21. İkili ve bipolar thereshold (step) aktivasyon fonksiyonu	44
Şekil 1. 22. Parçalı (piecewise) aktivasyon fonksiyonu	45
Şekil 1. 23. Sigmoidal aktivasyon fonksiyonu	45
Şekil 1. 24. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu	46
Şekil 1. 25. Bir dört girişli ANFIS ağı	54
Şekil 3. 1. 50. Yıl Kavşağı	62
Şekil 3. 2. Aliravi Kavşağı	63
Şekil 3. 3. İki giriş ve bir çıkışlı bir ANFIS modelin yapısı.....	71
Şekil 3. 4. Zaman girdisi için üyelik fonksiyonu ve parametreleri.....	71

Şekil 3. 5. Akım girdisi için üyelik fonksiyonu ve parametreleri.....	72
Şekil 3. 6. Kuyruk girdisi için üyelik fonksiyonu ve parametreleri.....	72
Şekil 3. 7. Girdi değerleri Zaman=1440 sn , Akım=68tş/sn, Kuyruk=1 için ANFIS'in yaptığı tahmin	73
Şekil 4. 1. Üç girdi ve bir çıktılı sugeno model.....	75
Şekil 4. 2. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri	76
Şekil 4. 3. Oluşturulan anfis modelin yapısı.....	76
Şekil 4. 4. ANFIS modelde girdi ve çıktı değişkenlerinin oluşturduğu bulanık yüzeyin üç boyutlu görünümü.....	76
Şekil 4. 5. ANFIS modelde girdi (zaman, akım, kuyruk) değişkenlerinin çıktı (gecikme) değişkeni ile olan değişimleri	77
Şekil 4. 6. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	77
Şekil 4. 7. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	77
Şekil 4. 8. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	78
Şekil 4. 9. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (sabah) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü.....	78
Şekil 4. 10. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	79
Şekil 4. 11. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü	80
Şekil 4. 12. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri	81
Şekil 4. 13. Oluşturulan anfis modelin yapısı.....	81
Şekil 4. 14. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	82
Şekil 4. 15. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	82
Şekil 4. 16. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	82
Şekil 4. 17. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (akşam) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü.....	83
Şekil 4. 18. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	84
Şekil 4. 19. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	85
Şekil 4. 20. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	86

Şekil 4. 21. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri	87
Şekil 4. 22. Oluşturulan anfis modelin yapısı	87
Şekil 4. 23. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	88
Şekil 4. 24. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	88
Şekil 4. 25. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	88
Şekil 4. 26. 50. Yıl Kavşağı batı koluna (akşam) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü.....	89
Şekil 4. 27. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	89
Şekil 4. 28. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	91
Şekil 4. 29. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri.....	92
Şekil 4. 30. Oluşturulan anfis modelin yapısı.....	92
Şekil 4. 31. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	92
Şekil 4. 32. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	93
Şekil 4. 33. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	93
Şekil 4. 34. Aliravi Kavşağı doğu koluna (öğle) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü.....	94
Şekil 4. 35. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	95
Şekil 4. 36. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	95
Şekil 4. 37. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri.....	96
Şekil 4. 38. Oluşturulan anfis modelin yapısı.....	97
Şekil 4. 39. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	97
Şekil 4. 40. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	97
Şekil 4. 41. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	98
Şekil 4. 42. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları.....	98
Şekil 4. 43. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	99

Şekil 4. 44. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	101
Şekil 4. 45. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü.....	101
Şekil 4. 46. Değişik doygunluk derecelerinde Webster HCM ve Doherty gecikme formüllerinin değişimi.....	105



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Taşıtların otomobil eşdeğerleri	12
Çizelge 1. 2. Şerit genişliğine göre doymun akım	12
Çizelge 1. 3. Finlandiya ve Amerikan planlama standartlarına uygun hizmet düzeyi kriteri.....	14
Çizelge 1. 4. HCM 2000 deki takım oranı R_p ve ilave ayar faktörü f_p için varsayım değerleri.....	18
Çizelge 1. 5. Girdi işlem tablosu	20
Çizelge 1. 6. Hacim ayarlama işlem tablosu.....	22
Çizelge 1. 7. Şerit kullanım faktörü	23
Çizelge 1. 8. Doymun Akış Oranı Modülü İçin Planı	24
Çizelge 1. 9. Şerit genişliği için ayarlama faktörü	24
Çizelge 1. 10. Ağır araçlar için ayarlama faktörü	25
Çizelge 1. 11. Eğim için ayarlama faktörü	25
Çizelge 1. 12. Park yapan araçlar için ayarlama faktörü	25
Çizelge 1. 13. Otobüs tıkanıklığı için ayarlama faktörü	25
Çizelge 1. 14. Alan türü için ayarlama faktörü	26
Çizelge 1. 15. Kapasite analiz işlem tablosu	27
Çizelge 1. 16. Hizmet düzeyi işlem tablosu	30
Çizelge 1. 17. Mamdani ve TSK bulanık sistemlerinin karşılaştırılması	52
Çizelge 1. 18. ANFIS için Hybrid Öğrenme Algoritması	55
Çizelge 3. 1. 50 Yıl Kavşağı ortalama trafik hacim değerleri.....	64
Çizelge 3. 2. 50. Yıl Kavşağı Sinyal devre süreleri ve doymun akım değerleri...	64
Çizelge 3. 3. 50. Yıl Kavşağı doğu- batı kolları için elde edilen gecikme değerleri.....	67
Çizelge 3. 4. Aliravi Kavşağı ortalama trafik hacim değerleri.....	67
Çizelge 3. 5. Aliravi Kavşağı Sinyal devre süreleri ve doymun akım değerleri...	68
Çizelge 3. 6. 50. Yıl Kavşağı doğu- batı kolları için elde edilen gecikme değerleri.....	68
Çizelge 3. 7. ANFIS'te FIS oluşturmak için kullanılan örnek veri kümesi.....	70

Çizelge 3. 8. Eğitim (Training) sonucu oluşturulan yirmi dört kuraldan ilk oniki kural	74
Çizelge 4. 1. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi.....	78
Çizelge 4. 2. Elde edilen gecikme değerleri.....	79
Çizelge 4. 3. 50. Yıl Kavşağı doğu kolu (öğle) elde edilen gecikme değerleri....	80
Çizelge 4. 4. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi.....	83
Çizelge 4. 5. Elde edilen gecikme değerleri.....	84
Çizelge 4. 6. Elde edilen gecikme değerleri.....	85
Çizelge 4. 7. Elde edilen gecikme değerleri.....	86
Çizelge 4. 8. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi	89
Çizelge 4. 9. Elde edilen gecikme değerleri	90
Çizelge 4. 10. Elde edilen gecikme değerleri.....	91
Çizelge 4. 11. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi.....	93
Çizelge 4. 12. Elde edilen gecikme değerleri.....	94
Çizelge 4. 13. Elde edilen gecikme değerleri.....	96
Çizelge 4. 14. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi.....	98
Çizelge 4. 15. Elde edilen gecikme değerleri.....	99
Çizelge 4. 16. Elde edilen gecikme değerleri.....	100
Çizelge 4. 17. Elde edilen gecikme değerleri.....	102
Çizelge 4. 18. Eğitim ve test hatası değerleri.....	103
Çizelge 4. 19. Değişik doygunluk derecelerine göre elde edilen gecikme değerleri ($C = 70$ sn, $g = 20$ sn, $v = 638$ tş/sa, $s = 5250$ tş/sa, $\lambda = 0,285$).....	104
Çizelge 1. Sağa dönüşler için ayarlama faktörü.....	110
Çizelge 2. 50. Yıl Kavşağı doğu kolu (sabah) için $T = 1800$ sn zaman dilimi için SSM çıktısı.....	115
Çizelge 3. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (sabah) ait ANFIS modelini oluşturmak için alınan eğitim verileri.....	116
Çizelge 4. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (sabah) ait eğitmek için alınan veriler...	117

1.GİRİŞ

Gün geçtikçe artan nüfus beraberinde ulaşım ihtiyacını doğurmuştur. Dünyanın hemen her yerinde karayolu ulaşımı ve trafiği büyük bir problem haline gelmiştir.Genel ulaşım stratejisinin büyük ölçüde karayoluna yüklenmesi nedeniyle, bu problem daha ileri boyutlara ulaşmıştır.

Artan trafiği kontrol altına almak için ihtiyaca göre trafik kontrol sistemleri oluşturulmuştur. Bu trafik kontrol sistemlerinden biri olan trafik sinyalizasyonu , yoğun trafik hacmine sahip kavşaklarda trafik polisi ile yönlendirme haricinde en etkin trafik kontrol sistemidir.

Eşdüzey kavşakların denetiminde sinyalizasyon sistemlerinden faydalanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri, hem yaya ve taşıt güvenliğinin sağlanması, hem de kavşak kapasitesinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır.Bununla birlikte yanlış uygulanan ve yetersiz kalan sinyalizasyon tasarımları, kazalara neden olmakta, kavşak kapasitesini düşürmekte ve kavşaklarda taşıt kuyruklarının artmasına yol açarak taşıtların gecikme sürelerini artırmakta ve giderek itaatsizliğe neden olmaktadır.

İstatistiklere göre hemen her ülkede trafik kazalarının yaklaşık %40-%60'ı eşdüzey kavşaklarda meydana gelmekte, gecikmelerin ise %70'den fazlası yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan kaynaklanmaktadır (Yayla 1992). Kavşaklarda meydana gelen gecikmelerden dolayı kavşak kapasitesinde azalmalar görülmektedir. Bir taşıtın kendi kontrolünde olmayan nedenlerle kaybettiği zamana gecikme adı verilir. Işıklı işaretlerle kontrol edilen kavşak veya yaya geçitlerinde taşıtlar diğer taşıt ve yayaları beklemek zorunda olduklarından, ayrıca onların yanlarından geçerken hızlarını düşürdüklerinden gecikirler. Bu gecikmeler yollardaki trafik hacmine, taşıt sürücülerinin davranışlarına, kavşakların geometrik şekline, görüşü engelleyen durumların olup olmaması gibi değişkenlere bağlıdır.

Kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmeleri tüm trafik sistemini etkiler; taşıt sürücülerinin hat seçiminde ve trafiğin yol ağı üzerindeki dağılışında ana rolü oynarlar. Ayrıca gerek yollardaki taşıt gecikmelerini minimize edebilmek ve gerekse alternatif kavşak gelişim projelerinin ekonomik değerlendirmelerini yapabilmek için gecikme miktarının gerçeğe uygun olarak tahmin edilmesi gerekir.

1. 1. Sinyalize Kavşaklar

Trafik mühendisliğinin en önemli konularından biri kavşak kontrolüdür. Denetim şekillerine göre kavşaklar ; denetimli, denetimsiz, dönel ve köprülü kavşaklar olmak üzere dörde ayrılır. Denetimli kavşaklarda, taşıt hareketleri polisle veya daha çok ışıklı işaretlerle düzenlenir. Işıklı işaretlerle idare edilen kavşaklara sinyalize kavşak adı verilir (Yayla 1992).

Karayollarının belirli bir kesiminden birim zamanda geçen taşıtların sayısını artırmak ve meydana gelen kazaların sayısını azaltmak için trafiğin denetim altına alınması gereklidir. Trafiğin belirli bir yol kesiti üzerinde veya bir eşdüzey kavşakta en ekonomik ve güvenilir bir şekilde kontrol altına alınması ışıklı işaretler yardımı ile olur (Gökdağ 1996).

Farklı yönlerdeki trafik akımlarının ortaklaşa kullandıkları yol alanına eşdüzey kavşak adı verilir. İstatistiklere göre hemen her ülkede kent içi ve kırsal yollarda trafik kazalarının %40-%60 ı birden fazla yolun birleşmeleri veya kesişmeleri ile oluşan bu eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan özellikle kent içi ulaşımında gecikmelerin %70 den fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır. Bu iki husus yol ve trafik mühendisliğinde eşdüzey kavşaklara özel önem verilmesinin başlıca sebepleridir (Yayla 1992).

Sinyalize kavşak tasarımında, öncelikle ; düzenlenecek kavşak ile ilgili detaylı verilerin toplanması gereklidir. Çünkü mevcut tasarım yöntemleri genellikle geliştirildiği

Ülkelerin trafik koşullarına göre hazırlandığından diğerk ülkelerde sağlıklı sonuçlar vermemektedir.Bilindiği gibi ,her ülkede trafik kompozisyonu şerit kullanımı, şerit kapasitesi, doygun akım değeri, taşıt izleme aralığı ve sürücü davranışı gibi faktörler değişkendir.Dolayısıyla, bu faktörler ile ilgili ülkeler ve hatta kentler bazında veri toplanması ve bu verilerin incelenerek sinyalizasyon kavşak tasarımında yararlanılması gerekmektedir (Murat 2001).

İlk trafik sinyal tesisi 1868 yılında İngiltere'nin Westminster şehrinde inşa edildi Bu tesis gaz ile aydınlatılıyordu.bu uygulamadan sonra bu tip sinyaller büyük bir gelişme gösterdi. İlk otomatik trafik sinyal tesisi 1926 yılında yine İngiltere'de kuruldu. İlk sinyallerde kırmızı ve yeşil dönüşümlü olarak sabit zaman periyotlarında otomatik şekilde tekrarlatılıyordu. Işıklı sinyaller özellikle 1950 yılından sonra gelişme gösterdi. Türkiye'de ise 1965 yılından sonra etkili bir şekilde ışıklı sinyal tesislerinin kurulduğu görülmektedir. Çeşitli renkte ışıklı ışaretlerin kullanılması sureti ile trafiğin kontrol altına alınmasına sinyalizasyon ışıklı ışaretler ile donatılmış kavşaklar ise sinyalizasyon kavşak olarak adlandırılır (Gökdağ 1996).

Bir kavşakta sinyalizasyon tesisi kurulabilmesi için kesişen trafik yükleri veya kaza sayısı gibi nedenlerin yeterli değere ulaşması gerekmektedir.Buna göre sinyalizasyon kavşağa geçmek için şehir içi yollarda şerit başına düşen taşıt sayısının 750taşıt/saat şehir dışı yollarda ana arterde 500 taşıt/saat ,tali yollarda 125taşıt/saat olması veya sinyalizasyon tesisi kurulduğunda bir yıl boyunca nlene bilecek trafik kazaları sayısının en az 5 olması gerekir.Yaya yoğunluğu olarak günün en kalabalık 8 saati boyunca saatte ortalama 250 den fazla yayanın bir yolu geçmesi veya bu yoldan kavşağa gelen taşıt trafiği 600 taşıt/saat i geçiyor ise o kavşağın sinyalizasyonu gerekmektedir (Gökdağ 1996).

Sinyalizasyonun Kullanım Amaçları: Daha düzenli bir trafik akışı sağlamak, kazaları azaltmak veya önlemek, kesişmeleri önlemek, trafiğe katılan yaya veya taşıt sürücülerine geçiş hakkı verilerek trafiğin güvenliğini sağlamak. şerit başına düşen kapasiteyi artırmak, trafik çatışmalarını ve gecikmeyi azaltmak, trafiğin memur veya

benzeri denetim şekilleri ile yönlendirilmesine göre ekonomikliği sağlamak sinyalizasyonun amaçlarındandır.

Sinyalizasyonun Sahip Olması Gereken Özellikler

- a- Sürücü ve yayaların dikkatini çekmeli
- b- Basit ve kesin anlamları olmalı
- c- Sürücü ve yayaların saygı göstermelerini ve kurallara uymalarını sağlamalı
- d- Sürücülere intikal ve reaksiyon için yeterli süre tanımalıdır.

1. 2. Sinyalize Kavşakların Sevk ve İdaresi

- a. El ile sevk ve idare
 - b. Sabit zamanlı sistemler
 - c. Trafik uyarmalı sistemler
 - Yarı trafik uyarmalı sistemler
 - Tam trafik uyarmalı sistemler
 - d. Yaya uyarmalı sistemler
- olarak adlandırılırlar (Ayfer 1977).

a. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi: Herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda tablasına bağlanarak ışıklı sinyallerin dışarıdan yönetilmesi sağlanabilir. Bu sisteme el ile kumanda edilen sinyalizasyon sistemi denir.

b. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi: Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminde devre süresi, faz süresi, faz sayıları ve değişim aralıkları önceden belirlenir. Sistemde, kavşağa değişik yönlerden yaklaşan taşıt ve yaya trafiğine önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilmektedir. Çeşitli yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek geçiş hakkı süreleri (yeşil süreler) ve bu sürelerin birbirine olan oranı ortalama trafik yükü değerlerine göre saptanır. Dolayısıyla bu sistemin

başarılı olabilmesi için mümkün mertebe çok sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir.

c. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi: Trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde, taşıtların geçiş hakkı sıra ve süreleri algılayıcı (detektörler) tarafından saptanan trafik talep ve yoğunluklarına göre düzenlenmektedir. Bu sistem genel olarak iki türlü uygulanmaktadır.

1. Yarı trafik uyarmalı sistem : Bu tip sinyalizasyon sisteminde kavşak yaklaşım kollarının bazılarında uyarı kabul edilir.Genellikle ana yol niteliğinde olan yol üzerindeki akım yönlerine sürekli olarak yeşil ışıklı sinyal verilir ve tali yol veya yolların her hangi birinden geçiş talebi uyarısı almadıkça cephe gruplarının ışıklı sinyallerinde bir değişiklik olmaz.

2. Tam trafik uyarmalı sistem : Bu tip sinyalizasyon sisteminde kavşak yaklaşım kollarının hepsinden sürekli olarak uyarı alınır ve geçiş hakkı sıra ve süreleri uyarı alınan yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Tam trafik uyarmalı sistemler, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladıklarından, toplam gecikmeleri minimuma indiren en ideal sistemlerdir.

Trafik uyarmalı sistemlerden en yaygın olarak kullanılan sistem süre uzatmalı sistemlerdir. Bu sistemlerde kavşağın faz düzenine göre her yaklaşım kolu için minimum yeşil süre hesaplanmakta , daha sonra mevcut faz durumuna göre yaklaşım kollarındaki algılayıcılardan seyrelmeler gözlemlendiğinde faz sona ermekte ve algılayıcılardan alınan verilere dayanarak bir sonraki faza geçilmektedir (Grace ,Morris ve Pak-Poy (1964),Webster ve Cobbe (1996), Morris ve Pak-Poy (1967), Staunton (1976)).

d. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi: Sinyalizasyon tesisleri genellikle kavşaklarda, bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında ve kavşak olamayan yaya geçitlerinde kurulur. Kavşaklardan uzak olan yaya geçitlerinde, sürekli olarak veya günün belirli saatlerinde yayalara güvenli geçiş hakkı tanımak üzere sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi uygulanabilir. Yaya akımının az olduğu yer ve saatlerde ise taşıtlara verilen sürekli geçiş hakkı yayaların butonlara basmaları ile kesilir (Ayfer 1977).

1. 3. Sinyalize Kavşak Sistemleri

a. İzole Sistem: Tek başına çalışan sinyalizasyon sistemi

b. Koordine Sistem: Aynı yol üzerinde en az iki kavşağın birbiriyle bağımlı olarak çalıştığı sistemlerdir. Bu sistemler simultane, alternatif ve progressif sistemler olmak üzere üçe ayrılırlar.

1. Simultane (senkronize) sistem: Birbirine bağlanan bütün kavşaklarda ana yol üzerindeki taşıt cepheleeri aynı zamanda aynı ışıklı sinyalleri verirler.

2. Alternatif sistemler: Bir anayol boyunca birbirini izleyen kavşaklarda arka arkaya zıt ışıklı sinyaller verilir. Bu sistemlerin amacı taşıtların iki kavşak arasındaki uzaklığı bir sinyal devresinin yarısı kadar zamanda almalarını sağlamak, böylece taşıtların anayol boyunca belirli bir hızda seyretmelerini gerçekleştirmektir.

3. Progressif sistemler: Bir kavşakta geçiş hakkı olan taşıtın bunu takip eden kavşaklarda da beklemeden geçişini sağlayan sistemlerdir. Busistemler basit ve flexible olmak üzere iki çeşittir.

- Basit Progressif Sistemler: Belirli bir hıza sahip taşıt grubunun yol boyunca her kavşakta yeşili bulmasını sağlayan sistemlerdir.

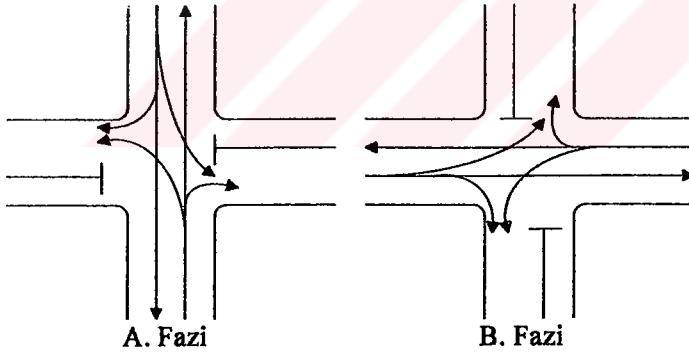
- Flexible Progressif Sistemler: Devre süreleri ve ışık süreleri her kavşakta ve günün değişik saatlerinde değişik olabilir.

1. 4. Sinyalizasyon Hesapları

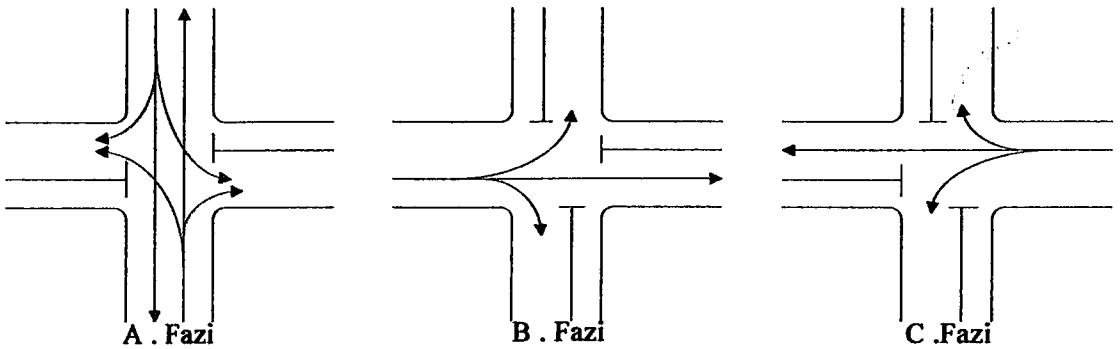
Bir kavşağın planlanması, sinyalizasyon ile birlikte düşünülmelidir. Sinyalize kavşakta bir yön için yeşil, sarı, kırmızı ve kırmızı/sarı ışıkların bir defa yanması ile geçen süreye sinyal devresi denir. Bir devre süresi içinde çeşitli yönlere geliş hakkı verilebilir. Devre süresi içinde geçiş hakkı sayısının artması ile kavşağın güvenliği artarken kapasitesinde azalma olur (Peter 1982).

1. 4. 1. Faz

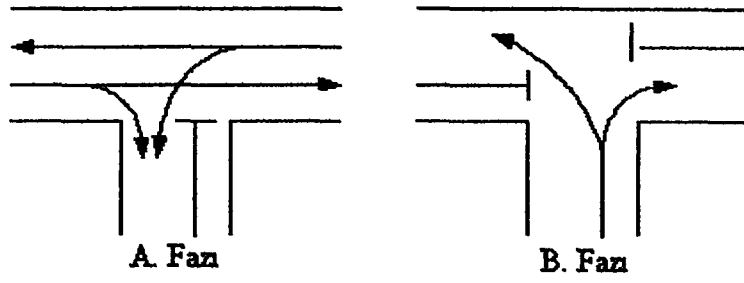
Devre süresi içinde sinyalin kumanda ettiği trafik akımı sayısına faz denir. Her faz bir trafik akımına geçiş sağlar. Sinyalizasyon projesinde seçilecek faz sistemi kavşağa giren yol sayısına, sola dönecek trafiğe ve yaya trafiğine bağlıdır. Sinyalize bir tesiste en az iki , en fazla dört fazlı sistemler uygulanır. Faz sayısının çok olması devre süresinin uzamasını gerektirdiği için, proje hazırlanırken faz sayısının mümkün olduğu kadar az olmasına çalışılmalıdır. Aşağıdaki şekillerde çeşitli faz sistemleri görülmektedir.



Şekil 1. 1. Dört kollu sinyalize kavşaklarda iki fazlı sistem



Şekil 1. 2. Dört kollu sinyalize kavşaklarda üç fazlı sistem



Şekil 1. 3. Üç kollu sinyalizasyon kavşaklarında iki fazlı sistem

1. 4. 2. Devre

Devre sinyallerinde değişik renklerdeki aralıkların birer defa yanması ile oluşan toplam zamandır. Devre sürelerini hesaplamak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler içinde bu gün en çok kullanılan yöntem Webster yöntemidir. Webster'in verdiği devre süresi formülü şöyledir;

$$C = (1.5L + 5) / (1 - Y) \quad (1. 1)$$

Burada

C: Devre süresi (sn)

L: Devre başına toplam kayıp zamanı (sn)

Y: Her faz için (y) oranlarının toplamı

$$y = q/s \quad (1. 2)$$

q: Birim zamandaki kola gelen akım (sn)

s: Doygun akım (tş/sn)

Devre başına toplam kayıp zamanının formülü şöyledir.

$$L = nl + R = \sum_{i=1}^n (I - a) + \sum_{i=1}^n l_i \quad (1. 3)$$

Burada

L: Toplam kayıp süresi (devre için) (sn)

n: Faz sayısı

a: sarı ışık süresi (sn)

R: Bütün fazlarda kırmızı ışık nedeni ile devre başına ortaya çıkan kayıp zamanı (sn)

l: Her faz için ortalama kayıp süre (2- 3 sn)

I: Yeşiller arası peryot (sn) : Bir fazda geçiş hakkının kaybedildiği yeşil ışık sonundan diğer fazın geçiş hakkını kazandığı yeşil ışık başına kadar olan zaman aralığıdır. Minimum 4 sn alınır, fakat özel durumlarda bu sınır geçilebilir. Sinyalizasyonda yayalar için minimum geçiş hakkı 6 sn olmalıdır. Sarı ışık süreleri standart olarak 3 sn ve bütün yeni sinyal tesislerinde kırmızı/sarı süre 2 sn olarak alınmaktadır. Bir devre süresi 30 sn ile 140 sn arasında olmalıdır.

1. 4. 3. Sinyalize kavşaklarda kapasite

Sinyalize bir kavşağın kapasitesi bütün akım yönlerinden geçirilebilecek toplam taşıt sayısı olarak düşünülmemelidir. Bir kavşağa gelen bütün yolların aynı anda tam kapasitelerine kadar yüklenmeleri çok nadir olur. Bu nedenle kavşak kapasitesinin her yaklaşım yolunun ayrı ayrı kapasiteleri yönünden düşünülmesi uygun olur. Sinyalize kavşağın kapasitesi, efektif akımın toplam yeşil süresinin devre süresine bölümü ile doğru orantılıdır (g/C). Efektif yeşil sürenin kapasite üzerinde etkisi direktir (Davies 1964, Allsop 1972).Kapasite her hangi bir yol kavşak veya trafik şeridinin birim zamanda geçirebileceği maksimum taşıt sayısıdır. Sinyalize kavşakta bir yaklaşım kolunun kapasitesi;

$$\text{Kapasite} = (g \cdot s) / C \text{ (tş/s)} \quad (1. 4)$$

$$g: \text{Efektif (etkili) yeşil süre} = (\text{yeşil} + \text{sarı süre}) - 1 \text{ (kayıp süre) (sn)} \quad (1. 5)$$

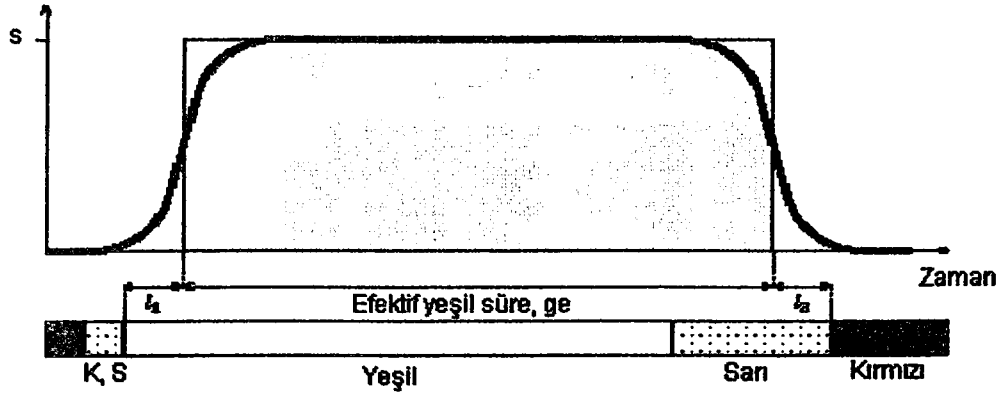
S: Doygun akım (tş /s)

C: Devre süresi (sn)

1. 4. 4. Doygun akım ve efektif yeşil süre

Doygun akım, 1 yeşil saatte geçen maksimum taşıt sayısı olarak tanımlanabilir. Doygun akım değeri, sinyalize kavşaklarının kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu nedenle en doğru biçimde (geometrik ve trafik koşullarını yansıtacak biçimde) belirlenmesi gerekmektedir.

Doygun Şartlar altında
boşalma oranı



Şekil 1. 4. Doygun şartlar altında $d(t)$ boşalma oran eğrisi ve efektif yeşil süre

Bir taşıt kırmızı ışığın yanmakta olduğu bir kavşağa yaklaştığı zaman sürücüsü yavaşlar ve ya duruş çizgisinde ya da kuyruğun sonunda durur. Yeşil ışık yandığı zaman sürücü arzu ettiği hıza ya da mümkün olan maksimum hıza ulaşincaya kadar hızlanır.

Kırmızı+sarı sinyal yeşil fazın başlayacağına işaret eder. Öndeki taşıtların sürücüleri alarm verirler ve harekete başlamaya hazırlanırlar. Yeşil ışık yanmaya başladığı zaman ilk taşıt hızlanmaya başlar. Kırmızı+sarı sinyali ilk sürücüye başlayan yeşil aralığa dahil olması için yardım eder (Luttinen and Nevela 2002).

Kuyruktaki taşıtların boşalma süreci reaksiyon süresi ile kontrol edilir ve öndeki taşıtların hızlanma oranları kadar bir oran sürücülerin hızlanmaları için gerekir. Yeşil aralığın başlangıcında duruş çizgisindeki boşalma oranı artmaya başlar. Kuyruktaki taşıtlar duruş çizgisinde sınır hıza ulaştıkları zaman boşalma oranı doymuş akım oranı olarak isimlendirilen maksimum değere ulaşır. Ortalama olarak boşalan taşıtların ilerlemesi dördüncü taşıttan sonra yaklaşık olarak iki saniye civarında sınır bir seviyeye ulaşır. Doymuş akış oranı devreden devreye değişebilir, fakat verilen şartlar için ortalama bir değer kullanılır.

Yeşil aralık sonlandığı zaman yaklaşan sürücüler duruş çizgisinin öbür tarafına geçmek ya da durmak arasında bir seçim yaparlar. Makroskopik düzeyde ayrılma oranı (doymuş

şartlar altında) azalmaya başlar ve kırmızı faz başlayıncaya kadar sifıra ulaşır. Yaklaşım kolunda bekleyen taşıtlar yeşil ışık yandığı zaman hızla harekete geçerler ve sabit bir oranda kavşağa giriş yaparlar. Taşıtların kavşağa giriş yaptığı bu sabit oran doyma akımı ve doygun akım olarak adlandırılır. Başlangıçta kuyrukta bekleyen taşıtların hareketi yavaştır ve taşıtlar sabit bir oranda harekete geçinceye kadar ilk harekete geçişlerinden dolayı bir kayıp söz konusu olmaktadır. Bu kayıp süre başlangıç kaybı olarak anılmaktadır ve (l_1) olarak gösterilmektedir. Benzer şekilde doyma akımına ulaştıktan sonra yeşil ışığın sönmesi ve sarı ışığın yanması halinde hala kavşakta hareket eden taşıtların bulundukları akım kolunun yeşiline ekledikleri süre temizlenme kayıp zamanı olarak nitelendirilmekte ve (l_2) olarak gösterilmektedir (Akçelik, 1981).

Devre uzunluğu(c) boyunca boşalma sayısı, boşalma oran eğrisi altında kalan alana denktir.

$$D(c) = \int_0^c d(t) dt \quad (1.6)$$

Efektif yeşil (g_e): efektif yeşil süre boyunca boşalma oranının sabit ve doygun akım oranına (s) denk olduğunu farz eden $D(c)$ boşalmalar için gereken yeşil zamandır:

$$D(c) = g_e s \quad (1.7)$$

(Webster 1958). Bu başlangıç kayıp zamanı (l_1) ve temizlenme kayıp zamanı (l_2) denkleştirildiğini ve $D(c)$ alanı Şekil 1.4 deki dikdörtgenin alanına eşit olduğunu gösteriyor. Arabayı çalıştırma kayıp zamanından sonra doygun akış oranının sarı değişim aralığı başlayıncaya kadar genellikle sabit kaldığı farz edilir (Clayton 1941, Webster 1958). Efektif yeşil süre aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$g_e = g + y - l = g + y - l_1 - l_2 \quad (1.8)$$

l kayıp zamanı: (l_1) başlama kayıp zamanı ve (l_2) temizlenme kayıp zamanının toplamıdır ve y sarı ışık süresidir. Yeşil sürenin (g) etkili yeşile (g_e) eşit olduğu farz edilebilir. (Luttinen ve Nevala 2002). Doygun akım üzerinde etkili olan faktörler aşağıda sıralanmıştır.

1. Taşıt kompozisyonu: Doygun akıma değişik tip taşıtların etkisi aşağıdaki limitler içerisinde verilmektedir.

Çizelge 1. 1. Taşıtların otomobil eşdeğerleri

Kamyonet ve Minibüsler	1.0 – 1.5 otomobil birimi
Hafif Kamyonlar	1.5 – 2.0 otomobil birimi
Büyük Otobüsler	2.0 – 3.0 otomobil birimi
Çift Dingilli kamyonlar	1.8 – 2.5 otomobil birimi
Üç Dingilli Kamyonlar	2.5 – 3.5 otomobil birimi
Treyler	3.0 – 4.0 otomobil birimi

2. Dönüş yapan taşıtların etkisi: Sağa ve sola dönüş yapan taşıtların yaklaşım yönünün kapasitesi üzerindeki etkileri, bu dönüşler için yavaşlama ve ayrılma şeritlerinin bulunup bulunmamasına ve sola dönüşlere açık olan fazda karşıt akımda geçiş hakkı verilip verilmemesine bağlıdır.

3. Eğimin etkisi: Doygun akımın yokuş yukarı her %1'lik eğim için %3 azaldığı ve yokuş aşağı her %1'lik eğim için %3 arttığı kabul edilmektedir.

4. Park eden taşıtların etkisi: Sinyalize kavşağın gerek yaklaşım yönünde gerekse taşıtların boşalma yönünde kavşağa çok yakın mesafede park eden taşıtlar doymun akımı azaltırlar.

5. Yaklaşım genişliğinin etkisi: Hiçbir dönüş olmaksızın ve herhangi bir park etmiş araç bulunmaksızın kavşağa yaklaşan yolların şerit genişliklerine göre doymun akımlar aşağıda gösterilmiştir. Yaklaşan yolların şerit genişliği (W) 3 – 5 m arasında ise çizelge 1. 2'de verilen değerler alınır

Çizelge 1. 2. Şerit genişliğine göre doymun akım

W (m)	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50	4.80	5.10
S (yob/saat)	1675	1700	1725	1775	1875	2025	2250	2450

Şerit genişliği 5 m den daha büyük ise doymun akım

$$S=525 \cdot W \text{ (yob/sa)}$$

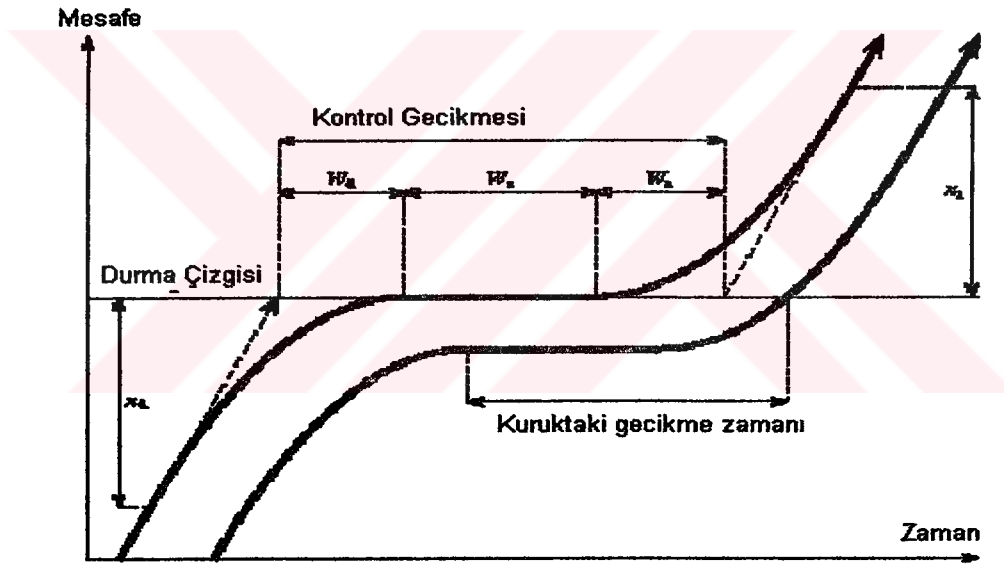
(1. 9)

Formülü ile verilir. Burada W ; yol şerit genişliği (m) ve S; doygun akım (yob/sa).

1. 5. Taşıt Gecikmesi

Trafik sinyal kontrolünün en önemli performans ölçümü gecikmedir. Çeşitli şekillerde tanımlanabilir. En yaygın olarak kullanılanları;

1. Durma gecikmesi
2. Kuyruktaki zaman gecikmesi
3. Kontrol gecikmesi



Şekil 1. 5. Trafik sinyallerdeki gecikmeler (Luttinen and Nevela 2002)

Durma gecikmesi bir taşıtın kırmızı ışık yeşil ışık oluncaya kadar durduğu ve beklediği zamandır. Kuyruktaki zaman gecikmesi bir taşıtın kuyruğun sonunda durduğu zaman başlar ve taşıt duruş çizgisini geçtiği zaman sonlanır. Leutzbach & Köhler (1974) üç gecikme tipi tanımladı i) durma zamanı, ii) bekleme zamanı ve iii) işlemsel gecikme zamanı.

Trafik sinyal kontrolüne bağlı gecikme kontrol gecikmesi olarak isimlendirilir. Trafik sinyalinin etkilediği yolu enine geçecek bir taşıtın aldığı gerçek zaman ile yeşil sinyalinin olduğu ve kavşakta kuyruğun olmadığı durumda aynı yolu geçmek için alınan zaman arasında farklılık olur (Şekil 1. 5). Yavaşlama (hızlanma) gecikmesi yavaşlamadan (hızlanmadan) kaynaklanan kayıp zamandır. Kuyruktaki bir taşıt kuyruk hareketinden kaynaklanan ek gecikmeye de sahip olabilir. Kontrol gecikmesi üç bileşenden oluşur:

1. Yavaşlama gecikmesi (W_d)
2. Durma gecikmesi (W_s)
3. Hızlanma gecikmesi (W_a)

Sinyalize kavşağın performansı genellikle hizmet düzeyinin terimleriyle tanımlanır (LOS). HCM de LOS sınıflandırma sistemi taşıt başına ortalama kontrol gecikmesi ile tanımlanan altı kategoriye sahiptir (A-F). A kategorisi genel olarak trafik akış ilerlemeli bir durumu tanımlar. F kategorisi trafik talebi kapasiteyi aştığı zaman ($\rho > 1.0$) genellikle meydana gelen kabul edilemez şartları tanımlar. Finlandiya Trafik Sinyal El kitabına ve HCM2000 e göre her bir kategorinin kritik gecikmeleri çizelge 1. 3’de verilir.

Çizelge 1. 3. Finlandiya ve Amerikan planlama standartlarına uygun hizmet düzeyi kriteri

Hizmet düzeyi	Taşıt başına gecikme (s)	
	Finlandiya rehberi	HCM2000
A	≤ 5	≤ 10
B	5-15	10-20
C	15-25	20-35
D	25-40	35-55
E	40-60	55-80
F	> 60	> 80

HCM2000 deki kritik değerler kontrol gecikmeleridir. Finlandiya rehberi hizmet ölçüsü olarak ortalama durma gecikmesini kullanan 1985 HCM (Transportation Research Board 1985) deki kritik değerleri takip eder. Durma gecikmesinin kontrol gecikmesinin %77 si olduğu farz edilir (Hurdle 1984, Akçelik 1988).

1. 5. 1. Webster gecikme formülü

Webster tarafından, gecikme süresi ve kuyruk uzunluğu için aşağıdaki bağıntılar önerilmiştir.(Webster ve Cobbe 1966).

$$d = \frac{C(1 - g/C)^2}{2(1 - xg/C)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0,65(C/q^2)^{1/3} x^{(2+5g/C)} \quad (1.10)$$

Birinci terim üniform gecikme, ikinci terim rastgelele varışlardan dolayı meydana gelen gecikme, üçüncü terim trafik akımının benzetiminden çıkarılan amprik bir düzeltme terimidir (Webster 1969).Gecikme formüllerinde düzeltme teriminin etkisi genellikle ana terimin %5-%15'i arasında değişir. Çoğu hallerde düzeltme terimi 9/10 oranında alınabilir.

$$d = \frac{9}{10} \left(\frac{C(1 - (g/C))^2}{2(1 - (g/C)x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} \right) \quad (1.11)$$

d = Her koldaki her bir taşıt için ortalama gecikme (sn)

g = etkin yeşil süre (sn)

C = Devre süresi (sn)

x = Doygunluk derecesi,

q = Taşıt hacmi (taşıt/sn), ifade etmektedir.

1. 5. 2. HCM (Highway Capacity Manual) gecikme formülleri

Amerikan yönteminde performans ölçütü olarak yalnızca gecikme süresi kullanılmaktadır. Gecikme süresine göre sinyalize kavşağın hizmet düzeyi belirlenmektedir.

1. HCM 1985 gecikme formülü

Bu yöntemde gecikme süresi iki terim ile ifade edilmekte , üniform ve taşıt kuyruklanmasından veya akım fazlasından oluşan gecikme şeklinde iki parametre ile ele alınmaktadır. Gecikme bağıntısı aşağıdaki gibidir (TRB, 1985).

$$d = 0.38C \frac{(1 - g/C)^2}{(1 - (g/C)x)} + 173x^2 ((x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + 16(x/c)}) \quad (1.12)$$

d = Taşıt başına ortalama gecikme (sn/tş)

C = Devre süresi (sn)

g/C = Yeşil oran,

x = doygunluk derecesi

c = Şerit kapasitesi (tş/sa)

2. HCM 1994 gecikme formülü

$$d = d_1 DF + d_2 \quad (1.13)$$

$$d_1 = 0.38C \frac{(1 - g/C)^2}{(1 - (g/C)[\text{Min}(x, 1.0)])} \quad (1.14)$$

$$d_2 = 173x^2 ((x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + m(x/c)}) \quad (1.15)$$

d = Ortalama gecikme, sn/taşıt;

d_1 = Üniform gecikme, sn/taşıt;

d_2 = Artan gecikme, sn/taşıt;

DF = Kontrol türü ve ilerlemenin niteliğine göre gecikme ayarlama faktörü;

x = Şerit grubu için v/c oranı;

C = Devre uzunluğu, sn;

c = Şerit grubunun kapasitesi, taşıt/saat;

g = Şerit grubunun efektif yeşil süresi, sn;

m = Varış türü derecesinin etkisini gösteren artan gecikme kapasite terimi.

3. HCM 1997 gecikme formülü

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (1.16)$$

$$d_1 = \frac{0.50C[1 - (g/C)]^2}{1 - (g/C) \min(1.0, x)}, \text{ ve} \quad (1.17)$$

$$d_2 = 900T \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8kx}{cT}} \right], \quad (1.18)$$

d = Ortalama genel gecikme, sn/taşıtlık;

d_1 = Ortalama üniform gecikme, sn/taşıtlık;

d_2 = Rastgele ve doygunluk üzeri kuyruklardan dolayı ortalama artan gecikme, sn/taşıtlık;

d_3 = Analiz periyodunun başlangıcındaki sıfır olmayan kuyruklardan dolayı ortalama artan gecikme, sn/taşıtlık;

PF = Varış türü ve sinyal zamanlamasının bir fonksiyonu olarak ilerleme ayarlama faktörü

T = Analiz periyodunun süresi (saat)

k = Sinyal kontrolörün ayalarına bağlı artan gecikme faktörü

c = Şerit grubunun kapasitesi

x = Şerit grubunun doygunluk derecesi v/c oranı

4. HCM 2000 gecikme formülü

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (1.19)$$

$$d_1 = 0.50.C. \frac{(1 - g/C)^2}{1 - [\min(1, x) g/C]} \text{ ve} \quad (1.20)$$

$$d_2 = 900T \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8kx}{cT}} \right] \quad (1.21)$$

d = Ortalama genel gecikme, sn/taşıtlık;

d_1 = Ortalama üniform gecikme, sn/taşıtlık;

d_2 = Rastgele ve doygunluk üzeri kuyruklardan dolayı ortalama artan gecikme, sn/taşıtl;
 d_3 = Analiz periyodunun başlangıcındaki sıfır olmayan kuyruklardan dolayı ortalama artan gecikme, sn/taşıtl;

PF = Varış türü ve sinyal zamanlamasının bir fonksiyonu olarak ilerleme ayarlama faktörü

T = Analiz periyodunun süresi(saat)

k = Sinyal kontrolörün ayalarına bağlı artan gecikme faktörü

l = yokuş yukarı filtre/saat ayarlama faktörü

c = Şerit grubunun kapasitesi

x = Şerit grubunun doygunluk derecesi v/c oranı

İzole edilen önceden zamanlı kontrol için k=0.5 ve I=1.0

İlerleme ayarlama faktörü

$$PF = \frac{(1 - p_g) f_s}{1 - \frac{g}{c}} \quad (1.22)$$

p_g yeşil faz süresince varan araçların oranı , ve f_s yeşil süresince varan takım için ek ayar faktörü. PF nin değeri yeşil oran ve varış tipine dayanan. Varış tipine göre Çizelge 1. 4 de takım oranı $R_p = P_g c/g$ için olduğu kadar yeşil süresince takım varışı için ilave ayar faktörü f_s için HCM 2000 varsayım değerlerini gösteriyor.Eğer alan verisi değerlendirilmezse oran $P_g = R_p g/c$,ve PF eşitlik (1.22) den elde edilebilir.

Çizelge 1. 4:HCM 2000 deki takım oranı R_p ve ilave ayar faktörü f_p için varsayım değerleri

Varış tipi	Takım oranı R_p	İlave ayar f_s
1	0.333	1.00
2	0.667	0.93
3	1.000	1.00
4	1.333	1.15
5	1.667	1.00
6	2.000	1.00

1. 5. 3. Doherty gecikme formülü

$$D(x,t) = A + \frac{N - M}{4Q} \quad (1. 23)$$

$$A = (c / 2)(1 - \lambda)^2 \quad (1. 24)$$

$$M = 2C + tQ(1 - x) \quad (1. 25)$$

$$N = (M^2 + 8CQtx)^{1/2} \quad (1.26)$$

t : Taşıt geliş süresi

x : Doygunluk derecesi

C : Taşıt geliş ve servis zamanına bağlı bir sabit

Q : Yaklaşım yolu kapasitesi ($\lambda.s$)

A : Çok düşük akımlarda taşıt başına ortalama gecikmeyi temsil eden bir sabit

c : Devre süresi

1. 6. Sinyalize Kavşaklarda İşlemsel Analizler

İşlemsel analizler bir bütün olarak kavşak için hizmet seviyesinde olduğu gibi yaklaşım yada her bir şerit grubu için hizmet seviyesi ve kapasite belirlemek için kullanılır. Kavşağın geometrik şartları, trafik akımı, ve sinyalizasyon şartlarını içeren detaylı bilginin sağlanması gerekiyor. Bu kısımda işlemsel analizleri açıklamak için bu çalışma için seçilen kavşaklar dan 50. Yıl Kavşağının sabah ölçüm değerleri kullanılarak örnek uygulama yapılmıştır.

Sinyalize kavşağın işlemsel analizleri karışık olduğundan dolayı beş ayrı bölümde ele alınabilir; (1) girdi modülü, (2) Hacim uyarlama modülü, (3) doymun akım oran modülü, (4) kapasite analiz modülü ve (5) hizmet düzey modülü.

1. Girdi modülü: Bu analiz modülü sonraki hesaplamaların dayandırıldığı tüm gerekli bilginin belirlenmesine odaklanır. Kavşak geometrisi, trafik hacimleri ve şartları ve sinyalizasyon üzerindeki tüm gerekli veriyi içerir. Analizlerin geri kalanı için uygun bir özet sağlamak için kullanılır.

İlk kolona eğim oranı girilir; (-) inişleri gösterirken (+) çıkışları gösterir. İkinci kolona ağır taşıt oranı girilir. Üçüncü ve dördüncü kolonlar yaklaşım için park etme karakterlerini tanımlar. Üçüncü kolon kavşakta yakın park etme şeridinin varlığına işaret eder; “E” (Evet/Var) yada “H” (Hayır/Yok) şeklinde girilir. Dördüncü kolon kavşağın 250 fit içinde park etme şeridinin içinde ve dışında meydana gelen saat başına park etme manevralarının sayısına gösterir. Beşinci kolonda kavşağın sınırları içerisindeki yolcuları dağıtmak yada toplamak için saat başına duran halk otobüslerin sayısı listelenir. Kavşağın 250 fit içerisinde duran herhangi bir otobüs kaşağın sınırları içerisinde düşünülmelidir.

Çizelge 1. 5. Girdi işlem tablosu

TRAFİK VE YOL ŞARTLARI										
Yaklaşım	Eğim	% HV	Park Şeridi		Oto būs (N _B)	PH V	Yaya Sayısı (ya/sa)	Yaya Sinyaliz.		Varış tipi
			E/H	Nm				E/H	Min. Zama n	
Doğu	0	15	H	-	0	0.9	100	N	10.61	3
Batı	0	15	H	-	0	0.9	100	N	12,26	3
Güney	-6	8	H	-	150	0.9	100	N	13,91	3
Kuzey	6	8	H	-	0	0.9	100	N	13,91	3
Eğim: + yukarı, - aşağı N _B : Saatte duran otobūs N _m : Saatteki park manevrası Min. Zaman: Yaya geçmesi için min zaman PHF: Pik saat faktördü Yaya Sayısı: Saatteki yolu geçen yayalar Varış Tipi : Tip 1-5 HV: 4 tekerlekten fazla tekerlekli araç										

Altıncı kolona pik- saat faktörü girilir. Yedinci kolonda söz konusu yaklaşımdan sağa dönüşlerle karşılaşan yaya geçidini kullanan saat başına yayaların sayısıdır. Sekizinci ve dokuzuncu kolonlar kavşaktaki yaya kontrollerini tanımlar. Sekizinci kolon söz konusu yaklaşım üzerinde E yada H girişli yaya basmalı- düğme detektörünün varlığına işaret eder. Dokuzuncu kolon bir yayanın kavşağı karşıdan karşıya geçmesi için gereken minimum yeşil süreyi verir ve denklem 1.27 den aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$G_p = 7.0 + W/4.0 - Y \quad (1.27)$$

G_p: min yeşil süre, sn; W: Yaya yolunun olduğu caddenin genişliği, ya da en yakındaki yaya refüj adasına olan mesafe, ft; (Yol genişliği, ft) Y: Değişme aralığı (sarı+tüm kırmızı), sn. Genel terimler içerisinde grup ve dizi karakteristiklerini tanımlayan onuncu

ve sonuncu olan kolon varış tipini belirlemek için kullanılır. Varış tipleri 1 den 5 e kadar olan sayılarla belirlenir.

$$G_p (\text{Doğu}) = 7.0 + (8 \cdot 3,3048) / 4 - 3.0 = 10,61 \text{ sn}$$

$$G_p (\text{Batı}) = 7.0 + (10 \cdot 3,3048) / 4 - 3.0 = 12,26 \text{ sn}$$

$$G_p (\text{Güney}) = 7.0 + (12 \cdot 3,3048) / 4 - 3.0 = 13,91 \text{ sn}$$

$$G_p (\text{Kuzey}) = 7.0 + (12 \cdot 3,3048) / 4 - 3.0 = 13,91 \text{ sn}$$

Kavşağa varış tipleri: Taşıtların kavşağa varış durumuna göre beş tane varış türü belirlenmiştir. Beş varış türü aşağıdaki gibi belirlenir.

Tip 1: Bu şart kırmızı fazın başlangıcında kavşağa varan yoğun takım olarak belirlenir. Bu en kötü takım şartıdır.

Tip 2: Bu şart kırmızı fazın ortası boyunca varan yoğun bir takım olabilir ya da kırmızı faz boyunca varan bir yayılan takım olabilir. Tip 1 den daha iyidir, bu da uygun olmayan bir takım şartıdır.

Tip 3: Bu şart tam bir şekilde rastgele varışları gösteriyor. Bu kırmızı ve yeşil fazlar süresince varışların geniş bir şekilde yayıldığı ve /veya diğer sinyaller ile tam bir şekilde koordineli olmayan yaklaşımlarda meydana gelir. Bu ortalama şarttır.

Tip 4: Bu şart yeşil fazın ortası süresince varan yoğun bir takım olarak tanımlanır ya da yeşil faz süresince varan bir yayılan takım olarak tanımlanır. Bu orta uygun takım şartıdır.

Tip 5: Bu şart yeşil fazın başlangıcında varan bir yoğun takım olarak tanımlanır. Bu daha uygun takım şartıdır.

2. Hacim Ayarlama Modülü: İkinci büyük analiz modülü (1) saatte pik 15 dak. periyotluk akış oranlarına göre saatlik hareket hacimlerini ayarlamaya, (2) analiz

süresince şerit gruplarını kurmaya ve (3) şerit dağılımını yansıtmak için talep akışlarını ayarlamaya yoğunlaşır. Hacim ayar hesaplamaları için gereken çalışma planı Çizelge 1. 6.'da gösterilmiştir. Saatlik hareket hacimleri çalışma planının 3. kolonuna girilir. Her bir hareket için pik saat faktörü çalışma planının dördüncü kolonuna girilir. Pik akış oranlarını hesaplamak için saatlik hacimler PHF ile bölünür.

$$v_p = V / PHF \quad (1. 28)$$

burada v_p pik 15- dak. analiz periyodu için akış oranıdır. Sonuç çalışma planının 5. kolonuna girilir.

Çizelge 1. 6. Hacim ayarlama işlem tablosu

HACİM AYARLAMA PLANI										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yaklaşım	Hareket	Hareket Hacmi tş/sa	Pik Saat Faktörü PHF	Akış Oranı v_p (vph) 3÷4	Şerit Grubu	Şerit Grubundaki Akış Oranı v_g tş/sa	Şeritleri n Sayısı N	Şerit Kullanım a Faktörü U	Ayarlı ama Akım v tş/sa 7*9	Sola yada Sağa dönüş Oranı
Doğu	SOLA	124	0,9	138						0,21
	DİREK	426	0,9	473		630	2	1,05	662	
	SAĞA	17	0,9	19						0,03
Batı	SOLA	10	0,9	11						0,02
	DİREK	516	0,9	573		659	3	1,1	725	
	SAĞA	67	0,9	74						0,10
Güney	SOLA	323	0,9	359						0,60
	DİREK	56	0,9	62		543	3	1,1	598	
	SAĞA	110	0,9	122						0,20
Kuzey	SOLA	20	0,9	22						0,21
	DİREK	50	0,9	56		96	3	1,1	105	
	SAĞA	16	0,9	18						0,17

Grupta bulunan şeritleri ve hareketleri gösteren oklar çalışma planının 6. kolonuna girilerek şerit grupları gösterilir. İlk önce şerit grupları kurulur, mevcut hareketler için akış oranlarını sol, sağ ve doğru giden taşıt sayıları toplanır ve çalışma planının 7. kolonuna şerit grup akış oranı v_g nin girilir. Her bir şerit grubundaki şeritlerin sayısı çalışma planının 8. kolonuna girilir. Her bir şerit grubu için şerit kullanma faktörü tablo 9-4 den bulunur ve çalışma planının 9. kolonuna girilir.

Çizelge 1. 7. Şerit kullanım faktörü

GRUPTAKİ DOĞRU GİDEN ŞERİTLERİN SAYISI (SOLADÖNEN ARAÇLAR TARAFINDAN KULLANILAN ŞERİTLER DIŞINDA)	ŞERİT KULLANMA FAKTÖRÜ , U
1	1.00
2	1.05
≥ 3	1.10

Ayarlanmış şerit grup akış oranı şu şekilde hesap edilir:

$$v = v_g * U \quad (1. 29)$$

Burada v şerit grubu için ayarlanmış akış oramıdır. sonuç çalışma planının 10. kolonuna girilir. Çalışma planının 11. kolonu şerit grup talebinde sola ve /yada sağa dönüşlerin oranını girmemizi sağlar. Bu değerler aşağıdaki şekilde hesap edilebilir.

$$P_{LT} = v_{LT} / v_g \quad (1. 30)$$

$$P_{RT} = v_{RT} / v_g \quad (1. 31)$$

P_{LT} ve P_{RT} şerit grubunu kullanan taşıtların sola ve sağa dönüş oranlarıdır.

3. Doygun Akım Oranı Modülü: Bu modülde geçerli olan şartlar altında şerit grubu ile ayarlanabilen toplam doygün akım oranı hesaplanabilir. Çalışma planının ikinci kolonu her bir şerit grubunda bulunan şeritleri ve hareketleri belirlemek için kullanılır. Bunlar şerit gruplarının kurulduğu Hacim Ayar İşlem Tablosunun 6. kolonundaki girişlerinin aynısıdır.

Çalışma tablosunun 6. kolonuna f_{HV} ağır taşıt faktörünü girilmiştir (Çizelge 1.10).

Çizelge 1. 10. Ağır araçlar için ayarlama faktörü

Ağır araçların yüzdesi, % HV	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30
Ağır Araç Faktörü, f_{HV}	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87

Çalışma tablosunun 7. kolonuna f_g eğim faktörünü girilmiştir(Çizelge 1.11).

Çizelge 1. 11. Eğim için ayarlama faktörü

	Aşağı			Sıfır	Yukarı		
Eğim %	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
Eğim faktörü, f_g	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97

Çalışma tablosunun 8. kolonuna f_p park etme faktörünü girilmiştir(Çizelge 1.12).

Çizelge 1. 12. Park yapan araçlar için ayarlama faktörü

ŞERİT GRUBUNDAKİ ŞERİTLERİN SAYISI	NO PKG	SAATLİK PARK MANEVRALARININ SAYISI,				
		0	10	20	30	40
1	1.00	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
2	1.00	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
3	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89

Çalışma tablosunun 9. kolonuna f_{bb} tıkanıklık faktörünü girilmiştir(Çizelge 1.13).

Çizelge 1. 13. Otobüs tıkanıklığı için ayarlama faktörü

ŞERİT GRUBUNDAKİ ŞERİTLERİN SAYISI	HER SAATTE DURAN OTOBÜS SAYISI,				
	0	10	20	30	40
1	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83
2	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94

Çalışma tablosunun 10. kolonuna f_a alan tip faktörünü girilmiştir(Çizelge 1.14).

Çizelge 1. 14. Alan türü için ayarlama faktörü

ALAN TÜRÜ	FAKTÖR
CBD	0.90
Diğer bütün alanlar	1.00

Çalışma tablosunun 11. kolonuna f_{RT} sağa dönüş faktörünü girilmiştir. Sağa dönüş için ayarlama faktörü değerleri ekler bölümünde EK 1 de verilmiştir. Bu uygulama da sağa dönüş için uygun durum çizelgede dördüncü duruma uymaktadır. Çalışma tablosunun 12. kolonuna f_{LT} sola dönüş faktörünü girilmiştir. Bu uygulamadaki kavşakta sola dönüş şeridi olmadığı için bu değer 1 alınmıştır. Her bir şerit grubu için ayarlanmış doymun akış oranı ideal doymun akış oranının şerit grubundaki şeritlerin sayısı ile ve belirlenen sekiz ayarlama faktörünün her biri ile çarpılarak hesap edilir. Bu denklem 1. 31’le uyum içinde yapılır:

$$S = S_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{RT} f_{LT} \quad (1.32)$$

Ayar faktörlerinin detaylı determinasyonuna izin vermek için bilgi yetersizse $1,600 \cdot N$ (yob) ayarlanmış doymun akış oranını kullanarak yaklaşık bir analiz gerçekleştirilebilir.

4. Kapasite Analiz Modülü : Bu modülde ilk üç modülden elde edilen bilgi ve hesapsal sonuçlar her bir yaklaşımın kapasitesini hesaplamak ve her bir şerit için ve bir bütün olarak kavşak için v/c oranlarını hesaplamak için birleştirilir. Bu hesaplamalar için gereken çalışma planı Çizelge 1. 15’de gösterilmiştir.

Çalışma planının 2. kolonu şerit gruplarının tanımı için bir daha doldurulur. Her bir şerit grubu için ayarlanmış akım oranı hacim ayarlama işlem tablosundan elde edilir ve çalışma planının 3. kolonuna girilir. Her gir şerit grubu için ayarlanmış doymun akım oranı doymun akım oranı işlem tablosundan elde edilir ve çalışma planının 4. kolonuna girilir. Her bir şerit grubu için akış oranı v/s olarak hesaplanır ve çalışma planının 5. kolonuna girilir. Kritik bir şerit grubu her bir fazda yada fazların kümesinde en yüksek akış oranına sahip şerit grubu olarak belirlenir.

Çizelge 1. 15. Kapasite analiz işlem tablosu

KAPASİTE ANALİZ İŞLEM TABLOSU								
ŞERİT GRUBU		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1)	(2)	Ayar-	Uyr. Doy.	Akış	Yeşil	Şerit	v / c	Kritik
Yklsm.	Şerit	lanmış.	Akış	Oranı	Oranı	Grup	Oranı	? Şerit
	Grup	Akış	Oranı	v / s	g / C	Kapasitesi	X	Grubu
	Hareket-	Oranı	s	(3) ÷ (4)		C	(3) ÷ (7)	
	leri	v	(vphg)			(vph)		
		(vph)				(4) x (6)		
Doğu								x
		662	3284	0,202	0,250	821	0,806	
Batı								
		725	4432	0,164	0,250	1108	0,654	
Güney								x
		598	4476	0,134	0,250	1119	0,534	
Kuzey								
		105	4437	0,024	0,188	832	0,126	
Devre Uzunluğu, C —80— sn					$\Sigma(v/s)_{ca} = -0,336$			
Taşıt Başına Kayıp Zaman, L —6— sn					$X_c = \frac{\Sigma(v/s)_{ca} \times C}{C - L} = -0,363$			

Kritik şerit grupları çalışma planının son kolonunda bulunan bir kontrolle belirlenir. Kritik şerit grupları için akış oranları toplanır. Sonuç çalışma planının dördüncü kolonunun üstündeki uygun alana girilir. Her bir şerit grubu için g/C oranı hesaplanır ve çalışma planının 6. kolonuna girilir. g/C oranı etkili yeşil sürenin devre uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir. Etkili yeşil süre ve devre uzunluğu girdi modülü işlem tablosundan elde edilir. Değişim aralığının 3 ile 5 sn arasında olduğu etkili yeşil sürenin gerçek yeşil zamanla eşit olduğu farz edilebilir. Daha uzun değişim aralığı mevcut olduğu durumda etkili yeşil süre gerçek yeşil süre artı değişim aralığı eksi faz başına oluşan ve temizlenen kayıp zamanlara denk olacak şekilde alınabilir. Normal olarak bu kayıp zamanların faz başına 3 ila 5 sn aralığında olduğu farz edilir. Her bir

şerit grubu için kapasite doygun akış oranının yeşil oranın zamanını ayarlarken hesap edilir: $c_i = s_i * (g/C)_i$ sonuç çalışma planının 7. kolonuna girilir. Şerit grubu için v/c oranı ayarlanmış akışın kapasiteye oranıdır: $x_i = v_i / c_i$ bu değerler hesap edilir ve çalışma planının 8. kolonuna girilir. Kritik v/c oranı (x_c) denklem 1. 33'e göre aşağıdaki şekilde hesap edilir.

$$x_c = \frac{\sum_i (v/s)_{ci} C}{C - L} \quad (1. 33)$$

Kavşak için kritik v/c oranı kritik şerit grubu ya da yaklaşımların terimlerinde tanımlanır.

X_i : Kavşak için kritik v/c oranı

$\sum_i (v/s)_{ci}$: Tüm kritik şerit grubu ya da yaklaşımlar için akım oranlarının toplamı

C : Devre uzunluğu (sn)

L : Her devre için toplam kayıp zamanı (sn)

Bu hesaplama yapılır ve sonuç çalışma planının üstünde uygun bir alana girilir. Bu hesaplamalar için gereken devre uzunluğu girdi modülü işlem tablosundan elde edilir. Bu uygulamada kavşağın doğu kolu ve güney kolu en yüksek v/s oranına sahip olduğu için kritik şerit olarak seçilmiştir. Kayıp zamanı 3 sn olarak farz edilmiş ve devre için kayıp zaman 6 sn olarak kabul edilmiştir.

$$\sum_i (v/s)_{ci} = 0,202 + 0,134 = 0,336$$

hesap edilmiştir. Kritik v/c oranı $x_c = 0,363$ olarak hesap edilmiştir.

5. Hizmet düzeyi modülü: Hizmet düzey modülü her bir şerit grubundaki taşıt başına ortalama durma zaman gecikmesini bulmak için hacim ayarlamasının, doygun akış oranının ve kapasite analiz modüllerinin sonuçlarını birleştirir. Hizmet düzeyi doğrudan gecikmeyle alakalıdır ve çizelge 1. 3'den bulunur. Bu modül için çalışma planı çizelge 1. 16'da gösterilmiştir. Gecikme denklem 1.34 ve 1. 35 den bulunur.

$$d_1 = 0.38C \frac{[1 - (g/C)]^2}{[1 - (g/C)(X)]} \quad (1. 34)$$

$$d_2 = 173X^2 [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (16X/c)}] \quad (1. 35)$$

$$d=(d_1+d_2)*PF$$

d: Şerit grubu için her araç başına ortalama kontrol gecikmesi sn/taşıt

d_1 : Üniiform gecikme (sn/tş)

d_2 : Artan gecikme (sn/tş)

C: Devre uzunluğu, (sn)

g/C: Şerit grubu için yeşil oran etkili yeşil zamanın devre uzunluğuna oranı

X: Şerit grubu için v/c oranı

c: Şerit grubunun kapasitesi

Çalışma planı birinci ve ikinci terim gecikmeleri hesaplamak için ayrı bir şekilde dizayn edilir. Onların toplamı daha sonra gecikmedeki dizinin etkisini hesaplamak için dizi ayar faktörüyle (PF) çarpılır. Bu faktör ekler bölümünde EK 1 de verilmiştir.

Önceki çalışma kağıtlarında olduğu gibi, 2. kolon şerit grubunda bulunan şeritlerin ve hareketlerin tanımını girmek için kullanılır. Bu tanım hacim ayar çalışma planında gösterilenin aynısı olacaktır. Gecikme denkleminin ilk terimi üniform gecikmeyi hesaplar: (X) v/c oranına, şerit grubu için g/C yeşil oranına ve C devre uzunluğuna bağlıdır.

Çalışma planının 3. kolonuna her bir şerit grubu için v/c oranını girilmiştir. Bunlar kapasite analiz işlem tablosundan elde edilebilir. Çalışma planının 4. kolonuna her bir şerit grubu için yeşil oranı girilmiştir. Çalışma Planının 5. kolonuna devre uzunluğunu girilmiştir. Denklem 1. 34'e uyacak şekilde ilk terim gecikmesini hesaplanmıştır. Sonucu çalışma planının 6. kolonuna girilmiştir. Uygulamada ele alınan kavşağın kontrol gecikmesinin ilk terimi değerler yerine yazılarak şu şekilde bulunmuştur.

$$d_1(D) = 0.38 * (80) * \frac{[1 - (20/80)]^2}{[1 - (20/80)(0,806)]}$$

$$d_1(D) = 21,42 \text{ sn/tş} .$$

Benzer şekilde diğer yaklaşım kolları da aynı şekilde bulunmuştur. Gecikme denkleminin ikinci terimi artan gecikmeyi hesaplar. Örneğin bu gecikme üniformdan ziyade rasgele gelişlerden ve aşırı akışın olduğu devrelerden kaynaklanan üniform

gecikmenin aşırı derecede üstünde olan gecikmedir. Şerit grubu için v/c oranına (X) ve c kapasitesine bağlıdır.

Çizelge 1. 16. Hizmet düzeyi işlem tablosu

HİZMET DÜZEYİ PLANI												
Şerit Grubu		İlk Devre Gecikmesi				İkinci Devre Gecikmesi				Toplam Gecikme&LOS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Yaklaşım	Şerit Grup Harek.	v/c Oranı X	Yeşil Oran g/C	Devre Uzun. C (sn)	Gecik. d ₁ (sn/tş)	Şerit Grup Kapasitesi c (vph)	Gecik. d ₂ (sn/tş)	İlerleme Faktörü PF Tablo	Şerit Grup Gecikme (sn/taşıt) (6+8)*9	Şerit Grup LOS	Yaklaşım Gecik. (sn/tş)	Ykş. LOS
Doğu		0,806	0,250	80	21,42	821	4,17	1	25,58	C	25,58	D
Batı		0,654	0,250	80	20,44	1108	0,99	1	21,44	D	21,44	C
Güney		0,534	0,250	80	19,74	1119	0,40	1	20,14	D	20,14	C
Kuzey		0,126	0,188	80	20,56	832	0,00	1	20,56	C	20,56	C
Kavşak Gecikmesi : 22,335 sn/tş										Kavşak LOS: C		
LOS (Level of Service) : Hizmet seviyesi												

Denklem 1.35 de kavşağın doğu kolunun değerleri yazılarak doğu yaklaşım kolu için aratan gecikme şu şekilde hesaplanmıştır:

$$d_2(D) = 173 * (0,806)^2 [(0,806 - 1) + \sqrt{(0,806 - 1)^2 + (16 * 0,806 / 821)}]$$

$$d_2(D) = 4,17 \text{ sn/tş}$$

Kapasiteyi her bir şerit grubu için çalışma planının yedinci kolonuna girilmiştir. Denklem 1. 34'den ikinci terim gecikmesini hesaplanmıştır. Sonucu çalışma planının 8. kolonuna girilmiştir. Her bir şerit grubu için gecikme ilerleme faktörü ile çarpılan birinci

ve ikinci terim gecikmelerinin toplamıdır. Gecikme ve hizmet düzeyi aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

Her bir şerit grubu için PF faktörü bulunmuştur. Bu uygulamada kavşak önceden zamanlı sinyalizasyon sistemine sahip olduğu için $PF = 1$ alınmıştır. Bu değeri çalışma planının 9. kolonuna girilmiştir. Her bir şerit grubu için taşıt başına ortalama kontrol gecikmesini hesaplanmıştır. Sonuç çalışma planının 10. kolonuna girilmiştir. Çizelge 1. 3'den her bir şerit grubu için hizmet düzeyini bulunmuş ve çalışma planının 11. kolonuna girilmiştir. Her bir yaklaşım için taşıt başına ortalama gecikme yaklaşım üzerindeki her bir şerit grubu için gecikme ve şerit grubu akış oranının çarpımının toplanıp ve toplam yaklaşım akış oranıyla bölünmesiyle bulunur. Ağırlıklı ortalama gecikme her bir yaklaşım için çalışma planının 12. kolonuna girilir. Hizmet düzeyi Çizelge 1. 3'den belirlenir ve çalışma planının 13. kolonuna girilir.

Bir bütün olarak kavşak için taşıt başına ortalama gecikme bütün yaklaşımlar için yaklaşım akış oranın ve yaklaşım gecikmesinin çarpımının toplamalarının toplam kavşak akış oranının toplamalarıyla bölünmesiyle bulunur. Bu ağırlıklı ortalama gecikme çalışma planının üstünde uygun bir alana girilir. Bir bütün olarak kavşağın gecikmesi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$d(kavşak) = \frac{[(662 * 25,58) + (725 * 21,44) + (598 * 20,14) + (105 * 20,56)]}{[662 + 725 + 598 + 105]}$$

$$d(kavşak) = 22,335 \text{ sn/tş}$$

Bu modülün sonucu bir bütün olarak kavşak için ve her bir yaklaşım için ortalama değerler kadar her bir şerit grubunda ki taşıt başına ortalama kontrol gecikmesinin bir tahminidir. Hizmet düzeyi doğrudan gecikme değerleriyle bağlantılıdır ve bu esas üzerine atanır. Bununla birlikte bu işlemsel analizler mümkün bütün şartları hesaba katmamıştır. Özel kurb-köşe yarıçapı, kavşak açısı, çeşitli yaklaşımlar üzerindeki eğimlerin kombinasyonları , alışılmadık geometrik kavşaklar (dal kavşaklar, gidiş şeritlerini daraltma vs.) gibi karakteristiklerin etkileri ve başka alışılmadık belirli şartlardan bu işlemsel analizlerde bahsedilmemiştir.

1. 7. Yapay Zeka

Yapay zeka, insan tarafından yapıldığında zeka olarak adlandırılan davranışların (akıllı davranışların) makina tarafından da yapılmasıdır. Yapay zeka'nın insan aklının nasıl çalıştığını gösteren bir kuram olduğu da söylenebilir. Yapay zeka'nın amacı, makinaları daha akıllı hale getirmek , zekanın ne olduğunu anlamak ve makinaları daha faydalı hâle getirmektir.

Yapay zeka, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yani programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre ise, yapay zeka, bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır¹.

Yapay zekanın amacı insanın zekasını bilgisayar aracılığı ile taklit etmek, bu anlamda belli bir ölçüde bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırabilmektir. Bu şekilde yapay zeka çoğunlukla insanın düşünme yeteneğini, beynin çalışma modelini veya doğanın biyolojik evrimini modellemeye çalışan yöntemlerden oluşur. Yapay zeka yöntemlerinin başlıcalarını uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar oluşturur.

Uzman sistemler kısaca bir kural tabanlı sistem olarak nitelendirilebilir. Burada oluşturulan kurallar bir uzmanın görüşü veya tecrübesine dayandırılarak oluşturulur. Oluşturulan bu kurallardan, insanın neden-sonuç ilişkisine bağlı kalarak bir sonuca varması gibi mantıksal işlemler sonucunda bir çıkarım yapılır.

Bulanık mantık da bir kural tabanlı sistem olarak düşünülebilir. Fakat burada nitelendirmeler, uzman sistemlerden farklı olarak kesin değildir. Bir insanın günlük hayatta yaptığı nitelemelerin büyük çoğunluğu da kesin değildir. Bulanık mantık bu

¹ <http://members.tripod.com/~Bagem/bagem/yz3.html>

şekilde kural tabanının günlük hayatta kullanılan kesin olamayan kelimelerle oluşturulmasına imkan sağlar. Beynin öğrenme kapasitesi nöronlar ve bunların birbiri ile olan bağlantısına bağlıdır.

Yapay sinir ağları, adından da anlaşılacağı gibi, beynin çok basit bir nöron modelinin benzetimidir. Bu şekilde elde edilen ağ ile öğrenme olayı gerçekleşir.

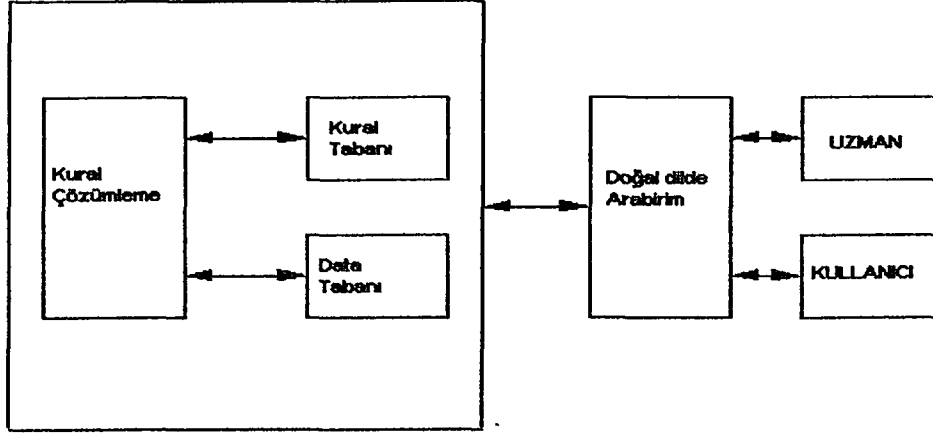
Genetik algoritma ise, doğanın kullanmış olduğu biyolojik evrim modelini benzeterek çözüm arayan bir optimal arama algoritmasıdır.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişime paralel olarak özellikle son yirmi yılda ulaşım alanında karşımıza çıkan ve sezgisel olarak çözülebilen yada çözülmesi matematik teknikler ile mümkün olmayan gerçek hayat problemlerini çözmeye yönelik ileri teknikler yapay zeka teknikleri olarak adlandırılır. (Tektaş vd 2002).

1. 8. Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri

1. 8. 1. Uzman Sistemler (Expert Systems)

Yapay zekanın en önemli uygulama alanlarından biri Uzman Sistemlerdir. Bu tip sistem belli bir alanda uzman olan kişilerin uzmanlıklarına dayanarak çözüm arar. Bunu bir tür bilgisayarda düzenlenmiş danışma sistemi olarak düşünebiliriz. Uzman sistemler hem makine hem de insan müdahalesine ihtiyaç duyan uygulamalarda kullanılır. Tıp, finansal planlama, bilgisayar konfigürasyonu, gerçek zamanlı sistemler, trafik yönetimi ve kontrolü, sigortacılık bazı uygulama alanlarıdır. Bir uzman sistem üç parçadan oluşur. Bunlar; Kural Tabanı, Data Tabanı ve Kural Çözümleyicidir. Bu şekilde oluşturulmuş bir Uzman Sistemim blok yapısı şekil.1.6'da görülmektedir (Tektaş vd 2002).



Şekil 1. 6. Bir uzman sistemin blok yapısı

Kural tabanında, kural çözümleyicinin sonuca varmak için kullanacağı kural kümesi bulunur. Pek çok uygulamada Kural tabanı IF-THEN kural yapısında tutulur. Bu kural kümesinde birkaç kuraldan birkaç bin kurala kadar olabilir. Data tabanında probleme özgü olgular tutulur. Bu olgular IF-THEN kural yapısındaki koşulların değerleridir. Kural çözümleyici ise kural tabanındaki kurallara bakarak yeni kurallar veya sonuçlar üretir. Böyle bir sistemi doğal bir dil arabirimi kullanarak kullanıcının akıllı bir sistem üzerinden bir uzman ile bağlantı kurması sağlanabilir (Tektaş vd 2002).

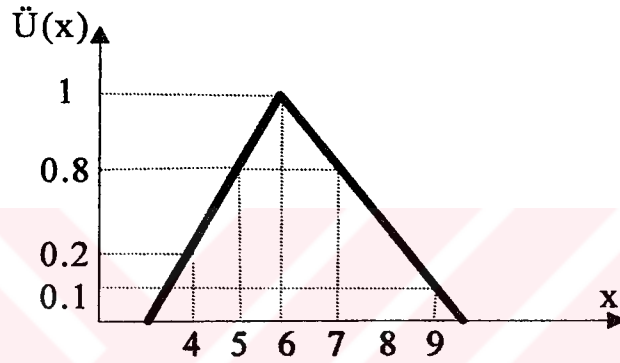
Uzman sistemler, çözümü kesin belli olmayan problem tipleri için bazı algoritmik olmayan uzmanlıkları somutlaştıran bilgi uygulamalarıdır. Örnek olarak, uzman sistemler hem makine hem de insan müdahalesine ihtiyaç duyan uygulamalarda kullanılır. Tıp, finansal planlama, bilgisayar konfigürasyonu, monitör gerçek zamanlı sistemler, trafik yönetimi, sigortacılık bazı uygulama alanlarıdır.

1. 8. 2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık mantık, bir bulanık küme mantığına dayanır ve ilk olarak 1965 yılında Lofti A.Zadeh tarafından tanımlanmıştır. Bulanık küme, küme'ye aitlik derecesi *üyelik değeri* ile tanımlanmış olan kümeyi ifade eder. Klasik küme kavramında bir eleman bir kümenin üyesidir veya değildir. Bulanık mantıkta küme aitlik derecesi μ , 0 ile 1

arasında değişir. 0 kümeyle ait olmamayı, 1 ise kesin olarak o kümenin üyesi olmayı gösterir. Küme aitlik derecesi üçgen, yamuk, Gaus eğrisi gibi standart fonksiyonlarla tanımlanabildiği gibi çok farklı fonksiyonlarda oluşturulabilir (Topuz vd 2002).

Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra Zadeh yayınladığı çalışmalarında bulanık küme teorisinin en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmıştır (Zadeh 1973).



Şekil 1. 7. Bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri

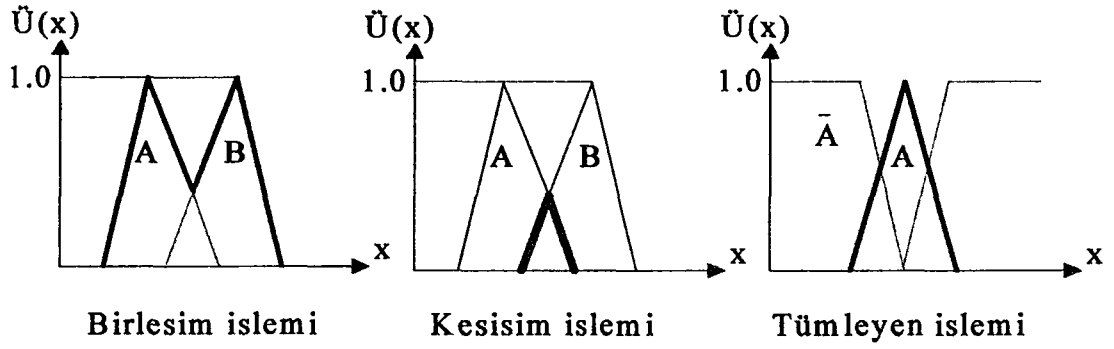
Bulanık küme işlemleri: Bulanık küme işlemleri klasik kümelerdeki işlemlere benzemekle beraber üyelik derecelerinin değerlendirilmesi ile ilgili bazı farklılıklar söz konusudur. Bir topluluk üzerinde A, B ve C gibi üç tane bulanık alt kümenin bulunduğu kabulü ile verilmiş bir x ögesi için aşağıda belirtilen sırası ile birleşim kesişim ve tamamlayıcı (tümleyen) bulanık kümeler tanımlanabilir.

$$\text{Birleşim } \ddot{U}_{A \cup B} = \ddot{U}_A(x) \vee \ddot{U}_B(x)$$

$$\text{Kesişim } \ddot{U}_{A \cap B} = \ddot{U}_A(x) \wedge \ddot{U}_B(x)$$

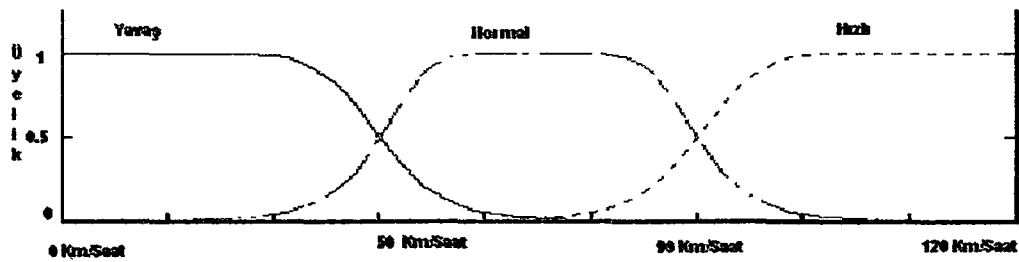
$$\text{Tümleyen } \ddot{U}_{\bar{A}}(x) = 1 - \ddot{U}_A(x)$$

Bu işlemlerin üyelik dereceleri ile ifadesi şekil 3.3 de görülmektedir.



Şekil 1. 8. Bulanık küme işlemleri

Örnek olarak bir otomobilin otoyol üzerinde yapabileceği hızı 0 ile 120 km/saat arasında olabileceğini varsayalım. Bu hız uzayını Yavaş (0 ile 40 km/saat) , Normal Hızda (60 ile 80 km/saat) ve Hızlı (100 ile 120 Km/saat) gibi 3 ayrı kümeye ayıralım. Bu otoyolda 70 km/saat hızında giden bir otomobil Normal kümesine, 90 km/saat hızında giden bir otomobil ise belli bir üyelik derecesinde Normal ve belli bir üyelik derecesinde Hızlı kümesine girer. Bu örneğe göre otomobil $\mu_{Hızlı}(90) = 0.5$ ve $\mu_{Normal}(90) = 0.5$ üyelik değerlerinde her iki kümenin üyesidir. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanılarak oluşturulan bu otomobilin hızına ait bulanık üyelik değerleri Şekil.1.8’de görülmektedir(Topuz vd 2002).

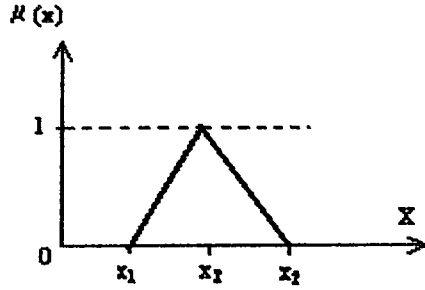


Şekil 1. 9. Örnek bir Otomobil Hız Uzayının Bulanıklaştırılması.

Üyelik fonksiyonları ve özellikleri: Üyelik fonksiyonları kümedeki elemanların, farklı veya sürekli olup olmadığı fuzzy kümelerindeki bulanıklığı karakterize eder, sonuçta grafiksel biçim, fuzzy kümelerinin matematiksel biçimlenmesinde kullanılır. Fuzzy

üyelik fonksiyonları, olayların gerçek uzaylarını ya da dağılımlarını içerecek özellikleri de sergilemelidir. En çok bilinen üyelik fonksiyonları aşağıda verildi.

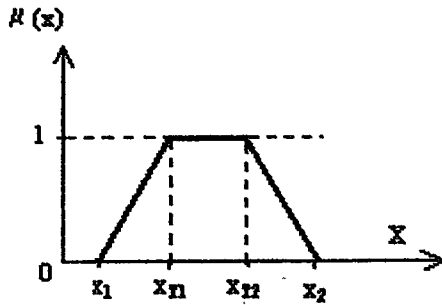
1- Üçgen üyelik fonksiyonu (triangular membership function) :



Şekil 1. 10. Üçgen üyelik fonksiyonu

$$(p1=x_1, p2=x_T, p3=x_2) \quad \mu(x) = \text{Max} \left\{ \min \left[\frac{x-x_1}{x_T-x_1}, \frac{x_2-x_1}{x_2-x_T}, 0 \right] \right\} \quad (1.36)$$

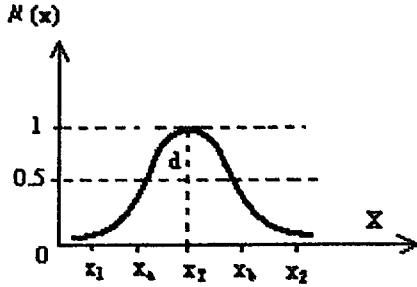
2- Yamuk üyelik fonksiyonu (trapezoidal membership function) :



Şekil 1. 11. Yamuk üyelik fonksiyonu

$$(p1=x_1, p2=x_{T1}, p3=x_{T2}, p4=x_2), \quad \mu(x) = \text{Max} \left\{ \min \left[\frac{x-x_1}{x_{T1}-x_1}, 1, \frac{x_2-x_1}{x_2-x_{T2}}, 0 \right] \right\} \quad (1.37)$$

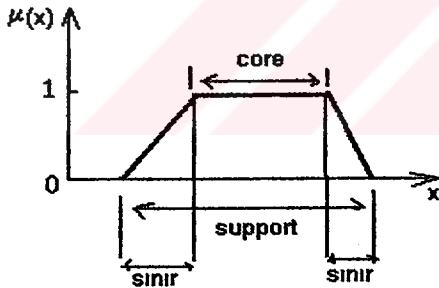
3. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu (Gaussian membership function):



Şekil 1. 12. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - x_r}{d} \right)^{2m}}, \quad m=4 \text{ için,} \quad (1.38)$$

En genel haliyle yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonunun kısımlarını inceleyelim.



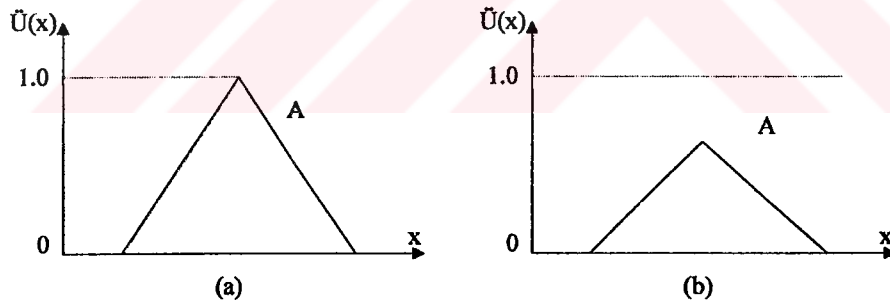
Şekil 1. 13. Fuzzy kümesinin core, desteği ve sınırları

Şekilde görüldüğü gibi verilen bir bulanık alt kümede bir değil birden fazla öğenin üyelik derecesi 1'e eşit alınabilir. Bu durumda, 1 üyelik dereceli öğelerin tam anlamı ile hiç bir şüpheye düşmeksizin, sadece o alt kümeye ait olduğu sonucuna varılır. Böyle üyelik derecesine sahip olan öğelerin toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin özü (*core*) denir. Burada $\mu(x)=1$ 'dir. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda bir tane öğenin üyelik derecesi 1'e eşit olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir nokta olarak karşımıza çıkar.

Bunun aksine bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin dayanağı (support) adı verilir. Dayanakta bulunan her öğenin az veya çok değerinde (0 ile 1 arasında) üyelik dereceleri vardır. Bunun matematik gösterilişi $\mu(x) > 0$ şeklindedir.

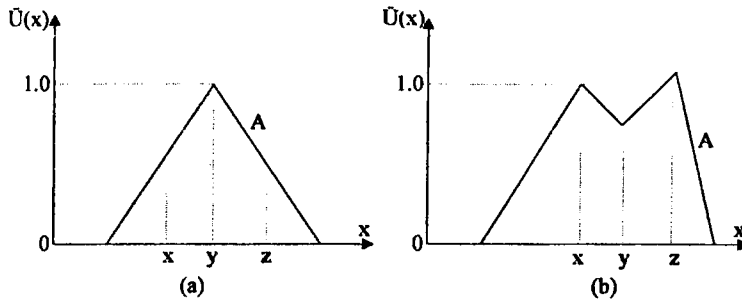
Üyelik dereceleri 1'e veya 0'a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonlarının sınırları (boundary) veya geçiş bölgeleri denir. Bunun matematik tanımı $0 < \mu(x) < 1$ şeklindedir. Bunlar alt kümenin kısmi öğeleridir. Aslında bir alt kümeye bulanık özelliğinin takılması bu geçiş yerlerinin bulunması sonucudur. Genel olarak, tüm üyelik fonksiyonlarında biri sağda diğeri solda olmak üzere iki tane geçiş bölgesi vardır (Şen 2001).

Üyelik fonksiyonunun sahip olması gerekli olan iki tane daha özellik bulunmaktadır. Bunlardan birincisinin bulanık kümenin normal olduğunu tespit etmemize yarayan bir kavramdır. Buna göre normal bulanık kümede en azından bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan öğe bulunmalıdır. Şekil 3.7 de normal ve normal olmayan bulanık kümelerle ait örnekler verilmiştir (Murat 2001).



Şekil 1.14. Bulanık kümeler (a) normal (b) normal olmayan

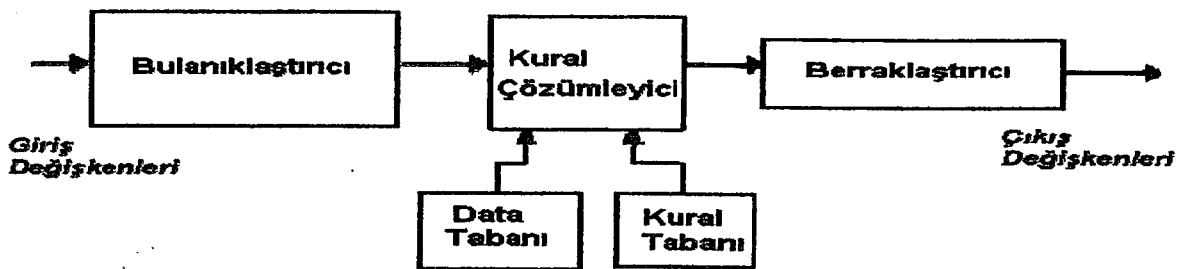
İkinci özellik ise bulanık kümenin dış bükey (konveks) olmasıdır. Dış bükey olan konveks kümelerde üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üzerinde ya sürekli artar ve ya sürekli azalır veya önce sürekli olarak üyelik derecesi bir öğede 1'e eşit oluncaya kadar artar ondan sonraki dayanağa düşen öğeler için sürekli azalır. Bunun aksi durumlarda söz konusudur. Ancak onlar bulanık kümelerle üyelik fonksiyonu olamazlar. Şekil 1.15 de dış bükey olan veya olmayan bulanık alt kümelerle ait örnekler görülmektedir (Murat 2001).



Şekil 1. 15. Bulanık kümeler (a) dış bükey (b) dış bükey olmayan

1. 9. Bulanık kontrolör

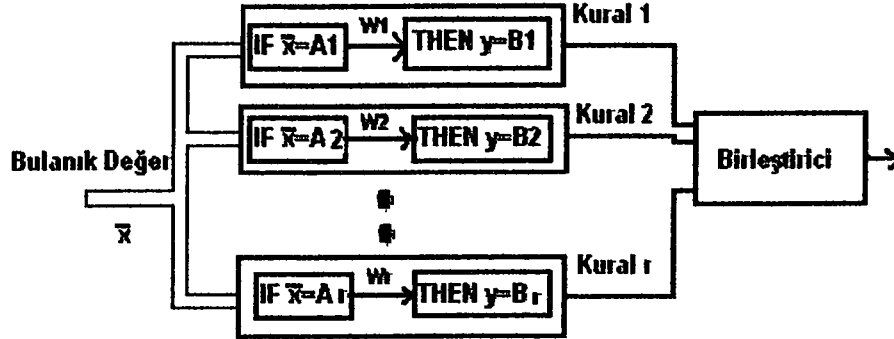
Bulanık kontrolör, giriş ve çıkış parametrelerinden bir kısmı veya tamamı bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan kural tabanlı bir kontrol sistemidir. Böyle bir kontrol sisteminin önemli özellikleri, kuralların sözel değişkenlerle ifade edilebilir olması, uzman bilgisinin tam olarak kontrol kurallarına yansıtılabilmesi ve kesin olmayan bilgiler üzerinden çıkarım yapabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Ayrıca çıkışta elde edilen bulanık değerleri bulanık olmayan bir değere dönüştüren berraklaştırıcı mevcuttur. Bu şekilde oluşturulan bir bulanık kontrolör şekil.1. 16'da görülmektedir (Topuz vd 2002).



Şekil 1. 16. Genel bir bulanık kontrolör yapısı

Bir bulanık kontrolörün temelini kural çözümleyici, data tabanı ve kural tabanından oluşan kural tabanlı sistem oluşturur. Burada uzman sistemlerde olduğu gibi kural tabanında IF-THEN yapısında oluşturulan kurallar, data tabanında ise kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipleri ve sınır değerleri tutulur. Bulanık kontrolörde kullanılan bir

kural tabanlı çıkarım sisteminin iç yapısı daha ayrıntılı olarak şekil 1. 17’de görülmektedir.



Şekil 1. 17. Bulanık kural tabanlı çıkarım sistem yapısı

Bir bulanık kural tabanlı sistemde, farklı çözümleme yöntemleri uygulanabilir. Bunlardan en önemlileri Mamdani ve Sugeno modelidir. Ayrıca birleştiricide birden fazla kural arasında oluşturulacak olan ilişkilerde uygulanan farklı çıkarım yöntemleri mevcuttur. Bulanık kontrolörde farklı berraklaştırma yöntemleri de vardır. Bu yöntemlerin bazıları; yamuk ağırlık noktası, ağırlıklı ortalama yöntemi, maksimumların ortalaması yöntemidir. Kullanılan berraklaştırma yöntemi bulanık kontrolörün performansını önemli ölçüde etkiler (Topuz vd 2002).

Bulanık kontrolörde bulanık giriş ve çıkış parametrelerini sayısı, kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipi ve adedi, kural tabanını oluşturan kurallar, kural çözümleme yöntemi, birleştirme operatörleri, berraklaştırma metodu belirlenmesi gereken en önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin belirlenmesinde bazı sayısal yaklaşımlar var ise de çoğunlukla bu parametreler bir uzman tarafından veya deneme yanılma metodu ile test edilerek oluşturulur.

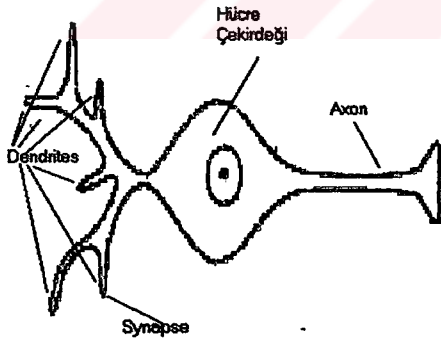
Bulanık kontrolörlerin ulaşım sistemlerinde planlama, yönetim ve kontrol alanlarında oldukça geniş bir uygulama alanı vardır. Bu uygulamalardan bazıları; bulanık mantık kuralları kullanarak araç yönlendirme, izole edilmiş sinyalizasyon kavşaklarında bulanık

mantık ile kontrol, kent içi ekspres yollarda bulanık kontrol sistemleri, bulanık ve geleneksel metodları kullanarak trafik akış ve kontrol simülasyonu, bulanık mantık ile kontrol problemlerinin çözümü olarak verilebilir.

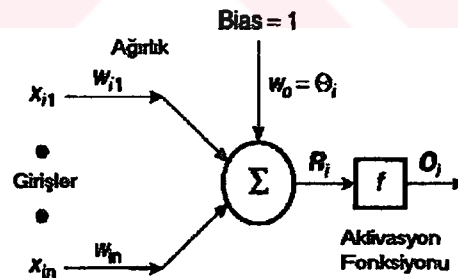
1. 10. Yapay sinir ağları (Artificial Intelligence Networks)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin nöronlardan oluşan yapısını ve öğrenme yöntemlerini inceler. 19.yüzyıldaki psikolog ve nöropsilologların insan beynini anlamaya çalışmaları YSA'ların temelini oluşturur. Fakat bu konulardaki ilk modern çalışmalar McCulloch ve W.Pitts ile başlar.

YSA beynin Nöron modelini benzeterek, beynin bazı işlevlerini yerine getirmeye çalışan bir sistemdir. İnsan beyinde yaklaşık 10^{11} nöron ve her bir nöronda yaklaşık 10^4 dendritler vardır. Sinir sisteminin en küçük birimi olan nöron' un biyolojik modeli şekil 1. 18'deki gibidir. Bu Nöronun YSA modeli ise şekil 1. 19'daki gibi çizilebilir.



Şekil 1. 18. Nöron' un Biyolojik Modeli.



Şekil 1. 19. Bir Nöronun YSA Modeli.

YSA'lar özellikle öğrenme üzerinde odaklanmıştır ve lineer olmayan sistemlerde veya sisteme ait bilginin tam olmadığı, hatalı olduğu sistemlerde çözüme ulaşmak için uygundur. YSA'ların en önemli dezavantajı ise var olan bir uzman bilgisinin problem çözümüne aktarılmasındaki zorluktur. YSA kullanım alanları; kontrol ve sistem

tanımlama, görüntü ve ses tanıma, tahmin ve kestirim, arıza analizi, tıp, haberleşme, trafik, üretim yönetimi olarak sayılabilir (Tektaş vd 2002).

1. 10. 1. Aktivasyon fonksiyonları

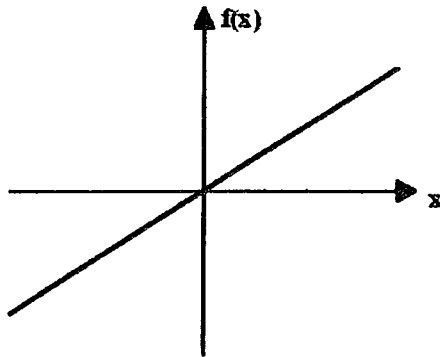
Aktivasyon fonksiyonları sinyal çıkışı üzerinde matematiksel işlemler yapan fonksiyonlardır. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan beş aktivasyon fonksiyonu tanıtılacaktır. Ağ tarafından çözülecek problemin tipine bağlı olarak daha özel olarak tasarlanmış aktivasyon fonksiyonları da vardır (Gül 2004).

1) Lineer aktivasyon fonksiyonu

Lineer aktivasyon fonksiyonu şekil 1. 20'de gösterilmektedir. Şekildeki fonksiyon için matematiksel eşitlik şu şekilde yazılabilir;

$$y = f(x) = a.x \quad (1. 39)$$

Bu eşitlikteki a , fonksiyonun eğimidir. Eğer eğim 1'e eşit ise lineer aktivasyon fonksiyonu, birim (identity) fonksiyon olarak adlandırılır. Birim fonksiyonunun çıkışı giriş fonksiyonuna eşittir.

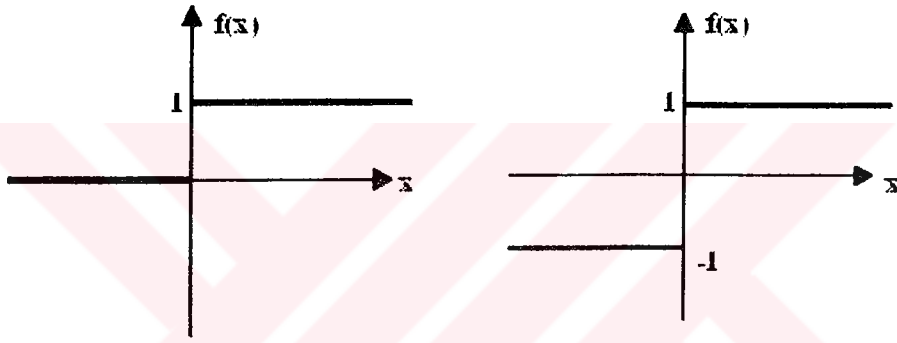


Şekil 1. 20. Lineer aktivasyon fonksiyonu

2) Thereshold (eşik) aktivasyon fonksiyonu

Thereshold yada eşik aktivasyon fonksiyonu şekil 1.21’de gösterildiği gibi ikili (binary) yada bipolar şekillerinde olabilir. İkili thereshold fonksiyonunun çıkışı şu şekilde ifade edilir;

$$y = f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad (1.40)$$

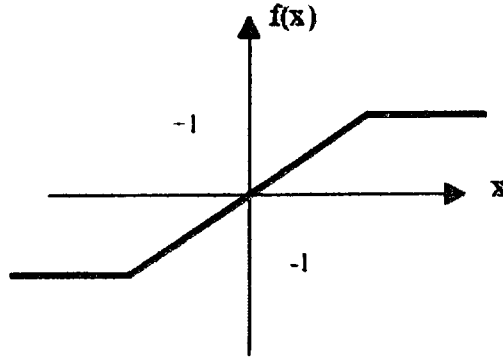


Şekil 1. 21. İkili ve bipolar thereshold (step) aktivasyon fonksiyonu

3) Parçalı (piecewise, ramp) lineer aktivasyon fonksiyonu

Bu tip aktivasyon fonksiyonları, aynı zamanda, doyma (saturating) lineer fonksiyonları olarak da bilinirler. Çıkış değerinin doyma sınırları için ikili yada bipolar bir aralığa sahip olabilirler. Şekil 1. 22’de gösterilen simetrik bir doyma fonksiyonu için matematiksel model şu şekilde yazılabilir;

$$y = f(x) = \begin{cases} -1 & \text{if } x < -1 \\ x & \text{if } -1 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{if } x \geq 1 \end{cases} \quad (1.41)$$



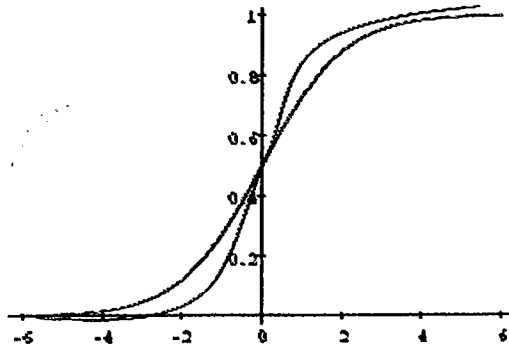
Şekil 1. 22. Parçalı (piecewise) aktivasyon fonksiyonu

4) Sigmoidal aktivasyon fonksiyonu

Sinirsel ağları kurmak için en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonu bu tip nonlinear aktivasyon fonksiyonlarıdır. Matematiksel olarak iyi tanımlanırlar ve türevleri alınabilir. Sigmoidal transfer fonksiyonu şu şekilde ifade edilir;

$$y = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}, \quad 0 \leq f(x) \leq 1 \quad (1.42)$$

Burada, a: sigmoidal fonksiyonun şekil parametresidir. Şekil 1. 23'de gösterildiği gibi, bu parametre değiştirilerek farklı şekillerde fonksiyonlar elde edilebilir. Bu fonksiyon sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur.

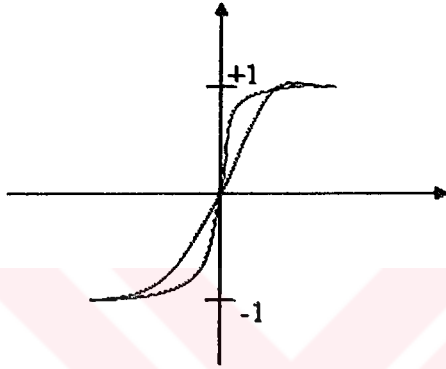


Şekil 1. 23. Sigmoidal aktivasyon fonksiyonu

5) Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu

Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu şekil 1. 24'de gösterilmektedir. Bu tip aktivasyon fonksiyonları aşağıdaki matematiksel ifadelerle tanımlanır;

$$y = f(x) = \frac{e^{\alpha x} - e^{-\alpha x}}{e^{\alpha x} + e^{-\alpha x}}, \quad -1 \leq f(x) \leq 1 \quad (1.43)$$



Şekil 1. 24. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu

Yapay sinir ağlarının fonksiyonlarını gerçekleştirirken sahip oldukları fiziki yapının da büyük rolü vardır. Günümüzde, yapay sinir hücrelerinin birbirleriyle olan bağlantıları ve uygulanan öğrenme metotlarındaki farklılığa göre otuzun üzerinde model geliştirilmiştir. Yapay sinir hücreleri, bütünüyle birbirleriyle bağlantılı veya yerel gruplar halinde bağlantılı olabildikleri gibi, dağınık şekilde de birbirleri ile bağlanabilmektedirler. Bilgi akışı bu bağlantılar üzerinden tek yönlü olduğu gibi çift yönlü de olabilir.

1. 11. Esnek Programlama (Soft Computing)

Uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritma uygulamalarda tek başlarına kullanılabildikleri gibi birçok uygulamada her bir yöntemin avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak birlikte kullanılır. İşte böyle bir yaklaşıma esnek

programlama adı verilir. Bu şekilde çok daha etkin yöntemler geliştirilmiştir (Tektaş vd 2002).

1. 12. Trafikte Yapay Zeka Uygulamaları

Ulaşımın planlanması esas olarak transit şebeke tasarımı, şebeke değerlendirmesini, transit işlemler vb.den oluşur. Transit şebeke tasarımı, rotaların tasarımı, çizelgeleme, yükleme modelini vb. konuları içerir. Transit şebeke tasarımı; geleneksel olarak matematik optimizasyon teknikleri yada sezgisel teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Genelde optimizasyon teknikleri sadece küçük şebekelere uygulanabilir. Büyük şebekelerde optimizasyon teknikleriyle gereken bilgisayar zamanının çok olmasından dolayı sezgisel yöntemler büyük şebekeler için tercih edilir (Tektaş vd 2002).

Çok amaçlı ve çok kriterli problem olarak ele alındığında bu tip problemlerin çözümü için hesaplama olarak uygun hızlı tekniklerin sezgisel kurallar kullanılarak geliştirilmesi gerekir. İşte bu noktada karşımıza çıkan bu tip problemlerin çözümünde yapay zeka tekniklerinin trafikte nerede ve ne şekilde kullanıldığını ele alıyoruz. Bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle doğru orantılı olarak hesaplama tekniklerinin gelişmesi özellikle son yirmi yılda ulaşım alanında etkili olmuştur.

Amerika başta olmak üzere pek çok ülkede Zeki Ulaşım Sistemleri (ITS – Intelligent Transport System) ve yapay zeka teknikleri trafiğin kontrolünde önemli bir yere sahiptir. Trafiğin kontrolü, trafik akımlarının kontrolü olarak düşünülürse, kapasite kullanımının en iyi duruma getirilmesi, kent içi yollarda ana arterler ve arterlerdeki kavşakların bölgesel kontrolü ile kent içi yolları otoyollara birleştiren katılım ve ayrılım noktalarındaki denetim ile sağlanır. Bu bağlamda kuyruklanmayı en aza indirmek, trafik sıkışıklığına engel olmak, ulaşım hızını arttırmak vb. kriterler lineer olmayan yapıdaki karmaşık optimizasyon problemlerinin çözülmesini gerektirir. Bilinen mevcut optimizasyon teknikleri ile çözilemeyen bu tip problemler için yapay zeka teknikleri (yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, bulanık mantık, uzman sistemler v.b.)

problemin tipine göre kullanılmaktadır. Trafik alanında çözülmesi gereken yada sezgisel olarak yürütülen temel konu başlıkları şunlardır:

- Kavşak optimizasyonu
- Katılım–ayrılım denetimi
- Trafik sıkışıklığı
- Şerit denetimi
- Rota seçimi ve sürücünün bilgilendirilmesi
- Teknolojik alt ve üst yapı (ITS)
- Ulaşım süresinin tahmini

1. 12. 1. Uzman sistemlerin trafikte kullanımı

- Katılım denetimi
- Kavşak optimizasyonu
- Sinyal optimizasyonu

1. 12. 2. Bulanık mantığın trafikte kullanımı

Bulanık kontrolörlerin ulaşım sistemlerinde planlama, yönetim ve kontrol alanlarında oldukça geniş bir uygulama alanı vardır. Bu uygulamalardan bazıları şunlardır:

- Bulanık mantık kuralları kullanarak araç yönlendirme,
- İzole edilmiş sinyalize kavşaklarda bulanık mantık ile kontrol,
- Kent içi ekspres yollarda bulanık kontrol sistemleri,
- Bulanık ve geleneksel metodları kullanarak trafik akış ve kontrol simülasyonu,
- Bulanık mantık ile kontrol problemlerinin çözümü, olarak verilebilir.

(Tektaş vd 2002)

1. 12. 3. Yapay sinir ağlarının trafikte kullanımı

Yapay sinir ağlarının otoyol ulaşım süresi tahmininde kullanım avantajları şunlardır:

a) Giriş ve çıkış değişkenleri arasında fonksiyonel bir yapı tanımlamaya ihtiyaç duymaması. Bunun yerine şebeke trafik verisinde uzaya ait veya geçici modelleri tanıtarak ve sınıflandırarak ilişkiler geliştirir.

b) Yapay sinir ağlarının giriş hatasında büyük yanlışlıklara rağmen doğru bir çıkış verebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Bu özellikle ulaşım süresi tahmin modelleri için yapay sinir ağlarının geleneksel modellerinin pek çoğundaki sınırlamaların üstesinden gelme yeteneğine sahip olmasıdır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlar şunlardır;

- Trafik sıkışıklığı tahmini,
- Otoyol trafik veri tahmini,
- Trafiğin kontrolü,
- Yol durum tahmini,
- Bölgesel trafik akım kontrolü.

1. 12. 4. Esnek programlamanın trafikte kullanımı

Bu yaklaşım trafik uygulamalarında son dönemde birden fazla tekniği içinde barındırdığından en çok tercih edilen ve en iyi sonuçlar veren tekniktir. Esnek programlamanın trafikte kullanıldığı alanlar şunlardır;

- Katılım denetimi için YSA-Bulanık yaklaşımı
- Bulanık-YSA kullanarak ulaşım zamanı tahmini
- Ulaşım tipi seçiminde Bulanık-Genetik yaklaşım
- Ortalama araç hızını artırma ve ortalama araç bekleme süresini indirmek için bulanık kurallar ve sinir ağları kullanarak trafik ışığı kontrolü
- Anayol katılım noktalarında Bulanık-Genetik yaklaşım ile trafik akım kontrolü
- Bulanık-Yapay trafik ışığı ile araç uzunluğu tahmini

1. 13. Sinir Bulanık Sistemler (Neurofuzzy System)

Son on yıl süresince, biz hızlı bir ilgi gelişmesine tanık olmaktadır ve sinirsel ağ sistemleri (Graham ve Newell 1989, Lee 1998) ve fuzzy mantığın değişik uygulamalarına tecrübelenmekteyiz. Bu uygulamalardaki başarılar karışık zeka sistemlerin analizleri ve planı için büyük bir iskelet olarak neuro-fuzzy hesaplamasının aciliğinde sonuçlanmaktadır (Lin ve Lee 1996, Jang *et al.* 1997). Neuro-fuzzy sistemler geleneksel fuzzy mantık sistemlerin fonksiyonlarını ve temel elemanlarını anlayan çok tabakalı ileri besleme adaptive (uyarlama) ağıdır. Bulanık mantık sistemleri gibi, neuro-fuzzy kontrol sistemleri de fonksiyonları açısından genel tahmin edicilerdendir (Wang *et al.* 1992, Jang *et al.* 1993). Onların ağ yapısını ve bu yapıyla ilişkili öğrenme algoritmalarını kullanarak, neuro-fuzzy kontrol sistemleri, değişik kompleks sistemlerin kontrolü ve modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Sinirsel ağlar ve bulanık sistemlerin avantajlarının birleştirilmesinden oluşan neuro-fuzzy sistemleri, daha zekice karar veren sistemlerin yapılabilmesine olanak sağlar (Pal *et al.* 1999, Buckley *et al.* 1999, Lin *et al.* 1996, Wang 1994). Böylece veri açısından zengin olan ortamlarda sinirsel ağların öğrenme becerisinin kullanılması ve belirsiz verilerin olduğu ortamlarda da bulanık mantığın kullanılması şeklinde işleyen çok sağlam bir sistem oluşturulur.

Modern neuro-fuzzy sistemleri çok katmanlı, geri beslemeli sinirsel ağlar olarak sunulurlar. Sistemdeki bu katmanlar; sayısal ve sözel girdiler alma, girdileri belirli kurallara dönüştürüp işlemler yapma ve sonuçları verme şeklinde genelleştirilir

Neuro-fuzzy sistemler, bulanık sistemlerin ve sinirsel ağların ayrı ayrı dezavantajlarının üstesinden gelmek için oluşturulmuştur. Bu terim genellikle bulanık sistemlerin ve sinir ağlarının her çeşit kombinasyonları için kullanılır. En genel yaklaşım, öğrenme algoritmalarının bulanık sistemlerin parametrelerine karar vermek için kullanılması yoluyla her ikisini birleştirmektir. Yani, neuro-fuzzy yaklaşımının asıl amacı sinirsel ağ metodları aracılığıyla bulanık sistemi oluşturmak ve geliştirmektir. En önemli nokta, belirsiz bilgiyi yansıtan bulanık sistemlere dayandığı için sistemin if-then kurallarının

her zaman yorumlanabilir olması gerektiğidir. Sözün kısası, yapılması gereken, avantajları kaybetmeden dezavantajların üstesinden gelmektir.

Günümüz literatüründe birkaç neuro-fuzzy ağı vardır. En bilinenleri; Jang tarafından geliştirilen Adaptive Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS) (Jang 1993), Lin ve Lee tarafından geliştirilen Fuzzy Adaptive Learning Control Network (FALCON) (Lin *et al.* 1991), Nauck, Klawonn ve Kruse tarafından önerilen Neuro-Fuzzy Control (NEFCON) (Nauck *et al.* 1994), Berenji tarafından geliştirilen GARIC (Berenji *et al.* 1992) ve bunların değişik varyasyonlarıdır.

Bu neuro-fuzzy yapıları ve sistemler neuro-fuzzy hesaplamanın temelini kuruyor. Bu fikir sinirsel metodların uyarlamalı özelliğinin avantajını alarak etkili bir şekilde bulanık sistemler için üyelik fonksiyonlarının şeklini öğrenmektir. Takagi, Sugeno ve Kang bu yaklaşımı ilk kez kullananlar olmuşlardır (Takagi *et al.* 1985, Sugeno *et al.* 1988). Daha sonra, Jang bu düşüncenin ayrıntılarına girmiş ve birkaç başarılı uygulamanın gösterilmesiyle birlikte adaptasyon için sistematik bir yaklaşım geliştirmiştir (Jang 1993).

1. 13. 1. Takagi, Sugeno, ve Kang bulanık model

Takagi, Sugeno, ve Kang (Takagi ve Sugeno 1985, Sugeno ve Kang 1988) (TSK) fuzzy model bir verilen girdi-çıkı veri kümesinden fuzzy kurallarını üretmek için geliştirilen ilk bulanık model olarak bilindi. Onların modeldeki tipik bir bulanık kural aşağıdaki biçime sahiptir;

if x is A ve y is B then $z = f(x,y)$,

EĞER x A olursa ve y B olursa o zaman $z = f(x,y)$,

$z = f(x,y)$ soncul gevrek (crisp) fonksiyonken, A ve B öncül bulanık kümelerdir. Genellikle $z = f(x, y)$ x ve y girdi değişkenlerinde bir polinomdur. Kuralın önceden olması ile belirlenen bulanık bölge içindeki modelin çıktısını açıklayan herhangi bir fonksiyon olabilir. Fonksiyon iki giriş tek çıkışlı bir model örnekteki “if x is small and y

is small then $z = 3$ ” sahip olduğu Sugeno model sıfır-derece olabilir. Eğer fonksiyon birinci derece bir polinom ise o zaman first-order Sugeno model olarak adlandırılır. Örneğin “if x is small and y is small then $z = -x + 2y + 4$ ”.Zero-order Sugeno model Mamdani bulanık sonuç çıkarım sisteminin özel bir durumu olarak bilinir. TSK modelin önceden gelen kısmı “bulanıklık” (fuzzyness) e sahiptir, sonradan gelen kısmı bir gevrek fonksiyondur.

TSK bulanık modelde sonuç sonuçların ortalama ağırlıklarından elde edilir. Bu bize “düzgün (smooth)” bir sonuç verir ve bir randımanlı kazanç programcısıdır(Jang 1993). Bu sonuç bir Mamdani modelde bulanıklaşmanın zaman kaybına yol açan yöntemlerinden kaçınır.Ayrıca TSK model Mamdani bulanık mantık mekanizmasında var olan sonuç çıkarımın oluşumu ile ilgili kuralı takip etmez. TSK modelin avantajları (Jang 1993): (1) hesapla ilgili verimliliği gösterir, (2) lineer teknikler ve optimizasyon ve uyarılma teknikleri ile çok iyi çalışır; (3) çıktı yüzeyinin sürekliliğini garanti eder; ve (4) matematik analizlerine daha iyi uygundur. Diğer taraftan, Mamdani model daha sezgiseldir ve insan girişi için daha iyi uydurulur. Mamdani ve TSK tipi bulanık sonuç çıkarım modellerinin bir karşılaştırması çizelge 1.17’de gösterilmektedir.

Çizelge 1. 17. Mamdani ve TSK bulanık sistemlerinin karşılaştırılması

Mamdani modeli FIS	TSK modeli FIS
Sonucu bulanık kümelerle tanımlanır	Sonucu klasik bir fonksiyondur
Dilsel verilerle daha iyi çalışır	Sayısal veriler için daha uygundur
Daha sezgiseldir	Hesaplama daha etkindir
Uzman girişi için daha uygundur	Matematiksel analizler için uygundur

1. 13. 2. Adaptive Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS)

Jang (Jang 1993) tarafından geliştirilen ANFIS TSK bulanık modelin bir uzamasıdır.Bu model uyarmalı geri besleme öğrenme algoritmasını kullanan parametreleri öğrenmek için bulanık sistemlere izin verir. Genelde ANFIS bulanık sonuç çıkarım sisteminden daha çok karmaşıktır. Basitlik için, aşağıdaki açıklamada biz bulanık sonuç çıkarım

sistemi incelenmekte dört girdi x_1, x_2, x_3 ve x_4 ye sahiptir ve her bir girdi iki dilsel terime sahiptir örneğin, x_1 girdisi için $\{A_1, A_2\}$. Bu yüzden 16 bulanık if-then kuralı vardır. Uygulamada bu algoritma bir beş tabaka ağ şekil 1. 25'de görüldüğü gibi yapılmalıdır. Dört girişli TSK bulanık model yaygın bulanık if-then kuralı aşağıdaki tipe sahiptir:

Kural 1 : if x_1 is A_1 and x_2 is B_1 and x_3 is C_1 and x_4 is D_1 ,

$$\text{Then } f_1 = p^1_1 x_1 + p^1_2 x_2 + p^1_3 x_3 + p^1_4 x_4 + p^1_5$$

Üst yazılar kural sayılarını gösteriyor. Burada $O_{k,i}$ için k. tabakasında i. düğümün çıktısını gösteriyor. Tabaka 1 de her düğüm her hangi bir parametrelenen üyelik fonksiyonu olabilir, genelleştirilen çan eğrisi fonksiyonu aşağıdaki gibi:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (1.44)$$

a_i , b_i ve c_i “öncül parametreler” olarak adlandırılır, nonlinear katsayılarıdır.

Tabaka 2 de sabit düğümün fonksiyonu tüm girdilerin sonucunun çıktısı olmalıdır, ve çıktı uygun kuralın ateşleme kuvvetine dayanır.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_j}(x_1) \mu_{B_j}(x_2) \dots \mu_{D_j}(x_4), \quad i = 1, 2, \dots, 16; \quad j = 1, 2. \quad (1.45)$$

Tabaka 3 de sabit düğümün fonksiyonu girdi ateşleme kuvvetini normalleştirmek için kullanılır.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{16} w_i}, \quad i = 1, 2, \dots, 16. \quad (1.46)$$

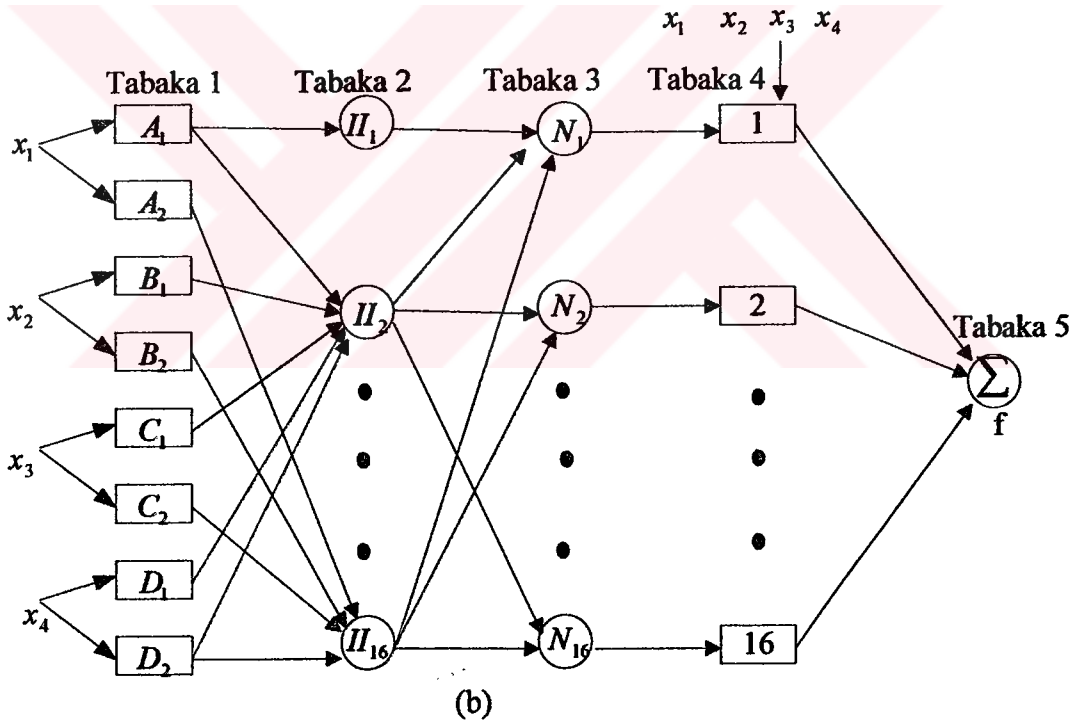
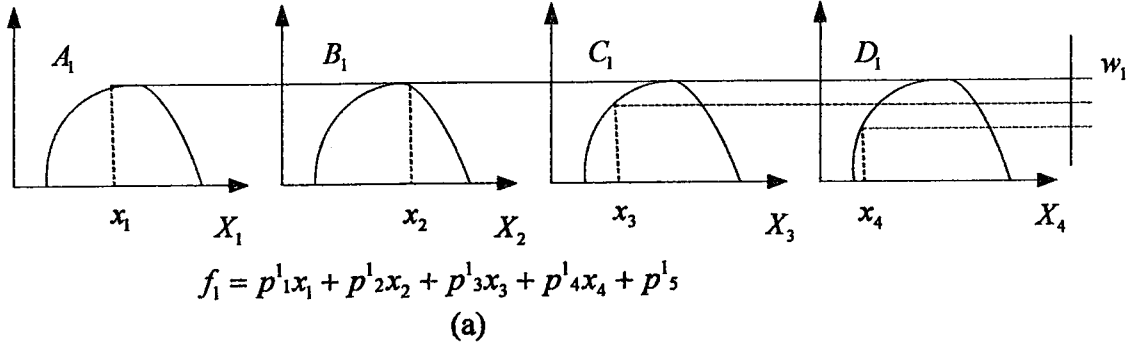
Tabaka 4 de her düğüm parametrelenen bir fonksiyondur, uyarlamalı parametreler soncul parametreler olarak adlandırılır. Düğüm fonksiyonu aşağıdaki gibi veriliyor:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p^i_1 x_1 + p^i_2 x_2 + p^i_3 x_3 + p^i_4 x_4 + p^i_5), \quad i = 1, 2, \dots, 16. \quad (1.47)$$

Tabaka 5 de basit bir toplama fonksiyonuna sahip tek bir düğüm noktası vardır.

$$O_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i \quad (1.48)$$

Böylece, ANFIS ağı TSK bulanık modele göre yapılır. Bu ANFIS mimarisi o zaman geri besleme algoritmasına göre onun parametrelerini güncelleştirebilir.



Şekil 1. 25. Bir dört girişli ANFIS ağı

ANFIS, Takagi-Sugeno bulanık sonuç çıkarma sistemini kullanır ve beş katmanlı bir yapısı vardır. Birinci gizli katman giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılması içindir. İkinci gizli katmanda kuralların öncül kısımları hesaplanır. Üçüncü katmanda kuralların

kuvvetleri normalleştirilir ve dördüncü katmanda da kuralların soncul kısımları belirlenir. Çıkış katmanı, bütün gelen sinyallerinin toplamını hesaplar. ANFIS, premise parametreleri (üyelik fonksiyonlarıyla ilişkili parametreler) belirlemek için geri yayımlı öğrenmeyi (backpropagation learning), kuralların soncul parametrelerini belirlemek için de en küçük orta kare (least mean square) metodunu kullanır. Öğrenme işlemindeki bir adımın iki kısmı vardır; birinci kısımda giriş örnekleri üretilir ve premise parametreler sabit kabul edilerek, en küçük orta kare (least mean square) metoduyla en iyi soncul parametreler tesbit edilir. İkinci kısımda, giriş örnekleri yeniden üretilir ve soncul parametreler sabit kabul edilerek premise parametreler geri yayılım (backpropagation) metoduyla değiştirilir. Bu prosedür daha sonra tekrar edilir.

1. 13. 3. ANFIS için Hybrid Öğrenme Algoritması

Eşitlik (1. 47) ve (1. 48) den biz öncül parametrelerin değerlerinin verildiğine , genel çıktının soncul parametrelerin lineer bir kombinasyonu olduğuna dikkat ediyoruz. Daha kesin bir şekilde eşitlik (1. 47) nin yeniden yazımı, ve şekil 1. 25 (b) de çıktı f aşağıdaki gibidir:

$$f = \sum_i \bar{w}_i f_i \quad (1. 49)$$

$$f = \sum_i (\bar{w}_i x_1) p'_{i1} + \sum_i (\bar{w}_i x_2) p'_{i2} + \sum_i (\bar{w}_i x_3) p'_{i3} + \sum_i (\bar{w}_i x_4) p'_{i4} + \sum_i (\bar{w}_i) p'_{i5}. \quad (1. 50)$$

Öğrenme ileri ve geri geçişler olmak üzere ikiye bölünebilir. Çizelge 1. 18'de gösterildiği gibi, öğrenme algoritmasının ileri geçişi tabaka 4'de düğümlerde durur ve soncul parametreler en küçük kare metodu ile belirlenir. Geriye doğru geçişte hata sinyalleri geriye doğru yayılır ve öncül parametreler eğim alçalması ile güncelleşir.

Çizelge 1. 18. ANFIS için Hybrid Öğrenme Algoritması

	İleri Geçiş	Geri Geçiş
Öncül Parametreler	Sabit	Eğim Alçalma
Soncul Parametreler	En küçük kareler	Sabit
Sinyaller	Düğüm çıktıları	Hata sinyalleri

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gökdağ 1996 yılında “sinyalize kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmelerinin simülasyon modellemesi” isimli çalışmasında taşıt gecikmelerini tahmin edilmesi için bir simülasyon programı geliştirmiş, simülasyondan elde edilen gecikmeleri mevcut gözlemlerden ve diğer teorik modellerden elde edilen gecikmelerle karşılaştırmış. Geliştirilen simülasyon modelinin mevcut diğer matematik modellere nazaran daha iyi gecikme tahmini verdiği ve daha pratik olduğu gözlenmiştir.

Qiao *et al.* (2001) yaptıkları çalışmada bulanık mantığa dayalı gecikme tahmin sistemi önerilmiş ve modellenmiştir. Geleneksel gecikme tahmin metodu yalnızca teknik faktörlerin (trafik talebi, yol geometrisi ve sinyal kontrolü gibi) ele alındığı statik mühendislik denklemlerinin çözümünü içeriyor ve teknik olmayan faktörlerin etkisi (hava, görüş mesafesi) önceden tanımlı süreci takip etmediklerinden dolayı analiz edilemez. Bulanık mantığa dayalı gecikme tahmini kompleks teknik ve teknik olmayan faktörleri birleştirir ve değişik trafik şartlarına göre uyarlanabilir. Bulanık sistemin simülasyon ve alan testi bulanık mantığa dayalı modellemenin kavşak gecikme tahminini geliştirmede ümit verici bir yaklaşım olduğunu göstermişlerdir. Bulanık mantık ile yapılan gecikme tahminlerinin HCM 94 ve Webster gecikme tahminlerine göre gerçeğe daha yakın olduğu göstermişlerdir.

Luttinen ve Nevala (2002) çalışmalarında Fillandiya’daki Sinyalize kavşaklarda önceden zamanlı ve trafik uyarmalı şartlar için çeşitli doygunluk dereceleri için HCM 2000, İsveç yöntemi Capcal 2 ve Danimarka yöntemi Dankap gecikme tahmin modellerini ve değişik kavşak bilgileri ile elde edilen veriler ile oluşturulan HUTSIM simülasyon programından elde edilen simülasyon sonuçları ile karşılaştırıyorlar. HCM nin önceden zamanlı kontrol için yüksek doygunluk derecelerinde yüksek gecikme tahmini yaptığını ve düşük doygunluk derecelerinde daha doğru tahmin yaptığını görülmüştür. Trafik uyarmalı kontrol için HCM hemen hemen çok düşük ($p < 0.4$) ve çok

yüksek ($p>0.85$) doygunluk derecelerinde gecikmeleri gerçekte olduğundan daha fazla tahmin ettiği görülmüştür.

Pappis ve Mamdani (1977) bulanık mantık tekniğinin trafik sinyalizasyonundaki ilk uygulaması yayınlamışlardır. Bu çalışmada iki adet tek yönlü yolun kesiştiği bir kavşakta bulanık mantık denetleyici uygulanmıştır. Zaman, gelen taşıt sayısı ve kuyruk uzunluğu bulanık denetleyici için girdi parametreleri, yeşil süreyi uzatma miktarı ise çıktı parametresi olarak alınmıştır. Çalışmada iki fazlı bir sistem incelenmiştir. Bulanık mantık denetleyici, girdi ve çıktı parametrelerine göre hazırlanan ve 25 kuraldan oluşan bir kural tabanına dayanarak denetimi gerçekleştirilmektedir. Kurulan algoritmanın performansının değerlendirilmesi amacıyla benzetim modelleri oluşturulmuş ve bulanık mantık denetleyici, trafik uyarmalı denetim sistemi ile gecikme süreleri bakımından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma da doğu-batı ve kuzey güney yönlerinden değişken trafik durumları göz önünde bulundurulmuştur. Bulanık mantık denetleyici, ortalama gecikme süreleri bakımından trafik uyarmalı sistemden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Nakatsuyama *et al.* (1984) ilk çalışmadan esinlenerek bir bulanık mantık denetleyici modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Pappis ve Mamdani tarafından kullanılan parametrelere dayanarak bir kural tabanı oluşturmuştur. Yalnız kural tabanında bazı değişiklikler söz konusudur. Bu çalışmanın özelliği bir arter üzerindeki iki kavşak üzerinde çalışılması ve Pappis ve Mamdani tarafından önerilen algoritmayı biraz daha geliştirmiş olmasıdır. Nakatsuyama ve diğerleri tarafından geliştirilen bulanık mantık denetleyici, trafik uyarmalı denetleyici ile değişken trafik koşulları altında ortalama gecikme süreleri bakımından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bulanık mantık denetleyici ile gecikme sürelerinde ortalama %20 oranında bir azalma olduğu öne sürülmüştür.

Janecek ve Zargham (1995) tarafından yapılan çalışmada dört kollu ve dört fazlı ayrı bir kavşak ele alınmıştır. Bu çalışmada fazların değişimi ile ilgilenilmemiş, faz sürelerinin uzatılması veya azaltılmasının denetimi amaçlanmıştır.

Her fazda gelen trafik hacmindeki değişim ve kavşağa gelen toplam trafik miktarındaki değişim oranı parametreleri bulanık girdi verilerini oluşturmaktadır. 30 adet farklı trafik durumu benzetilmiştir. Simulasyon sonuçlarından;

Toplam trafik miktarında dakikada bir taşıtlık artış olduğunda devre süresinin 1.8 sn artması gerektiği ve toplam trafik miktarındaki %1'lik artışın devre süresinde % 0,62'lik bir artışı gerektirdiği anlaşılmıştır. denetim kuralları oldukça basittir:

- Eğer x fazındaki trafik arttıysa x fazındaki yeşil ışık miktarını artır.
- Eğer x fazındaki trafik biraz arttıysa x fazının yeşil ışık miktarını biraz artır.

Janecek ve Zargham (1995), geliştirdikleri denetleyici sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi ile karşılaştırmış ve ortalama bekleme süreleri bakımından bulanık algoritmanın üstün olduğunu belirlemiştir.

Kim (1997) tarafından yapılan çalışmada aynı şekilde 4 kollu ve 4 fazlı ayrı bir kavşak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında mevcut faz süresinin artırılmasına veya azaltılmasına karar verme amaçlanmıştır. Çalışmada faz değişimi ile ilgili bir öneri yoktur, 4 fazlı olarak sabit alınmıştır. Önerilen algoritma performans kriterleri bakımından test edilmiştir. Performans kriteri olarak kavşaktan geçen taşıt sayısı, taşıtların ortalama gecikmesi ve doygunluk derecesi ele alınmıştır. Sabit zamanlı sinyalizasyon ve Mamdani bulanık mantık algoritması ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda önerilen algoritmanın üstünlüğü anlaşılmıştır.

Sık ve Park (1994) tarafından yapılan çalışmada beş adet bulanık girdiye ve bir adet çoktıya ve 27 adet bulanık kural tabanına dayalı olarak eşgüdümlü kavşaklar için bulanık mantık denetim algoritması önerilmiştir. Bulanık mantık denetleyici sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi ile benzetim çalışması yapılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda taşıtların gecikme sürelerinde bulanık denetim ile %10 – 15 gibi bir oranda iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir.

Tzes *et al.* (1995) tarafından yapılan çalışmada hem ayırık hemde eşgüdümlü kavşaklar için bulanık mantığa dayalı bir denetleyici önerilmiştir. Önerilen bulanık denetim algoritması sabit zamanlı sinyalizasyona göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Ella Bingham (1998) yaptığı çalışmada, var olan fuzzy kontrollörde bir sinirsel öğrenme ağı kullandı. Sonuçta ayarlanabilen kontrolörler farklı trafik çevrelerde kendi parametrelerini değiştirebiliyor olduğunu gözlemledi. Ayarlanabilir kontrolörlerin performansının ayarlanamaz kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu gözlemledi.

Murat (2001), Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli adlı çalışmasında da bulanık mantığa dayalı bir denetim sistemi geliştirmiş. Model algoritmasında bulanık mantık yöntemini kullanan bir süre denetleyici ve faz seçici yer almıştır. Ortalama araç gecikmelerinde belirli oranlarda iyileşme gözlenmiştir.

Trabia *et al.* (1999) yaptıkları incelemede izole edilen kavşak için bulanık mantık (fuzzy logic) trafik sinyal kontrollerin dizayn ve değerlendirmesini göstermişlerdir. Kontrolör gerçek zamanlı trafik talepleri için duyarlı olması için dizayn edilmiştir. Direkt ve sola dönen hareketlere sahip izole edilen dört yaklaşımlı bir kavşak için bir bulanık mantığa dayalı trafik uyumlu sinyal kontrolörünü göstermişlerdir. Verilen her hangi bir zamanda direkt hareketler için kesin sinyal fazını sürdürmeyi yada bitirmeyi belirlemek için iki adımlı bir bulanık mantık yönteminde kullanılmıştır. Sola dönen yeşil fazın sürekliliği trafik hareketli kontrole dayandırılıyor.

Haşiloğlu ve Gökdağ (2001) incelemelerinde taşıt gecikmelerini klasik modellere alternatif olarak Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) kullanılarak gecikme tahmini yapmışlardır. Sinyalize kavşaklarda taşıt gecikmelerinin tahmini için yeni bir yaklaşım yöntemi olan yapay bulanık sinir ağı tekniğinin uyarlanabilirliği gözlenmiştir.

Henry ve Gallego (1997) çalışmalarında, Neuro-fuzzy tekniklerini burada ışıklı bir kavşağı kontrol etmek için önermişlerdir. Bulanıklaştırma (Fuzzification) ve sonuç çıkarım (inference) kuralları bir sinirsel ağ ile şekillendirilmiş. Her bir sinyal için neuro fuzzy kontrol anahtar açma (switch on) ve anahtar kapama (switch off) arasında seçim

yaptırılmıştır. Trafik yöntemlerinin modeline dayanan optimal kontrol ile neuro-fuzzy kontrolün kaynaşması %26 gecikme süresinde ortalama fayda sağladığı görülmüştür.

Topuz vd (2002) bulanık mantık yaklaşımı ile trafik akımlarını katılım noktalarında kontrolünü yapmışlardır. Giriş değişkeni olarak anayoldaki akım, katılım kolundaki kuyruk ve çıkış değişkeni olarak sinyal grubunun yeşil ışık süresi kullanmışlardır. Sonuç olarak gecikme sürelerinde, duruş sayılarında ve kuyruk uzunluklarında % 30 a varan iyileşme görülmüştür.

Tektaş vd (2002) yaptıkları incelemede, yapay zeka tekniklerinin trafikte uygulanmasının incelemesini yapmışlardır. Gecikme sürelerinin ve kuyruk uzunluklarının düşürülmesi ve doyısıyla kapasitenin artırılması için yapay zeka tekniklerinin trafikte kullanılmasının uygun olduğunu yapılan çalışmalara dayanarak önermişlerdir.

3. METERYAL ve YÖNTEM

3. 1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Trafik sinyalizasyonunda en önemli performans ölçüsü taşıt gecikmeleridir. Yapılan Sinyalizasyon çalışmalarda asıl amaç gecikmeyi minimum bir değere indirmektir. Sinyalizasyonun doğru bir şekilde yapılabilmesi için taşıt gecikmesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır. Bu çalışmada yapay zeka tekniklerinden ANFIS (Adaptive Network based Fuzzy Inference System) kullanılarak taşıt gecikmelerinin tahmini yapılmaya çalışılmıştır.

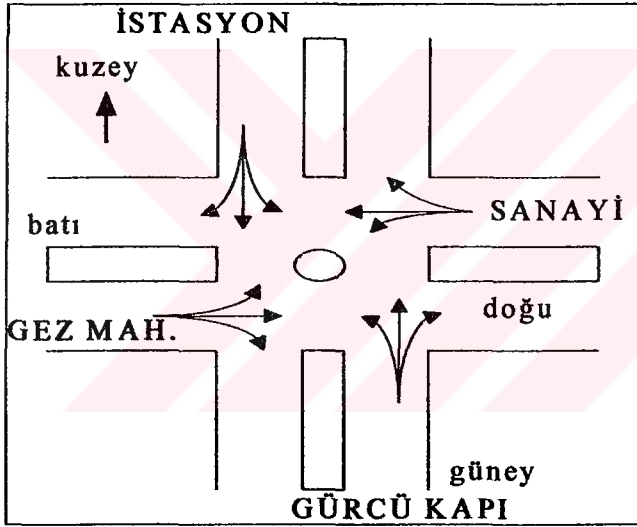
Ayrıca çalışmada yapay zeka tekniklerinden uzman sistemler, bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri tanıtılarak, bu tekniklerin trafik kontrol problemlerinde kullanımları üzerine araştırma yapılmıştır. Çalışmada trafik kontrolünde bu tekniklerin nerede ve nasıl uygulandığına ilişkin bir sınıflandırma yapılmıştır.

Çalışma kapsamında Erzurum da bulunan Aliravi Kavşağı ve 50 . Yıl kavşağında ölçüm, gözlem ve değerlendirme yapılmıştır. Gözlemler kavşağın bütün kollarını görebilecek şekilde bir kamera ile çekim yapılmış ve kavşağın çekimlerde görünen kollarındaki trafik hacimleri ve gecikmeler gözlem yoluyla tespit edilmiştir. Belirlenen trafik hacimleri, yeşil süre, kırmızı süre ve devre süresine göre simulasyon programından ve mevcut gecikme formüllerinden taşıt gecikme değerleri elde edilmiştir.

Simulasyondan elde edilen taşıt gecikmeleri ANFIS de eğitilip, test edildikten sonra belirlenen kontrol verileri için gecikme tahmin edilmiştir. Simulasyon, gözlem ve formüllerden elde edilen gecikme değerleri ile ANFIS ile tahmin edilen gecikme değerleri karşılaştırılmıştır.

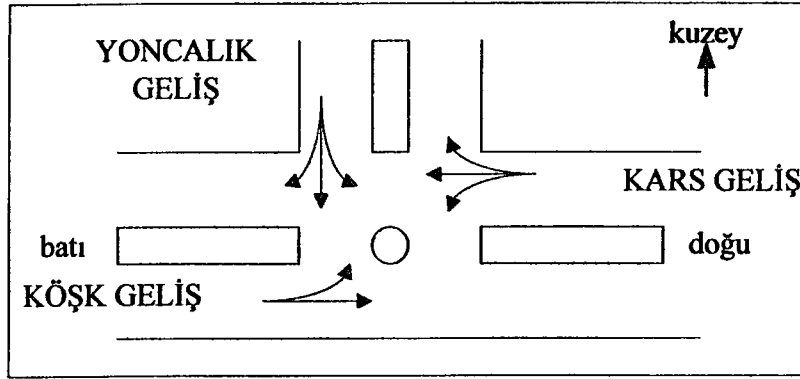
3. 2. Gözlem Yapılan Kavşaklar

Bu çalışmanın yapılmasında Erzurum şehir merkezinde iki kavşak seçildi. Kavşaklardan ilki Gürcü kapı semtinde 50. Yıl caddesi üzerinde Gürcü kapıdan gelen yolun kesiştiği dört kollu bir kavşak olan 50. Yıl Kavşağıdır. Bu kavşağın doğu kolu Sanayi semtinden, batı kolu Gez Mahallesi semtinden, Güney kolu Gürcü kapı semtinden ve kuzey kolu Demiryolu İstasyonu tarafından gelen yoldan oluşmaktadır. Doğru kolu iki ve diğer yönlerdeki kollar üç şeritli yoldur. Doğru – Batı ve Kuzey - Güney istikametinde gidiş dönüşler orta rofütj ile ayrılmıştır. Kavşakta sabit zaman ayarlı iki fazlı sinyalizasyon sistemi uygulanmaktadır.



Şekil 3. 1. 50. Yıl Kavşağı

Gözlem yapılan ikinci kavşak ise Karayolları üzerinde ve Yoncalık semtinden gelen yolun kesiştiği T şeklinde bir kavak olan Aliravi Kavşağıdır. Bu kavşağın doğu kolu Kars kapı semtinden, Batı kolu Köşk Mahallesi semtinden ve kuzey kolu Yoncalık Semtinden gelen yoldan oluşmaktadır. Kavşak kolları üç şeritlidir. Kollardaki gidiş gelişler orta rōfuj ile ayrılmıştır. Kavşakta sabit zaman ayarlı iki fazlı sinyalizasyon sistemi uygulanmaktadır.



Şekil 3. 2. Aliravi Kavşağı

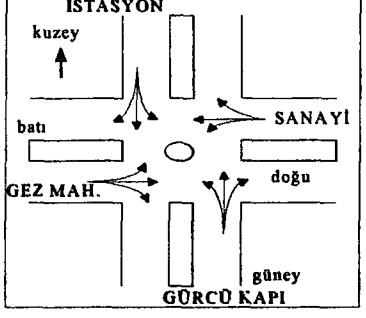
3. 3. Uygulanan Gözlem Yöntemi

İlk olarak kavşağın bütün kolları gözükecek şekilde bir kamera ile çekim yapıldı. Çekimler günün belirli saatlerinde trafiğin yoğun olduğu sabah 7:45 ile 8:45, öğle 12:00 ile 13:00 ve akşam 16:45 ile 17:45 de birer saat olmak üzere pik saatlerde yapıldı. Kamera kasetleri CD ye aktarıldı ve bilgisayarda gözlem yapılarak kolların kırmızı, yeşil, devre süresi, gecikme değerleri ve her kolun trafik hacimleri belirlendi. Taşıt gecikmeleri, gözlem yapılan kavşak kolunda kavşağa gelen her bir taşıtın kuyruğa eklendiği andan duruş çizgisini geçtiği ana kadar geçen süreyi hesaplamak suretiyle yapıldı. Sonra her taşıtın geciktiği süreler toplanarak toplam gecikme bulundu ve toplam gecikmede duruş çizgisinden geçen taşıt sayısına bölünmek suretiyle taşıt başına ortalama gecikme hesaplandı., ayrıca gecikmeler simülsayon programı(SSM) ile ve klasik formüller ile hesaplanmıştır.

3. 3. 1. Gözlem sonuçları

Bu çalışmada seçilen kavşakların gözlemler sonucu elde edilen trafik hacimleri çizelgelerle verilmiştir. Bu değerlere göre gecikme formüllerine göre her iki kavşağın yaklaşım kollarına ait gecikme hesabı yapılmıştır.

Çizelge 3. 1. 50 Yıl Kavşağı ortalama trafik hacim değerleri

	DOĞU KOLU (Taş/sa)	BATI KOLU (Taş/sa)	GÜNEY KOLU (Taş/sa)	KUZEY KOLU (Taş/sa)
SABAH	536	738	551	67
ÖĞLE	655	695	587	91
AKŞAM	814	841	824	155

Çizelge 3. 2. 50. Yıl Kavşağı Sinyal devre süreleri ve doymuş akım değerleri

50. YIL KAVŞAĞI	DOĞU KOLU	BATI KOLU	GÜNEY KOLU	KUZEY KOLU
Yeşil ışık sür. (sn)	20	20	20	15
Kırmızı ışık sü. (sn)	60	60	60	65
Devre süresi (sn)	80	80	80	80
Doymuş Akım	4200	5250	6300	6300

50. Yıl Kavşağı doğu kolu (sanayiden geliş) sabah trafik hacmi için taşıt başına ortalama gecikme formülleri ile şu şekilde hesaplanabilir;

Webster Formülüne göre;

$$d = \frac{C(1 - g/C)^2}{2(1 - xg/C)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0,65(C/q^2)^{1/3} x^{(2+5g/C)}$$

$$d = \frac{80(1 - 20/80)^2}{2(1 - (0,51) * 20/80)} + \frac{(0,51)^2}{2(0,298)(1 - 0,51)} - 0,65(80/(0,298)^2)^{1/3} (0,51)^{(2+5*20/80)}$$

$$d = 25,98 \text{ sn/tş}$$

Doherty formülüne göre;

$$D(x,t) = A + \frac{N - M}{4Q}$$

$$A = (c/2)(1 - \lambda)^2$$

$$M = 2C + tQ(1 - x)$$

$$N = (M^2 + 8CQtx)^{1/2}$$

$$A = (80/2)(1 - 20/80)^2$$

$$A = 22,50$$

$$M = 2 \cdot 0,5 + 1800 \cdot [(20/80) \cdot 4200] / 3600 \cdot (1 - 0,51)$$

$$M = 258$$

$$N = ((258)^2 + 8 \cdot 0,5 \cdot [(20/80) \cdot 4200] / 3600 \cdot 1800 \cdot 0,51)^{1/2}$$

$$N = 260,07$$

$$D(x,t) = 22,50 + \frac{925203,08 - 925201}{4 \cdot (20/80) \cdot 4200}$$

$$D(x,t) = 24,27 \text{ sn/tş}$$

HCM 1985

$$d = 0.38 \cdot 80 \cdot \frac{(1 - 20/80)^2}{(1 - (20/80) \cdot 0,51)} + 173 \cdot (0,51)^2 ((0,51 - 1) + \sqrt{(0,51 - 1)^2 + 16(0,51/1050)})$$

$$d = 19,96 \text{ sn/tş}$$

HCM 1994

$$d = d_1 DF + d_2$$

$$d_1 = 0.38C \frac{(1 - g/C)^2}{(1 - (g/C)[\text{Min}(x, 1.0)])}$$

$$d_2 = 173x^2 ((x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + m(x/c)})$$

$$d_1 = 0.38 * 80 * \frac{(1 - 20/80)^2}{(1 - (20/80) * [\text{Min}(0.51, 1.0)])}$$

$$d_1 = 19,60 \text{ sn/tş}$$

$$d_2 = 173 * (0.51)^2 ((0.51 - 1) + \sqrt{(0.51 - 1)^2 + 16 * (0.51/1050)})$$

$$d_2 = 0,36 \text{ sn/tş}$$

$$d = 19,60 * 1 + 0,36$$

$$d = 19,96 \text{ sn/tş}$$

HCM 1997

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3$$

$$d_1 = \frac{0.50 * 80 * [1 - (20/80)]^2}{1 - (20/80) * [\min(1.0, 0.51)]}$$

$$d_1 = 25,79 \text{ sn/tş}$$

$$d_2 = 900 * (15/60) * \left[(0.51 - 1) + \sqrt{(0.51 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 0.51}{1050 * (15/60)}} \right]$$

$$d_2 = 1,77 \text{ sn/tş}$$

$$d = 25,79 * 1 + 1,77$$

$$d = 27,56 \text{ sn/tş}$$

HCM 2000

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3$$

$$d_1 = 0.50.C. \frac{(1 - g/C)^2}{1 - [\min(1, x) g/C]}$$

$$d_1 = 0.50 * 80 * \frac{(1 - 20/80)^2}{1 - [\min(1, 0.51) * (20/80)]}$$

$$d_1 = 25,79 \text{ sn/tş}$$

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

Bu çalışmada seçilen kavşaklar önceden zamanlı kavşak olduğu için $k = 0,5$ ve $l = 1$ olarak alınmıştır.

$$d_2 = 900 * (15/60) * \left[(0,51 - 1) + \sqrt{(0,51 - 1)^2 + \frac{8 * 0,5 * 1 * 0,51}{1050 * (15/60)}} \right]$$

$$d_2 = 1,77 \text{ sn/tş}$$

$$d = 25,79 * 1 + 1,77$$

$$d = 27,56 \text{ sn/tş}$$

Çizelge 3. 3. 50. yıl Kavşağı doğu- batı kolları için elde edilen gecikme değerleri

50. Yıl Kavşağı		Webster	Doherty	HCM 1994	HCM 2000	SSM	Gözlem
Doğu Kolu	Sabah	25,98	24,27	19,96	27,56	25,54	25,28
	Öğle	26,89	25,31	21,10	29,45	36,20	27,21
	Akşam	28,79	28,20	23,80	33,51	41,56	27,69
Batı Kolu	Sabah	26,28	24,25	20,32	27,93	27,42	26,45
	Öğle	26,04	24,03	20,04	27,47	30,77	27,65
	Akşam	26,92	24,92	21,12	29,20	29,67	29,03

Aliravi Kavşağına ait gecikmelerde aynı şekilde hesaplanmıştır ve Çizelge 3. 6'da görülmektedir.

Çizelge 3. 4. Aliravi Kavşağı ortalama trafik hacim değerleri

	DOĞU KOLU (Taş/sa)	BATI KOLU (Taş/sa)	KUZEY KOLU (Taş/sa)
SABAH	496	944	311
ÖĞLE	474	689	531
AKŞAM	556	638	516

Çizelge 3. 5. Aliravi Kavşağı Sinyal devre süreleri ve doygun akım değerleri

ALİRAVİ KAVŞAĞI	DOĞU KOLU	BATI KOLU	KUZEY KOLU
Yeşil ışık sür. (sn)	15	20	15
Kırmızı ışık sü.(sn)	50	50	50
Devre süresi (sn)	65	70	65
Doygun Akım	5775	5250	4725

Çizelge 3. 6. 50. Yıl Kavşağı doğu- batı kolları için elde edilen gecikme değerleri

Aliravi Kavşağı		Webster	Doherty	HCM 94	HCM 00	SSM	Gözlem
Doğu Kolu	Sabah	21,16	20,03	16,07	21,84	24,07	22,82
	Öğle	21,08	19,97	15,99	21,69	23,19	21,24
	Akşam	21,40	20,19	16,30	22,24	20,74	19,93
Batı Kolu	Sabah	21,95	19,88	17,16	23,79	22,1	22,20
	Öğle	20,71	18,87	15,79	21,57	22,45	21,55
	Akşam	20,49	18,74	15,57	21,21	19,71	19,45

3. 4. Sinyal Simulasyon Modeli

En genel anlamı ile simulasyon bir sistemin bilgisayar modellenmesi olarak tanımlanabilir. Sistemlerin incelenmesi ve düzenlenmesi için çeşitli yol ve yöntemler vardır. Bir sistemin davranışını anlamak ve çeşitli karar seçeneklerini değerlendirmek amacı ile sistemin herhangi bir şekilde modeli kurularak sonuca gidilmeye çalışılır. Gerçek sistemi temsil eden bir model geliştirilir ve bu model üzerinde denemeler yapılarak sistemin yapısı, davranışı ve işleyişi gözlenir.

Bu çalışmada Gökdağ (1996) tarafından geliştirilen “Sinyal Simülasyon Modeli” (SSM) adlı simülasyon modeli kullanılmıştır. Bu modele Webster, Doherty, HCM 1985, HCM 1994, HCM 1997 ve HCM 2000 gecikme formülleri eklenerek 50 sn ve 60 sn aralıklarla taşıt gecikme değerleri hesaplanmıştır.

Simülasyon programının girdi bilgileri olarak her bir yaklaşım kolu için Q = Yaklaşım kolundaki trafik akım değeri, N =Şerit sayısı, A =Faz sayısı, g =Yeşil süre, r =Kırmızı süre, C =Devre süresi ve S =Doygun akım yazılmış. Çıktı bilgisi olarak zaman, akım, kuyruk ve gecikme hesaplatılmıştır.

3. 5. ANFIS ile Gecikme Tahmininin Yapılması

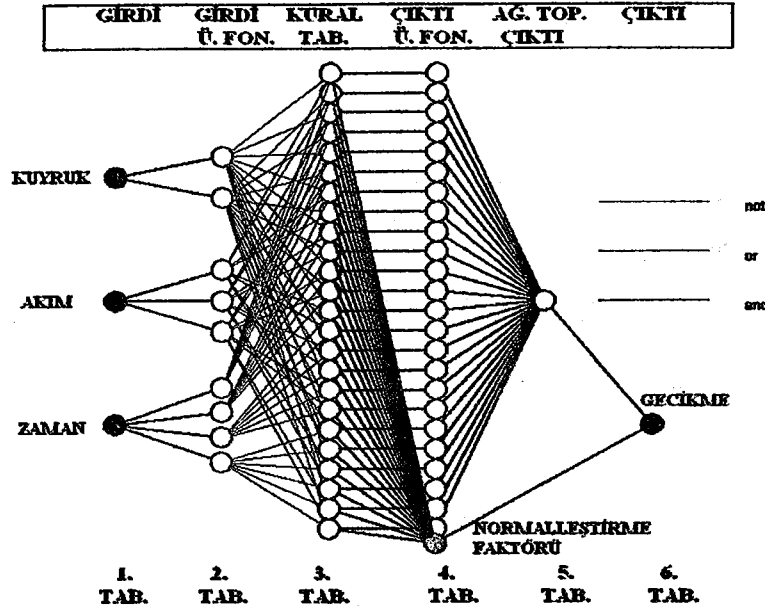
Matlab’te bulunan ANFIS’in (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) çalışma sistemi için örnek bir uygulama aşağıda sunulmuştur. ANFIS’in editor penceresindeki eğitim (training) verileri çizelge 3. 7’de sunulan ve Microsoft Excel programında hazırlanan, üç girişli ve bir çıkışlı verilerdir. ANFIS’te veriler, sütunlar halinde yazılır ve en son sütun çıktı değerleri olarak kabul edilir.

Microsoft Excel’den alınan ve 30 veri çiftinden oluşan verileri training verisi olarak alıp sistem train edildiğinde elde edilen bulanık sonuç çıkarım yapısı şekil 3.3’de gösterilmektedir. Burada epochs (train sayısı) olarak 40 verilmiş, oluşturulan bulanık sonuç çıkarım sisteminde giriş değişkenleri olan zaman için beş, akım için üç ve kuyruk için iki adet üçgen üyelik fonksiyonu alınmıştır.

Çizelge 3.7’de gösterilen veriler örnek bir uygulama yapmak amacıyla alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan verilerin küçük bir kısmıdır. İlk sütun gecikmenin hesaplandığı zaman aralıklarını göstermektedir. İkinci ve üçüncü sütunlar sırasıyla belirtilen bu zaman aralıklarındaki akım ve kuyruk değerleridir. Son sütun ise çıktı verileri olan gecikme değerleridir. Bu veri kümesi ve seçilen üyelik fonksiyonlarının sayısına göre şekil 3. 3’de gösterilen ANFIS model yapısı oluşturulmuştur.

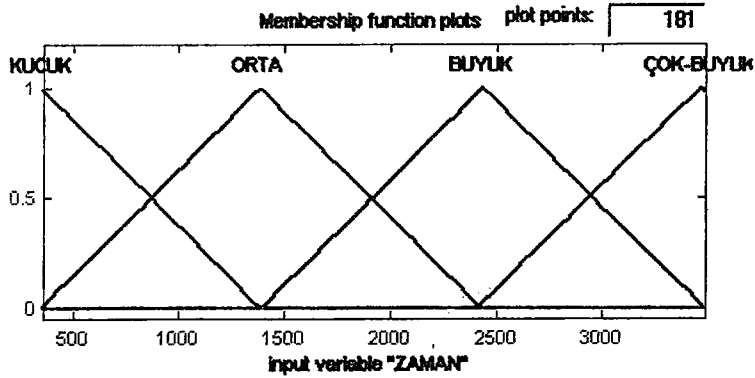
Çizelge 3. 7. ANFIS'te FIS oluşturmak için kullanılan örnek veri kümesi

ZAMAN	AKIM	KUYRUK	GECİKME
360	18	0	23,13
1020	51	1	21,65
1680	80	1,45	22,42
1980	102	0	23,76
480	21	1	22,27
2220	118	0	22,75
2640	139	5	22,01
2820	142	1	22,3
660	33	0	20,24
1200	60	3	21,84
1620	75	0	22,08
2280	121	0	22,41
2880	143	0	22,34
3240	153	0,15	21,69
420	19	1	23,33
1140	55	1	21,84
1500	70	0	22,26
2160	115	1	22,83
2400	126	0	22,26
3120	149	0	21,82
3480	164	3	21,85
840	44	0,95	21,22
1380	64	0	22,15
3000	146	0	22,02
900	45	0	21,53
1320	64	0	22,15
1860	97	7	21,85
2100	111	2	22,37
2520	130	1,95	22,28
3300	158	4,95	21,73

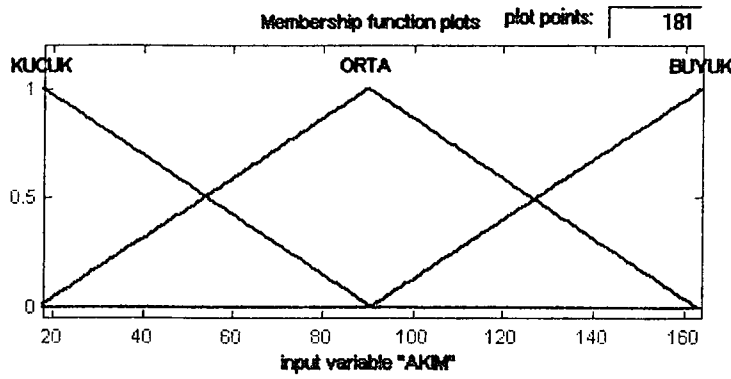


Şekil 3. 3. Üç giriş ve bir çıkışlı bir ANFIS modelin yapısı

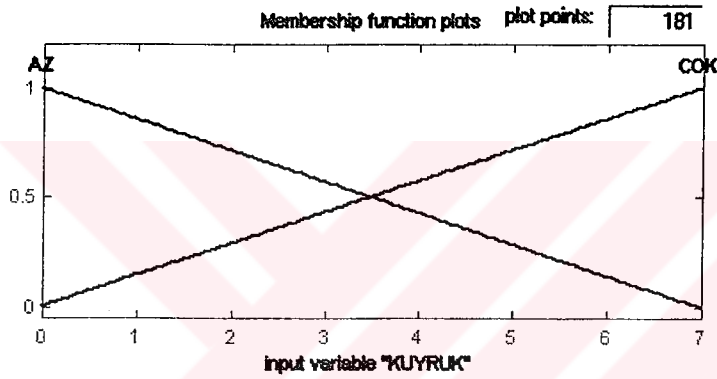
Anfis'teki giriş değişkenleri için oluşturulan üyelik fonksiyonları şekil 3.4 ve şekil 3.6 ve şekil 3.7'de gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonları üçgen üyelik fonksiyonu olarak alınmıştır ve bu fonksiyonların parametreleri çizelge 3.7'de verilen giriş-çıkış verilerine göre ANFIS tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3. 4. Zaman girişi için üyelik fonksiyonu ve parametreleri



Şekil 3. 5. Akım girişi için üyelik fonksiyonu ve parametreleri

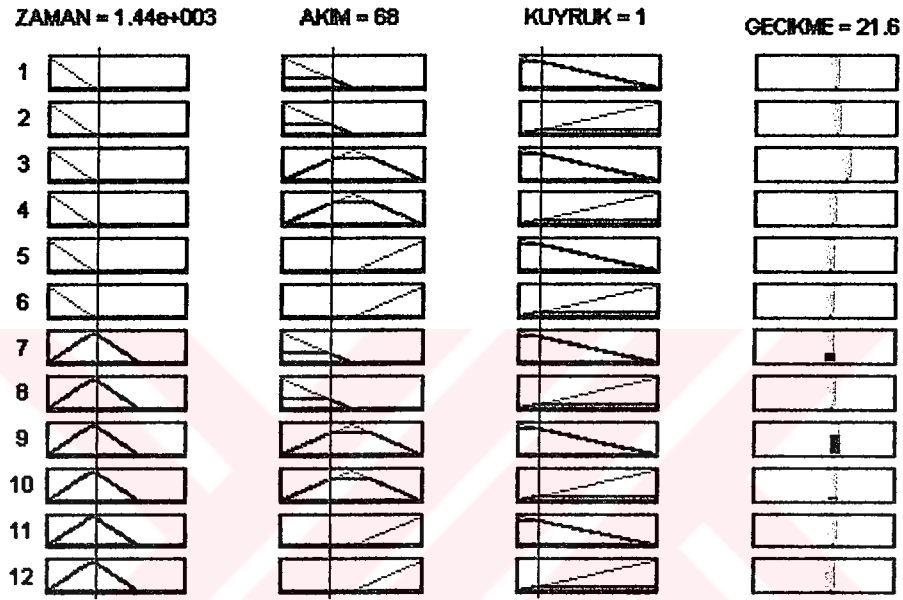


Şekil 3. 6. Kuyruk girişi için üyelik fonksiyonu ve parametreleri

Çizelge 3.8’de oluşturulan kurallar görülmektedir. Buradaki kurallar da çizelge 3.7’de verilen giriş-çıkış veri çiftlerine göre otomatik olarak ANFIS tarafından oluşturulmuştur. İstendiğinde el ile ayarlanarak (manuel olarak) yeni kurallar eklemek de mümkündür. Burada yirmi dört kuraldan oluşan bir bulanık sonuç çıkarım sistemi vardır. Giriş değişkenleri arasındaki bağlantı AND operatörüyle yapılmış, bütün kuralların ağırlıkları da eşit ve bir olarak alınmıştır.

Çizelge 3.8’de ANFIS tarafından oluşturulan yirmi dört kurallı kural tabanından örnek olarak ilk oniki kural verilmiştir. Oluşturulan bu kurallar ile hiç öğretmediğimiz veri değerleri (Zaman, Akım, Kuyruk) ANFIS in editör penceresinden açılan Rule Viewer penceresinde yazılarak ANFIS’de tahmin yaptırılmıştır.

Yukarıdaki eğitim verileriyle oluşturulan ANFIS örneği olarak zaman = 1440 sn Akım = 68 tş/sn Kuyruk = 1 olan girdi veri çiftine çıktı değeri olarak Gecikme = 21,6 sn/ tş olarak tahmin yapmıştır. Şekil 3. 7. de bu örneğin tahmin edilmesine ait Rule Viewer penceresinden bir kesit gösterilmiştir.



Şekil 3. 7. Girdi değerleri Zaman= 1440 sn , Akım = 68 tş/sn , Kuyruk = 1 için ANFIS'in yaptığı tahmin

Çizelge 3. 8. Eğitim (Training) sonucu oluşturulan yirmi dört kuraldan ilk oniki kural

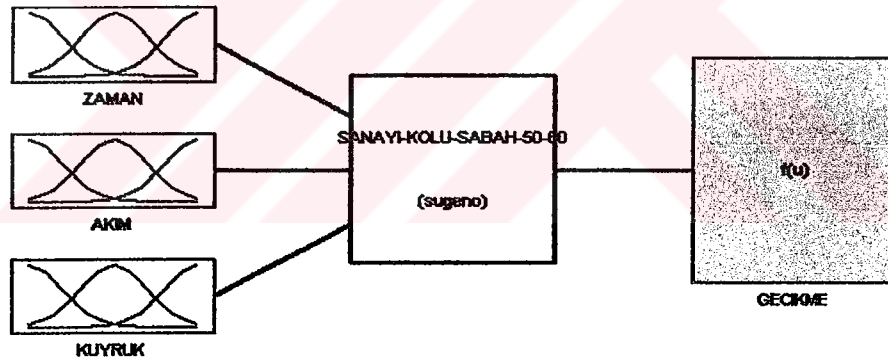
1) If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is KUCUK) and (KUYRUK is AZ)	then (GECIKME is out1mf1) (1)
2) If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is KUCUK) and (KUYRUK is COK)	then (GECIKME is out1mf2) (1)
3) If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is AZ)	then (GECIKME is out1mf3) (1)
4) If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is COK)	then (GECIKME is out1mf4) (1)
5) If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is BUYUK) and (KUYRUK is AZ)	then (GECIKME is out1mf5) (1)
6) If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is BUYUK) and (KUYRUK is COK)	then (GECIKME is out1mf6) (1)
7) If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is KUCUK) and (KUYRUK is AZ)	then (GECIKME is out1mf7) (1)
8) If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is KUCUK) and (KUYRUK is COK)	then (GECIKME is out1mf8) (1)
9) If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is AZ)	then (GECIKME is out1mf9) (1)
10) If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is COK)	then (GECIKME is out1mf10) (1)
11) If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is BUYUK) and (KUYRUK is AZ)	then (GECIKME is out1mf11) (1)
12) If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is BUYUK) and (KUYRUK is COK)	then (GECIKME is out1mf12) (1)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde taşıt gecikmelerinin ANFIS ile tahmin sonuçları verilmiştir. Seçilen her iki kavşak için ikişer kol için ANFIS de tahmin yapılmış ve sonuçlar verilmiştir.

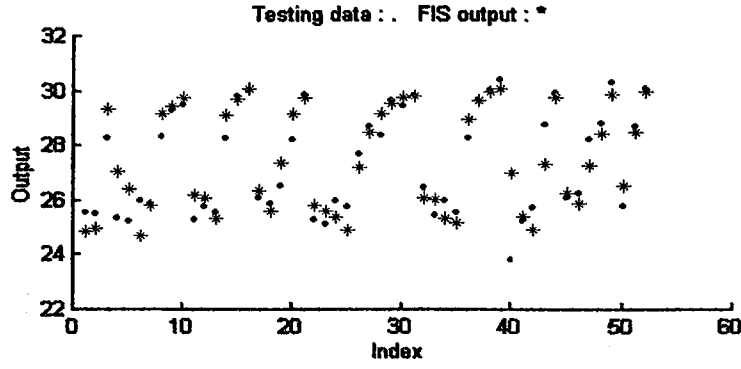
4. 1. 50. Yıl Kavşağı Taşıt Gecikmesi Tahmini

1. Doğu kolu (sabah): Sinyal simülasyon programından elde edilen 61 tane veri çifti alınarak ANFIS de eğitime işlemi yapıldıktan sonra Şekil 4.1 'de görülen üç girdi ve bir çıktıya sahip sugeno model elde edilmiştir. Bu kol için alınan eğitim ve test veri çiftleri ekler bölümünde EK 3'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de görülen veri çiftleri ANFIS de tahmin yapılmış ve son sütunda görülen gecikme değerleri elde edilmiştir.

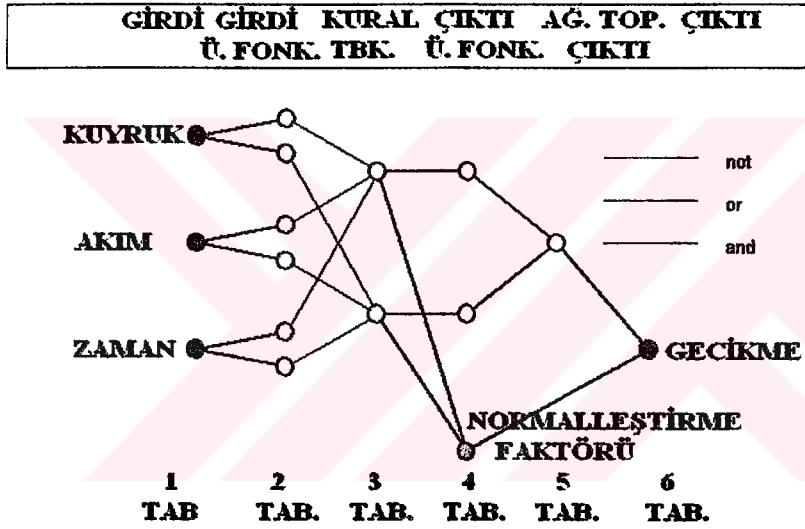


Şekil 4. 1. Üç girdi ve bir çıktılı sugeno model

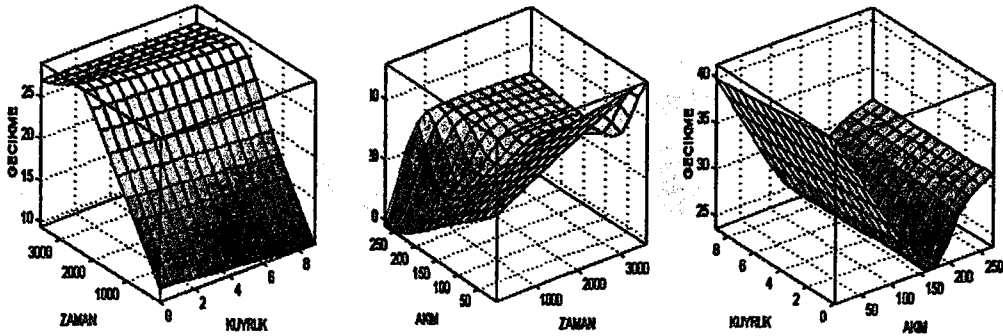
Eğitime işleminden sonra seçilen veri çiftleri için test işlemi yapılmıştır. Test sonucunda gerçek gecikme değerleri ile ANFIS in tahmin ettiği gecikme değerlerinin dağılımı Şekil 4.2 de görülmektedir.



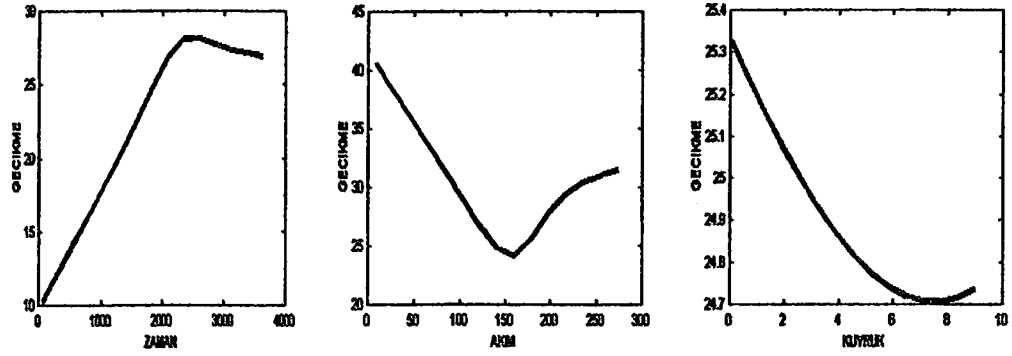
Şekil 4. 2. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri



Şekil 4. 3. Oluşturulan anfis modelin yapısı

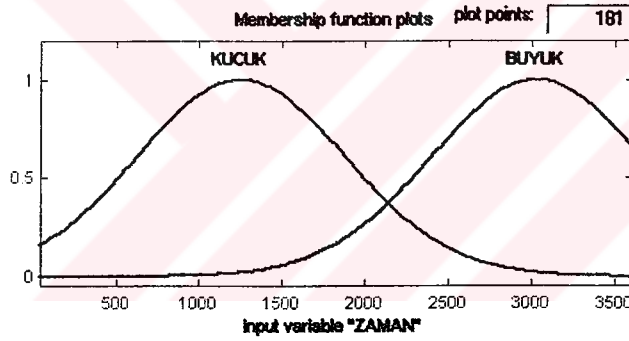


Şekil 4. 4. ANFIS modelde girdi ve çıktı değişkenlerinin oluşturduğu bulanık yüzeyin üç boyutlu görünümü

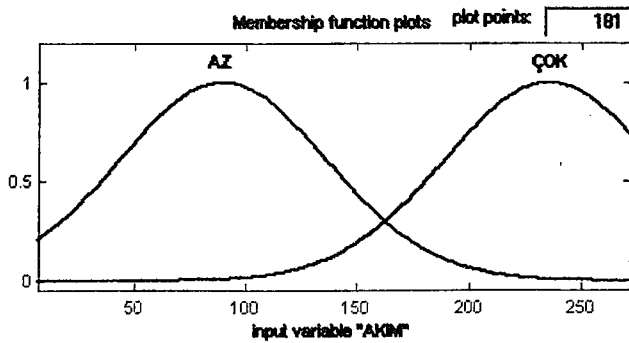


Şekil 4. 5. ANFIS modelde girdi (zaman, akım, kuyruk) değişkenlerinin çıktı (gecikme) değişkeni ile olan değişimleri

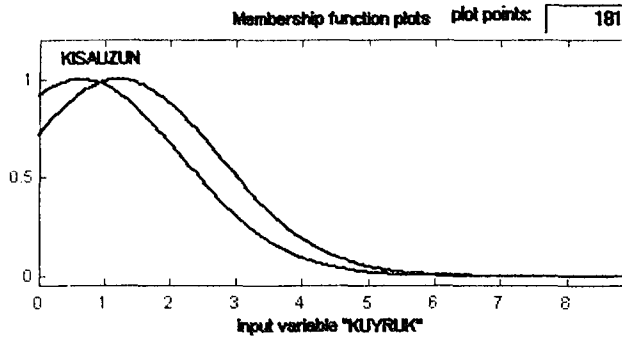
Elde edilen modelin girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları çan eğrisi üyelik fonksiyonu olarak aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 4. 6. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



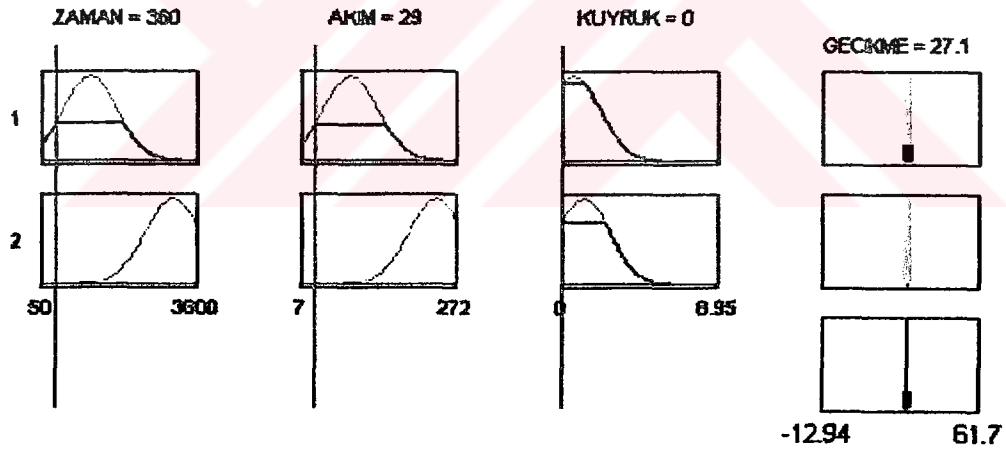
Şekil 4. 7. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



Şekil 4. 8. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları

Çizelge 4. 1. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi

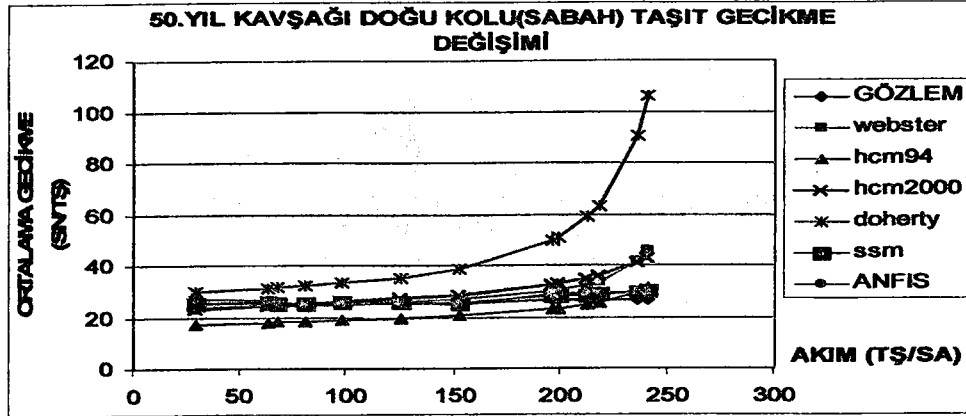
1.If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is AZ) and (KUYRUK is KISA)	then (GECİKME is out1mf1)(1)
2.If (ZAMAN is BUYUK) and (AKIM is COK) and (KUYRUK is UZUN)	then (GECİKME is out1mf2)(1)



Şekil 4. 9. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (sabah) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü

Elde edilen bu modelin kural kümesi iki kurallı olup çizelge 4.1’de görülmektedir. Elde edilen gecikme değerleri gözlem gecikme değerlerine göre standart sapmaları hesaplanmış ve çizelgenin en son satırına gözleme göre bulunan standart sapma değerleri yazılmıştır. Standart sapma denklem 4. 1’e göre hesaplanmıştır.

$$S_{SSM} = \sqrt{\frac{\sum (gözlem - SSM)^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

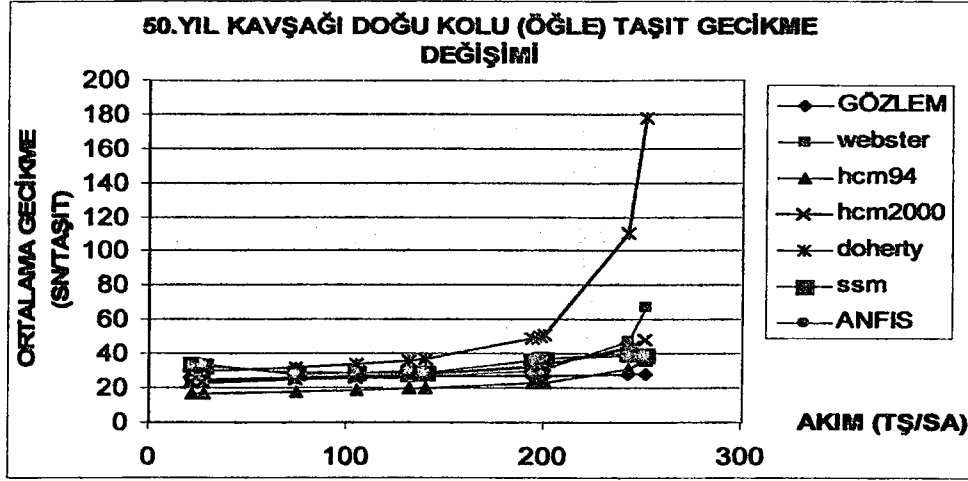


Şekil 4. 10. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

Çizelge 4. 2. Elde edilen gecikme değerleri

50. YIL KAVŞAĞI DOĞU KOLU (SABAH) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
360	29	0	25,41	23,36	17,59	23,35	30,17	25,37	27,1
840	63	2	25,53	24,39	18,22	24,48	31,52	26,1	26,4
900	68	1	25,43	24,54	18,31	24,66	31,75	25,27	26,2
1020	81	5,95	25,49	24,93	18,59	25,14	32,41	25,56	24,9
1260	98	5,95	25,39	25,45	18,97	25,83	33,44	25,99	24,7
1680	125	0	25,55	26,32	19,68	27,09	35,59	25,87	25,8
1920	152	2	25,79	27,34	20,59	28,64	38,79	25,53	25
2460	197	3,95	26,75	30,35	23,19	32,64	49,97	28,26	29,2
2520	199	2	26,84	30,58	23,37	32,89	50,84	28,32	29,2
2700	213	10,95	26,83	32,72	24,91	35,05	58,85	28,29	29,4
2760	218	6	26,94	33,83	25,63	36,03	62,93	29,27	29,5
3000	236	2	26,95	41,47	29,55	41,09	90,35	29,52	29,7
3120	241	0	26,82	45,96	31,23	43,14	106,08	29,89	29,8
3480	266	6	26,46	-129,17	44,16	57,77	11089,91	30,01	30,1
3540	268	1	26,52	-74,69	44,16	57,77	17378,63	30,38	30,1
Standart Sapmalar			$S_{Webster} = 43,779$		$S_{HCM94} = 7,260$		$S_{HCM00} = 11,384$		
			$S_{Doherty} = 3068,627$		$S_{SSM} = 1,787$		$S_{ANFIS} = 2,1508$		

2. Doğu kolu (öğle): İki kurallı bir sugeno model yapısı oluşturulmuştur.

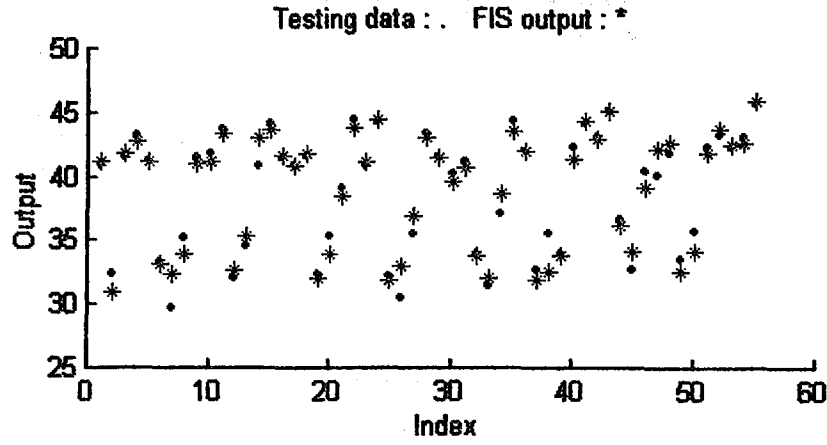


Şekil 4. 11. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görüntüsü

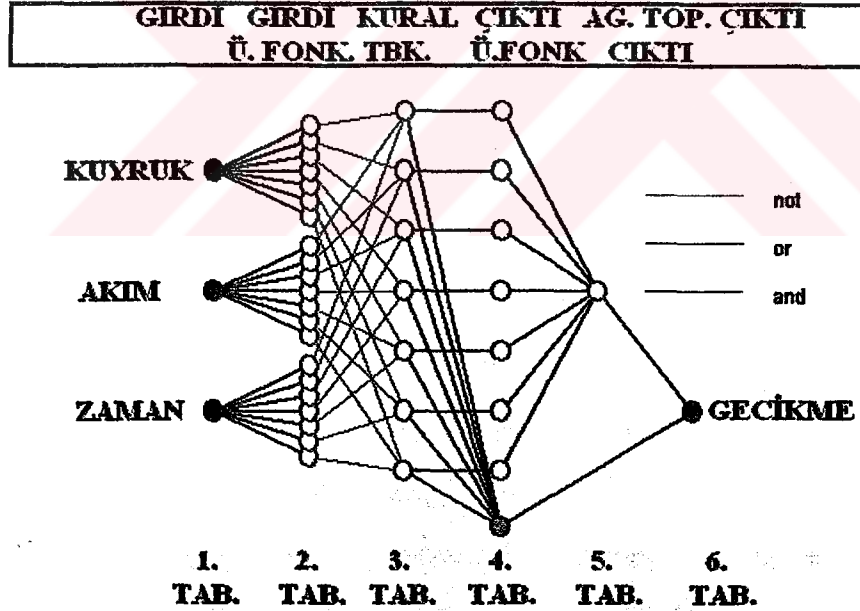
Çizelge 4. 3. 50. Yıl Kavşağı doğu kolu (öğle) elde edilen gecikme değerleri

50. YIL KAVŞAĞI DOĞU KOLU (ÖĞLE) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
180	21	2	25,18	23,12	17,45	23,11	29,83	33,89	33,1
240	27	0	25,35	23,3	17,55	23,29	30,08	32,94	33,7
780	74	6,95	26,45	24,72	18,44	24,88	32,04	29,43	27,8
1140	105	0	27,35	25,67	19,14	26,14	33,93	29,52	29,6
1440	132	1	27,55	26,56	19,89	27,46	36,29	29,09	29,7
1500	140	8,95	26,65	26,86	20,16	27,9	37,19	29,28	28,7
1980	194	9,95	27,15	30,03	22,94	32,27	48,77	36,66	36,6
2040	198	4	26,85	30,46	23,28	32,76	50,39	37,13	37,4
2100	200	1	27,35	30,7	23,46	33,02	51,29	37,41	37,4
2580	242	0	28,21	47,13	31,61	43,6	110,11	40,05	39,6
2700	251	2,95	28,12	66,93	35,85	48,6	178,05	39,23	38,8
3000	282	8	27,16	-6,65	44,16	57,77	53979,24	37,34	37,9
3300	310	2	27,45	8,03	44,16	57,77	158726,9	38,3	38,2
3420	325	7,95	27,37	9,93	44,16	57,77	226885,3	37,76	37,2
3480	328	1	27,32	10,16	44,16	57,77	244175,6	37,76	37,9
Standart Sapmalar			$S_{Webster} = 16,953$	$S_{HCM94} = 10,076$	$S_{HCM00} = 16,511$				
			$S_{Doherty} = 78230,87$	$S_{SSM} = 8,972$	$S_{ANFIS} = 8,862$				

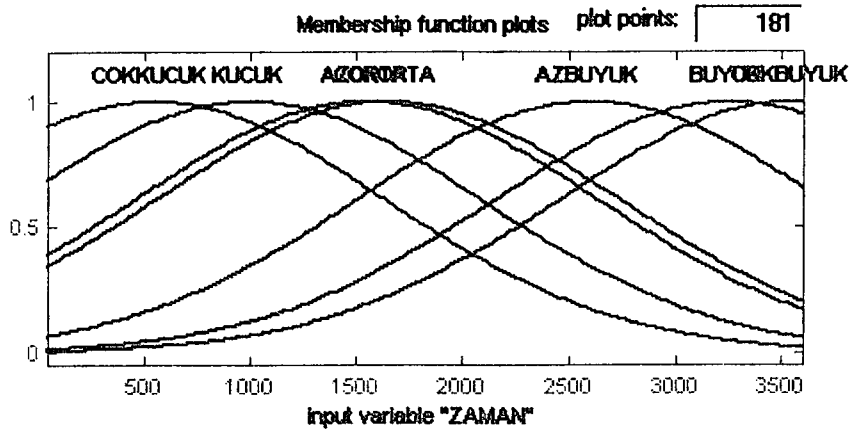
3. Doğu kolu (akşam): Yedi kurallı bir Sugeno model oluşturulmuştur.



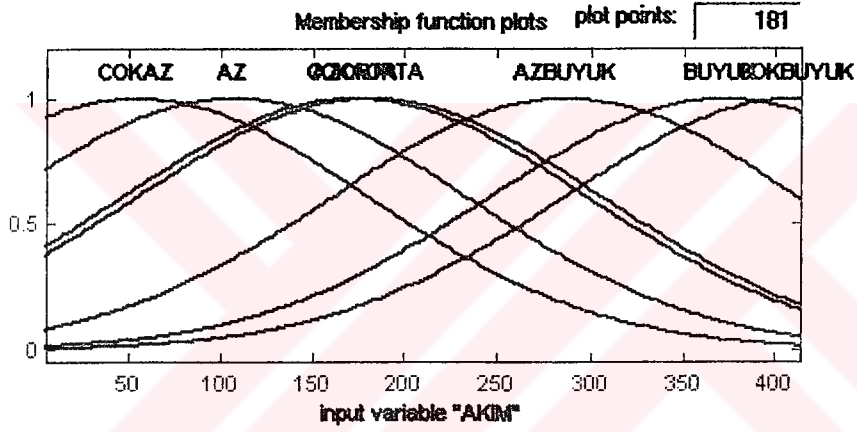
Şekil 4. 12. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri



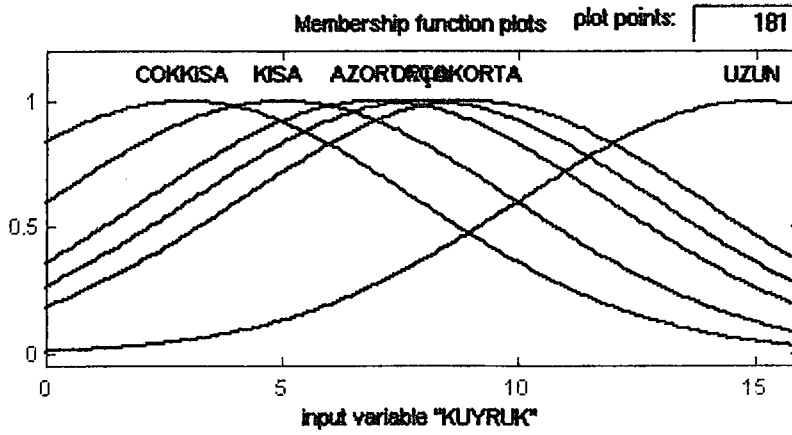
Şekil 4. 13. Oluşturulan anfis modelin yapısı



Şekil 4. 14. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



Şekil 4. 15. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları

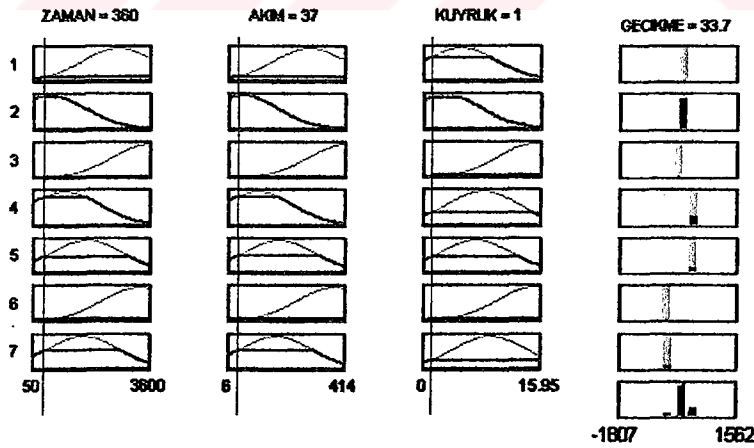


Şekil 4. 16. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları

Doğu kolu (akşam)için Oluşturulan modelin kural kümesi yedi kurala sahiptir ve kurallar aşağıda sıralanmıştır.

Çizelge 4. 4. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi

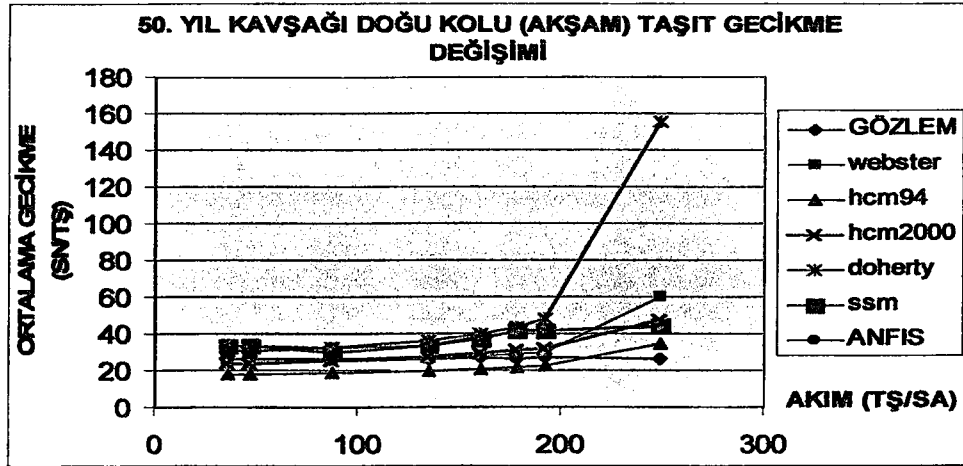
- | | |
|--|------------------------------|
| 1. If (ZAMAN is AZBUYUK) and (AKIM is AZBUYUK) and (KUYRUK is KISA) | then (GECİKME is out1mf1)(1) |
| 2. If (ZAMAN is COKKUCUK) and (AKIM is COKAZ) and (KUYRUK is COKKISA) | then (GECİKME is out1mf2)(1) |
| 3. If (ZAMAN is COKBUYUK) and (AKIM is COKBUYUK) and (KUYRUK is UZUN) | then (GECİKME is out1mf3)(1) |
| 4. If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is AZ) and (KUYRUK is ORTA) | then (GECİKME is out1mf4)(1) |
| 5. If (ZAMAN is COKORTA) and (AKIM is COKORTA) and (KUYRUK is AZORTA) | then (GECİKME is out1mf5)(1) |
| 6. If (ZAMAN is BUYUK) and (AKIM is BUYUK) and (KUYRUK is UZUN) | then (GECİKME is out1mf6)(1) |
| 7. If (ZAMAN is AZORTA) and (AKIM is AZORTA) and (KUYRUK is COKORTA) | then (GECİKME is out1mf7)(1) |



Şekil 4. 17. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (akşam) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü

Çizelge 4. 5. Elde edilen gecikme değerleri

50. YIL KAVŞAĞI DOĞU KOLU (AKŞAM) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
360	37	1	26,37	23,61	17,73	23,6	30,46	33,92	33,7
480	47	0	26,53	23,91	17,91	23,93	30,84	33,28	33,2
840	87	6	26,12	25,12	18,72	25,38	32,75	29,79	32,4
1260	135	10,95	26,49	26,67	19,99	27,62	36,61	33,95	33,8
1440	161	7	27,37	27,75	20,97	29,25	40,23	37,18	38,7
1620	179	5	26,36	28,79	21,9	30,71	44,05	41,46	41
1800	192	1	27,69	29,84	22,78	32,04	48,02	41,56	41,8
2280	249	4	26,52	60,23	34,77	47,34	155,11	44,11	43,7
2460	270	7,95	27,61	-49,3	44,16	57,77	16521,93	43,25	42,8
2700	296	3,95	27,96	4,04	44,16	57,77	87495,84	42,02	42
2880	319	2	27,51	9,35	44,16	57,77	169546	40,9	41,2
3180	362	14,95	26,22	10,87	44,16	57,77	374047,7	40,93	41,1
3240	372	15	26,11	10,68	44,16	57,77	430985,6	41,69	41,8
3300	376	9	26,18	10,57	44,16	57,77	459891,6	43,11	42,6
3420	392	14,95	26,55	9,96	44,16	57,77	566933,3	44,34	44,4
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 25,865$			$S_{HCM94} = 12,959$			$S_{HCM00} = 21,839$			
$S_{Doherty} = 210083,1$			$S_{SSM} = 13,488$			$S_{ANFIS} = 13,532$			

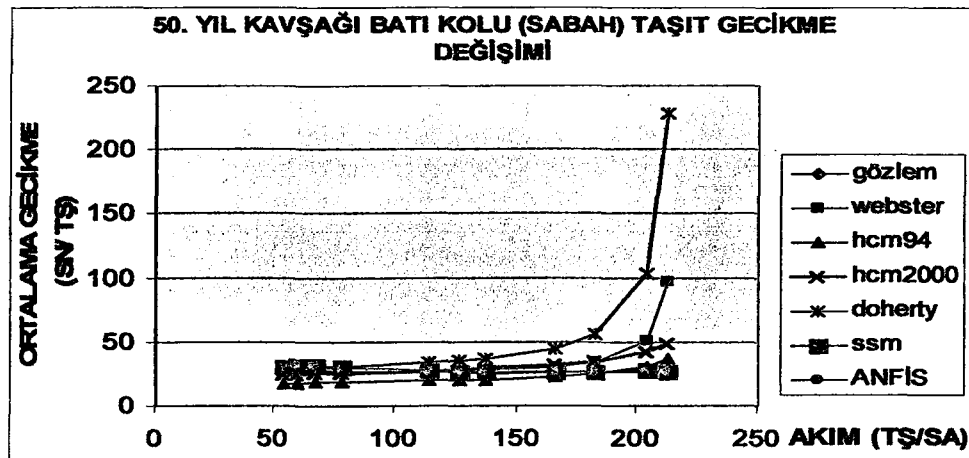


Şekil 4. 18. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

4. Batı kolu (sabah): Oluşturulan ANFIS iki kurallı bir yapıya sahiptir.

Çizelge 4. 6. Elde edilen gecikme değerleri

50. YIL KAVŞAĞI BATI KOLU (SABAH) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
660	54,00	4,00	27,23	24,45	18,25	24,43	29,78	30,04	31,00
840	60,00	2,00	27,20	24,66	18,39	24,67	30,05	32,30	31,80
960	67,00	0,05	27,70	24,92	18,56	24,97	30,41	31,56	32,50
1080	78,00	4,00	27,26	25,32	18,85	25,46	31,02	30,56	30,00
1680	114,00	0,00	26,87	26,74	19,97	27,35	33,95	28,21	28,00
1860	126,00	0,00	26,32	27,30	20,45	28,13	35,44	26,68	27,00
1980	137,00	4,95	26,00	27,92	20,96	28,94	37,17	26,50	26,70
2220	166,00	5,95	26,43	30,60	22,94	31,92	45,24	26,92	27,00
2520	183,00	3,00	26,62	34,24	25,09	34,90	56,05	27,14	26,90
2880	204,00	0,85	26,35	51,11	31,13	42,55	103,69	27,46	27,10
2940	213,00	8,95	26,53	97,24	36,67	49,04	228,65	27,31	26,90
3000	218,00	4,00	26,47	604,30	41,13	54,01	1109,19	27,68	27,60
3060	222,00	3,00	26,43	-113,80	41,9	54,84	10757,98	27,74	27,80
3180	232,00	4,95	26,52	-12,62	41,9	54,84	46074,27	28,03	28,10
3300	236,00	0,00	26,17	-5,14	41,9	54,84	63258,11	28,27	28,30
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 166,595$			$S_{HCM94} = 9,8095$			$S_{HCM00} = 15,866$			
$S_{Doherty} = 13117,17$			$S_{SSM} = 2,315$			$S_{ANFIS} = 2,400$			

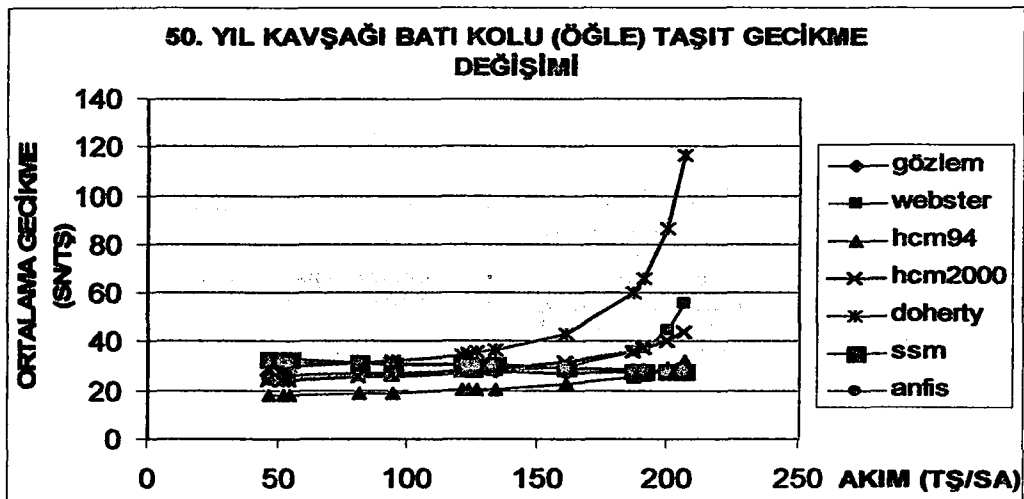


Şekil 4. 19. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

5. Batı kolu (öğle): Oluşturulan ANFIS model iki kuralı bir yapıya sahiptir.

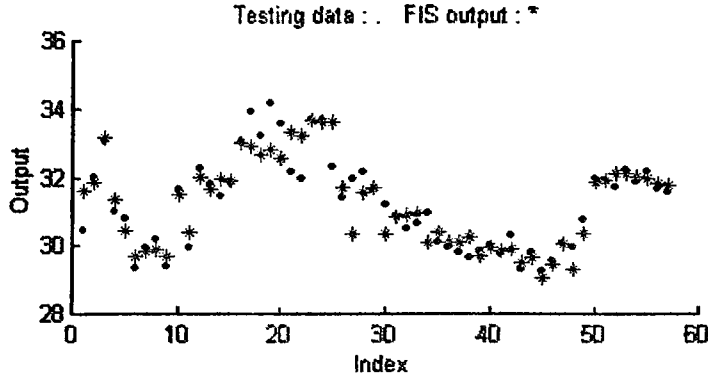
Çizelge 4. 7. Elde edilen gecikme değerleri

50. YIL KAVŞAĞI BATI KOLU (ÖĞLE) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
660	46	1	26,15	24,16	18,06	24,11	29,44	33,04	32,3
720	52	1,55	26,22	24,37	18,2	24,35	29,69	32,05	32,2
780	54	2,95	26,35	24,45	18,25	24,43	29,78	33,16	31,6
1140	81	2	27,12	25,43	18,93	25,6	31,21	31,16	31,7
1440	94	0	27,37	25,92	19,3	26,24	32,12	30,67	31,3
1860	121	0	27,78	27,06	20,24	27,79	34,78	30,89	30,7
1980	123	0	27,95	27,15	20,32	27,93	35,03	30,74	30,4
2040	127	3	27,56	27,36	20,49	28,2	35,58	30,39	30,3
2160	134	0,3	27,62	27,74	20,81	28,71	36,66	30,52	30,1
2640	161	0	27,45	29,95	22,5	31,28	43,27	29,18	29,3
2940	187	6,95	27,87	35,69	25,83	35,88	60,28	28,14	28,8
3000	191	3	27,26	37,58	26,71	37,03	65,72	28,06	28,7
3240	200	1	27,75	44,9	29,44	40,48	86,43	28,19	28,2
3360	206	0	27,45	55,7	32,14	43,76	116,4	27,95	28
3540	221	4	27,38	-173,59	41,9	54,84	8799,58	27,87	27,7
Standart Sapmalar			$S_{\text{Webster}} = 9,935$	$S_{\text{HCM94}} = 6,752$	$S_{\text{HCM00}} = 6,899$				
			$S_{\text{Doherty}} = 33,3448$	$S_{\text{SSM}} = 3,853$	$S_{\text{ANFIS}} = 3,643$				

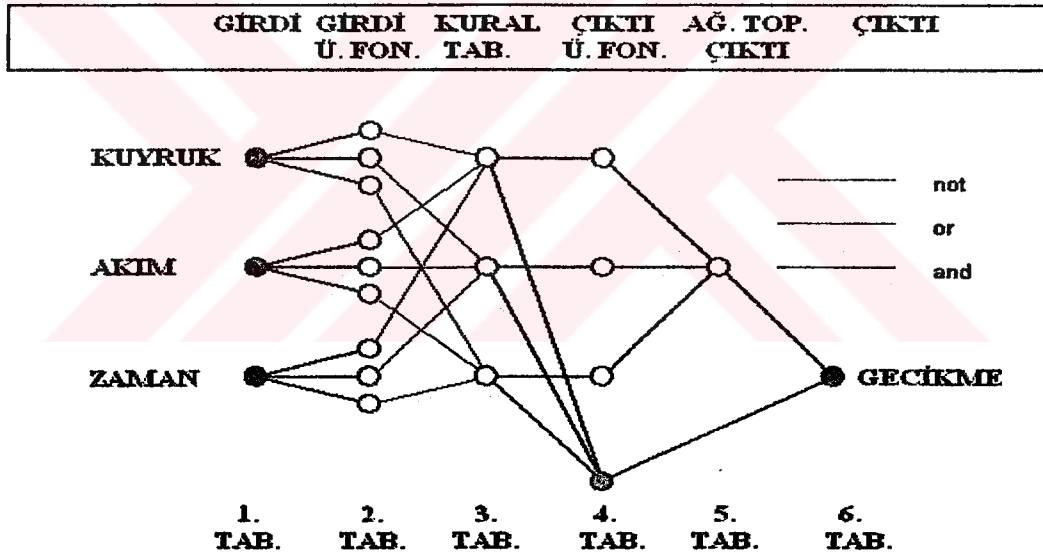


Şekil 4. 20. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

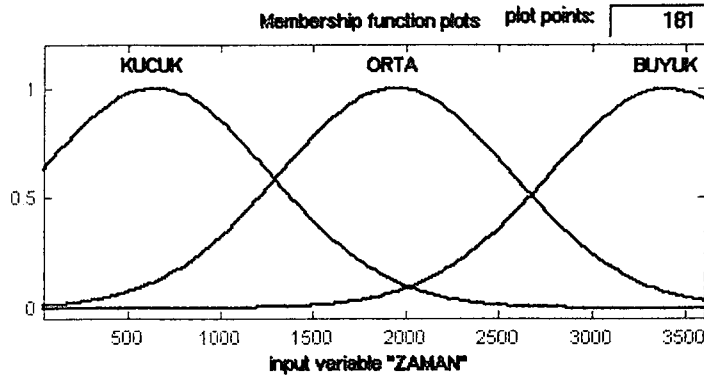
6. Batı kolu (akşam): Üç kurallı bir Sugeno model oluşturulmuştur.



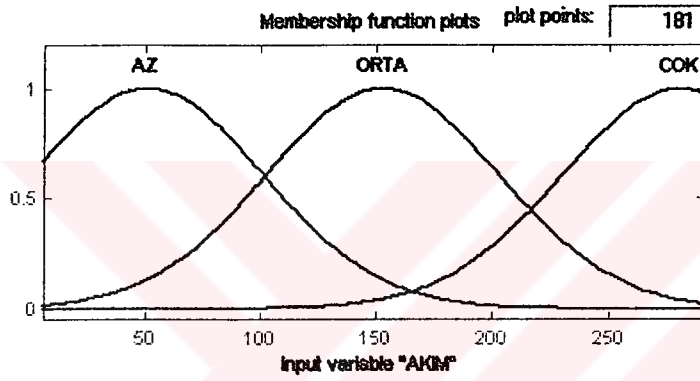
Şekil 4. 21. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri



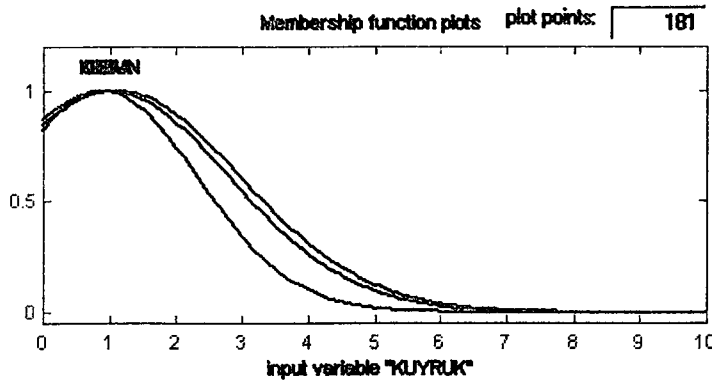
Şekil 4. 22. Oluşturulan anfis modelin yapısı



Şekil 4. 23. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



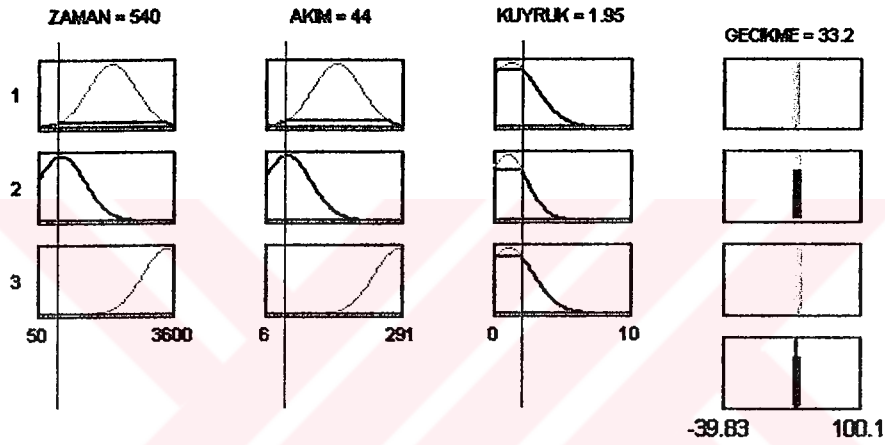
Şekil 4. 24. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



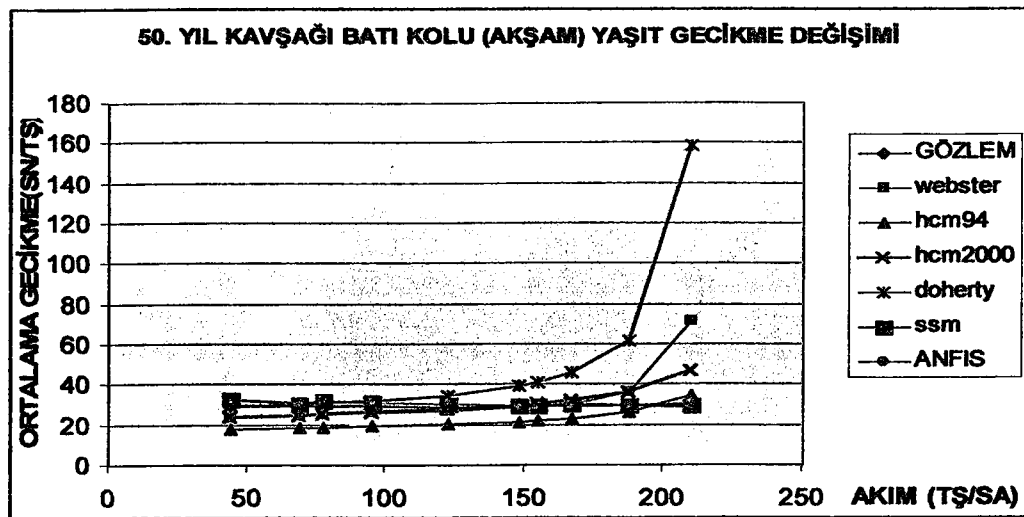
Şekil 4. 25. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları

Çizelge 4. 8. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi

1. If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is UZUN)	then (GECİKME is out1mf1)(1)
2. If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is AZ) and (KUYRUK is KISA)	then (GECİKME is out1mf2)(1)
3. If (ZAMAN is BUYUK) and (AKIM is COK) and (KUYRUK is ORTA)	then (GECİKME is out2mf3)(1)



Şekil 4. 26. 50. Yıl Kavşağı batı koluna (akşam) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü



Şekil 4. 27. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

Çizelge 4. 9. Elde edilen gecikme değerleri

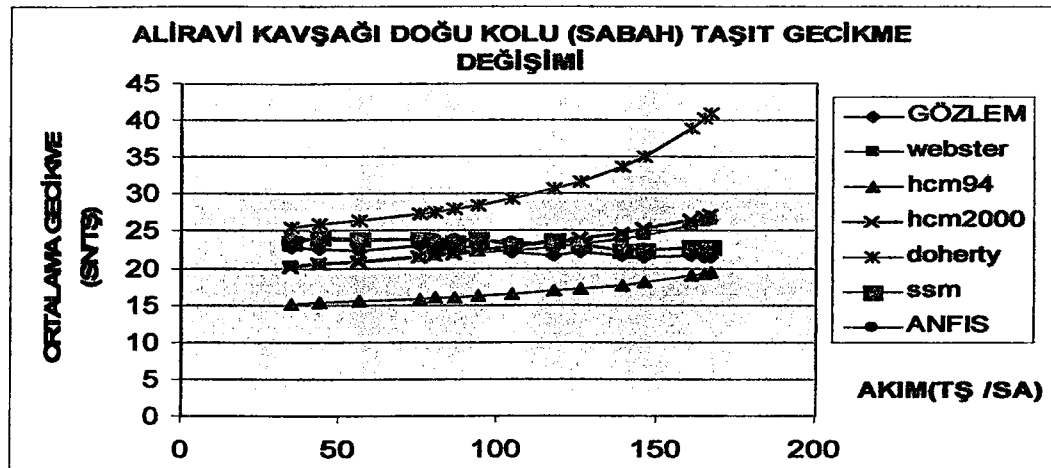
50. YIL KAVŞAĞI BATI KOLU (AKŞAM) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
540	44	1,95	29,92	24,08	18,02	24,04	29,36	33,07	33,2
840	69	6	29,65	24,99	18,61	25,06	30,51	30,49	31,6
960	78	0,9	29,64	25,32	18,85	25,46	31,02	32,04	31,9
1200	95	0	29,92	25,96	19,33	26,29	32,2	31,01	31,3
1560	122	1	29,17	27,11	20,28	27,86	34,9	30,81	30,4
1860	148	3	29,06	28,69	21,57	29,89	39,46	29,34	29,7
1980	155	2,95	29,22	29,31	22,04	30,6	41,32	29,97	29,8
2160	167	0	29,19	30,75	23,04	32,06	45,68	30,19	29,9
2400	188	0	29,52	36,11	26,04	36,15	61,5	29,42	29,7
2640	210	0	29,17	71,25	34,51	46,56	158,81	29,97	30,4
2820	233	3	29,98	-10,34	41,9	54,84	44129,69	31,69	31,5
3000	245	5	29,67	3,13	41,9	54,84	90785,76	31,49	32
3180	264	6,95	29,78	9,08	41,9	54,84	178669,1	32,27	32
3360	280	0,4	29,25	10,59	41,9	54,84	270990,3	31,8	31,9
3540	288	0	29,18	10,86	41,9	54,84	332010,2	31,83	31,7
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 19,646$			$S_{HCM94} = 10,212$			$S_{HCM00} = 15,139$			
$S_{Doherty} = 94263,69$			$S_{SSM} = 1,786$			$S_{ANFIS} = 1,872$			

4. 2. Aliravi Kavşağı Taşıt Gecikmesi Tahmini :

1. Doğu kolu (sabah): Oluşturulan ANFIS model iki kurallı bir yapıya sahiptir. Elde edilen gecikme değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

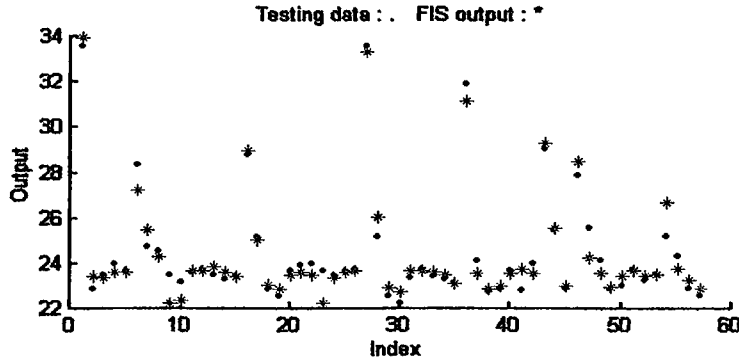
Çizelge 4. 10. Elde edilen gecikme değerleri

ALIRAVI KAVŞAĞI DOĞU KOLU (SABAH) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
660	35	1	22,87	20,29	15,17	20,21	25,64	23,62	24,1
780	44	0	22,68	20,56	15,33	20,49	25,96	24,26	24
900	56	1,45	22,49	20,92	15,54	20,87	26,45	23,94	23,8
1380	75	0	23,12	21,49	15,91	21,54	27,39	24,06	24
1500	80	1	22,54	21,65	16,02	21,73	27,67	23,04	24
1560	86	0,1	22,73	21,83	16,15	21,97	28,04	23,52	23,9
1800	94	0	22,82	22,08	16,33	22,3	28,6	24,07	23,9
2040	105	2	22,21	22,45	16,61	22,79	29,48	23,01	23,6
2280	118	0	21,8	22,93	16,99	23,44	30,76	23,84	23,4
2400	126	0	22,06	23,27	17,25	23,88	31,71	23,26	23,1
2880	139	1	21,78	23,94	17,75	24,71	33,67	22,39	22,5
3000	146	0	21,52	24,38	18,08	25,22	34,99	22,32	22,6
3360	161	1	21,63	25,68	18,95	26,56	38,86	22,79	22,6
3480	165	1	21,45	26,15	19,24	26,99	40,24	22,73	22,7
3540	167	2	21,48	26,42	19,4	27,22	41	22,81	22,7
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 2,362$			$S_{HCM94} = 5,943$			$S_{HCM00} = 2,802$			
$S_{Doherty} = 10,149$			$S_{SSM} = 1,199$			$S_{ANFIS} = 1,245$			

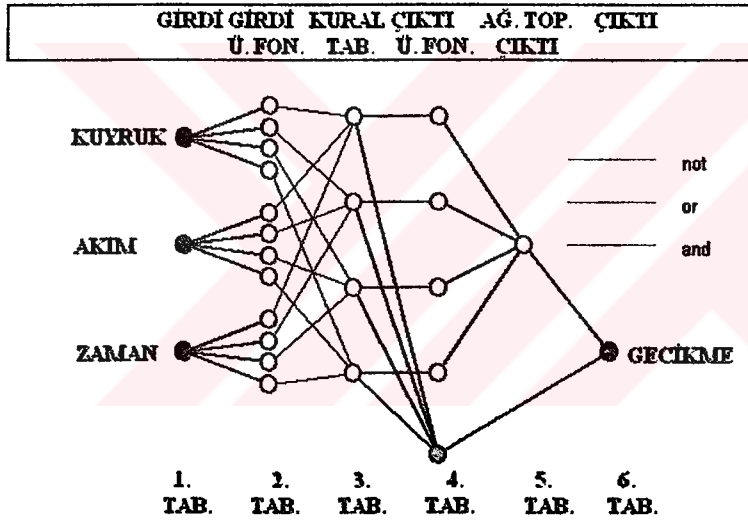


Şekil 4. 28. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

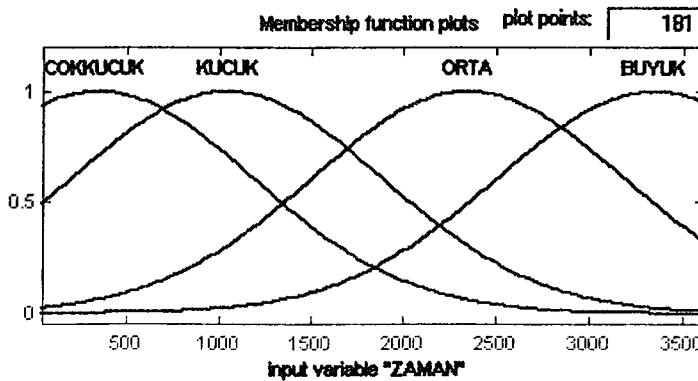
2. Doğu kolu (öğle): Oluşturulan ANFIS model dört kurallı bir yapıya sahiptir.



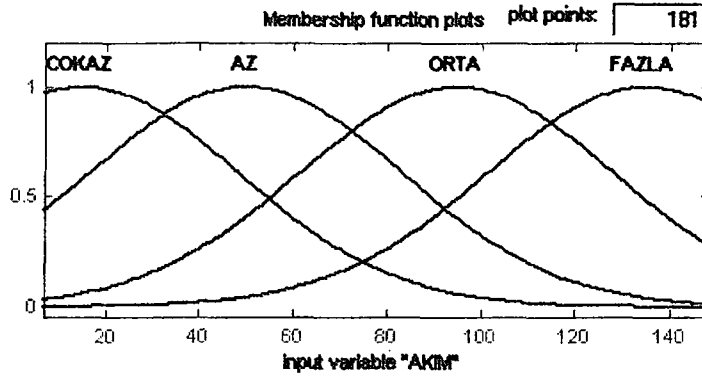
Şekil 4. 29. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri



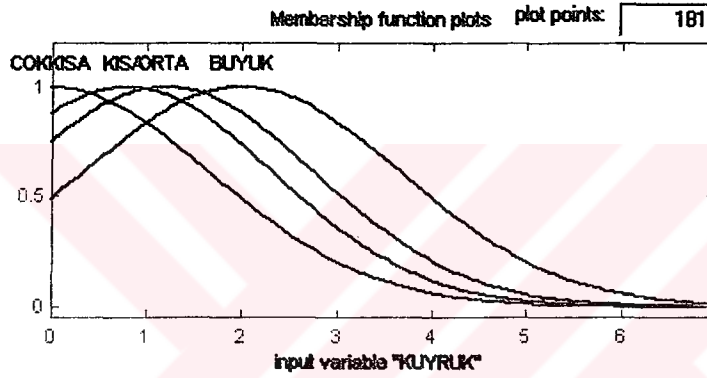
Şekil 4. 30. Oluşturulan anfis modelin yapısı



Şekil 4. 31. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



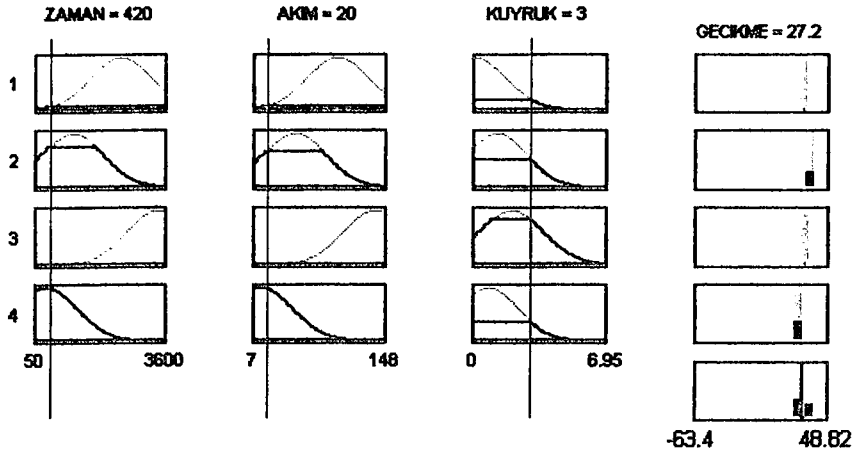
Şekil 4. 32. Akım girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



Şekil 4. 33. Kuyruk girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları

Çizelge 4. 11. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi

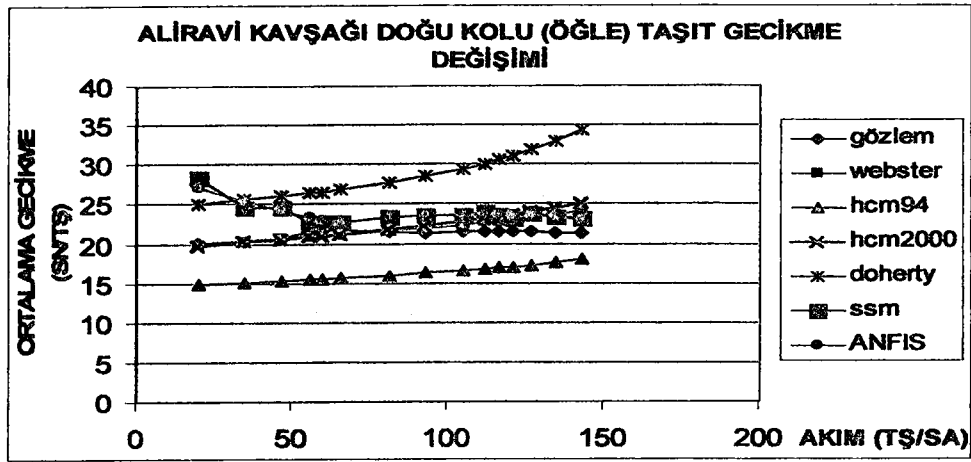
1. If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is COKKISA)	then (GECİKME is out1mf1)(1)
2. If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is AZ) and (KUYRUK is ORTA)	then (GECİKME is out1mf2)(1)
3. If (ZAMAN is BUYUK) and (AKIM is FAZLA) and (KUYRUK is BUYUK)	then (GECİKME is out1mf3)(1)
4. If (ZAMAN is COKKUCUK) and (AKIM is COKAZ) and (KUYRUK is KISA)	then (GECİKME is out1mf4)(1)



Şekil 4. 34. Aliravi Kavşağı doğu koluna (öğle) ait ANFIS modelin kuralların görünüşü

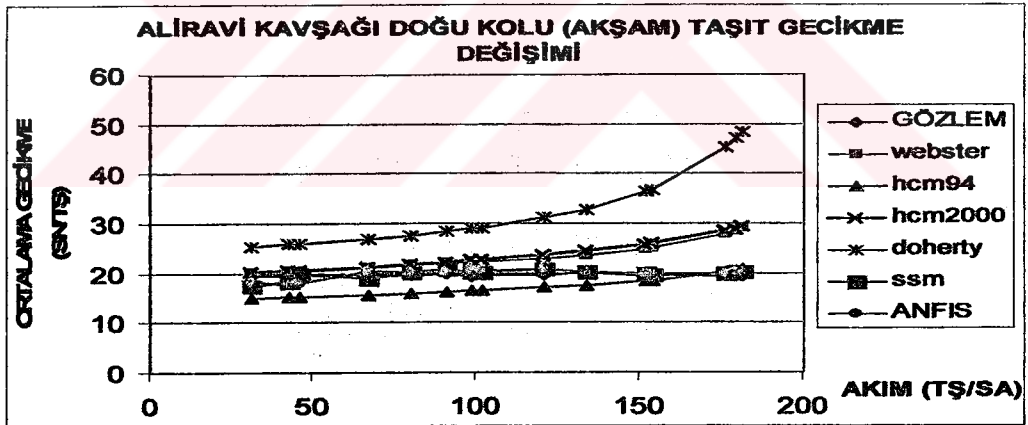
Çizelge 4. 12. Elde edilen gecikme değerleri

ALIRAVİ KAVŞAĞI DOĞU KOLU (ÖĞLE) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
420	20	3	20,14	19,84	14,93	19,77	25,14	28,35	27,2
720	35	1	20,36	20,29	15,17	20,21	25,64	24,75	25,5
960	47	0	20,75	20,65	15,38	20,58	26,08	24,57	24,3
1200	56	0	21,46	20,92	15,54	20,87	26,45	22,89	23,4
1380	60	0	21,86	21,04	15,62	21,01	26,63	22,86	23
1620	66	0	21,73	21,22	15,73	21,22	26,91	22,77	22,9
1860	81	0	21,54	21,68	16,04	21,77	27,73	23,48	23,4
2220	93	0	21,32	22,05	16,31	22,26	28,52	23,68	23,6
2580	105	3	21,49	22,45	16,61	22,79	29,48	23,73	23,7
2760	112	1	21,65	22,7	16,81	23,13	30,13	23,98	23,6
2880	117	0	21,46	22,89	16,96	23,38	30,64	23,69	23,6
3000	121	0	21,61	23,06	17,08	23,6	31,09	23,28	23,6
3120	127	0	21,59	23,32	17,29	23,94	31,84	23,91	23,6
3360	135	2	21,39	23,71	17,59	24,44	33,01	23,41	23,4
3480	143	4	21,43	24,18	17,93	24,99	34,4	23,13	23,1
Standart Sapmalar $S_{\text{Webster}} = 1,124$			$S_{\text{HCM94}} = 5,329$			$S_{\text{HCM00}} = 1,488$			
$S_{\text{Doherty}} = 7,824$			$S_{\text{SSM}} = 3,309$			$S_{\text{ANFIS}} = 3,153$			



Şekil 4. 35. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

3. Doğu kolu (akşam): Oluşturulan ANFIS model dört kurallı bir yapıya sahiptir. Elde edilen gecikme değerleri Çizelge 4. 13’de verilmiştir. Grafik olarak görünümü ise şekil 4.36’da verilmiştir.

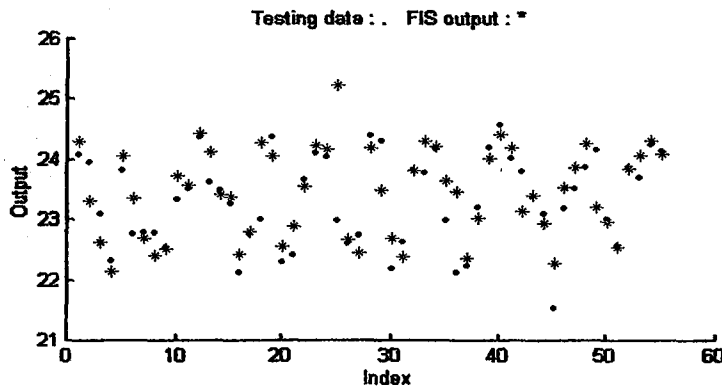


Şekil 4. 36. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

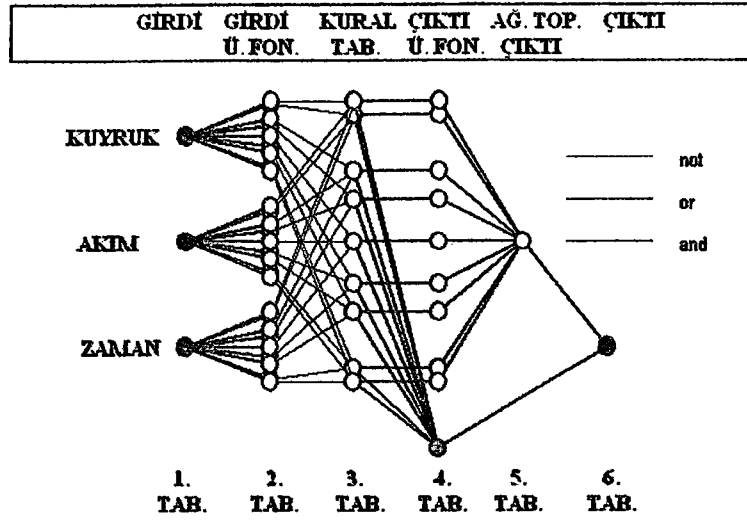
Çizelge 4. 13. Elde edilen gecikme değerleri

ALIRAVI KAVŞAĞI DOĞU KOLU (AKŞAM) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
660	31	0	19,53	20,17	15,11	20,09	25,5	17,54	18,4
840	43	0,95	19,72	20,53	15,31	20,45	25,93	18,35	17,9
900	46	0,45	20,05	20,62	15,36	20,55	26,04	20,05	18
1200	67	2	19,59	21,25	15,75	21,25	26,96	19,05	20,6
1440	80	0	19,56	21,65	16,02	21,73	27,67	20,1	20,1
1740	91	1,95	19,87	21,99	16,26	22,17	28,38	20,74	20,2
1920	99	2	19,23	22,25	16,46	22,52	28,98	20,23	20,4
2040	102	2	19,61	22,35	16,53	22,65	29,22	20,2	20,6
2280	121	0	19,58	23,06	17,08	23,6	31,09	20,77	20,7
2520	134	1,95	20,27	23,66	17,55	24,37	32,85	20,18	20,3
2940	152	0	19,29	24,83	18,39	25,71	36,35	19,92	19,8
3000	154	0	19,69	25	18,5	25,88	36,85	19,69	19,8
3420	176	3	19,19	27,91	20,25	28,43	45,25	20,05	19,9
3480	179	2	19,15	28,56	20,59	28,91	47,05	20,14	20,1
3540	181	1	19,32	29,05	20,85	29,26	48,41	20,23	20,1
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 4,613$			$S_{HCM94} = 3,252$			$S_{HCM00} = 5,0157$			
$S_{Doherty} = 14,738$			$S_{SSM} = 0,963$			$S_{ANFIS} = 1,091$			

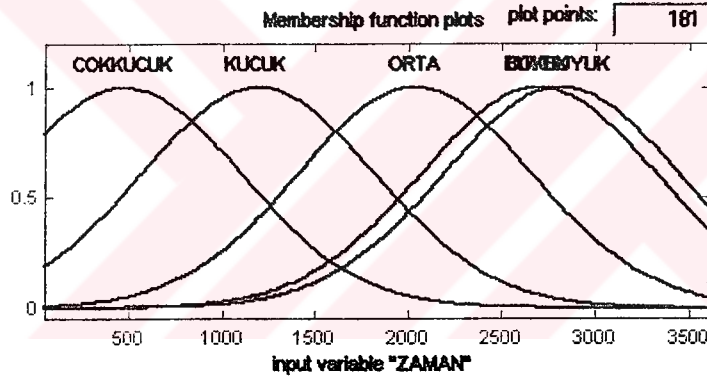
4. Batı kolu (sabah): Oluşturulan model beş kurallı bir yapıya sahiptir.



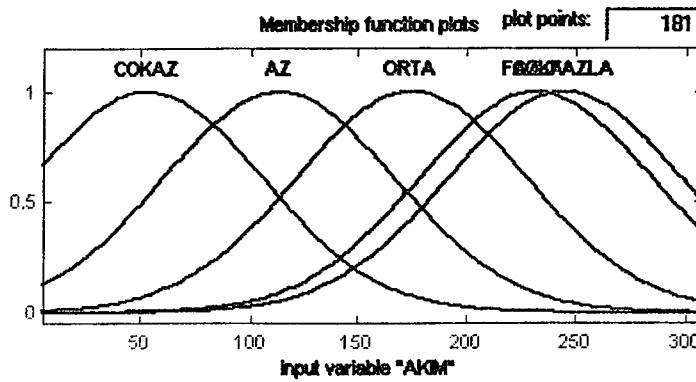
Şekil 4. 37. Test sonucunda verilerin dağılımı; * ile işaretli olanlar ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerleri, nokta ile işaretli olanlar test verilerinin gecikme değerleri



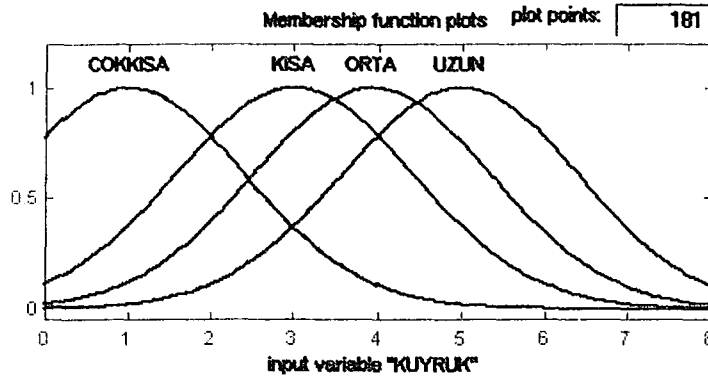
Şekil 4. 38. Oluşturulan anfis modelin yapısı



Şekil 4. 39. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



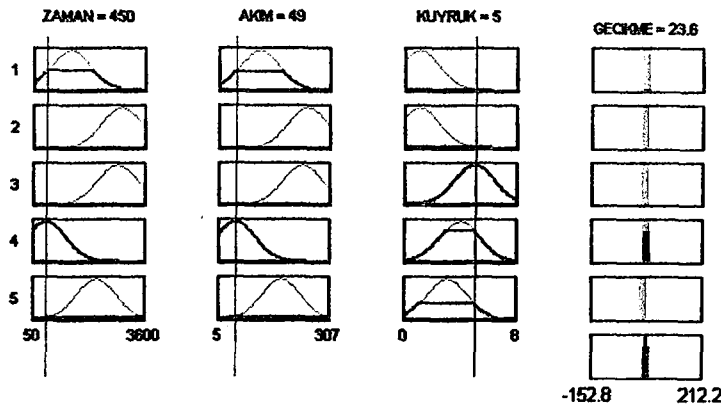
Şekil 4. 40. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



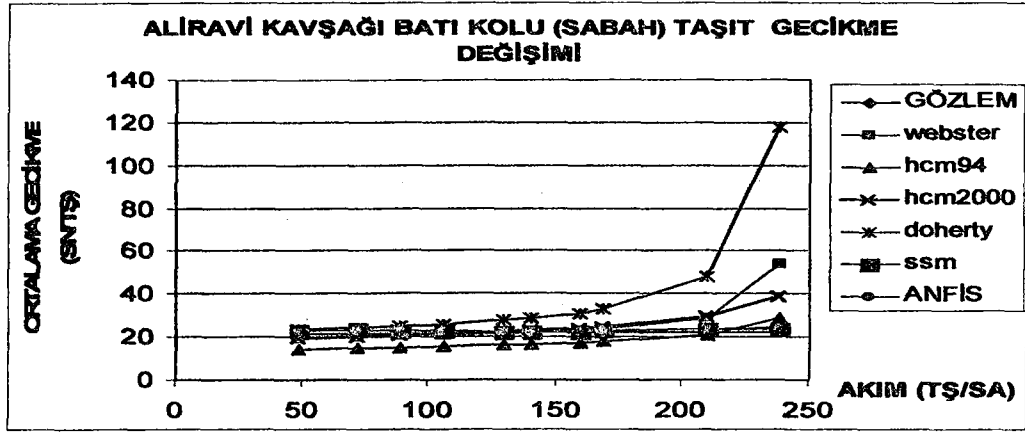
Şekil 4. 41. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları

Çizelge 4. 14. Oluşturulan ANFIS modelin kural kümesi

1. If (ZAMAN is KUCUK) and (AKIM is AZ) and (KUYRUK is COKKISA)	then (GECİKME is out1mf1)(1)
2. If (ZAMAN is COKBUYUK) and (AKIM is COKFAZLA) and (KUYRUK is COKKISA)	then (GECİKME is out1mf2)(1)
3. If (ZAMAN is BUYUK) and (AKIM is FAZLA) and (KUYRUK is UZUN)	then (GECİKME is out1mf3)(1)
4. If (ZAMAN is COKKUCUK) and (AKIM is COKAZ) and (KUYRUK is ORTA)	then (GECİKME is out1mf4)(1)
5. If (ZAMAN is ORTA) and (AKIM is ORTA) and (KUYRUK is KISA)	then (GECİKME is out1mf5)(1)



Şekil 4. 42. Zaman girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları



Şekil 4. 43. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

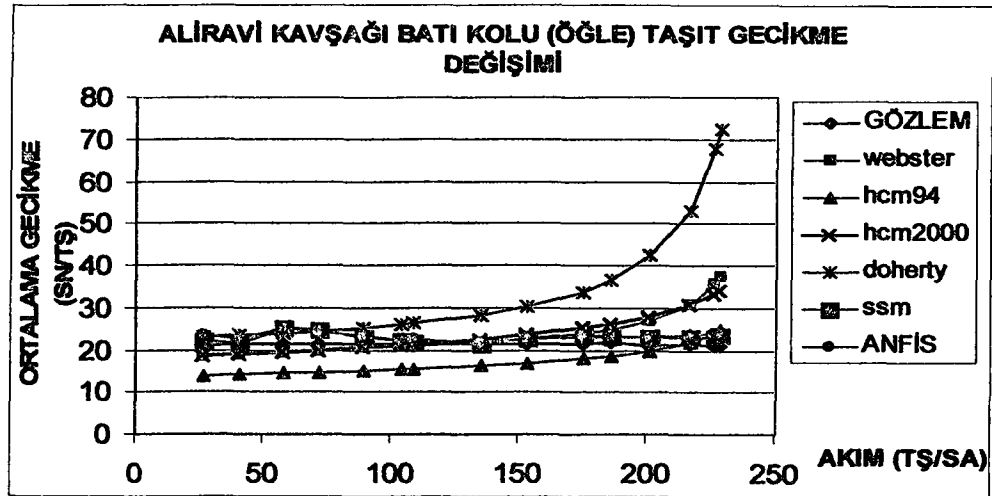
Çizelge 4. 15. Elde edilen gecikme değerleri

ALIRAVI KAVŞAĞI BATI KOLU (SABAH) GİRİDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
450	49	5	21,68	19,27	14,39	19,21	23,82	22,98	23,6
700	72	0	21,66	19,97	14,82	19,94	24,6	23,96	23,3
950	89	1	21,44	20,49	15,17	20,54	25,31	23,26	23,4
1100	106	5,95	21,86	21,03	15,56	21,2	26,19	23,1	22,6
1450	129	3,95	21,92	21,82	16,18	22,22	27,77	22,32	22,1
1700	140	1	22,07	22,24	16,52	22,77	28,76	22,12	22,4
1900	159	2	22,19	23,11	17,23	23,89	31,04	22,54	22,5
2000	169	2	22,29	23,69	17,69	24,59	32,67	22,76	22,8
2500	210	4,95	22,57	28,87	21,02	29,32	47,85	23,52	23,6
2750	238	4	22,35	53,85	28,62	38,84	117,54	23,77	24,3
2950	254	2	22,38	-92,42	36,87	48,24	12639,95	23,83	24,1
3050	265	3	22,27	-12,56	36,87	48,24	49975,99	24,57	24,4
3150	274	0	22,18	-1,94	36,87	48,24	85290,56	24,37	24,4
3450	298	5	22,17	6,18	36,87	48,24	203075,9	23,62	24,1
3550	306	4,95	22,11	7,11	36,87	48,24	250320,8	24,03	24,4
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 35,382$			$S_{HCM94} = 9,548$			$S_{HCM00} = 15,288$			
$S_{Doherty} = 62730,25$			$S_{SSM} = 1,507$			$S_{ANFIS} = 1,575$			

5. Batı kolu (öğle): Beş kurallı bir ANFIS model ile gecikme tahmini yapılmıştır. Elde edilen gecikme değerleri Çizelge 4. 16’da verilmiştir.

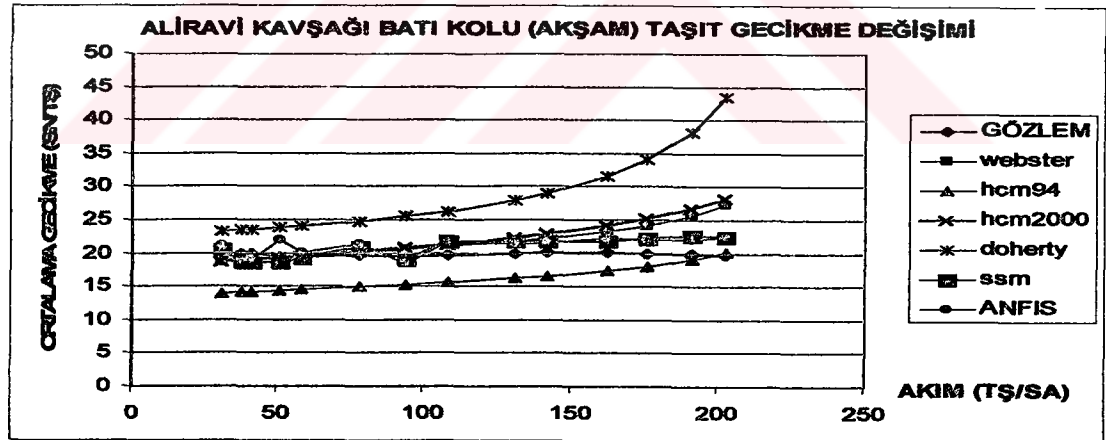
Çizelge 4. 16. Elde edilen gecikme değerleri

ALIRAVI KAVŞAĞI BATI KOLU (ÖĞLE) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
450	27	2	21,15	18,62	14	18,57	23,23	22,26	23,7
650	41	5	21,27	19,04	14,24	18,97	23,59	21,48	22,6
950	58	4	21,35	19,54	14,55	19,49	24,11	25,32	25,3
1150	72	1	21,46	19,97	14,82	19,94	24,6	24,85	24,4
1450	89	2,95	21,52	20,49	15,17	20,54	25,31	23,36	23,7
1750	104	0	21,53	20,96	15,52	21,12	26,08	22,35	22,5
1850	109	3	21,75	21,13	15,64	21,32	26,37	21,9	22,6
2200	135	4	21,48	22,04	16,36	22,51	28,29	21,67	21,6
2450	153	0	21,64	22,81	16,99	23,51	30,23	22,74	22,7
2800	175	0	21,67	24,1	18	25,07	33,85	23,43	23,3
2950	186	1	21,85	25,04	18,68	26,07	36,61	23,18	23
3250	201	1	21,25	26,98	19,94	27,86	42,34	22,96	23,2
3350	216	1,95	21,38	30,7	21,95	30,57	53,14	23,36	23,6
3450	226	2	21,13	35,88	24,14	33,37	67,82	23,34	23,8
3550	228	0,95	21,17	37,5	24,71	34,09	72,36	23,75	23,9
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 5,361$			$S_{HCM94} = 5,456$			$S_{HCM00} = 5,045$			
$S_{Doherty} = 17,981$			$S_{SSM} = 1,969$			$S_{ANFIS} = 2,146$			



Şekil 4. 44. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

6. Batı kolu (akşam): Gecikme tahmin dört kurallı bir ANFIS model ile yapılmıştır. Elde edilen gecikme değerleri Çizelge 4. 17’de verilmiştir. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünümü şekil 4. 45’ de verilmiştir.



Şekil 4. 45. Elde edilen gecikme değerlerinin grafik olarak görünüşü

Çizelge 4. 17. Elde edilen gecikme değerleri

ALIRAVİ KAVŞAĞI BATI KOLU (AKŞAM) GİRDİ			ÇIKTI						
			Hesaplanan Gecikme ve Tahmin Sonuçları						
Zaman	Akım	Kuyruk	Gözlem	Webster	HCM 94	HCM 2000	Doherty	SSM	ANFIS
650	31	0	19,82	18,74	14,07	18,68	23,33	20,46	21,1
750	38	4,95	19,91	18,95	14,19	18,88	23,51	18,65	18,8
850	41	0	19,97	19,04	14,24	18,97	23,6	18,67	19
1050	51	0	19,47	19,33	14,42	19,27	23,88	18,73	22
1150	58	2	19,52	19,54	14,55	19,49	24,11	19,23	20,2
1450	78	3,95	19,68	20,15	14,94	20,15	24,83	21,04	21,5
1850	94	6	19,41	20,65	15,28	20,73	25,55	19,01	18,4
2000	108	4	19,73	21,09	15,61	21,28	26,3	21,89	21,9
2450	131	0	19,97	21,89	16,24	22,31	27,94	21,91	21,4
2550	142	4	20,04	22,32	16,59	22,88	28,97	21,74	21,6
2850	162	1,95	20,19	23,27	17,36	24,09	31,49	21,77	22,3
3200	176	4,95	19,92	24,17	18,05	25,15	34,07	22,23	22
3350	191	0	19,84	25,57	19,05	26,6	38,19	22,75	22,1
3400	191	0	19,8	25,57	19,05	26,6	38,19	22,75	22
3550	203	4,95	19,68	27,34	20,15	28,15	43,38	22,38	22,4
Standart Sapmalar $S_{Webster} = 3,222$			$S_{HCM94} = 4,327$			$S_{HCM00} = 3,740$			
$S_{Doherty} = 10,94$			$S_{SSM} = 1,786$			$S_{ANFIS} = 1,864$			

4. 3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yukarıda görüldüğü gibi seçilen kavşakların her iki kolunun sabah öğle akşam vakitleri için ayrı ayrı ANFIS de model oluşturulmuş ve tahmin yapılmıştır. Her seferinde eğitim verileri farklı olduğu için farklı sayıda üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Kolların hepsinde en uygun olarak çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Yine kolların verileri değişik olduğundan dolayı verileri eğitime ve test etme işleminde hatayı 1'in altına çekmek amaçlandığından bunun sonucu olarak da değişik sayılarda kurallar elde edilmiştir. Verilerin eğitim ve test hataları Çizelge 4. 18'de verilmiştir.

Çizelge 4. 18. Eğitim ve test hatası değerleri

Kavşak kolu	Zaman	Eğitme Hatası (Training Error)	Test Hatası (Testing Error)
50. Yıl Kavşağı Doğu Kolu	Sabah	1,719	0,776
	Öğle	1,022	0,821
	Akşam	0,779	1,006
50. Yıl Kavşağı Batı Kolu	Sabah	1,032	0,795
	Öğle	2,068	0,583
	Akşam	0,920	0,556
Aliravi Kavşağı Doğu Kolu	Sabah	1,528	0,602
	Öğle	0,464	0,537
	Akşam	0,404	0,633
Aliravi Kavşağı Batı Kolu	Sabah	0,546	0,444
	Öğle	0,687	0,687
	Akşam	0,747	0,608

Seçilen her iki kavşağın ikişer koluna ait taşıt gecikme tahmin sonuçları çizelgelerde ve şekillerde görülmektedir. Genel olarak grafiklerde üstte olan eğri Doherty formülüne aittir. Bütün grafiklere dikkat edilirse akımın belli değerinden sonra ani bir yükselişe sahiptir. Yine grafiklerden genelde altta olan çizgi HCM 1994 formülüne ait olan eğridir. Webster ve HCM 2000 gecikme formüllerine ait eğriler de birbirine yakın olarak görülmektedir. Çizelgelerde dikkat edilirse bu iki formülün gecikme değerleri birbirine yakındır. SSM, ANFIS ve gözlem gecikme değerlerine ait olan eğrilerde birbirlerine yakındır. Çizelgelerdeki elde edilen gecikme değerlerine dikkat edilirse bu üç gecikme değerleri birbirine daha yakındır. Ayrıca gözlemden sapma değerlerine de bakılırsa SSM, ANFIS ve gözlem gecikme değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

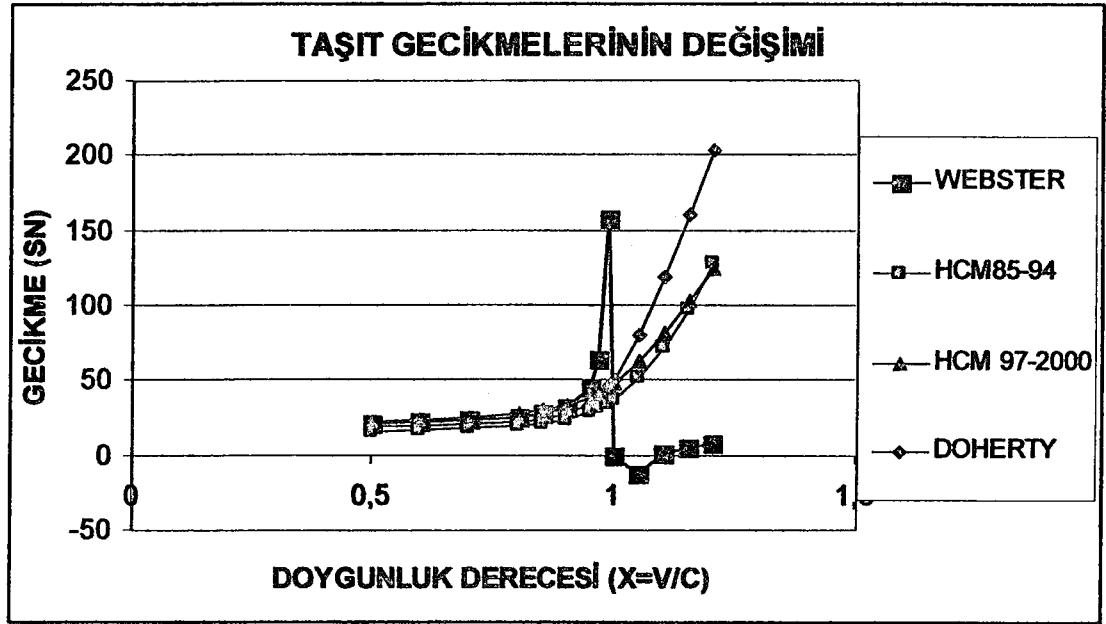
Bu çalışmada girdi değişkenleri olarak zaman, akım, kuyruk kullanılarak gecikme tahmin edilmeye çalışıldı. Girdi değişkenleri değiştirilerek de tahmin yapmak mümkündür. Örneğin önceki çalışmalardan Qiao *et al.* (2001) yaptıkları çalışmada girdi olarak akış oranı, yeşil süre devre süresi ve hava belirlemişler ve çıktı olarak durma gecikmesini tahmin etmeye çalışmışlardır. HCM 1994 ve Webster gecikme

formüllerini kullanmışlar karşılaştırma sonucu bulanık mantık ile yapılan tahmin gecikme değerlerinin gerçeğe daha yakın olduğu görülmüştür.

Aşağıda değişik doygunluk dereceleri için gecikme değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4. 46'da da Webster, HCM ve Doherty gecikme formüllerinin değişik doygunluk derecelerine göre değişimleri açık olarak görülmektedir.

Çizelge 4. 19. Değişik doygunluk derecelerine göre elde edilen gecikme değerleri (C= 70 sn, g = 20sn v = 638 tş/sa, s = 5250 tş/sa $\lambda = 0,285$)

DOYGUNLUK DERECESİ (X)	WEBSTER GECİKME (SN/TŞ)	HCM 85- 94 (SN/TŞ)	HCM 97-2000 (SN/TŞ)	DOHERTY (SN/TŞ)
0,5	21,04	16,06	22,03	19,05
0,6	21,89	16,87	23,33	19,64
0,7	23,05	18	25,07	20,62
0,8	25,17	19,84	27,72	22,51
0,85	27,32	21,38	29,81	24,29
0,9	31,74	23,87	33,04	27,5
0,95	45,49	28,37	38,55	34,25
0,97	64,13	31,15	41,81	39,06
0,99	157,99	34,74	45,88	45,85
1	∞	36,87	48,24	50,13
1,05	-11,92	51,25	63,1	79,93
1,1	1,56	71,58	81,71	118,47
1,15	5,52	97,19	102,3	160,37
1,2	7,02	127,72	123,87	203,63



Şekil 4. 46. Değişik doyguluk derecelerinde Webster HCM ve Doherty gecikme formüllerinin değişimi

Şekilden de görüldüğü gibi gecikme formülleri doyguluk derecesi $x = 1$ den sonra yüksek gecikme değerleri tahmin etmişlerdir. Webster formülü yaklaşık olarak $x=0,9$ dan sonra yüksek gecikme değerleri tahmin etmiştir, Doherty ve HCM formülleri $x=1$ den sonra yüksek gecikme değerleri tahmin etmişlerdir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada seçilen kavşaklardaki kollarda günün belirli pik saatlerinde meydana gelen taşıt gecikme değerleri Webster gecikme formülü, HCM gecikme formülleri (HCM 1985, HCM 1994, HCM 1997 HCM 2000) , Doherty gecikme formülü, Sinyal Simülasyon Modeli ve yapay zeka tekniği olarak ANFIS ile tahmin edilmiştir.

Seçilen kavşaklar önceden zamanlı sinyal kontrol sistemi ile kontrol edilen sinyalize kavşak olduklarından ayarlama faktörü 1 alındığından HCM 1985 ile HCM 1994 ve HCM 1997 ile HCM 2000 gecikme değerleri eşit çıkmıştır. Doygunluk derecesi 1 oluncaya kadar HCM 85 ve HCM 94 gecikme formülleri HCM 2000, HCM 1997 ve diğer formüllere göre daha düşük gecikme değerleri verdiği görülmüştür. Doygunluk derecesi 1'i aştığında HCM formüllerinin gecikme değerlerini yüksek tahmin ettiği görülmüştür. Webster gecikme formülü elde edilen sonuçlara göre doygunluk derecesi 0,90 dan düşük olduğunda iyi sonuçlar veriyor. Doygunluk derecesi 0,90 dan büyük olduğu zaman çok yüksek gecikme değerleri veriyor. Doherty gecikme formülü de doygunluk derecesi 1'e kadar Websterin gecikme değerlerine yakın tahmin ettiği ve doygunluk derecesi 1'i aştıktan sonra gecikme değerini çok büyük tahmin ettiği görülmüştür.

ANFIS ile taşıt gecikme tahmininin yapılacağı da görülmüştür. ANFIS'in tahmin ettiği gecikme değerlerinin gözlem gecikme değerlerine yakın olduğu görülmüştür. ANFIS'in diğer yöntemlerden avantajı hesaplama yükünü azaltmasıdır. Bunun sonucu olarak da ANFIS hesaplama ile ilgili hata yapma riskini ve zaman kaybını azatlığı görülmüştür. Diğer metodlara göre ANFIS'de iyi tahmin yapılabilmesi için sadece eğitmek için verilerin iyi seçilmesi gerekmektedir. ANFIS'de tahminin gerçek değere yakın olabilmesi için tes verilerinin eğitme işleminde kullanılan verilerle ilişkili olması gerektiği görülmüştür. Test sonucunda oluşan hatanın küçük olması tahminin doğru olacağının göstergesidir. Test hatası ne kadar küçük olursa tahminde o kadar gerçeğe yakın olacaktır.

Bu çalışmada da ANFIS ile elde edilen gecikme değerleri diğer metodlarla elde edilen gecikme değerlerinden gerçek gecikme değerlerine daha yakın sonuç verdiği görülmüştür.

Bu çalışmadan esinlenerek sonraki çalışmalarda kavşak kollarına belli mesafelerde detektörler yerleştirilerek gelen araç sayılarına göre ANFIS de gecikmeyi önceden tahmin edip ve sonra bu gecikmeyi düşürmek için yeşil ışık süresini artıracak veya kırmızı ışık süresini azaltacak bir kontrol sistemi kurulabilir. Bu sayede yolun mevcut kapasitesi artırılmış olabilir.

Böyle bir kontrol sistemi koordineli olarak yapılırsa şehir içinde belli hatlarda hiç tıkanıklık olmadan trafik akışı rahat ve güvenli bir şekilde sağlanabilir. Böylelikle hem zamandan tasarruf edilmiş olur hem de yakıt tüketiminden kaçınılarak ülke ekonomisine katkı sağlanmış olur.

KAYNAKLAR

- Akçelik, R., 1981. Fuel efficiency and other objectives in traffic system management. *Traffic Engineering and Control* 22(2), pp 54-65
- Allsop, R.E. and Murchland, J.D., 1978. Traffic signal calculations for individual road junctions. Transport Studies Group. University College London. JDM-302.
- Ayfer, M.Ö., 1977. Trafik Sinyalizasyonu. T.C., Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Berenji, H. R. and Khedkar, P. 1992. Learning and tuning fuzzy logic controllers through reinforcements, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 3, No.5, pp. 724-740
- Bingham, E., 1999 Reinforcement Learning in Neurofuzzy Traffic Signal Control, Proceedings of the 11th Mini- EURO Conference on Artificial Intelligence in transportation System and Science and 7th EURO-workingGroup Meeting on Transportation, August 2-6, 1999, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland. Paper no XLI.
- Bingham, E., 1998. Neurofuzzy Signal Control, Master Thesis, Helsinki University of Technology, Department of Engineering Physics and Mathematics.
- Gökdağ, M. 1996. Sinyalize kavşakta meydana gelen taşıt gecikmelerinin simülasyon modellemesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, 10 -25 s., Trabzon.
- Gül, Ü., 2004. Endüstriyel uygulamalarda neurofuzzy control, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi, 107s. Erzurum.
- Graham, B. P. and Newell, R. B., 1989. Fuzzy adaptive control of a first order process, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 31, pp. 47-65.
- Henry, J.J., Farges, J.L., and Galleo J.L., 1997. Neuro-fuzzy techniques for traffic control, *Control Engineering Practice* 6 , pp 755- 761.
- Janecek, J.J. and Zargham, M. R., 1995. A fuzzy logic controller for a traffic signal, *SPIE*, Vol 2622, pp 687 691.
- Jang, J. S. , Sun, C. T. and Mizutani, E., 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Jang, J. S. 1993., ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 23, No. 3, pp. 665-684.
- Jang J. S. R. and Sun, C. T., 1993. Functional equivalence between radial basis function networks and fuzzy inference systems, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 4, No. 1, pp. 156-159.
- Kim, Jongwan, 1997. A fuzzy logic control Simulator for adaptive traffic management, *Proc. IEEE international Conference on fuzzy systems*, pp 1519- 1524.
- Lee, C. S. G., 1998. Neuro-fuzzy systems for robotics, in *Handbook of Industrial Robotics*, S. Nof, ed., John Wiley, New York.
- Lin C. T. and Lee, C. S. G., 1996 *Neural Fuzzy Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Lin, C. T. and Lee, C. S. G., 1991. Neural-network-based fuzzy logic control and 12, pp. decision system, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 40, No.1320-1336.

- Luttinen, R. T. and Nevela, R., 2002. Capacity level of service of finnish signalized intersections. Finnra Reports. Finnish Road Administration., pp.22-80, Helsinki, Finland.
- Murat, Y. Ş. 2001. Sinyalize kavşaklarda bulanık mantık tekniği ile trafik uyumlu sinyal devre modeli. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, 160 s. İstanbul.
- Nakatsuyama, M., Nagahashi, H., and Nishizuka, N., 1984. Fuzzy logic phase controller for traffic junctions in the one-way arterial road, IFAC- World Congress, preprints, Budapest, pp 13-18.
- Nauck, D., Klawonn, F. and Kruse, R. 1997. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems Wiley, New York.
- Pappis, C. P. and Mamdani, E. H., 1977. A fuzzy logic controller for a traffic junction, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, pp 707- 717.
- Sık, H. Y., and Park, Chong Kug, 1994. A study of optimal cycle of artificial intelligence traffic signal lights using fuzzy logic, SICE 1994, July 26-28, Tokyo, Japan.
- Sugeno, M. and Kang, G. T. 1988. Structure identification of fuzzy model, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 28, pp. 15-33.
- Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 9-26.
- Qiao, F., Yi, Yang, H., and Deverakonda, S., 2002. Fuzzy logic based intersection delay estimation. Elsevier Science
- Takagi, T and Sugeno, M., 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic , Vol. 15, pp. 116-132.
- Tektaş, M., Topuz, V., Akbaş, A., 2002. Yapay zeka tekniklerinin trafik kontrolünde kullanılması üzerine bir inceleme. Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler MYO. www.trafik.gov.tr/icerik/bildiriler/C4-40.doc
- Trabia, M. B., Kaseko, S. M. and Ande, M., 1999. A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals Department of Mechanical Engineering, Howard R. Hughes College of Engineering ,University of Nevada, 4505 Maryland Parkway, Las Vegas , NV 89154-4027, USA.
- Tzes, A., McShane, W.R., and Kim, S., 1995. Expert fuzzy logic traffic signal control for transportation Networks, Institute of Transportation Engineers 65th Annual Meeting, Denver USA. Pp 154-158.
- Topuz, V., Akbaş, A., Tektaş, M., 2002. Boğaz Köprüsü Yollarına Katılım Noktalarında Trafik Akımlarının Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Kontrolü Ve Bir Uygulama Örneği. Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler MYO. www.trafik.gov.tr/icerik/bildiriler/C2-8.doc
- Wang, L. X. and Mendel, J. M. 1992. Fuzzy basis functions, universal approximation, and orthogonal least-squares learning, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 3, No. 5, pp. 807-814.
- Webster, F., 1958. Traffic Signal Settings Road Research Technical Paper No. 39, Road Research Laboratory. Her Majesty's Stationary Office, London, UK.
- Yayla, N., ve Umar, F., 1992 Yol İnşaatı, İ.T.Ü., 287 s., İstanbul.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8, No.3.

EKLER

EK 1

SAĞA DÖNÜŞ İÇİN AYARLAMA FAKTÖRÜ

Çizelge 1. Sağa dönüşler için ayarlama faktörü

DURUM	ŞERİT GRUP TÜRÜ	SAĞA DÖNÜŞ FAKTÖRLERİ							
1	ÖZEL SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ KORUNAN SAĞA DÖNÜŞ FAZİ	0.85							
2	ÖZEL SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ İZİN VERİLEN SAĞA DÖNÜŞ FAZİ	$f_{RT} = 0.85 - (peds / 2,100)$ $peds \leq 1,700$ $f_{RT} = 0.05$ $peds > 1,700$							
		Yaya sayısı (yaya)	0	50 (Low)	100	200 (Mod)	300	400 (High)	500
		Faktör	0.85	0.83	0.80	0.75	0.71	0.66	0.61
		Yaya sayısı (yaya)	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	≥1,700
		Faktör	0.56	0.47	0.37	0.28	0.18	0.05	0.05

Çizelge 1. (devam)

3	ÖZEL SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ KORUNAN ARTI İZİN VERİLEN FAZ	$f_{RT} = 0.85 - (1 - P_{RTA})(peds / 2,100)$ $peds \leq 1,700$ $f_{RT} = 0.05(\text{minimum})$						
		Yaya sayısı (yaya)	Korunan fazı kullanana RT nin oranı, P_{RTA}					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
		50(Düşük)	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85
		100	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
		200(Orta)	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85
		300	0.71	0.74	0.76	0.79	0.82	0.85
		400(Yüksek)	0.66	0.70	0.74	0.77	0.81	0.85
		600	0.56	0.62	0.68	0.74	0.79	0.85
		800	0.47	0.55	0.62	0.70	0.77	0.85
		1,000	0.37	0.47	0.56	0.66	0.75	0.85
		1,400	0.18	0.32	0.45	0.58	0.72	0.85
		$\geq 1,700$	0.05	0.20	0.36	0.53	0.69	0.85
4	PAYLAŞILAN SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ KORUNAN FAZ	$f_{RT} = 1.0 - 0.15 P_{RT}$						
		Şeritteki RT nin oranı , P_{RT}	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		Faktör	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
5	PAYLAŞILAN SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ İZİN VERİLEN FAZ	$f_{RT} = 1.0 - P_{RT} [0.15 + (peds / 2,100)]$ $f_{RT} = 0.05(\text{minimum})$						
		Yaya sayısı (yaya)	Şerit grubundaki RT nin oranı, P_{RT}					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
		50	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83
		100	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80
		200	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
		400	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66
		600	1.00	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56
		800	1.00	0.89	0.79	0.68	0.58	0.47
		1,000	1.00	0.87	0.75	0.62	0.50	0.37
		1,400	1.00	0.84	0.67	0.51	0.35	0.18
		$\geq 1,700$	1.00	0.81	0.62	0.42	0.23	0.05

Çizelge 1. (devam)

DURUM	ŞERİT GRUBUNUN TÜRÜ	SAĞA DÖNÜŞ FAKTÖRLERİ, f_{RT}							
6	PAYLAŞILA SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ KORUNAN ARTI İZİN VERİLEN FAZ	$f_{RT} = 1.0 - P_{RT} [0.15 + (peds / 2,100)(1 - P_{RTA})]$ $f_{RT} = 0.05(\text{minimum})$							
		Korunan fazı kullanan RT nin oranı, P_{RTA}	Yaya sayısı	Şerit grubundaki RT nin oranı P_{RT}					
				0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0.00	Hepsi	5. durumdaki gibi					
		0.20	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83
			200	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77
			400	1.00	0.94	0.88	0.82	0.76	0.70
			600	1.00	0.92	0.85	0.77	0.70	0.62
			1,000	1.00	0.89	0.79	0.68	0.58	0.47
			1,400	1.00	0.86	0.73	0.59	0.45	0.32
			≥1,700	1.00	0.81	0.62	0.42	0.23	0.20
		0.40	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84
			200	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79
			400	1.00	0.95	0.89	0.84	0.79	0.74
			600	1.00	0.94	0.87	0.81	0.74	0.68
			1,000	1.00	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56
			1,400	1.00	0.89	0.78	0.67	0.56	0.45
			≥1,700	1.00	0.87	0.75	0.62	0.49	0.36

Çizelge 1. (devam)

6	PAYLAŞILA SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ KORUNAN ARTI İZİN VERİLEN FAZ	0.60	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84
			200	1.00	0.96	0.92	0.89	0.85	0.81
			400	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77
			600	1.00	0.94	0.89	0.84	0.79	0.74
			1,000	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66
			1,400	1.00	0.92	0.83	0.75	0.67	0.58
			≥1,700	1.00	0.91	0.81	0.72	0.62	0.53
		0.80	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			200	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83
			400	1.00	0.96	0.92	0.89	0.85	0.81
			600	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79
			1,000	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
			1,400	1.00	0.94	0.89	0.83	0.77	0.72
			≥1,700	1.00	0.94	0.88	0.81	0.75	0.69
		1.00	All	Same as Case 4					

Çizelge 1. (devam)

7	Tek şeritli yaklaşım	$f_{RT} = 0.90 - P_{RT} [0.135 + (peds / 2,100)]$ $f_{RT} = 0.05(\text{minimum})$						
		Yaya sayısı	Tek şeritteki sağa dönüş oranı, P_{RT}					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0	1.00	0.87	0.85	0.82	0.79	0.77
		50(düşük)	1.00	0.87	0.84	0.81	0.77	0.74
		100	1.00	0.86	0.83	0.79	0.76	0.72
		200 (orta)	1.00	0.86	0.81	0.77	0.72	0.68
		300	1.00	0.85	0.79	0.74	0.69	0.64
		400 (yüksek)	1.00	0.84	0.78	0.72	0.65	0.59
		600	1.00	0.82	0.74	0.66	0.59	0.51
		800	1.00	0.80	0.71	0.61	0.52	0.42
		1,000	1.00	0.79	0.67	0.56	0.45	0.34
		1,200	1.00	0.77	0.64	0.51	0.38	0.25
		1,400	1.00	0.75	0.61	0.46	0.31	0.16
		≥1,700	1.00	0.73	0.55	0.38	0.21	0.05
8	ÇİFT SAĞA DÖNÜŞ ŞERİDİ KORUNAN A FAZ	0.75						

EK 2

ÖRNEK SİMULASYON ÇIKTISI

Çizelge 2. 50. Yıl Kavşağı doğu kolu (sabah) için T = 1800 sn zaman dilimi için SSM çıktısı

ZAMAN	AKI M	KUYRU K	SSM	WEBSTER	DOHERT Y	HCM85	HCM94	HCM97	HCM200 0
0	0	0	0	22,5	22,5	17,1	17,1	22,5	22,5
50	7	7	28,91	22,71	27,34	17,21	17,21	22,7	22,7
100	9	0	37,49	22,76	28,71	17,25	17,25	22,76	22,76
150	14	0	28,55	22,91	29,45	17,33	17,33	22,9	22,9
200	21	5	23,53	23,12	29,84	17,45	17,45	23,11	23,11
250	23	0	26,97	23,18	29,94	17,48	17,48	23,17	23,17
300	28	4,95	25,32	23,33	30,13	17,57	17,57	23,32	23,32
350	29	0	25,37	23,36	30,17	17,59	17,59	23,35	23,35
400	31	0	24,26	23,42	30,24	17,62	17,62	23,41	23,41
450	33	2	24,9	23,48	30,32	17,66	17,66	23,48	23,48
500	39	1	22,15	23,67	30,54	17,76	17,76	23,67	23,67
550	46	2,95	22,58	23,88	30,8	17,89	17,89	23,89	23,89
600	53	7	22,74	24,09	31,08	18,02	18,02	24,13	24,13
650	55	0	26,1	24,15	31,17	18,06	18,06	24,2	24,2
700	56	0,95	26,23	24,18	31,21	18,08	18,08	24,23	24,23
750	59	2	25,42	24,27	31,34	18,14	18,14	24,34	24,34
800	61	0	26,27	24,33	31,43	18,18	18,18	24,41	24,41
850	63	2	26,42	24,39	31,52	18,22	18,22	24,48	24,48
900	68	1	25,27	24,54	31,75	18,31	18,31	24,66	24,66
950	74	1,95	25,56	24,72	32,04	18,44	18,44	24,88	24,88
1000	79	4	25,03	24,87	32,3	18,54	18,54	25,07	25,07
1050	82	0	25,7	24,97	32,47	18,61	18,61	25,18	25,18
1100	86	3,95	25,84	25,09	32,69	18,69	18,69	25,34	25,34
1150	90	1	25,27	25,21	32,93	18,78	18,78	25,5	25,5
1200	92	0	25,46	25,27	33,05	18,83	18,83	25,58	25,58
1250	98	6	25,38	25,45	33,44	18,97	18,97	25,83	25,83
1300	101	2	25,58	25,55	33,64	19,04	19,04	25,96	25,96
1350	105	0,95	26,22	25,67	33,93	19,14	19,14	26,14	26,14
1400	105	0	26,23	25,67	33,93	19,14	19,14	26,14	26,14
1450	107	0	25,76	25,73	34,07	19,19	19,19	26,23	26,23
1500	111	3,95	25,97	25,86	34,38	19,29	19,29	26,41	26,41
1550	115	4	25,62	25,99	34,7	19,4	19,4	26,6	26,6
1600	118	0,75	26,14	26,09	34,95	19,48	19,48	26,74	26,74
1650	121	3	26,36	26,19	35,22	19,57	19,57	26,89	26,89
1700	126	1	25,77	26,35	35,68	19,71	19,71	27,14	27,14
1750	131	0,95	25,84	26,53	36,19	19,86	19,86	27,4	27,4
1800	135	3	25,54	26,67	36,61	19,99	19,99	27,62	27,62

EK 3**EĞİTİM VERİLERİ**

Çizelge 3. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (sabah) ait ANFIS modelini oluşturmak için alınan eğitim verileri

ZAMAN	AKIM	KUYRUK	SSM
200	21	5	23,53
450	33	2	24,9
550	46	2,95	22,58
50	7	7	28,91
1100	86	3,95	25,84
1600	118	0,75	26,14
3350	254	0	30,29
1150	90	1	25,27
1550	115	4	25,62
1900	149	8,95	25,35
2300	182	2,95	28,77
2450	197	4	28,06
2850	224	4	29,82
3050	237	1	29,6
3600	272	0	30,32
700	56	0,95	26,23
1250	98	6	25,38
1850	141	1	25,49
3450	262	2	29,89
100	9	0	37,49
1700	126	1	25,77
2000	163	3	27,1
2500	198	1	28,28
150	14	0	28,55
250	23	0	26,97
1050	82	0	25,7
1650	121	3	26,36
1950	157	7	25,66
2350	185	2	28,43
2550	200	0	28,4
3150	242	1	29,88
3500	266	5,95	30,46
750	59	2	25,42
1300	101	2	25,58
1750	131	0,95	25,84
2250	179	0	28,88
2600	200	0	28,4
2750	218	6	29
400	31	0	24,26
1000	79	4	25,03
1350	105	0,95	26,22
2050	166	6	28,05

Çizelge 3. (devam)

ZAMAN	AKIM	KUYRUK	SSM
3200	243	0	29,97
350	29	0	25,37
500	39	1	22,15
850	63	2	26,42
1400	105	0	26,23
2150	173	0,95	29,1
2650	204	2	28,02
3250	249	6	30,08
3550	269	2	30,33
650	55	0	26,1
800	61	0	26,27
1450	107	0	25,76
2200	177	2	28,76
2950	234	0,25	29,6
3400	258	2	30,07
950	74	1,95	25,56
2900	231	2	29,45
3100	240	3,95	29,94
2800	220	0,2	29,81

TEST VERİLERİ**Çizelge 4. 50. Yıl Kavşağı doğu koluna (sabah) ait eğitmek için alınan veriler**

ZAMAN	AKIM	KUYRUK	SSM
840	63	2	26,1
900	68	1	25,27
1020	81	5,95	25,56
1920	152	2	25,53
1260	98	5,95	25,99
1680	125	0	25,87
2700	213	10,95	28,29
2520	199	2	28,32
2460	197	3,95	28,26
2760	218	6	29,27
3000	236	2	29,52
3120	241	0	29,89
3540	268	1	30,38
3480	266	6	30,01
960	75	0	25,28
1440	107	0	25,76
1860	141	1	25,56
2940	232	2,95	29,8
1620	120	2	25,87

Çizelge 4. (devam)

ZAMAN	AKIM	KUYRUK	SSM
300	28	4,95	25,32
1140	90	1	25,16
1500	111	3,95	25,97
1740	130	4,95	25,79
2040	166	6	27,69
2280	181	2	28,71
2580	200	0	28,4
2820	222	2	29,68
3060	239	3	29,43
3240	249	6	29,84
780	60	2,95	26,45
1200	92	0	25,46
1560	115	4	25,97
1800	135	3	25,54
2400	193	0	28,28
2880	229	0	29,67
3420	260	3,95	30,04
420	32	1	23,8
1080	85	3	25,27
1320	103	4	25,71
2160	175	0	28,78
3180	243	1,95	29,95
660	55	0	26,1
1380	105	0	26,23
2100	170	3	28,2
2220	179	3,95	28,79
3300	251	0	30,3
720	57	0	25,8
2340	183	0	28,68
3360	256	0	30,07
360	29	0	25,37
2640	202	0,85	28,21
1980	161	10,95	26,51

ÖZGEÇMİŞ

Erzurum'da 1977 yılında doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Erzurum'da tamamladı. 1996 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Atatürk Üniversitesi Erzurum Narman Meslek Yüksekokulu İnşaat Programında 2002 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

