

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZOLE SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ ORTALAMA**  
**TAŞIT GECİKMELERİNİN**  
**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**Özgür BAŞKAN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**DENİZLİ-2004**

**İZOLE SİNYALİZE KAVŞAKLARDAKİ ORTALAMA  
TAŞIT GECİKMELERİNİN  
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarafından Kabul Edilen  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Özgür BAŞKAN**

**Tez Savunma Sınavı Tarihi: 30.06.2004**

**DENİZLİ-2004**

# TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

---

**Yrd. Doç. Dr. Y. Şazi MURAT**  
(Yönetici)

---

**Yrd. Doç. Dr. Halim CEYLAN**  
(Jüri Üyesi)

---

**Yrd. Doç. Dr. Serdar İPLİKÇİ**  
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

---

**Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL**  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

# TEŐEKKÜR

Bu tez çalıőmasındaki yardım ve katkıları nedeniyle danışmanım Yrd. Doç. Dr. Y. Şazi MURAT'a teőekkür ediyorum. Ayrıca tez süresi boyunca yaptıkları katkıları nedeniyle Yrd. Doç Dr. Halim CEYLAN'a teőekkür ediyorum.

Çalışmada kullanılan verilerin sağlanması için yapılan arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Cihan BAŐBUĐ'a, Gürcan YILDIRIM'a, Anıl BAŞKAN'a, İrfan KOÇAK'a, Ahmet BOZDAĞ'a, İnő. Müh. Nurcan ULUDAĞ'a ve İnő. Müh. Mutlu YAŐAR'a teőekkür ediyorum.

Ayrıca tezin yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı Çev. Yük. Müh. Meltem BİLİCİ'ye ve İnő. Müh. Nurcan ULUDAĞ'a teőekkür ediyorum.

Tez çalıőmam boyunca gösterdikleri destek için aileme ayrıca teőekkür ediyorum.

**Özgür BAŞKAN**

# ÖZET

Günümüzde insan hayatını olumsuz etkileyen en önemli unsurlardan biri ulaşım sorunlarıdır. Düzensiz şehirleşme ve buna bağlı olarak meydana gelen araç sahipliğindeki artış ve bunun getirdiği trafik sorunları yerel yönetimlerin çözümünde en çok zorlandıkları problemlerden biri haline gelmiştir.

Sinyalize kavşaklarda meydana gelen ortalama taşıt gecikmeleri, yani taşıtların kavşaklarda kendi kontrolünde olmayan nedenlerden dolayı kaybettiği zaman, tüm trafik sistemini etkiler. Gecikme sürelerinin fazla olması, doğal olarak sürücülerin hat seçiminde ve trafiğin yol ağı üzerindeki dağılımında esas rolü oynarlar.

Bu çalışmada, izole sinyalize kavşaklardaki ortalama gecikmeyi tahmin edebilmek için ileri beslemeli Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Bu tür sinir ağları en az üç tabakadan oluşur. Bunlar giriş, gizli ve çıkış tabakasıdır. Giriş ve çıkış tabaka sayısı probleme göre değişiklik göstermektedir. Gizli tabaka sayısı ise deneme yanılma yolu ile bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında YSA yardımı ile geliştirilen modelde, arazi gözlemlerinden elde edilen gecikme verileri kullanılarak YSA ile izole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmeleri tahmin edilmiştir. Ölçülen veri gruplarının bir kısmı ağı eğitmek amacıyla, kalan diğer kısmı ise YSA modelini test etmek için kullanılmıştır. YSA model sonuçları ile gözlem gecikme değerleri karşılaştırılmış ve ortalama %12 düzeyinde hata değeri elde edilmiştir.

**Özgür BAŞKAN**

# **ABSTRACT**

Transportation and traffic problems that effect our daily life negatively are increasing day to day. Unplanned urbanism and increase in car ownership resulted in the traffic problems that the local authorities forced to solve.

Average delays of vehicles at signalized intersections affect the whole drivers. The increase in average delays of vehicles has an important role of drivers' route choice and traffic assignment in the road network.

In this study, the feedforward Artificial Neural Network (ANN) model is used to carry out delay estimation. This type of neural networks has at least three layers; input, hidden and output. The number of input and output layers are varied depending on the problem. The number of hidden layers are determined using trial and error method.

The observed data are obtained from field studies. They are used for estimation of average delays at isolated signalized intersections based on ANN approach. Part of the data are used for ANN model development, and the rest are used for model testing. The estimations of the model are also compared with the observations and encouraging results are obtained, and the average relative error is obtained as %12 from these comparisons.

**Özgür BAŞKAN**

# İÇİNDEKİLER

|                        | Sayfa |
|------------------------|-------|
| İçindekiler.....       | VII   |
| Şekiller Dizini.....   | XI    |
| Çizelgeler Dizini..... | XIII  |
| Simgeler Dizini.....   | XIV   |

## Birinci Bölüm

### GİRİŞ

|     |              |   |
|-----|--------------|---|
| 1.1 | Giriş.....   | 1 |
| 1.2 | Problem..... | 1 |
| 1.3 | Amaç.....    | 2 |

## İkinci Bölüm

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.1     | Giriş.....                                  | 3  |
| 2.2     | Sinyalizasyon Sistemleri.....               | 6  |
| 2.2.1   | İzole Sinyalizasyon Sistemleri.....         | 6  |
| 2.2.1.1 | Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi.....    | 6  |
| 2.2.1.2 | Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....  | 7  |
| 2.2.1.3 | Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....    | 8  |
| 2.2.1.4 | El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi..... | 8  |
| 2.2.2   | Koordine Sinyalizasyon Sistemleri.....      | 8  |
| 2.3     | Önceki Çalışmalar.....                      | 9  |
| 2.4     | Sonuç.....                                  | 17 |

## Üçüncü Bölüm

# YAPAY SİNİR AĞLARI

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.1     | Giriş.....   | 18 |
| 3.2     | Yapay Sinir Ağlarının Tanımı.....                      | 19 |
| 3.3     | Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları.....           | 21 |
| 3.4     | YSA'ların Üstünlükleri.....                            | 22 |
| 3.4.1   | Doğrusal Olmama.....                                   | 22 |
| 3.4.2   | Öğrenme.....   | 22 |
| 3.4.3   | Genelleme Yapma.....                                   | 23 |
| 3.4.4   | Adaptasyon.....  | 23 |
| 3.4.5   | Veri İşleme.....                                       | 24 |
| 3.4.6   | Hataya ve gürültüye karşı duyarlılık ve tolerans.....  | 24 |
| 3.4.7   | Donanım.....   | 24 |
| 3.5     | Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....           | 25 |
| 3.5.1   | İleri Beslemeli Ağlar.....                             | 25 |
| 3.5.2   | Geri Beslemeli Ağlar.....                              | 25 |
| 3.5.3   | Öğrenme Dereceleri.....                                | 26 |
| 3.6     | Yapay Sinir Ağlarının Başlıca Elemanları.....          | 27 |
| 3.6.1   | Ağırlıklandırma Faktörleri.....                        | 27 |
| 3.6.2   | Toplam Fonksiyon.....                                  | 27 |
| 3.6.3   | Aktivasyon Fonksiyonu.....                             | 28 |
| 3.6.4   | Çıkış Fonksiyonu.....                                  | 28 |
| 3.6.5   | Hata Fonksiyonu ve Geriye Yayma Değeri.....            | 29 |
| 3.6.6   | Öğrenme Fonksiyonu.....                                | 29 |
| 3.7     | Sinir Sistemleri.....                                  | 29 |
| 3.7.1   | Yapay Sinir Ağı Hücresi.....                           | 31 |
| 3.7.2   | Matematik Sinir Yapısı (Nöronun Matematik Modeli)..... | 33 |
| 3.7.2.1 | Nöron Dinamiği.....                                    | 33 |
| 3.7.2.2 | Yapay Nöronların Elektronik Çalışması.....             | 34 |
| 3.7.3   | Aktivasyon Fonksiyonları.....                          | 36 |
| 3.7.4   | Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları.....       | 38 |
| 3.7.5   | Hatayı Geriye Yayma Algoritması.....                   | 39 |
| 3.7.5.1 | En Küçük Kareler Yöntemi.....                          | 40 |



|         |                                     |    |
|---------|-------------------------------------|----|
| 3.7.5.2 | Yöntemin Dayandığı Metodoloji.....  | 42 |
| 3.7.5.3 | Matematiksel Türetim ve Analiz..... | 43 |

## **Dördüncü Bölüm**

# **İZOLE KAVŞAK PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ**

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.1     | Sinyalizasyon Hesap Yöntemleri.....                        | 57 |
| 4.1.1   | Avustralya Yöntemi ile Sinyalizasyon Hesabı.....           | 57 |
| 4.1.1.1 | Akımlar ve Fazlar.....                                     | 57 |
| 4.1.1.2 | Sinyal Devresi.....  | 59 |
| 4.1.1.3 | Akım Karakteristikleri.....                                | 60 |
| 4.1.1.4 | Kritik Akımlar.....  | 61 |
| 4.1.1.5 | Kavşak Kayıp Zamanı.....                                   | 63 |
| 4.1.1.6 | Kapasite ve Doygunluk Derecesi.....                        | 63 |
| 4.1.2   | Sinyalizasyon Hesabı Adımları.....                         | 66 |
| 4.1.2.1 | Doygun Akım Ve Kayıp Zaman Hesapları.....                  | 70 |
| 4.1.2.2 | Performans Ölçümleri.....                                  | 71 |
| 4.1.3   | Webster (İngiliz Yöntemi) ile Performans Ölçümü.....       | 72 |
| 4.1.4   | Doherty Gecikme Formülü.....                               | 74 |
| 4.1.5   | Highway Capacity Manual (HCM-2000).....                    | 75 |
| 4.1.5.1 | Sinyal Koordine Düzeltme Faktörü (Progression Factor)..... | 76 |
| 4.2     | Sonuçlar.....  | 78 |

## **Beşinci Bölüm**

# **YSA İLE ORTALAMA TAŞIT GECİKMELERİ MODELİ**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.1 | YSA Model Parametreleri.....   | 79 |
| 5.2 | Model Arazi Çalışmaları.....   | 79 |
| 5.3 | Model Yapısı.....  | 90 |
| 5.4 | YSA Modeli, Gerçek Gecikme Değerleri ve Analitik Yöntemlerin<br>Karşılaştırılması..... | 94 |

## **Altıncı Bölüm**

# **SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

|                 |               |     |
|-----------------|---------------|-----|
| 6.1             | Sonuçlar..... | 100 |
| 6.2             | Öneriler..... | 100 |
| KAYNAKLAR ..... |               | 102 |

## **EKLER**

EK – 1 Gözlem Föyü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Şekil 2.1  | Sinyalizasyonun Gecikmelere Etkisi.....        | 5  |
| Şekil 3.1  | İleri Beslemeli Ağ.....                        | 26 |
| Şekil 3.2  | Geri Beslemeli Ağ.....                         | 26 |
| Şekil 3.3  | Basit bir sinir hücresi.....                   | 30 |
| Şekil 3.4  | Sinir sisteminde bilgi akışı.....              | 31 |
| Şekil 3.5  | Temel yapay sinir ağı hücresi.....             | 32 |
| Şekil 3.6  | Nöronun Matematik Modeli.....                  | 34 |
| Şekil 3.7  | İşlem Elemanının Modeli.....                   | 35 |
| Şekil 3.8  | Eşik aktivasyon fonksiyonu.....                | 36 |
| Şekil 3.9  | Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....            | 37 |
| Şekil 3.10 | Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....   | 37 |
| Şekil 3.11 | Eğim Düşümü Yönteminin Grafiksel Yorumu.....   | 42 |
| Şekil 3.12 | Çıkış Katmanında Hatanın Geriye Yayılması..... | 43 |
| Şekil 3.13 | Gizli Katmanlar Boyunca Hatanın Yayılımı.....  | 45 |
| Şekil 3.14 | Örnek İçin Sinir Ağ Mimarisi.....              | 48 |
| Şekil 4.1  | Örnek Faz Diyagramı.....                       | 58 |
| Şekil 4.2  | Sinyal Devre Diyagramı.....                    | 59 |
| Şekil 4.3  | Temel akım ve karakteristikleri.....           | 60 |
| Şekil 4.4  | Kritik Akım Arama Diyagramı Örneği.....        | 62 |
| Şekil 5.1  | Model Parametreleri.....                       | 79 |
| Şekil 5.2  | Emek Caddesi Kavşağı Krokisi.....              | 80 |
| Şekil 5.3  | Emek Caddesi Kavşağı Faz Düzeni.....           | 81 |
| Şekil 5.4  | Kayalık Caddesi Kavşağı Krokisi.....           | 81 |
| Şekil 5.5  | Kayalık Caddesi Kavşağı Faz Düzeni.....        | 82 |
| Şekil 5.6  | Halley Oteli Kavşağı Krokisi.....              | 82 |
| Şekil 5.7  | Halley Oteli Kavşağı Faz Düzeni.....           | 82 |
| Şekil 5.8  | Halk Caddesi Kavşağı Krokisi.....              | 83 |
| Şekil 5.9  | Halk Caddesi Kavşağı Faz Düzeni.....           | 83 |
| Şekil 5.10 | İtfaiye Kavşağı Krokisi.....                   | 84 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Şekil 5.11 | İtfaiye Kavşağı Faz Düzeni.....   | 84 |
| Şekil 5.12 | Çankaya Kavşağı Krokisi.....  | 85 |
| Şekil 5.13 | Çankaya Kavşağı Faz Düzeni.....   | 85 |
| Şekil 5.14 | Öğretmenevi Kavşağı Krokisi.....  | 86 |
| Şekil 5.15 | Öğretmenevi Kavşağı Faz Düzeni.....   | 86 |
| Şekil 5.16 | Sigorta Kavşağı Krokisi.....  | 87 |
| Şekil 5.17 | Sigorta Kavşağı Faz Düzeni.....   | 87 |
| Şekil 5.18 | Suluköprü Kavşağı Krokisi.....  | 88 |
| Şekil 5.19 | Suluköprü Kavşağı Faz Düzeni.....   | 88 |
| Şekil 5.20 | Ayasofya kavşağı.....   | 89 |
| Şekil 5.21 | Yeni Mahalle Kavşağı Krokisi.....   | 89 |
| Şekil 5.22 | Kalkınma Kavşağı Krokisi.....   | 90 |
| Şekil 5.23 | NN Toolbox veri giriş sayfası.....  | 93 |
| Şekil 5.24 | Ağ karakteristikleri belirleme sayfası.....   | 93 |
| Şekil 5.25 | Eğitim ve Test Verilerinin Matlab Ortamında Karşılaştırılması.....                  | 94 |
| Şekil 5.26 | Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması.....                           | 96 |
| Şekil 5.27 | Analitik Formüller, Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin<br>Karşılaştırılması-I.....  | 97 |
| Şekil 5.28 | Analitik Formüller, Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin<br>Karşılaştırılması-II..... | 98 |

# ÇİZELGELER DİZİNİ

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Çizelge 2.1 | Çalışma sonucu elde edilen hata yüzdeleri.....                                   | 11 |
| Çizelge 4.1 | Faz-Akım Matrisi.....  | 58 |
| Çizelge 4.2 | Kritik Akım Araştırma Çizelgesi.....   | 66 |
| Çizelge 4.3 | Üniform Gecikme Hesabı için Koordine Sinyal<br>Düzeltilme Faktörü.....           | 77 |
| Çizelge 5.1 | Yapay Sinir Ağları Örnek Eğitim Verileri.....                                    | 91 |
| Çizelge 5.2 | Yapay Sinir Ağı Test Verileri.....   | 92 |
| Çizelge 5.3 | Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması.....                        | 95 |
| Çizelge 5.4 | Analitik Formüller, Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin<br>Karşılaştırılması..... | 97 |

# SİMGELER DİZİNİ

- YSA : Yapay Sinir Ağları  
HCM : Highway Capacity Manual  
GPS : Global Positioning System  
GIS : Geographic Information System  
ANFIS: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System  
BM : Bulanık Mantık  
İE : İşlemci Eleman  
TLRN : Time Lag Recurrent Network  
MLP : Multilayered Perceptrons  
LVQ : Learning Vector Quantization  
PF : Progression Factor

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

İnsan hayatını günlük yaşamda etkileyen en önemli faktörlerden biri ulaşım sorunlarıdır. Gittikçe artan şehirleşme ile birlikte ortaya çıkan trafik sıkışıklığını ve ulaşımında karşılaşılan karmaşık problemleri çözebilmek için optimum ölçülerde bir ulaşım planlaması yapabilmek zor mühendislik problemlerinden biri haline gelmiştir.

İzole sinyalize kavşaklardaki trafik akımının optimal zamanlamasının yapılması, kavşaktaki taşıt gecikmelerinin gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmesine dayanır. Bu kavşak kapasitesinin tam olarak kullanılabilmesini ve toplam gecikmenin minimuma indirilmesini sağlar. Gecikme tahmini özellikle sinyal tasarımında ve trafik yönetiminde oldukça önemlidir. Bu tahmin doğrultusunda kavşak denetimi değiştirilebilmekte, daha etkin ve verimli hale getirilebilmektedir. Ayrıca gerektiği durumlarda kavşağın denetim sistemi tamamen değiştirilebilmektedir (örneğin izole sistemin koordine hale dönüştürülmesi).

### 1.2 Problem

Kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmeleri yani taşıtların kavşaklarda kendi kontrolünde olmayan nedenlerden dolayı kaybettiği zaman, tüm trafik sistemini etkiler. Gecikme sürelerinin fazla olması, doğal olarak sürücülerin hat seçiminde ve trafiğin yol ağı üzerindeki dağılımında esas rolü oynarlar.

Sinyalize kavşaklardaki gecikme konusu, çok boyutlu ve doğrusal olarak kolayca tanımlanamayacak bir niteliğe sahiptir. Taşıtların hareket kabiliyetleri, sürücü davranış ve psikolojisi, grup veya dağınık hareket durumu, trafik hacmi, şerit genişliği, trafik kompozisyonu, kavşak yakınında toplu taşıma durağı olup olmaması, yol içi durma ve park etme, sinyal süreleri (devre, yeşil, kırmızı), kuyruk oluşumu ve hava durumu gibi pek çok

parametre gecikmeyi etkilemektedir. Bu parametrelerin bir kısmı birbiriyle ilişkili, bir kısmı ise tamamen bağımsızdır. Dolayısı ile çok detaylı bir analiz gerektirmektedir.

Literatürdeki gecikme hesaplamaları için kullanılan analitik formüller, gecikmenin doğrusal olmayan yapısını tam olarak formülize edemedikleri için, özellikle doygun üstü durumdaki gecikme tahmininde çoğu zaman yetersiz kalmaktadırlar.

Tüm bunların yanında gecikmeyi arazi çalışmaları ile ölçmek de kolay değildir. Ancak elektronik sayaçlar ile detaylı ve gerçeği tam olarak yansıtabilen ölçümler yapılabilmektedir. Fakat bu yöntem ise oldukça pahalıdır ve dünyadaki tüm ülkelere ve kentlere hitap etmemektedir. Dolayısıyla, gecikme değerini gerçeğe yakın belirlemek güç ve maliyetli bir iştir.

### **1.3 Amaç**

Bu tez çalışmasının konusu, izole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesidir. Bu çalışma ile özellikle doygun üstü durumlarda, analitik modellere göre, gözlemlere dayanan gerçek gecikme değerlerini, YSA ile daha yakın tahmin etmek amaçlanmıştır.

Bir taşıtın, kavşakta kırmızı ışıkta durması ile kaybettiği zaman, durmak için hızını azaltması ve kalkışta hızlanması için kaybettiği zaman, ve kuyruğa katılması ile harekete geçmesi arasında geçen zamanların toplamına gecikme denir. Gecikme, trafik hacmi, yeşil sinyal süresi, kırmızı sinyal süresi, kavşağın geometrik tasarımı ve araç tipleri gibi birçok temel faktörün yanında görüş mesafesi, hava durumu, sürücü davranışı gibi teknik olmayan faktörlere de bağlıdır.

Gecikmeyi etkileyen parametrelerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu olmasından dolayı gecikme tahmininde YSA kullanılmıştır. İlk önce veri setlerinin çıktı değerleri (ortalama gecikme), kullanılan aktivasyon fonksiyonunun özelliğinden dolayı (0-1) arasında normalize edilmiştir. Veri setlerinin hazırlanmasından sonra ağın eğitimine geçilmiş, eğitim sırasında 84 adet veri kullanılmış, en uygun sonucu bulana kadar ağın mimarisi, gizli tabaka



sayısı, nöron sayısı ve iterasyon sayısı deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Uzun denemeler sonucu olarak, ağ mimarisi olarak ileri beslemeli ağ yapısı seçilmiş, tek gizli katman ve bu katmanda 16 nöron kullanılmış ve 5000 iterasyon sonucunda ağın eğitimi tamamlanmıştır. Eğitim işleminden sonra test işlemine geçilmiş ve daha önceden eğitimde kullanılmayan 14 adet veri ağın testi için kullanılmıştır. Test işleminin sonunda, gözlem gecikme değerleri ile YSA ortalama taşıt gecikmeleri model sonuçları arasındaki mutlak hata 0,12 olarak bulunmuştur.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Gelecek (ikinci) bölümde sinyalizasyon sistemleri ve önceki çalışmalar, üçüncü bölümde YSA, dördüncü bölümde izole kavşak performans ölçümleri, beşinci bölümde YSA ile izole sinyalize kavşaklardaki ortalama gecikmelerin modellenmesi ve son bölümde de sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

# İKİNCİ BÖLÜM

## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1 Giriş

Genel olarak sinyalizasyon sistemleri kontrolsüz kavşaklarda kontrolü sağlamak ve aynı zamanda kavşakta meydana gelebilecek kazaları önleyerek gecikmeleri azaltmak amacı ile kullanılmaktadır. Bununla birlikte, gelişigüzel ve gereklilik kriterlerine uyulmadan kurulan bir sinyalizasyon tesisi hem gecikmelerin uzamasına hem de trafik kazalarının artmasına yol açabilir. Bu yüzden her kavşağa sinyalizasyon sistemi yapmak hem ekonomik açıdan, hem de trafik güvenliği açısından beklenen yararları sağlamayabilir. Fakat bazı durumlarda sinyalizasyon sisteminin yapılmaması daha kötü sonuçlar doğurabilir. Bu durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tali yollardan hareket etmek isteyen araçlar, gerekli zaman boşluklarını bulamamakta ve ana yoldan geçen araçlar buna izin vermemektedir,
- Kavşaklardaki işaretlemelere rağmen, trafik güvenliği sağlanamamakta ve sürekli birbirine benzer şekilde kazalar oluşmaktadır,
- Kavşaklardaki düzensiz trafik bekleme, sıkışıklıklara, tıkanıklıklara ve gecikmelere yol açmakta; dolayısı ile kavşağın ekonomik kullanımı azalmakta, enerji ve zaman kaybına neden olmaktadır,
- Kavşak kapasitesinden yeterince yararlanılamamaktadır,
- Yayalar emniyetli hareket olanağı bulamamaktadır,
- Kavşağın fiziki ve geometrik yapısı işaretlemeyi gerektirmektedir.

Belirtilen durumlardan bir veya birkaçı gözlenir ise, bu kavşağın sinyalize olarak düzenlenmesi gerekebilir. Böylece araçlar gruplar halinde tutularak durma, bekleme ve yol verme zamanları ayarlanmaya çalışılır. Bu şekilde bir düzenleme ile aşağıda sıralanan faydalar sağlanabilir:

- Ulaşım güvenliğinin artması



Sinyalizasyon sistemleri kontrol ettikleri kavşakların durumuna göre izole ve koordine sistemler olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Bu çalışmada izole sistemler için bir model geliştirildiğinden izole sistemler daha detaylı bir şekilde incelenmiştir.

## **2.2 Sinyalizasyon Sistemleri**

### **2.2.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri**

İzole sinyalizasyon sistemleri yakınındaki diğer kavşaklarda kurulmuş bulunan başka sinyalizasyon sistemleri ile herhangi bir bağıntısı olmayan ve diğer sinyalizasyon tesislerinin etkilemediği sistemdir. İzole sinyalizasyon sistemleri dört değişik biçimde gerçekleştirilebilir.

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi
- Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

#### **2.2.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi**

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde, kavşağa değişik yönlerden gelen taşıt ve yaya trafiğine daha önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilmektedir. Çeşitli yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek olan geçiş hakkı süreleri (yeşil süreler) ve bu sürelerin birbirine oranı ortalama trafik yükü değerlerine göre saptanır. Dolayısı ile, bu sistemin başarılı olabilmesi için mümkün mertebe çok sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir.

Trafik akımları günün değişik saatlerinde farklı özellikler göstermektedir. Sabit zamanlı bir sinyalizasyon sistemi de, bu farklı özelliklere uygun biçimde belirli saatlerde otomatik olarak değişen ayrı ayrı birkaç program uygulayarak, trafik akımlarının en uyumlu şekilde düzenlenmesini amaçlamaktadır.

Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminin en büyük sakıncası trafik akımlarının projede kullanılan ortalama değerlere uymayarak kavşaklarda gereksiz beklemelere yol açmasıdır. Bu sakıncanın etkisini azaltmak için, sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi kurulmuş bir kavşağın sürekli olarak kontrol altında tutulması, mevsimlere göre ve zamanla değişen trafik koşullarına uygun olarak zaman programlarının düzeltilmesi gerekir.

### **2.2.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi**

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

- a) 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 ışık sinyali verilir ve tali yol veya yolların herhangi birinden geçiş talebi uyarısı almadıkça cephe gruplarının ışıklı sinyallerinde bir değişiklik olmaz.
- b) 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 (Murat, 1996).

### **2.2.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi**

Sinyalizasyon tesisleri genellikle kavşaklarda, bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kurulur. Kavşaklardan uzak olan yaya geçitlerinde, sürekli olarak veya günün belirli saatlerinde, yayalara güvenli geçiş hakkı tanımak maksadıyla sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi kullanılabilir. Yaya akımının az olduğu yer ve saatlerde ise taşıtlara verilen sürekli geçiş hakkı yayaların butonlara basmalarına ile kesilir.

Yaya uyarmaları kavşaklarda da kullanılabilir. Bu uyarılar yarı veya tam trafik uyarımlı olarak düzenlenmiş bir sistemin kapsamı altına alınabildiği gibi, sabit zamanlı olarak çalışan kavşaklarda da yararlı olabilir. Özellikle bazı sabit zamanlı kavşaklarda, zaman kaybını önlemek ve gecikmeleri azaltmak için yayalardan herhangi bir talep gelmediği sürece bazı yaya cepheleri sürekli olarak kırmızı ışıklı sinyal vermektedir. Bu geçitleri kullanmak isteyen yayalar, geçiş hakkı alabilmek için butonlara basmak ve beklemek zorundadırlar.

#### **2.2.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi**

Herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda çizelgesine bağlanarak ışıklı sinyallerin dışarıdan yönetilmesi sağlanabilir. “El ile Kumanda Edilen Sinyalizasyon Sistemi” denilen bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak kurulmuş olan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerlerden büyük sapmalar ve sık dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır. “Manuel İşletme” adı da verilen bu sistem trafik ve yaya uyarımlı sistemlere benzemekte, ancak talepler dışarıdan gözlem ile değerlendirilmektedir (Murat, 1996).

#### **2.2.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri**

Ana yolların birbirine çok yakın iki veya daha fazla sayıdaki kavşaklarında, gecikmeleri azaltmak ve sık sık duruş-kalkışları engellemek amacıyla, kavşaklardaki sinyalizasyon tesislerinin birbirine bağlanması gerekmektedir. Koordine sistemler genellikle anayol üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğine de yeterli geçiş hakkı tanıyarak, birim zaman içinde mümkün olan en yüksek sayıda taşıtın durmadan geçirilmesi için düzenlenmektedir. Ayrıca birbirine çok yakın olan sinyalizasyon kavşaklarda biriken taşıt kuyruklarının kavşak alanlarına taşmamaları için de bir koordinasyon tesis edilebilir. Koordine sistemler öncelikle anayol trafiği için uygulanmakla birlikte, bazı durumlarda bütün yönlerdeki toplam gecikmenin minimuma indirilmesi olanakları da araştırılır. Koordine sistemler ayrıca birbirine yakın sinyalizasyon kavşakları bulunan bir yol şebekesinin bütün akımları için bilgisayar kontrollu olarak düzenlenebilir. Koordine sistemler çalışma düzenlerine göre aşağıdaki biçimde sıralanabilir:

- Senkronize Sistem

- Alternatif Sistem
- Progresif Sistem
- Arazi Trafik Kontrolü Sistemi

## 2.3 Önceki Çalışmalar

Gökdağ ve Haşiloğlu'nun (2001) yaptıkları çalışmada, sinyalizasyon kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin tahmin edilmesinde, diğer modellere alternatif olarak, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, girdiler yapay bulanık sinir ağı yöntemi ile eğitilmiştir. Bu yöntemde eğitime ve test için hibrit algoritma kullanılmıştır. Seçilen kavşaktaki taşıt gecikmeleri simülasyon modeli ve ANFIS'in yanında matematiksel gecikme formülleri (Highway Capacity Manual 1985, Doherty 1977) ile karşılaştırılmıştır. Sinyal simülasyon modeli ile hesaplanan gecikme verilerinin yarısı ANFIS'de eğitilmiş ve diğer yarısı yine ANFIS'de test edilmiştir. Test sonuçları, gözlem, HCM (1985), Doherty (1977) ve simülasyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon ile ANFIS gecikme tahmini sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu değerler gözlemlenen gecikme değerleri ile karşılaştırıldığında HCM (1985) ve Doherty (1977) gözlem sonuçlarına uzak değerler verirken simülasyon ve ANFIS değerlerinin yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Qiao ve diğerlerinin (2001) yaptıkları çalışmada, HCM modelinin simülasyonu için bulanık model kullanılmıştır. Simülasyon için çok fazla etkiyen faktör kullanılması gerekli olmadığından, esas olarak üç tane girdi değişkeni kullanılmıştır. Bunlar; kritik şeritteki akım oranı;  $x = v/c$ , yeşil süre;  $g_i$  ve devre süresi;  $C$ 'dir.

Üç değişken için, evrensel küme,  $x = (x, g, C) \in U = [0,1.2] \times [20,80] \times [60,120] \subset \mathbb{R}^3$ . Üyelik fonksiyonları üçgen olarak seçilmiş olup her biri sekiz bulanık alt kümeden oluşmuştur. Çıktı değişkeninin evrensel kümesi (gecikme  $d$ )  $y=d \in V=[0,165] \subset \mathbb{R}$  olarak seçilmiştir. Benzer olarak, üyelik fonksiyonu üçgen (16 bulanık alt küme) oluşturulmuştur. İstenilen kural tabanını oluşturmak için, 3 girdi değişkeni rastgele değişkenler olarak fakat aynı evrensel küme değişimi içinde belirlenmiştir. Gecikme süresi, HCM (1994) gecikme formülünden alınmıştır. Her girdi 20 eşit dağılımlı noktayla temsil edilmiş, yani toplam,  $20^3=8000$  (girdi-çıktı) veri çifti üretilmiştir. Ortalama rölatif hata % 4,93; standart sapma % 3,54 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, uygulanan HCM (1994) modeline uygundur. Simülasyon

çalışmasında, farklı sayıda bulanık küme kullanılarak da denemeler yapılmış ve daha fazla sayıda bulanık küme ile çalışılması, kuralın derecesi, D'ye olan ihtiyacı azaltmış ve modelin doğruluğunu arttırmıştır.

Yerinde ölçümler için, Hong Kong'da bir kavşak kullanılmıştır. Kavşaktaki devre süresi, hafta içi 75-120 saniyedir.. Zirve saatler 07:00-10:00 ve 17:00-19:30 arasındadır. Ölçümler sabah 6:30'da akşam 16:30'da başlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan teknik olmayan tek faktör hava durumudur. Kavşakların dört yaklaşım koluna üçer kamera yerleştirilmiştir. Veriler, sinyal zamanları, trafik talep verileri, gecikmeler, durma sayısı olarak toplanmıştır. Diğer sistem parametreleri, sinyal planları, en yüksek ve en düşük yeşil süre, kavşağın geçmişteki durumu, Hong Kong Ulaşım Departmanı'ndan alınmıştır. Burada 4 girdi değişkeni kullanılmıştır. Bunlar, akım derecesi (x), devre süresi C, yeşil süre g, hava durumu w, ve bir çıktı değişkeni (d) kullanılmıştır. Toplanan verilerin yarısı bulanık gecikme modelinin kurulması için diğer yarısı ise modelin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen hata yüzdeleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge2.1: Çalışma sonucu elde edilen hata yüzdeleri (Qiao ve diğ., 2001).

|                          | <b>Bulanık</b> | <b>HCM</b> | <b>Webster</b> |
|--------------------------|----------------|------------|----------------|
| Ortalama Mutlak Hata(%)  | 0,5            | 11         | 6              |
| Ortalama Karesel Hata(%) | 2,05           | 118        | 30             |

Bu çalışma sonucunda, yerinde ölçümlere en yakın gecikme miktarını bulanık mantık modelinin verdiği görülmektedir. Simülasyon ve yerinde ölçümlerle test edilerek, diğer gecikme modellerinin verdiği sonuçlarla kıyaslanan bulanık mantık modeli ortaya konulmuştur. Bulanık mantığa teknik ve teknik olmayan tüm kompleks faktörlerin uygulanabilmesi, trafik kontrolündeki ve yoldaki değişimlere adapte olabilmesi nedeni ile bulanık mantığın kavşak çalışmalarında kullanılmasının uygun olacağı vurgulanmıştır.

Dion ve diğerlerinin (2002) yaptıkları çalışmada, gecikme tahmini konusunda bazı analitik gecikme modelleri karşılaştırılmıştır. Deterministik kuyruk oluşumu, şok dalgası, sabit durumlu stokastik, zamana bağlı stokastik gecikme modelleri ve bunun ötesinde bu tahminlerin mikroskobik trafik simülasyon modeliyle üretilen gecikmelerle karşılaştırılması söz konusudur. Bu çalışma sonucunda düşük doyumluk derecesi olan sinyalize kavşakların



analizinde uygulanan tüm analitik gecikme modelleri arasında bir uyum olduğu görülmektedir. Ancak bu uyumun doygunluk derecesinin artmasıyla azalma eğilimi gösterdiği de görülmektedir. Ayrıca bu şekilde, deterministik kuyruk modeli ile şok dalga modelinin en düşük tahminleri yaptığı görülmektedir. Bunun sebebi bu iki modelin sadece üniform varışları gözönüne almasıdır. Ayrıca, deterministik ve stokastik modellerin düşük doygunluk derecelerinde benzer gecikme tahminleri yaptığı görülmektedir. Bu da doygun altı akım koşullarında gecikme tahmini yapılırken rastgele gelen taşıtların ihmal edilebileceği ve bu durumlarda, deterministik veya stokastik modellerin kullanılabilmesine işaret eder.

Webster (1958,1966), Canadian Capacity Guide (1995) ve HCM (1997) modellerinin 0,8'den düşük doygunluk derecesi için benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu oran arttıkça ve 1'e yaklaştıkça Webster modelinde bulunan gecikmelerin sonsuza gitme eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu modelin ve diğer benzer sabit durumlu stokastik modellerin bilinen bir özelliği, doygunluk derecesinin 1'e yaklaştığı durumlarda modelin geçerliliği kalmamaktadır. Bir karşılaştırma açısından, doygunluk derecesinin 1 olduğu durumlarda, farklı kapasite kılavuz modelleriyle bulunan gecikme değerleri araç başına 43.7 ile 45sn arasında değişirken, Integration modelinde bu tahmin araç başına 38.8 sn olmaktadır.

Doygun akım durumunda Integration simülasyon modeli, Australian Capacity Guide (1981), Canadian Capacity Guide (1995) ve HCM (1997) gecikme modellerinin bulunduğu sonuçlar arasında benzerlik vardır. Bu dört model için, doygunluk derecesi arttıkça, gecikme tahminleri deterministik doygun akım modeli değerlerine yaklaşmaktadır. Bu eğilime uymayan sadece HCM (1994) modeli olup, deterministik doygun akım modeline asimptotik bir gecikme eğrisi üretmemektedir.

Doygun olmayan akım durumunda, Integration, Australian Capacity Guide (1981), Canadian Capacity Guide (1995) ve HCM (1997) gecikme modellerinde bulunan gecikme tahminleri arasında benzerlik bulunmaktadır. Bu durumda ilginç olan bir nokta, Integration modelinin en düşük tahminleri ürettiği ve modeller arasındaki farkların doygunluk derecesi arttıkça ortadan kalkmasıdır.

Washburn ve diğerlerinin (2002) yaptıkları çalışmada, sinyalizasyon kavşaklarının performansı ve kontrol gecikmeleri, üç ayrı paket program (TRANSYT-7F, SYNCHRO ve HCS) kullanılarak karşılaştırılmıştır. HCM (1997) gecikme formülünden yararlanılarak geliştirilen

bu programların aynı veri grupları için farklı sonuçlar verebildiği görülmüştür. Bu farklılıklar HCM gecikme formülündeki Progression Factor (PF) ve I terimlerinden ileri gelmektedir. Bu yazılımlardan elde edilecek gecikme değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verebilmesi; sistemin sabit zamanlı olması, tüm yaklaşım kollarında rastgele geliş kabulü yapılması ve tüm hareketlerin kısıtlanması ile mümkündür. Çalışmanın sonucunda, her yazılımın farklı özellikleri belirtilerek gecikme tahmini yapılacak sisteme uygun seçimin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Quiroga ve diğerlerinin (1999) yaptıkları çalışmada, sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerin ölçülmesinde Global Positioning System (GPS) ve Geographic Information System (GIS) sistemi kullanılarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem gecikme (yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi) tahmini yapan modellerin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Gecikmenin bileşenleri mesafe-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman diyagramları analiz edilerek belirlenmiştir. Hız değerleri, ileri-geri ivmelenme algoritmaları kullanılarak kritik gecikme noktaları belirlenmiştir. Durma gecikmesi ile kontrol gecikmesi arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu bulunmuştur. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu ilişkinin orijinden geçmediği ve durma gecikmesine hızlanma-yavaşlama gecikmesi eklenerek kontrol gecikmesinin bulunacağı ortaya konulmuştur. Hızlanma-yavaşlama mesafelerinin literatürdeki diğer çalışmalara oranla daha uzun olduğu ve sinyalize kavşak duruş çizgisinden sonra yer alan kontrol gecikme yüzdesinin ihmal edilmemesi gerektiği bulunmuştur.

Akçelik'in (1988) yapmış olduğu çalışmada, HCM (1985) gecikme formülü kalibre edilerek alternatif bir model oluşturulmuş ve diğer gecikme modelleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; alternatif HCM formülü doygunluk derecesinin 1'den küçük olduğu durumlarda HCM (1985) formülüne yakın değerler verdiği, aynı zamanda doygunluk derecesinin 1'den büyük olduğu durumda da Avustralya, Kanada ve TRANSYT formüllerine benzer olarak deterministik gecikme çizgisine asimptotik gecikme eğrileri ürettiği görülmüştür.

Burrow'un (1989) yapmış olduğu çalışmada, Akçelik'in (1988) yılında mevcut HCM formülünü geliştirerek oluşturduğu modele yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Bazı ilave faktörlerin hesaba katılması gerektiği ortaya konulmuştur. Bu ilave faktörler trafik akış düzenindeki varyasyonları temsil eden  $\gamma$  terimi, pik ve normal durumdaki akım talebi

arasındaki farkı ortaya koyan  $q_0$  ile yine pik ve normal durumdaki kapasite farkını ortaya koyan  $\mu_0$  olarak belirtilmiştir.

Prevedouros ve Koga'nın (1996) yapmış olduğu çalışmada, iki ayrı kavşağın gecikme tahminleri HCM (1985) ve (1994) formülleri ile hesaplanarak aradaki farklar ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, HCM (1994) formülü (1985)'e göre daha doğru gecikme ve hizmet seviyesi tahmini yapmaktadır. Doygun akım değeri 1900 ta/sa/şerit olarak alınmıştır. Uygunsuz düzenlemeler devre süresini artırmakta bu da gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durumlarda gecikme tahmininde yapılacak bir azaltma (DF=0,85) uygun olmayabilir.

Powell'in (1998) yapmış olduğu çalışmada, HCM (1997) kullanılarak sinyalize kavşaklardaki hizmet seviyesi tanımı için gecikme kavramında yapılan değişiklik vurgulanmıştır. Bu şekilde hizmet seviyesi kontrol gecikmesi olarak tanımlanmış ve aradaki ilişkinin daha kararlı olması sağlanmıştır. Fakat her durumda yerinde ölçüm sorunu hala mevcuttur. Burada tipik hızlanma ve yavaşlama profillerine dayalı olarak gecikme değerlerinin yerinde ölçümü için teorik ve ampirik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ölçümü yapılamayan yavaşlama ve hızlanma gecikmeleri için kuyruktaki araçlar örneklenip düzeltme faktörleri hesaba katılmıştır. Düzeltmeler, serbest akım hızı ve kuyruktaki ortalama araç sayısının bir fonksiyonu olan basit ilave faktörlerdir. Başka bir düzeltmede kuyruktaki araç sayısını fazla tahmin edecek gözlem hatalarının giderilmesi için yapılır. Tüm bu faktörler sinyalize kavşak gecikmelerinin yerinde ölçümü için HCM (1997)'ye ilave edilmiştir. Ayrıca geometrik gecikme ile kesintili ve kesintisiz akım koşulları arasındaki uygunluğun hesaba katılması için toplam gecikme kavramının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çözümünde hazırlanmakta olan HCM (2000)'e dahil edilmesini önermiştir.

Murat tarafından (1999) YSA kullanılarak Boğaz Köprüsü'nde trafik hacmi tahmini ile ilgili yapılan çalışmada; YSA ve Çoklu Regresyon Modelleri Boğaz Köprüsü'ndeki trafik hacminin tahmini için geliştirilmiştir. Bu iki model sonuçları gerçek gözlem değerleriyle karşılaştırılmıştır. YSA modeli için 3-5-3-1 şeklinde ağ mimarisi kullanılmış, girdi parametreleri olarak: nüfus, köprü ücreti ve araç sayısı; çıkış parametresi olarak da trafik hacmi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, 21 yıllık trafik hacmi değerleri modellerin eğitim ve testi için kullanılmıştır. İlk 15 yıllık değerler modelin eğitimi için, geriye kalan 6 yıllık değerler ise modelin testi için ayrılmıştır. Bu testlerin sonuçlarına göre; YSA tahmin modeli

ile, gerçek gözlem değerlerine, Çoklu Regresyon Analiz Modelinin değerlerinden daha yakın bir sonuç elde edilmiştir. Daha sonra kullanılan modellerin ortalama hata değerleri hesaplanmış ve YSA modeli ortalama hata değeri 0,02705 ve Çoklu Regresyon Analiz Modelinin hata değeri ise 0,132642 olarak bulunmuştur. Tüm bu hesaplamalardan da anlaşılmaktadır ki; YSA modelinin ortalama hata değeri, Çoklu Regresyon Analiz modelinden elde edilen hata değerinden daha düşüktür. Sonuç olarak, YSA modelinin trafik hacmi tahmininde kullanılabilirliği bu çalışma ile ispatlanmıştır.

Bingham tarafından (1999) trafik sinyal kontrolünde Yapay Sinir Ağı-Bulanık Mantık (YSA-BM) modelleri birlikte kullanılarak takviyeli öğrenme algoritması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, YSA-BM kullanılarak yapılan trafik sinyal kontrolü denemelerinin geniş bir bölümü, bulanık sinyal kontrolü FUSICO (Niittymeki, 1998)'yu içeren trafik simülasyon sistemi HUTSIM (Sane ve Kosonen, 1996) ile yapılmıştır. Bu simülasyon sistemi MATLAB programına entegre edilmiştir. Sonuç olarak, BM ile trafik sinyal kontrolünde yapay öğrenme algoritması kullanılması ile taşıt gecikmelerinin %3-6 oranında azaldığı görülmüştür. Farklı trafik koşullarına uygun üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Bu algoritmanın dezavantajı arazide kullanılamamasıdır. Yine de yapay öğrenme algoritması, kontrol parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmasının sistematik bir yolunu sağlar.

Dia'nın (1999) yaptığı çalışmada nesneye dayalı sinir ağı kullanılarak kısa vadeli trafik tahmini yapılmıştır. Geliştirilen bu sinir ağı modelinde 5 farklı ağ tipi kullanılmış ve bunlardan en iyi sonucu veren ağ tipi olan Time Lag Recurrent Network (TLRN) gelecekteki tahminler için kullanılmıştır. Sonuç olarak bu çalışma kısa vadeli trafik tahmini için nesneye dayalı sinir ağı modelinin kullanılabilirliğini göstermiştir. Sinir ağı modeli 5 dakikaya kadar olan tahmin aralığında hız veri tahmininde yüksek oranda doğruluk göstermiştir. 5 dakikanın üzerindeki tahmin aralıklarındaki model performansındaki gelişmeler, ilave trafik verileri (akım ve hacim) ve önceki zaman aralıklarındaki ölçümlerin eklenmesiyle sağlanmıştır.

Demir'in (1997) yapmış olduğu çalışmada YSA ile ulaştırma taleplerinin modellenmesinde üç farklı uygulama üzerinde çalışılmıştır. Uygulama 1' de verilerin gürültülü ve gürültüsüz olma durumuna göre iki farklı YSA modeli; nüfus, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), toplam oto sayısını baz alan Regresyon modeli ve sadece nüfusu baz alan bir lineer Regresyon modeli karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Regresyon modelleri ile uygun bir

matematik model kurulamamıştır. Verilerin iç bağımlılığında kurtulmak için parametre elemesi yapılarak yapılan doğrusal Regresyon çoklu Regresyona göre daha kabul edilebilir olsa da R-kare testlerinden aldığı düşük testler yüzünden verilerin doğal davranışını temsil etmede başarılı olamadığından testler sırasında verilen değerler karşısında çok yüksek yolculuk sayıları vermiştir. Çoklu Regresyon daha yüksek bir R-kare testine sahip olsa da GSYİH karşısında gösterdiği eğilim bunu kabul edilebilir bir model olmaktan çıkartmıştır. Ayrıca tahmin değerleri doğrusal Regresyona göre çok daha yüksektir. YSA ile bulunan değerler kabul edilebilir limitler içinde çıktığı gibi davranış olarak da beklenen eğilimi göstermiştir. Uygulama 2’de ise yapılan yolculuk anketleri ile bu anketlerin yapıldığı yerlere ait olan nüfus ve otomobil sahipliği değerleri kullanılarak yolculuk yaratımlarıyla bu iki değişken arasındaki ilişki hem Regresyon hem de YSA kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada Regresyon analizi GSYİH karşısında devamlı azalan bir yolculuk vermiştir. Bunun nedeni katsayısı negatif olan GSYİH, sabit nüfus ve oto sayısı sayısı karşısında arttıkça yolculuk miktarını düşürecektir. Bu durumda Regresyon modelinin uygun model olarak alınamayacağı anlaşılmıştır. YSA ise bunun tersine GSYİH karşısındaki davranışıyla daha uygun bir model vermiştir. Regresyon analizi iki nolu testi geçememiş ve modelin kullanılamayacağı anlaşılmıştır ve bu nedenle üç nolu testi yapmanın anlamının olmadığı kararına varılmıştır. GSYİH’nin artmasına karşın, yolculuk yaratımının düşmesi Regresyon modelinin uygun olmadığını açıkça göstermektedir.

Kimber ve Daly’nin (1985) yapmış olduğu çalışmada kuyruk uzunluğu ve taşıt gecikmelerinin ölçümleri, zamana bağlı kuyruk modellerinin tahminlerinin testi için kullanılmıştır. Bu çalışmada taşıt gecikmeleri tahmini için kuyruk uzunluğundan faydalanılmış ve kuyruk uzunluğunun bulunması için iki ayrı yöntem üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemlerde ise kuyruk uzunluğunun hesaplanmasında gecikme tahmininde önemli bir parametre olan taşıt aralıkları hesaba katılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada kuyruk uzunluğundan yola çıkılarak gecikme tahmini yapılmıştır. Gecikme tahmininde taşıtın hangi devrede geçtiği hesaba katılmış ve taşıt aralıklarına bağlı kuyruk uzunlukları da göz önüne alınarak taşıt gecikmeleri zamana bağlı koordinasyon transformasyon tekniği kullanılarak hesaplanmıştır.

## **2.4 Sonuç**

Bu bölümde; sinyalizasyon sistemlerinin gerekliliği, izole sinyalizasyon sistemlerinin çeşitleri, izole sinyalizasyon kavşaklardaki gecikme tahmini ile ilgili gerekli literatür çalışması verilmiş ve YSA yaklaşımının gecikme tahmininde kullanılabileceğine ait gerekli temel çalışmalar özetlenmiştir. Gelecek bölümde ise YSA'nın detaylı açıklaması verilecektir.

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

## YAPAY SİNİR AĞLARI

### 3.1 Giriş

İnsan beyni bilinen en gizemli ve karmaşık hesaplayıcıdır. Yapay sinir ağları, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturulmaya çalışılan yaklaşımlardır. Tüm yapay sinir ağları yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. Beynin işleyiş kuralları bir çok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Pek çok araştırmacı beyin fonksiyonlarını taklit edebilen YSA modelleri üzerinde çalışmışlardır. Yapay sinir ağlarının öğrenme özelliği ise bu yaklaşımın cazibesini artırmıştır.

Yapay sinir ağları, mühendislik alanında, imalat sanayinde, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımında, tıp alanında, askeri alanda ve buna benzer birçok alanda günümüzde uygulama sahası bulabilmektedir. Yapay sinir ağları bir sisteme ilişkin olarak tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal olması zorunlu değildir. Yapay sinir ağları, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlarda üretebilirler.

Yapay sinir ağları üzerine yapılan ilk çalışmalar daha öncelere dayansa da McCulloch ve Pitts (1943) tarafından yayınlanan “Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap” konulu makale ile başlamıştır. Widrow (1959) tarafından geliştirilen ses sinyallerinden gürültülerin ayıklama uygulaması yapay sinir ağlarının gerçek bir problemin çözümünde ilk kullanımı olmuştur (Sağıroğlu ve diğ., 2003).

### 3.2 Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

Yapay sinir ağları basit bir anlatımla birçok basit işlemci elemandan oluşan yapılardır. Bu elemanlar farklı formlarda ifade edilebilen nümerik verileri taşıyan bağlantılar ve ağırlıklar ile birbirlerine bağlıdırlar. Yapay sinir ağlarındaki gelişmelerin ana kaynağı, insan beyninin rutin olarak gerçekleştirdiği karmaşık hesapları yapabilen yapay sistemlerin yapılabileceği ümididir. Haykin (1999)'da YSA'nın tanımını şöyle yapmıştır:

Haykin (1999), Sinir Ağlarına Detaylı Bir Bakış (Neural Networks:A Comprehensive Foundation), isimli kitabında yapay sinir ağını “Bir sinir ağı, bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit birimlerden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemcidir.” olarak tanımlar.

Yapay sinir ağlarının çok farklı problemlerin çözümünde kolaylıkla kullanılabileceğinin anlaşılmasıyla konuya olan ilgi artmış ve çok farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak matematiksel modelleri oluşturulamayan veya çok zor tanımlanabilen problemlerin çözümü için kullanılır (Sağıroğlu ve diğ., 2003). Yapay sinir ağları kavramını çekici kılan özellikler aşığıda sıralanmıştır:

1. Birinci özellik, sistemin paralelliği ve toplamsal işlevin yapısal olarak dağılmışlığıdır. Başka bir deyişle, bir çok nöron eşzamanlı olarak çalışır ve karmaşık bir işlev çok sayıda küçük nöron aktivitesinin bir araya gelmesinden oluşur. Bu da, zaman içerisinde herhangi bir nöronun işlev dışı kalması durumunda ağ başarımının dikkate değer ölçüde etkilenmeyeceği anlamına gelir.
2. İkinci özellik ise, genelleme yeteneğidir. Başka bir deyişle ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri çıkarsaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de anlamlı yanıtlar üretebilmesidir.
3. Bir başka özellik ise, ağ fonksiyonunun doğrusal olmayışıdır. Yapı üzerinde dağılmış belli tipteki doğrusal olmayan alt birimler özellikle, istenen eşleştirmenin denetim yada tanımlama işlemlerinde olduğu gibi doğrusal olmaması durumunda işlevin doğru biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak olası kılar. Burada işlevin doğru biçimde gerçekleştirilebilmesi için yapısal bir esneklik gerekliliği vurgulanmalıdır. Yani ağ parametreleri, başarıyı arttıracak yada maliyeti azaltacak şekilde değiştirilebilmelidir.



Günümüzde bir çok alanda yapay sinir ağlarının uygulamalarına rastlamak mümkündür. Özellikle örtü tanıma, işaret işleme, sistem tanılama ve nonlineer denetim alanlarında yapay sinir ağlarının değişik modelleri ve değişik öğrenme stratejileri başarı ile kullanılmıştır. Burada her bir problemin çözümü için yapay sinir ağları yaklaşımı ile önerilebilecek çözümler, tasarımcıya bazı seçenekler sunar.

Bunlardan bazıları kimi zaman problemin doğası gereği seçenek olmaktan çok zorunluluk haline de gelebilir. Bu nedenle, tasarımcıların bu seçenekleri doğru değerlendirmeleri gibi bir zorunluluk her yaklaşımda olduğu gibi yapay sinir ağları alanında da söz konusudur.

Ele alınan bir problemin yapay sinir ağları yaklaşımı ile çözümünde tasarımcının önüne çeşitli seçenekler çıkar. İlk seçenek, öğrenme mekanizması üzerinedir. Literatürde üç tip öğrenme stratejisinden bahsedilmektedir. Bunlar öğreticili (denetimli) öğrenme, öğreticisiz (denetimsiz) öğrenme ve takviyeli öğrenme olarak isimlendirilirler.

Tasarımda ikinci seçenek mimari üzerinedir ve iki alt başlıkta değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi verinin akış yönüdür. Eğer ağ üzerinde bilgi akışı sürekli ileri doğru ise bu ağ yapısı “ileri sürümlü (beslemeli)” olarak bilinir. Ağ yapısında geri besleme bağlantıları varsa bu tipteki sistemlere “geri beslemeli” denir

Tasarımcının sunduğu üçüncü önemli seçenek öğrenme algoritmalarıdır. Literatürde bir çok öğrenme algoritmasından bahsedilmektedir ve bunlar öğrenme denen olguyu, matematiğin kuralları ile ölçülebilir büyüklüklere dönüştürerek, bir başarı ölçütünün oluşturulmasına, ölçütün zaman içerisinde arttırılmasına yada bir maliyet ölçütünün oluşturulmasına ve ölçütün zaman içerisinde azaltılmasını sağlayacak parametre değişikliklerinin hesaplanmasına dayanırlar. Burada parametre güncelleme işlemi için türetilen bilginin hangi yöntemlerle oluşturulduğu, tasarım esnekliğinin ana temasıdır (Efe ve Kaynak, 2000).

### **3.3 Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları**

Son yıllarda yapay sinir ağıları, özellikle günümüze kadar çözümlü güç ve karmaşık olan yada ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. YSA çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte bazı kullanım alanları şöyle özetlenebilir:

- Satış tahmini
- Endüstri işlem kontrolü
- Tüketici araştırması
- Veri tahmini
- Risk yönetimi
- Pazarlama amacıyla

kullanılmaktadır. Yapay sinir ağıları, haberleşmede konuşma tanıma, karaciğer iltihabının teşhisi, su altında maden tespit etme, üç boyutlu nesne tanıma, yapı analizi, el yazısı sözcük tanıma ve yüz tanıma da kullanılmaktadır. Ayrıca yapay sinir ağlarının bazı uygulama alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Yapay Sinir Ağlarının Tıp Alanında Kullanılması
- Ticarete Kullanılması
- Arıza Analizi ve Tespiti
- Örnek Eşleştirme
- Savunma Sanayi
- Haberleşme

- Üretim
- Otomasyon ve Kontrol (Fırat, 2002).

### **3.4 YSA'ların Üstünlükleri**

Yapay sinir ağlarının klasik yöntemlere göre sağladıkları üstünlükler aşağıda açıklanmıştır.

#### **3.4.1 Doğrusal Olmama**

Yapay nöronların doğrusal olmama özelliği yapay sinir ağlarının doğadaki hemen hemen her probleme uygulanabilmesini sağlamaktadır. Ağ yapısı içerisinde kullanılan doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları tarafından bu özellik YSA'lara kazandırılır.

#### **3.4.2 Öğrenme**

Öğrenme, YSA'ları diğer yaklaşımlardan ayıran temel bir özelliktir. YSA'nın bir problemi öğrenmesi için problemin giriş verilerine karşılık gelen çıkış verilerinin veya sadece giriş verilerinin sağlanması gerekir. Giriş ve çıkış verileri ile tanımlanan öğrenme kümesi yeteri sayıda örnek içermelidir. Öğrenme, sadece öğrenme verilerini içeren kümenin yeterliliği ile ilgili değildir. YSA yapısının da uygun düzenlenmesi gerekir. Öğrenme süreci sistem girişleri ve sistem çıkışı arasındaki ilişkiyi veya giriş verileri arasındaki ilişkilendirmeyi tanımlayan ağırlık verilerinin elde edilme süreci olarak da tanımlanabilir. YSA'na bu özellik öğrenme algoritması kullanılarak kazandırılır.

#### **3.4.3 Genelleme Yapma**

Eğitim sürecinin ardından YSA eğitim kümesi dışındaki veriler içinde çıkışlar üretilebilir. YSA'nın ürettiği çıkışların kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı, test verilerinin bilinen sistem çıkışı ile YSA'nın çıkış değerleri karşılaştırılarak varılabilir. Bu uygulama genellemenin testi olarak bilinir. Karşılaştırmada elde edilen hata değeri kabul edilebilir

sınırlar içerisinde ise YSA çıkışlarının kabul edilebilir değerler olduğu farz edilir. YSA, eğitim aşamasından sonra sisteme çıkış üretmek için giriş verilerinin tüm parametrelerine ihtiyaç duymaz. Bu YSA'nın paralel yapısının sağladığı bir üstünlüktür. Eksik parametrelerle uygulanan sistem girişine karşılık en uygun sistem çıkış değeri üretilebilir. YSA'da ağırlıklar biyolojik sistemlerdeki nöronlar arasındaki bağın güçlülüğüne karşılık gelir. Bu özellik sayesinde, deneysel verilerin elde edilmesinde ihtiyaç duyulabilecek yüksek maliyet ve zamandan tasarruf sağlanabilir.

#### **3.4.4 Adaptasyon**

Yapay sinir ağları tanımı yada parametreleri değişen probleme veya sisteme uygun çözümler sağlamak için tekrar tekrar eğitilebilir. Eğitim gerçek zamanda da gerçekleştirilebilir. Bu özellik yapay sinir ağlarının hedef tanıma, uyarlamalı örnek tanıma, sınıflandırma, işaret işleme, otomatik kontrol ve sistem kimliklendirme ve modelleme gibi alanlarda kullanımı sağlamıştır.

#### **3.4.5 Veri İşleme**

Biyolojik sistemlerde veri dağınık yapıda saklanır. Yapay sinir ağlarında ise, ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmış şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve işlenmektedir. Ağırlıklar herhangi bir anda YSA'nın problemle ilgili olarak sahip bulunduğu bilgiyi ifade eder. Yapay sinir ağlarında veri dağıtılmış birleşik hafıza yapısı kullanılır ve bilgi farklı formlara dönüştürülerek işlenebilir.

#### **3.4.6 Hataya ve gürültüye karşı duyarlılık ve tolerans**

YSA'nın genelleme yeteneği gerçekleştirilen testlerle sınırlanır. Genelleme, yeterli seviyede ise giriş vektörünü tanımlayan parametrelerden bazılarının verilmemesi veya sağlanmaması durumunda yada ağırlıklarından bazılarının bozulması veya kullanılamaz duruma gelmesi halinde de giriş vektörünü karşılayan çıkış verilerinin YSA tarafından kabul edilebilir doğrulukta üretilebilmesidir. YSA giriş vektöründen veya kendi yapısından kaynaklanabilen hataları yok edebilir. Gürültü balansı bu özellik YSA'nın klasik hesaplama yöntemlerine göre

bir üstünlüğüdür. YSA'larda, çok sayıda bulunan işlemci eleman paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağına sahip olduğu bilgi, ağdaki tüm bağlantılara dağılmıştır. Giriş veri kümesinde bulunabilecek herhangi bir gürültü, bütün ağırlıklar üzerine dağıtıldığından dolayı, gürültü etkisi tolere edilebilir. Geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri daha fazladır.

### **3.4.7 Donanım**

YSA'lar, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini ve örnek tanıma, işaret işleme, sistem kimliklendirme ve denetim gibi gerçek zaman uygulamalarında kullanımını artırır. YSA donanımlarının bugün kolaylıkla elde edilebilmesi ve genel olarak farklı çalışmalarda kullanılabilmesi en ilgi çekici özellikleri arasındadır. Gerçek zamanlı uygulamalarda çok önemlidir.

## **3.5 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması**

Yapay sinir ağları genel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerden veya diğer bir ifade ile nöronlardan oluşurlar. Nöronlar arasındaki bağlantıların yapısı ağına yapısını belirler. İstenilen hedefe ulaşmak için bağlantıların nasıl değiştirileceği, öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde, ağına ağırlıkları değiştirilir. YSA'lar yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılırlar. Yapay sinir ağları, yapılarına göre ileri beslemeli(feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir.

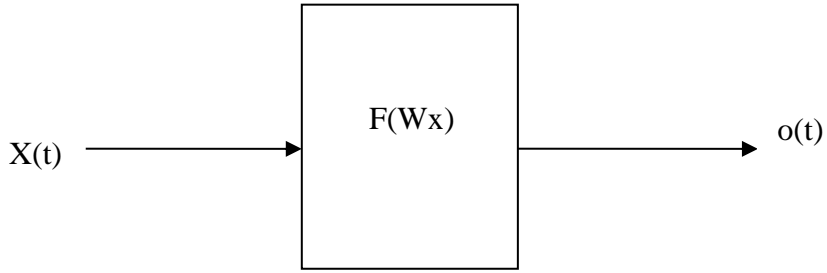
### **3.5.1 İleri Beslemeli Ağlar**

İleri beslemeli bir ağda İşlemci Elemanlar (İE) genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Şekil 3.1'de ileri beslemeli ağ blok diyagramı gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perceptronlar (multilayered perceptrons-MLP) ve

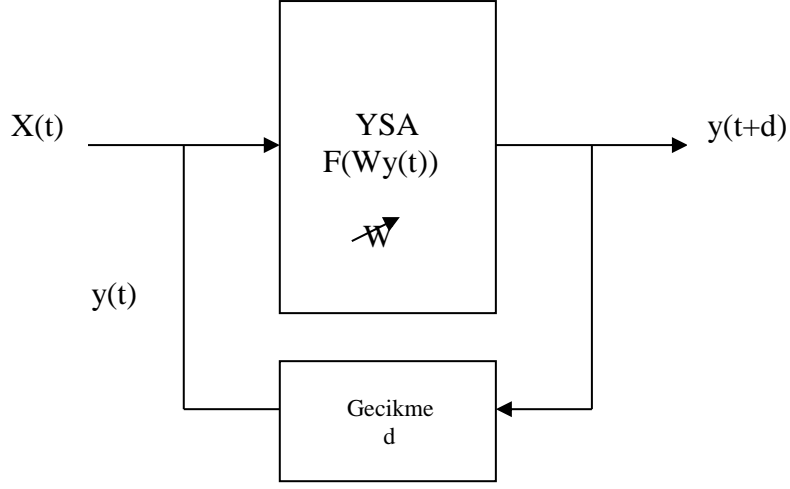
LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir. Bu ağlar statik ağlar olarak da bilinirler.

### 3.5.2 Geri Beslemeli Ağlar

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katman çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Şekil 3.2'de bir geri beslemeli ağ yapısı görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir (Sağıroğlu ve diğ., 2003).



Şekil 3.1: İleri Beslemeli Ağ (Sağıroğlu ve diğ., 2003).



Şekil 3.2:Geri Beslemeli Ağ (Sağiroğlu ve diğ., 2003)

### 3.5.3 Öğrenme Dereceleri

Yapay sinir ağının öğrenmesindeki derece kontrol edilebilir birkaç faktörlere bağlıdır. Düşük dereceli öğrenmede bir sistemin eğitimini uygun bir şekilde yerine getirmek için eğitimi başarmada oldukça fazla zaman harcanır. Daha hızlı öğrenme ve daha yavaş öğrenme ile öğrenen bir sistemde uygunluk derecesi yüksek olan sonuçlara ulaşılmaz. Ağın boyutu, paradigma seçimi, mimarisi, çalışma yada öğrenme kuralının tipi ve arzu edilen doğruluk göz önüne alınmalıdır.

Bu faktörler bir ağın eğitiminin ne kadar uzun süreceğini tespit etmede önemli bir rol oynar. Bu faktörlerin herhangi birinin değişimi, önemsiz uzunlukta veya kabul edilemeyecek doğrulukta eğitim süresini uzatır. Öğrenme fonksiyonlarında öğrenme derecesi 0~1 arasında seçilebilir (Fırat, 2002).

### 3.6 Yapay Sinir Ağlarının Başlıca Elemanları

Burada yapay bir nöronun temel öğelerinden kısaca bahsedeceğiz. Bu öğeler nöronun giriş, çıkış yada gizli tabakalarından birinde kullanımında geçerlidir. Bu elemanları kısaca şu şekilde açıklayabiliriz;

### 3.6.1 Ağırlıklandırma Faktörleri

Bir nöron genellikle girişleri eş zamanlı olarak kabul eder. Her bir giriş, işlem elemanın toplam fonksiyonu üzerinde etki yapan kendisi ile ilgili giriş ağırlığına sahiptir.

Bu ağırlıklar biyolojik nöronun sinaptik kuvvetlerinin değişimi gibi aynı tip fonksiyonu yerine getirir. Her iki durumda da, bir çok girişler diğerlerinden daha önemli yapılır ve böylece bunlar işlem elemanı üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptirler. Ağırlıklar yapay bir nöron tarafından listelenmiş girişlerin sinyallerinin şiddetini tespit etmek için ağ içerisinde uyarlayıcı katsayılardır. Bunlar, girişlerin bağlantı kuvvetlerinin bir ölçümüdür. Bu kuvvetler, ağın özgül topolojisine yada öğrenme kuralları içerisinde ve bir çok eğitim setleri içerisinde değiştirilebilir.

### 3.6.2 Toplam Fonksiyon

Bütün girişlerin ağırlıklandırılmış toplamını hesaplamak için işlem elemanının işlemesi içinde ilk adımdır. Girişler ve ağırlıklar  $(I_1, I_2, \dots)$  ve  $(w_1, w_2, \dots)$  bu şekilde matematiksel olarak gösterilebilirler. Toplam fonksiyonu, her bir giriş elemanı ile bu elemana karşı gelen ağırlık bileşeni tarafından artırılması ile oluşturulur. Bu işlem benzer şekilde diğer elemanlarda da yapılarak toplanır ( $\text{giriş1} = I_1 * w_1$ ,  $\text{giriş2} = I_2 * w_2$  vb. toplam = giriş1 + giriş2).

Burada diğer tabakalardaki elemanlar için bu işlem geçerlidir. Yapılan işlemler bütün tabakalarda benzerdir. Bir önceki nörondaki çıkışlar bir sonraki nöronun giriş değeridir. Toplam fonksiyonu basit giriş ve ağırlıktan daha karmaşık olabilir. Giriş ve ağırlık değerleri aktivasyon fonksiyonu üzerine geçmeden önce farklı yollarda birleştirilebilir. Basit bir çarpımının toplanmasında toplam fonksiyonu, minimum, maksimum, çarpım veya birkaç normalleşme algoritması seçilebilir. Sinir ağlarının birleştirilmesi için kesin algoritmaya ağın mimarisi ile karar verilir.

### 3.6.3 Aktivasyon Fonksiyonu

Ağırlıklandırılmış toplamın sonucu, aktivasyon olarak bilinen bir işlem algoritması içerisinde bir çıkış işlemi olarak geçirilir. Aktivasyon fonksiyonu içerisinde sinir çıkışını elde



etmek için toplam değeri bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Eğer bu toplam eşik değerinden daha büyük ise bu durumda işlem elemanı bir sinyal oluşturur.

Eğer giriş ve ağırlık çarpımının toplamı eşik değerinden küçük ise bir sinyal oluşturulmaz. Cevabın her iki tipide önemlidir. Eşik ve aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal değildir. Lineer fonksiyonlar, çıkış değerleri girişlerle orantılı olduğu için sınırlıdır. Aktivasyon fonksiyonlarıyla ilgili daha detaylı bilgi ileri de verilecektir.

### **3.6.4 Çıkış Fonksiyonu**

Her bir işlem elemanı bir çıkış sinyali verir. Biyolojik nöronlardaki gibi, bir çok girişin olduğu bir yerde sadece bir çıkış sinyali olabilir. Normalde çıkış sinyali, aktivasyon fonksiyonunun direk sonucudur. Bununla birlikte, birçok ağ topolojisinde komşu işlem elemanları arasındaki yarışmayı birleştirmek için aktivasyon fonksiyonu değişir.

### **3.6.5 Hata Fonksiyonu ve Geriye Yayma Değeri**

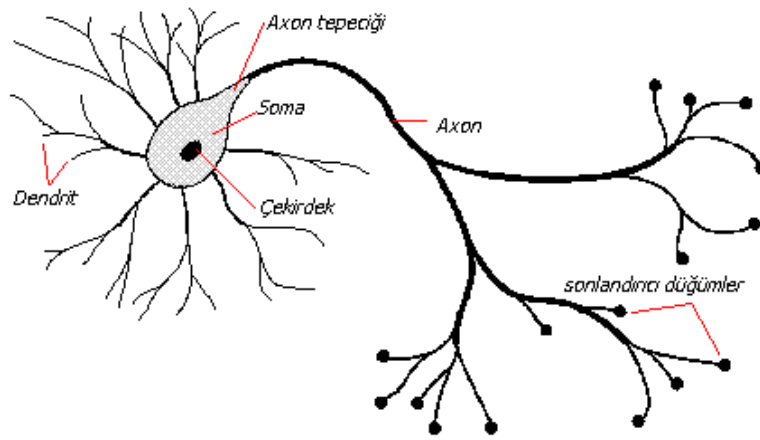
Bir çok öğrenme ağlarında arzu edilen çıkış değeri ile ağın elde ettiği değer arasındaki fark hesaplanır. Bu ham hata değeri, belirli ağ mimarisi içerisinde karşılaştırmak için hata fonksiyonu tarafından değiştirilir. Bu hata, bir önceki tabakaya geriye doğru yayılır. Bu geriye yayılan değer ya geçerli hata ölçümü (aktivasyon fonksiyonunun türevi ile ölçülerek) yada, ağ tipi üzerine bağlı arzu edilen değer olabilir.

### **3.6.6 Öğrenme Fonksiyonu**

Öğrenme fonksiyonun amacı, nöron tabanlı algoritmaya göre her bir işlem elemanının girişleri üzerindeki değişebilir bağlantı ağırlıklarını değiştirmektir (Fırat, 2002).

## **3.7 Sinir Sistemleri**

Biyolojik sinir ağının temel inşaa bloğu olan basit bir sinir hücresi nöron olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde şematik diyagramı gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşur. Soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritler. Dendritler dendritik ağaç biçimindedir, nöron gövdesi civarında uzun çalılar görünümündedirler. Dendritler üzerinden girişler alınır, soma tarafından girişler işlenir. Nörondaki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson dendrit bağlantısı ise synapse olarak adlandırılır. Synapse nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır. Şekil 3.3'te basit bir sinir hücresi görölmektedir.

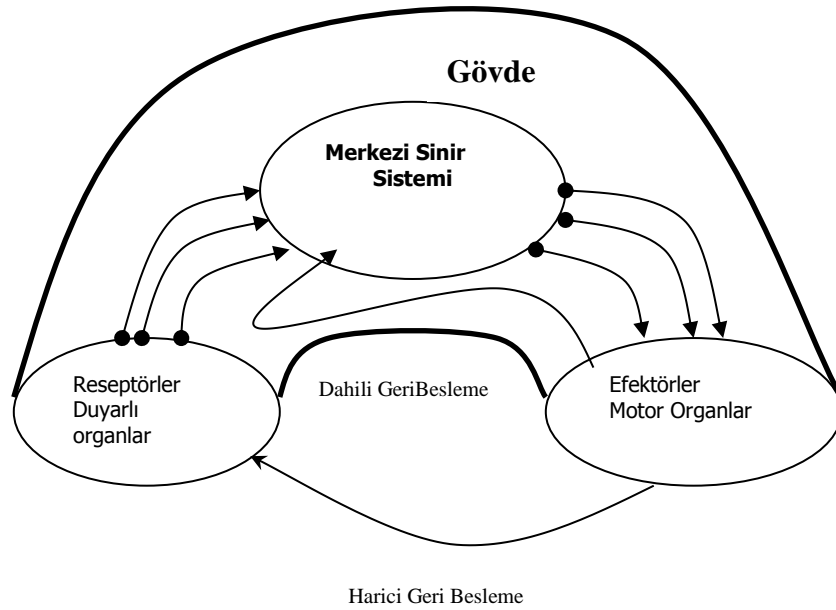


Şekil 3.3: Basit bir sinir hücresi

Bir insanın beyin korteksinde yaklaşık 10 milyar nöron ve yaklaşık 60 trilyon synapse veya bağlantının bulunduğu tahmin edilmektedir. Sonuçta beyin son derece verimli bir yapıdır. Özellikle beynin enerjik verimliliği, her saniyede her bir işlem için yaklaşık  $10^{-16}$  joule'dur, bu değer bugünün en iyi bilgisayarlarında yaklaşık  $10^{-6}$  joule'dur. Beyin son derece kompleks, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır. Beynin nöronları organize etme yeteneği böylece kesin hesaplamaları gerçekleştirmesi (örüntü tanıma, algılama gibi) bugünün en hızlı sayısal bilgisayarlarından daha hızlıdır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı günümüzün bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

Bir hipoteze göre, nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca, nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyni, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebiliriz. Ağa giriş duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu efektörler kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir. Yukarıda belirtildiği gibi sinir sisteminde bilgi akışı üç ana kısımdan oluşmaktadır; reseptörler, sinir ağı ve efektörler.

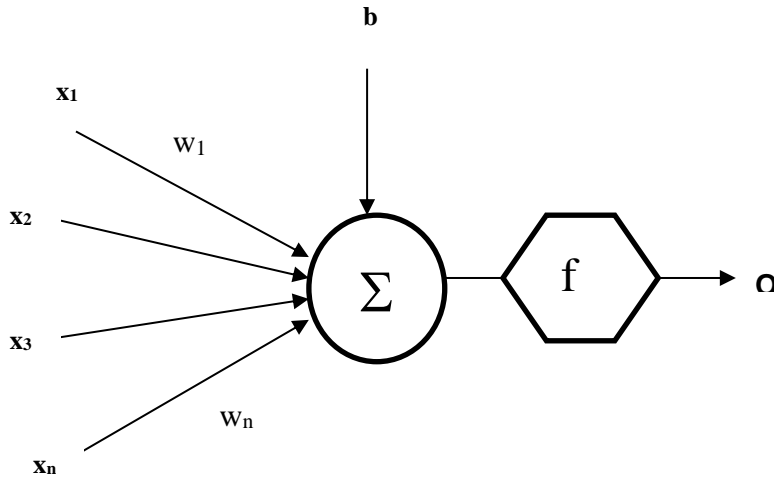
Şekil 3.4'de görüldüğü gibi bilgi işlenmekte, değerlendirilmekte ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırılmaktadır. Gerekli olduğunda komutlar o yerde üretilir ve motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini yönetir ve denetlerler. İç ve dış geri beslemeli kontrolün ikisi de komutlarla gerçekleştirilir. Görüldüğü tüm sinir sisteminin yapısı kapalı-çevrim bir kontrol sistemini andırmaktadır.



Şekil 3.4: Sinir sisteminde bilgi akışı.

### 3.7.1 Yapay Sinir Ağı Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli Şekil 3.5’de görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şekilde görülen “b” bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir.



Şekil 3.5: Temel yapay sinir ağı hücresi.

$$\text{Çıkış, } o = \psi(W.X + b) \quad (3.1)$$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

şeklinde yazılabilir. Formülize edersek;

$$\text{net} = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = \psi(\text{net}) \quad (3.2)$$

$$o = \psi\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (3.3)$$

şeklinde de yazılabilir.

Yukarıdaki formülde görülen ( $\psi$ ) aktivasyon fonksiyonudur. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır.

### 3.7.2 Matematik Sinir Yapısı (Nöronun Matematik Modeli)

#### 3.7.2.1 Nöron Dinamiği

Nöronlar sinir ağlarını oluşturan, tek başlarına ele alındıklarında çok basit bir işleve sahip işlemcilerdir. Bir nöron yapısı içerisinde üç ana bölüm bulunur. Bunlar sırasıyla sinapslar, toplayıcı ve aktivasyon fonksiyonudur. Şekil 3.6'da bir nöronun matematiksel modeli gösterilmektedir.

Bu şekilden de görüleceği gibi, nöron girdileri sinaptik bağıntılar üzerindeki ağırlıklar ile çarpılarak bir toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam, nöronun aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkışlar hesaplanmaktadır. (3.4) denkleminde ağırlıklı toplamın oluşturulması, (3.5) denkleminde ise nöron çıkışının hesaplanması verilmektedir (Efe ve Kaynak, 2000).

$$S = w_1.u_1 + w_2.u_2 + w_3.u_3 + \dots + w_n.u_n - \theta = \sum_{i=1}^n w_i.u_i \quad (3.4)$$

$$o = \psi(S) \quad (3.5)$$

$S$  =Toplam fonksiyon

$u_i$  =Giriş değerleri

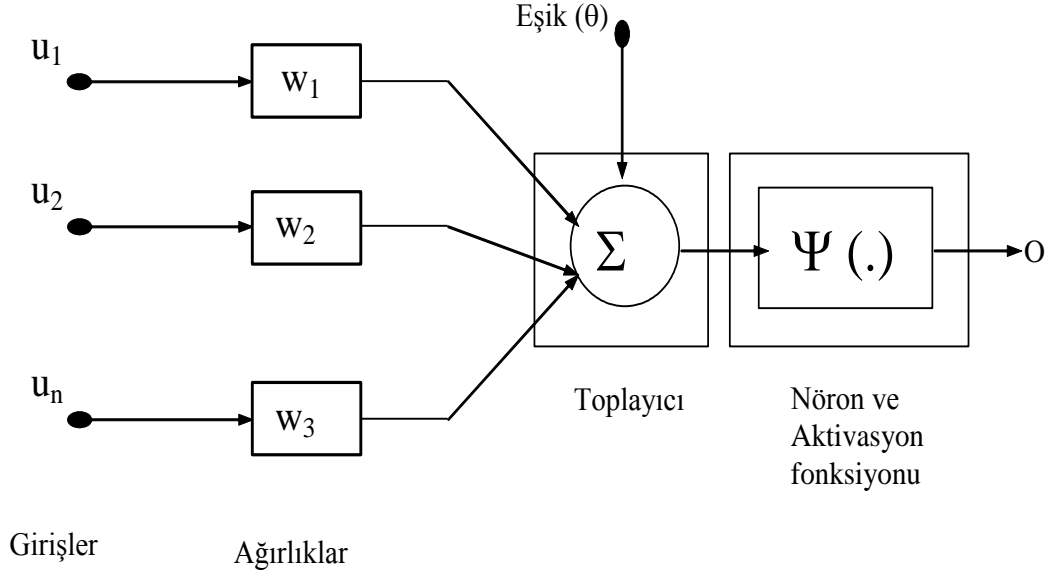
$w_i$  =Ağırlık değeri

$o$  =Çıkış değeri

$\theta$  =Eşik

$\Psi(S)$  =Aktivasyon fonksiyonu

Her bir girdideki değişim, nöron çıkışında belirli bir değişime neden olmakta ve bu değişimin genliği, girdinin etki derecesini belirleyen bağlantı kazançlarına, toplayıcının eşik değerine ve nöron aktivasyon fonksiyonunun tipine bağlıdır. Eşik değerinin kullanımı, pratikte (-1) ya da (+1) değerine sahip sabit bir girdinin ( $\theta$ ) ağırlığına sahip bir bağıntı ile toplayıcıya girdiği şeklinde ele alınır.

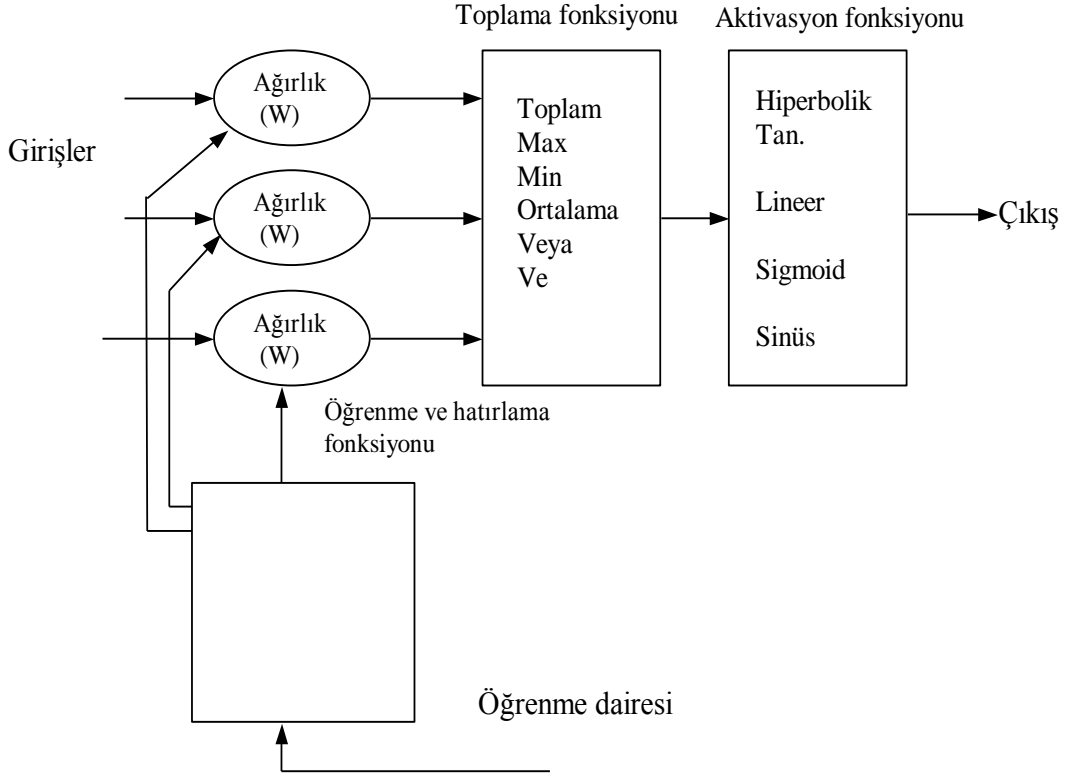


Şekil 3.6: Nöronun Matematik Modeli (Efe ve Kaynak, 2000)

Her nöron gelen sinyalin seviyesine göre açık yada kapalı duruma geçerek basit bir tetikleyici görev üstlenir. Bu işlemleri yaparken nöronlar giriş bilgilerini ağırlandırarak bunları doğrusal toplar ve bir eşik, doğrusal veya doğrusal olmayan bir fonksiyonda işleyerek çıktısını verir. Bu çıktıyı hücreye bağlantısı olan diğer nöronlar giriş bilgileri olarak alırlar.

### 3.7.2.2. Yapay Nöronların Elektronik Çalışması

Günümüzde yapay nöronların "işlem elemanları" diye adlandırılan ve basit yapay nöronlardan daha fazla çalışma yeteneğine sahip olan geçerli yazılım paketleri vardır. Şekil 3.7'de basitleştirilmiş nöronun sistematığı görülmektedir.



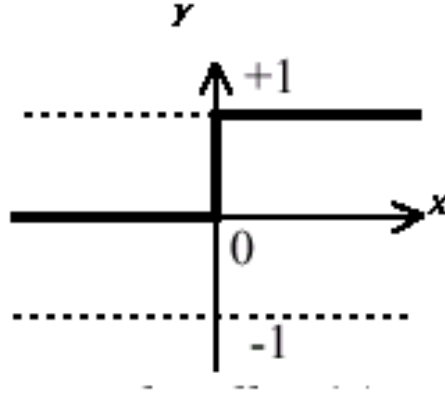
Şekil 3.7: İşlem Elemanının Modeli

Bu şekilde, üst sol kısımda işlem elemanına giriş değerleri girer. Bu işlem, ağırlık faktörü ile artırılmış her bir giriş için ilk adımdır. Daha sonra ağırlıklarla değişmiş olan bu girişler toplama fonksiyonu içine girerler ve mutlak değer olarak toplanır. Burada bir çok farklı işletme tipi seçilebilir. Bu işletmeler, ortalama değerler, en büyük, en küçük gibi ileri çoğalan bir çok değerler üretebilir. Ayrıca bir çok ticari ürünlerin gelişimi yüksek seviyedeki dil (yazılım) kodları vasıtasıyla yazılım mühendislerinin kendi toplam fonksiyonlarını yaratmasına müsaade etmektedir. Bazen toplam fonksiyon aktivasyon fonksiyonunun ilavesi ile daha karmaşık olmaktadır.

Diğer bir durum, aktivasyon fonksiyonun içine gönderilen toplam fonksiyonun çıkışıdır. Aktivasyon fonksiyonları genellikle Sigmoid, Sinüs ve tanjant hiperbolik fonksiyonu ile desteklenir. Bu aktivasyon fonksiyonu çıkış için bir ölçek yada kontrol olabilir. Aktivasyon fonksiyonun sonucu genellikle işlem elemanının direk çıkışı olmaktadır. Sonunda işlem elemanı aktivasyon fonksiyonunun sonucunu okur. Bu çıkış diğer işlem elemanlarının (kendisinden sonra gelen) giriş değeri olmaktadır (Fırat, 2002).

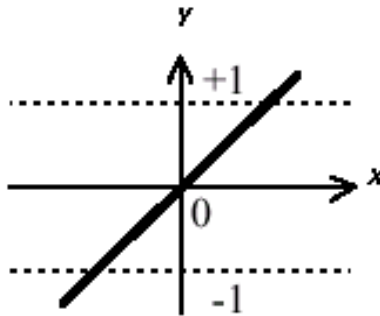
### 3.7.3 Aktivasyon Fonksiyonları

Aşağıda Şekil 3.8’de eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile +1 arasında değişeni ise signum aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Signum aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyükse +1, sıfırdan küçükse -1, sıfıra eşitse sıfır değerini verir.



Şekil 3.8: Eşik aktivasyon fonksiyonu.

Aşağıda verilen Şekil 3.9’da doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir.

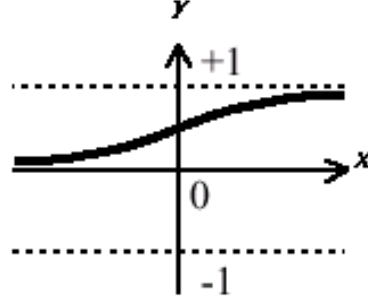


Şekil 3.9: Doğrusal aktivasyon fonksiyonu



$\psi(x) = x$  şeklinde ifade edilir.

Aşağıda verilen Şekil 3.10'da logaritma sigmoid aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir böylece daha sonraki bölümlerde görülecek olan geri yayımlı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.



7

Şekil 3.10:Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

Lojistik fonksiyonu,

$$\psi(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki  $\beta$  eğim sabiti olup genelde (1) olarak seçilmektedir.

Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da doğrusal olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemini aşağıda görüldüğü gibidir.

$$\psi(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.7)$$

Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır.

### 3.7.4 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

1990'lı yıllardan bugüne gelinceye kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları temelde üç grupta toplanmaktadır. Eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları.

Eğitici (supervised) öğrenmede, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin arzu edilen cevabı (y) eğitici tarafından sağlanır. Arzu edilen çıkış (y) ile sinir ağı çıkışı (o) arasındaki fark hata ölçüsüdür ve ağ parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi süresince eğitici ödüllendirme-cezalendirme şemasını ağa uygulayarak hatayı azaltır. Bu öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi eğitim kümesi olarak adlandırılır.

Eğitici öğrenmede, eğitici öğrenmedeki gibi arzu edilen (y) çıkışları bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini ağın davranışını değiştirmekte kullanmak mümkün değildir. Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır. Aslında eğitici öğrenme demek doğru değildir, çünkü eğitici öğrenme gerçekte mümkün değildir. Eğitici öğrenme her öğrenme adımında dahil olmamasına rağmen, amaçları ayarlamaktadır.

Takviyeli öğrenmede, ağın davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir.

Birçok öğrenme algoritmasının bulunmasından dolayı bu kısımda sadece en popüler öğrenme algoritması olan hatayı geriye yayma algoritması anlatılacaktır.

### 3.7.5 Hatayı Geriye Yayma Algoritması

Bir sinir ağı; ağın mimarisi, bir nörondaki aktivasyon fonksiyonu ve eğitim algoritması ile karakterize edilir. Çok tabakalı sinir ağlarının eğitimi için genellikle kullanılan eğitim algoritması hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasıdır (Arslan ve diğ., 1994).

Türevi alınabilir aktivasyon fonksiyonu ile herhangi bir ileri beslemeli sinir ağı için kullanılabilir. Eğer toplam hata fonksiyonu gibi ağ çıkışlarının her bir için de bir hata

fonksiyonu tanımlarsak, hata fonksiyonu, ağırlıkların diferansiyel fonksiyonu olur. Bu nedenle ağırlıklar ile hatanın türev değerini bulabiliriz. Bu teknik, Rumelhart, Hinton ve Williams tarafından geliştirilmiştir.

Bu türevler, eğim düşümü yada optimizasyon metodu ile minimum hata fonksiyonunun ağırlıklarını bulmak için kullanılabilir. Hata fonksiyonunun türev değeri için kullanılan algoritma hatayı ağ içerisinde geriye doğru yaydığı için “*hatayı geriye yayma*” algoritması olarak bilinir (Dağlı, 1994).

Yapay sinir ağlarının parametrelerinin güncellenmesi için literatürde en çok kullanılan yöntem hatayı geriye yayma yöntemidir. Ses tanıma problemlerinden nonlinear sistem tanılama ve denetimi problemlerine kadar yapay sinir ağları ile çözüm üretilen bir çok alanda başarı ile kullanılan bu yöntem, quadratik bir maliyet fonksiyonunun zaman içerisinde, ağ parametrelerinin uyarlanması ile minimizasyonuna dayanmaktadır.

### 3.7.5.1 En Küçük Kareler Yöntemi

Yöntemin temel prensibi, her bir nokta için nöron cevabındaki hatanın anlık olarak minimizasyonuna dayanmaktadır. Bu amaçla literatürde eğim düşümü olarak bilinen yöntemden bahsedilmekte ve yapay sinir ağlarının parametrelerinin uyarlanmasında sıklıkla kullanılmaktadır.

Belirli bir giriş değeri için istenen nöron cevabı ( $d$ ), bu girdi için nöronun üretmiş olduğu cevap ( $o$ ) ile gösterilsin ve hata ölçütü ;

$$e = d - o \quad (3.8)$$

olarak tanımlanır. Eğim düşüm yönteminin temeli (3.9) aşağıdaki denklemi ile verilen ve ( $J_r$ ) sembolü ile gösterilen maliyet fonksiyonunun kurulmasına ve bu fonksiyonun, nöron parametrelerinin uyarlanması ile minimize edilmesine dayanır.

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot (d - o)^2 = \frac{1}{2} \cdot e^2 \quad (3.9)$$

Yukarıdaki quadratik denklem, sınıflandırma problemi için ele alınan 2 girişli nöron için açık biçimde yazılırsa (3.11) yada (3.12) ile verilen quadratik denklem elde edilir.

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot (d - (w_1 \cdot u_1 + w_2 \cdot u_2 - \theta))^2 \quad (3.10)$$

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot (d^2 - 2 \cdot d \cdot (w_1 \cdot u_1 + w_2 \cdot u_2 - \theta) + (w_1 \cdot u_1 + w_2 \cdot u_2 - \theta)^2) \quad (3.11)$$

Yukarıdaki denklemden de açıkça görülebileceği gibi ( $J_r$ ) fonksiyonu ( $w_1$ ), ( $w_2$ ) parametrelerine göre üç boyutta çizdirildiğinde tek minimumu noktası olan fonksiyon olup parametre vektörlerinin sadece biri için en küçük değerini alır.

En küçük karesel hataya için maliyet fonksiyonunun, uyarılanacak parametreye göre kısmi türevinin gösterdiği yönün tersi, zaman içerisinde bu fonksiyonu en iyi minimize eden değerlere doğru yaklaşır ve bu, eğim düşümü yöntemi olarak bilinir. İki ağırlığı olan bir nöronun parametre güncelleme denklemleri bu kurala göre aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\Delta w_1 = -\alpha \cdot \frac{\partial J_r}{\partial w_1} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial o}{\partial w_1} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial o}{\partial S_1} \cdot \frac{\partial S_1}{\partial w_1} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial S_1} \cdot u_1 \quad (3.12)$$

$$\Delta w_2 = -\alpha \cdot \frac{\partial J_r}{\partial w_2} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial o}{\partial w_2} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial o}{\partial S_2} \cdot \frac{\partial S_2}{\partial w_2} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial S_2} \cdot u_2 \quad (3.13)$$

$$\Delta \theta = -\alpha \cdot \frac{\partial J_r}{\partial \theta} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial o}{\partial \theta} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial o}{\partial S_1} \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \theta} = \alpha \cdot e \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial S_1} \cdot (\pm 1) \quad (3.14)$$

Burada ( $\alpha$ ) değişkeni  $[0,1]$  aralığında seçilen reel bir sayıdır ve adım büyüklüğünü belirler. Literatürde bu parametre öğrenme derecesini gösteren katsayısı olarak da bilinmektedir.

Yukarıdaki verilen üç denklemden anlaşılacağı gibi eğim düşümü yönteminin kullanılabilmesi için kullanılan aktivasyon fonksiyonunun sürekli ve birinci dereceden türevlenebilir olması gereklidir. (3.11) denklemindeki son terim, eşik değerinin toplayıcıya ne şekilde girdiği ile ilişkili olarak (+1) yada (-1) değerlerini alabilmektedir. Ancak, pratikte

genellikle (-1) değeri kullanılmakta ve başlangıçtaki eşik değerleri aşağıdaki biçimde ağırlıkların değerlerini ve yeni eşik değerlerini etkilemektedir (Efe ve Kaynak, 2000).

$$w_1^{yeni} = w_1^{eski} + \Delta w_1 \quad (3.15)$$

$$w_2^{yeni} = w_2^{eski} + \Delta w_2 \quad (3.16)$$

$$\theta^{yeni} = \theta^{eski} + \Delta \theta \quad (3.17)$$

### 3.7.5.2 Yöntemin Dayandığı Metodoloji

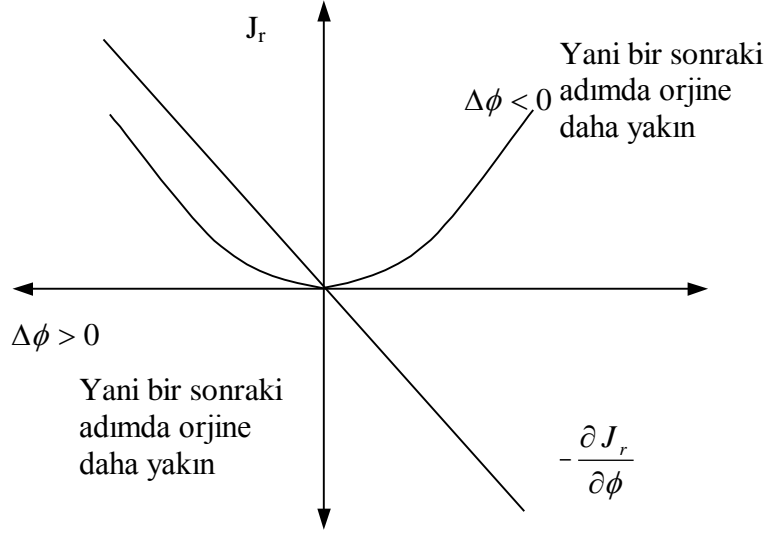
Hataı geriye yayma yönteminin temel felsefesi eğitim düşüm yöntemine yani (3.18) denklemleri ile verilen tek parametrelili bir maliyet fonksiyonunun en küçük değerini aldığı noktanın (3.19) bağıntısıyla verilen kural ile iteratif olarak bulunabilmesine dayalıdır.

Bunu açıklayabilmek için (3.18) denkleminde verilen fonksiyon ile (3.16) denkleminde görülen kısmi türev aynı eksenler üzerinde Şekil 3.11'deki gibi gösterilsin.

Her bir iterasyonda fonksiyonun minimum noktasına daha çok yaklaşacağı bu şekilde kolayca görülebilmektedir.

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot \phi^2 \quad (3.18)$$

$$\Delta \phi = -\alpha \cdot \frac{\partial J_r}{\partial \phi} \quad (3.19)$$



Şekil 3.11: Eğim Düşümü Yönteminin Grafiksel Yorumu (Efe ve Kaynak, 2000)

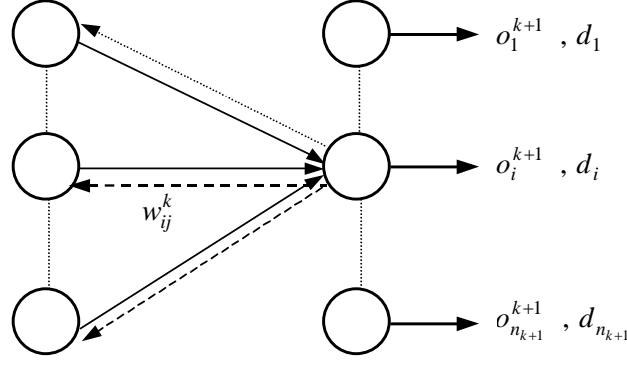
Yukarıda verilen şekilde parametrenin negatif olduğu bölgede sağa, pozitif olduğu bölgede sola doğru bir hareket söz konusudur. Burada önem kazanan bir nokta,  $(\alpha)$  değişkenin değeridir. Pratikte öğrenme katsayısı ya da adım büyüklüğü olarak bilinen bu değer çok küçük ise, hata uzunca bir süre içerisinde orijine doğru yakınsarken, büyük bir değer orijin etrafında salınımlara hatta ıraksamaya neden olabilir. Daha açık şekliyle, orijine soldan yaklaşırken verilen değişim miktar parametreyi sağ tarafa geçiriyorsa ve yeni değer tekrar sol tarafa döndürüyorsa bir salınım söz konusudur. Katman ve nöron sayısı gibi adım büyüklüğünün seçimi de bir çok uygulamada deneme yanılma ile yapılır.

### 3.7.5.3 Matematiksel Türetim ve Analiz

Hatayı yayma yönteminin türetimi için (3.20) ile verilen maliyet fonksiyonu minimize edilmelidir. Bu amaçla (3.21) denklemi ile verilen parametre güncelleme formülü kullanılır. (3.21) denkleminde  $\nabla_w$  sembolü ( $w$ ) parametresine göre kısmi türevi göstermektedir.

Yöntemin türetimi, çıkış katmanındaki nöronların parametreleri için farklı, gizli katmanlardaki nöronların parametreleri için farklı bir formülasyon ortaya çıkarır. Bu nedenle aşağıdaki bu iki durum birbirinden ayrı olarak ele alınmıştır.

Türetim için Şekil 3.12'de verilen çıkış katmanı göz önüne alınsın. Bu katmanın  $(k+1)$ . katman olduğu ve  $(n_{k+1})$  sayıda nöron içerdiği varsayılarak türetim aşağıdaki şekilde yapılır.



Şekil 3.12: Çıkış Katmanında Hatanın Geriye Yayılması

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n_{k+1}} (d_i - o_i)^2 \quad (3.20)$$

$$\Delta_w = -\alpha \cdot \nabla_w \cdot J_r \quad (3.21)$$

$J_r$  : Maliyet fonksiyonu

$d_{i_{k+1}}$  : Ağın ( $i$ ). çıkışı için istenen çıkış değeri

$o_i^{k+1}$  : ( $k+1$ ). katmandaki ( $i$ ). nöron ile ( $k$ ). katmandaki ( $j$ ). nöronu birleştiren ağırlık

$S_i^{k+1}$  : ( $k+1$ ). katmanın ( $i$ ). nöronunun girişinde net toplam

Yukarıdaki türev, zincir kuralının kullanımıyla (3.22) denkleminde verildiği üzere üç çarpan oluşacak şekilde açılabilir. Bu çarpanların açılımı sırasıyla (3.23), (3.24) ve (3.25) denklemlerinde verilmiştir.

$$\frac{\partial J_r}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} \cdot \frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} \cdot \frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = -(d_i - o_i^{k+1}) \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} = \frac{d\Psi(S_i^{k+1})}{dS_i^{k+1}} = \Psi'(S_i^{k+1}) \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial}{\partial w_{ij}^k} \left[ \sum w_{ij}^k \cdot o_j^k \right] = o_j^k \quad (3.25)$$

Eğer (3.26) ile verilen kısmi türev, delta değeri olarak tanımlanırsa, çıkış katmanındaki nöronlar ile delta değerinin genel hali (3.27) denkleminde verilen biçimde, parametredeki değişim miktarı ise (3.28) denkleminde verilen biçimde olacaktır.

$$\delta_i^{k+1} = -\frac{\partial J_r}{\partial S_i^{k+1}} \quad (3.26)$$

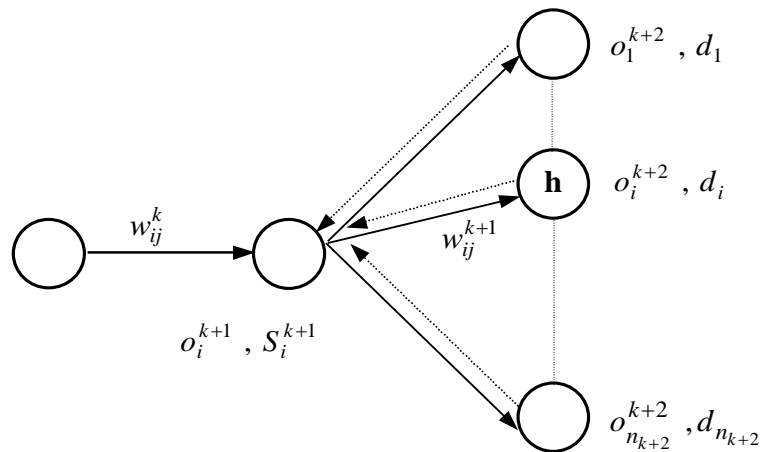
$$\delta_i^{k+1} = (d_i - o_i^{k+1}) \cdot \Psi'(S_i^{k+1}) \quad (3.27)$$

$$\Delta w_{ij}^k = \alpha \cdot \delta_i^{k+1} \cdot o_j^k \quad (3.28)$$

Yukarıdaki parametre güncelleme kuralı bir çıkış nöronundan gelen hata bilgisini kullanarak bu hataların toplamından oluşan maliyeti, uyarlanabilir parametreleri güncelleyerek minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Gizli katmandaki nöronların parametrelerinin güncellenmesi gerektiğini gösterebilmek için (3.20) denklemi (3.29) denklemi olarak tekrar ele alınsın.

$$\frac{\partial J_r}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} \cdot \frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} \cdot \frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} \quad (3.29)$$



Şekil 3.13: Gizli Katmanlar Boyunca Hatanın Yayılımı



Denklem (3.29)'de kısmi türevi oluşturan terimler, Şekil 3.13'de gösterildiği üzere, değişik yollardan gelebilir. Bu durum (3.29) denklemindeki zincir kuralının ilk teriminin açık hali olan (3.30) denkleminde de görülmektedir. Aynı terimin daha açık ifadeleri (3.31) ve (3.32) denklemlerinde de verilmektedir.

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \frac{\partial J_r}{\partial S_h^{k+1}} \cdot \frac{\partial S_h^{k+1}}{\partial o_i^{k+1}} \quad (3.30)$$

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \left[ \frac{\partial J_r}{\partial S_h^{k+1}} \cdot \frac{\partial}{\partial o_i^{k+1}} \left( \sum_{i=1}^{n_{k+1}} w_{hi}^{k+1} \cdot o_i^{k+1} \right) \right] \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \frac{\partial J_r}{\partial S_h^{k+1}} \cdot w_{hi}^{k+1} \quad (3.32)$$

Çıkış katmanı için yapıldığı gibi, gizli katmanlar için de (3.33) ile verilen delta değerleri tanımlanabilir.

$$\delta_i^{k+1} = - \frac{\partial J_r}{\partial S_i^{k+1}} \quad (3.33)$$

Bu tanımın kullanılması ile (3.29) denkleminin ilk terimi (3.34) denkleminde gösterilen biçimde yazılabilir. (3.35) ve (3.36) denklemleri ise, (3.29) denkleminde görülen ikinci ve üçüncü terimlerin daha açık ifade edilmiş durumlarıdır. Elde edilen terimler birleştirilirse, (3.37)'deki delta değerlerine ve (3.38) 'deki parametre güncelleme kuralına ulaşılır.

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = - \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \delta_h^{k+2} \cdot w_{hi}^{k+1} \quad (3.34)$$

$$\frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} = \frac{d \Psi(S_i^{k+1})}{d S_i^{k+1}} = \Psi'(S_i^{k+1}) \quad (3.35)$$

$$\frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} = o_j^k \quad (3.36)$$

$$\delta_i^{k+1} = \left( - \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \delta_h^{k+2} \cdot w_{hi}^{k+1} \right) \Psi'(\partial S_i^{k+1}) \quad (3.37)$$

$$\Delta w_{ij}^k = \alpha \cdot \delta_i^{k+1} \cdot o_j^k \quad (3.38)$$

Yukarıda detaylı olarak anlatılan hatayı geriye yayma yöntemini özetleyerek işlem sırasını kısaca açıklamak için bir sayısal örnek verelim. Bu sayısal örneğe geçmeden önce hatayı geriye yayma algoritmasının işlem sırasını kısaca açıklayalım. Hatayı geriye yayma doğrusal olmayan bir işlemdir. İleri beslemeli ağ ile bir veya daha fazla gizli katman vardır. Geriye yayma ağının eleman mimarisi üç katmandan oluşur. (Giriş, Gizli ve Çıkış katmanı). Ağda birden fazla gizli katman olabilir. Burada aşağıdaki sıra takip edilerek hatayı geriye yayma işlemi yapılır (Dağlı, 1994).

1. İlk önce ağdaki her bir nöronun çıkış değerleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$o_i = \psi \left( \sum_{j=1}^n u_j \cdot w_{ij} - \theta_i \right) \quad (3.39)$$

2. Daha sonra ağın hatası hesaplanır.

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^k (d_i - o_i)^2 \quad (3.40)$$

3. Çıkış tabakası için ağırlık değerlerinin değişimleri,

$$\Delta w_{ji} = \alpha \cdot \delta_j \cdot o_i \quad (3.41)$$

$$\delta_j = (d_j - o_j) \cdot \Psi'(net_j) \quad (3.42)$$

4. Gizli tabakalar için ağırlık değerlerini değişimi,

$$\Delta w_{ji} = \alpha \cdot \delta_j \cdot o_i \quad (3.43)$$

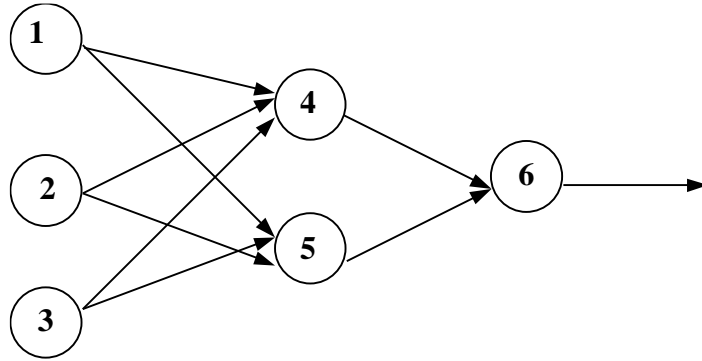
$$\delta_j = \sum_k (\delta_k \cdot w_{kj}) \cdot \Psi'(net_j) \quad (3.44)$$

5. Değişen değerlere göre ağırlıkların güncellenmesi,

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij} \quad (3.45)$$

6. Bu adımlar toplam hata kabul edilebilir değere gelinceye kadar tekrarlanır.

Yukarıda işlem sırası kısaca açıklanan hatayı geriye yayma yöntemine sayısal bir örnek verelim. Örneğimizde sinir ağ mimarimiz üç katmandan oluşsun ve öğrenme derecesi 0,3 olsun.



Şekil 3.14: Örnek İçin Sinir Ağ Mimarisi

1. Ağırlık katsayıları ve eşik değeri rastgele seçilir:

Birinci katmandaki nöronlara ait ağırlık katsayıları ve eşik değerleri;

$$W' = \begin{bmatrix} 0,058 & -0,249 \\ -0,281 & -0,332 \\ 0,352 & 0,471 \end{bmatrix}$$

$$\theta' = [ -0,187 \quad 0,478 ]$$

Gizli tabakadaki nöronlara ait ağırlık katsayıları ve eşik değerleri;

$$W'' = \begin{bmatrix} 0,231 \\ -0,399 \end{bmatrix}$$

$$\theta'' = [0,399]$$

2. Ağa giriş örneği ve çıkış cevabı verilir:

Giriş ve çıkış değerleri 0-1 arasında normalize edilir.

Girişler :Devre Süresi=84sn(normalize değer:0,2)

:Kırmızı Süre=49sn(normalize değer:0,34)

:Trafik Hacmi=108 ta/sa(normalize değer:0,085)

Çıkış :Gecikme=15,67sn(normalize değer:0,079)

$$u = [0,20 \quad 0,34 \quad 0,085]$$

$$d = [0,079]$$

3. Gizli tabakadaki çıkış hesaplanır:

Giriş katmanındaki nöronlardan gizli katmandaki (4) nolu nörona gelen toplam fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_4 = 0,20 * 0,058 + 0,34 * (-0,281) + 0,085 * 0,352 - 0,187 = -0,24102$$

Benzer şekilde (5) nolu nörona gelen toplam fonksiyon değeri hesaplanır.

$$S_5 = 0,20 * (-0,249) + 0,34 * (-0,332) + 0,085 * 0,471 + 0,478 = 0,35585$$

Gizli katmandaki her bir nörona gelen toplam fonksiyon değerlerini hesapladıktan sonra bu toplam fonksiyon aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek giriş katmanından gelen çıkış değerleri hesaplanır. Bilindiği gibi bir önceki nöronun çıkış değeri kendisinden sonra gelen nöronun giriş değeri olmaktadır. Burada hesaplanan çıkış değerleri sırasıyla gizli katmandaki (4) ve (5) nolu düğümler için giriş değerleri olmaktadır.

Giriş katmanından gelen çıkış değerleri;

$$o_1 = \frac{1}{1 + e^{-s_4}} = \frac{1}{1 + e^{-(-0,24102)}} = 0,440$$

$$o_2 = \frac{1}{1 + e^{-s_5}} = \frac{1}{1 + e^{-0,35535}} = 0,587$$

$$o = (0,440 \quad 0,587)$$

#### 4. Çıkış tabakasındaki çıkışın hesaplanması:

Hesaplanan bu çıkışlar gizli katmandaki nöronlara ait giriş değerleri olmaktadır. Bunlar yardımıyla gizli katmanın çıkışı hesaplanabilir.

$$S_6 = 0,440 * 0,231 + 0,587 * (-0,399) + 0,399 = 0,266$$

$$o_3 = \frac{1}{1 + e^{-s_6}} = \frac{1}{1 + e^{-0,266}} = 0,566$$

Hesaplanan bu çıkış değeri bizim ağımızın sonuç değeridir. Yani ağın başlangıç değerlerine göre üretmiş olduğu çıktıdır. Bu çıkış değeri başlangıçta verilen ulaşmak istediğimiz çıkış değeri ile karşılaştırılarak ağın hatası bulunur.

#### 5. Ağın hatası hesaplanır:

Ağ çıkışı hesaplandıktan sonra ağın hatası bulunur ve eğer bu hata değeri bizim istediğimiz sınırlar içinde değilse bu hata değerini hatayı geriye yayma yöntemi ile dağıtmak gerekmektedir. Bunun içinde aktivasyon fonksiyonunun türevi ve arzu edilen çıkış ile ağın verdiği çıkış arasındaki farkın kullanılması ile  $\delta$  hesaplanır.

$$\delta_j = (y_j - o_j) * \psi'(net_j)$$

Aktivasyon fonksiyonu;

$$\psi(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}}$$

Aktivasyon fonksiyonunun türevi ise;

$$\psi'(s) = \frac{e^{-s}}{(1 + e^{-s})^2}$$

$$\psi'(0,566) = \frac{e^{-0,566}}{(1 + e^{-0,566})^2} = 0,231$$

Arzu edilen çıkış ile ağın verdiği çıkış arasındaki fark;

$$e = (d - o) = (0,079 - 0,566) = -0,487$$

$$\delta_j = (-0,487 * 0,231) = -0,11249$$

6. Gizli katmandaki ağırlık matrisinin değişiminin ( $\Delta w''$ ) hesaplanması:

$$\Delta w_{ji} = \alpha * \delta_j * o_i$$

$$\Delta w'' = \begin{bmatrix} 0,3 * (-0,11249) * 0,440 = -0,0148 \\ 0,3 * (-0,11249) * 0,587 = 0,0198 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta w'' = \begin{bmatrix} -0,0148 \\ -0,0198 \end{bmatrix}$$

7.  $\delta'$  hesaplanır:

$$\delta' = \delta_j'' * w'' * \psi'(o_i)$$

$$\delta' = \begin{bmatrix} (-0,11249) * 0,231 * \psi'(0,440) = -0,00619 \\ (-0,11249) * (-0,399) * \psi'(0,587) = 0,0103 \end{bmatrix} \Rightarrow \delta' = [-0,00619 \quad 0,0103]$$

8. Giriş katmanındaki ağırlık matrisi değişiminin ( $\Delta w'$ ) hesaplanması:

$$\Delta w' = u * \alpha * \delta'$$

$$\begin{aligned} \Delta w' &= 0,20 * 0,3 * (-0,00619) = -0,000371 \\ &= 0,34 * 0,3 * (-0,00619) = -0,000631 \\ &= 0,085 * 0,3 * (-0,00619) = -0,000157 \\ \\ &= 0,20 * 0,3 * 0,0103 = 0,000618 \\ &= 0,34 * 0,3 * 0,0103 = 0,00105 \\ &= 0,085 * 0,3 * 0,0103 = 0,000262 \end{aligned}$$

$$\Delta w' = \begin{bmatrix} -0,000371 & 0,000618 \\ -0,000631 & 0,00105 \\ -0,000157 & 0,000262 \end{bmatrix}$$

9. Ağırlık matrisleri güncelleştirilir:

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij}$$

$$w' = \begin{bmatrix} 0,058 - 0,000371 & -0,249 + 0,000618 \\ -0,281 - 0,000631 & -0,332 + 0,00105 \\ 0,352 - 0,000157 & 0,471 + 0,000262 \end{bmatrix} \Rightarrow w' = \begin{bmatrix} 0,057629 & -0,24838 \\ -0,28163 & -0,33095 \\ 0,35184 & 0,47126 \end{bmatrix}$$

$$w'' = \begin{bmatrix} 0,231 - 0,0148 \\ -0,399 - 0,0198 \end{bmatrix} \Rightarrow w'' = \begin{bmatrix} 0,2162 \\ -0,4188 \end{bmatrix}$$

Yeni ağırlık katsayılarına göre tekrar gizli tabakadaki çıkış hesaplanır.

1. Birinci katmandaki nöronlara ait yeni ağırlık katsayısı ve eşik değerleri:

$$w' = \begin{bmatrix} 0,057629 & -0,24838 \\ -0,28163 & -0,33095 \\ 0,35184 & 0,47126 \end{bmatrix}$$

$$\theta' = [-0,187 \quad 0,478]$$

Gizli tabakadaki yeni ağırlık katsayıları ve eşik değeri;

$$w'' = \begin{bmatrix} 0,2162 \\ -0,4188 \end{bmatrix}$$

$$\theta'' = [0,399]$$

2. Ağa giriş örneği ve çıkış cevabı verilir:

$$u = [0,20 \quad 0,34 \quad 0,085] \quad d = [0079]$$

3. Gizli tabakadaki çıkış hesaplanır:

$$S_4 = 0,20 * 0,057629 + 0,34 * (-0,28163) + 0,085 * 0,35184 - 0,187 = -0,24132$$

$$S_5 = 0,20 * (-0,24838) + 0,34 * (-0,33095) + 0,085 * 0,47126 + 0,478 = 0,35585$$

$$o_1 = \frac{1}{1 + e^{-54}} = \frac{1}{1 + e^{-(-0,24132)}} = 0,439$$

$$o_2 = \frac{1}{1 + e^{-55}} = \frac{1}{1 + e^{0,35585}} = 0,588$$

$$o = (0,439 \quad 0,588)$$

4. Çıkış tabakasındaki çıkışın hesaplanması:

$$S_6 = 0,439 * 0,231 + 0,588 * (-0,399) + 0,399 = 0,265$$



$$o_3 = \frac{1}{1 + e^{-56}} = \frac{1}{1 + e^{-0,265}} = 0,565$$

5. Ağın hatası hesaplanır:

$$\psi'_s = \frac{e^{-s}}{(1 + e^{-s})^2}$$

$$\psi'(0,565) = \frac{e^{-0,565}}{(1 + e^{-0,565})^2} = 0,23106$$

$$e = (d - o) = (0,079 - 0,565) = -0,486$$

$$\delta_j = -0,486 * 0,23106 = -0,11229$$

6. Gizli katmandaki ağırlık matrisinin değişiminin ( $\Delta w''$ ) hesaplanması:

$$\Delta w_{ji} = \alpha * \delta_j * o_i$$

$$\Delta w'' = \begin{bmatrix} 0,3 * (-0,11229) * 0,439 = -0,0147 \\ 0,3 * (-0,11229) * 0,588 = -0,0198 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta w'' = \begin{bmatrix} -0,0147 \\ -0,0198 \end{bmatrix}$$

7.  $\delta'$  hesaplanır:

$$\delta' = \delta_j'' * w'' * \psi'(o_i)$$

$$\delta' = \begin{bmatrix} (-0,11229) * 0,231 * \psi'(0,439) = -0,00618 \\ (-0,11229) * (-0,399) * \psi'(0,588) = 0,0102 \end{bmatrix} \Rightarrow \delta' = [-0,00618 \quad 0,0102]$$

8. Giriş katmanındaki ağırlık matrisi değişiminin ( $\Delta w'$ ) hesaplanması:

$$\Delta w' = u * \alpha * \delta'$$

$$\begin{aligned}\Delta w' &= 0,20 * 0,3 * (-0,00618) = -0,000370 \\ &= 0,34 * 0,3 * (-0,00618) = -0,000630 \\ &= 0,085 * 0,3 * (-0,00619) = -0,0001575\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 0,20 * 0,3 * 0,0102 = 0,000612 \\ &= 0,34 * 0,3 * 0,0102 = 0,00104 \\ &= 0,085 * 0,3 * 0,0102 = 0,000260\end{aligned}$$

$$\Delta w' = \begin{bmatrix} -0,000370 & 0,000612 \\ -0,000630 & 0,00104 \\ -0,0001575 & 0,000260 \end{bmatrix}$$

9. Ağırlık matrisleri güncelleştirilir:

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij}$$

$$w' = \begin{bmatrix} 0,058 - 0,000370 & -0,249 + 0,000612 \\ -0,281 - 0,000630 & -0,332 + 0,00104 \\ 0,352 - 0,0001575 & 0,471 + 0,000260 \end{bmatrix} \Rightarrow w' = \begin{bmatrix} 0,05763 & -0,24838 \\ -0,28163 & -0,33096 \\ 0,35184 & 0,47126 \end{bmatrix}$$

$$w'' = \begin{bmatrix} 0,231 - 0,0147 \\ -0,399 - 0,0198 \end{bmatrix} \Rightarrow w'' = \begin{bmatrix} 0,2163 \\ -0,4188 \end{bmatrix}$$

Bu işlem hata değeri kabul edilebilir düzeye erişinceye kadar tekrar edilir ve istenen hata düzeyinde nihai sonuç hesaplanmış olur.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

# İZOLE KAVŞAK PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ

## 4.1 Sinyalizasyon Hesap Yöntemleri

### 4.1.1 Avustralya Yöntemi ile Sinyalizasyon Hesabı

Avustralya yöntemi ile, sinyalize kavşaklardaki trafiğin kapasite ve zaman gerekleri analiz edilmektedir. Bu yöntem ile geleneksel tekniklere yeni boyutlar kazandıracak değişiklikler getirilerek, faz ilişkili metot yerine akım ilişkili metot kullanılmaktadır. Bu değişikliğin önemli bir görünümü olarak faz kayıp zamanı yerine, akım kayıp zamanının kullanımı ifade edilebilir.

Ayrıca bu yöntemde akımlar ve fazların temel içerikleri tanımlanarak; doyum akım, etkin yeşil süre, kayıp süre, akım oranı, ve doyumluk derecesi gibi akım ve kavşak parametreleri tanımlanmıştır.

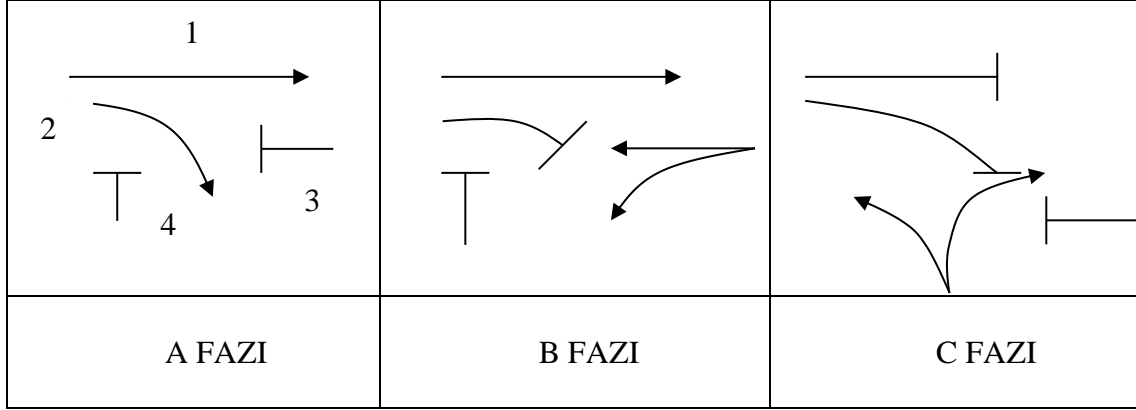
#### 4.1.1.1 Akımlar ve Fazlar

Sinyal fazı, sinyalize bir kavşağın etkin işletimi ve güvenliğinin belirlenebildiği temel kontrol mekanizmasıdır. Sinyalizasyon teknolojisindeki son gelişmeler oldukça esnek fakat aynı zamanda karmaşık sinyal fazlarının seçilmesine imkan vermektedir. Dolayısıyla trafik akımları ve sinyal fazlarının birbirleriyle olan ilişkilerini anlamak oldukça önemlidir.

Sinyalize kavşaklardaki yaklaşım kolundaki trafik akımları yönleri, şerit işgali ve faz durumları ile ifade edilir. Trafik akımlarının geçiş hakkı almaları sinyal faz sistemi ile belirlenir. Bir sinyal faz sistemi çeşitli araç ve yaya akımlarına nasıl geçiş sırası verileceğini belirler.

Sinyalize bir kavşakta faz sisteminin seçimi kavşağın geometrisine ve dönen trafik akımlarının derecesine göre tespit edilir. Sinyal fazı tasarımı ile beklenen akımların karşılaşmasını azaltarak trafik kazalarını minimuma indirmek, bunun yanında aynı zamanda gecikmeleri, kuyruk uzunluklarını ve durma sayılarını azaltarak kavşağın etkin işletimini

maksimize etmektir. Bir faz, başlangıcında en az bir akımın geçiş hakkı alması ve de bitiminde en az bir akımın geçiş hakkının sona ermesi ile tanımlanabilir. Birden fazla fazda geçiş hakkı alan akımlara tekrarlı akımlar denir.



Şekil 4.1: Örnek Faz Diyagramı (Murat, 1996)

Bir faz sistemi faz-akım matrisi ile tanımlanabilir. Faz-akım matrisi her bir akımın faz numaraları ile her bir hareketin ne zaman başlayıp ne zaman sona erdiğini belirtir. Şekil 4.1'deki faz diyagramına göre faz-akım matrisi Çizelge 4.1'deki gibi gösterilebilir.

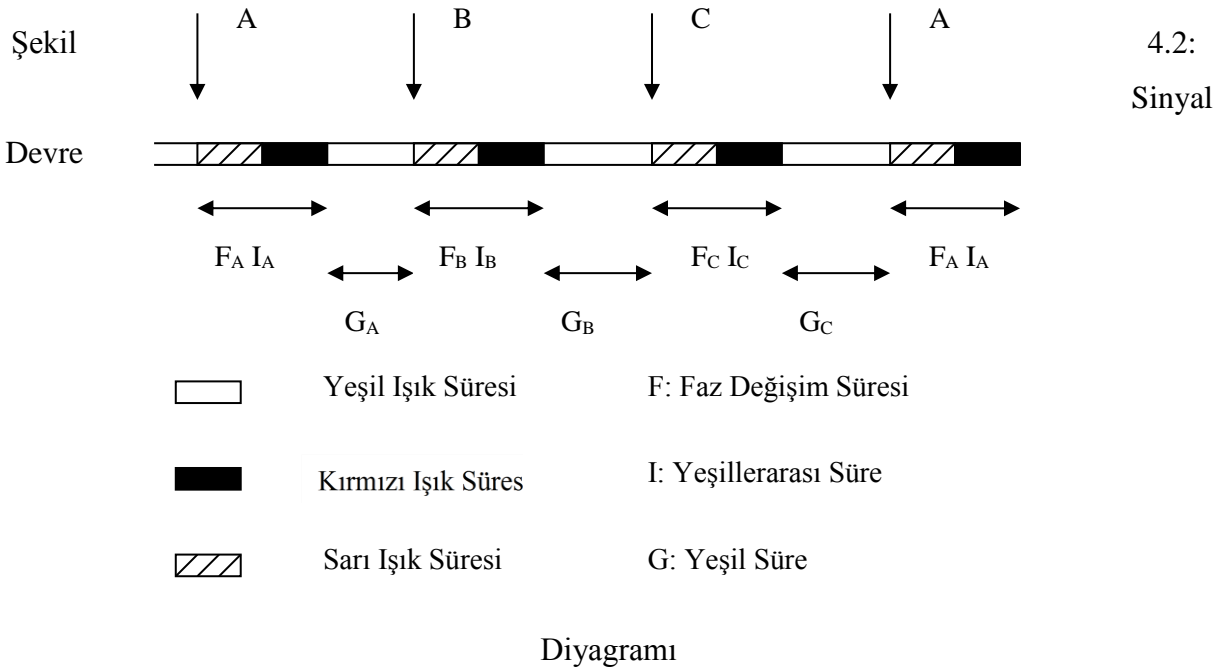
Çizelge 4.1: Faz-Akım Matrisi (Murat, 1996)

| Akım | Başlangıç Fazı | Bitiş Fazı |
|------|----------------|------------|
| 1    | A              | C          |
| 2    | A              | B          |
| 3    | B              | C          |
| 4    | C              | A          |

#### 4.1.1.2 Sinyal Devresi

Sinyal devresi tamamlanan bir dizi sinyal fazının toplamından meydana gelir. Buna göre bir devrede sinyal fazları yeşil, sarı ve kırmızı ışıkların yanışı ile birbirini takip etmektedir. Bir fazdaki yeşil periyodun bitişi ile, takip eden fazdaki yeşil periyodun başlangıcı arasındaki süreye yeşillerarası süre adı verilmekte ve sinyalizasyon hesaplarında etkin yeşil sürenin

tespitinde önemli bir parametre olarak yer almaktadır. Örnek faz diyagramı için sinyal devresi Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



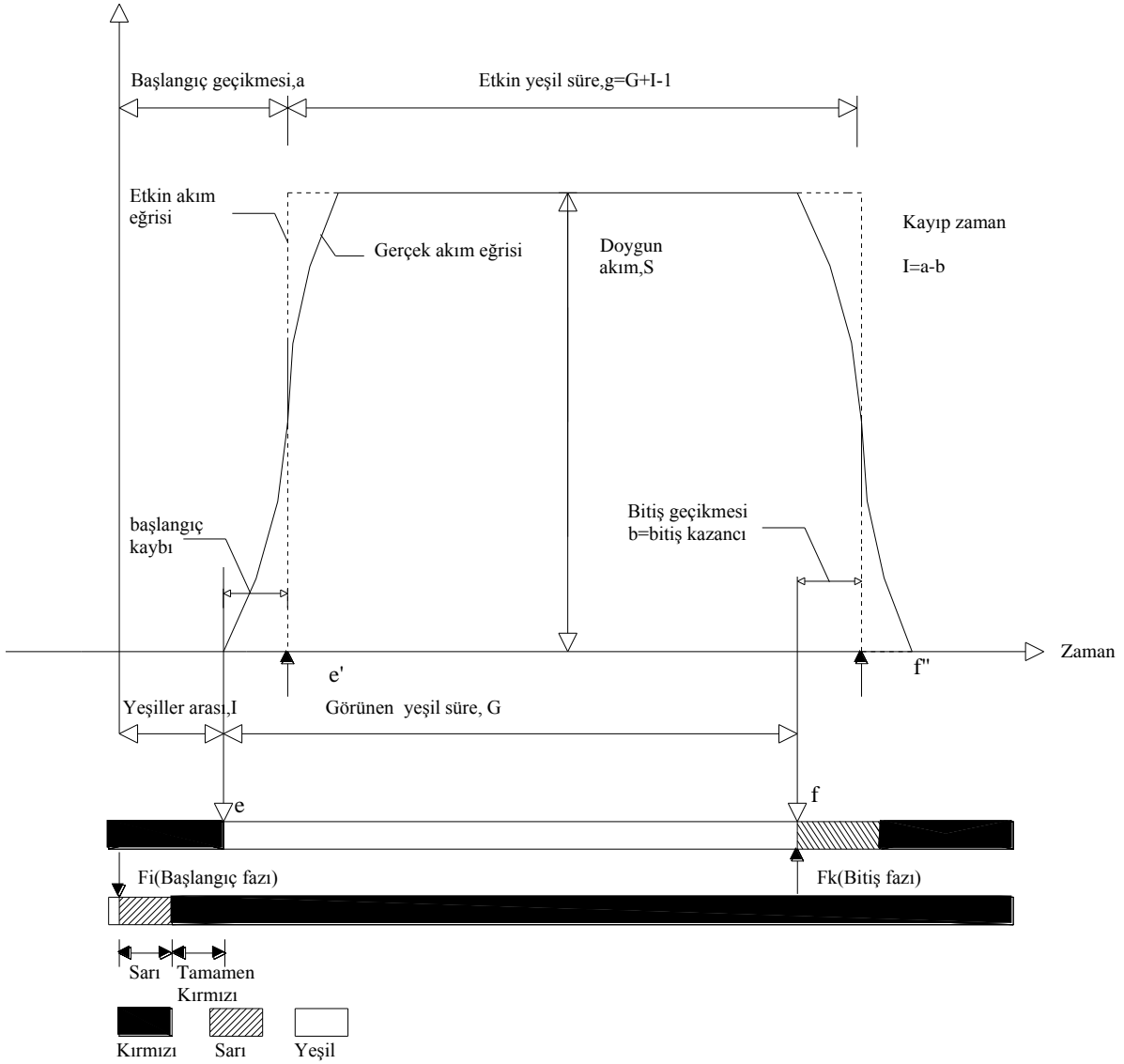
Şekil 4.2’den de anlaşılacağı üzere A fazı için yeşil ışık süresi  $G_A$  ile gösterilmekte, faz değişim süreleri  $F$  ile, yeşillerarası süreler ise  $I$  ile ifade edilmektedir. Tüm fazların yeşillerarası ve yeşil sürelerinin toplamı devre süresini oluşturmaktadır. Buna göre devre süresi;

$$c = \sum(G + I) \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

#### 4.1.1.3. Akım Karakteristikleri

Temel akım karakteristikleri olarak doymun akım, etkin yeşil süre ve kayıp zamanlar akla gelmektedir. Akım karakteristikler ifade ederken geleneksel olarak kullanılan (Clayton 1940-41; Webster 1958; Webster ve Cobbe 1966; Miller 1968a ve b; Allsop and Murchland 1978) Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3: Temel akım ve karakteristikleri

Yaklaşım kolunda bekleyen taşıtlar yeşil ışık yandığı zaman hızla harekete geçerler ve sabit bir orana ulaşıncaya kadar harekete devam ederler. Taşıtların kavşağa giriş yaptığı bu sabit oran doyma akımı veya doymun akım olarak adlandırılır. Başlangıçta kuyrukta bekleyen taşıtların hareketi yavaşır ve taşıtlar sabit bir oranda harekete geçinceye kadar ilk harekete geçişlerden dolayı bir kayıp söz konusu olmaktadır. Bu kayıp süre başlangıç kaybı olarak anılmaktadır. Şekil 4.3'de başlangıç kaybı, gerçek akım eğrisi ile etkin akım eğrisi arasında başlangıçta meydana gelen fark ile ifade edilmektedir ( $ee'$ ). Benzer şekilde doyma akımına ulaşıldıktan sonra yeşil ışığın sönmesi ve sarı ışığın yanması halinde hala kavşakta hareket eden taşıtların buldukları akım kolunun yeşiline ekledikleri süre bitiş kazancı olarak

nitelendirilmektedir. Şekil 4.3'de gerçek akım eğrisi ile etkin akım eğrisi arasında bitiş noktalarında gözlemlenen fark bitiş kazancını ifade etmekte ve ( $ff'$ ) olarak gösterilmektedir.

Akım karakteristiklerinden olan akım kayıp zamanı; başlangıç ve bitiş aralıkları arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Şekil 4.3'de akım kayıp zamanı, yeşillerarası süreye başlangıç gecikmesinin eklenip bitiş kazancının çıkarılmasıyla bulunabilir. Buna göre akım kayıp zamanı;

$$I = I + ee' - ff' \quad (4.2)$$

olarak yazılabilir.

Akım için etkin yeşil süre görünen yeşil süreden başlangıç kaybının çıkarılıp bitiş kazancının eklenmesiyle hesaplanır. Etkin yeşil süre ifadesi;

$$g = G - ee' + ff' \quad (4.3)$$

olmaktadır.

#### 4.1.1.4 Kritik Akımlar

Kritik akım tanımlaması, kapasite ve zaman hesaplamaları yapılmadan önce şu veriler belirlenmektedir:

Başlangıç ve bitiş faz numaraları

- Yeşillerarası süre,  $I$  (sn)
- Minimum görünen yeşil süre,  $G_m$  (sn)
- Varış akım oranı,  $q$  (araç/saat)
- Doyma akım oranı,  $S$  (araç/saat)
- Kayıp zaman,  $l$  (sn)
- Pratik (maksimum kabul edilebilir) doyumluk derecesi,  $X_p$

Kritik akımlar genel olarak bir kavşağın kapasite ve zaman ihtiyacını belirleyen akımlardır. Aynı zamanda bir fazdaki en uzun zamanı gerektiren akımlar şeklinde de tanımlanabilir. Kritik akımlar en yüksek doyumluk derecesine sahip olduğundan kontrol parametreleri bu akımlara göre hesaplanır. Eğer her kritik akıma, kapasite gereksinmesini karşılamak için

yeterli zaman verilirse, tüm akımlar yeterli kapasiteye sahip olur. Kritik akımlara bağlı olarak devre süresi;

$$c = \sum(G + I) \quad (4.4)$$

ya da

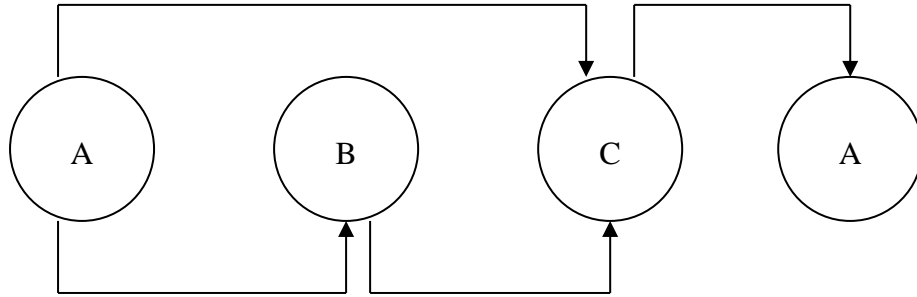
$$c = \sum(g + l) \quad (4.5)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Kritik akımları belirleyebilmek için fazlara bağlı kritik akım arama diyagramından faydalanılmaktadır. Kritik akım arama diyagramında öncelikle faz değişimleri yazılır ve süreler yazılarak en fazla zamanı gerektiren akım ( $g+l$ ) kritik akım olarak belirlenir. Eğer tekrarlı akımlar varsa, tekrarlı akımın ( $g+l$ ) değeri ile bu akımla aynı zamanda geçiş hakkı alan diğer akımların ( $g+l$ ) değerleri karşılaştırılır. Diğer bir deyişle, kritik akım belirleme bir kritik akım arama diyagramında Şekil 4.4'de gösterildiği gibi en uzun yolu belirleme işlemidir.

Şekil

Kritik



4.4:

Akım

Arama Diyagramı Örneği (Murat, 1996)

#### 4.1.1.5 Kavşak Kayıp Zamanı

Bir kavşaktaki kayıp zaman, devre süresini ifade eden denklem (4.5)'in  $c = \sum g + \sum l$  şeklinde yazılması ile;

$$L = \sum l \quad (4.6)$$

olarak tanımlanabilir. Yani kritik akımların kayıp süreleri toplamı kavşak kayıp zamanını oluşturmaktadır.

#### 4.1.1.6 Kapasite ve Doygunluk Derecesi



Bir akımın kapasitesi, araçların hareket edebileceği en yüksek oran, yani doymun akım  $s$ , ile o akımın etkin yeşil süresi arasındaki ilişkiye bağlıdır, ve şu şekilde ifade edilir;

$$Q = s(g/c) \quad (4.7)$$

Burada  $Q$  kapasiteyi,  $s$  doymun akımı ve  $(g/c)$  ise akımın sahip olduğu etkin yeşil süreyi ifade etmektedir. Kapasite ve doymunluk derecesi hesaplarında göz alınan diğer bir parametre ise etkin yeşil sürenin devre süresine oranı ile hesaplanan yeşil zaman oranıdır. Yeşil zaman oranı;

$$u = g/c \quad (4.8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yararlı bir diğer akım parametresi de varış akımının (hacmin) doymun akıma oranı şeklinde hesaplanan akım oranıdır. Akım oranı  $y$  ile ifade edilmekte ve;

$$y = q/s \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Akımın doymunluk derecesi hacmin kapasiteye oranıdır. Doymunluk derecesi;

$$X = q/Q = qc/sg = y/u \quad (4.10)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Bu ifade de akım oranı “talebi” simgeleyen sabit bir parametre ve yeşil süre oranı da “arzi” simgeleyen kontrol parametresi olarak düşünülmektedir. Doymunluk derecesi bu iki parametreyi birbirine bağlayan orandır.

Yeterli akım kapasitesi sağlamak için;

$$Q > q \text{ ya da } X < 1 \quad (4.11)$$

diğer bir ifadeyle;

$$sg > qc \text{ ya da } u > y \quad (4.12)$$

olmalıdır. Akım kapasitesi, yeşil süre oranı arttıkça artmaktadır.

$L$ ,  $U$  ve  $Y$  kritik akım parametreleri olmak üzere ve toplamlar kritik akımlar için olmak üzere kavşak yeşil zaman oranı toplam uygun yeşil zamanın devre zamanına oranıdır ve;

$$U = \sum u = (c - L) / c \quad (4.13)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Kavşak akım oranı ise;

$$Y = \sum y \quad (4.14)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Kavşak doyunluk derecesi  $X$ , yaklaşım kollarındaki akımların en büyük doyunluk derecesi şeklinde düşünölmektedir. Kavşak doyunluk derecesi aynı zamanda;

$$X = Yc / (c - L) \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Pratikte, kabul edilebilir maksimum doyunluk derecesi 1.0'dan küçük olmalıdır. Çünkü yaklaşım kolları kapasitesi, aşırı gecikmeler, duruşlar ve kuyruk uzunlukları yüzünden trafik şartları stabil değildir. Genel olarak 0.8-0.9 arası değerler yeterli işletim koşullarını ifade etmektedir.

Bir akıma tanınan süre;

$$t = g + l \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade de  $g$ , etkin yeşil süreyi;  $l$  ise kayıp sürelerin toplamını ifade etmektedir.

Gereken akım değerleri;

$$t = uc + l \quad (4.17)$$

veya pratik olarak;

$$t = 100u + l \quad (4.18)$$

denklemini yardımıyla hesaplanmaktadır. (4.18) ifadesindeki 100 sayısı ilk anda tahmin edilen devre süresi olarak alınmaktadır.

Gerekli yeşil zaman oranı, maksimum kabul edilebilir (pratik) doygunluk derecesine  $X_p$ 'ye ulaşmak için hesaplanmaktadır.

$$u = \frac{y}{X_p} \quad (4.19)$$

Bu ifade de farklı akımlar için farklı  $X_p$  değerleri kullanılabilir. Genelde önerildiği üzere  $X_p=0.9$  değeri kullanılmaktadır.

#### 4.1.2 Sinyalizasyon Hesabı Adımları

Bu yöntemin hesap adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Gerekli akım zamanının tespit edilmesi,  $t$ .
2. Kritik akım araştırma diyagramları hazırlanması.
3. Tekrarlı akımlar için toplam gerekli akım zamanının hesabı, en büyük  $T$  değerini veren kritik akımın seçimi.
4. Kavşak kayıp zamanı, akım oranı ve yeşil zaman oranının hesabı ( $L$ ,  $Y$ ,  $U$ ).
5. Pratik ve yaklaşık optimum devre sürelerinin hesaplanması ( $C_p$ ,  $C_o$ ).
6.  $C_p$  ve  $C_o$  arasında bir devre süresinin seçimi.

7. Seçilen devre süresi için kritik akımların geçerliliğinin kontrolü.
8. Yeşil sürelerin hesabı.
9. Akım doygunluk derecesinin hesabı ( $X$ ) ve tüm akımlar için  $X \leq X_p$  halinin kontrolü.

### 1.Adım:

İlk adım da kritik akım araştırma çizelgesi hazırlanır.

Çizelge 4.2: Kritik Akım Araştırma Çizelgesi

| Akım | Başlangıç Fazı | Bitiş Fazı | Yeşillerarası süre | Minimum Gösterilen Yeşil süre | Hacim | Doygun Akım | Kayıp Süre | Minimum Etkin yeşil | Pratik Doygunluk Derecesi |
|------|----------------|------------|--------------------|-------------------------------|-------|-------------|------------|---------------------|---------------------------|
|      |                |            |                    |                               |       |             |            |                     |                           |
|      |                |            |                    |                               |       |             |            |                     |                           |
|      |                |            |                    |                               |       |             |            |                     |                           |

Çizelge 4.2’de gösterilen kritik akım araştırma çizelgesine sırayla akım numaraları, akımların başlangıç ve bitiş fazları, yeşillerarası süre, minimum gösterilen yeşil süre, akım hacimleri, doymun akım değerleri, kayıp süreler, minimum gösterilen etkin yeşil süreler ve pratik doymunluk derecesi değerleri girilir.

Ardından her akım için  $y=q/s$ ,  $u=y/x_p$ ,  $(100u+l)$  ve  $(g_m+l)$  değerleri hesaplanır. Gereken hareket zamanı  $t$ ’nin belirlenmesi için  $(100u+l)$  ya da  $(g_m+l)$  değerleri karşılaştırılarak en büyüğü seçilir.

Yaya akımları için  $y$  ve  $u$  değerleri 0 alınır ve  $t=g_m+l$  değeri kullanılır.

### 2.Adım:

Şekil 4.4’de gösterilen kritik akım arama diyagramı çizilir.

### 3. Adım:

Her faz için tekrarlı olmayan akımların  $t$  değerleri karşılaştırılır, ve en büyük  $t$  değerine sahip akım seçilerek diğer akımların  $t$  değerleri elenir.

Eğer varsa aynı akımda geçiş alan tekrarlı akımların  $t$  değerleri karşılaştırılır. En büyük  $t$  değerli akım alınır. Sonuç olarak kritik akım arama diyagramında “en uzun yol” bulunur.

#### 4.Adım:

Kavşak parametreleri olan kayıp süre ( $L$ ), akım oranı ( $Y$ ), ve yeşil süre oranı ( $U$ ) değerleri hesaplanır.

#### 5.Adım:

Bu aşamada pratik ve optimum devre süreleri bulunur. Optimum devre süresi:

$$C_0 = \frac{(1.4 + k)L + 6}{1 - Y} \quad (4.20)$$

denklemlerle hesaplanır.

Bu ifadede  $k$ , yakıt tüketimini, maliyetleri, kirlenici etkenleri vb. en aza indirgeyen bir parametredir. “Stop Penalty” olarak adlandırılır.

Pratik devre süresi ise :

$$C_p = \frac{L}{1 - U} \quad (4.21)$$

eşitliğinden bulunur.

#### 6. Adım:

$C_p$  ve  $C_o$  değerleri arasında, maksimum devre süresini (120-150 sn) aşmayacak şekilde bir devre süresi seçilir.

### 7. Adım:

Kritik akımların devre süresine bağlı olduğu durumlar söz konusu olabilir. Bunu kontrol etmek için önce  $(uc+I)$  değeri bulunur. Bu değerle  $(gm+I)$  değeri karşılaştırılarak büyük olan değer yeni gereken zaman  $(t)$  değeri olarak yazılır. Tekrar kritik akım arama işlemi yapılır ve bir değişiklik olup olmadığı kontrol edilir.

### 8. Adım:

Bu aşamada faz yeşil zamanları bulunur. İlk olarak;

$$g = \left( \frac{c - L}{U} \right) u \quad (4.22)$$

denklemi yardımıyla kritik akımların etkili yeşil süreleri hesaplanır. Kritik olmayan akımların  $g$  değerleri de hesaplanır.

Eğer bir fazda iki tekrarsız akım varsa kritik olmayan akımın  $g$  değeri kritik akımlara bağlı olarak;

$$g = (g_c + l_c) - l \quad (4.23)$$

denklemiyle bulunur.

Eğer kritik akım iki faz süren tekrarlı bir akımsa, bu akım bir alt devre ( $c^*$ ) olarak kabul edilir.

$$c^* = g_c + l_c \quad (4.24)$$

Bu durumda eldeki toplam yeşil süre ( $c^*-L^*$ ) dır. Burada  $L^*$  tekrarsız akımların kayıp süreleri toplamıdır. Bu süre tekrarsız akımlara şu şekilde paylaşılır.

$$g = \left( \frac{c^* - L^*}{U^*} \right) u \quad (4.25)$$

Burada  $U^*$  tekrarsız akımların yeşil zaman oranları toplamıdır. Eğer iki faz boyunca süren akım kritik değil de tekrarsız akımlar kritik ise bu kritik akımın  $g$  değeri:

$$g = \left( \sum g_c + \sum l_c \right) - l \quad (4.26)$$

olarak bulunur.

$\sum g_c$  ve  $\sum l_c$  tekrarsız akımların ( $g$ ) ve ( $l$ ) değerleri toplamı,  $l$  ise tekrarlı akımın kayıp süresidir. Ardından gösterilecek olan yeşil sürede;

$$G = (g + l) - I \quad (4.27)$$

eşitliğinden çıkarılır.

## 9. Adım:

Son aşamada akımların doygunluk dereceleri;

$$X = (g/c)y \quad (4.28)$$

denklemleriyle bulunur ve  $X \leq X_p$  koşulu kontrol edilir.

### 4.1.2.1 Doygun Akım Ve Kayıp Zaman Hesapları

Doygun akım, yeşil periyotta kuyruktaki maksimum sabit hareket oranı olarak tanımlanmaktadır. Doygun akımın yanı sıra kayıp zaman hesabı da sinyalizasyon hesaplarında büyük önem arz etmektedir. Doygun akım arazide gözlemlenir veya çizelgelerden faydalanılarak tahmin yoluyla hesaplanabilir.

Doygun akım hesabı yapmak için önce arazide doymuş akım ölçümü yapmak gerekmektedir. Çalışmamızda doymuş akım için ayrıca bir ölçüm yapılmamış, ülke ve şehir koşulları göz önünde bulundurularak bu değer 1600 ta/sa olarak seçilmiştir.

#### 4.1.2.2 Performans Ölçümleri

Sinyal kontrollü bir kavşağın etkin işletimi çeşitli performans ölçüm terimleriyle ifade edilmektedir. Performans ölçümlerinde gecikme ve duran araç sayısı temel iki terim olarak yer almaktadır. Bu temel terimlerin yanı sıra yakıt tüketimi, fiyat gibi ikincil terimler de mevcuttur.

Bir taşıt için gecikme, kavşağa yaklaşırken beklemeden yaptığı seyir süresi ile bekleyerek yaptığı seyir süreleri arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Bu ifade taşıtın hızlanması ve yavaşlaması sırasındaki gecikmesini içermektedir.

Bir akımdaki araçların ortalama gecikmesini bulabilmek için öncelikle bu akımın oluşturduğu kuyruk uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Kuyruk uzunluğu değeri Denklem (4.29) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$N_0 = \frac{QT_f}{4} \left( z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x+x_0)}{QT_f}} \right) \quad (4.29)$$

Eğer  $X_0 > X$  ise  $N_0$  değeri 0 olmaktadır. Denklem (4.29)'de kullanılan notasyonlar şu anlamları ifade etmektedir:



$N_o$  = Araç cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit varsa, tüm şeritlerdeki araç sayısı toplamı),

$Q$  = Araç/saat cinsinden kapasite,

$T_f$  = Akım süresi, yani saat cinsinden zaman,  $q$  değerinin elde edildiği süre,

$QT_f$  =  $T_f$  süresi boyunca geçebilecek maksimum araç sayısı,

$X$  =  $q/Q$  doyumluk derecesi,

$Z$  =  $x-1$ ,

$x_o$  = Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doyumluk derecesi,

$$x_o = 0.67 + sg / 600 \quad (4.30)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda;

$s$  = Araç/saniye cinsinden doyum akımı,

$g$  = Etkin yeşili ifade etmektedir.

Toplam gecikme değeri aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + N_o x \quad (4.31)$$

Burada;

$D$  = Toplam gecikme,

$qc$  = Her devrede gelen ortalama araç sayısı ( $q$ = Araç/saniye biriminden akım,  
 $c$ = Saniye biriminden devre süresi),

$u$  = Yeşil zaman oranı ( $=g/c$ ),

$y$  = Akım oranı ( $=q/s$ ).

Ayrıca her araç sayısı için ortalama gecikme ise;

$$d = D/q \quad (4.32)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. (4.32) denkleminde kullanılan  $D$  toplam gecikmeyi,  $q$  ise araç/saniye cinsinden akımı ifade etmektedir (Murat, 1996).

#### 4.1.3 Webster (İngiliz Yöntemi) ile Performans Ölçümü

Sinyal kontrollü bir kavşaktaki yaklaşım kolundan geçen trafik miktarı, trafik tarafından kullanılabilen yeşil zamana ve yeşil periyot esnasında duruş hattından geçen maksimum taşıt oranına bağlı olmaktadır. Genel yaklaşım olarak, İngiliz Yöntemi'nin Avustralya Yöntemiyle birçok benzer yönü görülmektedir.

Gecikme, sinyalizasyon sisteminin performansını ifade eden ölçütlerdendir ve sinyal tasarımı yönlendiren etken parametredir. Sinyalizasyonda meydana gelen gecikmeleri hesaplamak için birçok laboratuarda trafiğin davranışı özel amaçlı bilgisayarlarla modellenmiştir.

Önceden ayarlı bir sinyalizasyon sisteminde gecikme hesaplarını yapmak için çeşitli akımlar, doygun akımlar ve sinyal düzenlemeleri göz önüne alınmış ve sonuç olarak herhangi bir tekil yaklaşım kolundaki ortalama gecikme için şu formül elde edilmiştir.

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65(C/q^2)^{1/3} x^{2+5\lambda} \quad (4.33)$$

Bu formülde;

- $d$  = Her koldaki her bir taşıt için ortalama gecikmeyi,
- $\lambda$  = Etkin yeşilin devre süresine oranı,
- $x$  = Doygunluk derecesini ifade etmektedir,
- $C$  = Devre Süresi (sn),
- $q$  = Her bir koldaki akım (ta/sa).

Doygunluk derecesi akımın maksimum mümkün akıma oranıdır ve  $x = \frac{q}{\lambda S}$  ile ifade edilir.

Denklemin son kısmı gecikmenin %5'i ile %15'i arasında bir değeri ifade etmektedir. Gecikme denklemi;

$$d = \frac{9}{10} \left\{ \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right\} \quad (4.34)$$

şeklinde ve daha basitleştirilerek;

$$d = cA + \frac{B}{q} - C \quad (4.35)$$

formunda gösterilebilir.

Burada  $A = \frac{(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)}$ ,  $B = \frac{x^2}{2(1-x)}$  ve C üçüncü terimdir. A,B ve C değerleri çizelgeler yardımıyla hesaplanmaktadır (Ayfer, 1977).

#### 4.1.4 Doherty Gecikme Formülü

Doherty (1977), sinyalizasyon kavşaklarındaki taşıtların ortalama gecikmesini hesaplamak amacıyla Denklem (4.49)'da verilen gecikme formülünü geliştirmiştir. Doherty (1977)'nin geliştirdiği gecikme formülü;

$$D(x,t) = A + \frac{N-M}{4Q} \quad (4.36)$$

$$M = 2C + tQ(1-x) \quad (4.37)$$

$$N = (M^2 + 8CQt_x)^{1/2} \quad (4.38)$$

Burada;

$t$  = Taşıt geliş süresi (sn),

$x$  = Doygunluk derecesi,

$C$  = Taşıt geliş ve servis zamanına bağlı bir sabit,

$Q$  = Yaklaşım kolu kapasitesi( $\lambda.s$ ),

$A$  = Çok düşük akımlarda taşıt başına ortalama gecikmeyi temsil eden bir sabit,

$c$  = Devre süresi (sn).

$$A = c / 2(1 - \lambda)^2 \quad (4.39)$$

Doherty'nin geliştirdiği gecikme formülü, ilk kuyruk uzunluğu (0) alınmak şartıyla, x doygunluk derecesi ve t zamanında gelen taşıtların ortalama gecikmesini verir. Kuyruk uzunluğu içinde şu formül ifade edilmiştir;

$$G(x,t) = \frac{(\beta^2 + 2x^2Q^2t^2\alpha C)^{1/2} - \beta}{\alpha} \quad (4.40)$$

$$\alpha = 2(Qt - C) \quad (4.41)$$

$$\beta = Qt[(1 - x)Qt + 2Cx] \quad (4.42)$$

$x < 1$  olduğu zaman kararlı durum limit değerı ile ifade edilir veya  $G(x,t) \rightarrow t \rightarrow \infty$  gibi ifade edilir. Burada limit değerı  $G1(x)$  ile gösterilir ve ifade aşağıdaki gibi yazılır (Gökdağ, 1996).

$$G1(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} G(x,t) = \frac{Cx^2}{1-x} \quad (4.43)$$

#### 4.1.5 Highway Capacity Manual (HCM-2000)

Gecikme ölçümlerinden türetilen değerler, analiz periyodunda gelen tüm taşıtların ortalama gecikmesini ifade eder. Bu gecikmelere, analiz periyodundan sonra şeridin doygun hale geldiği zamanki gecikmeler de dahildir. Kontrol gecikmesine düşük hızdaki hareketler, kavşak kollarında kuyruklar olduğu zamanki durmalar ve kavşak çıkışındaki yavaşlama hareketleri de dahildir.

HCM (2000) formülüne göre bir şeritteki ortalama gecikme aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (4.44)$$

Burada;

$d$  = Taşıt başına kontrol gecikmesi(sn/ta),

$d_1$  = Üniform varışlar kabulüyle üniform kontrol gecikmesi(sn/ta),

$PF$  = Üniform gecikme dizisi düzeltme faktörü (sinyal süreci etkilerini açıklamak için),

$d_2$  = Rastgele varışların ve doymun akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenik gecikme. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, şerit grubu için başlangıç kuyruk durumunun olmadığını farz eder,

$d_3$  = Analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm araçlara etkiyen gecikme değeri.

#### 4.1.5.1 Sinyal Koordine Düzeltme Faktörü (Progression Factor)

İyi bir koordine sinyal sistemi, yeşilde gelen araçların sayısını arttırmaktadır. Sinyal koordine düzeltme faktörü, yarı etkileşimli kontrol sistemlerinde, etkileşimsiz şerit grupları ile sabit zaman kontrollü tüm koordine şerit gruplarına uygulanmaktadır. Etkileşimli şerit grupları için koordine kontrolün sağlandığı durumlarda da, bu şerit gruplarına Progression Factor ( $PF$ ) uygulanabilir. Koordine sistem, öncelikle uniform gecikmeyi etkileyeceğinden düzeltme sadece  $d_1$ 'e uygulanmaktadır.

$PF$ 'in değeri;

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1-\frac{g}{c}} \quad (4.45)$$

şeklinde ifade edilir ve burada;

$P$  = Yeşilde gelen araçların oranı,

$g/c$  = Yeşil sinyal süresinin devre süresine oranı,

$f_{PA}$  = Yeşil süre sırasında gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme katsayısı.

$P$ 'nin değeri yerinde ölçümlerle veya geliş tipine bağlı olarak ölçülür. Yerinde ölçümlerle bulunacaksa, yeşil fazda iken, durma çizgisine gelen ya da kuyruk varsa kuyruğa eklenen taşıtların oranı olarak alınmalıdır.  $P$  ve  $f_{PA}$  değerlerine bağlı olarak varış tipinin bir fonksiyonu olarak  $PF$  değerinin belirlenmesi için Çizelge 4.3 kullanılabilir. Koordine olmayan şerit gruplarında varış tipi 3 kullanılmalıdır. Bu yüzden  $PF$  değeri varış tipi (VT) 3 göz önüne alınarak 1 olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.3: Üniform Gecikme Hesabı için Koordine Sinyal Düzeltme Faktörü

| Yeşil Oran(g/C) | VT 1  | VT 2  | VT 3  | VT 4  | VT 5  | VT 6  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,20            | 1,167 | 1,007 | 1,000 | 1,000 | 0,833 | 0,750 |
| 0,30            | 1,286 | 1,063 | 1,000 | 0,986 | 0,714 | 0,571 |
| 0,40            | 1,445 | 1,136 | 1,000 | 0,895 | 0,555 | 0,333 |
| 0,50            | 1,667 | 1,240 | 1,000 | 0,767 | 0,333 | 0,000 |
| 0,60            | 2,001 | 1,395 | 1,000 | 0,576 | 0,000 | 0,000 |
| 0,70            | 2,556 | 1,653 | 1,000 | 0,256 | 0,000 | 0,000 |
| $f_{PA}$        | 1,00  | 0,93  | 1,00  | 1,15  | 1,00  | 1,00  |
| $R_P$           | 0,333 | 0,667 | 1,000 | 1,333 | 1,667 | 2,000 |

**Üniform Gecikme:** Denklem (4.46)'daki gecikme tahmin ifadesi, üniform gelişler, stabil akım ve başlangıçta kuyruk olmaması durumu içindir. Webster'in gecikme formülünün birinci terimine dayanır ve üniform varışların olduğu ideal durum için gecikmenin bulunuşunu ifade eder.

$$d_1 = \frac{0,5c(1 - \frac{g}{c})^2}{1 - [\min(1, x) \frac{g}{c}]} \quad (4.46)$$

Burada;

- $d_1$  = Üniform gelişler kabulüyle üniform kontrol gecikmesi (sn),
- $c$  = Devre süresi (sn),
- $g$  = Şerit grupları için verimli yeşil süre (sn),
- $x$  = Şerit için doygunluk oranı,

**Eklenik gecikme:** Denklem (4.47)'da verilen formül ile üniform olmayan gelişlerle rastgele gecikmelere bağlı eklenik gecikmeler ve doygun akım gecikmeleri tahmin edilir. Şerit grubunun doygunluk derecesi ( $X$ ), analiz periyodunun süresi ( $T$ ), şerit grubu kapasitesi ( $c$ ), sinyal kontrol tipi ve kontrol parametresi ( $k$ ) ile ilgilidir. Bu denklemde, analiz periyodunun başlangıcında kuyruk oluşumuna sebep olacak beklenmedik bir talebin olmadığı kabul edilir. Başlangıçta kuyruk mevcut ise HCM (2000)'nin ek F kısmındaki prosedürlerden

yararlanılabılır. Eğer başlangıç kuyruğu yok ise bu değer  $d_3=0$  alınır.  $X$ 'in tüm değerleri için, doygun üstü akım şartları da dahil olmak üzere eklenik gecikme terimi geçerlidir.

$$d_2 = 900T[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8klx}{cT}}] \quad (4.47)$$

Burada;

$d_2$  = Rastgele gelişlerin etkisini açıklamak için eklenik gecikme. Bu gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında şeritte başlangıç kuyruk durumunun olmadığını farz eder,

- $T$  = Analiz periyodu süresi,
- $k$  = Eklenik gecikme faktörü,
- $l$  = Ölçüm düzeltme faktörü,
- $c$  = Şerit grubu kapasitesi(ta/sa),
- $X$  = Doygunluk derecesi.

**Eklenik Gecikme Kalibrasyon Faktörü:** Denklem (4.47)'ye dahil edilmiş olan kalibrasyon katsayısı ( $k$ ) kontrol tipinin gecikmeye etkisini ifade eder. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde  $k=0,5$  alınır.

**Ölçüm Düzeltme Faktörü:** İzole kavşakların sinyal analizinde ölçüm düzeltme faktörü  $I=1$  olarak alınmaktadır.

## 4.2 Sonuçlar

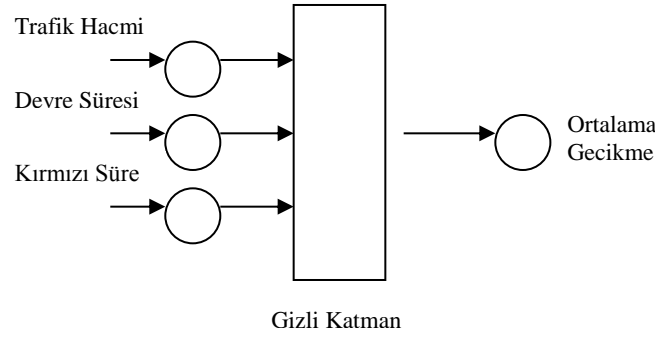
Bu bölümde izole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmeleri hesabında kullanılacak olan analitik formüller ve performans kriterleri hakkında bilgi verilmiştir. Gelecek bölümde ise çalışmanın esas amacı olan YSA ile izole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin modellenmesi hakkında bilgi verilecektir.

# BEŞİNCİ BÖLÜM

## YSA İLE ORTALAMA TAŞIT GECİKMELERİ MODELİ

### 5.1 YSA Model Parametreleri

YSA, insanlar gibi örnekler ile eğitildikleri için eğitim sırasında yeterli ve geniş bir veri setinin kullanılması ile çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. YSA'nın eğitilmesinde girdi parametreleri olarak devre süresi, kırmızı sinyal süresi ve trafik hacmi; çıkış parametresi olarak da taşıt başına ortalama gecikme kullanılmıştır. Trafik hacmi, gecikme hesaplarında çeşitli biçimlerde (doygunluk derecesi gibi) ele alınan başlıca parametrelerdendir. Devre süresi ise, literatürdeki bütün gecikme formülasyonlarında kullanılan ana faktörlerden biridir. Kırmızı süre de, taşıtların toplam gecikmesini oluşturan etkenlerden biri olan durma gecikmesini temsil eden bir parametredir. Ağda kullanılan bu parametreler Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Model Parametreleri

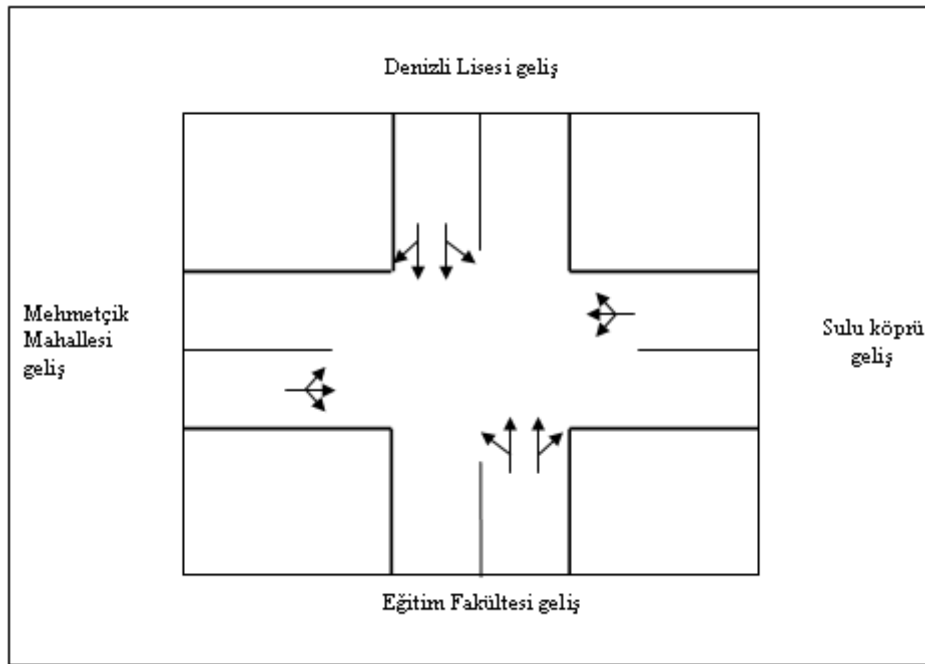
### 5.2 Model Arazi Çalışmaları

Model çalışması için gerekli olan gözlem gecikme değerleri İzmir ili Çankaya kavşağı, Denizli'deki izole olarak tesis edilmiş çeşitli kavşaklarda yapılan gecikme etüdüleri ve Gökdağ (1996)'dan sağlanmıştır.



Gözlemler sabah (7.30-8.30), öğle (12.30-13.30) ve akşam (16.30-17.30) olmak üzere zirve saatlerde yapılmıştır. Gözlem süresi boyunca (1 saat) her bir kavşak kolunda kırmızı, sarı ve yeşil süreler ölçülerek gözlem föyüne yazılmıştır. Gecikme değerleri gözlenirken kavşak kolunda oluşan kuyruk uzunluğuna göre ve bu uzunluğun dışında kalmak üzere bir nokta seçilmiş ve taşıtın bu noktadan geçiş zamanı ile kavşağı terk edişi arasında geçen zaman o taşıtın gecikmesi olarak gözlem föyüne yazılmıştır. Ayrıca gözlem süresi boyunca (1 saat) kavşaktan geçen toplam araç sayısı gözlenmiş ve ortalama gecikme değeri, gözlem süresi boyunca geçen taşıtların toplam gecikmelerinin toplam taşıt sayısına bölünmesiyle bulunmuş ve föye yazılmıştır. Gecikme hesaplamalarında kullanılan gözlem föyü Ek 1’de verilmiştir.

Gecikme verilerinin elde edildiği kavşakların krokisi ve bu kavşaklara ait faz diyagramları aşağıda verilmiştir. Şekil 5.2 ve 5.3’de Emek kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

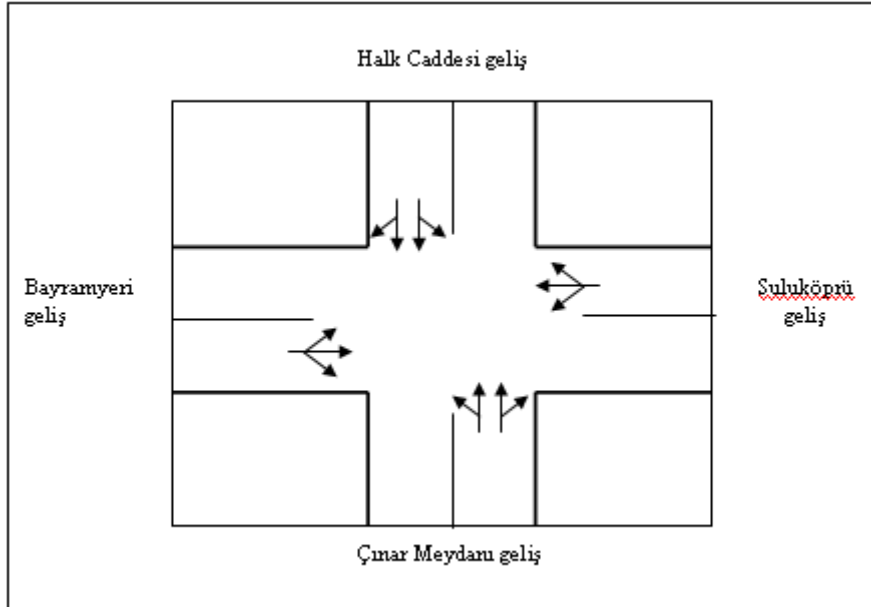


Şekil 5.2: Emek Caddesi Kavşağı Krokisi.

| A   | B                 | C                    |
|---|-------------------|----------------------|
|   |                   |                      |
| Mehmetçik geliş<br><u>Şuluköprü</u> geliş | Eğitim Fak. geliş | Denizli Lisesi geliş |

Şekil 5.3: Emek Caddesi Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.4 ve 5.5’de Kayalık caddesi kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

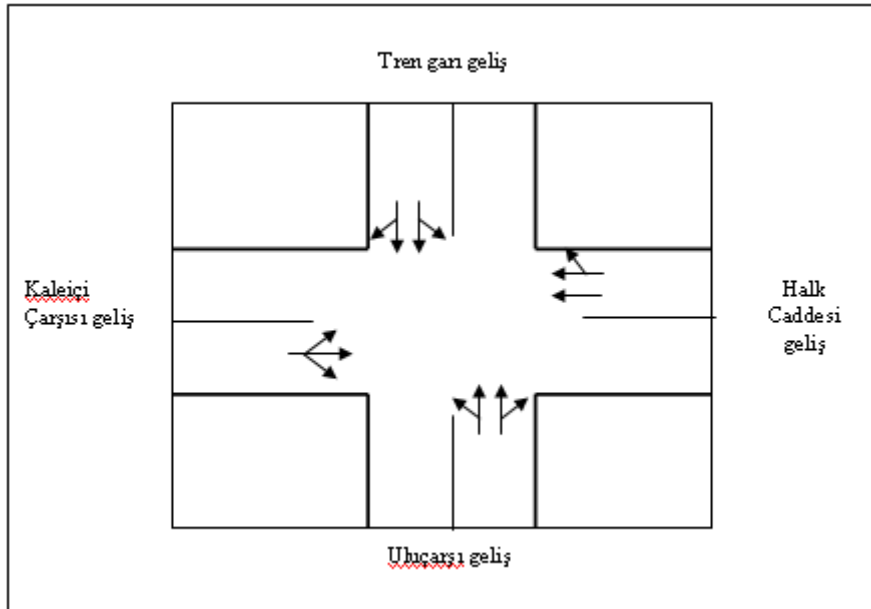


Şekil 5.4: Kayalık Caddesi Kavşağı Krokisi

| A                  | B                | C                   | D               |
|--------------------|------------------|---------------------|-----------------|
|                    |                  |                     |                 |
| Halk Caddesi geliş | Bayramyeri geliş | Çınar Meydanı geliş | Şuluköprü geliş |

Şekil 5.5: Kayalık Caddesi Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.6 ve 5.7’de Halley Oteli kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

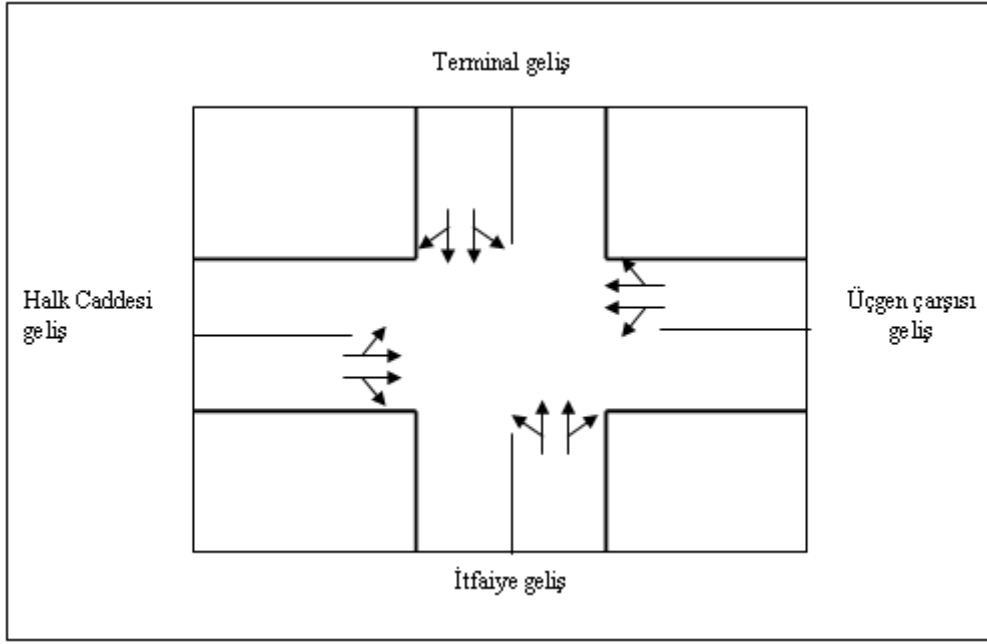


Şekil 5.6: Halley Oteli Kavşağı Krokisi.

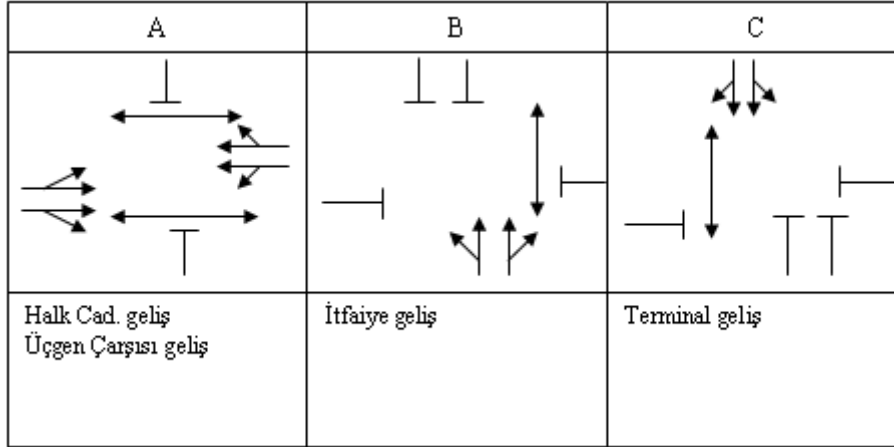
| A   | B               | C              |
|---|-----------------|----------------|
|   |                 |                |
| Kaleici çarşısı geliş<br>Halk Caddesi geliş | Tren garı geliş | Uluçarsı geliş |

Şekil 5.7: Halley Oteli Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.8 ve 5.9’da Halk Caddesi kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

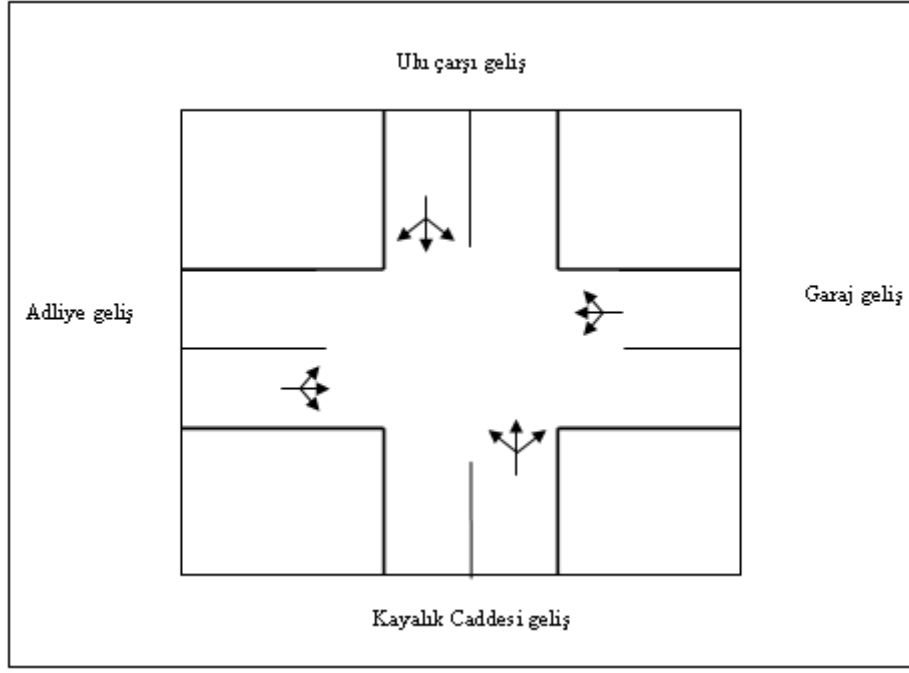


Şekil 5.8: Halk Caddesi Kavşağı Krokisi.

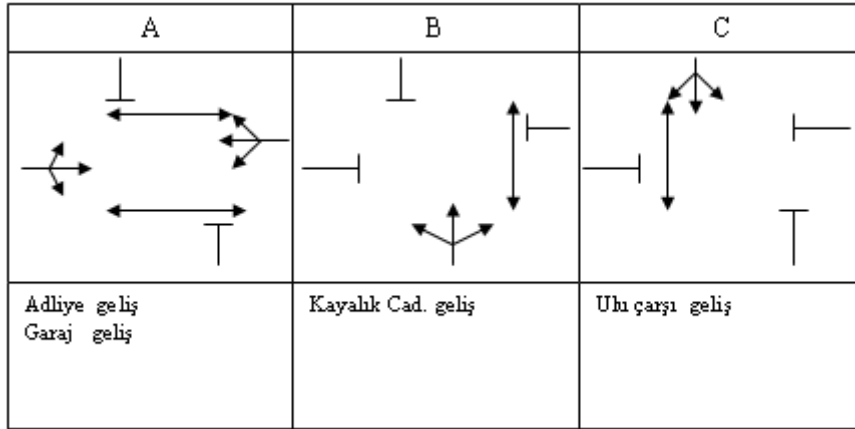


Şekil 5.9: Halk Caddesi Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.10 ve 5.11’de İtfaiye Kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

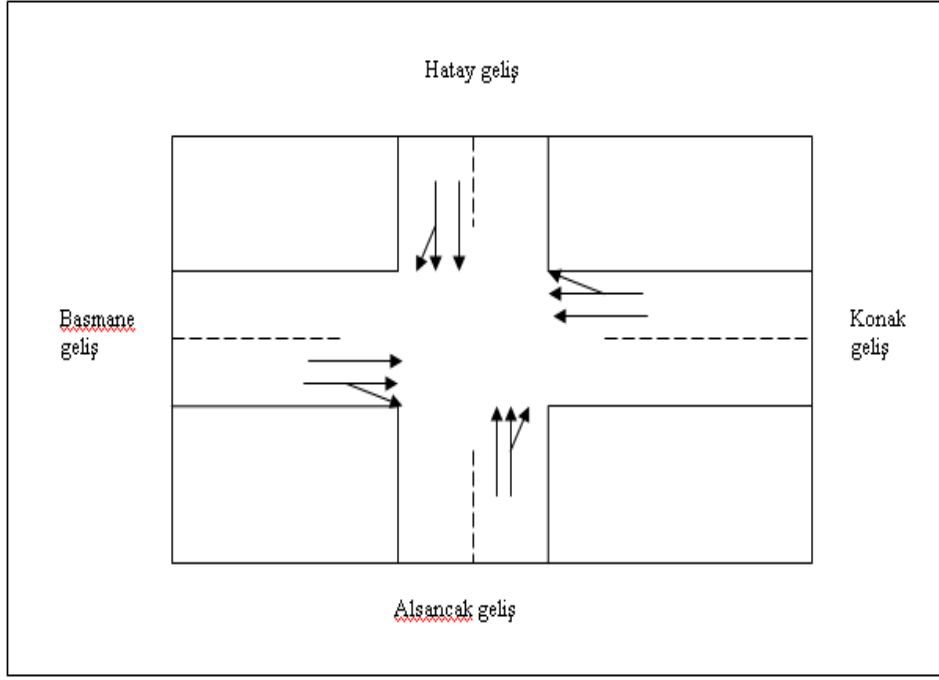


Şekil 5.10: İtfaiye Kavşağı Krokisi.

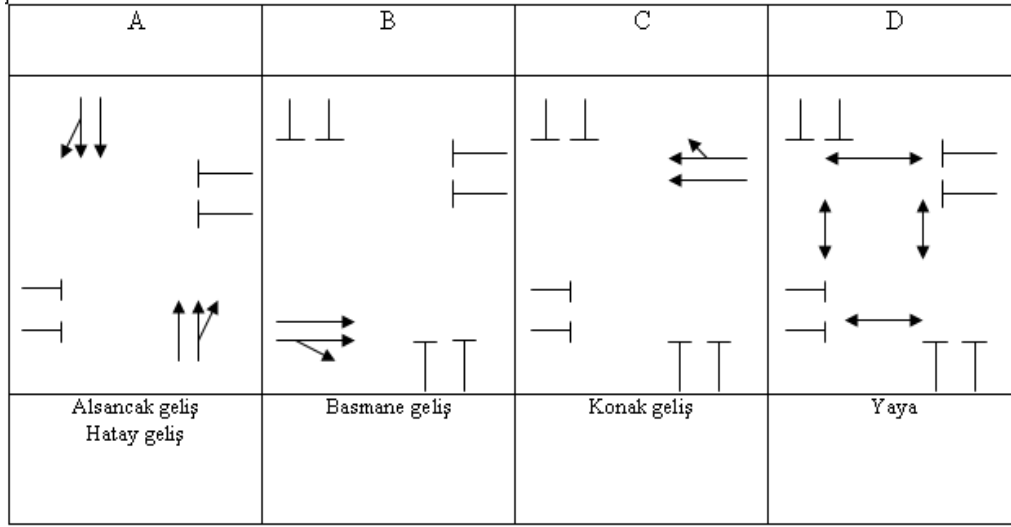


Şekil 5.11: İtfaiye Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.12 ve 5.13'de Çankaya kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

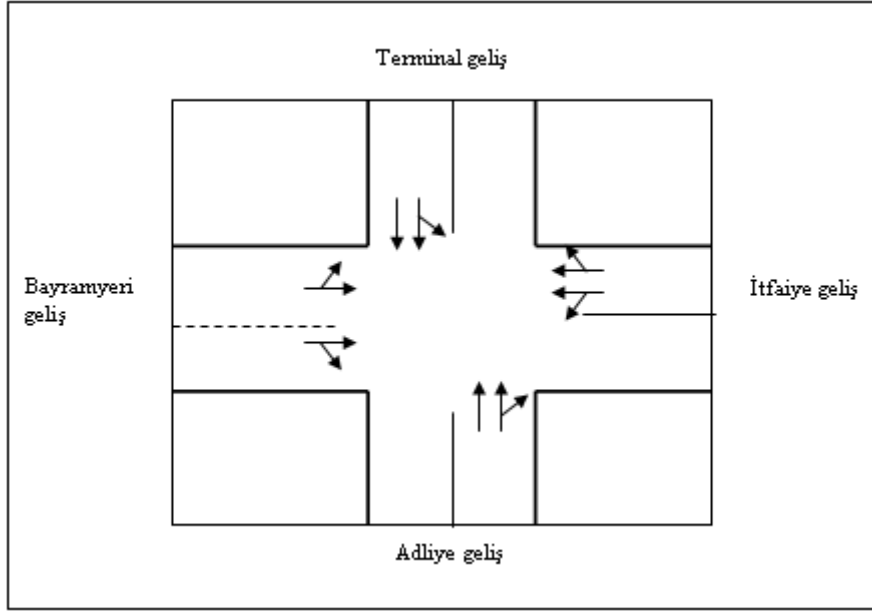


Şekil 5.12: Çankaya Kavşağı Krokisi.

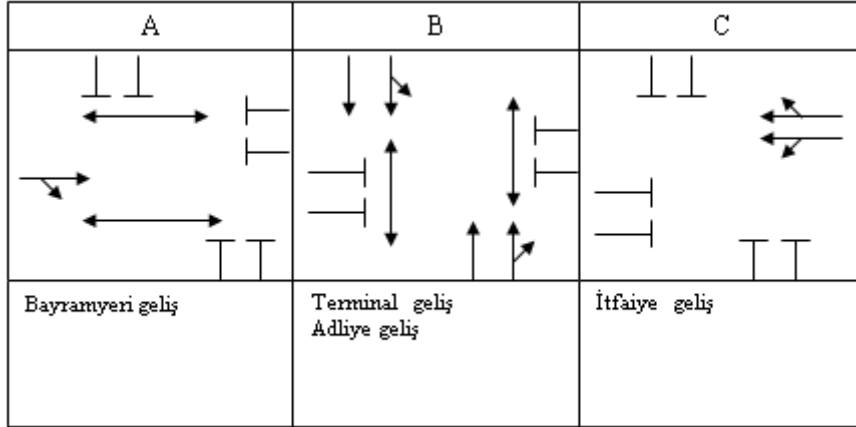


Şekil 5.13: Çankaya Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.14 ve 5.15’de Öğretmenevi kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.

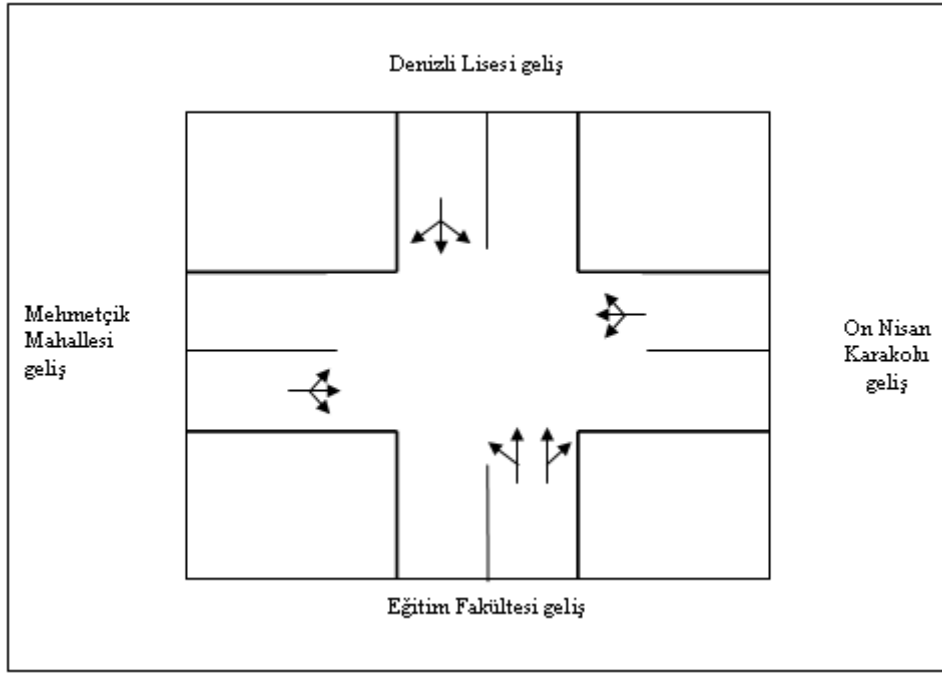


Şekil 5.14: Öğretmenevi Kavşağı Krokisi.



Şekil 5.15: Öğretmenevi Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.16 ve 5.17’de Sigorta kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.



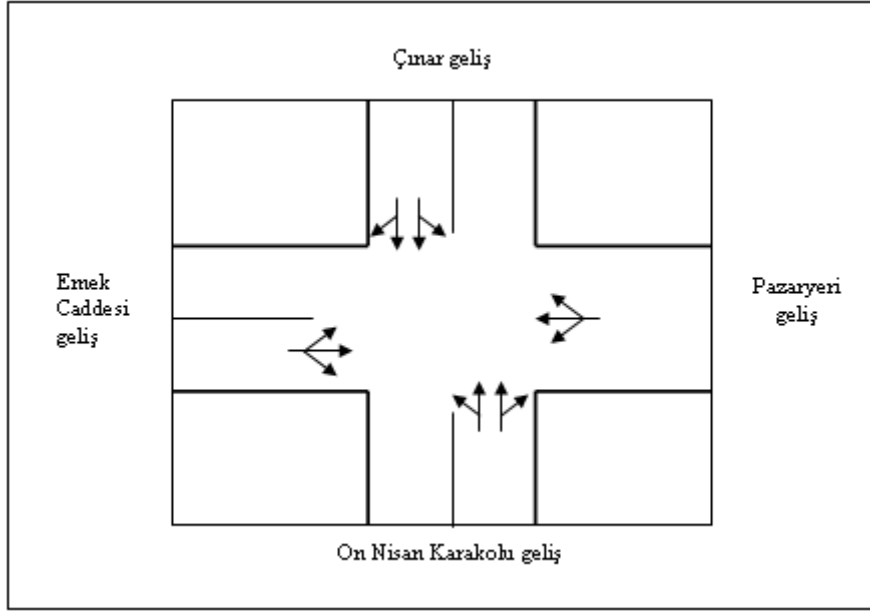
Şekil 5.16: Sigorta Kavşağı Krokisi.

| A                                 | B                      | C                    | D    |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------|
|                                   |                        |                      |      |
| Mehmetçik geliş<br>On Nisan geliş | Eğitim Fakültesi geliş | Denizli Lisesi geliş | Yaya |

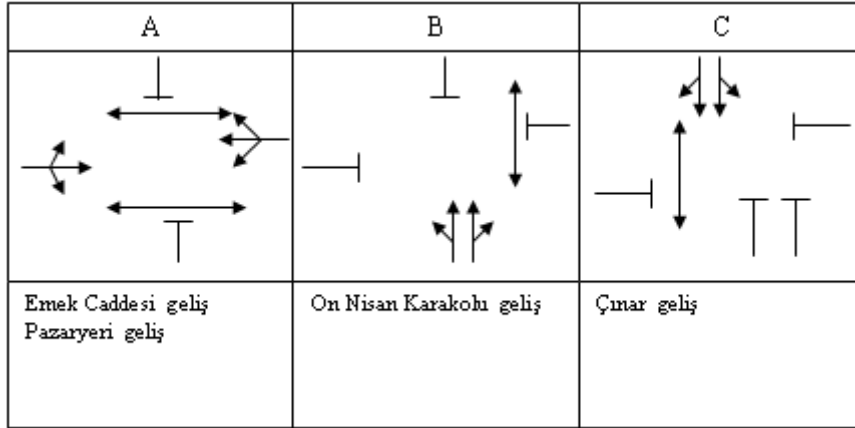
Şekil 5.17: Sigorta Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.18 ve 5.19’da Suluköprü kavşağı krokisi ve faz düzeni görülmektedir.



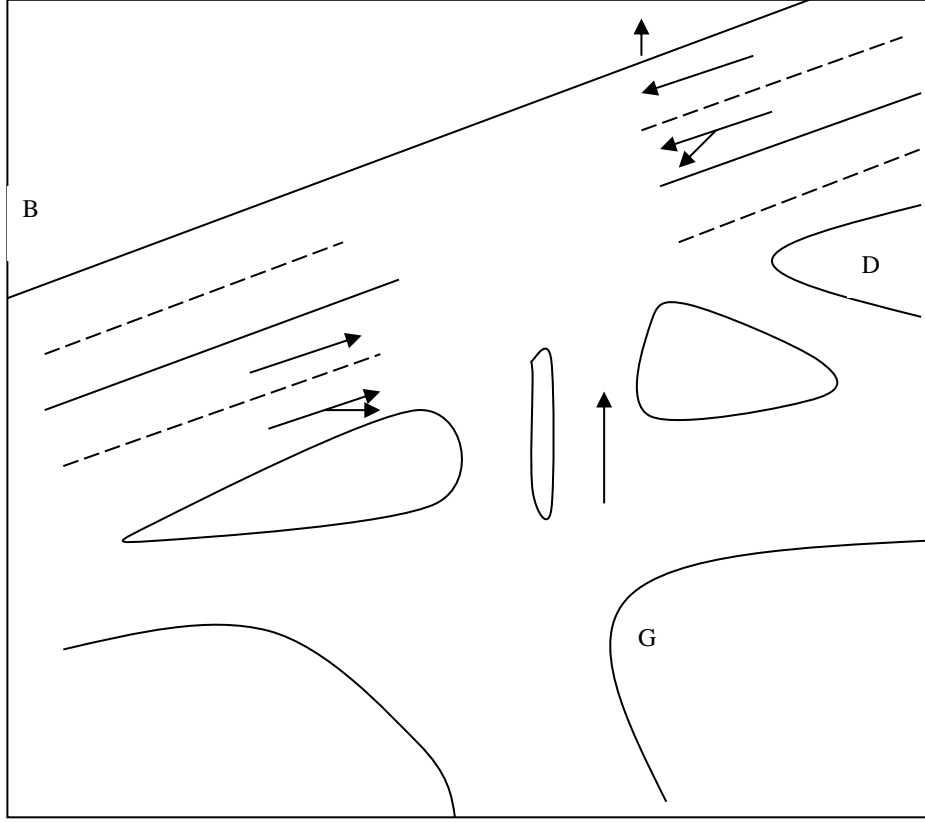


Şekil 5.18: Suluköprü Kavşağı Krokisi.



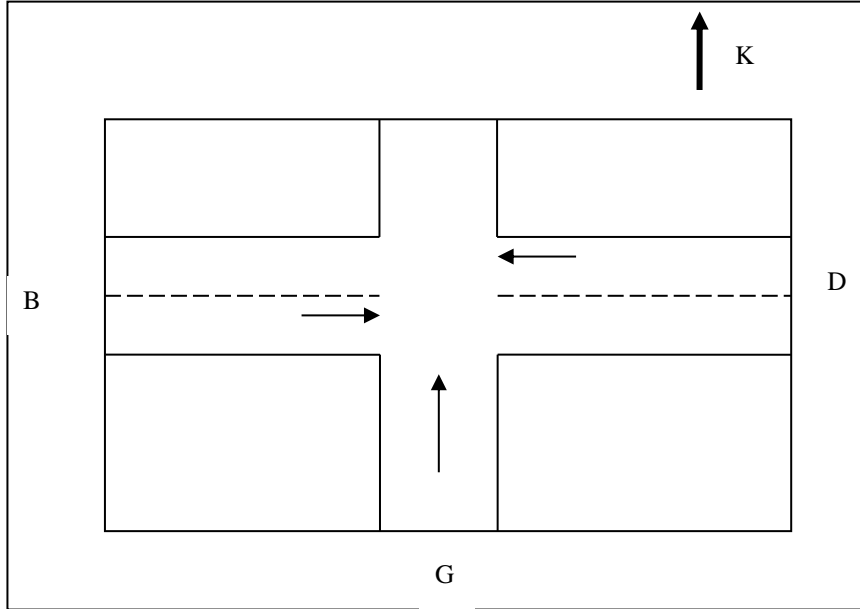
Şekil 5.19: Suluköprü Kavşağı Faz Düzeni.

Şekil 5.20'de Ayasofya kavşağı (3 fazlı) krokisi görülmektedir.



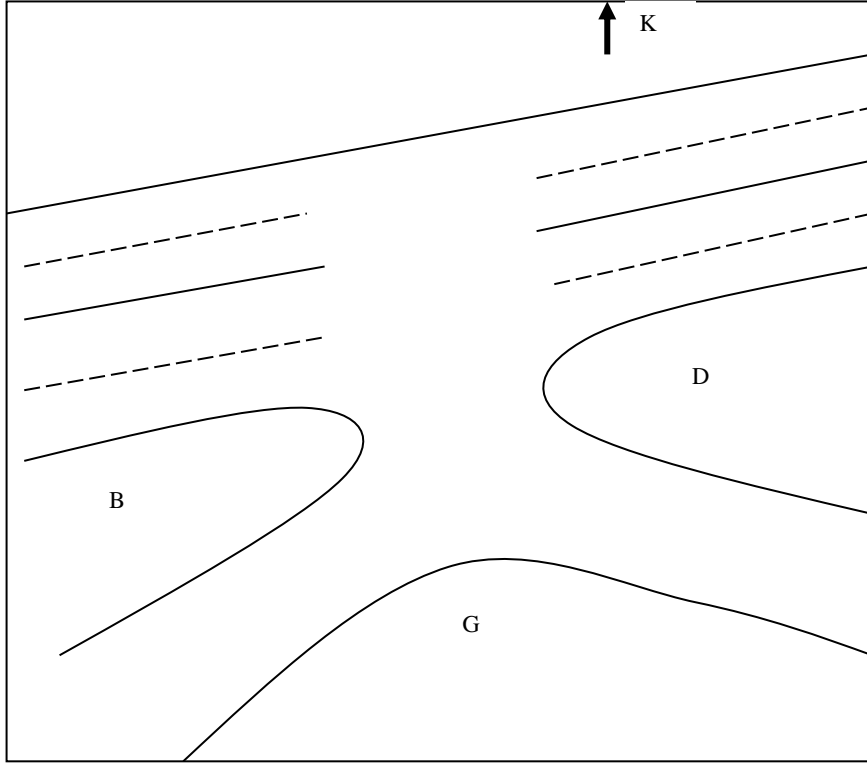
Şekil 5.20: Ayasofya kavşağı (Gökdağ, 1996).

Şekil 5.21’de Yeni Mahalle kavşağı (4 fazlı) krokisi görülmektedir.



Şekil 5.21: Yeni Mahalle Kavşağı Krokisi (Gökdağ, 1996).

Şekil 5.22’de Kalkınma kavşağı (3 fazlı) krokisi görülmektedir.



Şekil 5.22: Kalkınma Kavşağı Krokisi (Gökdağ, 1996).

### 5.3 Model Yapısı

Ortalama taşıt gecikmelerinin tahmini için kullanılan eğitim verileri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Model oluşturulurken en uygun sonucu elde etmek için ağırlıklar, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. YSA eğitilirken aktivasyon fonksiyonu olarak aşağıda verilen sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

$$\psi(S) = \frac{1}{1 + e^{-s}} \quad (5.1)$$

Kullanılan sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonunun özelliğinden dolayı, eğitim ve test çıktı verileri (0-1) arasında normalize edilmiştir. Bunun içinde her bir giriş ve çıkış değerlerinin maksimum ve minimum değerleri bulunarak aradaki değerler normalize edilmiştir. Buna bağlı olarak yapay sinir ağlarının üreteceği sonuç değerleri de (0-1) arasında elde edilmiştir. Bu

durumda başlangıçta yapılan normalize işlemi tersine çevrilerek çıkış değerleri bulunmuştur. Ağın eğitiminde 84 adet veri kullanılmış ve bunlardan örnek olarak 10 adedi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Yapay Sinir Ağları Örnek Eğitim Verileri

| No | Devre Süresi (sn) | Kırmızı Süre (sn) | Trafik Hacmi (ta/sa) |
|----|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1  | 84                | 49                | 237                  |
| 2  | 87                | 52                | 351                  |
| 3  | 91                | 56                | 263                  |
| 4  | 108               | 66                | 385                  |
| 5  | 101               | 53                | 350                  |
| 6  | 104               | 41                | 500                  |
| 7  | 88                | 42                | 624                  |
| 8  | 87                | 36                | 895                  |
| 9  | 78                | 33                | 750                  |
| 10 | 88                | 42                | 695                  |

Ayrıca yapılan bu çalışmada, yapay sinir ağı mimarisi olarak ileri beslemeli sinir ağı, öğrenme tipi olarak denetimli öğrenme, öğrenme algoritması olarak da hatayı geriye yayma algoritması kullanılmıştır. Yapay sinir ağındaki gizli tabaka katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, öğrenme derecesi, momentum katsayısı ve iterasyon sayısı deneme yanılma yoluyla seçilmiştir. Yapay sinir ağının eğitimi tamamlandıktan sonra test işlemine geçilmiştir. Test işleminde daha önceden eğitimde kullanılmayan 14 tane veri grubu kullanılmıştır. Test verileri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

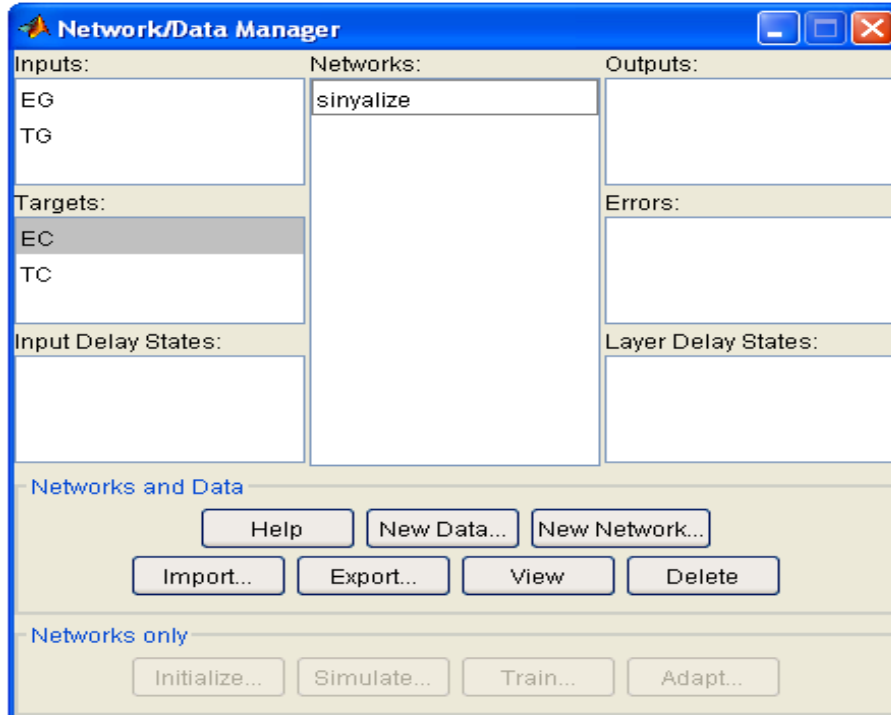
Çizelge 5.2: Yapay Sinir Ağı Test Verileri

| No | Devre Süresi(sn) | Kırmızı Süre(sn) | Trafik hacmi(ta/sa) |
|----|------------------|------------------|---------------------|
| 1  | 87               | 52               | 72                  |
| 2  | 84               | 38               | 140                 |

|    |     |    |     |
|----|-----|----|-----|
| 3  | 91  | 56 | 154 |
| 4  | 84  | 49 | 169 |
| 5  | 91  | 56 | 175 |
| 6  | 91  | 56 | 194 |
| 7  | 90  | 58 | 210 |
| 8  | 87  | 52 | 235 |
| 9  | 102 | 65 | 242 |
| 10 | 102 | 65 | 274 |
| 11 | 87  | 52 | 283 |
| 12 | 87  | 36 | 432 |
| 13 | 87  | 36 | 620 |
| 14 | 88  | 42 | 742 |

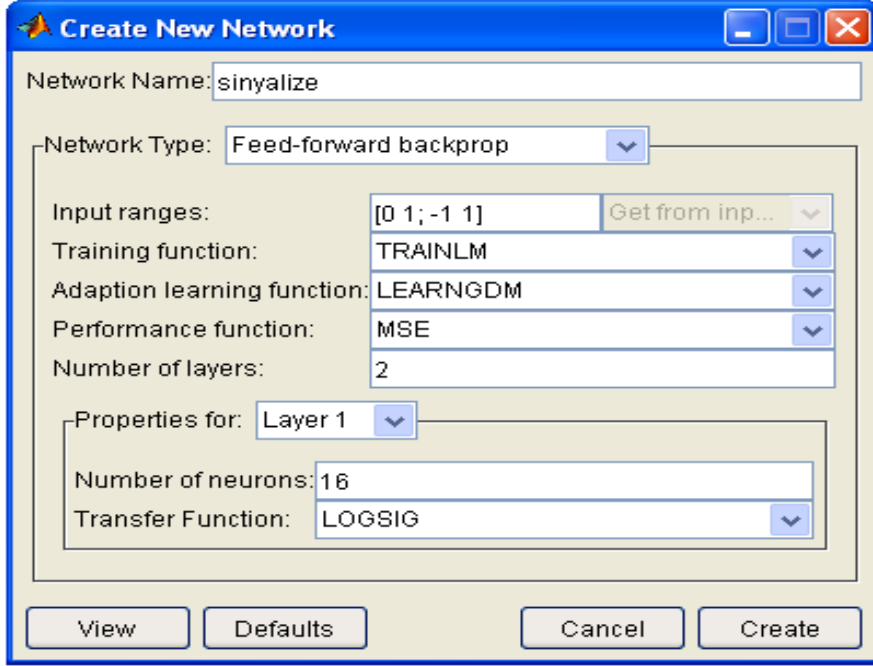
Yapay sinir ağlarının eğitim ve test işleminde Matlab 6.5 paket programının Neural Network toolbox'ı (NN toolbox) kullanılmıştır. Şekil 5.23'de NN toolbox'ın veri giriş formları verilmiştir. NN toolbox'ına Excel veya herhangi bir editör ortamından veri aktarmak ve aynı zamanda elde edilen çıktıları tekrar Excel ortamına aktarmak mümkündür.

Ayrıca bu çalışmada gizli katman sayısı 1, bu katmandaki nöron sayısı 16, öğrenme derecesi 0.1, momentum katsayısı 0.6 ve iterasyon sayısı ise 5000 alınarak uzun denemelerle sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 5.23: NN Toolbox veri giriş sayfası.

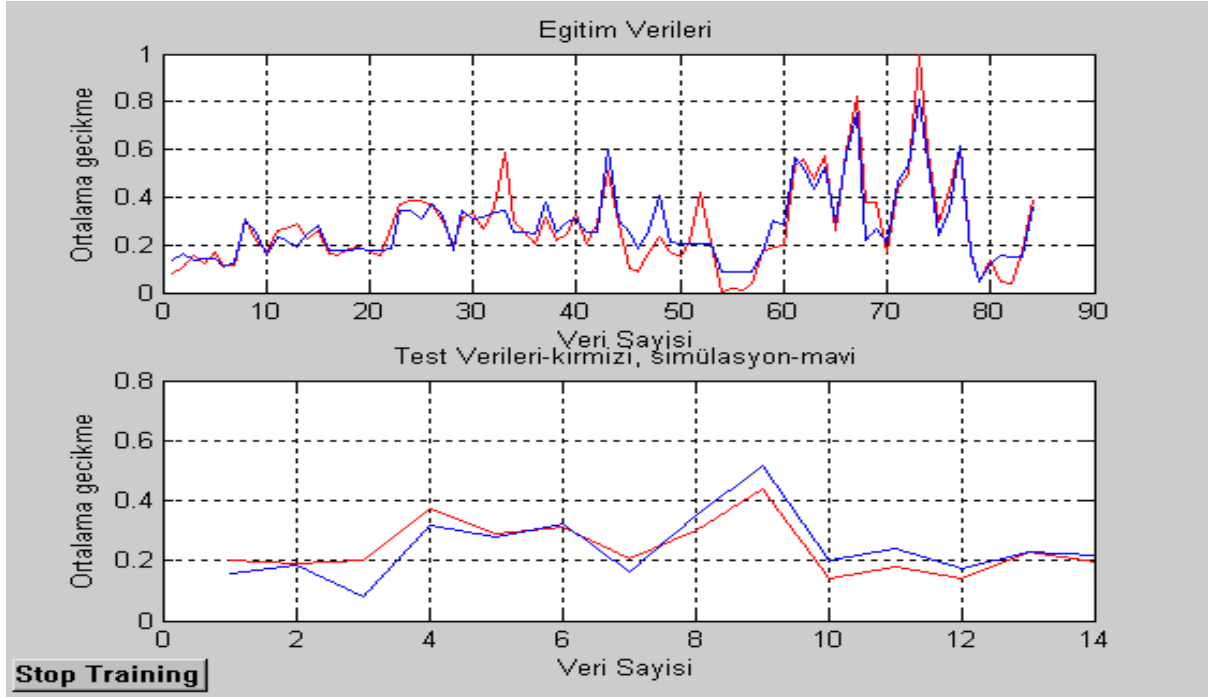
Şekil 5.24’de ise ağ karakteristiklerinin (ağ mimarisi, katman sayısı, eğitim ve öğrenme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu) belirlendiği toolbox sayfası görülmektedir.



Şekil 5.24: Ağ karakteristikleri belirleme sayfası.

## 5.4 YSA Modeli, Gerçek Gecikme Değerleri ve Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması

Yapay Sinir Ağları modeli, gerçek gecikme değerleri ve analitik yöntemlerle bulunan gecikme değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 5.1 ve 5.2’deki eğitim ve test verileri kullanılarak programdan alınan ilk eğitim ve test çıktı grafiği Şekil 5.25’deki gibidir.



Şekil 5.25: Eğitim ve Test Verilerinin Matlab Ortamında Karşılaştırılması

Şekil 5.25’de görüldüğü üzere, eğitim verileri ile gözlem gecikme değerleri oldukça uyumludur. Karşılaştırmadan elde edilen ortalama hata değeri 0,12’dir. Bu hata değerine göre modelin tahmin amaçlı kullanılabilmesi kararı verilmiştir.

Test işleminden sonra elde edilen yapay sinir ağları çıktıları ile gözlem gecikme değerleri arasındaki ilişki Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3: Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması

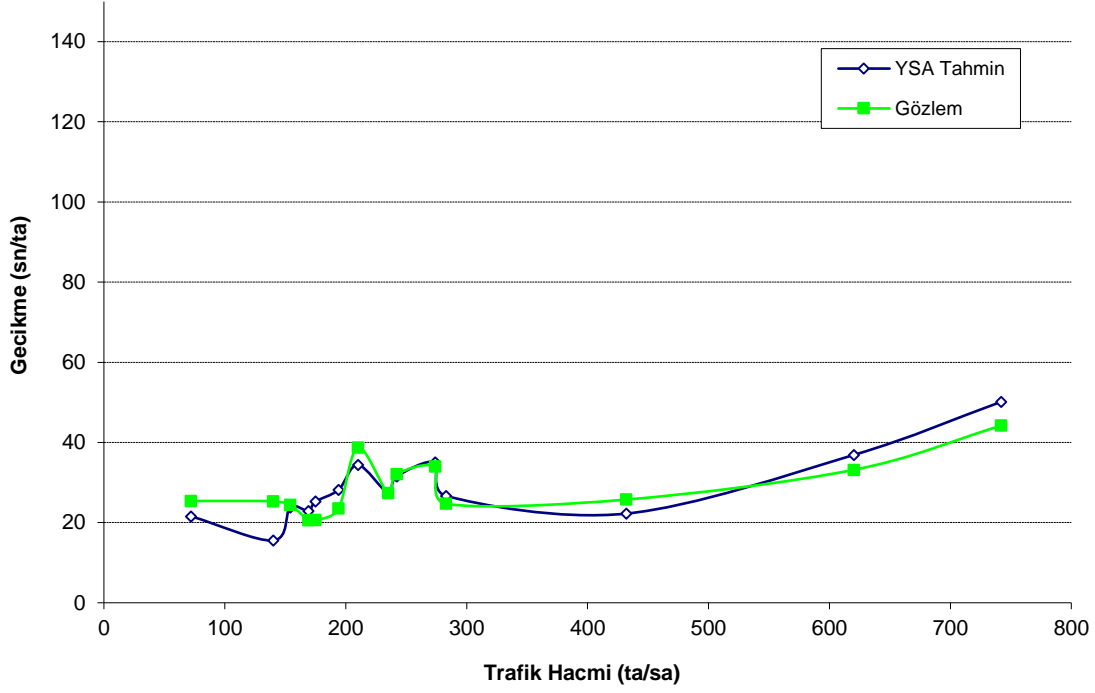
| Test Veri Sayısı | Devre Süresi (sn) | Kırmızı Süre (sn) | Trafik Hacmi (ta/sa) | Ortalama Gecikme (sn/ta) | YSA Gecikme (sn/ta) | Mutlak Hata |
|------------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|-------------|
| 1                | 87                | 52                | 72                   | 25,41                    | 21,58               | 0,15        |
| 2                | 84                | 38                | 140                  | 25,32                    | 15,55               | 0,38        |
| 3                | 91                | 56                | 154                  | 24,45                    | 23,77               | 0,02        |

|    |     |    |     |       |       |        |
|----|-----|----|-----|-------|-------|--------|
| 4  | 84  | 49 | 169 | 20,60 | 22,93 | 0,11   |
| 5  | 91  | 56 | 175 | 20,64 | 25,27 | 0,22   |
| 6  | 91  | 56 | 194 | 23,54 | 28,19 | 0,19   |
| 7  | 90  | 58 | 210 | 38,75 | 34,41 | 0,11   |
| 8  | 87  | 52 | 235 | 27,40 | 27,41 | 0,0005 |
| 9  | 102 | 65 | 242 | 32,10 | 31,51 | 0,018  |
| 10 | 102 | 65 | 274 | 34,00 | 35,08 | 0,032  |
| 11 | 87  | 52 | 283 | 24,71 | 26,66 | 0,079  |
| 12 | 87  | 36 | 432 | 25,75 | 22,25 | 0,135  |
| 13 | 87  | 36 | 620 | 33,16 | 36,87 | 0,11   |
| 14 | 88  | 42 | 742 | 44,20 | 50,14 | 0,13   |

Bu değerler grafik olarak Şekil 5.26'da verilmiştir.



### YSA-Gözlem



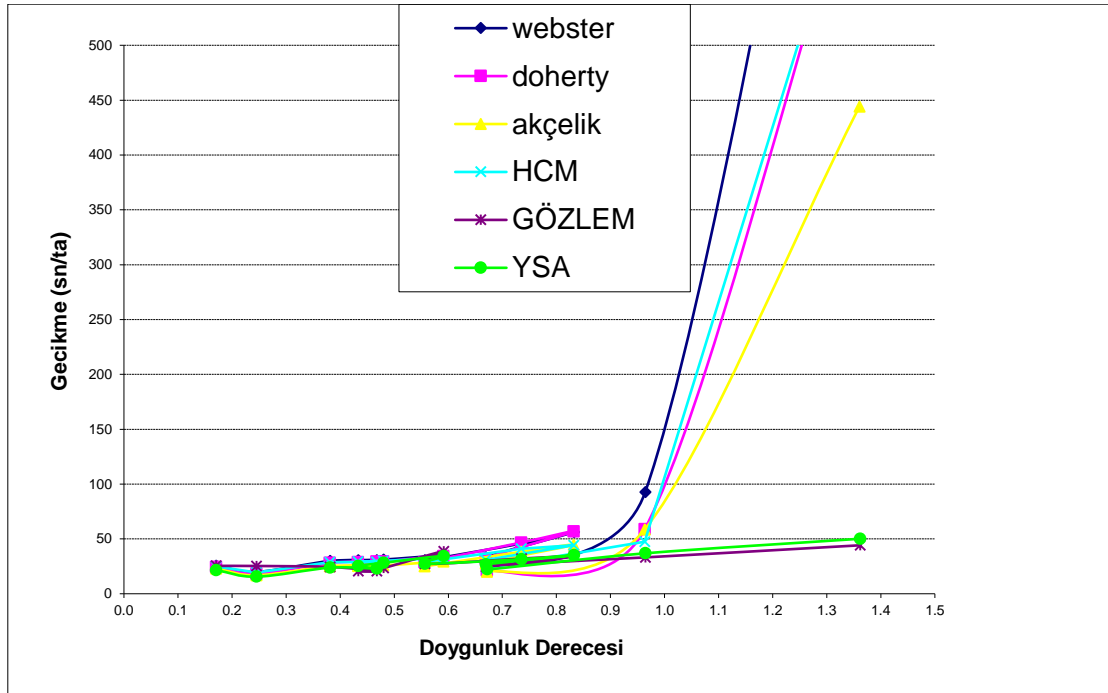
Şekil 5.26: Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu değerlendirmelerden sonra, çalışmanın esas amacı olan analitik gecikme modellerine dayalı gecikme değerleri, gözlem ve yapay sinir ağı çıktı sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4: Analitik Formüller, Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması

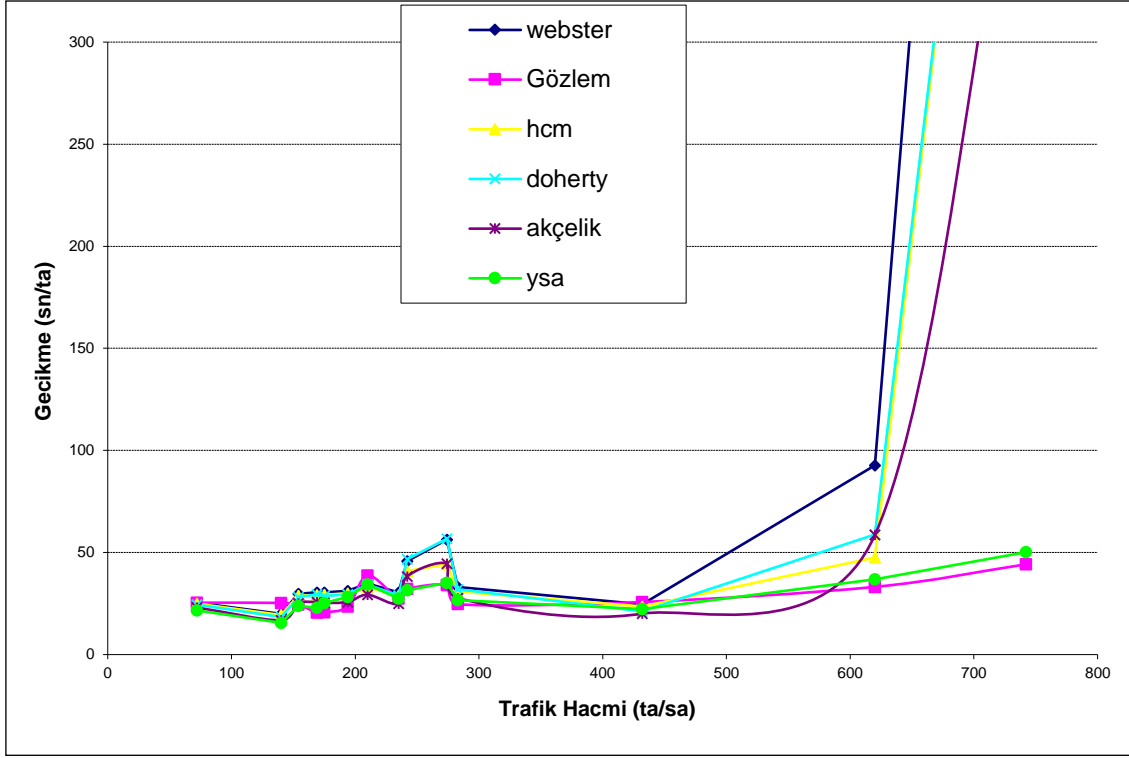
| Test Verileri | Devre Süresi (sn) | Kırmızı Süre(sn) | Trafik Hacmi(ta/sa) | Ortalama Gecikme (sn/ta) |          |         |          |        |       |
|---------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------------|----------|---------|----------|--------|-------|
|               |                   |                  |                     | Akçelik                  | Webster  | Doherty | HCM 2000 | Gözlem | YSA   |
| 1             | 87                | 52               | 72                  | 23,05                    | 25,42    | 24,41   | 24,88    | 25,41  | 21,58 |
| 2             | 84                | 38               | 140                 | 16,83                    | 19,93    | 18,38   | 19,39    | 25,32  | 15,55 |
| 3             | 91                | 56               | 154                 | 25,07                    | 29,83    | 28,13   | 28,80    | 24,45  | 23,77 |
| 4             | 84                | 49               | 169                 | 25,68                    | 30,47    | 29,46   | 29,10    | 20,6   | 22,94 |
| 5             | 91                | 56               | 175                 | 25,36                    | 30,50    | 28,78   | 29,38    | 20,64  | 25,27 |
| 6             | 91                | 56               | 194                 | 25,74                    | 31,16    | 29,47   | 29,95    | 23,54  | 28,19 |
| 7             | 90                | 58               | 210                 | 29,30                    | 34,89    | 34,41   | 32,95    | 38,75  | 34,41 |
| 8             | 87                | 52               | 235                 | 24,96                    | 30,40    | 28,80   | 29,00    | 27,4   | 27,42 |
| 9             | 102               | 65               | 242                 | 38,29                    | 45,86    | 46,68   | 40,99    | 32,10  | 31,51 |
| 10            | 102               | 65               | 274                 | 44,55                    | 56,32    | 56,74   | 44,27    | 34,00  | 35,09 |
| 11            | 87                | 52               | 283                 | 27,66                    | 33,10    | 31,96   | 30,86    | 24,71  | 26,67 |
| 12            | 87                | 36               | 432                 | 20,05                    | 24,63    | 21,17   | 23,58    | 25,75  | 22,25 |
| 13            | 87                | 36               | 620                 | 58,61                    | 92,69    | 58,75   | 47,46    | 33,16  | 36,88 |
| 14            | 88                | 42               | 742                 | 444,09                   | $\infty$ | 676,70  | 681,82   | 44,20  | 50,14 |

Doygunluk derecesi ve gecikmeye göre karşılaştırmalar Şekil 5.27’de verilmiştir.



Şekil 5.27: Analitik Formüller, Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması I

Trafik hacmi ve gecikme olarak da aynı karşılaştırmayı yapabiliriz. Şekil 5.28’de bu grafiği görebiliriz.



5.28: Analitik Formüller, Gözlem ve YSA Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması II

Şekil 5.27 ve 5.28’de verilen karşılaştırmalar sonucunda, geliştirilen YSA gecikme tahmin modelinin, arazide ölçülen gözlem değerlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Özellikle doymun üstü durumda analitik gecikme formülasyonları ile yapılan tahminlerin gerçek ölçümlerden oldukça uzaklaştığı, YSA tahmin modelinin ise gerçek değere yaklaştığı sonucuna varılmıştır. Çalışmanın başlangıcında ifade edildiği gibi temel amaç, özellikle analitik formülasyon ve yaklaşımların yetersiz kaldığı durumları incelemek ve YSA ile alternatif bir model veya yaklaşım geliştirmektir. Geliştirilen model bu amacı sağlamıştır.

Geliştirilen modelin daha güçlü olabilmesi ve çok daha yakın sonuçlara ulaşılabilmesi için veri setinin daha genişletilmesine gereksinim vardır. Çalışma kapsamında Denizli ve İzmir kentlerindeki izole kavşaklardaki trafik hacimleri gözlenmiş ve ancak Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilen veriler elde edilebilmiştir. Özellikle yüksek trafik hacmine ait (500 ta/sa ve üzeri) veri temininde sıkıntılar yaşanmıştır. Bu verilerin de artırılması ile modelin çok daha güçlü hale gelebileceği düşünülmektedir.

# ALTINCI BÖLÜM

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İzole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmeleri tahmini için oluşturulan YSA modeli diğer analitik formüllere göre daha iyi bir sonuç vermiştir.
- YSA'nın testinden elde edilen gecikme değerleri ile gözlem gecikme değerleri arasındaki mutlak hata 0,12 dir.
- Özellikle doyumluk derecesinin  $x > 1$  olduğu durumda analitik formüllerle elde edilen gecikme değerleri gözlem değerlerinden uzaklaşırken, YSA ile elde edilen gecikme değerlerinin gözlem değerleri ile uyum sağladığı görülmüştür.
- YSA, izole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin tahmininde farklı bir yaklaşım sağlamıştır. Özellikle veri setinin genişletilmesi ile çok daha iyi sonuçlara ulaşabileceği anlaşılmaktadır. Çünkü, YSA, problemi çözerken mevcut veriler dışında başka bir bilgiye ihtiyaç duymaz, bu nedenle veri seti ne kadar geniş olursa, tahmin de o kadar gerçeğe yaklaşır.

### 6.2 Öneriler

Yapılan bu çalışma, izole sinyalize olarak kurulmuş olan kavşakların performans değerlendirilmesinde ve yeni tasarlanacak izole sinyalize olarak tesis edilecek kavşaklar için önceden tahmin modeli olarak kullanılabilir. YSA'nın eğitiminde kullanılan veri seti genişletilerek daha kapsamlı ve gelişmiş modeller kurulabilir. YSA'nın girdi parametreleri değiştirilerek veya daha fazla parametre kullanılarak daha iyi sonuç veren modeller

oluşturulabilir. YSA'da kullanılan eğitim algoritması ve aktivasyon fonksiyonunun tipi değiştirilerek yeni denemeler yapılabilir ve izole sinyalize sistem yerine koordine edilmiş sinyalizasyon sistemleri dikkate alınarak modeller tasarlanabilir. Literatürde mevcut olan yazılımlar (HCM, SIDRA, TRANSYT) tamamen Bölüm 4'de bahsedilen yaklaşımları kullanmaktadır. Geliştirilen gecikme modelinin mevcut bu yazılımlara adaptasyonu veya yeni bir yazılım geliştirilmesiyle gecikme tahminleri daha gerçeğçi olabilecektir

## KAYNAKLAR

Akçelik, R., Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Research Report 123, Australian Road Research Board, Melbourne, Australia, 1981.

Akçelik, R., The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Intersections, ITE Journal, 23-27 p., 1988.

Akçelik, R., Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Research Report ARR No:123, ISBN 00 869910 015 7, 108 p., Australia, 1993.

Arslan, A. ve İnce, R., Yapı Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağları ve Uygulama Potansiyeli, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV Sempozyumu, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, 219-228, İstanbul, 1994.

Arslan, A. ve İnce, R., The Neural Network Approximation to the Size Effect in Fracture of Cemetitious Materials, Engineering Fracture Mechanics, Vol 54, No 2, 249-261, 1996.

Ayfer, M. Ö., Trafik Sinyalizasyonu, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No:226, 182 s., Ankara, 1977.

Beale, M., Demuth, H. B. ve Hagan, M. T., Neural Network Design, PWS Publishing Company, ISBN 0-534-94332-2, USA, 1995.

Bingham, E., Reinforcement Learning in Neurofuzzy Traffic Signal Control, Proceedings of The 11<sup>th</sup> Mini-EURO Conference on Artificial Intelligence In Transportation Systems And Science, And The 7<sup>th</sup> EURO-Working Group Meeting On Transportation, Helsinki University Of Technology Espoo, Finland, 1999.

Burrow, I., A Note on Traffic Delay Formulas, ITE Journal, 29-32 p., 1989.

Dağlı, C. H., Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing, Yöneylem Araştırma Dergisi, 6, 1-25, Türkiye, 1994.

Demir, Y. K., Yapay Sinir Ağları ile Ulaştırma Taleplerinin Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1997.

Dia, H., An Object-Oriented Neural Network Approach to Short-Term Traffic Forecasting, Proceedings of The 11<sup>th</sup> Mini-EURO Conference on Artificial Intelligence In Transportation Systems And Science, And The 7<sup>th</sup> EURO-Working Group Meeting On Transportation, Helsinki University Of Technology Espoo, Finland, 1999.

Dion, F., Rakha, H. ve Kang, Y. S., Comparison of Delay Estimates at Under-Saturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections, Transportation Research Part B, 37, 1-24 p., 2003.

Doherty, A. R., “Comprehensive Junction Delay Formulae”, LRT1 Working Paper, Department of Transport, 1977.

Efe, M.Ö. ve Kaynak, O., Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, 141 s., İstanbul, 2000.

Fırat, M., Doğrusal ve Kıvrımlı Akarsulara Yerleştirilen Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Oyulma Derinliğinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2002.

Gökdağ, M. ve Haşiloğlu, A., Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Yapay Bulanık Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi, Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 2001.

Gökdağ, M., Sinyalize Kavşaklarda Meydana Gelen Taşıt Gecikmelerinin Simülasyon Modellemesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Trabzon, 1996.

ITE, In: Teply, S. (Ed.), Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, second ed., Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada, 1995.

Kimber, R. M. ve Daly, P. N., Time-Dependent Queuing At Road Junctions: Observation And Prediction, Transportation Research Part B, Vol. 20B, 187-203 p., 1986.

Mcculloch, W. S. ve Pitts, W., A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, vol 5., pp 115-133, 1943.

Murat, Y. Ş., Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 1996.

Murat, Y. Ş., Prediction of Traffic Volumes In Bosphorus Bridge Using Artificial Neural Networks, Proceedings of The 11<sup>th</sup> Mini-EURO Conference on Artificial Intelligence In Transportation Systems And Science, And The 7<sup>th</sup> EURO-Working Group Meeting On Transportation, Helsinki University Of Technology Espoo, 43-47 p., Finland, 1999.

Murat, Y. Ş., Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı Doktora Tezi, İstanbul, 2001.

Niittymaki, J., Isolated Traffic Signals Vehicle Dynamics and Fuzzy Control, Helsinki University of Technology, Transportation Engineering, Publication 94, 128 p., Finland, 1998.

POWELL, J. L., Field Measurement of Signalized Intersection Delay for 1997 Update of the Highway Capacity Manual, Transportation Research Record, Paper No.1416, 1998.

Prevedeorus, P. D. ve Koga, C. A., Comparison of 1985 and 1994 HCM: Signalized Intersection Delay Estimates, ITE Journal, 26-30 p., 1996.

Sane, K. J. ve Kosonen, I., HUTSIM 4.2 Reference Manual, Helsinki University of Technology, Transportation Engineering, Publication 90, Finland, 1996.



Qiao, F., Yi, P., Yang, H. ve Devarakonda, S., Fuzzy Logic Based Intersection Delay Estimation, Mathematical and Computer Modelling, 1425-1434 p., 2002.

Quiroga, C. A. ve Bullock, D., Measuring Control Delay At Signalized Intersections, Journal of Transportation Engineering, Vol, 125, 271-280 p., 1999.

Roess, R., P., McShane, W., R. ve Prassas, E., S., Traffic Engineering, Prentice-Hall, ISBN 0-13-461336-8, 714 p., USA, 1998.

Sağıroğlu, Ő., BeŐdok, E. ve Erler, M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık Tic. Ltd. Őti., ISBN 975-95948-5-4, 426 s., Kayseri, 2003.

TRB, Special Report 209: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 1985.

TRB, Special Report 209: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 1994.

TRB, Special Report 209: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 1995.

TRB, Special Report 209: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 1997.

TRB, Special Report 209: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 2000.

Uzunodđlu, M., Kızıl, A. ve Onar, Ö. Ç., Kolay Anlatımı ile İleri Düzeyde Matlab 6.0-6.5, Türkmen Kitabevi, ISBN 975-6812-79-6, İstanbul, 2002.

Washburn, S. S. ve Larson, N., Signalized Intersection Delay Estimation: Case Study Comparison of TRANSYT-7F, Synchro and HCS, ITE Journal, 30-35 p., 2002.

Webster, F. V., Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper, No 39, Road Research Laboratory, Her Majesty Stationary Office, London, UK, 1958.

Webster, F. V., Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper, No 39, Road Research Laboratory, Her Majesty Stationary Office, London, UK, 1966.

Widrow, B., Adaptive Sampled-Data Systems, a Statistical Theory of Adaptation, IRE WESCON Convention Record, part 4, Institute of Radio Engineers, New York, 1959.

# EKLER

## EK – 1

### GÖZLEM FÖYÜ

| PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ                    |          |   |   |                                 |                                 |                       |                  |          |   |   |                                 |                                 |                       |
|--|----------|---|---|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|----------|---|---|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| <u>GEÇİKME, DOYGUN AKIM VE TAŞIT TAKİP ARALIĞI ETÜDÜ GÖZLEM FÖYÜ</u> |          |   |   |                                 |                                 |                       |                  |          |   |   |                                 |                                 |                       |
| <b>Kavşak Adı</b>  |          |   |   |                                 |                                 | Çankaya kavşağı       |                  |          | <b>Tarih</b>                                    |   | 18.11.2003                      |                                 |                       |
| <b>Yaklaşım Kolu</b>   |          |   |   |                                 |                                 | Hatay istikameti      |                  |          | <b>Gözlem Saati</b>                             |   | 16.30-17.30                     |                                 |                       |
| <b>Şerit Sayısı</b>  |          |   |   |                                 |                                 | 2                     |                  |          | <b>Sıcaklık</b>                                 |   |                                 |                                 |                       |
| <b>Şeritteki Akım Türü</b>   |          |   |   |                                 |                                 | doğru+sağ             |                  |          | <b>Yeşil Süre</b>                               |   | 30 saniye                       |                                 |                       |
| <b>Eğim Durumu</b>   |          |   |   |                                 |                                 | düz                   |                  |          | <b>Sarı Süre</b>                                |   | 2 saniye                        |                                 |                       |
| <b>Gözlem Süresi</b>   |          |   |   |                                 |                                 | 1 saat                |                  |          | <b>Kırmızı Süre</b>                             |   | 42 saniye                       |                                 |                       |
| Trafik hacmi=695 ta/sa   |          |   |   |                                 | Toplam gecikme=37054 sn         |                       |                  |          |   | Ortalama gecikme=53,31 sn                 |                                 |                                 |                       |
| Taşı<br>t<br>NO.   | Tür<br>ü | Kavşağ<br>a<br>Giriş<br>Zamanı<br>(Eklenik<br>) | Kavşaktan<br>Çıkış<br>Zamanı<br>(Eklenik) | Giriş<br>Aralığı<br>(Tekil<br>) | Çıkış<br>Aralığı<br>(Tekil<br>) | Gecikm<br>e<br>Süresi | Taşı<br>t<br>NO. | Tür<br>ü | Kavşağ<br>a<br>Giriş<br>Zamanı<br>(Eklenik<br>) | Kavşaktan<br>Çıkış<br>Zamanı<br>(Eklenik) | Giriş<br>Aralığı<br>(Tekil<br>) | Çıkış<br>Aralığı<br>(Tekil<br>) | Gecikm<br>e<br>Süresi |
| 1  |          | 11  | 52  |                                 |                                 | 41                    | 1                |          | 6   | 60  |                                 |                                 | 54                    |
| 2  |          | 14  | 53  |                                 |                                 | 39                    | 2                |          | 9   | 61  |                                 |                                 | 52                    |
| 3  |          | 19  | 55  |                                 |                                 | 36                    | 3                |          | 11  | 63  |                                 |                                 | 52                    |
| 4  |          | 23  | 58  |                                 |                                 | 35                    | 4                |          | 18  | 65  |                                 |                                 | 47                    |
| 5  |          | 25  | 60  |                                 |                                 | 35                    | 5                |          | 23  | 67  |                                 |                                 | 44                    |
| 6  |          | 29  | 61  |                                 |                                 | 32                    | 6                |          | 26  | 68  |                                 |                                 | 42                    |
| 7  |          | 32  | 63  |                                 |                                 | 31                    | 7                |          | 28  | 70  |                                 |                                 | 42                    |
| 8  |          | 34  | 64  |                                 |                                 | 30                    | 8                |          | 35  | 71  |                                 |                                 | 36                    |
| 9  |          | 35  | 65  |                                 |                                 | 30                    | 9                |          | 46  | 74  |                                 |                                 | 28                    |
| 10   |          | 37  | 67  |                                 |                                 | 30                    | 10               |          | 50  | 120                                       |                                 |                                 | 70                    |
| 11   |          | 38  | 68  |                                 |                                 | 30                    | 11               |          | 52  | 122                                       |                                 |                                 | 70                    |
| 12   |          | 40  | 70  |                                 |                                 | 30                    | 12               |          | 53  | 124                                       |                                 |                                 | 71                    |
| 13   |          | 42  | 120                                       |                                 |                                 | 78                    | 13               |          | 54  | 126                                       |                                 |                                 | 72                    |
| 14   |          | 45  | 122                                       |                                 |                                 | 77                    | 14               |          | 55  | 128                                       |                                 |                                 | 73                    |
| 15   |          | 49  | 124                                       |                                 |                                 | 75                    | 15               |          | 56  | 130                                       |                                 |                                 | 74                    |
| 16   |          | 60  | 126                                       |                                 |                                 | 66                    | 16               |          | 57  | 132                                       |                                 |                                 | 75                    |
| 1  |          | 3   | 60  |                                 |                                 | 57                    | 1                |          | 18  | 62  |                                 |                                 | 44                    |
| 2  |          | 10  | 62  |                                 |                                 | 52                    | 2                |          | 20  | 64  |                                 |                                 | 44                    |
| 3  |          | 14  | 64  |                                 |                                 | 50                    | 3                |          | 22  | 66  |                                 |                                 | 44                    |
| 4  |          | 19  | 65  |                                 |                                 | 46                    | 4                |          | 24  | 68  |                                 |                                 | 44                    |
| 5  |          | 23  | 66  |                                 |                                 | 43                    | 5                |          | 27  | 71  |                                 |                                 | 44                    |
| 6  |          | 25  | 68  |                                 |                                 | 43                    | 6                |          | 29  | 73  |                                 |                                 | 44                    |
| 7  |          | 27  | 70  |                                 |                                 | 43                    | 7                |          | 41  | 75  |                                 |                                 | 34                    |
| 8  |          | 30  | 71  |                                 |                                 | 41                    | 8                |          | 43  | 76  |                                 |                                 | 33                    |

|    |  |    |     |  |  |    |  |    |   |    |     |  |  |    |
|----|--|----|-----|--|--|----|--|----|---|----|-----|--|--|----|
| 9  |  | 32 | 72  |  |  | 40 |  | 9  |   | 46 | 120 |  |  | 74 |
| 10 |  | 34 | 74  |  |  | 40 |  | 10 |   | 48 | 122 |  |  | 74 |
| 11 |  | 42 | 76  |  |  | 34 |  | 11 |   | 50 | 124 |  |  | 74 |
| 12 |  | 47 | 120 |  |  | 73 |  | 12 | O | 53 | 126 |  |  | 73 |
| 13 |  | 48 | 122 |  |  | 74 |  | 13 |   | 55 | 128 |  |  | 73 |
| 14 |  | 50 | 124 |  |  | 74 |  | 14 |   | 57 | 130 |  |  | 73 |
| 15 |  | 52 | 126 |  |  | 74 |  | 15 |   | 70 | 132 |  |  | 62 |
| 16 |  | 54 | 128 |  |  | 74 |  | 1  |   | 3  | 51  |  |  | 48 |
| 17 |  | 56 | 130 |  |  | 74 |  | 2  |   | 5  | 52  |  |  | 47 |
| 18 |  | 58 | 132 |  |  | 74 |  | 3  |   | 8  | 53  |  |  | 45 |
|    |  |    |     |  |  |    |  | 4  |   | 9  | 56  |  |  | 47 |
|    |  |    |     |  |  |    |  | 5  |   | 11 | 60  |  |  | 49 |

# ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı : Özgür BAŞKAN  
Ana adı : Hatice Nihal  
Baba adı : Ramazan  
Doğum yeri ve tarihi : Bursa, 27.06.1976  
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi : Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1998  
Çalıştığı yer : Araştırma Görevlisi, Pamukkale Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü  
Bildiği yabancı dil : Almanca, İngilizce