

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAZA-ARIZA YÖNETİMİ ve KAZA-ARIZALARIN  
OTOMATİK ALGILANMASI**

**İnşaat Mühendisi Sencer OKTAV**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail ŞAHİN (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2009**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                          | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                                                                         | ii    |
| SİMGE LİSTESİ.....                                                                       | v     |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                                                    | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                       | vii   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                     | viii  |
| ÖNSÖZ .....                                                                              | ix    |
| ÖZET .....                                                                               | x     |
| ABSTRACT.....                                                                            | xi    |
| <br>                                                                                     |       |
| 1. GİRİŞ.....                                                                            | 1     |
| 2. KAZA-ARIZA YÖNETİMİ.....                                                              | 4     |
| 2.1 Kaza-arıza çeşitleri.....                                                            | 4     |
| 2.2 Tıkanıklıklar .....                                                                  | 5     |
| 2.2.1 Tekrarlanan tıkanıklıklar .....                                                    | 6     |
| 2.2.2 Tekrarlanmayan tıkanıklıklar .....                                                 | 6     |
| 2.3 Kaza-arıza yönetimindeki temel bileşenler .....                                      | 6     |
| 2.3.1 Kaza-arıza algılama .....                                                          | 7     |
| 2.3.1.1 Vatandaşlardan gelen bilgiler .....                                              | 8     |
| 2.3.1.2 Elektronik teknikler .....                                                       | 10    |
| 2.3.1.3 Profesyonellerden gelen bilgiler .....                                           | 12    |
| 2.3.2 Kaza-arıza doğrulama.....                                                          | 12    |
| 2.3.2.1 Kapalı devre kameraları .....                                                    | 13    |
| 2.3.2.2 Müdahale birimlerini kaza-arıza bölgesine yönlendirmek .....                     | 14    |
| 2.3.2.3 Hava ekipleriyle kurulan bağlantılar .....                                       | 14    |
| 2.3.2.4 Çoklu mobil telefon çağrılarından sağlanan bilgilerin bir araya getirilmesi .... | 14    |
| 2.3.3 Sürücülerin bilgilendirilmesi .....                                                | 15    |
| 2.3.3.1 Ticari (özel) radyo yayınları .....                                              | 15    |
| 2.3.3.2 Yol durumuyla ilgili acil bilgiler sunan radyo yayınları .....                   | 16    |
| 2.3.3.3 Değişken mesajlı levhalar (VMS) .....                                            | 17    |
| 2.3.3.4 Telefonla bilgilendirme sistemleri .....                                         | 19    |
| 2.3.3.5 Araç içi veya kişisel yardımcı ve geçki gösteren sistemler .....                 | 19    |
| 2.3.3.6 Ticari ve ulusal televizyon trafik raporları .....                               | 20    |
| 2.3.3.7 İnternet veya çevrimiçi hizmetler .....                                          | 20    |
| 2.3.4 Kaza-arıza müdahalesi.....                                                         | 22    |
| 2.3.4.1 Kuruluş içi ve kuruluşlar arası haberleşmeler .....                              | 22    |
| 2.3.4.2 Müdahale için personel ve lojistik desteği .....                                 | 23    |
| 2.3.4.3 Donanım depolama alanları .....                                                  | 24    |
| 2.3.4.4 Kuruluşlar arası anlaşmalar .....                                                | 24    |

|           |                                                                                                                                     |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.4.5   | Geliştirilmiş müdahale araçları (ARV) .....                                                                                         | 25 |
| 2.3.5     | Kaza-arıza bölge yönetimi .....                                                                                                     | 25 |
| 2.3.5.1   | Kaza-arıza bölge yönetiminin amaçları .....                                                                                         | 26 |
| 2.3.5.2   | Kaza-arıza bölge yönetiminde kullanılan teknikler .....                                                                             | 26 |
| 2.3.5.2.1 | Gereksinim duyulan donanımlar .....                                                                                                 | 27 |
| 2.3.5.2.2 | Çok sayıda kuruluşun göz önüne alınması .....                                                                                       | 27 |
| 2.3.5.2.3 | Müdahale araçlarının kaza-arıza bölgesinde yerleştirilmesi .....                                                                    | 28 |
| 2.3.5.2.4 | Kaza-arıza komut sistemi (ICS) .....                                                                                                | 28 |
| 2.3.5.2.5 | Birleştirilmiş komut yapısı .....                                                                                                   | 29 |
| 2.3.6     | Trafik yönetimi .....                                                                                                               | 29 |
| 2.3.6.1   | Etkin bir trafik yönetimi için hazırlanma .....                                                                                     | 31 |
| 2.3.6.1.1 | Trafik kontrol donanımlarının hazır bulunması .....                                                                                 | 31 |
| 2.3.6.1.2 | Hangi trafik kontrol donanımlarının kullanılabilir olduğunun bilinmesi .....                                                        | 32 |
| 2.3.6.1.3 | Geçki seçeneklerinin planlaması .....                                                                                               | 32 |
| 2.3.6.2   | Kaza-arıza gerisindeki trafik akımının iyileştirilmesi .....                                                                        | 32 |
| 2.3.6.3   | Seçenek olarak sunulan geçkilerdeki trafik akımının iyileştirilmesi .....                                                           | 33 |
| 2.3.6.3.1 | Trafik kontrol donanımlarının aktif olarak yönetilmesi .....                                                                        | 33 |
| 2.3.6.3.2 | Geçki seçeneklerinin oluşturulması ve işletilmesi .....                                                                             | 34 |
| 2.3.7     | Kaza-arızanın kaldırılması .....                                                                                                    | 34 |
| 2.3.7.1   | Olay yerinde kaza-arıza kaldırılmasının planlanması .....                                                                           | 35 |
| 2.3.7.2   | Kaza-arızanın kaldırılmasında kullanılan teknikler .....                                                                            | 36 |
| 2.3.7.3   | Yük kamyonlarının kaldırılması .....                                                                                                | 37 |
| 2.3.7.4   | Kaza soruşturmaları .....                                                                                                           | 37 |
| 3.        | <b>KAZA-ARIZA YÖNETİMİNDE (ALGILAMASINDA)</b><br><b>KULLANILAN SAYISAL YÖNTEMLER</b> .....                                          | 38 |
| 3.1       | Otomatik kaza-arıza algılama modelleri ve modelleri değerlendirmede<br>kullanılan kıstaslar .....                                   | 38 |
| 3.2       | Yapay sinir ağları .....                                                                                                            | 41 |
| 3.3       | California modelleri .....                                                                                                          | 43 |
| 3.4       | Fraktal kaza-arıza algılama modeli .....                                                                                            | 44 |
| 3.4.1     | İşgal oranı ve hız verilerine göre türetilen fraktal modeller .....                                                                 | 45 |
| 3.4.2     | Düzeltilmiş fraktal modelin kaza-arıza koşullarındaki performansının<br>değerlendirilmesi .....                                     | 48 |
| 3.4.2.1   | Kaza-arızanın şiddeti .....                                                                                                         | 49 |
| 3.4.2.2   | Kaza-arızanın gerçekleştiği zaman dilimi .....                                                                                      | 50 |
| 3.4.2.3   | Akım .....                                                                                                                          | 50 |
| 3.4.2.4   | Kaza-arızanın süresi .....                                                                                                          | 50 |
| 3.5       | İncelenen kaza-arıza algılama modellerinin karşılaştırılması .....                                                                  | 50 |
| 4.        | <b>YAPAY SİNİR AĞLARINI KULLANAN BİR KAZA-ARIZA</b><br><b>ALGILAMA MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE</b><br><b>DEĞERLENDİRİLMESİ</b> ..... | 53 |
| 4.1       | Sinir ağlarının temel yapısı .....                                                                                                  | 53 |
| 4.2       | Yapay sinir ağlarının işleyişi ve çeşitleri .....                                                                                   | 56 |
| 4.3       | Yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modeli .....                                                                                    | 58 |
| 4.3.1     | Problemin tanımı .....                                                                                                              | 58 |
| 4.3.2     | Verilerin elde edilmesi .....                                                                                                       | 58 |
| 4.3.3     | Verilerin düzenlenmesi ve kümelere ayrılması .....                                                                                  | 61 |

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 4.3.4 | Bilgisayar ortamında modelin oluşturulması..... | 64 |
| 5.    | SONUÇLAR .....                                  | 68 |
|       | KAYNAKLAR .....                                 | 69 |
|       | ÖZGEÇMİŞ .....                                  | 71 |

## SİMGE LİSTESİ

|          |                                                   |
|----------|---------------------------------------------------|
| DR       | Algılama oranı (%)                                |
| f        | Etkinleşme (aktivasyon) fonksiyonu                |
| FAR      | Yanlış alarm oranı (%)                            |
| MTTD     | Algılamak için harcanan ortalama süre (sa:dak:sn) |
| O        | İşgal oranı (%)                                   |
| S        | Hız (km/sa)                                       |
| V        | Hacim (taşıt)                                     |
| $w_i$    | Ağırlık katsayıları                               |
| W        | Ağın ağırlık vektörü                              |
| x        | Girdiler                                          |
| X        | Girdi vektörü                                     |
| y        | Çıktılar                                          |
| Y        | Çıktı vektörü                                     |
| $\theta$ | Sinir hücresi için eşik değeri                    |
| {0}      | Kaza-arızasız koşullar                            |
| {1}      | Kaza-arızanın varlığı                             |

## KISALTMA LİSTESİ

|       |                                                                             |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|
| AID   | Otomatik kaza-arıza algılama (Automatic Incident Detection)                 |
| ARV   | Gelişmiş müdahale araçları (Advanced Response Vehicles)                     |
| ATMS  | Gelişmiş trafik yönetimi sistemleri (Advanced Traffic Management Systems)   |
| AVI   | Otomatik araç tanıma (Automatic Vehicle Identification)                     |
| DMS   | Hareketli mesajlı levhalar (Dynamic Message Signs)                          |
| DR    | Algılama oranı (Detection Rate)                                             |
| FAR   | Yanlış alarm oranı (False Alarm Rate)                                       |
| GPS   | Evrensel konumlandırma sistemleri (Global Positioning System)               |
| HDİOD | Hızın Düzeltilmesi Algoritması ve İşgal Oranının Düzeltilmesi Algoritması   |
| HDİOE | Hızın Düzeltilmesi Algoritması ve İşgal Oranı Eşik Değeri Testi             |
| HDİOT | Hızın Düzeltilmesi Algoritması ve İşgal Oranının Tekrarlanması Algoritması  |
| HTİOD | Hızın Tekrarlanması Algoritması ve İşgal Oranının Düzeltilmesi Algoritması  |
| HTİOE | Hızın Tekrarlanması Algoritması ve İşgal Oranı Eşik Değeri Testi            |
| HTİOT | Hızın Tekrarlanması Algoritması ve İşgal Oranının Tekrarlanması Algoritması |
| ICS   | Kaza-arıza komut sistemi (Incident Command System)                          |
| ITS   | Akıllı ulaştırma sistemleri (Intelligent Transportation Systems)            |
| MTTD  | Algılamak için harcanan ortalama süre (Mean Time To Detect)                 |
| RTMS  | Trafik detektörü (Remote Traffic Microwave Sensor)                          |
| VMS   | Değişken mesajlı levhalar (Variable Message Signs)                          |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                       | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1 Kaza-arıza algılama süreci .....                                            | 2     |
| Şekil 2.1 Kaza-arıza çeşitleri ve etkileri .....                                      | 5     |
| Şekil 2.2 Kaza-arıza yönetiminin bileşenleri .....                                    | 7     |
| Şekil 2.3 Trafik gözlem merkezinde yetkililer monitörleri gözlemlerken .....          | 9     |
| Şekil 2.4 Yol durumuyla ilgili bilgi veren radyo istasyonu işaret levhası .....       | 16    |
| Şekil 2.5 Klasik bir değişken mesajlı levha .....                                     | 17    |
| Şekil 2.6 Tıkanıklık haritası .....                                                   | 21    |
| Şekil 2.7 Gelişmiş bir müdahale aracı .....                                           | 25    |
| Şekil 2.8 Kaza-arıza olay yerindeki trafik yönetimi çalışması .....                   | 30    |
| Şekil 2.9 Rampalı bir kurtarma aracı .....                                            | 36    |
| Şekil 3.1 Bir performans eğrisi örneği .....                                          | 41    |
| Şekil 3.2 Otoyol kesiminin fiziksel görünümü .....                                    | 42    |
| Şekil 3.3 Yapay sinir ağları modelleme yapısı .....                                   | 43    |
| Şekil 3.4 Doğada bulunan iki adet fraktal cisim .....                                 | 45    |
| Şekil 3.5 İşgal oranı fraktal modeli için performans eğrisi .....                     | 46    |
| Şekil 3.6 Doğrulama veri kümesine bağlı olarak oluşturulmuş performans eğrileri ..... | 47    |
| Şekil 3.7 Kaza-arıza algılama modellerinin performans eğrileri .....                  | 51    |
| Şekil 4.1 Matematiksel sinir hücresi .....                                            | 53    |
| Şekil 4.2 Doğrusal fonksiyon .....                                                    | 54    |
| Şekil 4.3 Eşik değeri fonksiyonu .....                                                | 55    |
| Şekil 4.4 Sigmoid fonksiyon .....                                                     | 55    |
| Şekil 4.5 İleri beslemeli sinir ağı .....                                             | 57    |
| Şekil 4.6 Geri beslemeli sinir ağı .....                                              | 57    |
| Şekil 4.7 Zamana bağlı olarak işgal oranı değerlerinin değişimi .....                 | 61    |
| Şekil 4.8 Zamana bağlı olarak hız değerlerinin değişimi .....                         | 62    |
| Şekil 4.9 Matlab’de ağ oluşturma penceresi .....                                      | 64    |
| Şekil 4.10 Oluşturulan ağın genel yapısı .....                                        | 65    |
| Şekil 4.11 Ağın performansı (hata payı) .....                                         | 66    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                              | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1 Otomatik kaza-arıza algılama modelleri.....                                      | 39    |
| Çizelge 3.2 Kaza-arıza algılama modellerini değerlendirmede kullanılan kıstaslar.....        | 40    |
| Çizelge 3.3 Kullanılan fraktal kaza-arıza algılama modelleri .....                           | 46    |
| Çizelge 3.4 En iyi sonuç veren model (HDİOD) için kaza-arıza algılama performansı.....       | 48    |
| Çizelge 3.5 Düzeltilmiş fraktal modelin farklı koşullarda gösterdiği performans sonuçları .. | 49    |
| Çizelge 3.6 Performans eğrilerinin altında kalan alanlar .....                               | 52    |
| Çizelge 4.1 Kayıt altına alınan bazı kaza-arızalar .....                                     | 58    |
| Çizelge 4.2 Örnek RTMS verileri.....                                                         | 59    |
| Çizelge 4.3 Verilerin alındığı RTMS'lerin numaraları ve ait oldukları otoyol kesimleri.....  | 63    |

## ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği lisans eğitimimin son senesinde seçmeli proje dersleri arasından seçtiğim ve lisans eğitimimin son proje çalışması olan Demiryolu Projesi üzerinde çalışmaya başladıktan sonra yüksek lisans eğitimimi Ulaştırma Programı'nda yapmaya karar verdim. Çünkü bu projenin tamamını büyük keyif alarak ve hiç sıkılmadan yapmışım. Daha sonra lisans diplomasını aldıktan hemen sonra yine kendi üniversitemin açmış olduğu Ulaştırma Programı'na başvurduğum ve kabul edildim. Aradan geçen bu süreçte gerek arkadaşlarım gerekse hocalarımla paylaştıklarım hayatım boyunca hep tebessümle hatırlayacağım anılar olarak geride kalacaktır.

Hazırladığım bu tez ile artık yüksek lisans eğitimimin sonuna gelmiş bulunuyorum. Yüksek lisans eğitimim boyunca bana destek olan bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür etmek istiyorum.

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana büyük desteği ve katkısı olan, beni hep sabırla karşılayan tez danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmanın sayısal uygulama kısmında veri temininde bize büyük desteği olan ve zamanını ayıran Sayın Batuhan ALTUN'a da teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak sayısal uygulama kısmı yapay sinir ağı modelini oluşturma safhasında yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Selim DÜNDAR'a teşekkür ederim.

Sencer OKTAV

## ÖZET

Bir yol kesiminde meydana gelen kazalar, arızalanmış araçlar, yola devrilmiş yükler ve bunun gibi normal trafik akımını bozan ve kapasitede azalmaya sebep olan tekrarlanmayan (rastgele oluşmuş) olaylar kaza-arıza olarak tanımlanırlar. Kaza-arıza yönetimi ise meydana gelen kaza-arızaların sürelerini ve etkilerini azaltmak; sürücülerin, kaza-arıza mağdurlarının ve müdahale ekiplerinin güvenliğini arttırmak için insani, kurumsal, mekanik ve teknik kaynakların sistematik, planlı ve koordineli bir biçimde kullanılmasıdır. Günümüzde kaza-arızaların sebep oldukları tıkanıklıklar ciddi bir sorun haline gelmiştir. Öyle ki, kentiçi ulaşımında meydana gelen tıkanıklıkların büyük kısmı kaza-arızalardan kaynaklanmaktadır. Hazırlanan bu tezin amacı doğrultusunda, öncelikle kaza-arıza yönetiminin yedi temel bileşeni olan kaza-arıza algılama, doğrulama, sürücülerin bilgilendirilmesi, müdahale, bölge yönetimi, trafik yönetimi ve kaza-arızanın kaldırılması hususlarına ayrıntılı olarak değinilmiştir. Bu bileşenler incelenirken kullanılan yöntemler de anlatılmıştır. Daha sonra kaza-arıza yönetiminin sayısal kısmı olan otomatik kaza-arıza algılama algoritmalarına değinilmiş ve sıklıkla kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Bu yöntemler arasında kaza-arıza algılama oranı, yanlış alarm oranı ve algılamak için harcanan ortalama süre kıstasları göz önüne alınarak kıyaslama yapılmış ve en başarılı otomatik kaza-arıza algılama yönteminin yapay sinir ağlarını kullanarak oluşturulan modeller olduğu görülmüştür. Çalışmanın sayısal uygulama kısmında ise İstanbul Anadolu ve Avrupa yakalarında yer alan otoyollar (O-1 ve O-2, sırasıyla, birinci ve ikinci çevreyolu) için, Matlab programının yapay sinir ağları araç çubuğu kullanılarak bir yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modeli oluşturulmuş ve test edilmiştir. Test sonuçlarında, oluşturulan modelin algılama oranının %76,1 ve yanlış alarm oranının %1'in altında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre oluşturulan modelin kullanılabilir bir model olduğunu söylemek mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Kaza-arızalar, kaza-arıza yönetimi, algılama oranı, yanlış alarm oranı, kaza-arıza algılama, yapay sinir ağları.

## ABSTRACT

Incidents are non-recurring events such as accidents, disabled vehicles, spilled loads and other events that disrupt the traffic flow, resulting in a capacity reduction. Besides, incident management is the systematic, planned, and coordinated use of human, institutional, mechanical, and technical resources to reduce the duration and impact of incidents, and improve the safety of motorists, crash victims, and incident responders. Nowadays congestions caused by incidents become a serious problem because incidents roughly account for most of the total traffic congestion in urban transportation. In accordance with the aim of this thesis; at first detection, verification, motorist information, response, site management, traffic management and clearance (seven basic activities of incident management) were explained in detail. Also the techniques used were explained while addressing these activities. Afterwards, automatic incident detection algorithms which are the numerical part of incident management were mentioned and the techniques used frequently were explained. A comparison was made among these algorithms by using detection rate, false alarm rate and mean time to detect criteria. The models using neural networks were ranked to be the most successful incident detection model as the result of this comparison. An incident detection model using artificial neural networks was created and tested for the freeways in İstanbul by using Matlab and its neural network toolbox as a numerical example. Test results showed that the detection rate of the model was 76.1% and the false alarm rate was below 1%. We can say that this model is a useable model according to these results.

**Keywords:** Incidents, incident management, detection rate, false alarm rate, incident detection, neural networks.

## 1. GİRİŞ

Bir yol kesiminde meydana gelen kazalar, arızalanmış araçlar, yola devrilmiş yükler ve bunun gibi normal trafik akımını bozan ve kapasitede azalmaya sebep olan, tekrarlanmayan (rastgele oluşmuş) olaylar “*kaza-arıza*” olarak tanımlanırlar. Dünya çapında başlıca otoyollarda meydana gelen gecikmelerin ve tıkanıklıklara bağlı oluşan maliyetlerin büyük bir kısmını kaza-arızalar oluşturmaktadırlar (Thomas ve Dia, 2006).

Kentsel alanlarda meydana gelen kaza-arızalar, yollarda oluşan tıkanıklık ve gecikmelerin başlıca sebebi olarak kabul edilirler. Bu durum uzun süredir konuya ilişkin kamu kuruluşları ve özel kurumlarca ciddi bir problem olarak kabul edilmektedir. Kentiçi ulaşımında meydana gelen tıkanıklıkların önemli bir kısmının kaza-arızalar sebebiyle oluştuğu ve görünüşe göre kaza-arızaların olumsuz etkilerinin yakın bir gelecekte ortadan kaldırılamayacağı tahmin edilmektedir (Huang ve Pan, 2006). Bu gerçeğe bağlı olarak, kaza-arızaların ve olumsuz etkilerinin mümkün olduğunca azaltılması için çalışmalar yapmak oldukça önemlidir. İşte bu konuda yapılan çalışmaların bütünü aslında kaza-arıza yönetimini oluşturmaktadır.

Kaza-arıza yönetimi; kaza-arızaları algılamak, müdahale etmek, kaldırmak ve mümkün olduğunca hızlı ve güvenli bir biçimde yolun kapasitesini eski haline getirmek için gerçekleştirilen planlanmış ve düzenlenmiş bir süreçtir (Brooke vd., 2004).

Etkin bir kaza-arıza yönetimi kaza-arızaların çeşitli özelliklerini tamamıyla anlamayı gerektirir. Kaza-arıza yönetimi kaza-arızaların algılanması, doğrulanması ve kaldırılmasının yanı sıra kaza-arıza sürelerinin güvenilir bir biçimde tahmin edilerek tıkanıklık etkilerinin en aza indirilmesini de gerektirir (Ozbay ve Noyan, 2005).

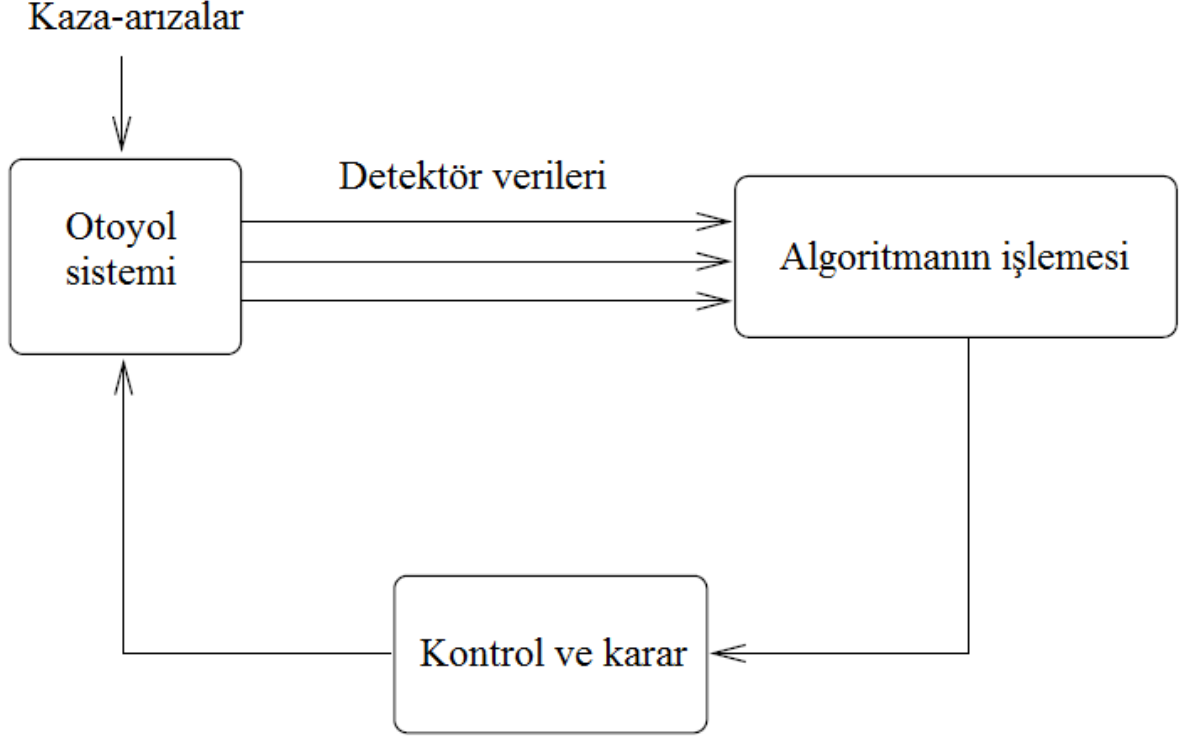
Kaza-arıza yönetimi genel olarak aşağıda belirtilen bileşenlerden oluşmaktadır:

- Algılama
- Doğrulama
- Bilgilendirme
- Müdahale
- Bölgenin yönetimi
- Trafiğin yönetimi
- Kaldırma

Bu bileşenlere ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak yer verilecektir.

Kaza-arıza algılaması ise; meydana gelen kaza-arızaların kullanılan bir sistemle otomatik olarak belirlenmesi ve gerekli kurumlara uyarı olarak ulaşması sürecidir.

Kaza-arıza algılama süreci şematik olarak Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Petty, 1997).



Şekil 1.1 Kaza-arıza algılama süreci (Petty, 1997)

Otomatik kaza-arıza algılama sistemleri bir trafik algılama sistemi ve bir kaza-arıza algılama modeli olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Trafik algılama sistemi kaza-arızayı algılamak için gerekli trafik verilerini sağlarken, kaza-arıza algılama modeli bu verileri çözümler ve bir kaza-arızanın var olup olmadığını sorgular (Thomas ve Dia, 2006).

Kaza-arıza algılaması günümüzde oldukça önemli bir mesele haline gelmiştir. Kentiçi yollarda meydana gelen kaza-arızalar gecikmelere neden oldukları gibi yolun güvenlik şartlarında bozulmalara da yol açmaktadırlar. Bu yüzden kaza-arızaların mümkün olduğunca hızlı ve güvenli bir biçimde algılanması oldukça önem kazanmaktadır. Etkin bir kaza-arıza yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için otomatik kaza-arıza algılama modellerinin geliştirilmesi şarttır (Srinivasan vd., 2000).

Çalışmanın ikinci bölümünde kaza-arıza türleri, tıkanıklık çeşitleri ve kaza-arıza yönetimini oluşturan yedi temel bileşen ele alınmıştır. Üçüncü bölümde kaza-arıza yönetiminde

(algılamasında) kullanılan sayısal yöntemler anlatılmış ve bu yöntemler arasında kıyaslama yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise sayısal uygulama olarak yapay sinir ağlarını kullanan bir kaza-arıza algılama modeli oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Sonuçlar bölümünde, sayısal uygulamadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

## 2. KAZA-ARIZA YÖNETİMİ

Meydana gelen kaza-arızalar trafik akımını bozar, önemli ölçüde gecikmelere sebep olur ve kaldırılma aşaması boyunca da ciddi güvenlik tehdidi oluştururlar. Bu yüzden de meydana gelen kaza-arızaların kontrol altında tutulması, hızlı ve etkili bir biçimde yönetilmesi son derece önemlidir (Petty, 1997).

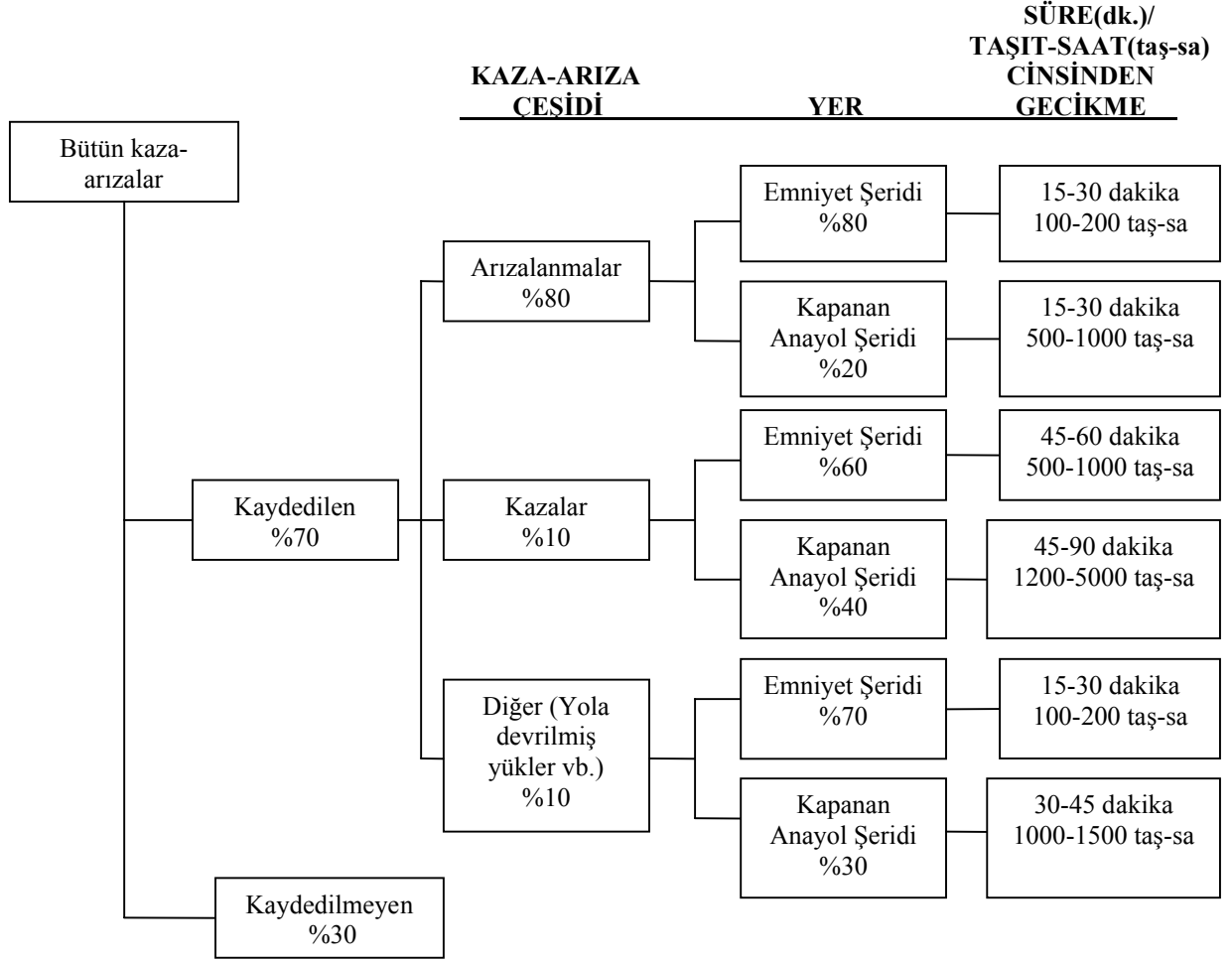
Kaza-arıza yönetimi genel olarak meydana gelen kaza-arızaların sürelerini ve etkilerini azaltmak; sürücülerin, kaza-arıza mağdurlarının ve müdahale ekiplerinin güvenliğini arttırmak için insani, kurumsal, mekanik ve teknik kaynakların sistematik, planlı ve koordineli bir biçimde kullanılması olarak tanımlanabilir (Noyes, 2003). Etkin bir kaza-arıza yönetimi kaza-arızaların çeşitli özelliklerini tamamıyla anlamayı gerektirir. Kaza-arıza yönetimi kaza-arızaların algılanması, doğrulanması ve kaldırılmasının yanı sıra kaza-arıza sürelerinin güvenilir bir biçimde tahmin edilerek tıkanıklık etkilerinin en aza indirilmesini de gerektirir (Ozbay ve Noyan, 2005).

Kaza-arıza yönetiminin içeriğinin daha iyi anlaşılabilmesi için çalışmanın bu bölümünde kaza-arıza ve tıkanıklık çeşitleri hakkında bilgi verilecek; daha sonra kaza-arıza yönetimini oluşturan temel bileşenler tek tek incelenecektir.

### 2.1 Kaza-arıza çeşitleri

Kaza-arızaların etkilerini azaltmak, yolcu güvenliğini ve ulaştırma sisteminin etkinliğini arttırmak açısından oldukça önemlidir. Kaza-arızaların etkilerini en aza indirebilmenin yollarını anlamak için kaza-arıza çeşitlerini incelemek yararlı olacaktır.

1997 yılında Cambridge Systematics tarafından karayolu kaza-arızalarını sınıflandırmak amacıyla, konuyla alakalı olarak geçmişte yapılmış araştırma sonuçlarından bir derleme çalışması yapılmıştır. Şekil 2.1’de görülen sınıflandırma Cambridge Systematics’in hazırlamış olduğu bu rapordan alınmış olup otoyollarda meydana gelen kaza-arızaların, kaza-arıza çeşidi, önemi ve süresine göre dağılımlarını göstermektedir. Meydana gelen kaza-arızaların büyük çoğunluğunu emniyet şeridinde arızalanmış olarak bulunan taşıtlar oluşturmaktadır ve bunlar diğer kaza-arızalara göre otoyol kapasitesini daha az etkilemektedirler. Cambridge raporundan alınan çizelge aynı zamanda farklı çeşitlerdeki kaza-arızaların hareketliliğe olan etkilerini de göstermektedir (Farradyne, 2000).



Şekil 2.1 Kaza-arıza çeşitleri ve etkileri (Farradyne, 2000)

## 2.2 Tıkanıklıklar

Tıkanıklık, bir karayolu kesiminde, kapasitesinden daha fazla bir istemin olması sonucunda ortaya çıkan ve istenmeyen bir durumdur. Normal şartlarla kıyaslandığında gecikmelere ve ekonomik kayıplara yol açan ciddi bir problemdir. Amerika'nın 37 büyük şehrinde yapılan bir araştırma tıkanıklıklar sebebiyle 1984 yılında yıllık 2 milyar taşıt-saatlik bir gecikmenin ve 16 milyar dolarlık bir maliyetin oluştuğunu, bu rakamların 2005 yılı itibarıyla ise yıllık 8 milyar taşıt-saatlik bir gecikme ve 88 milyar dolarlık bir maliyete ulaştığını göstermektedir. Bu araştırmadan da anlaşılacağı üzere tıkanıklıkların etkileri göz ardı edilemeyecek boyutlardadır ve bu tıkanıklıkları mümkün mertebe aşağı seviyelere çekmek hem ekonomik açıdan hem de gecikmeleri aza indirmek açısından oldukça önemlidir (Stephanedes, 2003).

Temel olarak tıkanıklıklar iki ana başlık altında incelenebilir.

### 2.2.1 Tekrarlanan tıkanıklıklar

Tekrarlanan tıkanıklıklar belli yerlerde ve belli zaman aralıklarında olağan bir biçimde meydana gelen tıkanıklıklardır. Tekrarlanan tıkanıklıkların temel sebebi aşırı taleptir. Normal şartlar altında bir otoyolun kapasitesi şerit başına saatte 2000-2200 taşıt civarındadır. Otoyola gelen talep bu değeri aştığı zaman bir darboğaz meydana gelir. Bu durum da kuyruklanmaya sebep olur. Tekrarlanan tıkanıklıkların yerlerini ve zamanlarını öngörmek mümkündür (Stephanedes, 2003).

### 2.2.2 Tekrarlanmayan tıkanıklıklar

Tekrarlanmayan tıkanıklıklar kazalar, arızalar vb. rasgele meydana gelen aksaklıklar neticesinde ortaya çıkan tıkanıklıklardır. Tıkanıklıklar sebebiyle kaybedilen taşıt-saatlik gecikmelerin yüzde 60'ı kaza-arızalardan kaynaklanmaktadır. Kaydedilmiş kaza-arızaların yüzde 80'lik gibi büyük bir kısmını arızalanmış taşıtlar, yakıtları bitmiş taşıtlar, lastikleri patlamış taşıtlar ve sürücüleri tarafından terk edilmiş taşıtlar oluşturmaktadır. Zirve saatlerin dışında trafik hacmi düşükken bu arızalanmış taşıtlar genellikle trafik akımı üzerinde ya hiç olumsuz etki göstermezler ya da çok az olumsuz etkileri vardır. Bunun yanında trafik hacminin yüksek olduğu zamanlarda ise arızalanmış bir taşıt komşu şeritlerdeki trafiği de yavaşlatarak yaklaşık 100-200 taşıt-saatlik bir gecikmeye sebep olur (Stephanedes, 2003).

Üç şeritli bir otoyolun bir şeridini bloke eden bir kaza-arızayı göz önünde bulundurursak, kapasitede yüzde 50'ye varan azalmalar gözlememiz mümkündür (Stephanedes, 2003).

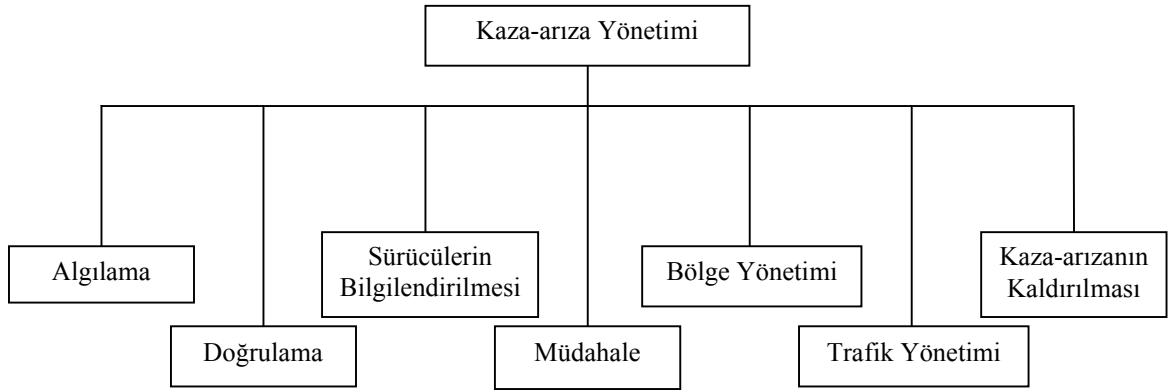
Tekrarlanmayan tıkanıklıklar, bir başka deyişle kaza-arıza tıkanıklıkları hızlı bir biçimde kaza-arızayı algılama ve kaldırma ile bunun yanında kaza-arızanın gerisindeki trafiği de farklı geçkilere yönlendirme yoluyla en aza indirilebilir. Bunun sağlanabilmesi için de iyi bir kaza-arıza yönetimi çalışmasının yapılması gerekmektedir. Bu sayede tekrarlanmayan tıkanıklıklar, dolayısıyla gecikmeler ve ekonomik kayıplar da en aza indirilecektir (Stephanedes, 2003).

## 2.3 Kaza-arıza yönetimindeki temel bileşenler

Kaza-arıza yönetiminin geliştirilmesinde etkili olan özel arazi çalışmalarını incelemeden önce kaza-arıza yönetimi sürecinin içerdiği farklı bileşenleri ele almak faydalı olacaktır. Kaza-arıza yönetimi, konuyla ilgili çeşitli kuruluşların personelleri tarafından uygulanan tanımlanabilir

bileşenler içermektedir. Bu bileşenler sürecin doğası gereği her zaman belli bir sırayı takip ederek gerçekleştirilmezler. Örneğin, sürücülerin bilgilendirilmesi sürekli güncellenir ve genellikle kaza-arıza süresince diğer kaza-arıza bileşenleri için içindeyken de uygulanır. Yani bazı bileşenler iç içe uygulanabilmektedir.

Kaza-arıza yönetimi süreci Şekil 2.2’de gösterilen yedi temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler aşağıda kısaca açıklanmıştır (Farradyne, 2000).



Şekil 2.2 Kaza-arıza yönetiminin bileşenleri

Bu kısımda, kaza-arıza yönetiminin bileşenleri tek tek ele alınarak incelenecek, bu incelemelerde öncelikle her bileşenin amacı tanımlanacak ve daha sonra da bu amaçları karşılamak için kullanılan etkili tekniklere yer verilecektir.

Kaza-arıza yönetiminin bileşenlerini ele almadan hemen önce akıllı ulaşırma sistemlerinin (ITS) kaza-arıza yönetiminde çok önemli bir rol oynadıklarını hatırlatmak faydalı olacaktır. Akıllı ulaşırma sistemleri her ne kadar ağırlıklı olarak algılama, doğrulama ve sürücülerin bilgilendirilmesi bileşenlerinde kullanılsa da; müdahale, bölge yönetimi ve trafik yönetimi bileşenlerinde de akıllı ulaşırma sistemlerinden yararlanılabilmektedir (Farradyne, 2000).

Aşağıda kaza-arıza yönetiminin bileşenleri ve bu bileşenlerde kullanılan akıllı ulaşırma sistemleri alt başlıklar halinde incelenmiştir.

### 2.3.1 Kaza-arıza algılama

Kaza-arıza yönetiminin ilk bileşeni, kaza-arıza algılamadır. Algılama, trafik akımını korumak ve trafiğin güvenli bir biçimde yönetilmesini sağlamakla sorumlu olan kuruluşlara, meydana gelen kaza-arızaların uyarı olarak aktarılma işlevidir (Farradyne, 2000).

Kaza-arıza mağdurları, kaza-arızanın meydana geldiği andan itibaren ilk müdahalenin ulaşmasına kadar geçen süre zarfında kaza-arızadan en çok etkilenen kesimdir. Aynı zamanda kaza-arızanın ilk dakikaları boyunca en çok bozulmaya uğrayan bir diğer unsur da trafiktir. Hızlı bir şekilde algılanan bir kaza-arıza aynı zamanda en uygun müdahalenin de en kısa zamanda olay yerine yönlendirilmesi anlamına gelmektedir. Hızlı müdahale ise kaza-arızanın doğuracağı olumsuzlukları en aza indirecek, trafiğin kontrol altına alınmasını hızlandıracak, trafik akımının normale dönmesini sağlayacak ve diğer genel kaza-arıza olumsuzluklarını en aza indirecektir.

Kaza-arızaların hızlı ve doğru olarak algılanması oldukça önemlidir. Kaza-arıza algılama modellerinde yapılan geliştirme çalışmaları temelde algılama süresini kısaltmayı ve doğru algılama oranını arttırmayı amaçlamaktadır.

Çoğu trafik gözlem merkezinin ortak amacı algılama süresini iyileştirmek ve yanlış algılama oranını azaltmaktır. Mobil telefonların yaygınlığı, bütün hizmet birimleri ve trafik gözlem merkezlerinin bağlantılı çalışmaları, algılama süresi ve doğruluğunu iyileştirmek için son derece önemlidir (Farradyne, 2000).

Kaza-arızaları algılamak için kullanılan yöntemleri temel olarak üç alt başlık altında incelemek mümkündür (Farradyne, 2000):

- Vatandaşlardan gelen bilgiler: Sürücülerden gelen mobil telefon çağrıları, acil durum telefon kulübelerinden gelen çağrılar (çağrı kutuları)
- Elektronik teknikler: Kapalı devre kamera kayıtları, otomatik taşıt tanıma, elektronik trafik ölçümleri
- Profesyonellerden gelen bilgiler: Polis ekipleri, hava gözetimi, ulaştırma kuruluşları ve kamu görevi yapan ekipler, trafik durumu raporu veren birimler ve diğer hizmet ekipleri

### **2.3.1.1 Vatandaşlardan gelen bilgiler**

Kaza-arıza algılama sürecinde vatandaşlardan gelen bilgileri kullanmak çok az sayıda donanım gerektirmenin yanında maliyet açısından da oldukça faydalıdır. Aslında maliyetler yalnızca telefon ve işletmeciler tarafından kullanılan yönlendirme sistemleri ile sınırlıdır. Şu anda mevcut yönlendirme merkezlerinde yaygın olarak kullanılan sistem, personel tarafından merkeze gelen çağrıların yanıtlanması, değerlendirilmesi ve gerekli işleme geçilmesi şeklinde

işlemektedir. Bu tarz bir sistemin kullanılmasının maliyeti de oldukça düşüktür. Ancak bu sistemim kullanılmasında karşılaşılabilecek bir sorun aynı kaza-arıza için pek çok çağrının merkeze ulaşabilmesi ihtimalidir. Bu yüzden de bu merkezlere personel alınırken çağrılarının yoğunluğu ve bu çağrıların doğru yönlendirebilmenin önemi göz ardı edilmemesi gereken unsurlardır (Farradyne, 2000).

Kentsel alanlarda vatandaşlardan gelen çağrılar doğrultusunda bir kaza-arızanın özellikle de zirve saatlerde algılanması için geçen sürenin kısaltılması oldukça zordur (Farradyne, 2000).

Vatandaşlara yardım çağırma veya bir kaza-arızayı haber verme fırsatı sağlamak amacıyla kullanılan başarılı başka bir düzenek de “yardım çağrı kutuları”dır. Bu sistemler genellikle otoyollarda yolun sağ tarafında bulunmaktadır ve zor durumda kalan sürücülerin veya düzeneğin etrafından geçen kişilerin, bir kaza-arıza müdahale kuruluşuna bir sorun hakkında haber verebilmelerini sağlarlar. Modern çağrı kutularının büyük bir kısmı sesli haberleşme teknolojisini kullanmaktadır. Böylece sürücüler doğrudan bir yönlendirme merkeziyle bağlantı kurabilmektedirler. Diğer çağrı kutuları ise, yardıma ihtiyaç olduğunu bildiren bir sinyal gönderen, tek bir düğmeden oluşmaktadır. Genellikle bu çağrı kutuları kapalı devre kameraların yakınında bir yerlere yerleştirilirler. Buradaki amaç ise, Şekil 2.3’te de bir örneği gösterilen trafik gözlem merkezlerinde bulunan ve bu kapalı devre kameralarını gözlemleyen yetkililerin durum hakkında daha fazla bilgiye sahip olmalarını ve gerekli müdahalenin daha sağlıklı yönlendirilmesini sağlamaktır.



Şekil 2.3 Trafik gözlem merkezinde yetkililer monitörleri gözlemlerken (Farradyne, 2000)

Kablosuz haberleşmenin ucuzlamasıyla beraber çağrı kutularının kullanımı da artmıştır. Bu sistemler genellikle banketlerin yanında bir direk üzerine yerleştirilen ve güneş enerjisini kullanan mobil telefonlar şeklindedir. Zor durumdaki sürücüler veya olay yerinden geçen vatandaşlar kolayca ahizeyi kaldırdıklarında otomatik olarak bir yönlendirme merkezine aramada bulunmuş olurlar. Yetkili bir kişi çağrıyı yanıtlar ve geri kalan süreç de vatandaşın tıpkı kendi mobil telefonuyla yaptığı bir görüşme şeklinde gerçekleşir (Farradyne, 2000).

Kişisel mobil telefonların yaygınlığından ötürü çağrı kutuları genellikle sürücülerin en çok zor durumda kalabileceği bazı yol kesimlerine (uzun köprüler, tüneller ve emniyet şeritlerinin sınırlı olduğu alanlar vb.) ve sürücülerin sıklıkla problemlerle karşılaştıkları bazı yerlere konulmaktadır (Farradyne, 2000).

### **2.3.1.2 Elektronik teknikler**

Elektronik teknikler, kapalı devre kameraları ve trafik akımını veya araç hareketlerini algılayan sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemler kendileri tek başlarına kaza-arızaları algılamazlar. Bu sistemler aynı zamanda ortaya koydukları çıktıları değerlendirecek insanlara veya normal trafik şartları ile kaza-arıza şartları arasındaki farklılıkları algılayabilen yazılımlara da ihtiyaç duyarlar.

Trafik gözlem merkezleri bir kaza-arızayı algılamada ender olarak birinci sırada yer alırlar. Bir alandaki yolun kritik kesimlerinin tamamını kontrol altında tutabilmek için çoğu kapalı devre kamera sistemleri çok sayıda (genelde 100 civarında) tekil kameradan oluşur. Bu yüzden de az sayıda personel ile bu kameraların tamamının sürekli kontrol altında tutulması oldukça zordur. Dolayısıyla bu kameraların gözlenmesi, kaza-arıza algılamayı doğrudan gerçekleştirmekten çok haber verilmiş bir kaza-arızayı doğrulamada daha başarılı olmaktadır. Bu kameraların gözlenmesi sonucu kaza-arızanın gerçekten var olup olmadığı kesin olarak belirlenebilmesine karşın belirtilen sebeplerden ötürü bu sistemler kaza-arıza algılamada genelde birincil sırada yer almazlar. Yine de bu sistem bazı durumlarda, genellikle de oldukça sınırlı alanlarda, hızlı bir biçimde kaza-arızayı algılamak için en iyi çözüm olabilmektedir. Bu duruma bir örnek olarak tüneller verilebilir. Tüneller içerisinde gerçekleşen kaza-arızalar son derece tehlikeli olabilmektedirler. Yetkililerce monitörlerden gözlenen ve yeteri kadar kapsama alanına sahip kapalı devre kameralarından alınan görüntüler bu tip kesimlerde genellikle diğer algılama düzeneklerinden daha iyi sonuç vermektedir (Farradyne, 2000).

Elektronik trafik algılama sistemleri (loop detektörleri, radar detektörleri, görüntü işleme, otomatik araç tanımlama, otomatik konum algılama vb.) kaza-arıza algılamada iki şekilde kullanılabilir.

Birinci kullanım şekli olarak bu sistemlerin çıktılarını yetkililer değerlendirir ve kaza-arızanın sebep olabileceği bir olağandışı durumun meydana gelip gelmediğine karar verirler. Genellikle algılama bilgileri, trafik hızlarını ve tıkanıklıkları gösteren bir grafik haritası şeklinde yetkililere sunulur. Hızlar aniden düştüğünde veya tıkanıklıklar arttığında veya gözlenen kesimlerde olması beklenmeyen durumlar söz konusu olduğunda, yetkililer bir kaza-arızadan şüphelenmeye başlarlar. Bu sistemlerin etkili olabilmeleri için hızlı ve güvenilir bir doğrulama düzeneğiyle bağlantılı olmaları gerekmektedir. Bu düzenekler de genellikle kapalı devre kameralarıdır. Bir kaza-arızadan şüphelenildiğinde yetkililer kaza-arızayı doğrulamak için bu kamera kayıtlarına bakarlar.

Elektronik trafik algılama sistemlerinin ikinci kullanım şekli ise, ürettikleri çıktıları normal trafik koşulları ile kıyaslayan bir bilgisayar yazılımında değerlendirilmesi şeklindedir. Bir anormallik belirlendiğinde veya normal koşullardan büyük farklılıklar algılandığında yazılım kaza-arızadan şüphelendiği yeri belirten bir alarm vermektedir. Bu kıyaslamayı yapmak amacıyla kullanılan bu tür yazılımlara “kaza-arıza algılama algoritması” denilmektedir. Çeşitli istatistiksel ve analitik yöntemler kullanılarak geliştirilmiş pek çok kaza-arıza algılama algoritması vardır. Bu algoritmalar farklı trafik koşullarında değişiklik gösteren algılama oranları ve yanlış alarm oranlarına sahiptirler. Algoritma olası bir kaza-arızayı gösterdiğinde tıpkı daha önce belirtilen yöntemlerde olduğu gibi yetkililer kapalı devre kameralarını kullanarak kaza-arızayı doğrularlar.

Kaza-arıza algılama algoritmaları bir kaza-arızayı algılayabilmek için genellikle oldukça yüksek trafik akımları gerektirmektedir. Hatta normal trafik akımı koşullarında çoğu algoritma yüksek yanlış alarm oranlarından veya kaza-arızayı algılamada son derece yavaş kaldıklarından kullanışsız hale gelebilmektedir. Bu algoritmaların geliştirilmesi için çalışmalar devam etmekteyken ve kaza-arıza algılamada çok kullanışlı hale gelebilme potansiyelleri varken, günümüzde halen diğer kaza-arıza algılama tekniklerinden, özellikle de mobil telefonlarıyla haber veren sürücü raporlarının etkinliğiyle kıyaslandığında, daha etkisiz kalmaktadırlar.

Kaza-arıza algılama algoritmalarının çok kullanışlı olduğu bazı durumlar da vardır. Özellikle mutlaka gözlenmesi gereken ve diğer algılama sistemlerinin kurulmasının oldukça masraflı

olduğu bazı yol kesimlerinde bu algoritmalar oldukça kullanışlı hale gelebilmektedir. Elektronik algılama sistemleri sürücülerin kaza-arızayı haber verebilecekleri düzeneklerin bulunmadığı alanlarda da oldukça kritik bir öneme sahip olabilmektedir. Yine de genellikle bu sistemler özel olarak kaza-arızaları algılamaktan çok genel trafik koşullarını gözlemlemek, performans ve planlama verileri üretmek ve yolculuk bilgileri sağlamak amacıyla kullanılırlar. Bunun yanında bu sistemler ikincil veya yedek bir kaza-arıza algılama düzeneği olarak da etkili olabilmektedirler (Farradyne, 2000).

### **2.3.1.3 Profesyonellerden gelen bilgiler**

Çeşitli kamu kuruluşlarına bağlı personeller olağan bir şekilde yollarda yolculuk yaparlar. Bu insanlar kaza-arıza algılamada aslında etkili bir düzenek oluştururlar. Polis ekipleri, havadan gözetim ekipleri, ulaştırma kurumları çalışanları, trafik raporu sunan birimler, ağır taşıtlar gibi bazı firmalara bağlı araçları kullanan sürücüler ve hizmet ekipleri zaman zaman adeta birer kaza-arıza haber kaynağı gibi hizmet sunarlar. Bu personellerin bir kaza-arıza hakkında haber verirken kiminle bağlantı kurmaları gerektiğini ve ne tür bilgiler vermeleri gerektiğini iyi bilmeleri gerekmektedir. Bu kişilerden gelen uyarılar yetkililerce diğer sürücülerden gelen uyarılara göre daha öncelikli ele alınmalıdır (Farradyne, 2000).

### **2.3.2 Kaza-arıza doğrulama**

Kaza-arıza doğrulama, bir kaza-arızanın meydana geldiğini onaylamayı, kesin yerini belirtmeyi ve uygun müdahale ekibini yönlendirebilmek için kaza-arızayla ilgili mümkün olduğunca çok ayrıntıyı elde etmeyi ve bu ayrıntıları değerlendirmeyi gerektirir. Kaza-arıza doğrulama süreci genellikle kaza-arıza müdahale ekibiyle haberleşmeyle ve kaza-arızaların monitörlerden gözlenmesiyle son bulur (Farradyne, 2000).

Kaza-arızaları doğrulamak için kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Yetkililerce gözlenen kapalı devre kamera kayıtları
- Müdahale birimlerini (polis, hizmet ekibi vb.) kaza-arıza bölgesine yönlendirmek
- Polis, medya veya bilgi sağlayan bir hizmet birimine bağlı olarak çalışan hava ekipleriyle kurulan bağlantılar
- Çoklu mobil telefon çağrılarında sağlanan bilgilerin bir araya getirilmesi

Kaza-arızayı doğrulama yöntemi nasıl olursa olsun temel amaç mümkün olduğunca hızlı bir biçimde kaza-arızayı doğrulamak ve yerini tam olarak belirlemek ve olay yerine ne tür donanımların yönlendirilmesi gerektiğini saptamak için kaza-arızayla ilgili mümkün olduğunca çok bilgi toplamaktır. Kaza-arızanın doğrulanmasından hemen sonra kaza-arıza ile ilgili bütün bilgiler müdahaleden sorumlu kuruluşlara ve personele mümkün olduğunca hızlı bir biçimde aktarılmalıdır. Ne kadar hızlı ve doğru bilgiler elde edilirse, uygun müdahalenin ve gerekli donanımların olay yerine yönlendirilmesi de o kadar hızlı olur. Sorumlu bütün kuruluşlar arasındaki etkin haberleşme doğrulama süreci için oldukça önemli bir unsurdur (Farradyne, 2000).

### **2.3.2.1 Kapalı devre kameraları**

Kapalı devre kamera kayıtları yetkililerin uzaktan bir kaza-arıza olay yerini gözlemleyebilmelerini sağlar ve kaza-arızayı görsel olarak doğrulamalarına olanak tanır. Kaza-arıza algılamada da değinildiği gibi kapalı devre kameraları kaza arıza algılamadan çok kaza-arızaları doğrulamada, müdahalede, kaza-arızanın kaldırılmasında ve genel trafik koşullarını gözlemlemede daha etkilidirler. Kapalı devre kamera kayıtları bir kaza-arıza müdahalesini hızlı bir şekilde başlatmak için hayati önem taşıyan bilgiler sunabilmektedir. Yine de sorumlu kuruluşlar gerekli müdahale donanımlarını oluştururken yalnızca bu kamera kayıtlarından elde edilen bilgilerle yetinmemelidirler. Kapalı devre kamera kayıtları kaza-arızanın varlığını doğrulayabilir, ancak müdahale ekipleri kaza-arızayı ve edinilen bütün bilgileri tümüyle değerlendirmeli ve olay yerinin ihtiyaçlarına göre gerekli donanımlarla müdahaleyi gerçekleştirmelidir.

Kapalı devre kameralarının bulunduğu bir yol kesiminde bir kaza-arızanın meydana geldiği haberinin alınması durumunda, yetkililer hızlı bir biçimde belirtilen bölgede yer alan kameraların kayıtlarını incelerler ve eğer görüş açık ise kaza-arızanın önemi, şiddeti ve müdahalede gerekli ilk donanımlar hakkında ilk değerlendirmeyi yaparlar. Kapalı devre kamera görüntüleri aynı zamanda bilgisayar ortamında diğer kuruluşlarla, trafik işletmeleriyle ve haberleşme merkezleriyle de paylaşılabilir. Bu paylaşım ile pek çok kuruluş olay yerine gitmeden önce gerekli ön bilgilere de sahip olacağından görevlerini daha sağlıklı yapabileceklerdir.

Kapalı devre kameraları mümkün olduğunca yolun tamamını görüntüleyebilecek şekilde yerleştirilmelidir. Aynı zamanda bu kameralar, eğer varsa, bölgedeki bazı yapıların üzerinden de rahatlıkla görüntü alabilmek için bu yapıların üzerine yerleştirilmelidir (Farradyne, 2000).

### **2.3.2.2 Müdahale birimlerini kaza-arıza bölgesine yönlendirmek**

Olay yerine ulaşan ilk ekip (polis, hizmet ekibi vb.) önce kaza-arızanın doğruluğunu ve yerini onaylar. Daha sonra kaza-arızanın ek müdahale ekibi gerektirip gerektirmediği ve kaldırılmasıyla ilgili ne tür donanımların gerektiği konularında bir değerlendirme yapar. Olay yerindeki personel kaza-arızayla ilgili eksiksiz ve en güvenilir bilgileri elde etmelidir (Farradyne, 2000).

### **2.3.2.3 Hava ekipleriyle kurulan bağlantılar**

Hava gözetimi kaza-arıza algılama ve doğrulamada çok değerli bir araç olabilmektedir. Hava ekipleri bir kaza-arızanın yerini doğrulamak ve ilk değerlendirmeleri elde etmek amacıyla kullanılabilir. Elbette ki bir bölgede hava ekipleri mevcut değilse bu ekipleri yalnızca kaza-arıza yönetiminde kullanmak için oluşturmak oldukça masraflı olacaktır. Ancak hava ekiplerinin başka amaçlarla işletilmekte olduğu alanlarda bu ekiplerden faydalanmak gerekmektedir. Zira hava ekipleri kaza-arıza algılama ve doğrulamada oldukça faydalı hizmet sunabilmektedir (Farradyne, 2000).

### **2.3.2.4 Çoklu mobil telefon çağrılarında sağlanan bilgilerin bir araya getirilmesi**

Daha önce de değinildiği gibi çoğu kentsel alanlarda sürücülerin mobil telefonlarıyla bir kaza-arıza hakkında haber vermesi, kaza-arıza algılamada kullanılan yöntemler arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Çoğu zaman tek bir kaza-arıza için çok sayıda mobil telefon çağrısı alınabilmektedir. Genellikle tek bir sürücüden gelen çağrı doğrultusunda kaza-arızayı tamamen doğrulamak için gerekli bütün fiziksel ayrıntıları öğrenebilmek oldukça zordur. Bu yüzden de bu çağrıları yanıtlayan yetkililer eksik kalan bilgileri, kaza-arızayı haber vermek üzere arayan bir sonraki sürücüden sağlamaları konusunda eğitilmelidirler. Bu şekilde sağlanan bütün bilgiler bir araya getirilerek daha sağlıklı bir sonuca ulaşılması mümkün olacaktır. Bu tür durumlarda gelen telefon çağrıları, bir kaza-arıza doğrulama düzeneği gibi görev yapmaktadırlar (Farradyne, 2000).

### 2.3.3 Sürücülerin bilgilendirilmesi

Sürücülerin bilgilendirilmesi, kaza-arızadan etkilenmesi olası sürücülerin çeşitli yöntemler kullanılarak olaydan haberdar edilmeleri ve gerektiğinde bu sürücülere bazı seçenekler sunulması sürecidir.

Sürücülerin bilgilendirilmesi, temelde pek çok trafik işletme merkezinin sağladığı bilgiler doğrultusunda sürücülere sunulan önemli hizmetlerden birisidir. Kapsam olarak kamusal ve özel kuruluşların ortaklaşa hareket etmeleri sayesinde ve genellikle de radyo gibi medya araçlarının da kullanılarak trafik akımı, kaza-arıza bilgileri, inşaat durumları ve trafikte meydana gelen özel durumlar gibi pek çok konuda sürücülerin bilgilendirilmesini içerir (Farradyne, 2000).

Sürücülerin bilgilendirilmesi için kullanılan temel yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Ticari radyo yayınları
- Yol durumuyla ilgili acil bilgiler sunan radyo yayınları
- Değişken mesajlı levhalar (VMS)
- Telefonla bilgilendirme sistemleri
- Araç içi veya kişisel yardımcı ve geçki gösteren sistemler
- Ticari ve ulusal televizyon trafik raporları
- İnternet veya çevrimiçi hizmetler

Sürücülerin bilgilendirilmesi mümkün olduğunca hızlı bir biçimde gerçekleştirilmelidir, aksi halde kaza-arızanın kaldırılması sonuçlanana kadar büyük kayıplar yaşanacaktır. Temel olarak sürücülerin bilgilendirilmesi süreci trafik akımı normale dönene kadar işleyen bir süreçtir. Eğer kaza-arıza zirve saatlerde gerçekleşmiş ise bu süreç saatlerce devam edebilmektedir (Farradyne, 2000).

#### 2.3.3.1 Ticari (özel) radyo yayınları

Ticari (özel) radyolarda yayınlanan trafik raporları sürücülerin kaza-arızalarla ilgili uyarılmasını sağlayan, trafik koşulları hakkında bilgiler sunan bir araçtır. Bu düzenek trafik bilgilerini sürücülere sunan yöntemler arasında en sık kullanılanıdır. Ticari radyo istasyonları raporlarında kullandıkları trafik bilgilerini çeşitli kaynaklardan elde ederler. Bazı istasyonlar bünyelerinde trafik gözlemcileri veya havadan trafiği takip eden görevliler bulundurabilirler.

Bazı istasyonlar da bilgileri kamusal ulaştırma kuruluşlarından doğrudan telefonla alırlar. Bunun yanı sıra internet üzerinden ya da farklı sistemlerle bağlantı kurarak tıkanıklık haritaları, video görüntüleri, kapalı devre kamera kayıtları gibi ek bilgileri elde etmeleri de mümkündür. Bütün bu kaynaklar arasında çeşitli kombinasyonlar üretmek mümkündür (Farradyne, 2000).

### 2.3.3.2 Yol durumuyla ilgili acil bilgiler sunan radyo yayınları

Yol durumuyla ilgili acil bilgiler sunan radyo yayınlarına dair işaretler, yol kesiminin belli bölümlerinde sabit veya çeşitli bölgeler arasında taşınabilir olarak kullanılabilmesi amacıyla bir römorkun arkasına yerleştirilerek kullanılırlar. şekil 2.4'te sabit olarak kullanılan ve üzerindeki uyarı işığının yanması halinde dikkate alınması gereken acil bir durum olduğunu bildiren levha bulunmaktadır. Sürücüler bu kesimden geçerken uyarı işığının yanması halinde levhada belirtilen radyo istasyonunu açarak gerekli yardımı alırlar (Farradyne, 2000).



şekil 2.4 Yol durumuyla ilgili bilgi veren radyo istasyonu işaret levhası (Farradyne, 2000)

Kullanılan bu sistemin en önemli yararı, kaza-arıza haberleşmesinin sürekliliğini sağlamasıdır. Ayrıca bilgiler sesli olarak aktarıldığından sürücülerinin dikkati de dağılmamaktadır. G rsel sistemlere nazaran ( rneğin değişken mesajlı levhalar), sunulan mesajın daha uzun olabilmesi kaza-arızaya dair daha kapsamlı bilgilendirme imkanını da

sunmaktadır. Bu sistemler genellikle trafik gözlem merkezi gibi bir merkezden, uzaktan kontrol edilirler.

Bu sistemlerin en büyük sakıncası ise sürücülerin gerekli bilgiye ulaşmaları için radyolarını özel bir frekansa ayarlamak zorunda olmalarıdır. Ayrıca radyoda belirtilen mesaj sürekli güncel ve doğru olarak tutulmazsa ve mevcut şartları yansıtmıyorsa bu durum sistemin güvenilirliğini de azaltır. Bazen mesajın çok uzun olduğu durumlarda sürücüler istasyonun kapsama alanı dışına çıkıncaya kadar mesajın tamamını duyamayabilirler. Bu durum da sistemin eksikliklerindendir. Ayrıca çoğu sürücünün radyo frekansını değiştirme uyarılarına aldırış etmemeleri de sistemi başarısız kılan başka bir etkidir. Sistemle ilgili elde edilen deneyimler, bu sistemi düzgün bir biçimde işletebilmek için yüksek seviyelerde bakım ve hizmet çalışmalarının zorunluluğuna işaret etmektedir (Farradyne, 2000).

### 2.3.3.3 Değişken mesajlı levhalar (VMS)

Değişken mesajlı levhalar aynı zamanda dinamik mesajlı levhalar (DMS) olarak da bilinirler. Değişken mesajlı levhalar bulundukları bölgeye yakın anayollardaki yolculuk şartları hakkında sürücülerini bilgilendirmek ve gerektiğinde onlara geçki seçenekleri sunmak amacıyla kullanılırlar. Değişken mesajlı levhaların kullanımı, yolda bulunan sürücülerle haberleşmenin en kullanışlı ve en güçlü yöntemleri arasında yer alır. Şekil 2.5'te yolun ilerleyen kesimlerinde tıkanıklık bulunduğunu ve sürücülerin hızlarını azaltmaları gerektiğini belirten bir değişken mesajlı levha bulunmaktadır (Farradyne, 2000).



Şekil 2.5 Klasik bir değişken mesajlı levha [1]

Çok çeşitli bilgiler veren değişken mesajlı levhalar vardır. Bunlar Şekil 2.5’te gösterildiği gibi tıkanıklık olduğunu haber verdikleri gibi kapatılan yolları haber verebilirler, geçki seçenekleri sunabilirler ya da mevcut şartlarda bulunulan noktadan belirtilen bir noktaya ulaşımın tahmini süresini de belirtebilirler (Farradyne, 2000).

Değişken mesajlı levhalar kaza-arıza yönetiminde sıkça kullanılan araçlardır. Bu sistem genellikle aşağıda sıralanan amaçlar doğrultusunda kullanılır:

- Değişen trafik, yol ve çevresel koşullarda (olumsuz şartlarda değişen hız sınırları hakkında) sürücülere bilgi vermek
- Kaza-arızaya bağlı oluşan gecikmelerde, gecikmenin yeri ve süresi hakkında özel bilgiler sunmak
- Yol inşaatı veya kapanmaları durumlarında sürücülere geçki seçenekleri sunmak
- Yolunu değiştirmiş sürücüleri yeniden anayola yönlendirmek
- Gerekğinde emniyet şeridinden geçişin serbest olduğunu sürücülere bildirmek (büyük çaplı kaza-arızalarda bu durum trafik akımının güvenli bir biçimde eski haline dönmesine yardımcı olabilmektedir.)

Değişken mesajlı levhalar genellikle yol üzerinde sabit bir biçimde yerleştirilmişlerdir. Bunun yanında hareketli olarak bir römorkun arkasına yerleştirilmiş değişken mesajlı levhalar da vardır. Sunulan mesajlar uzaktan bir trafik kontrol merkezince programlanabildiği gibi, önceden belirlenmiş bazı trafik koşullarında otomatik olarak mesaj üreten sistemler de kullanılmaktadır.

Değişken mesajlı levhaların en büyük yararı kaza-arıza bölgesine doğru seyretmekte olan sürücülerin tamamını bilgilendirme şansına sahip olmalarıdır.

Değişken mesajlı levhaların sakıncası ise mesaj uzunluğunun sınırlı olmasıdır. Genellikle sürücülerin verilmek istenen mesajı tamamıyla kavrayabilmeleri için mesajı iki kere okumaları gerekmektedir. Anayolda seyredilen hızın yüksekliğini de göz önüne aldığımızda bazen verilmek istenilen mesaja tamamıyla hakim olmak zorlaşabilmektedir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.3.4 Telefonla bilgilendirme sistemleri**

Telefonla bilgilendirme sistemleri sürücülerin telefon aracılığıyla güncel trafik bilgilerine ulaşabilmelerini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde, bir işletmen (operatör) aracılığıyla veya elektronik detektörler kullanılarak elde edilen sayısal bilgiler, otomatik sistemlerle analiz edilip sesli hale getirilir, sıklıkla güncellenen ve kaydedilen bilgiler sürücülere aktarılır. Bu sistemlere erişimi sağlayan telefon numaraları ya standart numaralar ya da sürücülerin hafızalarında kolay kalmaları için kısaltılmış özel numaralar şeklindedir.

Bu sistemlerde ne tür teknolojiler kullanılırsa kullanılsın önemli olan kaza-arıza bilgilerinin sıklıkla güncellenmesidir. Kentsel alanlarda ve özellikle de zirve saatlerde her beş veya on dakikada bir güncelleme yapılması gerekir. Kullanılan otomatik sistemler, kaza-arıza bilgilerini bir bilgisayar dosyasından okuyabilen ve yazıyı konuşmaya çeviren özelliğe sahip olmadıkça, başarılı bir biçimde kaza-arızaları algılayamazlar veya kaza-arızayla ilgili ayrıntıları sunamazlar.

Telefonla bilgilendirme sistemleri herkesin kolayca erişebileceği sistemlerdir. Karmaşık donanımları yoktur. Bu sistemlere erişilebilecek numaralar kolay hatırlanabilir olmalıdır. Bu numaralar aranıldığı zaman genellikle çeşitli konuların ana başlıkları şeklindeki menülerle karşılaşılır ve ilgili başlık seçilerek gerekli yardım alınır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.3.5 Araç içi veya kişisel yardımcı ve geçki gösteren sistemler**

Sürücülerin büyük bir çoğunluğu araçlarının içinde her zaman ve her yerde kullanabilecekleri bir sürücü bilgilendirme sistemine sahip olmak isterler. Ayrıca bu sistemlerin yapılan yolculukla ilgili bütün bilgileri sunmasını ve yolculuklarını etkileyecek koşulların meydana gelmesi durumunda da bu sistemlerin kendilerine gerekli uyarıyı yapmalarını isterler. Araç içi veya kişisel yardımcı ve geçki gösteren sistemler bu isteklere yanıt verebilen sistemlerdir. Bu sistemler kablosuz haberleşme teknolojilerini, mobil telefon frekanslarını, FM ve AM radyo frekanslarını kullanarak sürücülere çeşitli bilgiler sunarlar. Ayrıca bu bilgiler dijital bir çağrı cihazı, yol bilgisayarı veya avuç içi bilgisayarı aracılığıyla da aracın içinde sürücülere ulaştırılırlar.

Bu sistemlerin kullanımı genellikle özel bir hizmet sağlayıcısıyla bir ücret karşılığı yapılan abonelikle gerçekleştirilir. Birkaç ayrı sistemin aboneliğini birleştirerek sistemlerin ortaklaşa

alışmaları ve bylelikle daha verimli bilgi erişimi sunmaları da mümkündür (Farradyne, 2000).

#### **2.3.3.6 Ticari ve ulusal televizyon trafik raporları**

Çoğu kentsel alanlardaki ticari televizyon yayınları sabah haber programlarında halka sunmak üzere trafik raporları toplarlar. Bu raporları da genellikle trafik raporu hazırlayan ticari servislere abone olarak elde ederler. Genellikle televizyon ve radyo yayınlarında sunulan bu raporlar aynı kaynaktan alınırlar. Bazı kanallar ise kapalı devre kamera kayıtlarına canlı olarak doğrudan erişim imkanına da sahiptirler. Bu raporlar sabah yola çıkmadan önce özellikle de önemli bir kaza-arızanın meydana gelmiş olması halinde sürücüler açısından oldukça yararlıdır. Bu raporların en önemli sakıncaları ise kendilerine ayrılan sürenin oldukça kısıtlı olmasıdır. Bu yüzden de bazen yayınlanan bir trafik raporunda, mevcut trafik problemlerinin tamamı izleyicilere yansıtılamamakta ve problemle ilgili oldukça az ayrıntı aktarılabilmektedir. Yine de pek çok insanın sabah evden çıkmadan önce bu raporlara erişebilmeleri oldukça kolay olduğundan çok faydalıdır.

Yalnızca trafik bilgilendirmesine ayrılmış televizyon kanallarında ve programlara daha az yer verilen haber ağırlıklı kanallarda daha ayrıntılı raporlara ulaşmak mümkündür. Diğer kanallar yalnızca sabahları ve zirve saatlerde trafik raporları sunarken, bu özel kanallarda gün boyunca trafik durumunu takip edebilmek mümkündür. Hatta bazı büyük kentlerde loop detektörlerinden elde edilen veriler ve kapalı devre kamera kayıtlarının da değerlendirilmesi sonucu oluşturulan tıkanıklık haritaları da sürekli güncellenerek özel televizyon kanallarından izleyicilere sunulabilmektedir. Bu zel kanalların en büyük faydası, sürücülerin istedikleri zaman trafik durumunu öğrenebilme imkanına sahip olmalarıdır.

Yalnızca trafik bilgilendirmesine ayrılmış bu kanallar diğer kanallar gibi raporları kısıtlı zamanda sunmadıkları için, raporların içeriği oldukça ayrıntılıdır. Bu yüzden de yola çıkmadan önce bu raporları takip etmek oldukça faydalı olacaktır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.3.7 İnternet veya evrimii hizmetler**

İnternetin dünya çapındaki büyük gelişimiyle beraber insanlara trafik durumuyla ve kaza-arızalarla ilgili pek çok formatta bilgiler sunulmaya başlandı. İlgili internet sayfalarında kapalı devre kameraların anlık görüntüleri, anayolların tıkanıklık haritaları, inşaat alanları, özel

durumlar ve kaza-arıza bilgileri halka sunulmaktadır. Tıkanıklık haritalarının üzerine kaza-arızaların bulunduğu durumları gösteren özel işaretler uygun yerlere yerleştirilerek, kaza-arızanın yerleri de gösterilebilmektedir. Aynı zamanda kaza-arızanın durumunu bildiren yazılı açıklamalar, trafiğin bu durumdan tahmini olarak ne kadar süre etkileneceği ve eğer varsa kullanılabilecek geçki seçenekleri de belirtilebilmektedir. Bazı sistemler bilgilendirmeyi tıkanıklık haritası sayfasında yaparken, bazı sistemlerde yeni bir sayfada elle girilen daha ayrıntılı bilgilere ulaşmak mümkündür (Farradyne, 2000). Şekil 2.6'da bu sistemlere örnek teşkil etmesi açısından İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin resmi internet sayfasında bulunan tıkanıklık haritasından bir görüntü vardır. Bu harita sürekli güncellenmektedir ve sürücülerin çevrimiçi olmaları durumunda istedikleri zaman bu haritaya ulaşmalarına olanak sağlamıştır.

İnternet siteleri halk tarafından kullanıldığı gibi, trafik raporu hizmeti sunan birimler tarafından da bilgi kaynağı olarak kullanılırlar. Günümüzde trafik durumu bilgi kaynağı olarak internet sitelerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu siteler çok çeşitli kullanıcıya hitap ettiklerinden farklı kullanıcı kesimlerine uygun pek çok formatta bilgi sunarlar (Farradyne, 2000).



Şekil 2.6 Tıkanıklık haritası [2]

Kablosuz haberleşme, portatif cihazlar, avuç içi bilgisayarları ve araç içi bilgisayarları gibi teknolojilerin ilerlemesiyle beraber pek çok farklı yoldan internet sitelerine erişim imkanı da doğmuştur. Bu durum da sürücülere internet sitelerini hem yola çıkmadan önce hem de yoldayken kullanabilme şansı vermiştir (Farradyne, 2000).

### 2.3.4 Kaza-arıza müdahalesi

Kaza-arıza müdahalesi, bir kaza-arızanın varlığının kesinleşmesi üzerine uygun personel ve donanımın olay yerine yönlendirilmesini ve gerekli bağlantıların sağlanmasını içerir. Kaza-arıza müdahalesi hizmet sağlayıcılarının ve müdahale kuruluşlarının hazırlıklı bulunmalarını gerektirir. Etkili kaza-arıza müdahalesi, bütün kuruluşların her tür kaza-arıza için hazırlıklı olmalarını gerektirir. Bu durum müdahalenin etkili ve verimli olabilmesi için vazgeçilmez şarttır.

Kaza-arıza müdahalesi kaza-arızanın varlığının kesin olarak doğrulanmasının hemen ardından uygun personel, donanım, haberleşme bağlantıları ve sürücülerin bilgilendirilmesi için gerekli araçların kullanıma hazır hale getirilmesini gerektirir. Aynı zamanda uygun kaza-arıza müdahalesi, kaza-arızanın doğasını, kapsamını ve ek olarak da kaza-arızanın kaldırılması ve normal trafik şartlarına geri dönüşün sağlanması için gerekli adımları ve kaynakları anlamayı da gerektirir (Farradyne, 2000).

Kaza-arıza müdahalesini iyileştirmek için çeşitli teknikler benimsenmiştir. Kullanılan başlıca yöntemler şunlardır (Farradyne, 2000):

- Kuruluş içi ve kuruluşlar arası haberleşmeler
- Müdahale için personel ve lojistik desteği
- Donanım depolama alanları
- Kuruluşlar arası anlaşmalar
- Gelişmiş müdahale araçları

Aşağıda bu temel yöntemler ve bunların uygulanmasında kullanılan püf noktalar ele alınmıştır.

#### 2.3.4.1 Kuruluş içi ve kuruluşlar arası haberleşmeler

Etkin kaza-arıza müdahalesi, kuruluşların kendi personeliyle güvenilir bir haberleşmeye sahip olmalarını gerektirmektedir. Kurulması gereken haberleşme bağlantıları ise aşağıda verilmiştir:

- İşletme merkezinden işletme merkezine
- İşletme merkezinden müdahale aracına
- Müdahale aracından müdahale aracına

Bu etkin haberleşmeler aynı zamanda diğer kuruluşların personeliyle de yani kuruluşlar arası da kurulmalıdır. Hatta birlikte çalışan müdahale kuruluşları arasındaki haberleşmeler uygun telsiz sistemlerin de satın alınmasıyla desteklenmelidir. Aynı zamanda bütün bunlara eş önemde olan başka bir konu da kuruluşlar arası kabul görmüş kullanılan ortak bir dilin olmasıdır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.4.2 Müdahale için personel ve lojistik desteği**

Bazı kaza-arıza yönetimi programlarında, müdahaleden sorumlu personelin listesi ve iletişim numaraları birleştirilerek katalog haline getirilir. Bu kataloglar hangi coğrafi alanda kimin kaza-arızaya müdahale edeceğini gösteren basit iletişim listelerinden oluştuğu gibi, ayrıntılandırılmış ve kapsamlı bilgiler sunan el kitapları ve rehberlere de rastlanmaktadır. Bu kaynakların kullanımı kaza-arızaya müdahaleyi hızlandırdığı gibi kaza-arızanın etkili olduğu süreyi de kısaltır.

İlk olarak bu kaynaklar kuruluşların sorumluluklarını, radyo frekanslarını, konuşma gruplarını, birincil ve yedek telefon ve faks numaralarını içermelidir. Aynı zamanda 24 saat ulaşılabilecek personel ve temas numaralarını da içermelidir. Organizasyon şemalarının bulunması da faydalı olacaktır. Ayrıca kuruluşların ve personelin temas numaralarının yanında, personelin özel becerileri, donanımları ve kullanabilecekleri malzemeler de belirtilmelidir. Bunların yanında gerektiğinde kullanılabilecek kaynakların bilgilerinin de ilave edilmesi gerekmektedir. Örneğin, bir anayolda yer alan yangın musluklarının yerlerini belirten bir haritanın eklenmesi, gerektiğinde müdahale ekibinin işine yarayacaktır.

Bir sonraki adım ise olası kaza-arızaların ve yollarda meydana gelebilecek tehlikelerin çeşitlerinin mümkün olduğunca tanımlanabilmesidir. Bu şekilde yapılacak ön çalışmalar sürekli güncellenmeli ve gerekli bütün müdahale kuruluşlarına iletilmelidir.

Bir kaza-arızanın meydana gelmesi durumunda gerektiğinde destek sağlanabilecek özel donanımlar da vardır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Farradyne, 2000):

- Karayolu inşaatında, bakımında kullanılan bazı donanımlar
- Trafik kontrol donanımları ve bariyerler
- Çekiciler
- Vinç, yol temizleme araçları
- Geçici olarak insan gücü
- Kum, soda, kireç ve emiciler

Belirtilen donanımlar haricinde, özel durumların meydana gelmesi halinde daha farklı türden desteklere de ihtiyaç duyulabilir.

#### **2.3.4.3 Donanım depolama alanları**

Donanımlar ve malzemeler kaza-arıza oranlarının yüksek olduğu alanlarda depolanırlar. Bunların kaza-arıza bölgelerine yakın yerlerde depolanması müdahale süresini kısaltır. Bu alanlarda depolanan donanımlar işaretler, huniler, bayraklar vb. trafik kontrol donanımlarını da içermelidir. Bu alanlarda depolanması gereken kaynaklarla ilgili neyin kullanışlı olup olmayacağı konusunda sürekli fikir alış verişinde bulunulmalıdır. Ayrıca arazide görev alan müdahale ekipleri de sık sık ihtiyaç duydukları kaynakları gerekli yerlere bildirmeli ve bu depolarda bulunup bulunmadığını kontrol etmeli, gerektiğinde yetkilileri uyarmalıdır.

Kullanılacak donanımlar ve malzemelerle ilgili olarak müdahale kuruluşları arasında gerekli anlaşmalar yapılmalıdır. Yerel durumlar ve temel kaza-arıza türlerinden yola çıkılarak genellikle kullanılması gereken öncelikli kaynaklar belirlenir.

Depolama konusunda kentsel alanlardaki en büyük engel ise yeterli miktarda donanım depolama alanlarının bulunmamasıdır. Depolama alanları ihtiyaç duyulduğunda kaynaklara ulaşılabilecek kadar korunaklı olmalıdır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.4.4 Kuruluşlar arası anlaşmalar**

Kuruluşlar arası anlaşmalar kaza-arıza müdahale kuruluşları ile hizmet sağlayıcılarının amaçlar, hedefler ve işlemler belirleyerek bir düzenek oluşturmalarını sağlar. Pek çok alanın kendine özgü ihtiyaçları ve önceliklerine göre bu anlaşmalar büyük farklılıklar gösterir. Bu anlaşmalar temelde, yetki alanlarına göre sorumlulukları ve işlemleri belirtmek için kullanılırlar (Farradyne, 2000).

#### 2.3.4.5 Gelişmiş müdahale araçları (ARV)

Gelişmiş müdahale araçları (ARV) Teksas ve Virjinya (ABD)'da test edilmişlerdir. Bu araçlar kaza-arıza yönetimini iyileştirmek için çeşitli sistemler içermektedirler. Gelişmiş müdahale araçları, araçlar ve işletme merkezleriyle görsel, sesli ve veri bağlantılarını kurabilecek şekilde donatılmışlardır. Kaza-arıza müdahalesini iyileştirmek ve hızlandırmak için bu araçlara otomatik araç konumu belirten sistemler yerleştirilmiştir. Ayrıca bu araçlar kesin araç konumunu gerekli merkezlere bildirmeleri için evrensel konumlandırma sistemleri (GPS) ile de desteklenmiştir (Farradyne, 2000). Şekil 2.7'de gelişmiş bir müdahale aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Gelişmiş bir müdahale aracı [3]

#### 2.3.5 Kaza-arıza bölge yönetimi

Kaza-arıza bölge yönetimi, olay yerindeki kaynakların etkin bir biçimde düzenlenmesi ve yönetilmesi sürecidir. Kaza-arıza bölge yönetiminin en önemli amacı, kaza-arıza müdahale personelinin, kaza-arıza mağdurlarının ve diğer araç sürücülerinin güvenliğini sağlamaktır.

Kaza-arıza bölge yönetimi süreci şu şekilde tanımlanabilir (Farradyne, 2000):

- Kaza-arızaları başarılı bir biçimde değerlendirmek
- Öncelikli yapılacakları belirlemek ve uygun bir biçimde yerine getirmek
- Uygun kuruluş ve organizasyonlara haber ve bilgi vermek
- Gerekli müdahale ekipleriyle etkin haberleşmeler ve bağlantılar gerçekleştirmek
- Kaza-arızanın kaldırılması sürecinde de gerekli iletişimleri sürdürmek

Kaza-arıza bölge yönetiminin etkili olabilmesi için olay yerinde görev alan müdahale personelinin ve amirlerin kaza-arızayla ilgili doğru bilgilere ve kaza-arızanın kaldırılması için hangi donanımların gerektiğini bilmeye ihtiyaçları vardır. Ayrıca olay yeri ve müdahale ile ilgili sürekli değerlendirmeler yapılmalıdır.

Etkili kaza-arıza bölge yönetiminin sağlanması, bir kaza-arıza komut sistemi (ICS) ile kolaylaştırılabilir. ICS, kuruluşların ve hizmet sağlayıcılarının kaza-arıza bölgesinde görevlerini işbirliği ve uyum içinde yapmalarını kolaylaştıran bir sistemdir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.5.1 Kaza-arıza bölge yönetiminin amaçları**

Kaza-arıza bölge yönetiminin temel amaçları aşağıda sıralanmıştır:

- Kaza-arıza mağdurlarının, diğer sürücülerin ve müdahale personelinin güvenliğini arttırmak
- Müdahale ekiplerinin faaliyetlerini düzenlemek
- Kaza-arızanın ulaştırma sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak
- Kuruluşlar arası haberleşmeleri ve işbirliğini arttırmak
- Personel ve donanım kullanımını maksimize etmek

Kaza-arıza bölge yönetiminin sağladığı kazançları ölçmek zordur. Ancak şu da bilinen bir gerçektir ki, deneyimli ekiplerin birlikte çalıştığı kaza-arıza bölgelerinde kaza-arızaların sahada kalma süreleri önemli ölçüde azalmaktadır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.5.2 Kaza-arıza bölge yönetiminde kullanılan teknikler**

Kaza-arıza bölge yönetiminde kullanılan yöntemleri (araçları) temel olarak beş başlık altında incelemek mümkündür (Farradyne, 2000):

- Gereksinim duyulan donanımlar
- Çok sayıda kuruluşun göz önüne alınması
- Müdahale araçlarının kaza-arıza bölgesinde yerleştirilmesi
- Kaza-arıza komut sistemi (ICS)
- Birleştirilmiş komut yapısı

Aşağıda bu beş temel yöntem daha ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır.

#### **2.3.5.2.1 Gereksinim duyulan donanımlar**

Kaza-arıza bölge yönetiminde gereksinim duyulan donanımlar, kaza-arıza yetkililerinin insanları ve kaynakları yönetirken kullanacakları donanımlardan oluşur. Bu donanımlardan en önemlileri ise bütün kaza-arıza müdahale ekipleri arasındaki haberleşmenin sağlanması için kullanılan donanımlardır (Farradyne, 2000).

Kaza-arıza bölge yönetiminde ihtiyaç duyulabilecek donanımlar aşağıda belirtilmiştir (Farradyne, 2000):

- Yelekler veya kol bantları
- Bazı komutları simgeleyen bayraklar veya diğer malzemeler
- Olay yerindeki kronolojik bilgileri kaydetmek için dizüstü bilgisayarlar
- Kamera
- Işıklandırma
- Kullanılacak portatif elektronik cihazlar için ekstra batarya

#### **2.3.5.2.2 Çok sayıda kuruluşun göz önüne alınması**

Çok sayıda müdahale kuruluşunun varlığı, bir gereksinim olmanın yanında bölge yönetimini zorlaştıran bir unsurdur. Kurulan zayıf bağlantılar en güncel bilgilerin akışına engel olabilmekte veya bu bilgileri geciktirebilmektedir. Pek çok haberleşme merkezi arasında iletilen isteklerin geç aktarıldığı sıklıkla görülebilmektedir. Bu sebeplerden ötürü bölge yönetiminde birden fazla kuruluş önceliklerine göre gruplandırılarak diğer müdahale ekipleriyle olan ilişkileri önceden belirlenmelidir. Bu öncelikler kuruluştan kuruluşa farklar göstermektedir. Önemli olan ise mümkün olduğunca kısa sürede gerekli koordinasyonun sağlanmasıdır.

Kaza-arıza bölgesini yöneten kişi diğer kuruluşlarda görev yapan anahtar personelle gerekli bağlantıları kurmak ve bir plan gerçekleştirmek için gerekli olan koordinasyonu sağlamak durumundadır. Görevler ve yapılacaklar tanımlanmalı, öncelikler belirlenmeli ve olay yerinde ihtiyaç duyulan kuruluşlar ile gerekli haberleşmeler gerçekleştirilmelidir.

Müdahale ekipleri ancak ve ancak kendi personeli ve diğer kuruluşlar arasında gerekli iletişim sürekli bir biçimde sağlandığı zaman etkili olabilirler. Eğer yakın koordinasyon ve işbirliği sağlanmazsa, etkili bir olay yeri yönetimi de sağlanamayacaktır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.5.2.3 Müdahale araçlarının kaza-arıza bölgesinde yerleştirilmesi**

Bir kaza-arıza bölgesine gönderilen müdahale araçları, bölgeyi ve müdahale ekiplerini korumak, olay yerine donanım sağlamak veya kurtarma ve kaldırma gibi farklı görevleri yerine getirmek üzere kullanılırlar. Müdahale araçlarının yerleştirilmesi, bölgedeki trafiğin düzenli akışının sağlanması açısından oldukça kritik olabilmektedir. Genellikle müdahale araçları olay yerinde bir koruma ve gerekli donanımların sunumunu sağlarken, sorunlu araçlar tarafından işgal edilen şerit sayısının da en aza indirilmesine özen gösterilir. Çok ender olsa da büyük çapta kaza-arıza meydana gelmesi durumunda, müdahale araçlarının istenilen şartları sağlayabilecek biçimde yerleştirilmesi de oldukça zor olabilmektedir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.5.2.4 Kaza-arıza komut sistemi (ICS)**

Bir kaza-arıza komut sisteminin kullanılması, etkili kaza-arıza bölge yönetiminin sağlanmasını kolaylaştıracaktır. Kaza-arıza komut sistemleri, acil bir durum karşısında yetkili kuruluşların ve hizmet sağlayıcılarının uyum içerisinde olmalarına katkıda bulunan ve gerekli ihtiyaçlar arasında uygun elemeleri yaparak etkili müdahale planlarının ortaya konulmasını sağlayan sistemlerdir.

Kaza-arıza komut sistemi temel olarak çeşitli komutlara ve kuruluşların personel yapılarına dayanır. Bu sistemlerde kaza-arızanın boyutuna, karmaşıklığına ve süresine bağlı olarak gereksinim duyulan farklı yetkililerin rolleri ve görevleri tanımlanır. Kaza-arıza komut sistemleri kaza-arızaların ve acil durumların yönetimi için planlanmış, organize bir etkinlik sağlar. Kaza-arıza komut sistemleri bir başka bakış açısıyla, her müdahale personelinin görev

ve sorumluluklarını görebileceği ve anlayabileceği bir dizi kılavuz olarak da görülebilir. Bir kaza-arıza komut sisteminin bileşenleri aşağıda verilmiştir (Farradyne, 2000):

- *Temel terimler:* Bütün müdahale ekipleri tarafından kullanılabilecek olan temel dil.
- *Birimsel organizasyon:* Kaza-arızaların boyutu ve karmaşıklığı değişken olacağı için kaza-arıza bölgesinde etkili bir yönetimin sağlanması için gerekli olan personel sayısı ve teknik kaynak miktarı da değişkendir. Kaza-arıza komut sistemi yapısı ihtiyaçlardaki bu değişiklikleri de göz önüne alan bir yapıda olmalıdır.
- *Birleştirilmiş haberleşmeler:* Etkin haberleşmeler oldukça önemlidir. Müdahale ekipleri arasında aktarılan mesajlar düzgün bir biçimde alınmalı, anlaşılmalı ve onaylanmalıdır.
- *Birleştirilmiş komut yapısı:* Kaza-arızayı bireysel olarak yöneten sorumlu kişiyi tanımlayacak bir yapının da sistemde yer alması gerekir. Kaza-arızanın karmaşıklığına bağlı olarak, kaza-arıza komut sisteminin çok sayıda kuruluş ve hizmet sağlayıcısının da olaya müdahale etmesini sağlayacak şekilde bir genişletme çalışmasını kolaylaştırması gerekir.
- *Birleştirilmiş hareket planları:* Hareket planları amaç ve hedefleri tanımlamalı, kuruluşların rollerini, kaynakları ve kaza-arızanın başlangıç anından bitiş anına kadar olan süreç içerisindeki gerekli bütün işlemleri belirlemelidir.
- *Kapsamlı bir kaynak yönetimi:* Kaza-arıza müdahalesinden sorumlu olanların mevcut kaynakların durumlarından ve bulunduğu yerlerden haberdar olmaları şarttır.

#### **2.3.5.2.5 Birleştirilmiş komut yapısı**

Birleştirilmiş komut yapısı, farklı kuruluşların ve yetkililerin işbirliğini kolaylaştıracak bir yönetim yapısı sağlamaktadır. Birleştirilmiş komut yapısı, başlıca kuruluşların ve yetkililerin birleştirilmiş bir komut çatısı altında toplanmalarını sağlar (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6 Trafik yönetimi**

Trafik yönetimi, kaza-arızadan etkilenen bölgelerde trafiği kontrol altında tutmak için yapılan uygulamaları içerir. Trafik yönetiminin temel amaçları trafikte meydana gelen bozulmaları (olumsuzlukları) en aza indirmek, trafik akışını iyileştirmek, geçki seçenekleri sunmak ve bu geçkilerdeki trafik akımını iyileştirmek şeklinde ifade edilebilir. Kaza-arıza durumlarında,

bölgedeki trafik akımını iyileştirmek için kullanılan teknikler aşağıda verilmiştir (Farradyne, 2000):

- Olay yerinde trafik kontrol noktaları oluşturmak
- Yol şeritlerini yönetmek (açılan ve kapanan şeritler, güvenlik açısından trafiğe kapatılan yol kesimleri, trafik akımının olumsuz etkilenmesini en aza indirmek amacıyla tehlike arz eden araçları ve donanımları trafikten yalıtma veya park etmek vb.)
- Trafik yönetimine yardımcı olmaları açısından uygun personeli görevlendirmek (polis ve hizmet ekipleri)

Sunulan geçkilerdeki trafik akımının iyileştirilmesi için kullanılan teknikler ise:

- Kaza-arızadan etkilenmiş bölgelerde aktif olarak trafik kontrol donanımlarını yönetmek (şerit kontrol işaretleri, trafik işaretleri vb.)
- Geçki seçeneklerini belirlemek, geliştirmek ve işletmek

şeklindedir.

Şekil 2.8’de kaza-arızanın meydana geldiği bir yol kesiminde uygulanan trafik yönetimi çalışmalarından bir örnek görüntü verilmiştir.



Şekil 2.8 Kaza-arıza olay yerindeki trafik yönetimi çalışması (Farradyne, 2000)

Kaza-arıza yönetiminin her bileşeni için trafiğin kontrol edilmesi, özellikle de planlama çalışmalarındaki önemli işlevlerden birisidir. Trafik kontrolü şu hususları içermektedir:

- Uygun trafik kontrol donanım ve malzemelerinin sağlanması
- Trafik kontrol kaynaklarıyla ilgili gerekli bilgilerin edinilmesi
- Geçki seçeneklerinin planlaması

Kaza-arıza yönetiminin bütün aşamalarında olduğu gibi etkin trafik yönetimi de, yapılması gerekenlerin planlanması ile başlar. Planlamalar ve gerekli hazırlıklar tamamlandıktan sonra arazide uygulanacak ilk görev uygun bir trafik kontrolü ile kaza-arıza mahallinin güvenliğini sağlamaktır. Ufak çaplı kaza-arızalar daha küçük çaplı trafik kontrolü gerektirse de, belirtilen bu ilk görev, şiddetine bakılmaksızın her kaza-arıza için yerine getirilmelidir. Trafik akımına etkisi daha büyük çapta olan kaza-arızalar için ise yerine getirilmesi gereken ikinci görev bölgede ve civarında etkin bir trafik yönetimi gerçekleştirmektir (Farradyne, 2000).

### **2.3.6.1 Etkin bir trafik yönetimi için hazırlanma**

Etkin trafik yönetimi, bir kaza-arıza meydana geldiğinde planlama ve hazırlanmayı gerektirir. Kaza-arıza bölgesindeki trafiğin kontrolünü sağlamakla sorumlu olan müdahale ekipleri, kullanılabilir donanım ve malzemelere veya bunların nereden sağlanabileceği bilgisine ihtiyaç duyarlar. Sorumlu bu ekipler, kaza-arızadan etkilenen geçkilerdeki trafik akımını iyileştirmek için kullanacakları trafik kontrol donanımlarına ve bunların kullanımına tanıklık olmalıdırlar. Eğer farklı geçkilerin kullanımı söz konusuysa, planlanan bu geçkiler deneyimli personel tarafından belirlenmelidir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6.1.1 Trafik kontrol donanımlarının hazır bulunması**

Her an ihtiyaç duyulabilecek olan temel trafik kontrol donanımları, güvenli bir şerit oluşturacak şekilde yolun bir kısmını kapatmak için kullanılacak olan bantlar, huniler ve ışıklı işaretlerdir. Müdahale ekipleri yanlarında ışıklı işaretler taşımalıdır. Kaza-arıza müdahale araçlarında güvenli bir kaza-arıza bölgesi oluşturacak kadar sayıda huni bulunmalıdır. Aynı zamanda bir trafik müdahale aracında portatif şerit kapatıcılar ve durum hakkında sürücülere uyarı işaretleri de bulunmalıdır. Yolun uzun süre kapalı kalmasını gerektiren durumlarda ok işaretli levhalara ve değişken mesajlı portatif levhalara da ihtiyaç duyulabilir. Trafik kontrolünü sağlayacak olan personel belirtilen bu kaynakların bulundukları yerleri,

kullanımına dair gerekli anlaşmaları ve bu donanımları olay yerine kimlerin ulaştıracağını bilmek durumundadırlar (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6.1.2 Hangi trafik kontrol donanımlarının kullanılabilir olduğunun bilinmesi**

Trafik kontrol stratejileri arasında en hızlı ve en etkin olanlardan birisi de mevcut donanımların kullanımıdır. Örneğin dinamik mesajlı levhalar ve yol durumuyla ilgili bilgi veren radyo istasyonları gelecek olan kaza-arıza ile ilgili sürücüleri uyarmak için ve kaza-arıza bölgesine gelmeden önce sürücülerin şerit değiştirmelerini sağlamak için kullanılabilirler. Gerekğinde trafik lambalarının zamanlamaları da araçların kaza-arıza bölgesini bir an önce geçebilmelerini kolaylaştıracak biçimde düzenlenebilir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6.1.3 Geçki seçeneklerinin planlaması**

Yolun kapasitesini ciddi bir biçimde kısıtlayan büyük çaplı bir kaza-arıza meydana geldiği zaman sürücüler doğal olarak farklı yollardan gidecekleri yere ulaşmayı denerler. Bazı bölgelerde bu tür durumlar karşısında trafiğin yönlendirileceği ve artan trafik talebini karşılamak için en uygun olan geçki seçenekleri planlanmalıdır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6.2 Kaza-arıza gerisindeki trafik akımının iyileştirilmesi**

Bir kaza-arıza meydana geldikten sonra mümkün olduğunca çabuk bir biçimde güvenli bir çalışma alanı oluşturmak oldukça kritiktir. Daha önce de bahsedildiği gibi müdahale araçları genellikle ilk olarak olay yerindeki güvenliği sağlamak için kullanılırlar. Daha sonra mümkün olduğunca çabuk bir biçimde düzgün bir trafik kontrolü sağlanmalıdır. Bu hususta trafik yönetimi sorumlularının odaklanması gereken iki temel kavram vardır (Farradyne, 2000):

- Olay yerinde noktasal trafik kontrolünün sağlanması
- Yol şeritlerinin yönetilmesi

Kaza-arıza gerisindeki trafiğin düzgün ve güvenli bir biçimde hareket etmesi için olay yerinde bir trafik kontrolünün oluşturulması gerekmektedir. Eğer şeritler veya yolun bir kesimi kapatılacaksa trafiğin açık kalan şeritlere veya emniyet şeridine yönlendirilmesi gerekir. Bunun için de huniler veya ışıklı işaretler kullanılabilecek trafik donanımlarındandır. Ok

işaretli levhalar ve portatif değişken mesajlı levhalar da kapatılan kesime dair uyarı vermesi için kullanılabilirler. Eğer kaza-arızanın sonuçları yolun uzun süreli kapanmasına sebep olarsa, inşaat alanlarında ve yol bakım çalışmalarında kullanılan donanımlar da kullanılabilir. Bazı durumlarda, trafik, emniyet şeritlerine ve hatta yolun geometrisi müsait ise ters yöndeki şeritlerden bir tanesine de yönlendirilebilir (Farradyne, 2000).

Yol şeritlerinin yönetilmesi ise temel olarak iki prensibin yerine getirilmesine dayanır (Farradyne, 2000):

- Yalnızca kaza-arıza kurbanlarının ve müdahale ekiplerinin güvenliği için kapatılması zorunlu olan şeritlerin kapatılması
- Şeritlerin kapalı kalma sürelerinin en aza indirilmesi

Kapatılan şerit sayısının azaltılması, kaza-arızanın etkisinin azaltılması açısından oldukça önemlidir. Kaza-arızaların sürelerini veya kapatılan şerit sayısını azaltmak için kullanılan başlıca yöntemler aşağıda verilmiştir (Farradyne, 2000):

- Kendi gücüyle hareket edebilen bütün taşıtların derhal bölgeden uzaklaştırılması
- Kullanılabilir duruma geldiklerinde şeritleri tek tek açmak
- Kaza-arıza bölgesini soldan sağa doğru kullanıma açmak
- Gelen ilk çekicinin güvenli bir biçimde trafiğin akacağı şeritleri açmasını sağlamak

### **2.3.6.3 Seçenek olarak sunulan geçkilerdeki trafik akımının iyileştirilmesi**

Trafiğin, bir kaza-arıza yüzünden ve kaza-arızadan etkilenen trafiğin farklı geçkilere taşınması amacıyla eşgüdümlü, iyi planlanmış bir politika izlenmeksizin uzun bir süre durması, kabul edilebilir bir durum değildir. Etkisi uzun süren kaza-arızaların, özellikle de çok sayıda şerit kapatan veya bütün yolu kapatan kaza-arızaların karayolu kapasitesine önemli ölçüde olumsuz etkileri vardır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6.3.1 Trafik kontrol donanımlarının aktif olarak yönetilmesi**

Trafiğin farklı geçkilere yönlendirilmesi ile sonuçlanacak bir kaza-arıza meydana geldiğinde, seçenek olarak sunulan geçkilerde artan trafiği yönetebilmek için gerekli ölçümler yapılmalıdır. Kaza-arıza yönetimi personeli farklı geçkilerdeki trafik akımını daha iyi yönetebilmek için mevcut trafik kontrol donanımlarını da kullanmalıdır.

Değişken mesajlı levhalar ve yol durumuyla ilgili bilgiler veren radyo yayınları, kaza-arıza hakkında bilgi sağlamak veya trafiği en uygun farklı geçkilere yönlendirmek için kullanılabilir. Ayrıca değişen trafik koşullarına bağlı olarak gerekli bölgelerdeki trafik ışıklarının zamanlamaları yeniden düzenlenebilir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.6.3.2 Geçki seçeneklerinin oluşturulması ve işletilmesi**

Kaza-arıza olay yerine ilk ulaşan müdahale ekiplerinin kaza-arızanın trafik üzerinde önemli ölçüde etkili olacağını ve sorunun 30 dakikadan önce çözülemeyeceğini bildirmeleri halinde, sürücülerin farklı geçkilere yönelmelerinin sağlanması gerekmektedir. Eğer durum daha karmaşıksa ve süreç daha uzun olacaksa veya yolun tamamının kapanması söz konusu ise muntazam bir biçimde bir an önce trafiğin tamamının yollarını değiştirmeleri sağlanmalıdır.

Bu tür durumlar karşısında uygulanan bazı işletim işlemleri vardır. Geçki seçeneklerinin oluşturulması sürecinde izlenen sıralama adım adım aşağıda belirtilmiştir (Farradyne, 2000):

- i. Geçki seçeneklerinin oluşturulmasının gerekliliğinin belirlenmesi
- ii. Önceden planlanmış en uygun geçki seçeneğinin belirlenmesi
- iii. Kaza-arıza kuruluşları haricinde geçki seçeneklerinden etkilenebilecek diğer kuruluşlara durumun bildirilmesi
- iv. Seçenek olarak sunulan geçkilerdeki trafik ışıklarının zamanlamalarının değiştirilmesi
- v. Trafik kontrol donanımlarının ve sürücü bilgilendirme kaynaklarının etkinleştirilmesi
- vi. Sunulan geçkileri gözlemlemek
- vii. Sunulan geçkilerin kullanımının sonlandırılması

İşletimsel bir bakış açısıyla değerlendirildiği zaman, geçki seçeneklerinin belirlenmesi ve uygulanması durumunda, bu geçkilerin işletimsel performanslarının takip edilmesi oldukça önemlidir. Bu sayede, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek daha sonraki çalışmalarda daha sağlıklı sonuçlar alınmasına katkıda bulunulacaktır (Farradyne, 2000).

#### **2.3.7 Kaza-arızanın kaldırılması**

Kaza-arızanın kaldırılması; hasarın, varsa enkaz ve döküntülerin, kazanın veya arızalı aracın, normal trafik akımını bozan, şeritleri kapanmaya zorlayan bütün unsurların ortadan

kaldırılması ve yolun kapasitesinin kaza-arızadan önceki koşullarına geri dönmesinin sağlanması sürecidir.

Gelişmiş bir kaza-arıza kaldırma sürecinin temel amaçları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir (Farradyne, 2000):

- Yolun kapasitesini mümkün olduğunca güvenli ve hızlı bir biçimde kaza-arıza öncesindeki kapasitesine ulaştırmak.
- Sürücülerin maruz kalacakları gecikme sürelerini en aza indirmek.
- Kaza-arıza kaldırmada faydalanılabilecek bütün olanakları verimli bir biçimde kullanmak.
- Sürücülerin ve müdahale ekiplerinin güvenliğini arttırmak.
- Kaza-arızanın kaldırılması sürecinde yol kesiminde veya çevresinde meydana gelebilecek beklenmedik hasarların önüne geçmek.

Büyük çaplı kaza-arızalarda trafik akımının eski haline dönmesi ve trafiğin akışını engelleyen unsurların ortadan kaldırılması uzun zaman aldığı için, kaza-arıza yönetiminin en kritik bileşeni kaza-arızanın kaldırılması sürecidir (Farradyne, 2000).

#### **2.3.7.1 Olay yerinde kaza-arıza kaldırılmasının planlanması**

Kaza-arızanın verimli bir biçimde kaldırılması için yapılacak planlamalar, sorumlu personelin çalışma zamanlarının belirlenmesi ve görevlendirilmeleri ile başlar. Daha sonra bu süreç, meydana gelebilecek her tür kaza-arızanın kaldırılmasını içeren yöntemlerin seçimiyle; kaza-arıza yerlerinin, oluşacak maliyetlerin, kullanılacak kaynakların ve bunları kullanabilmek için geçerli yasal anlaşmaların belirlenmesiyle devam eder. Müdahale ekiplerinin kendi aralarında ve gerekli kuruluşlarla oluşturacakları bağlantıların tatbikatının yapılması da planlama sürecinin önemli bir parçasıdır. Ayrıca yapılan planlamalar, güncelliklerini ve uygulanabilirliklerini korumaları açısından düzenli olarak yenilenmelidir.

Bir kesimde meydana gelen kaza-arıza sonucu yapılmış olan geçmiş çalışmaların ve toparlanan bilgilerin de yeni bir planlama sürecinde mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir (Farradyne, 2000).

### 2.3.7.2 Kaza-arızanın kaldırılmasında kullanılan teknikler

Araçların kaldırılması için en çok kullanılan kaynak kurtarma araçlarıdır. Bu araçlar (ABD’de) genellikle özel kuruluşlar tarafından işletilirler. Köprülerde, tünellerde ve yüksek hacimli diğer yerlerde meydana gelen kaza-arızalar için bazı kamu kuruluşları kendi kurtarma araçlarıyla hızlı bir şekilde kaza-arızaya müdahale ederler ve mağdur durumda olan araçları güvenli bir alana taşırlar. Buradaki temel amaç, kaza-arızanın kaldırılması sürecini kısaltmaktır. Daha sonra özel kuruluşa ait kurtarma aracı bu güvenli alana yönlendirilir ve mağdur araçlar oradan kurtarılır.

Araçların kurtarılmasının zorlaşmasıyla birlikte kurtarma araçları da geliştirilmiştir. Şekil 2.9’da rampalı bir gelişmiş kurtarma aracı görülmektedir. Kurtarma araçlarını işleten kuruluşlar, araçların türleri ve kullanımlarıyla ilgili özel bilgileri çok iyi bilmek durumundadırlar. Ancak bu şekilde hangi aracın hangi donanımlarla beraber hangi kaza-arızaya yönlendirilmesi gerektiğini belirlemeleri mümkündür (Farradyne, 2000).



Şekil 2.9 Rampalı bir kurtarma aracı [4]

Devriye polis ekipleri de kaza-arızaların kaldırılmasında ve gecikmelerin azaltılmasında oldukça faydalı olmaktadır. Özellikle de trafik koşullarının eskiye dönüşünün sağlanmasında bir hayli kritik görevler üstlenmektedirler.

Günümüzde kaza-arızaların kaldırılması sürecinde kullanılabilecek yeni teknikler ve teknolojiler üzerine çalışmalar da sürmektedir. Özellikle de kurtarma araçlarına eklenebilecek yeni özellikler oldukça önemli bir konu olarak ele alınmaktadır (Farradyne, 2000).

### 2.3.7.3 Yük kamyonlarının kaldırılması

Kaza yapmış veya devrilmiş büyük kamyonların kaldırılması daha farklı olmaktadır. Bu tür az görünen fakat etkisi büyük olan kazalarda, genellikle kamyonların devrilen yükleriyle birlikte kurtarılması, trafik için uzun gecikmelere yol açsa bile, yapılan çalışmalarda kurtarılması mümkün olan bütün yüklerin kurtarılması hedef alınır. Tıkanıklıktan ötürü oluşan maliyet genelde taşınan yükün değerinden çok daha fazla olmaktadır. Bu yüzden de bazen kaldırma işlemine başlanmadan önce kamyon sahiplerine veya sigorta şirketlerine danışılmaktadır. Bazı sigorta şirketleri kaza-arıza yönetimi hususunda ileri görüşlü olabilmekte ve olası bir ikinci kazayı göz önünde bulundurarak kamyonların bir an önce kaldırılmasını kabul etmektedirler. Bu şirketlerin çoğu olası bir kaza veya devrilme için durum ne olursa olsun bir an önce kamyonun kaldırılmasını kabul ettiklerini önceden bildirmişlerdir. Bu şirketlerin bakış açılarına göre yüklerin kurtarılması daha önemsizdir. Bunun yanında bazı sigorta şirketleri ise sıklıkla kurtarma şirketlerinden veya kendi personelinden yüklerin kurtarılmasını talep etmektedirler. Polis ve yetkililer kamyonun kaldırılması sürecinde en hızlı ve en iyi yöntemi kullanırken, sigorta şirketlerinden gelen talebi de mutlaka göz önünde bulundurmak durumundadır (Farradyne, 2000).

### 2.3.7.4 Kaza soruşturmaları

Kaza soruşturmaları geçmişe kıyasla daha karmaşık ve zaman alır hale gelmiştir. Trafik lmleri veya yaralanmalarıyla alakalı dava sayıları artmıştır. Özellikle de kazayı yapan kişilerin çarptıktan sonra kaçması ve kazanın ölümle neticelenmesi durumunda polise adeta bir cinayeti çözme sorumluluğu yüklenmektedir.

Kaza-arıza soruşturmaları genellikle yolların birkaç saat boyunca tamamen kapanmasına ya da büyük oranda olumsuz etkilenmesine sebep olur. lmle sonuçlanan kazaların davaları senelerce sürebilmektedir ve yasal süreçte verilecek kararların büyük çoğunluğunda yapılan kaza soruşturması ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden de bu soruşturma mümkün olduğunca titiz bir biçimde yürütülmelidir (Farradyne, 2000).

### **3. KAZA-ARIZA YÖNETİMİNDE (ALGILAMASINDA) KULLANILAN SAYISAL YÖNTEMLER**

Kaza-arızaların sonucunda oluşan tıkanıklıkların zararlı etkilerinin ve doğurdıkları maliyetlerin oldukça yüksek olması ve yolların kapasitelerini düşürmeleri, etkin ve verimli kaza-arıza yönetimi programlarının geliştirilmesi için dünya çapında teşvik edici olmuştur. Kullanılan bu programların başarılı olmaları da güvenilir ve etkin otomatik kaza-arıza algılama (AID) modellerinin geliştirilmesine dayanmaktadır. Kullanılan bu modeller temelde trafik algılama cihazlarından toplanan gerçek zamanlı verileri çözümleyerek bir kaza-arızanın meydana gelip gelmediğini belirlerler (Thomas ve Dia, 2006).

#### **3.1 Otomatik kaza-arıza algılama modelleri ve modelleri değerlendirmede kullanılan kıstaslar**

Kaza-arızalar temelde kazalar, arızalanmış araçlar, yola devrilmiş yükler ve bunun gibi normal trafik akımını bozan ve kapasitede azalmaya sebep olan, tekrarlanmayan olaylar biçiminde tanımlanırlar. Dünya çapında başlıca otoyollarda meydana gelen gecikmelerin ve tıkanıklıklara bağlı oluşan maliyetlerin büyük bir kısmını kaza-arızalar oluşturmaktadır. Örneğin Amerika’da yer alan başlıca otoyollarda meydana gelen gecikmelerin %50-60’lık oranı kaza-arızalardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bir kaza-arızanın kaldırılmasının geciktiği her 1 dak.’lık süreç için trafiğin eski haline dönmesinin de 4 dak. geciktiği belirlenmiştir. Bütün bu sebeplerden dolayı otomatik kaza-arıza algılama, ileri trafik yönetimi sistemlerinin (ATMS) önemli bir parçasıdır.

Otomatik kaza-arıza algılama sistemleri bir trafik algılama sistemi ve bir kaza-arıza algılama modeli olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Trafik algılama sistemi kaza-arızayı algılamak için gerekli trafik verilerini sağlarken, kaza-arıza algılama modeli bu verileri çözümler ve bir kaza-arızanın var olup olmadığını sorgular. Trafik algılama sistemlerinin temeli genellikle yola yerleştirilmiş loop detektörlerine dayanmaktadır. Çeşitli teorik esaslara dayanan pek çok sayıda otomatik kaza-arıza algılama modeli vardır. En çok kullanılan modeller Çizelge 3.1’de de gösterildiği gibi 6 ana kategoride gruplandırılabilirler (Thomas ve Dia, 2006).

Çizelge 3.1 Otomatik kaza-arıza algılama modelleri (Thomas ve Dia, 2006)

| Model grupları                                                                                                                                                                                                                    | Performans ve sınırlamalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>California modelleri</i></p> <p>Akım aşağı ve akım yukarı detektörlerden alınan trafik ölçümleri karşılaştırılır. Ölçülmüş trafik değişkenleri daha önceden belirlenmiş eşik değerleriyle ve eski verilerle kıyaslanır.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yanlış alarm oranı %1'in altında olan modellerde (doğru) algılama oranı oldukça düşüktür.</li> <li>➤ Bu basit modellerin uygulanması oldukça kolaydır.</li> <li>➤ Trafik akımının sürekli olduğu kabul edilir bu yüzden de bu modeller sinyalizasyon edilmiş caddeler gibi akımın süreksizliğinin söz konusu olduğu yerlerde kullanılamazlar.</li> <li>➤ Yolda önemli ölçüde kapasite azalması olduğunda bu modeller daha iyi sonuç verirler; bu yüzden de düşük akımların gözlemlendiği aralıklarda oluşan kaza-arızaları algılamada sıkıntı yaşanabilmektedir.</li> <li>➤ Bu modellerin bazılarının esası toplanmış eski verilerle kıyaslama yapmaya dayanmaktadır. Bu durumda da eskiden algılanamamış kaza-arıza verilerinin kullanılması halinde hatalı sonuçlar elde etmek olasıdır.</li> </ul> |
| <p><i>Zaman serisi modelleri</i></p> <p>Bu modeller eski gözlem sonuçlarına dayanarak mevcut trafik gidişatını tahmin etmek için istatistiksel veya zaman serisi modeller kullanılır.</p>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Çoğu model tek istasyondan elde edilen gözlem sonuçlarını kullanır. Bu durum akım aşağı istasyonların kullanılmadığı yerlerde bir faydadır.</li> <li>➤ Çok da güvenilir olmayan eski verilerin kullanımıyla sınırlandırılmıştır.</li> <li>➤ Kullanılan değişkenler genellikle eşit öneme sahiptirler ve değişik çevrelere uyum sağlayamazlar.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><i>McMaster modeli</i></p> <p>Tıkanıklıkların ani hız değişimine sebep oldukları, akım ve işgal oranlarının sürekli olarak değiştiği yerlerde afet teorisine bağlı olarak geliştirilmiştir.</p>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yanlış alarm oranları oldukça düşüktür; ancak (doğru) algılama oranları da %68'i geçmez. (Bu veriler şerit kapatan önemli kaza-arızaların algılanması içindir).</li> <li>➤ Modelin kalibrasyonu oldukça yoğun bir uğraş gerektirmektedir.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p><i>Sinir ağı modelleri</i></p> <p>Sinir ağı modelleri kaza-arıza durumlarında oluşan trafik şartlarını tanımlamak amacıyla kullanılırlar.</p>                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yapay sinir ağları düşük yanlış alarm oranları ve yüksek algılama oranları ortaya koyarlar.</li> <li>➤ Sinir ağlarının oluşturulması istatistiksel bir analize göre oldukça hızlıdır.</li> <li>➤ Denemeler için çok sayıda veri kümesine ihtiyaç vardır. Çoğu denemede ise simülasyon verileri kullanılır.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><i>Fraktal kaza-arıza algılama modelleri</i></p> <p>Fraktal kaza-arıza algılama modelleri detektörlerden alınan verilerin fraktal boyutlarını kullanarak bir değerlendirme yaparlar.</p>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kullanılan veriler geleneksel geometri ile açıklanamayacak kadar düzensiz bir yapıya sahip oldukları için fraktal modellerde kullanılabilirler.</li> <li>➤ Modellerde yalnızca işgal oranı verileri kullanılması yeterlidir. Ancak hız verilerinin de hesaba katılması modelin performansını oldukça arttırmaktadır.</li> <li>➤ Yanlış alarm oranı %1'in altında kaldığında algılama oranları %70 civarındadır.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Bir kaza-arıza algılama modelinin performansı ise genellikle Çizelge 3.2'de belirtilen kıstaslar kullanılarak hesaplanır (Thomas ve Dia, 2006).

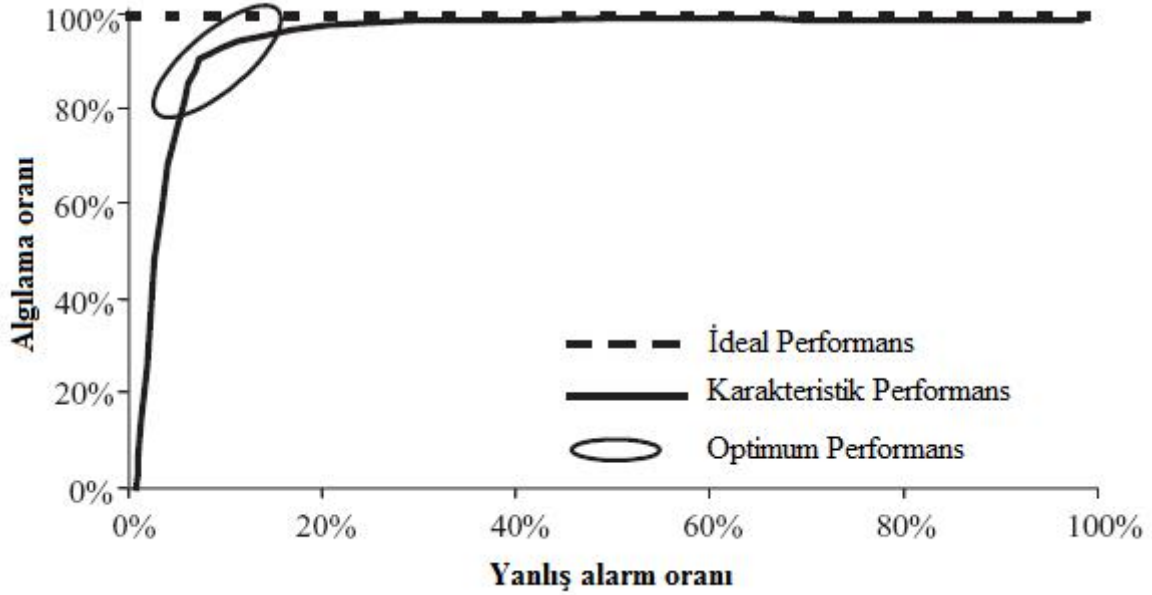
Çizelge 3.2 Kaza-arıza algılama modellerini değerlendirmede kullanılan kıstaslar

| Kıstas                                       | Açıklama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Algılama oranı (DR)                          | ➤ Algılama oranı, algılanan kaza-arıza sayısının meydana gelen toplam kaza-arıza sayısına bölümü şeklinde tanımlanır. Kullanılabilir bir kaza-arıza algılama modelinin algılama oranının %80 civarında olması istenir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Yanlış alarm oranı (FAR)                     | ➤ Yanlış alarm oranı, yanlış alarm verilen kazasız-arızasız zaman aralığı sayısının toplam kazasız-arızasız zaman aralığı sayısına bölünmesi şeklinde tanımlanır. Bu tanımlama bazı kaynaklarda kullanılan toplam zaman aralığına bölünmesi tanımlamasından daha sağlıklı sonuçlar veren bir tanımlamadır. Trafik işletmelerince kullanılabilir bir sistemin yanlış alarm oranının %1'in altında olması gerekmektedir. Bu oranın üzerinde yanlış alarm oranı veren kaza-arıza algılama sistemleri dikkate alınmazlar. |
| Algılamak için harcanan ortalama süre (MTTD) | ➤ Kaza-arızayı algılamak için harcanan süre, kaza-arızanın meydana geldiği zaman ile kaza-arızanın algılandığı zaman arasındaki fark olarak tanımlanır. Yapılan çalışmalarda eğer model kaza-arızayı algılamak için 5 dakikadan daha fazla süre harcıyorsa kaza-arıza algılanmamış sayılır. Bir model birçok kaza-arıza üzerinden değerlendirildiğinde, bu sürelerin ortalaması olan "algılamak için harcanan ortalama süre" belirtilir.                                                                              |

Algılama oranı ve yanlış alarm oranı modelin geçerliliğini ölçerken, algılamak için harcanan ortalama süre de modelin yeterliliğini yansıtır. Algılama oranı ve yanlış alarm oranı birbirleriyle mutlak ilişkilidir. Daha fazla sayıda kaza-arızayı algılayabilmek için modelin eşik değerleri esnek olmalıdır. Ancak bu durum aynı zamanda modelin kazasız-arızasız bazı zaman aralıklarında kaza-arıza meydana gelmiş gibi değerlendirme yapmasına da sebep olabilmektedir. Dolayısıyla eşik değerlerini ve modelin değişkenlerini belirlemek aslında mümkün olduğunca yüksek algılama oranı ve mümkün olduğunca düşük yanlış alarm oranının optimizasyonunun sağlanması sürecidir. Şekil 3.1'de algılama oranı ile yanlış alarm oranı arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik sunulmuştur. Bu grafiğe "*Performans eğrisi*" adı verilmektedir (Thomas ve Dia, 2006).

Eğrinin altında kalan alan modelin genel performansı ile ilgili bir ölçüm sunar. "1" değerindeki bir alan ideal performansa karşılık gelmektedir. Şekilde görülen elips optimum (algılama oranı/yanlış alarm oranı) kombinasyonu göstermektedir. Trafikte meydana gelen rastgele dalgalanmalar yüzünden çok sayıda yanlış alarm üretileceğinden dolayı, genellikle alarm bildirilmeden önce gelen uyarılar ardışık birkaç zaman aralığında test edilerek bir süreklilik testi uygulanır. Süreklilik testi algılama oranını önemli ölçüde düşürmeyecek

şekilde yanlış alarm oranını azaltmak için uygulanır; ancak bu test algılamak için harcanan ortalama süreyi arttırabilmektedir. Kullanılan üç performans ölçütü de birbirleriyle ilişkilidir. Bu ölçütlerin önem sırası ise algılama oranı, yanlış alarm oranı ve algılamak için harcanan ortalama süre şeklindedir (Thomas ve Dia, 2006).

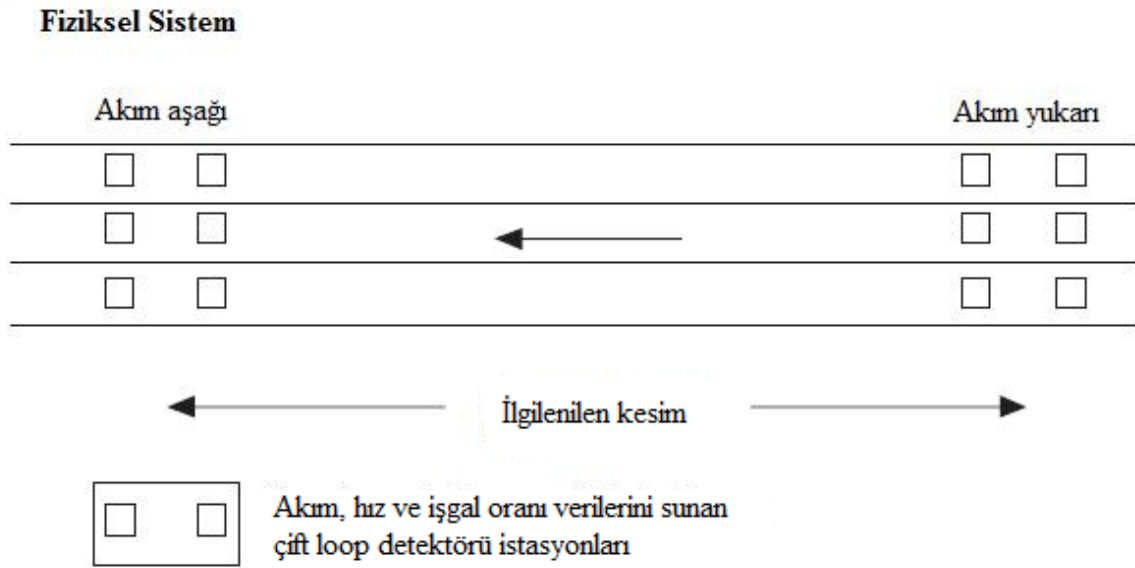


Şekil 3.1 Bir performans eğrisi örneği (Thomas ve Dia, 2006)

### 3.2 Yapay sinir ağları

Sinir ağları otomatik kaza-arıza algılama modelleri, “modellenen sistemin davranışını gösteren girdi/çıkıtları verileriyle mevcut trafik koşullarının öğrenilebileceği” fikrine dayanmaktadır. Yapay sinir ağları modellerinin en büyük yararı veri temelli olmaları ve bir modelin işlevsel biçimini ayrıntılarıyla belirtmeye gerek duymamalarıdır. Yapay sinir ağları modellerini kullanışlı kılan bir diğer yön ise verilerin hızlı bir şekilde işleme tabi tutulabilmesidir. Bu durum özellikle çok sayıda verinin kısa zamanda işlenmesini gerektiren gerçek zamanlı model tanımlamalarında ve sınıflandırma uygulamalarında oldukça faydalıdır. Yapay sinir ağları aynı zamanda, tıpkı kaza-arıza algılamada olduğu gibi, girdiler ve çıktılar arasındaki doğrusal olmayan ilişkinin modellenmesinin zor olduğu uygulamalarda da oldukça kullanışlıdır. Bu tarz çalışmalarda sinir ağlarının kullanılmasının yararı, üzerinde çalışılan durumla ilgili olan bir dizi örnek kullanılarak, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi ağın kendisinin geliştirebilmesidir. Yapay sinir ağları aynı zamanda hataya karşı yüksek ölçüde toleranslıdır. Hatalı bir girdiye karşı duyarlıdır ve bu girdinin hatalı olduğunu tanımlayarak doğru bir çıktı sağlayabilirler (Thomas ve Dia, 2006).

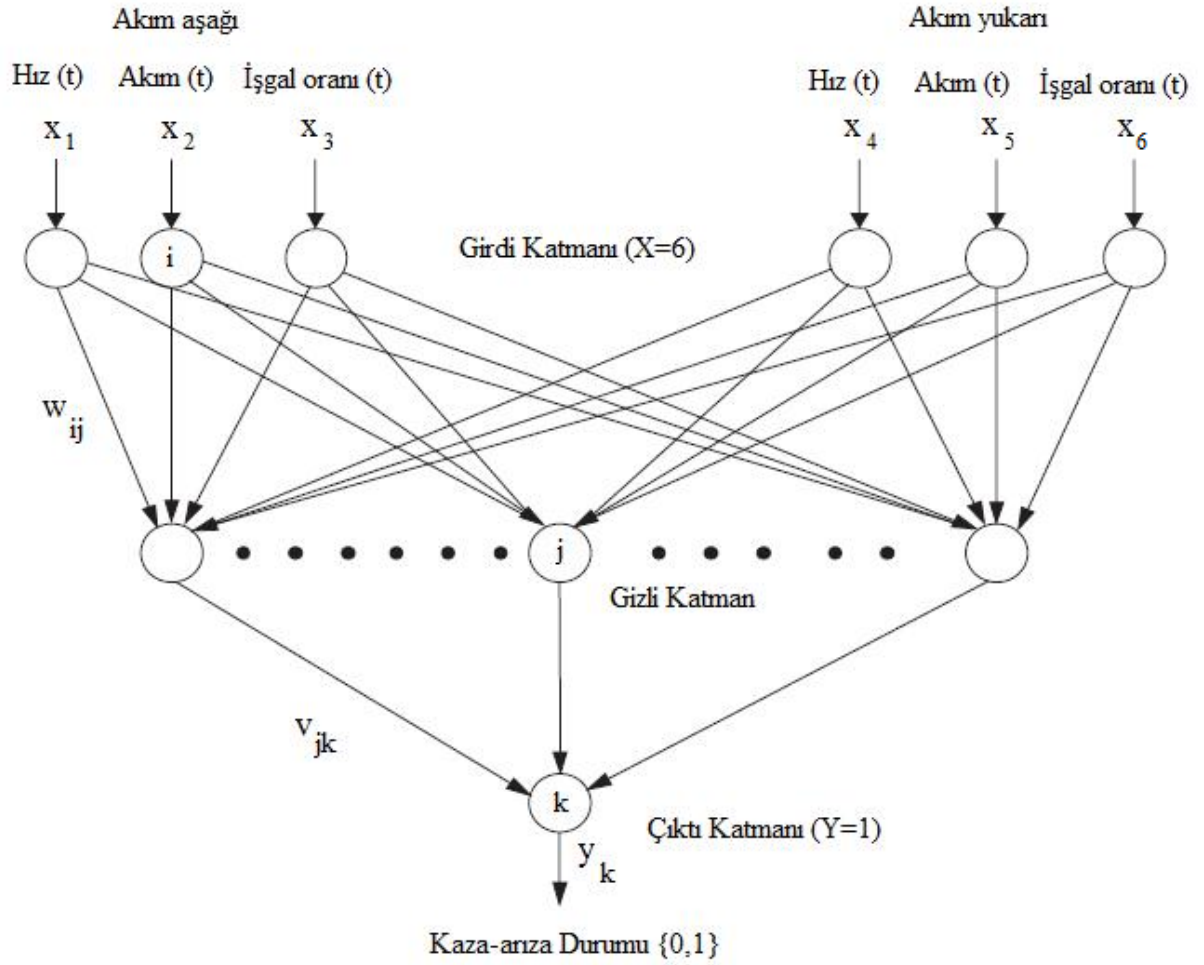
Şekil 3.2’de gösterilen ve akım aşağı ile akım yukarı detektör istasyonlarıyla tanımlanmış otoyol kesimini ele alacak olursak, ilgilenilen bu kesime ait bir yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modelinin genel yapısı Şekil 3.3’te verilmiştir. Detektör istasyonlarından elde edilen veriler yapay sinir ağı modeli için girdi olarak kullanılırlar. Modelin çıktısı ise otoyol kesiminde bir kaza-arızanın yokluğunu ya da varlığını belirten  $\{0,1\}$  şeklindeki değişkenlerdir. Yapay sinir ağı modelinde kullanılacak girdiler her iki istasyondan (akım aşağı ve akım yukarı) elde edilen gerçek zamanlı hız, akım ve işgal oranı ölçümlerini içermelidir. Modelin çıktısı ise kesimdeki trafiğin durumunu yansıtacaktır. Çıktı durumu  $\{0\}$  kazasız-arızasız koşulları, çıktı durumu  $\{1\}$  ise kaza-arızanın varlığını bildirir.



Şekil 3.2 Otoyol kesiminin fiziksel görünümü (Thomas ve Dia, 2006)

Yapay sinir ağlarının performansını değerlendirmek için yapılmış sayısal bir çalışmadan örnek sunmak yerinde olacaktır (Thomas ve Dia, 2006). Hazırlanan bir yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modeli, VicRoads Trafik Kontrol Merkezi’nden alınan 100 adet kaza-arızaya ait veri kümesi ile test edilmiştir. Çift istasyondan elde edilen 20 sn.’lik zaman aralıkları için şerit başına ortalama hız, akım ve işgal oranı değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, yapay sinir ağı modellerinin kaza-arıza algılama performansını önemli ölçüde arttırdığı kanıtlanmıştır. Ek olarak, modelin, değişik eşik değerleri kullanıldığında da başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Model, aynı zamanda, hatalı ve eksik girdilerle ve loop detektörlerinin hatalı belirlemelerde bulunması şartları altında da test edilmiş ve hataya karşı yüksek toleranslı olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapay sinir ağları modellerinin otoyollarda hızlı ve güvenilir kaza-arıza algılama sağladığını söylemek mümkündür.

### Yapay sinir ağı modeli



Şekil 3.3 Yapay sinir ağları modelleme yapısı (Thomas ve Dia, 2006)

### 3.3 California modelleri

Bu kısımda değerlendirilecek olan California tipi modeller ARRB/VicRoads modelleri adıyla da anılmaktadır. Bu modelin altında yatan temel mantık, komşu istasyonlar ve komşu şeritlerdeki trafik verilerini karşılaştırmak ve aralarındaki farkın önceden belirlenen eşik değerlerini geçmesi durumunda da bir kaza-arızanın meydana geldiğini haber vermektir. Başlangıçta her detektör çifti için her 1 dak.'da 20'şer sn.'lik 3 zaman aralığında hız ve işgal oranı değerlerinin ortalaması hesaplanır ya da gerekli ağırlık katsayılarına göre düzeltme yapılır. Buna karşın trafik akımı değeri ise 5 dak.'lık bir zaman aralığında düzeltilir ve sürekli ortalama değer olarak hesaplanır. Her 5 dak.'lık zaman aralığının sonunda araç sayısı güncellenir. Bu işlem yapılırken son 20 sn.'deki araç sayısı dahil edilir, baştaki 20 sn.'deki araç sayısı ise hesaba katılmaz. Akımın korunumu prensibine bağlı olarak, trafik akımında

görünen kayıplar kaza-arızaya dair bir işaret olarak kullanılırlar. Buna ek olarak kaza-arıza algılamada aşağıda verilen 3 adet model de kullanılmaktadır (Thomas ve Dia, 2006):

- *Komşu istasyon kıyaslaması:* Model, genellikle 500 m.'lik aralıklarda yerleştirilmiş komşu istasyonlar arasında düzeltilmiş trafik verilerini (hız, akım ve işgal oranı) karşılaştırır.
- *Komşu şerit kıyaslaması:* Model, her bir detektör istasyonu için komşu şeritler arasında düzeltilmiş trafik verilerini karşılaştırır.
- *Zaman serisi farkları:* Her bir detektör çifti için ardışık iki zaman aralığında trafik akımının türetilmiş değişkenleri arasındaki fark hesaplanır.

Her model için kaza-arıza alarmının verilmesi, hesaplanan trafik değişkenleri arasındaki farkların, o değişkenler için önceden belirlenen eşik değerlerini geçmiş olmasına bağlıdır. ARRB/VicRoads modelinde kaza-arıza alarmı, modellerin herhangi birinin 2 dak.'lık bir zaman içerisinde (6 zaman aralığı) ardışık dört adet alarm vermesi halinde bildirilir. İstasyonlar ve şeritler arasındaki akımları kıyaslamak için kullanılan modeller orta ve yüksek seviyeli akım durumlarında daha etkindirler. Benzer şekilde şeritler arasındaki hız farklarını kıyaslamak için kullanılan modeller de düşük ve orta seviyeli akım durumlarında daha etkindirler (Thomas ve Dia, 2006).

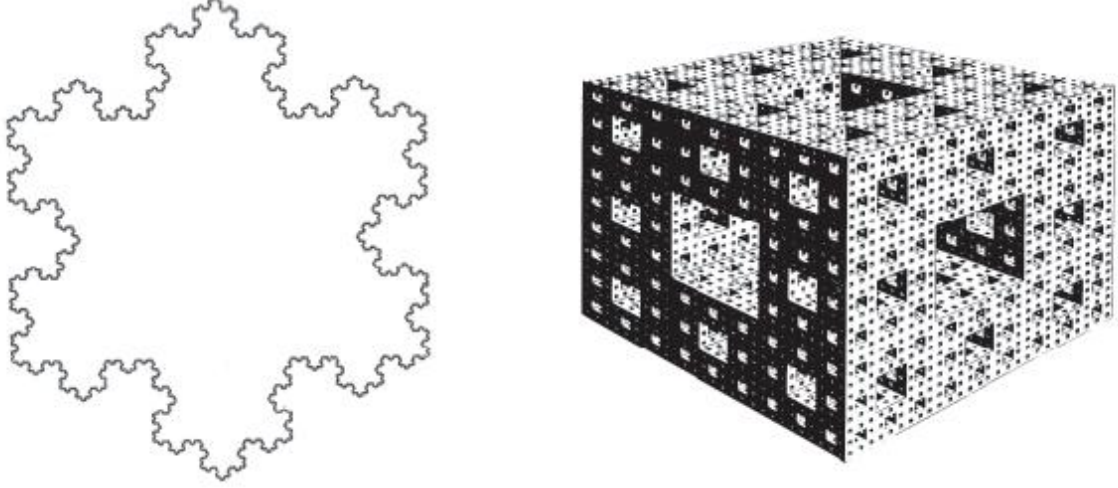
### 3.4 Fraktal kaza-arıza algılama modeli

Fraktal kaza-arıza algılama modelini ele almadan önce fraktal boyut kavramından ve fraktal boyutların nasıl hesaplandığından kısaca bahsetmek yerinde olacaktır.

Fraktal terimi ilk kez 1975'te Polonya asıllı matematikçi Benoît Mandelbrot tarafından ortaya konulmuştur [5]. Temelde cisimlerin geometrik şekillerindeki bazı özelliklere dayanarak ortaya çıkmıştır. Fraktal geometri klasik geometriden biraz farklıdır. Doğadaki pek çok nesneyi tam olarak klasik geometride kullanılan şekillerle ifade etmek mümkün olmayabilir. Örneğin ağaçlar, kar tanesi, kan damarları, kıyı şeridi vb. fraktal özellikler sergilerler. Bütün fraktallerin barındırdıkları ortak özellikler aşağıda sunulmuştur (Thomas ve Dia, 2006):

- Hassas yapıya sahip olmaları,
- Küçük ölçeklerde aşırı ayrıntılar barındırmaları,
- Çeşitli ölçeklerde benzer formların tekrarlanmasıyla oluşmaları.

Bu özellikleri daha iyi görebilmek için Şekil 3.4'te gösterilen iki cismi inceleyelim. Burada gösterilen kar tanesi (solda) ve sünger (sağda) örnekleri doğada bulunan fraktallere birer örnektir.



Şekil 3.4 Doğada bulunan iki adet fraktal cisim (Thomas ve Dia, 2006)

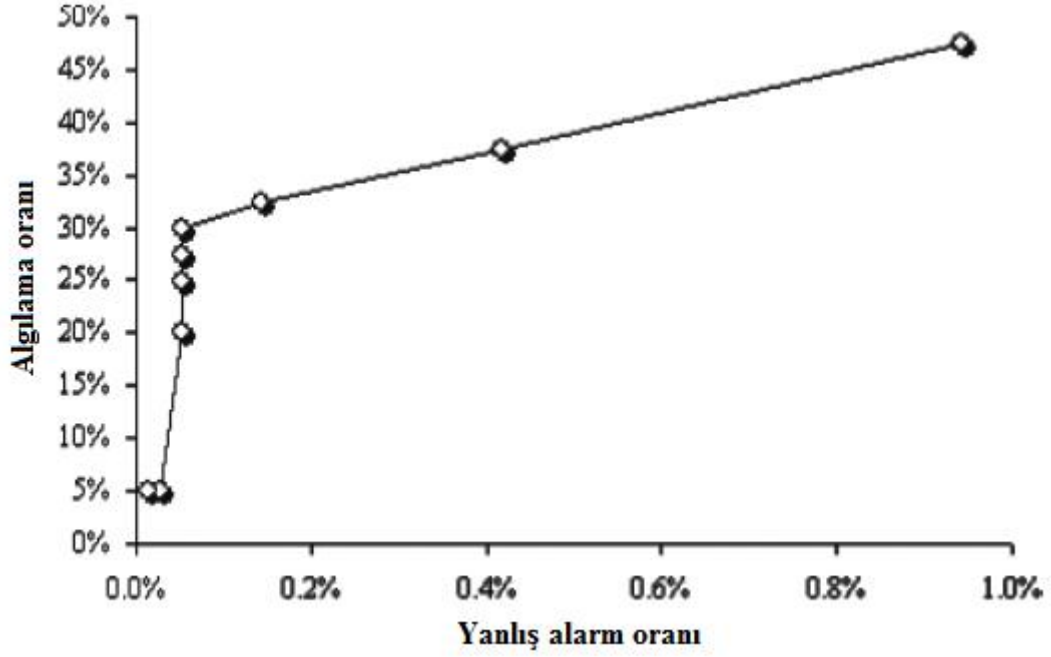
Şekil 3.4'te gösterilen kar tanesi ve sünger örneği yukarıda belirtilen üç özelliği de içermektedir. Fraktal boyut ise, bir objenin boşlukta ne kadar yer kapladığını gösteren bir birimdir.

Loop detektörlerinden alınan veriler de yüksek oranda düzensizlik ve bazı fraktal özellikler gösterirler (Thomas ve Dia, 2006):

- Veriler hassas yapıya sahiptirler ve değişen ölçüm aralıklarında benzer seviyelerde düzensizlik gösterirler.
- Veriler geleneksel geometri kullanılarak açıklanamayacak kadar düzensizdirler.
- Verilerin fraktal boyutları geometrik boyutlarından daha büyüktür.

### 3.4.1 İşgal oranı ve hız verilerine göre türetilen fraktal modeller

Fraktal kaza-arıza algılama modellerinde hız verileri kullanılmadan işgal oranı verilerinin fraktal boyutları ile bir değerlendirme yapabilmek mümkündür. Ancak bu şekilde oluşturulan modellerin yanlış alarm oranlarının %1'in altında olması halinde algılama oranları %50'nin altında kalmaktadır. İncelenen bir işgal oranı fraktal modelinden elde edilen performans eğrisi Şekil 3.5'te gösterilmiştir (Thomas ve Dia, 2006).



Şekil 3.5 İşgal oranı fraktal modeli için performans eğrisi (Thomas ve Dia, 2006)

Performans eğrisinden de açıkça görüldüğü gibi bu modellerin performansı işletimsel olarak kabul edilebilir seviyeye oldukça uzaktır. Bu modellerin performansını arttırmak için daha sonra yapılan çalışmalarda hız verilerinin fraktal boyutları da modele dahil edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda fraktal boyutun ani ve yüksek değişimlerinin kaza-arıza başlangıç ve bitiş anlarında meydana geldiği saptanmıştır. Fiziksel olarak bu durum kaza-arızanın meydana gelmesiyle trafikte oluşan yavaşlamalar ve kaza-arızanın kaldırılmasıyla meydana gelen hızlanmalar şeklinde de ifade edilebilir (Thomas ve Dia, 2006).

Fraktal kaza-arıza algılama modelleri hız ve işgal oranı verilerinin tekrarlanması, düzeltilmesi ve eşik değeri ile kıyaslanması seçenekleri arasında çeşitli kombinasyonlar üretilerek birbirinden farklı altı model halinde kullanılabilmektedir. Çizelge 3.3'te bu modelleri görmek mümkündür (Thomas ve Dia, 2006).

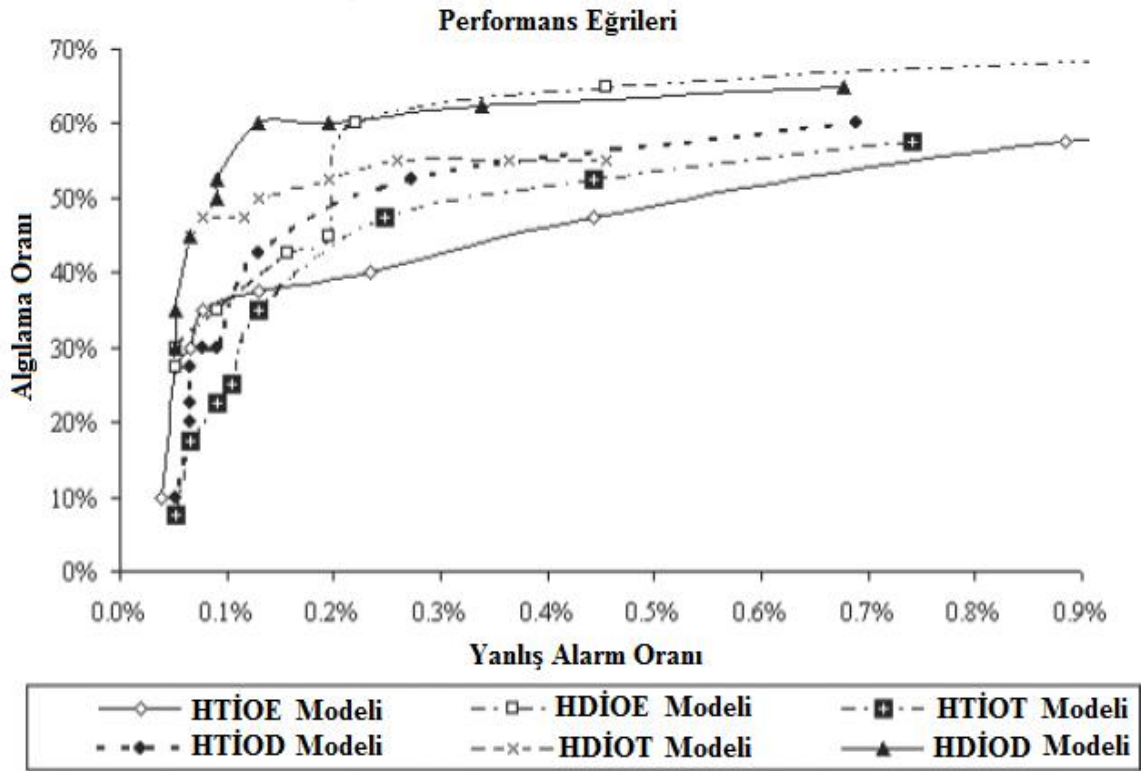
Çizelge 3.3 Kullanılan fraktal kaza-arıza algılama modelleri (Thomas ve Dia, 2006)

| Modelin adı ve açıklaması                                           |
|---------------------------------------------------------------------|
| HTİOE – Hızın tekrarlanması ve işgal oranı eşik değeri testi modeli |
| HDİOE – Hızın düzeltilmesi ve işgal oranı eşik değeri testi modeli  |
| HTİOT – Hızın tekrarlanması ve işgal oranının tekrarlanması modeli  |
| HTİOD – Hızın tekrarlanması ve işgal oranının düzeltilmesi modeli   |
| HDİOT – Hızın düzeltilmesi ve işgal oranının tekrarlanması modeli   |
| HDİOD – Hızın düzeltilmesi ve işgal oranının düzeltilmesi modeli    |

Türetilen bu altı model arasında yapılan bir kıyaslamadan örnek sunmak modelleri değerlendirmek açısından yararlı olacaktır. Kıyaslama yapılırken 100 adet kaza-arızadan oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır (Thomas ve Dia, 2006). Bu veri kümesi rastgele olarak iki alt kümeye bölünmüştür:

- 60 adet kaza-arızadan oluşan deneme veri kümesi
- 40 adet kaza-arızadan oluşan doğrulama veri kümesi

Deneme veri kümesi, modellerin kalibrasyonundaki değişkenleri belirlerken kullanılmıştır. Doğrulama veri kümesi ise modellerin performanslarını test ederken kullanılmıştır. Şekil 3.6'da modellerin ortaya koydukları performans eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Doğrulama veri kümesine bağlı olarak oluşturulmuş performans eğrileri (Thomas ve Dia, 2006)

Performans eğrilerine bakıldığında, 6 numaralı model olan HDIOD modelinin en yüksek performansı sunan model olduğu görülmektedir. Bu modelin değişen değerler karşısında sunduğu kaza-arıza algılama performansını sayısal değerler olarak Çizelge 3.4'te açık bir şekilde görmek mümkündür (Thomas ve Dia, 2006).

Çizelge 3.4 En iyi sonuç veren model (HDİOD) için kaza-arıza algılama performansı

| Algılama oranı (DR) (%) | Yanlış alarm oranı (FAR) (%) | Algılamak için harcanan ortalama süre (MTTD) (sa:dak:sn) |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 65,00                   | 0,68                         | 0:02:27                                                  |
| 62,50                   | 0,34                         | 0:02:30                                                  |
| 60,00                   | 0,20                         | 0:02:32                                                  |
| <b>60,00</b>            | <b>0,13</b>                  | <b>0:02:31</b>                                           |
| 52,50                   | 0,09                         | 0:02:38                                                  |
| 50,00                   | 0,09                         | 0:02:42                                                  |
| 45,00                   | 0,07                         | 0:02:36                                                  |
| 35,00                   | 0,05                         | 0:02:27                                                  |
| 30,00                   | 0,05                         | 0:02:20                                                  |

Çizelge 3.4’te de görüldüğü gibi %60’ın üzerindeki algılama oranları için yanlış alarm oranları hızlı bir biçimde artmaktadır. Kaza-arızayı algılamak için harcanan süre de oldukça önemlidir ve görülmektedir ki bu süre tutarlı olarak düşük kalmıştır ve 3 dak.’yı aşmamaktadır. İncelenen bu modele “*düzeltilmiş fraktal model*” özel adını vermek yerinde olacaktır. Bundan sonraki kısımlarda bu modelden bu isimle bahsedilecektir. Bu modelin algılama oranı %60, yanlış alarm oranı %0,13 ve algılamak için harcanan ortalama süre 0:02:31 (sa:dak:sn)’dir.

### 3.4.2 Düzeltilmiş fraktal modelin kaza-arıza koşullarındaki performansının değerlendirilmesi

Bu kısımda düzeltilmiş fraktal modelin değişik trafik şartları altında ve değişik şiddetteki kaza-arıza durumlarında ortaya koyduğu performans incelenecektir. Bu inceleme daha önce bahsedilen doğrulama veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Thomas ve Dia, 2006).

Düzeltilmiş fraktal modelin performansının değişken şartlar altında tutarlı olmasını sağlamak açısından farklı trafik koşulları altında değerlendirilmesi yerinde olacaktır.

Düzeltilmiş fraktal modelin performansının değerlendirilmesi için onaylama veri kümesi aşağıda belirtilen dört farklı kategori için modele uygulanmıştır:

- Kaza-arızanın şiddeti: kapanan şerit sayısı (1,2 veya 3)
- Kaza-arızanın gerçekleştiği zaman dilimi (zirve veya zirve dışı saatler)
- Akım (düşük, orta veya yüksek)
- Kaza-arızanın süresi

Bu değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar izelge 3.5'te verilmiştir (Thomas ve Dia, 2006). Bu sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki modelin ortaya koyduğu performans beklenen sonuçlarla (%60'lık algılama oranı, %0,13'lk yanlış alarm oranı ve 2,5 dak.'lık algılamak için harcanan ortalama süre) oldukça tutarlıdır.

Çizelge 3.5 Dzeltiilmiş fraktal modelin farklı koşullarda gösterdiği performans sonuçları

| Grup         | Alt grup   | Kaza-arıza sayısı | Algılanan kaza-arıza sayısı | DR (%) | FAR (%) | MTTD (sa:dak:sn) |
|--------------|------------|-------------------|-----------------------------|--------|---------|------------------|
| şiddet       | 1 şerit    | 3                 | 2                           | 66,67  | 1,20    | 0:02:20          |
|              | 2 şerit    | 35                | 20                          | 57,14  | 0,09    | 0:02:32          |
|              | 3 şerit    | 2                 | 2                           | 100,00 | 0,00    | 0:02:30          |
| Zaman dilimi | Zirve      | 6                 | 3                           | 50,00  | 0,33    | 0:02:40          |
|              | Zirve dışı | 34                | 21                          | 61,76  | 0,09    | 0:02:29          |
| Akım         | Düşük      | 4                 | 3                           | 75,00  | 0,00    | 0:02:40          |
|              | Orta       | 17                | 11                          | 64,71  | 0,07    | 0:02:36          |
|              | Yüksek     | 19                | 10                          | 52,63  | 0,21    | 0:02:22          |
| Süre (dk.)   | 0-15       | 3                 | 1                           | 33,33  | 0,00    | 0:04:19          |
|              | 15-30      | 9                 | 6                           | 66,67  | 0,00    | 0:00:56          |
|              | 30-60      | 9                 | 5                           | 55,56  | 0,00    | 0:02:44          |
|              | 60-120     | 16                | 10                          | 62,50  | 0,34    | 0:02:58          |
|              | >120       | 3                 | 2                           | 66,67  | 0,00    | 0:03:31          |
| Beklenen     |            |                   |                             | 60     | 0,13    | 0:02:31          |

Aşağıda alt başlıklar halinde bu farklı koşullar altında modelin performansı değerlendirilmiştir (Thomas ve Dia, 2006).

#### 3.4.2.1 Kaza-arızanın şiddeti

En şiddetli kaza-arızalar 3 şeridi de kapatan kaza-arızalardır. Onaylama veri kümesinde bu tür yalnızca 2 adet kaza-arıza vardır. Hiçbir yanlış alarm olmaksızın bu 2 kaza-arıza da model tarafından makul bir algılama süresi içerisinde algılanmıştır. Tek şeridin kapanmasına sebep olan 3 adet kaza-arızanın da 2 tanesi algılanmıştır. Buradaki yanlış alarm oranı diğer gruplara göre önemli ölçüde yüksektir. İki şeridin kapanmasına sebep olan orta şiddetli kaza-arızalar ise veri kümesinin önemli bir kısmını kapsamaktadır (35 kaza-arıza). Yanlış alarm oranının düşük olmasıyla beraber algılama oranı da makul sonuçlar vermiştir. Model çoğu modelde olduğu gibi daha şiddetli kaza-arızalarda daha iyi sonuçlar vermektedir (yüksek algılama oranı ve düşük yanlış alarm oranı). Model şiddeti daha az olan kaza-arızalarda da makul sonuçlar vermektedir, ancak yanlış alarm oranının artmasından doğacak maliyetler de artmaktadır (Thomas ve Dia, 2006).

### 3.4.2.2 Kaza-arızanın gerçekleştiği zaman dilimi

Sonuçlar göstermektedir ki, modelin performansı hem zirve saatlerde hem de zirve dışı saatlerde genel olarak beklenen sonuçlarla tutarlıdır. Zirve saatlerdeki yanlış alarm oranının yüksek oluşu ise tıkanıklığın söz konusu olmasına ve modelin tekrarlanan ve tekrarlanmayan tıkanıklıkları ayırt etme yeteneğinin düşük olmasına bağlıdır (Thomas ve Dia, 2006).

### 3.4.2.3 Akım

Kaza-arızalar düşük akım koşulları (şerit başına saatte 700 taşıttan az), orta akım koşulları (şerit başına saatte 700 ile 1550 arasında taşıt) ve yüksek akım koşulları (şerit başına saatte 1550 taşıttan fazla) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Orta akım koşullarında ve yüksek akım koşullarında modelin performansı beklenen sonuçlarla tutarlıdır. Buna karşın düşük akım koşullarında ise modelin performansı beklenen sonuçların oldukça üzerinde görülmektedir. Beklenenin üzerinde algılama oranının yanında yanlış alarm oranının da 0 (sıfır) olduğu belirlenmiştir (Thomas ve Dia, 2006).

### 3.4.2.4 Kaza-arızanın süresi

Bu değerlendirmenin yapılmasının amacı yanlış alarm oranının kaza-arıza süresinden etkilenip etkilenmediğini belirlemek ve elde edilen sonuçların beklenen sonuçlarla tutarlı olup olmadığını saptamaktır. Elde edilen sonuçlar 60 ile 120 dak. arasında süren kaza-arızalar için en yüksek yanlış alarm oranlarının ortaya çıktığını göstermiştir. Bu durumun açıklaması daha önceden algılanmış bir kaza-arızanın uzun süre kaldırılmamış olmasından ötürü modelin tekrardan onu yeni bir kaza-arıza olarak algılaması şeklinde yapılabilir. Kaza-arızanın süresi sonraki trafik koşulları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Thomas ve Dia, 2006).

## 3.5 İncelenen kaza-arıza algılama modellerinin karşılaştırılması

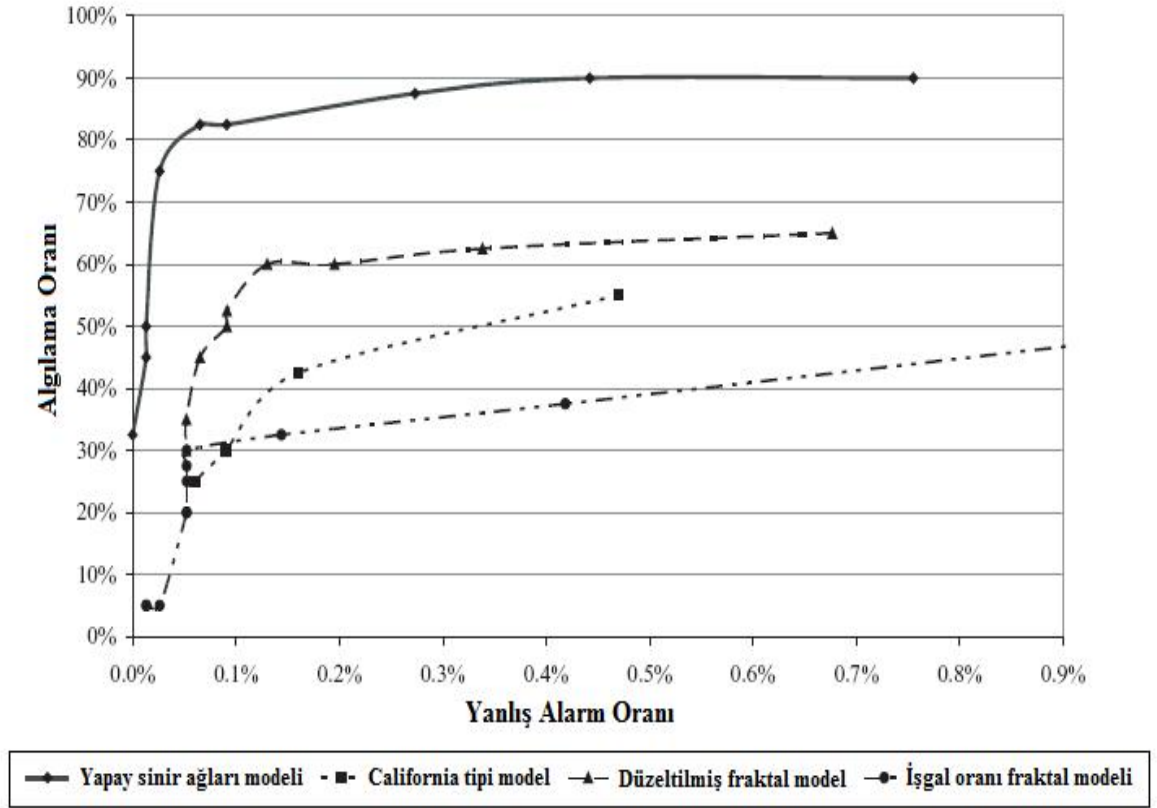
Fraktal kaza-arıza modelinin geliştirilmesinde kullanılan veri kümesi, modeller arasında karşılaştırma yapabilmek açısından daha önce üzerinde durulan yapay sinir ağı modeli ve California tipi model üzerinde de kullanılmıştır. Bu üç model de aynı 60 adet kaza-arızadan oluşan deneme veri kümesi ile kalibre edilmiştir. Daha sonra 40 adet kaza-arızadan oluşan doğrulama veri kümesi ile modellerin performansları incelenmiştir. Bu kısımda incelenen

modeller arasında bir karşılaştırma yapılacak ve en iyi performansı sağlayan modelin hangisi olduğu araştırılacaktır (Thomas ve Dia, 2006).

Performans karşılaştırılması yapılacak modeller aşağıda verilmiştir:

- Yapay sinir ağı modeli
- Düzeltilmiş fraktal model
- İşgal oranı fraktal modeli
- California tipi model

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda ortaya çıkan performans eğrileri Şekil 3.7’de ve performans eğrilerinin altında kalan alanlar da Çizelge 3.6’da gösterilmiştir (Thomas ve Dia, 2006).



Şekil 3.7 Kaza-arıza algılama modellerinin performans eğrileri (Thomas ve Dia, 2006)

Performans eğrilerinin altında kalan alanlar, modellerin performanslarına yönelik kantitatif bir değerlendirme sunarlar. İdeal davranış sergileyen bir kaza-arıza algılama modelinin performans eğrisinin altında kalan alan daha önceden Şekil 3.1’de gösterildiği gibi “1”dir.

Çizelge 3.6 Performans eğrilerinin altında kalan alanlar (Thomas ve Dia, 2006)

| <b>Modelin adı</b>         | <b>Performans eğrisinin altında kalan alan</b> |
|----------------------------|------------------------------------------------|
| Yapay sinir ağı modeli     | 0,9963                                         |
| Düzeltilmiş fraktal model  | 0,8233                                         |
| İşgal oranı fraktal modeli | 0,7340                                         |
| California tipi model      | 0,7732                                         |

Sonuçlar ortaya koymuştur ki yapay sinir ağı modeli diğer modellere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek performans sunmaktadır. Hızın ve işgal oranının düzeltilmesi algoritmalarının birleştirilmesiyle oluşan düzeltilmiş fraktal model, yalnızca işgal oranı verileri ile kalibre edilmiş olan işgal oranı fraktal modele göre önemli ölçüde daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bu durum da kaza-arıza algılama modellerini kalibre ederken hız verilerinin de kullanılmasının modelin kaza-arıza algılama performansına oldukça önemli katkıda bulunacağını bir göstergesidir. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre düzeltilmiş fraktal modelin California tipi modelden daha iyi bir performansa sahip olduğu da görülmektedir (Thomas ve Dia, 2006).

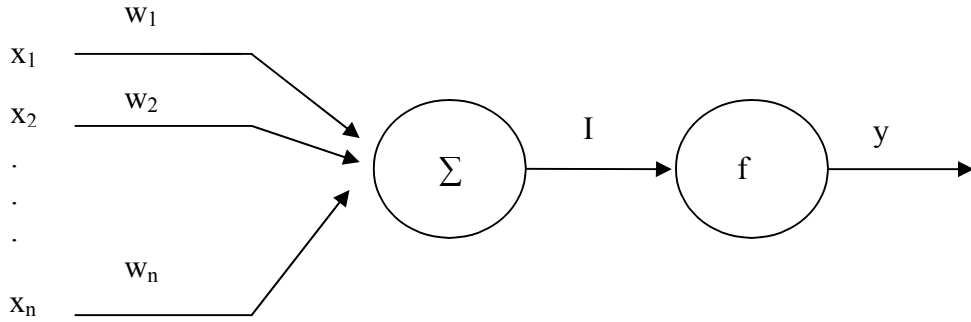
Çalışmanın bu bölümünde yapılan incelemeler ve sayısal değerlendirmeler sonucunda hem uygulama yapılmasının diğer modellere göre daha kolay olması hem de diğer modellere oranla daha başarılı sonuçlar vermesi açısından çalışmanın dördüncü bölümünde yer alacak olan sayısal uygulama kısmında yapay sinir ağı modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

#### 4. YAPAY SİNİR AĞLARINI KULLANAN BİR KAZA-ARIZA ALGILAMA MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, RTMS istasyonlarından alınan gerçek zamanlı trafik verileri yardımıyla, yapay sinir ağlarını kullanan bir kaza-arıza algılama modeli oluşturulacak ve yine gerçek zamanlı trafik verileri ile oluşturulan bu modelin performansı değerlendirilecektir. Modeli oluşturmaya başlamadan önce yapay sinir ağları yöntemini genel olarak tanımak yerinde olacaktır.

##### 4.1 Sinir ağlarının genel yapısı

Biyolojik anlamda sinir hücrelerinin uyum içinde çalışıyor olmasından faydalanılarak değişik matematiksel modeller geliştirilmiştir. Genellikle sinir ağlarının simülasyonu altında kullanılan, sinir hücresinin matematiksel modeli Şekil 4.1’de açıklanmıştır. Burada gösterilen sinir hücresi, genellikle başka sinir hücrelerinin çıktıları olan ve girdi kümesi adı verilen bir dizi girdi sinyali ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) almaktadır. Her bir girdi sinyali, sinapsın etkinliğiyle doğru orantılı olarak kendi bağlantı ağırlığı “w” ile çarpılır ve ağırlıklı girdi sinyalleri elde edilir. Elde edilen bu ağırlıklı girdi sinyalleri, hücre gövdesine tekabül eden toplama birimine gelir. Toplama biriminde ağırlıklı girdi sinyallerinin cebirsel toplamaları hesaplanır ve sinir hücresinin uyarılma seviyesi belirlenir (Aliev, 2001).



Şekil 4.1 Matematiksel sinir hücresi (Aliev, 2001)

Burada “I” olarak ifade edilen aslında, (4.1) denkleminde de ifade edildiği gibi, girdilerin gerekli ağırlık katsayılarıyla çarpılmış değerlerinin cebirsel toplamıdır:

$$I = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (4.1)$$

Bir sinir hücresinin çıktı sinyali “y”, uyarılma seviyesinin etkinleşme (aktivasyon) fonksiyonu “f” ile belirlenir:

$$y = f(I - \theta) \quad (4.2)$$

Burada “ $\theta$ ” sinir hücresi için eşik değeridir. Aktivasyon fonksiyonu f olarak genelde kullanılan üç tip fonksiyon vardır (Aliev, 2001):

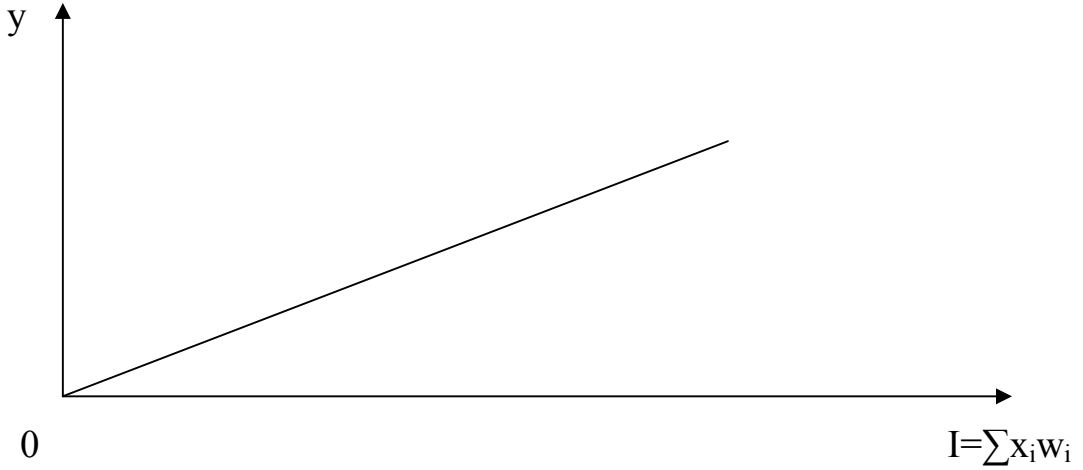
- Doğrusal fonksiyon
- Eşik değeri fonksiyonu
- Sigmoid fonksiyon

Kullanılan bu üç tip fonksiyonu kısaca incelemek gerekirse:

*a. Doğrusal fonksiyon:*

Burada, (4.3) denkleminde ve Şekil 4.2’de belirtildiği gibi basit doğrusal bir fonksiyonun kullanımı söz konusudur (Aliev, 2001):

$$y = k \times I; k = \text{sabit} \quad (4.3)$$

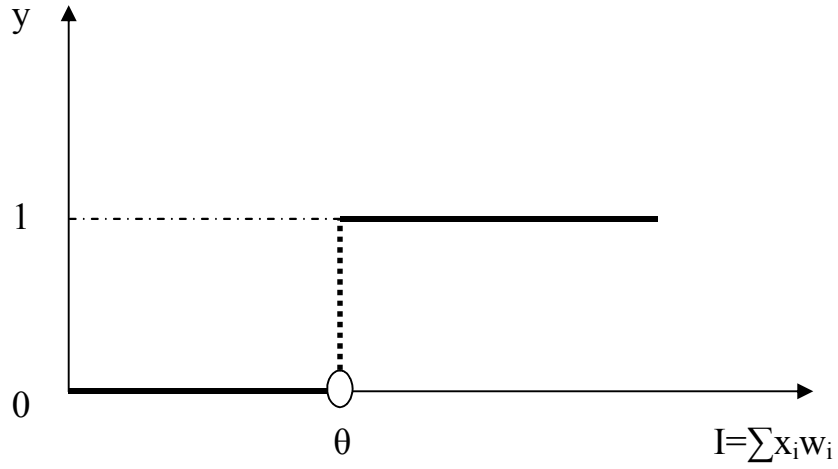


Şekil 4.2 Doğrusal fonksiyon (Aliev, 2001)

*b. Eşik değeri fonksiyonu:*

Burada, (4.4) denkleminde ve Şekil 4.3’te gösterildiği gibi  $I \geq \theta$  olduğu durumlarda y değeri 1;  $I < \theta$  olduğu durumlarda ise y değeri 0 olmaktadır (Aliev, 2001):

$$y = \begin{cases} 1; I \geq \theta \\ 0; I < \theta \end{cases} \quad (4.4)$$

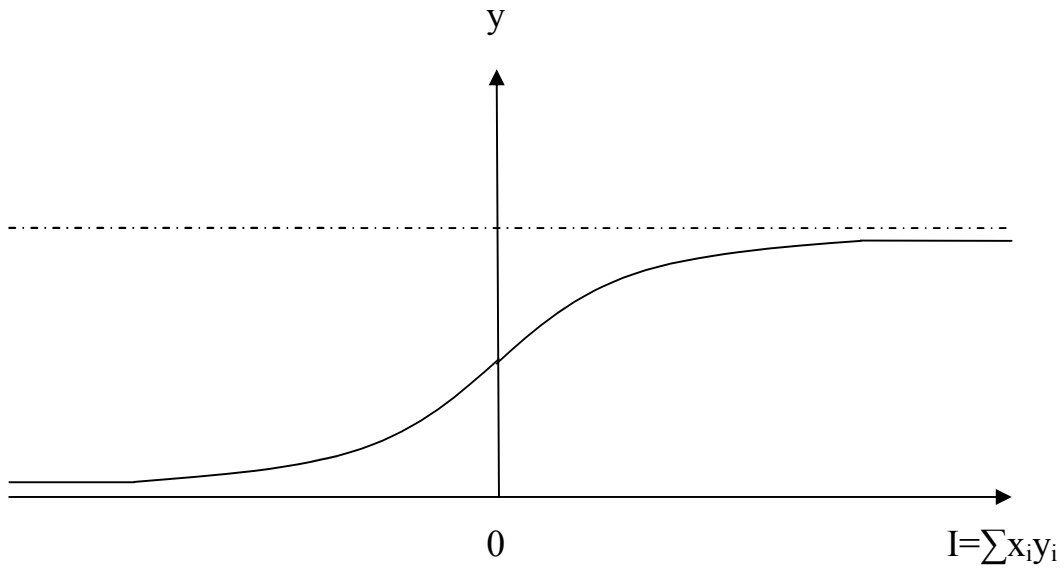


Şekil 4.3 Eşik değeri fonksiyonu (Aliev, 2001)

*c. Sigmoid fonksiyon:*

Burada,  $y$  değeri (4.5) denkleminde gösterildiği gibi hesaplanır. Bu fonksiyonun grafiği ise Şekil 4.4'te gösterilmiştir (Aliev, 2001):

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(I-\theta)}} \quad (4.5)$$



Şekil 4.4 Sigmoid fonksiyon (Aliev, 2001)

#### 4.2 Yapay sinir ağlarının işleyişi ve çeşitleri

Birbirleriyle ve çevreleriyle bağlanmış olarak bulunan sinir hücrelerinin bütünü sinir ağını oluşturur (Aliev, 2001). Bir sinir ağı birbirine bağlarla bağlanmış olan çok sayıda düğümden oluşur. Her bağın kendisi ile bağdaştırılan sayısal bir ağırlığı vardır (Malikoğlu, 2002). Girdi vektörü girdi sinir hücrelerini etkinleştirerek (aktive ederek) ağa ulaşır. Bir nöronun bir dizi girdi sinyali olan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  verileri girdi vektörü olarak da tanımlanırlar. Nöronların bağlantı ağırlıkları ise  $W$  matrisi olarak ifade edilir. Bir  $w_{ij}$  elemanı,  $i$ . nöron ile  $j$ . nöron arasındaki bağlantı ağırlığını temsil etmektedir. Ağın işlemesi sürecinde girdi vektörü çıktı vektörüne dönüştürülür. Sonuç olarak ağın hesaplama gücü bağlantılarıyla beraber problemleri çözmektedir.

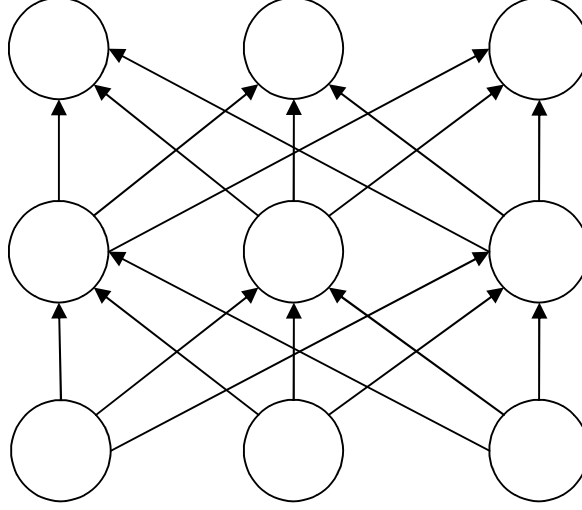
Bir sinir ağının yapısı bağlantıların dizilim biçimlerine göre ifade edilir. Bu sıralanma biçimlerine göre ağlar, “tamamen bağlanmış” ve “hiyerarşik” olmak üzere iki farklı yapı gösterirler (Aliev, 2001).

Tamamen bağlanmış yapıya sahip ağlarda, bütün düğümler birbirine bağlanmış şekildedir. Her bir nöronun çıkışı, diğer nöronların girdileriyle ve kendi girdisiyle bağlantılıdır. Her bir nöronun  $v$  adet bağlantısı olduğunu göz önüne alırsak, tamamen bağlanmış bir sinir ağında  $v \times v$  adet bağlantı bulunmaktadır (Aliev, 2001).

Hiyerarşik yapıdaki sinir ağları ise, nöronların özel katman veya seviyelere göre gruplandırılması neticesinde farklı bir yapıya bürünürler. Gizli katmanda yer alan her bir nöron önceki ve sonraki katmanlarda yer alan nöronların her biriyle bağlantılıdır. Hiyerarşik yapıya sahip olan ağlarda iki adet özel katman bulunmaktadır. Bu katmanlar çevreleriyle bağlantı ve etkileşim içerisindedir (Aliev, 2001).

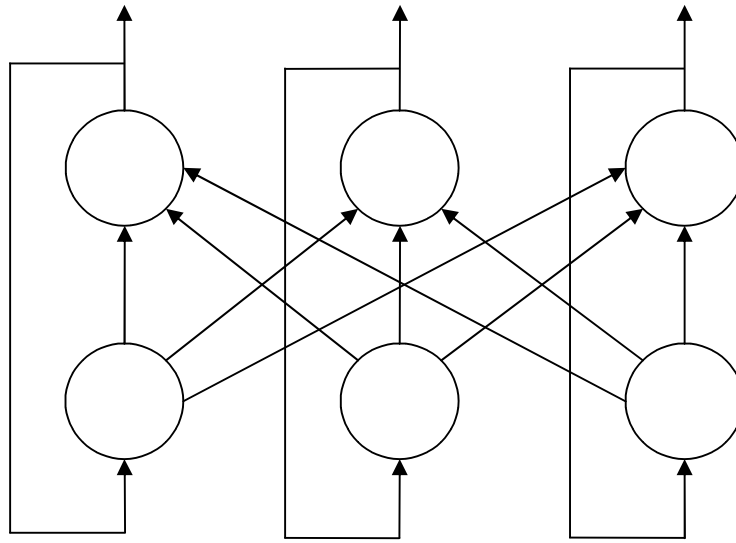
Sinir ağlarındaki sinyallerin aktarılma yönlerine göre ise iki farklı sinir ağı grubu belirlemek mümkündür. Sinyallerin aktarımı yalnızca ileri yönde olan ve geri dönüşün yaşanmadığı sinir ağlarına “*ileri beslemeli sinir ağı*” ya da “*tekrarlanmayan sinir ağı*” adı verilmektedir. Sinyallerin aktarımının yalnızca ileri yönde olmadığı, geri dönüşlerin de yaşandığı sinir ağlarına ise “*geri beslemeli sinir ağı*” ya da “*tekrarlanan sinir ağı*” adı verilmektedir (Aliev, 2001).

İleri beslemeli sinir ağlarında (Şekil 4.5), her bir katmanda yer alan nöronlar sinyalleri çevrelerinden ya da bir önceki katmanda yer alan nöronlardan alırlar. Daha sonra ürettikleri çıktıları çevrelerine ya da bir sonraki katmanda yer alan nöronlara iletirler.



Şekil 4.5 İleri beslemeli sinir ağı (Aliev, 2001)

Geri beslemeli sinir ağlarında ise (Şekil 4.6), belirli bir katmanda yer alan nöronlar kendilerinden tekrar sinyal alabilecekleri gibi katmanda yer alan diğer nöronlardan da sinyal alabilirler. Bu nedenle ileri beslemeli ağların aksine geri beslemeli bir sinir ağının çıktı değerleri, bir önceki zaman aralığında nöronların çıktı değerleri hakkında bilgi edinme olanağımız varsa belirlenebilir. Bu tür bir ağa tamamlanmamış veya bozuk bir vektör gelmesi halinde, sistem içerisinde vektörün düzeltilebilme şansı da vardır (Aliev, 2001).



Şekil 4.6 Geri beslemeli sinir ağı (Aliev, 2001)

### 4.3 Yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modeli

Bu kısımda kaza-arıza algılaması ile ilgili sayısal bir uygulama çalışmasına yer verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada yöntem olarak yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapılan çalışma aşağıda alt başlıklar halinde, aşama aşama anlatılmıştır.

#### 4.3.1 Problemin tanımı

İstanbul Anadolu ve Avrupa yakalarında yer alan otoyollar (O-1 ve O-2, sırasıyla, birinci ve ikinci çevreyolu) üzerinde meydana gelmiş ve İBB Trafik Müdürlüğü tarafından kayda alınmış 50 adet kaza-arıza olayından yola çıkarak; ve bilgisayar ortamında “Matlab” programının yapay sinir ağları araç çubuğundan faydalanarak bir kaza-arıza algılama modeli oluşturulmuş ve modelin verdiği sonuçlar incelenmiştir.

#### 4.3.2 Verilerin elde edilmesi

İBB Trafik Müdürlüğü’nden 25.08.2008 ve 10.12.2008 tarihleri arasında kayda alınmış kaza-arıza bilgileri temin edilmiştir. Çizelge 4.1’de bu bilgilerin ne şekilde kayıt altına alındığını gösteren bir örnek verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi kayıt altına alınan bu kaza-arızaların yerleri, zamanları ve hangi kameradan belirlendikleri bilgileri mevcuttur.

Çizelge 4.1 Kayıt altına alınan bazı kaza-arızalar

| Duyuru Id | Duyuru Başlık                                 | Giriş Tarihi ve Zamanı       | Bitiş Tarihi ve Zamanı       | Kamera Id |
|-----------|-----------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| 1969      | TEM Otoyolu Alibeyköy Hasdal istikameti kaza! | 08.12.2008<br>(19:57:16.803) | 08.12.2008<br>(20:52:00.000) | 173       |
| 1968      | Merter-Cevizlibağ yönünde kaza                | 08.12.2008<br>(14:41:57.760) | 08.12.2008<br>(15:36:00.000) | 61        |
| 1964      | E-5 Maltepe- Kartal yönünde kaza              | 07.12.2008<br>(18:02:13.457) | 07.12.2008<br>(20:05:00.000) | 8         |
| 1963      | TEM Mahmutbey-Tekstilkent yönünde kaza        | 07.12.2008<br>(16:02:00.047) | 07.12.2008<br>(16:38:39.987) | 147       |
| 1956      | E-5 Sefaköy Florya istikameti araç arızası!   | 06.12.2008<br>(15:36:02.570) | 06.12.2008<br>(16:30:00.000) | 70        |

Temin edilen bu bilgilerden faydalanarak modelde kullanılmak üzere 50 adet kaza-arıza seçilmiştir. Kamera numaralarından faydalanarak, kaza-arızanın algılandığı kameranın bulunduğu yer belirlenmiş ve bu kesimin yakınlarında (akım yukarısında) bulunan RTMS radar istasyonlarının numaraları daha sonra ilgili verileri temin edebilmek için saptanmıştır. O-1 ve O-2 karayollarının çeşitli kesitlerinde, yol eksenine dik olarak yerleştirilmiş olan

RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) radar cihazları sayesinde, yön ve şerit bazında, ikişer dakikalık aralıklarla hacim, hız ve işgal oranı verileri sürekli ölçülmekte ve merkezi veri tabanında saklanmaktadır. Örnek RTMS verileri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Kaza-arızanın yer ve zaman gibi bilgileri belirlendikten sonra, bu bilgilerle örtüşen RTMS verileri İBB Trafik Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Model girdisi olarak gereksinim duyulan veriler, şerit başına ortalama değerler olarak tek tek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Örnek RTMS verileri

| Msg Time                     | Rtms No | V1 | V2 | V3 | O1 | O2 | O3 | S1 | S2 | S3  |
|------------------------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 12.09.2008<br>(17:40:33.000) | 4       | 36 | 34 | 33 | 44 | 51 | 51 | 21 | 13 | 11  |
| 12.09.2008<br>(19:54:33.000) | 4       | 24 | 43 | 55 | 12 | 16 | 16 | 85 | 92 | 110 |

Çizelge 4.2’nin ilk sütununda iki dakikalık verilerin kaydedildiği tarih ve saat, ikinci sütununda RTMS istasyonunun numarası bulunmaktadır. V ile gösterilen hacim (taşıt), O ile gösterilen işgal oranı (%) – yoğunluğun birimsiz biçimi olup, ortalama taşıt uzunluğu kullanılarak yoğunluğa dönüştürülebilir ve S ile gösterilen de hız (km/sa) değerleridir. Simgelerin yanlarında yer alan rakamlar ise hangi şeride ait olduğunu belirtmektedir. Örneğin, “V1” ile gösterilen değer, 1’inci (yani en sağ) şeritten son iki dakikada geçen toplam taşıt sayısıdır. Yukarıda da bahsedildiği gibi modelde kullanılacak olan veriler şerit başına ortalama değerler olacağından bu değerlerin hesaplanması gerekmektedir. Daha sağlıklı bir sonuç elde etmek açısından bu değerlerin aritmetik ortalamaları yerine, hacim değerlerine göre ağırlıklı ortalamalarını kullanmak yerinde olacaktır. Örneğin 12.09.2008 tarihinde saat 17:40:33’te 4 numaralı RTMS için şerit başına ortalama işgal oranı ve 12.09.2008 tarihinde saat 19:54:33’te şerit başına ortalama hız değerlerinin nasıl hesaplandığı aşağıda anlatılmıştır:

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi 17:40:33’te şeritlerde okunan işgal oranı değerleri sırasıyla %44, %51 ve %51’dir. Hacim değerleri ise 36 (taşıt), 34 (taşıt) ve 33 (taşıt)’tır. Burada şerit başına ortalama işgal oranı değeri (4.6)’da hesaplanmıştır.

$$O = [(V1 \times O1) + (V2 \times O2) + (V3 \times O3)] / [V1 + V2 + V3]$$

(4.6)

$$O = [(36 \times 44) + (34 \times 51) + (33 \times 51)] / [36 + 34 + 33] = \%48,55$$

Benzer şekilde 12.09.2008 tarihinde saat 19:54:33'te 4 numaralı RTMS için şerit başına ortalama hız değeri de (4.7)'de hesaplanmıştır.

$$S = [(V1 \times S1) + (V2 \times S2) + (V3 \times S3)] / [V1 + V2 + V3] \quad (4.7)$$

$$S = [(24 \times 85) + (43 \times 92) + (55 \times 110)] / [24 + 43 + 55] = 99,09 \text{ (km/sa)}$$

Yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modelinde kullanılacak girdi katmanında üç adet düğüm bulunacaktır. Bunlar hız, işgal oranı ve akım değerlerinin girildiği düğümlerdir. (4.6) ve (4.7)'de gösterilen şekilde ihtiyaç duyulan işgal oranı ve hız değerleri tek tek hesaplanmış ve Matlab'de kullanmak üzere bir girdi-çıkı dosyası hazırlanmıştır.

Çıkı katmanında ise yalnızca bir düğüm bulunacak ve {0,1} değerlerini alacaktır. Burada {0} değeri kaza-arızanın bulunmadığını, {1} değeri ise kaza-arızanın bulunduğunu belirtmektedir. Modelde bir de gizli (saklı) katman veya katmanlar yer alacaktır. Bu konuya ilerleyen kısımlarda ayrıca değinilecektir.

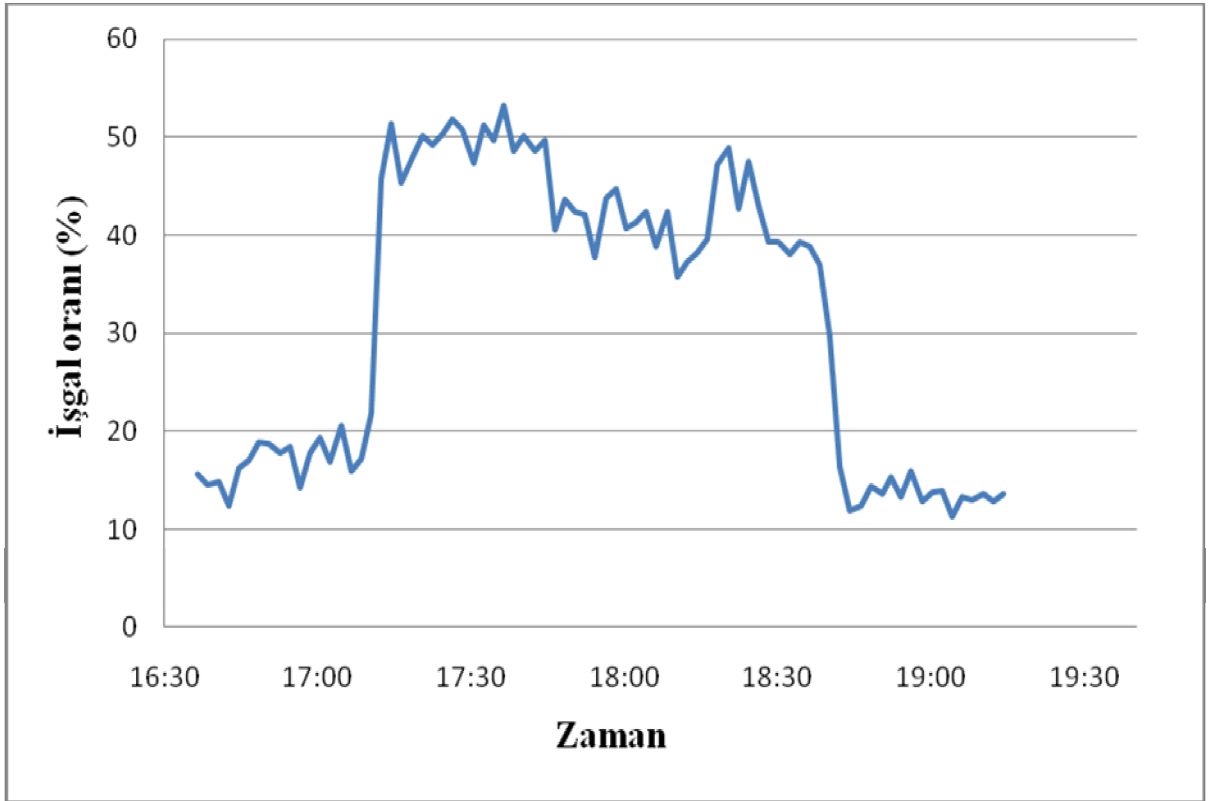
Model genel olarak yukarıda anlatıldığı gibi oluşturulacaktır. Burada tek eksik girdi katmanının üçüncü düğümü olan akım değerleridir. Akım değerleri olarak da hacim değerlerinin (V) aritmetik ortalamaları (kesit için tek bir değer) kullanılacaktır. Her bir RTMS'ten alacağımız veriler için gözlem süresi aralıkları ve toplam gözlem süresi sabit olduğundan, modelde akım değerleri olarak ortalama hacim değerlerinin kullanılmasında bir sakınca yoktur.

Oluşturulacak yapay sinir ağı modelinde bir adet girdi katmanı bulunmaktadır. Bu katman üç adet düğümden oluşmaktadır ve yukarıda belirttiğimiz şekilde hesaplanarak bulunan hız, işgal oranı ve akım değerleri bu düğümlere beslenmektedir. Kullanacağımız modelde yer alacak gizli katman ve düğüm sayısı deneme yanılma yöntemiyle belirlenecektir. Gizli katmanla ilgili olarak ileride daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

Son olarak tek düğümden oluşan bir çıkı katmanı bulunmaktadır. Burada çıkan sonuç {0,1} değerleri olacak ve bu sonuca göre kaza-arızanın olup olmadığı belirlenecektir (modelin verdiği sonuç 0,5'e eşit ve 0,5'in üzerinde ise 1; 0,5'in altında ise 0 kabul edilecektir).

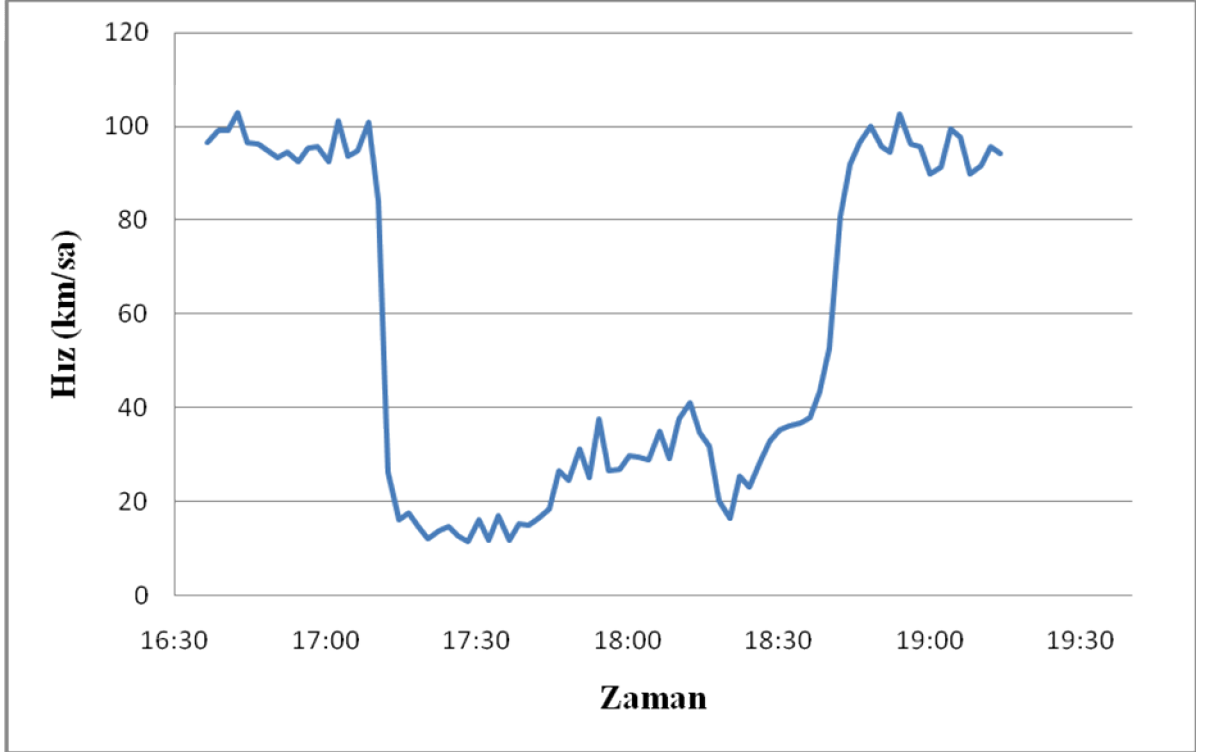
#### 4.3.3 Verilerin düzenlenmesi ve kümelere ayrılması

Modelin oluşturulması için Matlab’te hem eğitim için hem de test için kullanılacak iki ayrı girdi-çıkı dosyası oluşturmak gerekmektedir. Öncelikle yukarıda anlatıldığı gibi 50 adet kaza-arızanın meydana geldiği güne ait 24 sa.’lık RTMS verileri elde edilmiştir. Bu verilerin toplanmasından sonra kaza-arıza bilgilerinin doğruluğuna ilişkin Excel programında zamana bağlı akım ve hız değerlerindeki değişimi gösteren grafikler çizilerek kaza-arızaların varlığı doğrulanmıştır. Uyuşmayan veriler eğitim ya da test aşamasında kullanılmamıştır. Belirlenen kaza-arızalardan bir tanesine ait örnek grafikler Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Zamana bağlı olarak işgal oranı değerlerinin değişimi

Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de, kaza-arızanın meydana geldiği ve ortadan kalktığı zamanlar açıkça görülebilmektedir. Bu süreçte işgal oranı değerlerinde ciddi ve bir yükselme, hız değerlerinde ise ciddi ve ani bir düşüş yaşanmaktadır. Bu şekilde 50 adet kaza-arızaya ait veri grupları, Excel’de çizilen grafiklerle de kaza-arızanın varlığı onaylanmış bir biçimde kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.8 Zamana bağlı olarak hız değerlerinin değişimi

Elbette ki modelin eğitiminde ve test edilmesinde yalnızca kaza-arızanın bulunduğu veri grupları yeterli olmayacaktır. Bu veri gruplarına trafik koşullarının aşırı değişkenlik göstermediği zamanlarda elde edilen veriler ve zirve saatler sebebiyle oluşan tıkanıklıklardan ötürü değişkenlik gösterdiği zamanlarda elde edilen verilerin eklenmesi de gerekmektedir.

Belirtilen bu diğer veri gruplarının elde edilmesi için, kaza-arızaların belirlendiği RTMS'lerden her biri için ayrı ayrı olmak üzere en az beş günlük veriler alınmıştır. Elde edilen bu beş günlük RTMS verileri ışığında Excel kullanılarak her güne ait 24 sa.'lık işgal oranı ve hız değerlerinin değişimlerini gösteren grafikler çizilmiştir. Bu grafikler karşılaştırılarak ve zirve saatlerde gösterdikleri benzerlikler belirlenerek, zirve saatlerde meydana gelen tıkanıklıklara ait veri gruplarına ulaşılmıştır. Benzer şekilde trafik koşullarının aşırı değişkenlik göstermediği zaman aralıklarına ait veri grupları da belirlenmiştir.

Bahsedilen veri grubu kavramını daha ayrıntılı bir biçimde açıklamak faydalı olacaktır. Bir adet veri grubu 2sa. 40dak.'lık zaman aralığında yer alan 2'şer dak.'lık 80'er adet verilerden oluşmaktadır. Bir başka deyişle bir adet veri grubunda yer alan toplam zaman aralığı sayısı 80'dir. Bu zaman aralığı sayısı her veri grubu için sabittir.

Yukarıda anlatılan işlemler gerçekleştirildikten sonra artık elimizde bulunması gereken yeterli sayıda veri grubuna ulaşılmıştır. Daha sonra 50 adet kaza-arıza ve tanımlanan diğer veri

grupları iki adet veri kümesine ayrılmıştır. Veri kümelerinden bir tanesi modelin eğitimi için, diğeri ise test için kullanılmıştır. Bu iki veri kümesi belirlenirken literatürde sık rastlanan biçimde veri gruplarının %60'ı modelin eğitimine, %40'ı ise teste ayrılmıştır. Yani 30 adet kaza-arıza veri grubu (ve tanımlanan diğeri veri gruplarının %60'ı) modelin eğitilmesi için kullanılacak olan eğitim veri kümesi, 20 adet kaza-arıza veri grubu (ve tanımlanan diğeri veri gruplarının %40'ı) ise modelin test edilmesi için kullanılacak olan test veri kümesi olarak belirlenmiştir.

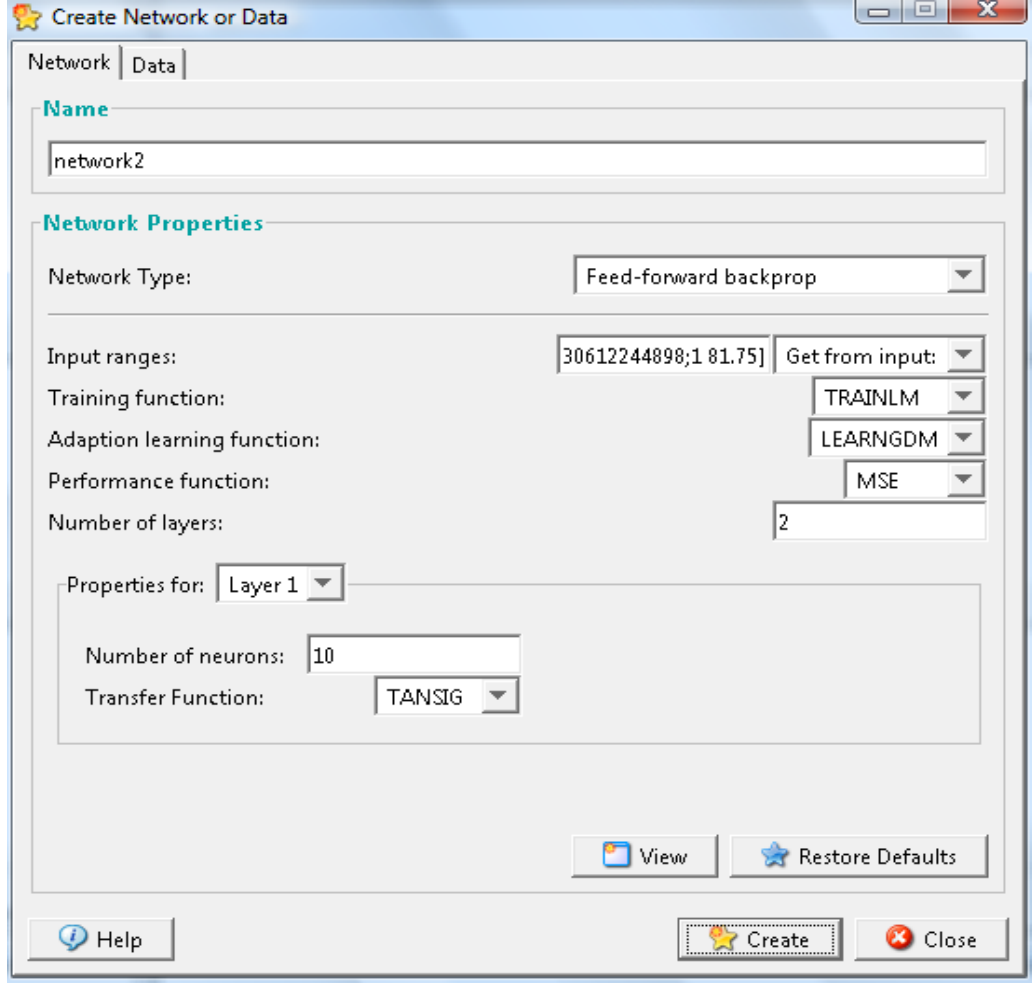
Kullanılan bu veri kümelerinin hangi RTMS'lerden alındıkları ve hangi otoyol kesimlerine ait oldukları Çizelge 4.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.3 Verilerin alındığı RTMS'lerin numaraları ve ait oldukları otoyol kesimleri

| RTMS numarası | Otoyol kesimi     |
|---------------|-------------------|
| 3             | Kavacık           |
| 4             | Çakmak            |
| 8             | Göztepe           |
| 22            | İstoç             |
| 28            | Şirinevler        |
| 33            | Küçükçekmece      |
| 45            | Atışalanı         |
| 46            | Bayrampaşa        |
| 75            | Maltepe           |
| 83            | Çakmak Köprüsü    |
| 89            | Gazi Mahallesi    |
| 90            | FSM Avrupa girişi |
| 101           | Samandıra         |
| 146           | Tekstilkent       |
| 150           | Hasdal            |
| 151           | Seyrantepe        |
| 154           | FSM Avrupa çıkışı |
| 159           | Küçükçekmece      |
| 160           | Küçükçekmece      |
| 162           | Sefaköy           |
| 163           | Sefaköy           |
| 167           | Şirinevler        |
| 170           | Merter            |
| 172           | Tozkoparan        |
| 173           | Cevizlibağ        |
| 222           | Anıtmezar         |
| 249           | Avcılar           |
| 267           | Haliç Köprüsü     |
| 277           | B.Ekspres Yolu    |
| 289           | Merter            |

#### 4.3.4 Bilgisayar ortamında modelin oluşturulması

Daha önce belirtildiği gibi yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modelini oluşturmak için Matlab programının yapay sinir ağları araç çubuğundan yararlanılmıştır. Öncelikle, eğitim için hazırlamış olduğumuz veri kümesi programa tanıtılmıştır. Bu kümede yer alan işgal oranı, hız ve akım değerleri girdi ve  $\{0,1\}$  değerleri çıktı verileri olarak tanımlanmıştır. Daha sonra Şekil 4.9’da görüldüğü gibi bir ağ oluşturma penceresi açılmıştır.



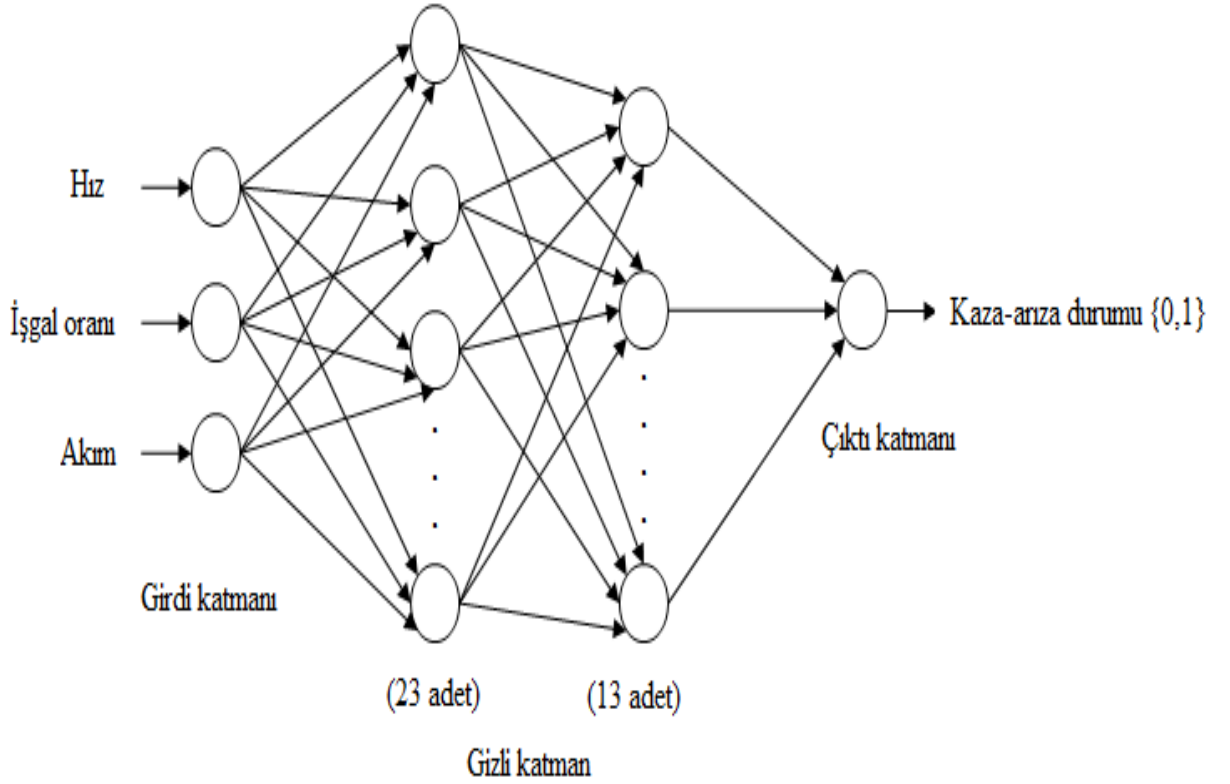
Şekil 4.9 Matlab’de ağ oluşturma penceresi

Şekil 4.9’da görülen ağ oluşturma penceresinde ağın tipi, eğitimde kullanılacak fonksiyon, ağın performansını ölçen fonksiyon, katman sayısı, katmanlarda yer alacak düğüm sayıları gibi pek çok özellik ayarlanabilmektedir.

Modeli oluştururken kullanılacak katmanlar daha önce açıklanmıştı. Üç adet düğümünden oluşan bir adet girdi katmanı ve tek düğümünden oluşan çıktı katmanı kullanılacağı belirtilmişti. Gizli katman ve bu katmanlarda kullanılacak düğüm sayıları belirtilmemiştir. İşte bu kısımda

deneme yanılma yöntemiyle pek çok sayıda ağ oluşturularak denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda performansı en yüksek olan (hata payı en düşük olan) model araştırılmıştır.

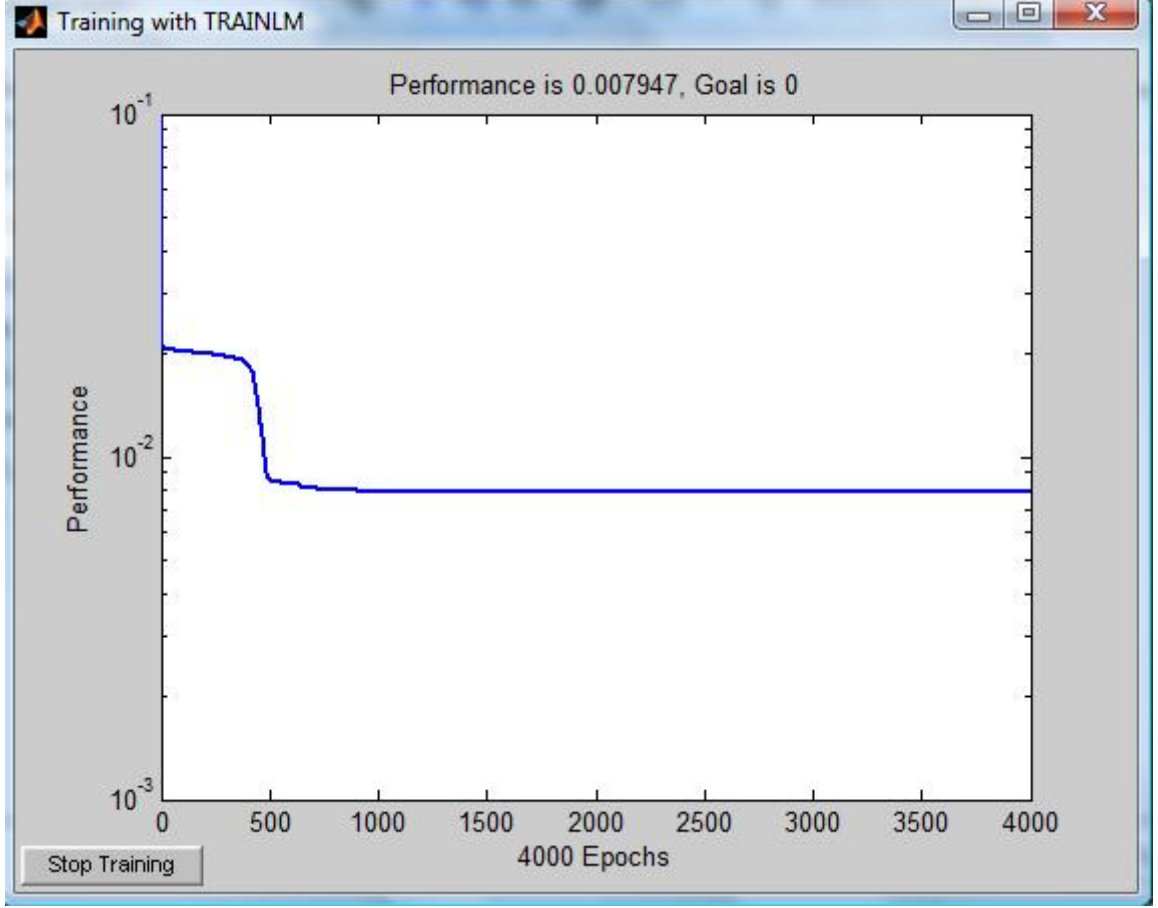
Denemeler sonucunda görülmüştür ki en iyi sonucu veren yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modeli 2 adet gizli katmandan ve bu katmanlar da sırasıyla 23 ve 13 adet düğümden oluşmaktadır. Oluşturulan bu ağın yapısı Şekil 4.10'da ve eğitimi sırasında ortaya çıkan hata payını gösteren grafik de Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Oluşturulan ağın genel yapısı

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi modelin eğitimi 4000 adet iterasyonla tamamlanmış ve alınan hata payı % 0,79 olmuştur.

Böylece yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modelinin eğitimi tamamlanmış ve model oluşturulmuştur. Bir sonraki aşama ise oluşturulan bu modeli test veri kümesi ile test etmek ve sonuçları incelemek olacaktır.



Şekil 4.11 Ağın performansı (hata payı)

#### 4.3.5 Oluşturulan yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modelinin test edilmesi

Çalışmanın bu kısmında oluşturulan model test veri kümesi ile test edilmiştir. Test sonuçlarını değerlendirmeden önce test veri kümesinde yer alan çıktı verilerinin sınıflandırmasını yapmak yerinde olacaktır. Zira modelin algılama oranı ve yanlış alarm oranı hesaplanırken bu sınıflandırmaya ihtiyacımız olacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi test veri kümesi toplam veri gruplarının %40'ı kullanılarak hazırlanmıştır. Bu veri gruplarının 20 tanesi kaza-arızalı veriler içeren veri gruplarıdır. Daha önce de değinildiği gibi her bir veri grubu 80 adet zaman aralığından oluşmaktadır. Dolayısıyla kaza-arızalı veriler içeren 20 adet veri grubu toplamda 1600 adet zaman aralığından oluşmaktadır. Bu 1600 adet zaman aralığının 410 tanesi kaza-arızalı durumlara ait verilerden oluşmaktadır. Geri kalan zaman aralıklarında kaza-arıza durumu yoktur. Diğer durumları içeren (zirve tıkanıklıkları, normal koşullar vb.) veri grupları da eklenerek hazırlanan test veri kümesi toplamda 19600 adet zaman aralığından oluşmaktadır. Dolayısıyla bu test veri kümesi sonuçları  $\{0,1\}$  olmak üzere toplamda 19600 adet çıktı verisine sahiptir.

Bunlardan 410 tanesi {1} yani kaza-arızalı durum; 19190 tanesi ise {0} yani kazasız-arızasız durumdur.

Modelimizin test sonunda bize verdiği 19600 adet çıktı değerlerinde ise bu 410 adet kaza-arızalı sonucun 98 tanesinin {0} olduğu görülmüştür. Yani model 410 adet kaza-arıza verisinin 98 tanesini kazasız-arızasız olarak belirtmiş, bir başka deyişle algılayamamıştır. Yine test sonuçlarına göre model 19190 adet kazasız-arızasız sonucun 162 tanesinin {1} olduğunu söylemiştir. Yani model 19190 adet kazasız-arızasız verinin 162 tanesinde yanlış alarm vermiştir.

Aşağıda modelin test sonuçları sayısal değerlerle, yani algılama ve yanlış alarm oranları hesaplanarak ifade edilmiştir.

$DR = (\text{Algılanan kaza-arızalı veri sayısı}) / (\text{Toplam kaza-arızalı veri sayısı})$

$$DR = \frac{410 - 98}{410} = 0,761 = \%76,1 \quad (4.8)$$

$FAR = (\text{Yanlış alarm verilen veri sayısı}) / (\text{Toplam kazasız-arızasız veri sayısı})$

$$FAR = \frac{162}{19600 - 410} = 0,0084 = \%0,84 \quad (4.9)$$

Yapılan hesaplar sonucu (4.8)'de bulunan algılama oranı (DR) %76,1 ve (4.9)'da bulunan yanlış alarm oranı (FAR) %0,84'tür.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasının sayısal uygulaması çerçevesinde İstanbul Anadolu ve Avrupa yakalarının çeşitli otoyollarında bulunan RTMS'lerden gerekli veriler alınarak bir yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modeli oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu model yine aynı yol kesimlerinden alınan farklı RTMS verileriyle test edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında 25.08.2008 ve 10.12.2008 tarihleri arasında 30 adet RTMS'den okunan değerler kullanılmıştır. 3 düğüm içeren 1 adet girdi katmanı, sırasıyla 23 ve 13 düğüm içeren 2 adet gizli katman ve 1 düğüm içeren 1 adet çıktı katmanı kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağı-kaza arıza algılama modelinin algılama oranının (DR) %76,1 ve yanlış alarm oranının (FAR) %0,84 olduğu gözlenmiştir. Literatürde yer alan bilgilere göre yüksek performansla çalışması beklenen kaza-arıza algılama modellerinin algılama oranının %80 civarında, yanlış alarm oranının ise %1'in altında olması beklenmektedir. Sayısal uygulama kısmında oluşturulan modele bakıldığında algılama oranının %80'e oldukça yakın olduğu görülmektedir. Oluşturulan modelin yanlış alarm oranının ise %1'in altında olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak oluşturulan yapay sinir ağı kaza-arıza algılama modelinin algılama oranı ve yanlış alarm oranı göz önüne alındığında, beklenen kıstasları büyük oranda yerine getirdiğini ve İstanbul Anadolu ve Avrupa yakalarında bulunan otoyol kesimleri için kullanılabilir bir otomatik kaza-arıza algılama modeli olduğunu söylemek mümkündür.

## KAYNAKLAR

Aliev, R.A. ve Aliev, R.R., (2001), Soft Computing and Its Applications, Azerbaijan State Oil Academy, Singapore, New Jersey, London ve Hong Kong.

Brooke, K., Dopart, K., Smith, T. ve Flaninery, A., (2004), "Sharing Information between Public Safety and Transportation Agencies for Traffic Incident Management", National Cooperative Highway Research Program, 2004, Washington.

Farradyne, P.B., (2000), Traffic Incident Management Handbook, Federal Highway Administration Office of Travel Management.

Huanng, B. ve Pan, X., (2006), "GIS Coupled with Traffic Simulation and Optimization for Incident Response", Computers, Environment and Urban Systems, 31:116-132.

Malikoğlu, G.P.S.N., (2002), Artificial Intelligence 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Noyes, P., (2003), "Guidelines for Developing Traffic Incident Management Plans for Work Zones", The Colorado Department of Transportation Safety and Traffic Engineering Branch, Eylül 2003.

Ozbay, K. ve Noyan, N., (2005), "Estimation of Incident Clearance Times Using Bayesian Networks Approach", Accident Analysis and Prevention, 38:542-555.

Petty, K.F., (1997), Incidents on the Freeway: Detection and Management, Doktora Tezi, Graduate Division of the University of California at Berkeley.

Srinivasan, D., Cheu, R.L., Poh, Y.P. ve Ng, A.K.C., (2000), "Development of an Intelligent Technique for Traffic Network Incident Detection", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 13:311-322.

Stephanedes, Y.J., (2003), The Civil Engineering Handbook, Second Edition, Chapter 65: Intelligent Transportation Systems, Institute of Computer Science Foundation for Research and Technology, Yunanistan.

Thomas, K. ve Dia, H., (2006), "Comparative Evaluation of Freeway Incident Detection Models Using Field Data", IEE Proceedings of Intelligent Transportation Systems, 153 (3):230-241.

**İNTERNET KAYNAKLARI**

- [1] [en.wikipedia.org/wiki/File:NJTP\\_VMS.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:NJTP_VMS.JPG)
- [2] [tkm.ibb.gov.tr/yolDurumu/YogunlukHaritasi.aspx](http://tkm.ibb.gov.tr/yolDurumu/YogunlukHaritasi.aspx)
- [3] [international.fhwa.dot.gov/pubs/pl07012/images/figure\\_9.jpg](http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl07012/images/figure_9.jpg)
- [4] [blog.hemmings.com/images/veh\\_34.jpg](http://blog.hemmings.com/images/veh_34.jpg)
- [5] [tr.wikipedia.org/wiki/Fraktal](http://tr.wikipedia.org/wiki/Fraktal)

**ÖZGEÇMİŞ**

|               |             |                                                                                                     |
|---------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum Tarihi  | 04.04.1984  |                                                                                                     |
| Doğum Yeri    | Samsun      |                                                                                                     |
| Lise          | 1995 – 2002 | Maltepe Anadolu Lisesi                                                                              |
| Lisans        | 2002 – 2006 | Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi<br>İnşaat Mühendisliği Bölümü                           |
| Yüksek Lisans | 2006 – 2009 | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı |