

**TELSİZ VE TELEKOMÜNİKASYON TERMİNAL  
EKİPMANLARININ İŞİNİMLA YAYINIM DALGA  
ÖRÜNTÜSÜNÜN ÇIKARILARAK SINIFLANDIRILMASI**

**Yük. Müh. Zekeriya Oral YAĞDIRAN**

**Doktora Tezi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRK**

**AĞUSTOS–2011**

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

**TELSİZ VE TELEKOMÜNİKASYON TERMİNAL EKİPMANLARININ İŞİNIMLA**  
**YAYINIM DALGA ÖRÜNTÜSÜNÜN ÇIKARILARAK SINIFLANDIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Yük. Müh. Zekeriya Oral YAĞDIRAN**

**97213202**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Ağustos 2011**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ağustos 2011**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRK (F.Ü)**  
**Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Beşir DANDIL (F.Ü)**  
**Doç. Dr. Abdülkadir ŞENGÜR (F.Ü)**  
**Yrd. Doç. Dr. Remzi TÜNTAŞ ( Y.Y.Ü)**  
**Yrd. Doç. Dr. Arif GÜLTEN (F.Ü)**

**AĞUSTOS 2011**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince, büyük ilgi ve desteğini gördüğüm danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRK' e, çalışmamın her aşamasında bana destek olan Sayın Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU' na, ilgilerini esirgemeyen Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü hocalarıma, tezin düzenlenmesindeki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Merve AÇIKGENÇ' e, uygulamalar için gerekli ortamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu ve bünyesinde yer alan Piyasa Gözetimi Laboratuvarı personeline ve sabırla bana destek ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Zekeriya Oral YAĞDIRAN

Elazığ-2011

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>ÖNSÖZ.....</b>                                                              | <b>I</b>        |
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                                                        | <b>II</b>       |
| <b>ÖZET.....</b>                                                               | <b>IV</b>       |
| <b>SUMMARY.....</b>                                                            | <b>V</b>        |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>                                                   | <b>VI</b>       |
| <b>TABLolar LİSTESİ.....</b>                                                   | <b>VIII</b>     |
| <b>SEMBOLLER LİSTESİ.....</b>                                                  | <b>IX</b>       |
| <b>KISALTMALAR.....</b>                                                        | <b>XI</b>       |
| <b>1 GİRİŞ.....</b>                                                            | <b>1</b>        |
| 1.1 Amaç.....                                                                  | 2               |
| 1.2 Tezin Organizasyonu.....                                                   | 2               |
| <b>2 TELSİZ VE TELEKOMÜNİKASYON TERMİNAL EKİPMANLARI....</b>                   | <b>5</b>        |
| 2.1 Telsiz Ekipmanları.....                                                    | 5               |
| 2.2 Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları.....                                 | 5               |
| 2.3 Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanlarının EMU Standartları.....   | 6               |
| 2.3.1 Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları İçin EMU Yayınım Standardı.....    | 8               |
| 2.3.2 Telsiz İletişim Ekipmanları İçin EMU Yayınım Standartları .....          | 9               |
| 2.4 Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Kapsamındaki Cihazlar..... | 10              |
| 2.4.1 Kablo Şebekesi Üzerinden İletişim Sağlayan Cihazlar .....                | 11              |
| 2.4.2 Radyo Frekansı Yoluyla İletişim Sağlayan Cihazlar .....                  | 12              |
| 2.5 Çalışmada Kullanılan Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları ..... | 15              |
| 2.5.1 GSM Mobil (Hücresel) Telefon.....                                        | 15              |
| 2.5.2 DECT Kablosuz Telefon.....                                               | 18              |
| 2.5.3 PSTN Kablolu Telefon.....                                                | 20              |
| <b>3 ELEKTROMANYETİK DALGA ÖRÜNTÜLERİ.....</b>                                 | <b>22</b>       |
| 3.1 Elektromanyetik Alan .....                                                 | 22              |
| 3.1.1 Elektromanyetik Alan Kaynakları.....                                     | 23              |
| 3.1.1.1 Doğal Kaynaklar.....                                                   | 23              |
| 3.1.1.2 Suni Kaynaklar .....                                                   | 24              |
| 3.2 Elektromanyetik Kavramlar .....                                            | 25              |
| 3.3 Elektromanyetik Dalgalar.....                                              | 38              |
| 3.3.1 Elektromanyetik Dalga Saçınımı.....                                      | 41              |
| 3.3.2 Elektromanyetik Uyumluluk.....                                           | 43              |
| 3.3.3 Elektromanyetik Yayınım.....                                             | 47              |
| 3.3.3.1 İletimle Yayınım.....                                                  | 47              |
| 3.3.3.2 Işınım ile Yayınım.....                                                | 48              |
| <b>4 ÖRÜNTÜ SINIFLAMA.....</b>                                                 | <b>51</b>       |
| 4.1 Ön İşlem.....                                                              | 52              |
| 4.1.1 Probleminin İfadesi.....                                                 | 52              |
| 4.1.2 Sistemler.....                                                           | 53              |
| 4.1.2.1 İstatistiksel Sistem.....                                              | 54              |

|         |                                                                                    |            |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.2.2 | Yapısal Sistem.....                                                                | 55         |
| 4.1.2.3 | Akıllı Sistem.....                                                                 | 55         |
| 4.2     | Özellik Çıkarma İşlemi.....                                                        | 59         |
| 4.2.1   | Zaman – Frekans Gösterim Teknikleri.....                                           | 60         |
| 4.2.2   | Entropi Hesaplama Teknikleri.....                                                  | 63         |
| 4.3     | Sınıflandırma İşlemi.....                                                          | 66         |
| 4.3.1   | Yapay Sinir Ağı Sınıflandırıcıları.....                                            | 67         |
| 4.3.1.1 | Öğrenme Süreci.....                                                                | 72         |
| 4.3.2   | Yapay Sinir Ağı Örüntü Sınıflandırıcıları.....                                     | 73         |
| 5       | <b>İŞINIMLA YAYINIM DALGA ÖRÜNTÜLERİNE GÖRE TTTE' LERİN SINIFLANDIRILMASI.....</b> | <b>76</b>  |
| 5.1     | EMU Deneyleri.....                                                                 | 77         |
| 5.1.1   | EMU Deney Ölçme Ortamları.....                                                     | 78         |
| 5.1.1.1 | Açık Alan Test Sahası.....                                                         | 79         |
| 5.1.1.2 | Kapalı Alan Test Ortamları.....                                                    | 80         |
| 5.1.2   | EMI Test Alıcıları ve Detektör Tipleri.....                                        | 85         |
| 5.1.3   | Kullanılan Test Antenleri ve Anten Faktörü.....                                    | 85         |
| 5.1.4   | İşinimla Yayınım Deneyi.....                                                       | 86         |
| 5.2     | Verilerin Elde Edildiği Deney Düzenegi.....                                        | 88         |
| 5.2.1   | GSM Mobil Telefon Deneyi.....                                                      | 91         |
| 5.2.2   | PSTN Kablolı Telefon Deneyi.....                                                   | 92         |
| 5.2.3   | DECT Kablosuz Telefon Deneyi.....                                                  | 93         |
| 5.2.4   | Deneylerin Yapılışı.....                                                           | 94         |
| 5.2.4.1 | Cihaz Sınıflandırması.....                                                         | 96         |
| 5.2.4.2 | Çevresel Şartlar.....                                                              | 96         |
| 5.3     | Özellik Çıkarma.....                                                               | 97         |
| 5.3.1   | Ön İşlem Süreci.....                                                               | 97         |
| 5.3.2   | Dalgacık Dönüşümü.....                                                             | 99         |
| 5.3.2.1 | Sürekli Dalgacık Dönüşümü.....                                                     | 102        |
| 5.3.2.2 | Ayrık Dalgacık Dönüşümü.....                                                       | 103        |
| 5.3.2.3 | Dalgacık Paket Analizi.....                                                        | 105        |
| 5.3.3   | Entropi Hesabı.....                                                                | 106        |
| 5.3.3.1 | Ağaç Yapısı.....                                                                   | 106        |
| 5.3.3.2 | Uç Yaprak İşaret Katsayı Hesabı.....                                               | 107        |
| 5.3.3.3 | Uç Yaprak İşaret Katsayı Entropi Hesabı.....                                       | 108        |
| 5.3.3.4 | Özellik Vektörü.....                                                               | 109        |
| 5.3.3.5 | Dalgacık Paket Dönüşüm Ağacından Entropi Hesabı.....                               | 109        |
| 5.4     | Yapay Sinir Ağları İle Sınıflandırma.....                                          | 112        |
| 5.4.1   | Geriye Yayınım Yapay Sinir Ağları.....                                             | 112        |
| 6       | <b>SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....</b>                                                 | <b>118</b> |
|         | <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                              | <b>120</b> |
|         | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                               | <b>132</b> |

## ÖZET

Günümüzde birçok mühendislik uygulamaları örüntü tanıma sistemlerine yönelmektedir. Örüntü tanıma, aralarında ortak özellik noktaları bulunan ve bir ilişki kurulabilen karmaşık yapıdaki işaret örneklerini veya nesneleri bazı belirlenmiş özellikler veya karakterler yardımıyla ile tanımlama veya sınıflandırmadır. Örüntü tanıma, ön işlem, özellik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere üç aşamada yapılır. Örüntü tanımanın en önemli kısmı özellik çıkarmadır. Çünkü sınıflandırıcı belirlemede en önemli etken, doğru özellikleri tespit etmektir.

Bu çalışma için, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu bünyesine yer alan Piyasa Gözetimi Laboratuvarından telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanlarına ait ışınlama yayılım dalgası işaretleri elde edilmiştir. Bu işaretlere, dalgacık paket dönüşüm zaman-frekans gösterim entropilerine dayalı özellik çıkarım tekniği uygulanmıştır. Elde edilen özellikler, geri yayılım yapay sinir ağlarına verilerek, sınıflandırma yapılmıştır. Cihaz tipi belirlenmesi amaçlı sistemden, % 92 doğru tanıma başarımı elde edilmiştir. Bu yöntemin özellikle telekomünikasyon alanında, karar verici ve yardımcı olarak kullanılmasının güvenilirliği artıracakı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Işınlama Yayılımı, Örüntü Tanıma, Dalgacık Dönüşümü, Entropi, Yapay Sinir Ağı, Telsiz Ekipmanı, Telekomünikasyon Terminal Ekipmanı.

## SUMMARY

### **Classification of Radio and Telecommunications Terminal Equipments with Deriving Radiated Emission Wave Patterns**

At the present day many engineering applications are tending to pattern recognition systems. Pattern recognition is definition and classification of complex symbol samples and objects which have similar attributes points and be associated through specified attributes and characters. Pattern recognition is performed in three steps as preprocess, attribute derivation and classification. The most important step of pattern recognition is attribute derivation. Because, the most important factor in determining classifier is determination of the right attributes.

For this study, radiated emission wave symbols of radio and telecommunications terminal equipments are derived from Market Surveillance Laboratory which is located within Information and Communication Technologies Authority. Attribute derivation technique which is based on ripple packet transformation time frequency representation entropies was applied to these symbols. Classification is made by giving the obtained attributes to the back propagation artificial neural networks. Accurate recognition performance of the system which is aimed to determine the equipment type was % 92. It is considered that using this method as decision maker and assistant especially in telecommunication area will improve the reliability.

**Key Words:** Radiated Emission, Pattern Recognition, Wavelet Transform, Entropy, Artificial Neural Network, Radio Equipment, Telecommunication Terminal Equipment.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                              | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1. Hücresel yapı.....                                                                                                                | 16              |
| Şekil 2.2. GSM telefon blok diyagramı [27].....                                                                                              | 17              |
| Şekil 2.3. Tipik bir GSM mobil telefonu.....                                                                                                 | 17              |
| Şekil 2.4. Tipik bir DECT telefonu.....                                                                                                      | 18              |
| Şekil 2.5. (a) DECT telefon ünitesi blok diyagramı, (b) DECT ahize ünitesi blok diyagramı [31].....                                          | 19              |
| Şekil 2.6. PSTN blok diyagramı [35].....                                                                                                     | 20              |
| Şekil 2.7. Tipik bir PSTN kablolu telefon.....                                                                                               | 21              |
| Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum diyagramı.....                                                                                           | 23              |
| Şekil 3.2. Elektrik alan vektör çizgileri [52].....                                                                                          | 26              |
| Şekil 3.3. Manyetik alan [53].....                                                                                                           | 26              |
| Şekil 3.4. Temel elektrik alan ve manyetik alan kaynakları.....                                                                              | 31              |
| Şekil 3.5. Tipik bir baskı devre.....                                                                                                        | 32              |
| Şekil 3.6. Farksal (diferansiyel) ve ortak mod ışıma spektrumları [50].....                                                                  | 33              |
| Şekil 3.7. Farksal ve ortak eşdeğer spektrumları [50].....                                                                                   | 34              |
| Şekil 3.8. Farksal ve ortak mod akımları [56].....                                                                                           | 34              |
| Şekil 3.9. Farksal (a) ve ortak mod (b) akımlarına göre elektrik alan değişimi [56].                                                         | 35              |
| Şekil 3.10. Çerçeve anten ve dizilerinin ışıma diyagramları [50].....                                                                        | 36              |
| Şekil 3.11. Dairesel dizilmiş dörtlü anten [50].....                                                                                         | 37              |
| Şekil 3.12. Saçılma kapsamı.....                                                                                                             | 38              |
| Şekil 3.13. Elektromanyetik dalganın oluşumu ve yayılımı.....                                                                                | 39              |
| Şekil 3.14. Elektromanyetik saçılma olayları [50].....                                                                                       | 42              |
| Şekil 3.15. Örnek bir saçılım dalga şekli.....                                                                                               | 43              |
| Şekil 3.16. Elektromanyetik çevre.....                                                                                                       | 44              |
| Şekil 3.17. Elektromanyetik uyumluluk.....                                                                                                   | 46              |
| Şekil 3.18. İletimle yayılım modeli [59].....                                                                                                | 48              |
| Şekil 3.19. Işınım ile yayılım modeli [59].....                                                                                              | 48              |
| Şekil 3.20. GSM telefona ait tipik bir ışınlama yayılım dalga şekli.....                                                                     | 49              |
| Şekil 3.21. DECT telefona ait tipik bir ışınlama yayılım dalga şekli.....                                                                    | 49              |
| Şekil 3.22. PSTN telefona ait tipik bir ışınlama yayılım dalga şekli.....                                                                    | 50              |
| Şekil 4.1. Örüntü tanıma süreci.....                                                                                                         | 52              |
| Şekil 4.2. Karar uzayı-giriş özellik uzayı gösterimi [60].....                                                                               | 53              |
| Şekil 4.3. Örüntü tanıma sistemi .....                                                                                                       | 54              |
| Şekil 4.4. Sınıflandırıcı öğrenme süreci [60].....                                                                                           | 57              |
| Şekil 4.5. Sınıflandırıcı test süreci [60].....                                                                                              | 58              |
| Şekil 4.6. Zaman – frekans gösterim yöntemleri [60].....                                                                                     | 62              |
| Şekil 4.7. Entropi kavramı: (a) Düşük entropi, (b) Yüksek entropi [60].....                                                                  | 64              |
| Şekil 4.8. Akıllı sınıflandırma.....                                                                                                         | 66              |
| Şekil 4.9. Biyolojik bir sinirin genel yapısı.....                                                                                           | 67              |
| Şekil 4.10. YSA hücre modeli.....                                                                                                            | 68              |
| Şekil 4.11. Etkinleştirme fonksiyonu a) İkili adım fonksiyonu, b) Doğrusal geçiş ve adımli doğrusal geçiş fonksiyonu, c) Sigmoid fonksiyonu, |                 |

|             |                                                                                                                                                          |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|             | d) Hiperbolik tanjant fonksiyonu.....                                                                                                                    | 70  |
| Şekil 4.12. | YSA örüntü sınıflandırıcıları [60].....                                                                                                                  | 74  |
| Şekil 5.1.  | Kullanılan yöntemin blok diyagramı.....                                                                                                                  | 76  |
| Şekil 5.2.  | Tipik açık alan test sahası.....                                                                                                                         | 79  |
| Şekil 5.3.  | Tam yansız oda.....                                                                                                                                      | 81  |
| Şekil 5.4.  | Yarı yansız oda.....                                                                                                                                     | 82  |
| Şekil 5.5.  | Tipik bir TEM hücresi.....                                                                                                                               | 83  |
| Şekil 5.6.  | Tipik bir GTEM hücresi [109].....                                                                                                                        | 84  |
| Şekil 5.7.  | Işınım yayılımı örnek deney düzeneği [113].....                                                                                                          | 87  |
| Şekil 5.8.  | Deneyin yapıldığı yarı yansız oda.....                                                                                                                   | 89  |
| Şekil 5.9.  | GSM mobil telefona ait ışınım yayılımı deney düzeneği.....                                                                                               | 92  |
| Şekil 5.10. | PSTN kablolu telefona ait ışınım yayılımı deney düzeneği.....                                                                                            | 93  |
| Şekil 5.11. | DECT kablosuz telefona ait ışınım yayılımı deney düzeneği.....                                                                                           | 94  |
| Şekil 5.12. | Filtrelemeden önce ışınım yayılımı dalga işareti.....                                                                                                    | 98  |
| Şekil 5.13. | Filtrelemeden sonra ışınım yayılımı dalga işareti.....                                                                                                   | 98  |
| Şekil 5.14. | Kısa zamanlı Fourier dönüşümü.....                                                                                                                       | 99  |
| Şekil 5.15. | Dalgacık dönüşümü.....                                                                                                                                   | 100 |
| Şekil 5.16. | Dalgacık örnekleri.....                                                                                                                                  | 101 |
| Şekil 5.17. | Bir ana dalgacık ile ölçekleme ve dönüşüm işlemi [60].....                                                                                               | 103 |
| Şekil 5.18. | Filtreleme işlemi ve birinci seviyeden bileşenlerine ayrıştırma.....                                                                                     | 104 |
| Şekil 5.19. | 4. Seviyeden bir ayrık dalgacık dönüşümü ağaç yapısı.....                                                                                                | 105 |
| Şekil 5.20. | Dalgacık paket analizi ağaç yapısı.....                                                                                                                  | 106 |
| Şekil 5.21. | Dalgacık paket dönüşüm zaman frekans gösterim entropileri ile özellik çıkarımı [60].....                                                                 | 106 |
| Şekil 5.22. | Dalgacık paket dönüşüm ağaç yapısı.....                                                                                                                  | 107 |
| Şekil 5.23. | Elde edilen ağaç yapısı.....                                                                                                                             | 110 |
| Şekil 5.24. | 3. Seviyeden daubechies 3 kullanılarak dalgacık ayrıştırması ( Bir ışınım yayılımı işaretinin dalgacık paket dönüşüm ağacının uç yaprak işaretleri)..... | 111 |
| Şekil 5.25. | Işınım yayılımı dalga işareti- dalgacık paket dönüşüm ağacı entropi hesabı özellik eğrisi.....                                                           | 112 |
| Şekil 5.26. | Çok katmanlı algılayıcı, ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı.....                                                                                     | 113 |
| Şekil 5.27. | YSA eğitim başarımı.....                                                                                                                                 | 116 |

## TABLÖLER LİSTESİ

|                                                                                                                 | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 3.1.</b> Işınım yollu girişim kaynakları.....                                                          | 25              |
| <b>Tablo 3.2.</b> Elektrik ve manyetik dipol sızıntı değerleri [38].....                                        | 32              |
| <b>Tablo 4.1.</b> Entropi hesaplama metotları.....                                                              | 65              |
| <b>Tablo 5.1.</b> Kullanılan test antenleri [110].....                                                          | 85              |
| <b>Tablo 5.2.</b> Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler.....                                                   | 90              |
| <b>Tablo 5.3.</b> GSM için kullanılan ilave malzemeler.....                                                     | 91              |
| <b>Tablo 5.4.</b> PSTN ve DECT için kullanılan ilave malzemeler.....                                            | 92              |
| <b>Tablo 5.5.</b> Sınır değer tablosu [113].....                                                                | 96              |
| <b>Tablo 5.6.</b> Çevresel şartlar tablosu.....                                                                 | 96              |
| <b>Tablo 5.7.</b> YSA model yapı .....                                                                          | 115             |
| <b>Tablo 5.8.</b> YSA eğitim parametreleri.....                                                                 | 116             |
| <b>Tablo 5.9.</b> Kullanılan özellik çıkarım yöntemi ile TTTE' ler için YSA sınıflama<br>başarım sonuçları..... | 117             |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|                 |                                                                                  |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $E$             | : Elektrik alanı (Volt/metre-V/m)                                                |
| $q$             | : Birim elektrik yükü (Coulomb-C)                                                |
| $F$             | : Etki eden kuvvet (Newton/metre-N/m)                                            |
| $B$             | : Manyetik akı yoğunluğu (Weber/m <sup>2</sup> =Tesla)                           |
| $V$             | : Yayınım hızı yönü (Propagasyon Yönü), Hız (metre/saniye - m/sn)                |
| $\sigma$        | : Ortamın iletkenliği (Siemens/metre-S/m)                                        |
| $j$             | : Yüzey akım yoğunluğu (Amper/metrekare-A/m <sup>2</sup> )                       |
|                 | : Ortamın dielektrik geçirgenliği (Farad/metre-F/m)                              |
| $D$             | : Elektrik akı yoğunluğu (Coulomb/metrekare-C/m <sup>2</sup> )                   |
| $\mu$           | : Ortamın manyetik geçirgenliği (Henry/metre-H/m)                                |
| $H$             | : Manyetik alan şiddeti (Amper/metre- A/m)                                       |
| $D$             | : Elektrik akı yoğunluğu                                                         |
| $r$             | : Bağlı dielektrik geçirgenliği(F/m)                                             |
| $\epsilon_0$    | : Boşluğun dielektrik geçirgenliği (F/m)                                         |
| $\mu_r$         | : Bağlı manyetik geçirgenliği (H/m)                                              |
| $\mu_0$         | : Boşluğun manyetik geçirgenliği (H/m)                                           |
| $\lambda$       | : EM dalganın dalga boyu                                                         |
| $Z$             | : Dalga empedansı                                                                |
| $R$             | : Yarıçap                                                                        |
| $P$             | : Güç yoğunluğu (Watt/m <sup>2</sup> )                                           |
| $\delta$        | : Deri kalınlığı (m)                                                             |
| $w$             | : Açısal hız (Radyan/sn)                                                         |
| $f$             | : Frekans (Hz)                                                                   |
| $I_{1,2}$       | : Toplam akım                                                                    |
| $I_D$           | : Farksal mod akımı                                                              |
| $I_C$           | : Ortak mod akımı                                                                |
| $E_t$           | : Toplam elektrik alan                                                           |
| $E_i$           | : Gelen elektrik alan                                                            |
| $E_s$           | : Saçınan elektrik alan                                                          |
| $w^{(P)}$       | : Sınıf                                                                          |
| $\underline{D}$ | : Operatör                                                                       |
| $N$             | : Fonksiyonların uzayı                                                           |
| $M$             | : Eğitim verisindeki örneklerin sayısı                                           |
| $\psi$          | : YSA girişleri                                                                  |
| $\Omega_\psi$   | : YSA çıkışları                                                                  |
| $T$             | : Birbirini takip eden sıralı değerlendirmelerin tipiksel olarak bir norm ölçüsü |
| $\epsilon$      | : Tavsiye edilen tolerans                                                        |
| $s$             | : İşaret                                                                         |
| $s_i$           | : İşaretin $i$ . katsayısı                                                       |
| $Y_m$           | : Girişler                                                                       |
| $P_{im}$        | : Ağırlıklar                                                                     |
| $\Theta_i$      | : Eşik fonksiyonu                                                                |

|                |                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------|
| $a(.)$         | : Etkinleştirme fonksiyonu                          |
| $X_i$          | : Çıkışlar                                          |
| $i.$           | : İşlem elemanının net değeri                       |
| $AF$           | : Anten faktörü                                     |
| $V$            | : Spektrum analizörde (ya da alıcıda) ölçülen değer |
| $CL_1$         | : 1. kablodaki kayıp                                |
| $PAG$          | : Yükseltecin kazancı                               |
| $CL_2$         | : 2. kablodaki kayıp                                |
| $x(t)$         | : İşaret                                            |
| $\psi(t)$      | : Dalgacık fonksiyonu                               |
| $b$            | : Dönüşüm etmeni                                    |
| $a$            | : Ölçekleme etmeni                                  |
| $n$            | : İşaretin uzunluğu                                 |
| $N$            | : Filtrenin katsayı sayısı                          |
| $2N$           | : Ayırışım filtresinin bant genişliği               |
| $m$            | : Ayırışım seviyesidir                              |
| $\Psi_m$       | : m frekans seviyesinde ayırışım filtresi           |
| $d_m$          | : Dalgacık paket ayırışımı                          |
| $x[n]$         | : Bileşenlerine ayrıştırılmış işaret                |
| $w(k)$         | : Karar uzayındaki her bir sınıf                    |
| $D$            | : Sınıflandırıcı                                    |
| $F$            | : Giriş ve karar uzayı arasındaki özellik uzayı     |
| $(x,y)$        | : Eğitim çifti                                      |
| $\mathfrak{Z}$ | : Eğitim kümesi                                     |
| $\phi$         | : Sınıflandırıcının adaptif parametreler kümesi     |
| $J$            | : Amaç fonksiyonu                                   |
| $g(\phi)$      | : Yan şartlar                                       |
| $E[.]$         | : Sınıflandırma hatası                              |
| $f(.)$         | : Yaklaşım fonksiyonu                               |
| $\xi$          | : Test etme girişleri                               |
| $\psi$         | : Eğitim girişi                                     |
| $\Omega_\psi$  | : İstenen çıkış                                     |
| $\phi\Delta$   | : Düzenlenen kurallar                               |
| $T[.]$         | : Eğitimin şartlar kümesi                           |
| $P_{ij}$       | : Yapay sinir ağı ağırlıkları                       |
| $T_x(t,f)$     | : Zaman – frekans gösterimi                         |
| $E(s)$         | : Entropi ifadesi                                   |
| $\varepsilon$  | : i) Entropi eşik değeri, ii) Momentum katsayısı    |
| $\theta_i$     | : i. işlem elemanının eşik değeri                   |
| $m$            | : Dalgacık ayırışım seviyesi                        |
| $cA$           | : Dalgacık ayırışımının yaklaşık katsayısı          |
| $cD$           | : Dalgacık ayırışımının detay katsayısı             |
| $h[n]$         | : Yüksek geçiren filtre                             |
| $g[n]$         | : Düşük geçiren filtre                              |
| $F(.)$         | : Dalgacık sinir ağı etkinleştirme fonksiyonu       |
| $ED$           | : Dalgacık sinir ağının entropi döngüsü             |
| $B$            | : Birleştirme fonksiyonu                            |

## KISALTMALAR

|                 |                                                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1G</b>       | : Birinci nesil mobil haberleşme şebekesi (first generation mobile communication network)                 |
| <b>2G</b>       | : İkinci nesil mobil haberleşme şebekesi (second generation mobile communication network)                 |
| <b>2,5G</b>     | : Geliştirilmiş ikinci nesil mobil haberleşme şebekesi (enhanced second generation communication network) |
| <b>3G</b>       | : Üçüncü nesil mobil haberleşme şebekesi (third generation mobile communication network)                  |
| <b>4G</b>       | : Dördüncü nesil mobil hizmetler (fourth generation mobile service)                                       |
| <b>AB/EU</b>    | : Avrupa birliği (european union)                                                                         |
| <b>AC</b>       | : Değişken akım (alternative current)                                                                     |
| <b>ADD</b>      | : Ayrık dalgacık dönüşümü                                                                                 |
| <b>ADF</b>      | : Automatic direction finder                                                                              |
| <b>ADM</b>      | : Add-drop multiplexer                                                                                    |
| <b>AIS</b>      | : Otomatik tanımlama sistemi (automatic identity system)                                                  |
| <b>AM</b>       | : Genlik modülasyonlu                                                                                     |
| <b>ATM</b>      | : Asynchronous transfer mode                                                                              |
| <b>BTK</b>      | : Bilgi teknolojileri ve iletişim kurumu                                                                  |
| <b>CEN</b>      | : Avrupa standartlar komitesi (comité européen de normalisation)                                          |
| <b>CENELEC</b>  | : Avrupa elektroteknik standartlar komitesi (comité européen de normalisation electrotechnique)           |
| <b>DAN</b>      | : Deney altındaki numune                                                                                  |
| <b>dBm</b>      | : 1 mili-watt'a göre desibel güç birimi                                                                   |
| <b>DC</b>       | : Direct current                                                                                          |
| <b>DD</b>       | : Dalgacık dönüşümü                                                                                       |
| <b>DECT</b>     | : Sayısal genişletilmiş kablosuz telefon (digital enhanced cordless telephone)                            |
| <b>DGPS</b>     | : Differential global position system                                                                     |
| <b>DME</b>      | : Distance measurement equipment                                                                          |
| <b>DSC</b>      | : Dijital seçici çağrı (digital selective calling)                                                        |
| <b>DSL/xDSL</b> | : Dijital abone hattı (digital subscriber line)                                                           |
| <b>DSLAM</b>    | : Digital subscriber line access multiplexer                                                              |
| <b>DTMF</b>     | : Dual tone multi frequency                                                                               |
| <b>DWDM</b>     | : Dense wavelength division multiplexing                                                                  |
| <b>EDGE</b>     | : GSM ortamında artırılmış veri hızları (enhanced data rate for GSM evolution)                            |
| <b>EFT</b>      | : Elektriksel hızlı geçişler (fast transients)                                                            |
| <b>EM</b>       | : Elektromanyetik                                                                                         |
| <b>EMI</b>      | : Elektromanyetik girişim (electromagnetic interference)                                                  |
| <b>EMU/EMC</b>  | : Elektromanyetik uyum (electromagnetic compatibility)                                                    |
| <b>EN</b>       | : Avrupa normları (european norm)                                                                         |
| <b>EPIRB</b>    | : Acil konum belirleme cihazı (emergency position radio indication beacons)                               |
| <b>ERM</b>      | : Elektromanyetik uyumluluk ve radyo spektrum konuları                                                    |
| <b>ESD</b>      | : Elektrostatik deşarj (electrostatic discharge)                                                          |

|                  |                                                                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ETSI</b>      | : Avrupa telekomünikasyon standartları enstitüsü (european telecommunications standards institute)  |
| <b>FDM</b>       | : Frequency division multiplexing                                                                   |
| <b>FM</b>        | : Frekans modülasyon (frequency modulated)                                                          |
| <b>GMSK</b>      | : Gaussian minimum shift keying                                                                     |
| <b>GPRS</b>      | : General packet radio service                                                                      |
| <b>GPS</b>       | : Global position system                                                                            |
| <b>GPWS</b>      | : Ground proximity warning system                                                                   |
| <b>GSM</b>       | : Küresel mobil sistem (global system for mobile)                                                   |
| <b>GTEM</b>      | : Gigahertz transverse electromagnetic                                                              |
| <b>HF</b>        | : High frequency                                                                                    |
| <b>HSCSD</b>     | : High speed circuit switched data                                                                  |
| <b>ILS</b>       | : Instrument landing system                                                                         |
| <b>IMO</b>       | : Uluslararası denizcilik organizasyonu (international marine organization)                         |
| <b>INMARSAT</b>  | : International maritime satellite organization                                                     |
| <b>IP</b>        | : İnternet protokolü (internet protocol)                                                            |
| <b>ISDN</b>      | : Tümleşik hizmetler sayısal ağı (integrated services digital network)                              |
| <b>Kbps</b>      | : Saniyedeki kilobit sayısı (kilobit per second)                                                    |
| <b>LAN</b>       | : Anahtarlama cihazı (local area network)                                                           |
| <b>LCD</b>       | : Liquid crystal display                                                                            |
| <b>LVD</b>       | : Alçak gerilim direktifi (low voltage directive)                                                   |
| <b>MATLAB</b>    | : Matrix laboratory                                                                                 |
| <b>MF</b>        | : Medium frequency                                                                                  |
| <b>NDB</b>       | : Non directional radiobeacon                                                                       |
| <b>NSA</b>       | : Normalize edilmiş alan zayıflaması                                                                |
| <b>OATS</b>      | : Açık alan test sahası (open area test site)                                                       |
| <b>PDH</b>       | : Plesiochronous digital hierarchy                                                                  |
| <b>PMR</b>       | : Private mobile radio                                                                              |
| <b>POS</b>       | : Satış noktası (point of sale)                                                                     |
| <b>PSK</b>       | : Phase-shift keying                                                                                |
| <b>PSTN</b>      | : Kamu anahtarlama telefon şebekesi (public switched telephone network)                             |
| <b>QAM</b>       | : Quadrature amplitude modulation                                                                   |
| <b>R&amp;TTE</b> | : Telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanları (radio and telecommunications terminal equipment) |
| <b>RF</b>        | : Radyo frekans                                                                                     |
| <b>SAR</b>       | : Specific absorption rate                                                                          |
| <b>SART</b>      | : Search and rescue transponder                                                                     |
| <b>SDD</b>       | : Sürekli dalgacık dönüşümü                                                                         |
| <b>SDH</b>       | : Synchronous digital hierarchy                                                                     |
| <b>SNG</b>       | : Satellite news gathering                                                                          |
| <b>SOLAS</b>     | : Denizde can güvenliği (safety of life at sea)                                                     |
| <b>SSB</b>       | : Single side band                                                                                  |
| <b>TBR</b>       | : Technical basis for regulation                                                                    |
| <b>TDM</b>       | : Time-division multiplexing                                                                        |
| <b>TDMA/CDMA</b> | : Zaman bölmeli çoklu erişim (time division multiple access)                                        |
| <b>TE</b>        | : Transverse electric                                                                               |
| <b>TEM</b>       | : Transverse electromagnetic                                                                        |

|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>TM</b>       | : Transverse magnetic                                     |
| <b>TTTE</b>     | : Telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanları         |
| <b>TÜRKAK</b>   | : Türk akreditasyon kurumu                                |
| <b>TYO/FAC</b>  | : Tam yansız oda (full anechoic chamber)                  |
| <b>UHF</b>      | : Data modem cihazları                                    |
| <b>UMTS</b>     | : Universal mobile telecommunications system              |
| <b>VHF/FM</b>   | : Çok yüksek frekans (very high frequency)/Frekans modülü |
| <b>VOR</b>      | : VHF omnirange radio                                     |
| <b>VSAT</b>     | : Very small aperture terminal                            |
| <b>WAAS</b>     | : Wide area augmentation system                           |
| <b>WLAN</b>     | : Kablosuz yerel alan ağı (wireless local area network)   |
| <b>YSA</b>      | : Yapay sinir ağı                                         |
| <b>YYO/ SAC</b> | : Yarı yansız oda (semi anechoic chamber)                 |
| <b>ZFG</b>      | : Zaman–frekans gösterim                                  |

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı gelişimi, özellikle ses, görüntü ve veri haberleşme ve bilgi toplama görevini yapan cihazların gündelik hayattaki kullanımını hızla arttırmıştır. Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları (TTTE) olarak ifade edebileceğimiz bu cihazlar artık insan yaşamının vazgeçilmez birer parçaları olmuştur. Yapısal olarak elektrik-elektronik devre elemanlarından oluşan bu cihazlar, işleyişi için gerekli olan enerjinin kullanımı neticesinde, birer anten gibi davranır ve çevrelerine elektromanyetik dalga yayınımları yaparlar. Bu yayınımlar elektromanyetik radyasyon (ışınım) biçiminde veya kendisine bağlı kablolar üzerinden iletim yoluyla da olabilmektedir. Cihaz tarafından ortama verilen elektromanyetik yayınımların örüntü karakteristiği cihazın yapısı ve türü ile orantılıdır. Ancak bu yayınımlar her cihaz için belli sınırlar ve uygulanan ilgili standartlar içerisinde olması gerekmektedir.

Örüntü tanıma ve sınıflandırma problemlerinin sivil ve askeri alanlarda birçok uygulaması mevcuttur. Bu problemlerde izlenen yöntem, nesnelerden yayılan dalga örüntülerinden nesnelere ait özellik bilgilerini çıkartıp bunların karşılaştırılması ile nesneleri ayırt etmektir. Bu özellikler, büyüklük, şekil, maddesel yapı gibi fiziksel özellikler olabileceği gibi, konum, hız, şiddet veya ivme gibi dinamik özellikler de olabilir.

Nesne ayırt etme problemlerinde genel olarak izlenen adımlar şöyle özetlenebilir: Ayırt edilecek nesnelerden elde edilen ham (işlenmemiş) zaman/frekans sinyallerine çeşitli sinyal işleme yöntemleri uygulanarak nesnelere ait referans öznitelik bilgilerini içeren bir veritabanı oluşturulur. Sonraki aşamada ise test edilecek nesneden ölçüm sonucunda elde edilmiş zaman/frekans sinyallerine veritabanı oluşturulurken kullanılan aynı sinyal işleme yöntemi uygulanır. Elde edilen öznitelik bilgisinin veritabanındaki öznitelik bilgileri ile kıyaslanır ve böylece test edilen nesnenin veritabanındaki hangi nesne ile en fazla uyum gösterdiğine karar verilerek hedef sınıflandırılır. İşlenmemiş zaman-frekans sinyalleri küre, ince silindir tel gibi sınırlı sayıdaki basit nesneler için nümerik veya analitik yollar ile elde edilir. Bu yollarla yayınımların sinyallerinin hesaplanması zor olan karmaşık nesneler için ise çeşitli açılarda ölçümler yapılır. Anlatılan prosedürdeki en önemli kısım, veritabanına konulacak öznitelik bilgilerinin neler olabileceğidir ki, örüntü tanıma problemlerinde değişik metotların olduğu ve metotların birbirinden ayrıldığı yer bu aşamadır [1–3].

## **1.1. Amaç**

Bu tez çalışmasında amaç, TTTE'lerden elde edilen ışınlama yayınımla dalga işaretleri kullanılarak, akıllı örüntü tanıma yaklaşımıyla TTTE'lerin otomatik olarak sınıflandırılmasını yapmaktır. Burada otomatiklikten kasıt, ekipmanların ne tür bir elektromanyetik yayınımla yayınımla yaptığına bakarak yorumlamak yerine, doğrudan bilgisayar tarafından türünün belirlenmesidir. Bir başka ifadeyle, laboratuvar ortamında elde edilen TTTE'lerin ışınlama yayınımla dalga örüntülerinin özellikleri çıkarılıp, akıllı sınıflandırıcılar ile sınıflandırılarak, ekipman türlerinin tanımlanması otomatik olarak sağlanacaktır. Bu sayede insan faktöründen kaynaklanan hatalar minimuma indirgenmiş olmaktadır.

Bu çalışmada, sistemde yer alan iç ve dış dinamiklere karşı daha kararlı ve etkili bir özellik çıkarılması amaçlanmıştır. Bunun için durağan (özdeş nitelikleri) olmayan işaret dalgacık dönüşümleri vasıtasıyla alt bileşenlerine ayrılarak durağan hale getirilmektedir. Spektrumun düzensizlik miktarının ölçümünde entropi tabanlı ölçütler kullanılmıştır. Böylece zaman-frekans gösterimlerinden elde edilen spektrum öznitelikleri daha güçlü bir hale gelmekte ve özellik uzayının boyutu indirgenmektedir. Bu sayede kullanılan özellik çıkarma algoritmasının da etkinliği arttırılmış olmaktadır. Kullanılan bu ölçütler sınıflandırıcıyı da olumlu yönde etkilemekte olup, sınıflandırıcının doğru karar verme sürecini hızlandırmaktadır.

Bu çalışmada, hızlı öğrenme ve sonuçlandırma yeteneğine sahip kuvvetli bir sınıflandırıcı kullanılması amaçlanmıştır. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, birbirine bağlanan ve her biri kendi hafızasına sahip işlem elemanlarından oluşan paralel bilgi işleme yapılarıdır. Bu yapıdan dolayı akıllı örüntü tanıma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu sebeple, sınıflandırıcı olarak YSA tercih edilmiştir.

## **1.2. Tezin Organizasyonu**

Tezin birinci bölümünde, teze genel bir bakış açısı kazanmaya yönelik olarak temel bilgiler verilmiştir. Diğer bölümlerin organizasyonu ve tezdeki orijinal katkılar ise aşağıda sunulmuştur.

**Bölüm 2'** de, telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanlarının, öncelikle tanımları yapılmıştır. Daha sonra bu ekipmanların imalatına yönelik olarak uyulması zorunlu olan standartlar konusuna yer verilmiştir. Ekipmanların, kullanılan iletişim yolları göz önüne alınarak yapılan sınıflandırılması ve bu tez çalışmasında kullanılan GSM, DECT ve PSTN telefonların devre yapıları, özellikleri vb. tanıtıcı temel bilgiler açıklanmıştır.

**Bölüm 3'** de elektromanyetik dalga örüntüleri ile ilgili olarak, elektromanyetik alan kavramı, alan kaynakları, elektrik ve manyetik alan, ortam parametreleri, ekipmanlarda meydana gelen ışınlama yayılım dalgasını oluşturan elektriksel ve manyetik dipoller, Elektromanyetik dalgalar ve saçılımı, elektromanyetik uyumluluk (EMU), yayılım olayları gibi tezde incelenen cihazların oluşturduğu dalga işaretlerine ait temel bilgilere yer verilmiştir.

**Bölüm 4'** de örüntü tanıma hakkında genel bilgiler verilmiş, sahip olduğu bileşenler açıklanmıştır. Matematiksel bir olay olarak nitelendirilerek yorumlanmıştır. Örüntü tanıma türleri verilerek, özellikle akıllı örüntü tanıma yapısı üzerinde durulmuş ve sahip olması gereken özellikler vurgulanmıştır. Örüntü tanımanın en önemli bileşeni olan özellik çıkarımı için önerilen yeni algoritmaların dayalı olduğu teorik alt yapıyı oluşturmaya yönelik zaman-frekans gösterimleri ve türleri, entropi hesaplama teknikleri ve metotları açıklanmıştır. Örüntü tanımanın son aşaması olan sınıflandırma için kullanılan yapay sinir ağ sınıflandırıcıları hakkında bilgilere yer verilmiştir.

**Bölüm 5'** de test (deney) ortamında elde edilen ışınlama yayılım dalga işaretleri ile ilgili olarak, EMU testleri, farklı tiplerdeki test ölçüm ortamları, kullanılan cihazlar ve özellikleri, tezde kullanılan dalga işaretlerinin elde edildiği ışınlama yayılım testi hakkında bilgiler verilmiştir. GSM, DECT ve PSTN telefonların orijinal dalga işaretlerinin elde edildiği deneyler adım adım anlatılmıştır. Özellik çıkarma algoritmalarından, dalgacık paket dönüşüm zaman-frekans gösterim entropilerine dayalı yöntem ve bu yöntem için gerekli olan dalgacık ve dalgacık paket analizi hakkında teorik bilgiler bulunmakla birlikte algoritmanın uygulanması ışınlama yayılım dalga işaretleri üzerine yapılmıştır. Elde edilen orijinal ışınlama yayılım dalga işaretleri için yapılan filtreleme süreci açıklanmıştır. Akıllı örüntü tanıma sisteminde kullanılan, Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli ve bileşenlerinin önemi açıklanmıştır. Söz konusu algoritmanın uygulama sonuçları değerlendirilmiştir.

**Bölüm 6'** da, bu çalışmada elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca ileriye dönük uygulama alanları hakkında öneride bulunulmuştur.

## **2. TELSİZ VE TELEKOMÜNİKASYON TERMİNAL EKİPMANLARI**

Günümüzde, iletişim, haberleşme teknolojileri bilgisayar teknolojileriyle bütünleşerek yarının ileri bilgi toplumlarının oluşmasında yaşamsal bir rol oynamaktadır. Artık, uluslararası ilişkilerden üretim alanlarına dek uzanan yaşamın çok farklı alanlarındaki çabaların itici gücünü iletişim, haberleşme ve bilgisayar teknolojilerinde ortaya çıkan buluşlar ve yenilikler belirlemektedir. Sürekli olarak değişip gelişen bu teknolojiler kullanıcı istekleri temelinde 21. yüzyılın bilgi-iletişim şebekelerini de biçimlendirmektedir. Bu kapsamda özellikle ses haberleşmesi iletişim araçları olan Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları (TTTE)'nin gelişimi ve kullanım alanı çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu ekipmanlar radyo frekans spektrumu kullanan tüm ürünleri ve kamu telekomünikasyon şebekelerine bağlı olan tüm cihazları kapsamaktadır. Günümüzde söz konusu ekipmanların oluşturduğu endüstrinin rekabet açısından durumu oldukça iyidir. Özellikle hücresel haberleşme ve anahtarlama sektörlerinde, AB endüstrisinin belli yan sektörlerde küresel lider pozisyonu üstlendiği az sayıdaki üst sektörlerden biridir [4].

### **2.1. Telsiz Ekipmanları**

Telsiz Ekipmanı; 9 kHz ile 3000 GHz frekans bandında sunî bir iletim ortamı olmaksızın, uzayda yayınlanan elektromagnetik dalgaların iletimi ve/veya alımı yoluyla iletişimi sağlayan cihaz veya ilgili parçasıdır.

Başka bir ifade ile karasal/uzay radyo iletişimlerine tahsis edilen spektrumdan faydalanarak radyo dalgalarının emilimi ve/veya alınması yoluyla iletişim sağlayabilen bir ürün veya bu ürünle ilgili bir parça olarak tanımlanır. Radyo dalgaları, yapay rehber olmadan uzayda yayılan, 9 kHz ile 3000 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalar anlamına gelir [5].

### **2.2. Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları**

Telekomünikasyon terminal ekipmanı, iletişimi sağlayan bir ürün olarak veya kamu telekomünikasyon şebekelerinin ara yüzlerine direkt veya dolaylı olarak bağlanması amaçlanan ilgili bir parça olarak tanımlanır [5]. Ara yüz, kullanıcının bir kamu

telekomünikasyon şebekesine erişimi sağlanan bir şebeke sonlandırma noktası ve/veya telsiz ekipmanlar ve teknik özellikleri arasındaki telsiz yolunu belirten bir hava ara yüzü anlamına gelmektedir.

Bir diğer tanımlama da ise, Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları, sadece alma veya hem alma hem gönderme ve yahut da sadece gönderme, uydular veya öteki uzayda yerleşik sistemler yoluyla iletilen telsiz sinyalleri özelliğine sahip olan verileri göndermek, işlemek veya almak için ulusal telekomünikasyon şebekesine bağlanmak üzere tasarımılanan ekipmanlardır [6].

### **2.3. Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanlarının EMU Standartları**

Avrupa Birliği (AB), üyesi ülkelerde tek pazar oluşturulması ve malların serbest dolaşımını kısıtlayan tüm teknik engelleri kaldırmak amacıyla teknik düzenleme ve standardizasyon konusunda 1985 yılında Yeni Yaklaşım Politikası'nı<sup>1</sup> geliştirmiştir [7].

Bu politika, ürünleri tek tek ele almayı, kullanım amaçlarını (örneğin; telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanları, makineler, elektrikli aletler vb.) temel olarak ürün grupları oluşturmayı ve bu ürün gruplarında bulunması gereken temel gerekleri belirleyerek, AB üyesi ülkelerin teknik düzenlemelerini uyumlaştırmalarını hedeflemektedir. Böylece, teknik engel oluşturan farklı ulusal uygulamalar ortadan kaldırılmış olacaktır [8].

Yeni Yaklaşım Politikası çerçevesinde, AB ve aday ülkelerin piyasasına arz edilen ürünlerin, ilgili olduğu Yeni Yaklaşım Direktifleri'ne<sup>2</sup> uygun olarak üretilmesi, böylece anılan mevzuatların hükümlerine AB çapında uyulması sağlanmaktadır [9].

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi' nin Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları ile ilgili olan yeni yaklaşım direktifi ise, 09.03.1999 tarih ve 1999/5/EC sayılı R&TTE (Radio and Telecommunications Terminal Equipment) Direktifi ' dir. Bu direktif 07.04.1999 tarihinde AB'nin Resmi Gazetesi'nde yayımlanmış ve 08.04.2000 tarihinde yürürlüğe girmiştir [10].

---

<sup>1</sup> Yeni Yaklaşım Politikası, AB Topluluğu'nda malların serbest dolaşımını kısıtlayan tüm teknik engellerin kaldırılmasıdır.

<sup>2</sup> Yeni Yaklaşım Direktifleri, AB Yeni Yaklaşım Politikası'nın uygulanması için oluşturulan direktiflerdir.

R&TTE direktifinin Ülkemizdeki uyumlaştırılma çalışmaları neticesinde, TTTE' lere yönelik mevzuat olan Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Yönetmeliği (199/5/EC) hazırlanmıştır.

Yeni Yaklaşımın temel ilkesi mevzuat uyumunu kamu yararına olan temel gereklerle sınırlı tutmaktır. Bu gerekler, özellikle, kullanıcıların (genellikle tüketiciler ve işçiler) sağlık ve emniyetinin korunmasını temel amaç olarak almakta ve bazı durumlarda da malların veya çevrenin korunması gibi diğer temel gerekleri kapsamaktadır. Temel gerekler, yüksek bir koruma düzeyi sağlamak amacıyla hazırlanmakta olup, direktiflerde yer almaktadır. Üreticiler direktiflerde yer alan temel gereklerle cihazlarının uygunluğunu göstermek amacıyla uyumlaştırılmış standartları kullanmaktadır. Ayrıca, temel gerekler uyumlaştırılmış standartların bulunmaması veya üreticinin bunları uygulamayı seçmemesi durumunda Uygunluk Değerlendirmesi'ni<sup>3</sup> mümkün kılacak şekilde formüle edilmişlerdir [11, 12].

Uyumlaştırılmış standartlar; ülkelerin milli standartları arasındaki farklılıkların giderilmesi amacıyla, Avrupa Standardizasyon Kuruluşları tarafından kabul edilen, AB Komisyonu ve Avrupa Standardizasyon Kuruluşlarının üzerinde uzlaştıkları rehber ilkelere uygun olarak AB üyesi ülkelerin görüşleri doğrultusunda, AB Komisyonu tarafından yapılan görevlendirmeyi takiben hazırlanan Avrupa Standartları haline gelmiş olan ve genellikle Avrupa Normları (European Norm / EN) adı verilen normlardır [11, 13].

Bu kapsamda AB komisyonu, uyumlaştırılmış standartların hazırlanmasında 3 kuruluşu görevlendirmiştir. Bunlar;

- Avrupa Standartlar Komitesi (Comité Européen de Normalisation / CEN)
- Avrupa Elektroteknik Standartlar Komitesi (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique / CENELEC)
- Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute / ETSI) [14, 15].

ETSI ve CENELEC arasında Elektromanyetik Uyumluluk<sup>4</sup> (EMU/EMC-Electromagnetic Compatibility) standartlarının oluşturulması ile ilgili olarak aşağıdaki hususları içeren bir işbirliği anlaşması bulunmaktadır [16].

---

<sup>3</sup> Uygunluk değerlendirme: Ürünün, ilgili teknik düzenlemeye uygunluğunun test edilmesi, muayene edilmesi ve/veya belgelendirilmesine ilişkin her türlü faaliyettir.

<sup>4</sup> Elektronik sistem veya cihazların bulundukları elektromanyetik ortamda tasarlandıkları verim ile çalışmaları durumu.

- Telekomünikasyon terminal ekipmanları ile ilgili EMU standartları CENELEC tarafından oluşturulur.

- Telsiz ekipmanları ve sistemleri (Telsiz iletişim terminal ekipmanları dahil) ile ilgili EMU standartları ETSI tarafından oluşturulur.

89/336/EEC sayılı EMU direktifinde yer alan koruma gereklilikleri hakkındaki standartlara Telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanlarının, uygun olması gerekmektedir [5].

Bu direktif kapsamında, GSM (global system for mobile – küresel mobil sistem), DECT (digital enhanced cordless telephone - sayısal genişletilmiş kablosuz telefon) ve PSTN (public switched telephone network - kamu anahtarlama telefon şebekesi) telefon cihazlarına yönelik olarak, EMU standartları kapsamında yer alan yayınlara ilgili standartlar aşağıda yer almaktadır.

### **2.3.1. Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları İçin EMU Yayınlı Standardı**

İlgili standart EN 55022 standardıdır. CENELEC tarafından oluşturulmuştur. Bilgi teknolojisi cihazları için EMU temel yayınlı standardıdır.

Bu standardın amacı, kapsam dâhilinde yer alan cihazın radyo bozulma seviyesi için tekdüze kuralların tanımlanması, bozulma sınır değerlerinin düzeltilmesi, ölçme metodlarının tarifi ve çalışma şartları ve sonuçların yorumlanmasına dayanmaktadır.

Standart ana işlevi, veri ve haberleşme mesajlarının giriş, depolama, gösterme, geri elde etme, iletme, işleme, anahtarlama, kontrolü veya bunların bir kombinasyonu olan ve tipik olarak bilgi aktarımı için çalışan bir veya daha fazla terminal kapısı ile donatılabilen, beyan besleme gerilimi 600 V' u aşmayan cihazları kapsamaktadır.

Bu cihazlara, örnek olarak, telekomünikasyon terminal ekipmanları, veri işleme cihazları, büro makineleri, elektronik cihazlar verilebilir. Telsiz vericisi ve/veya alıcısı olan cihazlar bu standart kapsamında değildir.

Bu standartta, bilgi teknoloji cihazları A ve B sınıfı olmak üzere iki kategoride gösterilmektedir.

B sınıfında, bozulma sınır değerlerini karşılayan cihaz sınıfıdır. Ev ve benzeri ortamlarda kullanılmak için amaçlanmış olup, örnek olarak,

- Pillerle beslenen taşınabilir, sabit bir kullanım yeri olmayan cihazlar,
- Bir haberleşme şebekesi ile beslenen telekomünikasyon terminal cihazları,

- Kişisel bilgisayarlar ve yardımcı bağlantılı cihazlar, verilebilir.

A sınıfı, sınır değerlerini karşılayan ancak B sınıfı sınır değerlerini karşılamayan tüm diğer cihazlar için bir kategoridir. Ev ve benzeri ortamlarda A sınıfı cihazlar, kullanıcının uygun önlemler alması gerekebileceği radyo girişimine neden olabilmektedir [17, 18].

### **2.3.2. Telsiz İletişim Ekipmanları İçin EMU Yayınım Standartları**

ETSI, R&TTE Direktifine dayanarak EN 301 489 EMU standardını oluşturmuştur. EN 301 489 standardının birinci bölümü tüm telsiz cihazlarına yönelik olan genel gereklilikleri içermektedir. Daha sonraki bölümler mobil ve hava telsiz haberleşmesi, TV yayınları, uydu hizmetleri, tıbbi cihazlar, radar gibi çeşitli özellikli telsiz cihazları ve hizmetleri ile ilgili ilave gerekliliklerden oluşmaktadır. Deniz telsizleri ise ayrı olarak ele alınmaktadır.

Uluslararası Denizcilik Organizasyonu (International Marine Organization / IMO)'nun Denizde Can Güvenliği (Safety of Life at Sea / SOLAS) anlaşması kapsamında olan cihazların karşılaması gereken gereklilikler Deniz Ekipmanları Direktifi ve ETSI' nin EMU ile ilgili telsiz ve çevresel gereklilikleri bir arada içeren ilgili standartlarında yer almaktadır. Diğer deniz cihazları R&TTE Direktifi kapsamında yer almaktadır. Motorlu taşıtlarda kullanılan elektrikli ekipmanların (telekomünikasyon ekipmanları da dahil olmak üzere) otomobil EMU gerekliliklerini karşılamaları gerekmektedir. Motorlu taşıtlarda kullanılan telsiz iletişim ekipmanları ile ilgili gereklilikler EN 301 489 standart grubunda yer almaktadır [16, 19].

- EN 301489–1 Standardı:

EMU ve radyo spektrum konuları (ERM) - Radyo cihazı ve hizmetleri için EMU standardı olarak ifade edilmektedir.

Bu standart, Telsiz iletişim ekipmanları ve ilgili yardımcı ekipmanlarının ortak EMU gerekliliklerini içermektedir.

Standart cihaza özgü kısmı ile birlikte uygulanabilir EMU deneylerini, ölçüm metodlarını, radyo ve yardımcı ekipmanlar için limit ve performans kriterlerini açıklamaktadır.

Cihazlara özgü EMU deneylerini gerçekleştirebilmek için gerekli düzenlemeler ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi EN 301 489 serisinin cihaz türüne uygun kısımlarında detaylandırılmıştır.

Bu standart ile cihaza özgü kısım arasında farklılık olması halinde cihaza özgü kısımdaki hükümler önceliklidir [20].

- EN 301 489–7 Standardı:

EMU ve radyo spektrum konuları (ERM) - Radyo cihazı ve hizmetleri için EMU standardı; Sayısal hücreli radyo telekomünikasyon sistemlerinin (GSM ve DSC) mobil ve taşınabilir radyo ve yardımcı cihazlar için özel şartları olarak ifade edilmektedir [21].

Bu standart 301 489–1 ile birlikte, konuşma ve/veya veri gönderme ve alma yapabilen, sayısal hücreli radyo telekomünikasyon sisteminde çalışan, 1, 2. ve 2+ nesil GSM ve DCS sayısal hücreli mobil ve taşınabilir radyo ekipmanları ve ilgili yardımcı ekipmanlarının, EMU hususunda değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Standart, söz konusu cihazların uygulanabilir test ortamlarını, performans değerlendirme ve kriterlerini açıklamaktadır.

Bu standart ile 301–489–1 arasında farklılık olması halinde bu standart hükümleri önceliklidir.

Şebeke altyapısı içerisinde çalışan baz istasyonu ekipmanları (BTS BSS) bu standart kapsamı dışındadır. Ancak, standart sabit konumda AC şebekeye bağlı olarak kullanılması planlanan mobil ve taşınabilir ekipmanları da kapsamaktadır.

- EN 301 489–6 standardı:

EMU ve Radyo Spektrum Konuları (ERM) ; Radyo cihazı ve hizmetleri için EMU standardı, sayısal gelişmiş kablolu telefon (DECT) Cihazları İçin özel şartlar;

Bu standart, EN 301 489–1 ile birlikte DECT ekipmanları ve ilgili yardımcı ekipmanların EMU hususunda değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Standart DECT ekipmanları ve yardımcı ekipmanları için uygulanabilir test ortamlarını, performans değerlendirme ve kriterlerini açıklamaktadır.

Bu dokümanda kullanılan çevre sınıflandırma, yayılım ve bağışıklık gereklilikleri, bu dokümanda olanlar hariç 301 489–1’ de yer aldığı gibidir [22].

## **2.4. Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Kapsamındaki Cihazlar**

Telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanları, kullanılan iletişim yolları göz önüne alınarak, kablo şebekesi üzerinden ve radyo şebekesi üzerinden iletişim sağlayan cihazlar olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilir.

### 2.4.1. Kablo Şebekesi Üzerinden İletişim Sağlayan Cihazlar

#### 1) Kablolu telefon cihazları

- Görüntülü haberleşebilen kablolu telefon cihazları
  - Video/ses konferans cihazı
- Ses haberleşmesinde kullanılan telefon cihazları
  - Kablolu analog telefonlar
  - Ankesörlü telefonlar
  - IP tabanlı telefon ve diğer hizmetler ile ilgili cihazlar

#### 2) Veri iletebilen cihazlar

- Faks/modem cihazları
- POS terminal Cihazları
- ISDN modem cihazları
- Abone hatlarına irtibatlandırılmış güvenlik amaçlı alarm sistemleri
- Data terminal ara birim cihazları
  - Analog modem (150bps – 56000bps)
  - Base band kablo modem
  - Yüksek hızlı XDSL modem
  - Kablo TV modem
  - Elektrik hat adaptörü

#### 3) Kurumsal amaçlı lokal telefon santralleri

- PSTN abone santrali
- ISDN santrali

#### 4) Çağrı kayıt cihazları

- Ses izleme ve kayıt sistemleri
- Sesli yanıt cihazları

#### 5) Kapalı devre haberleşme cihazları

- Gemi dahili haberleşme sistemi
- Bina içi dahili haberleşme sistemi
- Araç içi dahili telefon sistemi
- Hastane çağrı cihazları

#### 6) Şebeke işletmecilerin altyapısında kullanılan cihazlar

- Tandem / Ara santrali

- Veri anahtarlama amaçlı kullanılan sistemler
  - ATM anahtar
  - IP yönlendirici
  - X.25 data santralleri
  - Ethernet bağlantılı cihazları (MetroEthernet)
  - LAN anahtarlama cihazı
- Analog ve dijital multipleks cihazları
  - FDM (Frequency Division Multiplexing)
  - TDM (Time-Division Multiplexing)
  - PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy)
  - SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
  - ADM (Add-Drop Multiplexer)
  - DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
  - DSLAM(Digital Subscriber Line Access Multiplexer)

#### **2.4.2. Radyo Frekansı Yoluyla İletişim Sağlayan Cihazlar**

##### **1) Kişisel kullanım amaçlı telsiz cihazları**

- GSM 2G / 3G / HSDPA(3,5G) telefon
- GSM terminal (FCT)
- GSM / GPRS / EDGE/ Modül
- GSM POS terminal
- DECT tablosuz telefon
- DECT repeater
- DECT kablosuz kulaklık
- Kablosuz klavye, kamera, mikrofon, kulaklık ve mouse cihazları
- Endüstriyel uzaktan kumanda cihazları
- Bluetooth özellikli cihazlar
  - Bluetooth kablosuz kulaklık
  - Bluetooth araç kiti
  - Bluetooth adaptör
  - Bluetooth özellikli diğer cihazlar

- RF barkod okuyucu cihazları
- Baby monitor, baby camera, baby phone cihazları
- UHF data modem cihazları
- Telemetry transceiver
- Kablosuz bina içi alarm ve güvenlik sistemleri
- Halk Bandı (CB) ve 49 MHz Alçak güçlü (100 miliwatt dan küçük) telsiz cihazları
- Yön bulucular
  - GPS alıcı cihazları
  - GPS chartplotter
- Uydu alıcı cihazları
- WLAN cihazları
  - Wireless access point
  - Wireless ethernet bridge
  - Wireless DSL modem/router
  - Wireless PC/PCI card
  - Wireless USB adapter
  - Wireless gateway
  - Wireless internet camera
  - Wireless bluetooth pocket PC
  - Wireless printer
  - Wirefon telefon
- Wimax özellikli cihazlar ( el terminali/ modem/anten vb.)

## 2) Deniz telsiz ve seyrüsefer telsiz cihazları

- VHF/FM (30-300MHz) DSC ( DSC: Digital Selective Calling) çağrı seçici deniz el telsizi,
- VHF/FM GMDSS(Global Maritime Distress and Safety System) tehlike ve emniyet deniz el telsizi,
- MF/HF SSB(300 KHz- 3 MHz / 3MHz-30MHz) (Single Side Band- ) telsiz cihazı,
- AIS (Automatic Idendity System- otomatik tanımlama sistemi),
- EPIRB acil konum belirleme cihazı( Emergency Position Radio Indication Beacons),
- SART arama kurtarma cihazı( 9 GHz) (Search And Rescue Transponder),

➤ INMARSAT B, C (INMARSAT:International Maritime Satellite Organization) terminal cihazı,

- GPS (Global Position System) konum belirleme cihazı,
- DGPS seyrüsefer cihazı, (Differential Global Position System),
- Navtex Receiver (518 KHz) (Navigational Telex) teleks cihazı,
- Facsimile Receiver,
- MF/HF DSC, çağrı seçici deniz el telsizi,
- DGPS/WAAS Navigator ( Wide Area Augmentation System),
- Weather fax,
- Deniz X ve S Band radar,
- X ve S band marine arpa radar,
- Radar transponder

3) Hava telsiz, seyrüsefer ve yer hizmetleri cihazları

- VHF/FM telsiz cihazı,
- VOR (VHF Omnidirectional Radio),açık menzilli telsiz sistemi,
- ILS aletli iniş sistem cihazı,(Instrument Landing System),
- DME mesafe ölçüm cihazı, (Distance Measurement Equipment),
- NDB yön belirleme cihazı,( Non Directional Radiobeacon),
- ADF otomatik yön bulma cihazı,(Automatic Direction Finder),
- GPWS yer bildirim sistemi(Ground Proximity Warning System),

4) Kara telsiz cihazları

- VHF/UHF-FM alıcı-verici kara telsiz cihazı,
- HF/ SSB kara telsiz cihazı,
- PMR alçak güçlü el telsiz cihazı,
- Amatör telsiz alıcı-verici cihazları,
- Sivil hava taşıtlarında kullanılmaya mahsus radar cihazları,

5) Şebeke işletmecilerin altyapısında kullanılan kablosuz cihazlar

- GSM baz istasyon,
- GSM repeater,
- Televizyon ve FM radyo verici cihazları,
- Radyolink cihazları,
- VSAT
- Uplink (SNG) cihazı,

- Euteltracs
- Inmarsat uydu telefon

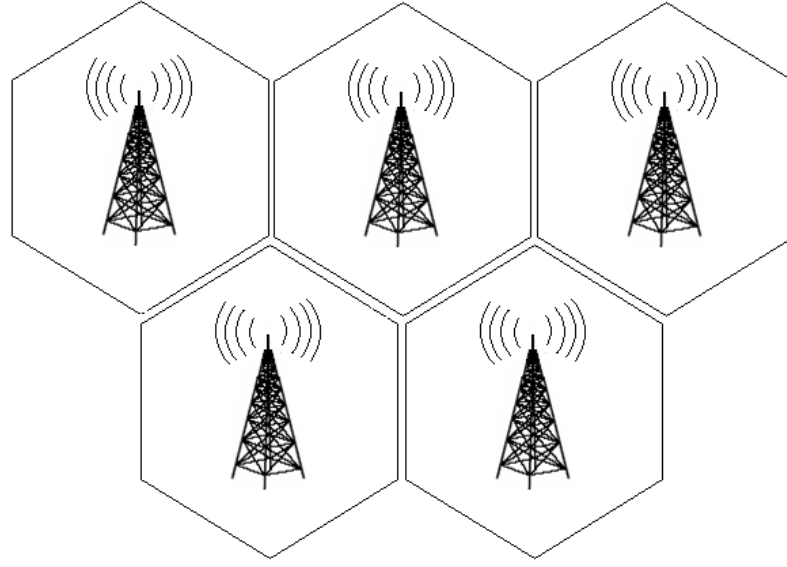
## **2.5. Çalışmada Kullanılan Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları**

Bu çalışmada, GSM mobil telefon, DECT kablosuz telefon ve PSTN kablolu telefon olmak üzere üç tip telsiz ve telekomünikasyon ve terminal ekipmanı incelenmiştir. Bu ekipmanlara ait tanıtıcı bilgiler aşağıda verilmiştir.

### **2.5.1. GSM Mobil (Hücreli) Telefon**

Mobil haberleşme şebeke sistemi, bir yerleşim yerinin küçük hücreli alanlara bölünerek aynı frekans bandlarının düşük güçte tekrar kullanılması esasına dayanır. Her bir hücreli alan, RF ekipmanın bulunduğu bir kuleden (baz istasyonu) oluşur. Baz istasyonları birbirlerine bir ağ yapısı şeklinde bağlıdır. (Şekil 2.1.) Tahsis edilen konuşma kanalları bu hücreler arasında paylaştırılmıştır.

Mobil haberleşme şebekesinin gelişim süreci 1, 2, 3, 4. nesil (1G, 2G, 3G, 4G) olarak isimlendirilmektedir. 1G analog özellikli bir şebekedir. Günümüzde kullanılan 2G' den itibaren şebekeler sayısal (dijital) şebekelerdir. HSCSD (High Speed Circuit Switched Data- saniyedeki hızı 32kb), GPRS (General Packet Radio Service-saniyedeki hızı 115kb) ve EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution- saniyedeki hızı 384 kb) sistemlerinin geliştirilmesi ile 2.5G teknolojisi kullanılmıştır. Geniş bantlı çoklu ortam servislerinin kullanımına imkân sağlayan yüksek hızda veri aktarımı sağlayan UMTS (Universal Mobile Telecommunications System-veri hızı 2Mb) sistemi ile 3G teknolojisi kullanılmıştır. Bu kapsamda söz konusu teknolojilerle uyumlu olan mobil telefonlar kullanılmaya başlanmıştır.



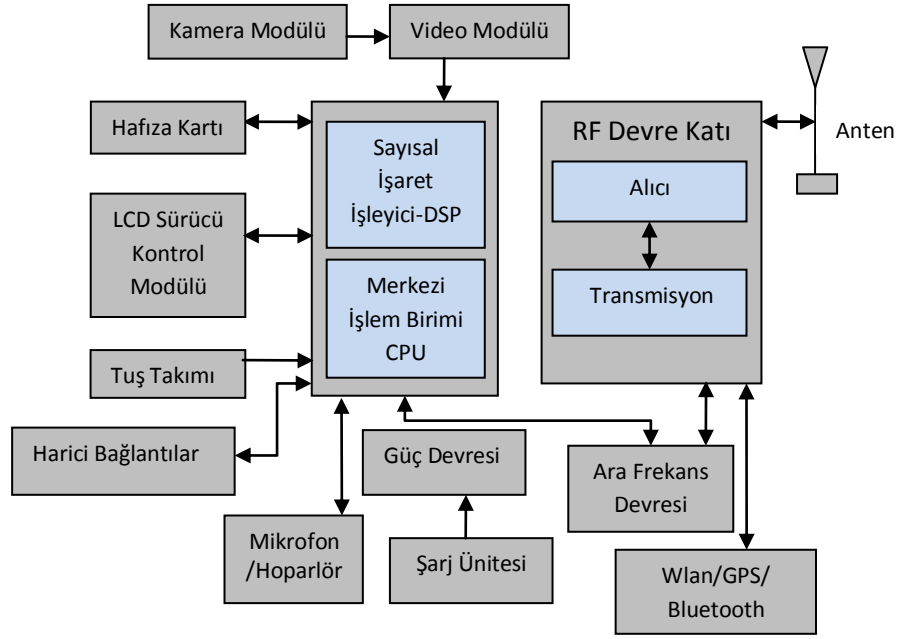
**Şekil 2.1.** Hücresel yapı.

GSM mobil telefonlar hücresel şebekenin haberleşme araçlarıdır. Şebeke özelliklerine göre belli miktarda çift yönlü haberleşme kanalları kullanırlar. Düşük çıkış güçlerine sahiptir [23].

Temel Özellikleri:

- İletişim yapıları hücresel şebeke mimarisinde oluşur.
- 2G (3G) erişim metodu TDMA (time division multiple Access-zaman bölmeli çoklu erişim) (CDMA)' dır.
- 2G şebekesinde 1 hücresel yapıda 168 konuşma kanalı bulunur.
- 2G şebekesinde mobil telefon da 168 konuşma kanalı bulunur.
- Mobil telefon çıkış gücü 0.6 W – 3 Watt arasında değişir.
- Konuşma kodlama hızı, 13 Kbps
- Çalışma frekansı, 2G için 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz ve 3G için 2100 MHz dir.
- Kanal aralığı, 200 KHz
- Veri hızı, >150 Kbps
- Hücre yarıçapı, 0,3–35 /0,1–15 km [24–26].

GSM mobil telefona ait blok diyagramı Şekil 2.2' de, resmi de Şekil 2.3' de verilmiştir.



Şekil 2.2. GSM telefon blok diyagramı [27]

Mobil Telefonların Devre Yapısı,

- Dijital sinyal işleme devreleri (ADC, DAC, sinyal kodlama vb.)
- RF devresi ve anten
- LCD ekran, tuş takımı
- Mikrofon, hoparlör ve batarya malzemelerinden oluşur.



Şekil 2.3. Tipik bir GSM mobil telefonu.

### 2.5.2. DECT Kablosuz Telefon

Telefon hattına bağılı, birbirleriyle elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla sayısal teknikler kullanılarak irtibatlı, sabit, portatif cihazlardan oluşan ve/veya hücresel yapı ile telefon santraline bağılı olarak bina veya kompleks dahilinde kullanılan sistemidir [28].

PSTN şebekesine bağılantılı bir analog telefon olması sebebiyle teknik özellikleri açısından kordonlu telefonla aynı özelliklere sahiptir. Ancak, kullanıcı telefon ahizesini kısa mesafeler içerisinde telefon ünitesine bağılı kalmadan serbestçe gezdirebilmesi sebebiyle, farklılık içermektedir. Ahize ünitesi RF haberleşme ile telefon ünitesine bağılıdır. Kullanıcının kontrol ve konuşma gibi tüm işlemleri aynı frekans bandı içerisinde gerçekleştirilir.

DECT' in uluslararası standartlaşmış olan çalışma frekansları, 900 MHz, 1880–1900 MHz, 1910-1930 MHz, 1920-1930 MHz, 2.4 GHz, 5.8 GHz dir. DECT standardı ETSI tarafından geliştirilmiştir. Bu standarda göre, Avrupa ve Ülkemiz frekans planlamasına göre DECT telefonlar, 1880–1900 MHz frekans bandı aralığında kullanılır [29, 30].

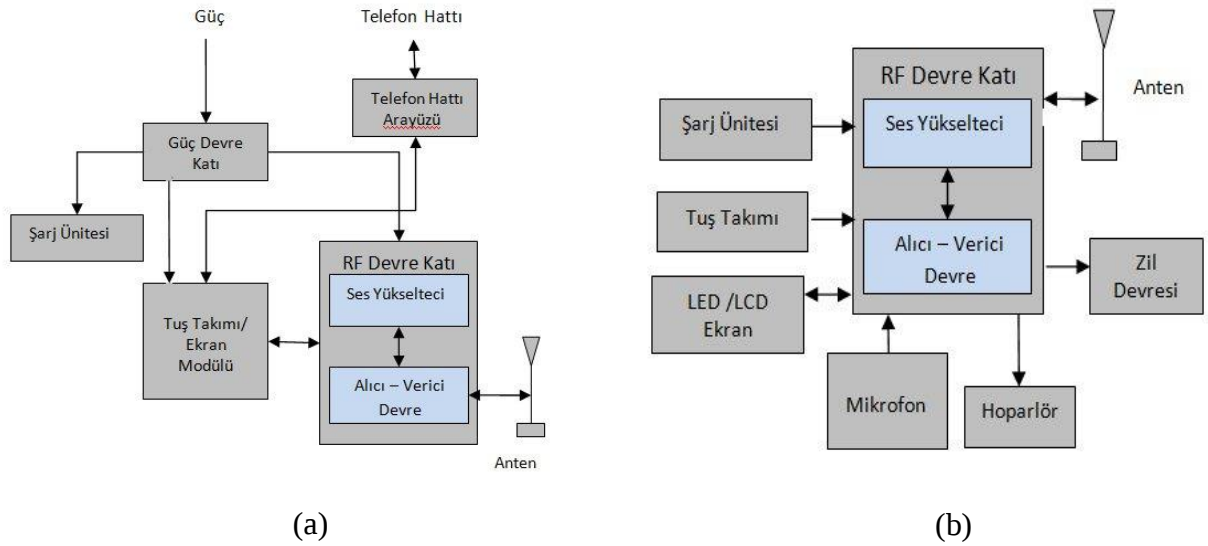
Tipik bir DECT telefon resmi Şekil 2.4' de verilmiştir.



Şekil 2.4. Tipik bir DECT telefonu.

DECT telefon, ahize (PP-portable part-hareketli kısım) ve telefon ünitesi (FP-Fixed Part-sabit kısım) olarak iki kısımdan oluşur. Telefon ünitesi, PSTN hat arayüz devresi, radyo frekans modülü ve güç ünitesinden oluşur. Ahize ünitesi, telefon ünitesi, Radyo

frekans modülü ve güç ünitesinden oluşur. Ahize ve telefon ünitesi kullanılan frekansta FM modülasyonu ve dubleks frekans çifti olarak iletişim kurarlar. Konuşma güvenliği için frekans atlamalı iletim frekans metodu kullanılır. Kanal adedi: 10–100 arasındadır. Şekil 2.5 (a) ve (b)’ de DECT telefon temel yapısı verilmiştir.



Şekil 2.5. (a) DECT telefon ünitesi blok diyagramı, (b) DECT ahize ünitesi blok diyagramı [31]

Temel özellikleri:

- Frekanslar, 1880–1900 MHz aralığı,
- Çoğullama yöntemi, TDMA Teknolojisi,
- Çerçeve uzunluğu, 10 ms
- 24 zaman bölmeli, ( 12 ‘si FP’ den PP’ ye, 12’ si PP’ den FP’ ye doğru iletim)
- Modülasyon tipi, GMSK, 4PSK, 8PSK, 16QAM ve 64QAM,
- Ortalama iletim gücü, 10mW (250mW-tepe) Avrupa- 4mW (100mW tepe) Amerika
- Kanal bant genişliği: 1728 KHz,
- Taşıyıcı sayısı: 10,
- Kullanıcı veri kanalı hızı: 32 Kbps trafik kanalı, 6.2 Kbps kontrol kanalı,
- Kanal iletim hızı, 1152 Kbps [32–34].

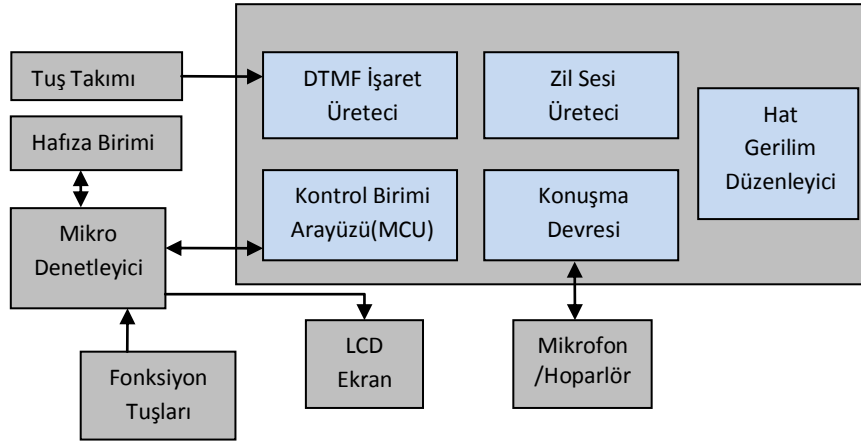
### 2.5.3. PSTN Kablolu Telefon

PSTN santral şebekelerine bağı olarak kullanılan analog haberleşme özelliğı olan kişisel haberleşme cihazıdır.

Devre elemanlarının yapısı:

- Mikrofon ve hoparlör,
- Hattı açma/kapama anahtarı,
- Numara çevirme amaçlı kullanılan tuş takımı,
- Arayanın olması durumunda ikaz amaçlı zil,
- Konuşma sesinin kulağı tekrar gelmemesi için bir bobin,
- Şebekeye bağlantı yapılabilmesi için 2 uçlu bakır tel.

PSTN kablolu telefona ait blok diyagramı Şekil 2.6' da, resmi de Şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.6. PSTN blok diyagramı [35]



Şekil 2.7. Tipik bir PSTN kablolu telefon.

Elektriksel değerleri:

- Bir telefon sükunet durumunda olduğu zaman, iki tel hat ucunda 50V DC voltajı ölçülür.
- Şebeke santralinden zil ikaz sinyali gönderildiğinde ise, iki tel hat ucunda 60 - 100V AC (25Hz) voltaj ölçülür.
- Telefon konuşma durumuna geldiğinde ise, iki tel hat ucunda 6 - 9V DC voltajı ölçülür.
- Telefon konuşma durumuna ses sinyali, DC gerilim üzerine bindirilerek santrale veya telefona gönderilir.
- Telefon konuşma durumuna ses sinyali, iki tel hat ucunda -10dBm – 0dBm AC voltaj oluşturur.
- Telefonun şebekeden çekeceği maksimum hat akım değeri 50mA DC olarak gerçekleşir.
- Telefonun ses iletim bant genişliği 200Hz – 3400Hz arasında gerçekleşir.
- Telefonun iki tel hat bağlantı kablosu genel olarak bakır kablodan oluşur ve 0.4mm çapındadır.
- Telefonun iki tel hat bağlantı konektörü RJ11 olarak isimlendirilir [36].

### 3. ELEKTROMANYETİK DALGA ÖRÜNTÜLERİ

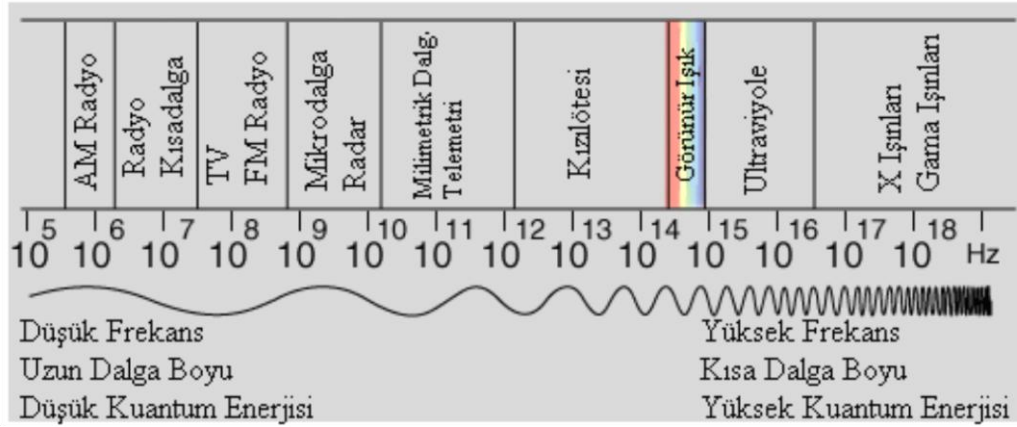
#### 3.1. Elektromanyetik Alan

Elektrik mühendisliğinde, alan kuramı ve devre kuramı olmak üzere iki temel kuram bulunmaktadır. Alan kuramı, elektrik ve manyetik alanlarla, devre kuramı da akım ve gerilimlerle ilgilenir. Her iki kuram birbirinden bağımsız değildir. Bir kuramdan diğerine eşdeğerlik kurmak ve böylece diğer kurama ait büyüklükleri elde etmek kolaydır. Bir elektrik problemi hem alan hem de devre kuramı ile çözülebilmektedir [37, 38].

Ele alınan bir problem, doğası gereği, kuramlardan birisine daha uygundur. Örnek olarak bir anten problemini ele alalım. Eğer ele alınan anten yapısının ışıma karakteristikleri çıkarılacaksa bu problem alan kuramına daha uygundur. Oysa aynı anten yapısının giriş empedansına da girişte devreden çektiği güç bulunmak istenirse devre kuramı daha uygun olur. Hangi kurama uygun düşerse düşsün, çözümün elde edilmesi hangi kuramda daha kolay ise o kuram kullanılabilir [38].

Alan ya da dalga kuramı iki bağımsız değişken olan, elektrik alan ve manyetik alanlar ile ifade edilir. Duran elektrik yükleri etrafında elektrik alan, hareketli yükler etrafında manyetik alan oluşur. Hareketli yükler zamanla değişiyorsa, hem elektrik hem de manyetik alan oluşur [38–40].

Elektromanyetik alanlar, temelde elektrik ve manyetik alanların birlikte oluşturduğu alanlardır. Elektromanyetik alanların çok geniş bir frekans aralığı mevcut olup birkaç yüz metre dalga boyuna sahip alçak frekanslı elektrik iletim hatlarından radyo ve görülebilir ışık frekanslarına, boyu bir metrenin trilyonda biri ile ifade edilecek kadar kısa dalga boyuna sahip çok yüksek frekanslı X ışınlarına kadar değişmektedir. Bu aralık Şekil 3.1’deki elektromanyetik spektrumda verilmektedir [41, 42].



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum diyagramı.

### 3.1.1. Elektromanyetik Alan Kaynakları

Elektromanyetik alan kaynakları; radyokomünikasyon alanında doğrudan RF sinyalleri üzerinden haberleşme sağlamak için kullanılan cihazlardan yayılan dalgalar ile birlikte, amacı ortama herhangi bir elektromanyetik dalga yaymak olmayan ancak işleyişi için gerekli enerjinin kullanımı nedeniyle oluşan ve cihaz dışına yayılması önlenemeyen istenmeyen dalgaları yayan tüm cihazları içine alan geniş bir tanım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elektrik ile çalışan tüm cihazlar çevrelerinde elektromanyetik alan ve etki oluştururlar. Bu etkiler “gürültü” veya “girişim” olarak ta ifade edilir. Elektromanyetik alan kaynakları hem doğal hem de suni kaynaklı olabilmektedir [43, 44].

#### 3.1.1.1. Doğal Kaynaklar

10 MHz altı doğal kaynakların çoğu elektrik fırtınaları tarafından oluşturulan atmosferik gürültüdür. 10 MHz üstünde ise öncelikli olarak doğal kaynaklar, yıldırım, kozmik gürültü ve güneşe ait radyasyonlardan oluşmaktadır. Atmosferik gürültü, 200 kHz’ de 5 dB $\mu$ V/m’ lik, 1 MHz’ de yaklaşık -15 dB $\mu$ V/m büyüklüğünde alan şiddeti oluşturmakta ve gece gündüz değişiklik göstermektedir [43–46].

Yıldırım ve darbesel karakterli atmosferik gürültüler birkaç Hz den başlayıp 100 MHz’ e varabilen spektral bileşenlere sahiptir.

Kozmik kaynaklar, solar sistemin dışındaki güneş ve gezegenler gibi gökyüzü kaynaklarından oluşmaktadır. 1 MHz- 30 GHz frekans aralığında gözlenebilir. Güneşteki

ışımadan dolayı iyonosferde oluşan değişiklikler, 2–30 MHz bandları içerisinde iyonosferik yansımanın değişmesine göre, radyo iletişimde ve 150–500 MHz bandları içerisinde yine iyonosferik yansımanın değişmesine göre, uydu haberleşmesinde problemler doğurmaktadır. Diğer kozmik kaynakların ışıması ise, geri planda kalır ve 100–1000 MHz aralığında oldukça önemli RF sinyalleri üretir, 10 MHz’de -5 dB $\mu$ V/m, 1GHz’de -12 dB $\mu$ V/m büyüklüğünde alan şiddeti oluşturur [45, 47].

### 3.1.1.2. Suni Kaynaklar

Suni gürültü kaynakları ise insan yapımı kaynaklar olarak ta tanımlanan, AM, FM, TV ve diğer yayın vericileri, mobil cihazlar, motorlar, elektronik gereçler, güç hatları, trafolar, radarlar ve bilgisayarlar gibi elektrikle çalışan veya elektronik kartlara sahip birçok cihazdır [43].

**İletim yollu girişim kaynakları:** İletilen girişim (etki) bir iletken veya metalik bir yol vasıtasıyla gerçekleşen girişim olarak tanımlanır. İletilen girişim yollarına kapasiteler, endüktanslar, dirençler, topraklama hatları ve transformatörler, akım taşıyan bir tel örnek olarak verilebilir.

İletim yollu girişim kaynakları, bir ark oluşumu sonucu deşarjı, bir iletkenin akan akımın ani değişimine bağlı bir gürültü veya istenerek yapılan sinüs veya kare dalga osilatörünün çıkışı gibi bir fonksiyonel kaynak, ya da anahtarlar, ısıtma soğutma ve gerilim kontrol devreleri gibi fonksiyonel olmayan kaynaklar olabilirler [45].

**İşınım yollu girişim kaynakları:** İşınım yollu girişim, elektromanyetik alan vasıtasıyla bir ortam üzerinden transfer edilen elektromanyetik enerjiye karşılık gelir. İşınım yollu girişime bağlı olarak, yakın çevredeki bir cihazın performansında azalma olup olmayacağı, enerji yoğunluğuna, ortam kayıplarına, yayılan enerjinin frekans/güç karakteristiklerinden diğer cihazın etkilenme derecesi gibi faktörlere bağlıdır. Yansımalarından dolayı belli bir kaynağın bir bölgede oluşturduğu enerji yoğunluğu kolayca tahmin edilemeyeceğinden, ışımsal girişimi teşhis etmek zor olabilir.

Elektromanyetik ısıma cihazlardan değişik yollarla sızabilir. Işıma, elektrik ve manyetik alanı yeterli derecede zayıflatamayan muhafaza, yani ekrandaki süreksizlikler veya yetersiz topraklanmadan dolayı olabilir. Örgülü kablolar üzerindeki kaçaklar ve konektörlerde

potansiyel ışınm kaynaklarıdır. Bazı Işınım yollu girişim kaynakları Tablo 3.1’ de özet olarak verilmiştir [45].

**Tablo 3.1.** Işınım yollu girişim kaynakları.

| Kaynak                                    | Frekans Spektrumu              |
|-------------------------------------------|--------------------------------|
| Dengesiz Devre                            | 15kHz-400 MHz                  |
| Harmonik Üreteci                          | 30MHz- 1 GHz                   |
| Isıtıcı Termal Anahtarı ve<br>Kontak arkı | 30 kHz-300kHz<br>20MHz- 200MHz |
| Motor                                     | 10kHz-400kHz                   |
| Anahtar Arkı                              | 30MHz-200MHz                   |
| Çoklayıcı katı hal anahtarlama            | 300kHz- 500kHz                 |
| Transfer anahtar bobin gecikmesi          | 15kHz-150kHz                   |
| Transfer anahtar kontak arkı              | 20MHz-400MHz                   |
| DC Güç kaynağı anahtarlama Devresi        | 100kHz-30MHz                   |
| Yazma Magnetleri                          | 1MHz-3MHz                      |
| Güç Kontrol Elemanları                    | 30MHz-1GHz                     |

### 3.2. Elektromanyetik Kavramlar

Alan kuramındaki elektrik alan ve manyetik alan vektör boyutundadır. Hem şiddetleri hem de yönleri vardır. Skaler olarak değeri elektrik alan şiddetini vermektedir. Bir elektrik alandan bahsedildiğinde hem şiddeti hem de yönü belirtilmelidir. Ortamda bulunan yüke uygulanan kuvvet şeklinde de açıklanan elektrik alanı için,

$$\vec{E} = \frac{1}{q} x \vec{F} \quad (3.1)$$

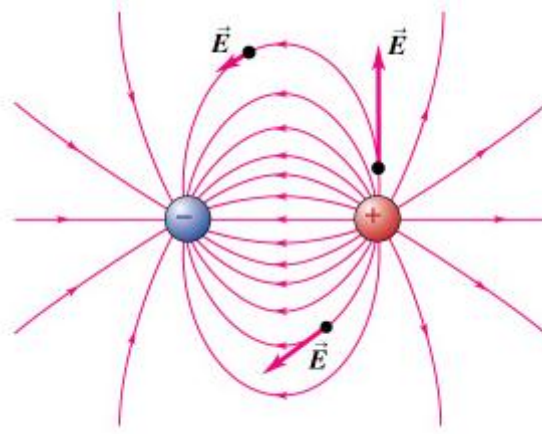
3.1’ deki formül verilir. Burada;

$E$  : Elektrik alanı (Volt/metre-V/m),

$q$  : Birim elektrik yükü (Coulomb-C)

$F$  : Etki eden kuvvet (Newton/metre-N/m) olarak tanımlanır [48–50].

Bu kuvvetin yönü artı yükten eksi yüke doğrudur. Elektrik alanlar yönlü oklarla gösterilir. Elektrik alan çizgileri yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğrudur. Elektrik alan vektörü (Şekil 3.2), elektrik alan çizgilerini oluşturur. Alan çizgileri birbirini kesmezler [51].



Şekil 3.2. Elektrik alan vektör çizgileri [52]

Manyetik alan, hareket halindeki yükler tarafından oluşturulur. Oluşan bu alan hareket halindeki yüklere kuvvet uygular. Burada tek şart yüklerin hareketli olmasıdır. Elektrik alanı gibi vektörel boyuttadır. Bir noktada  $\vec{V}$  hızıyla hareket eden bir  $q$  yükünde  $\vec{F}$  kuvvetini oluşturan alan vektörüdür ve formülü,

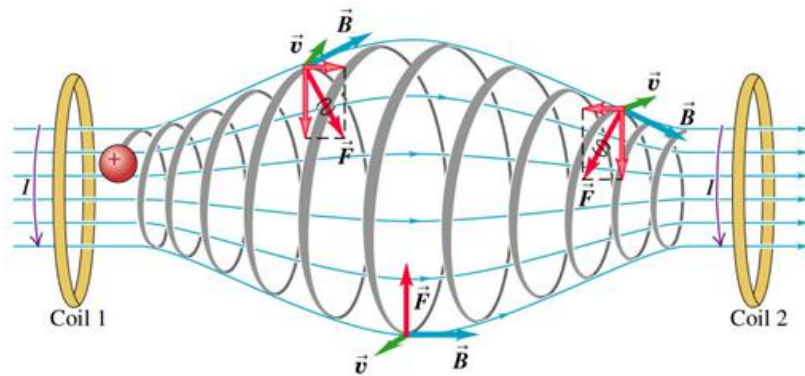
$$\vec{F} = q(\vec{V} \times \vec{B}) \quad (3.2)$$

şeklinde olur. Burada,

$B$  : Manyetik akı yoğunluğu (Weber/m<sup>2</sup>=Tesla)

$V$  : Hız (metre/saniye - m/sn) olarak tanımlanır.

Manyetik alan vektörünün yönü, yüklerin hareket yönüne diktir. Manyetik alan çizgileri kendi üstüne doğrudur. Akım geçiren her madde manyetik alan oluşturur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Manyetik alan [53]

$\sigma$  : Ortamın iletkenliği (Siemens/metre-S/m)

$j$  : Yüzey akım yoğunluğu (Amper/metrekare-A/m<sup>2</sup>)

$\mathcal{E}$  : Ortamın dielektrik geçirgenliği (Farad/metre-F/m)

$D$  : Elektrik akı yoğunluğu (Coulomb/metrekare-C/m<sup>2</sup>)

$\mu$  : Ortamın manyetik geçirgenliği (Henry/metre-H/m)

$H$  : Manyetik alan şiddeti (Amper/metre- A/m)

olmak üzere, elektrik ve manyetik alan büyüklükleri ile homojen ortam büyüklükleri arasında da bağlantılar vardır. Buna göre,  $\sigma$  İletkenlik,  $j$  yüzey akım yoğunluğunun,  $E$ , elektrik alan şiddetine oranıdır ve metre(m) başına, S (Siemens) birimi ile ölçülür.

$$\sigma = \frac{j}{E} \quad (\text{S /m}) \quad (3.3)$$

$\mathcal{E}$  Dielektrik katsayısı,  $D$  elektrik akı yoğunluğunun elektrik alana bölünmesiyle elde edilir.

$$\mathcal{E} = \frac{D}{E} \quad (\text{F/m}) \quad (3.4)$$

$\mu$  manyetik geçirgenlik,  $B$  manyetik akı yoğunluğunun(Tesla),  $H$  manyetik alan şiddetine (A/m) oranıdır. Buradan,

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (\text{Henry/m}) \quad (3.5)$$

denklemleri elde edilir.

$\mathcal{E}_r$  : Bağlı dielektrik geçirgenliği(F/m)

$\mathcal{E}_0$  : Boşluğun dielektrik geçirgenliği (F/m)

$\mu_r$  : Bağlı manyetik geçirgenliği (H/m)

$\mu_0$  : Boşluğun manyetik geçirgenliği (H/m) (Boşluk için  $\mu_0=4\pi 10^{-7}$  H/m) olmak üzere,

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_r \mathcal{E}_0 \quad (3.6)$$

ve,

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (3.7)$$

olur [48, 50, 54].

Elektromanyetik açıdan bir ortam,  $\sigma, \epsilon, \mu$  parametreleri ile belirlenirler. Genel olarak bir ortamda bulunan malzemeler elektriksel olarak değişik gruplara da ayrılır. Bunlara göz atacak olursak;

**İletken malzemeler:**  $\sigma \neq 0, \mu = \mu_0$  için, iletken malzemeler yapılarında serbest hareket edebilen elektronları bulundurlar. İletken grubu malzemeler elektromanyetik etkileşime duyarlı olduklarından EMU için ayrı bir öneme sahiptirler.

**Yalıtkan malzemeler:**  $\sigma = 0, \mu = \mu_0$  için, yalıtkan malzemeler yapılarında serbestçe hareket edebilen elektronları bulundurmazlar ve elektromanyetik ortam içerisinde pasif yapılar olarak yer alırlar.

**Kayıplı malzemeler:**  $\sigma \neq 0, \sigma \neq \infty, \mu = \mu_0$  için, içlerinde sınırlı oranda serbest elektronu bulunan malzemelerdir. Bu tip malzemeler için EMU önemlidir.

**Manyetik malzemeler:**  $\mu \neq \mu_0$  için, manyetik alanı iyi bir şekilde yönlendirme özelliğine sahip olan bu tip malzemeler için EMU önemlidir. Elektromanyetik dalgalar, Maxwell denklemleri ile ifade edilir. Zamanla değişim gösteren bir akım kaynağı tarafından üretildiğinde, yapacağı etki kaynağın çevresine ışık hızı ile yayılır. Boşlukta ışık hızı ( $c=3.10^8$  m/s) ile ilerleyen bir dalganın değişim yapısı ilerlediği yönde belirli aralıklar ile kendisini tekrarlar. Bu tekrarlamaya mesafesi EM dalganın dalga boyu ( $\lambda$ ) olarak adlandırılır.

**Dalga empedansı:** Elektromanyetik dalgalar karmaşık yapılardan yayılım yapılarında çıkış kaynaklarından uzaklaştıkça küresel ve düzlemsel dalgalara dönüşmektedirler. Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine, ortam parametreleri ile tanımlı olan Z dalga empedansı ile bağlıdır. Bu değer kaynaktan yeterince uzakta,

$$Z_0 = \frac{E}{H} = 377\Omega \quad (3.8)$$

olup, boşluk dalga empedansı olarak ifade edilir. Karmaşık yapılardan yayılmalarına karşın elektromanyetik dalgalar kaynaklarını saran bir küre üzerinde her yöne, kaynağın yapısına göre, değişik şiddetlerde yayılırlar. Kaynaktan uzaklaştıkça enerjilerini daha geniş bir yüzeye yayarak etkilerini azaltırlar. Bu etkilerinin azalması küresel dalga zayıflaması olarak isimlendirilir. R yarıçaplı bir kürenin yüzey alanı  $4\pi R^2$  olduğuna göre, zayıflama mesafenin karesi ile azalır. Bu nedenle Elektromanyetik etkilerden korunmanın en basit ve etkili yolu kaynak ile olan mesafeyi arttırmaktır. Zayıflamanın mertebesi mesafe ve kaynağın frekansı ile de orantılıdır.

**Dalga polarizasyonu:** Düzlem dalga yayılımında elektrik alanının bir noktadaki zamanla değişen davranışı olarak isimlendirilir. Diğer bir ifadeyle elektrik alan vektörünün zamanla çizdiği şekle dalga polarizasyonu denir. Lineer polarizasyon ve eliptik polarizasyon başlıca Polarizasyon biçimleridir. Lineer polarizasyonun, yatay ve düşey polarizasyon olmak üzere iki özel şekli vardır. Elektrik alan vektörü dalga ilerlediği sürece yeryüzüne dik ise düşey polarizasyon, paralel ise yatay polarizasyon denir. Televizyon ve FM (frekans modülasyon) dalga yayınları çoğunlukla yatay polarizasyonlu iken, AM (genlik modülasyonlu) radyo yayınları, kara ve deniz uzak mesafe haberleşmeleri genelde düşey polarizasyonlu dalgalarla sağlanır. Eliptik polarizasyonun bir özel hali dairesel polarizasyondur.

**Güç yoğunluğu:** Elektromanyetik dalga, kendi etkisine kaynaklık eden enerjisini, elektrik ve manyetik alanı yardımı ile taşır. Elektrik alan ile manyetik alanın çarpımı güç yoğunluğu (P) boyutundadır. Poynting vektörü olarak da isimlendirilir. Diğer bir ifadeyle, bir elektromanyetik dalganın birim yüzeye birim zamanda taşıdığı enerji veya yüzeysel güç yoğunluğu poynting vektörü ile tanımlanır. Özellikle, düzlem dalga için,

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \text{ (Watt/m}^2\text{)} \quad (3.9)$$

3.9. eşitliği verilir. Poynting vektörünün yönü, dalganın ilerleme yönünü başka bir ifadeyle enerjisini taşıdığı yönü gösterir. Elektrik alan, manyetik alan ve poynting vektörü aralarında sağ el kuralı ile bağlıdırlar. Başparmak, diğer dört parmağa dik olacak şekilde avuç açıldığında; başparmak elektrik alanı, dört parmak yönü manyetik alanı avuç içine dik doğrultu ise dalga yayılım yönünü gösterir.

**Düzlem dalga:** Düzlem dalga yayılımı, kaynaklardan yeterince uzakta, elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirine, dalga yayılım yönü de her iki bileşene dik olması olarak ifade edilir. Dalga yayılım yönü  $\vec{k}$  vektörü ile gösterilir. Düzlem dalgalar, boş uzayda ışık hızında hareket etmektedir. Diğer ortamlardaki hız, maddenin dielektrik ve manyetik geçirgenlik değerlerine bağlıdır. Düzlem dalgalarda da 3.8 denklemi geçerlidir. Gerçekte üç boyutlu uzayda bir noktasal kaynaktan yayılan elektromanyetik dalgalar küresel yayılırlar. Kaynaktan yeterince uzakta söz konusu küre üzerinde bir noktada küresel yayılım yüzeyi yerine düzlemsel bir yüzey kullanılabilir. Bu bir yaklaşıktır ve kaynaktan yeterince uzakta oldukça iyi sonuç verebilmektedir.

**Deri kalınlığı:** Elektromanyetik dalgaların iletken cisimlere nüfuz etmedikleri kabul edilir. Ancak mükemmel olmayan iletken cisimlere bir miktar nüfuz edebilirler. Elektromanyetik dalgalar iletken ortam içerisinde ilerledikçe genlikleri üstel olarak azalır. Bu zayıflamanın hızı frekans ve iletkenlik ile orantılıdır. Elektromanyetik dalganın genliğinin (şiddetinin)  $1/e$  'ye düştüğü nüfuz etme derinliği (penetration depth), deri kalınlığı olarak adlandırılır ve  $\delta$  ile gösterilir.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad (\text{m}) \quad (3.10)$$

denklemi ile  $\omega = 2\pi f$  olmak üzere;

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{f\sigma\mu\pi}} \quad (\text{m}) \quad (3.11)$$

denklemi ile verilir. Burada;

$\delta$  : Deri kalınlığı (m)

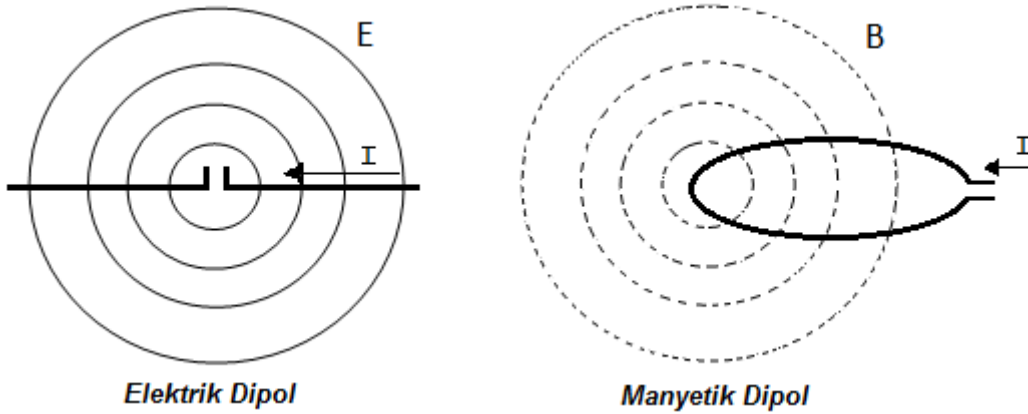
$\omega$  : Açısız hız (Radyan/sn)

$f$  : Frekans (Hz)

**Dalga yayılım modları:** Genelde elektromanyetik dalgalar, bulundukları ortamda fiziksel yapı ile belirli üç temel değişim gösterecek şekilde yayılırlar. Bunlar,

- TE modu dalgalar: Enine elektrik dalgalarıdır. İlerleme yönünde elektrik alan içermez. Kılavuzlanmış yapılarda gözlemlenir.
- TM modu dalgalar: Enine manyetik dalgalarıdır. İlerleme yönünde manyetik alan içermez. Kılavuzlanmış yapılarda gözlemlenir.
- TEM modu dalgalar: Enine elektrik ve manyetik dalgalarıdır. İlerleme yönünde elektrik ve manyetik alan içermez. Serbest uzayda gözlemlenir [40, 48, 50].

**Elektrik ve manyetik dipoller:** Bütün EMU problemlerinin arkasında iki temel elektriksel kaynak bulunmaktadır. Bunlar elektrik dipolü ve manyetik dipolüdür. Şekil 3.4’ de bu iki dipol ve oluşturdıkları alanların baskın bileşenleri gösterilmiştir. Elektrik dipolü birbirine çok yakın iki zıt yük (ya da eşdeğer olarak içinden akım akan çok küçük doğrusal bir iletken) ile oluşur. Elektrik dipolü etrafında elektromanyetik alanlar oluşturur. Elektrik dipolünün yakın civarındaki elektromanyetik alanların baskın bileşeni elektrik alanıdır. Elektrik alanının manyetik alana göre şiddeti çok daha yüksektir.

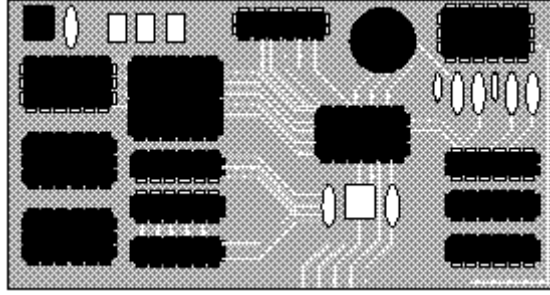


Şekil 3.4. Temel elektrik alan ve manyetik alan kaynakları.

Manyetik dipol ise içinden akım akan halka şeklindeki yapılara verilen isimdir. Manyetik dipollerin de etrafında elektrik ve manyetik alanlar oluşur. Elektrik dipolün aksine, manyetik dipolün yakın civarında şiddet olarak manyetik alan bileşeni (diğerine göre ) çok güçlüdür [38, 50].

**EMU dipolleri:** EMU problemlerinde elektrik ve manyetik dipol olayı çok önem arz etmektedir. İstenmeyen elektromanyetik sızıntıların tamamı, elektriksel dipol gibi ya da manyetik dipol gibi davranan bir nesnelerden meydana gelmektedir. İstenmeyen EMI

(Electromagnetic Interference-Elektromanyetik Girişim) kaynağının elektrik dipol mü yoksa manyetik dipol mü olduğu alınacak EMU önlemleri açısından da belirleyicidir. Etrafımızda kullandığımız cihazların neden olabilecekleri EMI sızıntı miktarları hakkında fikir verebilmek amacıyla örnek olarak Şekil 3.5’ de gösterilen tipik bir baskı devrede meydana gelen elektromanyetik sızıntıyı inceleyelim.



Şekil 3.5. Tipik bir baskı devre.

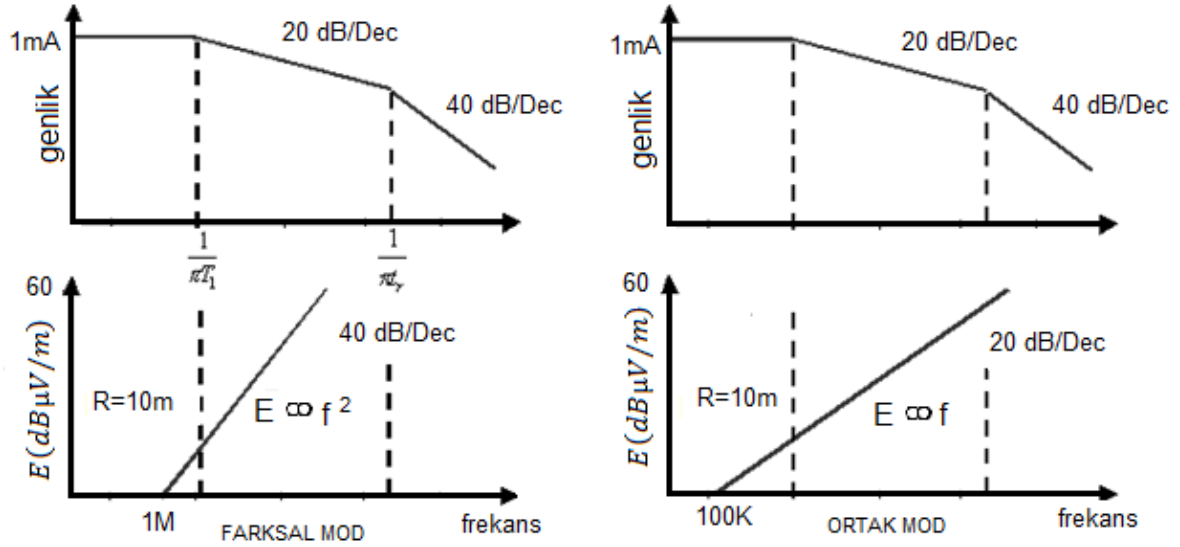
Boyu 10 cm olan bir tel parçasından  $1\mu\text{A}$ ,  $0,5 \times 5$  cm olan kapalı bir devreden 1 mA’ lik akım geçirilmesi durumunda biri elektrik diğeri manyetik dipol gibi davranan iki iletkenin 3 m ileride neden oldukları elektromanyetik sızıntının değişik frekanslardaki değerleri tablo 3.2’ de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Elektrik ve manyetik dipol sızıntı değerleri [38]

| FREKANS<br>(MHz) | ELEKTRİK DİPOL<br>(dB $\mu\text{V/m}$ ) | MANYETİK DİPOL<br>(dB $\mu\text{V/m}$ ) |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 30               | 16                                      | 6                                       |
| 50               | 20                                      | 15                                      |
| 100              | 26                                      | 27                                      |
| 200              | 32                                      | 39                                      |
| 300              | 36                                      | 46                                      |

Tablo 3.2 incelendiğinde, 10 cm uzunluğundaki bir tel parçasından  $1\mu\text{A}$  gibi düşük değerli bir akımın akması bile birkaç dB $\mu\text{V/m}$ ’ lik sızıntı elektrik alanlarına neden olabilmektedir. Ya da  $0,5 \times 5$  cm ebadında küçük bir kapalı çevreden 1 mA değerinde bir akım akması da benzer etkileri yaratabilmektedir. Standartlar cihazların bu frekanslardaki izin verilen en yüksek EMI değerlerini 40–60 dB $\mu\text{V/m}$ ’ ler seviyesinde belirlemektedir. Tablo 3.2’ de verilen değerlerin standartların belirlediği limitlere yaklaştığı ya da bazı frekanslarda aşabildiği görülmektedir.

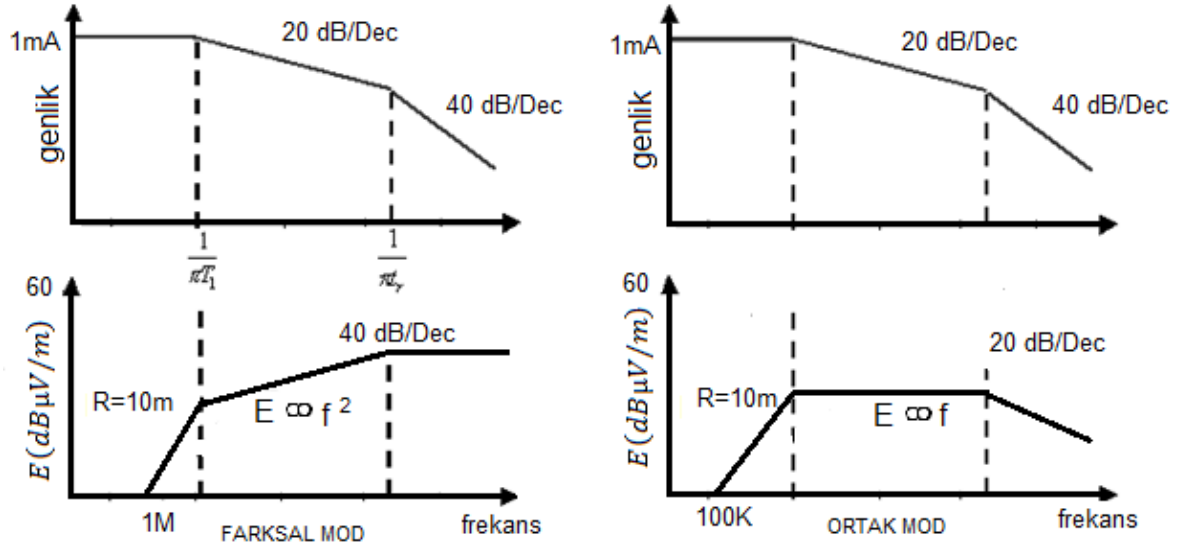
Şekil 3.6’ da elektrik ve manyetik dipol (yani sırasıyla ortak ve farksal akım) durumunda EMU spektrumunun nasıl etkilendiği gösterilmiştir [38, 50].



Şekil 3.6. Farksal (diferansiyel) ve ortak mod ışıma spektrumları [50]

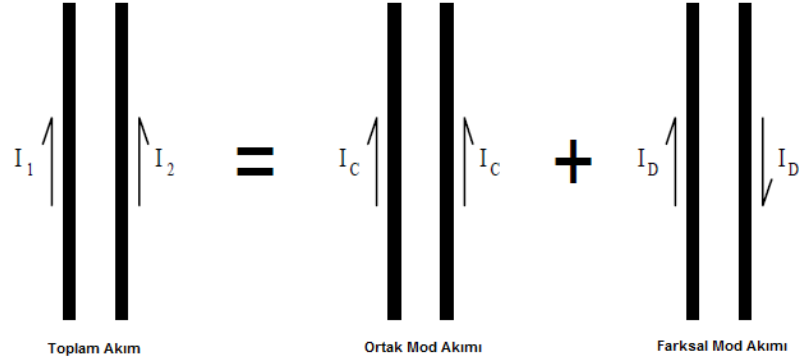
Şekil 3.6’ da verilen örnek  $0.1 \text{ m}^2$ ’ lik bir çevrimden 10 MHz frekansında ve yükselme zamanı 1ns olan 1mA’ lik akım akması durumu ile aynı frekansta aynı akımın 10 cm’ lik bir iletken den akması durumunu karşılaştırmaktadır. Üstte, işaretin frekans spektrumu gösterilmiştir. Altta ise (solda) farksal mod ve (sağda) ortak mod akımlarının yarattığı elektromanyetik etkinin elektrik alanının frekansla değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, kaynaktan 10 m ötede farksal mod etkiler frekansla karesel, ortak mod etkiler ise, frekansla doğrusal artmaktadır. Şekil 3.7’ de ise eşdeğer spektrum gösterilmiştir. Bu şekilden:

- 1- Manyetik dipol kaynakların (farksal mod akımlarının) yüksek frekanslarda baskın olduğu,
- 2- Elektrik dipol kaynakların (ortak mod akımlarının) alçak frekanslarda baskın olduğu açıkça görülmektedir [50].



Şekil 3.7. Farksal ve ortak eşdeğer spektrumları [50]

Paralel iletkenler üzerindeki akım, farksal ve ortak mod akımlarından oluşabilmektedir. İletkenler üzerindeki farksal mod akımlarının büyüklükleri eşit ve zıt yönlü, ortak mod akımlarının büyüklükleri ise eşit ve aynı yönlüdür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Farksal ve ortak mod akımları [56]

Buradan, paralel iletkenlerdeki  $I_1$  ve  $I_2$  akımları için,

$$I_1 = I_C + I_D \quad (3.12)$$

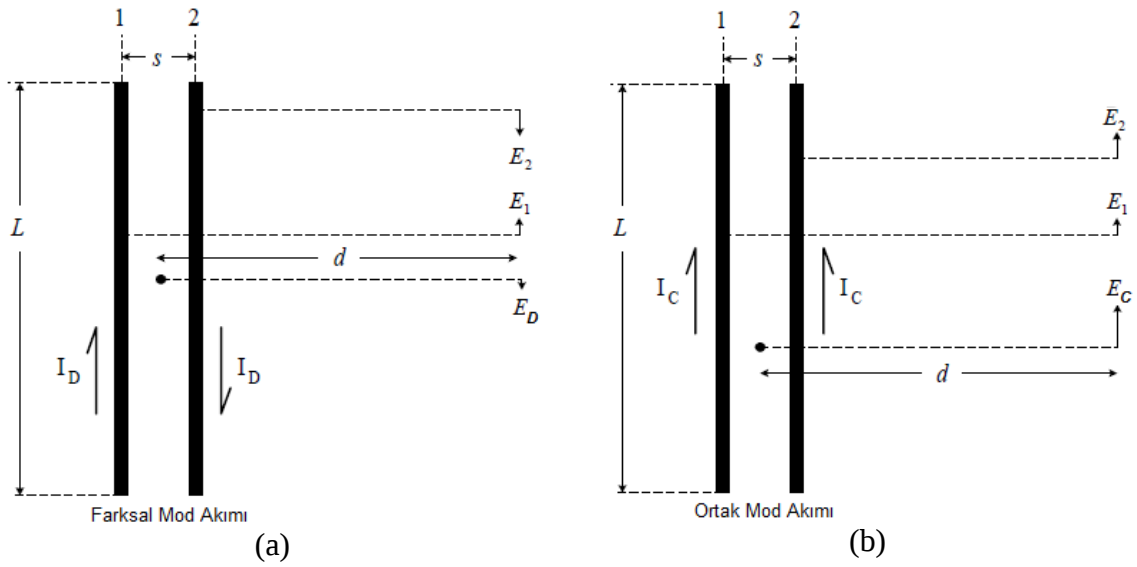
$$I_2 = I_C - I_D \quad (3.13)$$

denklemleri elde edilir.  $I_D$ , Farksal ve ortak mod akımları için,

$$I_D = \frac{I_1 - I_2}{2} \quad (3.14)$$

$$I_C = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (3.15)$$

denklemleri elde edilir.  $I_D$ , farksal mod akımı, akımlar arasındaki fark nedeniyle küçük bir elektrik alanı üretir.  $I_C$ , ortak mod akımı ise akımların toplamından oluştuğu için büyük bir elektrik alanı oluşturur. Bu durum Şekil 3.9' da gösterilmektedir.

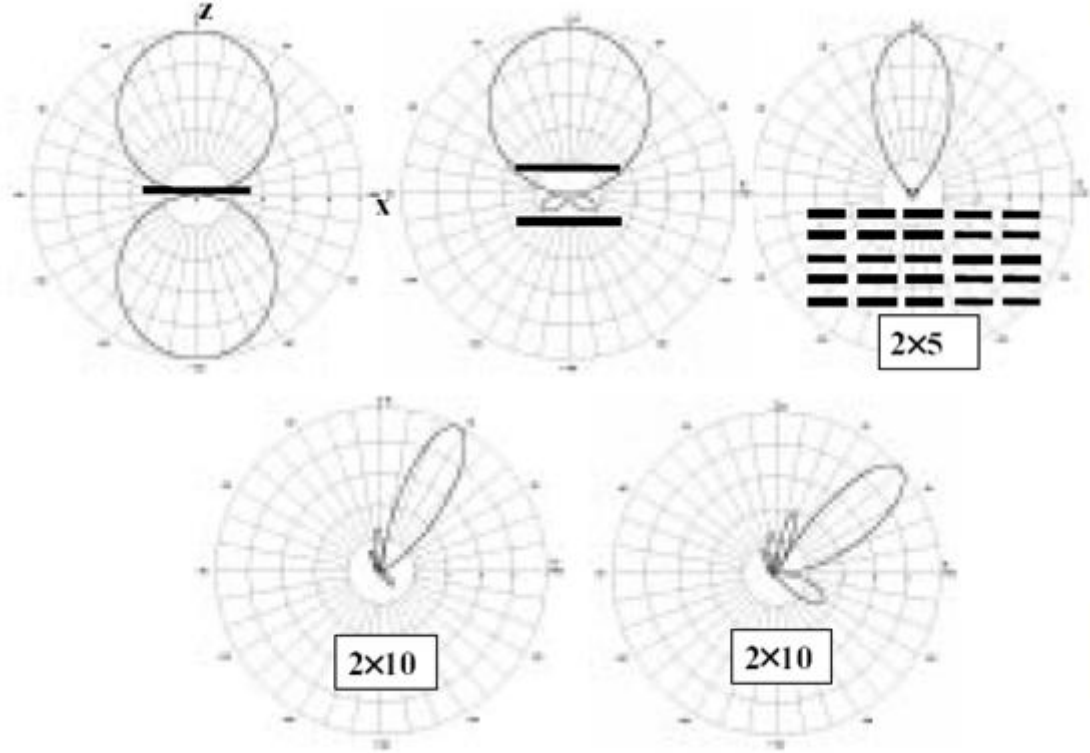


**Şekil 3.9.** Farksal (a) ve ortak mod (b) akımlarına göre elektrik alan dağılımı [56]

1 numaralı iletken üzerindeki akımlardan dolayı  $E_1$  elektrik alan bileşeni, ortak mod ve farksal mod akımları olarak tanımlanır. Bu elektrik alanı, paralel iletkenler olarak aynı düzlem içinde bir nokta olarak gözlenmektedir. 2 numaralı iletken gözlenen noktaya daha yakındır. 2 numaralı iletken üzerindeki akımlardan dolayı  $E_2$ , elektrik alanı büyüklüğü, daha büyüktür.  $E_2$  alanı, ortak mod akımlarından dolayı  $E_1$  alanı ile aynı yönde, farksal mod akımlarından dolayı da  $E_1$  alanı ile zıt yöndedir. Bu nedenle,  $d$  mesafesi,  $s$  iletkenler arası mesafeden daha büyüktür. Toplam elektrik alan, farksal mod akımlarından dolayı ihmal edilebilir iken, ortak mod akımlarından dolayı toplam elektrik alanı oldukça büyük olur [55, 56].

Akım taşıyan iletkenler üzerindeki farksal ve ortak mod akımları, özellikle bu tezin sonra ki bölümlerinde detaylı olarak ele alınacak olan ısınımla yayılım olayı için büyük önem arz etmektedir.

**Anten etkisi:** Anten kavramlarını ve etkilerini göstermek üzere iki tipik şekil verilmiştir. Şekil 3.10’ da XY düzlemine yerleştirilmiş bir çerçeve antenin tek, ikili ve 2x5 ile 2x10 elemanlı dizi davranışları gösterilmiştir. Işıma diyagramları anten kesitine dik XZ düzleminde verilmiştir.

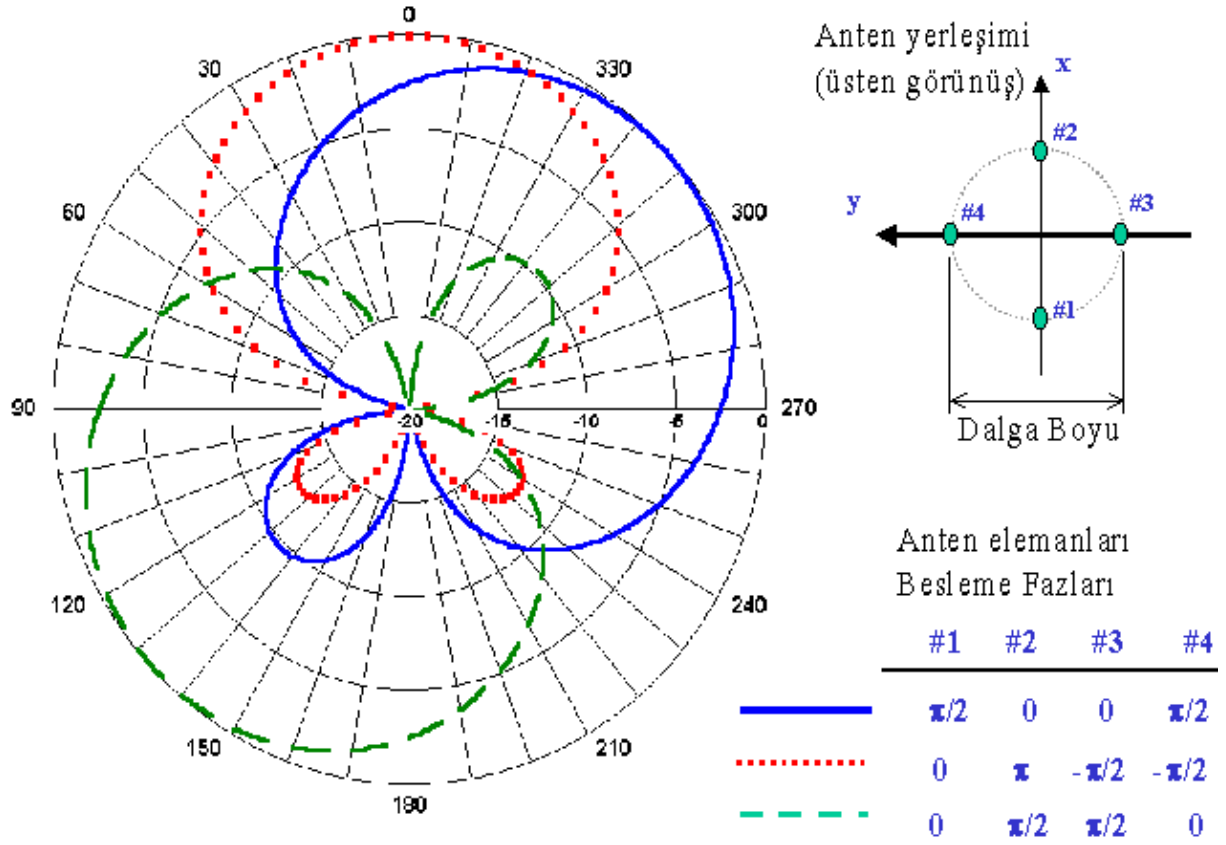


**Şekil 3.10.** Çerçeve anten ve dizilerinin ışıma diyagramları [50]

Çerçeve antene ait bir örnek olmasına karşın genel anten ve dizi karakteristiklerini de yansıtan bu şekil hakkında şunlar söylenebilir:

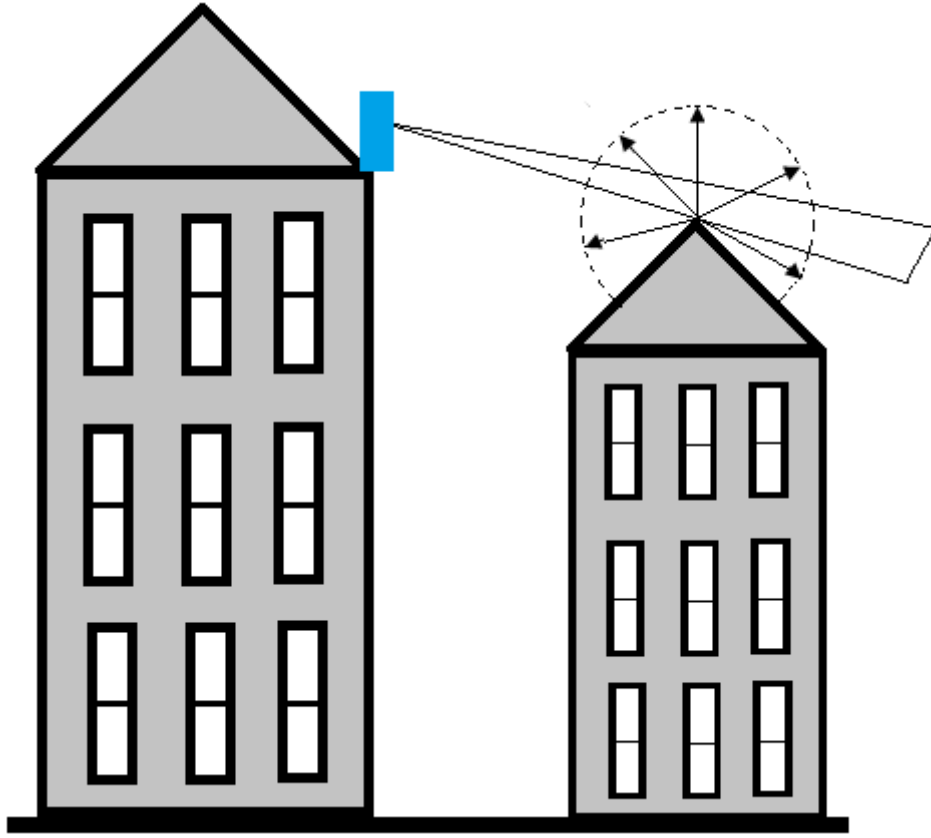
- Çerçeve antenler (manyetik dipoller) çerçeve kesitine dik doğrultuda ışıma yaparlar. Çerçeve kesitinde ışıma minimumdur. Dolayısıyla, kapalı çevrimlerden akan akımlarda yüzeye dik maksimum sızıntı beklenmelidir.
- İki çerçeve anten belli aralıklarla yerleştirilir ve zıt fazlı beslenirse ışıma tek tarafa yönlenebilir.
- Işıma demet genişliği diziler kullanarak daraltılabilir. 2x5 elemanlı dizinin hüzmesi 2x10’ luk bir dizide daha da daraltılmıştır.
- Dizilerde beslemeler değiştirilerek anten demeti (hüzmesi) istendiği yöne doğru kaydırılabilir. Elektronik demet oluşturma denen bu olayla değişik sektörler kapsanabilir.

- Dizi elemanlarının boyutları ve aralarındaki uzaklıklar değiştirilerek, ya da frekans kaydırılarak çok değişik ışıma diyagramları elde edilebilir.



Şekil 3.11. Dairesel dizilmiş dörtlü anten [50]

Çubuk antenlerle değişik dizi karakterleri elde etmeye bir örnek Şekil 3.11’ de gösterilmiştir. Burada dört çubuk anten bir daire etrafında simetrik yerleştirilmiştir, öyle ki, karşı iki anten elemanı arasındaki uzaklık dalga boyudur. Şekilde dört antenin yerleşiminin üstten görünüşü ile değişik besleme fazları için elde edilen ışıma diyagramları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bu anten ile yaklaşık 90 derecelik anten demetini 360 derece döndürebilmek olasıdır. Saçılma olaylarının faydalı etki olarak nasıl kullanıldığı Şekil 3.12’ de gösterilmiştir. Burada bir binanın çatısına yerleştirilen tipik bir baz istasyonu anteni ve elektromanyetik dalga saçılması gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Saçılma kapsamı.

Baz istasyonu anteni (genelde dizi olur) dar bir hüzmeye (demet genişliğine) sahiptir ve tipik kapsamı şekilde gösterilmiştir. Bu hüzmeye ile olabildiğince düşük anten gücü ile olabildiğince uzaklara erişilmek istenir. Bu durumda hüzmeye yataya yakın olacak şekilde anten yerleştirilir. Ancak hüzmeyi komşu bina çatılarından, duvar kenarlarından saçılmaları (ikincil kırınım olayları) ile yakın bölgelerde zemine kadar kapsama sağlanır. İkincil etkiler çok zayıf olmasına karşın, mesafe az olduğundan güçler sağlıklı bir haberleşme yapmaya yeterli olabilmektedir. Birincil yansıma ve kırılmalarla ve ikincil kırınımalarla bina içerilerine, cephe gerilerine işaretler kolayca ulaşabilmektedir [50].

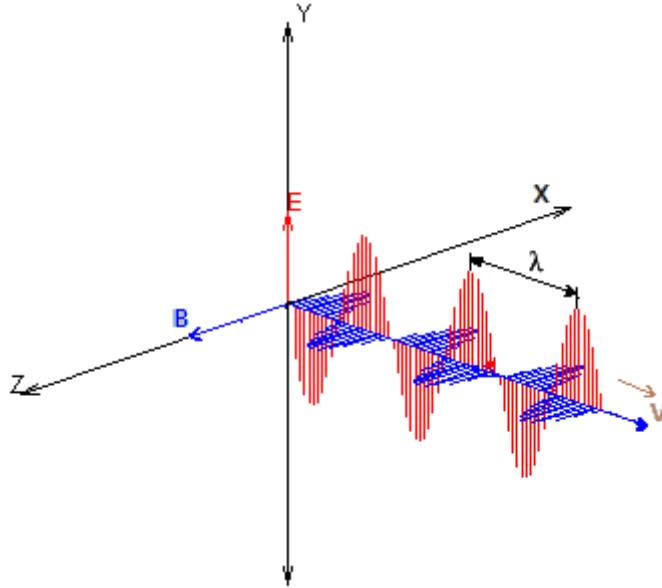
### 3.3. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalgalar, birbirine dik konumlu bir elektrik alan bir de manyetik alan bileşenine sahip dalga türüdür.  $\vec{B}$ , manyetik alanı ve  $\vec{E}$ , elektrik alanının değişimi de Şekil 3.13' de gösterildiği gibi birbirine dik konumlu iki sinüs dalgası şeklindedir.  $\vec{B}$  ve  $\vec{E}$

alanları tarafından iletilen ve kendi değişimlerine benzer biçimde değişim gösteren elektromanyetik enerji dalgasına “Elektromanyetik Dalga” adı verilmektedir.

Başka bir deyişle, hareketsiz olan bir elektrik yükün etrafında sadece elektrik alan vardır. Sabit hızla ilerleyen bir elektrik yükünün etrafında ise manyetik alan oluşur. Eğer elektrik yükleri ivmeli hareket yapıyorsa hem elektrik, hem de manyetik alan oluşur. Bu ivmeli hareketin sonucu oluşan, birbirine dik elektrik ve manyetik alan bileşeni bulunan ve bu iki alanın birlikte oluşturduğu düzleme dik doğrultuda ve uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan dalgalara Elektromanyetik Dalga denir.

Elektromanyetik dalganın yayınım yönü  $\vec{E}$  ve  $\vec{B}$  düzlemine dik doğrultuda olan  $\vec{V}$  yönündedir.



Şekil 3.13. Elektromanyetik dalganın oluşumu ve yayınımı.

Burada;

E : Elektrik alan,

B : Manyetik alan,

V : Yayınım hızı yönü (Propagasyon Yönü),

$\lambda$  : Dalga boyunu ifade eder.

Elektromanyetik Dalgalar eksen üzerinde ışık hızında hareket eden dalgalardır. Maxwell denklemleri elektromanyetik alanlarla ilgilenen elektromanyetizmanın temel denklemleridir. Elektromanyetik olaylar Maxwell tarafından düzenlenen dört temel denklemle gösterilir. Bunlar;

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Elektrik Alanda Gauss Yasası}) \quad (3.16)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Manyetik Alanda Gauss Yasası}) \quad (3.17)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Faraday Yasası}) \quad (3.18)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{Amper Yasası}) \quad (3.19)$$

denklemleridir. Bu denklemlerden üçüncü ve dördüncü denklemlerin rotasyoneli alınır;

$$\nabla^2 \vec{E} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (3.20)$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (3.21)$$

olur.  $\vec{E}$  ,  $\vec{B}$  nin her bileşeni,

$$\nabla^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} \quad (3.22)$$

denklemini sağlar ve bu denklem klasik dalga denklemidir. Bu V hızı ile ilerleyen bir dalganın hareketidir. Yukarıdaki denklemlerle karşılaştırdığımızda, Maxwell denklemlerinin elektromanyetik dalga çözümlerini kabul ettiği ve bu dalgaların hızının,

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (3.23)$$

olduğuna göre ve serbest uzay için  $\epsilon_0 = 8,85418 \times 10^{-12} \text{ (C}^2/\text{N m}^2\text{)}$  ve  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (Wb/A.m)}$  alınır,  $\epsilon_0$ , dielektrik katsayısı ve  $\mu_0$ , manyetik geçirgenlik katsayısı olmak üzere, dalga hızı,  $V = 3 \times 10^8 \text{ m/sn}$  elde edilir. Bu sonuç c, ışık hızına eşittir. Serbest uzay yerine, herhangi ortamda yayılan elektromanyetik dalgalar için, dalga hızı,

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{n} \quad (n, \text{ ortamın kırılma indisi}) \quad (3.24)$$

olur. Elektromanyetik dalgalar, belirli bir kaynaktan bir alıcıya enerji ve momentum taşırlar. Ayrıca geniş bir frekans ya da dalga boyu aralığını kapsarlar. Bu dalgalar boşlukta  $c$ , ışık hızı ile yayıldıklarından  $\lambda$  dalga boyu,  $f$  frekansı arasında bir  $c = \lambda \cdot f$  bağlantısı vardır [49].

### 3.3.1. Elektromanyetik Dalga Saçınımı

Saçınım, düz bir yörüngede ilerleyen ışık ya da ses gibi radyasyonun yörüngesindeki objeler tarafından sapması olayı olarak tanımlanır. Elektromanyetik dalgalar, saçınımına en fazla maruz kalan formdur. Bu saçınımlardan bazıları özel adlar alacak kadar farklıdır.

Radyasyonun bulunduğu ortamda saçıcılar bulunduğu öncelikle saçıcılardan kaynaklanan radyasyonun toplam radyasyona dâhil edilmesi gerekir.

$$E_t = E_i + E_s \quad (3.25)$$

Burada,

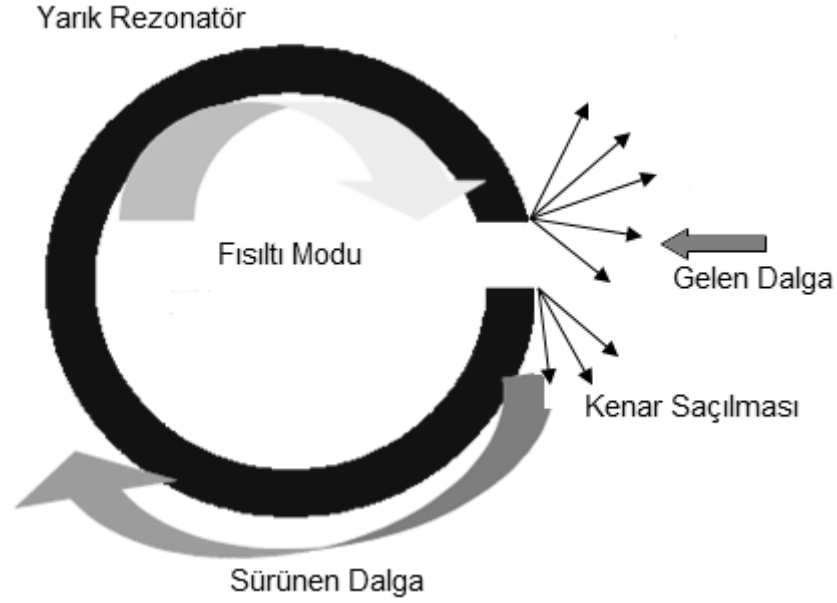
$E_t$  : Toplam elektrik alan,

$E_i$  : Gelen elektrik alan,

$E_s$  : Saçınan elektrik alan olarak tanımlanır [57].

Elektromanyetik dalgalar saçılırlar. Saçılmanın etkileri bakımından birincil ve ikincil bileşenleri söz konusudur. Birincil etkiler yansıma ve kırılmadır. İkincil etkiler ise kırınımdır. Bir düzleme belli bir açıyla gelen bir elektromanyetik dalga düzlemle aynı açıya sahip olarak yansır ve her iki ortamın parametrelerine bağlı olarak değişen bir açıyla da ikinci ortama kırılarak geçer (Snell yasası). Bu etkiler her iki ortamın parametreleriyle belirlenen ve yansıma ve kırılma katsayısı denen parametrelerle modellenir. Yansıma ve kırılma, elektromanyetik dalganın yatay ya da düşey polarizasyonlu olmasına göre oldukça değişir. Örneğin, yatay polarizasyonlu dalganın düzleme geliş açısına göre yansıma katsayısının fazı ve genliği biraz değişirken, düşey polarizasyonlu dalgalarda aykırı durumlar oluşabilir.

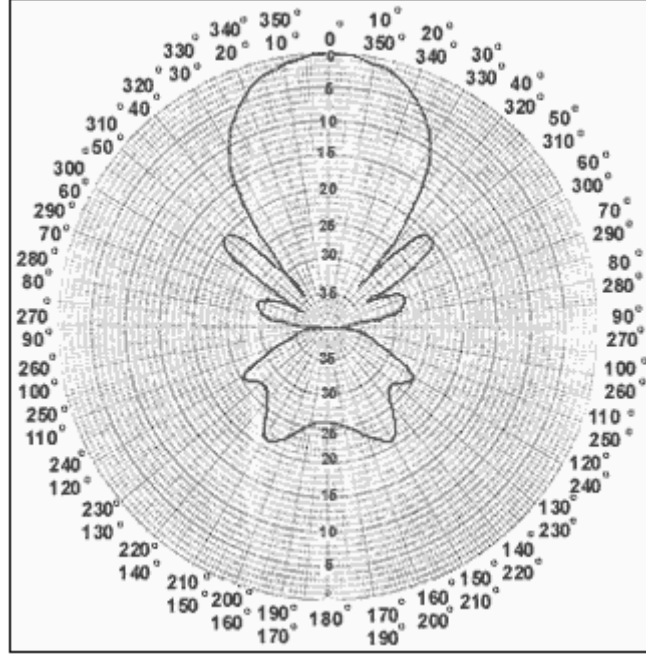
Yansıma ve kırılma dışındaki ikincil etkiler kırınım etkileri adı altında toplanır. Ortamlardaki süreksizliklerin ayrıtlarından (kenar, köşe gibi) saçılmaları kapsar. Kırınım olaylarına örnekler Şekil 3.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Elektromanyetik saçılma olayları [50]

Şekilde, birkaç kırınım olayına neden olabilecek bir yapı ele alınmıştır. Metal, içi boş ve üzerinde yarık olan bir küre ya da silindir ele alınsın. Bu durumda yarıkların kenar ve köşelerinden saçılmalar olur. Bu ayrıtlara gelen dalgalar ikincil birer kaynak gibi değişik yönlerde saçılırlar. Örneğin köşeler bir noktasal kaynak gibi her yöne dalga saçarlar. Elektromanyetik dalgalar eğrisel yüzeyleri yalayarak izleyebilir ve arkadaki gölge bölgelere ulaşabilirler. Hatta bir küreyi çepeçevre dolaşıp geriye gelebilirler. Yarık boyutları (eni ya da boyu) elektromanyetik dalga boylarında olduğunda yarıklardan içeri sızıntı olabilir. İçeri sızan elektromanyetik dalgalar içeride ardışık yansımalarla dolaşırken bir yandan da yarıktan tekrar dışarı sürekli sızıntıya neden olabilirler. Çınlama denen bu olay özellikle EMU etkileri açısından önemli olabilmektedir [50].

Şekil 3.15’ de bir antenin yapmış olduğu saçınımın dalga şekli örnek olarak verilmiştir.

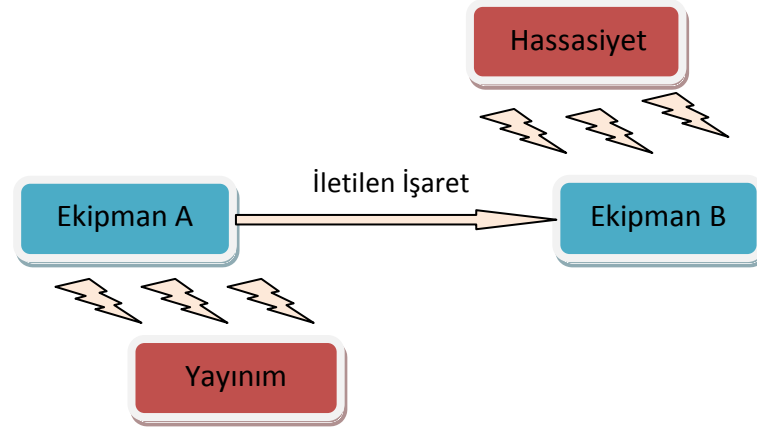


Şekil 3.15. Örnek bir saçınım dalga şekli.

### 3.3.2. Elektromanyetik Uyumluluk

EMU, elektriksel veya elektronik bir alet, cihaz ya da sistemin içinde bulunduğu elektromanyetik ortamda fonksiyonlarını, bu ortamda telafi edilemez bir elektromanyetik bozulma oluşturmaksızın yerine getirebilme yeteneği şeklinde tanımlanmaktadır [46].

Başka bir deyişle EMU bir alet cihaz ya da sistemin bulunduğu ortamdaki diğer alet, cihaz ya da sistemin istendiği şekilde çalışmasını engelleyecek seviyede elektromanyetik gürültü oluşturmaması ve ortamdaki elektromanyetik gürültülere maruz kaldığında istendiği şekilde çalışmasına devam edebilmesi için uygun bağışıklık seviyesine sahip olmasıdır. Ekipmanlara ait bu elektromanyetik etkileşim Şekil 3.16' da verilmiştir.



Şekil 3.16. Elektromanyetik çevre.

Elektrikli ve/veya elektronik cihazlar çevrelerine elektromanyetik yayılım yapmaktadırlar. Bu yayımlar elektromanyetik radyasyon olarak veya güç kabloları gibi bağlı kablolar vasıtasıyla iletim yoluyla yayılabilmektedirler. Aynı zamanda, bu cihazlar bulundukları ortamda cihazın kendisi tarafından dâhili olarak üretilen veya diğer cihazlar tarafından oluşturulan elektromanyetik yayınlara da maruz kalmaktadırlar.

Sivil sektörde de elektrikli/elektronik cihazların kullanımının küresel olarak çok hızlı bir şekilde yayılması, sivil hayatta da EMU olması gerektiğinin önemini ortaya çıkarmıştır. Günümüzde, ev ve iş yerlerinde birçok elektrikli ve elektronik cihaz aynı ortamda birbirlerine yakın mesafelerde bulunmaktadır ve dolayısıyla aralarında herhangi bir olumsuz etkileşim olmadan bir uyum içinde çalışmalarını gerekmektedir.

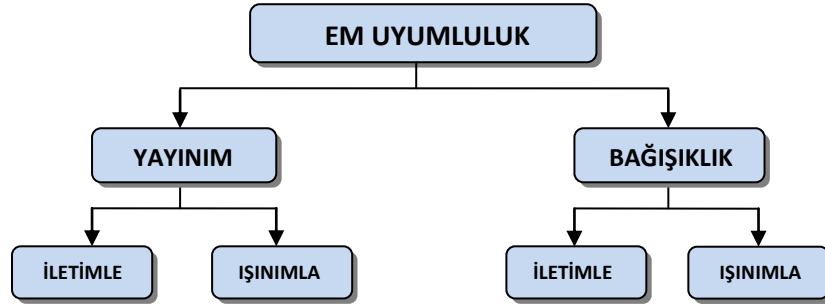
EMU, ilk olarak 2. dünya savaşı esnasında askeri ortamlarda meydana gelen bir konu olmuştur. Özellikle, birçok elektronik cihazın yakın mesafede birbirleri ile uyumlu ve başarılı bir şekilde çalışması gereken savaş gemilerinde kendini hissettirmiştir. Böyle bir ortamda, haberleşme, denizcilik ve veri işleme elektronik cihazlarının tümünün güçlü radyo frekans (RF) alanlarının varlığında eş zamanlı olarak sorunsuz çalışması gerekmektedir. Bu karma yapıya ilave olarak, askeri bir gemide ordu donatım malzemeleri veya patlayıcılar ve uçak yakıtı da bulunabilmekteydi. Böyle bir ortamda, her bir cihazın elektromanyetik olarak bulunduğu ortamda uyumlu olması ve bu ortam tarafından çalışamaz veya güvensiz duruma gelmemesinin gerektiği açıkça ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, bu ortama ilave edilen herhangi bir cihazın da istenmeyen bir yayılım yapmaması gerekmektedir. Dolayısıyla, EMU' nun iki ana unsurunun kaynağı ortaya çıkmıştır; Yayılım ve bağışıklık [55, 58].

EMU, cihazların veya sistemlerin normal fonksiyonlarını yerine getirirken, bulundukları ortama herhangi bir rahatsızlık vermeden ve ortamdaki rahatsızlıklardan da etkilenmeden uyumlu olarak çalışmaları olarak tanımlanmıştır. EMU, her ne kadar cihazların birbiri ile uyumlu çalışması olarak tanımlansa da, aslında gündelik hayatta uyumsuz çalışacak herhangi bir cihazın doğrudan veya dolaylı olarak hayati riskler ortaya çıkarabilme ihtimali vardır. Örneğin, günlük hayatın vazgeçilmez iletişim araçlarından biri olan mobil telefonlardan yayılabilecek herhangi bir elektromanyetik gürültünün, hareket halindeki bir otomobilin elektronik kontrol donanımını olumsuz olarak etkilemesi veya havaalanı yakınında çalışan bir telsiz cihazının kule ile hava taşıtı arasındaki iletişim hattını kesmesi veya hastanelerdeki hayati önem taşıyan hassas cihazların ortamdaki elektromanyetik gürültülerden etkilenmesi istenmeyecek sonuçlara neden olabilir. Söz konusu hayati riskler oluşmasa bile, elektromanyetik olarak uyumlu olmayan bir cihazın bulunduğu ortamda olumsuz olarak çalışması, hem üreticiler ve tüketiciler hem de piyasa düzenleyicileri ve denetleyicileri açısından istenmeyecek bir durumdur. Söz konusu EMU sorunları ile ilgili günlük hayatımızda karşılaştığımız EMU problemlerine örnek olarak;

- Havaalanı yakınında çalışan uydu alıcı cihazlarının uçak iniş sistemlerini etkilemesi,
- Radyo kulesi yakınında uçan bir helikopterin kontrolden çıkabilmesi,
- Bilgisayar ana kartına eklenen ilave bir kartın ya da bellek elemanının daha takarken yanması,
- Cep telefonu veya kablosuz iletişim cihazlarının araçların fren sistemlerini, klima veya elektronik kontrol donanımlarını olumsuz etkileyebilmesi,
- Radyo dinlerken polis telsizlerinin araya girmesi,
- Klimanın devreye girmesi durumlarında video cihazı saatinin sıfırlanması,
- Flüoresan lambalar yandığında bilgisayar veya televizyon ekranlarının kırışması,
- Elektrik süpürgesinin televizyonlarda karlanmaya neden olması,
- Bilgisayarların FM radyo yayınlarını bozması,
- Düşen bir yıldırımın telefon sistemlerini, evlerdeki elektronik cihazları çalışamaz duruma getirmesi,
- Havaalanı radarlarının, dizüstü bilgisayarların kablosuz ağ yayınlarından etkilenmesi,
- Hastanelerde cep telefonu ve benzeri kablosuz iletişim cihazlarının tıbbi cihazları etkileyebilmesi gösterilebilir.

Söz konusu nedenlerden dolayı, cihazların EMU koşulları dikkate alınarak tasarlanması, üretilmesi, piyasaya arz edilmesi ve kontrol edilmesi amacıyla, dünyada çeşitli ülkeler ve kuruluşlar tarafından bu konu ile ilgili olarak çeşitli standartlar, kanunlar veya tüzükler yayımlanmıştır [38].

Bir EMU' nun temel unsurları Şekil 3.17' de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Elektromanyetik uyumluluk.

Yayınım ve bağışıklık başlıklarıyla verilenler, girişim kaynağı ya da kurban olmasına göre değişir. İki tür yayınım söz konusudur; iletimle yayınım ve ışınila yayınım. Yine bağışıklık ta iki yollu olabilir; iletimle bağışıklık ve ışınila bağışıklık.

Bağışıklığın tersi alınganlık olarak EMU' nun tanımlarında yer almaktadır. Bir cihazın bağışıklığı ne kadar yüksek ise alınganlığı o kadar düşüktür, ya da tersine bir cihaz ne kadar alıngan ise o denli düşük bağışıklık seviyelerine sahiptir [50].

Herhangi bir elektronik sistemde, bir veya daha çok alt sistem, kablolar vasıtasıyla iletişim halindedir, bu alt sistemlere trafolardan AC beslemesi yapılır. Bir elektronik sistemde 220 V, 50 Hz' lik bir gerilim, uygun DC gerilimlere dönüştürülür. Örneğin 5 V DC gerilim için  $\pm 12$  V' luk sayısal güç lojiği gerekir. Bileşenler kablolar vasıtasıyla bağlıdır. Kablolar ayrıca, dalgaın geçmesi ve alt sistemlerin bağlanması için de kullanılır. Söz konusu bu kablolar elektronik sistem içerisinde etkin bir şekilde, elektromanyetik enerji ışıması veya zayıflaması gibi durumlara maruz kalırlar. Genel olarak, uzun kablolar daha fazla ışıma veya zayıflamaya maruz kalırlar girişim işaretleri bu kablolar vasıtasıyla alt sistemlere geçerler, Eğer alt sistemler metalik muhafazalar içerisinde iseler, iç ve dış işaretler tarafından metal kabinlerde akım indüklenmesi oluşturulur. Bu akımlarla, kabinin içine ve dışına doğru ışıma yaparlar. Genellikle maliyeti ucuza geldiği için, plastik gibi metalik olmayan kabinler kullanmak yaygınlaşmıştır. Bu tip kabinlerde muhafaza edilen

elektronik sistemler, elektromanyetik yayınlara (emisyonlara), direkt ışıma veya zayıflamalara maruz kalırlar [47].

EMU problemleri istenmeyen elektromanyetik enerjinin bir sistemden diğer bir sisteme kuple olması nedeniyle oluşur. Genelde elektrik, elektronik aygıt ve sistemlerde istenmeyen enerji sızıntısı var olacağından EMU problemleri de var olacaktır. Her EMU problemi bir kaynak ve bir de kurban içerir. Bu sebeple EMU, istenmeyen işaretin yayınımlarını ve istenmeyen işarete karşı bağışıklığı içerir. Her cihaz hem yayılım hem de bağışıklık koşullarını sağlamalıdır [50].

Çalışma konusu kapsamında EMU' nun yayılım konusu ele alınmıştır.

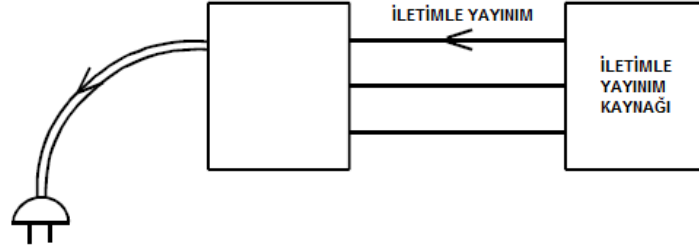
### **3.3.3. Elektromanyetik Yayılım**

Elektromanyetik yayımlar, AC güç bağlantılarındaki alt sistemi çevreleyen metalik kabullerde, alt sistem bağlantılarında veya metalik olmayan kabin içindeki elektronik bileşenlerde oluşur. AC güç kablolarında sadece 50 Hz'lik sinyal mevcut olmayıp, daha yüksek frekanslı işaretler de yayılabilir, 1 m veya daha uzun AC kablolarında yüksek frekanslı akımlar oluşabilir ve bu durumdaki kablo, tıpkı bir anten gibi, etkin bir şekilde ışıma yapabilir veya yakınlarındaki elektronik sistemden ışıma alabilir. Bu kablolarında indüklenen işaretler, bağlantıların olduğu alt sistemlere geçebilir ve bu yüzden, devrelerde girişim oluşabilir. Elektromanyetik enerji sadece havada propagasyon (yayılma) yapmayıp, doğrudan metalik iletkenlerde de oluşabilir. Bu bağlanma yolu genellikle, havaya göre daha etkindir. Elektronik sistem tasarımcıları, bu arzu edilmeyen enerji transferini önlemek için, filtre gibi bazı engeller kullanırlar [47, 55, 58].

#### **3.3.3.1. İletimle Yayılım**

Bir cihazın enerji ve telekomünikasyon kaynaklarından iletkenlik yolu ile yayılan elektromanyetik yayınıdır. Uygulamada iletimle yayılım (iletkenlik yollu girişim) için 150 KHz ile 30MHz frekans arası sınır olarak gösterilir. Yani, iletimle yayılım için doğru akımdan (direct current, DC) 30MHz frekansa kadar olan bölge söz konusudur (burada DC kısaltması hem gerilim hem de akım işaretleri için kullanılmaktadır). Çünkü kablolar, metal gövdeler gibi yapılar üzerinden gelen iletimle yayılım işaretleri 30 MHz frekansının

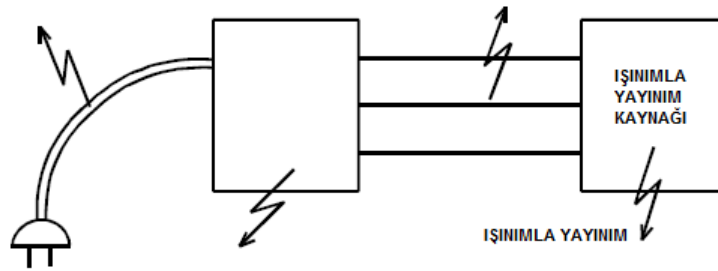
üstünde hızlı olarak söner. İletkenlik yolları genelde 30 MHz üzerindeki girişim işaretlerini söndürdüğünden bu frekansın üstünde etki beklenmemektedir (Şekil 3.18) [50].



Şekil 3.18. İletimle yayılım modeli [59]

### 3.3.3.2. Işınım ile Yayılım

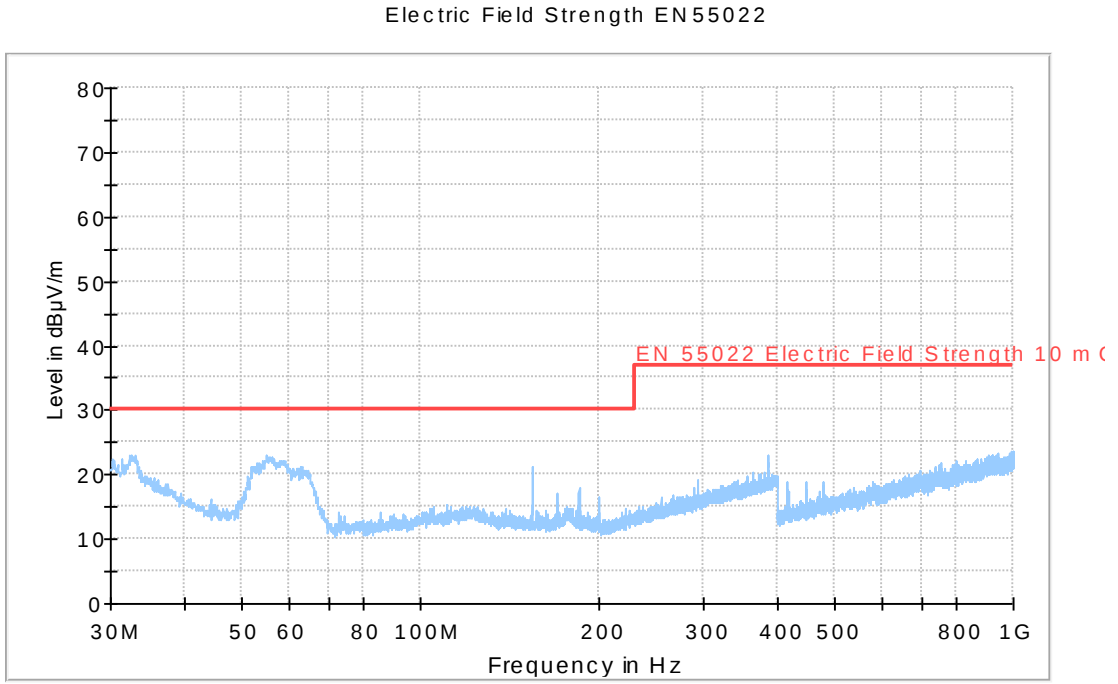
Bir cihazın enerji ve telekomünikasyon kaynaklarından ışıma yoluyla yayılan elektromanyetik yayınıdır. Işıma yolu ile yayılım 30 MHz' nin altında etkili değildir. Elektriksel işaret ileten her iletken, kablo, levha, vb. yüksek frekanslarda birer anten gibi davranır. Yani, iletimin ötesinde elektromanyetik ışıma yapar. Işıma yolu ile yayılım için 30 MHz frekansının altı, bu frekanslarda ışıma ihmal edilebilecek boyutlarda olduğundan, göz önüne alınmamaktadır (Şekil 3.19) [50].



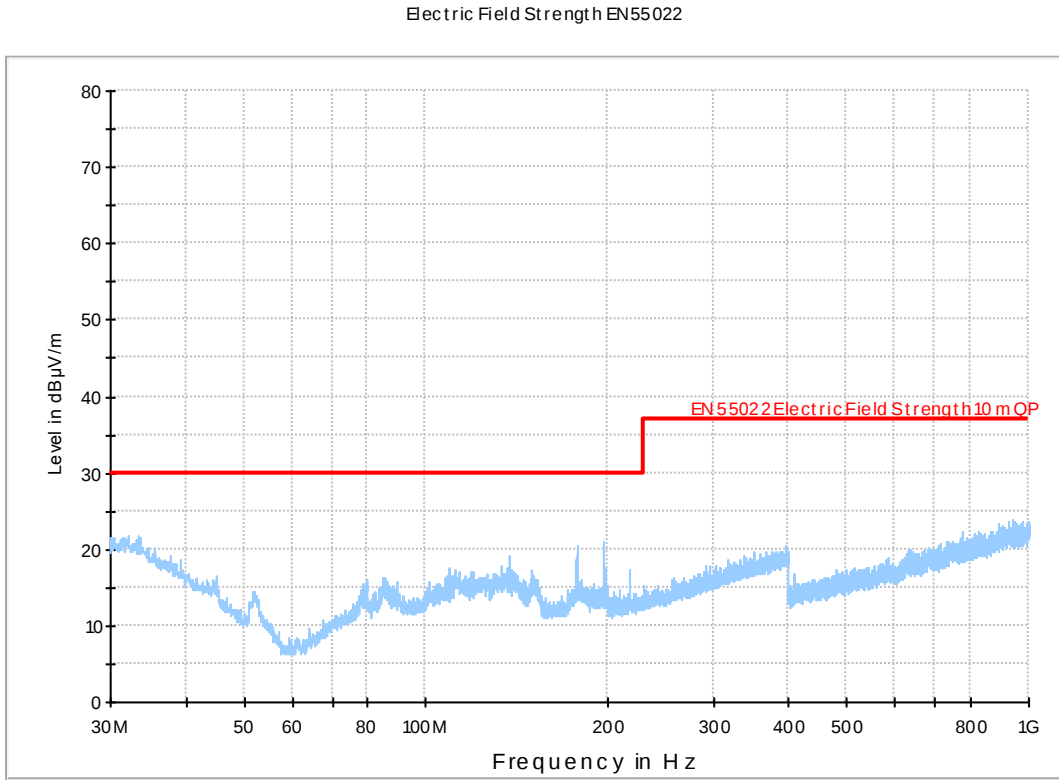
Şekil 3.19. Işıma ile yayılım modeli [59]

Şekil 3.20, 3.21 ve 3.22' de 30 MHz–1 GHz aralığında ışıma ile yayılım yapan sırasıyla GSM, DECT ve PSTN telefon cihazlarına ait elektrik alan şiddetine göre örnek dalga şekilleri verilmiştir.

Bu çalışmada, ilgilenilen konu da ışıma ile yayılım olayıdır. Işıma ile yayılım yolu ile elde edilen elektromanyetik dalga örüntü verilerine, özellik çıkarımı için [60] çalışmasında geliştirilen yöntemler uygulanmıştır.

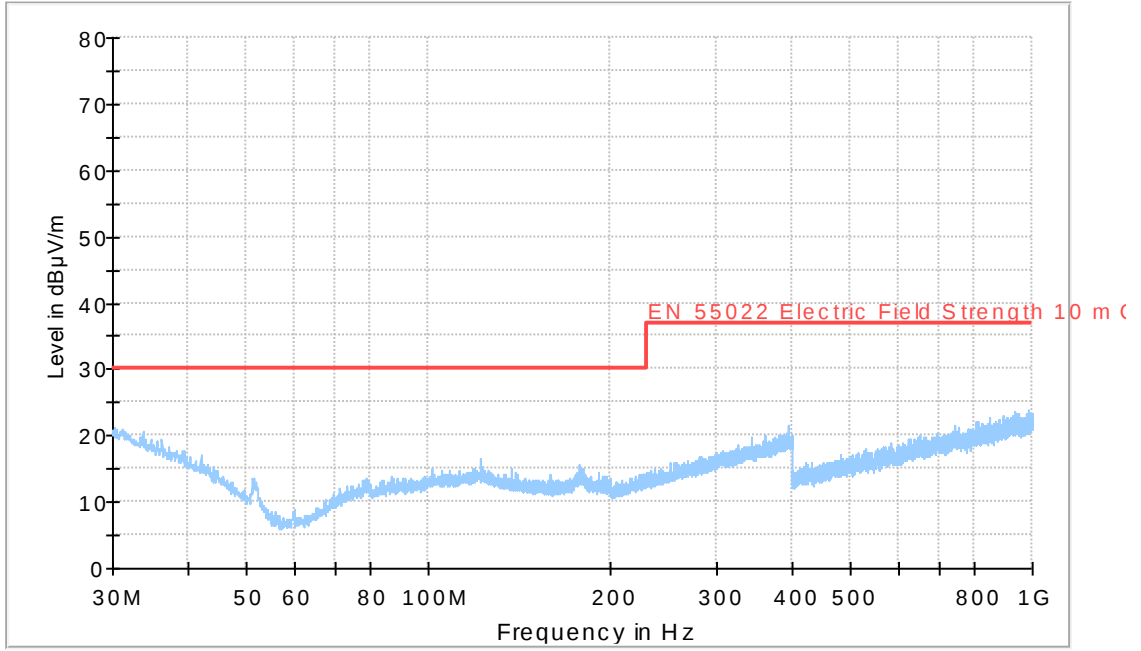


Şekil 3.20. GSM telefona ait tipik bir ışınlama yayılım dalgı şekli.



Şekil 3.21. DECT telefona ait tipik bir ışınlama yayılım dalgı şekli.

### Electric Field Strength EN55022



Şekil 3.22. PSTN telefona ait tipik bir ışınlama yayılım dalgası şekli.

#### 4. ÖRÜNTÜ SINIFLAMA

Varlıklar ile ilgili gözlenebilir veya ölçülebilir bilgiler örüntü olarak isimlendirilir. Gerçek dünyada yer alan bu örüntüler, genellikle ilgilenilen verilerin nicel tanımlama şekilleridir. Örüntü tanıma, insanların çeşitli ses, görüntü ve benzeri tüm örüntülerin, biçimsel şekillerinden çıkardıkları dilsel şekillendirir. Örüntü tanıma bilimde, mühendislikte ve günlük hayatın geniş bir alanında oluşturulan etkinlikleri kapsamaktadır [60].

İnsanoğlunun hayatında örüntü tanıma uygulamaları sıklıkla görebilir. Bunlar, doğa olaylarının değişiminin algılanması, hayvan tipleri, bitki türleri, yüz ve ses tanınması, gibi farklılıklara sahip birçok etkinlikte örüntü tanıma kullanılabilir. İnsanlardaki örüntü tanınması algısı, geçmişte elde edilen tecrübelerle dayalı öğrenme esaslıdır. İnsanlar, günlük hayatta pratik olarak karşılaştığı örüntü tanıma olaylarını elde ettiği tecrübeleri ışığında değerlendirebilme yeteneğine sahiptirler. Belirli bir sesi tanımak için, gerekli olan tanıma kurallarını tam olarak belirlemek mümkün değildir. İnsanoğlu bu tanıma işlemlerinin birçoğunu çok iyi yapmasına rağmen, bu örüntü tanıma işlemleri için, daha iyi, daha ucuz, hızlı ve otomatik olarak makinelerin yapmasını ister. Örüntü tanıma olayını, bu biçimde akıllı ve öğrenebilen makineleri gerçekleştirmek için, çok boyutlu bir mühendislik disiplini olarak ifade edebiliriz [60, 61].

Örüntü tanıma olayı; aralarında ortak özellik noktaları bulunan ve bir ilişki kurulabilen karmaşık yapıdaki işaret örneklerini veya nesneleri bazı belirlemiş özellikler veya karakterler yardımıyla ile tanımlama veya sınıflandırma şeklinde açıklanabilir. Buradan örüntü tanınmanın en önemli amaçlarının; bilinmeyen örüntü sınıflarına belirli bir biçim vermek ve bilinen bir sınıfa ait olan örüntüyü teşhis etmek olduğu söylenebilir [62].

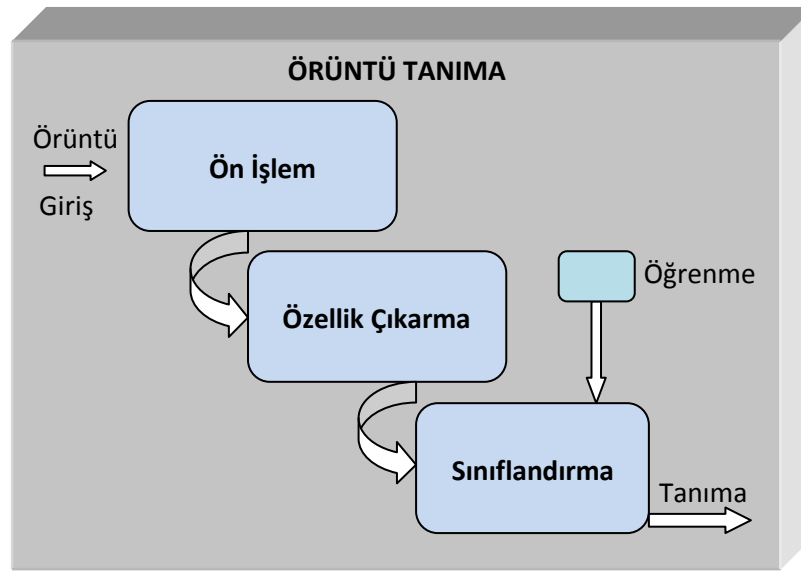
Örüntü tanıma uygulamaları birçok mühendislik, tıp, askeri ve bilim alanında kullanılmaktadır. Ses tanıma, DTMF haberleşme işaretlerini tanıma, radar hedef sınıflama ve biyomedikal kontrol bazı uygulama örnekleri olarak verilebilir. Günümüzde örüntü tanıma olarak bilinen bu uygulamalar, makine öğrenmesi, örüntü sınıflandırma, ayırım analizi ve nitelik tahmini gibi isimlerle de ifade edilmektedir [62–67].

Bir örüntü tanıma sistemi, Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi üç önemli aşamadan oluşmaktadır [60, 68]:

1. Aşama: Ön İşlem olarak ifade edilir. İşaret veya görüntü filtre edilir, filtrelemeden sonra çeşitli dönüşüm ve gösterim teknikleri yardımı ile işlenir, bileşenlerine ayrılır veya modellenmesi yapılır.

2. Aşama: Özellik çıkarma olarak ifade edilir. İşaret veya görüntünün veri boyutu azaltılır, tanımlayıcı anahtar özellikleri tespit edilir ve normalizasyona tabii tutulur. Bu aşama sistemin başarımında en etkili rolü oynar.

3. Aşama: Sınıflandırma olarak ifade edilir. Bu aşamada, çıkarılan özellik kümesi indirgenerek ifade edilir. Tanımlayıcı karar aşamasıdır.



Şekil 4.1. Örüntü tanıma süreci.

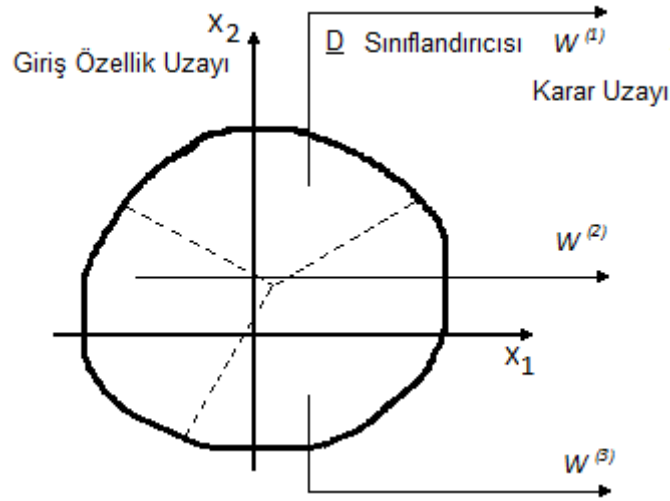
## 4.1. Ön İşlem

### 4.1.1. Probleminin İfadesi

Belirtilen örüntü tanıma probleminin şekilsel olarak amacı, gerçek giriş uzayındaki  $N$  adet  $\{X_i\}_{i=1}^N$ ,  $x \in X \subset \mathfrak{R}^N$  gözlemleri veya ölçümleri, birkaç sınıftan  $y \in Y \equiv \{w^{(1)}, w^{(2)}, \dots, w^{(P)}\}$  birine ayırmak suretiyle tanımlayabilmektir. Sınıfsal çıkış, karar uzayındaki her bir  $w^{(P)}$  sınıfı temsil etmektedir.  $\underline{D}$  operatörü Şekil 4.2' de gösterilen, her bir ayırım bölgesine bir sınıf adı atayarak giriş uzayının ayrı bölümlere ayrılmasını sağlayan bir sınıflandırıcıyı veya giriş uzayını birbiri ile kesişmeyen bölümlere ayırarak her bir sınıfa bir ad atayıcıyı göstermektedir [69].

$(\underline{D}: x \rightarrow y)$ .

İşaret uzaylarını sınıflamada, gürültü ve işaret örüntü boyutunun fazla olması gibi bazı engelleyici unsurlar bulunur. Bu problemleri yok etmek için işareten özellik çıkarımı yapılır. Bu sayede elde edilen özellik uzayı, giriş işaret uzayı ve çıkış karar uzayı arasında  $T \subset \mathfrak{R}^M$  olarak verilir. ( $M \leq N$ ). Bir özellik çıkarıcı  $f: X \rightarrow T$  olarak tanımlanır ve sınıflandırıcı ise  $g: T \rightarrow Y$  şeklinde verilir. Böylece sınıflandırma süreci  $d = g \circ f$  olarak verilebilir [70].



Şekil 4.2. Karar uzayı- giriş özellik uzayı gösterimi [60]

Bir örüntü tanıma sistemine öğrenme yeteneği kazandırılabilmesi için genel olarak  $L$  adet giriş işareti ve çıkış sınıf etiketi içeren  $(x, y)$  eğitim çiftinden oluşan  $\mathfrak{S}$  eğitim kümesi kullanılır.

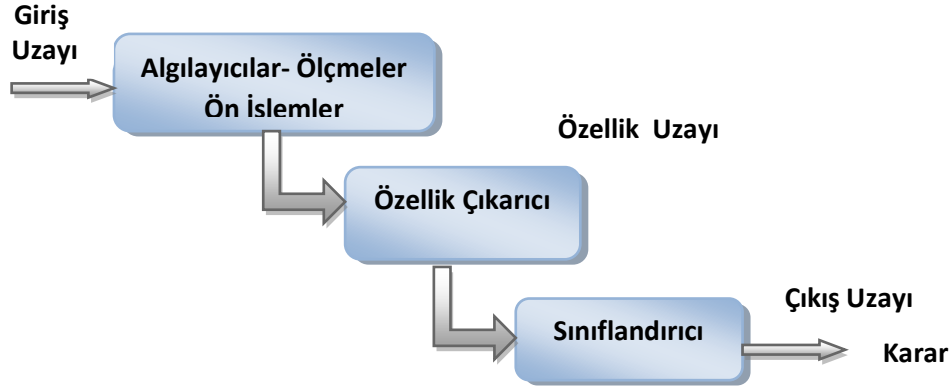
$$\mathfrak{S} = \{(x^{(1)}, y^{(1)}), (x^{(2)}, y^{(2)}), \dots, (x^{(L)}, y^{(L)})\} \quad (4.1)$$

Burada  $(i)$  ifadesi, eğitim kümesi içindeki  $i$ . örüntü – sınıf çiftini göstermektedir.

#### 4.1.2. Sistemler

Örüntü tanıma sistemleri, gözlenen veya ölçülen verilerin tanımlanması için birçok uygulamanın merkezinde yer alır. Şekil 4.3’ de genel anlamda bir örüntü tanımda izlenen

adımlara ilişkin blok diyagramı verilmiştir [62, 71]. Algılayıcılar, herhangi bir anda mümkün olan birçok doğal durumlardan biri olabilen bazı fiziksel işlemleri ölçerler.



Şekil 4.3. Örüntü tanıma sistemi.

Şekil 4.3.' te verilen blok diyagramın en önemli görevlerinden biride, elde edilen ölçümlerin hepsinden oluşan giriş uzayından daha az boyutta özellik çıkartmaktır. Sistemin sonunda da, sınıflandırıcının rolü örüntüyü özelliklerine göre kategorize ederek uygun sınıflara kaydetmektir.

Örüntü tanıma sistemleri üç grupta incelenmektedir [72]:

#### 4.1.2.1. İstatistiksel Sistem

Bu yöntemde, sınıflama algoritmaları istatistiksel analiz üzerine dayandırılmıştır. Aynı sınıfta yer alan örüntüler, istatistiksel olarak tanımlanan benzer karakteristiklere sahiptirler. İstatistiksel örüntü tanıma yönteminde karakteristik ölçümler, özellik olarak nitelendirilmekte olup bu ölçümler giriş örüntü örneklerinden çıkarılır.

Her örüntü bir özellik vektörü ile tanımlanır. Genellikle sınıflandırıcıyı oluşturan karar ve sınıflandırma yöntemlerine daha önem verilir. Sınıflandırıcı tasarımı, ölçümler ve olasılıklar gibi işlenebilir örüntü bilgilerini birleştirmeyi esas alır. Bu sebeple sınıflama, giriş veri uzayının olasılık yoğunluk fonksiyonlarının tahmini üzerine kurulu bir istatistiksel yapıdan oluşur [73]. İstatistiksel örüntü tanıma sistemi Bayes Karar Teorisi üzerine kurulmuş olup, uzun bir geçmişe sahiptirler.

#### 4.1.2.2. Yapısal Sistem

Geometrikse veya kural dizilim olarak ta ifade edilebilen bu örüntü tanıma sisteminde, örüntü, şekilsel yapıdan temel karakteristik tanımlanmaya indirgenir. Çoğu zaman, örüntülerden çıkarılan bilgi sadece özellikler kümesinin sayısal değerlerinden ibaret değildir. Aralarındaki karşılıklı bağlantı veya özelliklerin birbirine bağlanması, tanımlamayı ve sınıflandırmayı kolaylaştıran önemli bir yapısal bilgiye sahiptir. Diğer bir ifadeyle, örüntünün işlenmemiş halinden elde edilen tanımlayıcı şekilsel sentaks veya bunların sentezinden çıkarılan gramer ile tanımlama gerçekleşir. Mesela, örüntünün köşe sayısı, kenar açıları gibi değerler genellikle yapısal yöntemde daha basit alt örüntüler, daha karışık örüntülerin hiyerarşik tanımlamalarını ifade etmektedir. Yapısal örüntü yönteminde her örüntü, bileşenlerinin bir kompozisyonu olarak ele alınmaktadır [74].

Çeşitli birimler arasındaki bağlantı, bu yöntemde çok büyük önem taşımaktadır. Bu bağlantı gerçek tanımada kullanılan bazı biçimsel notasyonlar tarafından belirtilmektedir. Mesela, ekrandaki bir masayı tanıma, “köşe noktalardan eşit uzunluktaki bacaklar tarafından desteklenen yatay bir dikdörtgen yüzey” biçimindeki yapısal tanımlamayı temel alarak gerçekleştirilebilir. Bu yöntem de, ağırlık merkezi, alan, eylemsizlik momenti, çevre uzunluğu ve Fourier gibi tanımlayıcı genel özellikleri kullanır. Yapısal örüntü tanıma yöntemine örnek olarak, Otoregresif model, poligonalsal yaklaşım ve zincir kodları verilebilir [75].

#### 4.1.2.3. Akıllı Sistem

Akıllı örüntü tanıma sistemi, öğrenme tabanlı olup, karar aşamasında geçmiş tecrübelerinden sonuç üretmektedir. Günümüzde, öğrenmeli örüntü tanıma algoritmaları yapay sinir ağ merkezli olarak gelişmekte olup bu doğrultudaki çalışmalar daha yoğunluktadır [63, 76, 77].

Yapay Sinir Ağları (YSA), istatistiksel sistemine karşı belirleyici olarak ifade edilebilir. Çünkü öğrenme algoritmaları örüntü sınıflarının istatistiksel özellikleri hakkında hiçbir şey kullanmamaktadır. Bununla birlikte, istatistiksel ve YSA örüntü tanıma sistemleri biçim ve amaç olarak birbirine çok benzemektedir. YSA' nın istatistiksel örüntü tanıma sisteminin bir uzantısı olarak ifade edilen görüşlerde bulunmaktadır [73].

İstatistiksel, yapısal ve yapay sinir ağları ile örüntü tanıma sistemleri arasında kesin bir ayrım yoktur. Bu sistemler arasındaki sınırlar bulanıklık arz eder. Genel ve ortak özellikleri ile amaçları paylaşırlar. Bir örüntü tanıma probleminin çözümünde, istatistiksel yaklaşıma göre değerlendirildiğinde örüntünün yapısı anlamsız olabilir. Yapı ancak uygun özellik seçimiyle yansıtılabilir. İstatistiksel örüntü tanıma sisteminde, yapısal bilginin ifade edilmesinde görülen zorluk, yapısal örüntü tanıma sisteminde kendini yapısal kuralların öğrenilmesinde göstermektedir. Buna karşın yapay sinir ağı sistemi, istatistiksel ve yapısal sistem yaklaşımlarından türetilmiştir. Açık bir şekilde örüntü hakkındaki yapısal bilgi değerli olduğunda yapısal örüntü tanıma sistemini seçmek daha doğrudur. Yapısal bilgi değersiz ve amacına uygun değilse istatistiksel sistemi seçmek daha doğrudur. Yapay sinir ağları, örüntü tanımaya öğrenme boyutu katarak akıllı tanıma niteliği kazandıran, istatistiksel ve yapısal sisteme daha fazla alternatif teknikler oluşturan bir yöntem olarak ta düşünülebilir [78].

Öğrenme boyutlu örüntü tanıma sisteminin;

- Sınıflandırılacak verinin bazı yapı ve organizasyonunu birleştirme,
- Yeni veri için önceden bilinen sonuçlardan eğitilmiş sınıflandırıcıyı kullanma,

olmak üzere iki amacı vardır.

Akıllı örüntü tanıma sistemlerinde, sınıflandırıcının parametreleri bir karar kuralına göre ardışık işlemlerle uyarlanarak öğrenme işlemi gerçekleştirilir. Öğrenme olayı sınıflandırıcı ile ilgilidir.

Sınıflandırıcı "*en iyinin ölçüsü*" ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Sınıflandırıcının "*en iyinin ölçüsü*" ne uyarlanma işlemi, kabul edilebilir sınırlar içinde yapılabilir. Bir başka ifade ile, sınıflandırıcının öğrenmesi bir giriş kümesi ile bir çıkış kümesinden oluşur. Veri kümeleri; eğitim verisi ve test etme verisi olmak üzere iki parçadan oluşur. Öğrenme işlemi öncelikli olarak gerçekleştirilir, daha sonra sınıflandırıcının bir kabiliyet belirtisi olarak yeni bilgi ele alınır ve test etme işlemine başlanır.

Problemin matematiksel ifadesi için, bazı değişkenlerin tanımını yapmak gerekmektedir:

$\phi \in \mathbb{R}^m$  :modelin  $m$  değişkenli parametreleri veya karakteristikleri

$J(\phi, \psi, \Omega_\psi) \in N$  : "*en iyinin ölçüsü*", amaç fonksiyonu veya fonksiyon ölçütü,

$N$  :fonksiyonların uzayı  $N: \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^{nxM} \times \mathbb{R}^{sxM} \rightarrow \mathbb{R}$

$\psi \in \mathbb{R}^{nxM}$  :eğitme verisindeki bağımsız değişken,  $\psi = \{ \psi_i \in \mathbb{R}^n, i = 1...M \}$

$\Omega_\psi \in \mathbb{R}^{sxM}$  :eğitme verisindeki bağımlı değişken,  $\Omega_\psi = \{\omega^{\psi_i} \in \mathbb{R}^s, i = 1 \dots M\}$

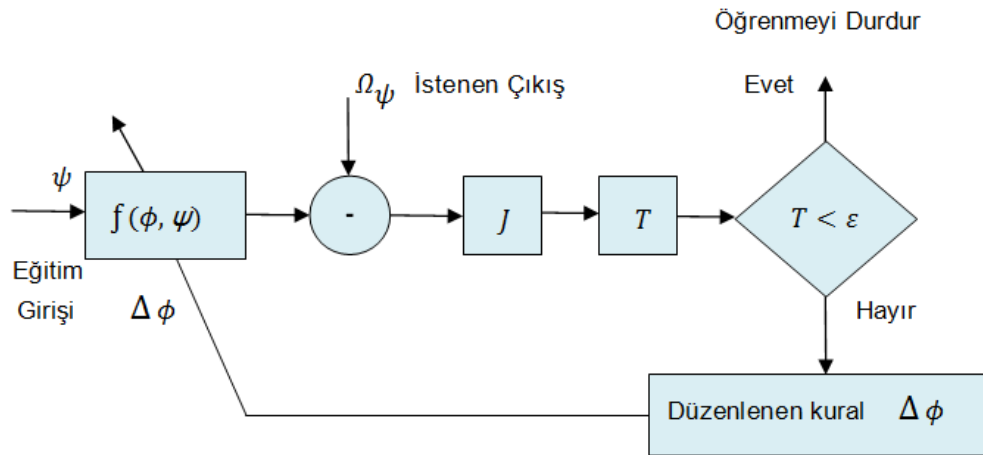
$M$  :eğitme verisindeki örneklerin sayısı,

$g(\phi) : n$  tane yan şart,  $g(\phi) = \{g_i(\phi) \mid \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}, i = 1 \dots n\}$

Sınıflandırıcının yorumunda tutarlılık esas alınarak bir giriş/çıkış eşlemesiyle, genel olarak bağımsız değişkenler giriş ve bağımlı kopyası da çıkış olarak ifade edilir. Buradaki ihtiyaç ise,  $f(\phi, v \in \mathbb{R}^n)$  ile sınıflandırılan, ya bire bir veya birçoğundan birine eşlemek durumudur. Bu sebeple,  $f(\phi, v \in \mathbb{R}^n)$  fonksiyonu, yaklaştırma fonksiyonu olarak da ifade edilebilir.

Öğrenme süreci,  $J$  amaç fonksiyonuna uyan  $\psi$  girişlerinden  $\Omega_\psi$  çıkışlarını elde edebilen,  $f(\phi, v \in \mathbb{R}^n)$  en iyi örüntü tanıma sistem yaklaşım fonksiyonunu elde etmek için, her hangi bir  $g(\phi)$  yan şartını sağlayan bir  $\phi$  parametre kümesi bulma çalışmalarını kapsar.

Başka bir ifadeyle,  $g(\phi) \geq 0$  şartı olmak üzere  $\phi$  parametresi bulunur. Bu değer  $J(\phi, \psi, \Omega_\psi)$  fonksiyonunu minimize eden parametredir. Bu serbest parametrelerin istenilen biçimde sıralı olarak ayarlayıp belirlemek için bir matematiksel olarak en uygun şekle sokma algoritmasını seçmek gerekir. Ayrıca istenilen  $T[\phi, J(\phi, \psi, \Omega_\psi)] < \varepsilon$  biçimi bir veya daha çok bitirme şartıdır. Burada,  $T$  birbirini takip eden sıralı değerlendirmelerin tipiksel olarak bir norm ölçüsü olup,  $\varepsilon$  ise tavsiye edilen toleranstır. Öğrenmeye ait süreç Şekil 4.4' de verilmiştir [60].



Şekil 4.4. Sınıflandırıcı öğrenme süreci [60]

Test verisine ait değişkenler;

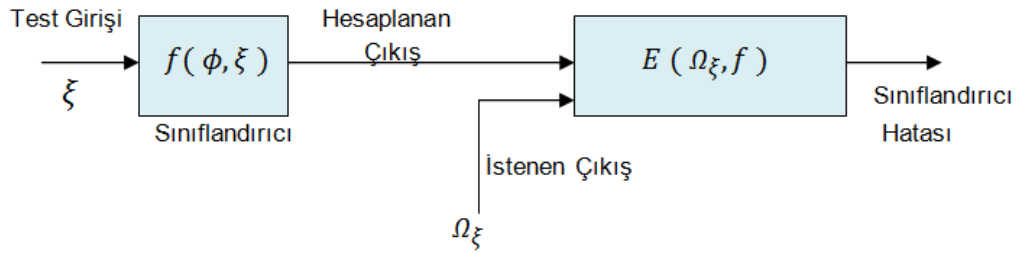
$\xi \in \mathbb{R}^{n \times M}$  : test verisindeki bağımsız değişken,  $\xi = \{ \xi_i \in \mathbb{R}^n, i = 1 \dots M \}$

$\Omega_\xi \in \mathbb{R}^{s \times M}$  :test verisindeki bağımlı değişken,  $\Omega_\xi = \{ \omega_{\xi_i} \in \mathbb{R}^s, i = 1 \dots M \}$

$f(\phi, v \in \mathbb{R}^n)$  :sınıflandırıcı eşlemesi,  $f(.) : \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^s$

$E[\Omega_\xi, f]$  :test verisinin sınıflandırılmasındaki hata,  $E[.] : \mathbb{R}^s \times \mathbb{R}^s \rightarrow \mathbb{R}$

Eğitme veya öğrenmenin bitmesinin ardından, sınıflandırıcı bir veri kümesi  $(\xi, \Omega_\xi)$  üstünden teste tabi tutulur. Yeni bir  $\xi$  verisi için daha önceden hesaplanan sonucun  $f(.)$  ile sınıflandırılması, seçilmiş hata ölçüsü  $E[.]$  parametresine göre, iyi bir başarımlık göstergesi olur.  $E[.]$  parametresi, sınıflandırma kurgusunda karar kuralı ve hata oranını yaklaştırmak için bir sayma işlemi veya bir anlam ifade eden uzaklık ölçüsü olarak tanımlanabilir. Sınıflandırıcı test edilmesine ait süreç Şekil 4.5' de verilmiştir.



Şekil 4.5. Sınıflandırıcı test süreci [60]

Veri kümeleri yukarıda yer alan ifadede öyle tanımlanır ki her bir  $\psi$  için  $\Omega_\psi$  uygunluğu elde edilir. Bu şartlar altındaki öğrenme eğitici öğrenme olarak ifade edilir. Eğitici öğrenmede, öğrenme süreci daha zordur ve  $\Omega_\psi$  giriş den daha bağımsız olarak tanımlanır.

Öğrenme yöntemleri üç grupta ele alınabilir.

**Eğitici öğrenme:** Dışarıdan bir eğitici müdahale eder. Bu eğitici, ilgili girdi için üretmesi gereken sonucu sisteme verir. Başka bir ifadeyle, ikilisinden oluşan örnekler sınıflandırıcı sisteme verilir. Girdi/çıkış ikilisi, sistemin öğrenmesi gereken özellikleri temsil etmiş olur. Ağ giriş kısmını alır ve o anki bağlantı ağırlıklarının temsil ettiği bilgi ile bir çıkış oluşturur. Bu çıkış, olması gereken çıkış ile mukayese edilir ve aradaki hata tekrar ağa aktarılarak ağırlıklar bu hatayı azaltacak şekilde değiştirilirler.

**Destekli öğrenme:** Bu yöntemde de yine eğiticiye ihtiyaç vardır. Yukarıdaki yöntemden farkı ise, bu durumda eğiticinin, ağın üretmesi gereken sonuç yerine, onun ürettiği sonucun sadece doğru veya yanlış olduğunu söylemesidir. Bu ise ağı bir destek işaretinin gönderilmesi ile gerçekleştirilir. Bu yöntem, ilgili örnek için beklenen çıkışın oluşturulamadığı durumlarda çok faydalıdır.

**Eğiticişiz öğrenme:** Eğiticişiz öğrenmede ise, bir eğiticiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bundan dolayı bu duruma çoğu zaman kendi kendini organize etme de denilmektedir. Sınıflandırıcı başka bir ifadeyle tahmin edici, kendisine verilen örnek verileri alır ve belli kıstaslara göre sınıflandırır. Öğrenme kıstasları daha önceden bilinmeyebilir. Kendi öğrenme kıstaslarını bu örüntü sistemi kendisi oluşturmaktadır.

Eğitici ve eğiticişiz öğrenme türleri bazen birbirini destekleyici olarak ta kullanılırlar. Eğiticişiz tür ile özellik uzayı kümelenir. Bu kümeler eğitici tür için bilinen yapı olarak eğitim kümesinde kullanılabilir. Böylece özellik uzayının boyutu azaltılır. Fakat bu işlemler zaman aldığından gerçek zaman uygulamaları için zor ve pahalıdır [60, 79, 80].

#### 4.2. Özellik Çıkarma İşlemi

Bir örüntüyü tamamen temsil eden özelliklerin elde edilmesidir. Özellik çıkarma, örüntü tanımının en önemli kısmını oluşturur. Bu süreç, örüntü tanıma sisteminin başarımında anahtar vazifesi görür [61]. Örüntü özelliklerinin çıkarılması örüntü sınıfları arasında ayrımı gerçekleştirmek için gereklidir. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda büyük başarılı sonuçlar veren örüntü sınıflandırıcı türleri bulunmaktadır. Bu başarılarla özellik çıkarımının etkisinin büyük olması sebebiyle, günümüzde özellik çıkarımı üzerine daha fazla çalışma yapılmaktadır [70].

Özellik çıkarma, örüntü uzayından daha ufak boyuta dönüşmeyi sağlamaktır. Yani küçük hatalarla sınıflandırıcının eğitimi sağlanır ve karar aşaması da daha kısa zamanda gerçekleşmiş olur.

Özellik çıkarma, sınıflandırıcının daha az parametre ile boyutsal yönden daha alçak olan özellik uzayını öğrenmesini sağlayacaktır. Bu sayede karar uzayı ile örüntü uzayı arasındaki dönüşüm aşaması, daha az bir zamanda gerçekleşecektir.

Özellik çıkarma, durağan olmayan zaman serilerindeki gibi, karmaşık örüntülerin tanımlayıcı karakteristiklerini bulabilmek için önemli bir koşul teşkil eder. Bu sayede daha güvenilir bir karar aşaması elde edilir.

Özellik çıkarma, kararlı bir yapı oluşumunda büyük rol oynar. Bu kararlı yapı ise, sistem içi veya dışındaki kontrolsüz girişimlerden örüntü sınıflandırma sisteminin etkilenmesini engeller. Bu da, sınıflandırıcının genelleme ve ayrıştırma kabiliyetinin yüksek olması açısından büyük önem arz eder.

Örüntü özelliklerini tespit etmedeki asıl amaç; mevcut ana örüntüden en iyi özellikleri seçmektir. Bunu sağlamak amacıyla; ya doğrudan basit yapılı, güçlü yapısal bağlantılara sahip olan belirli örüntü tanıma problemlerine uygulanabilmekte ya da dolaylı olarak bir dönüşüm veya gösterim tekniği ile daha kullanışlı bir yapıdan özellik çıkarımı yapılmaktadır. Aşağıda yer alan denklemde ifade edilen bu dönüşüm sayesinde  $k$  uzayından,  $m$  uzayına bir dönüşüm gerçekleştirilmiş olur [74].

$$m = F(k) \quad (4.2)$$

Örüntü tanımda işaretlerinin özelliklerinin çıkarımında çoğunlukla zaman ve frekans bölgesi gösterimi önceliklidir. Bu sayede karmaşık olan örüntü yapısının tanımlayıcı özellik bilgileri elde edilmektedir. Bu özellik bilgileri, hem geçici ve hem de zamana bağlı olarak frekans değişimlerini içermekte olup, işaretin zaman ve frekans bölgelerindeki yerel bilgilerini de ayırt eder.

#### 4.2.1. Zaman – Frekans Gösterim Teknikleri

İşaret işleme, günümüzde artık çağdaş bilimin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Telekomünikasyon alanında, teşhis ve tanı sistemlerinde bilgisayar, kontrol sistemleri ve mühendislik alanında gün geçtikçe kullanımı yoğun olarak artan yöntemlerden birisidir. Söz konusu uygulamaların temelini, tek boyutlu karmaşık işaretlerin analizi ve değerlendirilmesi oluşturmaktadır [81].

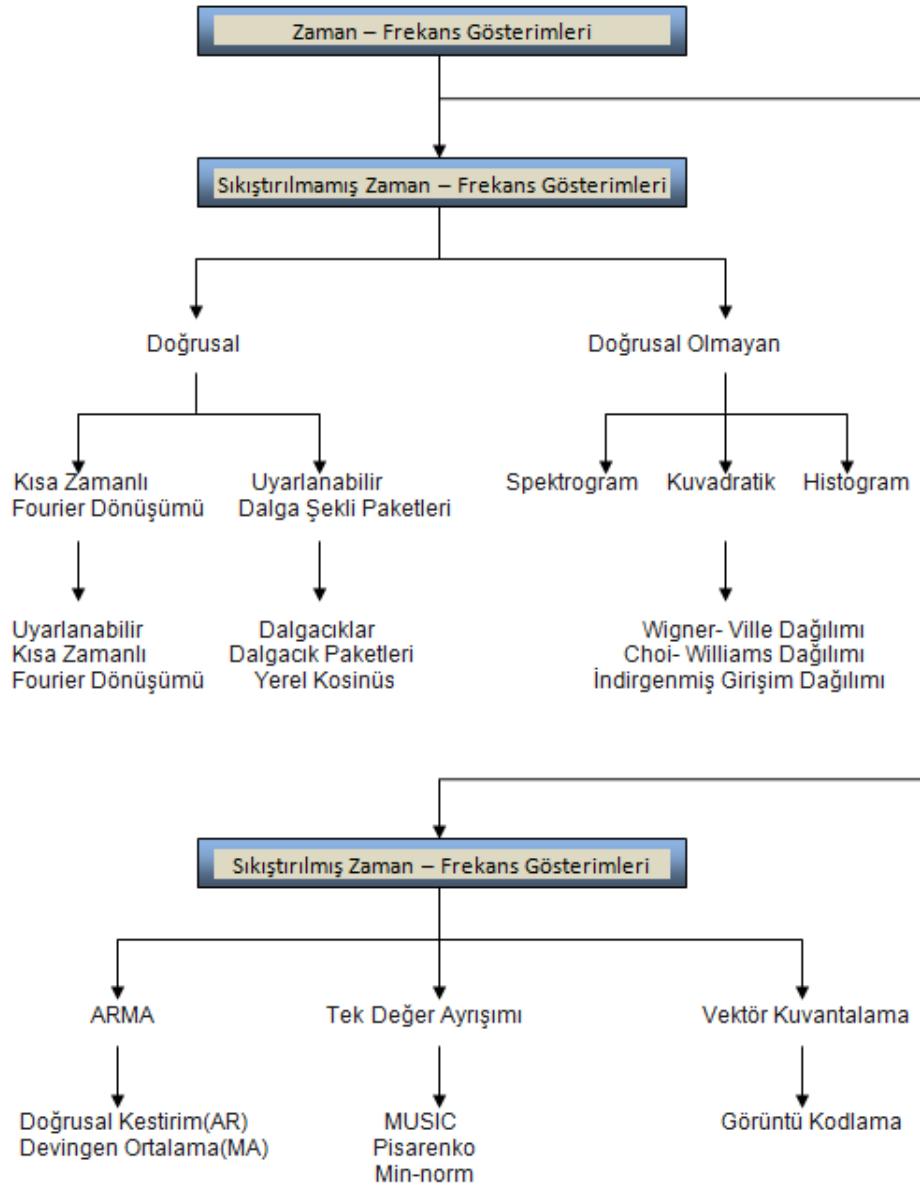
Zaman – frekans gösterimleri, bir işaret işleme tekniğidir. Bu teknik, veriyi, örüntü tanımanın karar sürecini kolaylaştırmaya yönelik olarak bir başka biçime dönüştürmek amacını güder. Bu veri dönüşümünün hedefinde, verinin boyutunu azaltmak ve içindeki mümkün olan birçok yararlı bilgilerin seçilmesini sağlamak yatmaktadır. Ayrıca bu veri

dönüşümü gerçek – zamanlı karar uygulamaları için de son derece önem arz etmektedir [82].

Herhangi bir işaret örüntü tanıma işleminde, çok iyi sınıflandırıcı kullanılsa bile, eğer veriden elde edilen özellikler veriyi uygun bir şekilde karşılamıyorsa, karar aşaması için, söz konusu sınıflandırıcının doğru karar verme başarımı düşük olur. Bu noktada Zaman-frekans gösterimleri işaret örüntülerinin özelliklerini ayırt etmede uygun bir uzay oluşturmaktadır.

Tek boyutlu karmaşık işaret verisini farklı ve daha kullanılabilir biçime dönüştürerek işarete ait ayırıcı niteliklerini, özelliklerini elde etme işlemine işaret örüntülerinden özellik çıkarma süreci denir. Mesela, sese ait merkez frekansı bulmak için zaman bölgesindeki işaretin Fourier dönüşümü yapılması gerekir. Dönüşüm ve gösterim algoritmaları, İşaret örüntülerini sınıflamanın en önemli kısmını oluşturur ve bu noktada önemli olan şey, işaretin tüm özelliklerini birbirinden ayırt edebilecek bir gösterim uzayının seçilmesidir [68].

Zaman-frekans gösterim teknikleri, işaret işleme süreçlerinde, işaret sıkıştırma, kodlama, filtreleme, gürültü bastırma, işaret tahmini, sınıflandırma ve yeniden sentez gibi kapsamlı uygulama alanları bulmuşlardır. Durağan olmayan işaretler için özellik tanımlaması, frekans içeriklerine göre yapılacaksa, özellik çıkarımı, genel olarak zaman ve frekans bölgelerinin birleşimindeki analiz ile ilgilenilir. Bu sayede hem geçici ve hem de frekans değişim bilgileri özellik tanımlama için kullanılmış olur. Bu da işarete ait özellik çıkarmanın niteliğini arttıracaktır. Sonuçta da sınıflandırıcının işi kolaylaşarak daha güvenilir bir karar aşamasının elde edilmesini sağlayacaktır [60, 69].



Şekil 4.6. Zaman – frekans gösterim yöntemleri [60]

Tek boyutlu  $y(t)$  işaretlerin, zaman bölgesindeki zaman–frekans gösterimleri, zaman ve frekansın iki boyutlu bir fonksiyonudur.  $Ty(t, f)$  biçiminde gösterilebilir. Burada ki frekans terimi birçok dönüşüm uzayını tanımlayacak geniş bir manada kullanılır. Şöyle ki, Fourier dönüşümünde spektrum yerlerini, dalgacık dönüşümünde ölçekleri ve çeşitli eşleştirme filtrelerinin çıkışlarını, frekans terimi temsil etmektedir. Bazı zaman–frekans gösterim yöntemleri Şekil 4.6' da verilmiştir.

Zaman-frekans gösterim yöntemleri sıkıştırılmış ve sıkıştırılmamış dönüşümler olarak ikiye ayrılabilir. Sıkıştırılmamış dönüşüm yöntemleri, doğrusal ve doğrusal olmayan dönüşümler olarak kendi arasında ayrılabilir. Doğrusal dönüşümler, doğrusallık prensibi

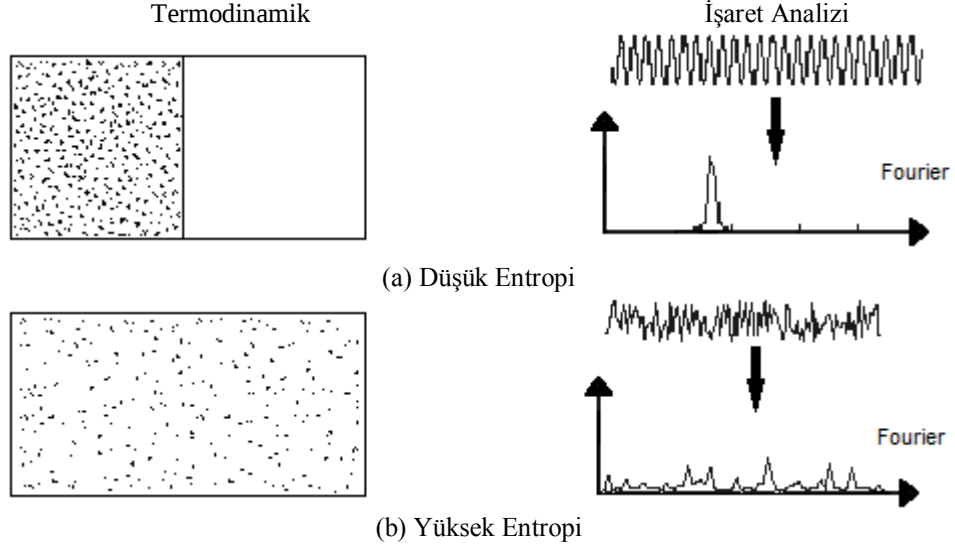
veya süperpozisyonu esas almaktadır. Doğrusallık, dönüşüm katsayılarından elde edilen veriler ile zaman bölgesinde yeniden elde edilebilmedir. Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman–frekans dönüşümleri, kendi konusunda ve zaman–frekans gösterimleri için iyi birer kaynak olmaktadır [83, 84].

Sıkıştırılmış dönüşüm yöntemlerinde ise, işaretin her bir çerçevesinin spektral özelliklerini ayırt etmek için bir takım parametreler kullanılmaktadır. Bundan dolayı işaretlerin zaman–frekans analizleri, parametrik ve parametrik olmayan yöntemler şeklinde ikiye ayrılabilir [68, 85].

#### **4.2.2. Entropi Hesaplama Teknikleri**

Entropi kavramı, bir sistemin düzenliliğini ölçmek amacı ile özellikle termodinamik fiziğinde kullanılan bir kavramdır. Sistemdeki düzensizlik miktarı olarak ta ifade edilebilir. İşaret işlemede ve özellikle haberleşme alanında(haberleşme işaretinin bilgi miktarının ölçülmesi ve kanalların doluluğunun belirlenmesi hakkında), ilk defa 1940’ lı yıllarda Shannon entropi kavramını kullanmıştır [86]. Entropi tabanlı ölçütler verilen bir işaret gösteriminin özellikleri ile ilgili bilgileri tanımlar. Bu düzensizlik ölçüm metodu, durağan olmayan bir işaretin düzensizlik derecesini ölçmek için ideal bir araç olarak görünmektedir [87]. Ayrıca, entropi metodu bir olayın içerdiği bilginin ortalama miktarını ölçmek amacı ile de kullanılmaktadır [88].

Entropi kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için, Entropi’ nin termodinamik ve işaret işleme alanlarındaki kullanımı Şekil 4.7’ de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Gaz molekülleri Şekil 4.7 (a)’ da görüldüğü gibi belirli bir bölgeye sıkıştırılmıştır. Burada gaz molekülleri daha düzenli bir yapıya sahip olduklarından, düşük entropi değerine sahiptirler. Gaz molekülleri Şekil 4.7 (b)’ de ise sıkıştırıldığı bölgeden serbest bırakılarak tüm kapalı hacme yayılmışlardır. Burada ise gaz moleküllerinin düzenli yapısı bozuk olduğu için entropi değeri yüksek olur. Termodinamikteki bu durum işaretlerin düzensizlik veya belirsizlik miktarlarını ölçmek içinde iyi bir araç teşkil etmektedir. Şekil 4.7(a) yeniden incelendiğinde görüleceği üzere, işaret durağan (bir sinüzoidal işaret olabilir) ise frekans bölgesinde dar bir spektrum ile düşük bir entropi değerine sahip olacaktır. Eğer işaret durağan değilse Şekil 4.7(b) görüleceği üzere, frekans spektrumu geniş bir banda yayılarak büyük bir entropi değeri oluşmasına neden olacaktır [89].



**Şekil 4.7.** Entropi kavramı: (a) Düşük entropi, (b) Yüksek entropi [60]

Günümüzde özellikle son yıllarda, entropi kavramı, işaret işleme alanında da yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Entegre devre teknolojisinde karbon üzerindeki elektron enerji kaybının bulunması, biyomedikal MR işaretlerinin dalgacık dönüşüm uzayından istatistiksel bilgilerini elde ederek işaretin gürültüsüz şeklinin belirlenmesi, JPEG görüntü kodlamada meydana gelebilecek gürültünün tespiti, EEG işaretlerinin spektral entropilerini kullanarak anestezi derinliğinin tahmin edilmesi ve MEG biyomedikal görüntülerin yeniden yapılandırılmasında Norm entropi metodu kullanarak yüksek kalitede MEG görüntüleri elde edilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [89–92].

İşaret işleme alanında, Shannon, Eşik, Norm, Sure ve Logaritmik Enerji genelde kullanılan entropi hesaplama metotlarıdır (Tablo 4.1) [93].

**Tablo 4.1.** Entropi hesaplama metotları.

| Entropi Metod Adı | Entropi Metod Denklemi                                                                                                                                                                                |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Shannon</b>    | $E(s) = - \sum_i s_i^2 \cdot \log_2(s_i^2) \text{ ve}$ $\log(0) = 0 \text{ kabul edilerek,}$                                                                                                          |
| <b>Eşik</b>       | Burada $\varepsilon$ pozitif bir eşik değeri olup;<br>$ s_i  > \varepsilon \Rightarrow E(s_i) = 1$ ve $ s_i  \leq \varepsilon \Rightarrow E(s_i) = 0$<br>tanımlanmak üzere;<br>$E(s) = \sum_i E(s_i)$ |
| <b>Norm</b>       | $E(s) = \sum_i  s_i ^p \text{ ve } 1 \leq p < 2$                                                                                                                                                      |
| <b>Sure</b>       | Burada $\varepsilon$ pozitif bir eşik değeri olup;<br>$ s_i  \leq \varepsilon \Rightarrow E(s) = \sum_i \min(s_i^2, \varepsilon^2)$                                                                   |
| <b>Logaritmik</b> | $E(s) = \sum_i \log_2(s_i^2) \text{ ve}$ $\log(0) = 0 \text{ kabul edilerek,}$                                                                                                                        |

Burada,

$s$  : İşaret,

$s_i$  : İşaretin  $i$ . katsayısını ifade eder.

İşaret işlemede, söz konusu entropi hesaplama tekniklerinin kesin kullanım alanları belirli olmayıp, uygulamalara göre başarımları farklılıklar göstermektedir. Ancak zamana bağımlı entropi hesaplaması, durağan olmayan işaretler için daha elverişli olmaktadır. Bunun için de  $s_i$  işaret katsayılarının zamana bağımlı olması gerekmektedir [87].

### 4.3. Sınıflandırma İşlemi

Örüntü tanıma' nın son aşaması olan sınıflandırma işleminin amacı, örüntüleri özellik uzaylarına göre minimum düzeyde bir hata ile kendilerine en yakın sınıflara eşlemektir. Özellikler ne kadar iyi belirlenirse sınıflandırıcının başarımı da o kadar yüksek olur.

Sınıflandırma işlemi için kullanılan Sınıflandırıcılar, klasik ve akıllı olmak üzere iki türde değerlendirilebilir.

Klasik sınıflandırma da, sınıflandırma algoritmaları Bayes karar teorisi üzerine kuruludur. Bu karar teorisi istatistiksel bir yapı üzerine dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, özellik uzayını sınıflandırma uzayına dönüştürürken, gürültü gibi istenmeyen olaylar meydana gelmekte ve her bir sınıf için hata kriteri belli olmamaktadır [94]. Klasik sınıflandırıcılara örnek olarak; çok değişkenli Gauss modelleri, en yakın komşu, maksimum olabilirlik, ikili ağaç sınıflandırıcıları ve Fisher' in doğrusal sınıflandırıcıları verilebilir [68].

Akıllı sınıflandırma da, sınıflandırma yapıları genelde bulanık mantık ve yapay sinir ağı tabanlıdır. Bu türler, günümüzde en çok kullanılan, başarımını ispatlamış çok güçlü sınıflandırıcılardır. Bu sınıflandırıcıların, genelleme yetenekleri göz önüne alındığında, örüntü tanıma uygulamalarının çok büyük boyutlu verileri açısından büyük önem arz etmektedir.

Hoekstra, yaptığı bir çalışmada, klasik ve akıllı (yapay sinir ağı) sınıflandırıcılarını karşılaştırmış ve yapay sinir ağı sınıflandırıcılarının üstünlüklerinin klasik yöntemlere göre tartışılmaz olduğunu göstermiştir [95].

Şekil 4.8' de akıllı sınıflandırmaya ait yapı gösterilmektedir. Eğitim verisi, sınıflandırıcının hafızası içinde şifrelenir. Sınıflandırıcı hafızası uyarlanabilen  $\phi$  parametrelerinden oluşmaktadır.

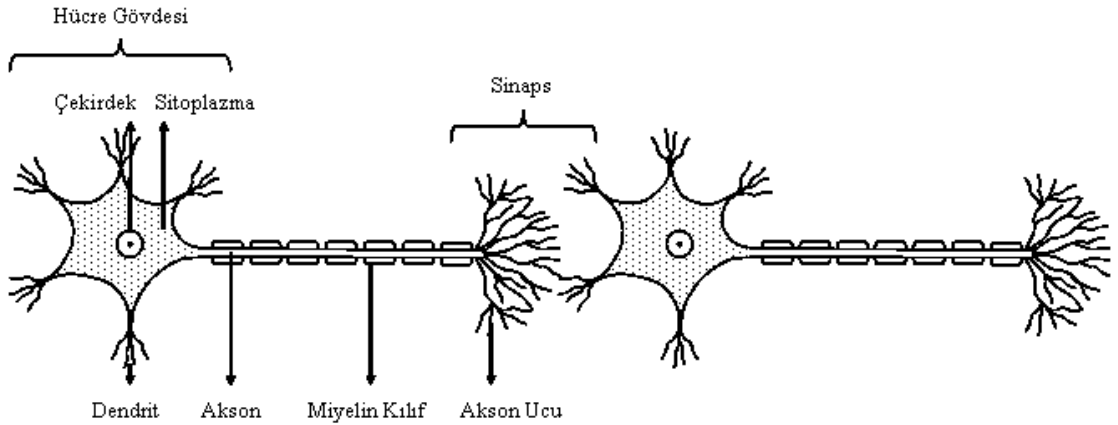


Şekil 4.8. Akıllı sınıflandırma

#### 4.3.1. Yapay Sinir Ağı Sınıflandırıcıları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır [96].

YSA kavramını iyi anlamak için, öncelikle biyolojik sinir ağlarını incelemek daha faydalı olacaktır. Şekil 4.9.'da biyolojik sinir ağının en temel elemanı olan sinir hücresi, verilmiştir. Sinir sistemi içerisindeki fonksiyon ve görevlerine göre, değişik şekil ve büyüklükte olabilir. Bütün hücrelerin ortak bazı özellikleri vardır. Nöronun bir ucunda “dendrit” adı verilen ve hücreye, diğer hücrelerden veya dış dünyadan gelen bilgileri toplayan bağlantı elemanı, diğer ucunda ise tek bir life benzer “akson” adı verilen ve hücreden diğer hücelere ve dış dünyaya bilgi taşıyan bağlantı elemanı vardır. Akson diğer hücrelerle birleşme esnasında dağınık dallara ayrılmaktadır. Bu iki uçtaki bağlantı noktalarının, elektro fizyolojik olarak hücrelerdeki bilgileri işlemede önemli yeri vardır. Hücrelerin birbiri ile elektrik işaretleri vasıtasıyla irtibat kurduğu belirlenmiştir. İşaretler, bir hücrenin aksonundan, diğerinin dentritine gönderilir. Bir akson birden fazla dentrit ile bağlantı kurabilir. Bu bağlantıların yapıldığı yere sinaps denir [80].



Şekil 4.9. Biyolojik bir sinirin genel yapısı.

Hücreler, içinde ve dışında dağılmış iyonlar yardımı ile hücre duvarlarındaki gerilimi değerini değiştirmek suretiyle elektrik işaretini üretirler. Bu iyonlar sodyum, kalsiyum, potasyum ve klorin gibi iyonlardır. Bir hücre, diğer hücreye elektrik enerjisini bu kimyasal iyonlar vasıtasıyla transfer eder. Bazı iyonlar elektrik ve magnetik kutuplaşmaya sebep

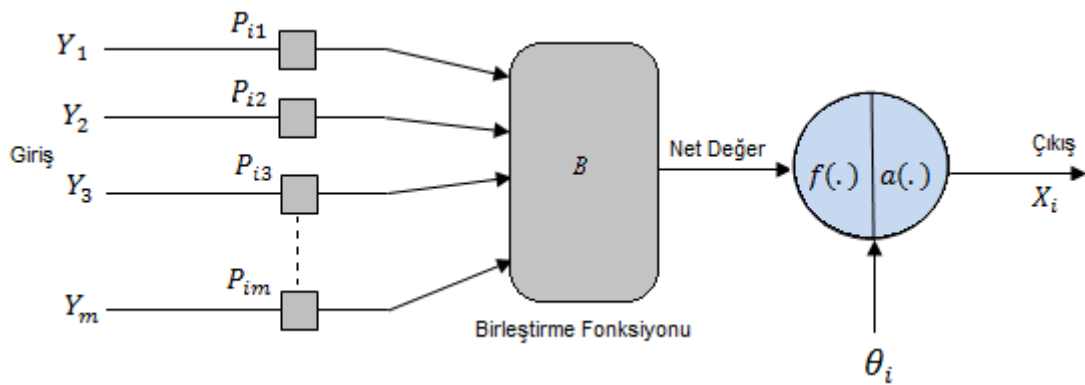
olurken, bazıları kutuplaşmadan kurtulup hücre zarını açarak iyonların hücreye geçmesine olanak sağlar. Zaten işaretlerin bir hücreden diğerine akmasını sağlayan da bu kutuplaşmanın azalması olayıdır. İşaretler, hücrenin etkinliğini belirler. Bir hücrenin etkinliğini üç faktör belirler. Bunlar, hücreye gelen sinaps sayısı, sinapslardaki iyonların konsantrasyonu ve sinapsın sahip olduğu güçtür. Bir hücre sahip olduğu dürtü miktarınca diğer hücreleri etkiler. Hücrelerden bazıları diğerlerinin dürtülerini pozitif yönde, bazıları da negatif yönde etkiler. İnsan sinir ağı sistemi, bu şekilde çalışan milyonlarca hücrenin bir araya gelmesinden oluşur [80].

Yapay sinir ağlarında;

- Biyolojik bir nöron hücre yapısından esinlenilerek, matematiksel modeli ortaya konmuştur.
- Birbirine bağlanan çok fazla sayıdaki işlem elemanları (hücre, düğüm, nöron) vardır.
- Bilgi, bağlantı ağırlıkları ile muhafaza edilmektedir.
- Bu bağlantı ağırlıkları sayesinde (eğitim verisi ile ayarlanan) öğrenme, hatırlama ve genelleme yetenekleri mevcuttur.
- Bir işlem elemanı, giriş uyarılarına yerel bilgiler vasıtasıyla dinamik olarak tepki verebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen özellikler, yapay sinir ağlarının ne kadar karmaşık problemleri çözebilme yeteneğine sahip olduğunu da göstermektedir [97].

Şekil 4.10' da nöron hücre yapısından esinlenerek, işlem elemanlarından oluşan, bir YSA hücresinin tipik matematiksel modeli gösterilmiştir. Ayrıca bu modelde, bir yapay sinirin ana öğeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10. YSA hücre modeli.

|                                        |                            |
|----------------------------------------|----------------------------|
| $Y_1, Y_2, Y_3, \dots Y_m$             | : Girişler                 |
| $P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots P_{im}$ | : Ağırlıklar               |
| $\theta_i$                             | : Eşik fonksiyonu          |
| $a(.)$                                 | : Etkinleştirme fonksiyonu |
| $X_i$                                  | : Çıkış                    |
| $B$                                    | : Birleştirme fonksiyonu   |

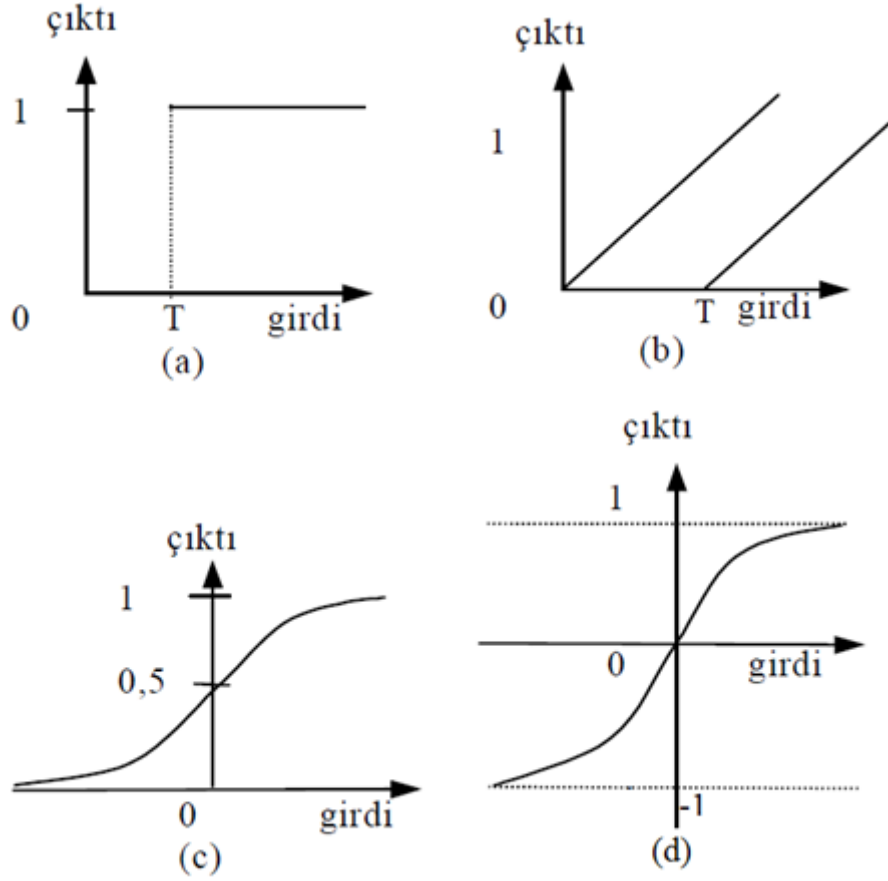
Bir yapay sinir hücresi, aşağıdaki ana öğelerden oluşur.

**Girişler:** Girişler ( $Y_1, Y_2, Y_3, \dots Y_m$ ) çevreden aldığı bilgiyi yapay sinire getiren uyarılardır.

**Ağırlıklar:** Ağırlıklar ( $P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots P_{im}$ ), girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirler. Bir yapay sinir aynı anda birden çok girdi alabilir ve her girişin kendine ait bir ağırlığı vardır. Giriş değerlerinin her biri bir bağlantı ağırlığıyla çarpılır. Bir ağırlığın değerinin büyük olması, o girişin yapay sinir üzerindeki etkisinin güçlü olması, güçlü bağlanması ya da önemli olması; küçük olması ise sinir üzerindeki etkisinin zayıf olması, zayıf bağlanması ya da önemli olmaması anlamına gelmektedir. Yani ağırlıklar, girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür.

**Toplama işlevi:** Toplama işlevi, yapay sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişle çarpımının toplamalarını eşik değeri ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Ayrıca toplama işlevi kullanıcının belirleyeceği bir fonksiyon da olabilir.

**Etkinleştirme fonksiyonu:** Geçiş, transfer veya aktivasyon fonksiyonu olarak da geçen etkinleştirme fonksiyonu, toplama işlevinin sonucunu bir işlemde geçirip hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı etkinleştirme fonksiyonları ise: Birim basamak, signum, rampa, tek ve çift yönlü sigmoid' dir (Şekil 4.11).



**Şekil 4.11.** Etkinleştirme fonksiyonu: a) İkili adım fonksiyonu, b) Doğrusal geçiş ve adımli doğrusal geçiş fonksiyonu, c) Sigmoid fonksiyonu, d) Hiperbolik tanjant fonksiyonu.

**Çıkışlar:** Çıkış, etkinleştirme fonksiyonu sonucunun dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerdir. Bir sinirin birden çok girişi olmasına karşın, tek bir çıkışı vardır. Sinirin bu çıkışı kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş olabilir [96].

Şekil 4.10' da verilen YSA hücresinin çıkışı aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$X(t + 1) = a \left( \sum_{j=1}^m P_{ij} Y_j(t) - \theta_i \right) \quad (4.3)$$

İşlem elemanlarının bilgi işlemleri giriş ve çıkış olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bir işlem elemanı dışarıdan almış olduğu  $Y_j$ , giriş bilgilerini, bağlı bulundukları  $P_{ij}$ , ağırlıkları üzerinden birleştirerek net bir değer üretir.  $i$ . işlem elemanının net değeri ise, Denklem 4.4 ile hesaplanır.

$$f_i \Delta net_i = \sum_{j=1}^m P_{ij} Y_j - \theta_i \quad (4.4)$$

Her bir işlem elemanının ikinci sürecinde, bulunan net değerini bir  $a(.)$  etkinleştirme fonksiyonundan geçirerek çıkış değerini bulmak vardır. Bu etkinleştirme fonksiyonları, işlem elemanlarının çok geniş aralıktaki çıkışını belli aralıklara çekmektedirler. Bu sayede her bir işlem elemanının tepkisi daha esnek olmakta ve bağlantı ağırlıklarındaki değişimlerinin de daha küçük değerlerde olması sağlanmış olur. Bundan dolayı da yapay sinir ağının eğitiminde, hata değişiminin uzaması engellenir ve kararlılığa ulaşması desteklenmiş olur. [98, 99].

Yapay sinir ağlarının görevlerini gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziksel yapının da önemi vardır. Farklı yapılaşma, işlem elemanlarının birbirleri ile olan bağlantılarından ve uygulanan öğrenme kuralından kaynaklanmaktadır. İşlem elemanları ya tamamen birbirleri ile bağlantılı veya yerel olarak gruplar halinde bağlantılı olabildikleri gibi değişik şekilde de birbirleri ile bağlanabilmektedirler. Bilgi akışı bu bağlantılar üzerinden tek yönlü olduğu gibi, çift yönlü de olabilir.

YSA' larda, yapay nöronlar basit bir şekilde kümelendirilmektedirler. Bu kümelendirme katmanlar halinde yapılmaktadır ve bu katmanlar birbirleriyle ilişki içindedir. Yani bir grup işlem elemanı bir araya gelerek bir katman oluştururlar. Genel itibariyle yapay sinir ağları 3 tür katmandan oluşur. Bunlar, sinir ağının dış dünya ile bağlantısını kuran, girdileri (bilgi) alan giriş katmanı, gelen bilgileri işleme kabiliyetine sahip arada kümelенmiş hücre katmanı olan gizli (ara) katman ve sinir ağının kararlarını dış dünyaya aktaran bir çıktı katmanıdır. Bu katmanların sayısı ve her katmandaki hücre sayısı, deneme yanılma yöntemiyle problemin tipine bağlı olarak bulunur. Karmaşık hesaplamalar için oluşturulan ağlarda en az bir ara katman olmalıdır. Burada her bir yapay sinir bir etkinleştirme fonksiyonu içermektedir. Giriş katmanına gelen bir girdi, bağlantı ağırlıklarıyla çarpılarak sinirler arası bağlantılar yardımıyla gizli katmana iletilir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girdi toplanarak aynı şekilde gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıklarıyla çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanında da bu girdiler toplanarak çıktı üretilir. Her katmanda, o katmanın düğümleri tarafından öteki katmana iletilmeden önce girdiler üzerinde basit bir işlem yerine getirilir. Bu süreç çıkış katmanına erişilinceye kadar devam eder. Her YSA' nın yapısı öğretilen problemin tipine bağlı olarak değişiklikler gösterir.

#### 4.3.1.1. Öğrenme Süreci

Öğrenmenin amacı, YSA' nın tüm girdi değerleri için çıktı değerlerini doğru üretilmesini sağlamaktır. Bunun için de her bir düğümün girişindeki bağlantı ağırlıklarının doğru derlenmesi gerekmektedir. Öğrenme sürecinin başlangıcında yapay sinir ağının ağırlıkları rastgele atanmış durumdadır. Girdiler, girdi katmanından başlayarak gizli katmanlara ve çıktı katmanına işlenerek geçirilir. Böylelikle yapay sinir ağı, ağırlıklar ile toplam ve geçiş fonksiyonlarının etkisi altında bir çıktı dizisi üretmiş olur. Bu çıktılar ile hedef çıktılar arasında hesaplanan fark "hata" olarak adlandırılır. Bu hata, yapay sinir ağının ağırlıkları ile istenen çıktılar arasındaki farkın giderilmesi için ağ içinde kullanılmaktadır [100]. Bu farkın giderilmesi ve ağ bağlantılarının ağırlıklarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için çok sayıda döngüye ihtiyaç duyulur. Her döngü için, belirlenmiş öğrenme oranına yaklaşılrken, katman sayıları, hücre sayıları ve etkinleştirme fonksiyonları rastgele değiştirilerek en iyi çözüm bulunmaya çalışılır. Bir başka deyişle bu değişkenler (katman sayıları, hücre sayıları, etkinleştirme fonksiyonları) deneme yanılma yöntemiyle bulunur.

Bir diğer önemli unsur ise öğrenme oranı ve hatadır. Öğrenme oranı, bağlantıların ağırlık değerlerindeki değişimin miktarı veya öğrenme esnasında hedefe yakınsama miktarını ayarlayan sayı olarak tanımlanabilir. Öğrenme oranının ağ performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Küçük öğrenme oranı değeri için eğitime işlemi uzun zaman alırken, bu değerin büyümesi ile eğitime işlemi daha kısa zamanda gerçekleşir [96]. Diğer bir ifadeyle, daha fazla hız daha az öğrenme anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bir ağın ne kadar eğitileceği sorusu öğrenme oranına bağlıdır.

Ayrıca öğrenme oranının arttırılması ağın toplam hatası üzerinde bir iyileştirme meydana getirmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, elde edilen çıktılar ile hedef çıktılar arasında hesaplanan fark "hata" olarak adlandırılır. Hata farkı değişken değeri ya da tolerans, sonuçta istenilen toplam çıkış hatasındaki hassasiyetle ilgilidir. Küçük tolerans değeri ağdaki toplam çıkış hatasını daha fazla sifıra doğru yaklaştırarak bağlantı ağırlıklarındaki hassasiyeti de aynı oranda arttırmaktadır. Aynı zamanda tolerans değerinin küçülmesi eğitim süresini ve adım sayısını arttırmaktadır [96].

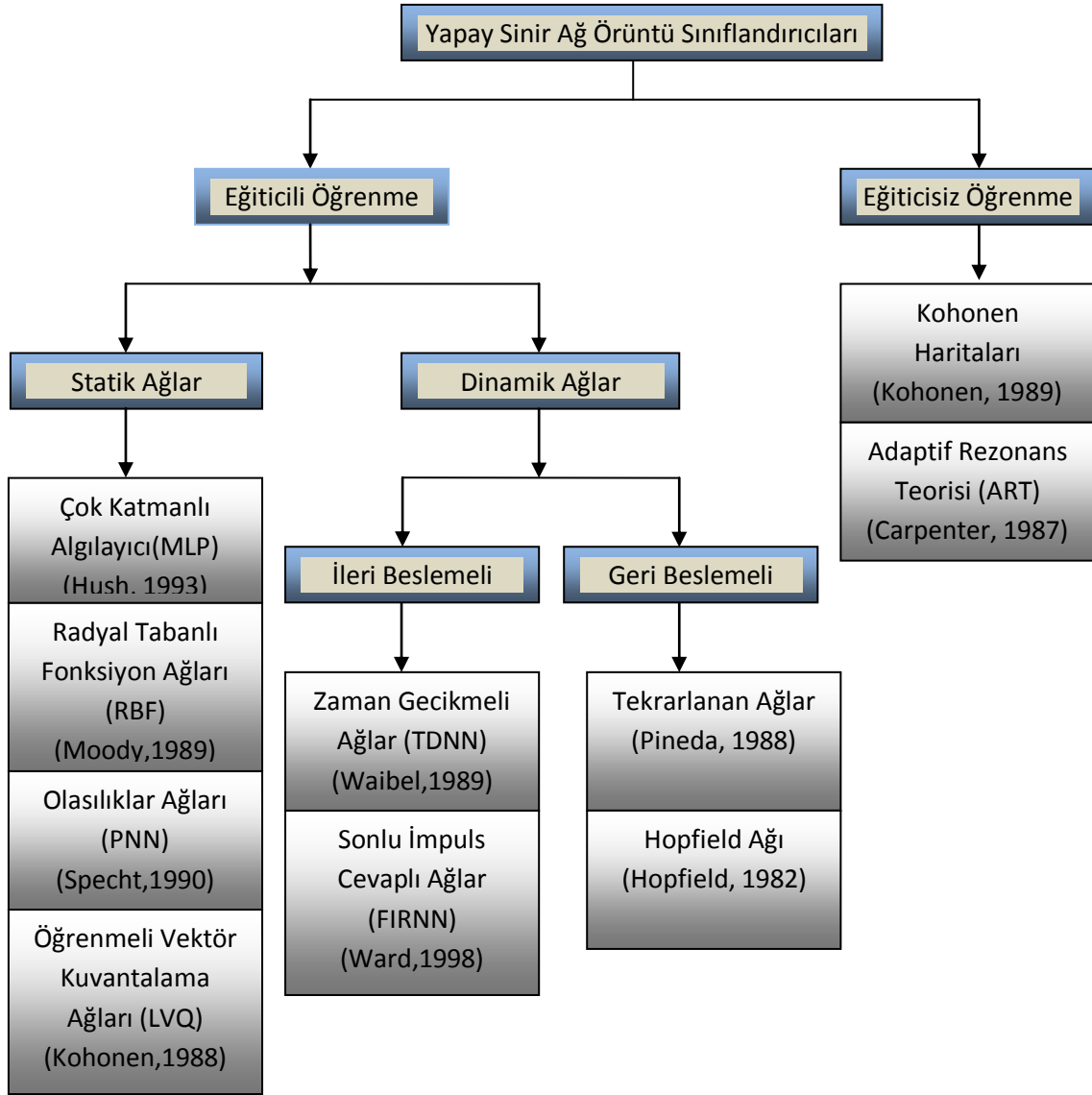
#### 4.3.2. Yapay Sinir Ağı Örüntü Sınıflandırıcıları

YSA' ların başlıca uygulama alanları sınıflandırma, tahmin ve modelleme olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, YSA sınıflandırıcı mekanizması ile ele alınmıştır.

YSA, örüntü tanımada çok kullanılan kuvvetli sınıflandırıcılardır. YSA, sınıflandırılması istenen nesnenin öznitelik vektörünü giriş kabul eden ve çıkış ünitelerinin birinde bu nesnenin sınıfını tespit edecek bir cevap üreten tümleşik bir yapıdır. Bu yapı ise doğrusal olmayan birçok hesaplama elemanlarının paralel işlemlerinden meydana gelmiştir [101–105].

Mühendislik alanında özellikle bilgisayar teknolojisinin hızlı gelişimi ile YSA, geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur. Bu sınıflandırıcı da her çıkış ünitesi, gözlenen olayın farklı bir sınıfını belirler. Paralel bilgi işleme yapıları, bilgisayarları klasik yöntemlerin dışında farklı kullanması, özellikle seri bilgisayarlarda klasik yöntemlerle yapılması mümkün olmayan ve çok zor olan ses ve örüntü tanıma gibi uygulamaları rahatlıkla yapabilmeleri, YSA' ları üstün kılan özellikler arasındadır [101–105].

Tüm YSA modellerini bir örüntü sınıflandırıcısı olarak kullanmak mümkündür, fakat en yaygın kullanılan ve en güçlü örüntü sınıflandırıcısı çok katmanlı ileri beslemeli ağ olup, tüm YSA uygulamalarının %90' ını kapsamaktadır. Örüntü sınıflandırıcısı olarak kullanılan YSA türleri hiyerarşik bir biçimde Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. YSA örüntü sınıflandırıcıları [60]

Yaygın olarak kullanılan çok katmanlı ileri beslemeli YSA 'nın eğitiminde çeşitli eğitim algoritmaları kullanılmakla birlikte en başarılı sonuçlar geri yayılım (backpropagation) algoritması ile elde edilmiştir. Bu algoritma, eğim düşme metoduna dayalıdır. Çok katmanlı YSA yapısı ve geri yayılım algoritması tüm YSA çalışmalarında geniş bir yer tutar. Çok katmanlı YSA yapısının kaç katmanlı olacağı ve katmanlarda kaç nöron bulunacağı, etkinleştirme fonksiyon türü seçimi genellikle uygulamalara bağlıdır. Geri yayılım öğrenme algoritmalı çok katmanlı YSA, geniş giriş vektörüne sahip olan örüntü tanıma çalışmalarında en iyi başarımın elde edildiği yapıdır. Çünkü örüntü sınıflandırıcılarından beklenen, istenen ayrımı yapabilmeleridir [60].

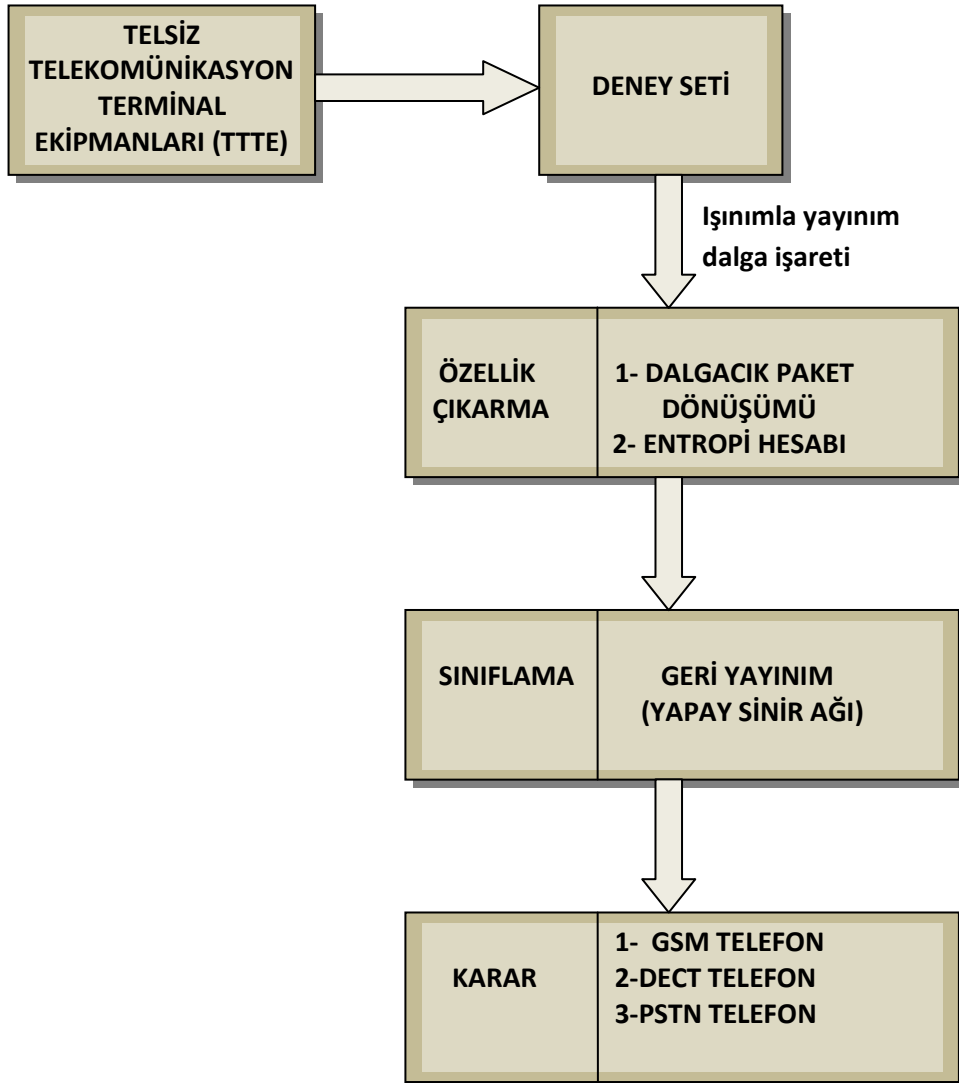
Yapay sinir ağlarının kendilerine gösterilen bir örüntüyü daha önce öğrendikleri ile mukayese ederek ve aradaki benzerlikleri ortaya koyarak, belirli sınıflara ayırma özelliklerine sahiptirler. Yani eksik ya da hatalı girişler olması durumunda doğru tanımlama yapabilme kabiliyetine sahiptirler.

Ayrıca yapay sinir ağları tam doğru olmayan eğitim verisinden de doğruyu çıkarabilirler. Bu özelliğe de çıkarım yapma denir. Örneğin, ses örüntülerini tanımak için eğitilmiş bir yapay sinir ağına, gürültü tarafından bozulmuş ses verilebilir. Buna rağmen eğitimden sonra, sistem girişi bozuk ses olmasına rağmen, çıkışta ses mkemmел bir şekilde oluşturulabilir. Böylece, eksik veya gürültülü girişlere karşın uygun şekilde cevap verebilmektedir.

Verilerde eğer bir eksiklik söz konusu olursa, klasik yöntemler çalışmazlar. Daha önce belirtildiğizere, iyi eğitilmiş ve genelleme kapasitesi yüksek bir sinir ağı, kendisine takdim edilen veriler eksik olsa da karar verme işlemine devam eder. Aynı şekilde, yapay sinir ağızzerinde birtakım problemler ve bozukluklar olabilir. Klasik sistemlerin tersine yapay sinir ağları, bu durumda da çalışmalarına devam ederler. Verilerdeki eksiklik veya yapay sinir ağındaki yapısal bozukluk arttıa yapay sinir ağının performansı yavaş yavaş azalmaya başlar. Fakat sistem fonksiyonunu tamamen durdurmaz ve mutlaka bir sonuzretilir. Bu zellikler yapay sinir ağının yapısından kaynaklanmaktadır. Çünkü ağın sahip olduğu bilgi, ağzzerindeki hücrelerin birbiri ile olan bağlantılarızzerine dağıtılmıştır. Zaten böyle bir durumda tek bir bağlantı ve onunzzerindeki bilgi, başlı başına hiçbir zaman bir mana ifade etmez. Ancak, bir grup halinde ve tam olarak bağlantıların birlikte düşünülmesi sonucu anlamlı bilgilerzretilir. Bundan dolayı bira bağlantının etkisiz hale gelmesi, sonucu ya etkilemez veya performansı yavaş yavaş düşürür. YSA, sahip olduğu diğer bağlantılar nedeniyle işlevine devam eder [60].

## 5. IŞINIMLA YAYINIM DALGA ÖRÜNTÜLERİNE GÖRE TTTE' NİN SINIFLANDIRILMASI

Bu bölümde, EMU deneyleri (testleri), telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanlarından GSM, DECT ve PSTN telefonlara yönelik olarak yapılan ışınlımla yayınımlı deneyi ve elde edilen örüntü bilgileri ele alınmıştır. Özellik çıkarımı için kullanılan yöntem bu deneylerden elde edilmiş olan verilere uygulanmış ve YSA sınıflandırıcısı ile cihaz sınıflandırması yapılmıştır. Kullanılan yöntemin blok diyagramı Şekil 5.1. de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kullanılan yöntemin blok diyagramı.

## 5.1. EMU Deneyleri

EMU deneyleri, bir ekipmanın yaydığı istenmeyen elektromanyetik yayının frekansa göre belirlenmesi ve bu ekipmanın elektromanyetik olarak kirli bir ortamda kendisinden beklenen işlevlerini belirlenen limitler içerisinde yerine getirip getirmediğinin incelenmesidir.

Uluslararası uzman kuruluşlar elektromanyetik yayının ve bağışıklık limitlerini ve gerekli standartları belirler. Bu standartlar söz konusu cihazların çevresindeki diğer cihazlarla bir arada kendilerinden beklenen performansları yerine getirmeleri için sağlanması zorunlu kuralları belirler. Bu standartlar, maksimum istenmeyen yayının seviyeleri ile minimum bağışıklık seviyelerini belirtir. Bu seviyeler için cihazlardan ne kadar uzakta bu limitlerin sağlanması gerektiği açıklanmaktadır. Örneğin, bir cep telefonu ile bir kablolu telefon aynı ortamda birbirini etkilemeden, çalışması gerekir. Standartlar bu etkileşimin minimum uzaklığını belirtir.

Standartlar yapılacak olan her deneyin koşullarını ayrıntılı biçimde verir. Ancak, test edilecek ekipman ve test yapılan ortamın önemi de büyüktür.

EMU deneyleri, cihazın yaydığı elektromanyetik sızıntı miktarının frekansa göre belirlenmesi (yayınım) ve bu cihazın elektromanyetik olarak kirli bir ortamda kendisinden beklenen işlevlerini belirlenen limitler içerisinde yerine getirip getirmediğinin incelenmesi (bağışıklık) olmak üzere, iki test temeline dayanır.

Bu iki yayının ve bağışıklık deneyleri için de, kuplajlama<sup>5</sup> yoluna göre, iletkenlik yoluyla (iletimle) ve ışıyım yoluyla olmak üzere iki durum söz konusudur. Yayınım için, ekipmana ait kablo, konektör gibi bağlantı yollarının neden olduğu etkiler ve elektromanyetik ışıyım ile yayının etkilerinin belirlenmesi gerekir. Aynı durum bağışıklık deneyleri için de geçerlidir. Ekipman, belirlenen limitleri içerisinde hem bağlantı yolları üzerinden hem de ışıyım yoluyla meydana gelen etkilere karşı dayanıklılığı test edilmektedir.

EMU deneyleri, zaman ve frekans domeninde yapılır. Yayınım deneyleri genelde frekans domeninde gerçekleşirken, bağışıklık deneyleri ise daha çok zaman domeninde olur. Frekans domeninde gerçekleşen deneylerde, spektrum analizörü benzeri ve istenen

---

<sup>5</sup> Kuplajlama: Elektromanyetik dalganın etkileşimi

her frekanstaki etkiyi süzüp iyi analiz edebilen, elektromanyetik gürültüye karşı daha duyarlı alıcı cihazlar kullanılır.

Güç kalitesi ile ilgili olan ve yayılım deneyleri olarak kabul edilen harmonik akım yayılımı ile gerilim dalgalanması ve kırpışma, bağışıklık deneyleri kapsamında ele alınabilecek olan ani yükselme, elektriksel hızlı geçişler/patlama, gerilim çukuru(çökmesi)-kısa kesintiler ve elektrostatik boşalma deneyleri de EMU deneyleri kapsamındadır. Bu eklemeler ile genel olarak EMU deneyleri;

Yayılım deneyleri;

- Işınım ile yayılım (radiated emission)
- İletimle yayılım (conducted emission)
- Harmonik akım yayılımı (harmonic flicker)
- Gerilim dalgalanması ve kırpışma

Bağışıklık deneyleri;

- Işınım ile bağışıklık (radiated immunity)
- İletimle bağışıklık (conducted immunity)
- Ani yükselme (surge)
- Elektriksel hızlı geçişler (fast transients-EFT) / Patlama (burst)
- Gerilim çukuru ve kısa kesintiler (voltage dips)
- Elektrostatik boşalma (electrostatic discharge-ESD)

şeklinde sınıflandırılabilir [50, 58, 106].

### **5.1.1. EMU Deney Ölçme Ortamları**

EMU deneyleri cihazların gerçek çalışma ortamlarında ve çalışır durumdayken yapılır. Cihazların çalışma ortamları geniş anlamda tanımlandığından EMU deneyleri aynı ortamı yaratmak ancak yaklaşık olarak olasıdır.

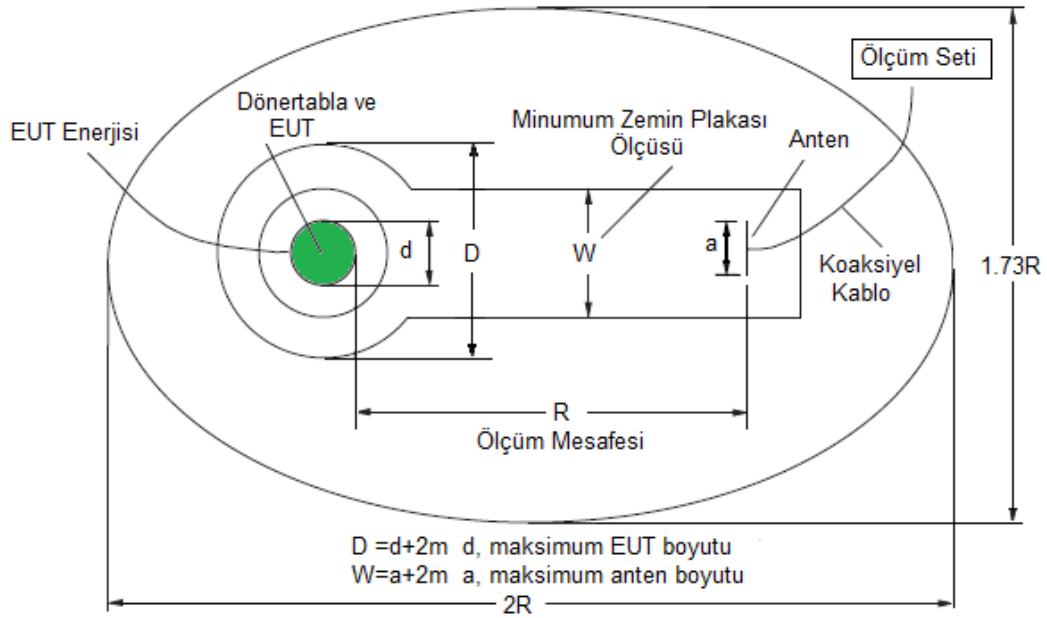
Ölçme ortamlarında yer alan deney odalarının teknik özellikleri standartlar ile belirlenmiştir.

EMU deneyleri ölçme ortamlarına göre açık alanlarda veya kapalı alanlarda yapılmaktadır.

#### 5.1.1.1. Açık Alan Test Sahası

Açık alan test sahası (OATS- Open Area Test Site) genellikle ışınlama yayılım deneylerinin yapıldığı ölçme ortamlarıdır. Açık alan test sahaları için, Elektromanyetik dalgalar açısından temiz, herhangi bir yansıtıcı( bina, ağaç, direk vb.) bulunmayan yerleşim yerlerinden uzak ortamlar seçilmektedir. Açık alanlar elips şeklinde ve düz bir zemin üzerinde olmaktadır (Şekil 5.2).

Cihaz ile alıcı anten arasındaki mesafeler  $R= 3, 10$  ya da  $30\text{m}$  olmaktadır. Buna göre ölçüm sahasının büyük çapı  $2R$  ve küçük çapı  $1.73R$  ile ifade edilir.



Şekil 5.2. Tipik açık alan test sahası.

Elektromanyetik alanlar için zemin kayıplı bir yansıtıcıdır. Yansıtma ve yutma oranları frekansa, dalga polarizasyonuna ve dalga geliş açısına göre değişebilir. Bu farklı etkilerden kurtulmak için iki teknik kullanılır. Ya zemin mükemmel iletken levha ile kaplanır, ya da zemine cihaz ile anten arasına yutucu (absorber) bir plaka konur. Zemin İletken levha ile kaplandığında, cihazdan çıkıp alıcı antene doğrudan ve yerden tam yansıyarak gelen yayılımların etkisi göz önüne alınmalıdır. Yutucu plaka konması durumunda ise, alıcı antene gelen yayılımın sadece cihazdan kaynaklandığı söylenebilir [50, 107].

### 5.1.1.2. Kapalı Alan Test Ortamları

Açık alanda temiz ve ayrıştırılabilen bir elektromanyetik ortamın sağlanması oldukça zordur. Kapalı alanların temel avantajı ise temiz bir ortama sahip olması ve ortamdaki sinyallerin tanımlanabilmesi kolaylığıdır.

Kapalı alanlarda EMU deneylerinde ortamdaki istenmeyen etkilerin test edilen ekipmandan dolayı meydana gelip gelmediğinin bilinmesi önemlidir. İletimle yayınım deneylerinde istenen ortamı sağlamak daha kolaydır. İletimle yayınım, besleme ve işaret kabloları kaynaklı olduğu için bu kabloları filtrelemek daha kolaydır. Örneğin besleme kablolarında 50Hz ve harmonikleri süzülerek sadece işaret frekanslarının etkileri ile ilgilenmek için bir üst geçirgen filtre kullanılabilir. Ancak ışınlama yayınım deneyleri için çevre etkilerinden arındırma kapalı test ortamlarını gerektirir.

Kapalı alan olarak, tam yansız oda (TYO) (FAC- Full Anchoic Chamber), yarı yansız oda (YYO) (SAC- Semi Anchoic Chamber) ve Ekranlı odalar (Faraday kafesi) ile TEM (Transverse Electromagnetic) ve GTEM (Gigahertz TEM) hücreleri kullanılmaktadır [50, 107].

#### A. Yarı yansız ve tam yansız odalar:

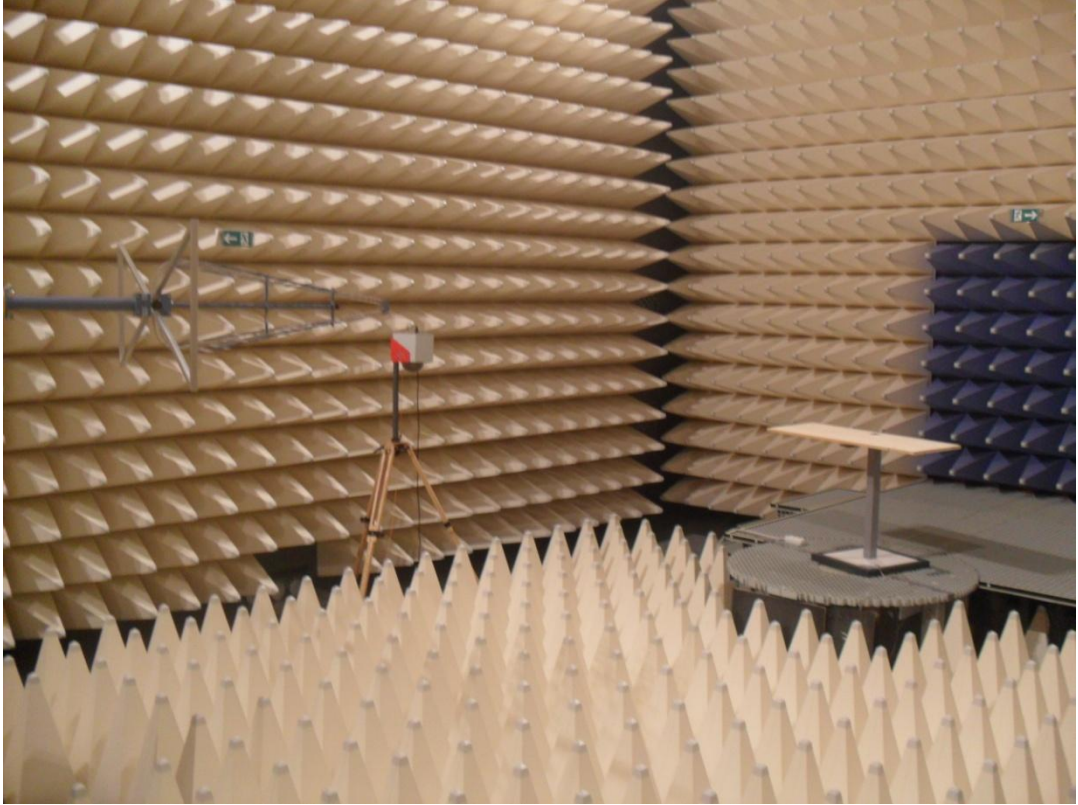
Genellikle ışınlama yayınım ve ışınlama bağışıklık deneylerinin yapıldığı odalardır. Bu odalar dış ekranlı kabini ile dış elektromanyetik ortamdan yalıtılmıştır. İç yüzeyde mevcut elektromanyetik yutucu (absorber) elemanlarla test odası içinde elektromanyetik açıdan “serbest uzay” elde edilmiştir. Bu sayede yaklaşık ideal test şartlarına benzer bir ortam sağlanmaktadır. Bu odaların taban, tavan ve duvarların yüzeyleri, üzerine gelen elektromanyetik enerjiyi yutmayı sağlayan piramit şeklinde ferrit kaplı, karbon katkıli poliüretan köpüklerle kaplanmıştır. 30MHz ile birkaç yüz MHz arasındaki frekanslar için ferrit kaplama, daha yüksek frekanslar için ise, karbon katkıli malzeme etkili olmaktadır. Bu yutucu malzemeler piramit biçiminde olduğundan, gelen dalgalar geriye yansımadan önce piramitler içerisinde birçok kez yansıma ve kırılmaya uğrarlar ve üzerlerine gelen her dalgayı yaklaşık 10 kat zayıflatarak geri yansıtırlar. Bu yansıma sayısı arttıkça zayıflamada katlanarak artar. Bu şekilde 100 dB’ ye kadar bir yutulma elde edilebilir.

Yansız odalar özellikle çok düşük sinyal seviyelerini içeren hassas ölçümler için çok uygundur. Yansız odanın tabanında yutucu malzemeler varken, yarı yansız

odanın tabanında ise açık alan test saha etkisini sağlamak amacıyla bir metal zemin kaplaması mevcuttur (Şekil 5.3).

Genellikle ışınlımla bağışıklık deneylerinde tam yansızmasız oda, ışınlımla yayınıml deneylerinde ise yarı yansızmasız oda kullanılmaktadır (Şekil 5.4).

Yansızmasız bir odada ölçülen yayınıml değeri, sadece test edilen cihazdan kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.3. Tam yansızmasız oda.



Şekil 5.4. Yarı yansısız oda.

#### **B. Ekranlı odalar:**

Ekranlı odalar, genelde iletimle yayılım ve iletimle bağışıklık deneyleri ile bilinen bir elektromanyetik etki probleminin araştırılması için kullanılmaktadır. Yansısız odalar için düşük maliyetli alternatif olarak kullanılabilirler.

Bu odalarda, RF dalgalarının sızmasını engellemek amacıyla, metalik kaynakla birbirine bağlanmış metal duvarlar bulunmaktadır.

Ekranlanmış odalar sadece deneylerin yapıldığı iç ortamı dış ortamdan izole eder ve ortamdaki istenmeyen yayılımın sadece iç ortamdan kaynaklandığını garanti eder. Ancak ekranlanmış odanın kendisi cihazdan kaynaklanan yayınıma etki edebilir. Çünkü ekranlanmış oda belli frekansları söndüren, belli frekansları da kuvvetlendiren bir rezonatör gibi davranır. Bu davranışın hangi frekanslarda olduğu oda boyutlarına bağlıdır.

Duvar ve tavanlarda yutucu malzeme bulunmayan ve metal yüzeyler nedeniyle, RF dalga yansımaları çok fazladır. Bu nedenle ışınlama yayılım deneyleri ekranlı odalarda yapılmaz. Bu fazla yansılardan dolayı, bazı frekanslardaki normalize edilmiş alan zayıflaması (NSA) değerleri,  $\pm 30$  dB' den fazla değişebilir. Bu durumda ölçüm yapılamaz. Yapılabilecek en iyi şey, problemlili yayılım frekanslarını belirleyerek bunları açık alan test

sahasında ölçmektir. Ya da duvarları ve tavanı, ferrit kaplı veya piramit şeklinde karbon katkılı köpük olan yutucu malzemeler ile kaplamaktır.

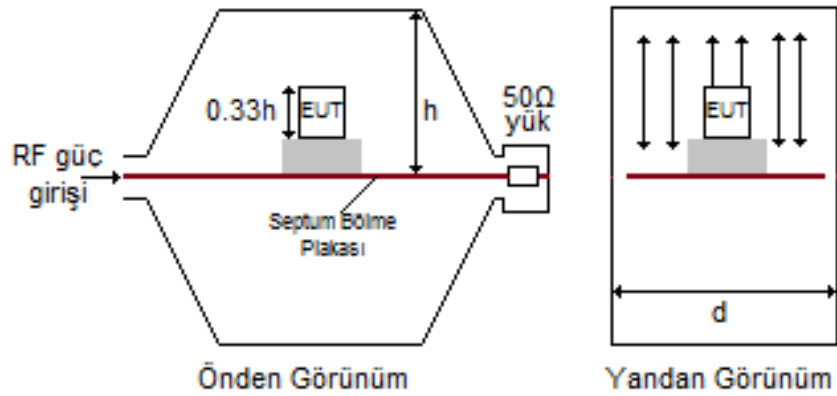
Birçok ekranlı oda birbirine sıkı monte edilmiş modüler çelik, çinko ve ahşap sandviç panellerden inşa edilir. Havalandırma petek biçimli montaj ile sağlanır. Odalarda pencere yoktur. Bakır ızgara kafesler duvarlarda olabilir. Bu ızgaralar, hem havalandırmayı hem de test laboratuvarlarını izleme imkânı sağlar.

Bağışıklık deneyleri yansısız odada yapıldığı gibi yapılır. İstisna olarak deney altındaki ekipman ile zemin arasına ve opsiyonel olarak arka duvara yansısız malzeme yerleştirilmesi gerekir [50, 107, 108].

### C. TEM ve GTEM hücreleri:

Bu tip hücreler daha ucuz maliyet ve hızlı test işlemi nedeniyle fiziksel olarak küçük cihazlar için tercih edilmektedir. Yüksek seviyeli homojen elektromanyetik alanlar ekranlı oda içerisindeki bu hücrelerde oluşturulur.

TEM hücresi, genelde yayılım analizi ve ışınlama bağışıklık için normal laboratuvar ortamında kullanılan küçük kapalı bir alandır. Ekranlanmış, dikdörtgen metal kutu şeklinde olan hücre, koaksiyel bir transmisyon hattıdır. Bir  $50 \Omega$ ' luk koaksiyel kablunun bağlandığı her iki uç sivriltilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Tipik bir TEM hücresi.

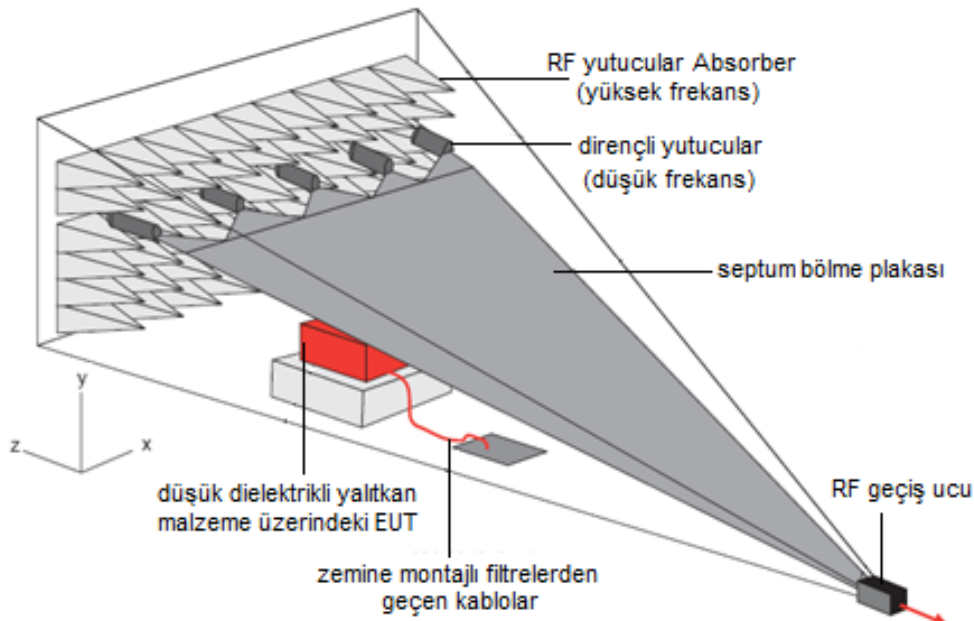
Hücrenin yalıtkan destek üzerinde olan merkez iletkeni ve dış koruması, alt ve üst plakalar, kenarlar, elektromanyetik enerjinin, hücrenin bir ucundan diğerine TEM modunda yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Kapalı bir harici muhafazanın varlığı, hücreye

giren ve çıkan elektromanyetik alanların izole edilmesi için etkin bir koruma sağlamaktadır. TEM hücreleri kare veya asimetrik dikdörtgen şeklinde de dizayn edilebilir.

TEM hücresine, bir uçtan yüksek güçlü RF işareti verilir. Diğer uç  $50 \Omega$  ile sonlandırılmıştır. Böylece ortada septum üzerine konan cihaz üzerinde yüksek seviyeli homojen bir alan oluşturulur.

$h$  yüksekliği ve  $d$ , hücre genişliği kullanılabilecek en yüksek frekansı belirler. TEM hücreleri ile birkaç yüz MHz' lere çıkılabilir ve telefon gibi küçük boyutlu cihazlar test edilebilir [50, 107].

GTEM hücreleri daha yüksek frekanslar için kullanılır. GTEM hücresi piramit şeklindedir. Uç kısmı giriş, diğer tarafı ise yutucu malzeme ile kaplıdır. Bu şekilde hücrenin ile GHz aralığında düzgün çalışması sağlanır. İsteğe bağlı olarak ilave yutucu malzeme ile kaplı duvarlar da kullanılabilir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Tipik bir GTEM hücresi [109]

TEM ya da GTEM hücrelerinde, birkaç 10 V/m seviyesinde yüksek manyetik alanlar küçük çıkış güçlü kuvvetlendiricilerle sağlanabilir. Muhafazaya ihtiyaç duyulmadan tüm frekans aralıklarında çalışabilir.

Hücre içinde,  $x, y, z$  eksenlerinde dönmeyi sağlayan bir sistem kullanılarak deney altındaki ekipmanın bu eksenlerde test edilmesi gerekir.

### 5.1.2. EMI Test Alıcıları ve Detektör Tipleri

EMU deneylerinde, spektrum analizörüne göre daha hassas ölçüm yapabilme özelliğine sahip, duyarlı, daha düşük gürültü faktörüne sahip EMI (Elektromanyetik Girişim - Electromagnetic Interference) test alıcısı kullanılmaktadır. Bu cihaz sayesinde test eden cihazın test edilen cihaza etkilerinin önüne geçilmektedir. EMI test alıcısında farklı karakterdeki işaretlere karşı farklı duyarlılık gösteren dedektör tipleri bulunur. Bunlar:

- 1- Tepe dedektörü (peak detektor), zamanla değişen bir işaretin en yüksek seviyesini kaydeder.
- 2- Ortalama dedektörü (average detektor), zamanla değişen bir işaretin belirli bir süre boyunca ortalamasını kaydeder.
- 3- Sözcük tepe dedektörü (quasi peak detektor), belirli bir süre boyunca işaretin genliğini ve tekrarlama sıklığını kaydeder [50].

### 5.1.3. Kullanılan Test Antenleri ve Anten Faktörü

EMU deneylerinde özellikle yayınım ölçümlerinde, genel olarak geniş bantlı antenler kullanılmaktadır. Bu antenler hem alıcı hem de verici özelliğine sahiptirler. Yani verici anten olarak uçlarına uygulanan V, gerilimi ortamda yayılan E, elektrik alanı, alıcı anten olarak da ortamdan aldığı elektrik alanı uçlarına gerilim farkı olarak dönüştürmektedir.

Tablo 5.1’ de kullanılan anten tipleri ve frekans aralıkları verilmektedir.

**Tablo 5.1.** Kullanılan test antenleri [110]

| ANTEN TİPİ              | FREKANS( MHz) |
|-------------------------|---------------|
| Rod                     | 0.01-30       |
| Loop                    | 0.09-30       |
| Biconical               | 30-300        |
| Dipole                  | 30-1000       |
| Log Periodic            | 300-2000      |
| Conical Log Spiral      | 200-10000     |
| Bilog                   | 30-3000       |
| Double Ridged Waveguide | 1000-18000    |
| Waveguide Horn          | 600- 40000    |

Anten faktörü (AF), yayılım deneylerinde kullanılan antenlerin performansları ile doğrudan ilişkili olan bir parametredir. AF, anten civarındaki  $E$ , elektrik alan şiddetini, EMI ölçü cihazının girişindeki  $V$ , gerilime karşı düşüren bir parametre olarak,

$$AF = \frac{E}{V} \quad (5.1)$$

dB olarak;

$$AF_{dB(m^{-1})} = 20 \log \frac{E}{V} \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilebilir [110, 111].

#### 5.1.4. Işınım ile Yayılım Deneyi

Bir cihazın içinde bulunduğu ortama ışınlama yaydığı elektromanyetik dalga gürültü seviyelerinin ölçüldüğü deneylerdir. Ölçümler, elektromanyetik dalganın olmadığı, temiz ve etrafta yer alan diğer nesnelerden herhangi bir yansıma veya etkileşimin bulunmadığı yerlerde yapılır. Bu yerler, bu şartların sağlanması durumunda açık alan da olabilir. Ancak açık alanda temiz bir elektromanyetik ortamın sağlanması güç olduğu için, bu tip ortamları temsil eden yapay TEM hücreleri veya genellikle elektromanyetik olarak yalıtılmış yarı yansız test odaları kullanılır [58, 112]

Yayılım ölçümlerinde; cihazın neden olduğu istenmeyen elektromanyetik sızıntı seviyesi ölçülüp, belirlenen limit seviyelerle karşılaştırılmaktadır. Bu işlem, cihazlar için sorun olabilecek bütün frekanslarda standartlarca belirlenen ilgili frekans bandı içinde tekrarlanmaktadır. Örneğin; evlerimizde kullanılan cihazlar için ışınlama yayılım ölçümleri 30 MHz ile 1 GHz frekans aralığında yapılır. 30 MHz frekansının altında ışınlama yayılım, hemen hemen ihmal edilebilecek seviyelerdedir. Bu frekans bölgesinde bütün yayılım iletkenlik yolu ile olur. Dolayısıyla, iletimle yayılım deneyleri 30 MHz frekansın altındaki frekanslarda gerçekleştirilir.

İşinim ile yayılım deneyinde, ölçülen değer, cihazın ilgili frekans aralığında yaydığı en yüksek elektrik alan şiddetidir. Bu alan şiddeti aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$E(dB\mu V/m) = V(dB\mu V) + CL_1(dB) - PAG(dB) + CL_2(dB) + AF(dBm^{-1}) \quad (5.3)$$

$E$  : Ölçülecek elektrik alan şiddeti.

$V$  : Spektrum analizörde (ya da alıcıda) ölçülen değer.

$CL_1$  : 1. kablodaki kayıp.

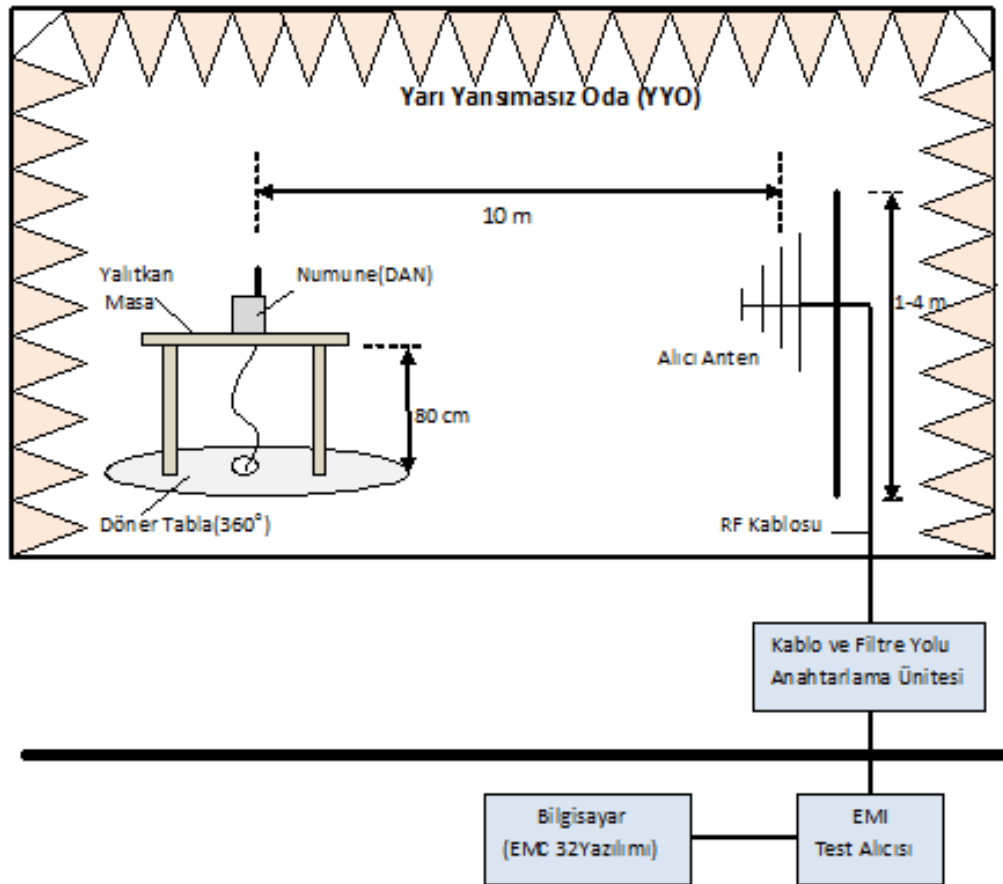
$PAG$  : Yükseltecin kazancı.

$CL_2$  : 2. kablodaki kayıp.

$AF$  : Anten faktörü.

Bu ölçümlerde, ölçüm cihazı olarak alıcı bir anten ve antenden elde edilen elektromanyetik dalga seviyelerini ölçen bir EMI alıcı cihazı vardır. Deneye tabi tutulan cihazın yaydığı en yüksek yayınım seviyesini tespit edebilmek amacıyla deney altındaki numunenin (DAN/EUT) üzerinde bulunduğu  $360^\circ$  dönebilen bir masanın bulunması ve antenin 1-4 m aralığında dikey olarak yüksekliğinin ayarlanabilmesi önem arz etmektedir.

Şekil 5.7' de Işınım ile yayınım deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.7. Işınım ile yayınım örnek deney düzeneği [113]

Ölçümler 30 MHz ile 1000 MHz frekans aralığında, bir sözde-tepe ölçme alıcısı kullanılarak yapılır. Deney süresini kısaltmak için sözde-tepe alıcısı yerine bir tepe ölçme alıcısı kullanılabilir. Uygunsuzluk durumunda sözde-tepe ölçme alıcısı ile ölçüm alınır.

Deney altındaki numune yarı yansız odada yerden 80 cm yükseklikte döner yalıtkan masa üzerine konur. Masa, en yüksek ışınlam seviyesini belirlemek için 360 derece döndürülecek konumdadır.

Ölçülerin tekrarlanabilir olması açısından numune, yüksekliği değişebilen anten kulesine monte edilmiş girişim-alıcı anteninden 10 metre uzaklıktadır. Yarı yansız oda içerisinde yansıtıcı bir engel bulunmamalıdır.

Ölçümde kullanılacak anten geniş bant bir anten olup, maksimum alan seviyesini belirleyebilmek için yüksekliği 1 metre ile 4 metre arasında değişebilmelidir.

Ölçümü yapmak için antenin polarizasyonu hem yatay, hem düşey olarak ayarlanır. Cihazın en fazla yayılım yaptığı yön her frekans için ayrı ayrı bulunur.

Şüphelenilen her emisyon için, en yüksek okuma seviyesini bulmak amacıyla numune en kötü durumuna ayarlanır, anten yüksekliği 1 m ile 4 m arasında değiştirilir ve döner masa 360 derece döndürülür.

Işınım yayılımı deneyi sonucunda elde edilen değerler ilgili standartlarda verilen limit değerlerle karşılaştırılır [50, 58, 112–116].

## **5.2. Verilerin Elde Edildiği Deney Düzenliği**

Çalışmada, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) bünyesinde yer alan ve TÜRKAK tarafından TS-EN-ISO/IEC 17025:2005 standardına göre akredite edilmiş olan Piyasa Gözetimi Laboratuvarı'nda, GSM, PSTN ve DECT telefon cihazları olmak üzere, toplam 225 adet numunede yapılan ışınlam yayılımı deneyine ait elde edilen sonuç verileri kullanıldı. Piyasa Gözetim Laboratuvarı'nda;

- EMU deneyleri,
- Alçak gerilim direktifi (LVD-Low Voltage Directive) deneyleri,
- GSM telefon cihazlarının özgül soğurma oranı (SAR-Specific Absorption Rate) deneyleri,
- Radyo frekans (RF) deneyleri,
- PSTN şebekesine bağlanma kriterlerini kapsayan TBR-21/37 (Technical Basis for Regulation) deneyleri gerçekleştirilmektedir.

Verilere ait ışınlımla yayınıml deneyleri, yarı yansız deney odasında yapılmıştır. Şekil 5.8’ de verilen oda;

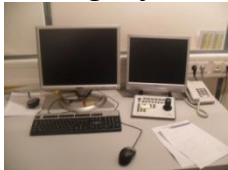
- 23 m x 16,5 m x 9 m boyutlarındadır.
- Zemin, galvanizli çelik metal yapı.
- Tavan ve duvarlar, 2.4 m uzunlukta, 600 V/m max. dayanımlı absorber kaplı.
- 30 MHz–18 GHz frekans bandında ölçüm kabiliyetine sahiptir.
- İçerisinde, 6 metre çapında, 360° dönüş kabiliyetine ve 5 ton yük taşıyabilme kapasitesine sahip döner tabla,
- 1–4 m aralığında hareketli anten kulesi,
- 30 MHz - 3 GHz BiLog (Biconical+Logperiodic) anten yer almaktadır.



Şekil 5.8. Deneyin yapıldığı yarı yansız oda.

ışınlımla yayınıml deneyinde kullanılan cihaz ve malzemeler Tablo 5.2’ de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler.

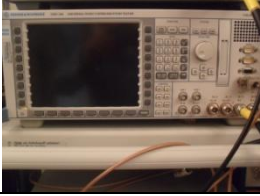
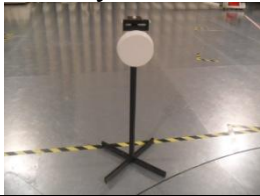
| DENEY CİHAZI                                                                                                           | MARKA         | MODEL         | SERİ NO     | TEKNİK ÖZELLİKLERİ                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EMI Test Alıcısı<br>                  | Rohde-Schwarz | ESIB 26       | 100375      | Elektromanyetik Enterferans (EMI) Ölçü Cihazı Deney Frekans Aralığı: 30Mhz ... 4Ghz, Quasi-Peak Genlik Ölçümü : 0...80µV Tarama Band Genişliği: 120Khz |
| EMI Alıcı Anten<br>                   | Rohde-Schwarz | HL562         | 100306      | EMI alıcısı için Ultra Genişband Anten Deney Frekans Aralığı: 30Mhz ... 1Ghz, Anten Faktörü : > 2dB Anten Kazancı : ≈ 8dBi                             |
| Yazılım                                                                                                                | Rohde-Schwarz | EMC32 V6.10   | 610-I100027 | EMC yazılımı                                                                                                                                           |
| Bilgisayar<br>                      | DELL          | Latitude D810 | J5574A02    | Dizüstü PC : Intel Pentium 3, 30Gbyte Disk , Dell                                                                                                      |
| Deney Odası                                                                                                            | Frankonia     | -             | -           | Boyutlar:23 x 16,5x 9m 30 MHz-18 GHz arası ölçüm kabiliyeti. 360 <sup>0</sup> dönebilen, 5 ton kapasiteli döner tabla                                  |
| Referans Gürültü Üretici Cihazı<br> | York          | CNE III       | 0466        | Deney Frekans Aralığı: 150Khz - 2Ghz, Genişband Gürültü Seviyesi : 12dBm Frekansa göre Üretilen Gürültü : 0.1dBm ... -12dBm (10Mhz...1000Mhz için)     |

Verilere ait deney sonuçları, GSM mobil telefon, PSTN kablolu telefon ve DECT kablosuz telefon cihaz numunelerine aittir. Bu deneyler aşağıda yer almaktadır .

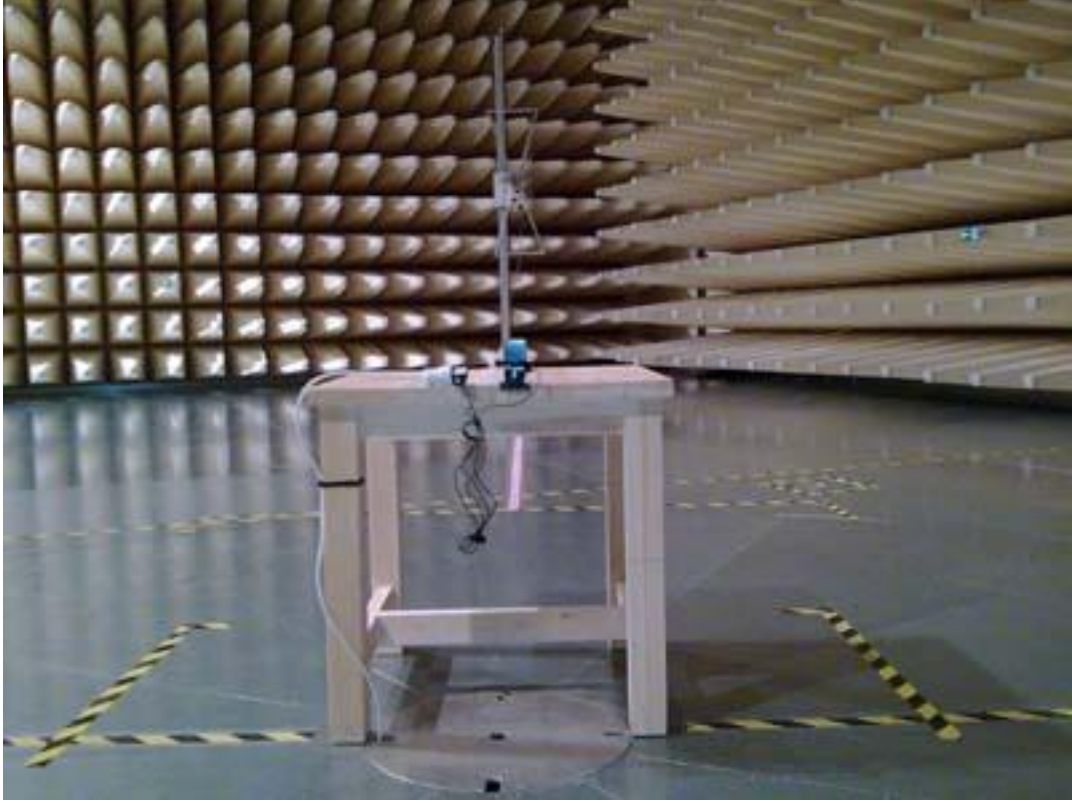
### 5.2.1. GSM Mobil Telefon Deneyi

Farklı marka ve model içeren toplam 114 adet, 900 MHz frekans bandındaki GSM telefon numunelerinin deneyi ETSI EN 301 489-1 ve ETSI EN 301 489-7 standartlarına göre yapılmıştır. Söz konusu standardın özellikleri Bölüm 2’ de verilmiştir. İlave olarak kullanılan cihaz ve malzemeler Tablo 5.3’ de verilmiştir.

**Tablo 5.3.** GSM için kullanılan ilave malzemeler.

| DENEY CİHAZI                                                                                                | MARKA             | MODEL              | SERİ NO     | TEKNİK ÖZELLİKLER                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GSM Şebeke Simülatörü<br> | Rohde-Schwarz     | CMU 200            | 110330      | 900/1800Mhz TX<br>Gönderme Seviyesi : -33dBm<br>RX Alma Hassasiyeti : > -100dBm                                           |
| GSM Şebeke Simülatörü                                                                                       | Will'tek          | 4202S              | 1013308     | 900/1800Mhz TX<br>Gönderme Seviyesi : -33dBm<br>RX Alma Hassasiyeti : > -100dBm                                           |
| Simülasyon Anteni-1<br>  | European Antennas | FPA3-0.8-6.OR/1329 | 403643-0009 | Ultra Genişband Yönlü Anten<br>Deney Frekans Aralığı: 800Mhz - 6Ghz,<br>Anten Kazancı: 4dBi<br>Polarizasyonu: Right Circ. |
| Simülasyon Anteni-2                                                                                         | European Antennas | FPA3-0.8-6.OR/1329 | 403643-0004 | Ultra Genişband Yönlü Anten<br>Deney Frekans Aralığı: 800Mhz - 6Ghz,<br>Anten Kazancı: 4dBi<br>Polarizasyonu: Right Circ. |

Deneyler, 900 MHz bantta GSM telefonlar şarj konumunda iken baz istasyonu anteni aracılığıyla şebeke simülatörü ile senkronize olması sağlanarak konuşma linki kurulmadan gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.9’ da GSM telefon için hazırlanan, ışımla yayınım deney düzeneği verilmiştir.



**Şekil 5.9.** GSM mobil telefona ait ışınlama yayılım deney düzeneği.

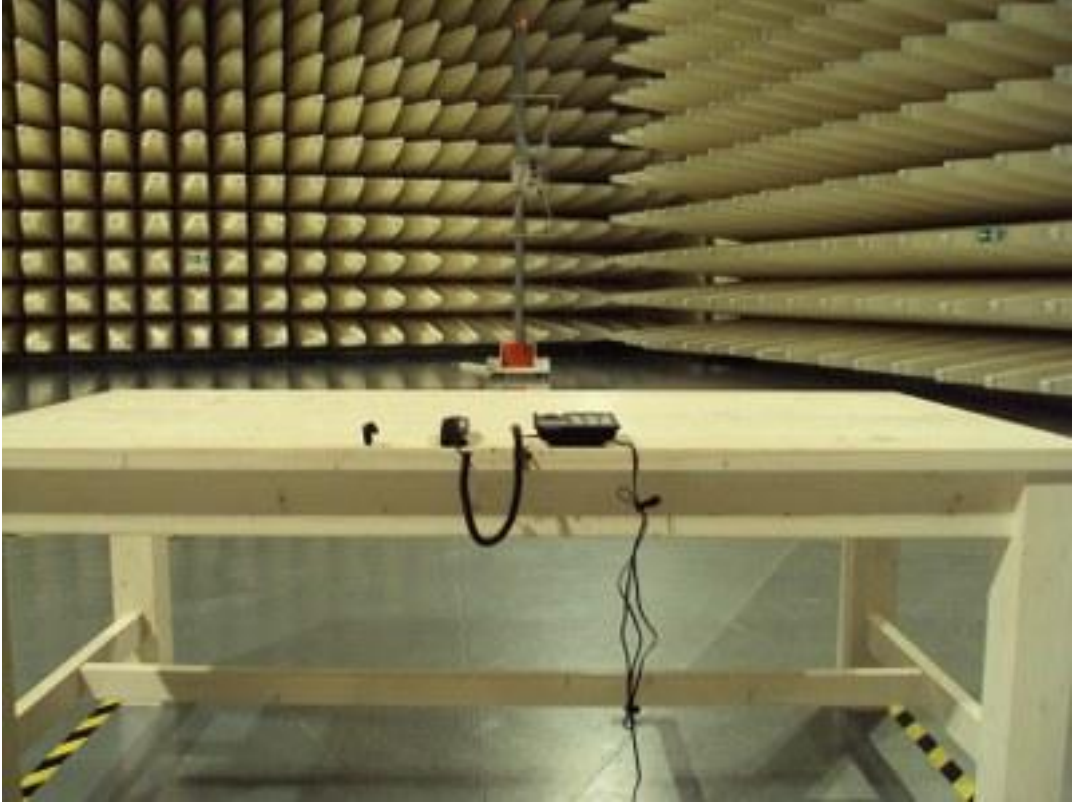
### 5.2.2. PSTN Kablolu Telefon Deneyi

Farklı marka ve model içeren toplam 70 adet, PSTN telefon numunelerinin deneyi EN 55022 standardına göre yapılmıştır. İlave olarak kullanılan cihaz ve malzemeler Tablo 5.4’ de verilmiştir.

**Tablo 5.4.** PSTN ve DECT için kullanılan ilave malzemeler.

| DENEY CİHAZI                                                                                                      | MARKA | MODEL  | SERİ NO | TEKNİK ÖZELLİKLER                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|---------|---------------------------------------------------------------------|
| PSTN Şebeke Hat Simülatörü<br> | MT2   | PA100R | 0701001 | Voltaj Çıkışı: 48V<br>Maksimum Akım : 100mA İletim<br>Direnci: 600Ω |

Şekil 5.10’da kablolu telefon için hazırlanan ışınlama yayılım deney düzeneği verilmiştir.

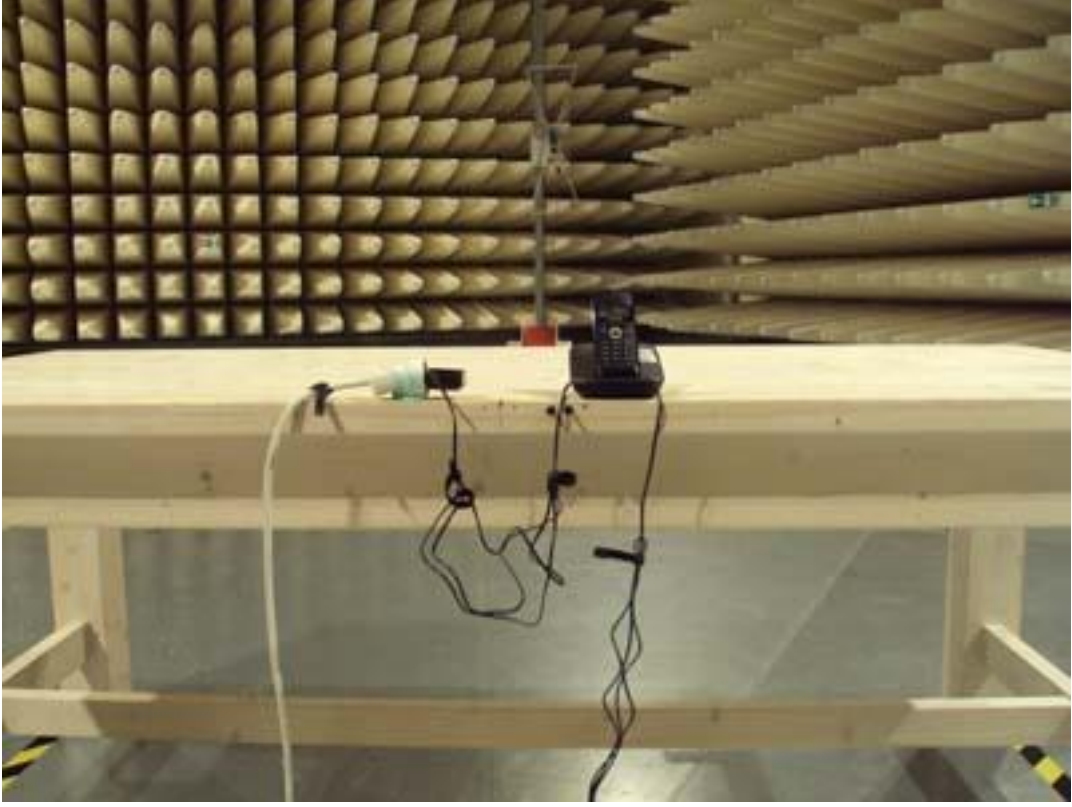


**Şekil 5.10.** PSTN kablolu telefona ait ışınlama yayılımı deney düzeneği.

### **5.2.3. DECT Kablosuz Telefon Deneyi**

Farklı marka ve model içeren toplam 41 adet, DECT telefon numunelerinin deneyi ETSI EN 301 489-1 ve ETSI EN 301 489-6 standartlarına göre yapılmıştır. İlave olarak kullanılan cihaz ve malzemeler yukarıdaki Tablo 5.4.' de verilmiştir.

Şekil 5.11'de DECT telefon için hazırlanan ışınlama yayılımı deney düzeneği verilmiştir.



**Şekil 5.11.** DECT kablosuz telefona ait ışınlama yayılımı deney düzeneği.

#### **5.2.4. Deneylerin Yapılışı**

Çalışmada kullanılan verilerin elde edildiği bu deneylerdeki amaç, GSM, DECT ve PSTN telefonlara ait numunelerin, çalışma esnasında radyo frekanslar yoluyla yaydığı elektromanyetik yayılım (burada ışınlama yayılımı) seviyelerini, başka bir ifade ile ilgili frekans aralıklarında yaydıkları en yüksek elektrik alan şiddetini tespit etmektir. Deney Öncesinde;

- Kullanılacak olan cihazların kalibrasyonları
- Düzeltme faktörlerinin sisteme girilmesi
- Kablo ve sinyal yollarının kalibrasyonu
- Ölçüm sisteminin ve yazılımın doğrulanması (altı ayda bir)
- Deney sisteminin doğrulanması (haftada bir)
- Arka plan gürültü seviyesinin ölçülmesi işlemleri yapılmaktadır.

Genel olarak deneyin her bir aşaması, aşağıda adımlar halinde sunulmuştur:

1. Adım: Deney düzenekleri, ilgili standartlara göre kurulur.

2. Adım: Deney altındaki numune, yarı yansız odada yerden 80 cm yükseklikte yalıtkan bir masa üzerine konulur.

3. Adım: Numuneden (cihazdan) 10 metre uzağa, 1 metre ile 4 metre arasında düşey hareket edebilme kabiliyetine sahip olan ve ölçüm frekans bandına uygun bir BİLOG anten yerleştirilir.

4. Adım: Anten önce yatay polarizasyonda 1.5 metre yükseklikte ve numune döner tabla üzerinde  $0^0$  de iken, EMI test alıcısında peak dedektöründe frekans bandı 30 MHz ile 1 GHz aralığında 60 kHz'lik (ölçüm band genişliğinin yarısı) adımlarla taranarak standart değerlerin üzerinde ve kritik noktalarda tespit edilen değerlerin frekansları ve EMI değerleri kaydedilir.

5. Adım: En yüksek ışıyım seviyesini belirlemek için aynı işlemler numune  $90^0$ 'lik adımlarla döndürölerek  $90^0$ ,  $180^0$  ve  $270^0$  lik pozisyonlarda tekrar edilerek tespit edilen değerler kaydedilir.

6. Adım: Daha sonra anten polarizasyonu düşey polarizasyona getirilerek yukarıdaki işlemler kademe kademe tekrar edilir.

7. Adım: Limit değerin üzerindeki ve eşik değeri 6 dB yakın noktalarda bulmuş olduğumuz peak (tepe) değeri hangi frekanslarda ise numune  $18^0$  lik adımlarla tekrar döndürölerek ve her açıda yatay ve düşey polarizasyonlarda tekrar taranarak toplanan verilerden en yüksek peak değeri hangi açıda, hangi frekansta ve hangi polarizasyonlarda oldukları tespit edilerek kaydedilir.

8. Adım: Bu noktalarda kaydedilen verilere göre numune, o noktadaki açıya, anten o noktadaki polarizasyona ve EMI alıcı o noktadaki frekansa set edilerek anten yukarı ve aşağı doğru hareket eden düzeneği üzerinde 1 metreden 4 metreye kadar yukarı doğru hareket ederek peak değeriğini tespit etmiş ve en yüksek peak değeriğini bulduğu noktaya kilitlenir.

9. Adım: Bu noktada EMI alıcı quasi-peak detektörüne getirilerek son ölçüm alınarak kaydedilir.

10. Adım: Tespit edilen noktalarda yukarıdaki işlem tekrar edilerek tüm quasi-peak değeri kaydedilir. Böylece numunenin ışıyım yayını seviyesi tespit edilmiş olur.

#### 5.2.4.1. Cihaz Sınıflandırması

**A sınıfı:** B sınıfı bilgi teknolojisi cihazlarının sınır değerlerini sağlamayan diğer tüm bilgi teknolojisi cihazlarını,

**B sınıfı:** Ev ve benzeri yerlerde kullanım için tasarlanmış telekomünikasyon terminal cihazları, kişisel bilgisayar gibi cihazları kapsamaktadır.

Cihazın sınıflandırılması standarda göre belirlenmiştir. Son kullanıcı telekomünikasyon terminal ekipmanları B sınıfı cihaz kategorisindedir. Burada testi yapılan ekipmanlar B sınıfında değerlendirilmiştir. A ve B sınıfı için ışıyım ile yayıyım sınır değeri standarda göre Tablo 5.5’ deki gibidir.

**Tablo 5.5.** Sınır değeri tablosu [113]

| Frekans (MHz) | A sınıfı (10 m' de)      | B sınıfı (10 m' de)      |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
|               | $\text{dB}\mu\text{V/m}$ | $\text{dB}\mu\text{V/m}$ |
| 30-230        | 40                       | 30                       |
| 230-1000      | 47                       | 37                       |

#### 5.2.4.2. Çevresel Şartlar

Deney için çevre şartlarının standart bölgesi (minimum ve maksimum) ve deney esnasında ölçülen ortalama değeri Tablo 5.6.’ daki gibidir.

**Tablo 5.6.** Çevresel şartlar tablosu.

|               | Minimum Değeri | Maksimum Değeri | Ölçülen Değeri |
|---------------|----------------|-----------------|----------------|
| Sıcaklık (°C) | 15             | 35              | 25,2           |
| Nem (%)       | 25             | 75              | 39,4           |

Genişletilmiş ölçüm belirsizliği;

30 MHz -150 MHz aralığında:  $U= 4,13 \text{ dB}$

150 MHz – 1000 MHz aralığında:  $U= 3,59 \text{ dB}$

### 5.3. Özellik Çıkarma

Bu çalışmada yukarıda adımlar halinde verilen deney aşamalarından geçirilerek test edilmiş GSM, DECT ve PSTN telefonlardan oluşan toplam 225 adet numuneden elde edilen orijinal ışınlımla yayınımlı dalga işaret örüntülerinin dalgacık dönüşümleri, MATLAB ortamında geliştirilen program yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Dalgacık filtresi olarak Daubechies 3 dalgacık filtresi kullanılmıştır.

Üçüncü seviyeden dalgacık paket dönüşümleri elde edilerek uç dalga işaretlerinin entropileri hesaplanmıştır.

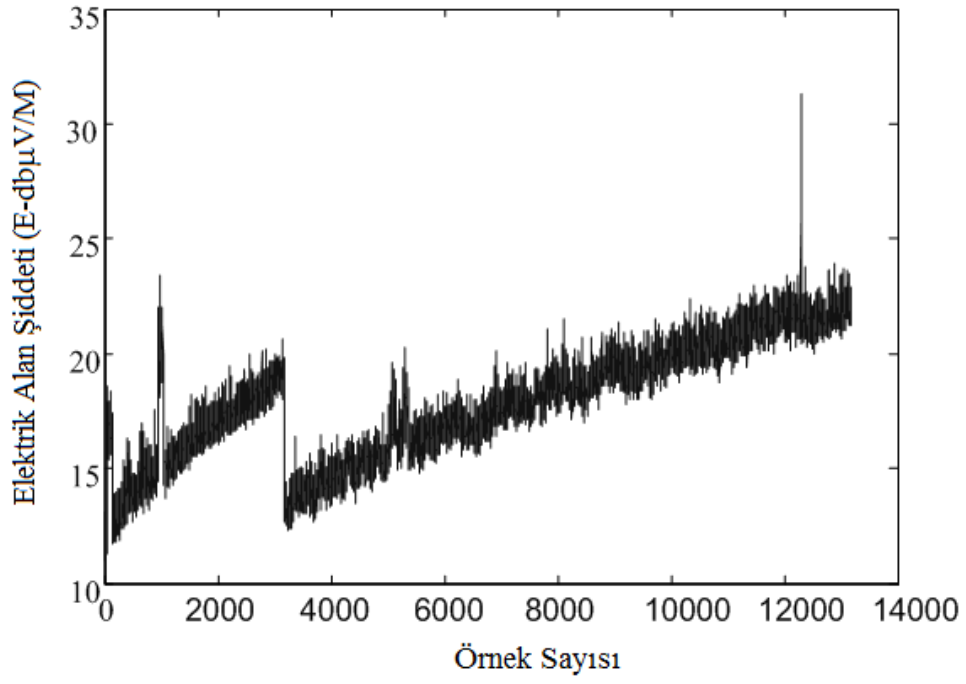
Hesaplanan bu entropiler yardımıyla geri yayınımlı yapay sinir ağı eğitilmiş ve sınıflandırma yapmak için bu sinir ağı kullanılmıştır.

#### 5.3.1. Ön İşlem Süreci

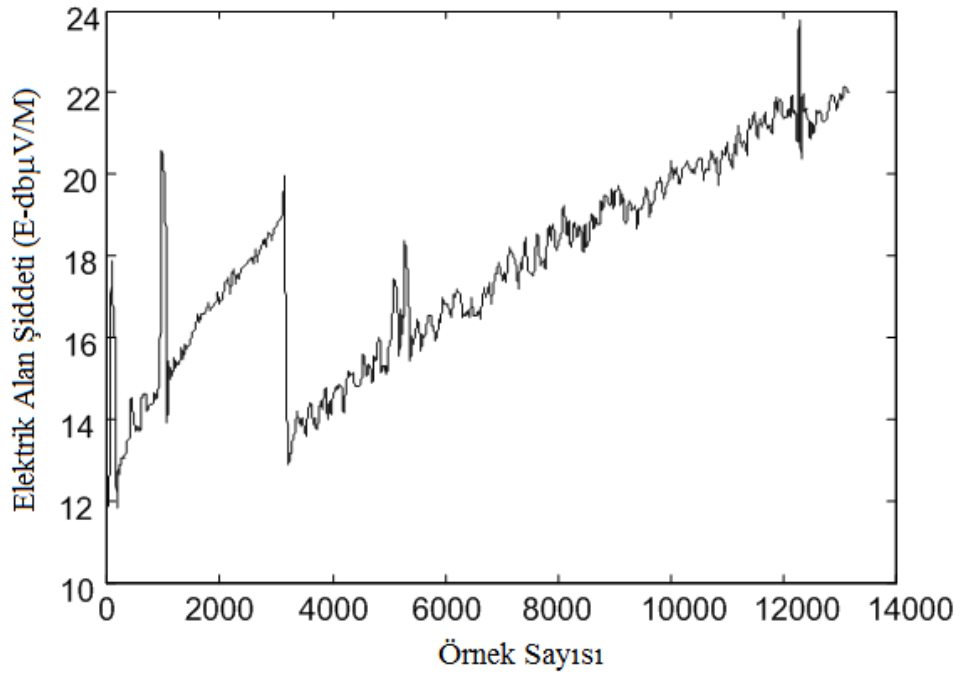
Yukarıdaki üç tip ekipmana uygulanan ışınlımla yayınımlı deneyi sonucunda elde edilen orijinal ışınlımla yayınımlı dalga işaretleri bazı ön işlemlerden geçirilerek, tanılama sisteminin hız ve doğru sınıflama başarımını etkileyecek bazı istenilmeyen ve gereksiz bilgilerden ayıklanması için filtreleme süreci uygulanmıştır.

Elde edilen 30 MHz – 1 GHz aralığındaki ışınlımla yayınımlı dalga işaretlerine, istenmeyen frekans bileşenlerini yok etmek için sayısal bir bant geçiren filtre uygulanmıştır.

Şekil 5.12 ve 5.13’ de ışınlımla yayınımlı dalga işaretinin filtrelemeden önceki ve sonraki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.12. Filtrelemeden önce ışınlımla yayınımlı dalga işareti.

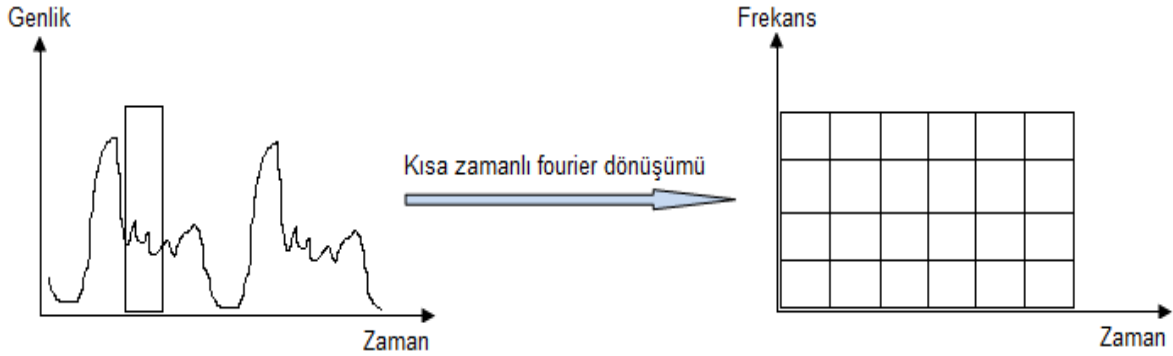


Şekil 5.13. Filtrelemeden sonra ışınlımla yayınımlı dalga işareti.

### 5.3.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, özellikle durağan olmayan sinyallerin (işaret) analizinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu, dalgacık dönüşümünün farklı ölçeklerde yeniden çözüm özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Fourier dönüşümünde, sinyal zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüşürken, zaman bilgisi kaybolur. Yani herhangi bir frekansın hangi zamanı kapsadığını bildirmez. Sadece tüm zaman ait bilgi mevcuttur. Bu durum durağan sinyallerin analizinde problem oluşturmadığı için kullanılabilir bir yöntemdir. Ancak durağan olmayan sinyaller için istenilen sonucu vermez. Bu durumu çözmek amacıyla, durağan olmayan sinyaller için, pencereleme yöntemi kullanılır. Kısa zamanlı fourier dönüşümü olarak isimlendirilen bu yöntemde Şekil 5.14’ de gösterildiği gibi sinyaller için, sabit bir pencereleme tekniği kullanılmaktadır. Çerçeve içerisinde kalan her bir sinyalin durağan olduğu kabul edilir ve Fourier dönüşümleri yapılır. [117]

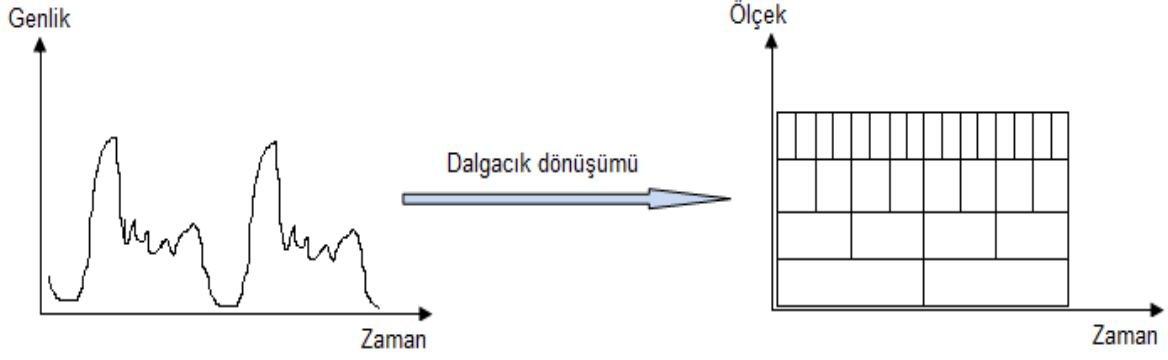


Şekil 5.14. Kısa zamanlı Fourier dönüşümü.

Bu da, sinyalin yüksek frekans bileşeninin ve alçak frekans bileşeninin aynı büyüklükteki pencerede değerlendirilmesi anlamına gelir ki bu problem de dalgacık dönüşümü ile giderilmektedir.

Dalgacık Dönüşümünde, sinyalin ölçeklenebilir bir zaman frekans gösterimi ile analizini sağlamaktadır. Hızlı ve kısa zamanlı fourier dönüşümü gibi kullanılan sinyal işleme teknikleri tarafından görülmeyen detayları meydana çıkarır.

Dalgacık Dönüşümünde, ölçeklenebilir bir pencere kullanılmaktadır. İşaretin düşük frekans eğilimlerini açmak için geniş bir pencere, yüksek frekans bileşenlerini analiz etmek için sıkıştırılmış bir pencere kullanılır (Şekil 5.15).



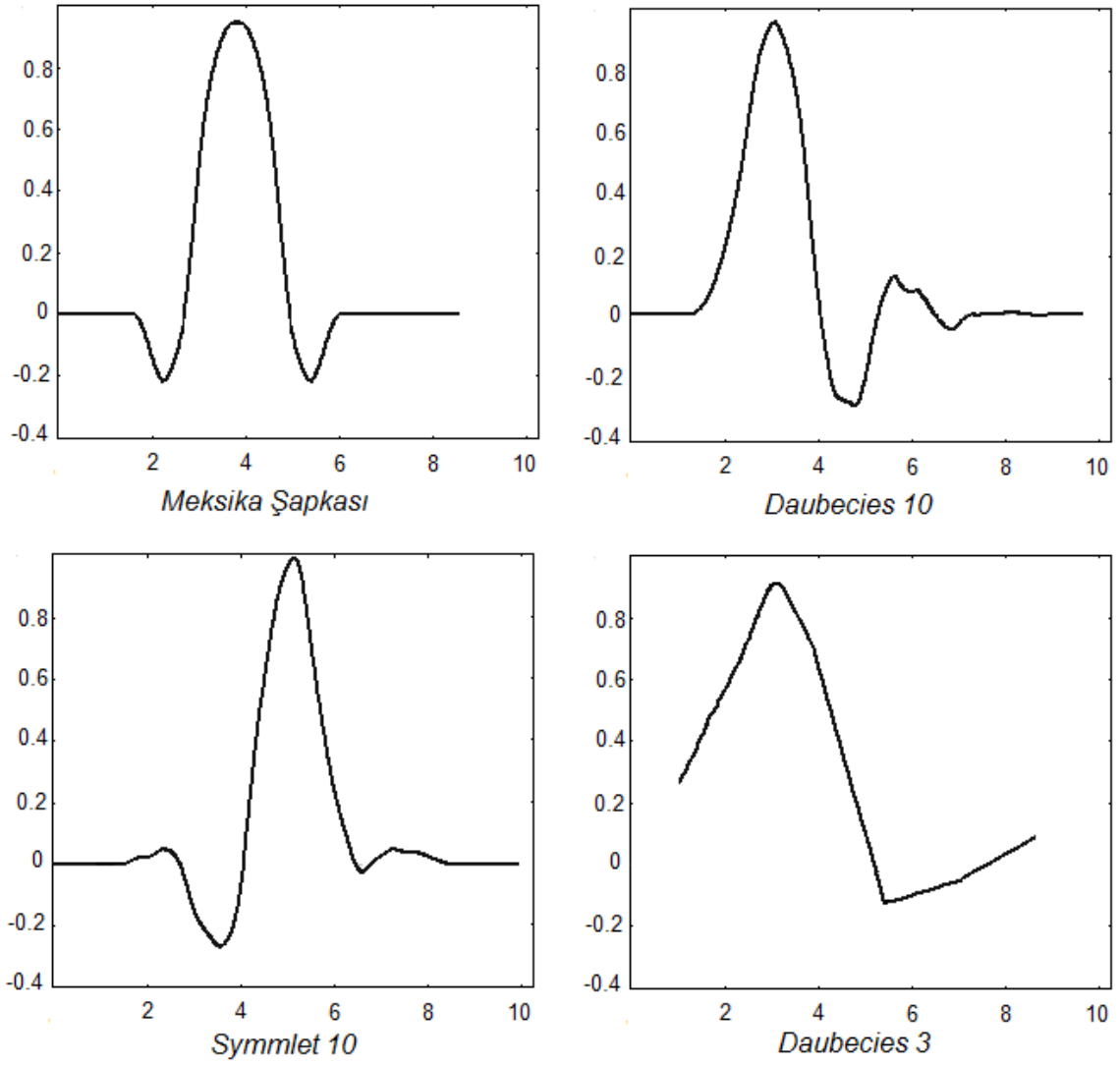
Şekil 5.15. Dalgacık dönüşümü.

Dalgacık dönüşümü bunun için, ölçeklenebilir temel bir dalgacık fonksiyonu kullanıp sabit çözünürlük problemine çözüm getirerek, işaretin farklı çözünürlüklerde daha esnek bir zaman bölgesi analizini yapar. Fourier deki düzgün sinüzoidal sinyallerin aksine düzensiz ve simetrik olmayan dalgacık işaretleri, durağan olmayan işaretleri daha iyi analiz etmektedir. Dalgacık dönüşümü, spektrumun düşük frekans kısımlarında çok hızlıdır. Frekans spektrumundaki farklı bölgeler için daha kolay farklı frekans çözünürlükleri seçebilir. Spektrumdaki birkaç frekans bandı analizde kullanılacak ise, bütün spektrum hesaplanmamaktadır.

Dalgacık dönüşümü, tüm bu özelliklerinden dolayı durağan olmayan işaretlerin daha esnek zaman frekans gösterimlerinin elde edilmesinde etkili bir araç olduğu literatürde belirtilmiştir [118].

Dalgacık analizinde, Daubechies, Coiflet, Haar, Meksika şapkası, Gaussian, Meyer, Symmlet, Morlet, vb. dalgacıklar kullanılmaktadır. Uygulamalardaki farklılıklar nedeniyle kullanılacak dalgacık türü de elde edilen sonuçlara değişmektedir. Ancak bunlar içerisinde özellikle Daubechies, farklı uygulamalara en olumlu cevap verebilen önemli bir dalgacık türüdür. Bu çalışmada yapılan dalgacık analizlerinde Daubechies dalgacığı kullanılmıştır.

Şekil 5.16' da kullanılan bazı dalgacık işaret örnekleri verilmiştir.



**Şekil 5.16.** Dalgacık örnekleri.

Dalgacık teorisinin farklı alanlarda birçok noktada kullanımı vardır. Sürekli dalgacık dönüşümü Morlet vd.[119], Grossmann ve Morlet [120], ve Goupillaud, Grossmann ve Morlet [121] tarafından ilk kez jeofizik alanında kullanılmıştır. Bu yöntem, Chui [122] ve Meyer [123] tarafından daha da geliştirilmiştir. Mallat [124] ve Daubechies [125] ise, dönüşümün ayrık yorumunu geliştirdi. Dalgacık paket dönüşümü, ayrık dalgacık dönüşümünün genelleştirilmiş bir halidir ve Coiflet ve Wickerhauser [126] tarafından tavsiye edilmiştir. Günümüzde dalgacıklar ve dalgacık paketleri, işaret işlemenin birçok alanında kullanılmaktadır.

Dalgacık dönüşümleri kendi içerisinde, sürekli dalgacık dönüşümü, ayrık dalgacık dönüşümü ve dalgacık paket analizi şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sınıflama aşağıda verilmiştir.

### 5.3.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Sürekli Dalgacık Dönüşümü, bir ana dalgacığın, ölçeklenmesi, sıkıştırılması, genişlemesi ve ötelenmesi ile elde edilen dalgacık fonksiyonlarına analizi yapılacak işaretin eşleştirilmesidir. Böylece, tüm zaman ve ölçeklerdeki işaretler ile ana dalgacık arasında uygunluk sağlanır. Burada,

$x(t)$  : İşaret,

$\psi(t)$  : Ana dalgacık (pencere) fonksiyonu,

$b$  : Dönüşüm (kayma) parametresi.

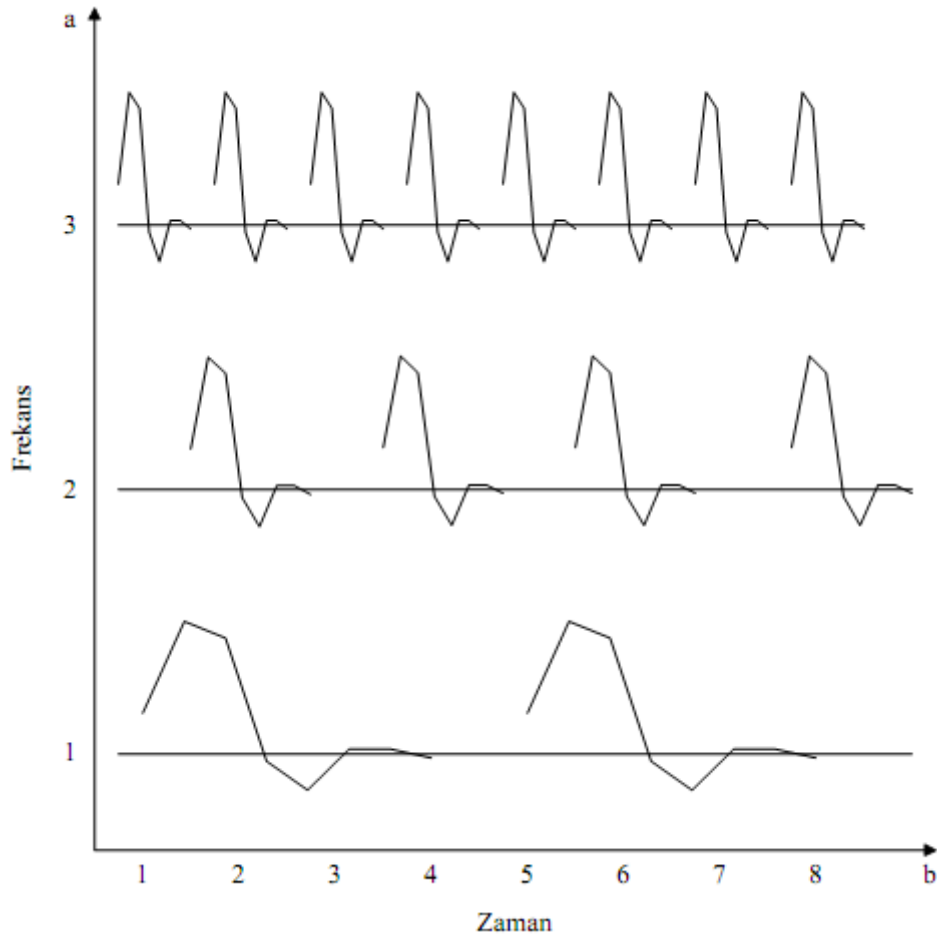
$a$  : Ölçekleme faktörü,

olmak üzere,

$$D(a, b) = - \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5.8)$$

olarak tanımlanır.

Bir ana dalgacık ile ölçekleme ve dönüşüm işlemi Şekil 5.17' de verilmiştir. Bu dönüşümün sonucu, dalgacık ile işaret arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu ilişkiye göre dalgacık ile analizi yapılan işaretin iyi eşleşmesi dalgacık türü seçiminde, etken rol oynamaktadır.



Şekil 5.17. Bir ana dalgacık ile ölçekleme ve dönüşüm işlemi [60]

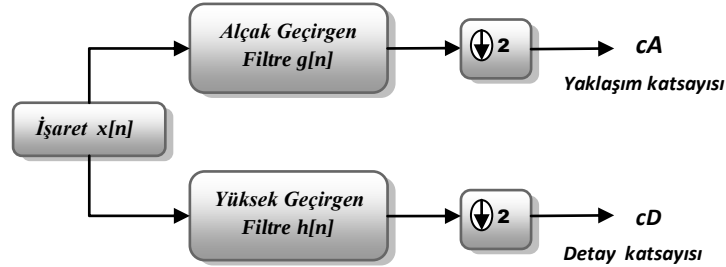
Analizi yapılan işaretin yüksek frekans detayları, dalgacık sıkışık olduğunda, işaretin düşük frekans eğilimleri ise, dalgacık geniş olduğunda elde edilir. Dalgacık geniş olduğunda, dalgacığın uzunluğu, işaretin uzunluğu ile daha uygun benzerlik sağlar [60].

### 5.3.2.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümünde her sıkıştırma ve genişleme, öteleme, ölçeklemeden dolayı hesaplama işlemleri ve dönüşüm için kullanılan bilgi miktarı büyüktür. Ayırık dalgacık dönüşümü, bu sebeple daha etkili bir yöntemdir. Bu dönüşüm, ana dalgacığın sadece belirli noktadaki genişlemelerinde işarete bakar. Bu sayede ayırık dalgacık dönüşümü hız yönünden, hızlı fourier dönüşümünden daha etkili olur.

Ayrık dalgacık dönüşümü ve dalgacıkların yerini görmek açısından filtreleme çok önemlidir. Dalgacıkların ayırık eşdeğerleri olarak ta ifade edilebilir. İşaret için tek filtre

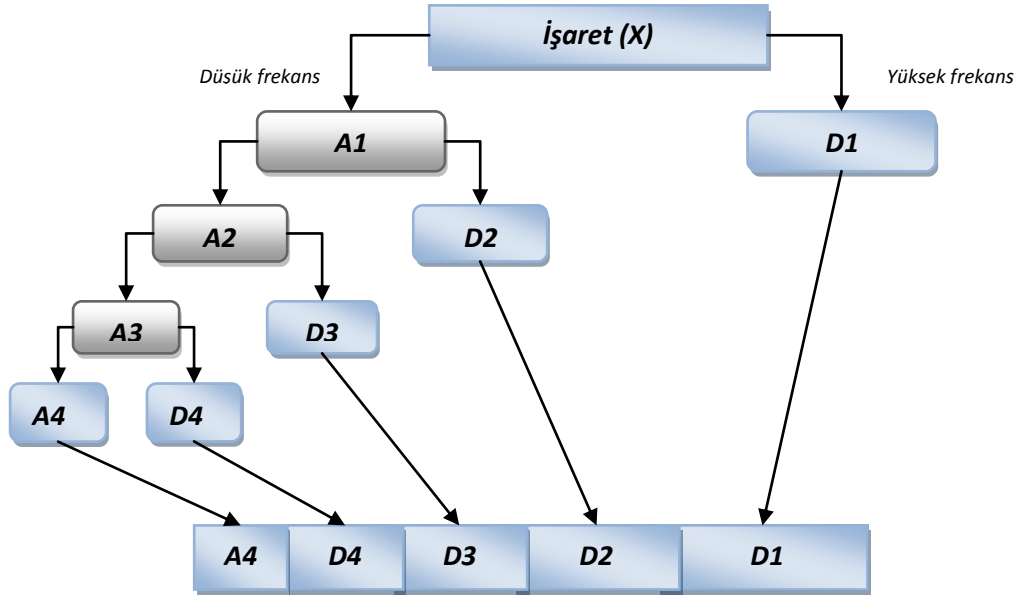
kullanılması durumunda, bilginin bir kısmı kaybolur. Dolayısıyla tek filtre, filtrelenmiş işaretten tekrar asıl işareti yeniden elde etmek için kullanılamaz. Çünkü kaybolan bilgi tekrar elde edilemez. İki filtre kullanıldığında, filtrelerden birisi düşük frekans bilgisini, diğeri ise yüksek frekans bilgisini tutar. Böylece işaret içindeki bilginin tümü korunmuş olunur ve bu iki filtrenin çıkışı asıl işareti yeniden elde etmek için birleştirilebilir. Filtreleme, spektrum bilgisini ayırmak için kullanılarak, işareti gittikçe daha ince frekans bantlarına ayırtırmayı sağlar. İşaret, filtrelemenin her bir seviyesinden geçirildiğinde toplam veri miktarı iki katına çıkmaktadır. Bu sebeple, filtrelerin çıkışından elde edilen verinin örneklenmesi gerekir ( Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Filtreleme işlemi ve birinci seviyeden bileşenlerine ayırıştırma.

Bir işaretin etkili temsil edilmesi önemlidir. Eğer işaret  $m$  tane zaman ile ayrıştırılırsa asıl işareten  $2^m$  zaman daha fazla veriye sahip olması yararlı olmamaktadır. Filtrelemenin, kusursuz yeniden yapılandırma filtreleri gibi davranabilmesi için özel karakteristiklere sahip olması gerekir. Gerçekte filtreler mükemmel kesim frekanslarına sahip değildir. Bu sayede bilginin tümünü yeniden elde etmek için bitişik filtreler arasında bazı binişmeler bulunur. Bunu sağlamak için kuvadratür filtreler geliştirilmiştir [127].

Bu filtreler sayesinde, ayrık dalgacık dönüşümü elde edilir. Şekil 5.19’ da gösterildiği gibi işaretin ayrık dalgacık dönüşümü, ayrışımının her bir seviyesinde yüksek frekans bileşenleri çıkarılarak, asıl işaretin gittikçe kaba bir yaklaşımının elde edilmesine sebep olacak çok çözünürlüklü bir ayrışım tabanlıdır.



Şekil 5.19. 4. Seviyeden bir ayrık dalgacık dönüşümü ağaç yapısı.

Ağaç yapıda da görüldüğü üzere, en yüksek seviyedeki yaklaşım ve daha düşük seviyelerdeki detay işaretleri birleştirilerek analizi yapılan X işareti bilgi kaybı olmadan yeniden elde edilebilir. Bu durum Denklem 5.9. ile de ifade edilmektedir.

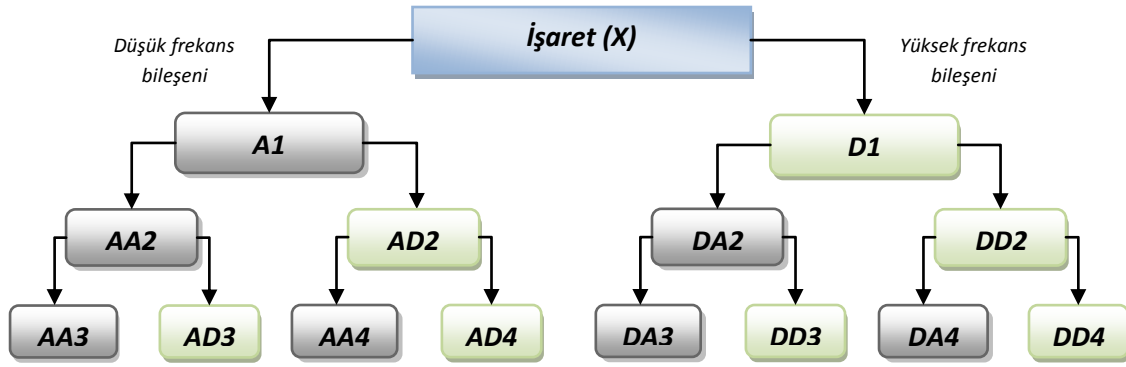
$$X = A4 + D4 + D3 + D2 + D1 \quad (5.9)$$

Burada A4, işaretin düşük frekans seviye bileşenini ve D4, D3, D2 ve D1 ise, işaretin her bir seviyeye ait olan bileşenlerini ifade eder.

### 5.3.2.3. Dalgacık Paket Analizi

Dalgacık paket analizi, ayrık dalgacık dönüşümüne benzemektedir. İşaret üzerinde ayrık dalgacık dönüşümü de olmak üzere birçok ayrıştırmaları oluşturur. Filtreleme işlemi düşük frekans bileşenlerini ayrıştırmanın yanında, yüksek frekans bileşenlerini de ayrıştırmayı da sağlar. Bu sayede tüm zaman-frekans düzlemi mümkün olan tüm alt bölümlere, farklı zaman-frekans pencereleri ile bölünür. Bu durum Şekil 5.20' de verilmektedir [60, 68].

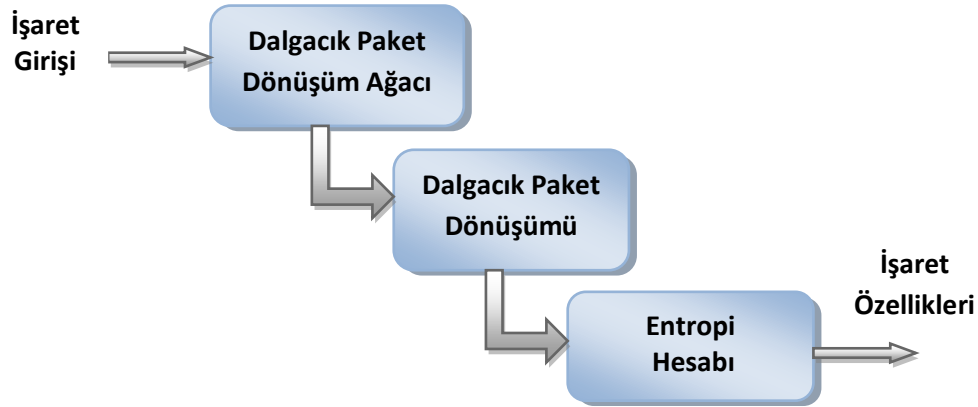
Dalgacık paket analizi ile ayrıştımın farklı seviyelerini birleştirerek asıl işaretin en uygun zaman-frekans gösterimi elde edilmektedir.



Şekil 5.20. Dalgacık paket analizi ağaç yapısı.

### 5.3.3. Entropi Hesabı

Şekil 5.21’ de dalgacık paket dönüşüm ağacı zaman frekans gösterim entropilerine dayalı özellik çıkarım tekniğinin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.21. Dalgacık paket dönüşüm zaman frekans gösterim entropileri ile özellik çıkarımı [60]

Blok diyagramda yer alan süreçler aşağıda açıklanmıştır:

#### 5.3.3.1. Ağaç Yapısı

Dalgacık paket dönüşüm ağacının zaman-frekans ayrışım seviyesi sonlu uzunluktaki işarete uygun olacak şekilde, Denklem 5.10’ a göre seçilir.

$$\frac{n}{2^m} \geq 2N \quad (5.10)$$

Burada;

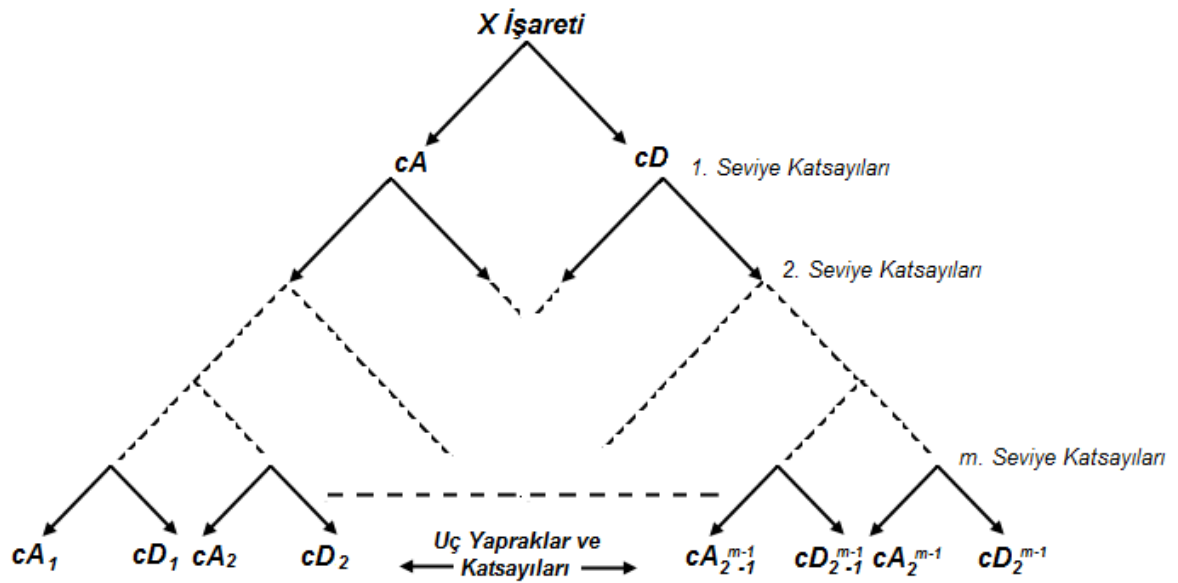
$n$  : İşaretin uzunluğu,

$N$  : Filtrenin katsayı sayısı,

$2N$  : Ayrışım filtresinin bant genişliği,

$m$  : Ayrışım seviyesidir.

Şekil 5.22’ de görülen ikili dalgacık ağacının işlevi, farklı sıralamalarda yaprak işaret katsayılarının sentezi ile bileşenlerine ayrıştırılmış asıl işareti oluşturabilecek bir yapıyı mümkün kılmasıdır [60].



Şekil 5.22. Dalgacık paket dönüşüm ağaç yapısı.

### 5.3.3.2. Uç Yaprak İşaret Katsayı Hesabı

Dalgacık paket ayrışımı, bir işaretin mümkün olan tüm farklı ölçek pencerelerine ve seviyelerine göre alt bileşenlerine ayrılmasıdır. Dalgacık paket dönüşüm ağacının en son ayrışım seviyesindeki uç yaprak işaretlerinin katsayılarının hesabı için;

$m$  seviyede ve  $t_m$  konumunda bir dalgacık paket ayrışımı için, Denklem 5.11. ifadesi verilebilir.

$$d_m(t_m) = x(t) \cdot \Psi_m\left(\frac{t-t_m}{2^m}\right) \quad (5.11)$$

Burada  $\Psi_m$ ,  $m$  frekans seviyesinde ayrışım filtresi olup,  $m$  adet ayrışım seviyesinde  $2^m$  filtre yapısı kullanarak ölçekleme yapmaktır.

$cA$ , ayrışımı yapılacak olan işaretin düşük frekans bileşeni veya yaklaşım olarak isimlendirilen katsayısı ve  $cD$  ise, işaretin yüksek frekans bileşeni veya detay olarak isimlendirilen katsayısı olmak üzere, her bir dalgacık paket ayrışım seviyesindeki  $cA$  ve  $cD$  işaret katsayıları, denklem 5.12' de ifade edildiği gibi bulunabilir. Bu zaman–frekans katsayılarının, ağaç yapısında belirtilen sıralamada analizleri yapılarak, bileşenlerine ayrıştırılmış olan  $x[n]$  işareti kayıpsız olarak yeniden elde edilebilir.

$$cA[n]=x[n].g[n] , \quad cD[n]=x[n].h[n] \quad (5.12)$$

Burada  $h[n]$  yüksek geçiren filtre ve  $g[n]$  ise düşük geçiren filtre karakteristiğini ifade etmektedir [60].

### 5.3.3.3. Uç Yaprak İşaret Katsayı Entropi Hesabı

Dalgacık paket ayrışım ağacının en son ayrışım seviyesindeki ( $m$ ) uç yapraklarından elde edilen  $cA$  ve  $cD$  işaret katsayılarının entropi değerleri, Bölüm 4.2.2' de belirtilen entropi metotları kullanılarak hesaplanabilir. Denklem 5.13. ve 5.14' de Shannon entropi hesaplama tekniği kullanılarak entropi çıkarım denkleminin uyarlaması yapılmıştır. Buna göre,

$$ED_{i,m} = - \sum_n (cD_{i,m}[n])^2 \cdot \log_2(cD_{i,m}[n])^2 \quad (5.13)$$

$$EA_{i,m} = - \sum_n (cA_{i,m}[n])^2 \cdot \log_2(cA_{i,m}[n])^2 \quad (5.14)$$

denklemleri ile işaret katsayılarına bağlı entropi değerleri hesaplanabilir. Burada  $\log(0) = 0$  olarak,  $i=1, 2, \dots, 2^{m-1}$ , dir.

#### 5.3.3.4. Özellik Vektörü

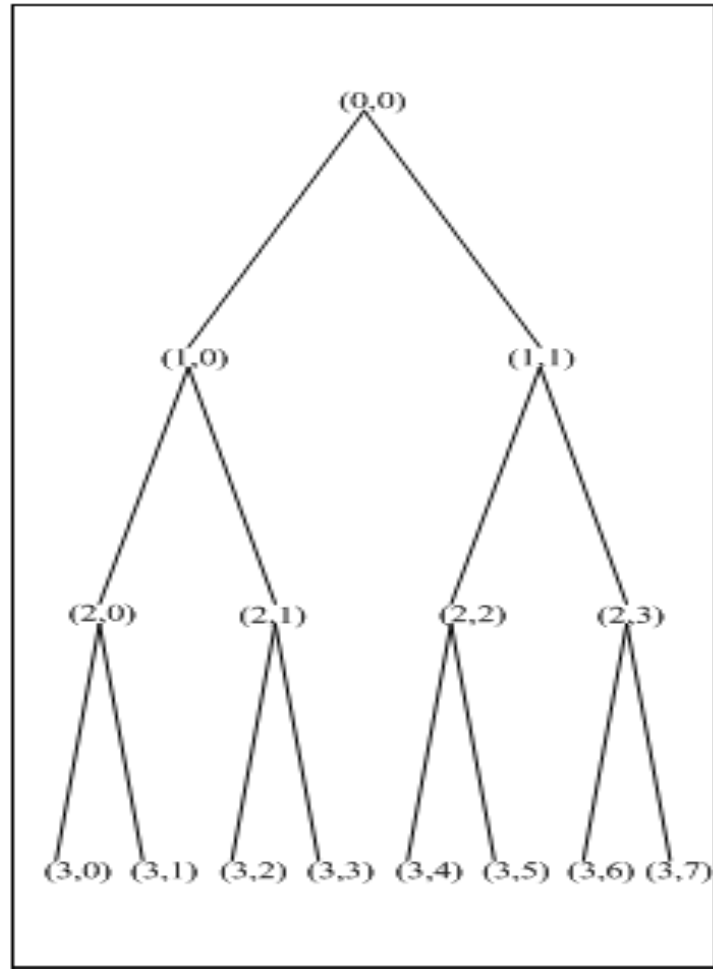
m. seviye dalgacık paket dönüşüm zaman frekans gösterim işaret katsayılarının entropi değerlerinin hesaplanmasından oluşmuş işarete ait betimleyici özellik vektörü denklem 5.15 ile elde edilir [60].

$$V = [ED_{1,m}, EA_{1,m}, ED_{2,m}, EA_{2,m}, \dots, ED_{2^{m-1},m}, EA_{2^{m-1},m}] \quad (5.15)$$

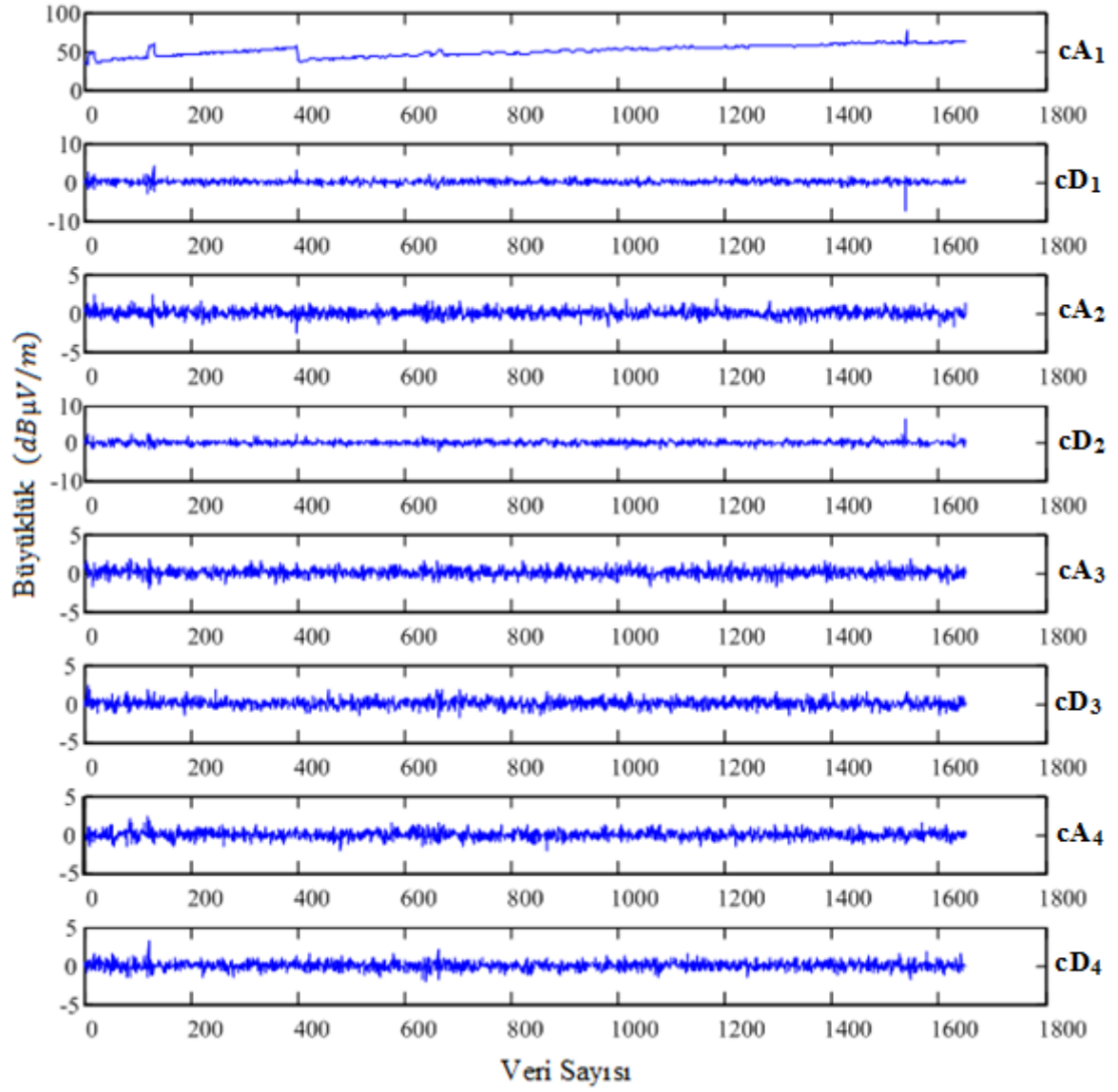
Kullanılan bu özellik çıkarım algoritmalarının uygulamaları ve başarımları aşağıda verilmiştir.

#### 5.3.3.5. Dalgacık Paket Dönüşüm Ağacından Entropi Hesabı

Çalışmada dalgacık paket dönüşüm ağacından entropi hesaplama metodu ile özellik çıkarımı, ışınlama yayılım dalga işaretleri üzerine uygulanmıştır. Telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanına ait bir ışınlama yayılım dalga işareti için, Şekil 5.23' de elde edilen ağaç yapısı ve Şekil 5.24' de,  $m = 3$ . seviyede Daubechies – 3 dalgacık paketi kullanılarak, dalgacık paket ayrışımının uç yaprak katsayı işaretleri verilmiştir.



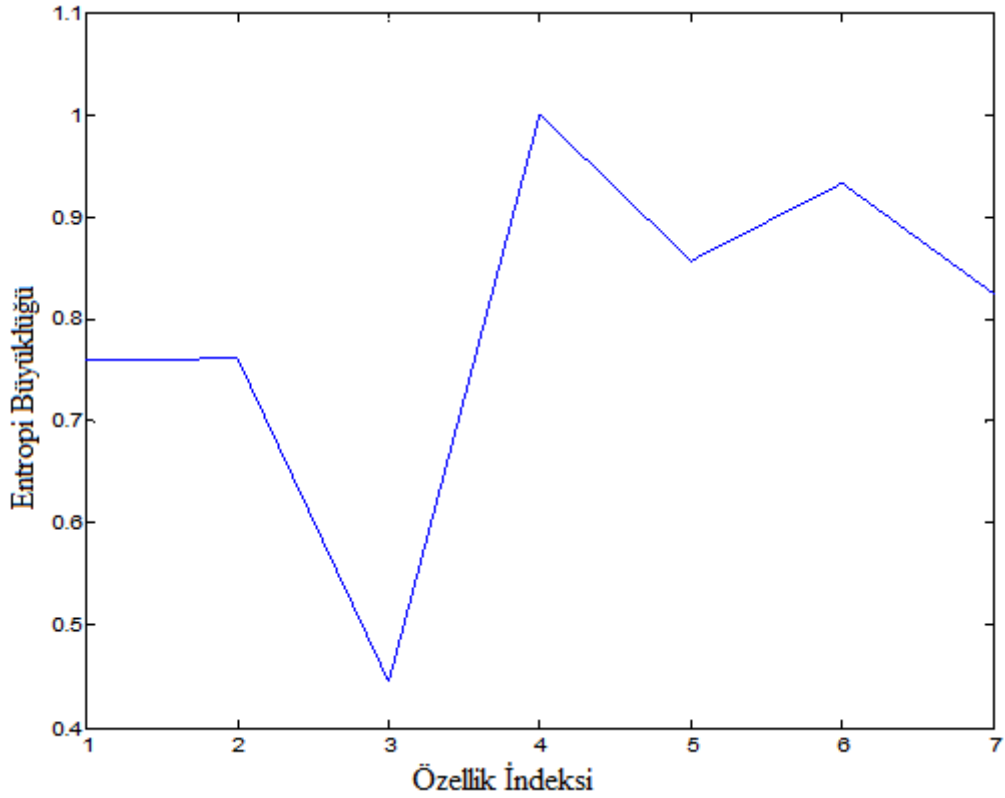
**Şekil 5.23.** Elde edilen ağaç yapı.



Şekil 5.24. 3. Seviyeden daubechies 3 kullanılarak dalgacık ayrıştırması ( Bir ışınlımla yayınımlı işaretinin dalgacık paket dönüşüm ağacının uç yaprak işaretleri).

$2^m = 8$  adet uç katsayı işaretinin Denklem 5.16' da verilen Shannon entropi ile entropi değerleri hesaplanmış ve grafiksel olarak Şekil 5.25' de verilmiştir.

$$E_i = - \sum_n (C_i[n])^2 \cdot \log_2(C_i[n])^2 \quad (5.16)$$



Şekil 5.25. Işınımla yayılım dalga işareti- dalgacık paket dönüşüm ağacı entropi hesabı özellik eğrisi.

#### 5.4. Yapay Sinir Ağları İle Sınıflandırma

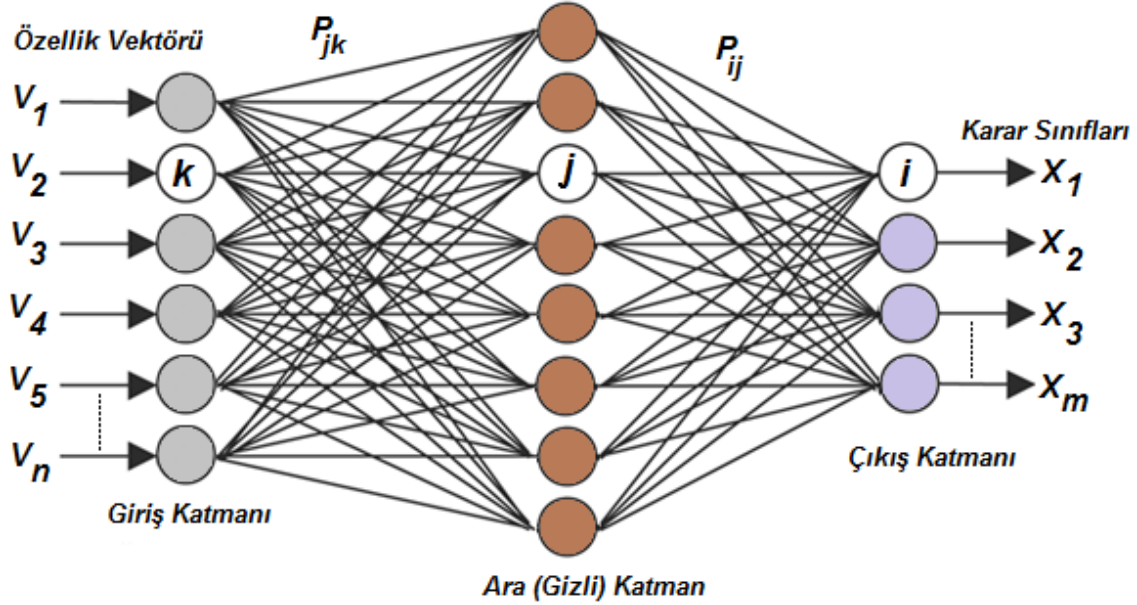
Kullanılan TTTE' nin ışınlımla yayılım dalga işaretlerinden özellik çıkarma yöntemlerinin, etkinliğini ve başarımını göstermek sınıflandırmanın asıl amacıdır. Bu amaçla, akıllı örüntü tanıma uygulamalarında çok kuvvetli bir sınıflandırıcı olan yapay sinir ağları kullanılmıştır. Kullanılan yapay sinir ağı, çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağıdır. Bu, tüm yapay sinir ağı çalışmalarının yaklaşık %90' nında tercih edilmektedir. Ayrıca bu YSA modelinin eğitimi için kullanılan en önemli öğrenme algoritması ise hata geri yayılım algoritmasıdır [73, 95, 128, 129].

Bu algoritma aşağıda verilmiştir.

##### 5.4.1. Geri Yayılım Yapay Sinir Ağları

Geri yayılım ağı, çok katmanlı ileri yön bağlamalı bir ağıdır. Giriş ile çıkış katmanları arasında, birden fazla katman kullanılan bir yapay sinir ağı modelidir. Gizli katman olarak isimlendirilen bu ara katmanlarda, aracı giriş alamayan ve aracı çıkış veremeyen

işlem elemanları bulunur. Çok katmanlı algılayıcı, ileri beslemeli yapay sinir ağının yapısı Şekil 5.26' da verilmiştir [60].



Şekil 5.26. Çok katmanlı algılayıcı, ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı.

Veriler, çok katmanlı ağlarda giriş katmanı tarafından kabul edilirler. Ağ içerisinde yapılan işlemler sonucunda çıkış katmanında elde edilen cevap bilgisi ile giriş verisine karşı istenen cevap bilgisi karşılaştırılır ve hesaplanan cevap bilgisi ile istenen cevap bilgisi arasında herhangi bir fark varsa, katmanlar arasında bulunan ağırlıklar bu farkı azaltacak şekilde yeniden düzenlenir. YSA' nın girişindeki veriler, ağırlıklar uygun noktaya gelineye kadar değişmez. Hesaplanan çıkış cevap bilgisi, istenen cevap bilgisi ile karşılaştırılır ve sonuçta hata işareti elde edilir. Hata işareti, ara katmanlardan çıkış katmanına olan ağırlıkları değiştirmek içinde kullanılır. Çok sayıda ara katmana sahip sistemlerde her katmanın hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş hata işaretlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlayıp, giriş seviyesine gelineye kadar ters yönde devam eder. Bu işlem esnasında da sistem yine hatalar yapar, ancak bu hatalardan bir şeyler öğrenip istenen cevabı bulana kadar işlem sürekli tekrarlanır. Bu yöntem, hatanın geriye yayılma algoritması olarak adlandırılır. Hatanın geriye yayılma algoritmasının, öğrenme sürecinde kullanılan matematiksel yapısı Denklem 5.17' de verilmiştir.

$$P_{ij}(t + 1) = P_{ij}(t) + \epsilon \cdot h_j \cdot X_i + \alpha \cdot (P_{ij}(t) - P_{ij}(t - 1)) \quad (5.17)$$

Burada, momentum katsayısı  $0 < \alpha < 1$  ve öğrenme oranı  $0.001 < \epsilon < 10$  dır.  $h_j$  ise  $j$ . katmandaki hata işaretidir. Bu değer ağı verile giriş için istenen çıkış değerindeki sapmadan kaynaklanmaktadır.

Hata geri yayılım algoritması eğiticili bir öğrenmedir. Bu eğiticili öğrenmede, dışarıdan bir eğiticinin sinir ağına müdahale edebilmektedir. Eğitici, sinir ağının ilgili girdi için üretmesi gereken sonucu sinir ağı sistemine verir. Yani yapay sinir ağına girdi/çıkı ikilisinden oluşan örnekler sunulur. Bu ikili, ağı öğrenmesi gereken özellikleri temsil eder. Bu algoritmanın detayları hakkında daha fazla bilgi Rumelhart'ın çalışmalarından elde edilebilir [130, 131].

Çok katmanlı ileri beslemeli ağların başlangıç ağırlıkları, çok güçlü bir etkiye sahiptir. Başlangıç ağırlıkları rastgele, küçük değerler seçilmemelidir. Etkinleştirme fonksiyonları üzerinden hesaplanması gerekir. Bu şekildeki hesaplama öğrenme sürecinin hızlı olması sağlamaktadır [132].

Geri yayılım öğrenme algoritmasının yakınsama etkinliği açısından öğrenme oranı, önemli bir etkidir. Bu oran eğer büyük seçilirse, ağırlıkların değişimleri büyük salınımlar oluşturur ve eğitim sürecinde bir kararsızlığın oluşmasına sebebiyet verir. Bu oran tam tersine küçük seçilirse de, öğrenme süreci yavaşlar. Genel olarak uygun bir öğrenme oranı seçimi için, belirli bir ölçü bulunmamaktadır. Birçok kez denemeden sonra en uygun öğrenme oranı tespit edilebilir.

Ancak Vogl vd. [133] ve Jacobs [134] tarafından, daha etkili bir yaklaşım olan adaptif öğrenme oranı önerilmiştir. Bu yöntemde, öğrenme oranı hatanın değişimine bağlı olarak belirli katsayılar ile çarpılmaktadır. Elde edilen sonuca göre de öğrenme oranı arttırılacak veya azaltılacak yönde değiştirilmektedir.

Öğrenme oranı çok geniş bir aralık içerisinde değişim gösterir. Bu sebeple ağırlıkların düzenlenmesinde, öğrenme oranının seçiminde meydana gelen problemlerin etkisini minimuma indirmek için, momentum katsayısı da kullanılmaktadır.

Eğitimin verilen hata sınırında hızlı bir şekilde gerçekleşebilmesi önemlidir. Bundan dolayı, gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki nöron sayılarının önemi büyüktür. Verilen giriş karşılık istenen çıkışı elde etmeyi yönelik bir doğrusallaşmayı sağlamak amacı için, bunların sayısının belirlenmesi çok önemlidir. Çok katmanlı ağların başarımı açısından,

birden fazla gizli katman kullanılması yerine, bir tane gizli katman kullanılması ve bu katmandaki nöron sayısının denemelerle artırılması daha uygundur [135].

Etkinleştirme fonksiyonunun iki şekilde seçimi yapılabilir. Sınıflandırılacak olan örüntünün yapısına bakarak çıkış katmanında yapılabileceği gibi genelde, tecrübeler ve deneysel çalışmalara bağlı olarak bu fonksiyonlar bulunurlar.

Etkinleştirme fonksiyonları, YSA' nın işlem elemanlarının çok geniş aralıktaki çıkışını belli aralıklara çekmektedir. Bu sayede her bir işlem elemanının tepkisi daha yumuşak olmaktadır. Ayrıca bağlantı ağırlıklarının değişimleri de, daha küçük değerlerde olması sağlanır. Dolayısıyla yapay sinir ağının eğitimi sırasında, hata değişiminin ıraksaması engellenerek kararlılığa ulaşmasına yardımcı olunur. Adım, rampa, signum, logaritma ve tanjant fonksiyonları yaygın olarak kullanılan bazı etkinleştirme fonksiyonlarıdır [136].

Yukarıda bahsedilen etkenlerin doğru seçimi, hata geri yayılım öğrenme algoritmasının başarımını büyük ölçüde arttırmaktadır.

Bu çalışmada MATLAB ortamında uygulama için bir program geliştirilmiştir. Tablo 5.7' de kullanılan ileri beslemeli çok katmanlı YSA 'nın model yapısı ve Tablo 5.8' de eğitim parametreleri verilmiştir. Bunlar, bir kaç farklı deneme ile yani gizli katman nöron sayısı, momentum ve öğrenme oranlarının değerleri ve etkinleştirme fonksiyonlarının türleri, en iyi başarımlar için seçildi.

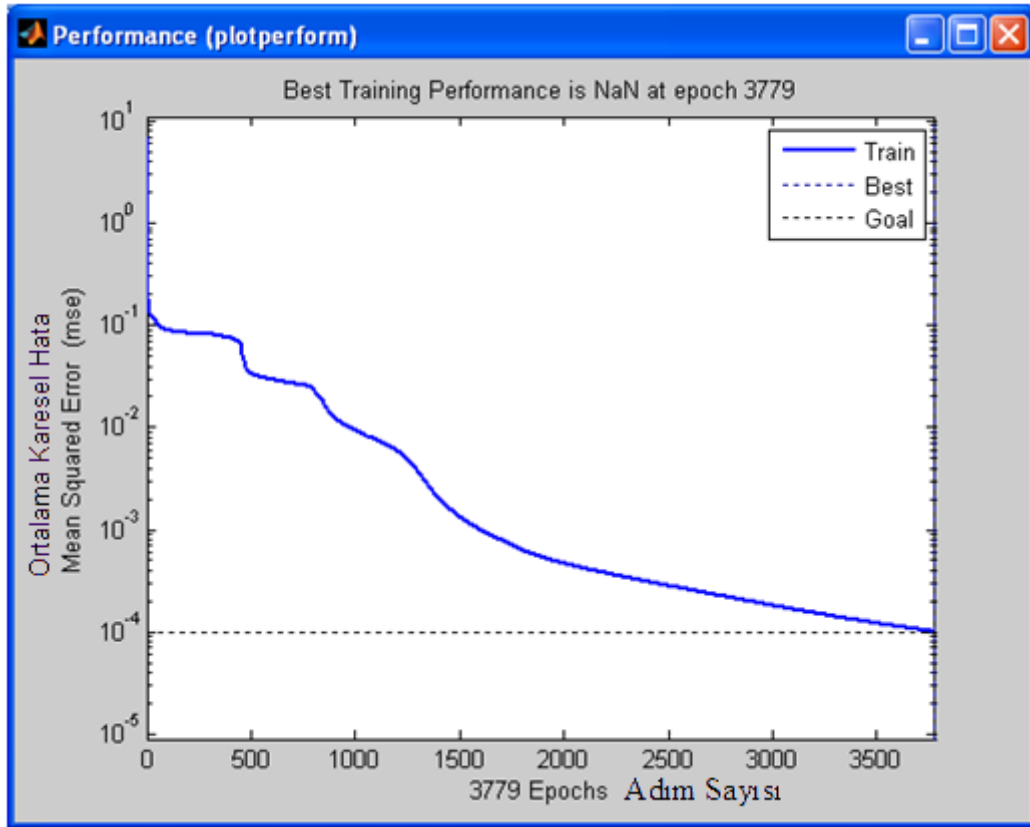
**Tablo 5.7.** YSA model yapısı.

| <b>YAPAY SİNİR AĞLARI<br/>MODEL YAPI</b> |                                                                     |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>YSA modeli</b>                        | Çok katmanlı ileri beslemeli                                        |
| <b>Katman sayısı</b>                     | 3                                                                   |
| <b>Katmanlardaki nöron sayısı</b>        | Giriş : 8<br>Ara : 8<br>Çıkış : 1 (1-GSM, 2-PSTN, 3-DECT)           |
| <b>Etkinleştirme fonksiyonları</b>       | Giriş : Tanjant sigmoid<br>Ara : Tanjant sigmoid<br>Çıkış : Purelin |

**Tablo 5.8.** YSA eğitim parametreleri.

| YAPAY SİNİR AĞLARI<br>EĞİTİM PARAMETRELERİ |                                         |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Öğrenme kuralı                             | Levenberg-Marquardt - Hata geri yayılım |
| Öğrenme oranı                              | 0.6                                     |
| Toplam karesel hata                        | 0.0001                                  |

Şekil 5.27’ de, dalgacık paket dönüşüm ağacından entropi hesaplanması metoduna göre elde edilen özellikler ile kullanılan YSA 'nın eğitim başarımı verilmiştir.



**Şekil 5.27.** YSA eğitim başarımı.

Toplam 225 adet numuneye ait ışınlama yayılım dalga işaret örüntüleri üzerinde, kullanılan özellik çıkarım yönteminin kullanılan YSA sınıflandırıcı modeli ile sınıflama başarımları, uygulama sonuçları Tablo 5.9’ da verilmiştir.

**Tablo 5.9.** Kullanılan özellik çıkarım yöntemi ile TTTE' ler için YSA sınıflama başarımlarının sonuçları.

| TTTE                         | Sınıflama Sayısı |        | Başarım Oranı | Genel Başarım Oranı |
|------------------------------|------------------|--------|---------------|---------------------|
|                              | Doğru            | Yanlış |               |                     |
| <b>GSM Telefon<br/>(114)</b> | 107              | 7      | % 93.86       | % 92                |
| <b>PSTN Telefon<br/>(70)</b> | 65               | 5      | % 92.86       |                     |
| <b>DECT Telefon<br/>(41)</b> | 35               | 6      | % 85.37       |                     |

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Örüntü tanıma uygulamalarında en önemli olay, doğru ve etkili bir özellik çıkarımının yapılması ve devamında yapılan sınıflandırmanın doğruluğudur. Bu sebeple kullanılan özellik çıkarım yöntemi ve sınıflandırıcı seçimi büyük önem arz eder.

Bu tez çalışmasında, laboratuvar ortamında elde edilmiş olan, telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanlarından, GSM, DECT ve PSTN telefonlara ait ışınlama yayılım dalga işaretleri için, özellik çıkarım algoritması zaman-frekans gösterim entropilerine dayalı olarak tanımlanmıştır. Günümüzde en çok kullanılan, genelleme yetenekleri göz önüne alındığında, örüntü tanıma uygulamalarının çok büyük boyutlu verileri açısından büyük önem arz eden, geri yayılım yapay sinir ağları sınıflandırıcısı ile kullanılan metodun etkinliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kullanılan özellik çıkarım algoritmasında, işaretin doğrudan zaman veya frekans bölgesinin her bir noktasının büyüklüğünü özellik uzayı olarak tanımlamak yerine, daha detaylı ve kesin özellikler elde etmek amaçlı, dalgacık paket ayrışımı ile elde edilen her bir işaret bileşeninin entropi değerleri hesaplanmıştır. Bu sayede işaretin özellik uzayı, işaretin farklı noktalardan çıkarılan her bir bileşeninin sahip olduğu bir tek entropi değerlerinin oluşturduğu küme ile tanımlanmış olur. Bu durum, doğrudan zaman veya frekans bölgesinden elde edilen özellikler uzayına göre boyut olarak daha azdır.

ışınlama yayılım dalga işaretleri bir ön işlem sürecinden geçirilerek durağan olmayan işaret içerisinde bulunan serbest iç ve dış dinamiklere müdahale edilmiş ve gürültüden ayrışım sağlanmıştır. Bu ön işlem sayesinde, örüntü tanıma sisteminin başarımına katkı sağlanmıştır.

Kullanılan özellik çıkarımında, dalga işaretin sadece bir dalgacık paket dönüşümü bileşeninin özellik çıkarmak için kullanılması yerine, işareti yeniden oluşturabilecek katsayı işaret bileşenlerini üzerinde bulunduran bir ağaç yapısı kullanılmıştır. Her işaret bileşeninden bir özellik çıkarım değeri elde edildiği için, özellik uzayının boyutunda artış olmamıştır. Bu sayede daha kararlı bir özellik çıkarımı sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, kullanılan dalgacık paket dönüşüm ağacından entropi hesaplama metodu ile özellik çıkarımında, işaretin doğrudan zaman bölgesi bileşenlerinin örüntülerinden entropi değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemin yapay sinir ağları ile ışınlama

yayınım dalga işaretlerini GSM, DECT ve PSTN cihaz olarak sınıflama başarımları, ortalama olarak % 92 olmuştur.

Yapılan çalışmalarda, dalgacık dönüşüm ağacından entropi hesaplama yöntemi ile özellik çıkarımı da kullanılmış ve başarımın % 78.67 olduğu görülmüştür. Bu nedenle daha ayrıntılı veri elde etmek için dalgacık paket dönüşüm ağacından entropi hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışma referans alınarak, diğer telsiz ve telekomünikasyon terminal ekipmanlarına ve elektrikle çalışan tüm cihazlara da uygulama yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Van Zyl, J.J.** 1989. Unsupervised Classification Of Scattering Behavior Using Radar Polarimetry Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **27(1)**, pp. 36 – 45.
- [2] **Silveira, R.B., Holt, A.R.** 2001. An Automatic Identification Of Clutter And Anomalous Propagation İn Polarization-Diversity Weather Radar Data Using Neural Networks, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **39(8)**, pp. 1777 – 1788.
- [3] **Grecu, M., Krajewski, W. F.** 1999. Detection of Anomalous Propagation Echoes in Weather Radar Data Using Neural Networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **37(1)**, pp. 287–296.
- [4] [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/index_en.htm) 04.05.2011, 11 Şubat 2011.
- [5] T.C. Resmi Gazete, TK, Düzenlemeler / Yönetmelikler 2007. Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Yönetmeliği, 24.03.2007, 26472. <http://www.resmi-gazete.org/tarih/20070324-4.htm>, 12 Haziran 2011.
- [6] Guide to the R&TTE Directive 1999/5/EC, Version of April 2009, European Commission, [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/files/guide2009-04-20\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/files/guide2009-04-20_en.pdf), 03 Mart 2010.
- [7] European Commission (EC), 11.04.2001, Working Paper on the Implementation of New Approach Directives, Brussels.
- [8] Council Resolution of 7 May 1985 on A New Approach to Technical Harmonization and Standards OJ C 136, 1985. [http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/technical\\_harmonisation/l21001a\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/technical_harmonisation/l21001a_en.htm), 15 Temmuz 2011.
- [9] **Directive 2001/95/EC**, 2001, 2001/95/EC General Product Safety Directive, *European Commission (EC)*, Brussels.
- [10] **Directive 1999/5/EC**, 2000, Directive of the European Parliament and of the Council of 9 March 1999 on Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment and the Mutual Recognition of their Conformity, *European Commission (EC)*, Brussels.

- [11] European Commission (EC), 2000, Guide to the Implementation of Directives Based on the New Approach and the Global Approach, ISBN 92-828-7500-8, Italy. <http://europa.eu.int/comm/enterprise/newapproach/newapproach.htm>, 16 Temmuz 2011.
- [12] European Commission (EC), 1992, Protocol on the application of the principles of subsidiarity and proportionality, EC Treaty, Amsterdam.
- [13] **Directive 98/34/EC**, 2005, A Guide to The Procedure for The Provision of Information in The Field of Technical Standards and Regulations and Rules on Information Society Services, ISBN 92-894-6917-X, *European Commission (EC)*, Italy.
- [14] European Commission (EC), 14.07.1999, M/284 EN Standardisation Mandate Forwarded To CEN/CENELEC/ETSI In The Field Of Information Technology And Telecommunications, Brussels.  
[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/files/mandates/m284\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/files/mandates/m284_en.pdf), 01 Ağustos 2011.
- [15] European Commission (EC), 24.02.2005, M/364 EN Standardisation Mandate Forwarded to CEN/CENELEC/ETSI In The Field of Information Technology And Telecommunications, Brussels.  
[http://www.etsi.org/WebSite/document/aboutETSI/EC\\_Mandates/m364en.pdf](http://www.etsi.org/WebSite/document/aboutETSI/EC_Mandates/m364en.pdf), 01 Ağustos 2011.
- [16] **ETSI**, EMC, <http://www.etsi.org/WebSite/Technologies/EMC.aspx> , 03 Nisan 2010.
- [17] **EN 55022:2006**, 2006. Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, *CENELEC (Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique - Avrupa Elektroteknik Standartlar Komitesi)*, Brussels.
- [18] **TS EN 55022**, 2009. Bilgi Teknolojisi Cihazları - Radyo Bozulma Karakteristikleri - Sınır Değerleri Ve Ölçme Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [19] **BTK**, 2008. Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Yönetmeliği Kapsamında Yer Alan Uyumlaştırılmış Standartların Uygulanmasına Dair Rehber, *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu*, Ankara.
- [20] **EN 301 489-1 V1.8.1**, 2008. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements, *ETSI (European Telecommunications Standards Institute - Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)*, France.

- [21] **EN 301 489–7 V1.3.1**, 2005. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and Services; Part 7: Specific conditions for mobile and portable radio and ancillary equipment of digital cellular radio telecommunications systems (GSM and DCS), *ETSI (European Telecommunications Standards Institute - Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)*, France.
- [22] **EN 301 489–6 V1.3.1**, 2008. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 6: Specific conditions for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) equipment, *ETSI (European Telecommunications Standards Institute - Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)*, France.
- [23] <http://electronics.howstuffworks.com/cell-phone1.htm>, 12 Mart 2010.
- [24] **Garg, V. K., Wilkes, J. E.** 1999. Principles & Applications of GSM, ISBN 13: 9780139491245, Prentice Hall, USA.
- [25] **MEB**, 2007. Elektrik Elektronik Teknolojisi Mobil İletişim Cihazlarına Giriş, MEB (Milli eğitim Bakanlığı) Yayınları, Ankara.  
<http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/elektrik/moduller/mobililetisimcihazlarinagiris.pdf>, 11 Haziran 2010.
- [26] CDMA Development Group (CDG), Wideband cdmaOne (TIA cdma2000) Radio Transmission Technology Proposal, CDG Official Web Site, <http://www.cdg.org>. 11 Şubat 2011.
- [27] [http://www.toshiba.com/taec/applications/sbd/cellphone\\_standard.jsp](http://www.toshiba.com/taec/applications/sbd/cellphone_standard.jsp), 02 Mayıs 2011.
- [28] TC Resmi Gazete, Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazları (Ket) Yönetmeliği, 20/03/2010, 27527.  
[http://www.tk.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/dosyalar/KET\\_yonetmeligi.pdf](http://www.tk.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/dosyalar/KET_yonetmeligi.pdf), 11 Mayıs 2011.
- [29] <http://www.etsi.org/WebSite/Technologies/DECT.aspx>, 24 Nisan 2011.
- [30] <http://www.frmtr.com/network-ve-internet/1938-telekomunikasyon-terimleri-kisaltmalar.html>, 24 Nisan 2011.
- [31] <http://electronics.howstuffworks.com/cordless-telephone3.htm>, 02 Mayıs 2011.

- [32] **Rappaport, T.S.** 2002. Wireless Communications Principles and Practice, Prentice Hall PTR., Upper Saddle River, USA.
- [33] **Kreher, R., Rüdibusch, T.** 2007. UMTS Signalling, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England.
- [34] **Nokia Siemens Networks**, 2007. Nokia MSS Review Training Document, Finland.
- [35] <http://amadeus.upr.clu.edu/~arsenal/MICRO2/status.html>, 02 Mayıs 2011.
- [36] <http://communication.howstuffworks.com/telephone.htm>, 21 Mayıs 2011.
- [37] **Jordan, E.C., Balmain, K.G.** 1968. Electromagnetic Waves and Radiating Systems. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, Inc., USA.
- [38] **Sevgi, L.** 2003. Elektromanyetik Girişim Kaynakları – Elektrik ve Manyetik Dipoller, *Endüstriyel&Otomasyon Dergisi*,  
[http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO\\_Aral%C4%B1k2003.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Aral%C4%B1k2003.pdf),  
21 Şubat 2010.
- [39] **Kong, J. A.** 2000. Electromagnetic Wave Theory, ISBN-13: 978-0966814392, EMW Publishing, 1007p., USA.
- [40] **Staelin, D. H., Morgenthaler, A. W., Kong, J. A.** 1994. Electromagnetic Waves, ISBN: 0132258714, Prentice Hall, 562p.
- [41] European Commission Research Directorate-General - European Communities, Health And Electromagnetic Fields-  
[http://ec.europa.eu/health/ph\\_determinants/environment/EMF/brochure\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/brochure_en.pdf), 05 Haziran 2010.
- [42] [www.tk.gov.tr/sas/yayinlar\\_belgeler.htm](http://www.tk.gov.tr/sas/yayinlar_belgeler.htm), 13 Haziran 2011.
- [43] ST Microelectronics, 2000. EMC General Information by Microcontroller Division Applications, AN898, USA.  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXyyzsq.pdf>, 05 Temmuz 2011.

- [44] ST Microelectronics, 2000. Emc Guidelines For Microcontroller-Based Applications by Microcontroller Division Applications, AN901, USA.  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXyyztw.pdf>, 05 Temmuz 2011.
- [45] **Arı N, Özen Ş**, 2008. Elektromanyetik Uyumluluk, ISBN 978-9944-341-72-1, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [46] **Tihanyi, L.** 1995. Electromagnetic Compatibility in Power Electronics, ISBN 0-7506-2379-9, Butterworth Heinemann Ltd., 416p., United Kingdom.
- [47] **Şeker, S., Çerezci, O.** 2000. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [48] **Sevgi, L.** 2004. Haberleşme Sistemleri ve Elektromanyetik Dalga Yayılımı, *Endüstriyel&Otomasyon Dergisi*,  
[http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO\\_Agustos04.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Agustos04.pdf), 21 Şubat 2010.
- [49] **Griffiths, D. J.** 2005. Elektromanyetik Teori, Arte, 1996-Gazi Kitapevi, Ankara.
- [50] **Sevgi, L.** 2000. Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik, EMO, Elektrik Mühendisleri Odası, ISBN No: 975 - 395 - 396 - 8, İstanbul.
- [51] **Çınar, K.** 2006., Elektromanyetik Alan, *Bilim ve Teknik*,  
<http://www.biyoloji.egitim.yyu.edu.tr/mkpdf/ea06.pdf>, 09 Mayıs 2010.
- [52] [WWW.PHYSICS.MIAMI.EDU/~ZUO/CLASS/FALL\\_05/SUPPLEMENT/FIGURE21\\_26.JPG](http://WWW.PHYSICS.MIAMI.EDU/~ZUO/CLASS/FALL_05/SUPPLEMENT/FIGURE21_26.JPG), 09 Mayıs 2010.
- [53] [http://www.physics.miami.edu/~zuo/class/fall\\_05/supplement/Figure27\\_17.jpg](http://www.physics.miami.edu/~zuo/class/fall_05/supplement/Figure27_17.jpg), 10 Mayıs 2010.
- [54] **Dejie, L., Zhang, K.** 2008, Electromagnetic Theory for Microwaves and Optoelectronics, ISBN 978-3-540-74295-1, Springer Berlin Heidelberg, 711p.
- [55] **Paul, C.R.** 2006. Introduction to Electromagnetic Compatibility, Second Edition, A John Wiley&Sons, Inc. Publication, Canada.
- [56] **Michigan State University Research Groups** 2008. Electromagnetic Compatibility (EMC) course notes, Module 9: Radiated Emissions,  
[www.egr.msu.edu/em/research/goali/notes/](http://www.egr.msu.edu/em/research/goali/notes/), 11 Aralık 2010.

- [57] **Kuyucuoğlu, F.** 2007. Elektromanyetik Saçınım Probleminin Belli Geometriler İçin Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri, İzmir.
- [58] **Bakmaz, H.** 2009. Piyasa Gözetimi ve Denetimi Kapsamında Elektromanyetik Uyumluluk Deneylerinin Telekomünikasyon Cihazlarına Uygulanması, Avrupa İncelemeleri ve Türkiye İçin Öneriler, *Uzmanlık Tezi*, BTK., Ankara.
- [59] **Michigan State University Research Groups** 2008. Electromagnetic Compatibility (EMC) course notes, Module 1, [www.egr.msu.edu/em/research/goali/notes/](http://www.egr.msu.edu/em/research/goali/notes/), 11 Aralık 2010.
- [60] **Türkoğlu, İ.** 2002. Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Entropilerine Dayalı Akıllı Örüntü Tanıma, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [61] **Rothe, H.** 1998. Approaches To Pattern Recognition, Advanced Pattern Recognition Techniques, *NATO-RTO Lecture Series 214*, Lisbon Portugal, 1.1 – 1.29.
- [62] **Duda, R.O., Hart, P.E.** 1989. Pattern Classification and Scene Analysis, Stanford Research Institute, 483s.
- [63] **Phan, F., Tzanakou, E.M., Sideman, S.** 2000. Speaker Identification Using Neural Networks And Wavelets, *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, Ocak/Şubat, pp. 92–101.
- [64] **Akin, M., Arserim, M.A., Kıymık, M.K., Türkoğlu, İ.** 2001. A New Approach For Diagnosing Epilepsy By Using Wavelet Transform And Neural Networks, *23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2001)*, 25-28 October 2001, İstanbul, 4.2.6.(1).
- [65] **Türkoğlu, İ., Hanbay, D.** 2001. Yapay Sinir Ağı ve HFD Kullanarak DTMF Sinyal Örüntülerini Tanıma Sistemi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9.Ulusal Kongresi*, 19-23 Eylül 2001, Kocaeli, 431-434.105.
- [66] **Sowelam, S.M., Tewfik, A.H.** 2000. Waveform Selection In Radar Target Classification, *IEEE Transactions on Information Theory*, **46**, pp. 1014 – 1029.
- [67] **Chau, T.** 1994. Pattern Recognition Of Processed EMG Signals For Two-Site Myoelectriccontrol, *Uygulamalı Yüksek Lisans Tezi*, Toronto Üniversitesi, 96s., Kanada.

- [68] **Kil, D.H., Shin, F.B.** 1996. Pattern Recognition and Prediction with Applications to Signal Characterization. AIP Press, USA, 417s.
- [69] **Rutledge, G.A.** 2000. Dictionary Projection Pursuit: A Wavelet Packet Technique For Acoustic Spectral Feature Extraction, *Doktora Tezi*, Victoria Üniversitesi, Kanada, 193s.
- [70] **Englehart, K.** 1998. Signal Representation for Classification of the Transient Myoelectric Signal, *Doktora Tezi*, New Brunswick Üniversitesi, Kanada, 319s.
- [71] **Young, T.Y., Fu, K.S.** 1986. Handbook of pattern recognition and image processing, Academic Press, Inc, 159s.
- [72] **Boller, C., Staszewski, W., Worden, K., Manson, G., Tomlinson, G.** 2000. Structureintegrated Sensing And Related Signal Processing For Condition-Based Maintenance, *Conference of The Condition-Based Maintenance For Highly Engineered Systems*, Eylül 25-27, Pisa Üniversitesi, İtalya, 16s.
- [73] **Bishop, C.M.** 1995. Neural Networks For Pattern Recognition, ISBN 978-0-19-853864-6, Oxford University Press, 482s.
- [74] **Banks, S.P.** 1990. Signal Processing, Image Processing And Pattern Recognition, Prentice-Hall, New York, 409s.
- [75] **Türkoğlu, İ.** 1996. Yapay Sinir Ağları İle Nesne Tanıma, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [76] **Ward, M.** 1998. Detection And Classification Of Transient Underwater Sounds By A Finite İmpuls Response Neural Network, *Yüksek Lisans Tezi*, New Brunswick Üniversitesi, Fredericton, Kanada.
- [77] **Kaita, T., Tomita, S., Yamanaka, J.** 2002. On A Higher-Order Neural Network For Distortion İnvariant Pattern Recognition, *Pattern Recognition Letters*, **23, 8**, pp. 977–984.
- [78] **Schalkoff, R.** 1991. Pattern Recognition: Statistical, Structural And Neural Approaches. ISBN: 0471529745, John Wiley & Sons, 384s.
- [79] **Türkoğlu, İ., Arslan, A.** 1996. Eğitici Ve Eğitici Sız Yapay Sinir Ağı Modellerinin Örüntü Tanıma Başarılarının Karşılaştırılması, *4. Bilgisayar – Haberleşme Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, Bursa, s. 72-75.

- [80] **Avcı, E.** 2005. Akıllı Radar ile Hedef Tanıma, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [81] **Karras, D.A., Karkanis, S.A., Mertzios, B.G.** 1998. Information Systems Based On Neural Network And Wavelet Methods With Application To Decision Making, Modeling And Prediction Tasks, *Kybernetes, MCB Üniversitesi*, **27, No.3**, pp. 224-236.
- [82] **Belouchrani, A., Amin, M.G.** 1998. Blind Source Separation Based On Time-Frequency Signal Representations, *IEEE Transactions on Signal Processing*, **46, No.11**, pp. 2888-2897.
- [83] **Hlawatsch, F., Boudreaux-Bartels, F.** 1992. Linear And Quadratic Time-Frequency Signal Representations, *IEEE Signal Processing Magazine*, **9, No.2**, pp. 21-67.
- [84] **Rorabaugh, C.B.** 1999. DSP Primer, ISBN:0-07-054004-7, Mc Graw Hill, 518s.
- [85] **Plett, M.I.** 2000. Ultrasonic Arterial Vibrometry With Wavelet Based Detection And Estimation, *Doktora Tezi*, Washington Üniversitesi, 234s., ABD.
- [86] **Shannon, C.E.** 1948. A Mathematical Theory Of Communication, *Bell System Technology Journal*, **27**, pp. 379-423.
- [87] **Tonga, S., Bezerianos, A., Paula, J., Zhub, Y., Thakora, N.** 2002. Nonextensive Entropy Measure Of EEG Following Brainin Jury From Cardiac Arrest, *Elsevier Physica A*, **305**, 619 – 628.
- [88] **Principe, J.C., Euliano, N.R., Lefebvre, W.C,** 2000. Neural and Adaptive Systems. John Wiley & Sons, 1. Baskı, New York, 656s, ABD.
- [89] **Overwijk, M.H.F., Reefman, D.** 2000. Maximum-Entropy Deconvolution Applied To Electron Energy-Loss Spectroscopy, *Pergamon Micron*, **31**, pp. 325-331.
- [90] **Li, X.** 2000. Edge Directed Statistical Inference With Applications To Image Processing, *Doktora Tezi*, Princeton Üniversitesi, 131s, ABD.
- [91] **Zhang, X.S., Roy, R.J.** 2001. Derived Fuzzy Knowledge Model For Estimating The Depth Of Anesthesia, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **48, No.3**, pp. 312-323.

- [92] **Hoang, M., Aaron, R., Shiffman, C.A.** 1997. Maximum Entropy Method For Magnetoencephalography, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **44**, 1, pp. 98-102.
- [93] **Coifman, R.R., Wickerhauser, M.V.** 1992. Entropy-Based Algorithms For Best Basis Selection, *IEEE Transaction on Information Theory*, **38**, 2, pp. 713-718.
- [94] **Rajan, J.J.** 1994. Time Series Classification, *Doktora Tezi*, Cambridge Üniversitesi, 191s., İngiltere.
- [95] **Hoekstra, A.** 1998. Generalisation İn Feed Forward Neural Classifiers, Delft Technical Univercity, *Doktora Tezi*, Delft, Holland.
- [96] **Elmas, Ç.** 2007. Yapay Zeka Uygulamaları (Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Genetik Algoritma), ISBN 978-975-02-0614-6, Seçkin Yayın Evi, Birinci Baskı, Ankara.
- [97] **Lin, C.T., Lee C.S.G.** 1996. Neural Fuzzy Systems. Prentice-Hall, 797s.
- [98] **Türkoğlu, İ., Arslan, A.** 2002. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarında En İyi Etkinleştirme Fonksiyonu Seçimi İçin Çok Ölçekli Bir Yaklaşım, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1,1, Eskişehir.
- [99] **Zurada, M.J.** 1992. Introduction To Artificial Neural Systems, West Publishing Company Inc., New York, USA.
- [100] **Başbuğ R.** 1994. Yapay Sinir Ağları, *Byte*, s.167.
- [101] **Rafiq, M.Y., Bugmann, G., Easterbrook, D.J.** 2001. Neural Network Design Forengineering Applications, *Computers & Structures*, **79(17)**, pp. 1541–1552.
- [102] **Pham, D.T., Pham, P.T.N.** 1999. Artificial Intelligence İn Engineering, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **39(6)**, pp. 937–949.
- [103] **Feixue, W., Wenxian, Y., Guirong, G.** 1996. Recurrent Neural Network For High-Resolution Radar Ship Target Recognition, *Radar, 1996. Proceedings., CIE International Conference of*, 8-10 Ekim 1996, pp. 200 – 203.

- [104] **Zongquan, Y.** 1998. Two-Level Classification Of Target Recognition Based On Neural Network, Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, *ICMMT '98. 1998 International Conference on, 18-20 Ağustos 1998*, pp. 460 – 462.
- [105] **Daqing, C., Zheng, B.** 1996. High Range Resolution Radar Target Identification Using Multilayer Feedforward Neural Network, *Radar, Proceedings., CIE International Conference of* , pp. 215 – 218.
- [106] **Weston, A.D.** 2001. Electromagnetic Compatibility: Principles and Applications, ISBN 0-8247-8889-3, Markel Dekker Inc., USA.
- [107] **Montrose, M.I., Nakauchi, E.M.** 2004. Testing For EMC Compliance/Approaches and Techniques, AJohn Wiley & Sons Inc., Publication, IEEE, Canada.
- [108] **Armstrong, K., Williams, T.** 2001. EMC Testing Part 2-Conducted Emissions, *EMC Compliance Journal*, UK.  
[http://www.compliance-club.com/archive/old\\_archive/010422.htm](http://www.compliance-club.com/archive/old_archive/010422.htm), 05 Haziran 2010.
- [109] **Schaffner, R.F.** 2000. Emission Testing, A Handy Guide, Switzerland.
- [110] <http://www.electronics-project-design.com/RFEmission.html>, 10 Haziran 2010.
- [111] **Sevgi, L.** 2005. EMC ve Antenler: II-Anten Faktörü (AF/TAF), *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*,  
[http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/LS\\_Eyl05.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/LS_Eyl05.pdf), 10 Haziran 2010.
- [112] **Ott, H.W.** 2009. Electromagnetic Compatibility Engineering, A John Wiley&Sons, Inc., Publication, Canada.
- [113] **LAB-TL-16**, 2009. EMC-Işınımıla Yayınım Deney Talimatı, *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu*, Ankara.
- [114] **Paul, C.** 1992. Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, Inc., Publication, Canada.
- [115] ETS-Lindgren, “Common EMC Measurement Terms”, [www.ets-lindgren.com](http://www.ets-lindgren.com) 09 Ekim 2010.

- [116] **Morgan, D.** 1995. A Handbook for EMC Testing and Measurement, ISBN-13: 978-0863412622, Institution of Engineering and Technology (IET), 680p., London, England.
- [117] **Goswami, J.C., Chan, A.K.** 2011. Fundamentals of Wavelets Theory: Algorithms, and Applications, Second Edition, ISBN: 0470484135, John Wiley & Sons, Canada, 359s.
- [118] **Walton, E.K.** 1998. Wavelet Techniques And Other Multiresolution Techniques For Target Phenomenology Studies, *NATO-RTO Lecture Series 214*, Lisbon Portugal, 3-1, pp. 3-33.
- [119] **Morlet, J., Arens, G., Fourgean, E., Giard, D.** 1982. Wave Propagation And Sampling Theory – Part I-II, *Geophysics*, **47(2)**, pp. 203-236.
- [120] **Grossmann, A., Morlet, J.** 1984. Decomposition Of Hardy Functions Into Square Integrable Wavelets Of Constant Shape, *SIAM Journal of Mathematical Analysis*, **15(4)**, pp. 723-736.
- [121] **Goupillaud, P., Grossmann, A., Morlet, J.** 1984. Cycle-Octave And Related Transforms In Seismic Signal Analysis, *Geoexploration*, **23**, pp. 85-102.
- [122] **Chui, C.K.** 1992. Wavelets: A tutorial in theory and applications. Academic Press, New York, USA.
- [123] **Meyer, Y.** 1993. Wavelets: Algorithms and Applications. SIAM Press, Philadelphia, USA.
- [124] **Mallat, S.** 1989. A Theory For Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **11(7)**, pp. 674–693.
- [125] **Daubechies, I.** 1992. Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia: Society of Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, USA.
- [126] **Coifman, R.R., Wickerhauser, M.V.** 1992. Wavelets And Adapted Waveform Nalysis, Wavelets: Mathematics And Applications, *Studies in Advanced Mathematics*, Florida, pp. 399-423.
- [127] **Strang, G., Nguyen, T.** 1996. Wavelets and Filter Banks. Wellesley-Cambridge Press, Cambridge, MA, England.

- [128] **Haykin, S.** 1994. *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*. Macmillan College Publishing Company Inc., New York, USA.
- [129] **Rothe, H., Fecht, A., Kasper, A., Rinder, T.** 1998. Practical Applications Of Pattern Recognition Techniques, *NATO-RTO Lecture Series 214*, Lisbon Portugal, 12-1,12-25.
- [130] **Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J.** 1986. Learning Representations By Back-Propagating Errors, *Nature*, **323**, pp. 533–536.
- [131] **Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J.** 1986. Learning Internal Representations By Error Propagation. *Parallel Distributed Processing*, 1, 8, Cambridge, MIT Press.
- [132] **Nguyen, D., Widrow, B.** 1990. Improving The Learning Speed Of 2-Layer Neural Networks By Choosing Initial Values Of The Adaptive Weights, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, Vol. 3, pp. 21–26.
- [133] **Vogl, T.P., Mangis, J.K., Rigler, A.K., Zink, W.T. and Alkon, D.T.** 1988. Accelerating The Convergence Of The Back-Propagation Method, *Biol. Cybern*, **59**, pp. 257–263.
- [134] **Jacobs, R.A.** 1988. Increased Rates Of Convergence Through Learning Rate Adaptation, *Neural Networks*, **1**, pp. 295–307.
- [135] **Freeman, J.A., Skapura, D.M.** 1991. *Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programming Techniques*, Reading, MA, Addison-Wesley.
- [136] **Narayan, S.** 1999. The Generalized Sigmoid Activation Function Competitive Supervised Learning, *Elsevier Science Inc. Information Sciences*, pp. 69-82.

## ÖZGEÇMİŞ

Zekeriya Oral YAĞDIRAN, 1970 yılında Ankara’ da doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi Ankara’ da tamamladı. 1988 yılında eğitime başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 1992 yılında mezun oldu. 1994 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve 1997 yılında yüksek mühendis olarak mezun oldu. 1998 yılında aynı ana bilim dalında doktora eğitimine başladı ve 2001 yılında tez aşamasında iken bazı özel sebepler nedeniyle eğitimine ara verdi. 2009 yılında tekrar eğitime başladı. Evli ve 2 çocuk babası olan YAĞDIRAN, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu’ nda mühendis olarak görev yapmaktadır.