

749994

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KARMAŞIK İŞARET ANALİZİ VE
ÇOKLU-DEĞİŞİNTİ KIRILCA BOYUTU MODELLEMESİ YOLUYLA
TELSİZLERİN KİMLİK TESPİTİNİN YAPILMASI

ÖNDER HALUK TEKBAŞ

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2004

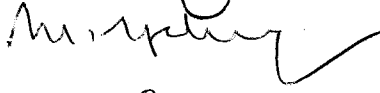
Her Hakkı Saklıdır

Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ danışmanlığında Önder Haluk TEKBAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 20/05/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof.Dr. Mehmet ŞAFAK



Üye :Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ



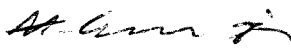
Üye :Prof.Dr. Kerim DEMİRBAŞ



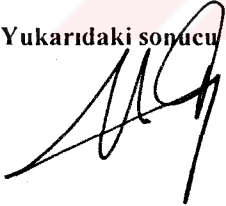
Üye :Prof.Dr. Abdurza ABILOV



Üye :Yrd.Doç.Dr. H.Gökhan İLK



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof.Dr.Metin OLGUN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

KARMAŞIK İŞARET ANALİZİ VE ÇOKLU-DEĞİŞİNTİ KIRILCA BOYUTU MODELLEMESİ YOLUYLA TELSİZLERİN KİMLİK TESPİTİNİN YAPILMASI

Önder Haluk TEKBAŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mümtaz YILMAZ

Bu tez çalışması kapsamında yeni bir verici kimlik tespit sistemi geliştirilmiştir. Kimlik tespit işlemi, alıcıların ara frekans katından kaydedilen açılma geçici rejim işaretlerindeki genlik ve evre bilgisinin bir karmaşık işaret analiz yöntemi ile analiz edilmesi sayesinde gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin, özellikle yön/konum kestirme sistemleri ile birlikte kullanıldığında, frekans izgesinin denetimi açısından faydalı bir araç olacağı değerlendirilmektedir.

Geliştirilen sistemde, geçici işaretlerin başlangıcının tespiti bir güç eşiği algılama yöntemiyle; işaretlerin özniteliklerinin çıkartılması bir çoklu-değişinti kırılca boyut hesaplama yöntemiyle; bilinmeyen işaretlerin sınıflandırılması ise bir olasılıklı yapay sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. Veri toplama, modelleme, sınıflandırma ve analiz işlemlerinin ayrıntıları deneysel sonuçlar üzerinde yapılan değerlendirmelerle birlikte tez kapsamında ele alınmış; geliştirilen sistemin mevcut kimlik tespit sistemlerinden üstün olan yanları açıklanmıştır.

Çevresel şartlardaki değişimlerin verici sınıflandırma işlemi üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Besleme gerilim seviyelerinde veya ortam sıcaklığında değişim olduğunda öznitelik vektörlerinin öznitelik uzayında oldukça geniş alanlara yayıldığı ve bu nedenle sistemin sınıflandırma başarımının düştüğü gözlemlenmiştir. Sistemin geniş bir besleme gerilimi ve ortam sıcaklığı aralığında kaydedilen veriler kullanılarak eğitilmesiyle bu performans düşüklüğünün giderilebileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Farklı işaret gürültü oranlarındaki (SNR) işaretlerin sınıflandırılmasındaki hata olasılıkları da ölçülmüş bu sayede sistemin herhangi bir SNR seviyesinde vereceği kararların güvenilirlik ölçüsü elde edilmiştir. Ayrıca, sistem eğitim kümesindeki işaretlere gürültü eklenerek eğitildiği takdirde, düşük SNR seviyesindeki işaretlerin sınıflandırma başarımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Sentezlenmiş veriler kullanıldığında elde edilen performans artışlarının gerçek deneysel veriler kullanıldığında da elde edildiği gösterilmiştir.

2004, 117 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Telsiz verici kimlik tespit sistemi, değişinti kırılca boyutu, olasılıklı yapay sinir ağı, kendini örgütleyen harita, gürültü ile eğitim.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

TRANSMITTER IDENTIFICATION USING COMPLEX SIGNAL ANALYSIS AND MULTIFRACTAL MODELLING

Önder Haluk TEKBAŞ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mümtaz YILMAZ

In this study, a new transmitter identification system is developed. The identification is realized by analyzing the amplitude and phase information associated with the turn-on transient signals of transmitters by using a complex signal analysis technique. The system, if used together with a direction finding system, is considered to be useful for the identification of malfunctioning or illegally operated radio transmitters in support of radio spectrum management practices.

The start of transient signals are detected using a power threshold based approach; transient features are extracted by a technique based on the variance dimensions of transient signals and unknown transients are classified with a probabilistic neural network. Details of the data collection, feature extraction, classification and analyses procedures are presented along with a discussion of experimental results. The merits of this technique over the ones currently in use are described.

The effects of environmental conditions on transmitter identification process are also investigated. It is observed that a change in environmental conditions such as battery voltage or ambient temperature causes the feature vectors to spread over the feature space, resulting in classification performance degradation. It is experimentally shown that performance degradation resulted by changing environmental conditions can be compensated by training the system with data collected in a range of battery voltage and ambient temperature levels. Probability of error associated with signals having different Signal-to-Noise Ratio (SNR) values are also determined to obtain a confidence measure for the decision to be made at any SNR level. It is also found that the performance of a transmitter identification system for low SNR transients can be improved by utilising the transient SNR information in the classifier training stage. Performance improvement observed in simulations was verified with experimental data.

2004, 117 pages

Key Words: Radio transmitter identification, variance fractal dimension, probabilistic neural network, self organizing map, training with noise.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde, kablosuz haberleşme sistemlerine artan yoğun ilgi nedeniyle, frekans izgesinin etkin bir şekilde denetimi her geçen gün daha da gerekli hale gelmektedir. Bu durum, telsiz vericilerinin kimlik tespitini yapabilen bir sistemin gerekliliğini ve tez çalışması kapsamında ele alınan problemin önemini ortaya koymaktadır. Verici kimlik tespit sistemlerinin, yön/konum kestirme sistemleri ile birlikte kullanıldığında frekans izgesinin gözlenmesi ve denetlenmesi açısından çok faydalı olabileceği değerlendirilmektedir.

Bu doktora tezi, Kanada Haberleşme Araştırma Merkezi (CRC, Ottawa, Kanada) ile ortak çalışılan bir proje ile birlikte yürütülmüştür. Kanada Hükümeti Savunma Bakanlığı tarafından NATO üyesi ülkeler için sağlanan bir savunma araştırma bursu kapsamında adı geçen merkezde 1 yıl deneysel çalışmalar yapılmış ve tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan verilerin büyük bir bölümü bu süre esnasında merkezde yerleşik deney düzeneği ve donanım imkanları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma, ayrıca NATO Araştırma ve Geliştirme Organizasyonu, Sensörler ve Elektronik Teknolojisi (SET) Paneli tarafından da desteklenmiştir. Bu destek kullanılarak CRC iki kez ziyaret edilmiş ve deneysel çalışmaların ilk bölümünde toplanamayan veya daha sonradan ortaya çıkan ihtiyaçlara yönelik veriler bu ziyaretler süresinde toplanabilmektedir.

Gerek bir yıllık araştırma bursu süresince, gerekse daha sonraki çalışmalarında yazılım ve donanıma yönelik her türlü ihtiyacımın karşılanmasında destek sağlayan; tez çalışmalarının her aşamasında bilgi, görüş, fikir ve eleştirileriyle yönlendirici olan Sayın Dr. Nur Serinken'e (Communications Research Centre, Ottawa, Kanada) ve tüm çalışmalarında beni destekleyen; elde ettiğim sonuçları değerlendiren; tez, makale ve bildiri hazırlıklarımı büyük bir özveri ve profesyonellikle yönlendiren ve hatta yeri geldiğinde benim yerime deneyler yaparak ihtiyaç duyduğum verileri bana sağlayan Sayın Dr. Oktay Üreten'e (Communications Research Centre, Ottawa, Kanada) katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Her ikisinin de yardımı olmaksızın tezin bu hale gelmesi mümkün olamazdı.

Ayrıca, bana referans olarak tez konusunu belirlememin ilk aşaması sayılabilecek savunma araştırma bursuna müracaat etmemi sağlayan Sayın Doç.Dr.Müh.Alb. Osman EROĞUL'a (Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Biyomedikal Klinik Mühendislik Merkezi, Ankara),

Ankara Üniveristesine yatay geçiş yaptığım andan itibaren gerek tez izleme komitesi toplantılarında, gerekse münferit diyaloglarım esnasında ciddiyeti, yardım severliliği, yönlendiriciliği ve tecrübesi ile desteğini esirgemeyen ve doktora tez danışmanlığımı yürüten Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Mümtaz YILMAZ'a ,

Manevi desteklerini sürekli yanımda hissettiğim anneme, babama, kardeşlerime ve çalışmalarımın dolayısıyla onlarla yeterince ilgilenemediğim halde beni her zaman destekleyen ve anlayışla karşılayan eşim Nilgün, kızım Gül Nigar ve oğlum Mehmet Kemal'e

Teşekkür ederim.

Önder Haluk TEKBAŞ
Ankara, Mayıs 2004

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	13
2.1. Deneysel Zaman Serilerinin Kırılca Boyut ile Modellenmesi.....	13
2.1.1. Kırılca elemanlar.....	14
2.1.2. Değişinti kırılca boyutu ile modelleme.....	16
2.2. Olasılıklı Yapay Sinir Ağı (PNN)	17
2.2.1. Bayes sınıflandırma yöntemi.....	20
2.2.2. Parzen tahmin yöntemi (PTY)	21
2.2.3. PNN eğitimi (en uygun sigmanın bulunması)	26
2.3. Kendini Örgütleyen Harita (SOM) Tekniği.....	28
2.4. Sammon Haritalama Tekniği.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	
3.1. Deney Düzeneği ve Kaydedilen İşaretlerin Özellikleri.....	33
3.1.1. Deney düzeneği.....	33
3.1.2. Geçici rejim işaretlerinin yapısal özellikleri.....	36
3.2. Dördün Bileşenler Sisteminin Yapısı ve Çalışma Prensipleri.....	42
3.2.1. Geçici rejim işaretlerinin algılanması.....	42
3.2.2. Geçici rejim işaretlerinin modellenmesi.....	46
3.2.3. Geçici rejim işaretlerinin sınıflandırılması.....	57
3.2.4. Test yazılımı.....	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	65
4.1. Sistem Parametrelerinin Belirlenmesi.....	65
4.2. Çevresel Faktörlerin Etkisi.....	73
4.2.1. Gürültü etkisi.....	73
4.2.2. Güç kaynağı gerilim seviyesinin etkisi.....	83
4.2.3. Sıcaklık etkisi.....	87
4.2.4. Bayılma (fading) etkisi.....	95
4.3. İletim Frekansından Kayma Etkisi.....	97
4.4. Alternatif Öznitelik Hesaplama Yöntemlerinin Etkisi.....	98
4.5. Veri Özetlemenin Etkisi.....	100
4.6. Verici Anten Değişikliğinin Etkisi.....	103
4.7. DBS ve ATS Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	104

5. TARTIşMA VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİş.....	117



KISALTMALAR DİZİNİ

ATS	Ayrıtaç Tabanlı Sistem
DAT	Digital Audio Tape (Sayısal Ses Kaseti)
DBS	Dördün Bileşenler Sistemi
FM	Frequency Modulation (Frekans Modülasyonu)
IF	Intermediate Frequency (Ara Frekans)
PLL	Phase Lock Loop (Evre Kenetleyici Döngü)
PNN	Probabilistic Neural Network (Olasılıklı Yapay Sinir ağı)
PTY	Parzen Tahmin Yöntemi
RF	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RX	Receiver (Alıcı)
SNR	Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
SOM	Self Organizing Map (Kendini Örgütleyen Harita)
TX	Transmitter (Verici)
VHF	Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Verici sınıflandırma probleminin şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.2.	Bir verici kimlik tespit sisteminin genel yapısı.....	5
Şekil 2.1.	Tam kırılca elemanlardan bazıları.....	15
Şekil 2.2.	Basit bir sınıflandırma problemi.....	18
Şekil 2.3	Diğer bir basit sınıflandırma problemi.....	18
Şekil 2.4.	Karışık bir sınıflandırma problemi.....	19
Şekil 2.5.	10 telsize ait işaretlerin sınıflandırılması problemi.....	20
Şekil 2.6.	Sık kullanılan ağırlık fonksiyonları.....	22
Şekil 2.7.	PTY ile elde edilmiş bir toplam dağılım fonksiyonu.....	23
Şekil 2.8.	Sigmanın toplam dağılım fonksiyonuna etkisi (tek boyut).....	24
Şekil 2.9.	Sigmanın toplam dağılım fonksiyonuna etkisi (iki boyut).....	24
Şekil 2.10.	PNN Yapısı.....	26
Şekil 2.11a.	Kafes Yapıları - Dikdörtgen kafes yapısı.....	29
Şekil 2.11b.	Kafes Yapıları - Altıgen kafes yapısı.....	29
Şekil 2.12a.	SAMMON Tekniğinde Hedef - N boyutlu uzaydaki veri dağılımı (Varsayımsal gösterim).....	32
Şekil 2.12b.	SAMMON Tekniğinde Hedef - 2 boyutlu uzaydaki dağılım (SAMMON haritası).....	32
Şekil 3.1.	Sabit mesafeli deneyler için deney düzeneği	34
Şekil 3.2.	Dördün Kip Çözücü.....	35
Şekil 3.3.	Dördün Bileşenler (I ve Q Kanalları).....	37
Şekil 3.4a.	Bir FM vericisinin ürettiği geçici rejim işaretinin genliği (Ayırtaç işareti).....	39
Şekil 3.4b.	Bir FM vericisinin ürettiği geçici rejim işaretinin genliği (IF katı işareti).....	39
Şekil 3.5.	Farklı modele sahip 3 telsizden kaydedilen işaretler.....	40
Şekil 3.6.	Aynı modele sahip 2 farklı telsizden kaydedilen işaretler.....	41
Şekil 3.7a.	Farklı SNR değerlerine sahip normalize genlik değerleri ($SNR \cong 40$ dB).....	43
Şekil 3.7b.	Farklı SNR değerlerine sahip normalize genlik değerleri ($SNR \cong 5$ dB).....	43
Şekil 3.8.	Güç eşiği algılama fonksiyonunun akış şeması.....	45
Şekil 3.9.	Bir geçici rejim işaretinin genlik ve evre profilleri.....	47
Şekil 3.10a.	Bir geçici rejim işaretinin genlik ve evre gezinmesi (2 boyutlu).....	47
Şekil 3.10b	Gezinge yapısının zamana göre değişimi.....	47

Şekil 3.11a.	4 Farklı vericiye ait gezinge yapıları (Aynı model vericiler).....	48
Şekil 3.11b.	4 Farklı vericiye ait gezinge yapıları (Farklı model vericiler).....	48
Şekil 3.12.	Farklı ölçekler için $\Delta S_{\Delta t}$ mesafelerinin gezinge üzerindeki gösterimi.....	50
Şekil 3.13a.	$\log_2(\text{var}(\Delta V_{\Delta t}) - \log_2(\Delta t)$ ilişkisi (3 telsiz 2'şer işaret).....	51
Şekil 3.13b.	$\log_2(\text{var}(\Delta V_{\Delta t}) - \log_2(\Delta t)$ değerleri arasındaki doğrusala yakın ilişki.....	51
Şekil 3.14.	Değişinti kırılca boyut hesaplama fonksiyonunun akış şeması.....	55
Şekil 3.15.	Bir geçici rejim işaretine ait anlık genlik değerlerine karşılık gelen çoklu-değişinti kırılca boyutu modelinin elde edilmesi.....	56
Şekil 3.16.	SOM eğitimini gerçekleştirirken kullanılan fonksiyonun akış şeması.....	59
Şekil 3.17.	PNN eğitimini gerçekleştirirken kullanılan fonksiyonun akış şeması.....	60
Şekil 3.18.	Bilinmeyen işaretin sınıflandırılmasında kullanılan fonksiyonun akış şeması.....	61
Şekil 3.19.	Test yazılımının ana menüsü ve yeni bir ağ oluştururken kullanılan arayüzler	63
Şekil 3.20.	Mevcut bir ağın parametrelerini değiştirmek için kullanılan arayüzler.....	63
Şekil 3.21.	SOM ve PNN parametrelerini girerken ve ağ eğitilirken kullanılan arayüzler.....	64
Şekil 3.22.	Bilinmeyen işaretleri sınıflandırırken kullanılan arayüzler.....	64
Şekil 4.1.	Çizelge 4.1(b)'deki değerler için hazırlanan hata olasılığı histogramı.....	68
Şekil 4.2.	$R=64$ için $\log_2(\text{var}(\Delta V_{\Delta t}) - \log_2(\Delta t)$ ilişkisi.....	72
Şekil 4.3.	Gürültülü işaretlerin gürültüsüz eğitilmiş ağla sınıflandırılması problemi.....	74
Şekil 4.4.	Gürültülü işaretlerin gürültülü eğitilmiş ağla sınıflandırılması problemi.....	75
Şekil 4.5.	Gürültü ile eğitim tekniğinin sınıflandırma başarımı üzerindeki etkisi.....	77

Şekil 4.6.	Gürültüsüz kayıtlara ait parmak izlerinin 2 boyutlu öznelik uzayında kümelenmesi.....	79
Şekil 4.7.	Gürültülü gerçek kayıtlara ait parmak izlerinin 2 boyutlu öznelik uzayında kümelenmesi.....	80
Şekil 4.8.	Gürültülü ve gürültüsüz işaretlere ait parmak izlerinin 2 boyutlu öznelik uzayında kümelenmesi.....	82
Şekil 4.9.	Gerilim değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX8 telsizi için).....	84
Şekil 4.10.	Gerilim değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX10 telsizi için).....	85
Şekil 4.11.	Gerilim değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX8-TX10 telsizleri için).....	85
Şekil 4.12.	Kaydedilen RF işaretlerinin merkez frekansının zamana göre değişimi.....	88
Şekil 4.13.	Sıcaklık değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX1 telsizi için).....	89
Şekil 4.14.	Sıcaklık değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX2 telsizi için).....	90
Şekil 4.15.	Sıcaklık değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX1-TX2 telsizleri için).....	91
Şekil 4.16.	Sıcaklık deneyleri için hazırlanan hata olasılığı histogramları.....	93
Şekil 4.16.	(Devam) Sıcaklık deneyleri için hazırlanan hata olasılığı histogramları.....	94
Şekil 4.17.	Vericiler hareket halinde iken kaydedilen 1451 işaretin SNR histogramı.....	96
Şekil 4.18.	Bayılma deneyinde eğitim kümesinde yer alan 2630 işaretin SNR histogramı.....	96
Şekil 4.19.	Farklı uzaklık hesaplama yöntemlerinin başarımlar üzerindeki etkisi.....	99
Şekil 4.20.	SOM yönteminin parmak izleri üzerindeki etkisi.....	100
Şekil 4.21.	SOM yönteminde iterasyon (epoch) sayısının etkisi.....	101
Şekil 4.22.	Ağ boyutunun SOM ile küçültülmesinin etkisi.....	102
Şekil 4.23a.	MOTOROLA SHA-274 vericilerine (Set 5) ait histogramlar (DBS için).....	107
Şekil 4.23b.	MOTOROLA SHA-274 vericilerine (Set 5) ait histogramlar (ATS için).....	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Topolojik boyut – kırılca boyut karşılaştırması.....	15
Çizelge 3.1.	Deneylerde kullanılan vericiler.....	34
Çizelge 3.2.	Deneylerde kullanılan alıcılar.....	34
Çizelge 3.3.	$\log_2(\text{var}(\Delta t_{\Delta t}) - \log_2(\Delta t)$ değerleri.....	50
Çizelge 4.1a.	Pencere genişliği ve adım uzunluğunun etkisi (N=2048) (Genel sonuçlar).....	67
Çizelge 4.1b.	Pencere genişliği ve adım uzunluğunun etkisi (N=2048) (w=192, d=12 için hazırlanan hata-doğruluk matrisi).....	67
Çizelge 4.2.	Sabit ve değişken pencere kaydırma rejimlerinin etkisi	69
Çizelge 4.3.	Geçici rejim işareti uzunluğunun etkisi (w=128, d=değişken).....	70
Çizelge 4.4.	Eğitim kümesi eleman sayısının etkisi.....	71
Çizelge 4.5.	Ölçek adedi (R) ve (Δt) değerlerinin etkisi (N=2048, w=128, d=değişken).....	71
Çizelge 4.6.	Vericilerin parmak izleri arasındaki mesafeler (gürültüsüz işaretler için).....	81
Çizelge 4.7.	Vericilerin parmak izleri arasındaki mesafeler (gürültülü işaretler için).....	81
Çizelge 4.8.	Düşük SNR değerine (~14dB) sahip gerçek işaretlerin farklı ağlar tarafından sınıflandırılması (N=2048, w=128, d:değişken).....	83
Çizelge 4.9.	Besleme gerilimi değişikliği deneyi sonuçları.....	87
Çizelge 4.10.	Sıcaklık değişikliği deneyi sonuçları.....	92
Çizelge 4.11.	Hassas frekans ayarlamasının etkisi.....	97
Çizelge 4.12.	Uzaklık hesap yöntemlerinin etkisi.....	98
Çizelge 4.13.	SOM özetleme oranının etkisi (SNR=15dB).....	103
Çizelge 4.14.	DBS ve ATS sistemlerinin genel karşılaştırması.....	104
Çizelge 4.15.	DBS sisteminde 5.set için elde edilen hata-doğruluk matrisi.....	105
Çizelge 4.16.	ATS sisteminde 5.set için elde edilen hata-doğruluk matrisi.....	106
Çizelge 4.17.	Farklı alıcılar testi	108
Çizelge 4.18.	Tutarlılık testi.....	108

1. GİRİŞ

Yayın yapmaya başlayan telsiz vericileri, konuşma mandalina basılması ile birlikte kararlı bir iletim işareti; yani kararlı bir radyo frekans (RF) çıkış gücü ve kararlı bir taşıyıcı frekansı üretinceye kadar, süresi vericinin cinsine bağlı olarak değişebilen ve karakteristik özellikler gösteren geçici işaretler üretirler. Genel amaçlı herhangi bir alıcının ara frekans (intermediate frequency -IF-) katı veya ayırtaç (discriminator) devresi çıkışından kaydedilebilen bu işaretler **açılma geçici rejim işaretleri** (turn-on transient signals) veya sadece **geçici rejim işaretleri** (transient signals) olarak adlandırılırlar.

Geçici rejim işaretlerinin oluşmasına sebep olan en önemli etmenler; frekans sentezleyicilerde kullanılan faz kenetleme döngü (phase lock loop -PLL-) devreleri, kipleme (modulator) devreleri, RF yükselteç devreleri, anahtar ve röle karakteristikleridir. Vericiyi oluşturan her bir sistem kendi karakteristikliği doğrultusunda, açılma geçici rejim işareti üzerinde birtakım değişimlere sebep olmakta ve bu değişimler genellikle doğrusal/durağan olmayan etkiler olarak ortaya çıkmaktadır (Üreten 2000).

Farklı marka ve model vericilerin yanı sıra aynı marka ve model vericilerin farklı seri numaralı cihazlarının ürettikleri geçici rejim işaretlerinin de birbirlerinden farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Toonstra ve Kinsner (1995) bu durumun vericileri oluşturan elektronik devre elemanlarının tolerans değerlerinin farklılığından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Geçici rejim işaretlerinin farklılığı nedeniyle, bu işaretlere ait karakteristikler **parmak izi karakteristikleri** olarak da adlandırılmakta ve bu farklılık sayesinde, telsiz vericilerinin kimlik tespitinin yapılmasını sağlayacak sınıflandırma sistemleri gerçekleştirilebilmektedir. Bir başka deyişle, güvenlik ve kontrol amacıyla telsizlerin kimliğini belirtmede kullanılan donanım veya yazılım şifrelerine ya da sözlü iletişim kodlarına (işaret-parolalara) gerek kalmaksızın sadece telsizin mandala basım anında ürettiği işareti analiz ederek cihazın kimliğini; yani, envantere kayıtlı telsizlerden birisi olup olmadığını belirli bir doğruluk derecesiyle tespit etmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca, donanım ve yazılım şifrelerinin kopyalanması mümkün olmakla birlikte vericinin istem dışı ürettiği geçici rejim işaretlerinin kopyalanması mümkün değildir. Bu nedenle verici kimlik tespit sistemlerinin, şifre uygulamalarına oranla daha güvenilir olduğu söylenebilir.

Kablosuz iletişim sistemlerine artan yoğun ilgi nedeniyle, frekans izgesinin

etkin bir şekilde denetimi her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Özellikle hava trafiğinin kontrolü ile polis ve askeri telsiz haberleşme sistemlerinin güvenliğinin sağlanması, frekans izgesinin gözlenmesini ve izgeyi kanunsuz kullananların tespitini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, ticari önem arz eden durumlarda, frekans izgesinin lisansı olmayanlar tarafından kullanılıp kullanılmadığının ortaya çıkartılması da önemli bir problem olarak ele alınmaktadır. Bu durum, telsiz vericilerinin kimlik tespitini yapabilen bir sistemin gerekliliğini ve tez çalışması kapsamında ele alınan problemin önemini ortaya koymaktadır. Verici kimlik tespit sistemleri, yön/konum kestirme sistemleri ile birlikte kullanıldığında frekans izgesinin gözlenmesi ve denetlenmesi açısından faydalı olabilirler. Örneğin, frekans izgesini izinsiz kullanan bir yayın tespit edildiğinde, konum kestirme sistemleri ile bu yayının yapıldığı yer belirli bir mesafe hassasiyeti ile belirlenebilir ve şayet bu bölgede birden fazla verici ele geçirilirse, yayın yapan vericinin hangisi olduğunu tespit etmek amacıyla verici kimlik tespit sistemlerinden istifade edilebilir. Sadece bir telsiz ele geçirilse bile, yakalanan izinsiz yayının bu telsizden geldiğini ispatlamak amacıyla da verici kimlik tespit sistemleri kullanılabilir. Bu anlamda, verici kimlik tespit sistemlerinin adi suç olaylarında insan kimliklerini tespit etmek amacıyla kullanılan parmak izi sistemlerinin işlevine benzer bir görev üstlenebileceği ve bu nedenle hukuk sistemlerinde de yer almaya başlayacağı değerlendirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında ele alınan problemin önemini daha da iyi vurgulamak amacıyla verici kimlik tespit sistemlerinin kullanım alanlarına ilişkin olarak birkaç örnek daha verilecektir: Günümüzde, yasa dışı faaliyet gösteren bir şahsı veya teroristi, şayet cep telefonu kullanıyorsa kullandığı cep telefonunu değiştirmedeği sürece coğrafi konum olarak nereye giderse gitsin takip etmek mümkündür. Çünkü cep telefonlarının hem konumu hem de cihaz olarak kimliğini belirtici kod bilgileri sürekli olarak kayıt altında tutulabilmektedir. Bölgesel olarak yayın yapabilen vericiler (örneğin el telsizleri veya radyo vericileri) söz konusu olduğunda ise, herhangi bir anda yakalanan bir yayını yapan telsizin konumu, konum kestirme sistemleri aracılığı ile tespit edilebilmekte, ancak yayın yapan telsizlerin hem konumunu hem de kimliğini aynı anda belirleyebilecek sistemler bulunmamaktadır. Tez çalışmasında ele alınan ve tasarlanan verici kimlik tespit sistemine benzer sistemler, konum kestirme sistemleri ile birlikte kullanıldığında telsiz vericilerinin de konum ve kimlik tespiti aynı anda yapılabilecektir. Dolayısıyla, istihbarat ve güvenlik faaliyetleri kapsamında, herhangi bir telsiz cihazını kullanan ve yasa dışı faaliyet gösteren bir şahsın veya teroristin ya da yasa dışı yayın yapan bir radyo vericisinin kimliğini

belirlemek ve konumunu takip etmek kullanılan verici değiştirilmediği sürece mümkün olabilecektir.

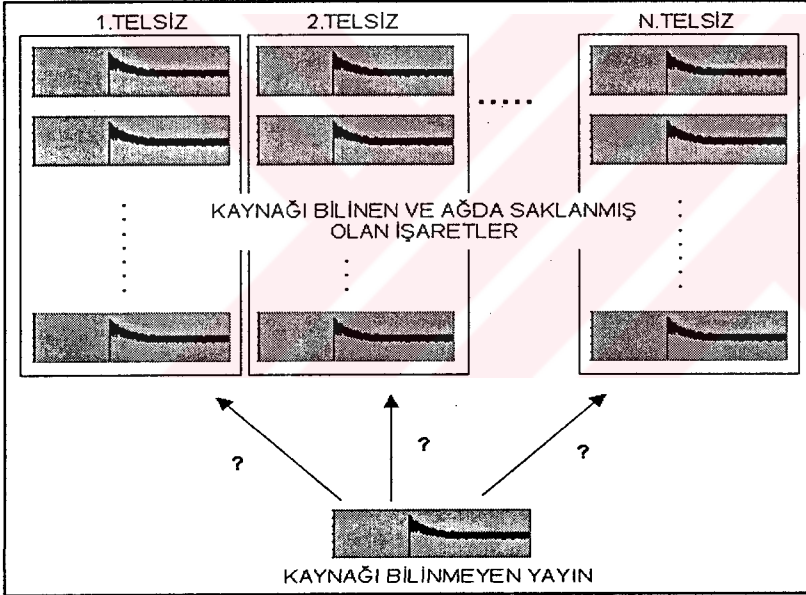
Hava alanlarında, uçaklar ile kule arasındaki haberleşme güvenliği açısından da verici kimlik tespit sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Çünkü, bu tür haberleşme sistemlerinde kullanılan kimlik belirtici sözlü iletişim kodlarını (parola-işaretleri) ele geçiren art niyetli veya amatör amaçlı şahıslar farklı zamanlarda gerek terorizm gerekse eğlence maksatlı olarak çevrime dahillermiş gibi yanıltıcı yayın girişimlerinde bulunabilmektedirler. Bu yayınların gerçekten ilgili uçak ya da kuleden gelip gelmediğini belirlemek amacıyla verici kimlik tespit sistemlerinin kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Silahlı kuvvetlerde ve diğer güvenlik birimlerinde uygulanan telsiz çevrimlerinin güvenliği açısından da verici parmak izi konusuna önem verilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Örneğin, muharebe sahasında dost kuvvetlere ait vericilerin parmak izlerini kullanan düşman kuvvetler, özellikle komutan konumundaki üst düzey yöneticilerin yerini tespit edilebilir ve ateşlerini bu bölgelere yönlendirerek avantaj sağlayabilirler. Ya da, dost birliklere ait iletişim kodlarını ele geçiren düşman kuvvetleri muharebe anında yanıltıcı yayın girişimlerinde bulunabileceğinden, verici kimlik tespit sistemleri kullanılarak tespit edilen bir yayının gerçekten dost kuvvetlere ait olup olmadığı belirlenebilir. Ayrıca, haberleşme disiplininin temini bakımından da, yani gerek savaşta gerekse barış zamanında çevrimde yer alan ancak kimlik belirtmeden haberleşme disiplinine aykırı konuşma girişimlerinde bulunan personelin tespiti de verici kimlik tespit sistemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Tüm bu nedenlerle, Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından başlatılan ve 2020 yılından önce Amerikan ordusunun kullandığı iletişim teçhizatının uyumlu olmak zorunda olduğu JTRS (Joint Tactical Radio Systems) tanımlama belgelerinde de telsiz parmak izleri konusu ele alınmaktadır (Anonim 2001).

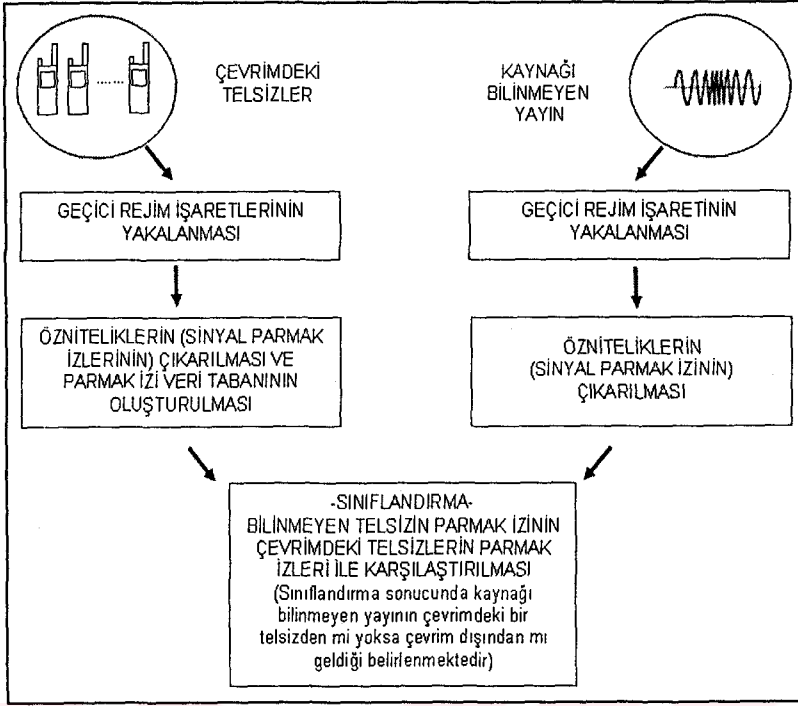
Genel olarak, vericilerin kimlik tespiti (sınıflandırılması) problemi bir örüntü tanıma (pattern recognition) problemi olarak ele alındığında, bu sistemlerde gerçekleştirilen algılama (detection), öznitelik çıkarma (feature extraction) ve sınıflandırma (classification) işlevleri şu şekilde özetlenebilir: Öncelikle, çevrimde kullanılan her telsizden oldukça fazla sayıda geçici rejim işareti içeren yayın örnekleri toplanmalı ve uygun bir sayısal ortamda saklanmalıdır. Daha sonra, kaydedilen yayın örnekleri içerisinde yer alan geçici rejim işaretlerinin algılanması ve bu işaretlerin karakteristik özelliklerinin belirlenerek bir veri tabanına (veri ağına) yerleştirilmesi

gerekir. Geçici rejim işaretlerinin algılanması ile kastedilen; işaretlerin kanal gürültüsünden ayrıştırılması yani kanal gürültüsünün bitip geçici işaretin başladığı anın (konuşma mandalina basım anının) ve işaretin uzunluğunun belirlenmesidir. Modellemedeki amaç ise; sınıflandırma açısından değerli özneliliklerin (işaret parmak izlerinin) çıkarılmasıdır. Böylece, veri miktarlarında önemli ölçüde azalma sağlanabilmekte ve işaretlerin daha etkin bir gösterimi elde edilebilmektedir. Bir geçici rejim işareti yakalandığında, bu işaretin de parmak izi çıkarılarak ağda depolanmış parmak izleri ile karşılaştırılması ve sınıflandırılması işlemleri yapılır. Sınıflandırma başarımının yüksek olması için, ağ eğitilmiş olmalıdır. Ağın eğitilmesi sınıflandırıcı sistemindeki bazı parametrelerin optimize edilmesi anlamına gelmektedir. Sınıflandırma sonucunda, verici kimlik tespit sistemlerinin yukarıda belirtilen kullanım amaçlarına uygun olarak, yayın yapan vericinin çevrimdeki vericilerden birisi olup olmadığı belirlenebilir.

Tez çalışması kapsamında ele alınan problemin şematik gösterimi şekil 1.1’de, bu problemin çözümü için kullanılan verici kimlik tespit sistemlerinin genel yapısı ve bu sistemlerde gerçekleştirilen temel işlevler ise şekil 1.2’deki blok şema üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Verici sınıflandırma probleminin şematik gösterimi



Şekil 1.2. Bir verici kimlik tespit sisteminin genel yapısı

Tez çalışması kapsamında öncelikle yazılı dizindeki çalışmalar incelenmiş; geçici rejim işaretlerinin algılanması, modellenmesi ve sınıflandırılması ile ilgili olan araştırmalar aşağıda özetlenmiştir:

Ferrel (1991) tarafından vericilerin geçici rejim işaretleri kullanılarak verici kimliği tespiti yapan bir sistem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, vericilerden gelen geçici rejim işaretleri alıcının ayırtaç devresi çıkışından kaydedilmiş ve bu işaretler analiz edilmiştir. Bir başka deyişle, verici karakteristiklerinin tespiti, işaretlerdeki evre bilgisinin hesaplanmasına dayandırılmıştır. Bu çalışmanın en önemli dezavantajı, sadece birkaç farklı model verici üzerinde denemeler yapılmış olmasıdır.

Choe vd (1995) alıcının ayırtaç çıkışından kaydedilen geçici rejim işaretlerinin Daubechies-4 dalgacığı ile modellenmesine ve geri yayımlı yapay sinir ağı (back propagation neural network) ile sınıflandırılmasına dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Ancak, bu çalışmada işaretlerin

algılanması problemi ile ilgilenilmemiş ve sadece 3 verici üzerinde çalışılmıştır.

Toonstra ve Kinsner (1995), MoTron Electronics firması tarafından geliştirilen ve alıcının ayırtaç çıkışı işaretlerini yüksek hızda yakalama özelliğine sahip TxID-1 isimli bir cihaz yardımıyla 5 vericiden geçici rejim işaretleri toplamış ve dalgacık dönüşümü (wavelet transform) ile genetik algoritmayı birlikte kullanarak bu işaretlerden anlamlı öznelikler elde etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada da sınıflandırıcı olarak geri yayımlı yapay sinir ağı kullanılmıştır.

Payal (1995) ile Hippenstiel ve Payal (1996) tarafından yapılan çalışmalarda toplam 4 verici üzerinde çalışılmıştır. Geçici rejim işaretleri, RF işaretlerinin önce 1.075 MHz'e taşınması daha sonra ise 5 MHz'de örneklenerek sayısallaştırılması yoluyla elde edilmiştir. Modelleme tekniği olarak dalgacık dönüşümü; sınıflandırma aracı olarak ise bir uzaklık yöntemi (Euclid mesafesi) kullanılmıştır. Bu çalışmada, ayrıca, işaret gürültü oranlarının (SNR) sistem başarımı üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, işaretlere Gauss gürültüsü ilave etmek suretiyle sınıflandırma yapılmış ve her telsiz için farklı olmakla birlikte, ortalama olarak 25 dB'den yüksek SNR değerleri için güvenilir sınıflandırma başarımı elde edilmiştir.

Abdulla (1996), Payal (1995) tarafından kullanılan veri seti üzerinde çalışmış ve dalgacık dönüşümü ile izgesel ilişki (spectral correlation) yöntemlerini karşılaştırmıştır. Sınıflandırma bir uzaklık hesaplama yöntemi ile yapılmıştır. Bu çalışmada, test edilen 4 telsizin 3'ünde düşük SNR değerlerinde izgesel ilişki yönteminin dalgacık yöntemine oranla daha iyi sınıflandırma başarımı verdiği gözlemlenmiştir.

Toonstra ve Kinsner (1996), ayırtaç işaretlerini kullanarak bir başka telsiz sınıflandırma sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada geçici rejim işaretlerinin algılanması, alıcının otomatik susturucu (squellch) çıkışındaki işaretin tetikleme anının algılanmasına dayandırılmıştır. 9 farklı telsiz üzerinde çalışma yapılmış ve modellemeye dalgacık dönüşümü ile genetik algoritmanın birlikte kullanılmasını esas alan bir yöntem; sınıflandırmada ise çok seviyeli ileri beslemeli bir yapay sinir ağı (multi level feed forward neural network-MLFN) kullanılmıştır.

Shaw ve Kinsner (1997), ayırtaç işaretlerinin kırılca boyutu (fractal dimension) ile elde edilen modelleri üzerinde çalışmışlardır. Geçici rejim işaretlerinin başlangıcı da bu modellerdeki ani değişikliğin algılanmasına

dayandırılmıştır. Toplam 8 verici kullanılmış ve olasılıklı yapay sinir ağı (probabilistic neural network -PNN-) ile sınıflandırma yapılmıştır.

Kolakowski (1999), geçici rejim işaretlerinin izgesinin analizine yönelik olarak, işaretlerin kısa süreli Fourier dönüşümü (short time Fourier transform) ile modellenmesine dayalı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, vericilerin sınıflandırılması üzerinde durulmamıştır.

Üreten (2000) tarafından yapılan çalışmada, ayırtaç çıkışından elde edilen işaretler üzerinde çalışılmış ve geçici rejim işaretlerinin algılanmasında Bayes basamak değişikliği algılayıcı (Bayesian step change detector) kullanımına dayalı farklı modeller; işaretlerin modellenmesinde genelleştirilmiş boyut (generalized dimensions) ölçüleri; sınıflandırmada ise olasılıklı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu çalışmada, daha önceki çalışmalardan çok daha fazla sayıda (73 adet) verici kullanılmıştır. Ayrıca, daha önceki çalışmalarda (Shaw ve Kinsner (1997) hariç) geçici rejim işaretlerinin başlangıcı ya göz ile, ya da alıcıda bir taşıyıcının algılanmasıyla (örneğin susturucu kanalı tetiklenince) tespit edilmektedir. Göz ile tespitin özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için pratik olmayacağı; geçici işaretin başlaması ile susturucunun tetiklenmesi arasındaki gecikme vericiden vericiye farklılık gösterdiği için susturucu işaretini kullanmaya dayanan algılama yönteminin de uygun bir çözüm olmayacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan ve Bayes değişim noktasının algılanmasına dayanan yöntemin (Üreten ve Serinken 1999A, Üreten ve Serinken 1999B) daha sistematik olduğu söylenebilir.

Ellis ve Serinken (2001) genel amaçlı bir alıcının IF katı çıkışından elde edilen geçici rejim işaretlerinden bir dördün kip çözücü (quadrature demodulator) yardımıyla eş evreli (in phase- I) ve dik evreli (quadrature - Q) dördün bileşenlerin elde edilmesini sağlayan bir veri toplama düzeneği geliştirmişlerdir. Bu çalışmada geçici rejim işaretlerinin genlik ve evre bilgilerinin birlikte kullanımının sınıflandırma açısından daha iyi sonuç verebileceği öngörülmüş ancak işaretlerin modellenmesi ve sınıflandırılması ile ilgilenilmemiştir.

Yazılı dizinde geçen ve verici kimlik tespit sistemlerinde kullanılabilecek işaret işleme/analiz teknikleri şu şekilde özetlenebilir:

- İşaret algılama aşamasında kullanılabilecek teknikler:
 - İşaretlerin güç veya genlik değerlerindeki ani değişikliklerin algılanması

- Bayes basamak değışikliğı algılayıcı ile işaretlerin ortalama veya varyans değeriindeki ani değışikliklerin algılanması
- Ayırtaç çıkışı işaretlerini esas alan sistemlerde, otomatik susturucu işaretindeki tetikleme anının algılanması
- İşaretin kırılca boyut modelindeki ani değışikliklerin algılanması
- Modelleme aşamasında kullanılabilecek teknikler:
 - Kısa süreli Fourier dönüşümü
 - Dalgacık dönüşümü
 - Dalgacık dönüşümünü kullanan genetik algoritma
 - İzgesel ilişki yöntemi
 - Genelleştirilmiş boyut yöntemleri
- Sınıflandırma aşamasında kullanılabilecek teknikler:
 - Uzaklık hesaplama yöntemleri (Euclid distance, en yakın komşuluk yöntemi)
 - Yapay sinir ağıları:
 - Geri yayılım algoritması kullanan ileri beslemeli yapay sinir ağıları
 - Olasılıklı yapay sinir ağıları

Bu tez çalışması kapsamında, telsizlerin parmak izi karakteristiklerini sistematik olarak belirleyerek bu karakteristiklerden telsizlerin kimlik tespitini yapabilen bir sistem geliştirilmiştir. Yapılan çalışmanın yazılı dizine katkıları ve özgün yönleri şu şekilde özetlenebilir:

i) Yazılı dizinde, şu ana kadar, genellikle ya yapay olarak üretilmiş (simüle edilmiş) işaretleri ya da alıcıların ayırtaç çıkışından elde edilen kipi çözülmüş geçici rejim işaretlerini kullanan **ayırtaç tabanlı** verici kimlik tespit sistemlerine ait çalışmalar bulunmaktadır. Bir FM kip çözücü içinde yer alan sınırlandırıcı devrede, alınan işaretlerdeki genlik değışimleri ortadan kaldırılmakta; ayırtaç devresinde ise bu işaretlerdeki evre bilgisinin türevi alınarak, mesaj bilgisini taşıyan anlık frekans değeri çıktı olarak üretilmektedir. Dolayısıyla, ayırtaç tabanlı verici kimlik tespit sistemlerinin, iletim işaretlerindeki genlik ve evre bilgilerinden sadece birini (evre bilgisini) kullandığı söylenebilir. Payal (1995) ve Abdulla (1996) tarafından yapılan çalışmalarda ise RF işaretlerinin daha düşük bir frekansa (1.075 MHz'e) indirildikten sonra filtrelenmesine ve yüksek hızda (5 MHz) örneklenerek sayısallaştırılmasına dayalı bir yöntem kullanılmış ancak sadece yayın işaretlerindeki genlik bilgisi kullanılmıştır. Bu tez çalışması

kapsamında Ellis ve Serinken (2001) tarafından önerilen veri toplama tekniği ile alıcıların IF katı çıkışından kaydedilen geçici rejim işaretlerindeki genlik ve evre bilgisini aynı anda kullanan **IF tabanlı** bir kimlik tespit sistemi tasarlanmış ve bu sayede diğer çalışmalardan daha iyi sınıflandırma başarımları elde edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen sistem, **dördün bileşenler sistemi (DBS)** olarak adlandırılmıştır. Sisteme bu ismin verilmesinin nedeni şudur: Alçak frekanslardaki (temel banttaki) ayırtaç çıkışı işaretlerini ses kartları aracılığı ile doğrudan sayısallaştırarak bilgisayar ortamına aktarmak ve üzerinde işlemler yapmak mümkündür. Ancak, IF katı işaretlerinin merkez frekansı 10.7 MHz olduğundan, bu işaretlerin frekansı, bilgisayarlarda kullanılan ve analog verileri sayısal verilere dönüştüren ses kartlarının çalışma sınırlarının çok üzerindedir. Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında tasarlanan verici kimlik tespit sisteminde alıcıların IF katından elde edilen işaretler bilgisayar ortamına aktarılırken, ses kartlarından önce ilave bir arabirim (dördün kip çözücü) kullanılmıştır. Dördün kip çözücünün kullanılma amacı; IF işaretlerinin, bilinen klasik anlamda kipi çözülmesi değil, sadece, doğrusal bir işlem ile IF katından elde edilen işaretlerin frekansının ses kartlarının işleyebileceği frekans bölgesine taşınmasıdır. Ayrıca, dördün kip çözücü yardımıyla kipi çözülmemiş IF işaretlerine ait eş evreli ve dik evreli dördün bileşenler de tespit edilebilmektedir. Dördün bileşenler karmaşık (kompleks) bir işaretin gerçel ve sanal parçaları olarak düşünülebilirler ve sadece genlik bilgisi değil, aynı zamanda evre bilgisi de içermektedirler. İşte, tez çalışması kapsamında geliştirilen verici kimlik tespit sistemi IF işaretlerine ait dördün bileşenlerin oluşturduğu karmaşık işaretin analizini esas aldığı için dördün bileşenler sistemi olarak adlandırılmıştır. Dördün bileşenler üzerinde çalışmanın önemli bir avantajı, iletim frekansından kaymaların sebep olacağı hataların uygulanabilecek bazı yöntemlerle giderilebilir olmasıdır.

ii) Bu tez çalışmasını yazılı dizinde rapor edilen çalışmalardan ayıran diğer önemli bir özellik; çevresel faktörlerin (besleme gerilimi, ortam sıcaklığı, kanal gürültüsü, çoklu yol bayılması), platform değişikliğinin (alıcı telsiz değişikliğinin) ve verici anten değişikliğinin parmak izi karakteristikleri üzerindeki etkisinin araştırılmış olması ve özellikle düşük işaret-gürültü oranlarına sahip olan işaretlerin sınıflandırılmasında ortaya çıkan başarımların düşüklüğünü önemli ölçüde azaltacak bir yöntemin (gürültü ile eğitim tekniği) geliştirilmiş olmasıdır. Ayrıca, Üreten (2000) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi anlamlı sayıda (74 adet) verici üzerinde çalışılmıştır. Az sayıda ve modelleri farklı vericilerin karakteristiği incelendiğinde

sınıflandırmanın güç olmayacağı ve sistemin sınıflandırma başarımının yüksek çıkacağı açıktır. Bu nedenle, verici kimlik tespit sistemlerinin başarım tutarlılığını çok fazla sayıda vericiden, çok farklı çevresel şartlarda kaydedilmiş işaretler kullanarak test etmek gerektiği değerlendirilmektedir.

iii) DBS sisteminde üzerinde çalışılan problemin yapısına uygun işaret işleme teknikleri geliştirilmiştir. Herhangi bir telsizin yayına başlayıp başlamadığını (geçici rejim işaretinin başlangıcını) tespit etmek amacıyla, algılama ünitesinde yeni bir yöntem kullanılmıştır. Geliştirilen yeni yöntem, **güç eşiği algılama** (power threshold detection) yöntemi olarak adlandırılmış olup sürekli olarak yapılan kayıtların anlık güç değerlerinin hareketli ortalamasında meydana gelen ani bir basamak değişikliğinin tespitini esas almaktadır. DBS sisteminin modelleme ünitesinde IF katından elde edilen dördün bileşenler kullanılarak taşıyıcı işaretin anlık frekans değerleri ile doğrudan ilişkili olan hız değişimleri belirlenmekte ve bu hız değişimlerinin **değişinti kırılca boyutu** (variance fractal dimension) hesaplanmaktadır. DBS sisteminde sınıflandırma aracı olarak ise bir olasılıklı yapay sinir ağı (PNN) kullanılmıştır. PNN üzerinde, özellikle veri özetleme amacıyla **kendini örgütleyen harita** (self organizing map -SOM-) tekniğinin kullanılmasının bir sonucu olarak bazı özel değişiklikler yapılmıştır. SOM eğitiminde ağdaki düğüm vektörlerinin ziyaret edilme sayıları hesaplanmış ve bilinmeyen işaretler PNN ile sınıflandırılırken bu sayılar ilgili düğüm vektörünün bir ağırlık katsayısı olarak kullanılmıştır. Böylece çok ziyaret edilen düğüm vektörlerinin sınıflandırmada daha belirleyici olması sağlanmıştır.

Bu Tez 5 bölümden oluşmaktadır: 1.bölüm yazılı dizindeki araştırmaların özetlendiği ve bu tez çalışmasının yazılı dizine katkılarını açıklayan giriş bölümüdür.

2.bölümde tezin bütününde kullanılan yöntemlerin anlaşılmasını kolaylaştırıcı kuramsal bilgiler sunulmaktadır. Geçici rejim işaretlerinin modellenmesinde kullanılan **değişinti kırılca boyutu ile modelleme tekniği**, sınıflandırıcı olarak kullanılan **olasılıklı yapay sinir ağı**, veri azaltma/özetleme amacıyla kullanılan **SOM tekniği** ve çok boyutlu vektörlerin 2 boyuta indirgenerek görüntülenmesinde kullanılan **Sammon haritalama tekniği** bu bölümde açıklanmaktadır.

3.bölümde, öncelikle, DBS sisteminde geçici rejim işaretlerinin kaydedilmesi amacıyla kullanılan **deney düzeneği**, **veri toplama tekniği** ve kaydedilen işaretlerin yapısal özellikleri üzerinde durulmaktadır. Deney

düzeneği, ana hatları ile; bir alıcı telsiz sistemi, alıcının IF çıkışından kaydedilen geçici rejim işaretlerine ait eş evreli ve dik evreli dördün bileşenlerin elde edilmesinde kullanılan dördün kip çözücü, dördün bileşenlerin iki kanallı (stereo) olarak kaydedilmesinde kullanılan bir veri depolama sistemi (DAT-digital audio tape- kasetleri), analog verilerin sayısallaştırılmasında kullanılan bir analog/sayısal dönüştürücü arabirimi (ses kartı) ile bu sayısal verilerin saklanması ve işlenmesinde kullanılan bir bilgisayardan oluşmaktadır. Ayrıca verici tarafta, parmak izleri tespit edilecek farklı marka, model ve seri numaralı telsiz vericileri kullanılmıştır.

3.bölümde, ayrıca, DBS sisteminin genel yapısı, alt üniteleri, bu ünitelerde kullanılan işaret işleme teknikleri ve ünitelerin çalışma prensipleri açıklanmaktadır. Alt üniteler; geçici rejim işaretlerinin başlangıç noktasının ve uzunluğunun tespit edilmesinde kullanılan **algılama ünitesi**, veri özetlemesi yaparak geçici rejim işaretlerinin daha etkin bir gösterimini sağlayan **modelleme ünitesi** ve bilinen telsizlerin geçici rejim işaretlerinin modellerini içeren bir eğitim kümesi yardımıyla, bilinmeyen geçici rejim işaretlerinin tanınmasını gerçekleştiren **sınıflandırıcı ünitesidir**. Bu bölümde, ayrıca, alt üniteleri gerçekleştirmek ve deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilen test yazılımından da bahsedilmiştir.

5.bölümde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Deneysel çalışmaların ilk bölümünde, tasarlanan DBS sisteminin sınıflandırma başarımını etkileyen sistem parametrelerinin değerlerini tespit etmek amacıyla yapılan deney sonuçları verilmiştir. Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde ortam sıcaklığı, kullanılan sabit güç kaynaklarının gerilim seviyesindeki değişiklik, kanal gürültüsü ve kanal bayılması gibi çevresel faktörlerin tasarlanan telsiz kimlik tespit sisteminin başarımı üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik olarak yapılan deneylerin sonuçları sunulmuştur. Çevresel şartlar değiştiğinde geçici rejim işaretlerinin de farklı karakteristik özellikler gösterebildiği tespit edildiğinden bu şartların DBS sisteminin başarımı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için alınması gereken tedbirler araştırılmıştır. Özellikle, kanal gürültüsünün DBS sisteminin başarımı üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiş ve gürültünün başarımı bozucu etkisini azaltmak amacıyla eğitim kümesindeki işaretlere gürültü eklenerek eğitimin gerçekleştirilmesi esasına dayanan bir **gürültü ile eğitim** (training with noise) yöntemi geliştirilmiştir. Alternatif öznitelik hesaplama yöntemlerinin ve veri özetlemenin DBS sisteminin başarımı üzerindeki etkisi de ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Ayrıca, bu bölümde, DBS sisteminin başarımı, bir ayırtaç tabanlı sistemin (ATS) başarımı ile değişik parametreler dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Bu

karşılaştırmalar sonucunda tasarlanan DBS sisteminin verici karakteristiklerini daha iyi ortaya koyduğu, geçici rejim işaretlerinin algılanmasında ve sınıflandırılmasında üstünlükler sağladığı ve başarımının tüm parametreler açısından ATS sisteminin başarımından daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

5.bölüm tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçların genel olarak değerlendirildiği ve ileride bu konuda yapılabilecek çalışmalar ile ilgili önerilerin yer aldığı tartışma ve öneriler bölümüdür.



2. KURAMSAL TEMELLER

Giriş bölümünde belirtildiği gibi, verici sınıflandırma problemi bir örüntü tanıma problemi olarak ele alındığında, verici kimlik tespit sistemlerinde genel olarak, algılama, öznelilik çıkarma (modelleme) ve sınıflandırma işlevlerinin gerçekleştirilmesi gerektiğinden bahsedilebilir.

Bu bölümde, öncelikle DBS sisteminde kullanılan modelleme yönteminin temelini oluşturduğu için deneysel zaman serilerinin kırılca boyut ile modellenmesi üzerinde durulacaktır. Daha sonra, sınıflandırıcı olarak kullanılan PNN; veri azaltma ve özetleme tekniği olarak kullanılan SOM metodu ve son olarak, çok boyutlu vektörlerin 2 boyuta indirgenerek gösterilmesini sağlayan Sammon haritalama tekniği açıklanacaktır.

2.1. Deneysel Zaman Serilerinin Kırılca Boyut ile Modellenmesi

Geçici rejim işaretleri veya durağan olmayan diğer tüm işaretler kaotik dinamik sistemlerin çıktısı olarak düşünülebilirler (Sun vd 1999). Kaotik dinamik sistemlerin durum değişkenlerinin birbirine karşı çizilmesi ile elde edilen evre uzayındaki gezege yapısı, garip çeker (strange attractor) olarak isimlendirilen bir kırılca elemana benzer (Pawelzik ve Shuster 1987). Kırılca elemanlar ise, ancak kesirli boyut (kırılca boyut) değerleri tahmin edilmek suretiyle nicemsel olarak karakterize edilebilirler.

Kesirli boyut değerleri, aynı zamanda üzerinde çalışılan verilerin ne oranda deterministik veya stokastik olduğunun da bir ölçüsü sayılabilir. Çünkü, kaotik dinamik sistemler, aslında, sınırlı serbestlik derecesine sahip deterministik sistemler olarak düşünülebilirler (Theiler 1986). Bu açıdan bakıldığında, oldukça karışık çok fazla serbestlik derecesine sahip ve deterministik olmayan stokastik sistemler ile tümüyle deterministik sistemler arasında yer alırlar. Örneğin, bu bölümde anlatılacak olan değişinti kırılca boyut yöntemi kullanıldığında, tamamen periyodik bir işaretin (örneğin sinüs işareti) kırılca boyutu 1.0, tümüyle ilintisiz beyaz gürültünün (uncorrelated white noise) boyutu 2.0 çıkmaktadır. İşaretlerdeki serbestlik derecesi arttıkça, kesirli boyut değerleri de 1'den 2'ye doğru artmaktadır.

Bir dinamik sistemin garip çekeri, eğer sistemin ilgili değişkenlerini içeren diferansiyel ya da fark denklemleri biliniyorsa kolayca elde edilebilir. Aksi halde, değişkenlerin deneysel olarak ölçülen eşit zaman aralıklı değerlerini içeren zaman serileri kullanılarak yapay evre uzayının oluşturulması gerekir. Üreten (2000), yaptığı çalışmada, ayırtaç çıkışından kaydedilen geçici rejim işaretlerini kullanarak, zaman kaydırma yöntemi ile 2 boyutlu ve 3 boyutlu

evre uzayında çekerlerin elde edilmesi konusuna değinmiştir. Bu çalışmada ise, yapay evre uzayı oluşturmak yerine deney düzeneğinde yer alan dördün kip çözücü sayesinde, IF katından kaydedilen geçici rejim işaretlerine ait eş evreli (I) ve dik evreli (Q) dördün bileşenler tespit edilmiş, bu bileşenler karmaşık bir işaretin gerçel ve sanal bileşenleri olarak düşünülerek 2 boyutlu bir düzlemde birbirine karşı çizilmiştir. Bu açıdan ele alındığında doğrudan deneysel veriler kullanılarak 2 boyutlu bir evre uzayının elde edildiği, ortaya çıkan gezinge yapılarının ise durum değişkenleri I ve Q olan bir dinamik sistemi karakterize eden kırılca elemanlar olduğu düşünülebilir. Bölüm 3.2.2'de, I ve Q değişkenlerinin birbirlerine karşı çizimlerini içeren gezinge yapıları üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur.

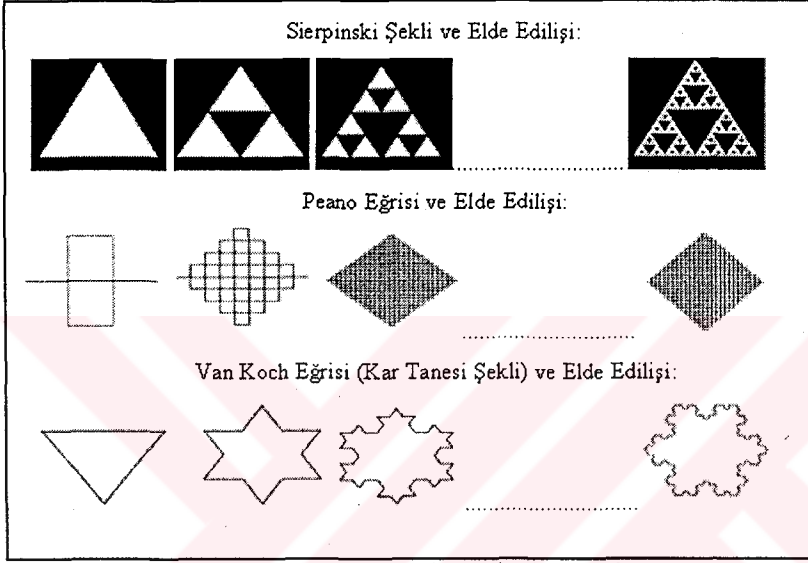
2.1.1. Kırılca elemanlar

Kırılca eleman, tanım olarak, bütünün tamamına benzeyen parçalardan oluşan şekillere verilen genel bir isimdir (Kraft 1995). Şekil 2.1'de "tam kırılca eleman" olduğu bilinen bazı örnekler verilmiştir.

Geometride sık karşılaşılan boyut değerleri tamsayılardan oluşur. Örneğin, noktanın, eğrinin, düzlemsel veya hacimsel elemanların Euclid ya da topolojik boyutları sırasıyla 0,1,2 ve 3'dür. Kırılca boyut ise kesirli bir değer olup, kırılca bir elemanın kendi kendine benzemesinin veya düzensizliğinin sayısal bir ifadesidir. Tam kırılca elemanların kırılca boyut hesabı "Hausdorf-Besicovitch" veya "Kendi Kendine Benzerlik" boyut hesabı yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir (Kraft 1995). Çizelge 2.1'de bazı bilinen geometrik şekillerin topolojik boyutları ve bazı kırılca elemanların Kraft (1995) tarafından hesaplanan kırılca boyut değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yukarıdaki boyut tartışmasında bilinen bazı standart geometrik şekiller veya tam kırılca elemanlar üzerinde durulmuştur. Doğadaki birçok nesne ise tam kırılca eleman değildir. Örneğin bir ülkenin sınırlarının veya deneylerde kaydedilen zaman serilerinin "tam olmayan" birer kırılca eleman oldukları söylenebilir. "Tam olmayan" kırılca elemanların kırılca boyut hesabını "Hausdorf-Besicovitch" ya da "Kendi Kendine Benzerlik" yöntemlerinden birini kullanarak yapmak mümkün olamamaktadır. Bu gibi durumlarda bazı tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir:

- Eşit aralık tahmin yöntemi-Pergel yöntemi (Compass Dimension Estimator) (Kraft 1995)
- Eşit alan tahmin yöntemi-Kutu sayma yöntemi (Box Dimension Estimator) (Liebovitch ve Toth 1989, Peitgen vd 1992, Kraft 1995)
- Genelleştirilmiş boyut yöntemleri (Pawelzik ve Schuster 1987, Schouten vd 1994, Sun vd 1999, Serinken ve Üreten 2000, Üreten 2000) ve bundan türetilmiş olan
- Değişinti kırılca boyutu yöntemi (Grieder ve Kinsner 1994, Shaw ve Kinsner 1997)



Şekil 2.1. Tam kırılca elemanlardan bazıları

Çizelge 2.1. Topolojik boyut – kırılca boyut karşılaştırması

	Topolojik Boyut	Hausdorf-Besicovitch Boyutu
Doğru	1	1
Kare	2	2
Küp	3	3
Sierpinski Şekli	1	1.58
Peano Eğrisi	1	2.00
Van Koch Eğrisi	1	1.26

Özellikle verici parmak izi analizi veya konuşma tanıma sistemlerinde olduğu gibi, sınırlı süreli deneysel zaman serileri söz konusu olduğunda daha çok genelleştirilmiş boyut yöntemleri ve değişinti kırılca boyutu yöntemi kullanılmaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen veri modelleme çalışmalarının temelini oluşturduğu için yukarıda bahsedilen yöntemlerden sadece değişinti kırılca boyutu ile modelleme yöntemi aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

2.1.2. Değişinti kırılca boyutu ile modelleme

K örneklem değerine sahip kırılca özellik gösteren sınırlı süreli bir zaman serisini

$$B[i]: (0 \leq i \leq K) \quad (2.1)$$

ifadesi ile gösterirsek, zaman serisinin varyansı, σ^2 , zamanla değişmekte ve (Δt) değerlikli zaman ilerlemeleri ile arasındaki bağıntı

$$\text{Var}(\Delta B_{\Delta t}) \approx \Delta t^{2H} \quad (2.2)$$

ile verilmektedir. Burada H, Harold Edwin Hurst ismindeki İngiliz bilimadaminin anısına, "Hurst katsayısı" olarak adlandırılmakta, (Δt) ise n uzunluğundaki bir zaman ilerlemesini göstermektedir.

$$\Delta t = |t_i - t_{i-n}| \text{ ve} \quad (2.3)$$

$$\Delta B_{\Delta t} = B[t_i] - B[t_{i-n}] \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmıştır. Farklı n uzunluğundaki zaman sıçramaları ve bu sıçramalara karşılık gelen varyans değerlerini gösteren $\log[\text{Var}(\Delta B_{\Delta t})] - \log(\Delta t)$ grafiği, kırılca bir eleman için doğrusal bir karakteristik gösterir. H değeri ise bu doğrunun eğimi hesaplanarak bulunur. Bir başka deyişle,

$$H = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{2} \frac{\log [\text{Var} (\Delta B_{\Delta t})]}{\log (\Delta t)} \quad (2.6)$$

olarak verilir ve H değerin kestirimi bir doğrusal regresyon algoritması kullanılarak yapılır (Grieder ve Kinsner 1994). K uzunluğundaki zaman serisine ait değışinti kırılca boyutu D_g ’ın hesaplanması ise Peitgen vd (1992)’ de belirtildiğı gibi;

$$D_g = E + 1 - H \quad (2.7)$$

ifadesinden elde edilir. Burada, E “euclid boyutu” (embedding euclidean dimension) olup bu uygulamada 1’e eşit alınmaktadır. H değerin bir zaman serisi için 0 ile 1 arasında olması, D_g değerin ise 1 ile 2 arasında çıkması beklenir.

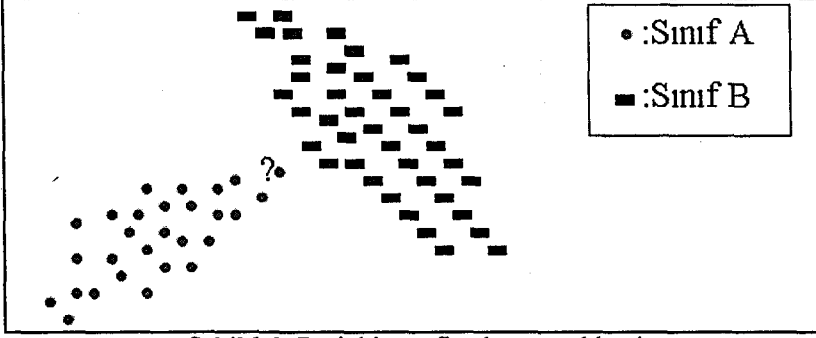
Tez çalışması kapsamında analiz edilen geçici rejim işaretleri, IF katı çıkışından elde edilen dördün bileşenlerden oluşan karmaşık zaman serileri olup hem genlik hem de evre bilgisi içermektedirler. Bu bilgilerden elde edilen ve geçici rejim işaretleri için fiziksel anlam içeren (gerçek değerli) zaman serilerinin oluşturulması ve bunların değışinti kırılca boyutu ile modellenmesi bölüm 3.2.2’de açıklanmıştır.

2.2. Olasılıklı Yapay Sinir Ağı (PNN)

PNN bir sınıflandırıcı türüdür. İki veya daha fazla sınıfın eldeki mevcut bilinen elemanlarına göre eğitilir ve bilinmeyen bir elemanın mevcut sınıflardan hangisine ait olduğunu tespit etmek amacıyla kullanılır. Son yıllarda, istatistiksel yöntemlerin uzantıları sayılabilecek PNN ve diğer bazı yapay sinir ağları, örüntü tanıma problemlerinde sıkça kullanılmaya başlamıştır.

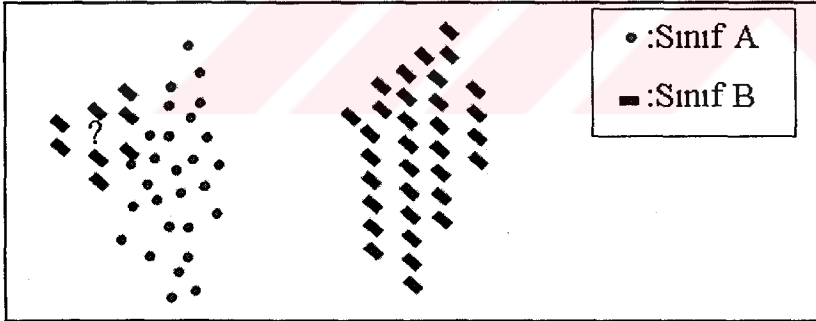
Genel olarak bir sınıflandırma problemi, öznelilik uzayının bölgelere ayrılması olarak tarif edilebilir. Bu nedenle, bu bölümde öncelikle bazı temel sınıflandırma problemleri üzerinde durulacaktır.

En temel ve basit sınıflandırma problemleri şekil 2.2’de gösterilen türdeki problemlerdir. Bu şekilde, daire sembolleri A sınıfının bilinen elemanlarını, dikdörtgen sembolleri B sınıfının bilinen elemanlarını, “?” sembolü ise bilinmeyen elemanı iki boyutta temsil etmektedir. Burada, bilinmeyen eleman B sınıfının ağırlık merkezine, A sınıfının ağırlık merkezinden daha yakın olmasına rağmen eşleştirme A sınıfına yapılabilir. Çünkü, bilinmeyen elemana en yakın olan bilinen eleman A sınıfına aittir. Bu sınıflandırma yöntemi, “En Yakın Komşu Sınıflandırması (Nearest Neighbor Classification)” olarak adlandırılır.



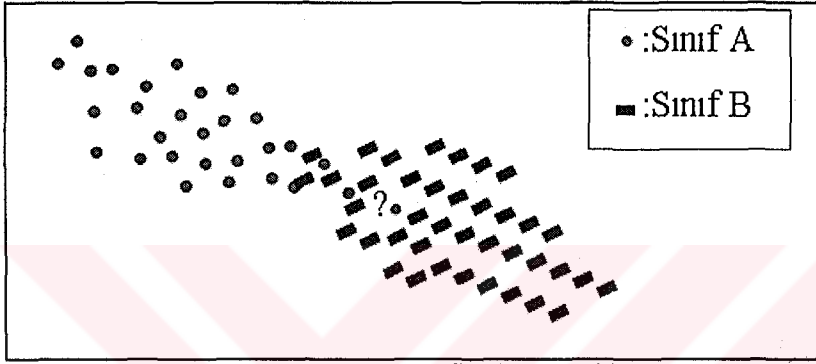
Şekil 2.2. Basit bir sınıflandırma problemi

Yukarıdaki sınıflandırma probleminde olduğu gibi, sınıflar arasında tam bir ayrılma söz konusu ise bir sınıflandırıcı tasarlamak oldukça kolaydır. Problem, şekil 2.3’dekine benzer olduğunda da bu durum geçerlidir. Çünkü, bu problemde B sınıfının elemanları iki ayrı bölgede kümelenmiş olmasına rağmen sınıflar birbirinden tam olarak ayrıldığı için en yakın komşuluk yöntemi burada da başarılı sonuç verebilmektedir.



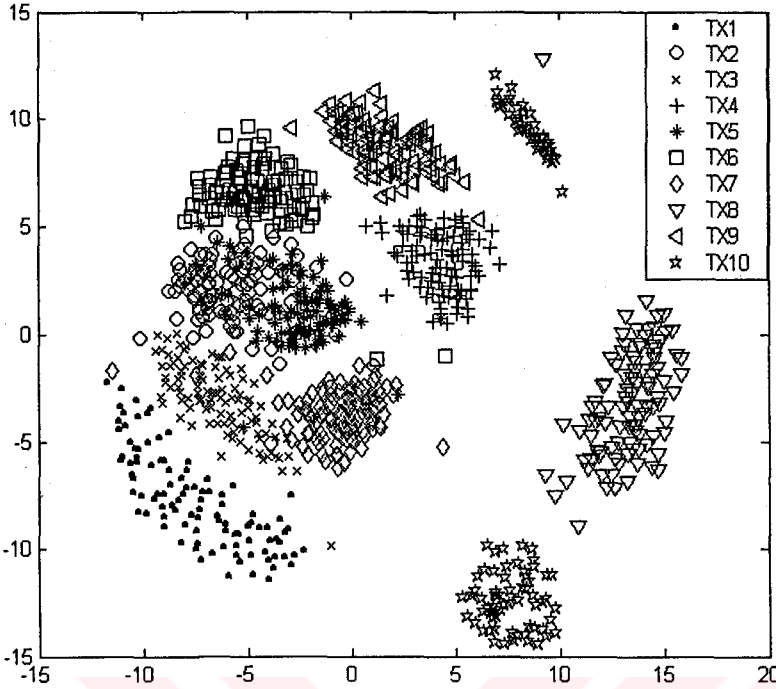
Şekil 2.3. Diğer bir basit sınıflandırma problemi

Yukarıdaki örneklerden; iyi bir sınıflandırıcının, çok parçalı (bimodal ya da multimodal) dağılımlara sahip sınıflar söz konusu olduğunda veya sınıflar birbirinden tam olarak ayrılmadığı zamanlarda da kabul edilebilir bir başarıma sahip olması gerektiği söylenebilir. Örneğin, sınıflandırma problemi şekil 2.4'de gösterilen türde olduğunda, en yakın komşuluk yönteminin başarılı olamayabileceği görülmektedir. Çünkü şekil 2.4'de, bilinmeyen elemana en yakın olan bilinen eleman A sınıfına ait olmasına rağmen dağılımların genel yapısı dikkate alındığında, bilinmeyen elemanın B sınıfına ait olma olasılığının daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu karardaki en temel gerekçe; bilinmeyen elemanın bulunduğu bölgede B sınıfının dağılım yoğunluğunun A sınıfına göre daha fazla olmasıdır (B sınıfının o bölgedeki eleman sayısı daha fazladır). Bu değerlendirme mantığı PNN sınıflandırıcısının temelini oluşturmaktadır.



Şekil 2.4. Karışık bir sınıflandırma problemi

Tez kapsamında geliştirilen telsiz kimlik tespit sisteminde analiz edilen geçici rejim işaretlerine ait öznitelik vektörlerinin yukarıda anlatılan durumlardan çok daha karmaşık dağılım yapılarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle de çevresel şartlar (sıcaklık, besleme gerilimi ve kanal gürültüsü) değiştiğinde, bir telsize ait öznitelik vektörleri öznitelik uzayında çok geniş bölgelere dağılmakta ve başka telsizlere ait bölgelere girebilmektedir. Şekil 2.5'de böyle bir örnek gösterilmiştir. Şekilde 10 adet telsizden (TX1, TX2, ..., TX10) kaydedilen geçici rejim işaretlerine ait çok boyutlu öznitelik vektörleri Sammon haritalama tekniği ile 2 boyuta indirgenerek gösterilmiştir. Öznitelik vektörlerinin elde edilmesi bölüm 3.2.2'de, Sammon haritalama tekniği ise bölüm 2.4'de açıklanmıştır.



Şekil 2.5. 10 telsize ait işaretlerin sınıflandırılması problemi

Şekil 2.4 ve 2.5'deki gibi durumlarda, bir bilinmeyen elemanın başarılı bir şekilde eşleştirilebilmesi için sınıflara ait tüm elemanların dikkate alınması gerekmektedir. İşte, PNN, sınıflara ait tüm elemanların, bilinmeyen elemana olan uzaklıklarını, belirli bazı ağırlık katsayılarını da dikkate alarak değerlendiren bir sınıflandırıcıdır. PNN'nin tüm ayrıntıları Masters (1995) tarafından açıklanmıştır.

PNN, Bayes sınıflandırma yöntemi ile çok yakından ilişkilidir. Aşağıdaki bölümde Bayes sınıflandırma yöntemi açıklanmıştır.

2.2.1. Bayes sınıflandırma yöntemi

K adet sınıftan rassal örneklem değerleri olduğunu varsayalım. Sınıflar, $k=1,2,3,\dots,K$ olacak şekilde endekslesin ve sınıfı bilinmeyen herhangi bir örneklem değeri, $\mathbf{x}_0$, M boyutlu bir vektör olsun. k sınıfı için rassal örneklem değeri üretme önsel olasılığı (prior probability) h_k , yanlış eşleştirme yapma maliyeti de c_k olsun. Eldeki tüm sınıflara ait bilinen örneklem değerlerinin

kümesi “eğitim kümesi” olarak adlandırılır. Eğer sınıfların gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonları $f_k(x)$ bilinirse, sınıfı bilinmeyen x_0 örneklem değerinin i sınıfına ait olduğunu söyleyebilmek için

$$h_i c_i f_i(x_0) > h_j c_j f_j(x_0) \quad (2.8)$$

olmalıdır. Burada j , i sınıfı hariç diğer tüm sınıfları göstermektedir. Bu karar “optimum Bayes kararı” olarak adlandırılır. Özel durumlar söz konusu değilse tüm sınıfların h_k ve c_k değerleri eşit kabul edilebilir. Bu takdirde Bayes kuralının yeni formu

$$f_i(x_0) > f_j(x_0) \quad (2.9)$$

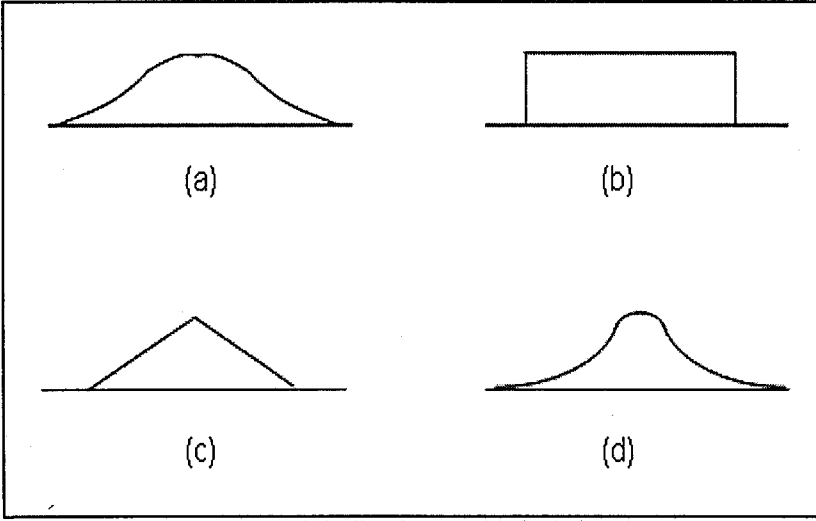
eşitsizliğine dönüşür.

$f_k(x_0)$, k sınıfının bilinmeyen x_0 elemanı yakınlığındaki yoğunluğuna karşılık geldiğinden, Bayes kuralı bize bilinmeyen elemanın komşuluğunda yoğunluğu daha fazla olan sınıfın eşleştirmede daha şanslı olacağını söylemektedir.

Bu yöntemdeki en temel problem, sınıfların gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonlarının bilinmeyiştir. Ancak eğitim kümesine bakarak yaklaşık bir olasılık dağılım fonksiyonu tahmin etmek mümkündür. Bu amaçla Parzen’in rassal örneklem değerlerinden dağılım fonksiyonlarını tahmin etme yöntemi kullanılabilir.

2.2.2. Parzen tahmin yöntemi (PTY)

Bu bölümde, ifade basitliği açısından tek boyutlu örneklem değerleri esas alınarak PTY açıklanmaya çalışılacaktır. PTY, bilinen örneklem miktarı (eğitim kümesinin eleman sayısı) arttıkça gerçek dağılıma asimptotik olarak yaklaşır (Masters 1995). Bu yöntemde bir ağırlık fonksiyonu, $W(x)$, kullanılır. $W(x)$ en yüksek değerine $x=0$ olduğunda erişir ve x ’in mutlak değeri azaldıkça $W(x)$ değeri azalır. PTY’de eğitim kümesindeki her elemanın bulunduğu noktaya bu ağırlık fonksiyonlarından bir tane yerleştirilir. Toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu ise kullanılan tüm ağırlık fonksiyonlarının oranlanmış toplamı ile elde edilir. Sık kullanılan bazı ağırlık fonksiyonları şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Sık kullanılan ağırlık fonksiyonları

Tez çalışması kapsamında şekil 2.6(a)'da gösterilen çan eğrisi tipindeki ağırlık fonksiyonu esas alınmıştır. Bu fonksiyonun x 'e bağlı genel ifadesi:

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2.10)$$

olarak yazılabilmektedir. Bu takdirde herhangi bir sınıfa ait toplam dağılım fonksiyonu, $f(x)$,

$$f(x) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n W\left(\frac{x - x_i}{\sigma}\right) \quad (2.11)$$

eşitliğinden elde edilebilir. Burada, n , sınıfın toplam örneklem sayısını; σ ise çan eğrisinin genişliğini belirlemektedir.

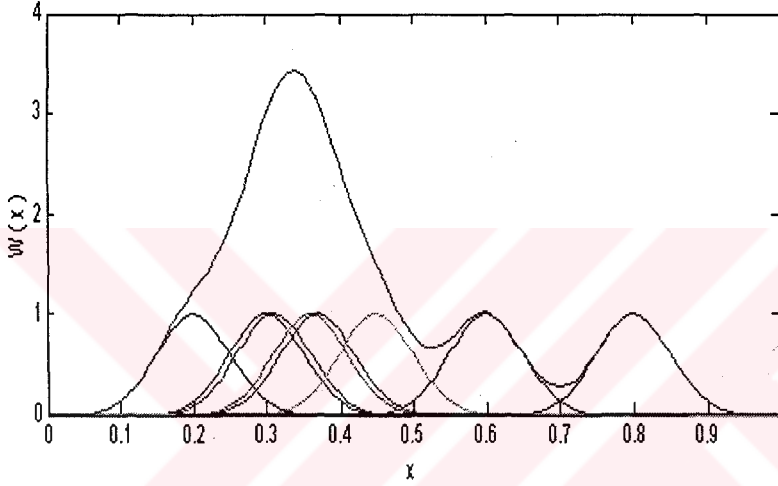
Çok boyutlu örneklem değerleri söz konusu olduğunda, ağırlık fonksiyonunun da çok boyutlu formunu kullanmak gerekecektir. Bu takdirde eş (2.10),

$$W(x) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} \sigma^p n} \sum_{i=1}^n e^{-\frac{|x-x_i|^2}{2\sigma^2}} \quad (2.12)$$

olarak alınmalıdır. Burada p, örneklem değerlerinin boyutunu göstermektedir.

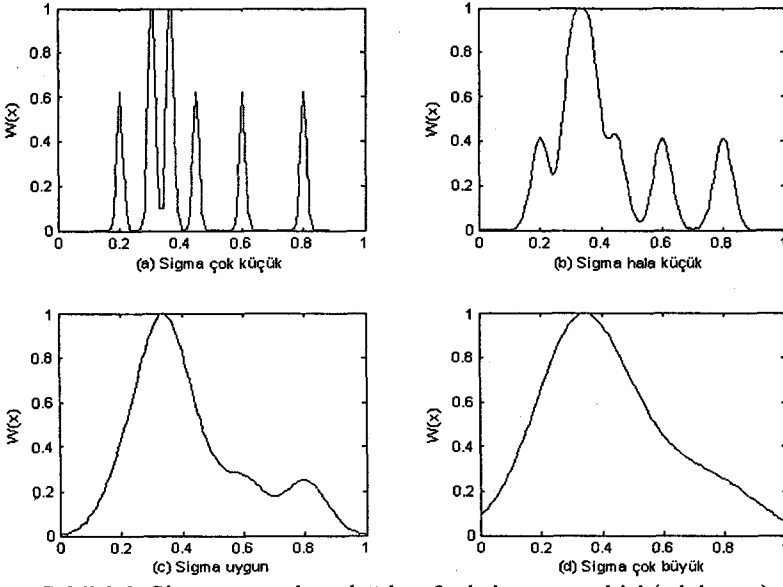
Eş. 2.11 ve eş. 2.12'deki ifadelerin sadece birer toplam ifadeleri olmadığına, sonuçta bir olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edebilmek amacıyla n, p ve σ parametrelerinin oranlayıcı olarak kullanıldığına dikkat edilmelidir.

Şekil 2.7'de, elemanlarından 8 adedi bilinen bir sınıfın PTY ile elde edilmiş toplam dağılım fonksiyonu oranlama yapılmadan gösterilmiştir.

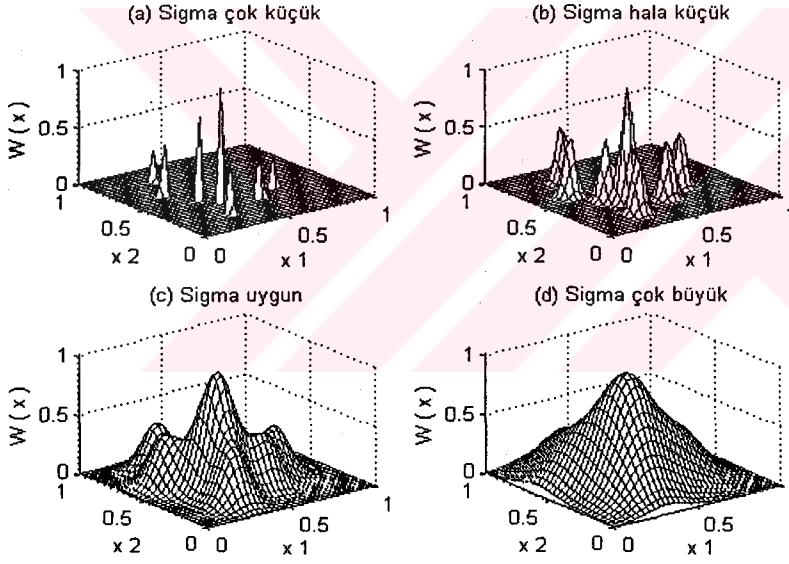


Şekil 2.7. PTY ile elde edilmiş bir toplam dağılım fonksiyonu

PTY'de, genişlik parametresi sigmanın etkisi büyüktür. Sigma çok küçük ya da çok büyük seçildiğinde ortaya çıkacak toplam dağılım fonksiyonu sınıfın genel dağılımını yansıtamayabilmektedir. Sigmanın etkisi şekil 2.8'de tek boyutlu 8 örneklem değeri kullanılarak elde edilen toplam dağılım fonksiyonları üzerinde; Şekil 2.9'da ise iki boyutlu 8 örneklem değeri kullanılarak elde edilen toplam dağılım fonksiyonları üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Sigmanın toplam dağılım fonksiyonuna etkisi (tek boyut)



Şekil 2.9. Sigmanın toplam dağılım fonksiyonuna etkisi (iki boyut)

PTY açıklandıktan sonra, eş. 2.9'da verilen Bayes kuralının bir uzaklık karşılaştırma yöntemine dönüşeceği söylenebilir. Çünkü, eş. 2.10 dikkatle incelendiğinde, eş. 2.11'deki $f(x)$ 'in en büyük değerine

$$A=c^{-d} \quad (2.13)$$

ifadesi en büyükken sahip olduğu; bunun ise,

$$d = \frac{|x - x_i|^2}{\sigma^2} \quad (2.14)$$

ifadesi en küçük olduğunda gerçekleşeceği görülmektedir. Burada, d değerinin oranlanmış özel bir uzaklık hesabı olduğu açıktır. A değeri de “yakınlığı” gösteren özel bir katsayı olarak düşünülebilir. Dolayısıyla; PNN'deki sınıflandırmanın temelini, bilinmeyen eleman ile bilinen tüm elemanlar arasında hesaplanan A değerlerinin oluşturduğu söylenebilir. Şöyle ki;

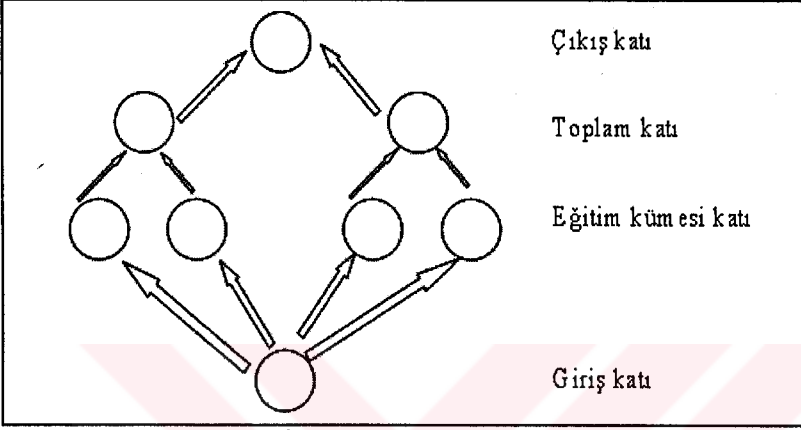
Bilinmeyen bir eleman ile, her sınıfın bilinen elemanları arasındaki A değerlerinin toplamı hesaplanır. Sınıfların eğitim kümesindeki eleman sayılarının eşit olmayabileceği göz önüne alınarak bulunan toplam değeri, sınıfın toplam eleman sayısına bölünür ve bir ortalama A değeri bulunur. Bulunan bu ortalama yakınlık değeri o sınıfın “aktivasyon” değeridir. Hiçbir zaman 1'den büyük değer almayan aktivasyon değeri, aynı zamanda bilinmeyen elemanın söz konusu sınıfa ait olma olasılık değerini de göstermektedir. Örneğin bir sınıfın aktivasyon değeri 0.8 çıktığında; o anda değerlendirilen bilinmeyen elemanın bu sınıfa ait olma olasılığı %80 olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, sınıflandırma yapılırken aktivasyon değeri en yüksek olan sınıf “kazanan sınıftır” (bilinmeyen eleman bu sınıfa atanır).

PNN'de “reddetme” özelliği de mevcuttur. Hiçbir sınıfın aktivasyon değeri daha önceden belirlenmiş bir “eşik aktivasyon değeri”nden büyük değilse, bilinmeyen eleman reddedilir (bilinmeyen bir sınıfın elemanı olduğu değerlendirilir). Aktivasyon değerleri eşik değerden büyük olduğunda da, verilecek kararın ne kadar güvenilir olduğunun sayısal bir ifadesi olması açısından aktivasyon değerlerinin PNN'deki rolü önemlidir. Bu hususun özellikle askeri uygulamalar için çok gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

Tüm bu anlatılanların ışığında, özet olarak PNN'nin en uygun sigmayı bulan ve bilinmeyen eleman ile eğitim kümesine ait tüm elemanlar arasındaki özel

yakınlık katsayı değerlerini dikkate alarak sınıflandırma yapan bir yöntem olduğu söylenebilir.

Şekil 2.10'da PNN'nin yapısı gösterilmiştir. Bu şekilde giriş katı, bilinmeyen elemanı temsil etmektedir. Eğitim kümesi katında eldeki tüm sınıflara ait bilinen örneklem değerleri yer alır. Şekildeki örnekte her birinin eğitim kümesinde iki eleman olan iki sınıf ele alınmıştır. Toplam katında her sınıf için hesaplanan aktivasyon değerleri yer alır. Çıkış katı en büyük aktivasyon değerine sahip sınıfın belirlendiği ya da reddetme işleminin yapıldığı kattır.



Şekil 2.10. PNN Yapısı

2.2.3. PNN eğitimi (en uygun sigmanın bulunması)

PNN'de, en uygun sigmayı bulmak için eğitim kümesinin eğitilmesi gereklidir. Burada yapılan; bir başlangıç sigma değeri kabul ederek eğitim kümesinin kendi kendisini sınıflandırması neticesinde ortaya çıkan sistem başarımını hesaplamak ve sigmayı değiştirmek sureti ile en yüksek sistem başarımını üreten sigmayı bulmaktır. Bulunan bu sigma değeri "en uygun sigma" olarak adlandırılmaktadır. Eğitim kümesinin kendi kendisini sınıflandırması ise şu şekilde yapılmaktadır:

Eğitim kümesindeki herhangi bir örneklem kümeden çıkarılıp bilinmeyen eleman olarak kabul edilir. Bu bilinmeyen elemanın hangi sınıfa ait olduğu şekil 2.10'da gösterilen PNN yapısı kullanılarak yeniden hesaplanır. Yapılan sınıflandırmanın doğru olup olmadığı kaydedilir ve bu işlem eğitim

kümesindeki diğer tüm elemanlar için tekrarlanır. Sonuçta yapılan toplam hata sayısı ve bulunan “sistem hata kriteri değeri” kaydedilir.

Bir sigma değeri için hesaplanan “sistem hata kriteri değeri”, sınıflar için hesaplanan aktivasyon değerleri ile yakından ilgilidir: Şöyle ki,

K adet sınıf için ayrı ayrı hesaplanan aktivasyon değerleri, $\{A_k, k=1,2,\dots,K\}$ olsun. Eşleştirmenin hatalı olma olasılığı, p_k ile aktivasyon değeri arasında şu ilişki vardır; Eşleştirme doğru ise,

$$p_k = (1 - A_k)^2 \quad (2.15 (a))$$

Eşleştirme yanlış ise,

$$p_k = (A_k)^2 \quad (2.15 (b))$$

Yukarıdaki eşitliklerde, öğelerin karesinin alınması tamamen ihtiyaridir. Bulunan hata olasılığının daha güvenli olması amacıyla bu kriter kullanılmaktadır.

Bir sigma değeri için hesaplanan “sistem hata kriteri değeri”, P_e ise; eşleştirme hata olasılıklarının ortalamasıdır. Yani,

$$P_e = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K p_k \quad (2.16)$$

Bir sigma değeri için **sistem hata kriteri değeri** hesaplandıktan sonra başlangıçta kabul edilen sigma değeri değiştirilerek yukarıda bahsedilen tüm işlemler tekrar edilir. Burada sigma değerinin değişim/sıçrama rejimi ayrıntıları Masters (1995) tarafından açıklanan bir genel tarama, bir de hassas tarama yöntemi ile belirlenmektedir. Özet olarak; genel tarama yöntemiyle belirli miktarda sıçramalar yapılarak kabul edilen en büyük sigma değerine kadar yukarıdaki işlemler tekrarlanır ve bu aralıkta en düşük hata değeri veren sigma değeri kaydedilir. Hassas tarama yönteminde ise; genel tarama ile bulunan en uygun sigma değerinin yakın komşuluğunda daha hassas bir tarama yapılarak daha da az hata değeri veren yeni bir sigma değeri aranır.

PNN eğitiminde göz önüne alınması gereken en önemli kriter, ağıın genelleme yeteneğidir. Genelleme, ağıın eğitim kümesinde yer almayan öğeleri hangi oranda başarılı sınıflandırabildiğini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Bir başka deyişle, ağıın eğitilmesi neticesinde bulunan en uygun sigma değeri, eğitim kümesinde yer almayan öğelerin sınıflandırılmasında kullanıldığında da en iyi (veya en iyiye yakın) sınıflandırma başarımını veriyorsa, ağıın genelleme özelliğinin var olduğundan bahsedilebilir. Yapay sinir ağlarında başarılı bir genelleme her zaman mümkün olmayabilir. Ancak, özniteliklerin çok kuvvetli (robust) bir modelleme tekniğı ile elde edilmesi ve/veya eğitim kümesinde yer alan öğelerin genel popülasyonu çok iyi temsil ediyor olması durumunda kabul edilebilir genellemeler elde edilebilmektedir. Bunu yapabilmenin en kestirme yolu ise, eğitim kümesi eleman sayısını olabildiğince artırmaktır. Tez çalışması kapsamında, özellikle geniş sıcaklık aralıklarında ve farklı gerilim seviyelerinde kaydedilen işaretlerin başarılı bir şekilde sınıflandırılabilmesi için çok fazla sayıda elemana sahip ağların oluşturulup eğitilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Ancak, PNN'de eğitim kümesine dahil edilen eleman sayısı arttıkça, gerçekleştirilen sistemin hafıza gereksinimi ile eğitim ve sınıflandırma için gerekli işlem zamanı doğrusal olarak artmaktadır. Bu etkiyi en aza indirmek için veri azaltma amacıyla PNN öncesinde kendini örgütleyen harita (SOM) yöntemi kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde SOM yöntemi anlatılmıştır.

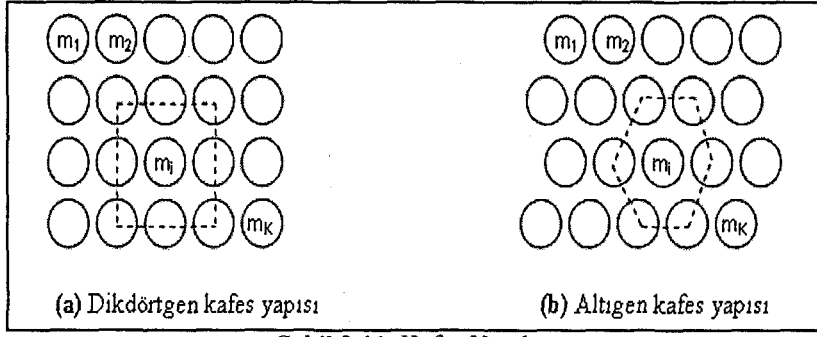
2.3. Kendini Örgütleyen Harita (SOM) Tekniğı

Sınıfları oluşturan elemanların sayılarının azaltılmasını ve özetleme (genelleme) yeteneğı yüksek yeni bir konumsal dağılım elde edilmesini sağladığı için SOM tekniğı, son zamanlarda, konuşma tanıma, robotik, süreç kontrolü, haberleşme vb. alanlardaki sınıflandırma problemlerinde sıkça kullanılmaya başlamıştır. Kohonen (1990), SOM'u bir çeşit yapay sinir ağı; SOM eğitimini ise bir özetlenmeyen öğrenme (unsupervised learning) süreci olarak tanımlamaktadır.

SOM yönteminde amaç; N-boyutlu M adet vektörü (tez konusu olarak seçilen telsiz kimlik tespiti sistemlerinde öznitelik vektörlerini), yine N-boyutlu fakat M'den daha küçük K adet vektöre indirgemektir. Bu, her sınıf için (her telsiz için) ayrı ayrı yapılmaktadır. Tek bir sınıf için yapılan SOM işleminin detaylarını Kohonen (1995) şu şekilde açıklamaktadır:

Öncelikle, K adet SOM harita vektörünün her biri, m_i ($i: 1,2,...,K$), başlangıçta, N adet rassal örneklem değerine sahip olacak şekilde üretilir ($m \in R^N$). Bu vektörlerden her biri haritanın bir düğümüne karşılık

gelmektedir. Haritanın kafes (lattice) yapısı dikdörtgen veya altıgen kabul edilebilmektedir. Şekil 2.11’de bu yapılar gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Kafes Yapıları

K’ya indirgenecek toplam M adet giriş vektörünün her birisi (x) için aşağıdaki uzaklık hesabına göre kazanan harita vektörü, m_c , (giriş vektörüne en yakın harita vektörü) bulunur.

$$\forall i, \|x - m_c\| \leq \|x - m_i\| \quad i: 1, 2, \dots, K \quad (2.17)$$

Daha sonra, merkezde kazanan harita vektörü olacak şekilde çapı kullanıcı tarafından belirlenebilen belirli bir komşuluk bölgesinin (N_c) içerisinde kalan tüm harita vektörleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak güncelleştirilir.

$$m_i(t+1) = m_i(t) + h_{c,i}(t)[x(t) - m_i(t)] \quad (2.18)$$

Burada t, kesikli zaman değerlerini gösteren bir tam sayı; $h_{c,i}$ ise sadece N_c içerisinde tanımlı ve değeri merkezden itibaren sınırlara gidildikçe monoton bir şekilde azalan bir komşuluk çekirdek fonksiyonudur (neighborhood kernel). Genel olarak,

$$h_{c,i}(t) = h(\|r_c - r_i\|, t) \quad (2.19)$$

olarak kabul edilmektedir. Burada, $r_c \in R^2$ ve $r_i \in R^2$, sırasıyla, kafes yapısında yer alan c ve i düğümlerine ait yarıçap vektörleridir. Dolayısıyla, $\|r_c - r_i\|$ değeri c ve i düğümleri arasındaki mesafeye karşılık gelmektedir. Bu mesafenin kabul edilen kafes yapısına bağlı olarak değişeceği açıktır.

Örneğin, şekil 2.11'de gösterilen i ve K düğümleri arasındaki uzunluk, dikdörtgen kafes yapısında $\sqrt{1^2 + 2^2} = \sqrt{5}$; altıgen kafes yapısında ise $\sqrt{1^2 + (1,5)^2} = \sqrt{13/4}$ olacaktır. Ayrıca, $\|r_c - r_i\|$ arttıkça $h_{c,i} \rightarrow 0$ denilebilir.

En sık kullanılan çekirdek fonksiyonlarından biri eş. 2.20'de belirtilen Gauss fonksiyonudur.

$$h_{c,i} = \alpha(t) \cdot \exp\left(-\frac{\|r_c - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right) \quad (2.20)$$

Burada, $\alpha(t)$, zamana bağlı olarak monoton bir şekilde azalan bir işlev olup **öğrenme hızı** olarak isimlendirilir. $\sigma(t)$ ise komşuluk çekirdek fonksiyonun genişliğidir (N_c 'nin yarıçapı olarak da tanımlanabilir). $\sigma(t)$ monoton olarak azalan bir işlev seçilmelidir. Bir giriş vektörünün değerlendirilmesi ve haritanın ilgili N_c bölgesindeki düğüm vektörlerinin güncellenmesinin ardından aynı işlemler diğer tüm giriş vektörleri için yinelenir. Tüm giriş vektörleri bittikten sonra tekrar birinci giriş vektörüne dönülerek işlemler kullanıcı tarafından belirlenen bir iterasyon (epoch) sayısı kadar yinelenir. Komşuluk bölgesinin yarıçapı ($\sigma(t)$), ve çekirdek fonksiyonun merkezdeki değeri her yineleme başlangıcında monoton bir şekilde azaltılmış olarak kullanılır. Süreç sonunda komşuluk bölgesi yarıçapı 1'e, çekirdek fonksiyonun merkezdeki değeri ise sıfıra yakınsayacak şekilde ayarlama yapılır. Bu nedenle,

$$\sigma(t) = 1 + (\sigma(0) - 1) \cdot \frac{T - t}{T} \quad (2.21)$$

$$\alpha(t) = \alpha(0) \cdot \frac{T - t}{T} \quad (2.22)$$

olarak kabul edilebilir. Burada T, yapılması planlanan toplam yineleme sayısını göstermektedir. $\sigma(0)$ ve $\alpha(0)$ kabul edilen başlangıç değerleridir.

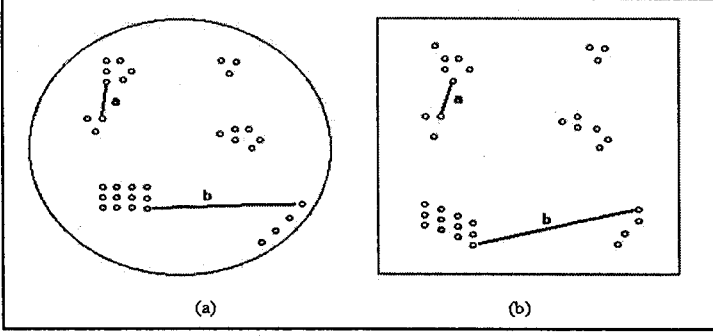
2.4. Sammon Haritalama Tekniği

Bu tez çalışması kapsamında, öznitelik vektörlerinin sınıflar arasında ayrılmayı ne ölçüde sağladığını görsel olarak inceleyebilmek amacıyla çok boyutlu öznitelik vektörlerinin 2 boyuta indirgenerek 2 boyutlu öznitelik uzayında gösterilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla Sammon haritalama tekniği kullanılmıştır. Genel olarak haritalama teknikleri, çok boyutlu vektörlerin boyutlarının indirgenmesinde kullanılan boyut azaltma (dimension reduction) yöntemlerinin özel bir durumu olarak düşünülebilirler (Saraç ve üreten 2001). Deneysel verilerin görsel analizinin yapılmasına imkan tanıyan 2 boyutlu haritaların elde edilmesinde kullanılmalarının yanı sıra hem interaktif sınıflandırıcı tasarımı (interactive classifier design) hem de veri gruplandırma (clustering) amacıyla örüntü tanıma problemlerinde kullanılabilmektedirler. (Siedlecki vd 1988).

Siedlecki vd (1988), farklı haritalama tekniklerini karşılaştırdıkları çalışmada, haritalama tekniklerini, doğrusal/analitik ve doğrusal/analitik olmayan haritalama teknikleri olarak sınıflandırmışlardır. Doğrusal/analitik haritalama tekniklerinde (Fisher ayırtacı, temel bileşen eşlememesi, en kk kareler eşlememesi ve izdüşüm takip eşlememesi) amaç; analitik dönüşüm yöntemleri kullanılarak çok boyutlu uzaydaki her noktanın iki boyutlu uzaydaki izdüşümünün bulunmasıdır. Doğrusal/analitik olmayan haritalama tekniklerinde ise (Sammon tekniği, üçgenleme tekniği), önce rassal olarak 2 boyutlu uzayda bir öğrenme kümesi oluşturulur ve iterasyonlar yapılarak bu kümedeki elemanlar arası uzaklıklar çok boyutlu vektörler arasındaki uzaklıklara eşit olacak şekilde bir yerleşim elde edilir.

Bu çalışmada, doğrusal/analitik olmayan Sammon haritalama tekniğinin seçilmesinin en önemli gerekçesi; bu tekniğin özellikle görüntülenecek vektör sayısı vektörlerin boyut değerinden kk olduğu durumlarda diğer tekniklerden daha başarılı sonuçlar vermesidir (Siedlecki vd 1988). Diğer durumlarda da, görsel analize imkan tanıyacak kadar sınıflar arası ayrımı (eğer gerçekten varsa) gösterebilmektedir. Ayrıca, analitik dönüşüm yöntemleri kullanan yöntemlere göre (rneğin temel bileşen eşlememesine göre) yazılım ortamında gerçekleştirilmesi daha kolaydır. Sammon haritalama tekniğinin en önemli dezavantajı ise; diğer doğrusal/analitik olmayan yöntemlerde de olduğu gibi, görüntülenecek vektörler kümesine yeni bir vektör eklendiğinde tüm eğitim sürecinin yeniden tekrar edilmesine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu tezde yer alan haritalar sınıflandırıcının vereceği kararı destekleme veya veri gruplandırma için değil, sadece görsel analiz amacıyla kullanıldığından bu dezavantajın tez çalışması kapsamında

gerçekleştirilen uygulamalar açısından geçerli olmadığı değerlendirilmektedir. N-boyutlu M adet vektörün 2-boyutlu Sammon haritasının hazırlanması şu şekilde özetlenebilir: Öncelikle, 2-boyutlu uzayda rassal konum yerlerine sahip M adet nokta belirlenir ve bu noktalar aralarındaki mesafeler çok boyutlu orijinal vektörler arasındaki mesafelere yaklaşacak tarzda 2-boyutlu uzayda kaydırılır. Bu kaydırma işlemi yeteri sayıda tekrarlanmak suretiyle her iki uzaydaki mesafe toplamları arasındaki fark en aza indirilmeye çalışılır. İdealde hedeflenen dağılım şekil 2.12’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.12. Sammon Tekniğinde Hedef
(a) N-boyutlu uzaydaki veri dağılımı (Varsayımsal gösterim)
(b) 2-boyutlu uzaydaki dağılım (Sammon haritası)

Matematiksel olarak, N-boyutlu uzayda tanımlı bir veri kümesi $\{x_i \in \mathbb{R}^N$ ve $i=1,2,...,M\}$ olsun. Bu kümenin herhangi iki elemanı arasındaki vektörel uzunluk $d_{ij}=d(x_i, x_j)$ olarak tanımlandığında, elemanları d_{ij} olan bir uzaklık matrisi (D) elde edilir. x_i vektörünün 2-boyutlu Sammon uzayındaki görüntüsü o_i ile gösterilsin ve herhangi iki görüntü arasındaki Euclid uzaklık normu $o_{ij}=\|O_i - O_j\|$ olarak tanımlansın. Bu şekilde, elemanları o_{ij} olan bir diğer uzaklık matrisi (O) elde edilmiş olacaktır. Sammon haritalama tekniğinde amaç; O matrisini D matrisine olabildiğince benzetecek tarzda o_i vektörlerini yerleştirmektir. Bir başka deyişle, yinelemeler yapmak suretiyle, aşağıdaki hata fonksiyonu optimize edilmektedir.

$$E = \frac{1}{\sum_i \sum_{j>i} d_{ij}} \sum_i \sum_{j>i} \frac{(d_{ij} - o_{ij})^2}{d_{ij}} \quad (2.23)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde kullanılan deney düzeneği ile geliştirilen DBS sisteminin yapısı ve çalışma prensipleri açıklanacaktır.

3.1. Deney Düzeneği ve Kaydedilen İşaretlerin Özellikleri

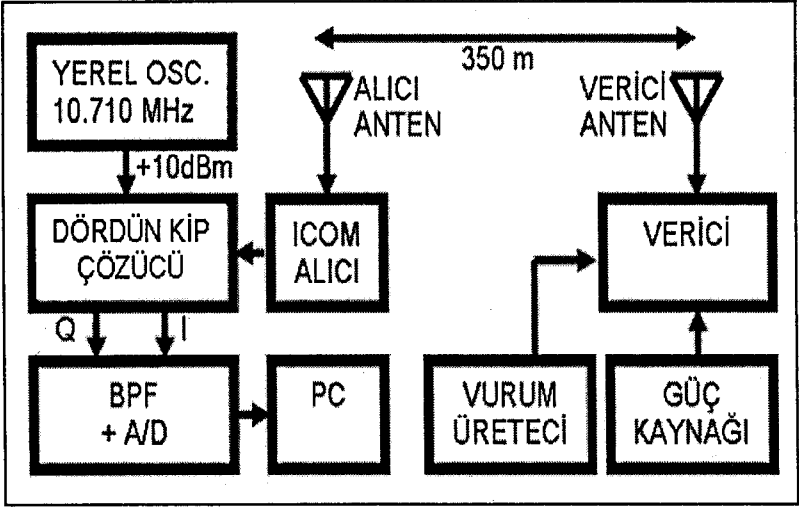
Bu alt bölümde öncelikle, tez çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen deneylerin düzenekleri ve veri toplama tekniği açıklanacaktır. Daha sonra, toplanan verilerin (geçici rejim işaretlerinin) yapısal özellikleri üzerinde durulacaktır. Çünkü, giriş bölümünde de belirtildiği gibi tez çalışması kapsamında geliştirilen sistemin yazılı dizinde yer alan diğer çalışmalardan ayrıldığı en önemli noktalardan birisi kullanılan veri tipi farklılığıdır.

3.1. 1. Deney düzeneği

Deneylerde kullanılan telsiz vericileri bir aracın içerisine yerleştirilmiş ve bu araçtan yayın yapılmıştır. Aracın, telsiz alıcılarının bulunduğu laboratuvar merkezine olan uzaklığı deneylerin büyük bir bölümü için 350 metre olarak seçilmiş ve bu mesafeden kaydedilen işaretler için işaret-gürültü oranı yaklaşık olarak 45 dB olarak ölçülmüştür. Özellikle düşük SNR değerleri ve kanal bayılması söz konusu olduğunda sistem başarımının ne ölçüde etkileneceğinin araştırılmasına yönelik deneylerde ise aracın laboratuvara olan uzaklığı ihtiyaca göre ayarlanmış veya araç hareket halinde iken yayın yapılmıştır.

Tüm deneylerde vericiler 3.66 metre yükseklikteki bir disk-koni antene bağlanmış ve kendi bataryalarını veya sabit harici güç kaynaklarını kullanmışlardır. Alıcıların yer aldığı laboratuvar merkezinde de 3.66 metre yükseklikte bir diğer disk-koni anten kullanılmıştır. Verici telsizlerin çalışma frekansı bazı deneylerde 169.170 MHz, bazılarında ise 138.750 MHz olarak seçilmiştir. Çok fazla sayıda geçici rejim işareti toplayabilmek amacıyla, verici telsizlerin konuşma mandalına basılıp bırakılması işlevi bir vurum üretici kullanılarak otomatik hale getirilmiştir (mandal yaklaşık olarak 0.5 sn açık, 0.5 sn kapalı tutulmuştur). Deney düzeneğinin ana bölümleri sabit mesafeli deneyler için şekil 3.1'de gösterilmiştir. Farklı zamanlarda ve farklı amaçlar için yapılan deneylerde VHF bandında çalışan 5 değişik telsiz verici seti (toplam 74 telsiz) ve genel amaçlı 3 değişik telsiz alıcı sistemi kullanılmıştır. Kullanılan vericilerin listesi çizelge 3.1'de, alıcıların listesi ise çizelge 3.2'de verilmiştir. Çevrimde yer alan vericilerin sayısı arttığında sınıflandırma başarımının nasıl etkileneceğini

araştırabilmek amacıyla kullanılan 5 verici seti sınıflandırma probleminin zorluk derecesini artıracak şekilde oluşturulmuştur. Örneğin, 1. verici setinde 10 telsiz yer alırken, 5. telsiz setinde aynı marka ve modele sahip 28 telsiz yer almaktadır.



Şekil 3.1. Sabit mesafeli deneyler için deney düzeneği

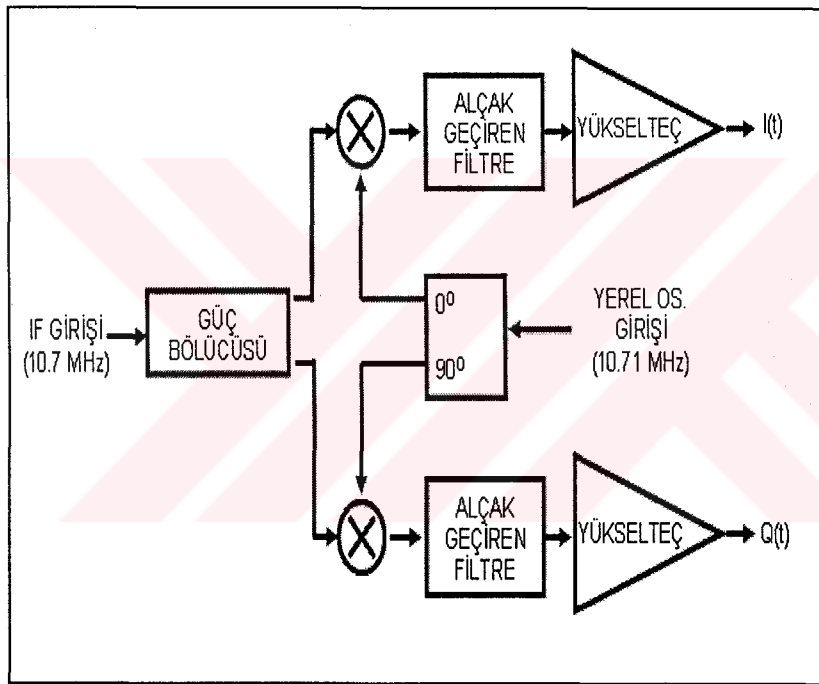
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan vericiler

	MARKA	MODEL	MİKTAR
SET 1	MOTOROLA	MT-500	10
SET 2	MOTOROLA	MT-500	10
SET 3	YAESU	FTH-2005	2
	YAESU	FTL-2001	9
SET 4	MOTOROLA	MCX100	3
	YAESU	FTH-2005	2
	YAESU	FTL-2001	10
SET 5	MOTOROLA	SHA-274	28

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan alıcılar

MARKA	MODEL	MİKTAR
ICOM	R7100	2
ICOM	R9000	1

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, geçici rejim işaretleri alıcıların ayırtaç çıkışlarından veya ara frekans katı çıkışlarından kaydedilebilirler. Temel banda indirilmiş alçak frekanslardaki ayırtaç çıkışı işaretlerini doğrudan sayısallaştırarak ses kartları aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarmak ve üzerinde işlemler yapmak mümkündür. Ancak 10.7 MHz ara frekans değerine sahip IF işaretlerini standart ses kartları ile sayısallaştırmak mümkün değildir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında tasarlanan verici kimlik tespit sisteminde alıcıların IF katından elde edilen işaretler bilgisayar ortamına aktarılırken ses kartlarından önce Ellis ve Serinken (2001) tarafından önerilen dördün kip çözücü kullanılmıştır. Dördün kip çözücünün kullanılma amacı; hem IF işaretlerine denk temel bant işaretlerin elde edilmesi (IF işaretlerinin frekansının ses kartlarının işleyebileceği frekans bölgesine taşınması) hem de IF işaretlerine ait eş evreli ve dik evreli dördün bileşenlerin iki ayrı kanal (I ve Q kanalları) olarak elde edilmesidir. Şekil 3.2’de dördün kip çözücünün yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Dördün Kip Çözücü

3.1.2. Geçici rejim işaretlerinin yapısal özellikleri

Dördün kip çözücü çıkışıındaki I ve Q kanalları öncelikle DAT kasetlerine iki kanallı (stereo) olarak kaydedilmiştir. DAT kasetlerine analog olarak kaydedilen işaretler daha sonra bir ses kartı vasıtasıyla 16-bit çözünürlükte ve 44100 örneklem/saniye hızında örnekleterek bilgisayar ortamında kaydedilmişlerdir. Dördün kip çözücü her iki kanal için de uyumlu kazanç karakteristikleri elde edilecek tarzda tasarlanmıştır. Dördün kip çözücüde kullanılan yerel osilatörün ürettiği işaretin frekansı 10.71 MHz olarak seçilmiştir. Bu sayede IF işaretlerinin frekans bileşenleri 10.7 MHz'den 10 KHz'e taşınmıştır. Bu taşıma işleminin 0 Hz haricinde bir merkeze yapılmasının nedeni; örnekleme işleminde kullanılan ses kartlarının 0-20 Hz aralığında ölü bir bant bölgesine sahip olmasıdır.

Dördün kip çözücü yardımıyla IF işaretlerine denk temel bant işaretlerin (I ve Q kanallarının) elde edilmesi matematiksel olarak şu şekilde gösterilebilir:

IF işaretini,

$$c(t) = B(t)\cos(2\pi f_c t + \phi(t)) \quad (3.1)$$

olarak gösterelim. Burada, $f_c=10.7$ MHz'dir. $B(t)$ ise anlık zarf değerlerini göstermektedir.

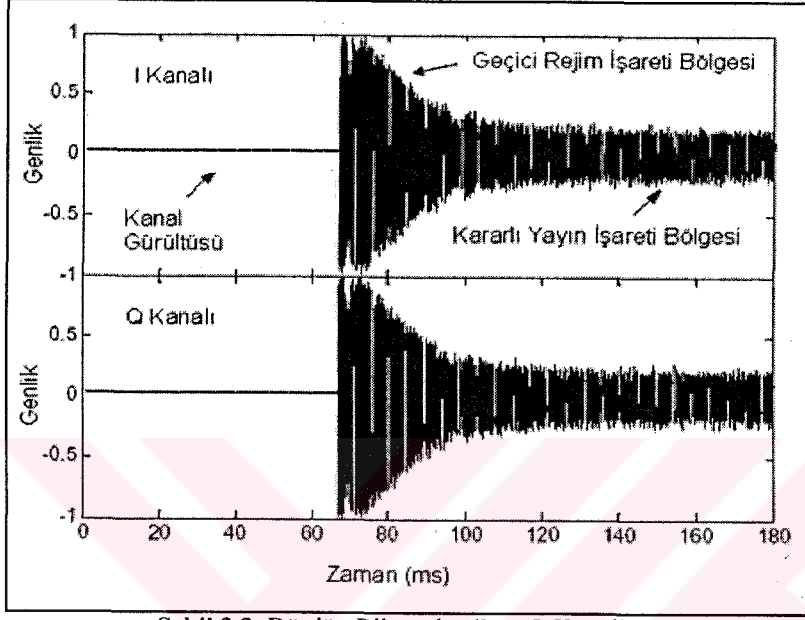
Şekil 2.2'deki yerel osilatör, 10.71 MHz frekans değerine sahip bir sinüsel işaret üretmektedir. Bir başka deyişle bu işaretin frekansı, IF işaretlerinin frekansından 10 KHz fazladır. Bu işaret, hem doğrudan hem de evresi 90° kaydırılmış olarak IF işareti ile çarpılıp alçak geçiren filtrelere uygulandığında ve kazanç değerleri ayarlandığında dördün bileşenler,

$$I(t) = B(t)\cos(2\pi 10^4 t + \phi(t)) \quad (3.2)$$

$$Q(t) = B(t)\sin(2\pi 10^4 t + \phi(t)) \quad (3.3)$$

olarak elde edilir. Şekil 3.3'de bu tarzda elde edilmiş olan ve bir FM vericisinin konuşma mandalina basılması anında alıcıdan kaydedilen bir IF işaretinin dördün bileşenlerine ait normalize edilmiş genlik değerleri sunulmuştur. İşaretler şekil 3.1'de de gösterildiği gibi ses kartları aracılığı ile sayısallaştırıldıktan sonra bilgisayar ortamına aktarılmışlardır. Her bir

işarette 8192 örneklem değeri bulunmaktadır. şekilde, kanal gürültüsü, geçici rejim işareti blęesi ve kararlı yayın işareti blęesi bir arada görülmektedir. Vericiye bağlı olarak değişmekle birlikte geçici rejim işareti blęesinin uzunluğu onlarca milisaniye mertebesinde olabilmektedir. Örneğin şekil 3.3'de gösterilen geçici rejim işareti blęesinin uzunluğu yaklaşık olarak 45-50 milisaniye civarındadır.



şekil 3.3. Dördün Bileşenler (I ve Q Kanalları)

Yakalanan iletim işaretleri incelendiğinde geçici rejimi takiben $I(t)$ ve $Q(t)$ işaretlerinin istenilen iletim frekansına (10 KHz) kilitlenmeleri beklenirken bu frekanstan bir miktar kaydıkları gözlenmiştir. Işaretlerin kilitlenme anından sonraki, yani kararlı yayın blęesindeki frekansları hesaplanarak bu kayma miktarları tahmin edilmiş, daha sonra tüm işaretlerdeki frekans kayması aşağıdaki dönüşümler kullanılarak giderilmiştir. Böylece tüm işaretler aynı frekansa (10 KHz) kaydırılmıştır:

$$I_{\text{yeni}}(t) = I(t)\cos(2\pi f_s t) + Q(t)\sin(2\pi f_s t) \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{yeni}}(t) = Q(t)\cos(2\pi f_s t) - I(t)\sin(2\pi f_s t) \quad (3.5)$$

Burada f_s iletim frekansından kayma miktarını göstermekte ve şu şekilde tahmin edilmektedir: Kaydedilen yayınlarda, geçici rejim işaretini takiben kararlı olması beklenen yayın işareti bölümü de yer aldığından, bu bölümden yeteri miktarda alınan örneklem değerini (2048) analiz ederek işaretin spektral güç yoğunluk fonksiyonu bulunmuş ve bu fonksiyonun en yüksek değerine karşılık gelen frekans değeri işaretin ortalama frekans değeri (f_0) olarak kabul edilmiştir. Burada;

$$f_s = f_0 - 10000 \quad (3.6)$$

alınmıştır. İşaretlerin aynı frekans merkezine kaydırılmasının tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sisteminin sınıflandırma başarımının nasıl etkileyeceğini gözlemlemek için yapılan deneyler sonucunda frekans sapmalarının giderilmesi durumunda sınıflandırma başarımının arttığı belirlenmiştir. Bu deneylerin sonuçları bölüm 4.3'de sunulmuştur.

Dördün bileşenler karmaşık bir işaretin gerçel ve sanal parçaları olarak düşünülebilirler. Ayrıca ayırtaç işaretlerinden farklı olarak sadece evre bilgisi değil aynı zamanda genlik bilgisi de içermektedirler. Bu aslında, daha önce giriş bölümünde de belirtildiği gibi, geliştirilen DBS sisteminin başarımının yazılı dizinde yayınlanan diğer sistemlerin başarımından daha iyi olmasının en temel gerekçelerinden birisidir. Matematiksel olarak eş evreli (I) ve dik evreli (Q) dördün bileşenlerin oluşturduğu karmaşık işaret, $S(t)$,

$$S(t) = I(t) + jQ(t) \quad (3.7)$$

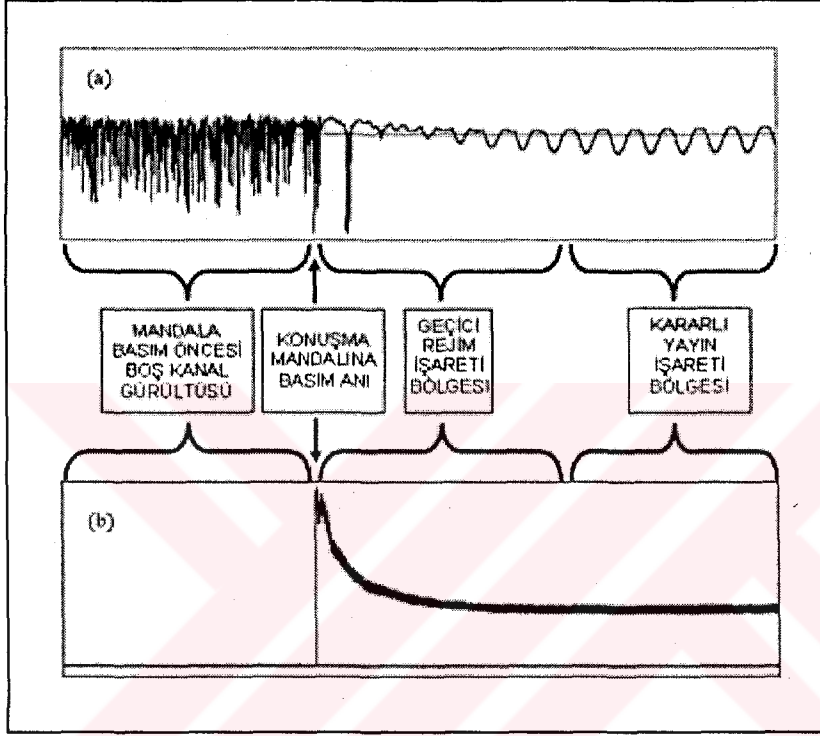
olarak gösterilebilir. $S(t)$ işareti, IF işaretinin **temel banttaki karmaşık zarfı** olarak adlandırılmaktadır.

(3.1), (3.2) ve (3.3) eşitlikleri incelendiğinde, bu karmaşık işaretin anlık genlik değerlerinin IF işaretinin zarf değerlerine eşit olduğu gözükmemektedir. Bir başka deyişle IF işaretinin zarfı,

$$B(t) = |S(t)| = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} \quad (3.8)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Şekil 3.3'de gösterilen I ve Q kanallarından elde edilen anlık genlik değerleri ($B(t)$ işareti) şekil 3.4(b)'de gösterilmiştir.

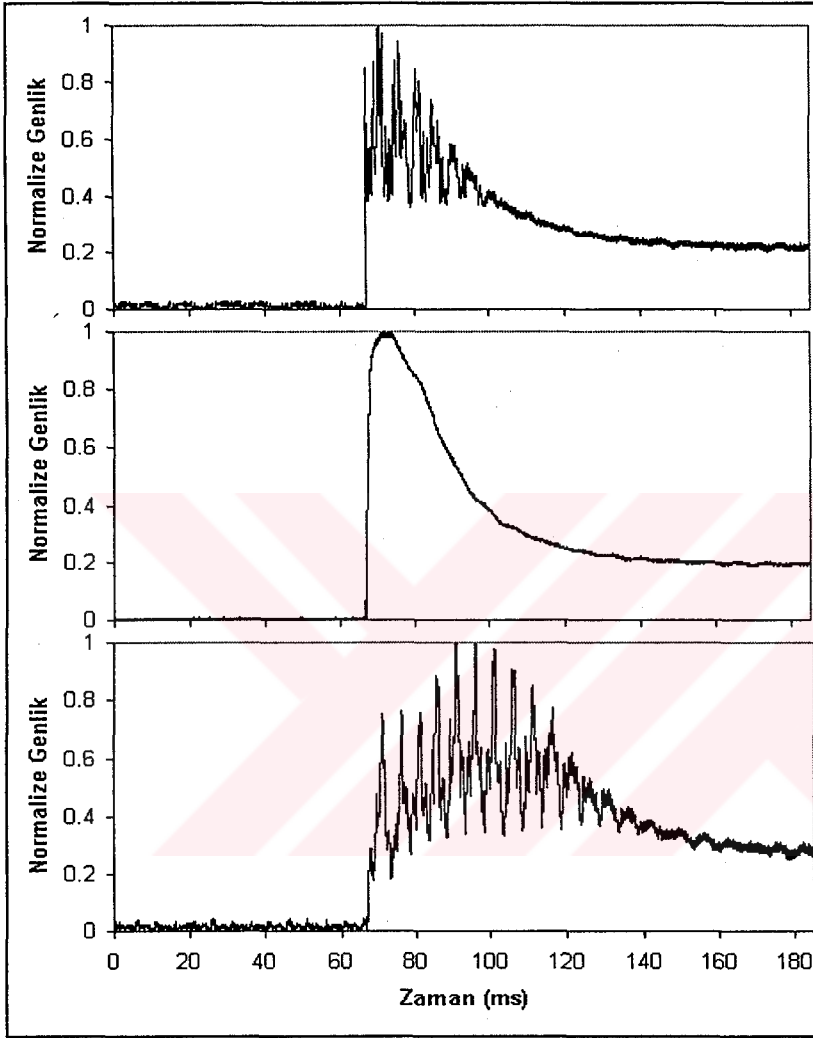
Karşılaştırma amacıyla, tez çalışması kapsamında yapılan deneylerin bir bölümünde, kullanılan alıcının ayırtaç devresi çıkışından elde edilen işaretler de IF işaretleri ile eş zamanlı olarak kaydedilmişlerdir. Bu işaretler de öncelikle DAT kasetlerine kaydedilmiş ve ses kartı aracılığı ile sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmışlardır. Ayırtaç işaretleri ile IF işaretlerinin zarfı arasındaki farkı göstermek amacıyla, Şekil 3.4(b)'de gösterilen B(t) işareti ile eş zamanlı olarak kaydedilen ayırtaç işareti şekil 3.4(a)'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Bir FM vericisinin ürettiği geçici rejim işaretinin genliği
(a) Ayırtaç işareti (b) IF katı işareti

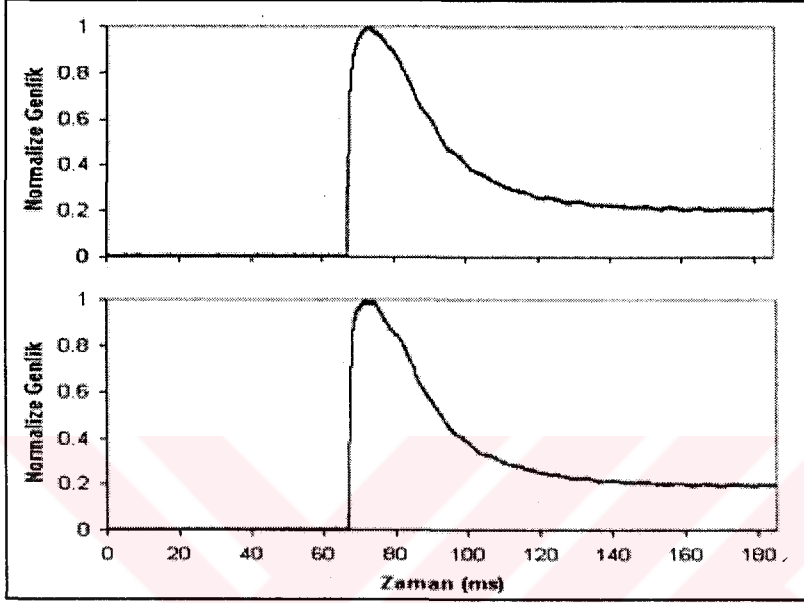
Giriş bölümünde de belirtildiği gibi yazılı dizinde rapor edilen verici kimlik tespit sistemlerinin neredeyse tamamında ayırtaç çıkışından elde edilen işaretler kullanılmış ve bu işaretlerin başlangıç anı farklı yöntemler kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak, şekil 3.4'de de görüldüğü gibi, IF katından elde edilen geçici rejim işaretlerinin başlangıç noktasının tespiti (telsiz mandalına basım anının belirlenmesi) ayırtaç çıkışı işaretlerine

oranla çok daha kolaydır. Bu da tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sisteminin sınıflandırma başarımının ayırtaç tabanlı sistemlerinkine oranla yüksek oluşunun diğer bir temel gerekçesidir. DBS sisteminde IF katından elde edilen geçici rejim işaretlerinin başlangıcının algılanması ve uzunluklarının belirlenmesi hususu bölüm 3.2.1’de ele alınmıştır.



Şekil 3.5. Farklı modele sahip 3 telsizden kaydedilen işaretler

Yukarıda anlatılan işaret kayıt tekniği kullanılarak elde edilen geçici rejim işaretlerinin telsizlerin sınıflandırılmasında kullanılabileceği şekil 3.5’de gösterilen geçici rejim işaretleri incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. Bu şekilde farklı modellerdeki 3 vericiden alınan geçici rejim işaretleri gösterilmektedir. Buradan, geçici rejim işaretlerinin genel yapısının birbirinden oldukça farklı olduğu dolayısıyla bu işaretlerin telsizlerin ayırt edilmesinde kullanılabileceği söylenebilir.



Şekil 3.6. Aynı modele sahip 2 farklı telsizden kaydedilen işaretler

Sadece farklı model telsizlerde değil, aynı marka ve modele sahip fakat seri numaraları farklı telsizlerin sınıflandırılmasında da geçici rejim işaretleri başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak, bu tür durumlarda sınıflandırma probleminin daha zor bir problem olduğu açıktır. Örneğin, şekil 3.6’da verilen aynı marka ve modele sahip fakat seri numaraları farklı 2 vericiye ait geçici rejim işaretleri incelendiğinde bu zorluk daha açık olarak görülmektedir. Çünkü, bu şekilde, vericilere ait geçici rejim işaretleri arasında ilk bakışta fark gözlenememektedir. Buna rağmen, bölüm 3.2.2’de anlatılacak olan modelleme konusunda belirtildiği gibi, bu zor durumlarda bile geçici rejim işaretlerinden uygun öznitelikler çıkarıldığı takdirde aynı model telsizlerin de büyük bir başarımla sınıflandırılması mümkün olabilmektedir.

3.2. Dördün Bileşenler Sisteminin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sisteminde kullanılan algılama yönteminin ayrıntıları bölüm 3.2.1’de; modelleme yöntemi bölüm 3.2.2’de; sınıflandırma yöntemi ise bölüm 3.2.3’de ele alınmıştır. Ayrıca, sistemi gerçekleştirmek üzere tasarlanan test yazılımının ana hatları bölüm 3.2.4’de açıklanmıştır.

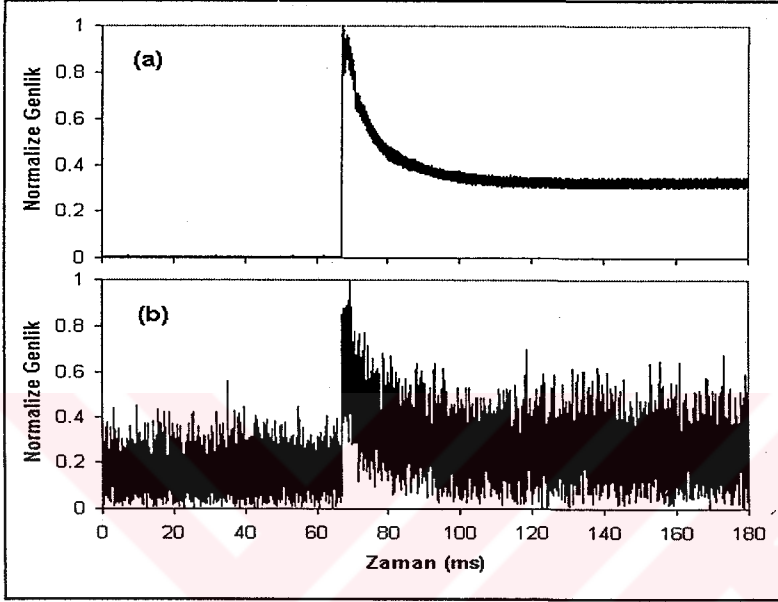
3.2.1. Geçici rejim işaretlerinin algılanması

Geçici rejim işaretlerinin algılanması, 3.1.bölümde de belirtildiği üzere IF işaretleri kullanıldığında ayırtaç işaretlerine kıyasla çok daha kolay olmaktadır. Çünkü ayırtaç çıkışında etkili olan otomatik kazanç kontrolü (AGC) devresi, alıcıda bir işaret algılanmadığında kazancı açmakta ve kanal gürültüsünü yükseltmekte, bu nedenle geçici rejim işaretinin başlangıcını algılamak güçleşmektedir. IF çıkışında AGC kontrolü olmadığından IF işaretleri için bu durum sözkonusu değildir. Tez çalışması olarak ortaya konan DBS sisteminin ayırtaç tabanlı sistemlere olan en önemli üstünlüklerinden birisi de işaret başlangıcını algılama kolaylığıdır. Bu durum daha önce şekil 3.4’de açıkça gösterilmiştir.

Yukarıda bahsedilen algılama kolaylığına rağmen, kaydedilen işaretlerdeki işaret-gürültü oranı (SNR) düştüğünde, örneğin yayın mesafesi arttığında, geçici rejim işaretlerinin kanal gürültüsünden ayrıştırılması IF işaretleri için de güçleşmektedir. Bu durum şekil 3.7’de verilen ve her biri 8192 örneklem uzunluğuna sahip olan işaretler incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. Şekilde, iki farklı geçici rejim işaretinin normalize genlik değerleri, kanal gürültüsü ve kararlı yayın işaretleri ile birlikte gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, SNR değeri 40 dB olduğunda geçici rejim işaretinin kanal gürültüsünden ayrıştırılmasının 5 dB’lik SNR değerine oranla çok daha kolay olacağı açıktır.

Tasarlanan DBS sisteminde, kaydedilen işaretlerin anlık güç değerinde ($B^2(t)$), o ana kadarki hareketli güç ortalamasına göre ani bir değişiklik olduğunda ve bu değişim sonucunda ulaşılan seviye belirli bir zaman süresince korunduğunda geçici rejim işaretinin başladığı varsayılmıştır. Geçici rejim işaretlerinin ne kadar süreceğine deneysel gözlemlere dayalı olarak karar verilmiştir. Örneğin, 1.telsiz setinde yer alan telsizlerden kaydedilen işaretler incelendiğinde, yaklaşık olarak 2000-2200 arasındaki örneklem uzunluklarının (yaklaşık olarak 45-50 ms) geçici rejim işaretlerinin süresine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu telsiz

seti ile yapılan tüm deneylerde bir standart oluşturmak amacıyla örneklem uzunluğu 2048 kabul edilmiştir. Bu örneklem uzunluğu, sistemde kullanılan örnekleme hızı (44100 örneklem/san) dikkate alındığında yaklaşık olarak 46 ms'ye karşılık gelmektedir. 1. telsiz setinde yer alan telsizlerden birine ait olan işaretleri gösteren Şekil 3.7 incelendiğinde 46 ms değerinin geçici rejim işaretinin uzunluğunu göstermede uygun bir değer olduğu gözükmemektedir. Farklı telsiz setleri kullanıldığında, örneklem uzunluklarının farklı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.7. Farklı SNR değerlerine sahip normalize genlik değerleri
 (a) SNR $\cong$ 40 dB
 (b) SNR $\cong$ 5 dB

Yukarıda bahsedilen ve hareketli güç ortalamasının hesaplanmasına dayanan yöntem **güç eşiği algılama** (power threshold detection) yöntemi olarak adlandırılmıştır. Güç eşiği algılama yönteminin matematiksel olarak gösterimi aşağıda sunulmuştur:

Eş (3.5)'de verilen $B(t)$ işaretinin t_i anındaki güç değerinin:

$$B^2(t_i) = I^2(t_i) + Q^2(t_i) \quad (3.9)$$

olacağı açıktır.

Algılama probleminin çözümü için, sabit bir eşik değeri (K) belirlemenin, özellikle de düşük SNR seviyeleri söz konusu olduğunda genel bir çözüm olmayacağı açıktır. Bir başka deyişle,

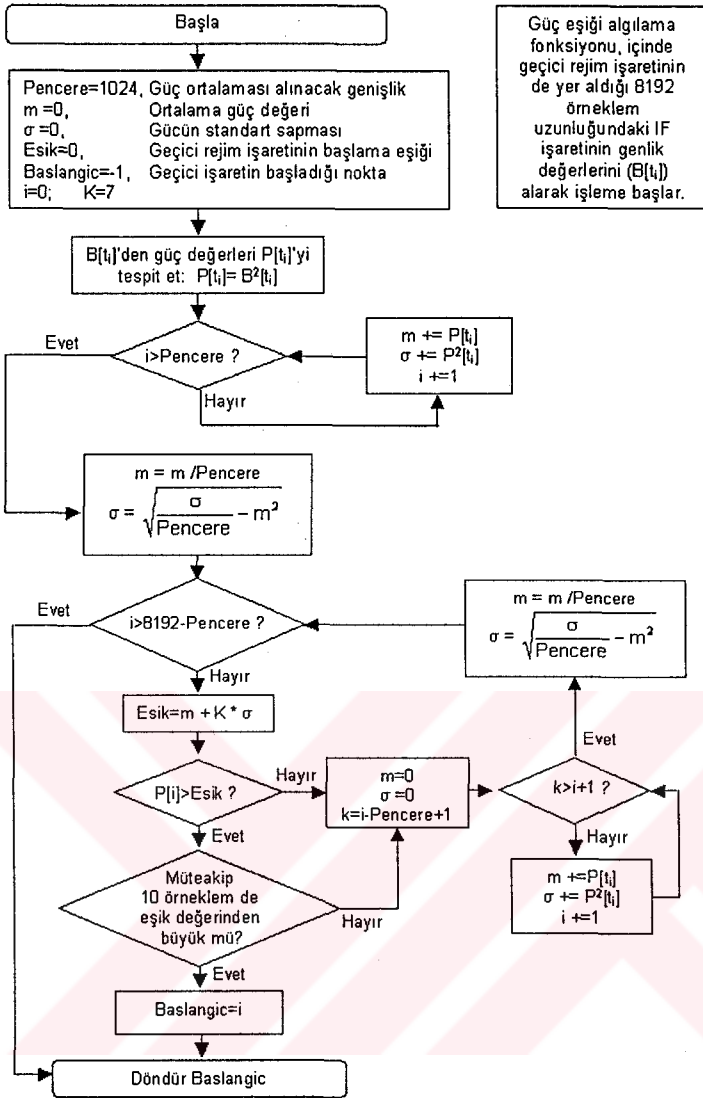
$$B^2(t_i) > K \quad (3.10)$$

kriterini sağlayan ilk i anı, geçici rejim işaretinin başlama noktası olarak kabul edildiğinde, sabit K değeri ne olursa olsun düşük SNR seviyelerinde yanlış algılama olasılığının arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yerine, deneme yanılmaya dayalı sezgisel (heuristic) bir yöntem geliştirilmiş ve

$$B^2(t_i) > m + K\sigma \quad (3.11)$$

kriteri kullanılmıştır. Burada, m , anlık güç değerlerinin hareketli ortalaması, σ ise anlık güç değerlerinin hareketli standart sapmasıdır.

m ve σ değerleri şu şekilde belirlenmiştir: Kaydedilen işaretlerin ilk örneklem değerinden başlayan ve istatistiksel olarak anlamlı sayılabilecek miktarda örneklem uzunluğuna (1024) sahip bir pencere içerisindeki tüm anlık güç değerlerinin ortalama ve standart sapması bulunmuş; pencerenin bitiminden itibaren ilk sıradaki anlık güç değeri eş.3.11'de verilen kriteri sağlamadığı takdirde pencerenin başlama noktası bir birim ileri kaydırılarak ortalama ve standart sapma değerleri yeniden hesaplanmıştır. Güç eşiği algılama kriterine uygun bir örneklem değeri bulununcaya kadar bu işleme devam edilmiştir. K değerini SNR değeri yüksek işaretlerde 5-7 arasında seçmenin, SNR değeri düşük işaretlerde ise daha yüksek K değerlerinin uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, güç eşiği algılama kriterine uygun ilk örneklem değeri bulununca, hemen o noktada geçici rejim işaretinin başladığı kabul edilmemiş, takip eden 10 örneklem değeri için de hareketli güç ortalamasının belirlenen eşik değerinin üzerinde kalması şartı aranmıştır. Bu son işlemin şart koşulmasının nedeni, şekil 3.7(b)'de de görüleceği üzere, özellikle SNR değeri düşük işaretlerde, yanlış tetikleme noktası olarak adlandırılabilir çok kısa süreli ani yükseliş noktalarının bulunmasıdır. Güç eşiği algılama algoritmasını yazılım ortamında (Visual C++) gerçekleştirirken kullanılan fonksiyonun akış şeması şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Güç eşiği algılama fonksiyonunun akış şeması

3.2.2. Geçici rejim işaretlerinin modellenmesi

Geçici rejim işaretlerinin başlangıcı ve süresi belirlendikten sonra, daha etkin bir gösterimin elde edilmesi ve veri azaltma amacıyla, bu işaretlerin modellenmesi gerekmektedir. Sınıflandırma başarımı açısından da geçici rejim işaretlerinin modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü, yapılan denemeler sonucunda modelleme yapmadan doğrudan işaretlere ait ham veriler yani vericilerin ürettiği işaretlerin genlik değerleri kullanıldığında sınıflandırma başarımının çok düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Genel olarak deneysel verilerin modellenmesindeki amaç bu verilere ait anlamlı özniteliklerin çıkartılmasıdır. Bu çalışmada, özniteliklerin çıkartılması hususu, dördün bileşenlerde var olan genlik ve evre bilgilerinin aynı anda kullanılmasına dayandırılmıştır. Bu tercihin yapılmasındaki en önemli gerekçe, vericilerin evre ve frekans tepkelerinin çokluyol iletimi ve yol kaybı etkilerinin bazı şekillerine karşı daha az duyarlı oluşudur.

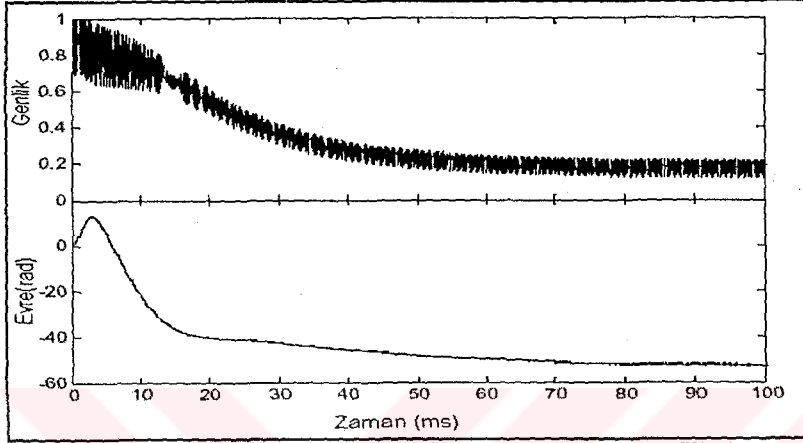
Aşağıda DBS sisteminde kullanılan modelleme tekniğinin kavramsal alt yapısı ve modelleme aşamasında hesaplanan öznitelik değerlerinin fiziksel anlamı tartışılmaktadır:

Bir geçici rejim işaretine ait dördün bileşenlerin anlık değerleri, bir başka deyişle karmaşık $S(t)$ işaretinin anlık değerleri, karmaşık sayılar düzleminde birer nokta veya bu noktayı merkeze birleştiren birer vektör olarak gösterildiğinde, zaman ilerledikçe, bu vektörün hareket ettiği görülecektir. Vektörün konumunu karmaşık işaretin zaman içerisinde değişen genliği ve evresi belirleyecektir. Örneğin, birim genlik değerine sahip ve frekansı değişmeyen bir işaret için bu vektörün birim çember üzerinde sabit bir hızla hareket edeceği açıktır.

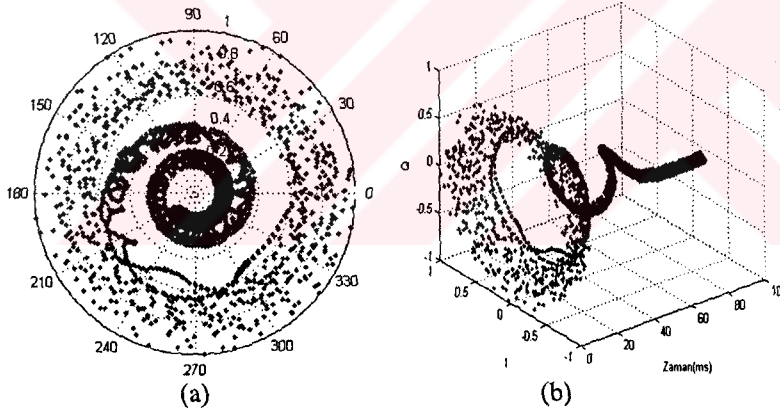
Deneylerde kullanılan bir telsize ait geçici rejim işaretinin zamanla değişen genlik ve evre profilleri şekil 3.9'da, genlik ve evre değerlerini temsil eden vektörlerin (vektör uç noktalarının) oluşturduğu gezinge yapısı ise şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Şekil 3.11'de 4 ayrı telsize ait gezinge yapıları gösterilmiştir. Bu şekil dikkatle incelendiğinde, farklı vericilere ait gezinge yapılarının birbirinden farklı olduğu, dolayısıyla da genlik ve evre değerlerinin birlikte oluşturduğu bu gezinge yapılarının IF işaretlerinin karakterize edilmesinde (telsizlerin parmak izlerinin çıkarılmasında) kullanılabileceği söylenebilir. Ayrıca, aynı model vericilerin gezinge yapılarının birbirine benzeyebileceği, dolayısıyla

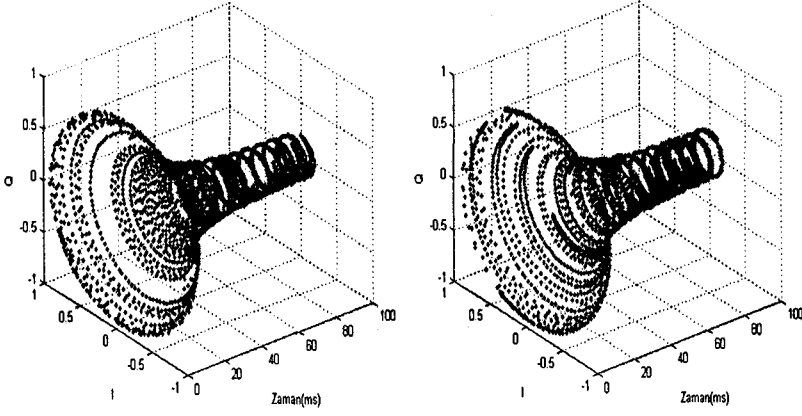
aynı model vericilerin doğru olarak sınıflandırılmasının, farklı model vericilere göre daha zor olacağı burada da gözükmemektedir. Şekil 3.11(a)'da gezege yapıları verilen aynı modeldeki telsizlerin genlik profilleri daha önce şekil 3.6'da verilmiştir. Bu iki şekil karşılaştırıldığında sadece genlik değerlerini kullanarak sınıflandırma yapmak yerine, genlik ve evre bilgisini aynı anda kullanarak sınıflandırma yapmanın daha iyi sonuç vereceği ortaya çıkmaktadır. Çünkü, şekil 3.6'da profilleri birbirinden ayırt etmek çok zor olmasına rağmen, şekil 3.11(a)'daki gezegeleler birbirinden gözle bile ayırt edilebilmektedir.



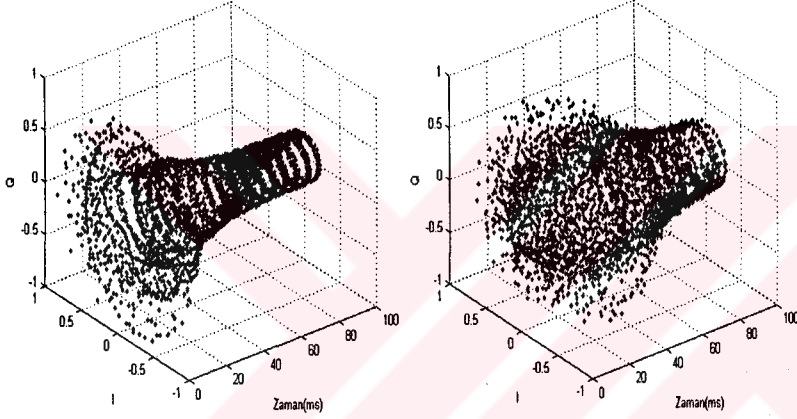
Şekil 3.9. Bir geçici rejim işaretinin genlik ve evre profilleri



Şekil 3.10 (a) Bir geçici rejim işaretinin genlik ve evre gezegelesi (2 boyutlu)
(b) Gezege yapısının zamana göre değişimi



(a)



(b)

Şekil 3.11. 4 Farklı vericiye ait gezinge yapıları
(a) Aynı model vericiler (b) Farklı model vericiler

Bahsedilen gezinge yapılarından anlamlı özneliliklerin çıkartılmasında daha önce Bölüm 2.1’de anlatılan çoklu değişinti kırılca boyutu hesabı esas alınmıştır. Ancak, Bölüm 2.1’de açıklanan değişinti kırılca boyutu hesabı anlık değerleri gerçek sayı olan bir zaman serisi üzerinde uygulanabilmektedir. Burada ise anlık değerleri karmaşık sayı olan geçici

rejim işaretleri söz konudur. Karmaşık geçici rejim işaretlerinin zamana göre değişen hızları belirlendiğinde, değişinti kırılca boyutu için gerekli gerçek değerli bir zaman serisinin elde edileceği değerlendirilmiş ve öznitelikler bu hız değişim değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Modellemenin matematiksel ayrıntıları aşağıda sunulmuştur:

K örneklem değerine sahip (sınırlı süreli) ve dördün bileşenlerden oluşan bir karmaşık geçici rejim işaretinin t_i anındaki değerini

$$S(t_i) = I(t_i) + jQ(t_i) \quad (3.12)$$

ifadesi ile gösterirsek, bu karmaşık işaretin Δt zaman aralığındaki ortalama hızı:

$$V_{\Delta t} = \frac{\Delta S_{\Delta t}}{\Delta t} \quad (3.13)$$

ile verilir. Burada;

$$\Delta t = |t_i - t_{i-n}| \quad (3.14)$$

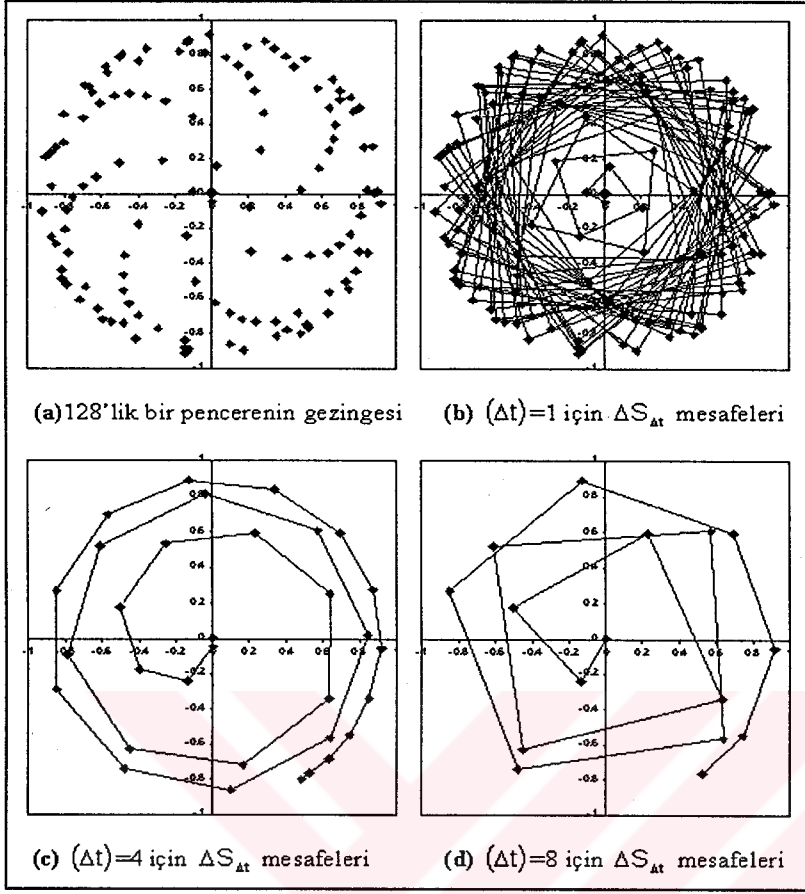
ve

$$\Delta S_{\Delta t} = |S(t_i) - S(t_{i-n})| = \sqrt{(I(t_i) - I(t_{i-n}))^2 + (Q(t_i) - Q(t_{i-n}))^2} \quad (3.15)$$

olarak tanımlıdır.

Burada $\Delta S_{\Delta t}$ değeri karmaşık işaretin n anındaki değerini temsil eden vektörün Δt süresince yaptığı yer değişimini göstermektedir. Dolayısı ile $V_{\Delta t}$ vektörün hızı olup işaretin anlık frekansı ile doğrudan ilişkilidir.

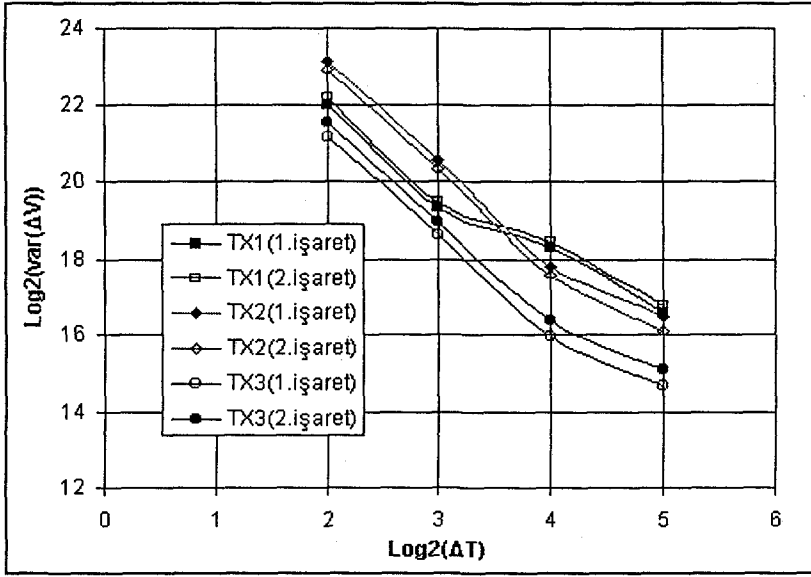
Şekil 3.12’de 3 farklı Δt değerine karşılık gelen $\Delta S_{\Delta t}$ mesafeleri bir geçici rejim işaretinin 128’lik bir penceresine ait gezinge yapısı üzerinde gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, geçici rejim işaretlerine ait gezinge yapılarının da kırılca eleman özelliği gösterdiği söylenebilir. Çünkü, gezingelere farklı ölçeklerde (farklı Δt değerleri kullanılarak) bakıldığında bir kendi kendine benzerlik yapısı gözlemlenmektedir.



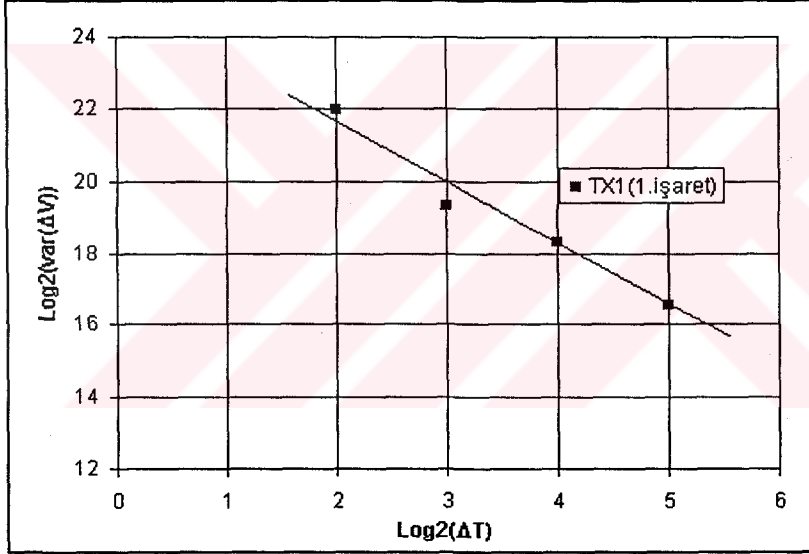
Şekil 3.12. Farklı ölçekler için $\Delta S_{\Delta t}$ mesafelerinin gezege üzerindeki gösterimi

Çizelge 3.3. $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) - \log_2(\Delta t)$ değerleri

Ölçek No	Δt	$\log_2(\Delta t)$	$\log_2(\text{var}(V_{\Delta t}))$					
			TX1		TX2		TX3	
			1. işaret	2. işaret	1. işaret	2. işaret	1. işaret	2. işaret
1	4	2	21.99	22.18	23.14	22.88	21.17	21.52
2	8	3	19.32	19.44	20.54	20.31	18.60	18.95
3	16	4	18.32	18.43	17.77	17.56	15.97	16.37
4	32	5	16.53	16.73	16.45	16.10	14.65	15.07



(a) 3 telsiz 2'şer işaret



(b) $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) - \log_2(\Delta t)$ değerleri arasındaki doğrusala yakın ilişki

Şekil 3.13. $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) - \log_2(\Delta t)$ ilişkisi

Şekil 3.12'den de görüleceği üzere, herhangi bir geçici rejim işaretine ait bir pencerenin tüm değerleri dikkate alındığında, aynı ölçek (sabit bir Δt değeri) için bile tek bir değişim hızından bahsedilemeyeceği ve işaret boyunca birbirinden farklı değişim hızları elde edileceği açıktır. Dolayısıyla istatistiksel bir yaklaşımla sabit bir Δt değeri için değişim hızının varyansı bir kriter olarak alınabilir. Ancak, ölçek (Δt değeri) değiştiğinde varyans da değişecektir. Farklı ölçeklere karşılık gelen varyans değerleri hesaplanmak suretiyle değişim hızı $V_{\Delta t}$ ile Δt arasında bir bağıntı kurulabilir. Bu husus bir örnek yardımıyla açıklanacaktır: 1. telsiz setinde yer alan TX1, TX2 ve TX3 telsizlerine ait ikişer geçici rejim işaretinin 128 örneklem uzunluğundaki ilk pencerelerinden toplam 4 farklı ölçek için hesaplanan varyans değerleri çizelge 3.3'de logaritmik olarak sunulmuştur.

Bu çizelgeden, farklı Δt değerleri için farklı varyans değerlerinin ortaya çıktığı ancak aynı telsizden kaydedilen iki işaret için varyans değerlerinin birbirine çok yakın olduğu dolayısıyla bu varyans bilgisinin bir öznitelik değeri olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

İncelenmekte olan herhangi bir pencere için tek bir öznitelik değeri tespit edebilmek maksadıyla hesaplanan varyans değerlerini kullanarak bölüm 2.1'dekine benzer bir yaklaşımla bir kestirim yapılabileceği değerlendirilmektedir. Bu husus, çizelge 3.3'deki değerler şekil 3.13(a)'daki gibi bir grafiğe aktarıldığında daha açık bir şekilde gözükmemektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere aynı telsize ait işaretlerden elde edilen varyans değerlerinin grafikleri birbirine yakın çıkmaktadır. Şayet, herhangi bir telsize ait işaretler için ortak bir tanımlayıcı değer belirlenebilirse, bu değer o telsize ait bir öznitelik değeri olarak kabul edilebileceği söylenebilir.

Şekil 3.13(a) dikkatle incelendiğinde $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t}))$ ile $\log_2(\Delta t)$ değerleri arasında doğrusala yakın bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle, şekil 3.13(b)'de TX1 telsizine ait 1. işaret için hesaplanan değerler üzerinde de gösterildiği gibi, bu değerlerle eşleştirilebilecek bir doğrunun eğimi incelenmekte olan pencereye ait bir öznitelik değeri olarak kabul edilebilir. Bir başka deyişle, eş.2.2'dekine benzer bir şekilde, değişim hızının varyansı ile kabul edilen zaman ilerlemesi Δt arasındaki bağıntının herhangi bir doğrunun denkleminde yola çıkarak şu şekilde olduğu varsayılabilir:

$$\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) \cong m \cdot \log_2(\Delta t) + c \quad \text{veya} \quad (3.16)$$

$$\text{var}(V_{\Delta t}) \propto \Delta t^m \quad (3.17)$$

Burada c bir sabit sayıya, m ise varyans değerleriyle eşleştirilecek olan doğrunun eğimine karşılık gelmektedir. Ayrıca, m ile daha önce bölüm 2.1.'de belirtilen "Hurst katsayısı" H arasında $m=2H$ bağıntısının olduğu söylenebilir. m değerini kestirmek amacıyla "en küçük kareler" yöntemini kullanan bir doğrusal regresyon algoritması (linear least squares regression) kullanılabilir. Buna göre, bir ölçek için $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) - \log_2(\Delta t)$ çifti;

$$(x_i, y_i) = (\log_2(\Delta t_i), \log_2(\text{Var}(V_{\Delta t_i}))) \quad (3.18)$$

olarak gösterilirse,

$$m = 2H = \frac{R \sum_{i=1}^R x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^R x_i \right) \left(\sum_{i=1}^R y_i \right)}{R \sum_{i=1}^R x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^R x_i \right)^2} \quad (3.19)$$

eşitliğinden yararlanarak m (eğim) değerini kestirmek mümkündür. Burada R, kullanılan toplam ölçek sayısını göstermektedir.

Ölçek sayısı ve her ölçekte kullanılacak Δt değeri aslında optimize edilmesi gereken sistem parametreleridir. Yapılan deneyler sonucunda, yukarıdaki örnekte de kullanıldığı gibi ölçek sayısı 4, her ölçekte kullanılan Δt değerleri ise sırasıyla 4,8,16 ve 32 olarak alınmıştır. Bu hususda çok farklı tercihlerin yapılabileceği de açıktır. R ve Δt tercihlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan deneylerin sonuçları bölüm 4.1'de sunulmuştur.

Eş.3.19'da belirtilen kestirim yöntemi kullanıldığında şekil 3.13(b)'deki değerlerle eşleştirilebilecek doğrunun eğimi -1.739 olarak hesaplanmaktadır. Farklı pencereler ve farklı işaretler için yapılan tüm denemelerde, eğim -1 ile -2 arasında çıkmıştır. Bulunan eğimi doğrudan bir öznetelik değeri olarak kullanmak mümkün olmakla birlikte, pencereye ait değişinti kırılca boyutu D_σ 'ın hesaplanması eş. 2.7'dekine benzer bir yaklaşımla;

$$D_e = E + 1 + H \quad (3.20)$$

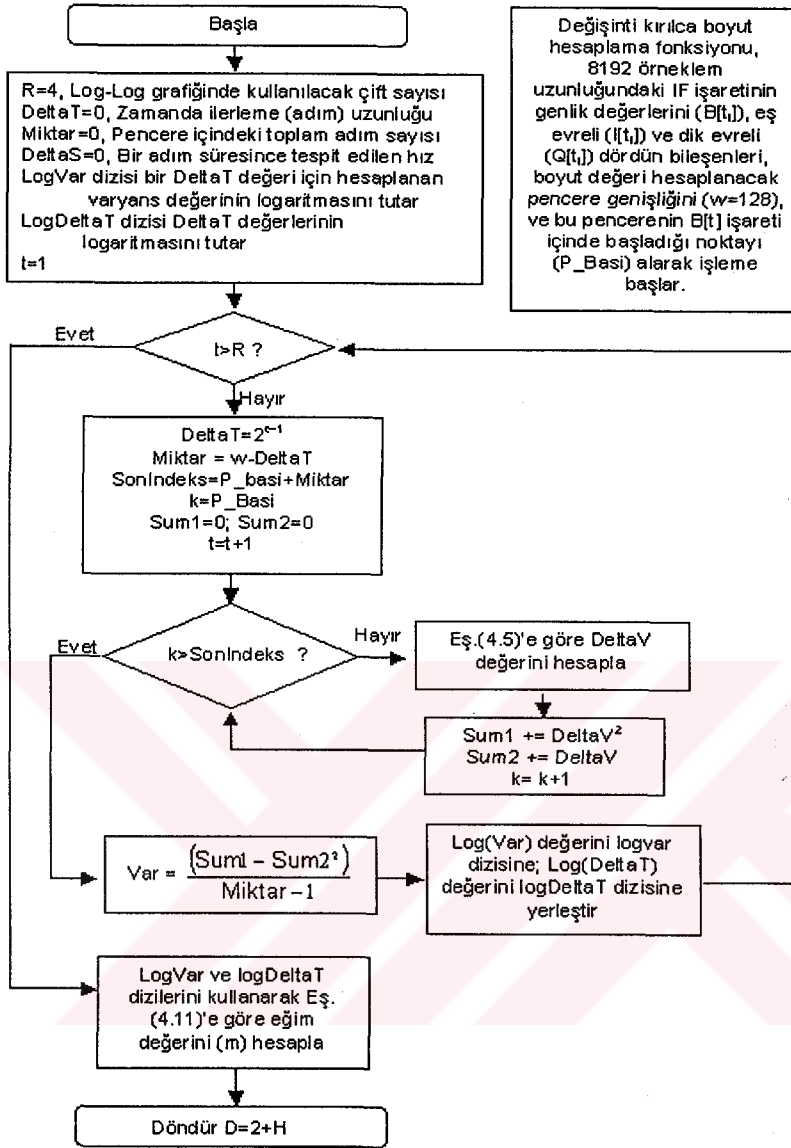
ifadesinden elde edilmiştir. Burada, E “euclid boyutu” (embedding euclidean dimension) değerine, bu uygulamada 1’e, eşit alınmaktadır. Bu dönüşümdeki amaç, daha önce Bölüm 2.1’de bahsedilen boyut tartışmasına uygun olarak elde edilen kırılca boyut değerinin 1 ile 2 arasında çıkmasını sağlamaktır. Bunun dışında, bu dönüşümün ileride bahsedilecek olan sınıflandırma işlemlerindeki başarımlar açısından hiçbir etkisi yoktur. Sonuç olarak, eş. 3.20 kullanıldığında, örnek olarak incelenmekte olan pencereye ait değişinti kırılca boyutu, D_e , 1.131 olarak hesaplanmaktadır. Bir pencereye ait öznitelik değerinin hesaplanmasını yazılım ortamında (Visual C++) gerçekleştirirken kullanılan akış şeması şekil 3.14’de sunulmuştur.

Geçici rejim işaretleri zamanla değişen karakteristik özellikler taşıdıklarından, bir geçici rejim işaretinin modellenmesi amacıyla örneklem değerlerinin tamamına ait tek bir kırılca boyut değeri hesaplamak, bir başka deyişle, istatistiksel anlamda oldukça uzun sayılabilecek genişlikteki bir işareti sadece 1 adet kırılca boyut değeri ile modellemek pek akılcı değildir. Bunun yerine, işareten alınan ardışık bölümlerin (pencerelerin) kırılca boyutları yukarıda belirtilen yöntemle hesaplanmış ve hesaplanan bütün kırılca boyut değerlerini içeren bir “çoklu değişinti kırılca boyutu modeli” (multifractal model) elde edilmiştir. Elde edilen bu model aynı zamanda “öznitelik vektörü” olarak da adlandırılmıştır. Ayrıca, her bir öznitelik vektörü Schouten vd (1994) tarafından da önerildiği gibi, ortalaması 0, standart sapması 1 olacak şekilde normalize edilmiştir.

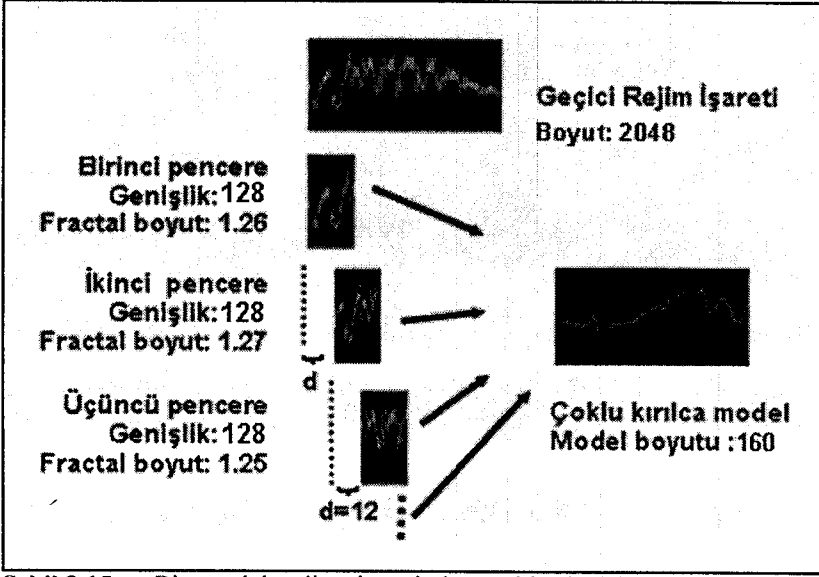
Öznitelik vektörünün boyutu (#F), geçici rejim işaretinin örneklem boyutuna (N), ardışık pencerelerin genişliğine (w) ve bir sonraki pencereye geçmek için kullanılan kayma miktarına (adım uzunluğuna) (d) bağlıdır ve

$$\#F = \frac{N - w}{d} \quad (3.21)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Örneğin, örneklem boyutu 2048 olan bir geçici rejim işareti, pencere genişliği 128, adım uzunluğu ise 12 olarak seçildiğinde, 160 boyutlu bir öznitelik vektörü ile modellenenilmektedir. Şekil 3.15’de 2048 adet örneklem değerine sahip bir geçici rejim işaretine ait anlık genlik değerleri, ve buna karşılık gelen 160 elemanlı çoklu değişinti kırılca boyutu modelinin elde edilmesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Değişinti kırılca boyut hesaplama fonksiyonunun akış şeması



Şekil 3.15. Bir geçici rejim işaretinden çoklu-değişinti kırılca boyutu modelinin elde edilmesi

Şekil 3.15'den modellemenin hem genelleme hem de veri azaltma işlevini yerine getirdiği gözükmemektedir.

Geçici rejim işaretlerinin modellenmesinin yukarıda belirtilen ve $S(t)$ 'deki değişimin hızını esas alan bir başka deyişle karmaşık uzaklık hesabına ($\Delta S_{\Delta t}$) dayanan modelleme tekniğinin yanı sıra eş.3.9'da belirtilen $B(t)$ işaretini yani IF katından elde edilen geçici rejim işaretlerinin sadece genliğini kullanarak da yapılabileceği değerlendirilmiştir. Bu takdirde sadece genlik değerleri üzerinde çalışan Payal (1995) ve Abdulla (1996)'nın yaptıklarına benzer bir teknik ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, modelleme tekniği bölüm 2.1'de özetlenen şekilde yapılmakta ve eş.2.5'de belirtilen $\Delta B_{\Delta t}$ ifadesi,

$$\Delta B_{\Delta t} = B[t_i] - B[t_{i-n}] = \sqrt{I^2(t_i) + Q^2(t_i)} - \sqrt{I^2(t_{i-n}) + Q^2(t_{i-n})} \quad (3.22)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. $\Delta B_{\Delta t}$ değerinin genliğe dayalı bir uzaklık hesabı olduğu gözükmemektedir. Karmaşık uzaklık hesap yöntemi ile genliğe dayalı uzaklık hesap yönteminin sistemin sınıflandırma başarımı üzerindeki

etkisi tez çalışmaları kapsamında incelenmiş ve modellemede $S(t)$ 'deki değişimin hızını esas alan karmaşık uzaklık hesap yöntemi kullanıldığında daha iyi sınıflandırma performansı elde edildiği gözlemlenmiştir. Çünkü, eş. 3.22'yi kullanarak elde edilen öznelilikler Δt aralıklı karmaşık işaret değerlerinin genlikleri arasındaki farkı, eş. 3.15'i kullanarak elde edilen öznelilikler ise Δt aralıklı karmaşık işaret değerleri arasındaki farkın genliği kullanılarak elde edilmektedir. Başka bir deyişle ilk yöntemde işaretin sadece Δt aralıklarındaki genlik değişimleri dikkate alınırken ikinci yöntemde evre değişimleri de göz önüne alınmaktadır. İki yöntemin karşılaştırılmasına yönelik deney sonuçları bölüm 4.4'de sunulmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında, karşılaştırma amaçlı olarak ayırtaç tabanlı sistemlerin bir örneği olarak tasarlanan ATS sisteminde de, $B(t)$ işareti, şekil 3.4 (a)'da gösterildiği gibi bir anlık genlik işareti olup alıcıların ayırtaç çıkışından elde edilen ve karmaşık olmayan bir işareti göstermektedir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi, ayırtaç işaretlerinin, IF işaretlerindeki evre bilgisine karşılık geldiği unutulmamalıdır. Bu sistemde kullanılan modelleme tekniği de bölüm 2.1'de özetlenen şekilde yapılmaktadır. Tez çalışmaları kapsamında geliştirilen DBS sistemi ile ATS sisteminin farklı açılardan karşılaştırılması bölüm 4.7'de sunulmuştur.

3.2.3. Geçici rejim işaretlerinin sınıflandırılması

Tasarlanan DBS sisteminde kaynağı bilinmeyen geçici rejim işaretlerinin sınıflandırılması olasılıklı yapay sinir ağı (PNN) aracılığı ile yapılmaktadır. PNN sınıflar arasındaki en karmaşık ilişkileri dahi öğrenme kapasitesine sahip, genelleme yeteneği yüksek bir sınıflandırıcıdır. PNN'de eğitim kümesine dahil edilmiş hatalı örnekler tolere edilebilir ve istatistiksel özellikleri zamanla değişen değişkenler söz konusu olduğunda eğitim kümesi elemanları yeni elemanlarla değiştirilebilir (Specht 1988, Specht 1990). Hem bu olumlu özelliklere hem de geri yayılım algoritması kullanan ileri beslemeli yapay sinir ağlarına göre bazı üstünlüklere sahip olduğu için bu çalışmada sınıflandırıcı olarak PNN seçilmiştir. Bu üstünlükleri Üreten (2000) de özetlemektedir.

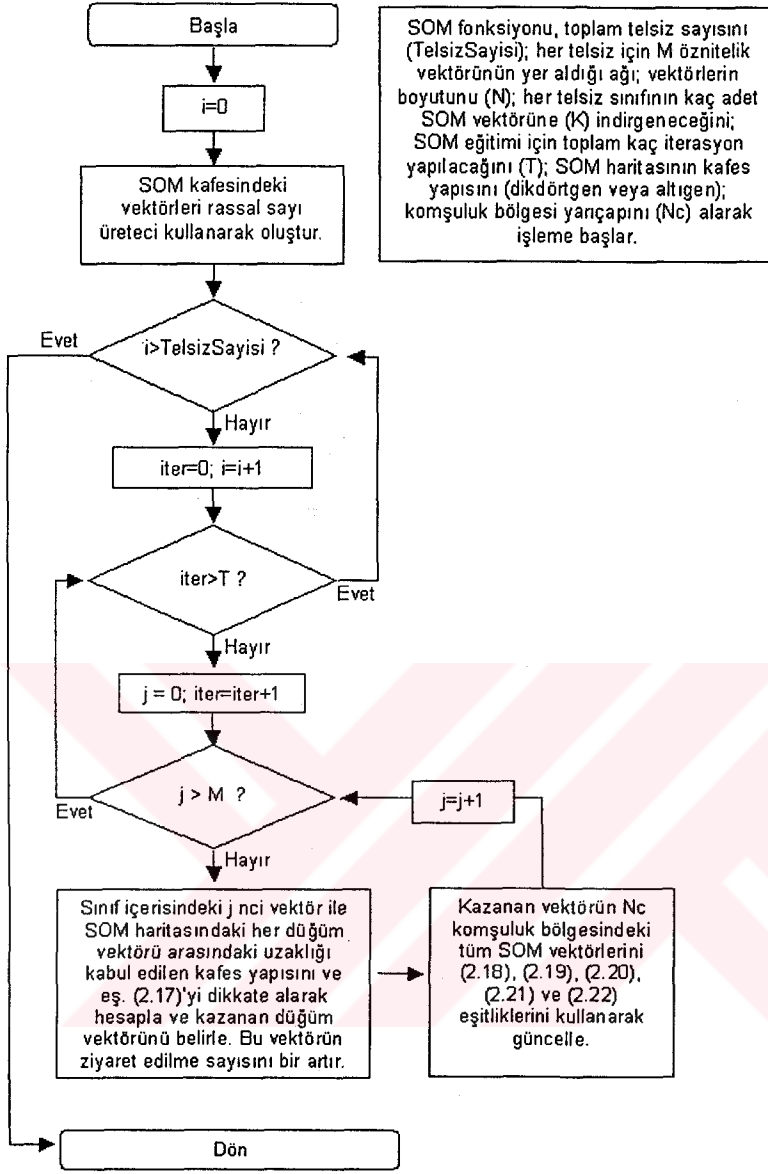
Her bir vericiye ait geçici rejim işaretlerinden bölüm 3.2.2'de açıklanan modelleme yöntemi ile elde edilen öznelilik vektörleri, PNN'nin eğitim kümesine yerleştirilmektedir. İşaretlerin sağlıklı sınıflandırılabilmesi için, önce, eğitim kümesi bölüm 2.3'de anlatıldığı gibi eğitilmektedir. Daha sonra, bilinmeyen bir geçici rejim işareti ile bir vericiye (sınıfa) ait bilinen tüm geçici rejim işaretleri arasındaki aktivasyon değerleri hesaplanmaktadır.

Bu işlem tüm sınıflar için ayrı ayrı yapılmakta ve aktivasyon değeri en yüksek olan sınıf, bilinmeyen geçici rejim işaretinin eşleştirileceği en muhtemel telsizi göstermektedir. Eğer tüm sınıflar için bulunan aktivasyon değerleri daha önceden belirlenen bir eşik değerini aşamamış ise test edilen geçici rejim işareti “bilinmeyen” olarak adlandırılmaktadır. Bu eşik değeri yapılan çalışmalarda deneysel olarak sistem performansını en iyi tutacak şekilde belirlenmiştir.

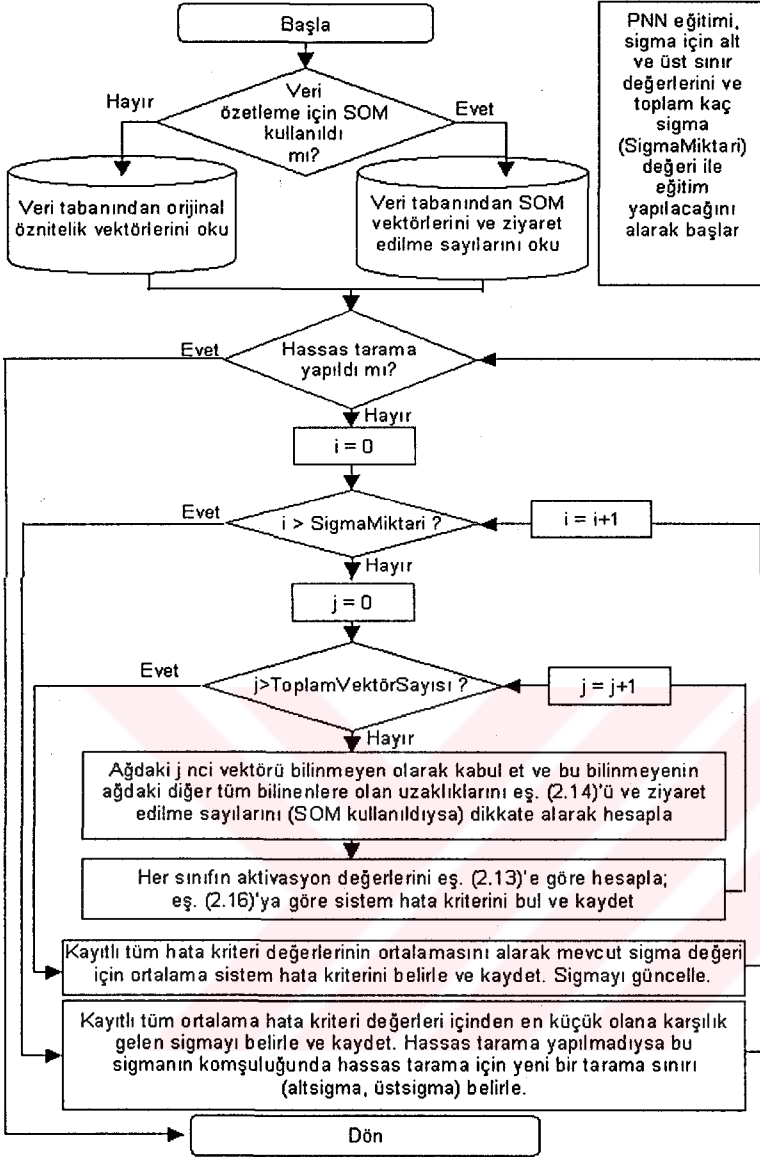
PNN eğitiminde genellemeyi elde edebilmek amacıyla bazı durumlarda eğitim kümesine dahil edilen öznitelik vektörü sayısının artırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu durum, gerçekleştirilen sistemin hafıza gereksinimi ile eğitim ve sınıflandırma için gerekli işlem zamanının artmasına neden olmuştur. Bu etkiyi en aza indirmek için veri azaltma amacıyla PNN öncesinde bölüm 2.3’de anlatılan SOM yöntemi kullanılmıştır. SOM yöntemi, özet olarak, eğitim, sınıflandırma ve hafıza gereksinimlerini iyileştirmekte, ancak veri küçültme oranı fazla seçildiğinde performans kaybına neden olabilmektedir. Bu nedenle, geliştirilen DBS sistemi bu yöntemi sadece kurulan ağdaki öznitelik vektörü sayısı daha önceden belirlenen bir sayıdan fazla olduğu zaman kullanmaktadır.

DBS sisteminde SOM yöntemi uygulanırken, SOM eğitimi esnasında haritada yer alan düğüm vektörlerinin her birisi için **ziyaret edilme sayısı** da hesaplanmıştır. Ziyaret edilme sayısı bir SOM eğitimi süresince herhangi bir düğüm vektörünün toplam kaç kez kazanan vektör olduğunu gösterir. Bu sayı o düğüm vektörünün haritadaki ağırlığının bir ölçüsüdür. Yani, herhangi bir düğüm vektörü diğer vektörlere göre daha çok ziyaret edilmişse, bu vektör başlangıçtaki giriş vektörlerini daha çok temsil etme özelliğine sahiptir. PNN’de, bilinmeyen bir öznitelik vektörü ile bir telsizin eğitim kümesinde (SOM haritasında) yer alan vektörleri arasındaki aktivasyon değeri hesaplanırken, vektörlerin ziyaret edilme sayısı bir ağırlık katsayısı olarak kullanılmıştır. Bu sayede, çok ziyaret edilmiş olan bir vektörün katkısının diğerlerine göre daha fazla olması sağlanmış ve ziyaret edilme sayılarının kullanılması neticesinde sınıflandırma başarımının arttığı gözlemlenmiştir. SOM yönteminin kullanılması neticesinde elde edilen deneysel sonuçlar bölüm 4.5’de sunulmuştur.

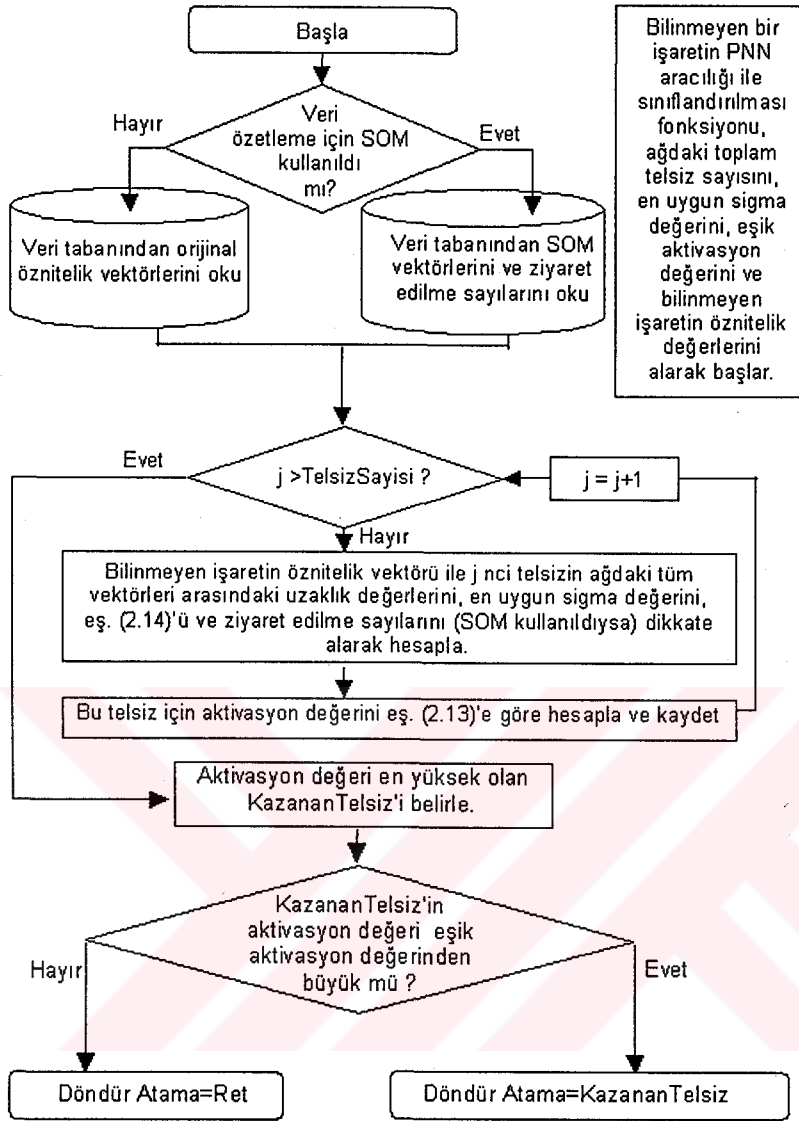
Yazılım ortamında (Visual C++) SOM eğitimini, PNN eğitimini ve sınıflandırmayı gerçekleştirmek üzere kullanılan fonksiyonların akış şemaları sırasıyla şekil 3.16, şekil 3.17 ve şekil 3.18’de sunulmuştur.



Şekil 3.16. SOM eğitimi gerçekleştirirken kullanılan fonksiyonun akış şeması



Şekil 3.17. PNN eğitimi gerçekleştirirken kullanılan fonksiyonun akış şeması



Şekil 3.18. Bilinmeyen işaretin sınıflandırılmasında kullanılan fonksiyonun akış şeması

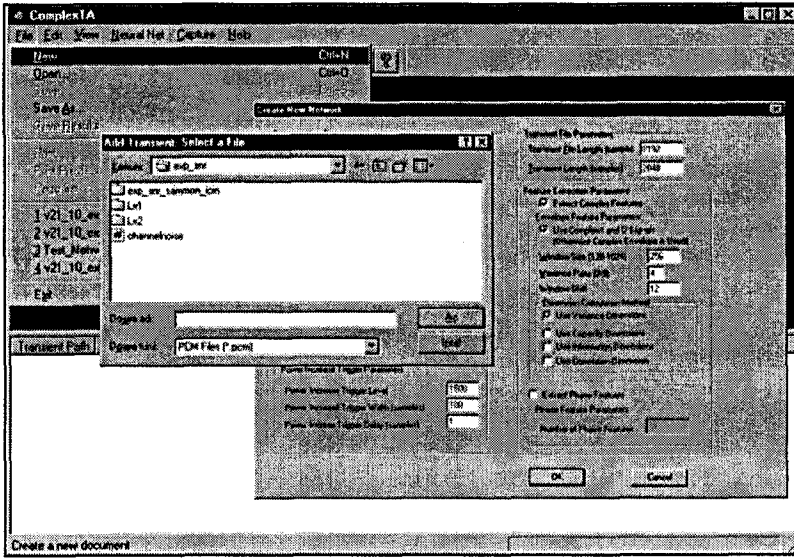
3.2.4. Test Yazılımı

DBS sisteminde yer alan algılama, modelleme ve sınıflandırma ünitelerinin gerçekleştirilmesi amacıyla bir test yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım alternatif yöntemlerin test edilebilmesi, gerektiğinde sisteme müdahale edilebilmesi ve ilgili parametrelerin kolay ve hızlı bir biçimde güncellenerek sistem üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi amacıyla, kullanımı kolay ve anlaşılır arayüzlere sahip olacak şekilde VISUAL C++ ortamında tasarlanmıştır. Yazılım hakkında genel bir fikir verebilmek amacıyla tasarlanan arayüzlerden bazıları aşağıda tanıtılmıştır.

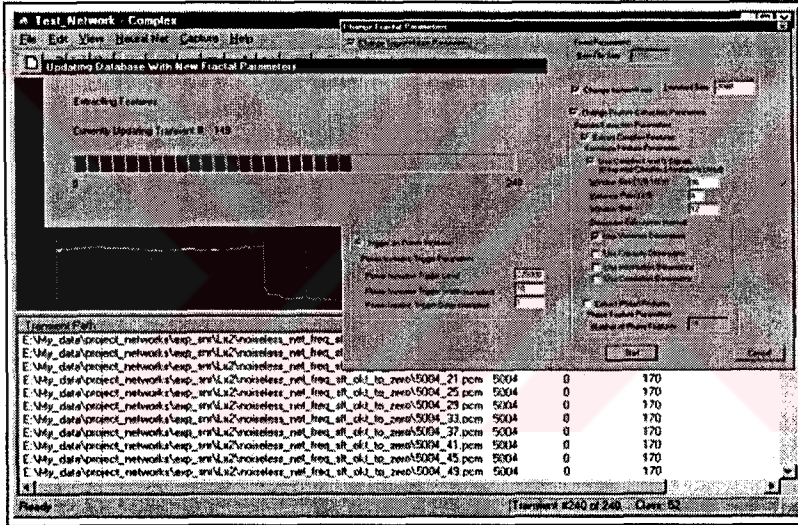
Programın ana menüsü, yeni bir ağ oluşturulurken gerekli parametrelerin ve ağda bulunacak işaretlerin seçilmesini sağlayan kullanıcı arayüzleri şekil 3.19'da; mevcut bir ağın parametrelerini değiştirerek ağ performansını yeniden ölçmek amacıyla kullanılan arayüzler şekil 3.20'de; ağların eğitilmesi için gerekli SOM ve PNN parametrelerinin seçilmesinde kullanılan arayüzler şekil 3.21'de ve bilinmeyen işaretleri eğitilmiş ağlar ile sınıflandırırken kullanılan arayüzler şekil 3.22'de verilmiştir.

Yazılımın kullanım özellikleri şu şekilde özetlenebilir. Yeni bir ağ oluşturulurken; ham işaret uzunluğu (8192), geçici işaret uzunluğu (2048), pencere uzunluğu (128), varyans çifti sayısı ($R=4$) ve benzeri sistem parametrelerinin kullanıcı tarafından girilmesinin ardından, yine kullanıcı tarafından her telsizin ağda olması arzu edilen işaretleri seçilmekte ve böylece bir eğitim kümesi oluşturulmuş olmaktadır.

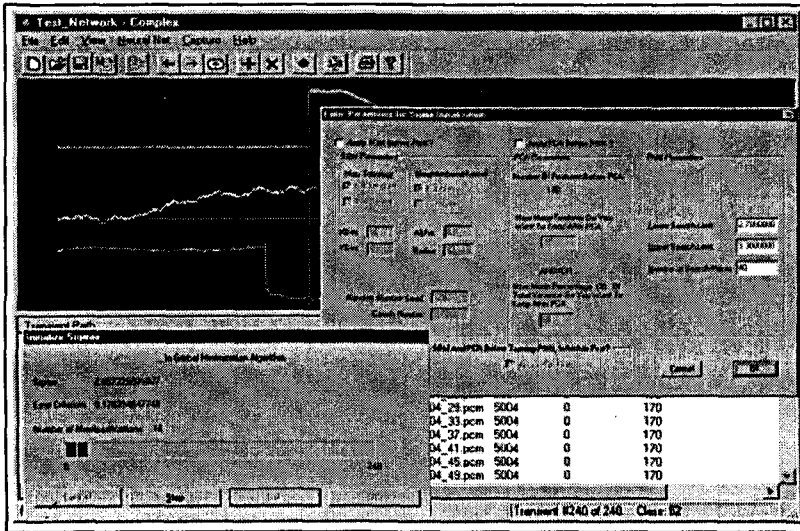
Eğitim kümesindeki geçici rejim işaretlerinin başlangıç noktası ve öznitelik değerleri sistem tarafından belirlendikten sonra, PNN (ve gerekirse SOM) eğitimlerinin başlatılması komutu verilmektedir. Bu komut verilmeden önce sistem tarafından ihtiyaç duyulan tüm SOM ve PNN parametreleri kullanıcı tarafından girilmektedir. Sistemden, bilinmeyen işaretleri tek tek veya topluca sınıflandırması talep edilebilmekte ve sınıflandırma sonuçları hem ekrana hem de, istenirse, harici dosyalara tablolar halinde yazdırılabilmektedir. Herhangi bir aşamada kullanıcı, gerek modelleme gerekse eğitim parametreleri üzerinde değişiklik yapabilmekte, bu takdirde, sistem algılama ve modelleme sürecini yeniden başlatmakta ve ağ yeniden eğitilmektedir.



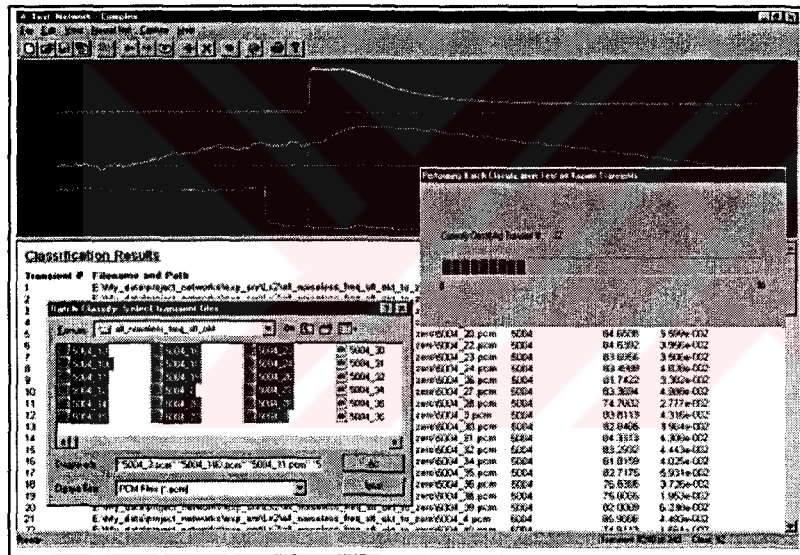
Şekil 3.19. Programın ana menüsü ve yeni bir ağ oluştururken kullanılan arayüzler



Şekil 3.20. Mevcut bir ağın parametrelerini değiştirmek için kullanılan arayüzler



Şekil 3.21. SOM ve PNN parametrelerini girerken ve ağ eğitilirken kullanılan arayüzler



Şekil 3.22. Bilinmeyen işaretleri sınıflandırırken kullanılan arayüzler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneysel çalışmalarda, özet olarak, sistem başarımını etkileyen parametrelerin değerleri belirlenmiş; çevresel şartların (besleme gerilimi, sıcaklık, kanal gürültüsü ve çoklu yol bayılması), anten değişikliğinin, frekans kaydırma, öznelik hesaplama ve veri özetleme tekniklerinin sınıflandırma başarımına olan etkisi araştırılmış ve DBS sistemi ile ATS sistemi genel bazı kriterlere göre karşılaştırılmıştır.

4.1. Sistem Parametrelerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların ilk bölümünde sistemin başarımını etkileyen parametreler için uygun değerlerin tespit edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Öncelikli olarak ele alınan parametreler; geçici rejim işaretinin örneklem boyutu (N), pencere genişliği (w) ve adım uzunluğudur (d). Daha önce 3. bölümde belirtildiği gibi bu parametrelerin seçimi sadece sistemin sınıflandırma başarımını değil aynı zamanda öznelik vektörünün eleman sayısını belirledikleri için sistem kaynaklarının (hız ve hafıza) etkin bir şekilde kullanılmasını da etkilemektedirler.

Tamamen kullanıcının tercihiyle bağlı oldukları için w ve d parametrelerinin etkisinin birlikte araştırılması gerektiği değerlendirilmiştir. Yapılan bazı hazırlık deneyleri sonrasında d parametresinin [4-20] aralığında; w parametresinin ise [64-192] aralığında seçilmesiyle kabul edilebilir sistem başarımları elde edilebildiği ve sistem kaynaklarının kullanımı açısından problem çıkmadığı gözlemlenmiştir. En uygun parametre değerlerinin belirlenmesi için ise, bazı ara değerleri de içerecek şekilde, toplam 9 başarımlı ölçüm deneyi yapılmıştır. Bu amaçla, 3. bölümde belirtilen deney düzeneği kullanılarak 1.telsiz setinde yer alan 10 adet telsizin (TX1, TX2,...,TX10) her birinden 2048 örneklem uzunluğunda 100'er adet geçici rejim işareti toplanmış ve kaydedilen geçici rejim işaretlerinin bir bölümü (24'er adet) geliştirilen DBS sisteminde yer alan PNN sınıflandırıcısının "eğitim" kümesinde, geriye kalanlar (76'şar adet) ise sınıflandırılmayı bekleyen "test" kümesinde kullanılmıştır. Aksi belirtilmediği sürece, diğer deneylerdeki eğitim ve test kümesi eleman sayıları da sırasıyla 24 ve 76 olarak alınmıştır.

Yapılan her deneyde **hata-doğruluk matrisleri** hazırlanmış ve DBS sisteminin tüm işaretleri sınıflandırmadaki hata olasılığı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$P_e = \frac{N_f}{N_t} \quad (4.1)$$

Burada N_f değeri PNN'nin hatalı sınıflandırdığı parmak izi sayısını, N_t değeri ise test kümesindeki toplam parmak izi sayısını (760) göstermektedir. Elde edilen genel sonuçlar çizelge 4.1(a)'da; $w=192$, $d=20$ seçildiğinde elde edilen hata doğruluk matrisi ise çizelge 4.1(b)'de sunulmuştur. Çizelge 4.1(a)'da gösterilen #F değerleri o anki parametrelerin belirlediği öznelitekt vektörü eleman sayısını göstermektedir ve

$$\#F = \frac{2048 - w}{d} \quad (4.2)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Hazırlanan hata-doğruluk matrislerindeki sütunlar test edilmekte olan telsizi, satırlar ise sınıflandırma sonucunda verilen kararı göstermektedir. Örneğin, çizelge 4.1(b)'de gri tonda belirtilmiş olan değerler dikkate alındığında, DBS sisteminin TX2 telsizine ait geçici rejim işaretlerini test ederken yanlış bir karar verme sonucunda bunlardan 1 adedini TX3, 8 adedini TX5, 1 adedini TX6, 1 adedini ise TX7 telsizi ile eşleştirdiğini (şanki bu işaretler o telsizlerden geliyormuş gibi karar verdiğini) söyleyebiliriz. Bu durumda hata-doğruluk matrislerinin diyagonalında yer alan değerlerin doğru sınıflandırma miktarlarını vereceği açıktır. Hata-doğruluk matrislerinin son satırları her telsiz için yapılan hataların ortalama değerlerini yani hata olasılıklarını; bu değerlerin ortlaması ise, sistemin genel hata olasılığını vermektedir.

Hata olasılığı değerlerinin telsizlere olan dağılımını verecek tarzda hata olasılığı histogramları da hazırlanmıştır. Çizelge 4.1 (b)'deki değerler için hazırlanan histogram şekil 4.1'de gösterilmiştir. Histogram incelendiğinde, sadece 1 telsiz için belirlenen hata olasılığı değerinin (%10-20) aralığında olduğu söylenebilir. Çizelge 4.1(b) incelendiğinde bu telsizin TX2 olduğu gözükmektedir. Genel sınıflandırma başarımının oldukça yüksek olduğu durumlarda, hata-doğruluk matrislerinin veya hata olasılığı histogramlarının hazırlanması oldukça gereksiz bir çaba olarak değerlendirilebilirse de, ileride, özellikle sınıflandırma başarımlarının düşük olduğu durumlarda (örneğin, farklı kriterler açısından DBS ve ATS sistelerini karşılaştırırken) bu matrislere ve histogramlara ihtiyaç duyulmuştur. Çünkü bu şekilde hataların telsizlere eşit olarak yayılıp yayılmadığı, bir başka deyişle kaç adet problemlili telsiz olduğu ve bu telsizlerin hangileri olduğu tespit edilebilmektedir.

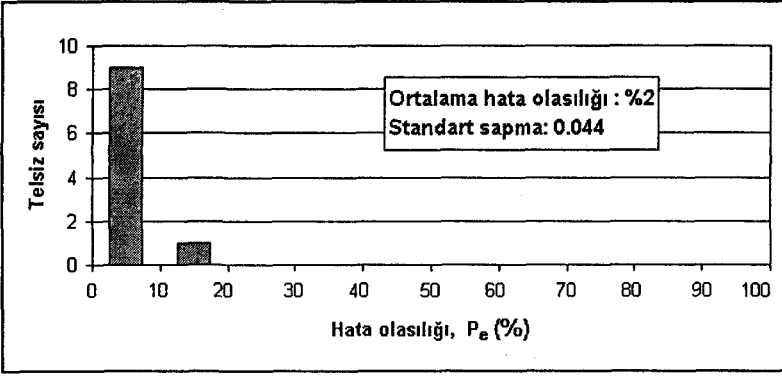
Çizelge 4.1. Pencere genişliği ve adım uzunluğunun etkisi (N=2048)

(a) Genel sonuçlar

		Adım Uzunluğu (d)		
		4	12	20
Pencere Genişliği (w)	64	Pe = %0.8 #F = 496	Pe = %0.8 #F = 165	Pe = %1.7 #F = 99
	128	Pe = %0.9 #F = 480	Pe = %0.9 #F = 160	Pe = %1.1 #F = 96
	192	Pe = %0.9 #F = 464	Pe = %1.1 #F = 154	Pe = %2 #F = 92

(b) w=192, d=20 için hazırlanan hata-doğruluk matrisi

		TEST EDİLMEKTE OLAN TELSİZLER									
		TX1	TX2	TX3	TX4	TX5	TX6	TX7	TX8	TX9	TX10
SINIFLANDIRMA SONUCUNDA VERİLEN KARAR	TX1	76									
	TX2		85				2				
	TX3		1	76		1					
	TX4				76						
	TX5		8			74					
	TX6		1			1	74				
	TX7		1					76			
	TX8								76		
	TX9									76	
	TX10										76
TOPLAM		76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Pe		0	0.14	0	0	0.03	0.03	0	0	0	0



Şekil 4.1. Çizelge 4.1(b)'deki değerler için hazırlanan hata olasılığı histogramı

Bundan sonra sunulacak olan deney sonuçlarında ihtiyaç olmadığı takdirde hata-doğruluk matrisleri ve hata olasılığı histogramları verilmeyecek, sadece sistemin genel hata olasılığı bir değerlendirme kriteri olarak kullanılacaktır.

Çizelge 4.1 (a)'daki sonuçlar dikkatle incelendiğinde, seçilen parametrelerin değeri ne olursa olsun sistemin sınıflandırma hata olasılığının %1-2 (sınıflandırma başarımının %98-99) civarında olduğu gözükmemektedir. Ancak, en uygun parametre değerlerinin belirlenmesinde sadece sistem başarımı değil sistem kaynaklarının etkin kullanılıp kullanılmadığı da göz önüne alınmalıdır. Bu açıdan bakıldığında, öznitelik vektörü eleman sayısının olabildiğince az olması gerektiği dolayısıyla, $w=128$ ve $d=12$ olarak kabul edildiği takdirde hem sınıflandırma başarımı hem de etkin kaynak kullanımı açısından en uygun tercihin yapılmış olacağı değerlendirilmiştir. Çünkü, DBS sisteminde yer alan PNN sınıflandırıcısında 160 civarında öznitelik değeri kullanıldığında, hız ve hafıza gereksinimleri açısından deneysel çalışmalarda kullanılan bilgisayar sisteminin kaynak kullanımında problem yaşanmamıştır. Daha fazla sayıda öznitelik değeri kullanıldığında ise, hem eğitim hem de test aşamasında çok fazla zamana ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, çok fazla sayıda tekrara dayalı deneysel çalışmalarda, özellikle ileriki bölümlerde anlatılacak olan gürültü etkisinin araştırılmasına yönelik deneylerde ve gerçek zamanlı uygulamalarda önemli bir engel oluşturacağı değerlendirildiğinden, müteakip tüm çalışmalarda öznitelik sayısı 160 olacak şekilde ayarlama yapılmıştır.

Ayrıca, işaret boyunca sabit adım uzunluğu kullanmak yerine, toplam öznitelik sayısını aynı (160) tutacak şekilde adım uzunluğunun düzenli olarak artırılmasına dayanan bir yöntem de denenmiştir. Adım uzunluğunun zamanla artırılması sayesinde geçici rejim işaretlerinin başlangıç bölümlerinden çok, takip eden bölümlerinden ise daha az öznitelik değeri çıkartılması sağlanmıştır. Bu değişken adım uzunluğu rejiminin kullanılmasındaki gerekçe; geçici rejim işaretlerinin başlangıçta daha fazla değişim göstermesi, sonlara doğru ise kararlı bir yapıya kavuşmasıdır. Bahsedilen değişken adım uzunluğu rejiminin yapısı çok değişik şekillerde seçilebilmekle birlikte bu çalışmada şu şekilde bir seçim tercih edilmiştir: Geçici rejim işareti 4 altbölüme ayrılmış, öznitelik vektörünün toplam uzunluğu 160 olacak şekilde, 1. bölüm için kaydırma miktarı 4, diğerleri için ise sırasıyla 8,12 ve 16 olarak belirlenmiştir. Sabit adım uzunluğu kullanmak yerine, gittikçe artan adım uzunlukları kullanmanın tasarlanan sınıflandırıcının başarımını bir miktar artırdığı gözlemlenmiş ve tez çalışmaları kapsamında yapılan diğer deneylerde gittikçe artan adım uzunlukları kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçları çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Sabit ve değişken pencere kaydırma rejimlerinin etkisi

	w	#F	Pe
Sabit kaydırma (d=12)	128	160	%0.9
Değişken kaydırma	128	160	%0.5

Geçici rejim işaretinin uzunluğu da sistemin başarımını etkileyen diğer önemli bir parametredir. Ancak, daha önce 3.bölümde de belirtildiği gibi, geçici rejim işaretinin uzunluğunun kullanıcı tarafından keyfi olarak belirlenmesi söz konusu değildir. Çünkü, geçici rejim işaretlerinin uzunluğu kullanılmakta olan vericiye bağlı olarak değişmekte ve dikkatli bir gözlem neticesinde bu uzunluğun kaç olduğuna, sınıflandırma işlemi öncesinde kabaca karar verilebilmektedir. 1.telsiz setinde yer alan 10 adet telsizden alınan işaretler incelendiğinde, geçici rejim işaretlerinin süresinin ortalama 45-50 ms olduğu bunun da yaklaşık olarak 2000-2200 örneklem değerine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Geçici rejim işareti uzunluğunun hassas olarak belirlenebilmesi için ise farklı ara değerleri de kapsayacak şekilde toplam 5 başarım ölçüm deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde de, 1.telsiz setinden kaydedilen işaretler kullanılmış ve 128’lik pencere genişliği ile gittikçe artan adım uzunlukları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.3.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Geçici rejim işaretleri uzunluğunun etkisi (w=128, d=değişken)

Örneklem Uzunluğu	1600 (~36ms)	1800 (~41ms)	2000 (~45ms)	2200 (~50ms)	2400 (~54ms)
Pe	%0.5	%0.7	%0.5	%0.5	%0.7
#F	122	139	156	172	189

Çizelge 4.3 incelendiğinde, işaretlerin gözlemlenen süresine (45-50 ms) uygun örneklem uzunlukları tercih edildiği takdirde, örneklem uzunluğunun sistemin başarımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözükmemektedir. Bu nedenle, bundan sonra yapılacak tüm deneylerde, örneklem uzunluğu Shaw ve Kinsner (1997) tarafından da önerildiği gibi 2ⁿ rejimine uygun olacak şekilde n=11 alınmak suretiyle 2048 olarak tercih edilmiştir. Çizelgede 1600 örneklem uzunluğu kullanıldığı takdirde daha az sayıda öznelite değeri (122 adet) oluşacağı belirtilmiş olmasına rağmen, bu uzunluk değerinin tercih edilmemesinin nedeni; SNR değeri düşük işaretler sınıflandırılırken 1600 civarındaki ve 1600'den küçük örneklem uzunluklarının başarımı düşürmesidir. Düşük SNR değerlerinin DBS sisteminin başarımı üzerindeki etkisi bölüm 4.2'de ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

PNN sınıflandırıcısında eğitim kümesine dahil edilecek "bilinen" işaret sayısı da sistemin başarımını etkilemektedir. Çizelge 4.4'de eğitim kümesi sayısını 12, 24 veya 48 olarak belirleme neticesinde elde edilen sınıflandırma başarımları sonuçları verilmiştir. Bu deneyde de 1. telsiz setinde yer alan 10 adet telsizden elde edilen geçici rejim işaretleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 incelendiğinde, eğitim kümesi eleman sayısı artırıldığında sistem başarımının da arttığı gözükmesine rağmen, bazı uygulamalarda, takip edilmekte olan telsizlere ait yeteri miktarda yayın kaydı olmayabileceği değerlendirildiğinden, deneysel çalışmalarda, elde çok fazla miktarda veri olduğu halde, eğitim kümesi eleman sayısı 24 ile sınırlandırılmış ve sistemi etkileyen diğer tüm etmenler bu şartlar altında analiz edilmiştir. Ancak, özellikle, 4.2. bölümde ele alınan çevresel faktörlerden sıcaklık ve besleme gerilimi etkileri araştırılırken eğitim kümesi eleman sayısının oldukça fazla olmasına ihtiyaç duyulmuştur. Eğitim kümesi eleman sayısı fazla tutulduğunda ise, gerek zaman gerekse hafıza gereksinimleri açısından kullanılan bilgisayar sisteminde problemler yaşanabilmektedir. Bu durumda, bir veri azaltma yöntemine ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmiş ve bu işlem SOM yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SOM yönteminin kullanılması neticesinde elde edilen başarımları bölüm 4.5'de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Çizelge 4.4. Eğitim kümesi eleman sayısının etkisi (N=2048, w=128, d=değişken)

Eğitim kümesi eleman sayısı	Test kümesi eleman sayısı	Hatalı sınıflandırılan işaret sayısı	Pe
12 X 10 telsiz = 120	88 X 10 telsiz = 880	6	%0.7
24 X 10 telsiz = 240	76 X 10 telsiz = 760	4	%0.5
48 X 10 telsiz = 480	52 X 10 telsiz = 520	2	%0.4

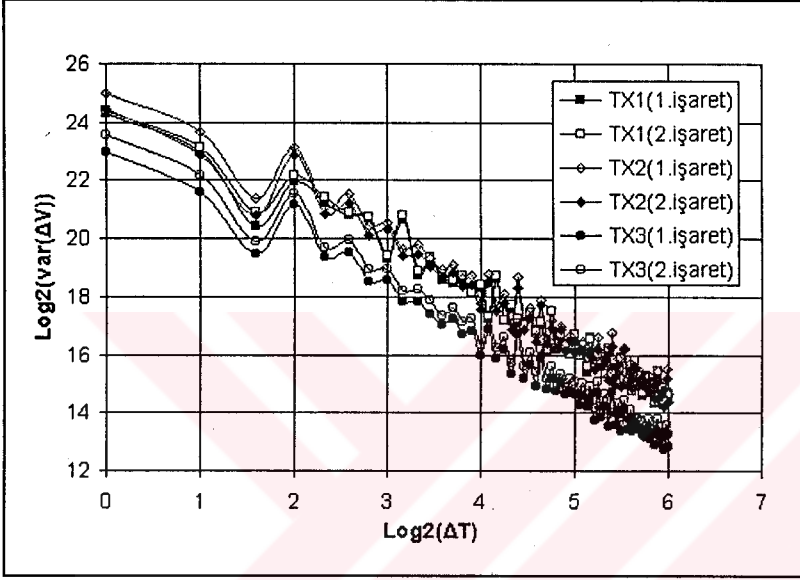
Geçici rejim işaretlerinden alınan herhangi bir pencereden bölüm 3.2.2'deki yöntemle öznelilik değeri hesaplanırken kabul edilen ölçek adedi (R) ve ölçeklerde kullanılan Δt değerleri de DBS sisteminin sınıflandırma başarımını etkilemektedir. Bu parametreler için uygun değerleri bulmak amacıyla bir dizi başarımlı ölçüm deneyi yapılmış ve sonuçlar çizelge 4.5'de verilmiştir. Bu deneylerde de, 1.telsiz setinden kaydedilen işaretler kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Ölçek adedi (R) ve (Δt) değerlerinin etkisi (N=2048, w=128, d=değişken)

R	Δt değerleri	Hatalı sınıflandırılan işaret sayısı	Pe
64	1,2,3,...,64	45	%5.9
32	1,2,3,...,32	48	%6.3
16	1,2,3,...,16	41	%5.4
8	1,2,3,...,8	92	%12.1
4	1,2,3,4	164	%21.6
6	2,4,8,16,32,64	9	%1.2
5	2,4,8,16,32	12	%1.6
5	4,8,16,32,64	9	%1.2
4	2,4,8,16	30	%3.9
4	4,8,16,32	4	%0.5
3	4,16,32	4	%0.5
2	4,64	5	%0.7
2	4,32	10	%1.3

Çizelgeden görüldüğü gibi, birbirine yakın ve fazla sayıda Δt değeri kullanıldığında, sınıflandırma başarımı çok düşük çıkmaktadır. Çünkü bu durumda telsizleri birbirinden ayırt etmek güçleşmektedir. Bu husus R=64,

zaman ilerlemeleri ise $\Delta t = 1, 2, 3, \dots, 64$ olarak kabul edildiğinde, 3.bölümde anlatılan yöntemle 3 farklı telsizden alınan 2'şer için hazırlanan $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) - \log_2(\Delta t)$ grafiği (şekil 4.2) incelendiğinde daha iyi gözükmektedir. Bu grafikten, parametreler bu şekilde tercih edildiğinde, TX1 ve TX2 telsizlerinin birbirinden ayırt edilmesinin oldukça zor olacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca, şekildeki varyans değerleriyle eşleştirilecek doğruların, varyans değerlerini temsil etmekten uzak olacağı açıktır. Çünkü, değerlerin değişiminde ani sıçramalar gözükmekte ve bu grafiği doğrusal olarak modellenmenin hatalı bir yaklaşım (varsayım) olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 4.2. R=64 için $\log_2(\text{var}(V_{\Delta t})) - \log_2(\Delta t)$ ilişkisi

Ayrıca, çizelge 4.5'den çok küçük ve çok büyük Δt tercihlerinin de başarımın düşmesine neden olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni 3.bölümde farklı ölçekler için çizilen gezinge yapıları (şekil 3.12) dikkatle incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır: Gezingelere çok küçük ölçeklerde bakıldığında gürültü benzeri yapılar ortaya çıkmakta, çok büyük ölçeklerde bakıldığında ise gezingelerdeki kendi kendine benzerlik özelliği yavaş yavaş kaybolmaktadır.

Çizelge 4.5’de gösterilmeyen çok daha fazla sayıda deneme yapılmış ancak yukarıda belirtilen gerekçelerden dolayı çizelgede gri tonda belirtilmiş olan aralıklı tercihlerden daha iyi sonuç veren tercih tespit edilememiştir. Bu nedenle, mütعاekip tüm deneylerde Δt için 4,8,16 ve 32 değeri kullanılmıştır.

4.2. Çevresel Faktörlerin Etkisi

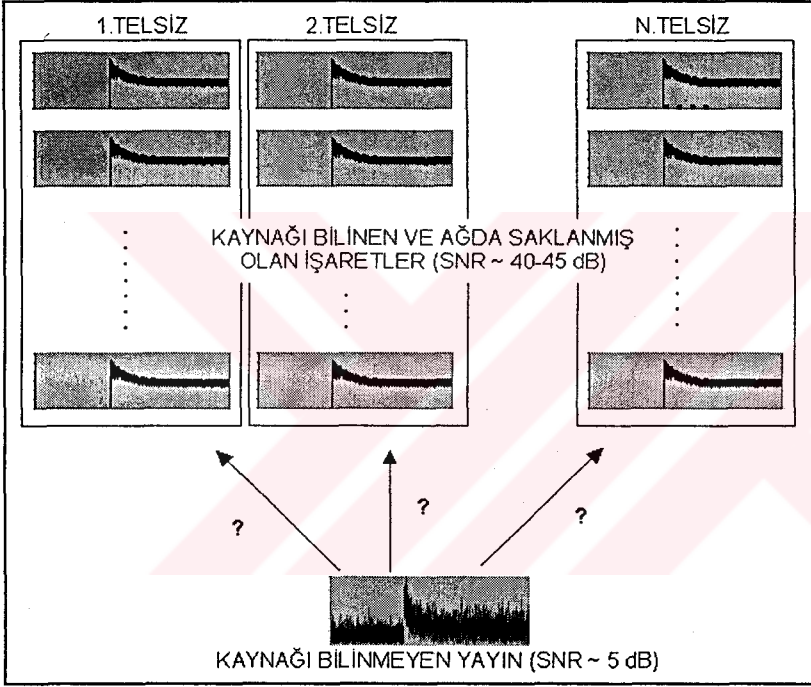
İnsan parmak izlerinin aksine, telsiz parmak izleri farklı çevresel şartlar söz konusu olduğunda; örneğin, ortam sıcaklığı, besleme gerilimi ve ortamdaki elektriksel gürültü değıştiğinde veya çoklu yol bayılması söz konusu olduğunda, farklı karakteristik özellikler gösterebilmektedir. Deneyisel çalışmalar kapsamında, geliştirilen DBS sisteminin farklı çevre şartlarında gösterdiği başarımlar da analiz edilmiştir (Tekbaş vd 2004b). Bu amaçla bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneylerde de, 1.telsiz setinde yer alan 10 adet Motorola MT-500 VHF telsizi kullanılmıştır. Çalışma frekansı bazı deneylerde 138.750 MHz bazılarında ise 169.170 MHz olarak seçilmiş ve cihazlar ayarlanabilir harici bir güç kaynağı tarafından beslenmişlerdir. Güç kaynağı geriliminin veya ortam sıcaklığının değışmesi durumunda ve farklı seviyelerde kanal gürültüsü ile çoklu yol bayılması söz konusu olduğunda DBS sisteminin gösterdiği başarımlar bundan sonraki 4 alt bölümde incelenmiştir.

4.2.1. Gürültü etkisi

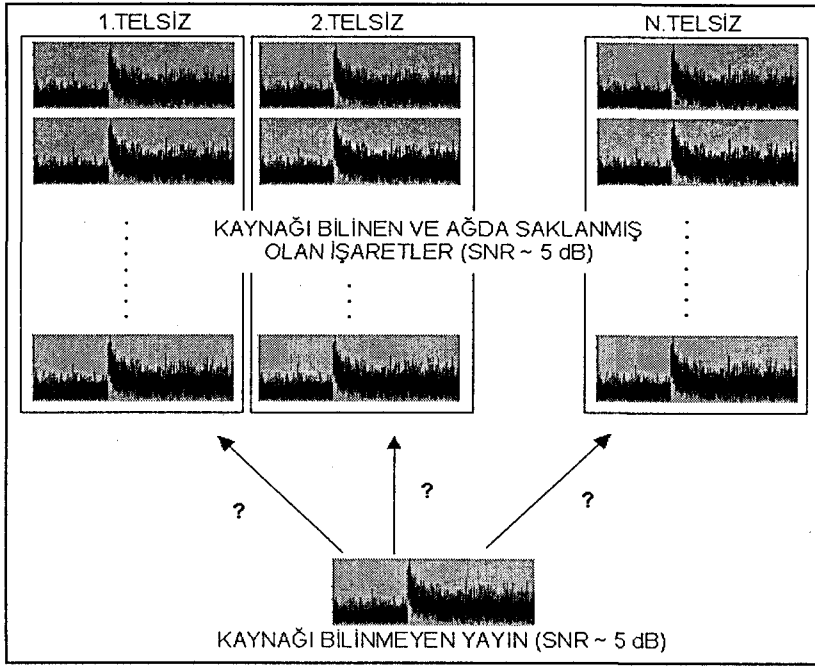
Yakın mesafelerden yayın yapan bir telsizin ürettiği ve alıcıların kaydettiği işaretlerdeki SNR değeri, uzak mesafelerden kaydedilen yayınlarınkinden daha yüksek olacağı açıktır. Deneyisel çalışmaların bu bölümünde, SNR değıştiğinde, vericilere ait geçici rejim işareti karakteristiklerinin de değıştiği, dolayısıyla, DBS sistemindeki PNN yakın mesafelerden kaydedilmiş, yüksek SNR değerine sahip işaretler kullanılarak eğitildiğinde, uzak mesafelerden kaydedilen düşük SNR değerindeki işaretlerin sınıflandırılmasındaki başarımlar oldukça düşük olduğu gözlemlenmiş ve bu başarımlar düşüklüğünü azaltacak yeni bir eğitim tekniğı üzerinde durulmuştur (Tekbaş vd 2004a).

Önerilen teknik kısaca şu şekilde özetlenebilir: Kontrollü bir ortamda, SNR değeri yüksek olacak şekilde, her vericiden çok sayıda geçici rejim işareti toplanarak bir **ana eğitim kümesi** oluşturulmuştur. Bu aşamada, bu küme üzerinde hiçbir işlem (öznitelik çıkarma veya eğitim) yapılmamıştır. Geçici rejim işaretlerini kaydederken kullanılan deney düzeneğinin aynısı

kullanılarak, tipik kanal gürültüsü örnekleri de toplanmış ve kaydedilmiştir. Bilinmeyen bir geçici rejim işareti yakalandığında, yakalanan işaretteki SNR, işaretin başlama noktasından (konuşma mandalına basım anından) önceki ve sonraki örneklem değerleri kullanılarak tahmin edilmiş ve ana eğitim kümesindeki işaretlerin SNR değeri, bu bilinmeyen işaretin SNR değerine eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu işlem, kaydedilen gürültü örneklerini ölçekleyerek ana kümedeki işaretlere eklemek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı bu **gürültü ilaveli eğitim kümesi** kullanılarak eğitildikten sonra sınıflandırmada kullanılmıştır. Bu süreç, yakalanan her bilinmeyen işaret için tekrar edilmiştir. Özetlenen bu yöntem, **“gürültü ile eğitim”** olarak adlandırılmaktadır. Gürültülü işaretlerin gürültüsüz eğitilmiş ağıla sınıflandırılması problemi şekil 4.3’de, gürültü işaretlerin gürültü ile eğitim tekniği kullanılarak sınıflandırılması problemi ise şekil 4.4’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Gürültülü işaretlerin gürültüsüz eğitilmiş ağıla sınıflandırılması problemi



Şekil 4.4. Gürültülü işaretlerin gürültülü eğitilmiş ağla sınıflandırılması problemi

Daha önce de belirtildiği gibi, SNR değeri düştükçe, örneğin yayın mesafesi arttığında, hem geçici rejim işaretlerinin kanal gürültüsünden ayrıştırılmasının güçleşeceği hem de, geçici rejim işaretlerine ait öznitelik değerlerinin değişeceği söylenebilir (şekil 3.7). Bu değişim nedeniyle sistemin sınıflandırma başarımında ortaya çıkabilecek düşüklüğü analiz etmek amacıyla bir dizi deney yapılmıştır:

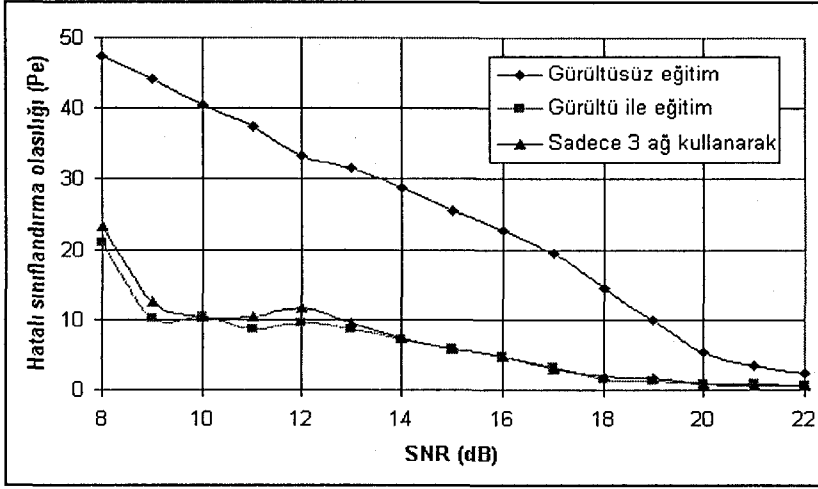
Alıcıdan 350 m uzağa yerleştirilen 1.setteki 10 telsizin her birinden 100 adet geçici rejim işareti kaydedilmiştir. Bu mesafeden kaydedilen işaretlerdeki SNR yaklaşık 40-45 dB olarak ölçülmüş ve bu nedenle bu işaretlerin “gürültüsüz kayıtlar” olduğu varsayılmıştır. Kaydedilen 100 işaretten 24’ü PNN’nin eğitilmesinde kullanılan **ana eğitim kümesine**, kalan 76’sı ise eğitilmiş ağın sınıflandırma başarımının test edilmesinde kullanılan **test kümesine** yerleştirilmiştir. Gürültüsüz işaretlerle yapılan eğitim “gürültüsüz eğitim” olarak adlandırılmıştır. Gürültüsüz kabul edilen test işaretleri, gürültüsüz eğitilmiş ağa uygulandığında test kümesinde yer alan

760 test işaretinden 756'sı doğru olarak sınıflandırılmış ve dolayısıyla başarımlar oranı %99.5 olarak tespit edilmiştir.

Sistemin düşük SNR seviyelerindeki başarımlarını test etmek amacıyla, test kümesinde yer alan gürültüsüz 760 işaretten, 8-22 dB aralığında SNR değerlerine sahip test işaretleri sentezlenmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için, geçici rejim işaretlerini kaydederken kullanılan deney düzeneğinin aynısı kullanılarak, tipik kanal gürültüsü örnekleri toplanmış ve kaydedilen bu gürültü örneklerinden rassal olarak seçilen bölümler ölçeklenerek gürültüsüz test işaretlerine eklenmiştir. Sentezlenmiş test işaretleri farklı her bir SNR değerinde, gürültüsüz eğitilmiş sınıflandırıcıya uygulanmıştır. Bu işlem, her test işareti için 10 kez tekrarlanmıştır. Her tekrarda, kaydedilen gürültü örneklerinden rassal olarak seçilen farklı bir bölüm kullanılmış ve hatalı sınıflandırma olasılığı (P_e) hesaplanmıştır. P_e 'nin her SNR değeri için ortalaması şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere, P_e , yüksek SNR değerleri için kabul edilebilir seviyelerde olmasına rağmen, düşük SNR değerlerinde yanılma oranı çok artmaktadır

Düşük SNR değerlerinde yanılma oranının çok artması iki sebebe bağlanabilir: Gürültü sebebi ile geçici rejim işaretinin başlangıcının yanlış algılanması ve/veya geçici rejim işaretlerinin parmak izlerinin değişmesi. Gürültünün, DBS sisteminin başlangıç algılama ünitesinin başarımlarını nasıl etkilediğini gözlemlemek amacıyla bir telsizden (TX1) kaydedilen 5 işaret üzerinde bazı analizler yapılmıştır. Kaydedilen gürültü örneklerinden rassal olarak seçilen bölümler ölçeklenerek bu işaretlere eklenmiş ve böylece 5-24 dB aralığında SNR değerine sahip gürültülü işaretler sentezlenmiştir. Bu işlem her defasında kaydedilen gürültü işaretinin farklı parçaları kullanılmak suretiyle her SNR değerinde 5'er kez yinelenmiştir. Dolayısıyla her SNR değeri için 25'er adet sentezlenmiş işaret elde edilmiştir. Her sentezlenmiş işaret için, işarete gürültü ilave edilmeden önce tespit edilen başlangıç noktası ile gürültü ilave edildikten sonra tespit edilen başlangıç noktası arasındaki fark belirlenmiştir. 8-14 dB aralığındaki işaretler için başlangıç noktası farkının ortalaması 2.15, standart sapması 4.3; 15-24 dB aralığındaki işaretler için başlangıç noktası farkının ortalaması 1.27, standart sapması 1.23 olarak ölçülmüştür. Bu ölçümlerden de görüleceği üzere, SNR düştükçe başlangıç noktasının tespitindeki hata artmaktadır. Ancak, her iki durumda da elde edilen değerler çok önemsiz kabul edilebilir. Çünkü, 2048 örneklem uzunluğuna sahip bir geçici rejim işaretinin başlangıç noktasının birkaç örneklem hata ile tespit edilmesi önemsiz bir durum olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçlar, aynı zamanda, DBS sisteminde güç eşiği

algılama yöntemine dayalı olarak çalışan algılama ünitesinin tutarlılığını göstermektedir.



Şekil 4.5. Gürültü ile eğitim tekniğinin sınıflandırma başarımı üzerindeki etkisi

Yukarıdaki tartışmadan SNR değeri düşük işaretlerin sınıflandırılmasındaki başarımların düşüklüğünün asıl sebebinin, gürültü etkisi ile işaretlerin parmak izlerinin değişmesi olduğu anlaşılmaktadır. Burada, gürültüsüz işaretlerle eğitilmiş olan ağın genelleme yeteneğinin yeterince gelişmiş olmadığı, bu nedenle, gürültülü işaretlerin başarılı bir şekilde sınıflandırılmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu etkiyi azaltmak için bir yöntem geliştirilmiştir:

Yakalanan işaretlerde, geçici rejim işaretlerinin başlama anından önce kanal gürültüsü de bulunduğundan, kaynağı bilinmeyen bir geçici rejim işaretinin SNR değeri

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{SN}}{P_N} - 1 \right) \quad (4.3)$$

eşitliği yardımıyla kestirilebilir. Burada, P_N kanal gürültüsü kesimindeki ortalama güç, P_{SN} ise gürültülü geçici rejim işareti bölgesindeki ortalama

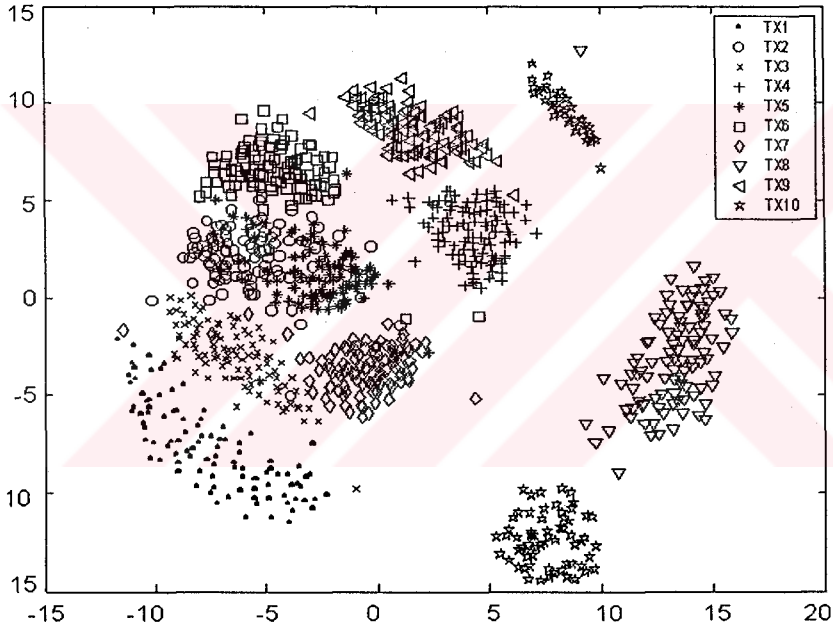
güçtür. Kaynağı bilinmeyen gürültülü işaretin doğru sınıflandırılması olasılığını artırmak amacıyla, SNR değeri, bilinmeyen işaretin SNR değerine eşit işaretler sentezlenerek, bu işaretlerden oluşan yeni bir eğitim kümesi hazırlanmıştır. Bu işlem, kaydedilen gürültü örneklerinden rassal olarak seçilen bölümleri, ana eğitim kümesindeki gürültüsüz kayıtlara eklemek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Eklenecek gürültü miktarı, ana eğitim kümesindeki her işaretin SNR değerini, test edilmekte olan işaretin tahmin edilen SNR değerine eşitleyecek şekilde ayarlanmıştır. PNN'deki eğitim ve sınıflandırma, bu yeni gürültü ilaveli eğitim kümesi kullanılarak yapılmış ve bu eğitim gürültü ile eğitim olarak adlandırılmıştır..

Bu yöntemin sınıflandırma başarımında sağlayacağı iyileşmeyi göstermek amacıyla, yine 8-22 dB aralığında SNR değerlerine sahip olacak test işaretleri sentezlenmiş, ve her test işareti kendi SNR değerlerine eşit SNR değerlerinde gürültü ile eğitilmiş ağlara uygulanmıştır. Örneğin, 12 dB SNR değerine sahip 760 test işareti sınıflandırılırken 12 dB'de sentezlenmiş işaretlerle eğitilmiş bir ağ kullanılmıştır. Burada da, her SNR değerinde, her test işaretinin sınıflandırılması 10 kez tekrarlanmış ve her tekrarda, kaydedilen gürültü örneklerinden rassal olarak seçilen farklı bir bölüm kullanılmıştır. Hatalı sınıflandırma olasılığının her SNR değeri için ortalaması şekil 4.5'de gösterilmiştir.

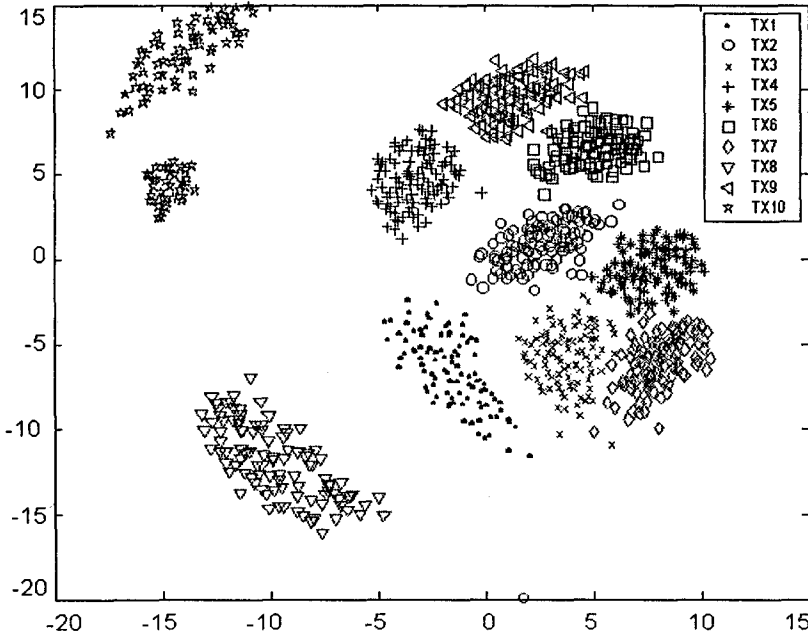
Şekil 4.5'den de görüleceği üzere, sınıflandırma öncesinde eğitim kümesine gürültü ilave etmek, ağın genelleme yeteneğini artırdığı için, özellikle düşük SNR seviyelerinde, sınıflandırma başarımı önemli ölçüde iyileşmektedir. Ancak, PNN'nin tam olarak, bilinmeyen işaretin SNR değerinde eğitilmesi gereği, bahsedilen yöntemin en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. Çünkü, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda, bu işlemin kullanılan sisteme bir hesaplama yükü getireceği açıktır. Burada bir esneklik oluşturabilmek amacıyla, PNN'yi tam olarak, test edilecek bilinmeyen işaretin SNR değerinde eğitmek yerine önceden belirlenmiş SNR seviyelerinde (10, 15, ve 20 dB'de) eğitilmiş 3 hazır ağ oluşturulmuş ve hafızaya kaydedilmiştir. Sentezlenmiş her bir test işareti, kendi SNR değerine en yakın ağ kullanılarak sınıflandırılmıştır. Örneğin, 11 ve 18 dB SNR değerine sahip test işaretleri sınıflandırılırken, sırasıyla, 10 ve 20 dB'de eğitilmiş ağlar kullanılmıştır. Yine, burada da, her SNR seviyesinde, her test işareti için sınıflandırma 10 defa tekrarlanmış ve her tekrarda kaydedilmiş gürültü örneklerinden rassal olarak seçilen farklı bir bölüm kullanılmıştır. Hatalı sınıflandırma olasılığının her SNR değeri için ortalaması şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere tam olarak, bilinmeyen işaretin SNR değerinde eğitilmiş ağlar kullanma yöntemi

ile önceden hazırlanmış sadece 3 eğitilmiş ağ kullanma yönteminin sınıflandırma başarımı birbirine çok yakın çıkmaktadır.

Gürültü ile eğitim yönteminin sınıflandırma başarımını artırdığını doğrulamak amacıyla düşük SNR değerlerine sahip işaretler sentezlemek yerine bu kez SNR değeri düşük gerçek geçici rejim işaretleri toplanmıştır. Bu amaçla, kaydedilen işaretlerdeki SNR değeri ortalama 14 dB olacak şekilde, alıcı ve vericiler arasındaki mesafe ayarlanmış ve mesafe bir GPS alıcı kullanılarak 1.18 km olarak ölçülmüştür. Bu mesafeden, her telsiz için 100 adet geçici rejim işareti toplanmıştır. Yakalan işaretlerin ölçülen SNR değerlerinin birbirinden az da olsa farklı olduğu ancak, tüm kaydedilen işaretlerin SNR ortalamasının 14 dB, standart sapmasının ise 1dB olduğu belirlenmiştir. Her telsize ait 100 gürültüsüz işaretin yer aldığı gürültüsüz kayıtlar ile SNR değeri ortalama 14 dB olan gerçek gürültülü kayıtlara ait çok boyutlu öznelik vektörleri (parmak izleri), Sammon haritalama yöntemi ile 2 boyuta indirgenerek, 2 boyutlu öznelik uzayında sırasıyla, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Gürültüsüz kayıtlara ait parmak izlerinin 2 boyutlu öznelik uzayında kümelenmesi



Şekil 4.7. Gürültülü gerçek kayıtlara ait parmak izlerinin 2 boyutlu öznitelik uzayında kümelenmesi

Şekil 4.6 ve şekil 4.7’den de görüldüğü gibi gürültülü işaretlerden elde edilen özniteliklerin gürültüsüz işaretlerden elde edilen özniteliklerle benzer yayılıma sahip oldukları, ancak, öznitelik uzayında başka bölgelere kaydıkları gözükmemektedir.

Bu dağılımlarda, farklı vericilerin öznitelikleri arasındaki mesafeler ölçüldüğünde de dağılımların birbirine benzediği ortaya çıkmaktadır. Gürültülü ve gürültüsüz işaretlere ait öznitelikler arasındaki mesafe her bir verici sınıfı için hesaplanmış ve değerler çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü gibi gürültülü ve gürültüsüz durum için sınıflar arası mesafeler çok fazla değişmemektedir (Tekbaş vd 2004c).

Gürültülü ve gürültüsüz işaretlerden elde edilen öznitelikler Şekil 4.8’de bir arada gösterilmiştir. Görüldüğü gibi gürültülü ve gürültüsüz işaretlerin özniteliklerinde bir iç içe girme söz konusu olmamakta ancak gürültülü işaretlerin öznitelikleri gürültüsüz işaretlerin özniteliklerinden

uzaklaşmaktadır. Bu nedenle eğitim kümesine gürültülü işaretlerin eklenmesi ile sınıflandırma başarımını artırmak mümkün olmaktadır.

Çizelge 4.6. Vericilerin parmak izleri arasındaki mesafeler (gürültüsüz işaretler için)

	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	Tx5	Tx6	Tx7	Tx8	Tx9	Tx10
Tx1	0.0	8.6	7.1	13.5	10.6	11.0	10.1	17.3	14.5	16.2
Tx2	8.6	0.0	5.5	9.1	5.4	4.8	7.4	16.2	9.2	14.9
Tx3	7.1	5.5	0.0	11.6	6.5	9.0	6.9	16.5	11.9	14.1
Tx4	13.5	9.1	11.6	0.0	8.5	8.1	10.5	14.9	6.4	14.4
Tx5	10.6	5.4	6.5	8.5	0.0	6.4	5.1	16.3	9.7	14.8
Tx6	11.0	4.8	9.0	8.1	6.4	0.0	9.6	17.2	7.3	15.4
Tx7	10.1	7.4	6.9	10.5	5.1	9.6	0.0	14.0	12.8	16.2
Tx8	17.3	16.2	16.5	14.9	16.3	17.2	14.1	0.0	16.3	17.3
Tx9	14.5	9.2	11.9	6.4	9.7	7.3	12.8	16.3	0.0	13.7
Tx10	16.2	14.9	14.1	14.4	14.8	15.4	16.2	17.3	13.7	0.0

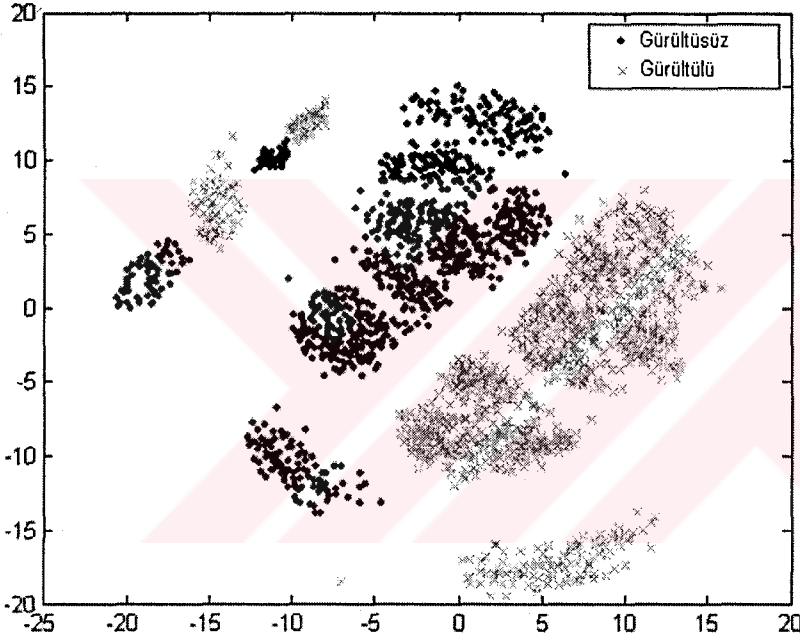
Çizelge 4.7. Vericilerin parmak izleri arasındaki mesafeler (gürültülü işaretler için)

	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	Tx5	Tx6	Tx7	Tx8	Tx9	Tx10
Tx1	0.0	8.1	7.2	13.6	10.8	11.9	10.5	18.6	14.3	20.7
Tx2	8.1	0.0	7.2	9.5	6.5	5.8	8.9	17.6	9.1	18.9
Tx3	7.2	7.2	0.0	12.6	6.0	11.6	5.6	17.4	13.9	18.9
Tx4	13.6	9.5	12.6	0.0	10.3	8.7	12.3	16.8	6.8	19.6
Tx5	10.8	6.5	6.0	10.3	0.0	9.3	5.5	17.8	11.7	18.4
Tx6	11.9	5.8	11.6	8.7	9.3	0.0	12.9	19.7	5.4	17.9
Tx7	10.5	8.9	5.6	12.3	5.5	12.9	0.0	15.2	14.9	20.5
Tx8	18.6	17.6	17.4	16.8	17.8	19.7	15.2	0.0	18.7	24.4
Tx9	14.3	9.1	13.9	6.8	11.7	5.4	14.9	18.7	0.0	18.4
Tx10	20.7	18.9	18.9	19.6	18.4	17.9	20.5	24.4	18.4	0.0

Parmak izi dağılımları ile ilgili olarak anlatılan tüm hususlar dikkate alındığında, alıcı-verici arasındaki mesafe arttığında, bir başka deyişle SNR değeri düştüğünde, telsizlere ait parmak izi karakteristiklerinin değişeceği, bu nedenle de, gürültüsüz işaretlerle eğitilmiş bir ağ kullandığında, SNR değeri düşük gerçek işaretlerin sınıflandırılmasındaki başarımın düşük

olacağı; ancak, gürültüsüz kayıtlarla eğitim yerine, gürültü ilaveli, sentezlenmiş işaretlerle eğitim yapıldığında sınıflandırıcının parmak izi değişikliğinin yapısını öğrenebileceği ve böylece başarımın artacağı söylenebilir. Bu öngörüğü doğrulamak amacıyla SNR değeri düşük gerçek işaretlerden, her telsiz için 76'şar adedi (toplam 760 işaret), önce gürültüsüz işaretlerle eğitilmiş ağ tarafından, sonra 14 dB'de sentezlenmiş işaretlerle eğitilmiş ağ tarafından, daha sonra ise 15 dB'de sentezlenmiş işaretlerle eğitilmiş ağ tarafından sınıflandırılmıştır.

Ayrıca, gürültülü eğitimde, eğitim kümesinde yer alan SNR değeri düşük işaretlerin sentezlenmesinde deneysel olarak toplanan kanal gürültüsü örneklerini kullanmak yerine, yazılım ortamında bir rassal sayı üretici ile elde edilen Gauss gürültü örneklerini kullanarak da SNR değeri düşük gerçek işaretlerin sınıflandırılması yinelenmiştir. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar da çizelge 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Gürültülü ve gürültüsüz işaretlere ait parmak izlerinin 2 boyutlu öznelik uzayında kümelenmesi

(Not: Parmak izlerinin daha önce şekil 4.7 ve 4.8'de gösterilen yerlerde çıkmamasının nedeni Sammon haritalama tekniğinin doğrusal olmayışıdır.)

Çizelge 4.8.Düşük SNR değerine (~14dB) sahip gerçek işaretlerin farklı ağlar tarafından sınıflandırılması (N=2048, w=128, d:değişken)

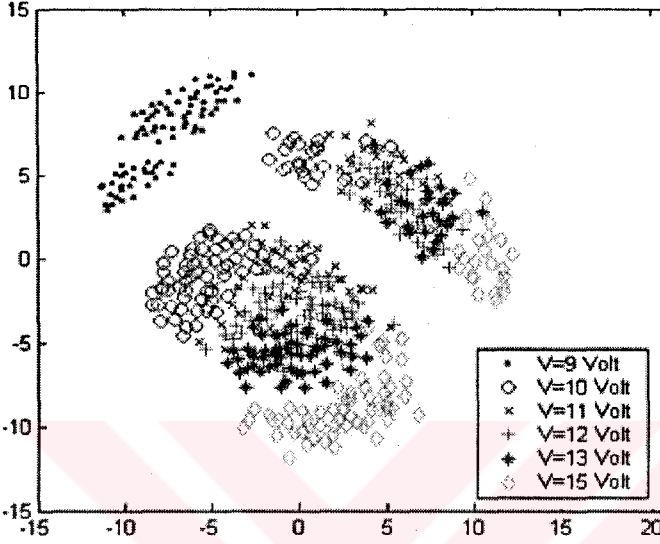
Kullanılan Ağ		Doğru Sınıflandırılan İşaret Sayısı	Test Edilen Toplam İşaret Sayısı	Pe
Gürültü Tipi	SNR			
Yok	~45 dB	528	760	%30
Deneyssel	~14 dB	744	760	%2.1
	~15 dB	738	760	%2.9
Yapay (Rassal Sayı Üreteci ile)	~14 dB	739	760	%2.8
	~15 dB	733	760	%3.5

Çizelgeden de görüleceği gibi, sınıflandırmada gürültüsüz işaretlerle eğitilmiş ağ kullanıldığında başarımlar kabul edilemeyecek kadar düşük çıkmaktadır (%30). Tam olarak, test edilecek işaretlerin SNR seviyesinde (burada 14 dB) gerek gerçek deneyssel gürültü örnekleri gerekse yapay gürültü örnekleri kullanılarak sentezlenmiş işaretlerle eğitilmiş ağlar kullanıldığı takdirde ise başarımlar önemli ölçüde artmaktadır. Burada da, tam olarak, 14 dB'lik ağ kullanmak yerine, ona en yakın hazır ağlardan biri (15 dB'lik ağ) kullanıldığında başarımlar kaybının çok düşük olduğu gözükmemektedir. Ayrıca bu çizelgeden, yapay gürültü örnekleri yerine gerçek deneyssel gürültü örnekleri kullanıldığında sınıflandırma başarımının çok az da olsa arttığı gözükmemektedir. Bu nedenle, sınıflandırma güvenirliliğinin önemli olduğu uygulamalarda bu hususa dikkat edilmesi gerektiği, yani, yapay gürültü örnekleri kullanmak yerine deneyssel olarak kaydedilen kanal gürültüsü örneklerinin kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir. Ancak, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda, yapay gürültü örneklerinin kullanılmasının, sınıflandırma sonuçlarının daha hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlayacağı da açıktır.

4.2.2. Güç kaynağı gerilim seviyesinin etkisi

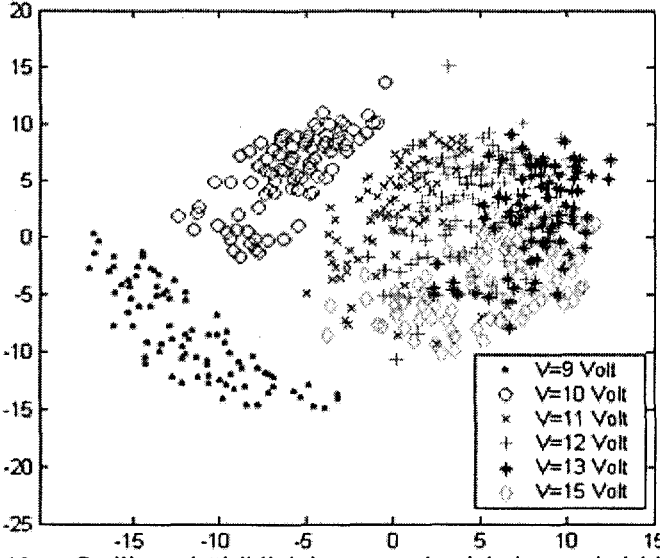
Güç kaynağı gerilim seviyesinin verici parmak izlerini etkilediği tespit edilmiştir (Tekbaş vd 2004b).Güç kaynağı gerilim seviyesinin DBS sisteminin başarımları üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, deneyde kullanılan telsizleri besleyen ayarlanabilir güç kaynağı 9V-15V aralığında çalıştırılmıştır. Telsizlerin nominal besleme gerilim değerleri 15 voltur. Her gerilim seviyesinde, her telsiz için yaklaşık 2 dakika kayıt yapılmıştır. Bu, her telsiz için yaklaşık 100 adet geçici rejim işaretine karşılık gelmektedir. Şekil 4.9'da aynı telsiz (TX8) 6 farklı gerilim seviyesine ait öznelilik

vektörleri 2 boyutlu bir Sammon haritası üzerinde gösterilmiştir. Haritada, her gerilim seviyesi için 74 geçici rejim işareti kullanılmıştır. Bu şekilden de görülebileceği gibi, farklı gerilim seviyelerinde kaydedilen geçici rejim işaretleri 2 boyutlu öznitelik uzayının farklı bölgelerinde kümelenmiştir. Gerilim seviyesi düştükçe, parmak izleri 2 boyutlu öznitelik uzayında gittikçe yayılan bir görüntü oluşturmaktadırlar.

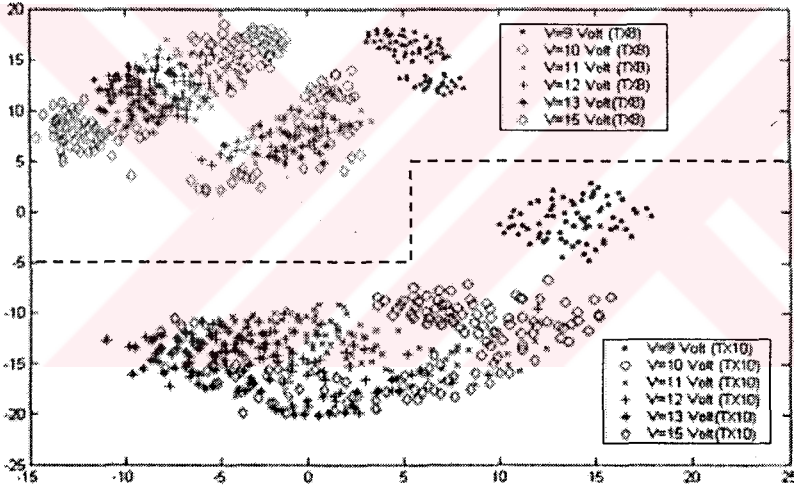


Şekil 4.9. Gerilim değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX8 telsizi için)

Benzer davranışlar test edilen diğer telsizler için de gözlemlenmiştir. Şekil 4.10'da farklı bir telsiz (TX10) için 2 boyutlu Sammon haritası verilmiştir. Şekil 4.11'de verilen bir diğer Sammon haritasında da TX8 and TX10 telsizlerine ait öznitelik vektörleri aynı anda gösterilmiştir. Şekil 4.11'deki parmak izlerinin daha önce şekil 4.9 ve 4.10'da gösterilen yerlerde çıkmamasının nedeni Sammon haritalama tekniğinin doğrusal olmayışıdır. Bu husus bölüm 2.4'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Buradaki amaç, telsizler arasındaki sınıf ayrımını göstermek olduğu için parmak izlerinin 2 boyutlu öznitelik uzayındaki konumlarının tutarlılığı hususu önemsenmemiştir.



Şekil 4.10. Gerilim değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX10 telsizi için)



Şekil 4.11. Gerilim değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX8-TX10 telsizleri için)

(Not: Parmak izlerinin daha önce şekil 5.9 ve 5.10'da gösterilen yerlerde çıkmamasının nedeni Sammon haritalama tekniğinin doğrusal olmayışıdır.)

Bahsi geçen 2 boyutlu haritalardan çıkarılabilecek önemli bir sonuç şudur: Düşük gerilim seviyelerine ait öznitelik vektörleri, 2 boyutlu öznitelik uzayında, ideal çalışma gerilimine yakın düzeylere ait öznitelik vektörlerinin öbeklerine oldukça uzak bölgelerde yer almaktadırlar. Ancak, deneyler esnasında da gözlemlenmiştir ki, bu düşük gerilim seviyelerinde (örneğin 9-10 volt seviyelerinde) vericilerin çıkış gücü oldukça düşüktür. Bu durum, anlaşılabilir iletişimi dahi engellemektedir. Dolayısıyla, kaydedilen işaretlerin ortalama güç değerleri belirli bir eşik değerinden az olduğu takdirde, bir başka deyişle, düşük işaret-gürültü oranlarında, parmak izi tespit sistemi, sınıflandırma yapmadan, bu işaretleri değerlendirmeyi reddetmelidir. Aksi takdirde, bu düşük gerilim düzeylerine ait öznitelik vektörlerinin 2 boyutlu öznitelik uzayında yayıldığı oldukça geniş alanda başka telsizlere ait öznitelik vektörlerinin yer alma ihtimali artacağından sistemin hatalı karar verme olasılığı da artacaktır.

2 boyutlu Sammon haritalarından çıkarılabilecek diğer önemli bir sonuç ise nominal çalışma gerilimi veya buna yakın değerlerdeki parmak izlerinin birbirine yakın veya birbiri üzerine çakışan bölgelerde öbeklenmiş oluşudur. Bu durum, bir veri azaltma ve özetleme yönteminin kullanılmasının mümkün olabileceğini göstermektedir. Tez çalışmaları esnasında kullanılan veri özetleme tekniği, detayları Bölüm 2.3'de anlatılan SOM tekniğidir. SOM tekniğinin hem sistem hızı hem de hafıza gereksinimleri açısından sisteme olumlu katkılar sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bu sayede veri genellemesi de mümkün olmaktadır. SOM yöntemini kullanmanın sistem başarımına olan etkisi bölüm 4.5'de verilmiştir.

Farklı gerilim değerlerinin DBS sisteminin genel başarımı üzerindeki etkisini göstermek amacıyla iki ayrı deney daha yapılmıştır. Bu deneylerde yukarıda bahsedilen 10 VHF telsizi farklı besleme gerilimlerinde çalıştırılmış ve ayrıca ortam sıcaklıkları da kaydedilmiştir.

Birinci deneyde, eğitim ve test kümesinde yer alan tüm işaretler aynı çevresel şartlarda kaydedilmiştir (Ortam sıcaklığı 18°C, besleme gerilimi 15 V). İkinci deneyde ise eğitim kümesi birinci deneydeki kümenin aynısı fakat test kümesi besleme gerilimi 10 V iken kaydedilen işaretler arasından seçilmiş, ortam sıcaklığı yine 18 °C olarak ölçülmüştür. Her iki deneyde de eğitim kümesinde telsiz başına 24 geçici rejim işareti ve 200 test işareti kullanılmıştır. Sınıflandırma sonuçları çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Besleme gerilimi değişikliği deneyi sonuçları

Eğitim Kümesi	Test Kümesi	Doğru Sınıflandırma Oranı
15 V	15 V	96.5%
15 V	10 V	84.1%

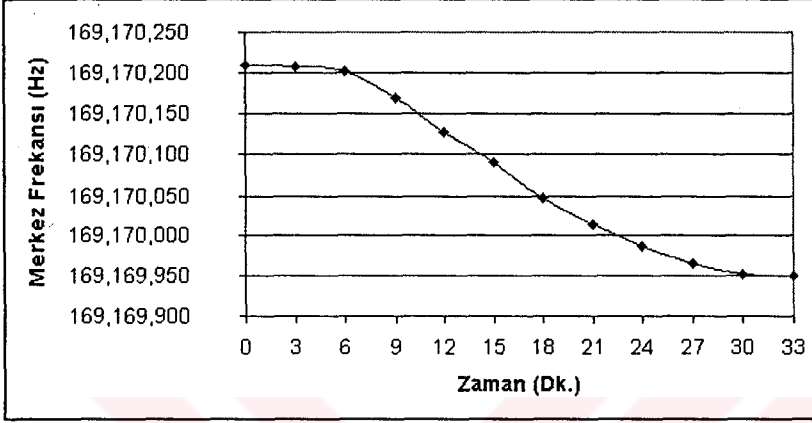
Eğitim ve test verileri aynı besleme gerilimiyle kaydedilmiş işaretlerden seçildiğinde, 10 telsizin tüm işaretlerine ait sınıflandırma hatasının ortalama değeri %3.5 olarak tespit edilmiştir. Eğitim ağı 15V verileriyle eğitilip, 10V verileriyle test edildiğinde ise ortalama hata olasılığı %14.9 bulunmuştur. Bu sonuçlar, eğitim kümesi verileri ile test kümesi verilerinin farklı besleme gerilimi ile kaydedilen işaretler arasından seçilmesi durumunda sistem başarımının oldukça düştüğünü göstermektedir. Sonuç olarak, DBS sisteminin genel başarımının artırılması için, PNN'nin nominal gerilim değerine yakın besleme voltajlarında kaydedilmiş tüm işaretler kullanılarak eğitilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Birinci deneyde elde edilen başarım sonucunun (%96.5) DBS sisteminin daha önceki başarım sonuçları (~ %99) ile karşılaştırıldığında biraz düşük olduğu gözükmemektedir. Bunun bu bölümde yapılan deneylerde test edilen işaret sayısının fazla olmasından (her telsiz için 200) kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çünkü, bu kadar fazla sayıda işaret peşpeşe üretildiğinde telsizlerde uzun süre çalışmadan kaynaklanan bir ısınma meydana geldiği ve sıcaklıktaki değişikliklerin verici parmak izi karakteristiklerini değiştirdiği tespit edilmiştir. Sıcaklık etkisinin DBS sisteminin başarımı üzerindeki etkisi bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

4.2.3. Sıcaklık etkisi

Gerek ortam sıcaklığındaki değişimlerin gerekse vericilerin aralıksız çalışmadan kaynaklanan iç ısınmalarının verici parmak izlerini etkilediği tespit edilmiştir (Tekbaş vd 2004b). Farklı sıcaklıklarda parmak izi değişimini incelemek amacıyla, dış hava sıcaklığının yaklaşık olarak -10°C olduğu bir günde, 1.setteki telsizler kullanılarak geniş bir sıcaklık aralığında deneyler yapılmıştır. Bu deneyde telsizlerin işletim frekansı 169.170 MHz seçilmiş; besleme gerilimleri nominal besleme geriliminde (15V) sabit tutulmuştur.

Bu amaçla, telsizler birer birer sıcaklığı kontrol edilebilen bir odaya (kapalı bir kutuya) yerleştirilmiş ve bu telsizlerden uzun süreli yayınlar yapılmıştır. 35-40 dakikalık bir zaman süresince, telsizlerin sıcaklığının, sürekli olarak açılma/kapanma tarzındaki çalışmadan dolayı -10°C'den 20°C'ye kadar

yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu zaman süresince, alıcı tarafta yakalanan RF işaretlerinin frekans spektrumları da bir spektrum analizörü ile takip edilmiş ve işaretlerin merkez frekansları 3 dakikada bir kaydedilmiştir. Bu işlemin yapılabilmesi için geçici olarak açılma/kapanma tarzındaki çalışma durdurulmuş, ölçüm için gerekli zaman süresince telsizlerin konuşma mandalı sürekli olarak basılı tutulmuştur. TX1 telsizi için frekansların zamana (ve dolayısıyla sıcaklık artışına) bağlı olarak değişimi şekil 4.12’de sunulmuştur.

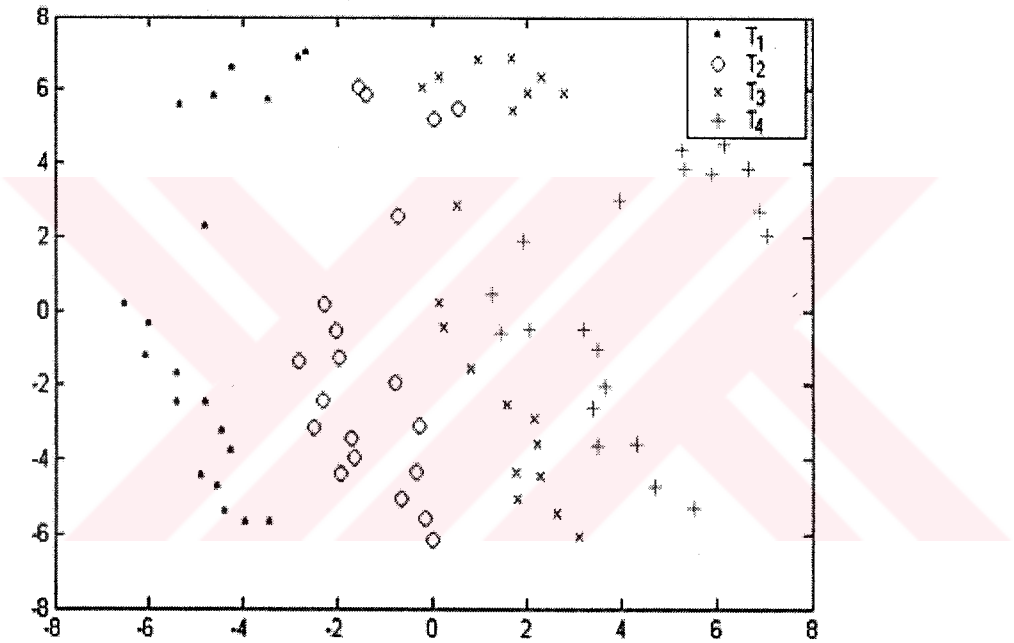


Şekil 4.12. Kaydedilen RF işaretlerinin merkez frekansının zamana göre değişimi

Deneyde kullanılan diğer telsizler için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.12’den de görüldüğü gibi zamanla, çalışmadan dolayı ısınmaya bağlı olarak, işaretlerin merkez frekanslarında bir azalma ve belirli bir zaman sonra doyuma ulaşma söz konusudur. Ayrıca, kaydedilen işaretler bilgisayar ortamına alındıktan sonra, geçici rejim işaretlerinin bulunduğu 40-50 ms’lik bölümler için frekans izgeleri çıkarılmış ve bu izgelerden sadece merkez frekansının değişmediği, aynı zamanda, işaretin izge yapısının da doğrusal olmayan bir tarzda değiştiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, uzun süreli çalışmalar veya ortam sıcaklığının birbirinden farklı olduğu zamanlarda kaydedilen işaretler söz konusu olduğunda, herhangi bir doğrusal frekans kaydırma yöntemi ile sıcaklık değişimlerinin modellenemeyeceği; PNN’deki eğitim kümelerinin, bu tür durumlarda, farklı sıcaklık seviyelerinden kaydedilen işaretler kullanılarak eğitilmesi gerektiği öngörülmüştür. Bu öngörüğü test etmek amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır:

Tüm telsizlerin, yaklaşık olarak aynı sıcaklık seviyelerine karşılık gelen işaretlerini belirleyebilmek amacıyla, 2 dakika süreli ancak aralıklı zaman periyotlarında her telsizden 100'er adet işaret kaydedilmiştir. 0-2 dakika periyodu; 10-12 dakika periyodu; 20-22 dakika periyodu ve 30-32 dakika periyoduna ait işaretler ayrı ayrı gruplar olarak belirlenmiştir. Belirlenen 4 farklı zaman periyoduna ait sıcaklık değerleri sırasıyla T_1 , T_2 , T_3 ve T_4 olarak isimlendirilmiştir. Zamanla sıcaklığın arttığı, bilindiğinden $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$ olduğu söylenebilir. Burada, gerçek rakamsal sıcaklık değerlerini tam olarak tespit etmek mümkün olamayacağı için bu şekilde bir isimlendirme tercih edilmiştir.

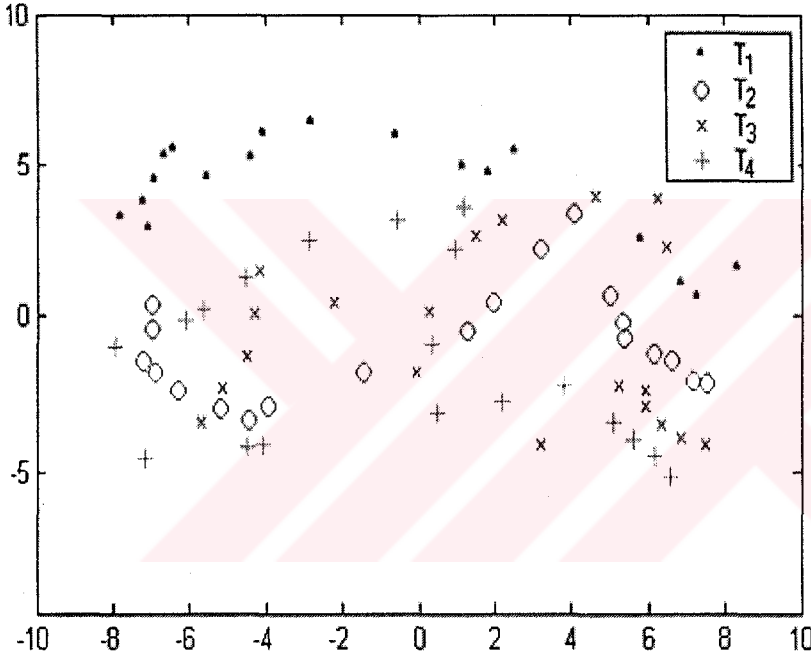
Aynı sıcaklık değerlerine ait işaretlerin birbirine benzer parmak izlerine sahip olacağı değerlendirilmiş, bu nedenle, SOM tekniği ile her sıcaklık değerine ait toplam 100 öznitelik vektörü, 20 SOM vektörüne indirgenmiş ve SOM vektörlerine ait 2 boyutlu Sammon haritaları hazırlanmıştır. TX1 telsizi için hazırlanan harita şekil 4.13’de gösterilmiştir.



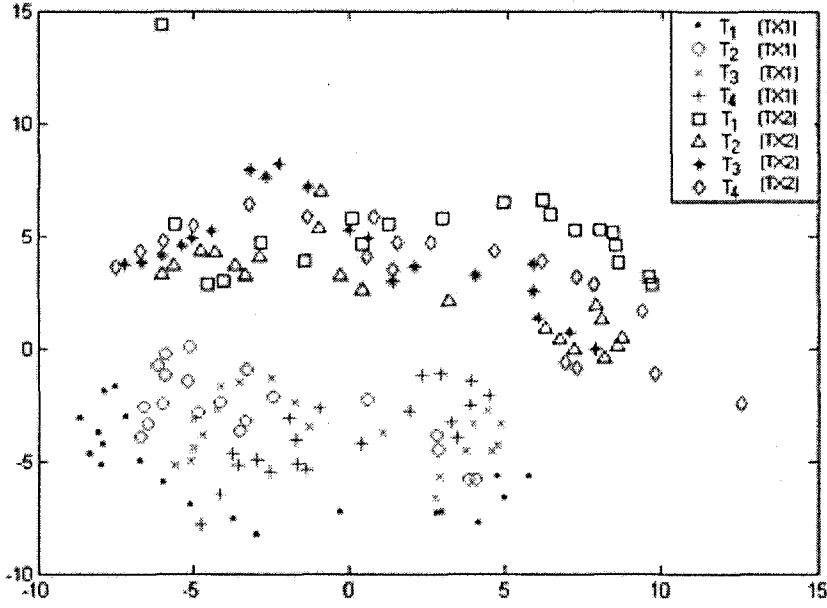
Şekil 4.13. Sıcaklık değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi
(TX1 telsizi için)

Gerilim deneylerinde olduğu gibi, farklı sıcaklık değerleri söz konusu olduğunda da 2 boyutlu öznelik uzayında oldukça geniş bir dağılım ortaya çıkmaktadır. Bu davranış diğer telsizler için de gözlemlenmiştir. Şekil 4.14’de, TX2 telsizi için hazırlanan bir diğer Sammon haritası gösterilmiştir.

Bir başka Sammon haritasında ise TX1 ve TX2’ye ait parmak izleri bir arada gösterilmiştir. Şekil 4.15’de verilen bu haritada sınıflar arasındaki ayrım kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. Buradan, sıcaklık değişimlerinin parmak izlerinin yapısını oldukça değiştirdiği, buna rağmen, kullanılan öznelik çıkarma yöntemi sayesinde farklı sınıflar arasındaki ayrımın ve mesafenin kornuduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.14. Sıcaklık değişikliğinin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX2 telsizi için)



Şekil 4.15. Sıcaklık değişiminin parmak izleri üzerindeki etkisi (TX1-TX2 telsizleri için)

(Not: Parmak izlerinin daha önce şekil 4.13 ve 4.14’de gösterilen yerlerde çıkmamasının nedeni Sammon haritalama tekniğinin doğrusal olmayışdır.)

Yapılan deneylerde; PNN geniş bir sıcaklık aralığındaki tüm parmak izleri kullanılarak eğitildiğinde, sınıflandırma başarımının kabul edilebilir düzeylerde kalmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. PNN sadece belirli bir sıcaklık değerindeki parmak izleri ile eğitildiğinde ise, ortam sıcaklığı farklı olan zamanlarda kaydedilen test işaretlerine ait sınıflandırma sonuçları oldukça başarısız olmaktadır. 10 telsizin 4 farklı sıcaklık seviyesindeki 100’er adet geçici rejim işareti kullanılarak yapılan deney sonuçları çizelge 4.10’da sunulmuştur.

Birinci deneyde, eğitim ve test işaretlerinin tümü birinci zaman diliminde (dolayısıyla T_1 sıcaklığında) kaydedilen işaretler arasından seçilmiştir. Her telsize ait 100 işaretten 24’ü eğitim kümesinde geriye kalan 76’sı ise test kümesinde kullanılmıştır. 2, 3 ve 4. deneylerde ise, eğitim kümesi T_1 diliminden, test kümesi ise sırasıyla T_2 , T_3 ve T_4 dilimlerinden seçilmiştir. Eğitim ve test kümelerine ait sıcaklık değerleri arasındaki fark arttıkça sistem başarımının da düştüğü gözükmemektedir.

Çizelge 4.10. Sıcaklık değişikliği deneyi sonuçları

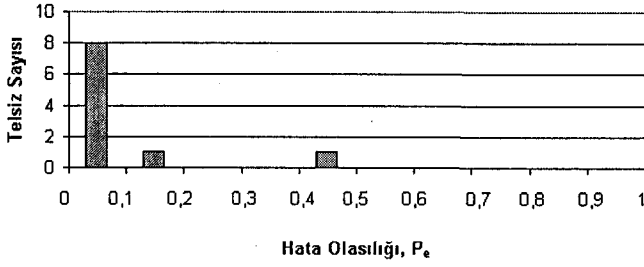
Deney No	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğru sınıflandırma oranı
1	T ₁	T ₁	%93.5
2	T ₁	T ₂	%73.8
3	T ₁	T ₃	%67.1
4	T ₁	T ₄	%63.1
5	T ₁ , T ₂ , T ₃ and T ₄	T ₁ , T ₂ , T ₃ and T ₄	%98.6
6	T ₁ , T ₂ , T ₃ and T ₄ (SOM Uygulandı)	T ₁ , T ₂ , T ₃ and T ₄	%97.8

5.deneyde, her zaman diliminden 24 işaret eğitim kümesine alınmıştır. Dolayısıyla, PNN'nin eğitim kümesinde 960 işaret (24 işaret X 4 dilim X 10 telsiz) kullanılmıştır. Test kümesinde ise, eğitim kümesinde kullanılmayan 3040 işaret (76 işaret X 4 dilim X 10 telsiz) yer almıştır. Bu deneyde sistem başarımı %98,6 olarak tespit edilmiştir.

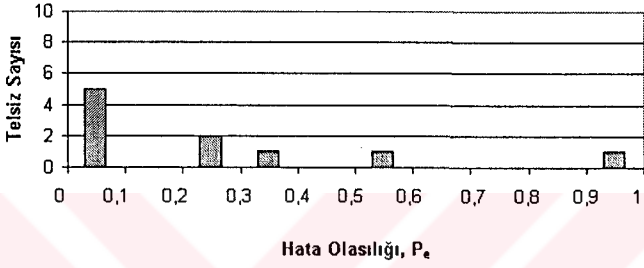
6.deneyde ise, 5.deneydeki eğitim kümesi eleman sayısı oldukça fazla olduğu için, sistem kaynaklarının etkin kullanımı açısından bir veri özetleme tekniği kullanılırsa, sınıflandırma başarımının nasıl etkileneceği araştırılmıştır. SOM tekniği kullanılarak yapılan özetlemede, eğitim kümesindeki eleman sayısı her telsiz için 48'e düşürülmüş ve toplam eğitim kümesi eleman sayısı 480 olacak şekilde eğitim yapılmıştır. SOM tekniğinin kullanılması neticesinde başarımın çok büyük oranda değişmediği ancak, işlem hızı açısından önemli kazanım elde edildiği tespit edilmiştir. Bu kazanımın özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda büyük önem taşıyacağı değerlendirilmektedir. SOM yönteminin DBS sistemindeki etkilerinin ayrıntılı bir şekilde araştırılmasına yönelik çalışmaların sonuçları bölüm 4.5'de sunulmuştur.

Bu bölümdeki deneylerde elde edilen hata olasılığı değerlerinin telsizlere dağılımını gösteren histogramlar da hazırlanmış ve şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, eğitim kümesindeki işaretlerin kaydedildiği andaki ortam sıcaklığı ile test kümesindeki işaretlerin kaydedildiği andaki ortam sıcaklığı arasındaki fark arttıkça, hem sistemin genel başarımı düşmekte hem de problemlı telsiz sayısı artmaktadır.

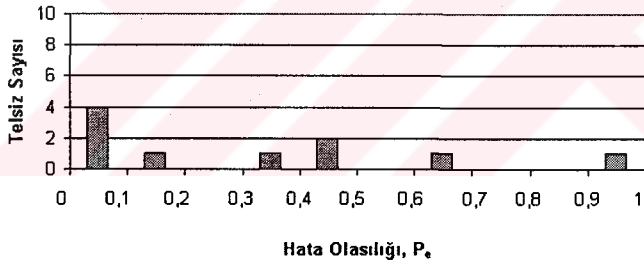
1.Deney İçin Hata Olasılığı Histogramı
(Ortalama hata: %6.5 standart sapma: 0,147)



2.Deney İçin Hata Olasılığı Histogramı
(Ortalama hata: %26.2 standart sapma: 0,321)

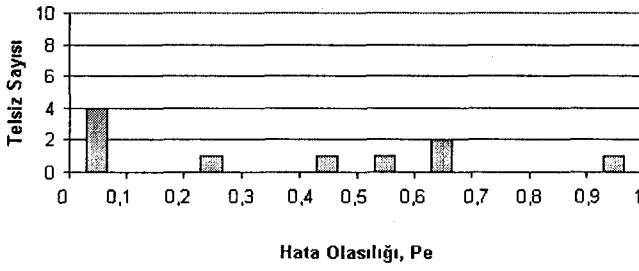


3.Deney İçin Hata Olasılığı Histogramı
(Ortalama hata: %32.9 standart sapma: 0,316)

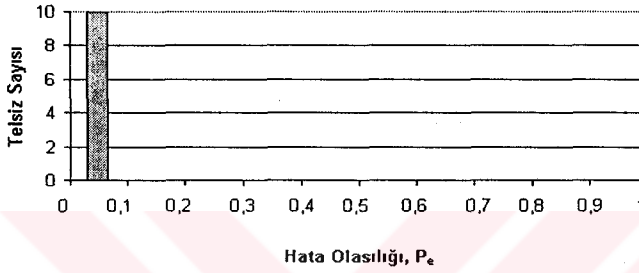


Şekil 4.16. Sıcaklık deneyleri için hazırlanan hata olasılığı histogramları

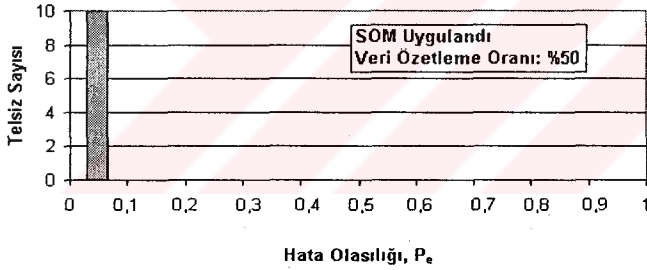
4.Deney İçin Hata Olasılığı Histogramı
(ortalama hata: %36.9 standart sapma:0,343)



5.Deney İçin Hata Olasılığı Histogramı
(ortalama hata: %1.4 standart sapma:0,021)



6.Deney İçin Hata Olasılığı Histogramı
(ortalama hata: %2.2 standart sapma:0,025)



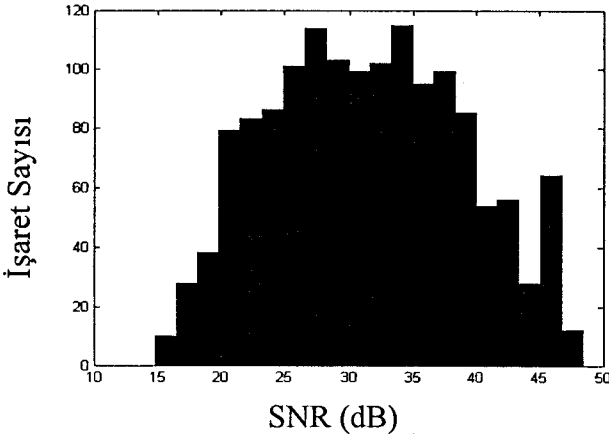
Şekil 4.16. (Devam) Sıcaklık deneyleri için hazırlanan hata olasılığı histogramları

Sonuç olarak, bu bölümde gerçekleştirilen tüm deneyler dikkate alındığında, bir verici kimlik tespit sisteminin güvenilir bir başarımla verebilmesi için, geniş bir sıcaklık aralığında eğitilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

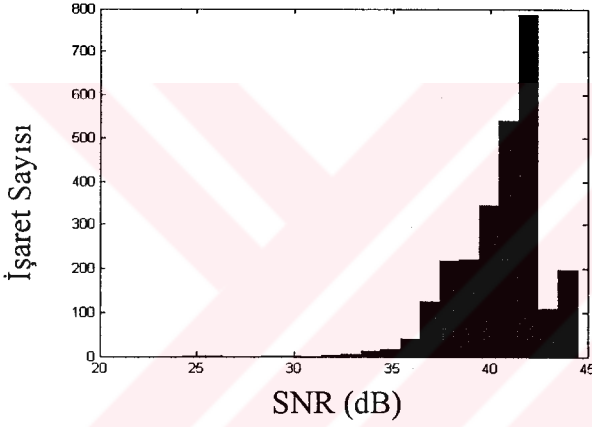
4.2.4. Bayılma (fading) etkisi

Bayılmanın vericilerin parmak izleri üzerindeki etkisinin araştırılmasına yönelik olarak bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 1.setteki 10 verici bir aracın içerisine yerleştirilmiş ve araç ortalama 80 km/saat hız ile hareket halinde iken vericilerden yayın yapılmıştır. Aracın harekete başladığı noktanın alıcı telsize uzaklığı yaklaşık 350 metre, hareket güzergahındaki en uzak noktanın alıcıya uzaklığı ise yaklaşık olarak 1.8 km olarak ölçülmüştür. Hareket güzergahında 10 defa tur atılmış ve her turda sadece bir vericiden yayın yapılmıştır. Alıcı veya verici tarafın hareketli olmasının yayın işaretlerinde frekans seçmeli bayılma (frequency selective fading) ve/veya genlik bayılmasına (frequency nonselective fading-flat fading) ve aynı zamanda iletim işaretlerindeki SNR değerlerinin değişmesine neden olacağı bilinmektedir. Deneylerde kullanılan vericilerin işletim frekansları 138.170 MHz seçildiğinde, ortalama 100 km/saat hız için Doppler yayılması 10-12 Hz civarında olacağından, geçici rejim işaretlerinin süresi dikkate alındığında bu boyuttaki bir frekans yayılmasının işaretlerin karakteristik özelliklerini çok önemli ölçüde etkilemeyeceği; geçici rejim işaretlerinin 20 KHz'lik bantgenişliğine sahip olduğu dikkate alındığında, bu bantgenişliğinin VHF kanallarının birkaç yüz KHz'lik evreyumluluk bantgenişliğinden (coherence bandwidth) düşük olduğu, dolayısıyla, frekans seçmeli bayılmanın da işaretlerin karakteristik özelliklerini çok önemli ölçüde etkilemeyeceği; SNR değerlerindeki değişimlerin ise daha önce anlatılan gürültü ile eğitim yöntemi kullanılarak belirli ölçüde telafi edilebileceği değerlendirilmiştir. Bu deneyde kaydedilen işaretlerin (1451 işaret) SNR histogramı (şekil 4.17) incelendiğinde, SNR ortalamasının 31.5 dB, standart sapmasının ise 7.6 olduğu tespit edilmiştir.

Bu işaretlerin sınıflandırılmasında kullanılacak PNN'nin eğitim kümesine, daha önce sıcaklık etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla yapılan ve çok fazla miktarda geçici rejim işaretinin toplandığı bir başka deneyin tüm verileri (2630 işaret) yerleştirilmiştir. Bunun sebebi, bayılma etkilerini sıcaklık değişimlerinden bağımsız olarak araştırmaktır. Çünkü, hareket güzergahı boyunca sürekli çalışmadan dolayı telsizlerde ısınma da meydana gelmiştir. Eğitim kümesine dahil edilen işaretlerin (2630 işaret) histogramı (şekil 4.18) incelendiğinde, SNR ortalaması 40.6 dB, standart sapması ise 2.1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.17. Vericiler hareket halinde iken kaydedilen 1451 işaretin SNR histogramı



Şekil 4.18. Bayılma deneyinde eğitim kümesinde yer alan 2630 işaretin SNR histogramı

Bu deneyde hem eğitim hem de test kümesindeki işaretlerdeki frekans kaymaları 3.bölümde anlatılan yöntemle giderilmiş ve eğitim kümesindeki işaret sayısı oldukça fazla olduğu için SOM yöntemi kullanılarak her telsizin eğitim kümesindeki SOM boyutu 150'ye düşürülmüştür. Toplam 1500 SOM vektörü kullanılarak PNN eğitimi gerçekleştirilmiş ve yapılan başarımlar

ölçüm deneyinde DBS sisteminin sınıflandırma hata olasılığı %15.4 olarak belirlenmiştir. Buradaki başarımların düşükliğünün eğitim ve test kümelerindeki SNR dağılımlarının birbirinden oldukça farklı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bölüm 4.2.1’de belirtilen gürültü ile eğitim tekniğinin bir uygulaması olarak; hem eğitim hem de test kümesindeki işaretlerden SNR değeri 35 dB’nin üzerinde olanlar belirlendikten sonra, bu işaretlere SNR değeri 35 dB olacak şekilde gürültü ilave edilmiştir. Gürültülü eğitim kümesi (2596 işaret) üzerinde önce boyutu 150 olan bir SOM eğitimi uygulanmış ve toplam 1500 SOM vektörü kullanılarak gerçekleştirilen PNN eğitimi sonrasında, gürültü ilave edilmiş test kümesi (493 işaret) sınıflandırıldığında hata olasılığının %5.6 olduğu tespit edilmiştir. Burada da, gürültü ile eğitim tekniği kullanıldığında sınıflandırma başarımında önemli ölçüde iyileşme elde edildiği gözükmemektedir. Sınıflandırma başarımının daha önceki deneylerde elde edilen %99 civarındaki başarımlardan düşük olmasının (%94.4) en önemli nedeni; gürültü ile eğitim tekniğinde kullanılan gürültü örneklerinin bayılma etkisinin incelenmesine yönelik olarak yapılan deneylerle aynı zaman diliminde kaydedilmemiş olmasıdır (Gürültü örneklerinin kaydedilmesi yaklaşık bir yıl sonraki deneylerde göz önüne alınmaya başlamıştır).

4.3. İletim Frekansından Kayma Etkisi

Deneylerde kaydedilen işaretlerin 3. bölümde anlatıldığı gibi 3.4 ve 3.5 eşitlikleri yardımıyla aynı frekans merkezine (10 KHz) kaydırılmasının sınıflandırma başarımını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir (Tekbaş vd 2003). Bu etkiyi gözlemlemek için 1. telsiz setindeki telsizlerden kaydedilen geçici rejim işaretlerine ait öznelik vektörleri hem kayma düzeltilmesi yapılmadan hem de kaydırma yapıldıktan sonra hesaplanmıştır. Her iki grup için gerçekleştirilen başarımların ölçüm deneyleri sonucunda tespit edilen hatalı sınıflandırma olasılıkları çizelge 4.11’de sunulmuştur. Bu deneylerde de eğitim kümesi eleman sayısı 240 (24 X10 telsiz); test kümesi eleman sayısı 760 (76 X 10 telsiz) alınmıştır.

Çizelge 4.11. Hassas frekans ayarlamasının etkisi

Frekans kaydırma	Hatalı sınıflandırılan işaret sayısı	Pe
Var	4	% 0.5
Yok	20	% 2.6

Bu deneyler bölüm 4.2.1’de belirtilen yöntemle farklı SNR değerlerinde de tekrarlanmış ve frekans sapmalarının giderilmesi durumunda özellikle 20 dB ve yukarısında sınıflandırma başarımının arttığı belirlenmiştir.

4.4. Alternatif Öznitelik Hesaplama Yöntemlerinin Etkisi

Bölüm 3.2.2’de de belirtildiği gibi, DBS sisteminin modelleme ünitesinde, geçici rejim işaretlerinin karakteristiklerini ortaya koymak için alternatif iki yöntem kullanılmıştır (Tekbaş vd 2003). Eş. 3.15 ve eş. 3.22 ile özetlenebilecek bu yöntemler, sırasıyla, karmaşık ve genliğe dayalı uzaklık hesabı yöntemleri olarak isimlendirilmişlerdir. Bu yöntemlerin DBS sisteminin başarımı üzerindeki etkisini araştırmak için 3 farklı telsiz setindeki (1.set, 3.set ve 5.set) telsizlerden kaydedilen işaretlere ait öznitelikler tarif edilen şekillerde hesaplanmış ve her yöntem için farklı sınıflandırıcılar eğitilerek test edilmiştir. Her deneyde, eğitim kümelerinde telsiz başına 24 işaret kullanılmış; 76 işaret test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çizelge 4.12’de sunulmuştur. Çizelgeden de görüleceği üzere, karmaşık uzaklık hesabına dayalı yöntem kullanıldığında her zaman daha iyi başarımlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Uzaklık hesap yöntemlerinin etkisi

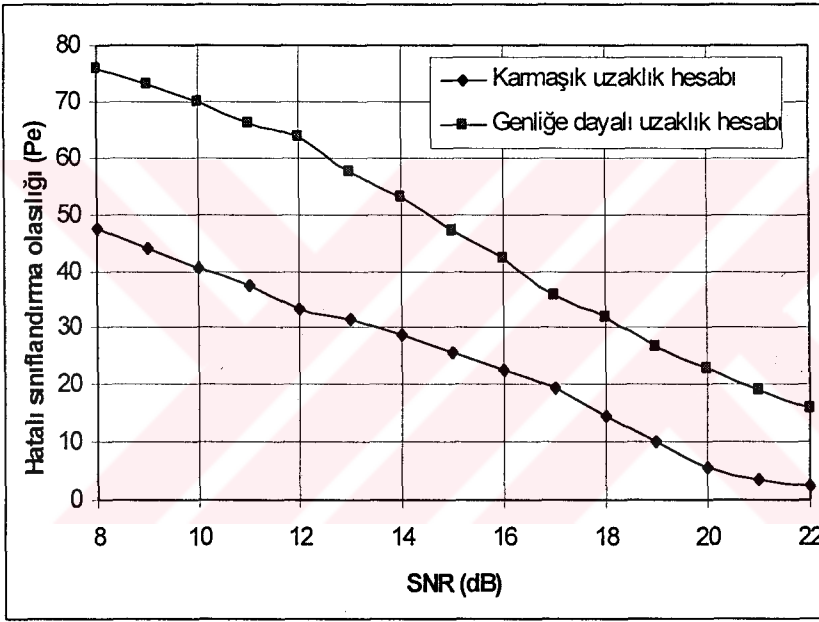
	1.Set	3.Set	5.Set	Ortalama Pe
Genliğe dayalı uzaklık hesabı	%3.9	%10.2	%20.3	%11.5
Karmaşık uzaklık hesabı	%0.5	%6.2	%11.5	%6.1

Bu deneyden çıkarılabilecek diğer önemli bir sonuç, kullanılan telsiz setindeki telsiz sayısı arttıkça sınıflandırma başarımının düşmesidir. Bunun, aslında, beklenen bir sonuç olduğu ve bu başarımların düşüklüğünün kısmen eğitim kümesindeki eleman sayılarının artırılmasıyla giderilebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, 1.set haricindeki setler kullanıldığında başarımın nispeten daha düşük olmasının bir diğer sebebi de kullanılan sistem parametrelerinin 1.sete göre ayarlanmış olmasıdır. Eğitim kümesindeki eleman sayılarının sınıflandırma başarımı üzerindeki olumlu etkisi daha önce bölüm 4.1’de gösterilmiştir. Bu deneyde amaç uzaklık hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olduğu için 2. ve 3. setler için sistem parametreleri ayarlanmamıştır.

Alternatif öznitelik hesaplama yöntemlerinin düşük SNR değerlerine sahip işaretler üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla 1.setteki telsizlerden elde edilen işaretler kullanılarak bir başka deney daha yapılmıştır: Farklı SNR

değerlerinde 4.2.1. bölümde anlatılan yöntemle göre elde edilen başarımlar karşılaştırılmalı olarak şekil 4.19'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere karmaşık uzaklık hesap yöntemi ile elde edilen öznelilikler kullanıldığında sistemin sınıflandırma başarımının tüm SNR değerlerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Karmaşık uzaklık hesabı yöntemi kullanıldığında sınıflandırma başarımının daha yüksek olmasının gerekçesinin; genliğe dayalı uzaklık hesabı yönteminde işaretin sadece Δt aralıklarındaki genlik değişimlerinin dikkate alınması, karmaşık uzaklık hesabı yönteminde ise evre ve genlik değişimlerinin aynı anda göz önüne alınması olduğu değerlendirilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, aynı zamanda, tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sisteminin, Payal(1995) ve Abdulla(1996) tarafından ortaya konan çalışmalara olan üstünlüğünü de göstermektedir. Çünkü her iki çalışmada da sadece geçici rejim işaretlerindeki genlik bilgisi kullanılmıştır.



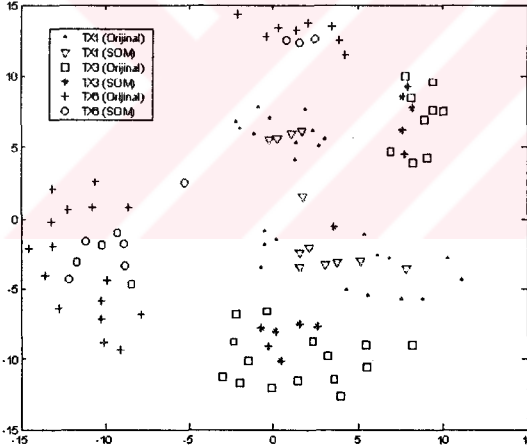
Şekil 4.19. Farklı uzaklık hesaplama yöntemlerinin başarımlar üzerindeki etkisi. (1.set)

4.5. Veri Özetlemenin Etkisi

Daha önce 4.2. bölümde de belirtildiği üzere verici kimlik tespit sistemlerinin başarımı verici sıcaklığı ve batarya voltajı gibi çevresel şartlardan etkilenmektedir. Bu problemin çözümü için önerilen yöntem sınıflandırıcıları farklı sıcaklıklarda ve nominal besleme gerilimine yakın değişik gerilim seviyelerinde elde edilen geçici rejim işaretleri ile eğitmektir. Ancak bu durumda elde edilecek eğitim kümesindeki işaret sayısı çok fazla olduğundan verilerin özetlenmesi bir zorunluluk olarak ortaya çıkmış ve veri özetleme için bölüm 2.3’de açıklanan SOM yöntemi kullanılmıştır.

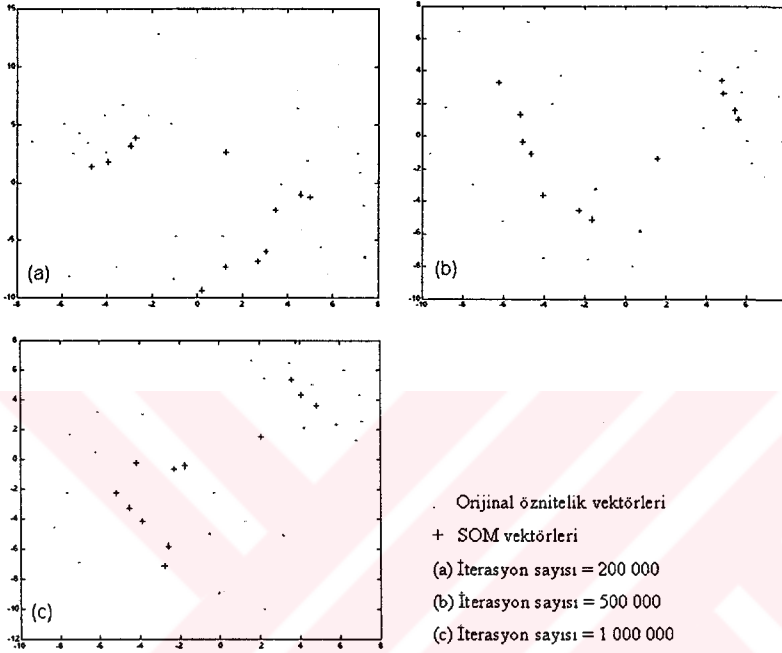
Bu bölümde öncelikle, SOM yönteminin veri özetleme işlevini başarılı bir şekilde yerine getirdiğini göstermek amacıyla, belirli bir miktardaki veri için orijinal ve özetlenmiş öznitelik vektörlerine ait 2 boyutlu bir Sammon haritası hazırlanmış, daha sonra, veri özetlemesi yapılması durumunda sistemin sınıflandırma başarımının nasıl etkilendiği incelenmiştir.

1. telsiz setinde yer alan 3 telsizden (TX1, TX3 ve TX6) kaydedilen toplam 72 (her telsizden 24) işaretten değişinti kırılca boyutu yöntemi ile elde edilen öznitelik vektörlerinin orijinal değerleri ile SOM yöntemi kullanıldıktan sonra elde edilen 36 (her telsiz için 12) adet SOM vektörü, Sammon haritalama yöntemi ile 2 boyuta indirgenmiş ve şekil 4.20’de bir arada gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, SOM yöntemi, her sınıf (telsiz) için özetleme görevini başarılı bir şekilde yerine getirmektedir.



Şekil 4.20. SOM yönteminin parmak izleri üzerindeki etkisi

SOM eğitiminde kullanıcı tarafından belirlenen iterasyon (epoch) sayısının önemi büyüktür. Çok az ya da çok fazla sayıda yineleme SOM yönteminin özetleme başarımını bozabilmektedir. Bu hususu gözlemleyebilmek amacıyla, şekil 4.21’de TX1 telsizine ait 24 öznelilik vektöründen 3 farklı iterasyon sayısı kullanılarak elde edilen 12 adet SOM vektörü, orijinal öznelilik vektörleri ile bir arada gösterilmiştir. Bu büyüklükteki bir küme için iterasyon değeri 500000 iken elde edilen SOM vektörlerinin, orijinal vektörleri daha iyi temsil edeceği değerlendirilmiş ve SOM eğitimdeki iterasyon sayısı tez çalışmaları esnasında 500000 olarak kabul edilmiştir.

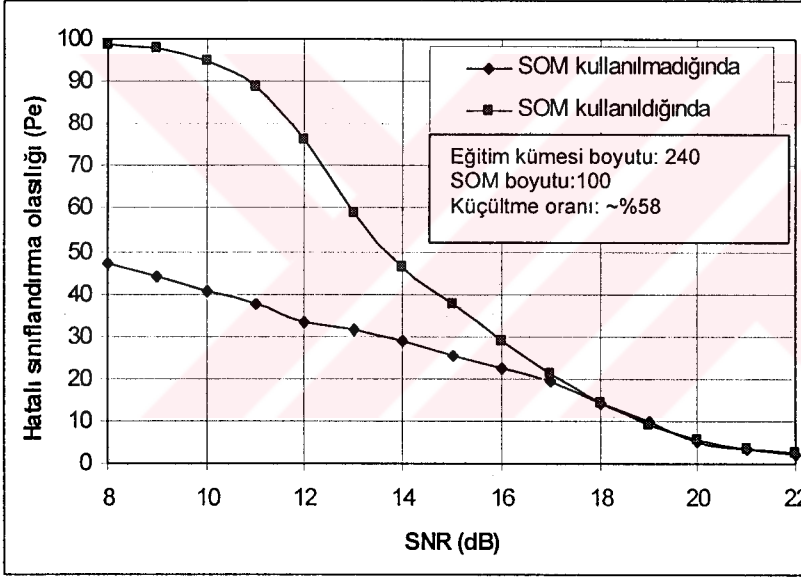


Şekil 4.21. SOM yönteminde iterasyon (epoch) sayısının etkisi (Not: Orijinal parmak izlerinin her iterasyonda farklı yerlerde çıkmasının nedeni Sammon haritalama tekniğinin doğrusal olmayışıdır.)

SOM yönteminin sınıflandırma başarımına olan etkisini incelemek amacıyla yapılan deneyde, 10 vericiden elde edilen 24 er adet iletim işareti (toplam 240 vektör) SOM ile özetlenerek 100 vektöre indirgenmiş ve PNN’nin eğitiminde bu vektörler kullanılmıştır. Test kümesinde yer alan gürültüsüz 760 işaretin sınıflandırılması sonucunda, başarımın değişmediği ($Pe=0.5$)

gözlemlenmiştir. Oldukça yüksek sayılabilecek bir özetleme oranının (%58) kullanılmış olmasına rağmen başarımın değişmemiş olması, eğitim kümesindeki orijinal vektörlerin aynı seansda kaydedilen ve dolayısıyla öznitelikleri birbirine çok benzeyen az sayıdaki işaretlere ait olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Çünkü, bu şartlar altında, SOM yöntemi oldukça başarılı bir özetleme yapabilmektedir. Sıcaklık deneyinde de gösterildiği gibi, eğitim kümesi öznitelik uzayında oldukça geniş dağılıma sahip çok fazla sayıda parmak izinden oluşturulduğu takdirde sistemin genel sınıflandırma başarımı çok az da olsa (~%1) düşmektedir (Çizelge 4.10).

Özetlemenin SNR'ye bağlı olarak incelenmesi amacıyla, test vektörleri 4.2.1. bölümde anlatıldığı gibi farklı SNR değerlerinde sınıflandırıcıya uygulanmış ve elde edilen ortalama hata değerleri şekil 4.22'de sunulmuştur. Aynı şekil üzerinde herhangi bir özetleme yapmadan yani eğitim kümesinde 240 vektörün tamamı kullanılarak elde edilen başarımlar da karşılaştırma amacıyla gösterilmiştir. Eğitim kümesinin boyutu yaklaşık %58 oranında küçültülmesine rağmen özellikle 17-18 dB'den yüksek SNR değerlerinde sistemin başarımında önemli bir azalma olmamıştır.



Şekil 4.22. Ağ boyutunun SOM ile küçültülmesinin etkisi

SOM ile eğitim kümesinin boyutunun küçültülmesinde kullanılabilecek özetleme oranlarının sınırlarını belirlemek amacıyla farklı özetleme oranlarında sistem başarımı incelenmiş ve sonuçlar çizelge 4.13’de sunulmuştur. SNR 15 dB iken yapılan bu deney sonuçlarına göre özetleme oranı %50’ye kadar artırıldığında dahi sistem başarımında, özetleme yapılmayan durum ile karşılaştırıldığında, hissedilir bir azalma olmadığı hatta kimi durumlarda sınıflandırıcının genelleme yeteneğinin artması ile daha iyi başarımlar elde edildiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.13. SOM özetleme oranının etkisi (SNR=15dB)

Test kümesi eleman sayısı	SOM boyutu	Özetleme oranı	Pe
24 X 10 TX ⇒ 240	5 X 10 TX = 50	~ %79	%33.3
24 X 10 TX = 240	10 X 10 TX = 100	~ %58	%37.7
24 X 10 TX = 240	12 X 10 TX = 120	~ %50	%26.2
24 X 10 TX = 240	15 X 10 TX = 150	~ %38	%24.7
24 X 10 TX = 240	17 X 10 TX = 170	~ %29	%26
24 X 10 TX = 240	20 X 10 TX = 200	~ %17	%25.8
24 X 10 TX = 240	22 X 10 TX = 220	~ %8	%26.1
24 X 10 TX = 240	SOM uygulanmadı	0	%25.5

4.6. Verici Anten Değişikliğinin Etkisi

Verici anten değişikliğinin DBS sisteminin başarımı üzerindeki etkisini araştırmak için 1 setteki telsizler kullanılarak iki farklı deney yapılmıştır. 1. deneyde verici anteni olarak bir çeyrek dalga dikey anten (quarter-wave vertical antenna); 2. deneyde ise bir disk-koni anten (Diamond D-130J Super Discone Antenna) kullanılmıştır. 1 deneyde toplanan işaretlerden her telsiz için 24’er adedi PNN’nin eğitim kümesinde kullanılmıştır. 1. deneyde toplanan işaretlerden eğitim kümesinde kullanılmayan 760 işaret (76 X 10 telsiz) sınıflandırıldığında hata olasılığı %2.89; 2. deneyde toplanan işaretlerden 760 adedi sınıflandırıldığında ise hata olasılığı %4.21 olarak tespit edilmiştir. Her iki deneyde de vericiler sabit bir gerilim kaynağı ile beslenmiş ve deneylerin yapıldığı zamanlarda ortam sıcaklıklarının 18°C (1.deney) ve 19°C (2.deney) olduğu tespit edilmiştir. Bu deneylerden, anten değişikliğinin DBS sisteminin sınıflandırma başarımını çok önemli ölçüde etkilemediği gözükmemektedir. Sonuç olarak, farklı anten kullanımının sadece farklı işaret seviyelerinin ortaya çıkmasına neden olduğu ancak, parmak izi karakteristiklerini çok etkilemediği söylenebilir.

4.7. DBS ve ATS Sistemlerinin Karşılaştırılması

Tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sisteminin yazılı dizine yaptığı en önemli katkı, alıcıların IF katı çıkışından kaydedilen işaretlere ait dördün bileşenleri analiz eden IF tabanlı bir sistem oluşudur. Bu bölümde, dördün bileşenleri kullanan DBS sistemi ile önceki çalışmalarda kullanılan ayırtaç tabanlı sistemleri karşılaştırmak için yapılan deneyler anlatılmıştır. Farklı zamanlarda 4 değişik telsiz seti (değişik marka, model ve seri numaralı VHF bandında çalışan toplam 64 telsiz) kullanılarak 3 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde geçici rejim işaretleri deneyde kullanılan genel amaçlı telsiz alıcılarının hem IF katı çıkışından hem de ayırtaç çıkışından bölüm 3’de açıklanan deney düzeneği yardımıyla eş zamanlı olarak kaydedilmişlerdir. Bu kayıtlar kullanılarak, öncelikle tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sisteminin verici sınıflandırma başarımı ölçülmüştür. Başarım sonuçları, ayırtaç tabanlı bir sistemin (ATS) başarım sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneylerin birinci grubunda sistemlerin genel verici sınıflandırma başarımı; ikincisinde sistemlerin kullandığı veri tabanlarının taşınabilirliği yani farklı alıcılar kullanıldığında sistem başarımlarının nasıl etkilendiği; üçüncüsünde ise sistemlerin tutarlılığı yani eğitim kümesi ile test kümesi birbirinden çok farklı zamanlarda kaydedildiğinde sistemlerin başarımlarının nasıl değiştiği konuları karşılaştırma kriterleri olarak seçilmiştir. Bu bölümde yapılan tüm deneylerde, hem sistem parametreleri hem de eğitim ve test kümesi eleman sayıları, eldeki mevcut işaret sayısına bağlı olarak ve yapılan deneyin başarımını en iyi yapacak şekilde ayrı ayrı ayarlanmıştır. Özet olarak, yapılan deneylerin tümünde de DBS sisteminin başarımının ATS sisteminin başarımına oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Tekbaş ve Serinken 2000). Bu deneylerde de P_e , eş. 4.1’de belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen birinci grup deneylerin sonucu çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. DBS ve ATS sistemlerinin genel karşılaştırması

	Miktar	Verici tipi	Her vericinin eğitim kümesindeki işaret sayısı	Her vericide kullanılan test işareti sayısı: N_t	Sistemin genel hata olasılığı, P_e , (DBS) için		Sistemin genel hata olasılığı, P_e , (ATS) için	
					Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Set 2	10	Motorola MT-500	24	75	%0	0.0000	%7.37	0.0651
Set 3	2 9	Yaesu FTH-2005 Yaesu FTL-2001	24	72	%0.12	0.0040	%2.45	0.0411
Set 4	3 2 10	Motorola MCX100 Yaesu FTH-2005 Yaesu FTL-2001	72	153	%2.11	0.0647	%11.20	0.0986
Set 5	28	Motorola SHA-274	24	76	%15.27	0.1425	%19.83	0.1985

Bu deneyde gerçekleştirilen testlerden görüldüğü gibi; tasarlanan DBS sisteminin başarımı (hata olasılığının ortalama ve standart sapma değerleri) ATS sisteminin başarımına göre daha iyidir. Ayrıca, her iki sistemde de kullanılan telsiz sayısı azaldıkça sistemlerin genel başarımı artmaktadır. Örneğin 2.sette en iyi sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Çizelgedeki hata olasılığına ait ortalama ve standart sapma değerleri her set için ayrı ayrı hazırlanan **hata-doğruluk matrisleri** ve **hata olasılığı histogramlarına** göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamanın detayları sadece 5. set için aşağıda açıklanmıştır:

5.set için DBS sisteminde elde edilen hata-doğruluk matrisi çizelge 4.15'de, ATS sisteminde elde edilen hata-doğruluk matrisi çizelge 4.16'da gösterilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu matrislerde sütunlar test edilmekte olan telsizleri, satırlar sınıflandırma sonucunda verilen kararı, diyagonalda yer alan değerler ise doğru sınıflandırma miktarlarını göstermektedir. Örneğin, çizelge 4.15'de gri tonda belirtilmiş olan değerler dikkate alındığında, DBS sisteminin TX5 telsizine ait 76 adet geçici rejim işaretini test ederken, bunlardan 70 adedini doğru, 6 adedini ise yanlış bir karar verme sonucunda yanlışlıkla TX6 ile eşleştirdiğini (sanki bu işaretler TX6 telsizinden geliyormuş gibi karar verdiğini) söyleyebiliriz.

Çizelge 4.15. DBS sisteminde 5.set için elde edilen hata-doğruluk matrisi

	TEST EDİLMETTE OLAN TELSİZLER																											
	TX1	TX2	TX3	TX4	TX5	TX6	TX7	TX8	TX9	TX10	TX11	TX12	TX13	TX14	TX15	TX16	TX17	TX18	TX19	TX20	TX21	TX22	TX23	TX24	TX25	TX26	TX27	TX28
TX1	55																											
TX2		75																										
TX3			76																									
TX4				55																								
TX5					70																							
TX6						54																						
TX7							52																					
TX8								57																				
TX9									75																			
TX10										70																		
TX11											75																	
TX12												76																
TX13													61															
TX14														68														
TX15															59													
TX16																70												
TX17																	62											
TX18																		69										
TX19																			69									
TX20																				65								
TX21																					60							
TX22																						75						
TX23																							53					
TX24																								76				
TX25																									66			
TX26																										76		
TX27																											53	
TX28																												30
TOPLAM	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Pe	0.28	0.01	0	0.28	0.08	0.29	0.32	0.25	0.01	0.08	0.01	0	0.2	0.11	0.22	0.08	0.18	0.09	0.09	0.14	0.21	0	0.3	0	0.13	0	0.3	0.61

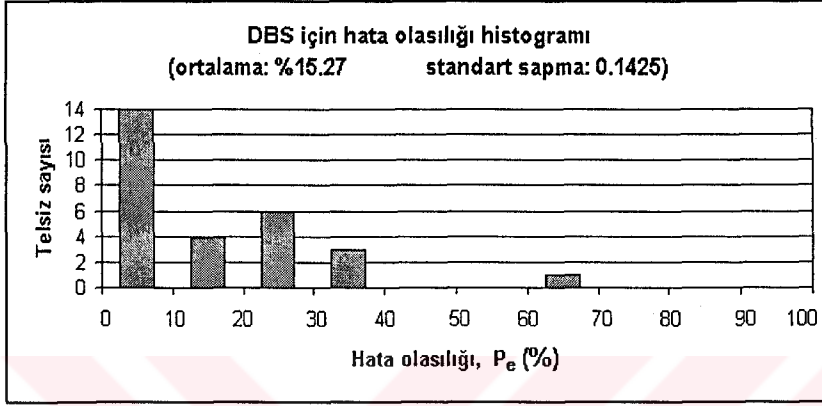
Çizelge 4.16. ATS sisteminde 5. set için elde edilen hata-doğruluk matrisi

	TEST EDİLMETTE OLAN TELSİZLER																											
	TX1	TX2	TX3	TX4	TX5	TX6	TX7	TX8	TX9	TX10	TX11	TX12	TX13	TX14	TX15	TX16	TX17	TX18	TX19	TX20	TX21	TX22	TX23	TX24	TX25	TX26	TX27	TX28
TX1	38	1					5					6	7		1													
TX2		63			6							2				1												
TX3			69							1									1									2
TX4				46			9														3		20					14
TX5		7			69																							
TX6						74								2											1	2		
TX7	34						67					9	1	1								1						
TX8				16				45										1			4		22					2
TX9									72																			
TX10			4							45								3										
TX11	3	2									76																	
TX12												56		5													1	
TX13							4						74															
TX14		1				1						3	59									1						
TX15													1		73													
TX16	1															75		8	15									
TX17									28					2			71					1						
TX18		2	3		1									3	1		52	9										12
TX19									1								4	50										11
TX20				2																76								
TX21																						63		8				
TX22				12																			67					
TX23								20													6		26					9
TX24																						1		61		8		
TX25						1																5			74	2		
TX26																								15		1	63	
TX27									4																			76
TX28										1								11										26
TOPLAM	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Pe	0.5	0.17	0.09	0.39	0.09	0.03	0.12	0.41	0.05	0.41	0	0.26	0.03	0.22	0.04	0.01	0.07	0.32	0.34	0	0.17	0.12	0.66	0.2	0.03	0.17	0	0.66

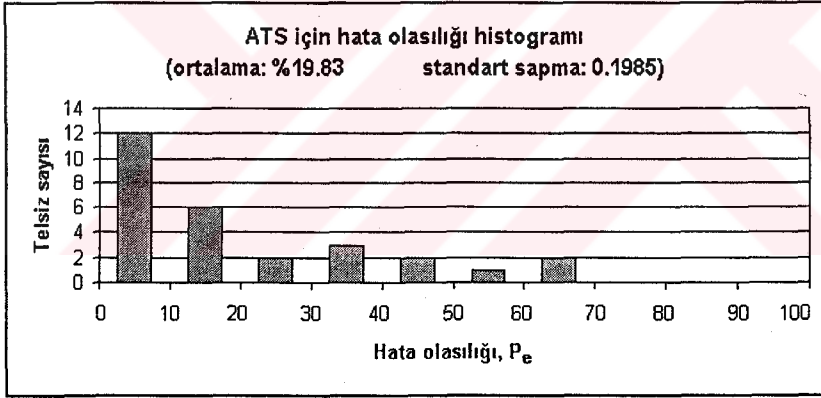
5.setteki telsizler için DBS sisteminde elde edilen hata olasılığı değerlerinin dağılımını gösteren histogram şekil 4.23(a)'da, ATS sisteminde elde edilen hata olasılığı değerlerinin dağılımını gösteren histogram ise şekil 4.23(b)'de gösterilmiştir. Hatalı sınıflandırma oranı %10'un üzerinde olan telsizler problemli telsizler olarak kabul edilirse, şekil 4.23'deki histogramlar incelendiğinde, DBS sistemine göre 13, ATS sistemine göre ise 16 telsiz problemli gözükmemektedir. Yani ATS sisteminde hatalar daha fazla sayıda telsize yayılmaktadır. ATS sisteminde elde edilen standart sapma değerinin, DBS sistemine göre daha fazla olması da bu sonucu doğrulamaktadır.

DBS sistemi ile ATS sistemini, veritabanlarının taşınabilirliği açısından karşılaştırmak üzere gerçekleştirilen ikinci deney grubunda, 4. setteki telsizler kullanılmış ve aynı alıcı anteni paylaşan iki alıcı telsiz (ICOM R9000 ve ICOM R7100) ile aynı anda kayıt yapılmıştır. DBS ve ATS sistemlerinin her ikisi de birinci alıcıdan kaydedilen işaretler ile eğitilmiş ve ikinci alıcının kaydettiği işaretleri sınıflandırmıştır. Bu deney grubuna ait sonuçlar çizelge 4.17'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüleceği gibi DBS sistemi çok küçük bir başarımlı düşüklüğüne rağmen farklı alıcılar tarafından kaydedilen işaretleri de sınıflandırabilmekte; ATS sistemi ise güvenilirliğini, bu açıdan, yeteri oranda koruyamamaktadır. ATS sistemlerindeki bu

başarım düşüklüğünün en önemli sebebi; ayırtaç işaretlerinin doğrusal olmayan bir işlem sonrasında elde edilen kipi çözülmüş işaretler olması ve bu doğrusal olmayan işlemi gerçekleştiren ayırtaç devrelerinde kullanılan doğrusal olmayan elemanların karakteristiklerinin her alıcı telsiz için farklı olmasıdır. IF işaretleri ise henüz kipi çözülmemiş işaretler olduğundan alıcıdan alıcıya çok büyük farklılık göstermemektedirler. Dolayısıyla, herhangi bir alıcı telsiz sistemi kullanılarak oluşturulacak olan bir DBS sistemindeki veritabanı başka alıcıların kullanıldığı platformlara taşındığı takdirde bile, sistem güvenilirliği büyük oranda korunacaktır.



(a) DBS



(b) ATS

Şekil 4.23. MOTOROLA SHA-274 vericilerine (Set 5) ait histogramlar
(a) DBS için (b) ATS için

Çizelge 4.17. Farklı alıcılar testi

	Verici tipi	Sistemin genel hata olasılığı, P_e , (DBS) için		Sistemin genel hata olasılığı, P_e , (ATS) için	
		Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Sınıflandırma verisi aynı alıcıdan olduğunda	Set 4	%2.11	0.0647	%11.20	0.0986
Sınıflandırma verisi farklı alıcıdan olduğunda	Set 4	%5.29	0.1294	%34.02	0.2866

Üçüncü deney grubu sistemlerin tutarlılığını test etmek için gerçekleştirilmiştir. Bu testte amaç; eğitim kümesine konacak işaretler ile sınıflandırılacak işaretler farklı zamanlarda kaydedildiğinde sistemlerin istenen oranda doğru sınıflandırma yapıp yapamadığını incelemektir. 4.setteki telsizler kullanılarak gerçekleştirilen bu deneyde, telsizlerin parmak izi işaretleri bir gün aralıkla yeniden kaydedilmiş ve birinci güne ait işaretler eğitim kümesine; ikinci güne ait işaretler ise test kümesine dahil edilmiştir. Bu deneyle ilişkin sistem başarımları sonuçları çizelge 4.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Tutarlılık testi

	Verici Tipi	Sistemin genel hata olasılığı, P_e , (DBS) için		Sistemin genel hata olasılığı, P_e , (ATS) için	
		Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Eğitim kümesi ile sınıflandırılacaklar kümesi aynı deneyin kayıtları arasından seçildiğinde	Set 4	%2.11	0.0647	%11.20	0.0986
Eğitim kümesi ile sınıflandırılacaklar kümesi farklı deneylerin kayıtları arasından seçildiğinde	Set 4	%19.13	0.3158	%45.97	0.2881

Bu değerlendirme kriteri açısından da DBS sistemi ATS sistemine göre daha tutarlı gözükmemektedir. Fakat yapılan diğer bazı deneyler sonucunda, DBS sistemi kullanıldığı takdirde bile, eğitim kümesine ait işaretlerin kaydedilme zamanı ile sınıflandırılacaklar kümesine ait işaretlerin kaydedilme zamanı birbirinden çok farklı ise, örneğin aralarında birkaç ay varsa, sistem başarımlarının çok önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiş ve deneylerin yapıldığı zamanlarındaki ortam sıcaklığının birbirinden farklı olmasının bu sonucun ortaya çıkmasında önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Uzun süren kayıtlar esnasında, vericilerdeki devre elemanlarının iç sıcaklığının artmasının da parmak izi karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Sıcaklık etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar ve bu etkileri en aza indirmek amacıyla alınması gerekli tedbirler bölüm 4.2.3’de detaylı olarak sunulmuştur.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, IF katı çıkışından elde edilen geçici rejim işaretlerini kullanarak verici kimlik tespiti yapabilen bir sistem geliştirilmiştir. Sistemin en önemli özelliği, sınıflandırma için gerekli öznitelikler tespit edilirken iletim işaretlerinde var olan genlik ve evre bilgisinin birlikte kullanılmasıdır. Bu işlem, IF işaretlerindeki eş evreli ve dik evreli dördün bileşenlerin deneysel olarak tespit edilmesi sayesinde gerçekleştirilebilmiştir.

Geliştirilen sistemde, işaretlerin algılanması amacıyla, sezgisel bir yöntemle dayalı bir güç eşiği algılama metodu; özniteliklerin çıkartılmasında, karmaşık işaret analizine dayalı bir değişinti kırılca boyut hesaplama yöntemi, sınıflandırmada ise PNN kullanılmıştır.

Yapılan deneylerde:

i. Sistem parametrelerinin (geçici rejim işaretinin uzunluğu (N), işaret içerisinde kırılca boyutu hesaplanacak olan pencerenin genişliği (w), bir sonraki pencereye geçerken kullanılan adım uzunluğu (d), varyans değerleri hesaplanırken kabul edilen ölçek adedi (R), her ölçekte kullanılacak zaman ilerleme (Δt) değeri ve eğitim kümesi eleman sayısının) sınıflandırma başarımını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca, deneylerde kullanılan telsiz seti değiştirildiğinde, DBS sistemindeki parametrelerin yeniden optimize edilmesi gerektiği, bir başka deyişle, bir telsiz seti için belirlenen optimum parametre değerlerinin bir başka telsiz seti için optimum olamayabileceği gözlemlenmiş ve her yeni durum için en uygun parametre değerlerine uzun süren deneysel çalışmalar sonucunda karar verilmiştir. Bu nedenle, güvenilir bir verici kimlik tespit sisteminde, sistem parametrelerinin her telsiz seti için ayrı ayrı optimize edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Parametre belirleme işleminin kullanılan telsiz setinden bağımsız olarak verici kimlik tespit sistemi tarafından otomatik olarak yapılabileceği, dolayısıyla, ileride yapılacak bir çalışmada bu konunun ele alınabileceği önerilmektedir.

ii. Çok fazla sayıda öznitelik değeri kullanıldığında, hem eğitim hem de test aşamasında çok fazla zamana ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, verici kimlik tespit sistemlerinde, en uygun parametre değerleri belirlenirken sadece sınıflandırma başarımının değil, sistem kaynaklarının etkin kullanılıp kullanılmadığının da göz önüne alınması, dolayısıyla,

öznitelik vektörü eleman sayısının olabildiğince az tutulması gerektiği değerlendirilmektedir.

iii. Çoklu değişinti kırılca boyut değerleri hesaplanırken, işaret boyunca sabit adım uzunluğu kullanmak yerine, toplam öznitelik sayısını değiştirmeden, adım uzunluğunun düzenli olarak artırılmasına dayalı bir pencere kaydırma yönteminin daha iyi sınıflandırma başarımı verdiği tespit edilmiştir. Geçici rejim işaretlerinin başlangıçta daha fazla değişim göstermesi, sonlara doğru ise kararlı bir yapıya kavuşması göz önüne alındığında, geliştirilen bu yeni yöntem sayesinde, işaretlerin başlangıç bölümlerinden çok, takip eden bölümlerinden ise daha az öznitelik değeri çıkartılabileceği, dolayısıyla, geçici rejim işaretleri için sabit adım uzunlukları yerine gittikçe artan adım uzunlukları kullanmanın başarımı artırabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle pencere adımlarının otomatik olarak tespit edilmesine olanak sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi faydalı olabilecektir.

iv. DBS sisteminde, yukarıdaki değerlendirmeler dikkate alınarak belirlenen sistem parametreleri kullanıldığında, ideal şartlar altında, %99'un üzerinde sınıflandırma başarımları elde edilmiştir. Burada ideal şartlar ile kastedilen, hem eğitim hem de test kümesinde yer alan işaretlerin benzer çevresel şartlar altında kaydedilmiş olmasıdır. Çevresel şartlar (besleme gerilimi, ortam sıcaklığı ve kanal gürültü seviyesi) değiştiğinde, insan parmak izlerinin aksine, verici parmak izi karakteristiklerinin değiştiği, dolayısıyla, eğitim kümesindeki işaretlerden farklı çevresel şartlar altında kaydedilen test işaretleri sınıflandırıldığında başarımın önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, bir verici kimlik tespit sisteminde eğitim kümesinin oldukça geniş besleme gerilim seviyelerinde ve sıcaklık aralıklarında kaydedilen işaretler kullanılarak zenginleştirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Bu işlem yapıldığı takdirde, DBS sistemindeki sınıflandırma başarımının kabul edilebilir seviyelere yükseldiği deneysel olarak gösterilmiştir.

v. Kanal gürültüsünün sınıflandırma başarımını bozucu etkisini azaltmak amacıyla, sentezlenmiş gürültülü işaretler kullanılarak eğitim yapılması anlamına gelen gürültü ile eğitim tekniği önerilmiş ve bu tekniğin başarıma olan olumlu katkısı hem sentezlenmiş hem de gerçek gürültülü kayıtlar kullanılarak deneysel olarak ispatlanmıştır. Teknik, özet olarak, herhangi bir test işareti yakalandığında, bu işaretin SNR değerinin belirlenmesi ve sınıflandırıcının bu SNR değerine sahip gürültü ilave edilmiş (sentezlenmiş) işaretlerle eğitilmesi esasına dayanmaktadır. Özellikle gerçek zamanlı

uygulamalarda bu yöntemin sisteme getireceği hesaplama yükünü azaltmak amacıyla, sınırlı sayıda önceden eğitilmiş ve hafızaya kaydedilmiş sınıflandırıcının kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Bu yapıldığı takdirde, sistemin sınıflandırma başarımında çok ciddi düşüşler olmadığı gözlemlenmiştir. Önerilen gürültü ile eğitim tekniği kullanıldığında, pratik uygulamaların çoğunda karşılaşılması muhtemel 10-15 dB civarındaki SNR seviyelerinde de kabul edilebilir sınıflandırma başarımına sahip sistemler tasarlamak mümkün görülmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamında hazırlanan SNR-Pe grafikleri sayesinde, sistemin herhangi bir SNR seviyesinde vereceği kararların güvenilirlik ölçüsünün de tespit edilebileceği değerlendirilmektedir.

vi. Kanal bayılsızının sınıflandırma başarımı üzerindeki etkisi araştırılmış ve eğitim kümesi farklı sıcaklık/SNR değerlerine sahip işaretler kullanılarak eğitildiğinde ve gerektiğinde gürültü ile eğitim tekniği kullanıldığında deneylerde kullanılan vericiler için bayılma etkisinin sınıflandırma başarımında önemli bir düşüşe neden olmadığı deneysel olarak gösterilmiştir.

vii. Çevresel şartlardaki değişikliklerle baş edebilmek amacıyla oldukça geniş eğitim kümeleri kullanıldığında, gerçekleştirilen sistemin hafıza gereksinimi ile eğitim ve sınıflandırma için gerekli işlem zamanının arttığı tespit edilmiştir. Bu etkiyi en aza indirmek için veri azaltma amacıyla PNN öncesinde bir veri özetleme yöntemi (SOM) kullanılmıştır. SOM yöntemi, özet olarak, eğitim, sınıflandırma ve hafıza gereksinimlerini iyileştirmekte, ancak veri azaltması nedeniyle çok az da olsa bir başarımlı kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, geliştirilen DBS sisteminde bu yöntem, sadece, kurulan ağdaki öznitelik vektörü sayısı daha önceden belirlenen bir sayıdan fazla olduğu zaman kullanılmıştır.

viii. DBS sisteminde başarımı artırıcı bir yöntem olarak iletim işaretlerindeki frekans kaymalarının yazılım ortamında giderilmesi üzerinde de durulmuş ve bu yöntemin başarıma olan olumlu katkısı deneysel olarak gösterilmiştir.

ix. Verici anten değişikliklerinin DBS sisteminin sınıflandırma başarımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

x. IF işaretlerinden kırılca boyut değerleri hesaplanırken bu çalışmada geliştirilen karmaşık işaret analizi yöntemi kullanıldığında, yazılı dizinde (Payal 1995, Abdulla 1996) yer alan ve sadece genlik bilgisinin kullanılmasına dayalı yöntemlerden daha iyi sınıflandırma başarımları elde

edilmiştir. Bu farkın, karmaşık işaret analizi yönteminde sadece genlik bilgisinin değil, deneysel olarak tespit edilen dördün bileşenlerin kullanılması sayesinde hem evre hem de genlik değişimlerinin aynı anda göz önüne alınmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

xi. Tez çalışması kapsamında geliştirilen DBS sistemi sadece geçici rejim işaretlerindeki evre bilgisini kullanan ayırtaç tabanlı bir yöntem ile farklı kriterler esas alınarak karşılaştırılmış, ve her açıdan geliştirilen sistemin diğerine göre üstün olduğu tespit edilmiştir. Örneğin DBS sisteminin, alıcı telsiz değişikliklerine karşı daha az duyarlı olduğu belirlenmiştir. Çünkü, DBS sisteminde IF katından alınan işaretler kullanılmakta, yani doğrusal olmayan bir yapıya sahip ayırtaç devrelerinin etkisi bu işaretlerde bulunmamaktadır. Farklı alıcılardaki ayırtaç devrelerinin IF işaretleri üzerindeki etkileri de farklı olacağından ayırtaç tabanlı sistemler alıcı değişikliklerine karşı çok fazla duyarlı olmaktadır.



KAYNAKLAR

- Abdulla, A.M. 1996. Identification of push-to-talk transmitters using wavelets and spectral correlation. M.Sc. thesis. Department of Electrical and Computer Engineering, Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA.
- Anonim. 2001. Joint Tactical Radio System (JTRS), Wideband Networking Waveform (WNW), Functional Description Document (FDD), Version 2.21.
- Choe, H.C., Poole, C.E., Yu, A.M. and Szu, H.H 1995. Novel identification of intercepted signals from unknown radio transmitters. Proc. of SPIE Wavelet Applications II, 1; 504-517, Orlando FL.
- Ellis, K. J., and Serinken, N. 2001. Characteristics of radio transmitter fingerprints, Radio Science, 36 (4); 585-597.
- Ferrel, P.J. 1991. Method and apparatus for characterizing a radio transmitter. US Patent. US 5,005,210.
- Hippenstiel, R.D., Payal, Y. 1996. Wavelet based transmitter identification. Proc. of the International Symposium on Signal Processing and its Applications ISSPA, 740-743, Gold Coast, Australia.
- Grieder, W., Kinsner, W. 1994. Speech segmentation by variance fractal dimension. Proc. of IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2;481-485.
- Kolakowski, J. 1998. Evaluation of transient behaviour of radiocommunication transmitters using short-time fourier-transform. 14th International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, 162-165, Wroclaw.
- Kohonen, T. 1990. The Self-organizing map. Proc. of the IEEE, 78 (9); 1464-1480.
- Kohonen, T.1995. Self-Organizing Maps, Springer Series, 325 p, Berlin.
- Kraft, R. 1995. Fractals and Dimensions. Technical Report. Munich University of Technology, 16p, Germany.

- Liebovitch, L.S., Toth, T. 1989. A fast algorithm to determine fractal dimensions by box counting. *Physics Letters*, 141(8,9); 386-390.
- Masters, T. 1995. *Advanced Algorithms for Neural Networks: A C++ Sourcebook*. John Wiley & Sons, 431 p, New York.
- Pawelzik, K., Schuster, H.G. 1987. Generalized dimensions and entropies from a measured time series. *Physical Review A*, 35;481-484.
- Payal, Y. 1995. Identification of push-to-talk transmitters using wavelets. M.Sc. Thesis. Department of Electrical and Computer Engineering, Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- Peitegen, H. O., Jurgens, H. and Saupe, D. 1992. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. Springer-Verlag, 984 p, New York.
- Saraç, U. ve Üreten, O. 2001. Eşleme tekniklerinin telsiz vericisi açılma geçici rejim işaretlerine uygulanması. 9. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Gazi Magosa, K.K.T.C.
- Schouten, J.C., Takens, F. and Bleek, C.M. 1994. Estimation of the dimension of a noisy attractor. *Physical Review E*, 50(3);1851-1861
- Serinken, N. and Ureten, O. 2000. Generalised dimension characterisation of radio transmitter turn-on transients. *Electronics Letters*, 36 (12); 1064-1066
- Shaw, D. and Kinsner, W. 1997. Multifractal modelling of radio transmitter transients for classification. *Proc. of the IEEE Conference on Communications Power and Computing WESCANEX'97*, 306-312, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Siedlecki, W., Siedlecka, K. Sklansky, J. 1988. An overview of mapping techniques for exploratory pattern analysis. *Pattern Recognition*, 21 (5); 411-429.
- Specht, D. F. 1988. Probabilistic neural networks for classification, mapping, or associative memory. *Proc. of the IEEE International Conference On Neural Networks*, 1; 525-532, San Diego, CA.

- Specht, D. F. 1990. Probabilistic neural networks, Neural Networks, 109-118.
- Sun, L., Kinsner, W. Serinken, N. 1999. Characterization and feature extraction of transient signals using multifractal measures. Proc. of IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 781-785.
- Tekbaş, Ö. H. and Serinken, N. 2001. Transmitter fingerprinting from turn-on transients. NATO SET Panel Symposium on Passive and LPI radio frequency sensors, Warsaw, Poland.
- Tekbaş, Ö. H., Üreten, O. ve Serinken, N. 2003. Bir telsiz vericisi kimlik tespit sisteminin kanal gürültüsü altında başarımlı analizleri. 11. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Bildiri Kitabı, 176-179, Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tekbaş, Ö. H., Üreten, O. and Serinken N. 2004a. Improvement of Transmitter Identification System for Low SNR Transients. IEE Electronics Letters, 40(3);182-183.
- Tekbaş, Ö. H., Serinken, N. and Üreten, O. 2004b. An Experimental Performance Evaluation of a Radio Transmitter Identification System under Diverse Environmental Conditions. CJECE dergisine sunuldu (kabul edildi, henüz yayınlanmadı).
- Tekbaş, Ö. H., Üreten, O. ve Serinken, N. 2004c. Gürültü ile Eğitim Yöntemi Kullanarak SNR Değeri Düşük Geçici Rejim İşaretlerinin Sınıflandırılması. 12. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Bildiri Kitabı, 91-94, Kuşadası, Türkiye.
- Theiler, J. 1986. Spurious dimension from correlation algorithms applied to limited time-series data. Physical Review A, 34 (3);2427-2432.
- Toonstra, J. and Kinsner, W. 1995. Transient analysis and genetic algorithms for classifications. Proc. of the IEEE Conference on Communications Power and Computing WESCANEX'95, 432-437, Winnipeg, Manitoba.

- Toonstra, J., Kinsner, W. 1996. A radio transmitter fingerprinting system ODO-1. Proc. of the IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1; 60-63, Calgary, Alberta.
- Üreten, O. and Serinken, N. 1999A. Bayesian detection of radio transmitter turn-on transients. Proc. of the IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP'99, 830-834, Antalya, Turkey.
- Üreten, O. and Serinken, N. 1999B. Detection of radio transmitter turn-on transients. Electronics Letters,35(23);1996-1997.
- Üreten, O. 2000. Telsiz vericilerinin açılma geçici rejim işaretlerinin algılanması, modellenmesi ve sınıflandırılması. Doktora tezi. Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Gaziantep'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gaziantep'te, lise öğrenimini Bursa Işıklar Askeri Lisesi'nde tamamladı. 1987 yılında girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1992 yılında mezun oldu. 1992-1994 yılları arasında 700.Muhabere Ana Depo ve Fabrika Komutanlığı'nda haberleşme cihazlarının bakım, onarım ve modernizasyonuna yönelik olarak çalıştı. 1994 yılında Kara Harp Okulu'na tayin oldu. Burada, farklı eğitim-öğretim yıllarında Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin Temelleri, Sinyaller ve Sistemler, Telekomünikasyon, Sayısal Haberleşme, Mikrodalga, Sayısal Tasarım, Yönetim Bilişim Sistemleri ve Muharebe/Matematik Modelleme dersleri öğretim elemanlığı görevini yürüttü. Bu görevde iken, 1996 yılında, yüksek lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, haberleşme alanında tamamladı. Yüksek lisans tezi olarak, "Çoklu hedef takibinde kullanılacak N-tarama periyodu geriye gidebilen yeni bir veri eşleme algoritması" hazırladı. 1997 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde haberleşme alanında doktora eğitimine başladı. Doktora eğitiminin ders aşamasını 1999 yılında ODTÜ'de bitirdi. 1999 yılı Eylül ayından itibaren "NATO Savunma Araştırma Bursu" kapsamında bir yıl Kanada'da bulundu. Kanada'da daha sonra doktora tezi olarak da üzerinde çalışacağı "Telsiz kimlik tespiti" konulu deneysel bir çalışmayı Kanada Endüstri Bakanlığına bağlı olarak faaliyet gösteren "Communication Research Center (CRC)" isimli bir araştırma merkezinde yürüttü. 2000 yılında Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı ve 2004 yılında doktora eğitimini tamamladı. Halen Kara Harp Okulu Dekanlığı Teknik Bilimler Bölüm Başkanlığına bağlı olarak çalışmaktadır.