

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

**ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE PARMAK İZİ
YÜZ BİYOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN
İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Necla ÖZKAYA**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi**

**Haziran 2009
KAYSERİ**

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

**ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE PARMAK İZİ
YÜZ BİYOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN
İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Necla ÖZKAYA**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBD-09-841 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Haziran 2009
KAYSERİ**

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU danışmanlığında Necla ÖZKAYA tarafından hazırlanan “Esnek Hesaplama Yöntemleri İle Parmak İzi Yüz Biyometrik Özelliklerinin İlişkilendirilmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

4/6/2009
(Tez Savunma Sınav Tarihi)

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. Kenan DANIŞMAN

Üye: Prof. Dr. Derviş KARABOĞA

Üye: Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Üye: Doç. Dr. Erdoğan DOĞDU

Üye: Doç. Dr. Erkan BEŞDOK

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 09/06/2009 tarih ve 2009.1.18-22 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

09/06./2009

N. Aygildiz
Prof. Dr. Nispet AYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında, değerli fikirlerini ve tecrübelerini aktaran, bana yol göstererek maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ve akademik hayatta bu aşamaya gelmemde çok büyük katkıları olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU'na, tez çalışmasında kullandığımız veritabanının oluşturulmasında veritabanına parmak izleri ve yüz bilgilerini vererek destek olan tüm hocalarıma, meslektaşlarıma ve öğrencilerime, veritabanının oluşturulmasında biyometrik özelliklerin alımında ve işlenmesinde emeği geçen öğrencilerime, tüm eğitim hayatım boyunca ve doktora çalışmamda her zaman yanımda olup beni cesaretlendiren, eşsiz maddi ve manevi yardımları ile her zaman destekleyen, beni bugünlere getiren sevgili aileme, canım kardeşlerime, benzer şekilde maddi ve manevi desteklerini içtenlikle hissettiğim eşimin ailesine ve kardeşlerine canı gönülden teşekkür ediyorum. Doktora çalışmalarımı gerçekleştirirken ve özellikle bitirme ve tez yazım aşamalarındaki stresime en çok katlanmak durumunda kalan ve desteğini her an yanı başımda hissettiğim sevgili eşim Alper ÖZKAYA'ya içten teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde gerek kendisine ait zamandan fedakarlık ettiğim halde hiç sorun çıkarmayarak gerekse doktora stresimi yüzündeki dünyalara değer masum gülümsemesiyle yok ederek bana belki de en büyük katkıyı sağlayan sevgili oğlum Halit ÖZKAYA'ya teşekkür ederim. Ayrıca iyi dilekleri ve duaları ile kendimi daha güçlü hissetmemi sağlayarak bana destek olan tüm arkadaş ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE PARMAK İZİ YÜZ BİYOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Necla ÖZKAYA

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Haziran 2009
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU**

ÖZET

Biyometri teknolojisi derinlemesine çalışılmış ve birçok alana başarıyla uygulanmış bir teknoloji olmasına rağmen, literatürde biyometrik özellikler arasında olması muhtemel bir ilişkinin varlığı bu güne kadar hiç tartışılmamış ve bir biyometrik özellikten başka bir biyometrik özelliğin elde edilmesine yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bu tez çalışmasında yalnızca parmak izlerini kullanarak yüz bilgilerine ulaşabilen yapay sinir ağları temelli yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin analiz edilip modellenmesi için otomatik ve zeki bir sistem geliştirilmiştir. Sunulan sistem biyometrik özellikler arasındaki ilişkiyi analiz etmesi ve bir kişiye ait yalnızca bir parmak izi kullanarak o kişinin yüzüne ait herhangi bir bilgiye sahip olmaksızın ilgili kişinin yüzünü elde etmesi bakımından dünyada bir ilktir. Bu açıdan biyometri alanında gerçekleştirilen çalışmalardan farklılaşmaktadır. Geliştirilen sistem beş önemli bileşeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu bileşenler, parmak izleri ve yüz bilgilerinin sisteme alındığı iki adet biyometrik bilgi alım modülü, yine parmak izleri ve yüzlere ait özellik vektörlerinin elde edilmesinde kullanılan iki adet özellik çıkarım modülü, parmak izleri ve yüzler arasındaki ilişkinin bulunması ve analizinde kullanılan yapay sinir ağları temelli ana modül, sistem sonuçlarından yüz bilgilerine dönüşümden sorumlu olan yüzü yeniden yapılandırma modülü ve son olarak elde edilen sistem sonuçlarının değerlendirilmesi ve analizinde kullanılan test & değerlendirme modülü olarak sıralanabilmektedir. Ana modül olarak adlandırılan yapay sinir ağları temelli modülün optimum parametre seti Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile elde edilmiştir.

Sistem sonuçları yalnızca parmak izleri kullanılarak yüzlere ait bilgilere belirli doğruluklarla ulaşılabileceğini göstermektedir. Sistem performans ve doğruluğunun objektif olarak değerlendirilebilmesi için 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde nicel ve nitel değerlendirme metrikleri birlikte kullanılmıştır. Ayrıca, hem öznel hem nesnel metriklerin bir kombinasyonu oluşturularak, sistem performansı ve başarısı bu kombin değerlendirme platformunda ifade edilmeye çalışılmıştır.

Deneysel sonuçlar parmak izleri ile yüzler arasında bir ilişkinin varlığını işaret etmekte ve yalnızca parmak izleri kullanılarak yüzler hakkında hiç bir bilgiye sahip olunmaksızın yüzlere ait bilgilere belirli doğruluklarla ulaşılabileceğini göstermektedir. Sunulan çalışmanın hem biyometri hem de güvenlik alanında oluşturacağı yeni uygulama sahaları ile her iki alana da önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyometri, parmak izi tanıma, yüz tanıma, yapay sinir ağları, akıllı sistemler, biyometrik özelliklerin tahmini, yüzün yeniden oluşturulması.

**INVESTIGATING RELATIONSHIPS BETWEEN FINGERPRINT AND FACE
BIOMETRICS BY SOFT COMPUTING BASED METHODS**

Necla ÖZKAYA

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ph. D. Thesis, June 2009

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

ABSTRACT

Even if biometrics technology have been deeply studied, tested and successfully applied to many applications, there is no study in investigating the relationships among biometric features or in achieving a biometric feature one from another. This thesis presents a new approach for generating faces from only fingerprints based on artificial neural networks. An automatic and intelligent system was designed and developed to analyze the relationships among fingerprints and faces and also to model the existence of these relationships. Proposed system is unique and different from the other studies in the biometrics field being the first study that investigates the relationships among biometric features and generates face of an individual from only one fingerprint of the same individual without any information about his or her face.

The proposed system has a complex structure with five main components: two biometric feature enrolment modules, two feature extraction modules, a main body based on artificial neural network, a face re-construction module and an test & evaluation module. Two biometric feature enrolment modules are used for acquiring the fingerprints and faces of the people to the system. Two feature extraction modules are used for extracting the feature sets of fingerprint and face biometrics. The artificial neural network based main body that was configured with the help of Taguchi experimental design method is responsible for establishing relationships among the biometric features of fingerprints and faces. The face re-construction module is utilized for building up face features from the results of the system. Finally the test & evaluation module is responsible for test and evaluating the results of the system properly.

The system results have shown that the face features can be successfully generated from only fingerprints. For a more objective comparison, the performance and accuracy of the system have been evaluated with 10-fold cross validation technique using qualitative evaluation metrics in addition to the quantitative evaluation metrics. Consequently, the results were presented on the basis of the combination of these objective and subjective metrics for illustrating the qualitative properties of the proposed methods as well as a quantitative evaluation of their performances.

Experimental results have shown that there are close relationships among the features of fingerprints and faces. It is also possible to generate faces from just fingerprints without knowing any information about faces. It can be concluded that the proposed study significantly and directly contributes to biometrics and security areas with new applications.

Keywords: Biometrics, fingerprint verification, face recognition, artificial neural network, intelligent system, biometric prediction system, face re-construction.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
KISALTMALAR	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii
TABLolar LİSTESİ.....	xxvii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyonlarımız.....	2
1.2. Çalışma Gerçekleştirilirken İzlenen Yaklaşım.....	4
1.3. Sunulan Yaklaşım ile İlgili Yayınlar	14
1.4. Sonuç.....	15
1.5. Tezin Organizasyonu.....	15
2. BÖLÜM	
BİYOMETRİK SİSTEMLER.....	17
2.1. Biyometrik Sistemler.....	17
2.1.1. Biyometrik Özellikler.....	17
2.1.2. Biyometrik Sistemlerin Çalışma Prensipleri.....	18
2.1.3. Biyometrik Uygulama Çeşitleri.....	21
2.1.4. Yaygın olarak Kullanılan Biyometrik Özellikler.....	22
2.1.4.1. Parmak izi Tanıma.....	22
2.1.4.2. DNA Tanıma.....	24
2.1.4.3. Yüz Tanıma.....	25
2.1.4.4. İris Tanıma.....	26
2.1.4.5. El Geometrisi Tanıma.....	27
2.1.4.6. İmza Tanıma.....	28
2.1.5. Farklı Biyometrik Özelliklerin Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması.....	30

2.2.	Otomatik Parmak izi Tanıma ve Onaylama Sistemleri (OPTOS).....	31
2.2.1.	Parmak İzlerinin Eşsizliğinin Sorgulanması..	32
2.2.2.	Parmak İzinin Oluşumu, Algılanması ve Depolanması.....	46
2.2.3.	Parmak İzinin Temsili....	47
2.2.4.	Parmak izi Eşleştirme...	48
2.2.5.	Parmak izlerinin Sınıflandırılması.....	50
2.2.5.1.	Kural Tabanlı Yaklaşımlar.....	53
2.2.5.2.	Sözdizimsel Yaklaşımlar.....	54
2.2.5.3.	Yapısal Sınıflandırma Yaklaşımları.....	54
2.2.5.4.	İstatistiksel Sınıflandırma Yaklaşımları.....	55
2.2.5.5.	Yapay Sinir Ağları Temelli Sınıflandırma Yaklaşımları.....	55
2.2.5.6.	Çoklu Sınıflandırma Temelli Yaklaşımlar.....	55
2.2.6.	Parmak izi Veritabanları ve Sentetik Parmak izleri.....	57
2.2.7.	OPTOS'ların Güvenliği.....	60
2.2.8.	Otomatik Parmak izi Tanıma Teknolojisinde Son Gelişmeler.....	61
2.3.	Otomatik Yüz Tanıma Sistemleri (OYTS).....	64
2.3.1.	Öz bilgi Temelli Metodlar.....	67
2.3.2.	Yüze ait Değişmeyen Özelliklere Dayalı Yaklaşımlar.....	68
2.3.2.1.	Yüze ait Değişmeyen Özellikler.....	69
2.3.2.2.	Texture.....	72
2.3.2.3.	Ten Rengi.....	72
2.3.2.4.	Çoğul Özellikler.....	73
2.3.3.	Şablon karşılaştırmaya dayalı metotlar.....	75
2.3.3.1.	Önceden Tanımlanmış Şablonlar.....	76
2.3.3.2.	Şekil Değiştirebilen Şablonlar.....	78
2.3.4.	Görünüm Temelli metotlar	80
2.3.5.	Karma sistemler.....	84
2.3.6.	Otomatik Yüz Tanıma Teknolojisinde Son Gelişmeler.....	86
2.4 .	Sonuç.....	92

3. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI.....	93
3.1. Biyolojik Sinir Ağları.....	93

3.2.	Yapay Sinir Ağlarının Temel Özellikleri ve Tarihçesi.....	96
3.3.	İşlemci Eleman.....	101
3.4.	Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonları.....	102
3.5.	YSA'ların Sınıflandırılması.....	105
3.5.1.	YSA'ların Ağ Yapılarına Göre Sınıflandırılması.....	105
3.5.1.1.	İleri Beslemeli Ağ Yapısı.....	105
3.5.1.2.	Geri Beslemeli Ağ Yapısı.....	106
3.5.2.	YSA'ların Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması.....	107
3.5.2.1.	Danışmanlı Öğrenme Metodu.....	107
3.5.2.2.	Danışmansız Öğrenme Metodu.....	108
3.5.2.3.	Takviyeli Öğrenme Metodu.....	109
3.5.3.	Yapay Sinir Ağı Yapıları.....	109
3.5.3.1.	SLP ve MLP YSA Yapıları.....	109
3.5.3.2.	Elman YSA Yapısı.....	111
3.5.3.3.	RBE YSA Yapısı.....	112
3.5.3.4.	GRNN YSA Yapısı.....	113
3.6.	Sonuç.....	115

4. BÖLÜM

PARMAK İZİ İLE YÜZ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN VARLIĞININ

SORGULANMASI.....	117	
4.1.	Parmak izi ile Yüz arasındaki İlişki.....	117
4.1.1.	Mevcut Literatür.....	117
4.1.2.	Motivasyonlarımız.....	120
4.2.	Parmak izi ile Yüz Arasındaki İlişkinin Analizinde Kullanılacak Model: YSA.....	129
4.2.1.	Taguchi Deneysel Tasarım Metodu.....	130
4.2.2.	Taguchi Metodu ile YSA Parametrelerinin kestirimi.....	130
4.2.3.	Kullanılan YSA Yapısı: FF.....	131
4.3.	Değerlendirme ve Analiz Sonuçları.....	132
4.3.1.	Sistem sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılacak ölçütler.....	132
4.3.1.1.	Standart Analiz Platformu.....	133
4.3.1.1.	Standart Analiz Platformu.....	134

4.3.1.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	136
4.3.1.3.	Görsel Analiz Platformu	138
4.3.2.	Kullanılan FF YSA Yapısı için Optimum Parametre Setinin Hesaplanması.....	139
4.3.2.1.	FF YSA Sonuçlarının Standart Analiz Platformunda Değerlendirilmesi.....	141
4.3.2.2.	FF YSA Yapısı Sonuçlarının Sayısal Analiz Platformunda Değerlendirilmesi.....	143
4.3.2.3.	FF YSA Yapısı Sonuçlarının Görsel Analiz Platformunda Değerlendirilmesi.....	145
4.4.	Sonuç.....	148

5. BÖLÜM

PARMAK İZİNDEN YÜZ ROBOT RESMİNE ULAŞABİLEN YAPAY SİNİR

	AĞLARI TEMELLİ ZEKİ SİSTEM. TASARIMI.....	150
5.1.	Çoklu Biyometrik Özellikler Veritabanının Oluşturulması.....	150
5.1.1.	Parmak İzlerinin Alınması.....	153
5.1.2.	Yüz Resimlerinin Alınması.....	154
5.2.	Parmak İzi ve Yüzlere Ait Özellik Setlerinin Elde Edilmesi.....	157
5.2.1.	Parmak İzlerine Ait Özellik Setleri.....	159
5.2.2.	Yüzlere Ait Özellik Setleri.....	159
5.3.	Sistem Yazılımları.....	162
5.3.1	Parmak İzi İşleme Yazılımı.....	163
5.3.2.	Yüz İşleme Yazılımı.....	165
5.4.	Zeki Sistem Tasarımı.....	178
5.4.1.	Sistem Yapısının ve Parametrelerin Belirlenmesi.....	179
5.4.2.	Eğitim.....	181
5.4.3.	Test.....	181
5.5.	Sistem Performansının Değerlendirilmesi.....	182
5.5.1.	Standart Analiz Platformu.....	183
5.5.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	183
5.5.3.	Görsel Analiz Platformu.....	220
5.6.	Sonuçlar.....	189

6. BÖLÜM

PARMAK İZİ İLE YÜZ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ.....	190
6.1. Parmak izi ile Yüz Parçaları Arasındaki İlişkinin Analizi.....	190
6.1.1. Parmak izi ile Gözler Arasındaki İlişki Modeli.....	191
6.1.1.1. Standart Analiz Platformu.....	191
6.1.1.2. Sayısal Analiz Platformu.....	193
6.1.1.3. Görsel Analiz Platformu.....	196
6.1.2. Parmak izi ile Burun Arasındaki İlişki Modeli.....	198
6.1.2.1. Standart Analiz Platformu.....	198
6.1.2.2. Sayısal Analiz Platformu.....	200
6.1.2.3. Görsel Analiz Platformu.....	202
6.1.3. Parmak izi ile Ağız Arasındaki İlişki Modeli.....	205
6.1.3.1. Standart Analiz Platformu.....	205
6.1.3.2. Sayısal Analiz Platformu.....	207
6.1.3.3. Görsel Analiz Platformu.....	209
6.1.4. Parmak izi ile Yüz Çevresi Arasındaki İlişki Modeli.....	212
6.1.4.1. Standart Analiz Platformu.....	212
6.1.4.2. Sayısal Analiz Platformu.....	214
6.1.4.3. Görsel Analiz Platformu.....	216
6.1.5. Parmak izi ile Kaşlar Arasındaki İlişki Modeli.....	219
6.1.5.1. Standart Analiz Platformu.....	219
6.1.5.2. Sayısal Analiz Platformu.....	221
6.1.5.3. Görsel Analiz Platformu.....	223
6.1.6. Parmak izi ile Kulaklar Arasındaki İlişki Modeli.....	226
6.1.6.1. Standart Analiz Platformu.....	226
6.1.6.2. Sayısal Analiz Platformu.....	228
6.1.6.3. Görsel Analiz Platformu.....	230
6.2. Parmak izi ile Yüz Parçaları Arasındaki İlişkinin Karşılaştırılması.....	233
6.3. Sonuç	237

7. BÖLÜM

PARMAK İZİ İLE YÜZ PARÇASI KOMBİNASYONLARI VE PARMAK İZİ – TÜM YÜZ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN MODELLENMESİ.....238

7.1.	Parmak izi ile Yüz Arasındaki İlişkinin Araştırılması ve Analizi Konusunda Deneysel Çalışmalar, Modeller ve Sonuçlar.....	239
7.1.1.	Parmak izi ile Gözler-Burun Kombinasyonu Arasındaki İlişki Modeli....	239
7.1.1.1.	Standart Analiz Platformu.....	240
7.1.1.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	242
7.1.1.3.	Görsel Analiz Platformu.....	243
7.1.2.	Parmak izi ile Yüz çevresi-Kulaklar Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi.....	246
7.1.2.1.	Standart Analiz Platformu.....	247
7.1.2.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	248
7.1.2.3.	Görsel Analiz Platformu.....	250
7.1.3.	Parmak izi ile Kaşlar-Gözler-Burun Kombinasyonu Arasındaki İlişki Modeli.....	253
7.1.3.1.	Standart Analiz Platformu.....	254
7.1.3.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	256
7.1.3.3.	Görsel Analiz Platformu.....	257
7.1.4.	Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi.....	260
7.1.4.1.	Standart Analiz Platformu.....	261
7.1.4.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	263
7.1.4.3.	Görsel Analiz Platformu.....	264
7.1.5.	Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Kaşlar Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi.....	267
7.1.5.1.	Standart Analiz Platformu.....	268
7.1.5.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	270
7.1.5.3.	Görsel Analiz Platformu.....	271
7.1.6.	Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Yüz çevresi Kombinasyonu Arasındaki İlişki Modeli.....	274
7.1.6.1.	Standart Analiz Platformu.....	275
7.1.6.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	276

7.1.6.3.	Görsel Analiz Platformu.....	278
7.1.7.	Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Kaşlar-Yüz çevresi Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi.....	281
7.1.7.1.	Standart Analiz Platformu.....	282
7.1.7.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	283
7.1.7.3.	Görsel Analiz Platformu.....	285
7.1.8.	Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Kaşlar-Yüz çevresi-Kulaklar (Tüm Yüz) Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi.....	288
7.1.8.1.	Standart Analiz Platformu.....	289
7.1.8.2.	Sayısal Analiz Platformu.....	290
7.1.8.3.	Görsel Analiz Platformu.....	292
7.2.	Parmak izi ile Yüze ait özelliklerin çeşitli Kombinasyonları Arasındaki İlişki Modellerinin karşılaştırılması.....	295
7.3.	Sonuç	299
8. BÖLÜM		
	SONUÇ VE TARTIŞMA	301
	KAYNAKLAR.....	309
	ÖZGEÇMİŞ.....	346

KISALTMALAR

YSA	: Yapay Sinir Ağları
PYUZS	: Parmak Izinden Yüz Robot Resmine Ulaşabilen Zeki Bir Sistem
ÇBVT	: Çoklu Biyometrik Özellikler Veritabanı
OPTOS	: Otomatik Parmak Izi Tanıma Ve Onaylama Sistemleri
OYTS	: Otomatik Yüz Tanıma Ve Onaylama Sistemleri
SDK	: Yazılım Geliştirme Kiti
MLP	: Multi Layer Perceptron
SGLD	: İkinci Derece İstatistiksel Özellikler
PDM	: Nokta Dağılım Modeli
KL	: Karhunen-Loeve Dönüşümü
PCA	: Birincil Bileşen Analizi
FLD	: Fisher'in Doğrusal Diskriminant Yöntemi
SOM	: Self-Organizing Map
LDA	: Lineer Diskriminant Analizi
RBF	: Radial Basis Functions
ERBF	: Radial Basis Fonksiyonlar Topluluğu
DT	: Karar Ağaçları
VLSI	: Çok Büyük Ölçekli Entegre Devre
ADALINE	: Adaptive Linear Neuron
ART	: Uyarlanabilir Rezonans Teorisi
LVQ	: Learning Vektor Quantization
PNN	: Probabilistik Ağlar
GRNN	: Genel Regresyon Ağları
FF	: Feed-Forward Backpropagation Network
FFTD	: Feed-Forward input-Delay Backpropagation Network
ELMAN	: Elman Backpropagation Network
RBE	: Exact Radial Basis Network
GRNN	: Generalized Regression Neural Network
SF	: Sigmoid fonksiyonu
TH	: Tanjant Hiperbolik Fonksiyon
SNR	: Sinyal Gürültü Oranı

MSE	: Ortalama Kareysel Hata
CGB	: Powell-Beale Conjugate Gradient Backpropagation
CGF	: Fletcher-Powell Conjugate Gradient Backpropagation
CGP	: Polak-Ribiere Conjugate Gradient Backpropagation
GD	: Gradient Descent Backpropagation
GDA	: Gradient Descent with Adaptive Lr Backpropagation
OSS	: One Step Secant Backpropagation
GDAM	: Gradient Descent W/Momentum & Adaptive Lr Backpropagation
SCG	: Scaled Conjugate Gradient Backpropagation
FMR	: False Match Rate
FNMR	: False Non-match Rate
TPR	: True Positive Rate
FPR	: False Positive Rate
EER	: Equal Error Rate
FTC	: Failure to Capture
FTE	: Failure to Enroll
FTM	: Failure to Match
MSE	: Mean Squared Error
SSE	: Sum Squared Error
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
APE	: Mutlak Yüzde Hata
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
ROC	: Receiver Operating Characteristic Curve
RGB, HSV (HSI), YCrCb, YIQ, YES, CIE XYZ ve CIE LUV	: Çeşitli Renk Uzayları

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1.	Genel bir biyometrik sistemin yapısı.....20
Şekil 2.2.	Biyometrik özellikler. a) Kulak, b) Yüz, c) Yüz termogramı, d) El termogramı, e) El damarları, f) El geometrisi, g) Parmak izi, h) İris, i) Retina, j) İmza, k) Ses.....22
Şekil 2.3.	OPTOS işlem adımları. (a) giriş resmi, (b) referans noktalar (c) temizleme, iyileştirme, ikili hale çevirme (d) inceltme, iyileştirme (e) karşılaştırılacak alanın belirlenmesi ve özellik noktalarının bulunması, yalancı özellik noktalarının elimine edilmesi, (f) karşılaştırma sonuçları.....23
Şekil 2.4.	DNA yapısı [6].....24
Şekil 2.5.	İris, irisin sınırları ve iris kodunun grafiksel gösterimi.....27
Şekil 2.6.	El geometrisi tanımada kullanılan okuma noktaları.....28
Şekil 2.7.	Biyometrik teknolojilerinin 2009 yılına ait pazar payları [30].....30
Şekil 2.8.	Galton'un parmak izi tanıma yöntemi.....36
Şekil 2.9.	Uç ve çatalar (İçi dolu daireler) ve iç-tepeler (içi boş daireler).....48
Şekil 2.10.	Aynı parmağa ait parmak izleri (a) ve (b) Farklı parmaklara ait parmak izleri (c) ve (d).....49
Şekil 2.11.	Parmak izi sınıfları örnekleri.....51
Şekil 2.12.	Parmak izi sınıflandırma için en sık kullanılan özellikler.....52
Şekil 2.13.	Kural tabanlı bir yaklaşımda [62] kullanılan parametreler.....53
Şekil 2.14.	Sözdizimsel parmak izi sınıflandırma şeması.....54
Şekil 2.15.	Maio ve Maltoni'nin sınıflandırma yaklaşımı.....55
Şekil 2.16.	İstatistiksel sınıflandırma yapısına bir örnek.....56
Şekil 2.17.	Sentetik parmak izi oluşturma.....60
Şekil 3.1.	Sinir sisteminde bilgi akışı.....94
Şekil 3.2.	Biyolojik sinir hücresi yapısı.....95
Şekil 3.4.	İşlemci eleman yapısı.102
Şekil 3.5.	Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....103
Şekil 3.6.	Basamak fonksiyonu.....104
Şekil 3.7.	Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....104

Şekil 3.8.	İleri Beslemeli YSA.....	106
Şekil 3.9.	Geri beslemeli YSA.....	107
Şekil 3.10.	Danışmanlı öğrenme yapısı.....	108
Şekil 3.11.	Danışmansız öğrenme yapısı.....	108
Şekil 3.12.	Takviyeli öğrenme yapısı.	109
Şekil 3.13.	MLP ağ yapısı.....	111
Şekil 3.14.	Elman ağı.....	112
Şekil 3.15.	Temel bir RBE yapısı.....	113
Şekil 3.16.	Temel bir GRNN yapısı.....	114
Şekil 4.1.	Tek yumurta ikizlerine ait biyometrik özellikler retina, (b) iris, (c) parmak izi (d) el ayası [5].....	118
Şekil 4.2.	Çeşitli yaşlarda tek yumurta ikizlerinin yüzleri [6].....	119
Şekil 4.3.	Tek yumurta ikizlerine ait parmak izleri (a ve b), farklı bir insana ait parmak izi (c) [9].....	121
Şekil 4.4.	Tek yumurta ikizleri ve parmak izleri-1 [8].....	122
Şekil 4.5.	Tek yumurta ikizleri ve parmak izleri -2.....	124
Şekil 4.6.	Tek yumurta ikizleri ve parmak izleri-3 [9] (a) ve (b) ikiz tekinin aynı parmağına ait farklı baskılı parmak izleri (c) ve (d) diğer ikiz tekinin aynı parmağına ait farklı baskılı parmak izleri.....	125
Şekil 4.7.	Veritabanından rasgele alınan kişiler ve parmak izleri.....	126
Şekil 4.8.	Eşik değer t' ye göre FNMR ve FMR bölgeleri.....	135
Şekil 4.9.	FMR(t) & FNMR(t) eğrisi üzerinde Sıfır-FNMR, Sıfır-FMR ve EER noktaları.....	135
Şekil 4.10.	FF YSA tasarımında ortalamalar için ana etki grafiği.....	139
Şekil 4.11.	FF YSA tasarımında SNR için ana etki grafiği.....	140
Şekil 4.12.	FF YSA yapısı için FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	141
Şekil 4.13.	FF YSA yapısı için ROC eğrileri grafiği.....	142
Şekil 4.14.	FF YSA yapısı ile aşırma uzayının daraltılması.....	143
Şekil 4.15.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	145
Şekil 4.16.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	145

Şekil 4.17.	FF YSA yapısı için her katta elde edilen test sonuçlarının olması gereken değerleriyle karşılaştırılmış çizimleri.....	148
Şekil 5.1.	PYUZS'nin mimarisi.....	151
Şekil 5.2.	Sistemin akış şeması.....	152
Şekil 5.3.	Oluşturulan veritabanından örnek bir parmak izi kümesi.....	154
Şekil 5.4.	Oluşturulan veritabanında bir kişiye ait yüz resimleri.	156
Şekil 5.5.	Bir yüz resmi.....	157
Şekil 5.6.	Özellik noktaları temelli bir otomatik parmak izi tanıma ve onaylama sisteminde temel işlem adımları.....	159
Şekil 5.7.	Özellik noktaları temelli bir YTS'de temel işlem adımları.....	161
Şekil 5.8.	Yüze ait özellik noktaları (a) Şablon üzerinde (b) Bir yüz resmi üzerinde; (c) (b)'de verilen kişinin özellik noktaları kullanılarak elde edilmiş robot resmi.....	162
Şekil 5.9.	Parmak izi işleme yazılımının kullanıcı arayüzü.....	164
Şekil 5.10.	Parmak izlerine ait özellik setlerinin veritabanından alınıp sisteme dahil edilmesi işleminde kullanılan yazılım ekranı.....	164
Şekil 5.11.	Parmak izlerine ait özellik setlerinin sayısal hali.....	165
Şekil 5.12.	Yüz işleme yazılımının kullanıcı ara yüzü.....	167
Şekil 5.13.	Şablon yöntemi.....	170
Şekil 5.14.	Seçili noktanın şablonda gösterimi.....	171
Şekil 5.15.	Tıklama yöntemi.....	172
Şekil 5.16.	Çizim işleminin akış diyagramı.....	173
Şekil 5.17.	Kafanın üst kısmı ile ilgili kontrol.....	174
Şekil 5.18.	Düzen menüsü.....	175
Şekil 5.19.	Özellik noktaları koordinatları menüsü.....	175
Şekil 5.20.	Bir kişiye ait özellik noktaları seti.....	176
Şekil 5.21.	Veritabanı işlemleri menüsü.....	177
Şekil 5.22.	PYUZS ve elde edilen sonuçların görsel sunumları.....	180
Şekil 5.23.	Çizim yazılımı giriş ekranı.....	185
Şekil 5.24.	Tüm test kişileri için YSA sonuçları ve olması gereken çıkışların boş sayfada sunumu.....	186

Şekil 5.25.	Tüm test kişileri için YSA sonuçlarının kişilerin kendi resimleri üzerinde sunumu.....	186
Şekil 5.26.	Sadece bir test kişisi için YSA çıkışı ve olması gereken çıkışın boş sayfada büyük boyutta sunumu.....	187
Şekil 5.27.	Sadece bir test kişisi için YSA çıkışı ve olması gereken çıkışın ilgili kişinin resmi üzerinde büyük boyutta sunumu.....	187
Şekil 5.28.	Sadece bir test kişisi için YSA çıkışının ilgili kişinin kendi resmi üzerinde ve büyük boyutta sunumu.....	188
Şekil 5.29.	Yüzlere ait sayısal sonuçların her türlü kontrollerini gerçekleştiren esnek tasarımdan bir ekran görüntüsü.....	189
Şekil 6.1.	Gözlere ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	192
Şekil 6.2.	Gözlere ait sonuçların ROC grafiği.....	192
Şekil 6.3.	FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.....	193
Şekil 6.4.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	194
Şekil 6.5.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	195
Şekil 6.6.	Gözler için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	198
Şekil 6.7.	Burunlara ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	199
Şekil 6.8.	Burunlara ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	199
Şekil 6.9.	FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.....	200
Şekil 6.10.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	201
Şekil 6.11.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	202
Şekil 6.12.	Burun yapıları için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	205
Şekil 6.13.	Ağızlara ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	206
Şekil 6.14.	Ağızlara ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	206
Şekil 6.15.	FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.....	207
Şekil 6.16.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	208

Şekil 6.17.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	209
Şekil 6.18.	Ağız yapıları için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	212
Şekil 6.19.	Yüz çevresine ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	213
Şekil 6.20.	Yüz çevresine ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	213
Şekil 6.21.	FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.....	214
Şekil 6.22.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	215
Şekil 6.23.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	216
Şekil 6.24.	Yüz çevresi için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	219
Şekil 6.25.	Yüz çevresine ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	220
Şekil 6.26.	Yüz çevresine ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	220
Şekil 6.27.	FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.....	221
Şekil 6.28.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	222
Şekil 6.29.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	223
Şekil 6.30.	Kaşlar için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	226
Şekil 6.31.	Kulaklara ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	227
Şekil 6.32.	Kulaklara ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	227
Şekil 6.33.	FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.....	228
Şekil 6.34.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	229
Şekil 6.35.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	230
Şekil 6.36.	Kulaklar için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	233
Şekil 6.37.	6 adet yüz parçasına ait ortalama ROC eğrileri.....	235
Şekil 7.1.	Gözler-Burun kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	240
Şekil 7.2.	Gözler-Burun kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği....	241
Şekil 7.3.	Gözler-burun kombinasyonu için FF YSA yapısıyla daraltılmış	

	araştırma uzayı.....	241
Şekil 7.4.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	243
Şekil 7.5.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	243
Şekil 7.6.	Gözler-burun kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.	246
Şekil 7.7.	Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	247
Şekil 7.8.	Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	248
Şekil 7.9.	Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonu için FF YSA yapısı kullanılarak daraltılmış araştırma uzayı.	248
Şekil 7.10.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	250
Şekil 7.11.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	250
Şekil 7.12.	Yüz çevresi-kulaklar için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	253
Şekil 7.13.	Kaşlar-gözler-burun kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	254
Şekil 7.14.	Kaşlar-gözler-burun kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	255
Şekil 7.15.	Kaşlar-gözler-burun kombinasyonu için FF YSA yapısı kullanılarak daraltılmış araştırma uzayı.....	255
Şekil 7.16.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	257
Şekil 7.17.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	257
Şekil 7.18.	Kaşlar-gözler-burun kombinasyonu için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	260
Şekil 7.19.	Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	261

Şekil 7.20.	Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	262
Şekil 7.21.	Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayı.....	262
Şekil 7.22.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	264
Şekil 7.23.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	264
Şekil 7.24.	Gözler-burun-ağız kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	267
Şekil 7.25.	Gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	268
Şekil 7.26.	Gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	269
Şekil 7.27.	FF YSA tarafından daraltılmış araştırma uzayı.....	269
Şekil 7.28.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	271
Şekil 7.29.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	271
Şekil 7.30.	Gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	274
Şekil 7.31.	Gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	275
Şekil 7.32.	Gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	276
Şekil 7.33.	Sistem tarafından daraltılan araştırma uzayı.....	276
Şekil 7.34.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	278
Şekil 7.35.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	278
Şekil 7.36.	Gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	281
Şekil 7.37.	Gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonuna ait	

	sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	282
Şekil 7.38.	Gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	283
Şekil 7.39.	FF YSA yapısı tarafından daraltılmış araştırma uzayı.....	283
Şekil 7.40.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	285
Şekil 7.41.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	285
Şekil 7.42.	Gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	288
Şekil 7.43.	Yüzün tüm parçalarını içeren kombinasyona ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.....	289
Şekil 7.44.	Yüzün tüm parçalarını içeren kombinasyona ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.....	290
Şekil 7.45.	Tüm yüzün elde edilmesine yönelik sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayı.....	290
Şekil 7.46.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.....	292
Şekil 7.47.	10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.....	292
Şekil 7.48.	Tüm yüz için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.....	295
Şekil 7.49.	İncelenen 8 yüz parçası kombinasyonuna ait ortalama ROC eğrileri grafiği.....	297

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Kişilerin parmak izleri ve yüzleri arasındaki benzerliğin haritalanması.....	3
Tablo 2.1.	Biyometrik teknolojilerin karşılaştırması.....	31
Tablo 2.2.	Farklı parmak izi tanıma modellerinde kullanılan parmak izi özellikleri.....	35
Tablo 2.3.	Farklı parmak izi modellerinde herhangi bir parmak izi görünümü olasılığı.....	41
Tablo 2.4.	Kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı.....	53
Tablo 2.5.	Çoklu sınıflandırma temelli bazı yaklaşımlar.....	57
Tablo 2.6.	Parmak izi sınıflandırma konusunda gerçekleştirilen çalışmalar.....	58
Tablo 2.7.	Parmak izi tanıma alanında son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar ve	61
Tablo 2.8.	Görünüm tabanlı metotlar ve bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar.....	80
Tablo 2.9.	Görünüm tabanlı metotların performans analizleri.....	82
Tablo 2.10.	Yüz tanıma alanında son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar ve konuları.....	87
Tablo 4.1.	FF YSA yapısı için analiz sonuç tablosu.....	140
Tablo 4.2.	FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	144
Tablo 6.1.	Parmak izinden gözleri elde etmeye çalışan sistemin sayısal analiz platformunda değerlendirilmesi.....	193
Tablo 6.2.	Parmak izlerini kullanarak burun yapılarına ulaşmaya çalışan sistemin sayısal analiz sonuç tablosu.....	200
Tablo 6.3.	Parmak izlerini kullanarak ağız yapılarına ulaşmaya çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	207
Tablo 6.4.	Parmak izlerini kullanarak yüz çevresine ulaşmaya çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuç tablosu.....	214
Tablo 6.5.	Parmak izlerini kullanarak kaşlara ulaşmaya çalışan FF YSA	

	için sayısal analiz sonuç tablosu.....	221
Tablo 6.6.	Parmak izlerini kullanarak kulaklara ulaşmaya çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuç tablosu.....	228
Tablo 6.7.	Her bir yüz parçası için daraltılmış araştırma uzayları.....	236
Tablo 6.8.	Farklı 6 yüz parçası için sistemden elde edilen ortalama hata değerleri.....	237
Tablo 7.1.	Parmak izinden gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	242
Tablo 7.2.	Parmak izinden yüz çevresi-kulaklar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	249
Tablo 7.3.	Parmak izinden kaşlar-gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	256
Tablo 7.4.	Parmak izinden gözler-burun-ağız kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	302
Tablo 7.5.	Parmak izinden gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	263
Tablo 7.6.	Parmak izinden gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	277
Tablo 7.7.	Parmak izinden gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	284
Tablo 7.8.	Parmak izinden tüm yüzü elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.....	291
Tablo 7.9.	Her bir yüz parçası kombinasyonu için daraltılmış araştırma uzayları.....	298
Tablo 7.10.	Farklı 8 yüz kombinasyonu için sistemden elde edilen ortalama hata değerleri.....	299
Tablo 8.1.	Sistem performansının tek tek yüz parçaları ve çeşitli yüz kombinasyonları için ortalama hatalar açısından değerlendirilmesi....	301
Tablo 8.2.	Parmak izleri ile yüz kombinasyonları arasındaki ilişkinin analizi.....	302
Tablo 8.3.	Parmak izi ile tüm yüz arasındaki ilişkinin analizi.....	304

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte insanların, şirketlerin, devlet kurum ve kuruluşlarının güvenlik gereksinimleri de artmış, buna paralel olarak güvenlik alanında birçok yeni yaklaşım geliştirilmiştir. Biyometri teknolojileri son yıllarda sıkça kullanılan güvenlik yaklaşımlarındandır. Kişilerin fiziksel veya davranışsal özelliklerinin kullanılarak kimlik tespitinin yapılması, tanınması veya onaylanması olarak açıklanabilen biyometri bilimi, parmak izi, yüz, kulak, iris, retina, el geometrisi, ses, imza, yürüyüş şekli gibi özellikleri kapsar. Biyometrik özellikler kişiyi temsil edebilecek kadar kişiye özgü ve kişiden kişiye kolayca aktarılamayacak kadar güvenilir fizyolojik veya davranışsal özelliklerdir. Kolayca kopyalanamayan veya taklit edilemeyen biyometrik özellikler hayatın başlangıcından sonuna kadar veya hayatın çok uzun bir döneminde değişmeyen kalıcı özelliklerdir [1, 2]. Bir biyometrik sistem, en genel anlamda bireyin biyometrik özelliğini alan, bu özellikten kişinin kimliklendirilmesinde kullanılacak olan özellik setini çıkaran ve kişiyi temsil eden bu anlamlı veri seti ile daha önceden aynı prensiplerle elde edilip veritabanına kaydedilmiş veri seti arasında karşılaştırma yapan bir tanıma, onaylama veya sınıflandırma sistemi olarak tarif edilebilmektedir [3]. Biyometri temelli tanıma onaylama sistemleri günümüzde pek çok alanda başarıyla kullanılmaktadır. Turizm sektörü, giriş-çıkış kapılarında kimlik tespiti ve benzer güvenlik fonksiyonları, bilgisayar ve bilgisayar ağlarında erişim düzeninin sağlanması ve kaynakların paylaşımı, ağ güvenliğinin sağlanması, fiziksel giriş çıkış kontrol noktaları, personel devam kontrol sistemleri, ticari işlemler ve benzer birçok alan, banka güvenliği, elektronik fon transferi, ATM güvenliği, çek ve kredi kartı işlemleri, gümrük ve göç işlemleri, ulusal kimliklendirme sistemleri, seçmen ve sürücü kayıtları ve internet işlemleri gibi birçok uygulama biyometrik temelli sistemlerin başarıyla uygulandığı alanlara örnek olarak kabul edilebilir [2, 3].

Son otuz yıl içerisinde biyometrik tanıma sistemleri konusu bir çok açıdan incelenmiş, konunun değişik yönlerine ve detaylarına yönelik çeşitli teknikler, verimli algoritmalar ve yöntemler kullanılarak konuyla ilgili birçok problem için çeşitli çözümler ortaya konulmuştur. İlk zamanlar gerçekleştirilen çalışmalar biyometrik sistemlerde doğruluğun ve güvenilirliğin artırılmasına, sistemin işleyişine ve iyileştirilmesine yönelik olmakla birlikte son yıllarda araştırmacıların ilgisi biyometrik tekniklerin birleştirilerek kullanıldığı, doğruluk ve güvenliği bir üst seviyeye çıkaran çoklu biyometrik sistemler üzerine yoğunlaşmıştır [1, 3-8]. “Kişiyeye özgü” kavramıyla özdeşleşen biyometri teknolojileri, yıllardır üzerinde çalışılan, derinlemesine araştırılmış, birçok verimli algoritma ve yöntemi içeren çok geniş ve zengin bir literatüre sahip gelişmiş bir konudur. Her yönüyle derinlemesine incelenmiş olan ve parmak izi, yüz, el geometrisi gibi alt konularına ait bile binlerce çalışmanın yapıldığı bilimsel makalenin yayımlandığı biyometri alanında bugüne kadar biyometrik özellikler arasında olabilecek bir ilişkinin varlığı tartışılmamış, böyle bir ilişki üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Aksine, literatürde bu özelliklerin (özellikle parmak izi ve yüzün) birbirinden bağımsız veriler olduğu kabulü yaygındır [7].

Biyometrik özellikler arasında olabilecek ilişkinin araştırılması, incelenmesi ve modellenmeye çalışılması ilk olarak bu tez çalışması ile başlamıştır. Sunulan çalışma bu şekilde bir problemin tanımlanması, çözülmeye çalışılması, sonuçların elde edilmesi ve bu sonuçların değerlendirilmesi açısından dünyada bir ilk olması açısından önemlidir. Bu çalışmadaki motivasyonlarımız konunun ana fikrini destekleyen bilimsel gerçeklerden oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında, aşağıda kısaca verilen ve 4. bölümde detaylı olarak anlatılan bu bilgiler ışığında çalışmalara yön verilmiştir.

1.1. Motivasyonlarımız

Biyometrik özellikler arasında gerek doğruluğu gerekse yaygınlığı açısından değerlendirildiğinde öne çıkan iki özellik olan parmak izi ve yüz tanıma tekniklerine ait literatür incelendiğinde, bu iki özellik arasında ilişkinin olabileceği yönünde çeşitli ip uçları ve işaretler elde edilebilmektedir. Literatürde verilen bilgiler ve bu bilgiler ışığında gerçekleştirilen ön çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde kişilerin yüzleri arasındaki benzerlik gibi parmak izleri arasında da benzerlik oluşu sunulan tez çalışması için önemli bir motivasyon olmuştur. Çünkü konuyla ilgili bilgiler ve bulgular

incelendiğinde parmak izi ve yüz özellikleri arasında paralel yönde ve büyüklükte ilerleyen bu benzerlik, bu özellikler arasında herhangi bir ilişkinin olabilme olasılığını ortaya koymaktadır. Parmak izi ve yüz arasındaki ilişkinin analizi konusunda çalışılmasına motivasyon sağlayan bu bilgiler Tablo 1.1’de özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Kişilerin parmak izleri ve yüzleri arasındaki benzerliğin haritalanması.

Yakınlık derecesi	Yüzlerdeki benzerlik	Parmak izlerindeki benzerlik	Parmak izleri ve yüzlere ait ortak açıklama
Tek yumurta ikizleri	Çok yüksek	Çok yüksek	İnsan gözü bu kişilerin yüzlerini ve parmak izlerini birbirinden çok zor ayırt edebilmektedir. Bu kişilerin biyometrik sistemleri yanıltma riski büyüktür.
(Ebeveyn-çocuklar), (Çift yumurta ikizleri) ve (normal kardeşler)	Oldukça Yüksek	Oldukça Yüksek	İnsan gözü bu kişilerin yüzlerini ve parmak izlerini birbirinden rahatlıkla ayırt edebilmektedir. Bu kişilerin biyometrik sistemleri yanıltma riski çok düşüktür.
Yakın akrabalar	Orta	Orta	
Uzak akrabalar	Az	Az	
Aynı ırktan akraba olmayan kişiler	Daha az	Daha az	İnsan gözü bu kişilerin yüzlerini ve parmak izlerini birbirinden rahatlıkla ve kolaylıkla ayırt edebilmektedir. Çünkü bu özelliklerin benzerlik oranı minimumdur. Bu kişilerin biyometrik sistemleri yanıltma riski yok denecek kadar düşüktür.
Farklı ırktan kişiler	En az	En az	

Parmak izi ve yüz gibi biyometrik özelliklerin kişilerin kimliklendirilmesinde güvenle kullanılabilmesi kişiye özgü kimlik bilgisinin biyometrik özellik içerisine gömülü olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca parmak izi, iris gibi biyometrik özellikler içerisinde gömülü bulunan kimlik bilgisi insanlar tarafından kolayca çözülememekte, dolayısıyla taklit edilememektedir. Bu kimlik bilgisinin çözülmesi ve anlamlı hale getirilebilmesi için çeşitli algoritma ve teknikler geliştirilmiştir. Bu durumda, kişiye ait kimlik bilgisinin biyometrik özellik içerisine şifreli olarak gömüldüğü de söylenebilmektedir. Yukarıda verilen bilgiler birleştirilerek aynı kişiye ait biyometrik

özelliklerdeki aynı olduğu bilinen kimlik bilgisinin şifreleme şekilleri çözülebilirse bu biyometrik özellikler arasında geçiş yapılabilir fikrinden hareketle geliştirilen yaklaşım bu tez çalışmasında detaylarıyla anlatılmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında önceki paragraflarda verilen bilgiler ışığında çalışmalara yön verilmiş ve parmak izleri ile yüzler arasında olması muhtemel bir ilişki araştırılmıştır. Bu ise aslında yüksek boyutlu iki özellik seti arasındaki ilişki veya geçişin derinlemesine incelenip yorumlanması anlamına gelmektedir.

Sunulan tez çalışmasında, üzerinde derinlemesine çalışılmış ve doğruluğu bilim otoritelerince kabul edilmiş bazı gerçekler göz önünde bulundurularak biyometrik özellikler arasında olabilecek herhangi bir ilişkinin varlığının sorgulanması, araştırılması, incelenmesi, analiz edilmesi ve modellenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada izlenen yaklaşım aşağıda çeşitli alt başlıklarda verilmektedir.

1.2. Çalışma Gerçekleştirilirken İzlenen Yaklaşım

Parmak izi ile yüz biyometrik özellikleri arasında olması muhtemel bir ilişkinin bulunması, incelenmesi, analiz edilmesi ve modellenmesi işlemi için ilk aşamada var olan ve çözülmeyi bekleyen problem parmak izi ile yüz arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığının araştırılmasıdır. Bu problemin sınırları ve çözümünün ne olduğu başlangıçta bilinmemekte, sadece elde konuya ilişkin literatürden elde edilmiş motivasyon niteliğinde bilgi ve belgeler bulunmaktadır. Bu aşamadaki bir problemin çözümü rasyonel bir işlemdir ve problem çözme yöntemi bu mantık işleminin adım adım uygulanması şeklinde gerçekleştirilmelidir [9]. Bir problem çözümü genellikle deneyim aşaması, belirsizlik ve çelişki aşaması, problemin tanımlanması, konuyla ilgili hipotezler oluşturulması, bu hipotezlerin araştırılıp kanıtlanması veya çürütülmesi, genelleme ve sonuç çıkarma gibi aşamalardan oluşmaktadır [9]. Benzer şekilde sunulan çalışmada da problem çözme yöntemi aşağıda kısaca anlatılan bu aşamalardan oluşmaktadır.

1. Deneyim Aşaması

Problem çözme işlemini hem başarı hem de zaman anlamında en çok etkileyen etken problemi çözecek kişinin konu hakkındaki bilgi birikimi ve deneyimidir. Başka bir deyişle problemin çözüm işlemindeki başarı genellikle problemi çözecek kişinin problemle ilgili bilgi birikimi ve deneyimi ile doğru orantılıdır. Benzer şekilde çözüm süresi de deneyimle direk ilişkili bir parametredir. Problemi çözecek kişinin konu hakkında var olan bilgi birikimi ve deneyimleri problemin tanımlanmasına, çözülmesine ve yeni bir bilgi üretilmesine yardımcı olmakta, hata riskini minimuma indirmektedir. Sunulan çalışmada gerek biyometri gerekse esnek hesaplama yöntemleri ve yapay zeka konusundaki altyapı ve birikimimiz işlemlerin başarıyla gerçekleştirilmesinde etkili olan en önemli unsurlardandır. Ancak kişiler için problemin çözümüne ait var olan bilgi birikimi ve deneyim problem çözümüne katkı sağlasa da konuyla ilgili her yeni deneyim, var olan bilgilerini yeniden sorgulamalarına neden olabilmektedir. Çünkü çözülecek problem belki önceden sahip olunan fikirleri çürüten, belki daha önce kabul görmüş doğrulara ters düşen ve belki de bu bilgi ve inançlarını sorgulamaya iten bir yapıda olabilmektedir.

Sunulan tez çalışmasında parmak izleri ve yüzler arasında bir ilişkinin olabileceği fikrinin doğuşu 4. Bölümde detaylı olarak anlatılmaktadır. Bu fikri destekler nitelikteki biyolojik bulgular yine aynı bölümde verilmektedir. Tüm bu bilgi, belge ve deneyimlere ek olarak bugüne kadar hiç çalışılmamış biyometrik özellikler arasında olması muhtemel bu ilişki ile ilgili bazı yeni deneyimlerin bu tez çalışmasında gerçekleştirilmesi söz konusu olmuştur. Belki de bu deneyimler ileride birçok araştırmacı tarafından desteklenecek, onaylanacak, geliştirilecek veya tenkit edilecektir. Tüm bu deneyimler ve sonuçları tezde ayrıntılı olarak verilmektedir.

2. Belirsizlik ve Çelişki Aşaması

Problem çözmenin özünde belirsizlik vardır. Problem çözmeyi oluşturan veriler genellikle sıra dışı ve karmaşık olan ve akılda tutulan şablonlara uymayanlardır. Bir problem çözümünde deneyim sahibi olmak, problem çözümünü tecrübe etmiş olmakla aynı anlama gelmemektedir. Deneyim, öğrenilmesi gereken bir çelişki ya da belirsizliğe yol açtığında problemler baş gösterebilir. Bu çalışmada da benzer şekilde olmuştur.

Parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişki ile ilgili olarak fikrin oluşması aşamasından bu ilişkinin varlığının ispatı, ilişkinin analizi ve incelenmesi, yönü ve boyutunun belirlenmesi konusunda kullanılabilir metrikler ve bu gibi konularda çeşitli problemlerle karşılaşmış, bu problemlerin aşılması için sarf edilen gayret ve gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde problem daha iyi anlaşılabilmiştir. Ayrıca içine düşülen çelişki ve belirsizlik durumundan kurtulmak için yapılan çalışmalar ve problemin aşılmasına yönelik alternatif çözümler üretilmesi problemin etraflıca incelenmesine olanak sağlamış, bu adım bir sonraki adım olan problemin belirlenmesi aşamasına ciddi katkıda bulunmuştur. Kısaca bu aşama sunulan çalışma için çözüme gitme anlamında büyük bir adım olmuştur.

3. Problemin Tanımlanması Aşaması

Probleme ilişkin tam açıklamanın yaratılması, problemin sınırlarının belirlenmesi ve problemin tam olarak tanımlanması işlemlerini kapsayan bu aşamada, problem çeşitli alt parçalara ayrılıp her bir parça kendi içinde tanımlanarak problemde gözden kaçacak en ufak bir ayrıntı bırakılmamaya çalışılmaktadır. Bu aşamada elde edilen tanımlama, başlangıçta bilinmeyen belirlenmeye yarayan bir açıklama, daha sonra problemi anlatan bir bildirim halini almaktadır. Problem bildirim, problemin sınır noktalarını, çözüm önerilerini, çözümlerin eksi ve artı yönlerini açıklaması açısından önemlidir. Sunulan çalışma için de parmak izi ile yüz arasında olduğu düşünülen ilişki ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilirken problem hem sistemin tasarımı anlamında hem de parmak izi ile yüz arasındaki ilişkinin yönü ve boyutu anlamında çeşitli alt basamaklara ayrılarak tanımlanmış ve bu sayede hiçbir detayın atlanmamasına gayret gösterilmiştir. Problemin tanımı, sistem tasarımı ve çalışma prensibi ile ilgili alt basamaklar ve her bir basamağın işlem adımları detaylarıyla 4. ve 5. bölümlerde, aradaki ilişkinin varlığı, yönü ve boyutu ile ilgili sonuç ve detaylar ise 6. ve 7. bölümlerde verilmektedir.

Sunulan çalışma için problemin parçalara ayrılmasından sonra her bir parça için kayıtlar tutulmakta, problemi çözmeye yönelik yakınsak, ıraksak ve değerlendirici düşünmeye dayalı sorularla problem analiz edilmektedir. Bu sorular genellikle aşağıda verilen öğeleri içermektedir.

- i) Parmak izi ve yüz arasındaki ilişkiye dair elde bulunan bilgileri sorgulayan sorular. Bu sorular aradaki ilişkinin varlığına işaret eden, kullanılabilir ipuçlarını, kanıtları, deneysel bulguları ve bilimsel gerçekleri daha iyi anlamaya ve yorumlamaya yönelik olabildiği gibi, bu ilişkinin sınırları, kapsamı, içeriği, yönü ve boyutuna yönelik de olabilmektedir.
- ii) Parmak izi ve yüzler arasında ilişki olabileceğine dair elde bulunan tüm bilgi, belge ve bulguların gerçekler ve varsayımlar olarak birbirinden ayrılmasına dair sorular. Konuyla ilgili gerçekler ve varsayımların net olarak ayrımı yapıldıktan sonra daha sağlam ve kesin sonuçlara daha çabuk sürede ulaşılabileceği açıktır.
- iii) Parmak izi ile yüz arasındaki ilişkide bilinen ve bilinmeyenlere dair sorular. Sunulan çalışma için nelerin bilinip nelerin bilinmediğine ilişkin olarak yöneltilen bazı sorular problemin çözümü için oldukça önemli bir ön koşulu oluşturmakta ve çözüme büyük katkı sağlamaktadır. Çünkü bu sayede problemi çözmeye çalışan kişiler, problem çözümünün neresinde olduğunu, çözüme ulaşma noktasında ne kadar yollarının kaldığını ve çözüm yolu ve yönteminde herhangi bir sorun olup olmadığını gözleme imkânına sahip olmaktadır.
- iv) Parmak izi ile yüz arasındaki ilişkiye dair elde bulunan tüm bilinen ve bilinmeyenler bir aradayken problemin tanımı ve detaylarına yönelik sorular. Bu türden sorular problemin kapsamını daha iyi ortaya koymakta ve çözüme doğrudan katkı sağlamaktadır.

Problemin tanımlanması aşaması, veri toplama işlemini de içermektedir. Problemin tanımlanmasına yardımcı olacak, problemin anlaşılması, çözüm yönteminin belirlenmesi ve çözümünde kullanılabilir her türlü bilgiyi toplamak şeklinde tanımlanabilen veri toplamak önlemler ve çoklu biyometrik özellik veritabanı (ÇBVT) oluşturulması şeklinde iki alt başlıkla verilebilmektedir. Önlemler genellikle konuyla ilgili literatürün araştırılması, literatürdeki çalışmaların incelenip bu çalışmalarda kullanılan yöntem ve algoritmaların değerlendirilmesi, konuyla ilgili bilimsel ve teknolojik anlamda geline son noktanın belirlenmesi ve bu noktada elde edilen sonuçların yorumlanması gibi işlemleri kapsamaktadır. Sunulan çalışmada özellikle konuyla ilgili literatürden konunun ana fikrini destekleyen veya bu ana fikre ters düşen kısımlar dikkatlice ve ayrıntılı olarak analiz edilerek bu bilgiler ışığında çalışmaya yön verilmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışması için genel literatür bilgileri 2.

Bölümde, konuyla ilgili destekleyici motivasyon bilgileri ise 4. Bölümde ayrıntılı olarak verilmektedir.

Parmak izi ile yüz arasında olabilecek ilişkinin analizi ve incelenmesi konusunda en önemli önceliklerden biri gerçek bir ÇBVT oluşturulmasıdır. Bu nedenle çalışma esnasında aynı kişilere ait parmak izi ve yüz biyometrik özelliklerini içeren 120 kişilik bir ÇBVT oluşturulmuştur. Böyle bir veritabanının insanların kolayca erişebileceği bir platformda olmayışı [10] çalışmaya buradan başlamayı zorunlu kılmıştır. Bu veritabanı ile ilgili bilgiler tezin beşinci bölümünde detaylı olarak verilmektedir.

4. Hipotez Oluşturma Aşaması

Elde bulunan bilgi ve araştırmalara dayanarak herhangi bir çözüm ya da sonuç ortaya atmak olarak ifade edilebilen hipotez oluşturma sunulan çalışma için biyometrik sistemler ile ilgili literatürde sunulmuş olan bilgi, bulgu ve çalışmalar doğrultusunda, parmak izi ve yüz biyometrik özellikleri arasında bir ilişkinin varlığının olabileceğinin ortaya atılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bir hipotez oluşturulurken, problemin doğasına uygun olası çözümler yazılı olarak ortaya konulmakta ve her çözüm karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Hipotezin oluşturulması aşamasında problemle ilgili mümkün olduğu kadar çok olasılık düşünülmekte ve ortaya konulmaktadır. Bir önceki adımda problemin belirlenmesi ile aslında oluşturulacak hipotezlerin sınırları da kabaca tanımlanmış olmaktadır. Bu çalışmada da olası tüm ihtimaller hesaba katılarak çalışmalara yön verilmiş ve çeşitli hipotezler oluşturularak çözüme gidilmeye çalışılmıştır. Konuyla ilgili yapılabilecek olanların sınırlarını türeten, bilinmeyenler konusunda, bilinen ve yaşanmış deneyimlerle oluşturulan hipotezlerin her biri ilk başta öneri niteliğinde açıklamalardır [9]. Tutarlı olması halinde çelişkiyi açıklamaya ya da bu konuda karar vermeye yardımcı olacak bu hipotezler bu aşamada geliştirilmiştir. Bir sonraki adım olan araştırma ve kanıtlama aşamasında ise sunulan çalışma için oluşturulan bu hipotezler araştırılarak kanıtlanmaya ve gerçeklere dönüştürülmeye çalışılacaktır. Mevcut literatür ve motivasyon bölümlerinde verilen bilgi, belge ve bulgular parmak izleri ile yüzler arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin varlığına işaret etmekte, aradaki ilişkiye dair çeşitli ip uçları vermektedir. Sunulan çalışma için bu aşamada bu bilgiler ışığında oluşturulan hipotezler aşağıda verilmektedir.

- Hipotez #1.** Parmak izleri ile tek tek yüz parçaları arasında ilişki vardır.
- Hipotez #2.** Parmak izleri ile yüz parçalarına ait çeşitli kombinasyonlar arasında ilişki vardır.
- Hipotez #3.** Parmak izleri ile yüz parçaları veya kombinasyonları arasındaki ilişkinin yönü ve boyutu farklıdır.
- Hipotez #4.** Parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin varlığı matematiksel, fizyolojik, biyolojik veya deneysel olarak ispat edilebilir.
- Hipotez #5.** Parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin varlığının matematiksel olarak ispatının güç olduğu bir durumda YSA gibi modelleme yöntemleri kullanılarak bu ilişki deneysel olarak ispat edilebilir.
- Hipotez #6.** Kişilerin yalnızca parmak izleri kullanılarak yüz parçalarına ve yüzlerine ait özelliklere ulaşılabilir.

Yukarıda verilen hipotezlerin her biri bir sonraki aşama olan araştırma ve kanıtlama aşamasında ya kanıtlanacak ya da çürütülecektir. Bu tez çalışmasında, konuyla ilgili fizyolojik, biyolojik ve mantıksal kanıtlar araştırılmış ve bu hipotezlerin deneysel olarak elde edilen sonuçlarla doğruluğunun kanıtlanması, değiştirilmesi veya çürütülmesi yoluna gidilmiştir.

5. Araştırma ve Kanıtlama Aşaması

Bir önceki adımda ortaya atılan hipotezleri, açıklamaları, çözüm ya da sonuçları geçerli kılmak, reddetmek ya da değiştirmek için olabildiğince çok kanıt toplamak ve hipotezi test etmek gerekmektedir. Veri toplama adımında elde edilen literatürdeki konuyla ilgili bilgi ve araştırmalara dayanarak ve yine veri toplama adımında oluşturulan çoklu biyometrik özellik veritabanı kullanılarak bir önceki adımda oluşturulan hipotezler test edilmiş ve doğruluğu deneysel olarak ispatlanmaya çalışılmıştır. Ortaya atılan hipotezleri destekleyen ya da çürüten kanıtlar bulmak için problem ile ilgili kanıt oluşturabilecek kaynaklar toplanmış değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular 4. Bölüm'de motivasyon başlığı altında verilmiştir. Hipotezlerin gerek desteklenmesi gerekse çürütülmesi anlamında elde edilen kanıtlar sağlam olmalı, genelleme ve sonuç elde etme öncesinde probleme ait tüm sonuçlar net olarak elde edilmiş olmalıdır.

Sunulan çalışmanın bu aşamasında bir önceki adımda oluşturulan hipotezlerin geçerliliğinin ve doğruluğunun gösterilmesi veya çürütülmesi için öncelikle kanıt niteliğinde olan tüm kaynaklar toplanmış ve değerlendirilmiş; daha sonra YSA temelli zeki bir sistem geliştirilmiştir. Bu sisteme ait optimum parametre seti Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Hipotezlerin deneysel olarak test edilmesi için gerçekleştirilen sistemin işlem adımları kısaca aşağıda verildiği şekilde özetlenebilmektedir.

1. Çoklu biyometrik özellikler veritabanında bulunan parmak izi ve yüz resimlerinin gerektiği şekilde işlenerek parmak izlerine ve yüzlere ait özellik setlerinin elde edilmesi.
2. Parmak izi ve yüze ait özellik setleri arasında herhangi bir ilişkinin varlığına yönelik araştırmanın yapılabilmesi için YSA temelli öğrenen zeki bir sistemin oluşturulması.
3. Sistemin optimum parametre setinin belirlenmesi.
4. Sistem giriş ve çıkışlarının düzenlenmesi.
5. Sistemin eğitimi.
6. Sistemin test edilmesi.
7. Testte kullanılan kişilere ait arzu edilen çıkış değerleri kullanılarak sistemin doğruluk analizinin yapılması, hataların hesaplanması ve sistem performansının değerlendirilmesi.

Çalışmanın işlem adımları motivasyondan kullanılan metotlara, sistem tasarımından deneysel sonuçlara, değerlendirme platformlarından sistemin zayıf ve güçlü noktalarına kadar tüm detaylar belirli bir sistematik içerisinde bu tez çalışmasında ilgili alt başlıklarda açıklanmış, bu bölümde ise kısaca özetlenmiştir.

Parmak izi ile yüz arasında herhangi bir ilişkinin varlığının araştırılması ve incelenmesi için parmak izi ve yüze ait özellik setlerinin doğru, güvenilir olarak ve belli bir sistematik içerisinde elde edilmesi gerekmektedir. Sunulan çalışmada hem parmak izleri hem de yüzlere ait özellik setlerinin elde edilmesi için özellik noktaları temelli yaklaşımlar tercih edilmiştir. Özellik noktalarının (uç-çatal nokta) karşılaştırılması temelli bir otomatik parmak izi tanıma ve onaylama sistemi (OPTOS) parmak izi

resminde bulunan çizgilerdeki özellikler ve bu özelliklerin parametrelerinin benzerliklerini ve farklarını kullanarak kimliklendirme yapmaktadır [1, 11]. Bu sistemlerde gerçekleştirilen işlemler genellikle, üzerinde işlem yapılacak resim alanının seçilmesi, referans noktalarının belirlenmesi, resmin temizlenip iyileştirilmesi, inceltmesi, özellik setinin elde edilmesi, yalancı özelliklerin elimine edilerek gerçek özellik setinin oluşturulması, gerekirse özellik setinin veritabanına kaydedilmesi, karşılaştırma işleminin yapılması, sistemin test edilmesi ve test sonuçlarının değerlendirilmesi şeklinde sıralanmaktadır [2, 11].

Özellik noktaları temelli bir otomatik yüz tanıma ve onaylama sistemi (OYTS) genellikle karmaşık bir arka plandan yüzlerin ayırt edilmesi, yüze ait özellikler ve bu özellikler yardımıyla yüz yeri ve yönünün belirlenmesi ve özellik setlerinin detaylandırılarak yüz tanıma işleminde kullanılacak yüz özellik setinin elde edilmesi, gerekirse özellik setinin veritabanına kaydedilmesi, karşılaştırma işleminin yapılması, sistemin test edilmesi ve test sonuçlarının değerlendirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır [4, 12-14].

Her iki biyometrik özellik için de karşılaştırma parametreleri olarak da adlandırılan özellik setlerinin doğru olarak elde edilmesi çalışmanın ve sistemin başarısını doğrudan etkileyecek faktörlerdir. Literatürde böyle bir çalışmanın olmayışı ve bu yaklaşımın ilk defa bu tez çalışmasında sunuluyor olması nedeniyle parmak izi ve yüze ait özelliklerin elde edilmesinde kullanılan yöntemlerin şeffaflığı bu çalışma için özellikle önem arz etmektedir. Bu nedenle parmak izi özellik setlerinin oluşturulmasında doğruluğu ve güvenilirliği onaylanmış, ticari olarak kendini ispatlamış, internette kolayca erişilebilen bir yazılım geliştirme kitinin kullanılması uygun görülmüş ve bu tezde Neurotechnologija tarafından geliştirilen VeriFinger 4.1 yazılım geliştirme kiti (SDK) kullanılmıştır [15]. Bu şekilde bir seçimin sunulan yaklaşım için oluşabilecek önyargı ve şüpheleri ortadan kaldıracağı, böylece çalışmanın daha objektif olarak değerlendirileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde yüzlere ait özellik setlerinin elde edilmesinde de şeffaf bir yöntem tercih edilmesi gerektiği düşünülmüş, konuyla ilgili literatür taranmış, yüz tanıma yöntemleri arasından yüze ait değişmeyen özellikleri kullanan yöntemlerden biri çalışmanın amacına yönelik olarak modifiye edilerek kullanılmıştır.

Parmak izi ve yüze ait özellik setlerinin elde edilmesinden sonra işlem sırası zeki sistemin tasarımına gelmektedir. Aralarında doğrusal olmayan, karmaşık bir ilişkinin var olduğu düşünülen giriş ve çıkış veri setleri arasındaki bu ilişkinin bulunması ve analizi için YSA modelleme tekniği tercih edilmiştir. Problemin doğasına uygun YSA yapıları incelenerek en uygun yapının FF YSA olduğuna karar verilmiş ve Taguchi deneysel tasarım metodu ile bu yapıya ait optimum parametre seti hesaplanmış ve sunulan tez çalışmasının genelinde bu yapı kullanılmıştır.

Tasarımı tamamlanan zeki sistem eğitim için hazır hale gelmiştir. Sistemin giriş ve çıkışı, sırasıyla aynı kişilerin parmak izlerine ve yüzlerine ait özellik setleridir. Eğitimde hem parmak izlerine hem de yüzlere ait özellik setleri kullanılmasına karşın testte sadece parmak izlerine ait özellik setleri kullanılmaktadır.

Test sonuçları, daraltılmış araştırma uzayı parametresi eklentisiyle genişletilmiş standart analiz platformu, sayısal analiz platformu ve görsel analiz platformu olmak üzere üç ayrı platformda değerlendirilmiştir. “Sunulan sistem bir biyometrik tanıma sistemi olsaydı başarısı ne olurdu?” sorusuna cevap veren standart analiz platformunda sisteme ait FMR(t) & FNMR(t) grafiği ve ROC eğrisi verilmekte, sistem başarısının MSE; SSE, APE, MAE ve MAPE gibi sayısal metriklerle ortaya konulduğu sayısal analiz platformunda sistemin testinde kullanılan 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait sayısal sonuçlar değerlendirilmekte ve parmak izinden yüzün elde edilmeye çalışıldığı sunulan çalışma için 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait her katta elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların olması gereken değerleriyle karşılaştırılarak çizildiği şekillerin verildiği görsel analiz platformunda ise sistem başarısı görsel olarak ifade edilmektedir.

Geliştirilen sistem yardımıyla çeşitli seviyelerde yapılan kontrollü deneylerle sınanan hipotezlerin geçerliliği ve doğruluğu çeşitli parametrelerle test edilip deneysel sonuçlarla ispat edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu tez çalışmasının 6. ve 7. Bölümlerinde ayrıntılarıyla sunulmuştur.

Bu adım, sunulan çalışmanın en zor ve kapsamlı adımlarından biri olmuştur. Çünkü sunulan yaklaşım ile bugüne kadar çalışılmamış bir alanda ilk defa ortaya atılan bazı hipotezlerin doğruluğu test edilmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla literatürde bir önceki adımda ortaya konulan hipotezleri doğrudan destekleyici unsurlar bulunmamakta, bu iki

biyometrik özellik arasında olabilecek ilişkinin varlığı, boyutu, yönü ve detaylarına yönelik herhangi bir kesin kanıt rastlanmamaktadır. Bu tez çalışmasında ortaya atılan hipotezler, literatürde bir ilk olduğu için aradaki ilişkinin ortaya çıkarılmasına dair izlenecek yöntem hakkında, elde edilecek sonuçların değerlendirilmesine yönelik metrik ve parametreler hakkında herhangi bir standart prosedürün olmayışı ise işi daha karmaşık hale getirmekte ve çalışmanın gerçekleştirilmesini, değerlendirilmesini ve sunumunu zorlaştırmaktadır. Tüm zorluklara rağmen çalışmanın gerektirdiği işlemler tez çalışması esnasında başarıyla gerçekleştirilebilmiş, sonuçlar elde edilmiş ve ayrıntılarıyla sunulmuştur. Çalışma ile ilgili aşılamayan veya henüz bu aşamada çözüm sunulamayan bazı noktalar da mevcuttur. Örneğin sunulan çalışmanın testinin her milletten kişilerin biyometrik özelliklerini ihtiva eden dünya çapında bir ÇBVT kullanılarak yapılamaması çalışmanın bugünkü şartlarla giderilemeyen zayıf yönlerinden biridir. Şu an itibarıyla dünya çapında bu şekilde bir veritabanının olmayışı, çalışmanın gerçekleştirilmesi esnasında oluşturulmuş aynı milletten insanlardan alınan biyometrik özellikleri ihtiva eden orta çapta bir veritabanı ile testini zorunlu kılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesi esnasında karşılaşılan zorluklar ve çalışmanın güçlü ve zayıf yönleri son bölümde detaylı olarak değerlendirilmiştir.

6. Genelleme ve Sonuç Çıkarma Aşaması

Problem çözme işlemindeki en son basamak, hipotezin kanıtlanması veya çürütülerek sonuca ulaşılmasıdır. Bu aşamada elde bulunan bilgi ve belgeler, çalışma ve araştırmalardan elde edilen bulgu ve rapor sonuçları değerlendirilerek kesin yargılara ya da genellemelere ulaşılması sonrasında hipotezlerin teoriye dönüşmesi söz konusudur. Gerçekleştirilen çalışma için de benzeri bir yaklaşım izlenmiş ve oluşturulan hipotez çeşitli platformlarda farklı şekillerde hazırlanan test yöntemleri ve parametreleri kullanılarak test edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapay sinir ağları temelli zeki bir sistem kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar literatürde var olan bilgi ve araştırma sonuçlarını destekler niteliktedir. Bu bulgular ve sonuçlar 4, 6 ve 7. Bölümlerde detaylarıyla verilmekte, sonuçlar son bölümde yorumlanmaktadır.

Son olarak hipotezlere, sorunu ne ölçüde tanımlayan bir anlam kazandırıldığına ilişkin rapor hazırlanır ve elde edilen probleme dair kesin sonuçlar yani kanıtlanmış ya da çürütülmüş bilgiler bu raporda etraflıca verilir. Sunulan çalışmanın bu aşaması önceki

aşamalarda tek tek verilen tüm adımların ve sonuçlarının detaylı olarak işlendiği bu tez raporudur.

1.3. Sunulan Yaklaşım ile İlgili Yayınlar

Tezle ilgili çalışmalar gerçekleştirilip başarılı sonuçların elde edilmesiyle bu konuda çeşitli bilimsel makaleler yazılmış ve yayımlanmıştır. Bu tezde gerçekleştirilen yaklaşımla ilgili çalışmaların ağırlıklı olarak dünya çapında saygın kongre ve konferanslarda sözlü sunularak yayımlanmasına özen gösterilmiştir. Bu şekilde uluslararası konferanslara katılmak suretiyle konuyla ilgili bilim insanlarının da konuya ilişkin görüş, yorum ve önerilerinin alınması, konunun detaylarının karşılıklı görüşmeler neticesinde şekillenmesi, sunulan yaklaşımın dünya çapında tanıtılması ve tartışılmaya başlanması hedeflenmiştir. Konuyla ilgili yayımlanan ilk çalışmalardan birinde parmak izleri ile yüz çevresi arasındaki ilişki sorgulanmış [16] ve ilgili makalede verilen sonuçlar uluslararası önemli bir kongrede sunulmuştur. Daha sonra bu yüz çevresine kulaklar da dahil edilerek parmak izlerinden yüze ait kontur bilgisine geçiş yapılabileceği ile ilgili bir çalışma [17] yapılmış ve bu çalışma bir kitap bölümü olarak yayımlanmıştır. Kaşlar gözler ve ağız yapısıyla parmak izleri arasındaki ilişkinin çalışıldığı bir çalışma [18] uluslararası bir konferansta sunulmuş, insan yüzüne ait değişmeyen iç özellikler olarak bilinen gözler-burun-ağız kombinasyonu ile parmak izleri arasındaki ilişkinin çalışıldığı diğer bir çalışma [19] uluslararası önemli bir kongrede sunularak dikkatleri üzerine çekmiştir. Konuyla ilgili çalışmalar devam ettikçe elde edilen sonuçlar gelişmiş, gözler-burun-ağız-kulaklar kombinasyonu ile parmak izleri arasındaki ilişkinin incelendiği çalışma [20] saygın bir ulusal kurultayda sunulmuş, bu kombinasyona yüz çevrenin eklenerek gerçekleştirildiği daha kapsamlı bir çalışma [21] ise uluslararası bir platformda kitap bölümü olarak basılmıştır. Kaşlar-gözler-burun-ağız kombinasyonuna kulakların eklendiği yapı bir dergi çalışması olarak basılmaya değer bulunmuştur [22]. Parmak izinden yalnızca tek bir yüz parçasının elde edilmesine yönelik gerçekleştirilen ve başarılı sonuçları ile dikkat çeken başka bir çalışma [23] ise uluslararası katılımlı ulusal bir konferansta sunulmuştur. Kaşlar-gözler-burun kombinasyonunun parmak izleriyle ilişkinin tartışıldığı başka bir çalışma [24] ise uluslararası bir konferansta sunularak projenin dünya çapında tanıtılmasına katkıda bulunmuştur. Daha sonra çalışmaya 10 katlı çapraz doğrulama tekniği, Taguchi

deneysel tasarım tekniği gibi yöntemlerin de eklenmesiyle geliştirilen çalışma SCI indeks'te taranan bir dergide yayınlanmak üzere kabul edilmiştir [25]. Tez çalışmasında sunulan yaklaşımın patenti de tarafımızdan alınmıştır [26].

1.4. Sonuç

Bu çalışmada yalnızca parmak izi resimlerini kullanarak, yüze ait hiçbir bilgiye sahip olmaksızın yüz robot resimlerine ulaşabilen YSA temelli zeki bir sistem gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışma bünyesinde gereken tüm işlemlerin doğru, hızlı ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Bu sistem hem ayrı ayrı yüz parçaları hem çeşitli yüz kombinasyonları hem de tüm yüz için eğitilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar çeşitli platformlarda incelendiğinde kişilere ait parmak izi ve yüz biyometrik özellikleri arasında var olduğu düşünülen bir ilişkiden söz edilebilmektedir. Literatürde hiç araştırılmamış ve çalışılmamış bir konuda yalnızca parmak izlerini kullanarak yüzleri elde etme konusunda başarılı sonuçları ile sunulan bu sistem, biyometrik özellikler arasında olabilecek ilişkilerin tespiti ve analizine yönelik gelecekte yapılacak pek çok çalışma ve uygulamanın da önünü açacak önemli bir çalışma olarak değerlendirilmektedir.

1.5. Tezin Organizasyonu

Sunulan tez aşağıda verildiği şekilde organize edilmiştir. Tezde işlenen parmak izi ve yüz biyometrik özellikleri hakkında genel bilgi, otomatik parmak izi ve yüz tanıma sistemlerinin çalışma prensipleri, her iki biyometrik özellik için geliştirilmiş olan özellik noktası çıkarım metotlarından öne çıkan yöntemler ve bu yöntemlerin kısaca çalışma şekillerini kapsayan detaylı bir literatür taraması 2. Bölüm'de verilmektedir. Gerçekleştirilen zeki sistem YSA temelli olduğu için 3. Bölüm'de YSA'ya ait genel bilgilerin verilmesi uygun görülmüştür. Sunulan tezde motivasyon olarak değerlendirilen ve çalışmalara yön veren bilimsel gerçekler, sistemin tasarımına ve elde edilecek sonuçların değerlendirilmesine yönelik oluşturulacak metodoloji ve bu değerlendirilmede kullanılacak ölçütlerin belirlenmesine yönelik yapılan tüm araştırmalar ve YSA yapısına ait optimum parametre setinin belirlenmesi gibi işlemler detaylı olarak 4. Bölümde sunulmuştur. Gerçekleştirilen sistemin detayları ve tez çalışması esnasında oluşturulan ÇBVT 5. Bölümde açıklanmıştır. Parmak izi ve tek tek

yüz parçaları arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin boyutu 6. Bölüm’de araştırılmış ve sunulmuştur. Tez esnasında oluşturulan hipotezleri destekleyecek, parmak izi ile yüz kombinasyonları ve parmak izi ile tüm yüz arasındaki ilişkinin analiz edildiği diğer deneysel çalışmalar 7. Bölüm’de verilmiştir. Sonuçların yorumlanması, hipotezlerin desteklenmesine yönelik bulguların değerlendirilmesi, sunulan çalışma ile ilgili güçlü ve zayıf noktalar, çalışma gerçekleştirilirken karşılaşılan zorluklar, çalışmanın geleceği ve son söz gibi bilgiler ise 8. Bölümde sunulmaktadır.

2. BÖLÜM

BİYOMETRİK SİSTEMLER

Biyometri, sosyal hayattaki uygulamalarda oldukça sık karşılaşılan, suçluların kimliğinin tespit edilmesi gibi adli işlerde uzun zamandır kullanılan, çok hızlı gelişen ve benimsenen güvenilir bir teknolojidir. Bir biyometrik sistem, insanın sahip olduğu biyometrik özellikler olarak adlandırılan fiziksel ve davranışsal özelliklerin, insanların daha güvenilir bir ortamda ve daha yüksek doğruluklarla kimliklendirilmeleri, tanınmaları veya onaylanmaları amacıyla kullanılabilmesine olanak sağlayan bir güvenlik platformu olarak tanımlanabilmektedir. Bu bölümde, biyometrik sistemler hakkında genel bilgiler verilecek, tez çalışmasında kullanılan otomatik parmak izi tanıma ve onaylama sistemleri ve otomatik yüz tanıma sistemleri daha detaylı olarak işlenecektir.

2.1. Biyometrik Sistemler

2.1.1. Biyometrik Özellikler

Teorik olarak kişiye ait fizyolojik veya davranışsal bir özelliğin kimlik tespitinde kullanılabilmesi için bu özelliğin aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir [1, 27].

- **Genellik:** Bir biyometrik özellik her insanda bulunan genel bir özellik olmalıdır.
- **Eşsizlik:** Biyometrik özelliğin karakteristiği her insanda farklı olmalıdır.
- **Süreklilik:** Biyometrik özellik zamanla değişmemeli, en azından hayatın büyük bölümünde sabit kalan parametreleri bulunmalıdır.
- **Ölçülebilirlik:** Biyometrik özellik kişilerden kolayca alınabilir, ölçülebilir, işlenebilir kaydedilebilir ve karşılaştırılabilir olmalıdır.

Yukarıda belirtilen şartları sağlayan herhangi bir özellik biyometrik özellik olarak kabul edilebilirken, bir biyometrik sistemin pratikte kullanılabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması beklenmektedir [1].

- **Performans ve Doğruluk:** Doğru kişiyi yanlış kişi olarak algılayıp kabul etmeme oranı veya yanlış kişiyi doğru kişi olarak algılayıp kabul etme oranının sıfır (kabul edilebilir ölçülerde) olması gerekmektedir.
- **Kabul edilebilirlik:** Bir biyometrik sistem, sistemi kullanacak insanların çekinmeden ve kolayca kullanabilmelerine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- **Güvenilirlik:** Sistemin başka kişiler tarafından devre dışı bırakılma olasılığının sıfır (kabul edilebilir ölçülerde) olması gerekmektedir.
- **Uygunluk:** İşlem zamanı ve maliyeti açısından uygun olmalıdır.

Biyometrik sistemler şifre yaklaşımının aksine kişilerin bildiği bir bilgi veya taşıdığı bir objeye değil, kişilerin kendisinde var olan ve fiziksel olarak kendilerine sıkı sıkıya bağlı olan bir özelle kimliklendirilmelerine olanak sağlamaktadır. Biyometrik temelli tanıma sistemleri klasik yaklaşımlarda var olan kaybedilme, unutulma, çalınma, tahmin veya taklit edilebilme, diğer kullanıcılarla ortak kullanılma, paylaşılma riskini neredeyse yok eden veya çok karmaşık hale getiren bir teknolojidir.

2.1.2. Biyometrik Sistemlerin Çalışma Prensipleri

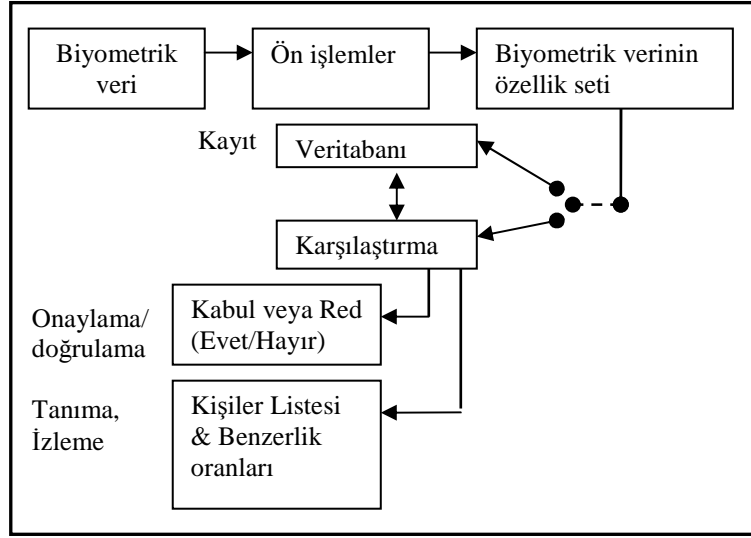
Bir biyometrik sistem en genel anlamda bireyin biyometrik özelliğini alan, bu özellikten kişinin kimliklendirilmesinde kullanılacak olan özellik setini çıkaran ve kişiyi temsil eden bu anlamlı veri seti ile daha önceden aynı prensiplerle elde edilip veritabanına kaydedilmiş veri seti/setleri arasında karşılaştırma yapabilen bir tanıma/onaylama veya sınıflandırma sistemi olarak tarif edilebilmektedir [3]. Biyometrik sistemler çalışma şekli ve uygulama durumuna göre 4 gruba ayrılırlar. Bunlar kayıt modu (enrolment), onaylama modu (verification), tanıma modu (identification) ve izleme modu (screening) şeklinde sıralanmaktadır [28]. Temelde bu modların tamamının çalışma prensibi aynı olmakla birlikte sözü edilen bu modlar uygulama şekli ve kullanım alanı konusunda bazı farklılıklara sahiptirler.

Kayıt Modu: Biyometrik verinin sisteme alınması, sayısal ortama çevrilmesi, sınıflandırılması ve uygun bir formatta veritabanına kaydedilmesi işlemlerini kapsamaktadır. Kayıt modu diğer modların önişlemi olarak da kabul edilebilmektedir.

Onaylama/Doğrulama Modu: “Kullanıcı adı + biyometrik veri” kombinasyonunun sisteme giriş olarak alınıp birebir karşılaştırma (1-1) sonucu sistem cevabının oluşturulması şeklinde tanımlanmakta olan onaylama/doğrulama modu, genelde personel takibi gibi giriş çıkış kontrol noktalarında veya kullanıcı erişim haklarının ve zamanlarının düzenlenmesi gibi erişimlerin denetimlerinin sağlanmasında tercih edilmektedir [2, 4, 28]. Bu modda kullanıcı kendisinin bir sistem kullanıcısı olduğu iddiasıyla sisteme giriş yapmakta sistem ise bu kişinin gerçekte iddia ettiği kişi olup olmadığını kontrol edip kabul/red (evet/hayır) şeklinde bir onay veya red kararı olarak sonucunu döndürmektedir.

Tanıma Modu: Yalnızca biyometrik veriyi sisteme giriş olarak alıp veritabanındaki tüm kayıtlarla tek tek karşılaştırma (1-N) yaparak sistem cevabını oluşturan tanıma modu, genelde suç ve suçlu takibi gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Bu modda biyometrik veri sisteme girilmekte, sistem ilgili girişin veritabanındaki kayıtlı tüm kişilerle ne kadar benzeştiğini hesaplamakta ve sonuçta veritabanındaki kişilerin listesi ve benzerlik oranlarını döndürmektedir [2, 28].

İzleme modu: Herhangi bir kişinin arananlar listesinde olup olmadığının araştırılmasının amaçlandığı bu mod, havaalanı güvenliği, herkesin kullandığı kamuya ait alanların güvenliği ve diğer takip ve gözlem gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir [28, 29]. Çalışma mantığı olarak tanıma moduna benzeyen bu mod, kimliği zaten bilinen bir kişinin arananlar listesinde olup olmadığının kontrolünü yapması bakımında tanıma modundan ayrılmaktadır. Genel bir biyometrik sistemin çalışma şekilleri açısından yapısı Şekil 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.1. Genel bir biyometrik sistemin yapısı.

Biyometrik sistemler fiziksel (pasif) ve davranışsal (aktif) biyometrik sistemler olmak üzere temelde 2 gruba ayrılır [1]. Fiziksel biyometrik sistemler parmak izi, el geometrisi, yüz, ses, iris ve retina gibi kişide bulunan sabit fiziksel özellikler üzerine kurulmuştur. Davranışsal biyometrik sistemler ise imza, yazı dinamiği, konuşma esnasındaki dudak hareketleri, yürüyüş şekli tanıma gibi belli bir zamanda belli amaçlar için gerçekleştirilmiş davranışlar üzerine kurulmuştur.

Bir biyometrik sistem çevrim içi veya çevrim dışı çalışabilir. Çevrim içi sistemlerde cevabın giriş çıkış kontrol noktalarında olduğu gibi anlık olarak üretilmesi gerekirken, çevrim dışı sistemlerde suçluların kimlik tespitinin yapılması örneğinde olduğu gibi sistem cevabının sisteme giriş yapıldığı anda üretilmesi gerekli değildir. Çevrim içi ve çevrim dışı sistemlerde hız-doğruluk dengesinin sistemin kullanım amacına göre düzenlenmesi gerekmektedir.

Biyometrik sistemler tam otomatik veya yarı otomatik olarak çalışabilmektedir. Çevrim içi sistemler tam otomatiktir. Bu sistemlerde biyometrik özellik sisteme entegre edilmiş bir tarayıcı ile anında alınır. Yarı otomatik sistemlerde ise biyometrik özellik bir resimdeki veya suç mahallindeki parmak izinin optik tarayıcı ile sayısallaştırılması gibi çevrim dışı tarama olarak isimlendirilen yöntemlerle alınıp işlem yapılmaktadır.

2.1.3. Biyometrik Uygulama Çeşitleri

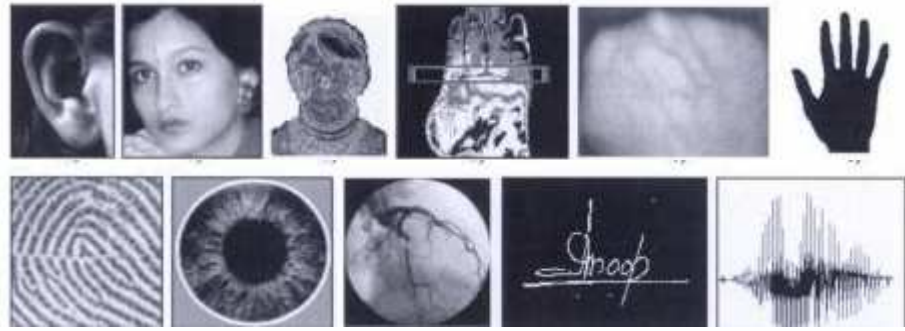
Biyometrik uygulamalar karakteristiklerine göre aşağıda kısaca anlatılan 7 kategoriye ayrılmaktadır [1].

1. **Ortak olan ve ortak olmayan (cooperative - non-cooperative) uygulamalar:** Sistem kullanıcılarının sistem ile etkileşiminin tam olarak tanımlandığı uygulamalardır. Elektronik bankacılık ortak bir uygulamaya örnek iken havaalanlarında teröristleri tanımlamayı amaçlayan bir uygulama ortak olmayan uygulamaya bir örnektir.
2. **Açık ve gizli (overt - covert) uygulamalar:** Pek çok ticari uygulamada olduğu gibi kullanıcı biyometrik özelliğinin alındığının farkındaysa bu açık uygulama, farkında değilse gizli uygulamadır.
3. **Alıştırılmış ve alıştırlmamış (habituated - non-habituated) uygulamalar:** Bilgisayara kullanıcı adı ve şifresiyle giriş yapmak, giriş çıkış kontrolünün biyometrik özelliklerle sağlandığı kapıdan giriş çıkış yapmak gibi sisteme kayıtlı olan kullanıcılardan ne sıklıkla ve ne zaman biyometrik karakter bilgisi istendiğinin belirli olduğu uygulamalar alıştırlmış uygulamalara örnektir. Ehliyet alınırken biyometrik özellik kullanımı gibi durumlar ise alıştırlmamış uygulamaya örnek olarak gösterilebilir.
4. **Katılımlı ve katılımsız (attended - non-attended) uygulamalar:** Sisteme bir bilir kişinin dahil olup olmaması ile ilgilidir. Kullanıcıya ATM kartının ilk verilmesi katılımlı iken, ATM kartının daha sonraki kullanımları katılımsız uygulamaya örnektir.
5. **Standart ve standart olmayan çevresel etkenler (Standard – non-Standard operating environment):** Bilgisayara giriş yapmak gibi çevresel şartların belli olduğu uygulamalar standart uygulamaya örnek iken, gece dışarıda yüz takibi yapmak standart olmayan uygulamaya örnektir.
6. **Genel ve özel (public - private) uygulamalar:** Şirket içinde bir ağa dahil olup olmama bilgi işlem yöneticisinin kontrolündedir ve bu bir özel uygulamadır. Ancak biyometrik özelliğın yüklü olduğu elektronik kartların kullanılması genel bir uygulamadır.
7. **Açık ve kapalı (open - closed) uygulamalar:** Bir kullanıcı hem fiziksel olarak güvenli girişin gerektiği bölgelerde, hem elektronik bankacılıkta hem de

bilgisayara girişte parmak izi kullanabilir. Tüm bu sistemlerde kişinin parmak izi farklı veritabanlarında saklanıyor ve buradan karşılaştırılıyorsa bu kapalı bir sistemdir. Ancak tüm bu uygulamalar için ortak bir veritabanı kullanılıyorsa bu açık uygulamaya bir örnek olur.

2.1.4. Yaygın olarak Kullanılan Biyometrik Özellikler

Kişilerin kimliklendirilmesinde aktif olarak kullanılan veya kullanılabilir olan biyometrik özellikler Şekil 2.2’de verilmektedir [1]. Bu bölümde en çok kullanılan biyometrik özellikler hakkında genel bilgi verilecek daha sonra tez çalışmasında kullanılmış olan parmak izi ve yüz tanıma sistemleri detaylı olarak anlatılacaktır.

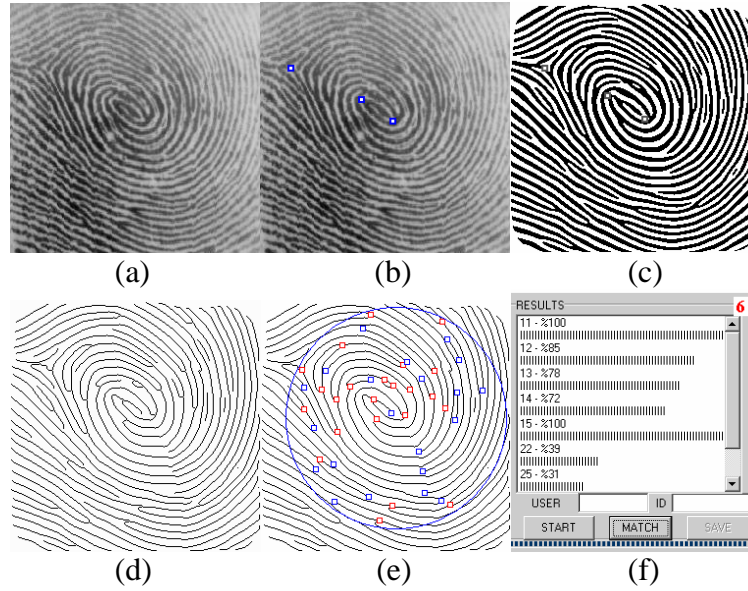


Şekil 2.2. Biyometrik özellikler. (Soldan sağa sırasıyla: kulak, yüz, yüz termogramı, el termogramı, el damarları, el geometrisi, parmak izi, iris, retina, imza, ses).

2.1.4.1. Parmak İzi Tanıma

Parmak izi tanıma 100 yılı aşkın süredir kullanılan bir kimliklendirme tekniğidir. İlk OPTOS 1980’lerin ortasında Amerika ve Avustralya’da tanıtılmış daha sonra çeşitli algoritmalar ve sistemlerle dünyanın bir çok yerinde geliştirilerek kullanılmıştır. Parmak izi parmak uçlarında bulunan çizgi ve boşlukların oluşturduğu bir desendir. Yapılan araştırmalar herkesin parmak izlerinin birbirinden farklı olduğunu ve bu yapının kişileri kimliklendirmede güvenle kullanılabilirliği gerçeğini ortaya koymuştur [1]. Parmak izi tanıma sistemleri en yaygın kullanılan biyometrik sistemlerden biri olarak üzerinde en çok çalışılan, derinlemesine araştırılmış bir konudur. Dolayısıyla bu konuda sistem performansını, doğruluğunu, güvenilirliğini ve hızını arttırmaya yönelik

birçok başarılı yaklaşımın sunulduğunu görmekteyiz. OPTOS'ların yüksek güvenilirlik ve hız özellikleri ve düşük maliyeti çok kullanıcıli sistemlerde bu sistemleri diğer biyometrik sistemlerden ayıran ve tercih edilmesini sağlayan en önemli özelliklerdir. Personel devam kontrol sistemleri ve bilgisayar ve ağ erişim kontrol uygulamalarının çoğunun parmak izi ile gerçekleştirilmesinin temel nedeni de budur [1]. Bir OPTOS'ta parmak izi tanıma genellikle parmak izinde bulunan özellik noktalarının ve bunlara ait parametrelerin karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Gerçekleştirilen işlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmış ve verilen işlemlerden en önemlileri sonrasında elde edilen parmak izi resimleri Şekil 2.3'te verilmiştir [11].



Şekil 2.3. OPTOS işlem adımları. (a) Giriş resmi, (b) Referans noktalar (c) Temizleme, iyileştirme, ikili hale çevirme (d) İnceltme, İyileştirme (e) Karşılaştırılacak alanın belirlenmesi ve özellik noktalarının bulunması, yalancı özellik noktalarının elimine edilmesi, (f) Karşılaştırma sonuçları.

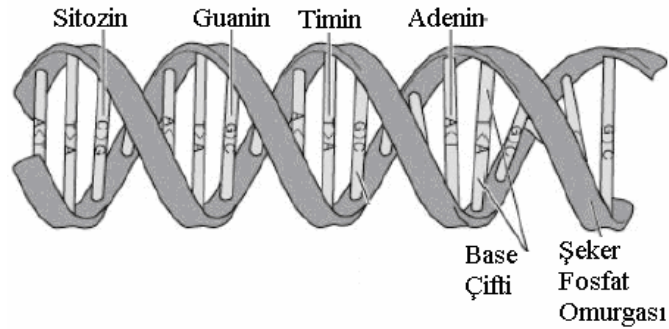
1. Çevrim içi veya çevrim dışı olarak alınan parmak izi resimleri sayısala çevrilir.
2. Parmak izi resimlerinin bilgi taşıyan anlamlı kısmı arka plandan ayrılır.
3. Referans noktalar elde edilir.
4. Temizleme ve iyileştirme işlemleri gerçekleştirilir ve resim ikili resme çevrilir.
5. İkili resim inceltir, inceltiren resim iyileştirilir.
6. Karşılaştırmada kullanılacak parmak izi alanı, özellik noktaları ve karşılaştırma parametreleri bulunur.

7. Yalancı özellik noktaları elimine edilir.
8. Karşılaştırma işlemi gerçekleştirilir.
9. Sistem başarısı değerlendirilir.

Parmak izi tanıma sistemlerinin en önemli sorunu, sentetik ve taklit parmak izleri kullanılarak sistemin yanıltılmasıdır [1]. Bu sorunu ortadan kaldırmak için parmak izinin alındığı parmağın canlılığını test edecek gelişmiş sensörlerin kullanımı önerilmektedir. OPTOS'ların diğer bir sorunu ise kirli ve yağlı parmaklardan parmak izlerinin alınmasında yaşanan problemlerdir. Ofis çalışanları için oranı zaten çok düşük olan bu sorun iyi sensörler ve algoritmalar kullanılarak minimuma indirilmeye çalışılmaktadır.

2.1.4.2. DNA Tanıma

DNA yapısının kişiye özgü bir karakteristik olduğu ilk olarak 1985 yılında keşfedilmiştir. DNA tanıma günümüzde en güvenilir kimlik doğrulama yaklaşımlarından biridir ve en çok babalık testleri ve adli işlemlerde kullanılmaktadır. DNA tanımda saç, kan ve diğer biyolojik materyaller incelenmektedir. Yöntemde hücre nükleuslarındaki kromozomlarda saklanan DNA molekülleri kullanılmaktadır. Şekil 2.4.'te verilen bir DNA molekülü Adenin (A), Guanin (G), Sitozin (C) ve Timin (T) olmak üzere 4 kimyasal birim içermektedir. Bu yapılar şeker molekülleri ve fosfat grupları ile birlikte pozisyon ve diziliş açısından genetik bilginin kodlandığı çatıyı oluştururlar.



Şekil 2.4. DNA yapısı.

Tandem tekrarlaması olarak bilinen A,G,C,T yapılarının aynı ardışık dizilişlerinin oluşturduğu tekrar yapısı, tekrar sayısı ve miktarının değişimi kişiye özgüdür. Tek yumurta ikizleri bu noktada istisnadır. DNA tanımada gerçekleştirilen işlemler aşağıda verildiği şekilde sıralanabilmektedir.

1. DNA örneğinin alınması.
2. DNA'nın izole edilmesi.
3. Polimeraz zincir tepkimesi kullanılarak enzimatik sınırlama ve yükseltmenin gerçekleştirilmesi.
4. Parçaların ayrılması.
5. Tekrar yapısı, sayısı ve tekrarının bulunması.
6. Elde edilen sonuçların analiz edilmesi.

Doğruluğu çok yüksek bir yöntem olmasına rağmen diğer biyokimyasal ve kimyasal analizlerde olduğu gibi DNA analizinde de yöntemin doğruluğu örnek kalitesine çok bağlıdır. Örneklerin karıştırılması, kirletilmesi, kemik iliği nakli gibi durumlarda yöntemin başarısı düşmektedir. DNA analizi diğer biyometrik teknikler ile karşılaştırıldığında maliyeti yüksektir. Ayrıca işlem süresinin 24 saat gibi bir zaman gerektirmesi de bu yöntemi gerçek zamanlı kimlik kontrolünün gerektiği durumlarda elverişsiz hale getirmektedir. Son yıllarda gündeme gelen DNA çipleri ve mikro arraylar bu yöntemin bu engelini kısa sürede kaldıracak gibi gözükmektedir.

2.1.4.3. Yüz Tanıma

Yüz tanıma konusunda yapılan çalışmaların temeli 30 yıl öncesine dayanmakla birlikte son 15 yıldır bu çalışmalar cazibesini arttırmış son yıllarda askeri, ticari ve yasal uygulama alanlarının artması nedeniyle yüzlerin otomatik olarak tanınması çok popüler bir konu haline gelmiştir. Resim işleme, görüntü tanıma ve yapay zekâ – yapay sinir ağları gibi alanlar bu konuyla yakından ilgilenmektedir. Dolayısıyla son yıllarda yüz resimlerindeki bilgiyi işleyip resmi analiz edebilecek tam otomatik bir yüz tanıma sistemi için güvenilir, hızlı ve verimli birçok algoritma geliştirilmiştir. Yüz işleme ile ilgili işlemler yüz tanıma, yüz takibi, poz kestirimi, yüz ifadesi analizi şeklinde gruplandırılabilir. Yüz tanımada gerçekleştirilen işlemler aşağıda verildiği şekilde sıralanabilmektedir [12].

1. Resimlerdeki yüzlerin sezilmesi.
2. Yüze konumlanması.
3. Yüz sınırlarının belirlenmesi.
4. Özniteliklerinin bulunması.
5. Özniteliklerin kullanılarak yüzlerin tanınması.

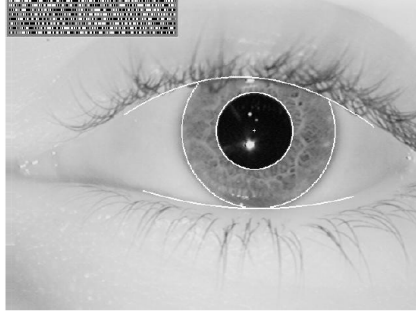
Yüz tanıma konusunda detaylı bilgi bölümün ilerleyen kısımlarında verilecektir.

2.1.4.4. İris Tanıma

İris tanıma 1990'ların başında geliştirilmiştir. Kişilerin iris desenlerinin analiz edilmesine dayalı bir sistem olan iris tanıma sistemleri kişinin sahip olduğu iris şeklinin kişinin yaşamı süresince değişmediği gerçeğinden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Genellikle havaalanları gibi kimlik doğrulama gerektiren giriş çıkış kontrol noktalarında kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda irisin 400 farklı karakteristik özelliğe sahip olduğu bunlardan 173 tanesinin iris tanıma sistemlerinde kullanıldığı rapor edilmektedir. İris tanıma sistemlerinde genellikle yakın infrared ışıklı kamerayla yakından çekilmiş (0.1 ile 1 metre arası) monokrom resimler kullanılmaktadır. İris tanımda gerçekleştirilen işlemler aşağıda verildiği şekilde sıralanabilmektedir.

1. İris resminin alınması.
2. İrise konumlanması.
3. İrisin iç ve dış sınırlarının belirlenmesi
4. Analizde kullanılacak yapının filtrelenmesi.
5. Analizde kullanılacak yapının özellik vektörlerinin elde edilmesi.
6. İris kodunun hesaplanması.
7. İris kodunun karşılaştırılması.

Bir iris resminde, irise konumlanması, irisin iç ve dış sınırlarının belirlenmesi ve 2048 bitlik bir alfa nümerik ifade olan iris kodunun grafiksel gösterimi Şekil 2.5'te verilmektedir. İris kodunun karşılaştırılmasında genellikle Hamming mesafesi kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. İris, irisın sınırları ve iris kodunun grafiksel gösterimi.

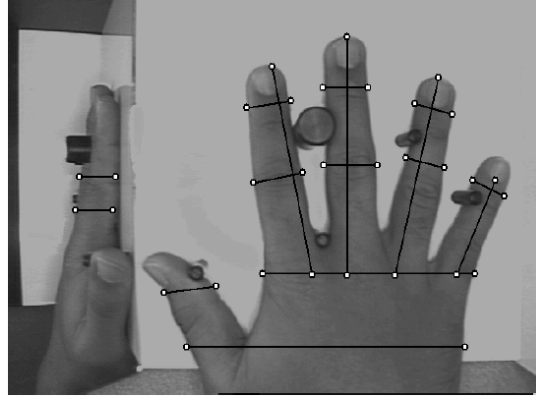
Bu yöntemle gözleri görmeyen, nistagmus hastalığına sahip (gözleri titreyen) veya irisleri olmayan kişilerin kimliklendirilmesi mümkün değildir. Ayrıca iris resmi alınırken gözlerin durumu, göz kapaklarının ve/veya kirpiklerin iris desenini bozması gibi faktörler sistemi olumsuz yönde etkilemektedir.

2.1.4.5. El Geometrisi Tanıma

El geometrisi tanıma özellikle Amerika’da 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Havaalanları ve nükleer güç istasyonları bu metodun en çok tercih edildiği kontrol noktalarıdır. Biyometrik bilgi alma platformu Şekil 2.6.’da verilen bu metotta kişilerin elinin veya iki parmağının geometrik yapısı analiz edilmektedir. Parmak uzunlukları, genişlikleri, eni ve büküm yerleri ayırt edici özellikler olarak kullanılan bu metodun başlangıç noktası CCD kamera ile elin üç boyutlu monokrom resminin alınmasıdır. Bu resmin alınabilmesi için el okuyucu üzerinde parmakların uygun şekilde yerleşeceği çiviler mevcuttur. Referans değerlerin hesaplanması için 25 ile 90 arasında değişen okuma noktasından bilgi alınmaktadır. 9 ile 25 bit arasında değişen uzunluktaki bir referans değerinin hesaplanmasında değişik algoritmalar kullanılabilir. Referans noktaların karşılaştırılmasında Öklit mesafesi, Hamming mesafesi veya yapay sinir ağları gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. El geometrisi tanımada gerçekleştirilen işlemler aşağıda verildiği şekilde sıralanabilir:

1. El resminin alınması.
2. Elin uygun şekilde yerleşmesi için kullanılan çivi görüntülerinin resimden çıkarılması.

3. Okuma noktalarında kullanılan değerlerin hesaplanması.
4. Referans değerlerinin hesaplanması ve özellik setlerinin elde edilmesi.
5. Karşılaştırma işleminin gerçekleştirilmesi.



Şekil 2.6. El geometrisi tanımada kullanılan okuma noktaları.

El geometrisi tanıma da yüksek doğruluk oranına sahip bir yöntem olmakla birlikte büyük ve ağır okuma cihazı nedeniyle maliyet ve kullanım açısından bazı dezavantajlara sahiptir. Resmin alınma süresinin yaklaşık 30 saniye oluşu nedeniyle sistem diğer yöntemlere göre yavaş çalışmaktadır. Fiziksel kontak gerektirmesi de sistemin hijyen açısından sahip olduğu bir dezavantajı ortaya koymaktadır. Ayrıca yüzük gibi takılar, yara bandı, yaralanma ve parmakların kaybedilmesi, gut veya kireçlenme gibi bir takım hastalıklar nedeniyle sistem performansı düşmekte, çocuklarda ise ellerin çok hızlı büyüüp gelişmesinden dolayı sistem kullanılamamaktadır.

2.1.4.6. İmza Tanıma

Kimlik doğrulamada güvenilir bir metot olarak tanımlanan ve uzun zamandır kullanılan imza, kişinin kendi ismini yazma şekli olarak tanımlanabilmektedir. İnsanlar imzalarını iş, banka, alışveriş, yasal işlemler, endüstri, güvenlik, finansal işlemler gibi sosyal hayatın birçok alanında kullanmaktadır. İmza tanımada imza ile ilgili iki tip bilgi kullanılmaktadır. Bunlardan ilki imzalama süresi, hızı, ivmesi, kalemin basım şiddeti, kalemin kağıt üzerinden kalkma sayısı, yönü gibi imzalama işlemi ile ilgili özellikler, diğeri ise bir desen olarak imzaya ait özelliklerdir. Yani gerçek kullanıcı olmayan

herhangi birinin, kullanıcılardan birinin imzasını görsel olarak aynı şekilde taklit etse bile imza atış şeklini tekrarlaması güçtür. Gerçek zamanlı olmayan imza tanıma sistemlerinde imzalama işlemi ile ilgili özellikler kullanılamaz. Bu yüzden gerçek zamanlı imza tanıma gerçek zamanlı olmayan imza tanımaya göre daha güvenilirdir. Gerçek zamanlı imza tanıma işleminin gizli markov modelleri, yapay sinir ağları ve destek karar makineleri kullanılarak gerçekleştirildiği çalışmalar mevcuttur. İmza tanımada işlemlerin yüksek doğrulukla yapılabilmesi için sistemin kullanıcının hızını, imza atma davranışını ve diğer özellikleri öğrenebilmesi için uygun sayıda örneğe ihtiyaç duyulur. İmza tanıma kullanıcının o anki ruh haline, sağlığına, durumuna, acelesi olup olmadığına bağımlı bir sistemdir.

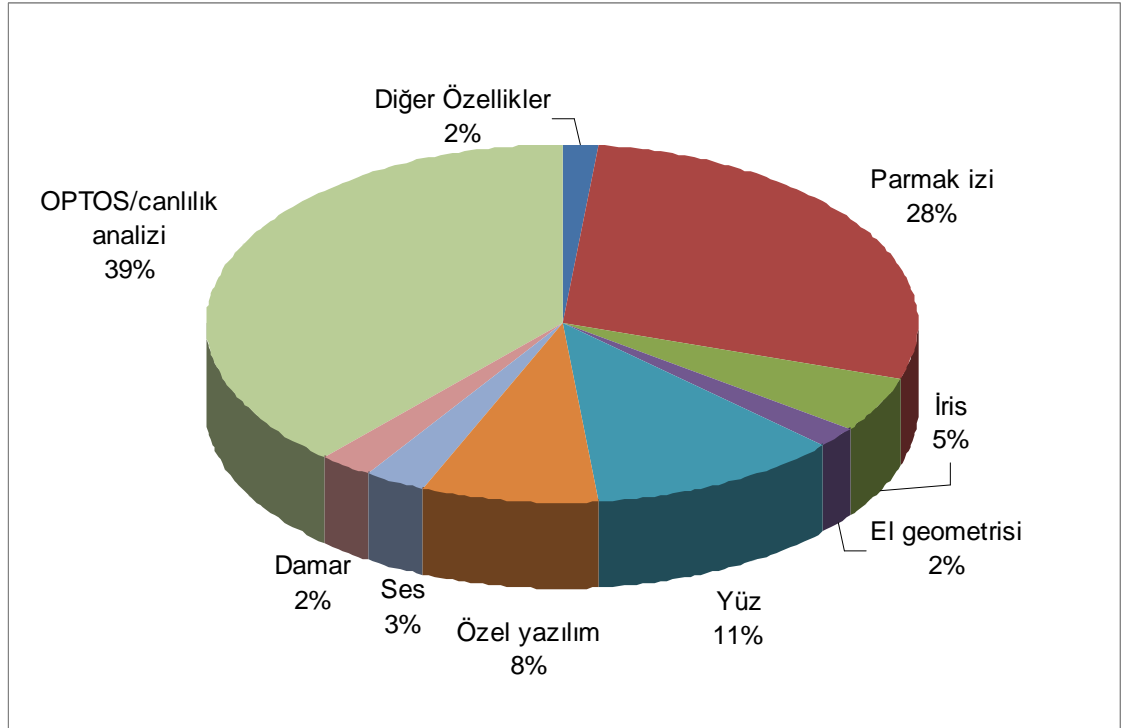
Bunlar dışında kişilerin kimliklendirilmesinde kullanılan ancak yukarıda verilen biyometrik özellikler kadar yaygın olmayan biyometrik özellikler de mevcuttur. Bunlar kısaca aşağıda verilmektedir [1].

- **Kulak tanıma:** Kulağın şekli ve kıkırdak dokunun yapısı kimliklendirmede kullanılabilir. Süreklilik ve kabul edilebilirlik açısından tercih edilebilecek bir yöntemdir.
- **Yüz ve el damar yapısı tanıma:** Kızılötesi kameralar ile damarlara ait termogram çıkarılarak orta seviyede performansa sahip bir biyometrik sistem elde edilebilir ancak sürekliliği düşüktür.
- **Yürüyüş şekli tanıma:** Kişiden kişiye çok fazla farklılık bulunmasını garanti edemeyen bir yöntem olmasına karşın son zamanlarda yürüyüş şeklinin analiz edildiği çalışmalara rastlanmaktadır. Düşük güvenli uygulamalarda doğrulama amacıyla kullanılabilir.
- **Parmak geometrisi:** Avuç içinin, elin ve parmağın resim işleme ile analizine dayanır. Tanıma uygulamalarında pek tercih edilmeyen yöntem parmak geometrisinin (bir veya iki parmak) sayısal halinin küçük boyutlu olmasından dolayı doğrulama uygulamalarında kullanılabilir.
- **Klavye hareketleri tanıma:** Davranışsal bir özelliktir. Tekilliği garanti etmese de kimlik doğrulama amacıyla kullanılabilir.

- **Koku tanıma:** Genelliği yüksek olmasına rağmen kimyasal karışımın ölçülebilirliğinin zor oluşu ve çevresel etkenlerden çok etkilenmesi performansı düşürür. Bu yüzden pek tercih edilmeyen bir yöntemdir.
- **Retina tanıma:** Güvenilirliği çok yüksek bir teknoloji olmasına rağmen, insanların retina taramasından çekiniyor olması ve bu kimliklendirme biçimini benimseme ve kullanma ile ilgili sorunları retina tanımanın yaygın kullanımını engellemektedir.
- **Ses tanıma:** Telefonda kişilerin tanınmasında çok yaygın kullanılmasına rağmen sağlık durumuna ve duygusal hale göre değişebiliyor olması ve büyük veritabanları gerektirmesi nedeniyle çok tercih edilmeyen bir yöntemdir.

2.1.5. Farklı Biyometrik Özelliklerin Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması

Biyometrik özelliklerin genellik, eşsizlik, süreklilik, ölçülebilirlik, performans, kabul edilebilirlik ve aldatılabilirlik açısından değerlendirilmesi Tablo 2.1’de özetlenmiş, bu teknolojilerinin 2009 yılına ait pazar payları ise Şekil 2.7’de verilmiştir [1].



Şekil 2.7. Biyometrik teknolojilerinin 2009 yılına ait pazar payları [30].

Tablo 2.1. Biyometrik teknolojilerin karşılaştırması.

Biyometrik Özellik	Genelik	Eşsizlik	Süreklilik	Ölçülebilirlik	Performans	Kabul Edilebilirlik	Aldatılabilirlik
DNA	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
Kulak	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Orta
Yüz	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yüz termogramı	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük
Parmak izi	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Orta
Yürüyüş	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta
El geometrisi	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta
El damarları	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Düşük
İris	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük	Düşük
Klavye alışkanlığı	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Orta	Orta
Koku	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
Retina	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
İmza	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Ses	Orta	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek

2.2. Otomatik Parmak izi Tanıma ve Onaylama Sistemleri (OPTOS)

Parmak izlerinin suçluların tespitinde kullanılabileceğinin düşünülmesinin üzerinden yüz yıldan fazla zaman geçmiştir. Konuyla ilgili araştırmalar 1800'lü yıllarda İngiltere'deki resmi makamların farklı iki insana ait parmak izlerinin aynı olmayacağını ileri sürmesiyle başlamıştır. Yüzlerin kişilere özgü olması ve onları yüksek doğruluklarla temsil etmesi tüm insanlar tarafından şüphesiz kabul edilirken parmak izlerinin eşsizliği konusunda çeşitli şüpheler dile getirilmiş, bilim adamlarından bu konuya güçlü bilgi ve belgelerle açıklık getirmeleri istenmiştir. Dolayısıyla parmak izinin eşsizliği konusu çeşitli kaynak kitaplarda [1] bir bölüm şeklinde işlenmiş ve

konuya belgelerle açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Parmak izlerinin eşsizliği konusu ilgili kaynak kitapta verildiği şekliyle bu bölümde de işlenmektedir.

2.2.1. Parmak İzlerinin Eşsizliğinin Sorgulanması

Parmak izi tanıma tüm dünyadaki kriminal laboratuvarlarda ve tanıma ünitelerinde rutin olarak kullanılmakta ve yüzyıldan beri mahkemelerde delil olarak kabul edilmektedir. Galton [31] ve Henry'nin [32] parmak izleri üzerindeki detaylı makalelerini yayınlamasından bir kaç yıl sonra, parmak izlerinin eşsiz ve kişiye özel olduğu birçok mercii tarafından iddia edilen bir gerçek haline gelmiştir [1]. Her ne kadar parmak izleri dünya çapında eşsizlik, kimliklendirmede güvenilirlik, hayatı boyunca sabit olma gibi bir takım özellikleriyle ün yapmış olsalar da bilim adamları, insanların başındaki şüpheleri hesaba katmak ve “Parmak izleri, kriminoloji ve kültür üzerinde inanılmaz bir etki ve bir iz bıraktılar, peki ya gördükleri gibi değillerse?” [33] gibi sorulara belgeleri ortaya konularak cevap vermek durumundadırlar. Biyometrik özelliklerin eşsizliğinin sorgulanması sadece parmak izi için değil birçok biyometrik özellik için de gündeme gelmiştir. Örneğin el yazısının eşsizliği konusunda da çeşitli sorgulamalar yapılmış ve bu konu zaman zaman çeşitli şekillerde gündeme gelmiştir [34].

Parmak izine bağlı kimliklendirmenin iki temel unsuru vardır. Bunlar, parmak izlerinin kişiye özel olması ve parmak izlerinin özellik noktalarının zamanla değişmemesi şeklinde sıralanabilmektedir. Bunlardan ikinci unsurun geçerliliği uzun yıllar yapılan gözlemler ve deriler üzerinde yapılan anatomik araştırmalarla belirlenmiş ve ispat edilmiştir. İlk unsurun geçerliliği yani her insanın farklı bir parmak izine sahip olduğu ise insanlar arasında tam netleşmemiş bir konudur. Bu hususun doğruluğu ise milyonlarca insanın parmak izlerinin uzmanlarla incelenmesi ile kabul edilmiştir. Ancak, bu durum dünyadaki herkesin parmak izinin alınıp bilimsel olarak test edilmesi şeklinde incelenmemiştir. 2000 yılı mart ayında ABD Adalet Bakanlığı böyle bilimsel bir testin yapılmadığını ileri sürerek bunun gerekliliğini ifade etmiştir [1]. Bu çağrıya karşılık olarak, Ulusal Adalet Enstitüsü iki ana araştırma konusu belirleyerek bir parmak izindeki karşılaştırmada kullanılacak özellik noktalarının miktarının ölçülmesi ve iki parmak izinin karşılaştırılmasındaki özellik noktalarının parametrelerinin belirlenmesi konularına ağırlık vererek çalışmalarını sürdürmüşlerdir.

Parmak izlerinin eşsizliği söz konusu olduğunda ilk önce bu eşsizlikle neyin kastedildiği üzerinde durulmalıdır. Birçok uzman ve otomatik parmak izi tanıma sisteminde, eğer iki parmak izi birbirlerine “yeterince” benziyorsa, bu parmak izlerinin aynı kişiye ait olduğunu öngörmektedir. Burada yeterince kelimesinden kastedilenin ne olduğu yani iki parmak izinin aynı parmağa ait olduğunu iddia etmek için izlerin birbirine ne kadar benzer olması gerektiği üzerinde durulmalı, parmak izi tespiti problemi tam olarak formüle edilmelidir. Problem hangi unsurun çalışılmakta olduğuna bağlı olarak aşağıda örnekleri verilen birçok yol ile formüle edilebilmektedir.

- i) Belli bir insan topluluğunda iki veya daha fazla insanın birbirine yeterince benzeyen parmak izlerine sahip olma ihtimallerinin araştırıldığı kişisel problem.
- ii) Herhangi bir parmak izini ele alarak, belli bir insan topluluğunda yeterince benzer parmak izlerinin bulunması ihtimalinin belirlenmesi.
- iii) İki farklı parmaktan alınan farklı parmak izlerinin birbirlerine yeterince benzer olma ihtimallerinin belirlenmesi yani yanlış tespit ihtimalinin belirlenmesi.

Parmak izlerinin kişiselliği problemini çözmek için, benzerliğin hesaplanmasında kullanılan metrikler için bir öncelik tanımlanmalıdır. Parmak izleri, tepe çizgi desenleri, tepe çizgilerinin frekansı, orta nokta ve deltaların sayısı ve pozisyonu, gözenekler gibi birçok farklı özellik ile temsil edilebilmektedir. Bu özelliklerin hepsi parmak izlerinin eşsizliğine katkı sağlamaktadır. Bu kısımda parmak izlerinin özellik noktaları (minutiae) ile temsili üzerinde durulmaktadır. Bu özellikler birçok kriminal uzman tarafından kabul edilmekte ve piyasadaki otomatik parmak izi tanıma sistemlerince kullanılmaktadır. Kriminal uzmanlar bunun yanında birçok farklı yöntem de kullanılmaktadır. Bir temsil şekli ve benzerlik metriği anlamında parmak izlerinin eşsizliğinin tespiti için bazı yaklaşımlar mevcuttur. Gözlemsel yaklaşımda, temsili parmak izleri toplanmakta ve tipik bir parmak izi eşleştiricisi (otomatik sistem veya insan) kullanılarak eşleştirmenin doğruluğu belirlenmektedir. Temsili örneklerin toplanması ile ilgili problem ve maliyetler vardır. Ayrıca, örneğin 200 milyondan fazla parmak izine sahip FBI'nın arşivindeki tüm parmak izlerini karşılaştırmak saniyede 1 milyon karşılaştırma yapabilen bir işlemciye sahip bilgisayarın 1270 yılını alacaktır $(200 \times 10^6 \times 200 \times 10^6 / (10^6 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365) = 1270)$ [1]. Burada benzerlik

metrikleri kullanılarak, yanlış teşhis ihtimali kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu alt bölümde, parmak izlerinin kişiselliği konusundaki mevcut çalışmalar hakkında özet bilgi verilecek ve bu konudaki en önemli çalışma olan Pankanti ve ark. (2002) tarafından ortaya atılan kişisellik modeli [35] detaylı olarak açıklanacaktır. Parmak izindeki özellik noktalarının görünüm uzayının serbestlik derecesi farklı parmakların ayrılıkları ile direkt ilgili değildir. İzlerin farklılığı ile ilgili bilgiler sadece desenler-arası değişimlerin dikkate alınması ile elde edilebilmektedir. Bir parmağın değişik basımlarda alınan izleri ile arasında bile farklar olabilmektedir. Bunun sebebi yalancı özellik noktalarının bulunması, bazı durumlarda gerçek özellik noktalarının bulunamaması, deformasyon veya yanlış konumlandırma nedeniyle elde edilen farklı parametreler ve özellik noktalarının dönüşümü şeklinde sıralanabilmektedir. Sonucu durum sınıflar-arası farklılıkları dikkate alan benzerlik metriklerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Parmak izi eşsizliğine yönelik olarak geliştirilen yöntemlerin birçoğu, bu sınıflar-arası farklılıkları dikkate almamakta [50] ve parmak izi eşsizliği oranını yüksek tahmin etmektedir. Bu, yanlış teşhis ihtimalinin olduğundan düşük gösterilmesi anlamına gelmektedir. Dahası, birçok model yalancı özellik noktaların yakalanması ve gerçek özellik noktalarının kaçırılmasını dikkate almadığından, iki parmak izi arasındaki kısmi benzerliğin tespiti ile ilgili konulara sistematik bir yaklaşım getirememektedir. Manüel bir parmak izi tanıma yönteminde yanlış özellik noktalarının tespit edilmesi ihtimali otomatik parmak izi tanıma sistemlerine göre daha düşük olmasına rağmen, bu sistemlerde de parmağın farklı kesimlerinden alınmış izlerinden tespit edilen özellik noktalarının sayısı konusunda sorun yaşanabilmektedir. Pankanti ve ark. (2002) tarafından geliştirilen yaklaşım [35], sadece bazı eşleştirme durumlarını modellemekle kalmamakta, sınıflar-arası özellik noktalarının sayısı, yerleri, yönelimleri, görüntü alanı gibi görünüm uzayındaki çevresel ve fiziksel değişimler nedeniyle oluşan kısıtlamaları da dikkate almaktadır.

Parmak izlerinin kişiselliğine yönelik çalışmalar, genellikle özellik noktası (minutiae) esaslı gösterimlere odaklanmıştır. Özellik noktalarına ait en yaygın kullanılan parametreler tip, yer bilgisi ve doğrultudur. Değişik parmak izi tanıma modellerinde kullanılan özellikler Tablo 2.2’de verilmektedir [1]. Kullanılan özellik noktalarının tipleri bir çalışmadan diğerine değişmekteyken, çoğu çalışmalar uç ve çatal olmak üzere iki özellik noktası kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda ise kullanılan özellik noktası sayısı

13'e kadar çıkmaktadır [36]. Bunlar boş hücre, uç, çatal, ada, nokta, köprü, kırılmış tepe çizgisi, çıkıntı, çevrili nokta, delta, çift çatal, üçlü özellik noktası vb. şeklinde sıralanabilmektedir. Tepe çizgisi sayısı, gözenek gibi ilave özellikler kullanan yöntemler de mevcuttur [37]. Yapılan öncü çalışmaların birçoğu, parmak izinin farklılığını özellik noktaları ve bu noktaların ayırt edici parametreleri açısından incelemiş ve özelliklerin birbirinden bağımsız ve eşit olarak dağıtıldığını kabul ederek, farklılığın tüm parmak izinde olduğu üzerinde durmuşlardır.

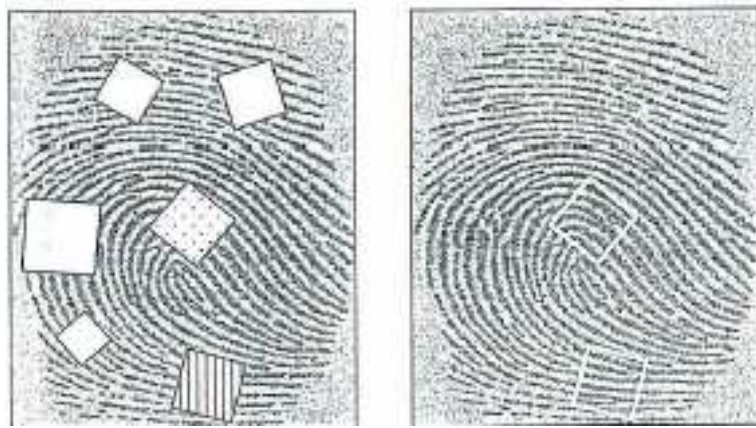
Tablo 2.2. Farklı parmak izi tanıma modellerinde kullanılan parmak izi özellikleri.

Yazar ve Yıl	Parmak izi Özelliği
Galton (1892) [31]	Tepe çizgisi, özellik noktalarının tipleri
Pearson (1930,1933) [38, 39]	Tepe çizgisi, özellik noktalarının tipleri
Henry (1900) [32]	Özellik noktalarının tipleri ve orta nokta-delta arası tepe çizgisi sayısı
Balthazard (1911) [40]	Özellik noktalarının yerleri, iki tip ve iki yön
Bose (1917) [41]	Özellik noktalarının yerleri ve üç tip
Wentworth ve Wilder (1918) [42]	Özellik noktalarının yerleri
Cummins ve Midlo (1943) [43]	Özellik noktalarının, tipleri ve orta nokta- delta arası tepe çizgisi sayısı
Gupta (1968) [44]	Özellik noktalarının yerleri ve tipleri, parmak izi tipi ve tepe çizgisi sayısı
Roxburgh (1933) [45]	Özellik noktalarının yerleri, iki özellik noktası tipi, iki yönelim, parmak izi ve orta nokta tipi, pozisyonlanma sayısı, alan ve parmak izi kalitesi
Amy (1948) [46]	Özellik noktalarının yerleri, sayıları, tipleri ve yönelimi
Trauring (1963) [47]	Özellik noktalarının yerleri, iki tip, iki yönelim
Kingston (1964) [48]	Özellik noktalarının yerleri, sayıları ve tipleri
Osterburg ve diğerleri (1977) [49]	Özellik noktalarının yerleri, tipleri
Stoney ve Thornton (1986) [50]	Özellik noktalarının yerleri, dağılım, yönelim, aynı kaynaktan alınan farklı basımlar arasındaki farklar, tepe çizgisi sayısı ve yerleşim sayısı
Pankanti, Prabhakar ve Jain (2002) [35]	Özellik noktalarının yerleri, sayıları ve yönleri

Parmak izinin kişiselliği problemi son yıllarda da oldukça rağbet gören bir konudur [51]. Bu problemi ilk ortaya atan kişi olan Galton, çalışmasında, bir parmak izinde 6 tepe çizgisi boyunca uzanan karesel bir bölge tespit edilmiştir. Ortalama olarak, bir parmak izinin böyle 6 tepe çizgisi boyunca uzanan toplam 24 adet karesel bölgeyle ifade edilebileceği ön görülmüştür. Galton, Şekil 2.8’de gösterildiği gibi etrafındaki tepe çizgilerine bakarak herhangi bir karesel bölgeyi $\frac{1}{2}$ oranında bir doğrulukla yeniden elde edebileceğini iddia etmiştir. Galton’un yönteminde parmak izlerinin üzerine farklı büyüklükteki kareler rasgele bırakılmaktadır. Daha sonra karelerin altında kalan parmak izi şekillerinin $\frac{1}{2}$ ihtimalle neler olabileceği tespit edilmeye çalışılmaktadır. Buna göre, çevredeki tepe çizgileri dikkate alındığında, herhangi bir parmak izi konfigürasyonunun elde edilebilmesi ihtimali $(\frac{1}{2})^{24}$ olmaktadır. Galton, bu şartlı olasılık ihtimalini çevredeki tepe çizgilerini bulma ihtimali ile çarparak, parmak izinin oluşum ihtimalini hesaplamıştır. Buna göre ortalama ölçüdeki (24 bölgeden oluşan) parmak izi şeklinde herhangi bir parmak izi konfigürasyonunun oluşum ihtimali Denklem (2.1)’de verildiği şekildedir.

$$P(\text{Parmak izi görünümü}) = \frac{1}{16} \times \frac{1}{256} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{24} = 1.45 \times 10^{-11} \quad (2.1)$$

Burada, $\frac{1}{16}$ herhangi bir parmak izi sınıfının meydana gelme ihtimalidir. $\frac{1}{256}$ ise 24 bölgeye giren ve çıkan doğru sayıda tepe çizgisinin oluşma ihtimalidir.



Şekil 2.8. Galton’un parmak izi tanıma yöntemi.

Roxburg [45], Pearson [38, 39] ve Kingston [48] Galton'un altı-tepe çizgiler bir karesel alan altında kalan herhangi bir parmak izi görünümü oluşma ihtimalinin $\frac{1}{2}$ olduğu kabulüne itiraz etmişlerdir. Onlara göre, (2.1)'de verilen denklem, parmak izlerinin kişiselliğini önemli ölçüde göz ardı etmekte ve oluş ihtimalini abartmaktadır [38, 39]. Galton'un karelerinin içinde ($6 \times 6 = 36$) 36 farklı özellik noktası yeri olma ihtimali olduğunu iddia etmiştir. Böylelikle herhangi bir parmak izi oluşma ihtimali Denklem (2.2) ile verilen şekilde ifade edilmektedir.

$$P(\text{Parmak izi görünüşü}) = \frac{1}{16} \times \frac{1}{256} \times \left(\frac{1}{36}\right)^{24} = 1.09 \times 10^{-41} \quad (2.2)$$

Galton'dan sonra geliştirilen birçok model [32, 40-44] birbirleriyle ilişkilidir ve sabit bir özellik noktası oluşma ihtimaline (p) dayanmaktadır. Bu çalışmalarda herhangi bir n -özellik noktası oluşumu ihtimali aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$P(\text{Parmak izi görünüşü}) = p^n$$

Bu çalışmalarda kullanılan p değerleri aşağıda özetlenmiştir. Birçok çalışmada, araştırmacılar bu p değerine nasıl ulaştıkları konusunda herhangi bir bilgi vermemişlerdir.

- Henry [32], p 'yi $\frac{1}{4}$ olarak seçmiş ve eğer parmak izi tipi ve orta nokta ile delta nokta arasındaki tepe çizgisi sayısı belirlenebiliyorsa n -özellik noktası sayısına 2 ilave etmiştir.
- Balthazard [40], p 'yi $\frac{1}{4}$ olarak almış ve 4 tip eşit olasılıklı özellik noktası olduğunu kabul etmiştir. Bu özellik noktaları sağa dönük çatal, sola dönük çatal, sağa dönük uç, sola dönük uç şeklinde sıralanabilmektedir.
- Bose [41], p 'yi $\frac{1}{4}$ olarak almış ve bir parmak izindeki bir tepe çizgiler kalınlığa düşen alanda 4 olasılığın olduğunu kabul etmiştir. Bunlar, nokta, çatal, uç ve sürekli tepe çizgisi şeklindedir.
- Wentworth [42], p değeri olarak $1/50$ kullanmıştır.

- Cummins ve Midlo [43], parmak izi desenlerindeki değişimi dikkate alarak 1/31 çarpanını tercih etmiştir.
- Gupta [44], p'nin değerini çatal ve uç durumları için 1/10, daha az kullanılan diğer özellik noktaları içinse 1/100 olarak kabul etmiştir.

Yukarıdaki çalışmalarda kullanılan p'nin değeri çok fazla değiştiiğinden, herhangi bir parmak izi modelinin tespit edilme ihtimali modelden modele önemli ölçüde değişmektedir. Roxburg bu konuda daha kapsamlı bir model önermiştir [45]. Modeli, kutupsal koordinat sisteminde bir tepe çizgilik arayla bulunan konsantrik daireler esasına dayanmaktadır. Ayrıca, parmak izinin kalitesinin tespitine yönelik bir çalışma yapmış ve herhangi bir n-özellik noktasının oluşma ihtimalini Denklem (2.3)'te verildiği şekilde ifade etmiştir.

$$P (\text{Parmak izi görünüşü}) = \left(\frac{C}{P}\right) \times \left(\frac{Q}{RT}\right)^n \quad (2.3)$$

Burada P herhangi bir parmak izi tipinin ve orta noktanın olma ihtimali, Q ise kalitenin bir göstergesidir. Bu değer ortalama kalitede bir parmak izi için Q=1.5, kötü kalite bir parmak izi içinse Q=3.0 şeklinde değer almaktadır. R bir parmak izindeki yarı-yuvarlak tepe çizgisi sayısı (R=10), T düzeltilmiş özellik noktası tip sayısı (T=2.412) ve C ise konfigürasyon için muhtemel pozisyon sayısıdır (C=1). Amy (1948) parmak izi görünüm hesaplanmasında özellik noktaları için tip, sayı ve pozisyonundaki değişimleri dikkate almış ve parmak izi çiftlerinin K çarpanını belirlemiştir [46]. Böylece yanlış tespit oranı Denklem (2.4)'te verilen eşitliğe göre değişmektedir.

$$P (\text{Yanlış eşleşme}) = 1-(1- P (\text{Parmak izi görünüşü}))^K \quad (2.4)$$

Kingston [48], Amy'nin [46] modeline çok benzer bir model geliştirmiştir. Bu modelde herhangi bir özellik noktasının oluşum ihtimali gözlemlenmiş ve bu ihtimal özellik noktası sayısı, pozisyonu ve tipine bağlı olarak Denklem (2.5)'te verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$P(\text{Parmak izi görünüşü}) = (e^{-y})(y^n / n!)(P_1) \prod_{i=2}^n (P_i) \frac{(0,082)}{[S - (i-1)(0,082)]} \quad (2.5)$$

Burada y milimetre kare cinsinden verilen bir S alanındaki beklenen özellik noktası sayısı, P_i ise i . özellik noktası için herhangi bir özellik noktası tipinde olma ihtimalidir.

Yukarıda anlatılan modellerin çoğu, parmak izlerinin manüel olarak karşılaştırıldığını kabul etmektedir. Herhangi bir parmak izi özelliğinin gözlemlenme ihtimali, manüel olarak az sayıda parmak izi desenlerinin çalışılması ile çıkarılmaktadır. Champod ve Margot [52], 800 dpi'lık bir çözünürlükle taranmış 977 parmak izinden özellik noktası çıkarmak için bir OPTOS kullanmıştır. OPTOS'ta inceltelen parmak izi resimlerinden özellik noktası oluşum frekansı ve özellik noktası yoğunluğunu bulmuştur. Osterburg ve ark. [49] parmak izlerini (1mmx1mm) ölçülerinde hücrelere bölmüş, 39 parmak izinden 8591 hücre elde ederek 13 tip özellik noktasının frekans değerlerini tespit etmiştir. Buna göre, 72 mm²'lik bir alana sahip iki parmak izindeki 12 tepe çizgisi uç noktasının eşleşme ihtimali 1.25×10^{-20} olarak hesaplanmıştır. Sclove [53], Osterburg'ın modelini [49] modifiye etmiş ve Osterburg tarafından hesaplanan parmak izi görünüm ihtimalinin çok az üzerinde bir ihtimal hesaplamıştır. Stoney ve Thornton [50], daha önce yapılan modelleri parmak izi tepe çizgilerindeki bozulmalar ve yerleşimdeki belirsizlik konusunda eleştirmiş ve dikkate alınması gereken detaylı bir parmak izi özellik seti oluşturmuştur. Bunlar, tepe çizgisi yapısı, özellik noktası yeri, özellik noktası çiftleri arasındaki tepe çizgisi sayısı, özellik noktası dağılımı, özellik noktasının yönelimi, özellik noktası tiplerindeki değişim, aynı kaynaktan gelen parmak izleri arasındaki değişiklikler, pozisyon sayısı, diğer parmak izleri ile karşılaştırma sayısı şeklinde sıralanabilmektedir. Stoney modeli [37] ise daha önce geliştirilen modellerden birçok açıdan farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada farklı özellik noktalarının oluşma ihtimalleri, yönelimleri, komşu özellik noktası sayısı ve komşu özellik noktalarıyla aradaki tepe çizgisi sayısı ve mesafeleri çalışılmıştır. Model, değişik muhtemel lineer sıralamaları dikkate alarak, yanlış tespit ihtimalini azaltıcı yönde düzeltme getirmiştir. Yanlış tespit ihtimali için örnek bir hesaplama, Stoney'in modeli [37] kullanılarak Denklem (2.6)'da verildiği gibi yapılabilmektedir.

$$P(\text{Yanlış eşleşme}) = 1 - \left(1 - 0.6 \times (0.5 \times 10^{-3})^{(n-1)}\right)^{\lfloor n/5 \rfloor} = \frac{n}{5} \times 0.6 \times (0.5 \times 10^{-3})^{(n-1)} \quad (2.6)$$

Basitlik açısından, burada Stoney'in modelinin [37] temel hali kullanılmıştır. Rasgele olarak, tipik bir başlama özellik noktasının olma ihtimali 0.6 olarak alınmış, bu komşu özellik noktası olasılığı üzerine ilave bir kısıtlama meydana getirmiştir. Böylelikle özellik noktası olmayan alan ve sınırlar herhangi bir kısıtlamanın olmadığı kısımlar olarak kabul edilmiştir. Nihayet, yeni arama için rasgele bir şekilde her 5 özellik noktasından birinin başlama noktası olarak hizmet edebileceği kabulü yapılmıştır. Stones kendi modelinin zayıflıklarından da bahsetmiş ve aynı parmaktan alınan izler arasındaki farklılıkların değerlendirilmesi gibi önemli bir özelliğin yeterince incelenmediğini ileri sürmüştür.

Yukarıda tartışılan modeller genel olarak bir parmak izindeki özellik noktası miktarının ölçülmesine odaklanmıştır. Bu modellerde, bir parmağın farklı izleri arasındaki değişimler dikkate alınmamıştır. Trauring [47], aynı parmaktan alınan iki parmak izi arasındaki uygunluğu belirlemek için gereken özellik noktalarının ölçülmesi konusuna çalışan ilk araştırmacı olmuştur. Bir OPTOS kullanarak, aynı parmağın farklı parmak izleri arasındaki uygunluğunun tespitinde kullanılan özelliklerin birbirinden tepe çizgisi mesafesinin 1.5 katı kadar bir sapma ile yerleştirilebileceğini göstermiştir. Trauring çalışmasını yaparken bazı kabuller yapmıştır. Bu kabuller aşağıda verilmiştir.

- i) Özellik noktaları rasgele dağıtılmıştır.
- ii) Uç ve çatal olmak üzere sadece iki tip özellik noktası vardır.
- iii) Bu iki tip özellik noktasının tipleri eşit olasılıklıdır.
- iv) Bu iki özellik noktasının yönelimleri eşit olasılıklıdır.
- v) Özellik noktası tipi, yönelimi ve pozisyonu bağımsız değişkenlerdir.

Bu kabullerle Trauring farklı parmaklardan alınan iki parmak izine ait n-özellik noktası arasındaki rasgele uygunluk oranını $P(\text{Parmak izi benzerliği}) = (0.1944)^n$ formülüyle hesaplamıştır. Stoney ve Thornton [50], Trauring'in modelini tepe çizgisi sayısı, birleşmelerdeki belirsizlik ve özellik noktası lokasyonları arasındaki korelasyonu dikkate almamak yönünde eleştirmiş, özellik noktasının tip ve yönelimleri olasılığının aynı olduğu yönündeki kabulünün de doğru olmadığını iddia etmişlerdir. Farklı

modellerden herhangi bir özellik noktası görünümünün gözlemlenme olasılıkları Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. Tablo 2.3'te daha sağlıklı bir karşılaştırma için, özellik noktası tipleri arasında ayırım yapılmamıştır. Bir ortalama parmak izinin Galton tarafından önerildiği gibi 24 (G=24) [31], Osterburg tarafından iddia edildiği gibi 72 (B=72) bölgesi olduğu ve ortalama 36 (n=36) özellik noktası olduğu kabullerinden hareketle [49], Tablo 2.3'ün son sütununda herhangi bir parmak izi görünümünün gözlemlenme olasılığı hesaplanmıştır. Ayrıca aynı sütunda n=12, G=8 ve B=24 değerleri için elde edilen sonuçlar parantez içinde gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Farklı parmak izi modellerinde herhangi bir parmak izi görünümü olasılığı.

Yazar	P (Parmak izi görünümü)	n=36, G=24, B=72 (n=12, G=8, B=24) değerleri için olasılık
Galton (1892) [31]	$(1/16) \times (1/256) \times (1/2)^G$	1.45×10^{-11} (9.54×10^{-7})
Pearson (1930,1933) [38, 39]	$(1/16) \times (1/256) \times (1/36)^G$	1.09×10^{-41} (8.65×10^{-17})
Henry (1900) [32]	$(1/4)^{n+2}$	1.32×10^{-23} (3.72×10^{-9})
Balthazard (1911) [40]	$(1/4)^n$	2.12×10^{-22} (5.96×10^{-8})
Bose (1917) [41]	$(1/4)^n$	2.12×10^{-22} (5.96×10^{-8})
Wentworth ve Wilder (1918) [42]	$(1/50)^n$	6.87×10^{-62} (4.10×10^{-22})
Cummins ve Midlo (1943) [43]	$(1/31) \times (1/50)^n$	2.22×10^{-63} (1.32×10^{-22})
Gupta (1968) [44]	$(1/10) \times (1/10) \times (1/10)^n$	1.00×10^{-38} (1.00×10^{-14})
Roxburgh (1933) [45]	$(1/1000) \times (1.5/24.12)^n$	3.75×10^{-47} (3.35×10^{-18})
Trauring (1963) [47]	$(0.1944)^n$	2.47×10^{-26} (2.91×10^{-9})
Osterburg ve ark. (1977) [49]	$(0.766)^{B-n} (0.234)^n$	1.33×10^{-27} (1.10×10^{-9})
Stoney (1985) [37]	$(n/5) \times 0.6 \times (0.5 \times 10^{-3})^{n-1}$	1.20×10^{-80} (3.50×10^{-26})

Büyük bir parmak izi veritabanında, herhangi bir parmak izi ile karşılaştırılabilecek bir parmak izinin bulunma ihtimalini inceleyen çalışma sayısı oldukça azdır. Meagher [55], sahte (impostor) dağılımı bulmak için aynı parmak izi sınıfına ait 50,000 parmak izini birbiri ile karşılaştırmıştır. Ancak, gerçek (geniune) dağılım bu parmak izlerinin birbiri ile karşılaştırılması ile hesaplanmış, aynı parmağın farklı izleri arasındaki farklılıklar görmezden gelinmiştir. Yazar her iki dağılımında Gaussian dağılım gösterdiğini kabul etmiş ve yanlış uygunluk oranını 10^{-97} olarak hesaplamıştır. Model, bir parmağa ait farklı parmak izleri arasındaki farklılıkları ihmal etmesinden dolayı, yanlış uygunluk olasılığını gerçekte olduğundan düşük olarak hesaplamaktadır. Daugman [56] ise çalışmasında IrisCode'u kullanarak 340 irisi karşılaştırmış ve iris tespit sistemindeki yanlış eşleştirme olasılığını analiz etmiştir. Sahte ve gerçek dağılımların binominal dağılım gösterdikleri kabulü ile $FMR=10^{-12}$ ve $FNMR=8.5 \times 10^{-5}$ hata değerleriyle irislerin oldukça kişisel olduğu sonucuna varmıştır. Golfarelli [57] biyometrik temelli bir tanıma sistemi için, FMR, FNMR ve EER parametrelerini [54] teorik olarak hesaplamak için iki istatistiksel ifade elde etmiştir.

Parmak izi eşsizliğine yönelik önemli bir model Pankanti, Prabhakar ve Jain [35] tarafından geliştirilmiştir. Parmak izleri arasındaki benzerlik oranının daha gerçekçi ve doğru bir şekilde ifade edildiği bu parmak izi eşsizlik modelinde, yazarlar, parmak izleri arasındaki benzerliğin olasılığını hesaplamak için aşağıdaki kabulleri yapmışlardır.

1. Sunulan yaklaşımda özellik noktası olarak sadece uç ve çatal noktalar dikkate alınmıştır. Çünkü adalar, noktalar, çevirmeler, köprüler, çift çatallar, üçe ayrılmalar gibi diğer özellik nokta tipleri bunlara kıyasla çok daha az görülen yapılardır.
2. Parmak izlerindeki özellik noktalarının düzenli dağılımı varsayılmıştır. İki parmak izi için birbirleriyle çok benzer olmayacaktır şeklinde bir kural belirlenmiştir.
3. Bir özellik noktası çiftinin benzerliği bağımsız bir olaydır ve her bir benzerlik eşit derecede önemlidir. Çeşitli uzamsal özelliklerin ağırlığının dar bir uzamsal komşuluğa yerleştirilmiş tüm özelliklerden daha fazla olması mümkündür.

4. Parmak izi resminin kalitesi eşsizlik özelliklerinde açıkça yer almaz. Çünkü resim kalitesi nesnel bir özelliktir ve bir parmak izi için güvenli bir indeksleyici olarak kullanılamaz.
5. Tepe çizgisi genişliğinin aynı parmaklarda aynı olduğu farz edilir. Bu varsayım savunulmuştur. Çünkü değişik parmağın değişik basınçlarda basılması düzenli tepe çizgisi varyasyonlarını düzensiz yapabilmektedir.
6. Aynı parmağın farklı baskılarının eşleşmesinin analizi farklı parmaklardan iki parmakta eşleşmiş özellik noktasının olasılık parametrelerine bağlıdır.
7. Şablon ve girdi özellik noktası setleri arasında bir ve sadece bir doğru hizalamanın olduğu farz edilir. Parmak izi benzerlik problemi şablon ve girdi parmak izi resmi olmak üzere iki parmak izinin eşleşmesiyle ilgilidir.

Pankanti, Prabhakar ve Jain [35] N özellik noktası içeren bir parmak izi ile M özellik noktası içeren keyfi bir parmak izinin tam q benzer özellik noktasına sahip olma olasılığını hesaplamışlardır. Her bir parmak izi için [x,y] koordinat değerlerini ve θ tepe çizgisi açısıyla tanımladıkları parmak izi özellik noktalarını dikkate aldıkları modelde şablon ve girdi özellik noktası setlerini sırasıyla T ve I olarak isimlendirmişlerdir. T ve I, Denklem (2.7) ve (2.8)'de verilen tanımlamalar elde edilmektedir.

$$T = \{ \{x_1, y_1, \theta_1\}, \{x_2, y_2, \theta_2\}, \dots, \{x_m, y_m, \theta_m\} \} \quad (2.7)$$

$$I = \{ \{x'_1, y'_1, \theta'_1\}, \{x'_2, y'_2, \theta'_2\}, \dots, \{x'_n, y'_n, \theta'_n\} \} \quad (2.8)$$

Girdi parmak izindeki j. özellik noktasının şablondaki i. özellik noktası ile eşleştiği düşünülürse Denklem (2.9)'da verilen eşitsizlikler sağlanmaktadır. Verilen eşitsizlikte r_0 uzaklığa ait tolerans, θ_0 ise açıdaki toleranstır. Gerek manüel gerekse otomatik parmak izi tanıma sistemlerinde aynı parmakların farklı baskılarındaki varyasyonlar için konum ve açı parametrelerinde bazı toleranslar kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} \sqrt{(x'_i - x_j)^2 + (y'_i - y_j)^2} &\leq r_0 \quad \text{ve} \\ \min(|\theta'_i - \theta_j|, 360^\circ - |\theta'_i - \theta_j|) &\leq \theta_0, \end{aligned} \quad (2.9)$$

Önerilen metotta başarılı olan uygun eşleşme ardından girdi ve şablon parmak izleri arasındaki üst üste bindirilmiş toplam alan A olmak üzere şablondaki keyfi bir özellik noktasının girdideki keyfi bir özellik noktasıyla eşleşme olasılığı Denklem (2.10) ve (2.11)'de verilmektedir. Sırasıyla Denklem (2.10) ve (2.11)'de verilen konum terimlerinde ve yön terimlerinde kullanılan $[x, y]$, $[x', y']$, θ ve θ' değerlerinin bağımsız oldukları varsayılmaktadır.

$$P\left(\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \leq r_0\right) = \frac{\text{tolerans alanı}}{\text{üstüste bindirilen toplam alan}} = \frac{\pi r_0^2}{A} = \frac{C}{A'} \quad (2.10)$$

$$P\left(\min(|\theta' - \theta|, 360^\circ - |\theta' - \theta|) \leq \theta_0\right) = \frac{\text{Tolerans açısı}}{\text{toplam açı}} = \frac{2\theta_0}{360} \quad (2.11)$$

Parmak izi benzerliğinin işlendiği konularda yalnızca özellik noktalarının konumlarının karşılaştırıldığı yaklaşımlar mevcuttur. Daha sonra özellik noktalarının açıları hesaba katılmıştır. Eğer şablon m özellik noktası içeriyorsa, giriş resmindeki bir özellik noktasının bu özellik noktasıyla benzeşme olasılığı (mC/A) olacaktır. Giriş resminde bulunan iki özellik noktası için ilkinin şablondaki m özellik noktasının birisiyle benzeşmesi (mC/A) şeklindedir. Giriş resminde bulunan n özellik noktası için aynı durum formülize edilmeye çalışılırsa, giriş parmak izindeki herhangi bir özellik noktasının şablon parmak izindeki herhangi bir özellik noktası ile eşleşme olasılığı Denklem (2.12)'de verilen formülle ifade edilmektedir.

$$p(A, C, m, n) = \binom{n}{1} \left(\frac{mC}{A}\right) \left(\frac{A - mC}{A - C}\right) \quad (2.12)$$

Benzer şekilde giriş parmak izindeki n özellik noktasının şablon parmak izindeki m özellik noktası ile eşleşme olasılığı Denklem (2.13)'te verilen formülle ifade edilebilmektedir. Verilen denklemde ρ , eşleşme özellik noktasını; n, giriş resminde bulunan özellik noktalarını; m, şablon resminde bulunan özellik noktalarını; A, eşleşme alanını ve C, tolerans alanını temsil etmektedir. Eşitlikteki ρ terimleri, şablon ve giriş arasındaki ρ özellik noktasının eşleşme olasılığını göstermekte; kalan $(n-\rho)$ terimleri ise giriş resmindeki $(n-\rho)$ özellik noktasının şablon resimdeki hiçbir özellik noktasıyla

eşleşememe olasılığını göstermektedir. Pay ve paydayı C ile bölüp, A/C oranına da M denilirse verilen denklem Eşitlik (2.14)'te gösterildiği şekilde de ifade edilebilmektedir [58].

$$p(\rho|A, C, m, n) = \binom{n}{\rho} \underbrace{\left(\frac{mC}{A} \right) \left(\frac{(m-1)C}{A-C} \right) \dots \left(\frac{(m-\rho-1)C}{(A-\rho-1)C} \right)}_{\rho \text{ terimleri}} \times \underbrace{\left(\frac{A-mC}{A-\rho C} \right) \left(\frac{A-(m-1)C}{A-(\rho+1)C} \right) \dots \left(\frac{A-(m-(n-\rho+1))C}{A-(n-1)C} \right)}_{n-\rho \text{ terimleri}} \quad (2.13)$$

$$p(\rho|M, m, n) = \frac{\binom{m}{\rho} \binom{M-m}{n-\rho}}{\binom{M}{n}} \quad (2.14)$$

Verilen yaklaşımda yalnızca özellik noktalarının konum bilgileri kullanılmıştır. Açılar konusunda da bir çalışma yapılırsa: θ ve θ' açıları arasındaki bağımlılığı hesaplamak için $I = P(\min(|\theta' - \theta|), 360^\circ - |\theta' - \theta| \leq \theta_0)$ gibi bir I değeri kullanılır. Verilen n giriş ve m şablon özellik noktası için bu özellik noktalarının benzer pozisyona düşme olasılıkları yukarıda verilen formül yardımıyla hesaplanabilmektedir. Öncelikle ρ özellik noktası konumu eşleştirilmekte ve özellik noktalarının benzer yönlerde olma olasılığı da $q(q \leq p)$ Denklem (2.15)'te verildiği şekilde ifade edilebilmektedir. Burada I konumsal olarak eşleşen iki özellik noktasının benzer bir yöne sahip olma olasılığı, $1-I$ ise konumsal olarak benzeşen iki özellik noktasının farklı yönlerde sahip olma olasılığı olarak açıklanabilmektedir. Konumsal olarak eşleşen q özellik noktasının yönsel olarak da eşleşme olasılığı, verilen M, m ve n değerleri için Denklem (2.16)'da gösterildiği şekildedir. Denklem (2.16)'da özellik noktalarının parmak izi alanı içinde düzenli bir şekilde dağıtıldığı ve tüm parmak izi tiplerinde tepe çizgilerin sayısının eşit olduğu varsayılmaktadır. Şablon ve girdi parmak izleri arasındaki eşleşme alanı A'dır. Dolayısıyla alanın yaklaşık A/2'sini tepe çizgileri kaplamakta, diğer yarısında da vadiler bulunmaktadır.

$$\binom{p}{q} (I)^q (1-I)^{p-q} \quad (2.15)$$

$$p(q | M, m, n) = \sum_{p=q}^{\min(m,n)} \left(\frac{\binom{m}{p} \binom{M-m}{n-p}}{\binom{M}{n}} \times \binom{p}{q} (I)^q (1-I)^{p-q} \right) \quad (2.16)$$

Özetle, parmak izlerinin eşsizliğinin ispatı ve özellikle parmak izlerindeki kişiye özgü olan ayırt edici özelliklerinin hesaplanması parmak izlerinin kişilerin doğru kimliklendirilmesi gereken durumlarda güvenle kullanılabilceğinin işaretini vermektedir. Farklı kişilere ait parmak izleri ve bunlar arasındaki benzerlik/farklılık, aynı kişiye ait birden fazla alınmış parmak izleri ve bunlar arasında her alınmada sabit kalan/kalmayan özelliklerin belirlenmesi önemli bir konudur. Bu konu OPTOS'lar için geliştirilen sistemlerin, algoritmaların ve tekniklerin sınırlarını belirlemekte, doğruluk analizi ve performans değerlendirme metriklerinin oluşmasına olanak sağlamakta, konuyla ilgili sorunlara çözümler sunmakta ve parmak izi tanıma teknolojisini insanlar için kullanışlı hale getirmektedir.

2.2.2. Parmak İzinin Oluşumu, Algılanması ve Depolanması

Fetüs gelişiminin 7. ayında oluşan parmak izi, kesilme, yanma ve çürüme gibi durumlar dışında hayat boyu değişmez [1]. Bu özelliği parmak izini çok önemli bir biyometrik özellik haline getirmiştir. Bir parmak izi çevrim içi ve çevrim dışı tarayıcılar tarafından algılanabilir. Parmağın mürekkebe değdirildikten sonra kağıt üzerine bastırılmasıyla parmak izi kağıda geçirilmiş olur. Daha sonra bir optik tarayıcıyla veya yüksek çözünürlüklü kamerayla bu iz sayısal ortama aktarılabilir. Buna çevrim dışı algılama denir. Diğer bir çevrim dışı algılama yöntemi ise adli tıpta sıkça kullanılan gizli parmak izi yöntemidir. Bu yöntemde derinin yağlı dokusunun parmağın dokundurulduğu yerlerde bıraktığı izler kimyasal teknikler yardımıyla elde edilip kimliklendirme işleminde kullanılmaktadır. Parmakla doğrudan etkileşime geçerek parmak izine ait bilgiyi anında sayısal hale getiren sensörlerden oluşan sistemin kullanıldığı işleme ise çevrim içi algılama denir. Günümüzde kullanılan parmak izi tarayıcılar, personel devam

kontrol sistemleri gibi sistemlerde kullanılan bilgi alma üniteleri çevrim içi algılamaya örnektirler.

2.2.3. Parmak İzinin Temsili

Parmak izlerine ait özellik vektörleri OPTOS'larda çok önemli bir yere sahiptir. Algılama sırasında parmak izinin piksel yoğunluk değerleri her zaman aynı çıkmayabilir. Bu nedenle girişteki tüm farklılıklara rağmen değişmeyen ayırt edici noktalar tanımlanabilmelidir. Özellik vektöründeki en büyük problem de, aynı parmağın ölçüm alanını farklı şekillerde doldurması nedeniyle aynı parmak için analiz edilecek parmak izi alanının değişkenlik göstermesidir. Bu açıdan parmak izleri için karşılaştırmada kullanılacak alanın belirlenmesi ve bu alana ait özellik vektörünün elde edilmesi çok büyük önem taşımaktadır. İyi bir özellik vektörü bazı niteliklere sahip olmalıdır. Bunlar parmak izlerine ait ayırt edici özellikleri içermek, kolayca oluşturulabilmek, depolanabilmek ve eşleştirme için uygun bir formatta olmak şeklinde sıralanabilmektedir. Ayrıca ayırt edici özelliklerin mutlaka doğru olarak elde edilmesi bir özellik vektörü için olmazsa olmaz bir şarttır. Bir özellik vektörü ilgili parmak izine ait değişmeyen özellikleri içermelidir. Parmak izleri farklı ölçeklerde incelendiğinde üç tip özelliğe sahip oldukları görülmektedir [1]. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1. **Global Seviyedeki Özellikler:** Parmak izi desenini oluşturan tepe çizgilerinin durumları, tepe çizgilerinin sardığı bölgenin çevresinde bir çeşit kontrol noktaları olarak kabul edilebilen orta nokta (core) ve delta noktaları olarak isimlendirilen referans noktalar global seviyedeki özelliklerdir. Parmak izlerinin indekslenmesinde ve sınıflandırılmasında çok önemli bir yere sahip olan bu referans noktalar ve tepe çizgilerinin yanı sıra yönelim resmi ve frekans resmi de global seviyede fark edilebilen özelliklerdir.
2. **Yerel Seviyedeki Özellikler:** Yerel seviyedeki özellikler farklı tipte çeşitli tepe çizgisi karakterleri olarak tanımlanabilmektedir. Bu karakterlerden bir kısmı hemen her parmak izinde görülen sık karşılaşılan özellikler, bir kısmı ise parmak izinin kalitesine bağlı olarak nadiren görülen özelliklerdir. OPTOS'larda yaygın olarak kullanılan ve özellik noktaları olarak isimlendirilen iki önemli tepe çizgisi karakteri uç nokta ve çatal noktadır. Uç nokta tepe çizgisinin aniden sonlanmasıyla, çatal

nokta ise tepe çizgisinin aniden ikiye ayrılarak çatallaşmasıyla oluşmaktadır. Şekil 2.9'da parmak izi alanındaki dolu dairelerle ifade edilen bu seviyedeki özellik noktaları parmak izi için güçlü ve kararlı özellikler olduğu için OPTOS'larda yaygın olarak bu iki özellik noktası kullanılmaktadır.

- 3. Detay Seviyedeki Özellikler:** Çok iyi seviye olarak da bilinen detay seviyede, tepe içi özellik noktaları fark edilebilmektedir. Şekil 2.9'da tepe çizgileri içindeki boş dairelerle ifade edilen bu seviyedeki özellik noktaları pek çok uygulama için pratik değildir. Çünkü tepe içi özellik noktalarının doğru bir şekilde elde edilebilmesi için çok kaliteli parmak izi resimleri gereklidir. Verilen şekilde içi dolu dairelerle verilen yerel seviye özellikler olan uç ve çatal noktalarının parmak izi resminden elde edilmesi boş dairelerle verilen detay seviye özelliklerin elde edilmesine göre hem daha kolay ve hızlı hem de daha güvenilirdir.



Şekil 2.9. Uç ve çatallar (içi dolu daireler)
ve iç-tepeler (içi boş daireler)

2.2.4. Parmak İzi Eşleştirme

Parmak izi eşleştirme OPTOS'ların en karmaşık ve en önemli adımlarından biridir. Çünkü bir parmak izi eşleştirme işlemi gerektiği kadar başarılı ve güvenilir olarak yapılamazsa, önceki adımlarda gerçekleştirilen işlemler ne kadar başarılı ve doğru olursa olsun OPTOS doğru cevabı üretemeyecek ve bu da doğrudan sistem başarısını düşürecektir. Parmak izi eşleştirme işlemi zorlaştıran en önemli etken, aynı parmağın farklı şekillerde ve farklı yönlerde algılanabilmesidir. Farklı algılamaların pek çok nedeni olabilmektedir. Bunlar parmağın yer değiştirmesi, dönmesi, parmaklar arası kısmi örtüşme, lineer olmayan bozulma, değişken basınç, değişken deri durumu, gürültü ve özellik çıkarım hataları olarak sıralanabilmektedir. Bu farklılıklar nedeniyle aynı

parmağın parmak izleri birbirinden farklı görünebilirken, farklı parmakların parmak izleri birbirlerine çok benzer olabilmektedir. Şekil 2.10 (a) ve (b)'de farklı görüntülerine rağmen aynı parmağa ait parmak izleri verilmektedir. Şekil 2.10 (c) ve (d)'de ise farklı parmaklara ait olmalarına rağmen birbirlerine çok benzeyen parmak izleri görülmektedir.



Şekil 2.10. Aynı parmağa ait parmak izleri (a) ve (b)
Farklı parmaklara ait parmak izleri (c) ve (d).

Parmak izi eşleştirme yaklaşımları korelasyon tabanlı yaklaşımlar, özellik noktası tabanlı yaklaşımlar ve görünüm tabanlı yaklaşımlar olmak üzere temelde üç gruba ayrılmaktadır [1, 59]. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

- 1. Korelasyon tabanlı eşleştirme:** Korelasyon tabanlı eşleştirmede iki parmak izi resmi tepe ve vadi çizgilerindeki global seviye özellikler ve bu özelliklerin parametreleri kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Bu yaklaşımda farklı yerler, farklı yönler gibi piksel seviyesindeki korelasyonlara bakılır. Doğrusal olmayan bozulmalar ve gürültüler korelasyon tabanlı eşleştirme yöntemlerini oldukça etkilerler. Bu yüzden özellik noktası tabanlı yöntemlerin korelasyon tabanlı yöntemlere göre daha sağlam ve güvenilir olduğu kaynaklarda belirtilmektedir [59].

2. **Özellik noktası tabanlı eşleştirme:** Bu eşleştirme yöntemi parmak izlerine ait özellik noktaları olan uç ve çatal noktalarının karşılaştırılması temelli bir yöntemdir. Bu yöntemde parmak izlerinin özellik noktaları (uç ve çatal noktalar) çıkarılır ve bu noktalara ait parametreler hesaplanarak vektör veya matris olarak saklanır. Daha sonra yapılan eşleştirme ile sistem cevabı üretilir.
3. **Görünüm tabanlı eşleştirme:** Özellik noktaları temelli eşleştirme yaklaşımının başarısının yüksek oluşu bu yaklaşımı birçok uygulama için popüler hale getirmiş olsa da özellikle düşük kalitedeki parmak izi resimlerinde uç ve çatal noktaların çıkarımı ve analizi oldukça zordur. Düşük kaliteli parmak izlerine ait tepe şekli, yerel yönler gibi ayırt edicilikleri daha düşük olan özelliklerin çıkarımı ve analizi ise oldukça başarılı ve güvenli bir şekilde yapılabilmektedir. Başarılı sonuçları ile son zamanlarda oldukça revaçta olan görünüm tabanlı yöntemlerin özellikle parmak izi resmi kalitesinin uç ve çatal noktaların çıkarımına olanak sağlayamayacak kadar düşük olduğu durumlarda tercih edildiği literatürde sıkça vurgulanmaktadır [1, 59].

2.2.5. Parmak İzlerinin Sınıflandırılması

Bir OPTOS'un herhangi bir kişinin parmak izini tanıyabilmek için (identification) o kişinin parmak izini veritabanındaki bütün parmak izleri ile tek tek karşılaştırması gerekir. Bu tanıma işlemi veritabanının çok büyük olduğu durumlarda çok yüksek cevap süresi gerektirmektedir. Cevap süresini kısaltmak için en yaygın strateji parmak izi veritabanını önceden tanımlanmış bazı sınıflara göre gruplandırmaktır. Bu sayede bir parmak izini tanımak için giriş parmak izinin sınıf bilgisine bakıp daha sonra veritabanında sadece ilgili sınıftaki parmak izleri ile karşılaştırmak yeterli olacaktır. Bir parmak izinin bir sınıfa atılmasının en doğru, güvenilir ve uygun yolunun belirlenmesi parmak izi sınıflandırmanın temel problemidir. Parmak izi eşleştirme, genellikle bölgesel seviyedeki özelliklere göre uygulanmasına rağmen, parmak izi sınıflandırma işlemi genellikle global seviyedeki özelliklerine göre uygulanmaktadır.

İlk parmak izi sınıflandırma kuralları 1823 yılında Purkinje tarafından önerilmiştir [60]. Bu yöntemde parmak izleri dokuz kategoriye ayrılmıştır. Galton tarafından önerilen ve bu konudaki ilk bilimsel çalışma olarak kabul edilen yöntemde ise parmak izleri yay, döngü ve sarmal yapı olarak üç gruba ayrılmıştır. Daha sonra Henry, Galton'un sınıflandırmasını geliştirerek sınıf sayısını arttırmıştır. Beş yapının söz konusu olduğu

Galton-Henry sınıflandırma şeması bazı ülkeler tarafından kabul edilmiş ve dünya çapında da yaygınlaşmıştır. Bu yapılar yay, çadır yay, sol döngü, sağ döngü ve sarmal şeklinde isimlendirilmektedir.

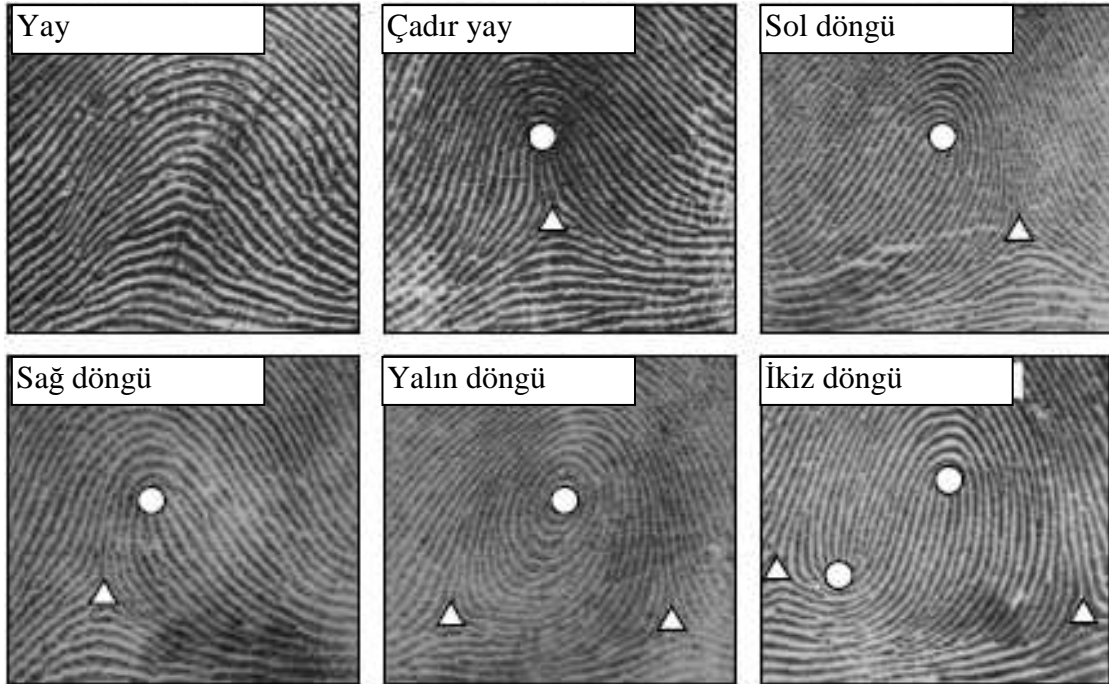
Yay: Parmak izlerinin bir taraftan başlayıp, küçük bir yükselti oluşturarak karşı taraftan bitişini ifade eden yapıdır. Yay yapıları döngü ve delta oluşturmazlar.

Çadır yay: Yay yapısına benzeyen bu sınıfta ise parmak izi yüksek bir eğim ile döngü ve delta oluşturmaktadır.

Döngü: Bir parmak izinde desen bir taraftan başlıyor ve dolaşıp aynı taraftan bitiyorsa bu yapıya döngü yapısı denir. Döngünün sağa veya sola yatık olmasına göre sağ döngü veya sol döngü şeklinde isimlendirilen döngü yapılarında delta oluşmaktadır.

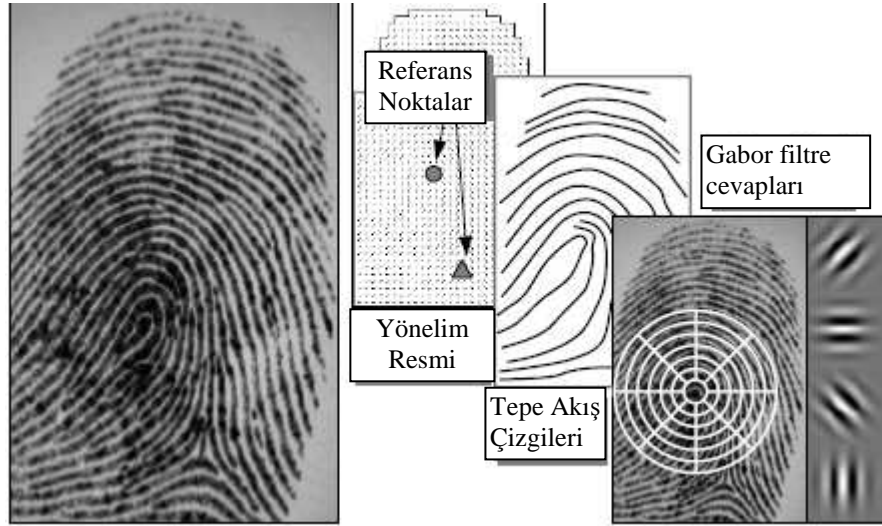
Sarmal: Bir parmak izinin 360 derece yaparak parmak izinin merkezinde birleşmesi ile oluşan yapı olarak tarif edilebilen sarmal yapı iki döngü veya iki delta içerebilmektedir. Sarmal sınıfı oldukça karmaşıktır ve bazı sınıflandırma şemalarında bu yapı ikiz döngü (twin loop) ve yalın döngü (plain loop) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Parmak izi sınıflarına örnek birer parmak izi resmi Şekil 2.11.'de verilmektedir. Şekilde sarmal yapıya ait her iki alt sınıftan birer örnek de ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 2.11. Parmak izi sınıfları örnekleri

Sınıflandırma temelli tekniklerin seçiciliği sınıf sayısına ve parmak izlerinin bu sınıflara dağılımına bağlıdır. Yapılan araştırmalar kullanılan sınıf sayısının az olduğunu ve parmak izlerinin bu sınıflara dağılımının da düzensiz olduğunu göstermektedir. Örneğin yukarıda verilen beş sınıfa göre parmak izlerinin doğal dağılım oranları sırasıyla yay, çadır yay, sol döngü, sağ döngü ve sarmal sınıfları için % 3.7, % 2.9, % 33.8, % 31.7 ve % 27.9 olarak belirlenmiştir [61]. Üstelik bilirkişi olmaksızın hangi sınıfa tayin edileceği belirlenemeyen birçok parmak izi mevcuttur. Sınıflandırma işleminde karşılaşılan en büyük problem parmak izi resimlerindeki gürültü ve bozulmalardır. Genellikle sınıflandırma teknikleri tepe akış çizgileri, yönelim resmi, referans noktalar gibi özellikleri kullanarak sınıflandırma yapmaktadır. Gabor filtreler kullanılarak sınıflandırma yapılan çalışmalar da mevcuttur. Tepe akış çizgileri genellikle tepe çizgilerine paralel kavisleri göstermektedir. Bu kavislerin parmak izindeki tepe ve vadilere denk gelmesi gerekmez, ama aynı bölgesel yönelimi belirtmelidirler. Tepe akış çizgileri yönelim resmine göre de çizilebilmektedir. Çoğu mevcut parmak izi sınıflandırma yaklaşımında yönelim resmi kullanılmaktadır. Parmak izi sınıflandırma için en sık kullanılan özellikler Şekil 2.12’de verilmektedir.



Şekil 2.12. Parmak izi sınıflandırma için en sık kullanılan özellikler.

Parmak izlerinin sınıflandırılması için literatürde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir [1]. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

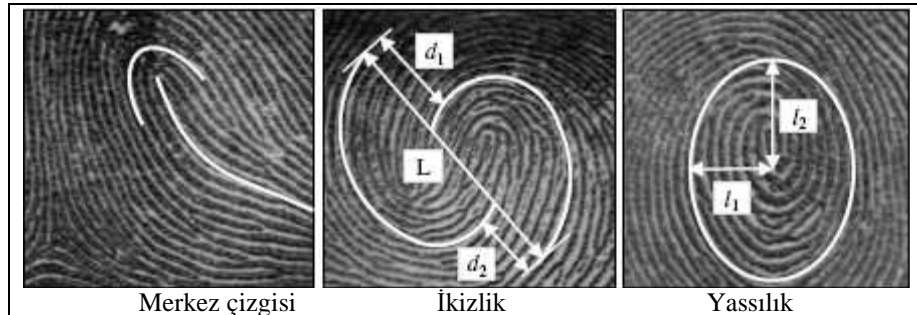
2.2.5.1. Kural Tabanlı Yaklaşımlar

Kural tabanlı yaklaşımlarda, parmak izleri referans noktalarının sayısı, konumu ve tipine göre sınıflandırılmaktadır. Bu yaklaşım genellikle bilirkişiler tarafından yapılan elle sınıflandırma işleminde kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma yaklaşımında kullanılan parmak izi sınıflarındaki referans noktalar Tablo 2.4.'te verilmektedir.

Tablo 2.4. Kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı.

Parmak izi Sınıfı	Referans noktalar
Yay	Referans nokta yok
Çadır Yay, Sol Döngü, Sağ Döngü	Bir döngü ve bir delta
Sarmal	İki döngü (veya bir sarmal) ve iki delta

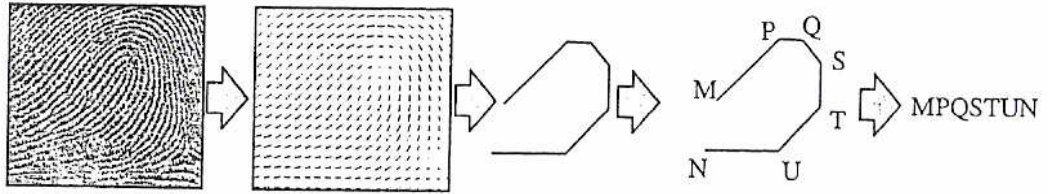
Kawagoe ve Tojo tarafından önerilen kural tabanlı bir yaklaşımda [62] referans noktaların tiplerinden ve konularından faydalanılarak parmak izi sınıflandırma yapılmıştır. Merkez çizgisinin eğiminin kullanıldığı metotta çadır yay, sol döngü, sağ döngü yapılarını birbirinden ayırmak amacıyla ikizlik ve yassılık şeklinde isimlendirilen 2 adet parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler $\text{İkizlik} = \frac{d_1 + d_2}{L}$ ve $\text{Yassılık} = \frac{l_2}{l_1}$ şeklinde ifade edilmektedir. Formüllerde kullanılan sembollerin gösterdiği uzaklıklar Şekil 2.13'te verilmektedir. Kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımları kolay uygulanabilir olmalarına karşın bu yöntemlerin başarımları gürültülü ve tam olmayan parmak izlerinde oldukça düşüktür.



Şekil 2.13. Kural tabanlı bir yaklaşımda [62] kullanılan parametreler.

2.2.5.2. Sözdizimsel Yaklaşımlar

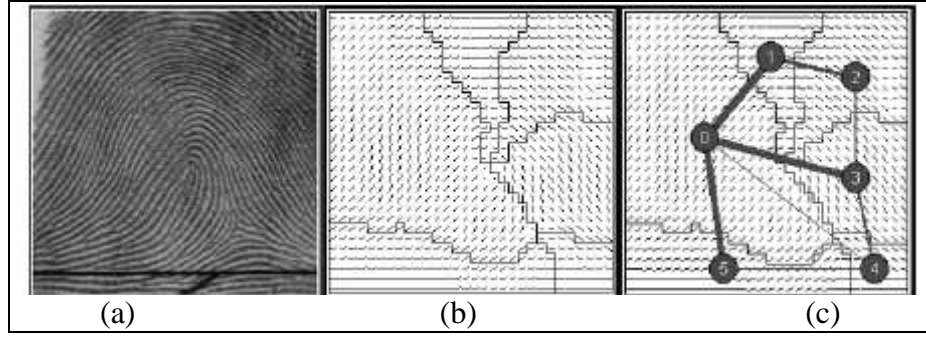
Parmak izi desenlerini, üretilen bazı kurallar çerçevesinde sınıflandıran sözdizimsel yaklaşımlarda [63] her sınıf için temel prensipler ile kurallar tanımlanır ve her yeni gelen parmak izi örneği için bir sınıf ataması yapılmaya çalışılır. Bu işlem Şekil 2.14'te gösterilmektedir. Parmak izlerindeki çeşitlilik nedeniyle sözdizimsel yaklaşımlarda sonuç çıkarmak zordur. Ayrıca sonuç çıkarmada kullanılacak karmaşık prensiplere gerek duyulması sözdizimsel metotlarla parmak izi sınıflandırma yaklaşımının çok az istisna dışında kullanılmamasına neden olmuştur.



Şekil 2.14. Sözdizimsel parmak izi sınıflandırma şeması [63].

2.2.5.3. Yapısal Sınıflandırma Yaklaşımları

Yapısal sınıflandırma yaklaşımları, yüksek seviyeli yapılarda, düşük seviyeli özelliklerin ilişkisel düzenlenmelerine bağlıdır. İlişkisel düzenleme, bilgilerin hiyerarşik olarak düzenlenmesini sağlayan ağaç ve graf gibi sembolik veri yapılarını temsil etmektedir. Yapısal gösterim için yönelim resmi kullanılır. Maio ve Maltoni tarafından geliştirilen bir yapısal sınıflandırma metodunun [64] temelinde, her alandaki benzer bölgeleri küçülterek bir fonksiyon olarak ifade etmek vardır. Ancak özellikle düşük kalitedeki parmak izleri için bu işlem zordur. Cappelli'nin şablon temelli karşılaştırma yaklaşımı [65] yönelim resimlerini bölmeye örnek teşkil etmiş ve bu yaklaşımın referans noktaların bulunamadığı parçalı parmak izi resimleri ve gürültülü resimlerde başarılı bir şekilde kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. Bu yaklaşım Şekil 2.15'te özetlenmiştir. Verilen şekilde giriş parmak izi resmi (a), bölünmüş yönelim resmi (b) ve ilişkisel grafik (c) verilmektedir.



Şekil 2.15. Maio ve Maltoni'nin sınıflandırma yaklaşımı [64].

2.2.5.4. İstatistiksel Sınıflandırma Yaklaşımları

İstatistiksel yaklaşımlarda her parmak izi için, aynı boyutlarda sayısal özellik vektörü ve genel amaçlı istatistiksel sınıflandırıcı kullanılmaktadır. En yaygın istatistiksel sınıflandırıcı yöntemi k-en yakın komşu yöntemi olmasına rağmen direk yönelim resminin özellik vektörü olarak kullanıldığı birçok çalışma da mevcuttur. Cappelli ve ark. tarafından sunulan sınıflandırma şeması [65] Şekil 2.16'da verilmektedir. Beş sınıfa ait şablon, bu şablonlara uygun parmak izleri ve yönelim resimlerinin verildiği şekilde yapılar yukarıdan aşağıya doğru yay, sol döngü, sağ döngü, çadır ve sarmal yapılarının sınıflandırılmasını göstermektedir.

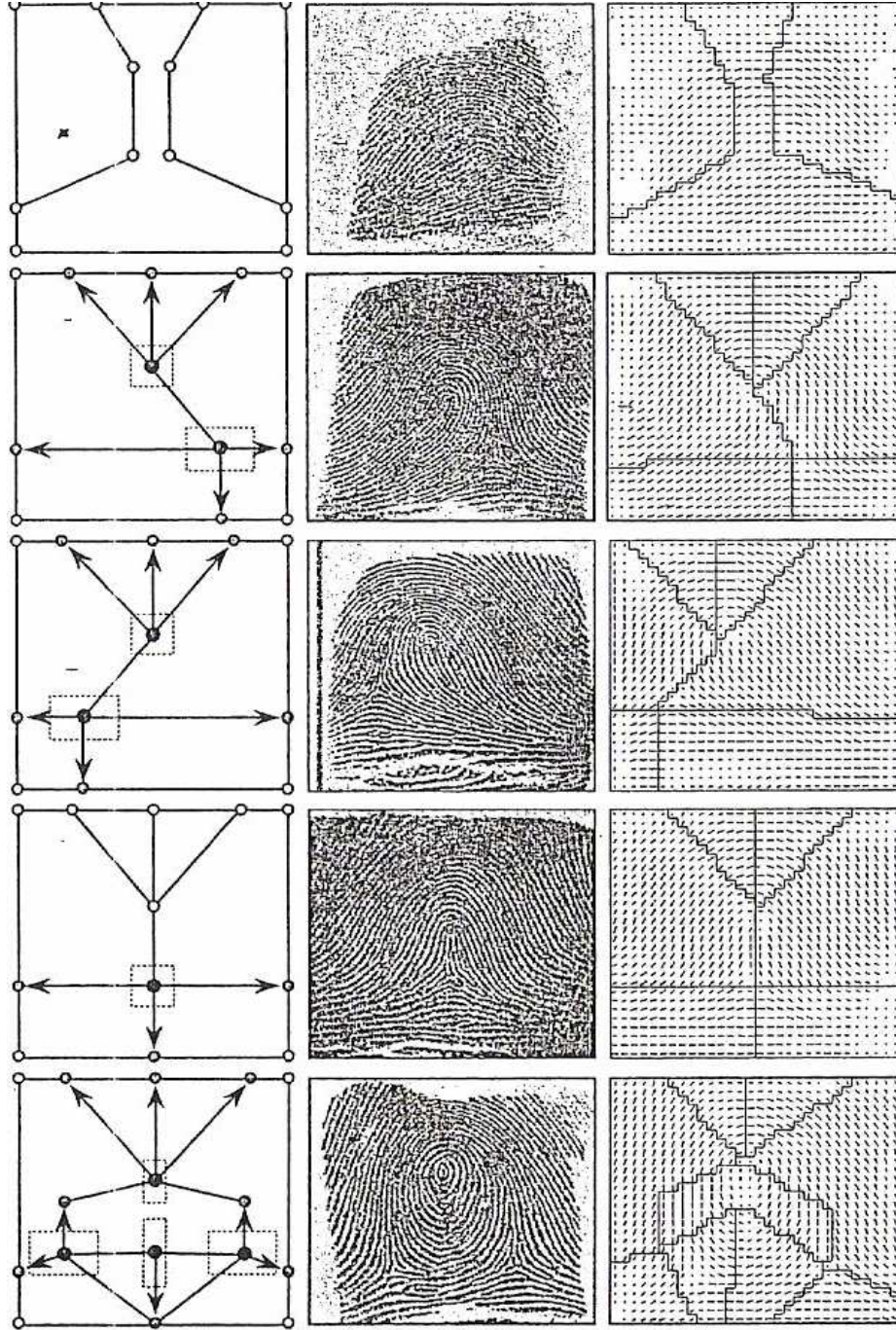
2.2.5.5. Yapay Sinir Ağları Temelli Sınıflandırma Yaklaşımları

Yapay sinir ağları temelli birçok uygulama incelendiğinde sınıflandırmanın genellikle çok katmanlı perseptronlar (MLP) kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Çoğunlukla yönelim resminin giriş olarak kullanıldığı bu yaklaşımlarda her biri farklı sınıflara ait parmak izi resimlerini sınıflandırmak için eğitilmiş birçok MLP yapısından oluşan piramit şeklinde mimariler tasarlanmakta ve kullanılmaktadır.

2.2.5.6. Çoklu Sınıflandırma Temelli Yaklaşımlar

OPTOS'larda hızlı işlem için vazgeçilmez bir gereksinim olan parmak izi sınıflandırma oldukça karmaşık ve zor bir işlemdir. Parmak izlerinin sınıflandırılması konusunda geliştirilmiş birçok yaklaşım mevcuttur [91]. Yukarıda detayları kısaca verilmiş olan bu sınıflandırma yaklaşımlarının her birinin avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Sınıflandırma yöntemlerinin performansı giriş resminin kalitesi, giriş özellik vektörü

gibi birçok etkene bağı olarak değişmektedir. Performansı ve doğruluğu arttırmak ve bu yöntemlerin zayıf yönlerini yok etmek için bu yaklaşımların birleştirilerek kullanıldığı çeşitli yaklaşımlar da mevcuttur [1]. Tablo 2.5'te çoklu sınıflandırma temelli bazı yaklaşımlar verilmektedir.



Şekil 2.16. İstatistiksel sınıflandırma yapısına bir örnek [65].

Tablo 2.5. Çoklu sınıflandırma temelli bazı yaklaşımlar.

	Ayıt Edici özellikler	Ayıt Edici Sınıflandırıcılar	Ayıt Edici Eğitim Setleri	Birleştirme Stratejisi
Candela ve ark. (1995) [66]	Evet	Evet	Hayır	Kural Tabanlı
Jain, Prabhakar ve Hong (1999) [67]	Hayır	Evet	Hayır	Sıralı (iki bölümlü)
Cappelli, Maio ve Maltoni (2000a) [68]	Hayır	Evet	Evet	Çoğunluk oy kuralı
Senior (2001) [69]	Evet	Evet	Hayır	Yapay sinir ağları
Marcialis, Rolli ve Frasconi (2001) [70]	Evet	Evet	Hayır	k-en yakın komşuluk

Parmak izi sınıflandırma konusunda gerçekleştirilen çalışmalar, yukarıda detayları verilen sınıflandırma yaklaşımları ve bu yaklaşımlarda kullanılan özelliklere göre detaylandırılarak kronolojik olarak Tablo 2.6'da özetlenmiştir [1].

2.2.6. Parmak izi Veritabanları ve Sentetik Parmak izleri

Parmak izi tanıma sistemlerinin ve bu sistemler için geliştirilmiş algoritmaların performanslarının değerlendirilmesi için çok fazla örnek veri gereklidir. Bu verilerin toplanması, maliyet ve zaman açısından oldukça maliyetli bir iştir. Parmak izi tanıma uzun zamandır çalışılan bir konu olduğu için bu konuda ihtiyacı karşılayacak şekilde çeşitli özelliklere sahip birçok veritabanı oluşturulmuş ve bu konuda çalışan bilim insanlarının istifadesine sunulmuştur. Ancak geliştirilen algoritmaların değerlendirilmelerinde ihtiyaç duyulan çeşitlilik ve kriterler arttıkça sentetik parmak izi veritabanı oluşturma yoluna da gidilmiştir. Sentetik parmak izi veritabanları parmak izi tanıma algoritmalarının test edilmesinin, düzenlenmesinin ve karşılaştırılmasının daha etkili bir biçimde yapılabilmesi için kullanılan yapay parmak izlerinden oluşan veritabanlarıdır. Sentetik parmak izlerinin sahip olması gereken bazı özellikler vardır [1]. Bunlar parmak izinin farklı bölümleri kaydedilmiş olmalı, derinin nemine ve uygulanan basınca göre değişen tepe çizgileri ve kalınlıkları olmalı, doğrusal olmayan bozulmalar ve farklı miktarda basınçla oluşturulmuş görüntüler olmalı, parmak uçlarında küçük kesikler ve diğer gürültü çeşitleri olmalı şeklinde sıralanabilmektedir.

Tablo 2.6. Parmak izi sınıflandırma konusunda gerçekleştirilen çalışmalar.

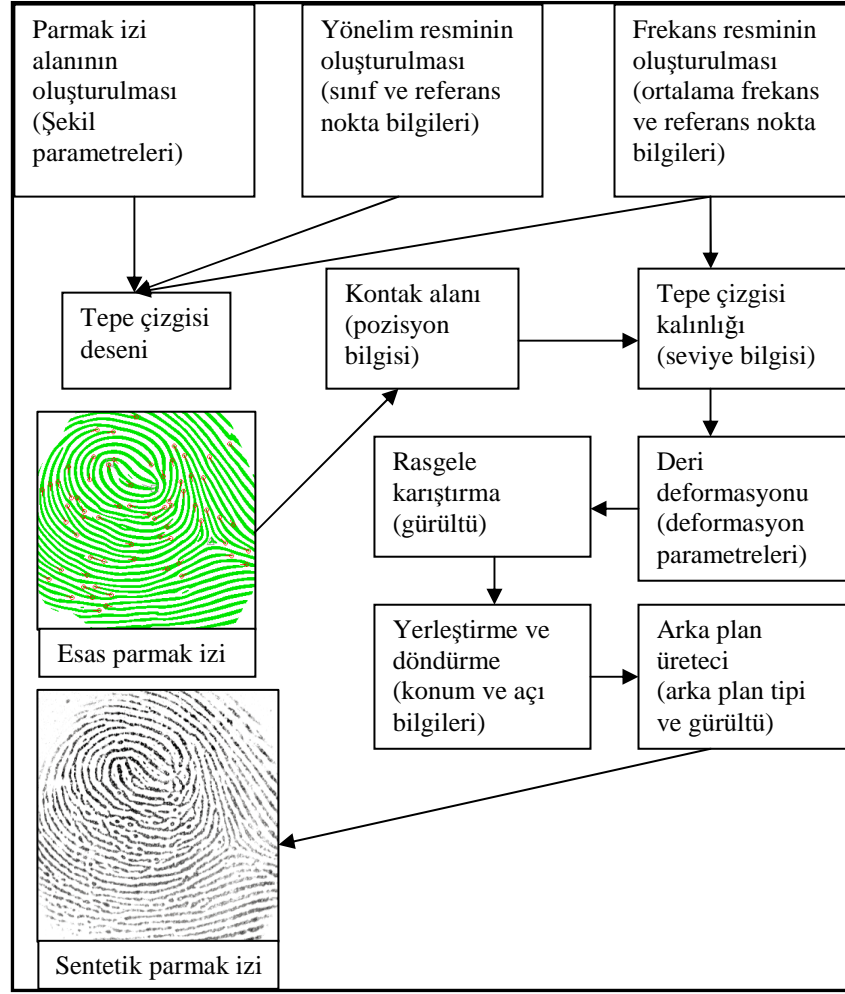
Parmak izi sınıflandırma yaklaşımları	Özellikler				Sınıflandırıcılar					
	YR	RN	TÇA	G	KT	SD	Y	İ	YSA	ÇS
Moayer ve Fu (1975) [71]	X					X				
Moayer ve Fu (1976) [72]	X					X				
Rao ve Balck (1980)[63]	X					X				
Kawagoe ve Tojo (1984) [62]		X	X		X					
Hughes ve Green (1991) [73]	X								X	
Bowen (1992) [74]	X	X							X	
Kamijo, Mieno, ve Kojima (1992) [75]	X								X	
Moscinska ve Tyma (1993) [76]	X				X				X	
Kamijo (1993) [77]	X								X	
Wilson, ve Watson (1994) [61]	X								X	
Omidvar, Blue, ve Wilson (1995) [78]	X								X	
Candela ve ark. (1995)[66]	X		X		X				X	X
Maio ve Maltoni (1996) [64]	X						X			
Halici ve Ongun (1996) [79]	X								X	
Karu ve Jain (1996) [80]		X			X					
Chong ve ark. (1997) [81]			X		X					
Ballan, Sakarya, ve Evans (1997) [82]		X			X					
Senior (1997) [92]			X				X			
Wei, Yuan, ve Jie (1998) [83]	X				X				X	X
Cappelli ve ark. (1999) [65]	X						X			
Lumini, Maio, ve Maltoni (1999) [84]	X						X			
Jain, Prabhakar, ve Hong (1999) [67]				X				X	X	X
Hong ve Jain (1999) [85]		X	X		X					X
Cappelli, Maio, ve Maltoni (1999) [86]	X							X		
Cappelli, Maio, ve Maltoni (2000) [68]	X							X		X
Cho ve ark. (2000) [87]		X			X					
Bartesaghi, Fernández, ve Gómez (2001) [88]		X			X					
Bernard ve ark. (2001) [89]	X								X	
Pattichis ve ark. (2001) [90]	X				X				X	X
Marcialis, Roli, ve Frasconi (2001) [70]	X			X			X	X	X	X
Senior (2001) [69]	X		X		X		X		X	X
Yao, Frasconi, ve Pontil (2001) [93]				X				X		X
Cappelli, Maio, ve Maltoni (2002)[94]	X							X		X
Jain ve Minut (2002) [95]			X		X					

(YR: yönelim resmi, RN: referans noktalar, TÇA: tepe çizgisi akışı, G: Gabor filtre, KT: kural tabanlı yaklaşımlar, SD: sözdizimsel yaklaşımlar, Y: Yapısal yaklaşımlar, İ: istatistiksel yaklaşımlar, YSA: yapay sinir ağları temelli yaklaşımlar, ÇS: çoklu sınıflandırma temelli yaklaşımlar).

Sentetik parmak izi veritabanlarında farklı kişilere ait parmak izleri oluşturulduğu gibi bir parmağa ait birden fazla parmak izi de oluşturulmaktadır. Bir parmağa ait birden fazla parmak izi oluşturma işleminde öncelikle bir esas (master) parmak izi oluşturulmakta sonra bunun çeşitli varyasyonları elde edilmektedir. Bu işlem Şekil 2.17’de verilmekte ve aşağıda 10 adımda özetlenmektedir [1].

1. Parmak izi alanının oluşturulması.
2. Yönelim resminin oluşturulması.
3. Frekans resminin oluşturulması.
4. Tepe çizgisi deseninin oluşturulması.
5. Parmak izinin sensörle kontak halinde olan kısmının belirlenmesi.
6. Ortalama tepe çizgisi kalınlığının hesaplanması.
7. Deriden, çevreden, kirlilikten vs kaynaklanabilecek bozulmaların tanımlanması ve uygulanması.
8. Oluşturulan parmak izi resminin çeşitli işlemlerle değiştirilmesi. Bunlar parmak izlerinin farklı parlaklık seviyelerine getirilmesi, gürültü eklenmesi, parmak izi sınırlarında değişiklikler yapılması gibi işlemleri kapsamaktadır.
9. Global yer değiştirme ve döndürme.
10. Arka plan oluşturma.

Bu adımlardan ilk 4’ü esas parmak izi resminin oluşumunu, sonraki 6’sı ise ilgili parmak izine ait diğer sentetik parmak izlerinin oluşumunu ifade etmektedir [1]. Verilen işlemlerin başarıyla sonuçlanmasından sonra oluşturulan parmak izleri oldukça gerçekçi görünmektedir. Ancak gerçek bir parmak izinin yerine geçebileceğini anlamak için derinlemesine analiz ve test edilmesi gerekmektedir. Yukarıda verilen algoritma ile oluşturulan sentetik parmak izlerinin ne kadar gerçekçi olduğuna ilişkin 2000 yılında birçoğu parmak izi tanıma konusunda çalışmış olan 90 kişi ile bir test yapılmış ve bu kişilerden biri sentetik diğer üçü doğal olan dört adet parmak izi resmi içerisinde sentetik parmak izi resminin bulunması istenmiştir. Bu kişilerden yalnızca %23 ü sentetik parmak izini diğerlerinde ayırt edebilmiştir [1].



Şekil 2.17. Sentetik parmak izi oluşturma.

2.2.7. OPTOS'ların Güvenliği

Otomatik parmak izi tanıma sistemlerinin güvenliği için diğer tüm güvenlik önlemlerinden önce sistemin fiziksel güvenliğinin sağlanması gereklidir. Kullanılan donanımlara ve diğer araçlara yetkisiz kişilerce erişilmesi engellenmelidir. Fiziksel güvenlik sağlandıktan sonra veri güvenliği ön plana çıkmaktadır. Veri güvenliği amaçlı çeşitli şifreleme yöntemleri kullanılarak biyometrik verinin kötü niyetli kişilerce değiştirilmesi ya da kullanılması engellenebilmektedir. Hemen hemen tüm elektronik sistemlerin karşılaştığı temel saldırılara karşı sistemin kullanımına zaman aşımı sınırı, yanlış deneme sınırı gibi belirli sınırlamalar getirilerek güvenlik artırılabilir. Ayrıca parmak izi canlılık analizi yapılarak kişiden habersiz olarak deneme yapılması da engellenebilmektedir.

2.2.8. Otomatik Parmak izi Tanıma Teknolojisinde Son Gelişmeler

100 yıllık köklü bir teknoloji olan parmak izi tanıma konusu bugüne kadar derinlemesine araştırılmış olmasına rağmen günümüzde hala popülerliğini korumaktadır. Bu tez çalışmasında, parmak izi konusunda son yıllarda hangi alt başlıkların daha çok çalışıldığı konusu hakkında fikir verebilecek bir araştırma yapılmıştır. Son birkaç yıl içerisinde parmak izi tanıma ile ilgili yapılan çalışmalardan en önemlileri Tablo 2.7’de kronolojik olarak sıralanmış şekilde verilmiştir.

Tablo 2.7. Parmak izi tanıma alanında son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar.

Yazar ve Yıl	Konusu
Bazen ve Veldhuis (2004) [96]	Sabit uzunluklu özellik vektörleri kullanan parmak izi temelli bir biyometrik onaylama sistemi için optimum benzerlik ölçütleri üzerine sonuçlar sunulmuştur.
Dorai, Rahta ve Bolle (2004) [97]	Parmak izi resminin alınması sırasında oluşturulan videolarının kullanılmasıyla parmağın pozisyonunun ve parmak izi alınırkenki parmak basıncının neden olduğu distorsiyonun bulunması ile parmaklara ait hareket tarzı dinamiklerinin analizine yönelik bir çalışma sunulmuştur.
Thomaz, Gillies ve Feitosa (2004) [98]	Maksimum entropi kovaryans seçimi isimli yeni bir kovaryans tahmin yöntemi sunulmuştur. Yöntem yüzler, yüz ifadeleri ve parmak izi sınıflandırma uygulamalarında test edilmiş ve sonuçları sunulmuştur.
Toh, Wei-Yun ve Yau (2004) [99]	Parmak izi ve ses biyometrik özellikleri birleştirilerek oluşturulmuş çoklu biyometrik sistemlerde verilerin en uygun şekilde birleştirilmesine yönelik hiperbolik fonksiyon kombinasyonları sunulmuştur.
Uludag ve ark. (2004) [100]	Biyometrik kriptosistemler üzerine gerçekleştirilmiş bir çalışmadır.
Faundez-Zanuy (2004) [101]	Biyometrik güvenlik sistemlerinin zayıf yönleri incelenmiş ve bu zayıflıkların giderilmesi için olası çözüm yöntemleri üzerinde durulmuştur.
Faundez-Zanuy (2004) [102]	Düşük maliyetli bir parmak izi okuyucu ve bir bilgisayar kullanılarak parmak izi tanıma temelli bir biyometrik kapı kontrol sistemi sunulmuştur.
Snelick ve ark. (2005) [10]	1000 kişilik büyük bir popülasyon üzerinde parmak izi ve yüz biyometrik özellikleri kullanılarak gerçekleştirilen çoklu biyometrik sistemlerin performans analizlerinin state-of-the-art ve COTS teknikleriyle yapılmasına yönelik bir çalışma sunulmuştur.
Brunelli ve Poggio (1993) [103]	Yüz tanıma için geometrik özelliklerin kullanıldığı bir çalışma anlatılmaktadır.

Cappelli ve ark. (2006) [104]	Parmak izi onaylama sistemlerinin ve bu sistemler için geliştirilen algoritmaların performans analizlerinin yapılmasına yönelik hazırlanmış bir çalışmadır.
Antonelli ve ark. (2006) [105]	Parmak izi derisinin distorsiyon analizi yapılarak yapay/yalancı parmak izlerini gerçek parmak izlerinden ayırt etmeye yönelik bir çalışma sunulmuştur.
Garris, Tabassi ve Wilson (2006) [106]	Parmak izi tanıma ve onaylama sistemleri için geliştirilen çeşitli algoritma yöntem ve yaklaşımın performans analizlerinin yapılabilmesi için bir platform sunulmuştur.
Sirovich ve Meytlis (2009) [107]	Yüz tanımda simetrin kullanıldığı, % 100 başarının rapor edildiği bir çalışma sunulmuştur.
Ross, Shah ve Jain (2007) [108]	Parmak izlerine ait özellik vektörlerini kullanarak yüksek doğruluklarla parmak izi resimleri elde edilmesine yönelik bir yaklaşım sunulmuştur.
Martinsen ve ark. (2007) [109]	Parmak izi derisinin değişik elektriksel karakteristikleri kullanılarak parmakların canlılık analizlerinin yapıldığı bir çalışmadır.
Qinghan Xiao (2007) [110]	Biyometrik teknolojiler, uygulamalar, konuyla ilgili zorluklar, sorunlar ve bu sorunlara çözümlerin özetlendiği bir inceleme çalışması sunulmuştur.
Rahta ve ark. (2007) [111]	Bir biyometrik özelliğin birden fazla uygulamada kullanılabilir olmasını sağlamak için parmak izi resimlerinden çoklu iptal edilebilir (cancelable) tanımlayıcılar üretilebilmek için çeşitli yaklaşımlar sunulmuştur. Çeşitli algoritmaların performans analizleri de yapılmıştır.
Corcoran ve ark. (2007) [112]	Parmak izi ve yüz tanıma modüllerinden oluşan bir kombinasyon ile ev ağlarında erişim denetiminin kontrol edildiği bir çalışmadır.
Chulhan ve ark.(2007) [113]	Alınan ve sorgulanan parmak izi şablonları arasında transformasyon sonrasında orijinal geometrik ilişkileri koruyan, hizalama gerektirmeyen yerel özellik noktaları bilgilerini kullanarak iptal edilebilir (cancelable) parmak izi şablonları oluşturabilen yeni bir yaklaşım sunulmuştur.
Galy, Charlot ve Courtois (2007) [114]	Tek-satır tarama mantığıyla çalışan bir sensör için gerçekleştirilmiş bir tam parmak izi onaylama sistemi sunulmuştur. Sistem bir parmak izi sensörü buna entegre bir okuma alanı, bir çeviri devresi ve bu sisteme uygun bir tanıma algoritmasından oluşmaktadır.
Cappelli ve ark. (2007) [115]	Standart parmak izi şablonlarından parmak izi resimlerinin yeniden üretilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunulmuş, üretilen yeni resimlerin orijinallerine ne kadar benzediğinin analizleri de yapılmıştır.
Yezeng Cheng ve Larin (2007) [116]	OPTOS'larda kullanılacak gerçek parmak izleriyle yapay parmak izlerini birbirinden ayırmak için optik kohorens tomografi temelli bir yöntem sunulmuştur.
Weiguo Sheng ve ark. (2007) [117]	İki biyometrik özellik seti arasında optimal veya optimale yakın global karşılaştırma yapabilecek memetik bir parmak izi karşılaştırma yaklaşımı sunulmuştur.
Alonso-Fernandez ve ark. (2007) [118]	Parmak izi resimlerinin kalitelerinin tahmin edildiği metotlar incelenmiş ve bu metotların analizi için çeşitli testler yapılmıştır.

Nandakumar, Jain ve Pankanti (2007) [119]	Hem gizli anahtarın hem de biyometrik şablonun güvenliğini sağlayan parmak izi özellik noktaları temelli tam otomatik bir biyometrik kriptosistem şeması sunulmuştur.
Dongjae Lee ve ark.(2008) [120]	Mobil bir cihaz içerisine gömülü bir kamera kullanılarak parmak izi onaylama sistemleri için tanınabilir resim seçimi yapabilecek bir algoritma önerilmiştir.
Fronthaler, Kollreider ve Bigun (2008) [121]	Yerel özellikler kullanılarak parmak izi resimlerinin iyileştirilmesi ve bu resimlerde özellik noktalarının bulunmasına yönelik teknikler sunulmuştur. Resim iyileştirmede Laplacian benzeri resim piramitleri, özellik noktalarının bulunmasında ise parabolik simetri kullanılmıştır.
Bie, Cristianini ve Rosipal (2004) [122]	En çok kullanılan ve başarımı en yüksek tekniklerden olan öz yüz temelli yüz tanıma algoritmalarının temellerini anlatan bir kaynak kitap.
Wayman (2008) [123]	Kimliklendirme ve kimlik yönetim sistemlerinde biyometrik özelliklerin yeri konulu bir çalışmadır.
Ross ve Nadgir (2008) [124]	Birden fazla sensör kullanılarak gerçekleştirilen sistemlerde bu sensörlerin en iyi şekilde birlikte çalışmasına olanak sağlayacak uygun platformun sağlanması ve sensörlerin zayıf noktalarının veya kusurlarının sistemi etkilemeyecek veya en az etkileyecek şekle getirilmesine yönelik TSP (thin-plate spline) temelli doğrusal olmayan bir kalibrasyon şeması önerilmiştir.
Taekyoung Kwon ve Hyeonjoon Moon (2008) [125]	Parmak izi ve yüz biyometrik özelliklerinin birleştirilerek kullanıldığı ve kriptografik mekanizmalarla güvenliğin artırıldığı sınır kontrol uygulamaları tanıtılmıştır.
Lingling Fan ve ark. (2008) [126]	Sıfır-kutup modeli ve Hough dönüşümünün uygun şekilde birleştirilmesiyle oluşan, parmak izlerinde referans noktaların bulunmasına yönelik bir algoritma sunulmuştur.
Chongwen Wang, Gangyi Ding ve Zhiwei Zheng (2008) [127]	Parmak izlerindeki her bir özellik noktası için bitişik özelliklerin ve parmak izi çizgisinin eğriliği kullanılarak elde edilen yeni özellik vektörü temelli bir parmak izi karşılaştırma algoritması sunulmuştur.
Jing Luo ve ark. (2008) [128]	RBFNN yapısında gizli katman fonksiyonu olarak elipsoidal basis fonksiyonu kullanılarak elde edilen EBFNN yapısı kullanılarak yeni bir parmak izi tanıma algoritması sunulmuştur.
Jing Luo ve ark. (2008) [129]	2B PCA kullanılarak boyut küçültme işleminin yapıldığı yeni bir parmak izi tanıma algoritması sunulmuştur.
Seong-Jin Kim ve ark. (2008) [130]	Parmak izi onaylama sistemlerinde kullanılabilir bir parmak izi sistemi sunulmuştur. Sistem 2B sayısal resmi işlemek için bir yerel adaptif piksel şeması ve gömülü paralel işlemcilerden oluşmaktadır.
Huckemann, Hotz ve Munk (2008) [131]	İkinci derece diferansiyeller belirlenerek parmak izlerinin yönelim alanlarına yönelik global modeller önerilmiştir.
Engel, Pschernig ve Uhl (2008) [132]	Parmak izi resimleri için iki ışık ağırlıklı (lightweight) şifreleme tekniği şemasının analizine yoğunlaşmış bir çalışmadır.
Hyejeong Lee ve ark. (2008) [133]	Son kullanıcıya yönelik elektronik cihazlar için parmak izi temelli güvenli kullanıcı tanıma sistemleri

	geliştirilmiştir.
Cappelli, Ferrara ve Maltoni (2008) [134]	OPTOS'ların performanslarını, doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkileyen parmak izi resimlerinin alınmasında kullanılan parmak izi okuyucuların işletimsel kalitesinin değerlendirilmesi problemine odaklanan bir çalışmadır.
Sanghoon Lee ve ark. (2008) [135]	Giriş parmak izi resminin durumunu ve çizgilerin yönelim hatalarını inceleyerek parmak izi resmi kalitesini değerlendiren bir yaklaşım sunulmuştur
Bringer ve ark. (2008) [136]	Biyometrik özellikler ve kriptografi arasındaki ilişkilendirme olarak tarif edilebilen bulanık kesin karar (fuzzy commitment) şemasının en iyi şekilde gerçekleştirilmesiyle biyometrik verinin en uygun şekilde karşılaştırılması için sunulan bir yaklaşım tanıtılmıştır.
Reddy ve ark. (2008) [137]	Biyometrik sistemlerde kullanılan parmak izi cihazlarının yapay biyometrik özellikler kullanılarak yanıltılmasına engel olmak için güvenilir bir canlılık analiz yapan yaklaşım sunulmuştur.
Vatsa, Singh ve Noore (2009) [138]	Parmak izi resmi karakteristiklerindeki farklılıklar hesaba katılarak duruma göre parmak izi resimlerindeki 2. ve 3. seviye özelliklerden elde edilen karşılaştırma skorlarının en uygun delil-teorik birleştirme yaklaşımını dinamik olarak seçebilecek bir çoklu biyometrik sistem sunulmuştur.
Kumar ve Ravikanth (2009) [139]	Parmakların dış kısmındaki yüzeyde bulunan desenin kişinin kimliklendirilmesinde kullanılabilecek kadar kişiye özgü olduğunun iddia edildiği ve bu alandaki desenin bir biyometrik özellik olarak kullanılabileceğine dair bir çalışma sunulmuştur.
Cappelli ve Maltoni (2009) [140]	Parmak izlerine ait referans noktalarının yerlerinin tespitine yönelik istatistiksel bir yöntem sunulmuştur.

2.3. Otomatik Yüz Tanıma Sistemleri (OYTS)

İnsanların günlük hayatta birbirlerini tanıma ve kimliklendirmede en fazla kullandıkları biyometrik özellik şüphesiz yüzlerdir. Herhangi bir kişinin kimliği, durumu, amacı yüz resimleri analiz edilerek elde edilebilir düşüncesinden hareketle yüz tanıma son yıllarda oldukça fazla rağbet gören bir konudur. Yüz tanıma konusunda yapılan çalışmaların başlangıcı 30 yıl öncesine dayanmakla birlikte son zamanlarda gelişen teknoloji ile kişiler, şirketler ve devletler için artan bilgi güvenliği ve doğru kimliklendirme ihtiyacı konuyu daha cazip hale getirmiştir. Özellikle son çeyrek asırda yüz tanıma konusu derinlemesine araştırılmış, konuyla ilgili çeşitli başarılı ve verimli algoritmalar sunulmuştur. Bu ise yüz tanıma uygulamalarını askeri, ticari, akademik ve yasal birçok alanda kullanılabilir güvenilir bir teknoloji haline getirmiştir [141]. Bir otomatik yüz tanıma ve onaylama sistemi kişilerin durağan resimleri veya video görüntüleri üzerinden ilgili kişilerin veritabanına kayıtlı resimlerinin kullanılarak kimliklendirilmesi şeklinde

tanımlanabilir [142, 143]. Veritabanındaki resimler pasaport, kredi kartı ve kimlikler gibi kontrol edilmiş şartlarda elde edilmiş vesikalık resimler olabileceği gibi, gerçek zamanda kaydedilen video görüntülerinden gelen, kontrolsüz ve değişken şartlarda elde edilen yüz resimleri de olabilmektedir. Yüz tanıma problemi resimlerdeki yüzlerin sezilmesini, sınırlarının belirlenmesini, özniteliklerinin bulunmasını ve bu özniteliklerin kullanılarak yüzlerin sınıflandırılmasını içermektedir. Üç boyutta poz farklılıkları, değişik yüz ifadeleri, aydınlatma farklılıkları, makyaj, saç stili, arka plan farklılıkları, gürültü ve ölçek farklılıkları ve benzeri etkenler yüz tanıma işlemini güçleştirmektedir. Dolayısıyla yüz resimlerindeki bilgiyi işleyip resmi analiz edebilecek tam otomatik bir yüz tanıma sistemi için güvenilir, iyi çalışan hızlı ve verimli algoritmalar geliştirmek gereklidir. Yüz biyometrik özelliği ile ilgili işlemler aşağıda verildiği şekilde gruplandırılabilir [141]:

- Yüz yeri ve yönü bulma (face detection ve face localisation [144, 145])
- Yüze ait özelliklerin yerlerinin bulunması (face feature detection [146, 147])
- Yüz tanıma (face recognition) [148-152]
- Yüz takibi (face tracking) [153-155]
- Yüz ifadesi analizi (expression recognition) [156, 157]

Bir yüz tanıma sistemi karmaşık bir arka plandan yüzlerin ayırt edilmesi, yüze ait özellikler ve bu özellikler yardımıyla yüz yeri ve yönünün belirlenmesi ve tanıma/onaylama/izleme işleminin gerçekleştirilmesi olmak üzere temelde üç adımdan oluşmaktadır [12]. Verilen bir resimde yüzün 3 boyutlu pozisyon, yön ve aydınlatma şartlarındaki farklılıklardan etkilenmeden bulunabilmesi olarak tanımlanabilen yüzün yerinin ve yönünün tespit edilmesi diğer yüz tanıma işlemlerinin de ön adımıdır. Yüz yeri tespit yöntemleri incelendiğinde yüzün yerinin tam olarak bulunabilmesi için yüze ait özellik setlerinden faydalandığı görülmektedir. Bu özellik setleri genellikle yüze ait parçalar (kaş, göz, burun, ağız) ve bunların birbirine göre durumlarından elde edilmektedir. Bu durumda aslında yüz yeri tespiti için sunulan bir algoritma biraz değiştirilip geliştirilerek yüz tanıma işlemi için de kullanılabilir. Bunun tersi de doğrudur. Bu yüzden bu tez çalışmasında yüz tanıma ile ilgili literatür çalışmasının yapıldığı bu bölümde yüz tanıma ile yüz yeri tespiti birbirinden ayrı olarak düşünülmemiş ve yüz tanıma başlığı altında birlikte değerlendirilmiştir.

Yüzler hem duruş, poz alınış yönü, açı, aydınlatma, makyaj, yüzün bir kısmını veya tamamını kapatan aksesuarlar, saç şekli ve benzeri gibi çevresel etkenler açısından hem yüze ait bileşenleri değiştiren yüz ifadeleri hem de şekil, boyut, renk, ten rengi, genişlik gibi fiziksel özellikler açısından belirli bir standarda sahip değildir. Bu yüzden yüz tanıma işlemi oldukça karmaşık ve zor bir işlemdir. Yüz tanıma işleminde en çok karşılaşılan zorluklar aşağıda kısaca özetlenmiştir [141].

1. **Duruş ve poz farklılığı:** Bir yüz resmi duruş (aşağı, yukarı, sağ, sol vs) ve yüz ile kamera arasındaki ilişkiyel poz durumuna (önden, dereceli, yandan, baş aşağı vs) göre çeşitli değerler alabilmektedir. Bu değerler doğrultusunda gözlerden biri, ağız, burun gibi yüzün bazı parçaları gözükmebilir veya yarım gözükabilir.
2. **Yapısal bileşenlerin varlığı veya yokluğu:** Erkeklerde sakal bıyık gibi yüze ait bazı özellikler bazı zamanlarda olabilir veya olmayabilir, bayanlarda kaş şekli gibi özellikler değişebilir. Ayrıca gözlük, takı gibi aksesuarlar çeşitli boyutlarda, şekillerde ve renklerde olabilmekte, saç rengi, şekli ve uzunluğu da değişebilmektedir.
3. **Yüz ifadeleri:** Yüz elastik bir yapıya sahiptir ve yüzün görünüşü kişinin o anki yüz ifadesiyle birebir ilişkilidir. Kişinin gülme, ağlama, konuşma ve sinirli olma durumlarında yüz şekli oldukça değişmektedir.
4. **Yüzün kapatılması:** Yüz herhangi bir obje ile veya diğer bir yüz tarafından kısmen veya tamamen kapatılmış olabilmektedir.
5. **Resim yönü ve uzaklığı:** Yüz resimleri kameranın optik ekseninden çeşitli dönüş açılara sahip olabilmektedir. Yüz resmi alındığı sırada kameranın yüzden uzaklığı da yüz resminde farklılıklara neden olabilmektedir.
6. **Resim alınış şartları ve kalitesi:** Resim alınırken aydınlatma şartları, kamera karakteristikleri gibi çeşitli faktörler yüzün görünüşünü ve resmin kalitesini etkilemektedir.

Bir resim üzerinde bulunan yüzlerin bulunması ve/veya tanınmasına yönelik olarak geliştirilen yöntemler genel olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır [141]. Bu bölümde literatürde var olan bu yöntemler kısaca tanıtılacak ve bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgilerin bulunduğu kaynaklar işaret edilecektir.

2.3.1. Özbilgi Temelli Metotlar

Kural tabanlı metotlar olarak da bilinen özbilgi temelli metotlar tipik bir yüzün insan beyninde nasıl şifrelendiği düşünülerek geliştirilmişlerdir. Özbilgi temelli metotlarda yüz tanıma işlemi araştırmacının insan yüzleri ile ilgili bilgilerinden türetilen kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Yüz ve yüzün ilişkileri ile ilgili özelliklerin tanımlandığı temel kuralların oluşturulması oldukça kolaydır. Örneğin önden çekilmiş bir yüz resmi burun hizasından yukarıdan aşağıya doğru uzanan bir çizgiyle ikiye bölündüğünde birbirine simetrik iki resim parçası elde edilmektedir. Yüz genellikle yatay bir çizgi üzerinde bulunan iki göz, onların orta altında bir burun ve onun hemen altında bir ağızdan ibarettir. Özbilgi temelli yaklaşımlarda öncelikle belirlenen kurallar çerçevesinde yüz olabilecek aday yüz bölgeleri belirlenir, sonra bir doğrulama işlemi gerçekleştirilerek gerçek yüzler elde edilir. Bu yaklaşımın en önemli problemi araştırmacının başındaki insan yüzü bilgisinin iyi tanımlanmış kurallara nasıl dönüştürüleceğidir. Kuralların çok genel olması durumunda çok fazla yanlış yüzün bulunması, kuralların çok keskin ve kısıtlayıcı olması durumunda ise tüm kuralları sağlayamayan gerçek yüzlerin bulunamayışı gibi sorunlar yaşanabilmektedir [141]. Ayrıca bu yaklaşımı çeşitli pozlardan alınan yüz resimleri için kullanmak mümkün değildir, çünkü olabilecek her poz durumu için kuralları sıralayıp tanımlamak oldukça zor bir iştir. Bu yaklaşım çok karmaşık olmayan sahnelerde önden çekilmiş yüz resimleri ile çalışırken oldukça iyi sonuçlar vermektedir [141].

Özbilgi temelli bir yöntemi hiyerarşik yapıda kullanan bir çalışma Yang ve Huang tarafından sunulmuştur [158]. Bu çalışmada sistem 3 seviyeli kurallardan oluşmaktadır. En üst seviyede, giriş resmi üzerinde bir pencere dolaştırılmakta ve önceden oluşturulmuş kurallar seti uygulanarak olası tüm yüz aday bölgeleri bulunmaktadır. İkinci seviyede yerel histogram eşitleme ve kenar bulma gerçekleştirilmekte, üçüncü seviyede yüz aday bölgeleri kaşlar, gözler, ağız gibi detayları içeren kurallar setine göre değerlendirilip gerçek yüz resimlerinin bulunması hedeflenmektedir. Algoritmanın genelden ince detaya doğru hareketi ya da dikkati bir yere odaklama stratejisi hesaplama zamanını azaltmaktadır. Yüz tanıma işleminde çok başarılı olmayan bu yaklaşım, çalışma şekli anlamında sonraki yıllarda gerçekleştirilen birçok başarılı çalışmaya örnek teşkil etmiş olması açısından önemlidir.

Bu çalışmaya benzer bir yaklaşım Kotropoulos ve Pitas tarafından önerilmiştir [159]. Kanade tarafından sunulan ve yüzün sınırlarının belirlenmesinde oldukça başarılı olan diğer bir metoda da [160] benzeyen bu yaklaşımda, izdüşümü kullanılarak yüz tanıma yapılmaktadır. İzdüşümü metoduyla yüzün sınırlarının başarıyla belirlendiği bu yaklaşımda, yatay ve dikey izdüşümleri hesaplanılarak yatay izdüşümündeki iki yerel minimum nokta başın sol ve sağ tarafına, dikey izdüşümündeki yerel minimum noktalar ise dudaklar, burnun ucu ve gözlere denk gelmektedir. Burada elde edilen bu özellikler sistem için aday yüzler olarak kaydedilmektedir. Bu yöntem sadece bir tane yüz resmi içeren ve arka planı düzgün olan resimlerde oldukça iyi sonuç vermesine karşın, arka planı karışık veya birden fazla yüz resmi içeren resimlerde kullanılamayacak bir yaklaşımdır.

2.3.2. Yüze ait Değişmeyen Özelliklere Dayalı Yaklaşımlar

Yüzde var olan ve poz, bakış açısı, aydınlatma gibi fiziksel veya çevresel etkenlere rağmen sabit kalan özelliklerin bulunup kullanılmasıyla yüz tanıma yapılmasına yönelik olarak gerçekleştirilmiş yöntemlerdir. Değişmeyen özelliklere dayalı yaklaşımların temelinde insanların herhangi bir resmin içinde bulunan yüzleri, objeleri zahmetsizce ve her türlü pozisyon, boyut, renk ve poz farkına rağmen bulabiliyor olmaları fikri yatmaktadır. Öyleyse tüm bu değişken durumlara rağmen yüzlerde tüm insanların algıladığı korunan bir takım özellikler bulunmaktadır [141]. Bu yöntemlerde yüzlerde bulunan ve değişken durumlara rağmen değişmeyen özellikler bulunarak kullanılmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemler incelendiğinde genellikle saç bitimi, kaşlar, gözler, burun ağız gibi özellikler bulunarak bu özelliklerin birbirleriyle ilişkilerinin tarif edildiği bir istatistiksel model oluşturulduğu ve bu model çerçevesinde yüzün varlığı veya yokluğunun sorgulandığı ve/veya yüz tanıma yapılmaya çalışıldığı görülmektedir. Poz ve aydınlatma farkları, gürültü ve yüz resminin bir kısmının kapanması gibi nedenler yüz resminde değişmeyen özelliklerin sınırları ve parametrelerinin net olarak elde edilememesine neden olmakta ve bu şartlarda değişmeyen özelliklere dayalı yaklaşımı kullanan birçok algoritmayı başarısız kılmaktadır. Yüze ait değişmeyen özelliklere dayalı yaklaşımlar, bunların avantaj ve dezavantajları çeşitli alt başlıklar halinde aşağıda incelenmektedir.

2.3.2.1. Yüze ait Değişmeyen Özellikler

Göz, kulak, baş hatları ve ağız gibi yüze ait değişmeyen özelliklerin ayrı ayrı bulunarak boyut, özellikler arasındaki mesafe ve açı gibi farklı parametrelerin hesaplanmasına dayalı eski bir teknik olan bu metot farklı kişileri birbirinden ayırt edebilmeyi mümkün kılmaktadır. Burun genişliği ve uzunluğu, ağız pozisyonu ve çene şekli gibi bir dizi geometrik özelliklerin hesaplanmasına dayanan çeşitli yöntemler düşük çözünürlüklü resimlerde kullanılabilir. Bu yöntemlerde genellikle geometrik özelliklere ait parametrelerden oluşan bir vektör kullanılırken dikkat edilecek kritik hususlardan biri normalizasyonun doğru yapılabilmesidir. Çünkü elde edilen özellik noktalarının pozisyonundan, ölçekten ve yüzün resim düzlemindeki rotasyonundan bağımsız olması gerekmektedir. Koordinatların başlangıç noktasının her bir resimde doğru bir şekilde bulunan bir noktaya kaydırılmasıyla ötelemeye olan bağımlılık elimine edilebilmektedir. Dönmeden bağımsızlık da bir gözden diğer göze olan eksenin yatay olarak hizalanması ile sağlanabilmektedir. Gözlerin yüz içinde bulunduğu yerlerin tespiti de genelde her göz için bir şablon kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Her yüzde iki göz bir burun ve bir ağız benzer şekilde bir yerleşim gösterdiğinden yüzlerin sınıflandırılması zor olabilmektedir.

Yüz özellik noktalarının elde edilmesinde kullanılan oldukça faydalı bir teknik de yatay ve dikey integral projeksiyonlarının alınmasıdır. Pencerenin yeri doğru bir şekilde belirlendiği takdirde özelliklerin konumlarını belirlemede projeksiyon metodu oldukça etkin sonuçlar üretmektedir. Resimlerin yatay ve dikey yönde kenar işlemine tabi tutulmasıyla dikey yöndeki gradyentler başın üst noktasını, burun tabanını ve ağız belirlemede faydalı olurken; yatay yöndeki gradyentler ise baş ve burnun sağ ve soldaki sınırlarını belirlemede kullanılmaktadır. Gözlerin yüzde bulunduğu yerin bilindiği varsayılarak ve ortalama insan fizyolojisi dikkate alınarak aday özellik noktalarının bulunduğu alanlara integral projeksiyonlar uygulanarak yüzün özellik noktalarının konumları belirlenebilmektedir. Örneğin burun, dikey kenarların elde edildiği resmin yatay projeksiyonundaki tepe noktalarına bakılmasıyla bulunabilmektedir. Benzer şekilde dudaklar arasındaki kalın çizgiden dolayı, yatay kenar resminde yatay projeksiyonun minimum noktalarına bakılarak ağızın yeri tespit edilebilmektedir. Kaşlarda benzer bir teknikte bulunabilmektedir.

Literatürde “yüzü temsil etmek için uygun bir elips yeterlidir” mantığından yola çıkılarak Canny kenar bulma operatörünü kullanan ve sadece yüze ait kenarları vurgulayıp diğer kenarları kaldıracak/gruplayacak şekilde çalışan bir yöntem [161] Sirohey tarafından karmaşık bir arka plandan yüz resmini seçmek için geliştirilmiştir. Kenarlar yerine çizgi ve küçük yuvarlakları kullanan bir yöntem Chetverikov ve Lerch tarafından önerilmiştir [162]. Bu yüz modelinde gözleri, elmacık kemiğini ve burnu temsil eden iki karanlık üç aydınlık yuvarlak kullanılmaktadır. Yuvarlakların tespiti için, düşük çözünürlüklü laplacian resimden faydalanılan yöntemde iki adet üçgensel konfigürasyon, yuvarlaklar arasındaki ilişkiyi belirterek aday yüzlerin bulunmasına olanak sağlamaktadır. Çizgiler ise yüzün ana hatlarını, kaşları ve dudakları temsil etmek için kullanılmaktadır. Yuvarlaklar tarafından elde edilen aday yüz bölgeleri çizgiler tarafından onaylanırsa aday bölgenin yüz olduğu sonucuna varılmaktadır. Graf ve arkadaşları tarafından sunulan bir yaklaşımda gri seviye resimlerde yüz ve yüze ait özellikleri bulmak için resimlere band geçiren filtre uygulandıktan sonra gözler gibi belirgin şekillere ve renk değerlerine sahip alanlara morfolojik operatörler uygulanarak ilgili bölgeler iyileştirilmektedir [147]. İşlenen resmin histogramı göze çarpan bir pik yapmakta, pik değeri ve pikin genişliği göz önünde bulundurularak adaptif bir eşik değeri belirlenerek iki tane ikili resim elde edilmektedir. Yüze ait potansiyel özellik yerlerinin belirlenebilmesi için ise ilişkili bileşenler tanımlanmaktadır. Bu alanların kombinasyonları sınıflandırıcılar tarafından değerlendirilir ve resimde yüz olup olmadığı, varsa nerede olduğu bilgisine ulaşılmaya çalışılır. Yerel özellik bulma ve rasgele graf karşılaştırma yöntemine dayalı karmaşık arka plandan yüz resimlerinin seçilmesine yönelik probabilistik bir metot Leung ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [163]. Yazarlar bu çalışmada yüzün yerinin bulunması işlemini bir arama problemi şeklinde formülize etmeye çalışmışlar ve yüze ait genel özelliklerin bulunmasını amaçlamışlardır. Tipik bir yüz desenini tanımlamak için iki göz, iki burun deliği ve burun-dudak kesişimi olmak üzere 5 özellik kullanmışlardır. Sağ göz ve sol göz gibi yüze ait aynı tipteki herhangi iki özellik noktası için bunların birbirlerine göre uzaklıkları hesaplanmakta ve bu uzaklıkların Gaussian dağılım ile modellenmesine çalışılmaktadır. Veri setleri içindeki yüzlerin sayısı boyunca yüze ait özelliklerin içindeki piksellerde çok boyutlu çok ölçekli gaussian türev tabanlı filtre setine verilen tepkilerin ortalaması alınarak yüze ait bir şablon oluşturulmaktadır. Verilen bir test resimde yüze ait aday özellik noktaları her pikseldeki filtre cevabının tepkiler şablon

vektörü ile karşılaştırılması sonucunda (korelasyona benzer şekilde) bulunmakta ve en güçlü tepkiye sahip olan iki özellik noktası seçilerek yüze ait diğer özellik noktalarının aranmasına geçilmektedir. Yüze ait özellikler keyfi bir düzen içinde olmadığı için karşılıklı mesafelerin istatistiksel modeli kullanılarak diğer özelliklerin yerleri kısmen tahmin edilebilmektedir. Bunun yanı sıra tahminlerin kovaryansı hesaplanabilmekte, yani özelliklerin beklenen yerleri çok büyük bir olasılıkla tahmin edilebilmektedir. Kendilerine ayrılan yerlerde içeriye doğru uzanan aday özellikler bir takımyıldızı şeklini almakta ve bu sayede yüzü en çok andıran şekil bulunmaktadır. En uygun takımyıldızının bulunması işlemi graf karşılaştırma problemi olarak formülize edilmekte, takımyıldızındaki her bir bileşen yüze ait bir özelliğe karşılık gelmektedir. Aralarındaki yay iki özellik arasındaki mesafeyi temsil etmektedir [164, 165]. Bu metotlara alternatif olarak bir kısmı gözükmeyen yüzlerde de yüz yerlerini tespit edebilme özelliğine sahip çeşitli yöntemler de sunulmuştur [166, 167].

Yüz resimlerinin görünüşü ve genel durumu ile ilgili bazı ifadeleri kullanan özellik temelli bir yaklaşım Yow ve Cipolla tarafından önerilmiştir [168, 169]. Sunulan yöntemdeki ilk işlem adımı ikinci türev Gaussian filtre uygulanmasıdır. Bu işlem ile resmin filtre uygulanan kısmı üçte bir oranına inecektir. Filtre cevabındaki yerel maksimum noktalar, yüze ait özelliklerin olası yerlerine karşılık gelmektedir. İkinci işlem adımı bulunan noktalar etrafındaki kenarların belirlenmesi ve bunların şiddet ve yön açısından benzerlik ve yakınlığı göz önünde bulundurularak gruplandırılmasıdır. Kenar uzunluğu, şiddeti, renk değeri gibi bazı karakteristik ölçümler hesaplanmakta ve özellik vektöründe saklanmaktadır. Yüz özelliklerine ait eğitim verisinden her yüz özellik vektörüne ait ortalama ve kovaryans matrisi hesaplanmaktadır. Bir resim alanının uygun özellik vektörleriyle arasındaki Mahalanobis mesafesi belirlenen eşik değerinden düşükse ilgili resim alanı yüz özellik adayı olmaktadır. Bu metodun en önemli avantajı, yüzün belirlenmesinde yönlerden ve pozlardan etkilenmemesidir. Çeşitli yön, ölçek ve açılarda 110 resim içeren bir test veritabanında bu yöntemin % 85 başarıyla sonuç elde edebildiği belirtilmektedir [170]. Daha sonra bu metod aktif kontur modeliyle (active contour model) iyileştirilmiştir [170, 171]. Retina özelliklerinin bulunması şeklinde biyolojik bir motivasyonla gerçekleştirilen bir teknik Takacs ve Wechsler tarafından sunulmuştur [172]. Morfoloji temelli bir teknik Han ve arkadaşları tarafından tanıtılmıştır [173]. Göz-analojisi parçaları adını verdikleri yöntemde yazarlar

kaşlar ve gözleri yüzdeki en dikkat çekici ve durağan noktalar olarak düşünmekte ve yüz tanıma için başlangıç noktalarının bu noktalar olduğu görüşünü ileri sürmektedir. Göz-analojisi parçaları ifadesi gözlerin dış hatlarındaki kenarları olarak tanımlanmaktadır. Öncelikle renk değerlerinin anlamlı bir şekilde değiştiği piksellerin tespiti için kapama, kesilmiş fark ve eşik değerleri gibi morfolojik operatörler uygulanmakta sonra göz-analojisi pikselleri denilen bu piksellere etiketleme işlemi uygulanarak göz-analojisi parçaları oluşturulmaktadır. Bu parçalar yardımıyla bulunan potansiyel yüz adayları [174] referans numaralı çalışmada olduğu gibi YSA yardımıyla da değerlendirilebilmekte ve bu sayede gerçek yüzlere ulaşılmaya çalışılmaktadır. Durağan resimlerde önden çekilmiş yüzlerin yerlerinin bulunmasına yönelik başka bir yöntem de Amit ve ark. tarafından geliştirilmiştir [175].

2.3.2.2. Texture

İnsan yüzü, kendini diğer objelerden ayıran belirgin bir yapıya sahiptir. Texture denilen bu özelliği yüz tanımada kullanan çalışmalar bulunmaktadır [176]. Texture bilgisinin resim parçalarının ikinci derece istatistiksel özellikleri (SGLD) kullanılarak hesaplayan çalışmalar [177] ve bu SGLD yapılarını yüz yeri tespitinde kullanan çalışmalar da mevcuttur [178]. Yüz tanımada texture kullanılırken saç, ten ve diğer şekilde tanımlanan 3 tip özellik üzerinde durulmaktadır. Bir resimde yüzün varlığı sonucunun çıkarılması için ten ve saç yapılarının resimde var olması gerektiği gerçeğinden hareketle bu özelliklerin danışmanlı sınıflandırılmaları için çeşitli YSA tiplerinden faydalanılmış [179] ve farklı texture sınıflarının kümelenmesinin sağlanması için Kohonen'in SOM özellik haritalama yöntemi [180] de kullanılmıştır.

2.3.2.3. Ten Rengi

Yüz tanımadan el izlemeye kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı bulan bir özellik olan ten rengi modeli kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır [141, 147, 181, 182]. Konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde ten renginin ifadesinde çeşitli alt uzayların kullanıldığı görülmektedir. Bunlar RGB [183-185], Normalize RGB [153, 182, 186-193], HSV (veya HSI) [194-197], YCrCb [198, 199], YIQ [178, 200], YES [201], CIE XYZ [202] ve CIE LUV [203] şeklinde sıralanabilmektedir. Parametrik olmayan metotların tersine ten renginin modellenmesinde Gaussian yoğunluk fonksiyonunun

kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [191, 203, 204]. Ayrıca çeşitli etnik gruplardan olan kişilerin ten renklerinin histogramlarının düzgün bir dağılım göstermemesi Gaussian yoğunluk fonksiyonlarının çeşitli karışımlarının [183, 184, 205] kullanılmasını gerekli kılmış ve bu yöntemlerdeki parametreler de genellikle en yakın komşuluk gibi teknikler yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır [191, 203, 204]. Eğer ten rengi modeli değişik aydınlatma şartlarında düzgün çalışacak şekilde adapte edilmişse, yüz alanlarının ve yüze ait özelliklerin belirlenmesinde renk bilgisi oldukça önemli bir araçtır. Buna rağmen ışık kaynağının değiştiği durumlarda ten rengi modelleri gibi metotlar düzgün çalışmamaktadır. Hem arka alan hem de ön alan aydınlatmasının değiştiği durumlarda görünümdeki renk bilgisi genellikle değişken olmaktadır. Rengin sabitlenmesi problemi genellikle fizik temelli metotlar yardımıyla [206] modellenmeye çalışılmış ve değişen aydınlatma şartlarına rağmen ten renginin sabit kalmasını sağlayacak birçok yaklaşım sunulmuştur. Mckenna ve ark. tarafından adaptif renk karışımı diye adlandırılan bir model geliştirilmiş ve değişen aydınlatma şartlarında düzgün çalışan bir algoritma sunulmuştur [207]. Bu metotta ten renginin sabitliği temeline dayanan yaklaşımların yerine objelerin renk dağılımını çevrim içi olarak tahmin eden bir model sunulmuştur. Bu stokastik model görünüm ve aydınlatma şartlarına göre kendini adapte etmekte ve yenilenmektedir. Ancak bu yöntem bir resimdeki birden fazla yüzü bulamamaktadır. Sonuç olarak, ten rengi resimlerdeki yüzlerin bulunmasında tek başına yeterli olamamakta, çeşitli metotların kombinasyonu şeklinde kullanıldığında çözüme ancak çalışma zamanını kısaltıp güvenilirliği arttırmak yönünde destek olabilmektedir. Son zamanlarda yüz tanıma, yüzün takibi gibi amaçlar için şekil analizi, renk bölümleme, hareket bilgisi bilgilerinin birleştirilerek sunulduğu kombin çözümler kullanılmaktadır [181, 182, 203, 207].

2.3.2.4. Çoğul Özellikler

Yüz tanıma için önerilen yöntemlerin çoğu, ten rengi boyut ve şekil gibi global özellikler yardımıyla aday yüzlerin bulunması, daha sonra elde edilen aday yüzlerden kaşlar, gözler, burun, ağız gibi detay bilgiler yardımıyla yüzlerin doğrulanması şeklinde çalışmaktadır [176]. Yachida ve arkadaşları CIE XYZ renk uzayında yüz ve saç renklerinin dağılımını tanımlamak için iki bulanık model kullanarak renkli resimlerde yüzün tespitine yönelik bir yaklaşım sunmuşlardır [177, 178, 202]. Resimlerde

bulunabilecek yüz görünümlerinin tarifinde 1 önden 4 yandan olmak üzere 5 adet baş şeklindeki modelin kullanıldığı yaklaşımda her modele karesel alandaki tenin tüm bölgeye oranı ve karesel bölgedeki saçın tüm bölgeye oranı olmak üzere 2 özellik yüklenmiştir. Test resminde her bir piksel model dağılımları göz önünde bulundurularak saç, yüz, saç/yüz ve saç/arka plan olmak üzere 4 sınıfa ayrılmaktadır. Daha sonra bu test resminden elde edilen yüze benzeyen ve saçla benzeyen alanlar, baş şeklindeki modellerle karşılaştırılmakta, eğer ilgili karşılaştırma sonucu benzerlik oranı yüksek çıkarsa test resmindeki alan yüz adayı olarak işaretlenmektedir. Daha sonra yatay kenarlar yardımıyla elde edilen kaşlar-gözler, burun-ağız arası gibi yerel özellikler yardımıyla bu aday bölgelerden yalancı yüzler elimine edilmektedir. Şekil ve renk bilgisi kullanılarak yüz ve yüze ait özelliklerin bulunmasına yönelik bir algoritma Sobottka ve Pitas tarafından sunulmuştur [196]. Yüze benzeyen alanların elde edilmesi için HSV renk uzayında renk bölümlleme işlemi gerçekleştirilmekte, düşük çözünürlükte bu alanlar birleştirilmekte ve geometrik momentler yardımıyla birleştirilmiş alanlara uygun bir elips uydurulmaya çalışılmaktadır. Bu eliptik yapıya uyan alanlar yüz adayları olarak kaydedilip gözler ve ağız yardımıyla gerçek yüzler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Literatürde yüz desenlerindeki simetrisinin kullanıldığı yüz tanıma uygulamaları da mevcuttur [192, 201]. Bu yöntemlerde genellikle resmin iyileştirilmesinin ardından yoğunluk fonksiyonu yardımıyla ten ve ten değil sınıflandırılması yapılmaktadır. İşlemlerin YES renk uzayında gerçekleştirildiği çalışmalarda ten rengi alanlarının benzerliğinin hesaplanmasında eliptik bir yüz şablonu kullanılarak Hausdorf mesafesi bulunmakta ve kullanılmaktadır [208]. Yüz ve gözlerdeki simetrisinin avantajından faydalanmak üzere çeşitli maliyet fonksiyonları yardımıyla gözlerin ortasına konumlanılmakta, burnun ucu ve dudakların ortası da gözlerin merkezi olan bu nokta yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu yöntemin yalnızca önden çekilen resimler için uygun olduğu ve iki gözün de resimde gözüktüğü durumlarda kullanılabilmesi açıktır. Renk ve yerel simetriden faydalanılarak yüz tanıma yapılan başka çalışmalar da mevcuttur [192]. Yüzün yapısı, rengi ve geometrisine dayalı bir yaklaşımda [203] öncelikle resimdeki homojen alanların bulunması için çok ölçekli bölümlleme [209] gerçekleştirilmekte, Gaussian ten rengi modeli kullanılarak ten rengi tonundaki alanlar tespit edilmekte ve elipsler yardımıyla gruplandırılmaktadır. Bu elipsler içinde yapılan incelemeler sonucunda detaylar aranmaktadır. Bulunan detaylar yüzün varlığına veya bulunan bölgenin yalancı yüz

bölgesi olduğuna işaret etmektedir. Yüz tanıma için renk ve sınır bilgisinin kullanıldığı diğer bir yaklaşımda ise [191] Disparity haritası hesaplanarak objeler arka plandan ayrılmaktadır. Arka plan pikselleri aynı derinliğe sahiptir ve öndeki objelerdeki piksellerden sayıca fazladır kabulüyle işlem yapan yaklaşımda normalize RGB renk uzayında Gaussian dağılımı yardımıyla ten rengine yakın bölümlenmiş alanlar yüzler olarak sınıflandırılmaktadır. Buna benzer bir yaklaşım Darrel ve ark. tarafından sunulmuştur [154].

2.3.3. Şablon karşılaştırmaya dayalı metotlar

Bir yüze veya yüzün parçalarına ait çeşitli standart şablonlardan çok sayıda depolayıp karşılaştırma mantığına dayanan şablon karşılaştırma yönteminde giriş resmiyle kayıtlı şablonlar arasındaki korelasyona bakılarak yüz tanıma yapılmaya çalışılmaktadır. Şablon karşılaştırmanın en basit ve temel hali, renk değerlerinin bir dizisi olarak temsil edilen bir resmin uygun bir metrik değer (genelde Öklit uzaklığıdır) kullanılarak tüm yüze karşılık gelen tek bir şablon ile karşılaştırılması şeklinde tarif edilebilmektedir. Daha karmaşık metotlarda yüzün farklı yönlerdeki resimleri de dikkate alınarak her bir yüz için birkaç tane şablon kullanılabilir. Bu metotta yüz tanıma işleminin resmin pozisyonundan, ölçeğinden ve yüzün resim düzlemindeki rotasyonundan bağımsız olması gerektiğinden öncelikle resmin normalize edilmesi gerekmektedir. Şablonlar yukarıda bahsedildiği şekilde tüm yüzler için olabileceği gibi tek tek yüz parçaları için de tanımlanabilmektedir. Yüz parçaları için şablon tanımlama metodunda veritabanındaki tüm kişiler için gözler, burun, ağız vb. yüz parçaları kendilerini temsil eden şablon maskeleri ile ilişkilendirilmektedir. Bir test resmi verildiğinde yüz parçalarına ait test şablonları veritabanındaki ilgili yüz parçalarına ait tüm şablonlarla karşılaştırılmakta ve benzerlik değerlerine göre sınıflandırma yapılmaktadır.

Şablon karşılaştırma yönteminde genellikle önden çekilmiş standart bir yüz deseni ya bir fonksiyonla tanımlanmakta ya da parametrelerle ifade edilmektedir. Verilen bir giriş resminin, ağız, gözler, burun ve yüzün dış hatları gibi bölgelerinde standart desenlerle korelasyonuna bakılmakta ve korelasyon sonucuna bağlı olarak ilgili bölgede yüzün varlığı veya yokluğuna karar verilmektedir. Bu yaklaşım, kolay uygulanabilir olmasına rağmen, ölçekleme, poz ve şekil farklılıklarına adapte olamadığı için yüz tanıma uygulamaları için tek başına yetersiz kalmaktadır [141]. Yüksek çözünürlük, yüksek

ölçeklilik, alt şablonlar ve şekil değiştiren şablonlar gibi bir takım iyileştirmelerle bu yöntemin şekil ve ölçek ile ilgili sorunları giderilmeye çalışılmıştır.

2.3.3.1. Önceden Tanımlanmış Şablonlar

Literatürde bu yöntemin kullanıldığı ilk çalışmalardan biri [210] fotoğraflarda önden çekilmiş yüzlerin tespitine yöneliktir. Bu çalışmada yüzün modellenmesi için ağız, gözler, burun ve yüzün dış hatları için çeşitli çizgi parçaları ile ifade edilen şablonlar kullanılmıştır. Giriş resminin çizgileri en büyük gradyent değişimi yardımıyla bulunmakta ve şablonlarla karşılaştırılmaktadır. Resmin alt parçaları ve alt şablonlar arasındaki korelasyon yardımıyla yüz adayları bulunmakta ve bu aday alanlar içerisinde yüzün varlığı detaylı olarak sorgulanmaktadır. Daha önceki yüz tanıma yaklaşımlarına benzer şekilde şablon karşılaştırma yönteminde de ilk adımda odaklanılacak bölge belirlenmekte, daha sonra o bölgede yüzün varlığı detaylı olarak sorgulanmaktadır. Önden çekilmiş resimler üzerinde yüzlerin bulunması için şablonların kullanıldığı diğer bir yöntem Crow ve arkadaşları tarafından sunulmuştur [211]. Öncelikle Sobel filtre yardımıyla kenarlar bulunmakta ve çeşitli kısıtlamalarla oluşturulan yüz şablonlarının aranması için bu kenarlar gruplandırılmaktadır. Sonra baş dış hat şablonu kullanılarak aday yüzler belirlenmekte ve yüzün doğrulanması yapılmaktadır. Aynı işlem değişik ölçeklerde tekrarlanmaktadır. Yüz özelliklerinin aranmasına yönelik 40 farklı şablonun kullanılması şeklinde bir yöntem yine aynı yazarlar tarafından sunulmuştur [146]. İkili şablonlar kullanılarak oluşturulan ikili yüz sınır haritası temelli bir şablon karşılaştırma yöntemi Song ve ark. tarafından sunulmuştur [212]. Govindaraju ve ark. tarafından tanıtılan yaklaşımlarda [213-215] ise yüz yeri tespitine yönelik iki aşamalı bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışmalarda önden çekilmiş bir yüzün sağ ve solundaki kavisleri ve saç bitimini ifade eden özellikler yardımıyla yüz modeli oluşturulmaktadır. Kenar çıkarım işlemi için Marr-Hildreth kenar bulma operatörünün kullanıldığı yöntemde yüzün parçası olamayacak objeler bir filtre yardımıyla kaldırılmıştır. Parçalanmış dış hatlar uygun yön ve yakınlık derecelerine göre birleştirilmekte, yan kavisler geometrik özellikler ve ilişkili pozisyonlar yardımıyla etiketlenmektedir. Aynı yüzden gelen uygun kavis çiftleri birleştirilmekte, bir kenar oluşturan özellik çiftleri oranı altın oran denilen bir oranla ve kenara tahsis edilen bir maliyet fonksiyonu ile karşılaştırılmaktadır. Eğer bu üç özelliğin (kavisin) maliyeti çok düşükse bu üçlü grup HİPOTEZ olarak

adlandırılmaktadır. Bir gazetede ki yüzler arandığında resimdeki kişi sayısını işaret eden yardımcı bilgi de aslında bir hipotezdir [214]. Sunulan algoritmanın düzgün çalışabilmesi için yüzler dikey pozisyonda, hiç bir tarafı kapanmamış ve önden çekilmiş olmalıdır. Aynı yaklaşım Venkatraman ve Govindaraju tarafından sınırların wavelet domeninde bulunması şeklinde geliştirilerek iyileştirilmiştir [216].

Tsukamoto ve ark. yüz tanıma için nitel bir yöntem (QMF) geliştirmişlerdir [217, 218]. Bu yöntemde her örnek resim bloklara ayrılmakta ve her bir bloğun nitel özellikleri tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bir yüz deseni ışısız ve kenarsız olarak iki özellik ile parametrik olarak ifade edilmektedir. Bu parametreler bloklanmış şablon giriş resminin her pozisyonunda hesaplanmakta ve daha önce belirlenen “yüz-değil” ölçütünün üzerindeki alanlar yüz, diğer alanlar yüz değil şeklinde sınıflandırılmaktadır. Yüzlerin yerleri ve yönlerinin hesaplanmasında silüetlerin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [219]. Bu çalışmalarda örnek resimler üzerinde PCA kullanılarak bit dizileri şeklinde ifade edilen temel yüz silüetleri elde edilmekte, bu öz yüzler genelleştirilmiş Hough dönüşümü yardımıyla yüz yeri tespitinde kullanılmaktadır. Yüze ait bileşenler için çoklu şablon temeline dayalı bir lokalizasyon metodunda ise [220] yüze ait özelliklerin varlığı ile ilgili olarak özellik bulucular, güven faktörlerini hesaplamakta ve bu güven faktörlerinin kombinasyonu algoritmayı yüzün varlığı ile ilgili sonuçlara götürmektedir. Sinha [221, 222] yüz desenini tanımlamak için resmin uzaysal düzlemdeki küçük bir sabitler setini kullanmaktadır. Sinha aydınlatma şartlarındaki değişikliğin, kişilerin yüzlerindeki alın, yanaklar, gözler gibi değişik parçaların parlaklıklarını değiştirdiğini, ancak bunlar arasındaki ilişkisel parlaklığın çoğunlukla sabit kaldığını savunmuş ve sabitleri tanımlarken bunu göz önünde bulundurmıştır. Sinha çalışmalarında, bu bölgelerin birbirlerine göre parlaklık oranlarının ve bir alanın diğerinden koyu mu, parlak mı şeklinde hesaplanabilen bu oranların yönlerinin bulunarak bu sabitlerin güvenle kullanılabilceğini göstermiştir. Yüzün parçaları arasındaki parlaklık kısıtlamaları, aralarında daha açık renkli-daha koyu renkli ilişkisi bulunan uygun iki alt alan çifti bulunması şeklindedir. Eğer bir resim tüm daha açık-daha koyu kısıtlamalarını sağlıyorsa orada bir yüz vardır sonucu ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde yerel komşuluklar arasındaki renk farkının kullanılması fikri dalgacık temelli bir temsile uzanarak yayaların, arabaların ve yüzlerin tespitinde de kullanılmıştır [223]. Ayrıca, Sinha'nın önerdiği bu yöntem geliştirilerek aktif robot görme sistemlerinde yüz yeri

tespitinde de kullanılmıştır [224, 225]. Yüz tanımaya yönelik hiyerarşik bir şablon karşılaştırma metodu Miao ve ark. tarafından sunulmuştur [226]. Giriş resminin [-20 +20] dereceleri arasında 5'er derecelik açılarla döndürülmesiyle dönmüş yüzler elde edilmekte, böylece çok çözünürlüklü resim hiyerarşisi oluşturulmakta ve Laplacian operatör ile kenarlar elde edilmektedir. Yüz şablonu, kaşlar, gözler, burun ve ağız olmak üzere yüze ait 6 bileşenden oluşmaktadır. Yüzün varlığının sorgulanmasında sezgisel tekniklerin kullanıldığı bu yöntem önden ve döndürülmüş resimlerde oldukça başarılı olmakla birlikte birden fazla yüz içeren resimlerde iyi sonuç vermemektedir.

2.3.3.2 Şekil Değiştirebilen Şablonlar

Şablonlar, olası yüz şekli ve yüzün özellik noktaları hakkında ön bilgi sağlayan yapılardır. Şekil değiştiren şablonlar yönteminde göz, burun ağız gibi yüze ait ilgilenilen bir özellik noktası parametrik şekilde ifade edilen bir şablon olarak tanımlanmaktadır. Şekil değiştiren şablonlar, boyutlarının ve özelliklerinin ifade edildiği parametrelerinin değişebilmesi konusunda esneklerdir. Bu yöntemde genellikle resimlerdeki ayırt edici noktalar olan kenarları, tepe ve vadi noktalarını birleştiren şablonların özelliklerini ifade eden bir enerji fonksiyonu tanımlanmaktadır. Böylece enerji fonksiyonunu minimize eden parametre değerlerinin belirlenmesi ile şablon, resimle birlikte dinamik olarak değişime uğramakta ve en iyi şekli buluncaya kadar şekil değiştirmektedir. En son bulunan değerler özellik için tanımlayıcı olarak kullanılmakta, bu sayede resmin ölçeğindeki, eğimindeki değişimlere ve baş ile ışık açısındaki dönmelere rağmen şablon parametrelerinin değişimi ile şablon özellik noktalarına uyum sağlamaktadır. Yuille ve arkadaşları yüze ait özellikleri esnek modellerle ifade ederek şekil değiştiren şablonları kullanmışlardır [227]. Bu yaklaşımda, yüze ait özellikler parametrik olarak ifade edilmiş şablonlar olarak tanımlanmakta, giriş resmindeki kenarların, sivri uçların ve aradaki boşlukların birleştirilmesi için bir enerji fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu yöntemin performansının katı olmayan özelliklerin takibinde iyi olduğu rapor edilse de bu metodun başarılı sonuçlar üretebilmesi için şekil değiştiren şablonların ilgilenilen objenin yakınlığında başlangıç durumuna getirilmeleri gerektiği açıktır.

Şablon temelli bazı yöntemlerde [228] Snake yapıları ve şablonlar birlikte [229, 230] kullanılmıştır. Bu yöntemlerde resim öncelikle bulanıklaştırıcı filtre ile konvolüsyona

tabi tutulmakta, sonra kenarların iyileştirilmesi için bir morfolojik operatör kullanılmakta ve modifiye edilmiş n-piksellik bir snake yapısı ile küçük kavis yapıları bulunup elimine edilmektedir. Her yüzün bir elips ile ifade edilebileceği gerçeğinden hareketle temizlenmiş resimdeki en baskın elips, Hough dönüşümü yardımıyla bulunmakta, bu elipsi tarif eden 4 parametre seti yüz adaylarını işaret etmektedir. Her yüz adayı için şekil değiştirebilen şablonlar metoduna [227] benzeyen bir metotla detay özelliklere ulaşılarak ilgili bölgede yüz bilgisinin varlığı sorgulanmaktadır. Lam ve Yan başın sınırlarının belirlenmesinde snake yapısını kullanmışlardır [144]. Lanitis ve arkadaşları da şekil ve renk bilgisini kullanarak yüz tanıma yapmışlardır [231]. Yüz resimlerinde yüze ait burun, göz sınırları, çene, yanak gibi özelliklerin elle işaretlenip dış hatlarının örneklenmesiyle eğitim resimleri seti oluşturulmakta ve bu örnek noktaların vektörü yüz şeklini temsil etmektedir. Kişi gruplarının vektör şekillerini karakterize etmek için nokta dağılım modeli (PDM) kullanılmaktadır. Kirby ve Sirovich tarafından önerilen benzer bir modelde ise [232] yüz şeklindeki PDM, yeni resimlerdeki yüzlere konumlanmak için kullanılabilen, aktif şekil modeli (active shape model: ASM) sayesinde yüzün yer, yön bilgisi ve şekil parametreleri hakkında da tahminlerde bulunulabilmektedir. Resimdeki yüzlere konumlanmak için diğer bir yaklaşım Cootes ve Taylor tarafından gerçekleştirilmiştir [233]. Öncelikle ilgilenilen özelliklerin örneklerini içeren resim parçaları üçgensel olarak tanımlanmış ve bu eğitim özelliklerinin uygunlaştırılması ve dağılım fonksiyonunun bulunması için faktör analizi kullanılmıştır [234]. Olasılıksal ölçüm eşik değerinin üstündeyse ilgili bölge aday yüz olarak işaretlenmekte, daha sonra bulunan aday yüzler ASM ile doğrulanmaktadır. ASM ile gerçekleştirilen bu yöntem daha sonra sisteme iki Kalman filtre eklenmesi şeklinde geliştirilmiş ve yüz takibinde (face tracking) kullanılmıştır [155].

2.3.4. Görünüm Temelli Metotlar

Görünüm temelli metotlarda da şablon karşılaştırma yöntemindeki gibi şablonlar veya modeller kullanılmakta ancak şablonların uzmanlarca tanımlandığı şablon karşılaştırma metotlarının aksine bu yöntemlerde şablonlar örneklerden öğrenilmektedir. Genelde görünüm tabanlı metotlar yüz içeren veya içermeyen resimlerin karakteristiklerini istatistiksel analiz ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmak üzerine kurulmuştur. Öğrenilen karakteristikler, dağılım formunda veya yüz tanıma için kullanılan

diskriminant fonksiyonu şeklindedir. Resim desenlerinin alt boyut uzayına izdüşümü alınmakta, sonra sınıflandırma için bir diskriminant fonksiyonu kullanılmaktadır. Hesaplamaları hızlandırmak ve tanıma verimliliğini arttırmak için boyutsal küçültme işlemleri kullanılmaktadır. Genellikle mesafe veya metrikler tabanlı veya YSA yapısı kullanılarak doğrusal olmayan bir karar yüzeyi oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Son zamanlarda karar destek vektörleri ve diğer bazı çekirdek metotlarını temel alan yapılar da önerilmiştir. Bu metotların uygulanması yüz desenlerinin daha yüksek boyuttaki uzaylara taşınması ve sonra yüz ve yüz olmayan desenler arasında karar yüzeyinin oluşturulması şeklindedir [141]. Görünüm tabanlı metotlar gösterdikleri yüksek performans sayesinde son yıllarda oldukça revaçta olan yöntemlerdir. Yüz tanıma alanında çok önemli yerlere sahip olan bu metotlar ve bunları kullanan çalışmalar Tablo 2.8'de özetlenmiştir. Tablo oluşturulurken [141] referans numaralı kaynakta verilen sınıflandırma yaklaşımı göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 2.8. Görünüm tabanlı metotlar ve bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar.

Özyüz Yöntemi (Eigenfaces)	Kirby ve Sirovich [232] Karhunen [235] Fukunaga (statistical pattern recognition) [236] Loeve [237] Jolliffe [238] Gonzales (Hotelling Transform) [239] Pearson [240] Hotelling [241] Turk ve Pentland [148]
Dağılım tabanlı metotlar (Distribution based Methods)	PCA: Gottumukkal ve Asari [242] Sung ve Poggio [243, 244] Osuna ve ark. [245] Rowley ve ark. [246] Tan ve Chen [247] Moghaddam ve Pentland [145] Kervrann ve ark. [248] Yang ve ark. [249] Duda ve ark. [250-251] Bishop [252] Belhumeur [253] Ghahramani ve ark. [254] Frey ve ark. [255] Hinton ve ark. [256] FLD: Donato ve ark. [156] Yang ve ark. [249] LDA: Sweets ve ark. [259]

	Zhao ve ark. [260] Martinez [277] DCV: Cevikalp ve ark. [12,257] He ve ark. [258]
YSA (Artificial Neural Networks)	Agui [261] Juel ve ark. [262] Propp ve Samal [263] Soulie ve ark. [264] Vaillant [265] Burel ve Carel [266] Feraud ve Bernier [267-269] Kramer [270] Collobert ve ark. [271] Bernier ve ark. [272] Lin ve ark. [273] Sung ve Poggio [244] Rowley ve ark. [174, 246, 274, 275, 278] Valentin ve ark. [276] Sung [243] Waibel ve ark. [279]
Karar destek makineleri (Support Vector Machines: SVM)	Osuna ve ark. [245] Sung ve Poggio [280] Oren ve ark. [281-282] Guo ve ark. [283]
SNoW (Sparse Network of Winnows)	Carleson ve ark. [284] Yang ve ark. [285]
NBC (Naive Bayes Classifiers)	Schneiderman ve Kanade [286, 287] Rickert ve ark. [288]
Gizli Markov Modelleri (Hidden Markov Models: HMM)	Samaria [289] Samaria ve Young [290] Nefian ve Hayes [291] Rajagopalan [292]
Bilgi-Teorik yaklaşım (Information Theoretical Approach)	Lew [293] Colmenarez [294] Pentland ve ark. [295] Colmenarez ve Huang [294] Qian ve Huang [296]
Tümevarım Yöntemiyle Öğrenme (Inductive Learning)	Huang ve ark. [297] Duta ve Jain [298]

Tablo 2.8’de yüz tanıma konusunda yapılan görünüm temelli çalışmalar kullandıkları metotlar baz alınarak sınıflandırılmış olsa da metotları ya da çalışmaları keskin sınırlarla birbirinden ayırmak bazen mümkün olamamaktadır. Çünkü bazı çalışmalar birden fazla sınıfa dahil olabilecek özelliklere sahip olabilmektedir. Örneğin, şablon karşılaştırma yönteminde şablonların oluşturulmasında insanların sahip oldukları bilgiler kullanılmaktadır. Bu durumda çalışma hem şablon karşılaştırma temelli yöntemlere hem de özbilgi temelli yöntemlere dahil edilebilecek özellikleri taşımaktadır. Dolayısıyla konuyla ilgili gerçekleştirilmiş çalışmaların kullandıkları yöntemlerin sınırlarını keskin bir şekilde belirlemek oldukça güç olmaktadır. Bu şekilde birden fazla gruba girebilecek

çalışmalara pek çok örnek verilebilmektedir [210-213, 221, 227]. Ayrıca, yukarıda verilen sınıflandırmanın farklı bakış açılarıyla başka formlarda şekillenmesi de mümkündür. Örneğin yüze ait yerel özelliklerin işlendiği çalışmalar [163, 286, 288] ve yüzün tamamının hesaba katılarak yüz tanıma işleminin gerçekleştirildiği çalışmalar [244, 246] olmak üzere iki ana sınıf üzerinde durulabilirdi. Bu tez çalışmasında yüz tanıma literatüründe sunulan çalışmalar [141] numaralı kaynakta sınıflandırıldığı şekilde incelenmiştir.

Görünüm tabanlı metotların performanslarının karşılaştırılmasına yönelik bir araştırma yine [141] numaralı kaynakta yapılmış ve sonuçlar Tablo 2.9'da sunulmuştur. Metotlar 2 farklı veritabanı kullanılarak analiz edilmiştir. İlk veritabanı 483 yüzün bulunduğu 125 resimden, ikinci veritabanı 136 yüzün bulunduğu 23 resimden oluşmaktadır. Veritabanları ile ilgili detaylı bilgi ilgili kaynakta verilmektedir.

Tablo 2.9. Görünüm tabanlı metotların performans analizleri [141].

Yöntem	Veritabanı_I		Veritabanı_II	
	Tanıma oranı	Yanlış tanıma	Tanıma oranı	Yanlış tanıma
Dağılım tabanlı [244]	N/A	N/A	81.9%	13
YSA [246]	92.5%	862	90.3%	42
NBS [286]	93.0%	88	91.2%	12
Bilgi-Teorik yaklaşım [294]	98.0%	12758	N/A	N/A
SVM [245]	N/A	N/A	74.2%	20
Faktör analizi [249]	92.3%	82	89.4%	3
FLD [249]	93.6%	74	91.5%	1
İlkel özellikli SNoW [285]	94.2%	84	93.6%	3
Çok ölçekli özellikli SNoW [285]	94.8%	78	94.1%	3
Tümevarım Yöntemiyle Öğrenme [298]	90%	N/A	N/A	N/A

Yüz tanımda görünüm temelli yöntemlerin kullanılmasında özellik bulma, en kritik adımlardandır. Özellik bulmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en tanınmış yöntemler PCA, FLD, SVD, ICA, HMM, SVM, YSA, ve DCV temelli yöntemlerdir. Bu yöntemler tez kapsamında incelenmiş ancak yüze ait elde edilen özellik vektörlerinden tekrar yüzün yüksek doğruluklarla elde edilememesi nedeniyle sunulan tez kapsamında kullanılmamıştır. Özellikle bu yöntemler arasında

gerek performansı gerekse hızı ve teknolojisi itibariyle en önde gelen yöntemlerden olan DCV temelli yöntemler derinlemesine incelenmiş ancak özellik vektöründen yüze geri dönüşüm sağlayamadığından tezde kullanımı mümkün olmamıştır. Bu yöntemlerin detaylı olarak anlatıldığı, yönteme ait her türlü bilginin ve tekniğin tüm ayrıntılarıyla verildiği çeşitli kaynaklar mevcuttur [12, 299, 300].

Sunulan tez çalışması YSA temelli olduğu için YSA ile yapılan yüz tanıma çalışmalarına kısaca değinmenin uygun olacağı görüşüyle literatürde YSA ile gerçekleştirilen çalışmalar burada kısaca özetlenmiştir. YSA temelli çalışmalar incelendiğinde veritabanındaki her sınıfa ait bir YSA yapısının tasarlandığı çalışmaların mevcut olduğu görülmektedir [301, 302]. Huang ve ark. bu şekilde ağ topluluğu kullanarak yüzün duruşundan bağımsız çalışan bir metot sunmuşlardır [303]. Ağ toplulukları kullanmanın tek bir ağdan elde edilen sonuçlara göre daha doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Cottrell ve Flemming birlikte çalışan iki MLP kullanarak yüz tanıma işlemini gerçekleştirmişlerdir [304]. İlgili çalışmada ilk MLP otomatik ilişkilendirme modunda çalışmakta ve sınıflandırma modunda çalışan ikinci MLP için özellik çıkarımı işlevini üstlenmektedir. Bu yolla gizli katman çıkışı giriş resminin sıkıştırılmış halini teşkil etmekte ve sınıflandırma ağının girişi olarak kullanılabilir. Bu yaklaşımın özyüz yaklaşımından daha iyi sonuç vermediği rapor edilmektedir. Yüz tanıma için oluşturulan ağların belki en başarılılarından biri Lawrence ve ark. tarafından önerilmiştir. Bu yaklaşımda bölgesel resim örnekleme, SOM (self organising map) ve sarmal bir sinir ağı bir arada kullanılmıştır [305, 306]. Howell ve Buxton yüz tanımda RBF ağlarını kullanan 5 farklı çalışma yapmışlardır [307-311]. Bu çalışmalarda ağ girişi olarak Gaussian farkları veya Gabor dalgacıklarını kullanmışlardır. Farklı ölçek ve yönelimlerdeki resimlerin tanınmasına da imkan sağlayarak en iyi tanıma sonuçları Gabor dalgacıklarının kullanılması durumunda elde edilmiştir. RBF ağının giriş sayısının indirgenmesi için de bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Er ve ark. [312, 313] ve Feitosa, PCA ve LDA yöntemlerini kullanarak boyutu indirgemiş ve elde ettikleri özvektörleri RBF ağına giriş olarak veren çalışmalar yapmışlardır [314]. Huang ve ark. ICA metoduyla RBF ağlarını bir arada kullanmışlar ve sonuçta bu yaklaşımın RBF'nin eğitim zamanı ve genelleme özelliği açısından daha iyi olduğunu göstermişlerdir [315]. Gutta ve Wechsler ise RBF'nin FERET gibi büyük veri tabanları ile çalışırken gösterdiği performansı raporlamışlardır [316]. Hjelmås ve

Wroldsen boyut indirgeme ve özellik çıkarımı için PCA ve sınıflandırma için MLP kullanan bir yüz tanıma sistemi geliştirmişlerdir [317]. 200 yüz resmi içeren bir test kümesi kullandıklarında sınıflandırmada % 90 oranında doğru sonuç elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Sonuç olarak YSA ile yapılan yüz tanıma uygulamaları üzerine olan literatür çalışmalarında genellikle iyi bulgular raporlanmıştır ancak sonuçlar incelendiğinde genellikle az sayıda sınıfla olan bulguların verildiği görülmektedir. Yani veritabanları oldukça küçüktür, resimler de manüel olarak hazırlanmaktadır. Ayrıca resimlerde ışık değişimleri, yönelim ve dönme gibi etkiler hesaba katılmamıştır. Özetle, YSA temelli yaklaşımlar pikseller arası komşuluk ilişkilerini korumakta, yüz doğru olarak normalize edilmişse gürültüye ve örtme etkisine, aydınlatmaya, ölçeklemeye, yönelim ve kaymaya karşı sağlamdırlar. Ancak hatalı normalizasyona, aydınlatma ve yüz ifadelerindeki değişime, perspektife, bakış açısına ve baş yönelimine karşı duyarlı oldukları bilinmektedir [299].

2.3.5. Karma sistemler

Literatürde yüz tanıma için gerçekleştirilen çalışmaların bazılarında birden fazla yaklaşımın birleştirilerek kullanıldığı çalışmalara da rastlanmaktadır. Bunun nedeni yüz tanıma için geliştirilmiş yaklaşımların hemen hepsinin sahip olduğu bazı kusur veya zayıf noktalar. Yüz tanıma sistemlerinde bu yaklaşımların seri veya paralel olarak birlikte kullanılmasıyla, sistemin, bu yaklaşımların sahip olduğu zayıflıklardan hiç etkilenmemesi veya bu etkinin en aza indirgenmesi hedeflenmektedir. Algoritmaların kusurlarını ortadan kaldırmak için farklı tanıma yaklaşımlarının bir araya getirildiği karma sistemlerin yüz tanıma teknolojisinde oldukça önemli bir yeri vardır. Farklı sensörlerin veya algoritmaların kusurlarını kapatmak ve eksik yönlerini gidermek amacıyla gerçekleştirilen paralel birleştirmede birbirinden bağımsız çalışan farklı sistemlerin sonuçları uygun şekillerde birleştirilmektedir. Paralel karma yaklaşımda tanıma süreci sistem sonuçlarının uygun şekillerde yorumlanarak veya gerekirse sonuçların ağırlıklandırılarak birleştirilmesi olarak gerçekleştirilebilmektedir. Seri yaklaşımlarda ise bir sınıflandırıcı ya da algoritmanın çıkışı diğer bir sisteme giriş olarak verilmekte böylece birbirlerinin zayıf yönlerini kapatabilecek özelliklere sahip sistemler elde edilmektedir. Seri karma yaklaşımda tanıma süreci ilk sistemin en çok

uyan adayları belirlediği, ikincisinin de bu adaylar arasında daha detaylı araştırma yaptığı ve bir sonuç ürettiği bir artırım süreci olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Gordon 1995 yılında şablon temelli önden ve yandan yüz tanıma yaklaşımlarını birleştirerek kullanmıştır [318]. Bu yaklaşımda yüz tanıma beş adet yüz şablonunun karşılaştırılarak değerlendirilmesi sonucu yapılmaktadır. Normalizasyon yapmak için yüz özellik noktaları çıkarılmakta ve klasik şablon karşılaştırma sürecindeki ön ve yan bölgelerin tanınmasında kullanılan şablon bölgeleri tanımlanmaktadır. Ön görünümde baş sınırları belirlendikten sonra genel göz şablonu, gözbebeği bulma ve insan başı ile ilgili yapısal bilgilerle göz adayları çıkarılmakta, yan görünümünden de benzer şekilde burun ve çenenin uç noktaları belirlenmektedir.

Marcialis ve Roli iki iyi bilinen istatistik teknik olan PCA ve LDA tekniklerini birleştirmeye dayanan bir yüz tanıma sistemi geliştirmişlerdir [319]. İlk adım PCA ve LDA tekniklerine göre yüzü ifade etmektir. Veritabanındaki tüm yüzler için PCA ve LDA uzaklık vektörleri hesaplanmakta, bu iki vektörün bir araya getirilmesiyle sonuca ulaşılmaktadır. Bu birleştirme aşamasında en yakın k komşu ve en yakın ortalama algoritmaları kullanılmaktadır. PCA ve LDA'nın bir arada kullanılmasının sağladığı faydalar ilgili çalışmada detaylı olarak verilmektedir. En yakın k komşu ile birleştirmeden elde edilen performansın en yakın ortalamaya göre elde edilen performanstan daha iyi olduğu öne sürülmektedir. Ancak bu sistemin davranışının anlaşılması için daha çalışılması gerektiği de çalışmada belirtilmektedir.

HMM, PCA ve yan şablonlar olarak üç adet yüz tanıma yöntemini birleştiren paralel karma bir yüz tanıma sistemini 1996 yılında Achermann ve Bunke sunmuştur [320]. Çalışmada, yüz tanımda başarıyla kullanılan HMM ve PCA temelli iki tam sınıflayıcı ve şekil karşılaştırması yapan bir profil sınıflayıcı birleştirilmiştir. Böylece sistem bilgiyi tamamen farklı bilgi kaynaklarından elde etmektedir. Çalışmada yapılan testler sonucunda karma sistemin performansının her bir sistemin kendi başına gösterdiği performanstan daha iyi olduğu belirtilmektedir.

Karma öğrenme yapan seri karma yaklaşıma bir örnek Gutta ve ark. tarafından geliştirilmiştir [302, 316, 321]. Yüz ve el hareketleri tanıma için sunulan sistem radial basis fonksiyonlar topluluğu (ERBF) ile karar ağaçlarını (DT) birleştirmektedir.

Çalışmada iki farklı ERBF yapısı test edilmektedir. İlk ERBF yapısında orijinal resim, Gaussian gürültü ile bozulmuş orijinal resim ve geometrik döndürme ile bozulmuş orijinal resim olmak üzere üç farklı resim kümesinde üç aynı RBF yapısını ayrı ayrı eğitmektedir. İkinci ERBF yapısında ise görüntüler üzerinde aynı RBF yapısı eğitilmektedir. Her iki ağdan elde edilen çıkış sabit özellik ve ayırık değerler kümesi olarak tanımlanan objelerden oluşmaktadır. Bilinen sınıf etiketli objelerin eğitimin toplamına dayalı bu objelerin sınıflandırılması için kurallar türetmede sembolik aşama karar ağaçlarını kullanmaktadır. Sonuçlar ERBF in RBF den daha iyi olduğunu ve karma öğrenmenin sınıflandırma performansını artırdığını ve orijinal ve bozulmuş verinin kombinasyonunun eğitilmesinin (ikinci ERBF) ayrı eğitim verileri ile yapılan eğitime (ilk ERBF) göre daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

Wallhoff ve Rigol ön yüz görünümüleriyle eğitilen sistemin yandan görünümüyle tanınması üzerine çalışmışlardır [322, 323]. Tanıma sistemi bir sinir ağı ve Gizli Markov modellerini birleştirmektedir. Eğitim işlemi YSA'ya önyüzlerin verilip yan yüzlerin öğretilmeye çalışılması şeklinde tanımlanmıştır. Bir ön yüz resmi ağa giriş olarak verilmekte, ağ çıkışı olarak yapay bir yan yüz resmi elde edilmektedir. Sınıflandırma süreci 1B HMM yaklaşımına dayanmaktadır. Baş ve yüzlerin herhangi bir 3B modeli olmadan yüz tanıma işleminin başarıyla gerçekleştirilmesinin hedeflendiği sistem Mugshot veritabanındaki 100 insan üzerinde test edilmiştir. Sistem performansının % 60 oranında olduğu belirtilmektedir. Doğruluk oranının artması için sinir ağında daha fazla eğitim verisi kullanılması gerektiği not edilmektedir.

2.3.6. Otomatik Yüz Tanıma Teknolojisinde Son Gelişmeler

Son 20 yıldır derinlemesine çalışılan yüz tanıma konusu günümüzde hala popülerliğini korumaktadır. Son birkaç yıl içerisinde yüz tanıma ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde sayısı yüzlerle ifade edilebilen çok değerli makalelere rastlanmaktadır. Burada yüzlerce makalenin analizi verilemeyeceğinden araştırmacıların son yıllarda yüz tanıma konusunda hangi alt başlıklarda çalıştığını belirtiyor olması açısından önem arz eden, son iki yıl içerisinde gerçekleştirilmiş bazı önemli çalışmalar Tablo 2.10'da kronolojik olarak özetlenmiştir.

Tablo 2.10. Yüz tanıma alanında son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar ve konuları.

Yazar Adı, Yılı	Konusu
Xiao ve ark. (2004) [324]	Resimlerde yüzlerin yerlerinin bulunmasına yönelik üç adımlı verimli bir algoritma sunulmuştur.
Zanuy ve ark. (2006) [325]	Bu çalışmada, herkesin ulaşabileceği platformlarda olan en önemli çoklu biyometrik veritabanları özetlenmiş ve bunların içerikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.
Ngo, Teoh ve Goh (2006) [326]	Yüz resimlerinden yüze ait özelliklerin daha güvenilir bir şekilde elde edilmesine yönelik bir biyometrik yüz tanıma algoritması sunulmuştur.
Yang ve ark. (2007) [327]	Yüksek boyutlu verilerde boyut indirmek için danışmansız ayırt edici projeksiyon tekniği temelli bir yaklaşım sunulmuş ve bu teknik yüz ve avuç içi biyometrik özelliklerine uygulanmıştır.
Sutcu, Li ve Memon (2007) [328]	Biyometrik özelliklere ait şablonların güvenli bir ortamda depolanmasına yönelik bir yaklaşım yüz verileri üzerinde uygulanarak gösterilmiştir.
Aaraj ve ark.(2007) [329]	Güvenli yüz tanıma temelli bir sistemin gömülü sistemlerde kullanıcıyı kimliklendirmesi temelli yeni bir gömülü işlemci mimarisi sunulmuştur. Sistemde PCA ve LDA yöntemleri kullanılmıştır.
Mohanty, Sarkar ve Kasturi (2007) [330]	Yüz tanıma algoritmasındaki karşılaştırma skorlarından yüz şablonlarının yeniden oluşturulmasına yönelik doğrusal bir yaklaşım sunulmuştur.
Adler ve Schuckers (2007) [331]	İnsan algılaması ile otomatik yüz tanıma sistemlerinin yüz tanıma işlemindeki başarılarının karşılaştırıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.
Fox ve ark. (2007) [332]	Ses, ağız ve yüz biyometrik özelliklerinin otomatik sınıflandırmayla birleştirilmesinin kullanılarak kişilerin kimliklendirildiği güvenilir bir biyometrik sistem sunulmuştur.
Mitra, Savvides ve Brockwell (2007) [333]	Üç farklı yüz tanıma yaklaşımı kullanılarak biyometrik kimliklendirme sistemlerinin performans değerlendirmelerinin rasgele etki modelleri kullanılarak istatistiksel olarak analiz edildiği bir çalışma sunulmuştur.
Yang ve Liu (2007) [334]	Yüz onaylama sistemleri için yatay ve dikey iki boyutlu PCA temelli bir algoritma sunulmuştur.
Golic ve Baltatu (2008) [335]	Yeni yazılım seviyelerinde çoklu, geri alınabilir biyometrik anahtarlar üretmek için 2 farklı yaklaşım biyometrik işaretlerin doğasına uygun şekilde adapte edilerek sunulmuştur.
Faltemier, Bowyer ve Flynn (2008) [336]	3B yüz tanıma için gerçekleştirilmiş

	verimli bir sistem sunulmuştur.
Liu (2008) [337]	Yüz tanıma için korelasyonsuz renk uzayının, bağımsız renk uzayının ve ayırt edici renk uzayının öğrenildiği bir yaklaşım sunulmuştur.
Yang ve Liu (2008) [338]	Temel renkli resim ayırt edici modeller, bu modellerin renkli resim tanıma için kullanılan genel versiyonlarının yüz tanıma yapabilecek şekilde geliştirilmiş algoritmaları üzerinde durulmuştur.
Schmid ve Nicolo (2008) [339]	Global PCA ve ICA kodlama altında biyometrik sistemlerin deneysel tanıma kapasiteleri üzerine gerçekleştirilmiş bir çalışmadır.
Dabbah, Woo ve Dlay (2008) [340]	Yüksek dereceli polinomlar kullanılarak gerçekleştirilmiş güvenli bir yüz tanıma sistemi sunulmuştur.
Mahoor ve Abdel-Mottaleb (2008) [341]	İki ve üç boyutlu yüz tanıma yöntemleri birleştirilerek tam otomatik bir çoklu biyometrik yüz tanıma sistemi gerçekleştirilmiştir.
Zhao ve Yuen (2008) [342]	Yeni bir izdüşümü matrisi eklentisiyle LDA tekniğinin geliştirilerek kullanılmasıyla elde edilen bir yüz tanıma yaklaşımı sunulmuştur.
Yang ve Liu (2008) [343]	Ayırt edici modeller ve algoritmalar yardımıyla renkli resimlerde yüz tanıma yapabilen bir sistem sunulmuştur.
Chien ve Liao (2008) [344]	İki boyutlu desen tanıma için HMM temelli karma bir platform geliştirilmiştir.
Khashman (2008) [345]	Standart BP algoritmasına duysal ağırlıkların da eklenmesiyle elde edilen ve hissedebilen BP adı verilen modifiye bir BP algoritması sunulmuştur.
Geng, Zhou ve Smith-Miles (2008) [346]	Bu çalışmada, kontrol edilemeyen şartlarda yüz tanıma işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesine olanak sağlayacak bir yaklaşım sunulmuştur.
Gokberk ve ark. (2008) [347]	Üç boyutlu yüz tanıma algoritmaları üzerine yapılmış kapsamlı bir çalışma sunulmuştur.
Jiang, Mandal ve Kot (2008) [348]	Yüz tanıma işleminde kullanılan öz özelliklerin bulunması ve düzene konulması üzerine gerçekleştirilmiş bir çalışma sunulmuştur.
Xie ve ark. (2008) [349]	Bu makalede yüz tanımda matris-fark faktör değerlerinin bulunması için faktör analizi modeli temelli bir sistem geliştirilmiştir.
Mohanty ve ark. (2008) [350]	Yüz tanıma algoritmalarına doğrusal alt uzay oluşturmak için bazı teorik yaklaşımların bulunduğu deneysel bir çalışmadır.
Lu ve Jain (2008) [351]	Bu çalışmada rijit olmayan bozulmalar ve poz değişiminin olduğu 2.5 boyutlu yüz resimleri için yüz modelleme ve karşılaştırma şeması sunulmuştur.

Makinen ve Raisamo (2008) [352]	Otomatik olarak bulunup hizalanan yüzler kullanılarak cinsiyet analizinin yapıldığı bir çalışmadır.
Pang, Yuan ve Li (2008) [353]	Yüz tanımlayıcı olarak Gabor temelli kovaryans matrisleri kullanılarak yüz tanımanın yapıldığı bir çalışma sunulmuştur.
Wu ve ark. (2008) [354]	Bu makalede yüzlerin yerlerinin tespitinde hızlı asimetric öğrenme tekniğinin kullanıldığı bir yaklaşım tanıtılmıştır.
Wang ve Ji (2008) [355]	Bu çalışmada genel ve özel modeller birleştirilerek poz ve yüz ifadelerindeki değişimlerden etkilenmeyen sağlam bir yüz takip algoritması geliştirilmiştir.
Jang ve Kim (2008) [356]	Bu makalede evrimsel budama yöntemi kullanılarak Ada-boost algoritmasının zayıf yönleri giderilmiş ve yüz yeri bulmaya yönelik hızlı ve sağlam bir yaklaşım geliştirilmiştir.
Jia ve Gong (2008) [357]	Hiyerarşik tensor temelli genelleştirilmiş otomatik bir yüz hizalama algoritması geliştirilmiş ve sunulmuştur.
Demirel ve Anbarjafari (2008) [358]	Bu çalışmada farklı renk kanallarında olasılık dağılım fonksiyonları yardımıyla pozdan bağımsız yüz tanıma yapabilen bir yaklaşım tanıtılmıştır.
James ve Dimitrijeviç (2008) [359]	Bu çalışmada biyolojik yüz tanıma işleminden ilham alınarak geliştirilmiş bir yüz tanıma yaklaşımı sunulmuştur. Bu yaklaşımda pikseller yönünde hareket edilmekte ve uzamsal renk değeri değişim özellikleri baz alınarak verilen yerel ikili kararlarla yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir.
Zafeiriou ve Pitas (2008) [360]	Bu çalışmada Fisher'in ayırt edici analizine çekirdek temelli bir teknik eklenerek yüz ifadelerinin tanınması için kullanılacak ayırt edici graf yapıları elde edilmiştir.
Tao ve ark. (2008) [361]	Üç boyutlu yüz tanıma amaçlı bayesian tensor temelli bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir.
Zhang, Gao ve Leung (2008) [362]	Önden ve yandan alınmış yüz resimleri kullanılarak geniş yelpazede gerçekleşen poz farklılıklarına rağmen yüz tanıma yapabilen görünüm temelli bir yöntem sunulmuştur.
Liu (2008) [363]	RGB renk uzayından elde edilen korelasyonsuz, bağımsız ve ayırt edici renk uzayları kullanılarak yüz tanıma yapılan bir yaklaşım sunulmuştur.
Zhiming Liu ve Chengjun Liu (2008) [364]	Yüz tanıma için iyileştirilmiş Fisher modelinin, karma renk ve frekans özelliklerinin kullanıldığı bir yaklaşım sunulmuştur.
Goudelis, Tefas ve Pitas (2008) [365]	Video görüntülerinden yüze ait pozların otomatik olarak tespit edildiği bir yaklaşım sunulmuştur.

Vadakkepat ve ark. (2008) [366]	Yüz bulma ve takip işlemlerinin başarıyla gerçekleştirildiği YSA temelli bir yaklaşım sunulmuştur.
Wimmer ve ark. (2008) [367]	Sağlam yüz modelleri oluşturmak için öğrenen yerel objektif fonksiyonlarının kullanıldığı bir yaklaşım sunulmuştur.
O'Toole ve ark. (2007) [368]	Yedi adet yüz tanıma algoritmasının performanslarının ayrıntılı olarak karşılaştırıldığı bir çalışma sunulmuştur.
Mutelo, Woo ve Dlay (2008) [369]	Yüz tanıma için iki boyutlu Gabor özelliklerin ayırt edici analizlerine dayalı bir teknik sunulmuştur. Yüze ait özelliklerin elde edilmesinde Gabor dalgacıkları kullanılmıştır.
Saha ve ark. (2008) [370]	İşaret geçiren ara yüz isimli yeni bir iletişim ara yüzü ve bunun akıllı kamera sistemlerinin geliştirilmesine yönelik uygulamaları sunulmuştur.
Sheng, Sadka ve Kondoz (2008) [371]	Kompleks arka planlı vesikalik resimlerden yüzlerin bulunmasına yönelik otomatik bir üç boyutlu yüz sentez algoritması sunulmuştur.
Ratsch ve ark. (2008) [372]	SVM temelli bir sınıflandırıcının çalışma zamanı karmaşıklığını düşürmeye yönelik yeni bir teknik sunulmuştur.
Magee ve ark. (2008) [373]	Kişilerin bakış yönlerinin tespiti için gözler arasındaki simetrisinin kullanıldığı insan-bilgisayar arasında iletişimi sağlayacak bir ara yüzün geliştirilmesine yönelik bir yaklaşım sunulmuştur.
Wu ve ark. (2008) [374]	Yüzlerin yerlerinin tespitine yönelik hızlı asimetric öğrenme yöntemi temelli yeni bir yaklaşım önerilmiştir.
Cotsaces, Nikolaidis ve Pitas (2008) [375]	Yüz biyometrik özelliği temelli bir sayısal imza yaklaşımı sunulmuştur.
Cordea, Petriu ve Petriu (2008) [376]	Hareket eden bir yüze ait yüz ifadesi, yönü ve üç boyutlu pozisyonunun gerçek zamanlı olarak bulunup takip edilebildiği üç boyutlu model temelli yeni bir yaklaşım sunulmuştur.
Sung ve Kim (2008) [377]	İki ve üç boyutlu özelliklerin uygun şekilde birleştirilmesiyle elde edilen aktif görünüm temelli modellerin kullanılarak yüz takibi ve yüz ifadesi tanıma işleminin başarıyla gerçekleştirildiği bir yaklaşım sunulmuştur.
Li, Ngan ve Liu (2009) [378]	Gerçek zamanlı video görüntülerinde otomatik yüz segmentasyonu yapmaya yönelik olarak gerçekleştirilmiş olan bir çalışmadır.
Murphy-Chutorian ve Trivedi (2009) [379]	Yüz tanımda poz kestirimi ile ilgili bir tarama çalışmasıdır. Makalede konunun gelişimi, poz kestirimi teknolojisi ve bu konuda yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.
Dornaika ve Raducanu (2009) [380]	Düşük kaliteli video görüntülerinde üç boyutlu poz kestirimi ve yüz takibi

	yapabilen bir metot tanıtılmıştır.
Castillo-Franco ve ark. (2009) [381]	Pasif güvenlik sistemlerinde kullanılan düşük çözünürlüklü resimlerde yüz poz kestirimi ve takibi yapabilen üç boyutlu iskelet modellerini kullanan topoloji temelli bir yöntem sunulmuştur.
Chen ve ark. (2009) [382]	CNN (convolutional neural network) YSA temelli bir yüz yeri tespit yöntemi tanıtılmıştır.
Masip, Lapedriza ve Vitria (2009) [383]	Adaptif öğrenme yeteneğine sahip, boosting temelli sınıflandırıcı kullanan bir yüz tanıma algoritması sunulmuştur.
Wright ve ark.(2009) [384]	Bu çalışmada, yüz tanıma problemi çoklu doğrusal regresyon modellerinin sınıflandırılması olarak ele alınarak sparse işaret gösterimi yöntemiyle yüz tanıma işleminin gerçekleştirildiği bir yaklaşım tanıtılmıştır.
Wu, An ve Ruan (2009) [385]	Yüze ait ayırt edici özelliklerin uygun şekillerde birleştirilmesiyle poz, ışıklandırma, yüz ifadesi gibi yüz tanıma açısından bozucu etkenlerin değişimine rağmen yüz tanıma yapabilen bağımsız Gabor analizi temelli bir çalışma sunulmuştur.
Krinidis, Nikolaidis ve Pitas (2009) [386]	Şekil değiştiren yüzeyler ve RBF ile video görüntülerinden başın üç boyutlu poz tahmininin yapıldığı bir yaklaşım sunulmuştur.
Kasturi ve ark. (2009) [387]	Video görüntülerinden nesne yeri bulma ve takibi işlemlerine yönelik, karşılaştırmada kullanılacak veri setleri, standart performans değerlendirme metrikleri ve algoritma analizi için gerekli tüm bileşenleri içeren bir platformun özellikleri sunulmuştur. Bu çalışmada özellikle yüz, metin ve araç yeri bulma ve takibi üzerine yoğunlaşmıştır.
Tu, Fu ve Huang (2009) [388]	Resimlerde burnun ucuna konumlanılarak yüzün duruşu ve başın üç boyutlu görünümü hakkında fikir veren ve yüz tanıma uygulamalarında kullanılacak bir yaklaşım sunulmuştur.
Gunes ve Piccardi (2009) [389]	Yüz tanıma üzerinde yüze ait zamanla değişen özelliklerin etkisi ve bu özelliklerin otomatik olarak bulunmasına yönelik bir çalışma sunulmuştur.
Prior ve ark. (2009) [390]	MR görüntüsünden yüz tanıma yapmaya yönelik bir çalışma sunulmuştur.
Dai ve Yang (2009) [391]	Bir ve iki boyutlu ayırt edici analizlerin birleştirilerek kullanıldığı iki adımlı bir yüz tanıma sistemi önerilmiştir.
Li, Lin ve Tang (2009) [392]	Parametrik olmayan ayırt edici analizler yardımıyla yüz tanıma yapılan bir sistem sunulmuştur.
Liu ve Yang (2009) [393]	Desen tanıma için ICA temelli yeni bir renk uzayı metodu sunulmuştur. Bu

	metotta ICA temelli renkli resim temsili ve ICA ve iyileştirilmiş FLD modeli temelli renkli resim sınıflandırılması yapılmıştır.
Medioni ve ark. (2009) [394]	Kişilerin uzaktan çekilmiş bir dizi resimlerinden 3B yüz resimlerini kullanarak kimliklendirme yapabilen bir yaklaşım sunulmuştur.
Gavrilova ve Monwar (2009) [395]	Yüz, kulak ve imza tanımının PCA ve FLD yöntemlerinin rank seviyesinde uygun şekilde birleştirilmesiyle yapıldığı yeni bir çoklu biyometrik sistem yaklaşımı sunulmuştur.
Choi, Plataniotis ve Ro (2009) [396]	Düşük çözünürlüklü renkli resimlerle çalışan bir yüz tanıma sistemi önerilmiştir.

2.4. Sonuç

Parmak izi ve yüz biyometrik özellikleri arasındaki ilişkinin analizinin yapıldığı tez çalışmasının bu bölümünde çalışmada kullanılan teknolojiler ve yöntemlerle ilgili literatür taranmış, konuya ait temel bilgiler detaylı olarak verilmiştir. Bu bölüm biyometrik sistemlere ait genel bilgileri, çalışmanın temelinde olan OPTOS ve OYTS'lere ait detaylı bilgileri ve bu teknikler konusunda yapılan çalışmaları ihtiva etmesi açısından konuyla ilgili bir kaynak niteliğindedir. Ayrıca bu bölümde OPTOS ve OYTS'ler ile ilgili güncel literatürün özetlenmesi de araştırmacıların son yıllardaki ilgilerinin hangi doğrultuda olduğunun gösterilmesi ve her iki konuda da gelenen son noktaların belirlenmesi açısından ayrıca önem arz etmektedir.

3. BÖLÜM

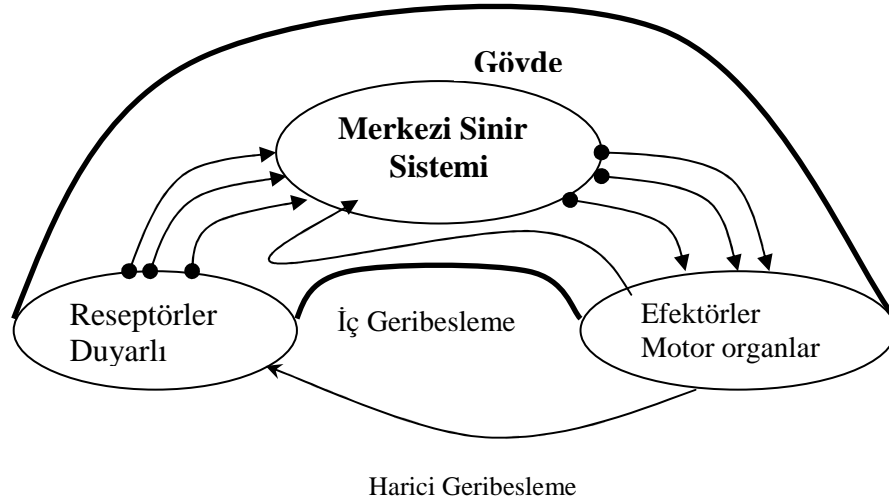
YAPAY SINİR AĞLARI

Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beyni fizyolojisinden yararlanılarak oluşturulmuş bilgi işleme modelleridir. Bu bölümde detaylarıyla verilen çeşitli avantajları bünyesinde bulunduran YSA günümüzde hem mühendislik uygulamaları hem de pratik uygulamaların dahil olduğu birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle örnekten öğrenme yeteneği ve öğrendiğini genelleme özelliği YSA'yı birçok alanda popüler yapmıştır. Günümüzde tıp, fizik, matematik, elektrik, elektronik, makine, endüstri, biyomedikal, bilgisayar mühendisliği ve sosyal bilimler gibi çok farklı bilim dallarında YSA yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. YSA'nın özellikle mühendislik başta olmak üzere birçok bilimsel alanda yaygın olarak kullanılmasının nedeni çok boyutlu, karmaşık ve belirsiz verilere sahip problemlere kabul edilebilir makul çözümler üretmesi olarak açıklanabilmektedir. Sunulan tez çalışmasında da büyük boyutlu giriş çıkış değerlerine sahip çok karmaşık iki veri seti arasındaki ilişkinin analiz edilmesinin hedeflendiği bir yaklaşım üzerinde durulmaktadır. Büyük boyutlu bu iki veri seti arasındaki ilişkinin tarifinin de yapılamadığı bu çalışmada aradaki ilişkinin analizinde kullanılacak zeki sistem tasarımında sistemde kullanılması en uygun yapı YSA olarak düşünülmüş ve sistem bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde biyolojik sinir ağları ve YSA hakkında genel bilgiler, YSA'nın özellikleri ve tarihçesi, YSA yapıları ve aktivasyon fonksiyonları anlatılmaktadır.

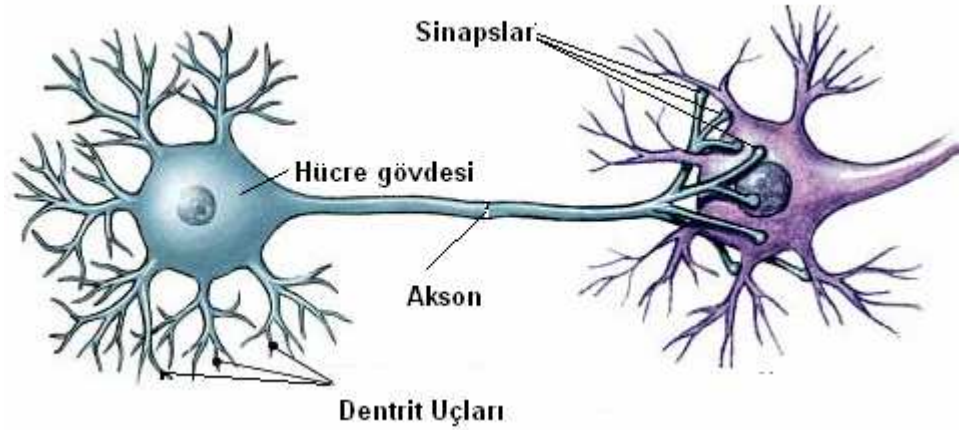
3.1. Biyolojik Sinir Ağları

Biyolojik sinir ağları hakkındaki ilk çalışmalar bir sinir hücresinin yapısı ve bu hücrelerin birbirleri ile nasıl iletişimde buldukları üzerine olmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalar YSA'ların oluşturulmasına büyük katkılar sağlamış, burada elde edilen bulgular adım adım YSA'lara uygulanarak günümüzde teorik gelişimini

tamamlamış YSA yapılarının elde edilmesine olanak sağlamıştır. Biyolojik sinir sistemi bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun karar üreten bir merkez ve bu merkezin kontrolünde bulunan alıcı ve tepki sinirlerinden oluşur [397]. Alıcı sinirler olarak tanımlanan reseptörler iç ve dış ortamdaki uyarıları elektriksel sinyallere çevirerek beyne iletirler. Tepki sinirleri olarak tanımlanan efektörler ise beynin ürettiği elektriksel sinyalleri çıktı olarak uygun tepkilere dönüştürürler. Bir biyolojik sinir sisteminde bilgi akışı Şekil 3.1’de, bir biyolojik sinir hücresinin yapısı ise Şekil 3.2’de verilmektedir. Nöron olarak bilinen bir biyolojik sinir hücresi sinir sisteminin temel birimidir ve soma adı verilen ve hücre çekirdeğini saran bir hücre gövdesi (cell body); gövdeye giren sinyal alıcılar (dentrit) ve gövdeden çıkan sinyal iletiliciler (akson) olmak üzere temelde üç kısımdan oluşur. Dentritler, sinir hücresine diğer sinir hücrelerinden gelen elektriksel darbeleri toplarlar. Bu sinyaller hücrede birleştirilerek bir çıkış darbesi üretilip üretilmeyeceğine karar verilir. Eğer bir iş yapılacaksa üretilen çıkış darbesi aksonlar tarafından taşınarak diğer nöronlarla olan bağlantılara veya terminal organlara iletilir.



Şekil 3.1. Sinir sisteminde bilgi akışı.



Şekil 3.2. Biyolojik sinir hücresi yapısı.

Bir akson birden fazla dentrit ile iletişim kurabilir. Bu bağlantının yapıldığı yere sinaps denir. Nöronlar elektrik sinyalini hücre duvarındaki voltajı değiştirerek üretirler. Sinyaller hücrenin etkinliğini belirler. Bir hücrenin etkinliği, hücreye gelen sinaps sayısı, sinapslardaki iyonların konsantrasyonu, sinapsın sahip olduğu güç olmak üzere üç faktöre bağlıdır [398]. Bir nöron sahip olduğu etkinlik miktarına bağlı olarak diğer hücreleri etkiler. Bazı hücreler diğerlerinin etkinliğini pozitif yönde, bazı hücreler de negatif yönde etkiler. Beyinde korteks denilen bölgede her nöronun bir karşılığı vardır. Bir nöronun çıkışı ona bağlı olan bütün nöronlara iletilir. Fakat korteks, işin yapılabilmesi için hangi nöron harekete geçecekse sadece ona komut gönderir.

Bir insanın beyin korteksinde yaklaşık 10 milyar nöron ve yaklaşık 60 trilyon sinaps veya bağlantının bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu haliyle beyin son derece kompleks, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır. Beynin nöronları organize etme yeteneği böylece görüntü tanıma, algılama, karar verme gibi kesin hesaplamaları gerçekleştirir. Bugünün en hızlı sayısal bilgisayarlarından daha hızlıdır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı günümüzün bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyu bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir [397]. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilmektedir.

Biyolojik sinir hücrelerinin diğer sinir hücrelerinden gelen sinyalleri toplayıp yeni bir sinyal üreterek başka sinir hücrelerine göndermesi prensibinden yola çıkılarak çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Bir biyolojik sinir hücresinden diğerine sinapslar ile sinyal gönderimi, sinyali alan hücre gövdesinin elektrik potansiyelinin yükseltilmesi ya da düşürülmesi yoluyla olur. Eğer bu potansiyel, bir eşik değere ulaşırsa nöron ateşlenir. McCulloch ve Pitts tarafından 1943'te önerilen yapay nöron modelinin dayandığı esas da bu özelliştir [399].

3.2. Yapay Sinir Ağlarının Temel Özellikleri ve Tarihçesi

Tıpta mühendislikte ve daha birçok alanda başarıyla kullanılan ve çeşitli türden problemlere çözümler üreten YSA'lar bir takım işlevsel özellikler yardımıyla geliştirilmeye çalışılmaktadır. İyileştirme ve geliştirme amacına yönelik bu özellikler dışında YSA'nın yapısını belirleyen bazı faktörler de vardır. Yapay nöronlar denilen işlem elemanları, sinir ağının dağılışı şekli, yapısı, ağın sahip olduğu öğrenme kuralı ve stratejisi bunların başında gelir. Bu faktörlere bu bölümde genel anlamda değinilecektir ancak daha önce YSA'nın genel özellikleri ve tarihçesi hakkında kısaca bilgi verilecektir.

İnsan beyni fizyolojisinden esinlenilerek geliştirilen YSA'ların doğrusal olmama, öğrenme, adaptasyon, genelleme, tahmin etme, hata toleransı, hem donanım hem de yazılım olarak gerçekleştirilebilme gibi bazı özellikleri vardır, bu özellikler aşağıda kısaca verilmektedir.

Doğrusal olmama: YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal olmayabilir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliğiyle yapay sinir ağları özellikle doğrusal olmayan sistemlerde doğru ve hızlı tahmin yapabilme, kaliteli sonuç üretebilme özelliğinden dolayı birçok bilim dalında başarıyla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu özellik YSA'yı tüm mühendislik dallarının yanı sıra işletmecilik ve finans alanları başta olmak üzere tahmin gerektiren birçok alanda popüler yapmıştır.

Öğrenme: Klasik algoritmaların çoğu verilen formüllerin hesaplanması ile aynı girdiler için daima aynı çıktılar üretirler. Klasik algoritmalarda tam olarak tanımlı bir çözüm

yolu olmayan problemler çözülemezken yapay sinir ağları sayesinde problemler çözüm yöntemi hakkında herhangi bir bilgi verilmeksizin çözülebilir. Yapay sinir ağlarının bu tip problemleri çözebilmesi için gereken tek şey örnek giriş-çıkış veri setinin doğru bir şekilde verilmesidir. Çünkü YSA, kendisine verilen giriş ve çıkış verileri arasında ilişki kurabilir, eşleştirme yapabilir. Bu ilişki kurma veya eşleştirme, aslında bir çeşit haritalamadır ve bu işlemi gerçekleştirirken kullanıcıdan giriş ile çıkış arasındaki ilişkinin analizine yönelik herhangi bir bilgi istememektedir. YSA verilen girişe karşılık gelen çıkışı öğrenmekte ve bunu daha önce görmediği örnekler için de genelledebilmektedir. Öğrenme, sistemlerin aynı veya benzer işleri yaptıklarında, o işi veya işleri bir önceki yapıldığı şekilden daha verimli ve etkin olacak şekilde yapmak için değişiklikleri oluşturma süreci olarak tanımlanabilir. YSA'nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu ayarlama, uygun YSA yapısının ve parametrelerinin seçilmesi, yapıdaki sinir hücreleri arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması ile mümkün olabilir. YSA'nın karmaşık yapısı sebebiyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez ya da tasarlanamaz. YSA istenen davranışı gösterecek şekilde eğitim örneklerini kullanarak bağlantıları ve ağırlıkları ayarlayıp kendini en iyi cevabı üretecek şekle getirebilir [397].

Adaptasyon: Çevre koşullarına göre YSA, ağırlıklarını ayarlayarak adapte olma kapasitesine sahiptir. Bu özellikten yeterince yararlanabilmek için temel zaman aralıklarının çok küçük değişiklikleri göz ardı edebilecek kadar uzun ve anlamlı, çevre değişikliklerine tepki verebilecek kadar da kısa seçilmesi gerekir. Uygun, anlamlı ve tutarlı giriş çıkış veri seti uygulanarak YSA'nın görmediği verilere karşılık da tutarlı cevaplar verebilecek şekilde ayarlayabilmesine olanak sağlanmalıdır.

Genelleme yapabilme: YSA ilgilendiği problemi öğrendikten sonra, eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de istenen cevabı üretebilir. Hatta eğitimi tutarlı olarak yapılan YSA problemi öğrendikten sonra daha önce hiç görmediği bozuk veya eksik bir bilgi giriş olarak verilse bile buna karşılık gelebilecek en uygun çıkışı verebilecektir.

Hata toleransı: YSA, başka hesaplama yöntemlerinde olduğu gibi ufak hatalardan etkilenmemektedir. İnsan beyninin algılama yeteneğini andıran bu özelliği sayesinde hata toleransı, fiziksel ve mantıksal olarak fazladır. YSA'nın bazı bağlantılarının hatta

bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Çünkü YSA'da bilgi, tek bir yerde saklanmayıp, paralel yapıya sahip olan bütün sisteme dağıtılmıştır.

Yazılım ve donanım olarak uygulanabilirlik: YSA ile çok büyük ölçekli entegre devre (VLSI) uygulamaları yapılabilir. Aynı zamanda yazılım olarak bilgisayarlarla da gerçekleştirilebilmektedir. Bu özellikleri ile YSA'lar ileri düzeyde veri işleme teknolojisi sayesinde hızlı işlem yapabilmektedir.

Analiz ve tasarım birliği: YSA'nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. YSA'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA'lar benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bütün YSA uygulamalarında hep aynı gösterimin kullanılması, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirmektedir.

Tüm bu özellikleri bünyesinde bulunduran YSA'ların bir takım dezavantajları da mevcuttur. Örneğin YSA'lar oluşturulduklarında hiçbir bilgi içermediğinden herhangi bir problem için direkt olarak kullanılamazlar. Herhangi bir problem çözümünde kullanılacak olan YSA kullanılmadan önce ilgili problemin giriş çıkışlarına göre eğitilmelidir. Ayrıca YSA'lar başlangıç koşullarından bağımsız olarak çok kolay dahi olsa herhangi bir problemi çözemezler. Çünkü karar verme anında sadece daha önce öğrendiği koşullara göre sonuç üretebilirler. Eğitim sırasında verilen örnekler ağın sonraki problemleri çözmesinde de etkilidir. Dolayısıyla eğitim verisinin kaliteli olması, yanlış veya eksik bilgi içermemesi ve tüm veri uzayını kapsamaması gerekmektedir. YSA'ların girişle çıkış arasındaki ilişkiyi bulma ya da öğrenme şekli sahip olduğu ağırlıkların değiştirilmesi şeklinde olduğu için YSA'nın problemi çözme yöntemi ve bu yöntemin detayları hakkında bilgi sahibi olunamaması da YSA'nın başka bir dezavantajıdır. Yapılan işlemin ya da çözüm yönteminin matematiksel olarak ifade edilemediği bu gibi durumları ifade etmesi açısından YSA yapıları için kara kutu (black box) tabiri de kullanılmaktadır.

Biyolojik sinir ağlarının örneklerden öğrenme, öğrendiğini genelleme yetenekleri gibi bazı üstün özelliklerinin yapay bir sisteme kazandırılması hedeflenilerek geliştirilen

YSA'nın birçok çeşidi mevcuttur. YSA'ların yapıları ve gelişimleri konusunda literatürde gerçekleştirilen çalışmalar kısaca aşağıda verildiği şekilde özetlenebilmektedir [397].

YSA'lar ile ilgili çalışmalar 20. yüzyılın ilk yarısında başlamıştır. İlk YSA modeli 1943 yılında, bir sinir hekimi olan Warren Mc Culloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirilmiştir. Mc Culloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modellemiş ve bir biyolojik nöronun temel fonksiyonlarının basit bir eşik elemanı olarak gerçekleştirilebileceğini göstermişlerdir [399]. 1948 yılında Wiener "Cybernetics" isimli kitabında [400], sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerine değinmiş, 1949 yılında ise Donald Hebb " The Organization of Behavior" adlı eserinde [401] hücrese seviyede beynin öğrenme mekanizmasından bahsetmiş ve öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele almıştır. Hebb kitabında öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak "Hebb kuralı"nı ortaya koymuştur. Hızlı hesaplama yönelik ilk YSA çalışmaları 1950'lerde başlamıştır. Bu yıllarda Frank Rosenblatt tarafından basit nöron modellerine dayalı bir hesaplama modeli önerilmiş [402] ve ardından perseptron diye bilinen tek katmanlı bir YSA modeli ortaya çıkmıştır. Daha sonra Frank Rosenblatt, McCulloch-Pitts'in modeline öğrenme ve hatırlamayı da ekleyerek genelleştirmiş ve iki katlı bir perseptronun iki farklı sınıfı ayırt edebileceğini ispatlamıştır [403]. Rosenblatt'ın Perceptron'u geliştirmesinden sonra, YSA'lar ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. 1959 yılında Bernard Widrow ve Marcian Hoff (Stanford Üniversitesi) basit nöron benzeri elemanlardan oluşan ADALINE (Adaptive Linear Neuron) ve Madaline (Multiple Adaline) modelini geliştirmişlerdir [404]. Bu modeller YSA'ların mühendislik uygulamaları için başlangıç kabul edilmiştir. Rosenblatt'ın Perceptron'una benzeyen bu yapılarda öğrenme algoritması daha da gelişmiştir. Bu modeller uzun mesafelerdeki telefon hatlarındaki yankıları ve gürültüleri yok eden bir adaptif filtre olarak kullanılmış ve gerçek dünya problemlerine uygulanan ilk YSA olma özelliğini kazanmıştır. Günümüzde de aynı amaçla kullanılmakta olan bu modeller ses tanıma, karakter tanıma gibi değişik tahmin işlemlerinde de kullanılmıştır. 1960'larda Grossberg, ART yani Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (Adaptive Resonance Theory) adında bir YSA yapısını geliştirmiştir [405]. ART çok gelişmiş YSA modeli olmakla beraber henüz çok fazla probleme uygulanmamıştır. O sıralarda Kohonen'de "kendi

kendini düzenleyen nitelik haritası”nı (self-organizing maps) geliştirmiştir [180]. Bu YSA modeli, nümerik aerodinamik akış hesaplamaları için çoğu algoritmik yöntemden daha etkili olmuştur. Steinbuch 1961’de YSA’ları bilgi kodlama alanına ilk uygulayan araştırmacı olmuştur. Amari 1967’de biyolojik sinir sistemi aktiviteleri ile ileri düzey matematik bilgisini çalışmalarında birleştirmiş ve ilişkilendirilmiş hafızanın matematiksel analizini ve yarışmacı öğrenme yaklaşımını sunmuştur. 1986’da Anderson bir nöronun ağırlıklarının aktivasyon ilişkileri üzerine oluşan bir hafıza modeli önermiş, hafıza elemanı gibi davranan YSA oluşturmuştur [406]. 1969’da Fukushima, NEOCOGNITRON modelini tanıtmıştır. Bu model şekil ve görüntü tanıma amaçlı geliştirilmiştir. Minsky ve Pappert tarafından 1969’da yazılan “Perceptrons” adlı kitapta YSA’ların doğrusal olmayan problemleri çözemediği meşhur XOR problemi ile ispatlanmış ve bu nedenle YSA çalışmaları bu yıllarda durma noktasına gelmiştir [407]. 1971’de Kohonen ilişkili hafızaları olan LVQ’yu geliştirmiş, daha sonra da LVQ’nun yeni versiyonları olan LVQ1, LVQ2 ve DLVQ gibi yaklaşımları sunmuştur. İyi bir matematikçi ve biolog olan Sejnowski ise 1976’da Boltzman makinasını geliştirmiş ve buna geri yayılım (BP) algoritmasını uygulamıştır. 1978’de Sutton ve Barto takviyeli öğrenme modelini geliştirmişlerdir.

1969-1982 yılları arasındaki çalışmalar incelendiğinde bu yıllarda YSA’ya ait teorisinin artık oturmuş olduğu görülmektedir. 1982’de Hopfield’in moleküler biyolojiden beynin daha iyi anlaşılmasına geçişi sağlayan “Neural Network and Physical Systems” adlı çalışması ile çağdaş YSA devri başlamıştır [408]. Bu çalışmada Hopfield, nöronların karşılıklı etkileşimlerine dayanan bir nöral hesaplama modeli önermiştir. Bu model, bir enerji fonksiyonunu alabileceği en az değerine indiren 1. mertebe doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerden oluşmuştur. Hopfield; ağ seviyesinde, tek tek nöron seviyesinde var olmayan hesaplama kapasitesinin bulunduğunu öne sürmüştür. Hopfield ağı olarak isimlendirilen bu yapı pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmaların pratik optimizasyon problemlerinde kullanılabilirliğinin olması YSA konusundaki çalışmaları hızlandırmıştır. 1986’da Rumelhart ve McClelland “Paralel Distributed Processing” (paralel dağılımlı işleme) adlı kitaplarında, ileri beslemeli ağlarda yeni öğrenme modeli olan hatanın geriye yayılması algoritmasını (backpropagation algorithm) geliştirerek, daha önce bu konuda Minsky ve arkadaşları tarafından iddia edilen aksaklıkların aşılabileceğini göstermişlerdir [409]. Bugün

endüstride birçok YSA uygulamasında bu öğrenme yöntemi ve bu yöntemin değişik varyasyonları kullanılmaktadır. 1988 yılında, Broomhead ve Lowe radyal tabanlı fonksiyonlar modelini (Radial Basis Functions RBF) geliştirmişler ve özellikle filtreleme konusunda başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Spect ise bu ağların daha gelişmiş şekli olan Probabilistik ağlar (PNN) ve Genel Regresyon Ağlarını (GRNN) geliştirmiştir. [397]

3.3. İşlemci Eleman

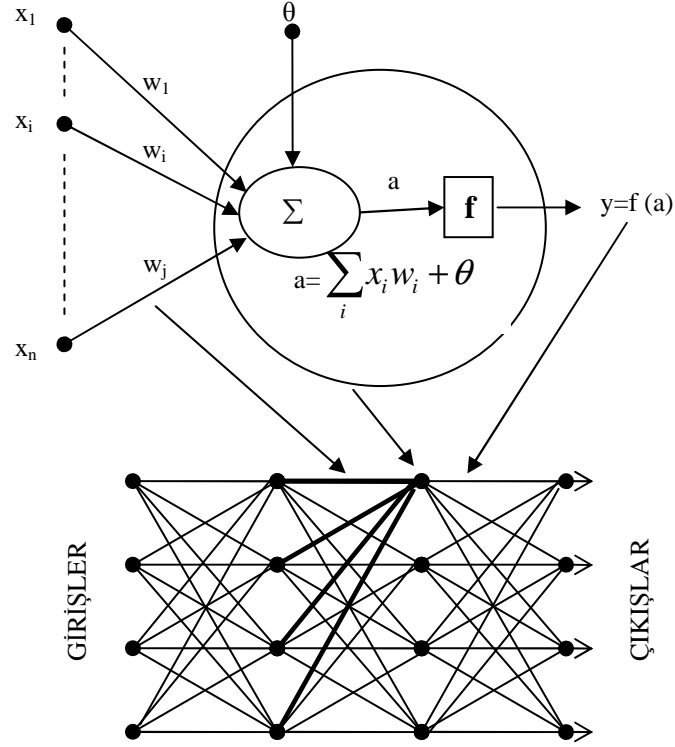
YSA'nın genel formunda, biyolojik sinir sistemindeki nörona benzeyen birime "işlem elemanı" veya "işlemci eleman" denilmektedir. Biyolojik sinir sisteminin işleyiş yöntemi taklit edilerek ortaya atılan işlem elemanlarının bir ağ yapısı oluşturacak şekilde birbirlerine bağlanma şekli YSA'ların temelini oluşturmaktadır. Bu elemanlar genellikle tamamen veya kısmen bağlı sıralı katmanlar şeklinde düzenlenmişlerdir [397]. Bir işlemci eleman kendine gelen girişleri toplar ve sadece girişlerin toplamı iç eşik değerini aştığında bir çıkış üretir. Girişler, ağırlıklar, birleşme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş temel bileşenden meydana gelen bir işlemci elemanın Şekil 3.4'te [398] de verildiği gibi x_1, x_2, \dots, x_n ile belirtilen N tane giriş verisi vardır. Girişler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile hücreye giren verilerdir. Bu giriş verileri sırasıyla w_1, w_2, \dots, w_n , ağırlıklarına bağlıdır. Modeldeki ağırlıklar, biyolojik sinir hücresindeki sinaptik bağlantılara karşılık gelmektedir. İşlemci elemandaki eşik (threshold) değeri θ ile gösterilmektedir. Birleşme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girişi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle her bir giriş verisinin kendisine karşılık gelen ağırlıkla çarpılmalarının toplamı şeklinde hesaplanır. Eşitlik (3.1)'de verildiği şekilde işlemci elemandaki birleşme fonksiyonundan elde edilen net girişine θ eşik değerinin eklenip bir işlemden geçirilmesiyle hücre çıkışı belirlenmektedir.

$$a = \sum_{i=1}^N x_i w_i + \theta \quad (3.1)$$

Nöronun çıkış değeri ise biyolojik sinir hücresinin ateşleme frekansına benzer şekilde aktivasyonun bir fonksiyonudur ve Eşitlik (3.2) ile ifade edilmektedir.

$$y = f(a)$$

(3.2)

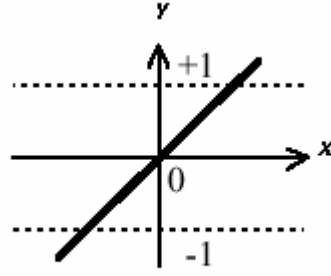


Şekil 3.4. İşlemci eleman yapısı.

3.4. Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonları

Öğrenme eğrisi olarak da isimlendirilebilen aktivasyon fonksiyonları bir YSA'da nöronun çıkış genliğini istenilen değerler arasına sınırlamak için kullanılmaktadır [397]. Bu değerler genellikle $[0,1]$ veya $[-1,1]$ arasındadır. Kullanılacak olan fonksiyonların türevleri alınabilir ve süreklilik arz etmesi gerekmektedir. YSA'nın kullanım amacına uygun olarak tek ya da çift yönlü aktivasyon fonksiyonları da tercih edilebilir. YSA'ların karmaşık problemlere istenen yaklaşımı sağlayabilmesi için ara katman ve çıkış katmanlarında matematiksel aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Bu aktivasyon fonksiyonları hücre modellerinde hücrenin gerçekleştirdiği işleme göre çeşitlilik arz etmektedir. Bu fonksiyonlar aşağıda açıklanmaktadır.

Doğrusal Fonksiyon: YSA'ların çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon Şekil 3.5'te verilmektedir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonu doğrusal fonksiyonu olabilmektedir.

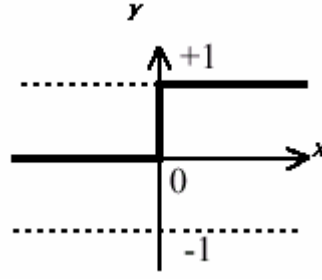


Şekil 3.5. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

Denklemler Eşitlik (3.3)'te verilen doğrusal transfer fonksiyonu işlem elemanının girişini doğrudan işlem elemanının çıkışı olarak vermektedir. Doğrusal YSA'larda ve katmanlı YSA'ların çıkış katmanında tercih edilmektedir. ADALINE olarak da adlandırılabilen doğrusal işlem elemanı klasik işaretleme ve istatistiksel regresyon analizinde kullanılabilir.

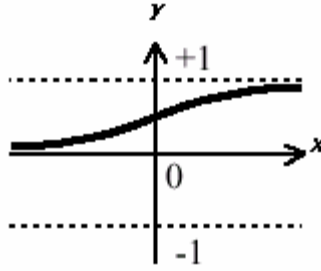
$$f(x) = \alpha \cdot x \quad (3.3)$$

Basamak Fonksiyonu: Basamak fonksiyonu tek veya çift kutuplu fonksiyon olabilmektedir. Şekil 3.6'da verilen tek kutuplu basamak fonksiyonunda giriş değeri sıfırdan küçükse çıkış sıfır, giriş değeri sıfırdan daha büyük bir değer ise çıkış +1 olmaktadır. Çift kutuplu basamak fonksiyonu ise -1 ile +1 arasında değer almakta, fonksiyon giriş değeri sıfırdan büyükse çıkış +1, giriş sıfırdan küçükse çıkış -1, giriş sıfıra eşitse çıkış sıfır değerini vermektedir.



Şekil 3.6. Basamak fonksiyonu.

Sigmoid Fonksiyon: Kendisinin ve türevinin sürekli olması nedeniyle YSA’larda en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonlarından olan Sigmoid fonksiyonu, giriş değerine karşılık doğrusal olmayan çıkış veren, sınırlı monoton artan bir aktivasyon fonksiyonudur. Şekil 3.7’de verilen Sigmoid fonksiyonu sadece pozitif değerler üretmektedir. Eşitlik (3.4)’te verildiği şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 3.7. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3.4)$$

Tanjant Hiperbolik Fonksiyon: Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu da lineer olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. YSA uygulamalarında en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonlarından. Sigmoid fonksiyona benzeyen ve +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktivasyon fonksiyonudur. Bipolar özelliğe sahip tanjant hiperbolik fonksiyonunun denklemi Eşitlik 3.5’te verilmektedir.

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (3.5)$$

YSA’larda aktivasyon fonksiyonunun görevi, girişlerin alan sınırlandırmasını yapmaktır. Eğer girişlerin derecelendirmesi uygun sınırlarda yapılırsa YSA için düzgün bir öğrenme ortamı sağlanmış olur. Aksi takdirde çıkışlar ya tepe noktalarda birikme yapar ya da küçük değişikliklere konsantre olduğundan genel eğilim anlaşılabilir. Bu yüzden YSA’larda yukarıda verilen transfer fonksiyonlarını kullanabilmek için, giriş verilerinin gerçek değerlerinin “0” ile “1” arasındaki bir reel sayıya dönüştürülmesi yani normalize edilmesi gerekmektedir.

3.5. YSA’ların Sınıflandırılması

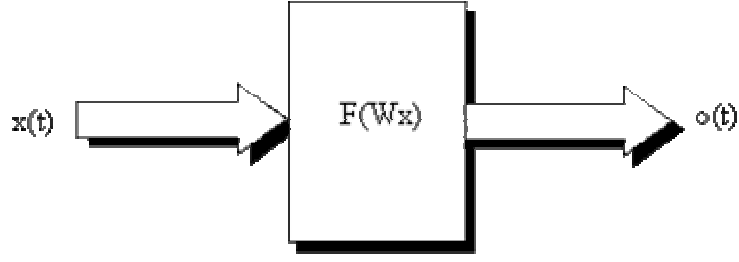
YSA’lar birbirleri ile bağlantı halinde olan ve işlemci eleman olarak adlandırılan nöronlardan meydana gelmektedir. Nöronlar arasındaki bağlantıların yapısı ağı yapısını belirler. YSA’ları yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırmak mümkündür [397].

3.5.1. YSA’ların Ağ Yapılarına Göre Sınıflandırılması

YSA’lar, ağ yapılarına göre ileri beslemeli (feed-forward) ve geri beslemeli (feed-back) ağlar olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir [398].

3.5.1.1. İleri Beslemeli Ağ Yapısı

İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar katmanlar şeklindedir. Girişler tek yönlü olarak çıkışa doğru iletilmekte, her katman çıkışı diğer katmana giriş olarak uygulanmaktadır. Giriş katmanı, dış ortamdan aldığı bilgileri hiçbir değişiklik yapmadan ara katmandaki işlemci elemanlara iletmektedir. Bilgi, ara katman veya katmanlarda işlenerek çıkış katmanına oradan da ağ çıkışına iletilir. Herhangi bir andaki çıkış değeri, sadece o andaki girişin fonksiyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. Böylece bu ağ yapısı, statik yapıya sahiptir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katlı perseptronlar (Multi Layer Perceptron) (MLP) ve LVQ (Learning Vektor Quantization) ağ yapıları verilebilir. Bir ileri beslemeli ağ yapısı Şekil 3.8’de verilmektedir.



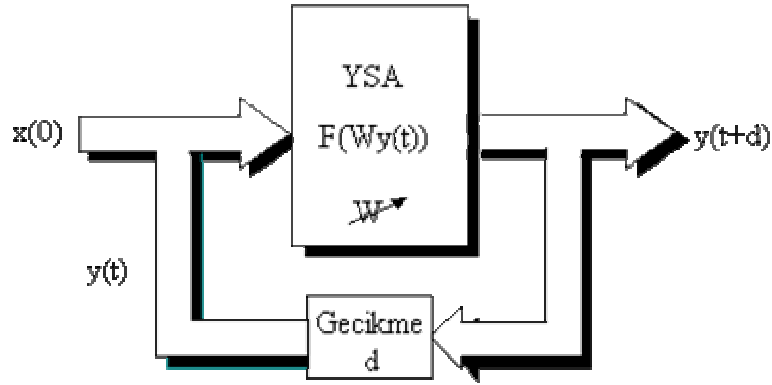
Şekil 3.8. İleri beslemeli YSA.

3.5.1.2. Geri Beslemeli Ağ Yapısı

Geri beslemeli bir sinir ağı, giriş ve ara katmanlardan en az birinden işlemci eleman çıktıları kendisine veya diğer işlemci elemanlara geri beslenerek giriş olarak uygulanması ile elde edilen ağ yapısıdır [410]. Geri beslemeli YSA yapıları, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterirler ve herhangi bir andaki çıkış değeri hem o andaki hem de daha önceki giriş değerlerine göre belirlenmektedir. Bir geri beslemeli ağ yapısı Şekil 3.9'da verilmektedir. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Bir geri beslemeli YSA, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir YSA'dan elde edilebilmektedir. Ağın t anındaki çıkışı $y(t)$ ise, $t + d$ anındaki çıkışı ise $y(t+d)$ 'dir. Buradaki d sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. Bu durumda bir ileri beslemeli YSA $y(t+d)$ notasyonu kullanılarak Eşitlik (3.6)'da verildiği şekilde ifade edilebilmektedir.

$$y(t+d) = f [Wy(t)] \quad (3.6)$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ 'ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ 'dir. Dinamik yapılarından dolayı geri beslemeli YSA'lar önceden tahmin uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Kohonen, Elman ve Jordan ağları bu yapılara örnek olarak verilebilmektedir.



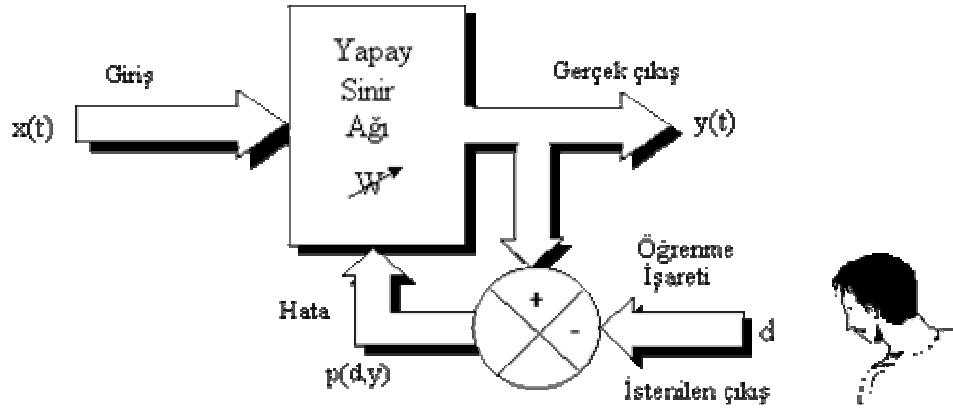
Şekil 3.9. Geri beslemeli YSA.

3.5.2. YSA'ların Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

Öğrenme, gözlem ve eğitimin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır [410]. Buna göre, YSA'larda öğrenme yani gözlem ve eğitim sonucu oluşan davranış değişiklikleri, bir takım metot ve kurallar yardımıyla ağırlıkların değiştirilmesiyle sağlanabilmektedir. Öğrenme algoritması, eldeki problemin özelliğine göre öğrenme kuralının YSA'ya nasıl adapte edileceğini belirtmektedir. Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uyguladığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilmektedir.

3.5.2.1. Danışmanlı Öğrenme Metodu

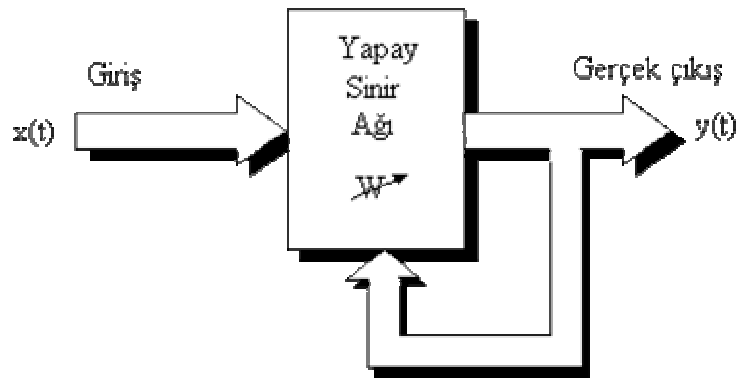
Bu öğrenme metodunda sistemin eğitiminde kullanılacak doğru örnekler mevcuttur. Yani, istenilen çıkışı verebilmek için öğrenmeyi gerçekleştirecek, çözümü istenen problemin yapısını ve ortamın davranışlarını içeren, uygun bir eğitici giriş-çıkış seti kullanılarak sistemin eğitilmesi mantığına dayanan bir metottur. Şekil 3.10'da verildiği gibi arzu edilen çıkış değerleri ile ağın gerçek çıkışları arasındaki fark hata olarak hesaplanır ve bu hata YSA ağırlıklarının yeniden düzenlenmesinde kullanılır. Danışmanlı öğrenme algoritması istenen çıkış sinyalini sağlamak için bir danışmana ihtiyaç duyar. Tüm giriş çıkış çiftleri için, YSA'nın eğitiminin tamamlanması ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için uygun bir öğrenme kuralı seçilerek YSA bu kural çerçevesinde eğitilmektedir. Widrow ve Hoff [404] ve Rumelhart ve McClelland [409] tarafından geliştirilen delta kuralları veya geri yayılım algoritması danışmanlı öğrenmeye örnek olarak verilebilmektedir.



Şekil 3.10. Danışmanlı öğrenme yapısı.

3.5.2.2. Danışmansız Öğrenme Metodu

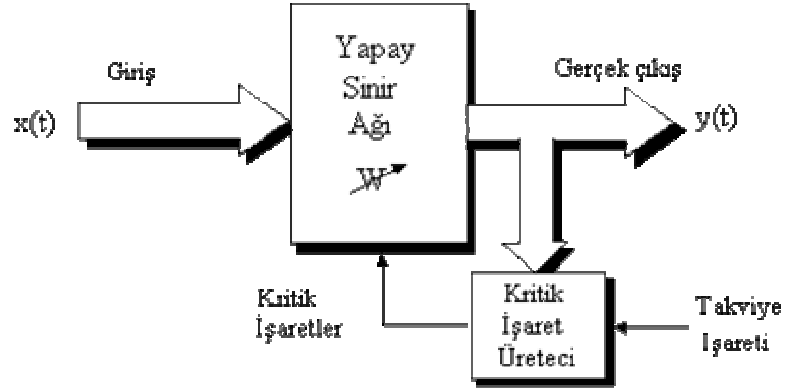
Çalışma mantığı Şekil 3.11’de verilen danışmansız öğrenme metodu, probleme ait giriş bilgilerine bağlı olarak öğrenmeyi gerçekleştirmektedir. Giriş bilgilerine göre ağ öğrenme kurallarını kendi kendine geliştirir. Carpenter ve Grossberg [411] tarafından geliştirilen adaptif rezonans teorisi (ART) yapısında veya Kohonen [180] tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) yapısında bu danışmansız öğrenme metotları kullanılmaktadır. Ayrıca bu öğrenme metodu sınıflandırma ve şekil tanıma gibi problemlere de uygulanabilmektedir.



Şekil 3.11. Danışmansız öğrenme yapısı.

3.5.2.3. Takviyeli Öğrenme Metodu

Takviyeli öğrenme metodu, danışmanlı öğrenme metodunun özel bir formudur ancak bu yöntemde arzu edilen çıkışın bilinmesine gerek yoktur. Bu öğrenme metodunda çıkışı elde edebilmek için YSA'ya bir hedef verilmemekte ancak elde edilen çıkışın verilen girişe uygun olup olmadığını değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen Boltzmann kuralı veya genetik algoritma, takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilmektedir. Şekil 3.12'de verilen bu öğrenme metodu, özellikle kontrol uygulamaları için idealdir.



Şekil 3.12. Takviyeli öğrenme yapısı.

3.5.3. Yapay Sinir Ağı Yapıları

Literatürde çok sayıda YSA yapısı bulunmaktadır [397, 410, 412]. Bunlara ADALINE'lar, MLP'ler, RBFNN'ler, LVQ'lar, SOM'lar, KOHONEN ağları, PNN'ler, GRNN'ler, GMDH'lar ve Elman-Jordan Ağları gibi YSA yapıları örnek olarak verilebilir. Bu ağ yapıları içerisinde en çok kullanılanlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

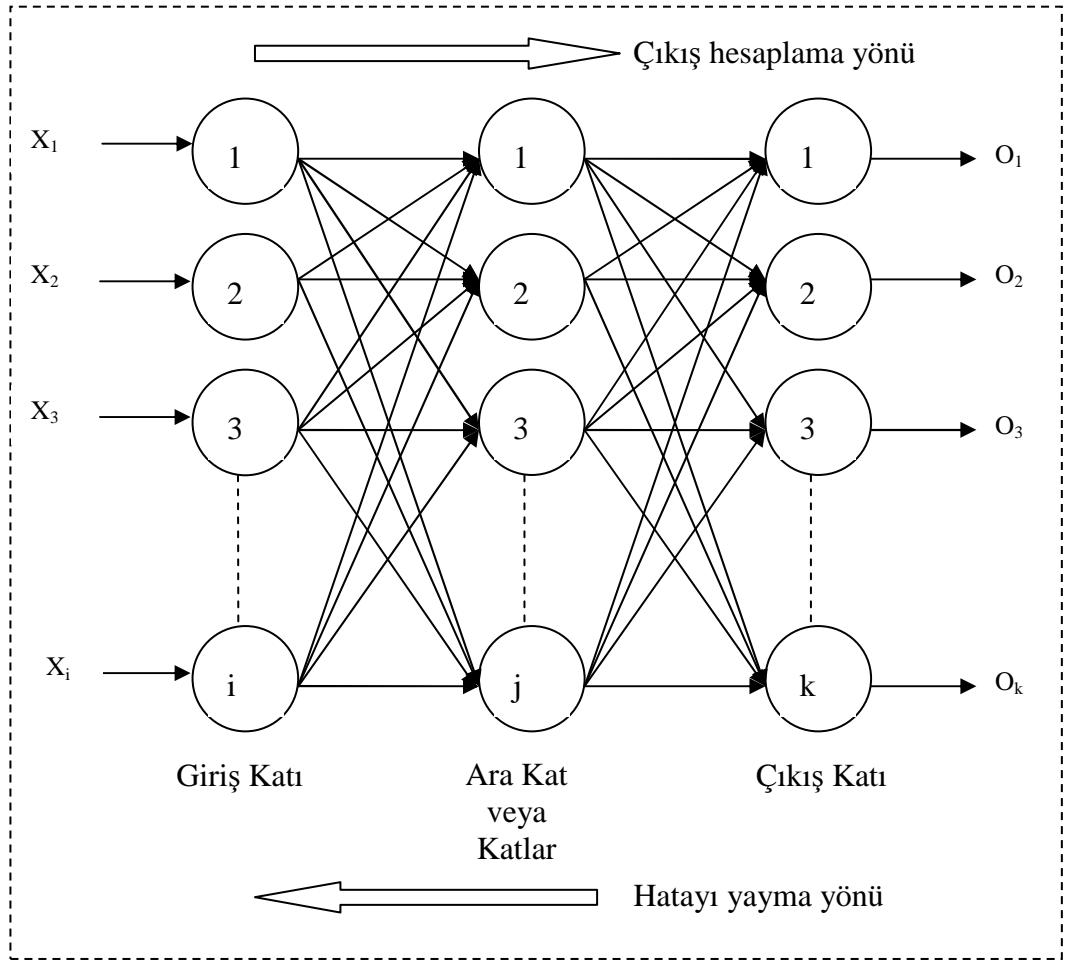
3.5.3.1. SLP ve MLP Yapıları

En temel YSA yapılarından olan tek katmanlı perseptronlar (SLP) ve çok katmanlı perseptronlar (MLP), bir giriş, bir veya daha fazla ara (gizli) katman ve bir de çıkış katmanından oluşmaktadır. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri doğrudur ve katmanlar arasında geri besleme yoktur. Bu yüzden bu ağ yapısı ileri beslemeli sinir ağı modeli olarak

bilinmektedir. Bir MLP sinir ağı modeli, Şekil 3.13'te gösterilmektedir. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmamakta, bu katmandaki nöronlar tampon görevi yaparak sadece giriş sinyali x_i 'nin gizli katmandaki nöronlara dağıtılmasını sağlamaktadır. Ara katman sayısı ve ara katmandaki işlem elemanı sayısı genellikle deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Bu parametrelerin bulunması için Taguchi deneysel tasarım yöntemi gibi bazı tasarım yöntemleri de mevcuttur. Ara katmanda bulunan her bir j indeksli işlem elemanı x_i giriş sinyalini, giriş katından w_{ji} ağırlıkları ile çarptıktan sonra toplamakta ve toplamın bir fonksiyonu olarak çıkışı hesaplamaktadır. Bu fonksiyon SF veya TH gibi bir aktivasyon fonksiyonu olabilmektedir. Çıkış katmanındaki eleman sayısı yine uygulanan probleme bağlı olarak belirlenmektedir. Bu katmandaki nöronların çıkışları da ara katmandakine benzer olarak hesaplanmaktadır. SLP'lere ait sınırlamaların birçoğunu ortadan kaldırmalarına MLP'ler günümüzde en çok kullanılan YSA yapılarındandır. Danışmanlı öğrenme MLP ağ yapılarında, ağa bir örnek gösterilir ve örnek neticesinde nasıl bir sonuç istendiği sisteme bildirilir [397, 412].

Çok katmanlı ağlarda, veriler giriş katmanı tarafından alınmaktadır. Ağ içinde yapılan işlemler sonucunda çıkış katmanında oluşan sonuç değer, istenen cevap ile karşılaştırılarak elde edilen sonuç ile olması gereken sonuç arasında herhangi bir fark olup olmadığına bakılmakta bu şekilde bir hata değeri hesaplanmakta ve ağırlıklar bu hatayı azaltacak şekilde yeniden düzenlenmektedir.

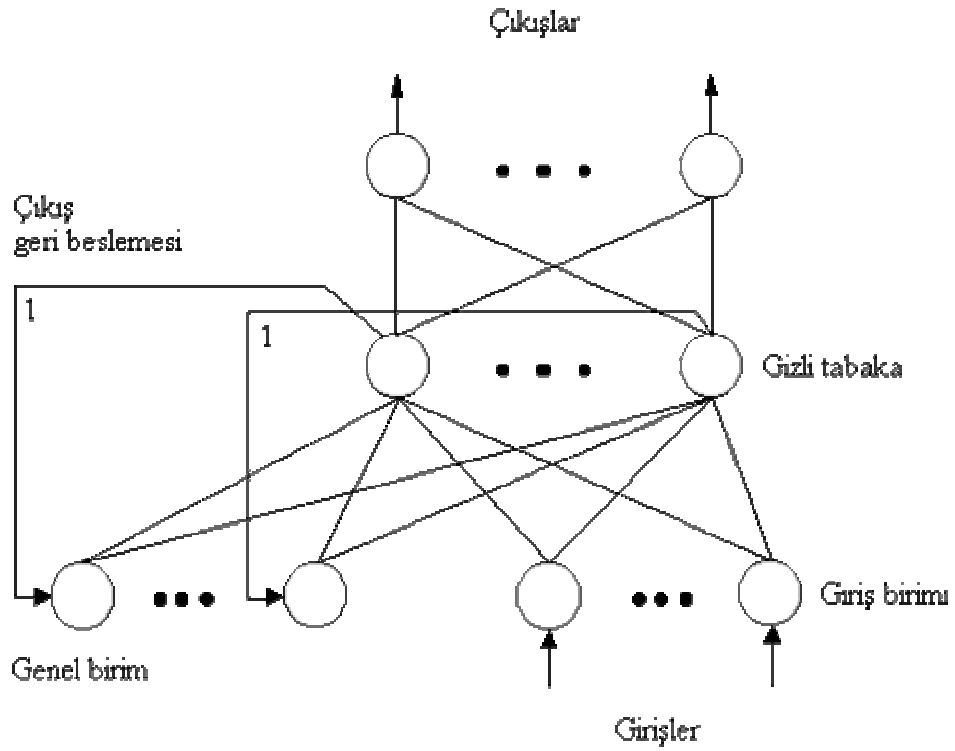
Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde, her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işlemlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanmaktadır. Sonuç olarak, ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlamakta ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam etmektedir. Sonuçta sistem hata yapmakta ve bu hataları kullanarak öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yönteme "hatanın geriye yayılması algoritması" (back-propagation algorithm) denilmektedir [397, 412].



Şekil 3.13. MLP ağ yapısı.

3.5.3.2. Elman YSA Yapısı

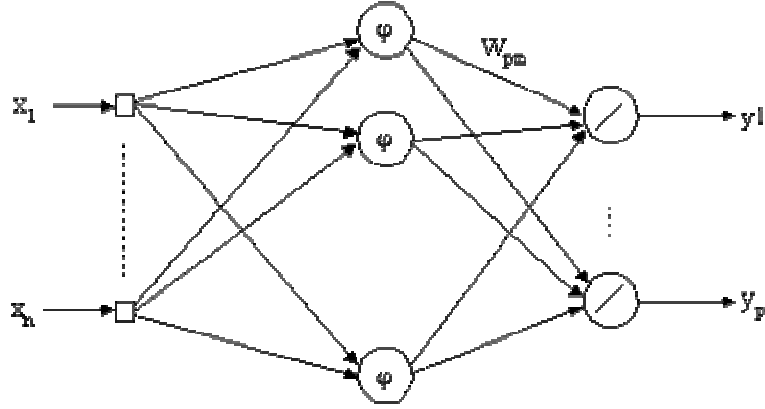
Şekil 3.14 Elman ağını göstermektedir. Elman ağı MLP'lere benzer bir yapıdadır ve çok katmanlıdır [397]. Gizli katmana ek olarak durum katmanı veya genel birim denilen özel bir gizli katman daha vardır. Gizli katmandan veya çıkış katmanından geri besleme işaretleri alan durum katmanındaki işlemci elemanlarının çıkışları ileriye doğru gizli katmana verilmektedir. Eğer sadece ileri doğru bağlantılar göz önüne alınır ve geri besleme bağlantılarına sabit değerler verilirse, bu ağ sıradan ileri beslemeli bir ağ haline gelmektedir.



Şekil 3.14. Elman ağı.

3.5.3.3. RBF YSA Yapısı

RBF ağları çok değişkenli modelleme ve yakınsamalarda kullanılan YSA yapılarındandır. Ara katmandaki işlem elemanları girişlerin ağırlıklandırılmış şeklini kullanmakta ve ara katmandaki işlemci elemanların çıkışları YSA girişleri ile temel fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir. RBF yapısı en genel anlamıyla radyal olarak simetrik olan ara katman işlemci elemanları içeren yapıdır. Ara katman işlemci eleman çıkışı sadece merkezle giriş vektörü arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur ve çok değişkenli enterpolasyon yaklaşımlarında kullanılan YSA yapılarındandır. İlk katmandaki işlemci elemanların çıkışları YSA girişleri ile temel fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir [397]. Radyal temelli YSA'ların son katmanları lineerdir ve ilk katmanın çıkışlarından ağırlıklandırılmış toplam çıkışı üretir. Ara katman işlemci elemanları lineer yapıdaki bir çıkış katmanına bütünüyle bağlantılıdır. Temel bir RBF yapısı Şekil 3.15'te verilmektedir.

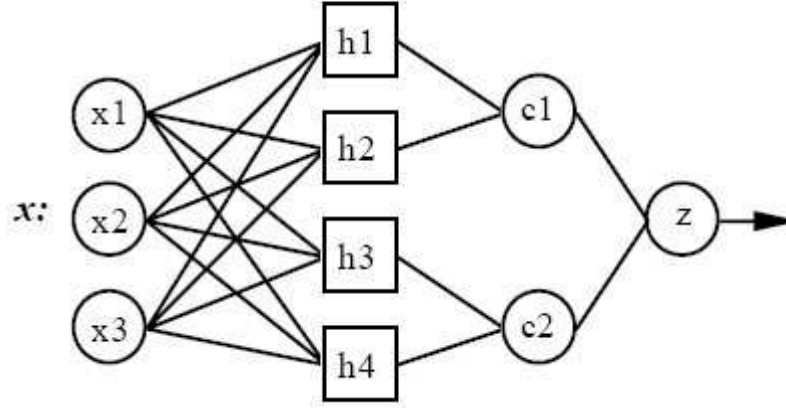


Şekil 3.15. Temel bir RBF yapısı.

Radyal tabanlı YSA'lar yerel çekirdek (kernel) fonksiyonları kullanıyormuş gibi ayrı sınıf dağılımlarının modellenmesini sağlamaktadır. Bu sınıfları ayırmak için hiper-yüzeyler veya her bir sınıfa bir kernel fonksiyonu yerleştirilmektedir. RBF'ler genellikle sistem modelleme, tahmin, sınıflandırma gibi problemlerin çözümleri için kullanılmaktadır. RBF'lerin MLP'lere göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar daha hızlı öğrenebilme, karar sınırlarının belirlenmesinde ve sınıflandırmada daha doğru sonuç verebilme, daha doğal yorumlama yeteneğine sahip ara katmana sahip olma, giriş uzayının bir yoğunluk fonksiyonuyla temsil edilebiliyor olması şeklinde sıralanabilmektedir.

3.5.3.4. GRNN YSA Yapısı

Radyal tabanlı işlev ağlarının özel bir durumu olan genelleştirilmiş regresyon ağları (GRNN) ileri beslemeli bir ağ yapısına sahiptirler. Sistem modelleme ve parametrelere bağlı tahmin gibi işlemler için kullanılan GRNN'nin blok şeması Şekil 3.16'da verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi GRNN yapısı 4 katmandan oluşmaktadır. Bunlar giriş katmanı (x_i), ara katman (h_i), toplama katmanı (c_i) ve çıkış katmanı (c_i) olarak adlandırılmaktadır. Giriş nöron sayısı diğer ağlarda olduğu gibi problem giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ise örnek sayısı kadardır. Toplama katındaki nöron sayısı çıkış sayısının bir fazlasıdır.



Şekil 3.16. Temel bir GRNN yapısı.

GRNN ağ yapısı bir radyal tabanlı katman ve bir doğrusal katmandan oluşmaktadır. Birinci katman, normal bir radyal tabanlı YSA gibi işlemektedir. Her nöronun ağırlıklı girişi, giriş vektörü ile bu girişin ağırlık vektörü arasındaki uzaklıktır. Bir nöronun net girişi, ilgili nöronun ağırlıklı girişi ile biasının çarpımı şeklinde belirlenmekte ve nöron çıkışı, ilgili nöronun net girişinin radyal tabanlı katmandan geçirilmesiyle hesaplanmaktadır. Genel regresyon ağlarında bir (x_i) girişi, ağdaki Gauss çekirdeklerinden birinin merkezi olarak atanır. Herhangi bir giriş vektörü x için i . radyal tabanlı biriminin çıkışı (β_i) Denklem (3.7)'de verildiği şekilde hesaplanmaktadır. Burada σ kullanıcı tarafından belirlenen yumuşatma parametresidir. Herhangi bir (x_i) girişi için ağırlık çıkışı (y_i) Eşitlik (3.8)'de verildiği şekildedir. Eşitlikte kullanılan (α_i) , katsayıları Eşitlik (3.9)'da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Eğer giriş vektörü herhangi bir eğitim vektörüne yakın ise (x_i) 'ye ilişkin (α_i) en büyük olacak ve istenen çıkış y , (x_i) 'ye ilişkin (y_i) çıkışına yaklaşacaktır. GRNN'de eğitim için yinelemeli (iteratif) yöntemler kullanılmamaktadır [413-416].

$$\beta_i = \exp\left[-\frac{(x - x_i)^T (x - x_i)}{2\sigma^2}\right] \quad (3.7)$$

$$y = \sum_{i=1}^K \alpha_i y_i \quad (3.8)$$

$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i} \quad (3.9)$$

3.6. Sonuç

Gerçekleştirilen tez çalışmasında geliştirilen sistemin YSA temelli bir sistem oluşu nedeniyle, bu bölümde literatürde birçok alana başarıyla uygulanarak bilim dünyasında saygın bir yer edinmiş, iyi bilinen modelleme teknikleri olarak kabul görmüş olan YSA yapıları [397, 410] hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu yapılar çeşitli açılardan kısaca anlatılmıştır.

Sunulan tez çalışmasında parmak izleri ile yüzler arasında var olduğu düşünülen bir ilişkinin araştırılıp incelenmesi ve modellenmesi hedeflenmektedir. Bu ise daha önce hiç çalışılmamış, tamamen yeni bir konudur. Modelleme için kullanılması planlanan sistemin girişi parmak izlerine ait özellik setleri, çıkışı ise yüzlere ait özellik setleridir. Sistemden beklenen bu iki özellik seti arasındaki ilişkiyi örneklerden öğrenip modellemesi ve bu ilişkiyi kullanarak daha önce görmediği girişlere uygun çıkışları üretebilmesidir. Çalışılan konunun bir ilk çalışma olması nedeniyle bu giriş-çıkış veri seti arasındaki ilişki bu güne kadar hiç bir araştırmacı tarafından modellenmemiştir. Yani bu iki veri seti arasındaki ilişkinin matematiksel modeli bilinmemektedir. Dolayısıyla sistem tasarımcısının bu ilişkiyi sisteme tarif etmesi gibi bir durum söz konusu değildir. Bu yüzden sistemden aradaki ilişkiyi örnekten öğrenmesi ve genellemesi beklenmektedir. Gerek bu ilişkinin sisteme tarif edilememesi gerekse giriş çıkış verileri ve bu verilerin boyutları gözönünde bulundurulduğunda bu problemin ne kadar karmaşık ve modellenmesi zor bir problem olduğu görülmektedir. Bu durumda kullanılacak sistemin doğrusal olmayan problemlerde modelleme yapabilecek, girişle çıkış arasındaki ilişkinin kullanıcı tarafından ifade edilmesine ihtiyaç duymayacak ve örneklerden öğrenip genelleme yapabilecek zeki bir sistem olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu açıdan bir araştırma yapıldığında bu bölümde anlatılan çeşitli özellikleri bünyesinde barındıran ve problemin doğasına en uygun yöntem olarak karşımıza çıkan çözüm YSA olmaktadır.

Sunulan çalışmada problemin doğasına uygunluk kriteri göz önünde bulundurularak yapılan inceleme ve elde edilen tecrübeler neticesinde kullanılacak YSA yapısının FF (feed-forward backpropagation network) olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile bu yapının optimum parametre seti belirlenmiştir. Tez çalışmasının genelinde tüm işlemler bu yapı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışmada deneysel tasarımda dikkate alınan öğrenme algoritmaları CGB - Powell-Beale conjugate gradient backpropagation, CGF - Fletcher-Powell conjugate gradient backpropagation, CGP - Polak-Ribiere conjugate gradient backpropagation, GD - Gradient descent backpropagation, GDA - Gradient descent with adaptive lr backpropagation, OSS - One step secant backpropagation, GDAM - Gradient descent w/momentum & adaptive learning backpropagation ve SCG - Scaled conjugate gradient backpropagation şeklindedir.

Tez çalışmasında kullanılan transfer fonksiyonları ise Sigmoid fonksiyonu (SF) ve tanjant hiperbolik (TH) fonksiyonu şeklindedir.

4. BÖLÜM

PARMAK İZİ İLE YÜZ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN VARLIĞININ SORGULANMASI

Kişilerin tanınmasında ve kimliklendirilmesinde uzun zamandır güvenle kullanılan ve “kişiye özgü” kavramıyla özdeşleşen biyometrik özelliklerin tekil olması ve kişiyi yüksek doğruluklarla tanıyıp kimliklendirebiliyor olması bu özellikler arasında bir ilişkinin olabileceği fikrini doğurmaktadır. Sunulan tez çalışmasında, üzerinde derinlemesine çalışılmış ve doğruluğu bilim otoritelerince kabul edilmiş bazı gerçekler göz önünde bulundurularak biyometrik özellikler arasında olabilecek herhangi bir ilişkinin varlığının sorgulanması, araştırılması, incelenmesi, analiz edilmesi ve modellenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışmada takip edilen adımlar, motivasyondan kullanılan metotlara kadar belirli bir sistematik içerisinde takip eden başlıklarda açıklanmıştır.

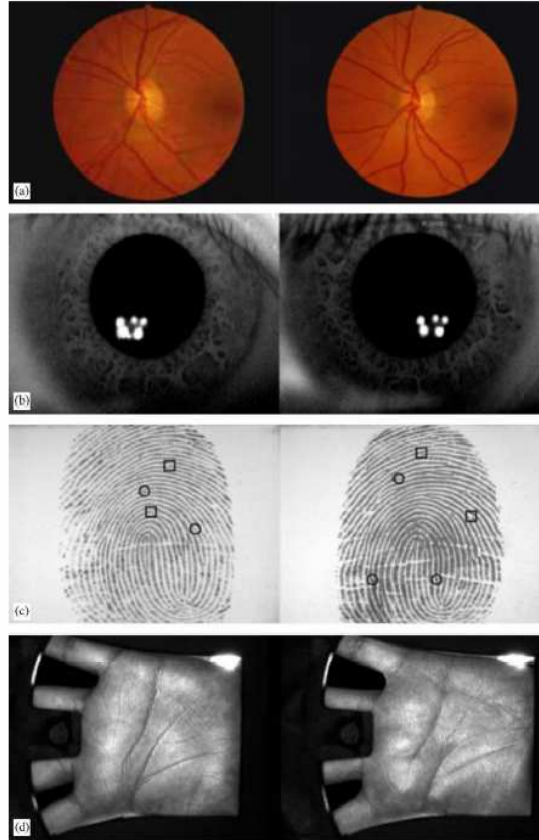
4.1. Parmak izi ile Yüz arasındaki İlişki

Parmak izleri ile yüzler arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin analizinin ilk adımı bu ilişkiye dair literatürden elde edilecek ip uçları ve işaretlerin belirlenmesi olacaktır. Bunun için öncelikle mevcut literatür bu açıdan taranmış ve elde edilen bilgiler aşağıda sunulmuştur.

4.1.1. Mevcut Literatür

Biyolojik organizmaların oluşumu incelendiğinde canlıların genellikle taşıdıkları genler ve çevresel faktörlerin etkileşimi sonucunda oluşup şekillendikleri görülmektedir. Fenotip olarak bilinen yapı özel bir genotip ve özel çevresel şartlarının etkileşimleri ve birleşimleri neticesinde tekil olarak oluşmaktadır. Fiziksel görünüm de bunun

içerisindedir. Yüz, iris, el ayası ve parmak izi de bireyin fenotipinin bir parçasıdır [417]. Kişilerin yüzlerinin de içinde bulunduğu fiziksel yapılarının oluşmasında sahip oldukları genlerin etkisinin varlığı tartışılmaz bir gerçektir. Kişilerin genlerini aldığı ebeveynlerine benzeyişinin arkasındaki temel neden de budur. Olaya parmak izleri açısından yaklaşıldığında da durumun benzer olduğu görülmekte, parmak izi deseninin genel karakteristiğinin genler tarafından belirlendiği literatürde açıklıkla belirtilmektedir [417]. Bu bilginin doğruluğunun sorgulanması anlamında yapılacak en basit işlem genleri tamamen aynı olan kişilerin fiziksel biyometrik özellikleri arasındaki benzerliğin kontrol edilmesi olacaktır. Bu bilgiler doğruysa genleri aynı olan tek yumurta ikizlerinin biyometrik özellikleri de “tamamen aynı”, “nerdeyse aynı” veya “yüksek benzerlikli” olacaktır. Elde bulunan örnekler incelendiğinde tek yumurta ikizlerinin fiziksel biyometrik özelliklerinin birbirine çok benzer olduğu, sadece maruz kalınan farklı çevresel şartlardan kaynaklanan çok küçük farklılıkların bulunduğu görülmektedir. Bu benzerlikler tek yumurta ikizlerine ait çeşitli biyometrik özelliklerin verildiği Şekil 4.1’de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.1. Tek yumurta ikizlerine ait biyometrik özellikler
(a) retina, (b) iris, (c) parmak izi (d) el ayası [418].

Beslenme, yaşam tarzı, çeşitli fiziksel aktiviteler, iş yükü, maddi olanaklar ve alışkanlıklar gibi çevresel etkenlerin doğuştan aynı olan fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin varlığı tartışılmazdır. Örneğin doğuştan ve küçük yaşlarda neredeyse tamamen aynı olan ve birbirinden ayırmanın çok güç olduğu tek yumurta ikizlerinin çeşitli fiziksel özellikleri örneğin yüzleri ileriki yaşlarda yukarıda verilen çevresel etkenler nedeniyle farklı şekillerde değişime uğrayabilmekte ve aradaki benzerlik azalabilmektedir. Çeşitli yaşlarda tek yumurta ikizlerinin yüzleri Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Çeşitli yaşlarda tek yumurta ikizlerinin yüzleri [418].

4.1.2. Motivasyonlarımız

Cildiye biliminde genetik yönlerin araştırıldığı çeşitli çalışmalarda, insanların parmak izleri arasındaki benzerlik ve farklılıklara yönelik detaylı incelemeler yapılmış ve dünyada en büyük farklılığa başka bir deyişle en küçük benzerlik oranına sahip parmak izlerinin farklı ırklara mensup insanların parmak izleri olduğu sonucuna varılmıştır [419]. Aynı ırka sahip ancak birbiriyle akraba olmayan insanların parmak izleri arasındaki benzerliğin çok küçük olduğu; benzer genlere sahip yakın akrabaların parmak izlerindeki benzerliğin de arttığı; genlerini ebeveynlerinden alan çocuklarla ebeveynlerinin parmak izleri arasındaki benzerliğin diğer insanların parmak izlerine olan benzerliğe göre daha fazla olduğu ve tamamen aynı genleri paylaşan tek yumurta ikizlerinin parmak izlerinin çok büyük oranda benzeştiği de çalışmalarda açıklıkla belirtilmektedir [419].

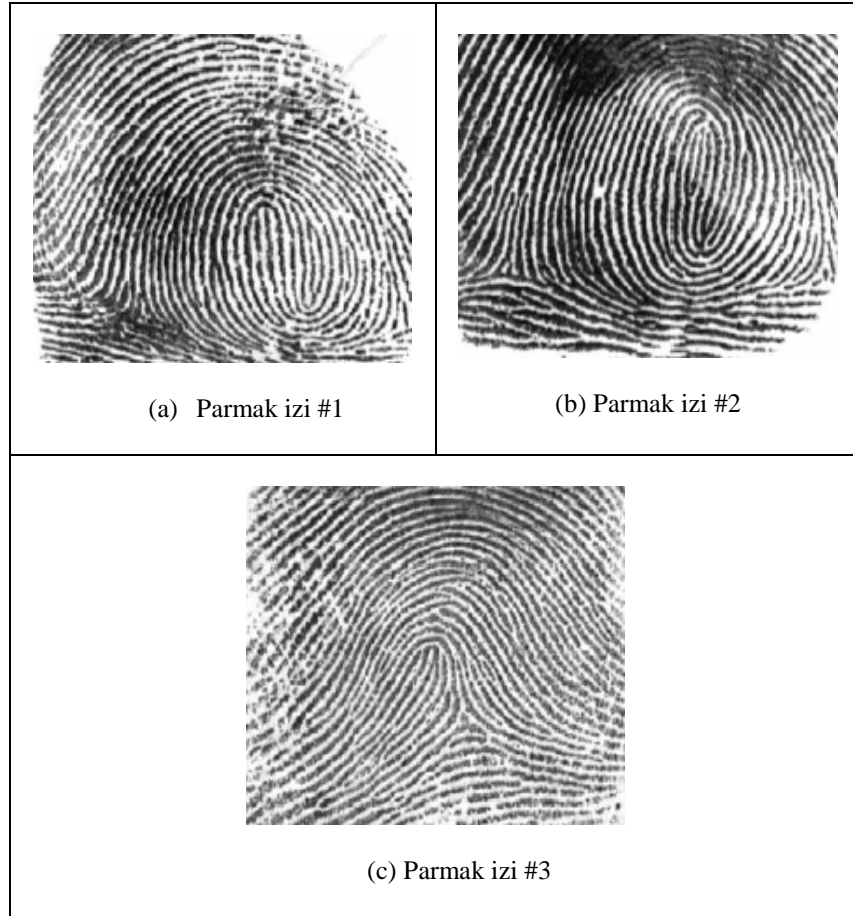
Kişinin fiziksel özelliklerinin kimliklendirme işleminde kullanılmaya başlanmasından bugüne kadar, parmak izleri ve yüzler konusunda %95 benzerlik oranına sahip tek yumurta ikizlerinin birbirlerinden ayrılabilmesi ve sağlıklı bir şekilde tanıma işleminin gerçekleştirilebilmesi biyometrik temelli tanıma sistemlerinin aşılması gereken en önemli problemlerinden biri olmuştur [420]. Birçok kaynakta tek yumurta ikizlerinin biyometri temelli sistemlerde kaosa neden olabileceği belirtilmiş, buna bir çözüm bulunması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Parmak izi ve yüz tanıma sistemlerinin de dahil olduğu biyometrik sistemlerdeki bu zayıf noktanın giderilmesi için tek yumurta ikizleri ve bunların biyometrik özellikleri konusu derinlemesine araştırılmış ve literatürde bu konuda çeşitli çalışmalar sunulmuştur [417-423]. Bu çalışmalar incelendiğinde elde edilen bulgular bu tez çalışmasında araştırmaya yön vermiş ve konuya yeni ufuklar kazandırmıştır. Konuyla ilgili temel bilgiler, elde edilen bulgular ve bu bulguların tez çalışmasını etkileme biçimi aşağıda verilmektedir.

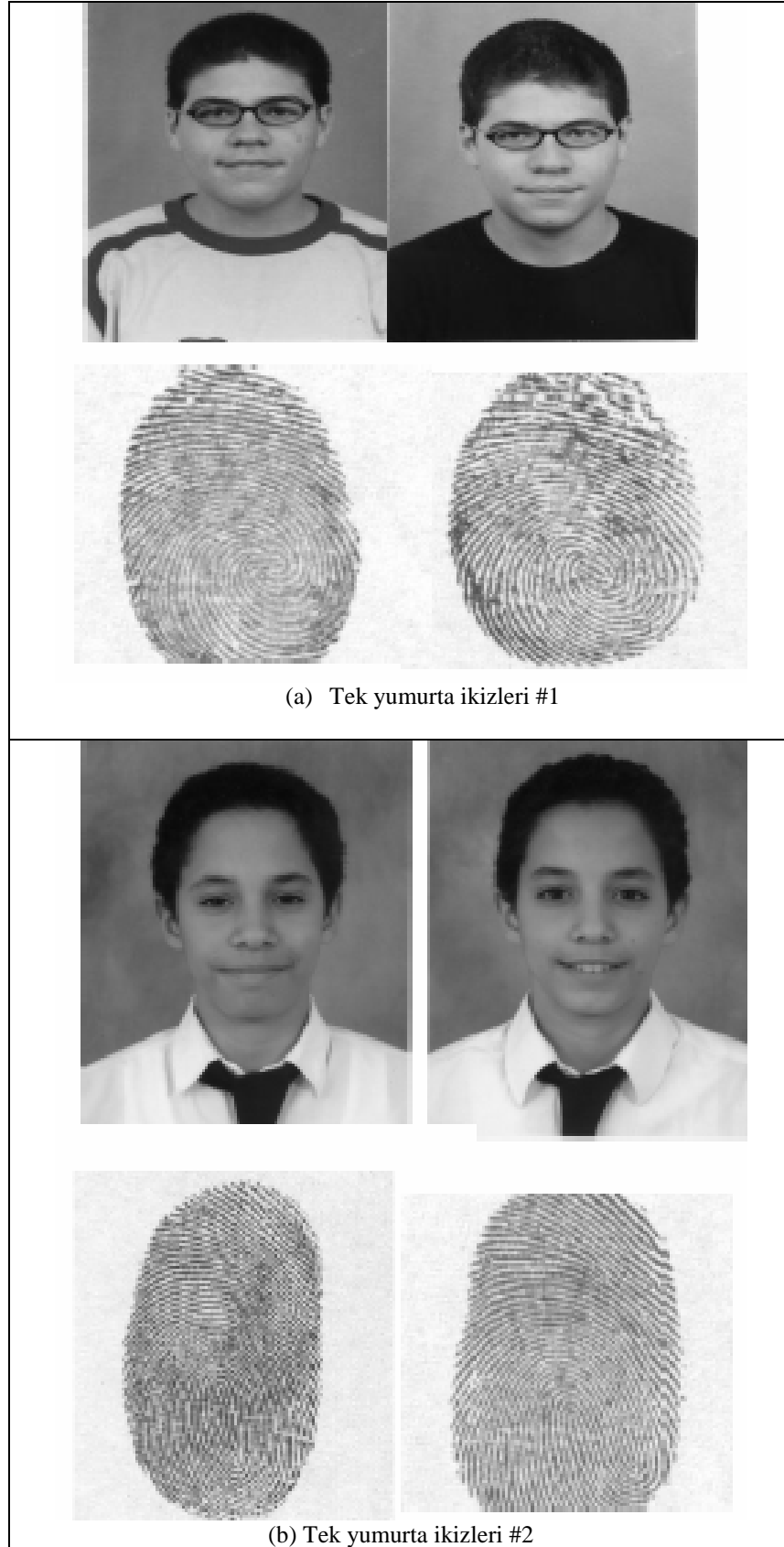
Tek yumurta ikizleri döllenmiş bir yumurtanın ikiye bölünmesi neticesinde oluşurlar ve hücrenin bölünme hareketiyle başlayan fark edilemeyecek kadar küçük mutasyonlar dışında tamamen aynı DNA'ya sahiptirler. Tek yumurta ikizlerinin yüzlerinin ve parmak izlerinin de içinde bulunduğu fiziksel gelişiminin temelinde de aynı DNA

vardır. Tek yumurta ikizlerinin fiziksel özelliklerindeki büyük benzerliğin temel nedeni de aslında budur [421]. Tek yumurta ikizlerinin yüzlerinin birbirine çok benzediği bilinen bir gerçektir. Parmak izlerindeki benzerlik incelendiğinde ise tıpkı yüzlerinin olduğu gibi parmak izlerinin de birbirinden çok zor ayırt edilebilecek ölçüde benzediği görülmekte ve çalışmalarda bu gerçek üzerinde durulmaktadır. Bu benzerlik Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmektedir [422, 423].

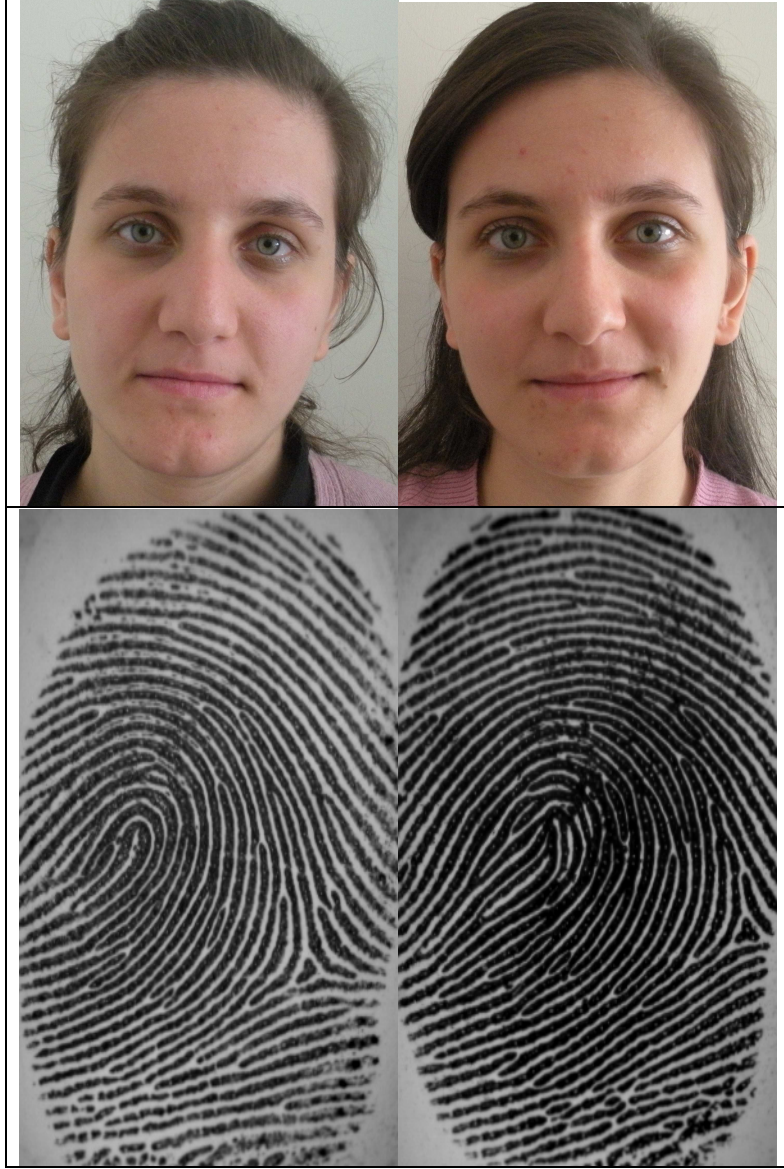
Yüzleri birbirine benzemeyen, herhangi bir genetik ortaklığı olmayan kişilere ait yüzler ve parmak izleri arasındaki çeşitliliği göstermek için ise tez çalışması bünyesinde oluşturulan ve kullanılan veritabanından rasgele seçilmiş kişilere ait yüzler ve parmak izleri Şekil 4.7’de verilmektedir.



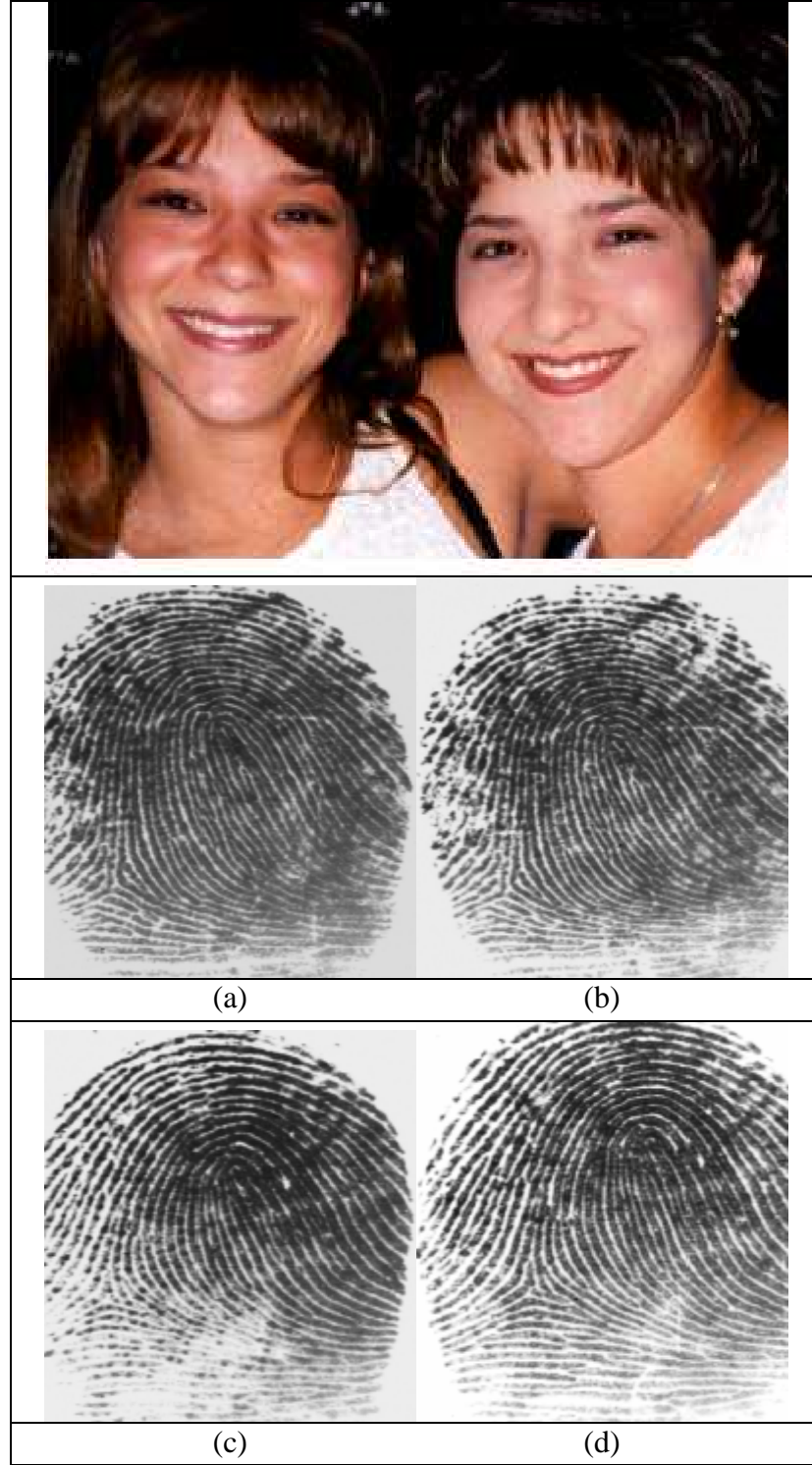
Şekil 4.3. Tek yumurta ikizlerine ait parmak izleri (a ve b), farklı bir insana ait parmak izi (c) [422].



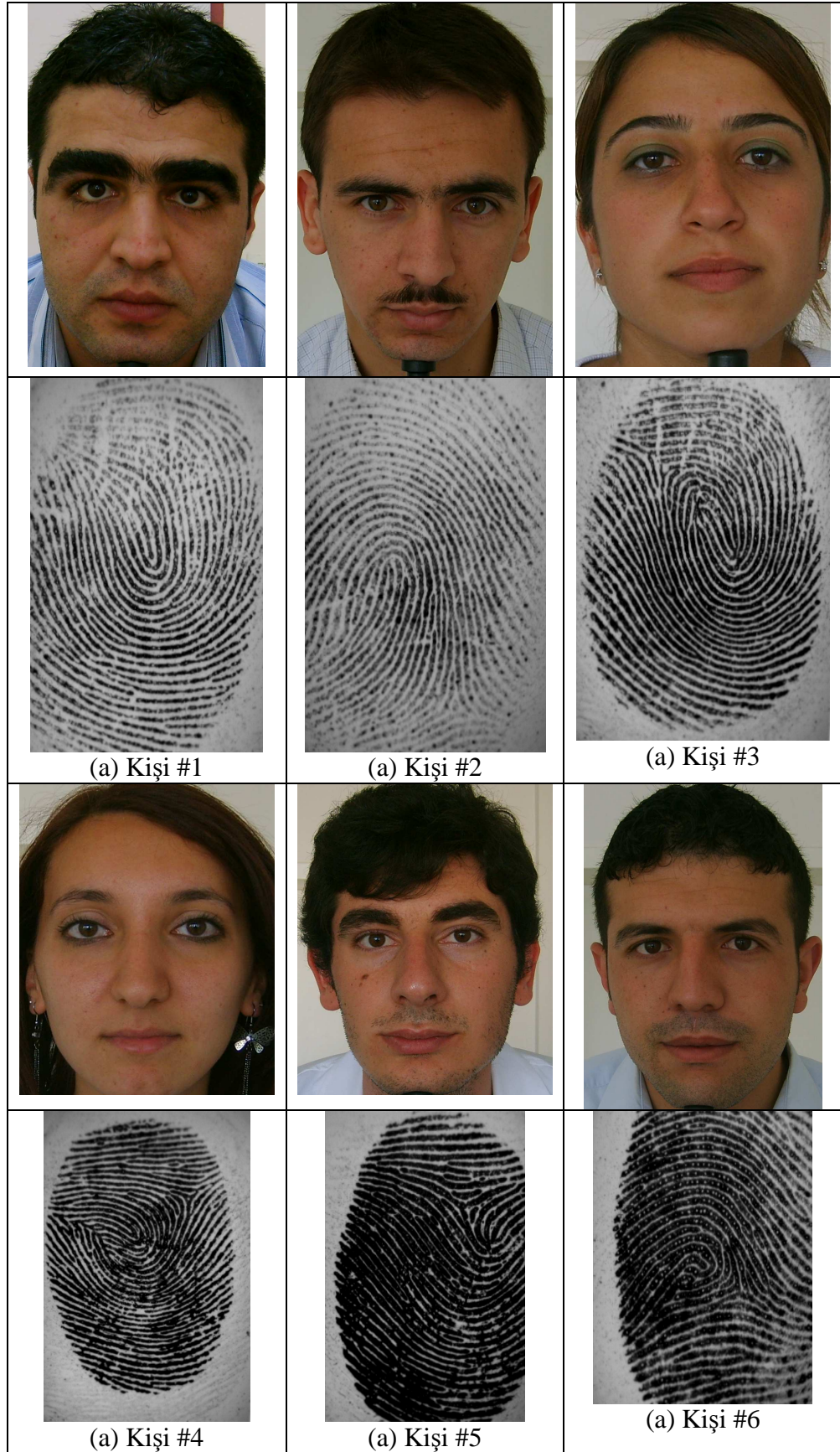
Şekil 4.4. Tek yumurta ikizleri ve parmak izleri-1 [423].



Şekil 4.5. Tek yumurta ikizleri ve parmak izleri -2.



Şekil 4.6. Tek yumurta ikizleri ve parmak izleri-3 [422].
(a) ve (b) İkiz tekinin aynı parmağına ait farklı baskılı parmak izleri (c) ve (d) diğer ikiz tekinin aynı parmağına ait farklı baskılı parmak izleri.



Şekil 4.7. Veritabanından rasgele seçilen 6 kişinin yüzü ve parmak izi.

Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilen yüzler ve parmak izleri incelendiğinde tek yumurta ikizlerinin parmak izlerinin de yüzleri gibi çok büyük benzerliğe sahip olduğu görülmektedir. Biyometrik temelli kimliklendirme ve güvenlik sistemlerinin tek yumurta ikizlerinin biyometrik özelliklerini ayırt edememe yönündeki zayıf noktalarını kapatma gereksinimi biyometrik özellikler arasındaki benzerliğin derinlemesine araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu nedenle tek yumurta ikizlerine ait biyometrik özellikler arasındaki benzerliğin varlığı ve boyutu çeşitli bilim insanları tarafından araştırılmış ve bu özelliklere ait özellik setleri incelenerek konuyla ilgili çeşitli bulgular ortaya konulmuştur. Sunulan tez çalışması kapsamında parmak izleri ve yüzler işlendiği için bundan sonra bu iki biyometrik özellik üzerinde durulacaktır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda tek yumurta ikizlerine ait parmak izleri ile ilgili en çok vurgulanan nokta bu parmak izlerinin aynı sınıftan olduğu bilgisidir. Tek yumurta ikizlerinin parmak izlerinin benzerliğinin analiz edilmesine yönelik çalışmalar yapan bilim adamları tek yumurta ikizlerinin parmak izlerinin sınıfları konusundaki yüksek korelasyonu onaylamakta ve bu korelasyonun yalnızca parmak izinin sınıfıyla sınırlı olmadığını; parmak izlerinin, çizgi sayısı, çizgi genişliği, çizgi ayrılmaları ve çizgi yoğunluğu gibi parmak izlerine ait temel özellikler konusunda da yüksek benzerliğe sahip olduklarını vurgulamaktadırlar [417]. Yüz bilgisini kullanarak her gün hiç zorlanmadan hatta farkında bile olmadan kişi tanınması yapan insanoğlu tek yumurta ikizlerini sadece onların yüz bilgilerini kullanarak ayırt etmekte zorlanmaktadır. Benzer şekilde tek yumurta ikizlerinin parmak izlerinin birbirinden ayrılması söz konusu olduğunda da insan gözü ve beyni yetersiz kalmakta, önüne gelen iki parmak izi için aynı parmağa ait farklı basımlardan elde edilmiş parmak izleri mi yoksa tek yumurta ikizlerine ait parmak izleri mi olduğu ayrımını kolaylıkla yapamamaktadır. Her gün defalarca ve kolaylıkla yapılan yüz tanıma ve farklı kişilere ait iki farklı parmak izinin birbirinden ayırt edilmesi gibi kolay iki işlemi bu denli zor işlemlere çeviren neden tek yumurta ikizlerinin yüzlerindeki ve parmak izlerindeki yüksek benzerliktir. Şekil 4.6'da verilen resimler bu ayrımın ne kadar zor olduğunu destekler niteliktedir. Tek yumurta ikizlerine ait parmak izleri ikişer farklı basım ile alınmış ve ikizler için her iki basım da verilmiştir. Şekil 4.6 dikkatlice incelenirse ikizlerin parmak izlerindeki benzerliğin derecesi neredeyse aynı parmağın farklı basımlardaki benzerlik derecesine eşittir. Başka bir deyişle ikizlerden birinin parmak izi diğer ikiz kardeşinin parmak izinin farklı bir

baskısı gibi durmaktadır. Yüzler için de aynı ifadenin kullanılabilmesi dikkat çekicidir. Parmak izleri ve yüzler çok dikkatli incelendiğinde detaylarda küçük de olsa farkların bulunduğu da gözden kaçmamaktadır. Bu farklılığın kişilerin maruz kaldığı çevresel faktörlerden ve/veya bebeklerin anne rahmindeki farklı konum ve hareketlerinden kaynaklandığı belirtilmektedir [418].

Kişinin temsil edilmesinde güvenle kullanılan biyolojik kimlik olarak tanımlanabilen biyometrik özellikler konusunda yapılan binlerce çalışma ve araştırmaya rağmen bu özellikler arasındaki ilişkinin varlığının sorgulanması ve analizi konusuna bugüne kadar hiç değinilmemiştir. Ancak konuyla ilgili yukarıda verilen bulgular değerlendirildiğinde parmak izi ve yüz biyometrik özellikleri arasında paralel yönde ve büyüklükte ilerleyen bu benzerlik bu özellikler arasında herhangi bir ilişkinin olabileceğine dair ip uçları ve işaretler vermektedir. Bu tez çalışmasında parmak izi ve yüz arasındaki ilişkinin analizi konusunda çalışılmasına motivasyon sağlayan bu bulgular maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

1. Parmak izleri kişiye özgüdür, eşsizdir, hayatın başından sonuna kadar değişmez [1].
2. Parmak izleri bir asırdan fazla süredir kişileri birbirinden ayırt etmekte güvenle kullanılan en önemli biyometrik özelliklerden biridir [1, 4].
3. İnsanların parmak izleri anne karnında şekillenir ve ölümlerine kadar parmak uçlarında taşıdıkları kimliklerini ihtiva eden bir çeşit künyeleridir [1].
4. Tek yumurta ikizlerinin parmak izleri gerek sınıf bilgisi gibi genel özellikler açısından gerekse çizgi sayısı, çizgi genişliği ve çizgi yoğunluğu gibi temel özellikler açısından birbirlerine çok benzerdir. Sadece küçük detaylarda birbirlerinden ayrılmaktadırlar.
5. Ebeveyn ve çocuklarının, çift yumurta ikizlerinin ve normal kardeşlerin parmak izleri de birbirlerine oldukça benzemektedir. Benzer şekilde yakın akrabaların parmak izlerinin de birbirlerine benzediği elde edilen bulgular arasındadır.
6. Parmak izi benzerlik oranının en düşük olduğu kişiler farklı ırklardan kişilerdir.

Parmak izleri hakkında yukarıda maddeler halinde özetlenen bulguların aslında yüzler için de benzer şekilde haritalandığı görülmektedir. Yüzlere ait bu bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Yüzler kişiye özgüdür. Yüzler hayat boyunca tamamen sabit kalmasa da hayatın başından sonuna kadar değişmeyen özellikleri kapsamaktadır [4].
2. Yüzler insanlığın var oluşundan beri kişilerin birbirlerini tanımada kullandıkları en önemli biyometrik özelliklerden biridir, son 30 yıl içerisinde yüz tanıma sistemleri kişileri birbirinden ayırt etmekte güvenle kullanılmaktadır [12].
3. İnsanların yüzleri kimliklerini ihtiva eden bir çeşit künyeleridir.
4. Tek yumurta ikizlerinin yüzleri birbirlerine çok benzer. Bu yüzler sadece çok ince detaylarla birbirlerinden ayrılırlar.
5. Ebeveyn ve çocuklarının, çift yumurta ikizleri ve normal kardeşlerin yüzleri birbirlerine oldukça benzemektedir. Aile ve yakın akrabaların yüzlerinin de birbirlerine benzer olduğu bilinen bir gerçektir.
6. Yüzler incelendiğinde benzerlik oranının en düşük olduğu kişilerin farklı ırklardan kişiler olduğu görülmektedir.

Parmak izi ve yüz gibi biyometrik özelliklerin kişilerin kimliklendirilmesinde güvenle kullanılabilmesi “kişinin tanınmasında kullanılan “kişiyeye özgü” kimlik bilgisi biyometrik özellik içerisinde gömülüdür” şeklinde yorumlanabilmektedir. Biyometrik özellik içerisinde gömülü bulunan kimlik bilgisinin insanlar tarafından kolayca çözülemediği bu nedenle de taklit edilmesinin çok güç olduğu bilinen bir gerçektir. Biyometrik özelliğın içindeki kimlik bilgisinin çözümlenmesi ve anlamlı hale getirilebilmesi geliştirilen çeşitli algoritma ve teknikler yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir. İlk bakışta insan gözüyle kolayca çözülemeyen ancak çeşitli algoritma ve tekniklerle anlamlı hale getirilebilen bu bilginin biyometrik özellik içerisinde şifreli olarak gömüldüğü de söylenebilmektedir. Bu bilgiler birleştirilerek, fiziksel biyometrik özelliklere “kişinin kimliğinin şifreli olarak saklandığı fiziksel özelliklerdir” şeklinde bir tarifin yapılabileceği anlamı çıkmaktadır. Aynı kişiyeye ait biyometrik özelliklerdeki aynı kimlik bilgisinin şifreleme yöntemleri çözülebilirse bu biyometrik özellikler arasında geçiş yapılabilir fikrinden hareketle geliştirdiğimiz yaklaşımımızı yapmış olduğumuz araştırmalarda elde ettiğimiz sonuçlar ve yukarıda kaynaklarıyla verdiğimiz bilimsel gerçekler güçlendirmiş ve bu tez çalışmasında bizi sunulan yaklaşımın oluşturulmasına ve sistemin geliştirilmesine motive etmiştir. Kişiyeye özgü olan ve uzun zamandır kişilerin kimliklendirilmesinde ayrı ayrı veya birlikte kullanılan bu iki özelliği

biyometrik özellik yapan ve kimliklendirme işleminde kullanımını sağlayan da aslında içerisinde gizlenen bu kimlik bilgileridir. Her iki biyometrik özellikte de var olan şifreli kimlik bilgisi de aynı kişiyi işaret ettiğine göre bu iki biyometrik özellik arasında bir ilişki olması muhtemeldir. Bu da ancak aradaki ilişkinin araştırılması, modellenmeye çalışılması ve analiz edilmesi neticesinde ortaya çıkacaktır.

4.2. Parmak izi ile Yüz Arasındaki İlişkinin Analizinde Kullanılacak Model: YSA

Sunulan tez çalışmasında parmak izleri ile yüzler arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin varlığı sorgulanmış ve araştırılmıştır. Bu ise aslında iki farklı biyometrik özelliğe ait yüksek boyutlu iki özellik seti arasındaki ilişki veya geçişin derinlemesine araştırılıp yorumlanması anlamına gelmektedir. Parmak izlerine ait özellik setleri ile yüzlere ait özellik setleri arasındaki ilişkinin bulunması, analiz edilip modellenmesinin hedeflendiği bir durumda konuya çözüm sunabilecek en uygun platformun yapay zeka metodlarından YSA yapısı olduğu düşünülmüştür. Çünkü YSA örnekten öğrenebilme, öğrendiğini genelleyebilme, doğrusal olsun veya olmasın giriş ile çıkış arasında mantıklı ilişkiler kurup bu ilişkileri modelleyebilme, paralel yapısından dolayı hızlı çalışma gibi birçok avantajı bünyesinde bulunduran çok başarılı modelleme yöntemleridir [397]. Ancak çok çeşitli YSA yapıları ve her bir yapının birçok parametresi vardır. Kullanılabilecek en doğru YSA yapısının ve parametre setinin belirlenmesi konusunda birçok araştırmacı çeşitli denemeler sonucunda bir yapı ve parametre seti belirlemektedir. Bu ise problemin çeşidine, araştırmacının konuyla ilgili tecrübe ve altyapısına, probleme ve YSA literatürüne ne kadar hakim oluşuna bağlı olarak uzun zaman alabilmekte, kimi zaman ise en uygun parametrelerle donatılmış uygun YSA yapısı hiç kullanılmadan sonuca gidilebilmektedir. Bu açıdan YSA yapısının ve her bir yapıdaki en doğru parametrelerin belirlenmesi işlemi başlı başına bir araştırma konusudur. Sunulan tez çalışmasında bu araştırma yapılarak problemin doğasına uygun YSA yapıları arasından FF YSA yapısının kullanılmasına karar verilmiştir. Parametrelerinin belirlenmesi problemine ise deneme yanılma veya sezme yöntemiyle değil bilimsel bir yaklaşımla çözüm getirilmiş, bu yapının parametreleri Taguchi deneysel tasarım metodu denilen bir yöntem kullanılarak elde edilmiştir.

4.2.1. Taguchi Deneysel Tasarım Metodu

Taguchi metodu, sonuçta ve süreçte, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, sonuç ve süreçteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur [424]. Bu metot, sonuç kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra sistem tasarımcısına çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânı sunmaktadır [425].

4.2.2. Taguchi Metodu ile YSA Parametrelerinin kestirimi

Sunulan çalışmada, parmak izinden yüzü elde etmeye yönelik olarak gerçekleştirilen sistemin yüksek doğruluklu sonuçlara ulaşması hedeflenmektedir. Yüksek doğruluklu sonuçların elde edilebilmesi noktasında sistemin en önemli parçası olan YSA modülünün detayları önemli rol oynamaktadır. Konuyla ilgili yapılan araştırma ve analizler sonucunda, parmak izi ve yüz arasındaki ilişkinin modellenmesinde kullanılacak uygun YSA yapısı belirlenmiş ve bu yapı için kullanılacak parametre setinin olası durumları üzerinde incelemeler yapılmıştır. Elde edilen hata değerleri göz önünde bulundurularak Taguchi deneysel tasarım yöntemiyle YSA yapısının optimum parametre seti ile donatılması sağlanmıştır. Sunulan tez çalışmasının tamamında deneysel sonuçlar optimum parametre seti ile donatılan YSA yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Taguchi deneysel tasarım tekniği uygulanırken faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yapılmakta ve bu grafiklerin yorumlanması neticesinde sonuca ulaşılmaktadır [426]. Her bir faktör ya da etkileşimin ortalama üzerindeki etkisinin gösterildiği grafik olan ortalamalar için ana etki grafiği “en küçük değer en iyidir” şeklinde yorumlanır. Benzer şekilde her bir faktör ya da etkileşimin SNR (Sinyal gürültü oranı) üzerindeki etkisinin gösterildiği SNR için ana etki grafiği ise “en büyük değer en iyidir” şeklinde yorumlanmaktadır. Her iki grafikte de faktörlerin sonuç üzerindeki etkilerinin büyüklüğü her bir faktöre ait grafiğin eğimi ve bu eğimin büyüklüğü ile ölçülür. Eğim ne kadar fazlaysa ilgili faktörün sonuç üzerindeki etkisi o kadar büyüktür şeklinde yorumlanabilmektedir [427]. Sunulan çalışmada, ortalamalar için ana etki grafiği her bir faktörün sonuç üzerindeki etkisini gösterse de sonuca daha net ulaşabilmek ve hata

payını minimize etmek için bu grafiğin yanı sıra SNR için ana etki grafiği de kullanılmıştır.

4.2.3. Kullanılan YSA Yapısı: FF YSA

Sunulan çalışmada problemin doğasına uygunluk kriteri göz önünde bulundurularak yapılan inceleme ve araştırmalar neticesinde kullanılacak YSA yapısının FF YSA (feed-forward backpropagation network) olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu yapının parametrelerinin en uygun şekilde belirlenmesi için deney tasarımı yapılmıştır. Bu aşamada, sistemde performansı etkileyeceği düşünülen faktörler ve seviyelerinin düzgün bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. YSA yapısı çeşitli faktör seviyelerinde eğitilmiş ve tüm konfigürasyonlar için ortalama karesel hata (MSE) değerleri hesaplanmıştır. Bu MSE değerlerinin sonuç faktörü (response factor) olduğu kabulüyle YSA yapısının optimum parametre dağılımı hesaplanmıştır. Parametrelerin MSE üzerinde analizi yapılırken ana etki grafikleri göz önünde bulundurulmuştur. Verilen grafiklerde her bir faktörün MSE üzerindeki etkisi hem sayısal hem de grafiksel olarak gösterilmektedir. Ana etki grafikleri hangi faktörün MSE üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğunun analizinin sağlıklı bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Grafiklerdeki çizgilerin x eksenine paralel olması tüm faktör seviyelerinin sonuç faktörü üzerindeki etkisinin aynı olduğunu göstermektedir. Bu ise ilgili faktörün sonuç üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı şeklinde yorumlanabilmektedir. Eğer grafikteki çizgi herhangi bir eğime sahipse bu faktörün değişik seviyelerinde değişik sonuçlar alınmış anlamındadır ve faktörün sonuç üzerinde etkisinin olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Çizginin eğiminin artması ilgili faktörün sonuç üzerindeki etkisinin büyük olduğunu göstermektedir. Bu durumda ana etki grafiklerinde eğimlere bakılarak yorumlar yapılmakta ve en iyi sonucu elde edecek optimum parametre düzeyi ayarlanmaya çalışılmaktadır. Ortalamalar için ana etki grafiğinde en düşük olan faktör seviyesi en iyiyi gösterirken SNR için ana etki grafiğinde en yüksek seviye en iyiyi göstermektedir. YSA yapısının optimum parametre setlerinin bulunması için L-16 ($8^{**}1 2^{**}3$) Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu yapı için performansı etkileyeceği düşünülen faktörler öğrenme algoritması, katman sayısı, giriş sayısı ve transfer fonksiyonu şeklindedir. Bu faktörlere ait seviyeler ise sırasıyla 8, 2, 2 ve 2 şeklindedir. Sunulan çalışmada deneysel tasarımda dikkate alınan öğrenme algoritmaları CGB

(Powell-Beale conjugate gradient backpropagation), CGF (Fletcher-Powell conjugate gradient backpropagation), CGP (Polak-Ribiere conjugate gradient backpropagation), GD (Gradient descent backpropagation), GDA (Gradient descent with adaptive lr backpropagation), OSS (One step secant backpropagation), GDAM (Gradient descent w/momentum & adaptive lr backpropagation) ve SCG (Scaled conjugate gradient backpropagation) şeklindedir. Deneysel tasarımda kullanılan katman sayıları 3 ve 4; giriş sayıları 200 ve 300 ve transfer fonksiyonları ise sigmoid fonksiyonu (SF) ve tanjant hiperbolik (TH) fonksiyon şeklindedir.

4.3. Değerlendirme ve Analiz Sonuçları

Sistemin eğitimde görmediği test verilerine karşı üretmiş olduğu sonuçların doğruluğu direkt olarak sistemin performansını ifade etmektedir. Sistemin testi ve test sonuçlarının değerlendirilmesi bu açıdan sunulan çalışma için büyük önem arz etmektedir. Sistem sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılacak ölçütler aşağıda açıklanmıştır.

4.3.1. Sistem sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılacak ölçütler

Öncelikle test sonuçlarının değerlendirilmesinde literatürde biyometrik sistemlerin başarımının ölçülmesinde kullanılan FMR(t) & FNMR(t) grafiği ve ROC eğrisi gibi standart ölçütlerin kullanılması gerektiğine karar verilmiş, bu ölçütler hesaplanmış ve kullanılmıştır. Ancak sunulan sistemin klasik bir biyometrik tanıma/onaylama sistemi olmayışı, test sonuçlarının değerlendirilmesinde bu ölçütlerin tek başına yeterli olmadığı sonucunu doğurmuştur. Çünkü sunulan yaklaşımda direkt olarak yüz tanıma yapılmamakta, kişilerin yalnızca parmak izi bilgisinden yüzlerine ait özellik setlerine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla sunulan tezde iddia edilen yaklaşımın doğruluk analizinin tam olarak yapılabilmesi ve sistemin tarafsız olarak değerlendirilip gerçekte başarı/başarısızlık oranının elde edilip gösterilebilmesi için ekstra parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için biyometrik sistemlerin standart değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı standart analiz platformu araştırma uzayının daraltılması parametresi eklentisiyle sunulan çalışmanın amacı ve işlevine uygun şekilde genişletilmiştir. Ayrıca genişletilmiş standart analiz platformunun yanı sıra sistem performansının analizi için sayısal değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı sayısal analiz platformu ve görsel

değerlendirmenin yapıldığı görsel analiz platformu isminde iki farklı değerlendirme ortamı geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Aşağıda bu platformlar kısaca tanıtılmaktadır.

4.3.1.1. Standart Analiz Platformu

Bir biyometrik sistemin her koşulda ve durumda doğru cevabı üretmesi, hiç bir şekilde sistem kullanıcılarını madur etmemesi, sisteme yapılan saldırı ve aldatma girişimlerinde dayanıklı olması beklenir. Teorikte olması gereken bu şekildedir ancak pratikte biyometrik sistem daima doğru cevabı üretemeyebilir. Biyometrik sistemlerde yaygın olarak karşılaşılabilecek hatalar modellenmiş ve bu hatalar ve parametreleri yardımıyla sistem doğruluğu ve güvenilirliğinin analiz edilmesine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Biyometrik sistemin başarımının değerlendirilmesinde literatürde kullanılan ölçütlere kısaca değinecek olursak, bir biyometrik sistem temelde iki tip hata yapar. Bunlar yanlış eşleştirme oranı (False Match Rate: FMR) ve yanlış eşleştirmeme oranı (False Non-match Rate: FNMR) olarak ifade edilebilmektedir [1, 428]. Farklı kişilerden gelen biyometrik özelliklerin karşılaştırma skoru, sistemin eşik değerine eşit veya daha büyük olursa sistem bunları aynı kişiden geliyor şeklinde değerlendirerek hata yapar. FMR, sistemin bu hatayı yapma oranı olarak açıklanabilir. Benzer şekilde aynı kişiden gelen biyometrik özelliklerin karşılaştırma skoru, sistemin eşik değerinden küçük olursa sistem bunları farklı kişilerden geliyor şeklinde değerlendirerek hata yapar. FNMR ise sistemin bu hatayı yapma oranı olarak açıklanabilir. ROC eğrisi ise sistemin tüm eşik değerleri için yapmış olduğu hataları aynı grafik üzerinde göstermekte, böylece tüm eşik değerleri için sistem performansının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. ROC eğrisi genellikle $FMR(t)$ 'e karşılık $(1-FNMR(t))$ 'nin grafiği çizilerek elde edilir [1]. Sunulan çalışmada da ROC eğrisi literatürde verildiği şekilde $FMR(t)$ (True Positive Rate: TPR) ve $(1-FNMR(t))$ (False Positive Rate: FPR) kullanılarak çizilmiştir. ROC eğrisinin yorumlanması eğrinin köşegene ne kadar yakın olmasıyla ölçülmektedir. Eğrinin köşegene yakın olması başka bir ifadeyle eğiminin artması biyometrik sistem için istenmeyen bir durumdur. ROC eğrisinin köşegenden uzaklaşması ve eğiminin azalarak basamak yapısına benzemesi sistem başarımının bir göstergesidir.

Doğrulama modunda çalışan bir OPTOS'un doğruluk analizi aşağıda verildiği şekilde gerçekleştirilmektedir [1].

T bir biyometrik kayıt, I ise bir biyometrik giriş olsun. Bu durumda H_0 ve H_1 olarak iki hipotez öne sürülebilir:

$H_0: I \neq T$, giriş verisiyle kayıtlı veri aynı değil (farklı kişiler),

$H_1: I = T$, giriş verisiyle kayıtlı veri aynı (aynı kişiler).

Buna göre iki karara varılabilir:

D_0 : Kişi iddia ettiği insan değil,

D_1 : Kişi iddia ettiği insan.

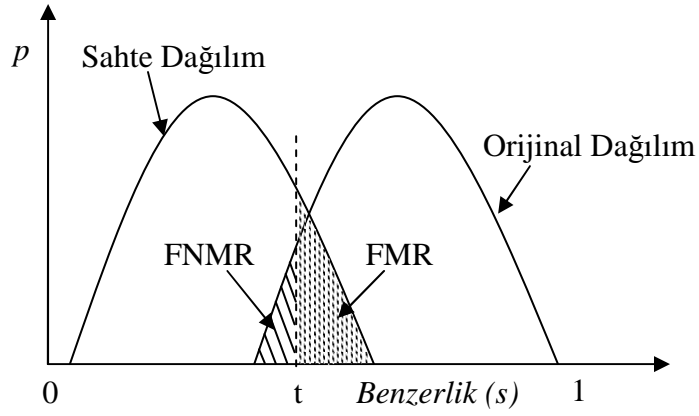
T ve I arasında $s(T,I)$ şeklinde bir benzerlik ölçüsü tanımlarsak, bunun sonucu t eşik değerinden küçükse D_0 , büyükse D_1 kararı verilir. Buna göre iki tip hatadan bahsedilebilir:

- *Tip 1*: Yanlış eşleştirme oranı (FMR: False-match rate): H_0 doğru iken D_1 'e karar verildi.
- *Tip 2*: Yanlış eşleştirmeme oranı (FNMR: False non-match rate): H_1 doğru iken D_0 'a karar verildi.

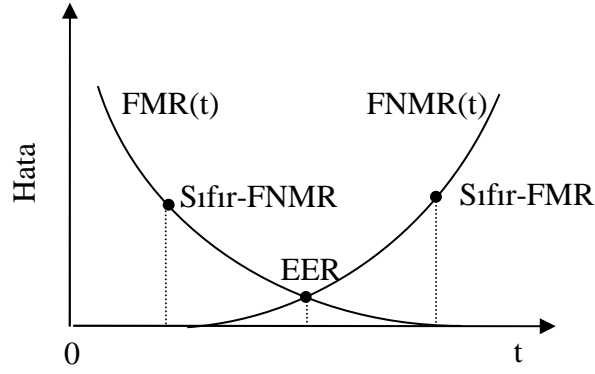
Buna göre, aynı parmağın parmak izi çiftlerinin sayısı $p(s | H_1 = \text{doğru})$ olarak, farklı parmakların parmak izi çiftlerinin sayısı $p(s | H_0 = \text{doğru})$ olarak gösterilirse, bunlardan birincisi orijinal dağılım (genuine distribution) ikincisi ise sahte dağılım (impostor distribution) olarak adlandırılmaktadır. FNMR(t) ve FMR(t) değerlerinin ifade edildiği formül Eşitlik (4.1) ve (4.2)'de grafik ise Şekil 4.8'de verilmektedir.

$$FMR = P(D_1 | H_0 = \text{doğru}) = \int_t^1 P(s | H_0 = \text{doğru}) ds \quad (4.1)$$

$$FNMR = P(D_0 | H_1 = \text{doğru}) = \int_0^t P(s | H_1 = \text{doğru}) ds \quad (4.2)$$



Şekil 4.8. Eşik değeri t 'ye göre FNMR ve FMR bölgeleri.



Şekil 4.9. FMR(t) & FNMR(t) eğrisi üzerinde Sıfır-FNMR, Sıfır-FMR ve EER noktaları.

Bir biyometrik sistemin hassasiyeti tanımlanırken Şekil 4.9'da verilen ve aşağıdaki tanımları yapılan parametreler de kullanılmaktadır [1].

- **Eşit Hata Oranı (EER: Equal-Error Rate):** FMR ile FNMR'ın birbirine eşit olduğu bir t eşik değerindeki hata oranıdır. $FMR(t) = FNMR(t)$
- **Sıfır-FNMR (Zero-FNMR):** FNMR oluşmadığı zamanki en düşük FMR noktasıdır.
- **Sıfır-FMR (Zero-FMR):** FMR oluşmadığı zamanki en düşük FNMR noktasıdır.
- **Yakalama Hatası (FTC: Failure to Capture):** Biyometrik özelliğin dijital ortama alınması esnasında oluşan donanım hatasıdır.

- **Kaydetme Hatası (FTE: Failure to Enroll):** Biyometrik özelliğin veritabanına kaydedilmesi sırasında oluşan hatadır. Genellikle düşük kalitedeki biyometrik bilginin sistem tarafından kabul edilmemesi nedeniyle oluşur.
- **Eşleştirme Hatası (FTM: Failure to Match):** Sistemin karşılaştırma sonucunda bir karara varamamasıdır. Bu hata yanlış eşleşme hatası FNMR ile karıştırılmamalıdır. FNMR sistemin kararsızlığı sonrasında oluşan bir hata değil, sistemin verdiği kararın yanlış olması nedeniyle ortaya çıkan bir hata çeşididir.

4.3.1.2. Sayısal Analiz Platformu

Sayısal analiz platformunda ortalama karesel hata (mean squared error, MSE), toplam karesel hata (sum squared error, SSE), ortalama mutlak hata (mean absolute error, MAE), mutlak yüzde hata (Absolute Percentage Error, APE) ve ortalama mutlak yüzde hata (Mean APE, MAPE) gibi metrikler kullanılmıştır.

Sırasıyla Eşitlik (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) ve (4.7)'de verilen bu metrikler kısaca açıklanacak olursa, MSE ve SSE tahmin edilen sonuç değerinin gerçekte olması gereken sonuç değerine ne kadar yakın olduğunu gösteren iki önemli metriktir [429, 430]. Elde edilen sonuçla gerçek sonuç arasındaki hatanın hesaplanmasında kullanılırlar. Standart bir regresyon modelinde MSE, elde edilen değerle olması gereken değer arasındaki farkın karesinin ortalaması iken SSE, bu değerlerin toplamıdır [429]. Genellikle bu değerlerin düşük olması sistem performansının iyi olduğunu göstermektedir.

MAE, MSE'ye benzer bir metriktir. Elde edilen sonuçla olması gereken sonuç arasındaki farkları kullanır. Ancak burada bu fark değerlerinin kareleri değil mutlak değerleriyle işlem yapılır. Bu çalışmada MAE biraz daha çalışmanın doğasına göre özelleştirilmiş ve olması gereken çıkış değeriyle elde edilen çıkış değeri arasındaki farkların mutlak değerleri toplanarak çıkış özellik setindeki koordinat sayısına bölünmüştür. Böylece koordinat başına düşen hata hesaplanarak sistem performansının daha anlaşılır bir şekilde yorumlanmasına olanak sağlanması hedeflenmiştir.

APE de yukarıda açıklanan metrikler gibi elde edilen sonucun doğruluk analizinin yapılmasında kullanılan bir metriktir. Yukarıda açıklanan 3 metrikten farkı hatayı yüzde olarak veriyor olmasıdır. Elde edilen sonuçla olması gereken sonuç arasındaki farkın bulunup tekrar olması gereken değere bölünmesiyle elde edilmektedir. MAPE ise APE değerlerinin çıkış özellik setindeki koordinat sayısına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama APE değerleridir.

MSE, SSE, MAE, APE ve MAPE için verilen 5 formülde de kullanılan O_i elde edilen YSA çıkışını, D_i ise olması gereken değeri ifade etmektedir. ($e_i = D_i - O_i$) ile ifade edilen e_i elde edilen çıkış değeriyle olması gereken çıkış arasındaki farkı belirtmektedir. Bu ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - O_i)^2 \quad (4.3)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (D_i - O_i)^2 \quad (4.4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_i - O_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (4.5)$$

$$APE = \sum_{i=1}^n \frac{|D_i - O_i|}{D_i} \quad (4.6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|D_i - O_i|}{D_i} \quad (4.7)$$

4.3.1.3. Görsel Analiz Platformu

Eşitlik (4.3)-(4.7)'de verilen sayısal parametrelerin yanı sıra görsel değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı görsel analiz platformu aşağıda verilen işlemleri başarıyla gerçekleştirmekte ve kullanıcılara sistem sonuçlarını görsel olarak da değerlendirebilme fırsatı sunmaktadır.

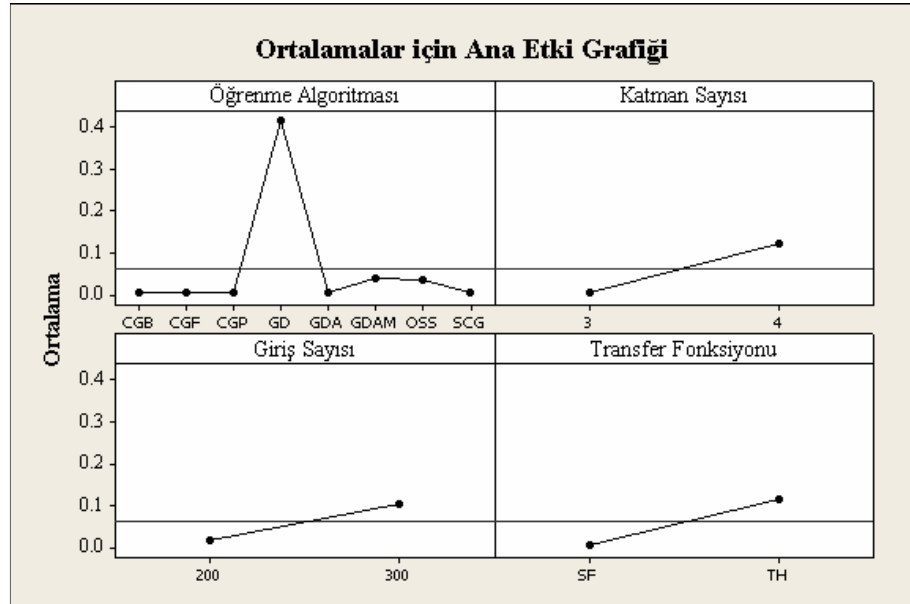
- YSA'dan elde edilen sonuçların çizimlerinin yapılarak yüz robot resmi haline dönüştürülmesi.
- YSA sonuçlarının “arzu edilen sonuçlar”la aynı platformda çizilmesi.
- YSA sonuçlarının test kişilerinin gerçek yüz resimleri üzerinde çizilmesi.
- YSA sonuçlarının tek tek büyük boyutlu olarak farklı sayfalarda çizilmesi.
- YSA sonuçlarının tamamının aynı sayfada küçük boyutlu olarak çizilmesi.
- Yüze ait parçaların herhangi biri veya tamamının çizgi kalınlığı, rengi, tipi, dosya kayıt formatı gibi çeşitli esnekliklerle çizilmesi.

Yukarıda verilen işlemleri gerçekleştiren yazılım bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmaktadır. Bundan dolayı konu burada sadece sonuçların görsel analiz platformunda değerlendirilmesi açısından ele alınacaktır. Geliştirilen yazılım sayesinde çizdirilmek istenen test sonuçları tek tek veya çoklu gösterim seçenekleri ile açılabilir. Kullanıcıya tanınan renk, çizgi kalınlığı, çizim büyüklüğü, çizimin tüm sonuçlar için aynı sayfada veya farklı sayfalarda farklı boyutlarda açılma gibi bazı esneklikler dahilinde tercihler belirlendikten sonra yazılım sonuç çizimlerini yapmaktadır. Tüm test sonuçlarının aynı sayfada görülmesiyle sunulan sistemin genel başarısı daha açık bir şekilde ifade edilebilmekte ve daha net değerlendirilebilmekteyken tek tek ve büyük boyutta yapılan çizimler sayesinde ayrıntılar daha net incelenebilmektedir. Çizim için kullanılan çizgi kalınlığının ve renginin kullanıcı tarafından ayarlanabiliyor olması kıyaslama işlemini kolaylaştırmakta, detayların gözden kaçmasına engel olmaktadır. Böylece sistemin başarısı, doğruluğu, elde ettiği sonuçların gerçekte olması gereken sonuçlara yakınlığı/uzaklığı görsel ortamda rahatça gözlemlenebilmekte ve değerlendirilebilmektedir. Daha önceden geliştirilmiş, belirtilen amaca hizmet edebilecek bir paket yazılım veya uygulama bulunmamaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için C# programlama dili kullanılarak Visual Studio 2005 ortamında, .net platformunda

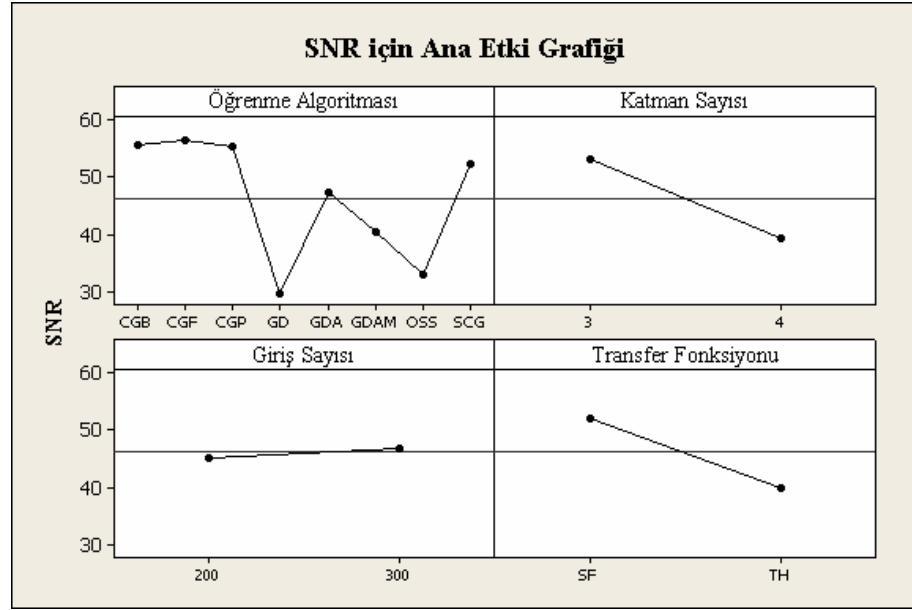
amaca uygun, çalışmanın ilerleyen aşamalarında da gerektiğinde değiştirilebilecek, geliştirilebilecek esnekliğe sahip bir yazılım geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

4.3.2. Kullanılan FF YSA Yapısı için Optimum Parametre Setinin Hesaplanması

FF YSA yapısı için gerçekleştirilen Taguchi deneysel tasarım sonucunda elde edilen ana etki grafikleri Şekil 4.10 ve 4.11’de verilmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde öğrenme algoritmasının sonuç üzerinde en fazla etkiye sahip olan faktör olduğu söylenebilmektedir. Çünkü öğrenme algoritmasının MSE üzerinde etkisini gösteren grafiğin eğimi diğer faktörlerin eğimlerinden daha fazladır. Grafiğe bakıldığında diğer 3 faktörün de sonuç üzerinde ihmal edilemeyecek bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak yalnızca bu grafiğe bakarak sonuç çıkarmak yeterli olmayacak ve SNR için ana etki grafiğini incelemek daha sağlıklı sonuçlara ulaşmaya yardımcı olacaktır. FF YSA için elde edilen SNR için ana etki grafiği de öğrenme algoritmasının sonuç üzerindeki en büyük etkiye sahip olan faktör olduğunu doğrulamakta, katman sayısı ve transfer fonksiyonu faktörlerinin de ihmal edilemeyecek bir etkiye sahip olduğunu, ancak giriş sayısının sonucu fazla etkilemediğini göstermektedir.



Şekil 4.10. FF YSA tasarımında ortalamalar için ana etki grafiği.



Şekil 4.11. FF YSA tasarımında SNR için ana etki grafiği.

Sonuç olarak, her iki grafik birlikte incelenip yorumlandığında Taguchi deneysel tasarım analizi neticesinde MSE değerleri açısından en iyi sonucu verecek olan FF YSA yapısı parametrelerinin konfigürasyonu Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. FF YSA yapısı için analiz sonuç tablosu.

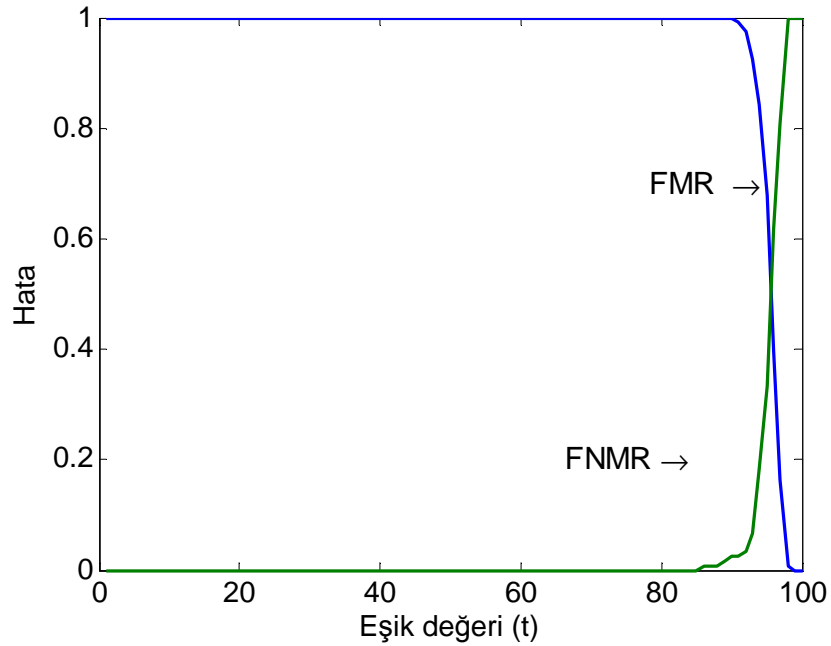
FAKTÖRLER	Optimum Parametre Setleri		
	Ortalamalara göre	SNR’ye göre	Optimum dizayn
Öğrenme Algoritması	CGF	CGF	CGF
Katman Sayısı	3	3	3
Giriş Sayısı	200	300	300
Transfer Fonksiyonu	SF	SF	SF

Tablo 4.1’de “Optimum dizayn” başlığıyla verilen sistem gerçekleştirilmiş, eğitim ve test işlemleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar daha önce belirtildiği şekilde 3 farklı platformda değerlendirilecektir.

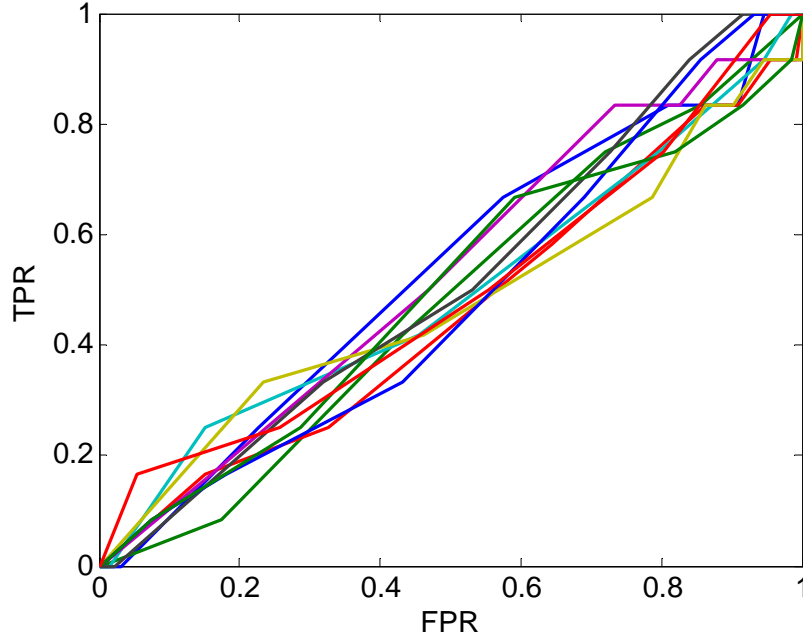
4.3.2.1. FF YSA Sonuçlarının Standart Analiz Platformunda Değerlendirilmesi

Bu platformda, Taguchi deneysel tasarım yöntemi yardımıyla elde edilen en iyi parametre setiyle donatılmış FF YSA yapısı, detayları bu bölümde açıklanmış olan FMR(t) & FNMR(t) grafiği ve ROC eğrisi kullanılarak değerlendirilecek ve bu sayede sunulan sistemin bir biyometrik sistem olarak başarısı gösterilecektir.

FMR(t) & FNMR(t) grafiği daha sade ve anlaşılır bir gösterim olması için 10 katlı çapraz doğrulama (10-fold cross validation) tekniğinin tüm katlarından elde edilen 10 adet FMR(t) & FNMR(t) grafiğinin ortalaması alınarak çizilmiş ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.13'te verilen ROC eğrisinin çiziminde ise her kata ait eğri aynı grafik üzerinde verilmiştir.



Şekil 4.12. FF YSA yapısı için FMR(t) & FNMR(t) grafiği.

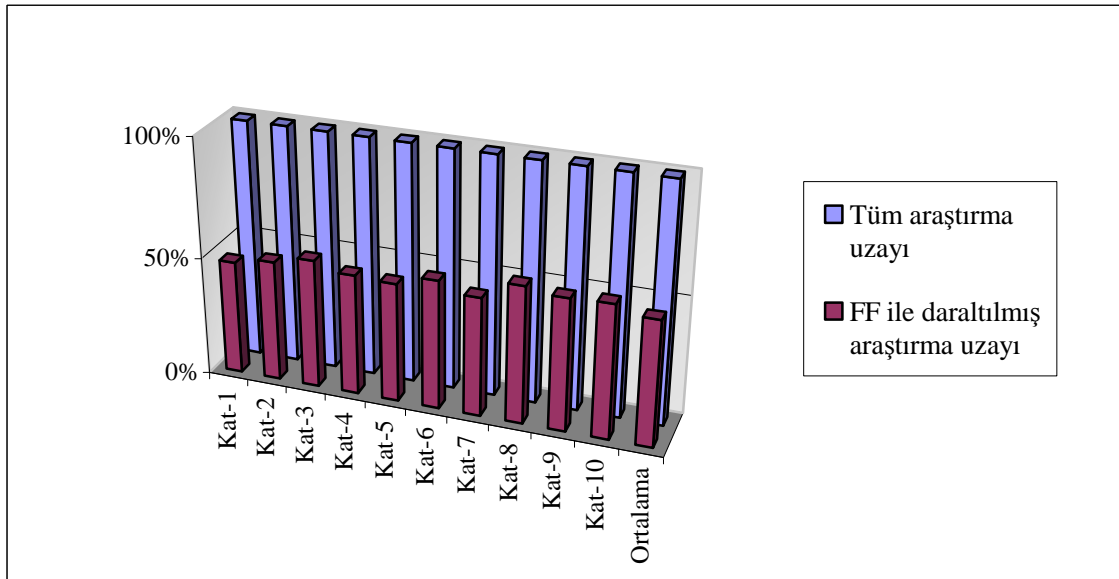


Şekil 4.13. FF YSA yapısı için ROC eğrileri grafiği.

Verilen eğriler sistemin bir biyometrik tanıma onaylama sistemi olarak düşünüldüğünde başarı oranını göstermektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi sunulan sistem bir biyometrik tanıma onaylama sistemi değildir. Burada gerçekleştirilmesi hedeflenen işlem girilen bir biyometrik özelliğin veritabanındaki herhangi bir kişiye ait olup olmadığının sorgulanması veya araştırılması değildir. Benzer şekilde bu çalışmada biyometrik özelliği ve kimlik bilgisi girilen kişinin gerçekte iddia ettiği kişi olup olmadığının belirlenmesi işlemi de gerçekleştirilmemektedir.

Sunulan çalışmanın amacı girilen bir biyometrik özellik kullanılarak aynı kişinin farklı bir biyometrik özelliğinin tahmin edilebilmesidir. Burada değerlendirilmesi gereken sistem başarısı da bu amaca yönelik olarak hesaplanmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar neticesinde standart analiz platformuna çalışmanın amacına uygun şekilde yorumlanmasına katkıda bulunacak bazı metriklerin de eklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışmada parmak izinden yüz bilgisine ulaşılması hedeflenmektedir. İdealde elde edilen yüz bilgisi olması gereken yüz bilgisine minimum hata ile yakınsamalıdır. Ancak her sistemde olduğu gibi sunulan çalışmada da her test sonucu için olması gereken değere minimum hata ile yakınsama gerçekleştirilememektedir. Elde edilen değerlerin olması gereken değere ne ölçüde yakınsadığının analizinin yapıldığı

araştırma uzayının daraltılması parametresi ile sistemin bu yöndeki başarısının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bunun için “herhangi bir suç mahallinde bulunan bir parmak izi kullanılarak bu suçlunun yüz bilgisine hangi doğrulukla ulaşılabilmektedir?” veya “Suç mahallinden elde edilen bir parmak izi kullanılarak elde edilen yüz bilgisi sayesinde potansiyel suçlu araştırma veritabanı ne ölçüde daraltılabilmektedir?” gibi sorulara cevap olabilecek bir değerlendirme metriği olan araştırma uzayının daraltılması parametresi de sisteme eklenmiş ve kullanılmıştır. Bu doğrultuda yalnızca parmak izi bilgisi kullanılarak elde edilen yüz resimleri sayesinde araştırma uzayının ne ölçüde küçüldüğü ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. İşlem 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin tüm katları için tekrarlanmış ve her seferinde test veritabanının tamamı %100 olarak kabul edilerek yalnızca parmak izlerinden elde edilen yüzler sayesinde sistemin bu araştırma uzayını ne kadar daralttığı hesaplanmıştır. FF YSA yapısı için bu daraltma oranı Şekil 4.14’te sunulmuştur.



Şekil 4.14. FF YSA yapısı ile araştırma uzayının daraltılması.

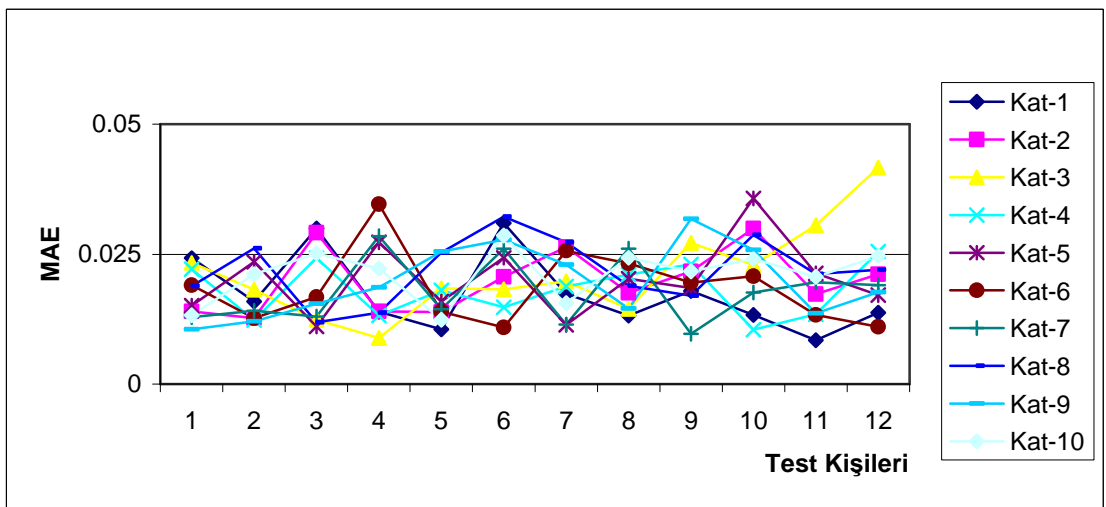
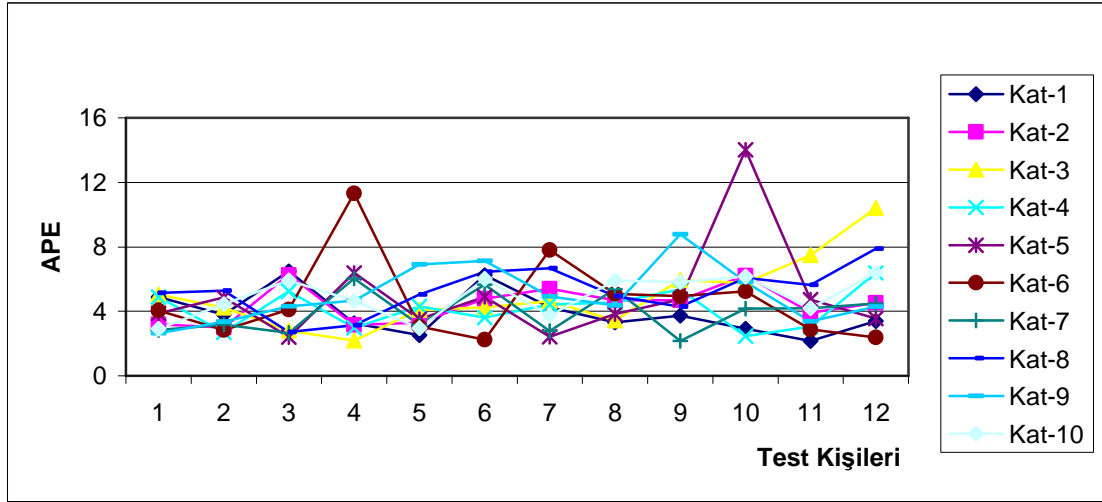
4.3.2.2. FF YSA Sonuçlarının Sayısal Analiz Platformunda Değerlendirilmesi

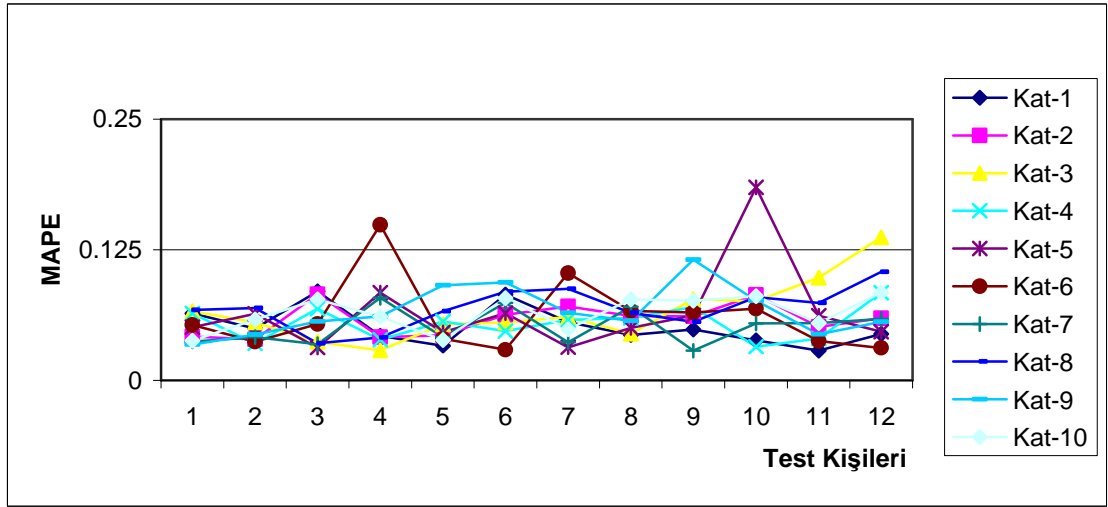
FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçlar Tablo 4.2’de; 10 katlı çapraz doğrulama sonuçlarının her katına ait APE, MAE ve MAPE değerleri ayrı ayrı Şekil 4.15’te, ortalama MAPE ve MAE değerleri ise Şekil 4.16’da verilmektedir. Elde edilen sonuçlar

incelendiğinde sistemin olması gereken sonuçlara yakın sonuçlar üreterek düşük hata değerlerine sahip oldukları şeklinde bir yorum yapılabilir.

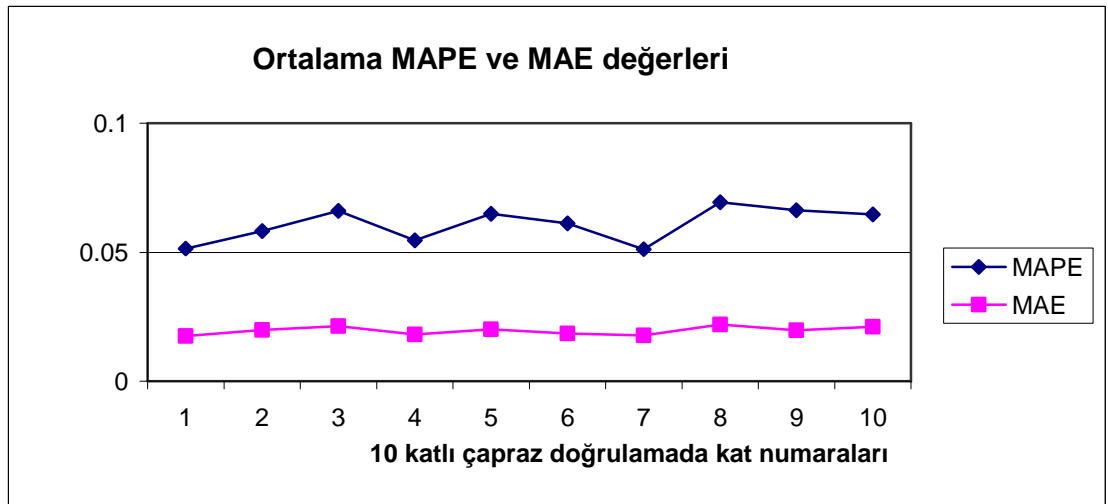
Tablo 4.2. YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	5.27003	4.62124	3.88678
MSE	0.00100	0.00065	0.00050
SSE	0.94140	0.59312	0.41620
MAE	0.02193	0.01956	0.01744
MAPE	0.06934	0.06081	0.05114























Şekil 4.15. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.





































































Şekil 4.16. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde ortalama MAPE ve MAE değerleri.

4.3.2.3. FF YSA Sonuçlarının Görsel Analiz Platformunda Değerlendirilmesi

FF YSA yapısı için 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her katta elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait olması gereken değerler karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekilde açık renk ile verilen çizimler YSA sonuçlarını koyu renk ile verilen çizimler ise olması gereken sonuçları ifade etmektedir.

4. Kat Sonuçları:	3. Kat Sonuçları:		2. Kat Sonuçları:		1. Kat Sonuçları:	
						
						
						

8. Kat Sonuçları:	7. Kat Sonuçları:		6. Kat Sonuçları:		5. Kat Sonuçları:	
						
						
						
						
						
						

9. Kat Sonuçları:						
						
10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 4.17. FF YSA yapısı için her katta elde edilen test sonuçlarının olması gereken değerleriyle çakıştırılmış çizimleri.

4.4. Sonuç

Sunulan tezde öncelikle parmak izi ile yüz arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin varlığı araştırılmış, elde edilen ilk ümit verici bulgular doğrultusunda ilişkinin modellenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Çıkış değerlerinin hassas olarak hesaplanmasının son derece önemli olduğu bu şekilde bir çalışmada sistemin deneme yanılma sonucu elde edilmiş parametrelerle gerçekleştirilmesi sistem başarısını ve doğruluğunu kötü yönde etkileyecek ve belki de aradaki ilişkinin bulunması ve modellenmesini imkânsız hale getirebilecektir. Böyle bir sonuçtan kaçınmak ve çalışmayı olması gerektiği şekilde bilimsel bir çerçevede hazırlamak için sistem tasarımında YSA gibi bir yapının kullanılmasına karar verildikten sonra bu yapının parametrelerinin belirlenmesinde bilimsel metotlar kullanılarak tasarım kalitesi artırılmış ve kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar üreten sistemler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak verilmiştir.

Sonuç olarak; YSA parametrelerinin belirlenmesi aşamasında Taguchi metodunun uygulanması, sistem çıkışına doğrudan etkili olabilecek parametrelerin optimum Şekilde dizaynı anlamına geldiğinden bu metodun kullanılmasının sistem açısından büyük bir avantaj olarak kabul edilebileceği söylenebilmektedir.

Bu bölümde elde edilen sistem parametreleri, anlatılan değerlendirme metrikleri ve değerlendirme yaklaşımı 6. ve 7. Bölümlerde de benzer Şekilde işlenecek ve kullanılacaktır.

5. BÖLÜM

PARMAK İZİNDEN YÜZ ROBOT RESMİNE ULAŞABİLEN YAPAY SİNİR AĞLARI TEMELLİ ZEKİ SİSTEM TASARIMI

Sunulan çalışmada parmak izi ve yüz arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin bulunması ve analizi konusunda araştırma ve inceleme yapabilmek için parmak izinden yüzü tahmin edebilen otomatik ve zeki bir sistem geliştirilmiştir. Sunulan sistemin işlem adımları aşağıda verilmektedir.

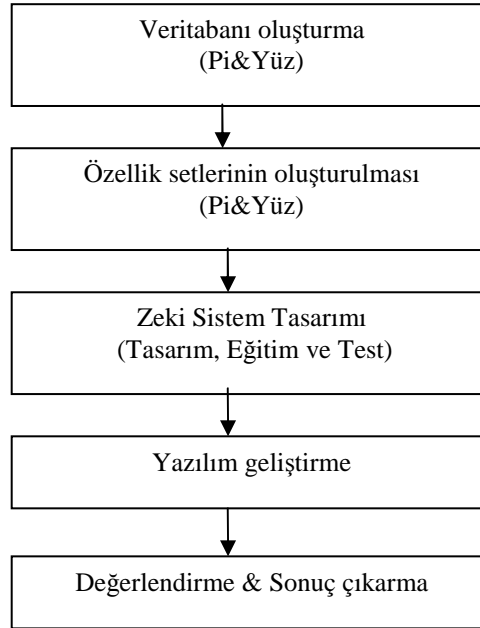
1. Çoklu biyometrik özellikler veritabanının (ÇBVT) oluşturulması.
2. Parmak izi ve yüz biyometrik özelliklerinin özellik setlerinin elde edilmesi.
3. Zeki sistem tasarımı.
 - i.* Sistem yapısının ve parametrelerinin belirlenmesi.
 - ii.* Sistemin eğitimi.
 - iii.* Sistemin testi.
4. Tasarımı tamamlanan sistemin gerçekleştirilebilmesi için yazılım geliştirilmesi.
5. Sistem sonuçlarının yorumlanması ve performansının değerlendirilmesi.

Yalnızca parmak izinden yüz robot resmine ulaşabilen YSA temelli zeki sistemin (PYUZS) mimarisi Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu sistemin çalışma şeklinin detaylı olarak gösterildiği blok diyagramı ise Şekil 5.2'de verilmektedir.

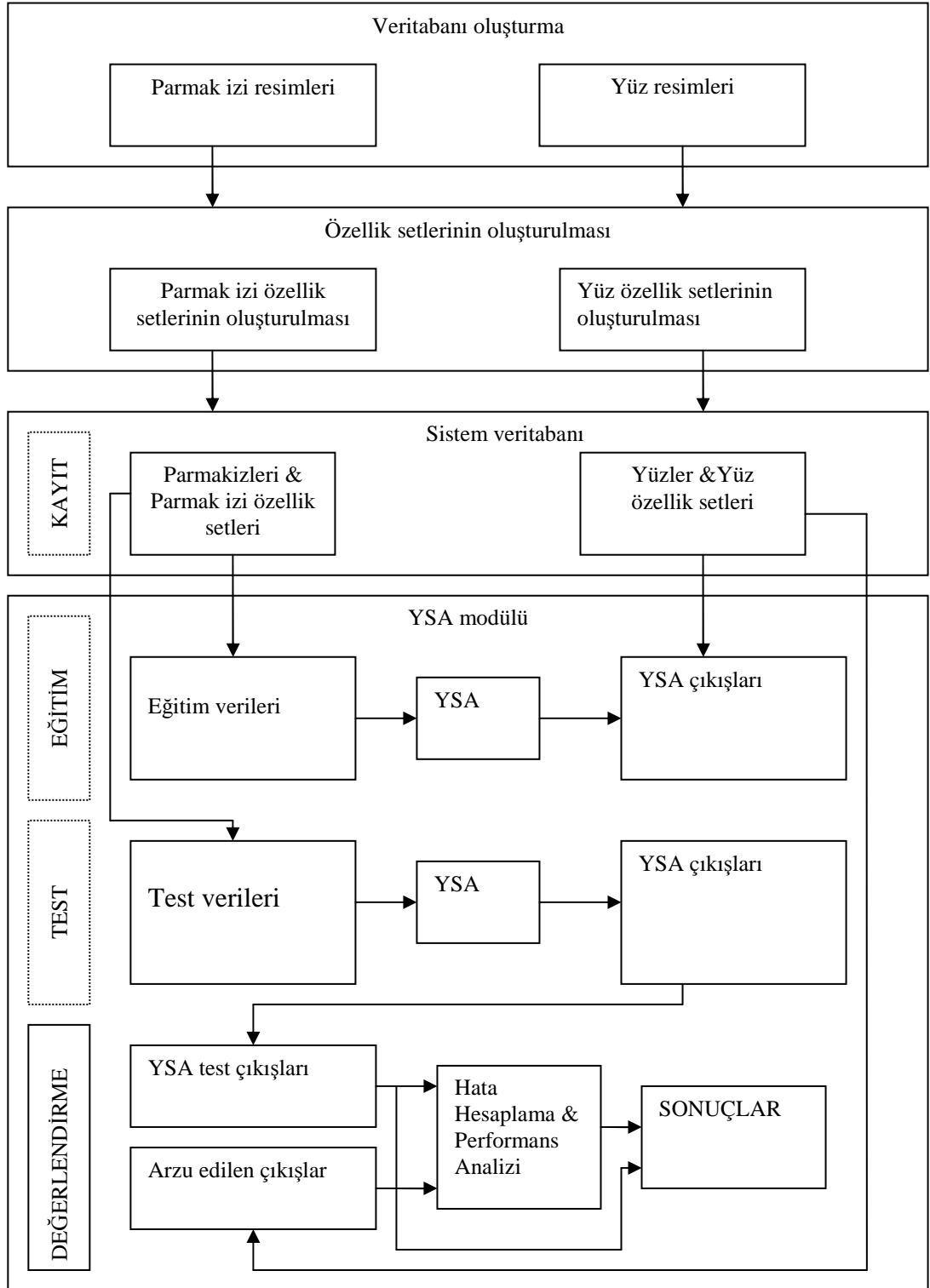
5.1. Çoklu Biyometrik Özellikler Veritabanının Oluşturulması

Parmak izi ile yüz arasındaki olması muhtemel ilişkinin analizi ve incelenmesi konusunda en önemli öncelik gerçek bir ÇBVT oluşturulmasıdır. Bu nedenle çalışmaya aynı kişilere ait parmak izi ve yüz biyometrik özelliklerini içeren bir ÇBVT oluşturularak başlanmıştır. Böyle bir veritabanının hali hazırda insanların erişebileceği

ve kullanabileceği bir platformda olmayışı [10] çalışmaya buradan başlamayı zorunlu kılmıştır. Aynı problem bu konuda çalışan bir çok araştırmacı tarafından da yaşanmış ve genellikle çoklu biyometrik özelliklerle çalışan bilim adamları [431] nolu çalışmada olduğu gibi kendi ÇBVT'lerini kendi imkanları dahilinde oluşturmuşlardır. Bunun sonucu olarak da literatürde bulunan ÇBVT'ler tüm araştırmacıların kullanabilecekleri platformlarda bulunamamakta, dünya çapında belirlenmiş standartları sağlayamamakta ve genellikle aynı milletten insanları kapsayan küçük çaplı veritabanları olmaktadır. Çeşitli araştırma gruplarının kendi çabasıyla oluşturdukları uluslararası standartlara sahip olmayan ufak boyutlu [431] veritabanları çoğu zaman çeşitli özelliklerde ve çeşitli amaçlar için gerçekleştirilmiş çoklu biyometrik özellik kullanan sistemlerin sonuçlarının değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle [7] nolu çalışmada olduğu gibi literatürde bazı çalışmalarda çeşitli amaçlar için gerçekleştirilmiş çoklu biyometrik özellikleri kapsayan sistemlerin sonuçlarının değerlendirilmesinde biyometrik özelliklerin istatistiksel olarak tamamen birbirinden bağımsız veriler olması kabulüyle sözde ÇBVT'ler oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Sözde ÇBVT oluşturulurken farklı kişilerden alınan parmak izi ve yüz resimleri eşleştirilerek bu biyometrik özelliklerin aynı kişilerden alındığı kabulüyle işlemler gerçekleştirilmekte ve sonuçlar bu çerçevede değerlendirilmektedir.



Şekil 5.1. PYUZS mimarisi.



Şekil 5.2. Sistemin akış şeması.

Sunulan çalışmada 120 kişilik bir parmak izi yüz veritabanı oluşturulmuştur. Veritabanındaki her kişiye ait çeşitli yönlerden çekilmiş en az 10 adet yüz resmi, sağ el serçe parmaktan sol el serçe parmağa kadar her parmak için birer parmak izi resmi olmak üzere 10 adet parmak izi resmi alınmıştır. Tüm kullanıcılara “kişi no” şeklinde bir numara verilmiş ve dosya düzenlemesinde bu numara kullanılmıştır. Dolayısıyla çalışma kapsamında toplamda en az 1200 yüz resmi, 1200 parmak izi resminden oluşan orta ölçekli bir veritabanı oluşturulmuş, sunulan tez çalışmasında bunlardan her parmağa ait sadece bir parmak izi ve her yüze ait sadece bir önden çekilmiş yüz resmi kullanılmıştır.

5.1.1. Parmak İzlerinin Alınması

Parmak izlerinin alınması için Biometrika FX2000 marka, dokunma ile okuyabilen iki adet silikon çipe sahip bir parmak izi okuyucu kullanılmıştır. Parmak izleri bu cihaz yardımıyla iki boyutlu matrisler şeklinde bilgisayar ortamına aktarılmakta ve özellik setlerinin çıkarılması için gerekli işlemlerin yapılmasına uygun halde sayısal ortamda saklanmaktadır. 0.98"x0.52" (25x13.2 mm²)'lik bir tarayıcı alanına sahip olan parmak izi okuyucu, parmak izlerini 560x296 px ve 569 dpi özelliğinde, bmp formatında gri seviye resimler olarak almaktadır. Veritabanının oluşturulması sırasında parmak izleri alınırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir.

1. Parmak izi resimlerinin parmak izindeki anlamlı veriyi ihtiva edecek şekilde alınmasına hassasiyet gösterilmiştir. Anlamlı veriden kastedilen parmak izinin bilgi taşıyan kısmıdır. Bunun için parmak izinin orta nokta (core point) olarak adlandırılan referans noktasını merkez kabul edecek şekilde konumlanıp, resim alanına olabilecek en fazla parmak izi bilgisini sığdırabilmek hedeflenmiştir.
2. Parmak izi bir veya daha fazla delta nokta ihtiva ediyorsa, parmak izi resminin bu noktaları mümkün olduğunca içermesine çalışılmıştır. Yani orta noktanın ortaya getirilmesiyle hedeflenen anlamlı verinin resme dahil edilmesi işlemiyle aynı amaca yönelik olarak önemli özellik noktaları olan ve kenarlarda bulunan delta noktalarının da resme dahil edilmesine gayret gösterilmiştir. Böylece parmak izi resmindeki kayıp bilgiyi en aza indirerek sistem performansının artırılması amaçlanmıştır.

3. Kişinin parmağını her basışında uzman görüşüyle parmak izi kalitesi genel anlamda değerlendirilmiş, resim kalitesi istenen seviyeye gelinceye kadar resmin alınması işlemine devam edilmiştir.
4. Parmak izleri sağ el serçe parmaktan başlayarak sol el serçe parmağa doğru 1'den 10'a kadar sayılarla numaralandırılarak isimlendirilmiştir. Örneğin sağ al serçe parmak 1.bmp, sağ el yüzük parmak 2.bmp, ... ,sol el yüzük parmak 9.bmp, sol el serçe parmak 10.bmp şeklindedir.

Yukarıda verilen kriterler göz önünde bulundurularak bir kişiden alınan örnek bir parmak izi kümesi Şekil 5.3'te verilmektedir.



Şekil 5.3. Oluşturulan veritabanından örnek bir parmak izi kümesi.

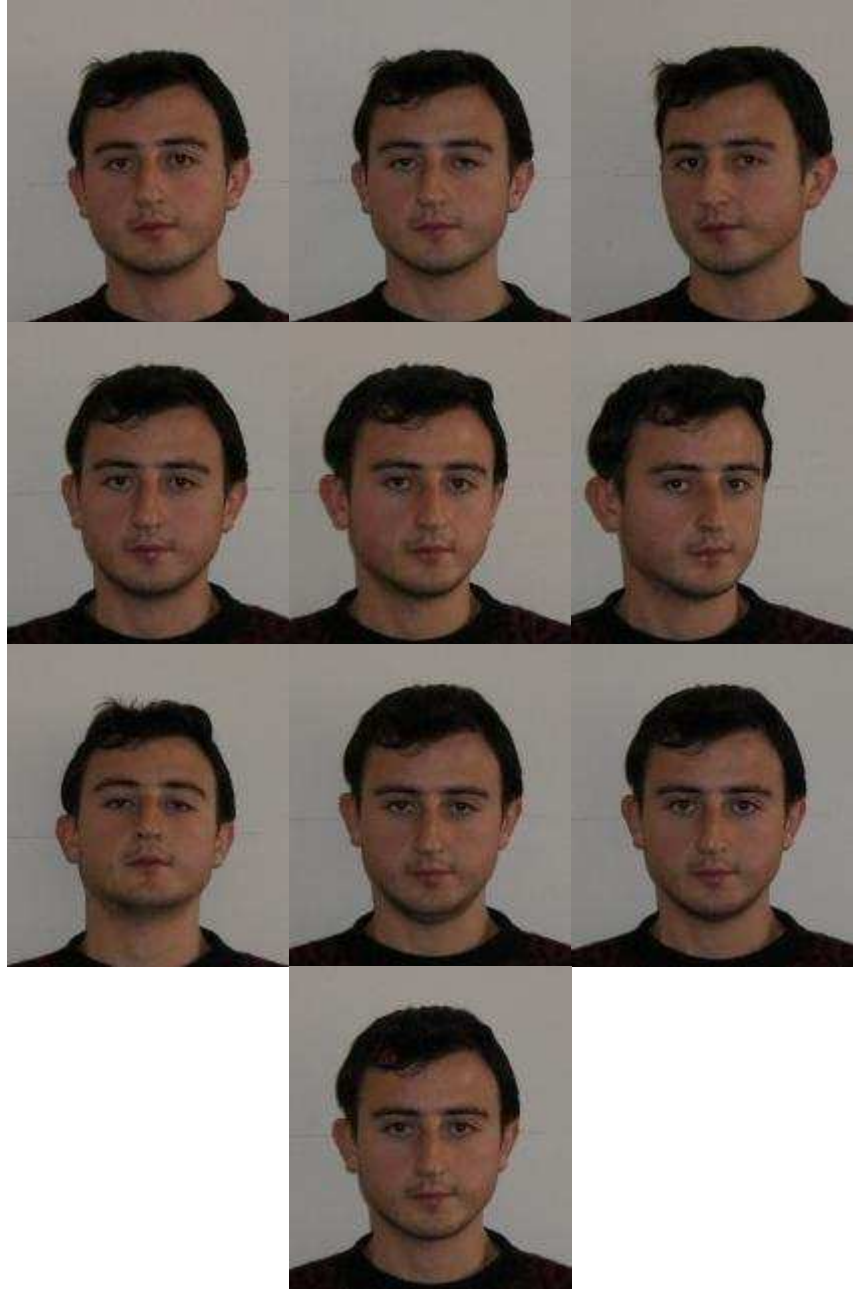
5.1.2. Yüz Resimlerinin Alınması

Bir yüz veritabanının ilgili veritabanını kullanacak olan çalışmaların özelliğine ve amaçlarına göre çeşitli standartlara sahip olması gerektiği aşikardır. Bu yüzden yüz veritabanı oluşturulurken kullanılacağı amaca göre aydınlatma şartları, kamera yönü, uzaklığı ve açısı, yüz yönü ve açısı, resim kalitesi, boyutu, resim alınış formatı

(renkli/gri seviye, kontrollü/kontrolsüz), arka plan gibi çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Sunulan tez çalışmasında ihtiyaç duyulan ve kullanılan yüz resmi kişilere ait sabit uzaklıktan standart bir kamera parametre seti kullanılarak elde edilmiş önden çekilmiş bir adet yüz resmidir. Ancak oluşturulan veritabanının içeriği ve özellikleri çeşitli amaçlar için gerçekleştirilmiş farklı sistemlerin testinde de rahatlıkla kullanılabilmesi için geniş tutulmuş ve çeşitli aydınlatma şartlarında, çeşitli uzaklık, yön ve açı değerlerinde farklı parametre setleriyle farklı boyutlarda yüz resimleri alınmış ve ileride gerçekleştirilebilecek çalışmaların testinde kullanılacak işlevsel bir veritabanı oluşturulmaya çalışılmıştır. Veri tabanında bulunan standart şartlarda alınan yüz resimlerinin standart şartlar gerektiren çalışmalarda, değişken şartlarda alınan yüz resimlerinin ise değişken şartların gerektiği durumlarda kullanılabilir şekilde olması veritabanının işlevselliğini ve kullanılabilirliğini arttıracaktır. Sunulan tez çalışmasının en başında uygun bir veritabanının literatürde bulunmaması ile yaşanan sıkıntıları konuyla ilgili başka kişilerin de yaşamaması için tez bünyesinde bu şekilde bir veritabanı oluşturulmasına karar verilmiş, veritabanının içerik zenginliği bu amaçla geniş tutulmaya çalışılmıştır. Böyle bir veritabanı oluşturularak ihtiyaç duyan bilim insanlarının kullanımına sunmakla literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine de büyük katkıda bulunulmuş olacağı düşünülmektedir. Oluşturulan veritabanından bir kişiye ait alınan yüz resimleri Şekil 5.4'te verilmektedir.

Tez çalışması bünyesinde oluşturulan ÇBVT'de yüz resimlerinin özellikleri aşağıda verilmektedir.

1. ÇBVT'de yüz resimleri için aydınlatma, veritabanındaki bazı resimler için standart bazı resimler için ise değişken olacak şekilde ayarlanmıştır.
2. Yüz resimleri için kişi-kamera arasındaki uzaklık, veritabanındaki bazı resimler için standart bazıları için ise değişken olacak şekilde ayarlanmıştır.
3. Yüz resimlerinin bazıları Canon marka dijital kamera ile alınmış, bazıları ise Sony marka video kamera ile alınmış renkli resimlerdir.
4. Yüz resimlerinin bazıları standart boyutta (640x480), bazıları ise farklı boyutlarda olacak şekilde alınmıştır.
5. Oluşturulan ÇBVT yüzün tüm parçalarının görüldüğü önden çekilmiş ve belirli açılardan alınmış standart yüz resimlerinin yanı sıra çeşitli açı ve yönlerden alınmış kontrolsüz yüz resimlerini de içermektedir.

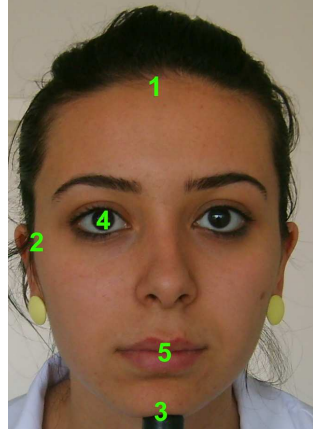


Şekil 5.4. Oluşturulan veritabanında bir kişiye ait yüz resimleri.

Yukarıda da belirtildiği gibi veritabanının işlevinin ileriye yönelik olarak arttırılması amacıyla çeşitli açı ve yönlerden yüz resimleri alınmakla birlikte bu çalışmada önden çekilmiş, yüze ait tüm parçaların gözüktüğü her kişiye ait yalnızca 1 adet yüz resmi kullanılmıştır. Bu yüz resmi aşağıda verilen özellikleri taşımaktadır.

1. Yüz bölgesinin bittiği ve saç bölgesinin başladığı sınır tam olarak gözükmelidir.
2. Yüz pozisyonu, kulaklar sağdan ve soldan eşit olarak görünecek şekilde ayarlanmalıdır.
3. Çene şeklinin tam olarak belli olması gerekmektedir.
4. Gözlerin normal açık durumda olması ve kameraya bakması gerekmektedir.
5. Dudak şeklinin doğal görünümde olması, gülme gülümseme kızgınlık çekinme halleri gibi herhangi bir şekli deformasyona uğramamış pozisyonunda olmasına dikkat edilmiştir.
6. Gözlere ait özellik noktalarının elde edilmesinde sorun yaşamamak için gözlük kullanan kişilerin gözlüksüz resimleri alınmıştır.

Yukarıda verilen kriterlere dikkat edilerek alınan önden çekilmiş bir yüz resmine örnek Şekil 5.5'te verilmektedir.



Şekil 5.5. Bir yüz resmi.

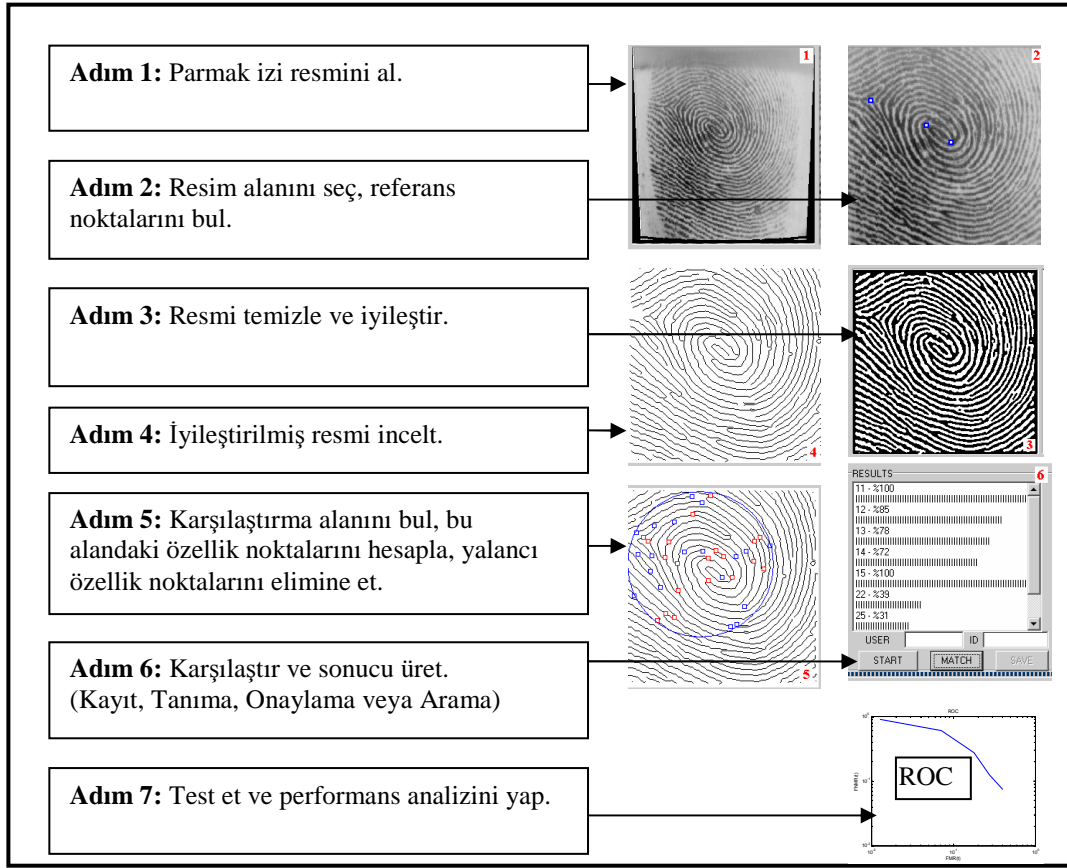
5.2. Parmak Izi Ve Yüzlere Ait Özellik Setlerinin Elde Edilmesi

Parmak izi ile yüz arasında herhangi bir ilişkinin varlığının araştırılması ve incelenmesi konusunda ikinci öncelik parmak izi ve yüze ait özellik setlerinin doğru ve güvenilir olarak elde edilmesidir. Bu özellik setlerinin doğru olarak elde edilmesi çalışmanın ve sistemin başarısını doğrudan etkileyecek faktörlerdir. Literatürde böyle bir çalışmanın olmayışı ve bu yaklaşımın ilk defa tarafımızdan sunuluyor olması nedeniyle parmak izi ve yüze ait özelliklerin elde edilmesinde kullanılan yöntemlerin şeffaflığı bu çalışma için özellikle önem arz etmektedir. Bu yöntemlerin şeffaflığı tezde sunulan fikre ve

yaklaşımına karşı oluşabilecek şüpheleri ortadan kaldıracak şekilde olmalıdır. Çünkü sunulan çalışmada parmak izleri ile yüzler arasında olması muhtemel bir ilişkinin sorgulanması, analiz edilmesi gibi önemli bir iddia ortaya atılmaktadır. Böyle bir iddia ile ortaya çıktığında dikkatleri tamamen aradaki ilişkiyi sorgulayan ve bu ilişkinin analizini yapan sistem üzerine toplamak esastır. Bu çalışmada giriş-çıkışların elde edilmesi için kullanılan tekniklerin iyi bilinen, güvenilen ve detayları kolayca elde edilebilecek yöntemlerden seçilmesine gayret gösterilmesinin temel nedeni de budur. Böylece sistemi anlamaya çalışan kişiler giriş ve çıkışla ilgili olarak kafalarında hiç bir soru işareti olmadan çalışmayı objektif olarak değerlendirebilecek ve çalışma hakkında daha objektif yorumlarda bulunabileceklerdir.

5.2.1. Parmak Izlerine Ait Özellik Setleri

Yukarıda sözü edilen nedenlerden dolayı sunulan tez çalışmasında hem parmak izi hem de yüz için detayları konuyla ilgilenen herkes tarafından bilinen şeffaf yöntemler tercih edilmiştir. Parmak izi özellik setlerinin oluşturulmasında Neuroteknologija tarafından geliştirilen VeriFinger 4.1 yazılım geliştirme kiti (SDK) kullanılmıştır [15]. Sözü edilen yazılım parmak izlerine ait özellik noktalarının parametrelerinin uygun şekilde işlenmesi ve karşılaştırılması temeline dayanmaktadır. Özellik noktaları temelli (minutiae-based) parmak izi tanıma sistemleri olarak bilinen bu sistemlerde işlemler genellikle çevrim içi veya çevrim dışı olarak alınan parmak izi resimlerinin sayısala çevrilmesi, parmak izi resimlerinin bilgi taşıyan anlamlı kısmının arka plandan ayrılması, referans noktalar olarak bilinen orta nokta ve delta noktalarının elde edilmesi, parmak izi temizleme ve iyileştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve resmin siyah beyaz renkten oluşan ikili resme çevrilmesi, ikili resmin inceltilmesi, inceltelen resmin iyileştirilmesi, özellik noktaları olarak bilinen uç ve çatal noktalarının ve bu noktaların karşılaştırma parametrelerinin bulunması, yalancı özellik noktalarının elimine edilmesi, doğru özellik noktaları ve bu noktalarının parametrelerini kullanılarak karşılaştırma işleminin gerçekleştirilmesi, sistem başarısının ve performansının değerlendirilmesi şeklindedir [11]. Bu çerçevede gerçekleştirilen işlem adımları Şekil 5.6'da özetlenmiştir.



Şekil 5.6. Özellik noktaları temelli bir otomatik parmak izi tanıma ve onaylama sisteminde temel işlem adımları.

5.2.2. Yüzlere Ait Özellik Setleri

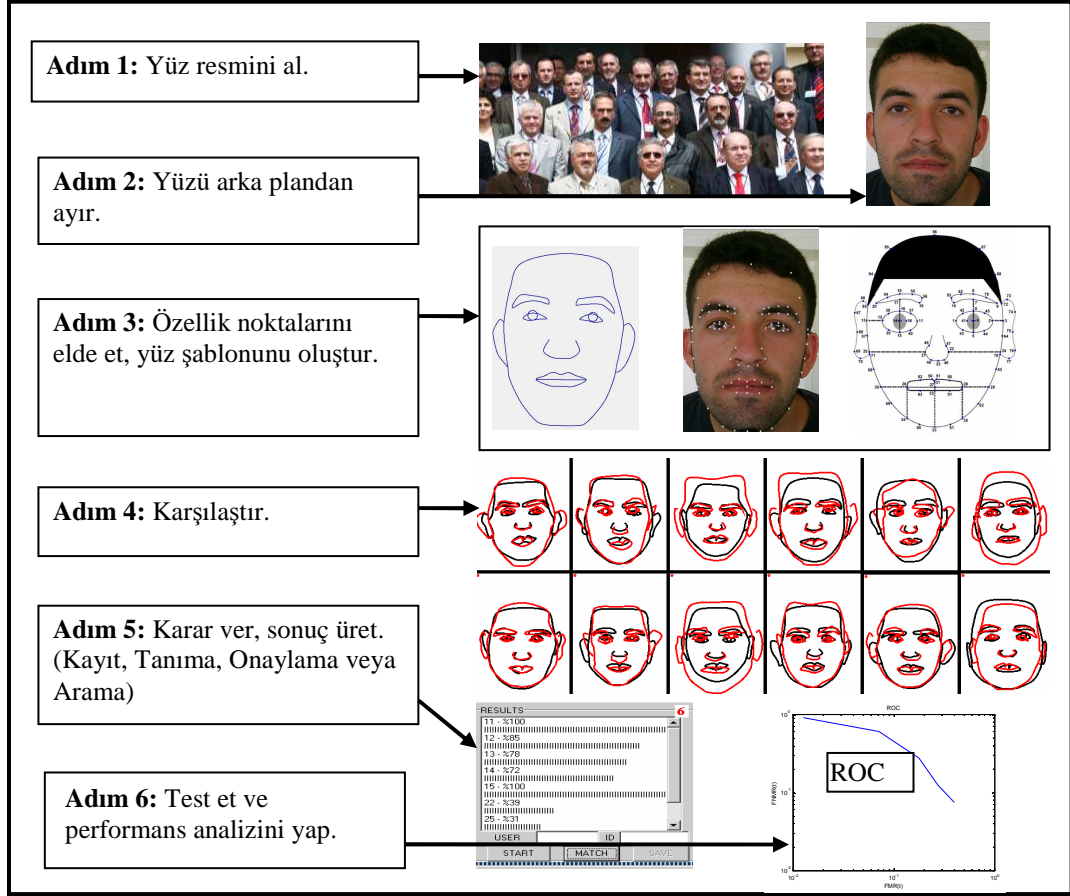
Parmak izi özellik setlerinin elde edilmesinde kullanılan yöntemle ilgili olarak şeffaflığın gerekliliği yukarıda açıklanmıştır. Benzer nedenlerle yüzlere ait özellik setlerinin elde edilmesinde de şeffaf bir yöntem tercih edilmesi gerektiği düşünülmüş, konuyla ilgili literatürde var olan tüm yüz tanıma yöntemleri incelenmiş, bunlar arasında yüze ait değişmeyen fiziksel özellikler kullanılarak yüz tanıma yapabilen yöntemlerin kullanılmasının daha doğru olacağı sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni ise sunulan çalışmada parmak izinin temsil edilmesinde ve özellik setlerinin oluşturulmasında parmak izinde bulunan ve değişmeyen fiziksel özellikler (uç ve çatal noktalar) kullanılmaktadır. Bunun yüz tanımadaki tam karşılığı da yüze ait değişmeyen fiziksel özellikler olarak yorumlanmıştır. Bu şekilde bir bakış açısı ile sistemi anlamaya çalışan kişilerin kafalarında en ufak bir soru işaretine yer vermeyecek kadar açık seçik, hiçbir karmaşıklığı olmayan, yüzde bulunan ve yüzün tanınmasını sağlayan fiziksel

özelliklerin en basit anlamda elde edilmesi mantığına dayalı bir yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir. Yöntem tercihindeki en önemli özellik ise yüze ait özellik setlerinden yüzün tekrar doğru bir şekilde elde edilmesinin gerekliliğidir. Çünkü sistem çıkışında elde edilen özellik setlerinden yeniden yüzün hassas bir şekilde oluşturulabilmesi sunulan çalışma için büyük önem taşımaktadır.

Bu amaçla literatürde bulunan yüze ait değişmeyen fiziksel özellikleri temsil eden noktaların kullanıldığı yöntemler incelenmiş, bunlar arasında çalışmanın doğasına uygun, amacına birebir hizmet edebilecek bir yöntem bulunamamıştır. Ancak literatürde varolan bir yöntemin [432] çalışma şekli ve mantığından esinlenilerek yüz özellik setini amaca uygun formatta elde edebilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Önden çekilmiş yüz resimleriyle çalışılan ilgili yöntemde yüze ait fiziksel özelliklerin elde edildiği referans noktalar manuel olarak belirlenmekte ve bu noktalar arası uzaklıklar, ortalama uzaklıklar gibi parametreler kullanılarak yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak verilen yöntem orijinal haliyle parmak izinden yüzün elde edilmesinde kullanılacak bir yöntem değildir. Çünkü sözü edilen çalışmada yüze ait özellik setleri kullanılarak yüzün hassas bir şekilde yeniden elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Yani sunulan tez çalışmasında yüze ait özellik setlerinin yüzü yüksek hassasiyetle yeniden çizmeye olanak sağlayacak şekilde temsil etmesi gerekmektedir. Bu amaçla sözü edilen yöntemde kullanılan nokta sayısı yüzün yeterince hassas temsil edilebilmesi için 35'ten 88'e çıkarılmıştır. Ayrıca [432] nolu referansta verilen yöntemdeki gibi aradaki uzaklıklar ve bu uzaklıkların ortalaması gibi parametreler yerine doğrudan kartezyen koordinat sistemindeki (x-y) koordinat değerlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Çünkü kartezyen koordinat bilgisi bir anlamda ilgili noktanın yerini, konumunu ve diğer noktalara uzaklığını içerisinde barındıran bir yapıya sahiptir.

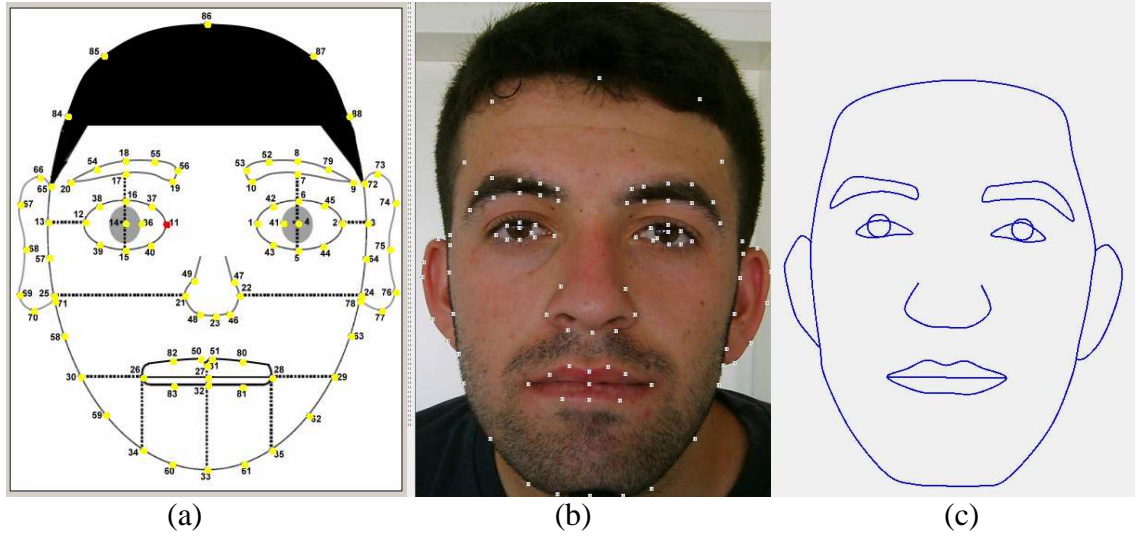
Özellik noktaları temelli (feature-based) yüz tanıma sistemi olarak adlandırılabilen bir sistemde işlem adımları genellikle yüz resimlerinin alınıp sayısala çevrilmesi, resimlerden bilgi taşımayan anlamsız kısmın atılarak yüz bölgesinin elde edilmesi, yüze ait özellik noktalarının elde edilmesi ve bu noktaların karşılaştırma parametrelerinin bulunması, karşılaştırma işleminin gerçekleştirilmesi, sistemin başarısının ve performansının değerlendirilmesi şeklindedir. Özellik noktaları temelli bir yüz tanıma

sisteminde yüz resimlerinin işlenmesine yönelik yapılan işlemler Şekil 5.7’de özetlenmiştir.



Şekil 5.7. Özellik noktaları temelli bir YTS’de temel işlem adımları.

Sunulan çalışmada yüz özellik setleri ile ilgili en önemli noktalar bu özelliklerin kullanılarak yüzün yeterince hassas temsil edilip edilemediği, bu noktalar yardımıyla yüzün yeniden elde edilip edilemeyeceği yani robot resminin çiziminin yeterince hassas yapıp yapılamayacağı noktalarıdır. Yapılan inceleme ve analizler sonucunda 88 adet nokta ile yüksek hassasiyetle temsil edilen yüzlerin yine bu noktalar yardımıyla geri elde edilebildiği görülmüş, nokta sayısını artırmanın sistemde öğrenmeyi zorlaştıracığı, azaltmanın ise temsil noktasında hassasiyeti azaltacağı görüşüne varılmıştır. Sunulan çalışmada kullanılan 88 noktanın şablon üzerinde gösterimi, herhangi bir yüz üzerinde gösterimi ve bu noktalar kullanılarak ilgili yüze ait geri elde edilen robot resmi Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.8. Yüze ait özellik noktaları (a) Şablon üzerinde (b) Bir yüz resmi üzerinde; (c) (b)'de verilen kişinin özellik noktaları kullanılarak elde edilmiş robot resmi.

5.3. Sistem Yazılımları

Sunulan tez çalışmasında parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin sorgulanmasında ihtiyaç duyulan her türlü işlem çalışmanın en başında en ince detayına kadar hesaplanmış ve bu işlemlere yönelik elde edilebilecek hazır yazılımların olup olmadığı araştırılmıştır. Tez çalışması esnasında kullanılan tüm yazılımların mümkün olduğunca hazır paket programlar kullanılarak yürütülmesi şeffaflık açısından istenen bir durum olsa da tez çalışması sırasında sadece parmak izlerinin özellik setlerinin elde edilmesinde bir yazılım geliştirme platformu bulunmuş, onun dışındaki tüm işlemler için amaca uygun programlar tarafımızdan geliştirilmek zorunda kalmıştır. Bunun sebebi sunulan yaklaşımın daha önce benzerinin gerçekleştirilmemiş olması, biyometri literatüründe bir ilk çalışma niteliğinde olması olarak açıklanabilmektedir.

Parmak izlerine ait yazılım geliştirme kitinden elde edilen özellik setlerinin sisteme alınması, yüze ait özellik setlerinin elde edilmesi, işlenmesi, aradaki zeki sistemin oluşturulması, eğitimi, testi, değerlendirilmesi, sonuçların yorumlanması, çeşitli platformlarda ifade edilmesi gibi çalışmanın bünyesinde bulundurduğu tüm işlemleri sorunsuz, hızlı ve başarıyla gerçekleştiren bir yazılım tarafımızdan geliştirilmiş ve çalışmada kullanılmıştır. Bu yazılım, Verifinger SDK tarafından oluşturulan ve veritabanına kaydedilen parmakizlerine ait özelliklerin veritabanından çekilmesi, yüze ait özellik setinin oluşturulması, YSA parametrelerinin ayarlanması, giriş çıkışın uygun

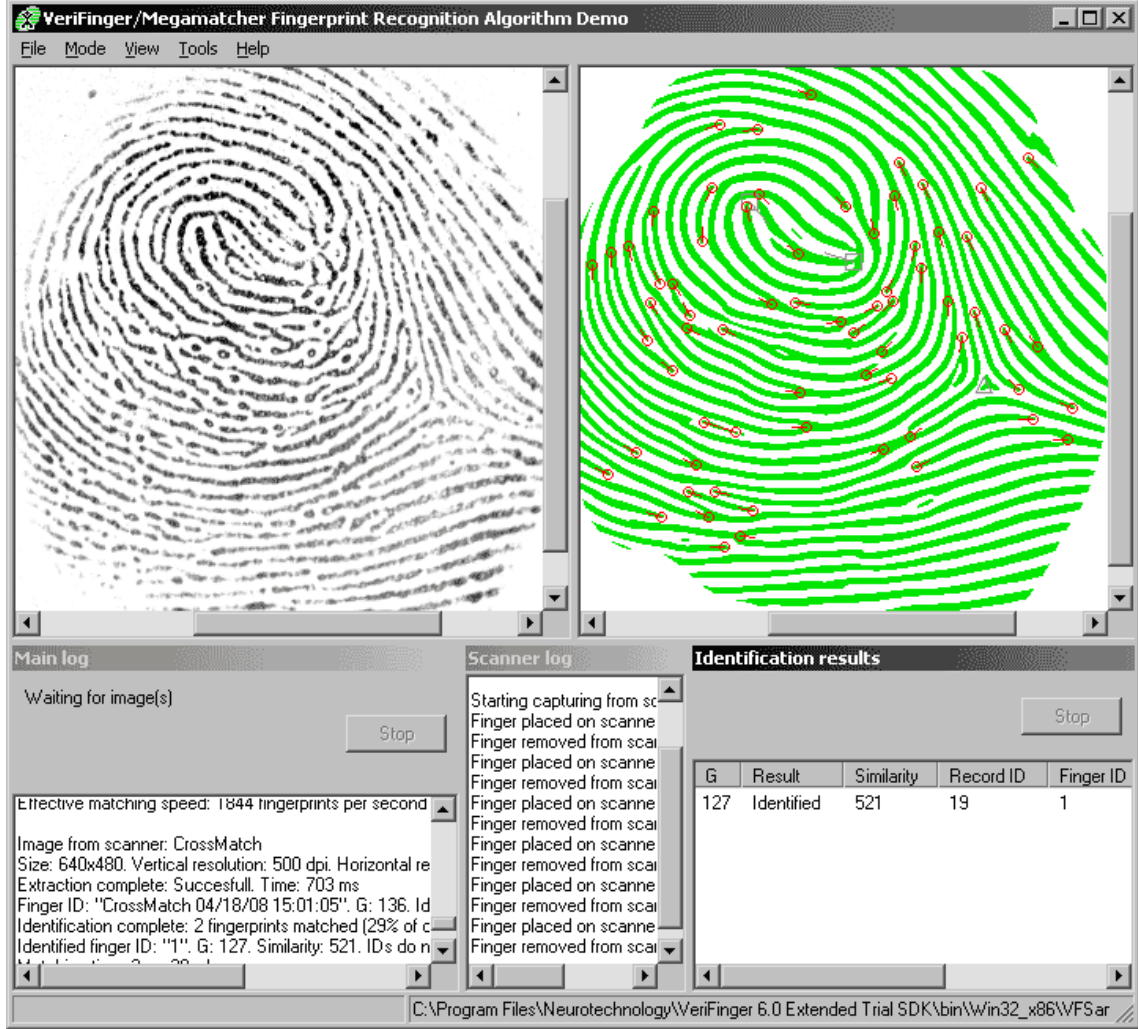
formatlara getirilmesi, YSA'nın eğitimi ve testi, YSA'dan elde edilen sonuçların çeşitli platformlarda değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların kullanılmasıyla tekrar yüzün çizilmesi işlemlerini başarıyla gerçekleştirmektedir. Bu bölümde tez bünyesinde gerçekleştirilen yazılımlar alt başlıklarda kısaca açıklanmıştır.

5.3.1 Parmak Izi İşleme Yazılımı

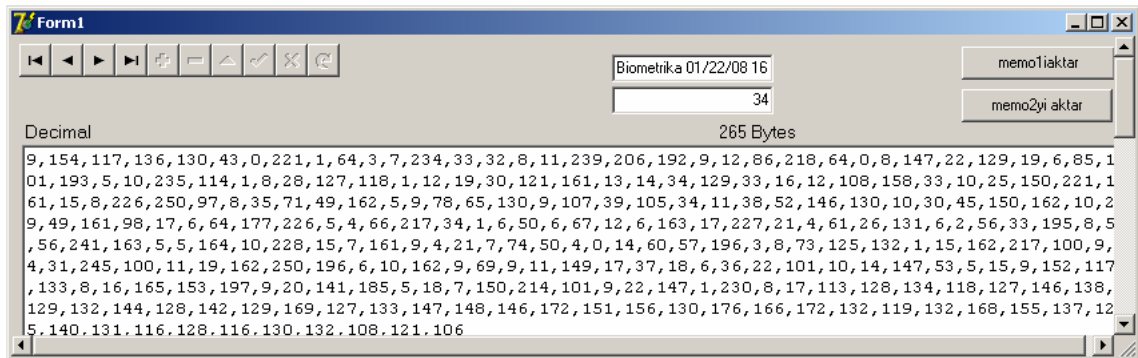
Parmak izlerine ait özellik setlerinin elde edilmesinde konu ile ilgilenen herkesin bildiği, doğruluğu ve güvenilirliği onaylanmış, internetten kolayca erişilebilen, biyometri sektöründe ticari olarak faaliyet gösteren Neuroteknologija tarafından geliştirilen VeriFinger 4.1 yazılım geliştirme kiti (SDK) kullanılmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu şekilde bir seçimin PYUZS için oluşabilecek önyargı ve şüpheleri ortadan kaldıracığı, böylece çalışmanın daha objektif bir değerlendirilmeye tabi tutulacağı düşünülmektedir. Parmak izine ait özellik seti ile ilgili detaylar, kayıt şekli ve formatı, özellik setinin elde edilmesinde kullanılan algoritmalar ve bunların işleyiş şekilleri ile ilgili her türlü bilgi ilgili yazılım geliştirme kitinde mevcuttur [15]. Kullanılan yazılımın kullanıcı arayüzü Şekil 5.9'da verilmektedir.

Şekil 5.9'dan görülebileceği gibi yazılım, kalitesi düşük parmak izlerinde bile çok başarılı sonuçlar üretebilmektedir. Tez çalışması esnasında alınan parmak izlerinin resim kalitesinin, şekilde kullanıcı arayüzü ekranında görülen parmak izine kıyasla çok daha iyi kalitede oluşu göz önünde bulundurularak sunulan tez çalışmasında parmak izlerine ait özellik setlerinin yüksek doğruluklarda elde edildiği sonucuna varılabilmektedir. Yazılım kendi içinde özellik noktaları temelli bir otomatik parmak izi tanıma ve onaylama sisteminin (OPTOS) tüm işlemlerini başarıyla gerçekleştirmekte ve sonuç üretmektedir. Ancak sunulan tez çalışmasında parmak izleri kullanılarak yapılan bir tanıma/onaylama işlemine değil parmak izlerini yüksek doğruluklarla temsil eden özellik noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yazılım bünyesinde oluşturulup veritabanına kaydedilen ve parmak izlerine ait özellik setlerini ifade eden bu veriler, tez bünyesinde veritabanından çekilmekte ve çeşitli formatlarda saklanmaktadır. Gerçekleştirilen yazılımın, SDK'nın veritabanından parmak izi özellik setlerini çeken ve sisteme dahil eden görüntü ekranı Şekil 5.10'da verilmektedir. Şekilde text içerisinde virgüllerle ayrılmış olarak görülen sayılar dizisi bir parmak izine ait özellik setini ifade etmektedir. Veritabanından tek tek çekilen verilerin standart bir formatta ve toplu olarak bir

dokümanda saklandığının gösterildiği Şekil 5.11’de her satır bir parmak izine ait özellik setini temsil etmektedir.



Şekil 5.9. Parmak izi işleme yazılımının kullanıcı arayüzü.



Şekil 5.10. Parmak izlerine ait özellik setlerinin veritabanından alınıp sisteme dahil edilmesi işleminde kullanılan yazılım ekranı.

```

9,131,90,216,128,58,0,129,2,128,14,15,4,54,32,12,6,120,146,160,11,13,151,214,128,22,8,22,
,143,164,104,160,127,135,102,151,137,134,116,122,102,123,113,108,123,90,104,119,121,97,10
9,131,111,8,129,44,0,142,2,128,23,6,220,18,192,7,9,93,53,32,8,9,79,97,160,0,6,76,230,160,
9,110,42,120,129,46,0,112,1,224,7,13,8,157,64,10,10,136,218,160,17,13,148,85,161,22,6,26,
9,110,154,72,129,36,0,99,1,32,3,12,107,69,192,8,14,217,150,64,2,10,111,217,160,13,18,139,
9,111,92,136,129,40,0,101,2,224,10,6,232,13,128,12,13,217,29,224,5,6,135,90,32,21,12,87,1
9,127,67,24,129,49,0,105,1,64,13,10,220,38,192,9,9,208,198,64,0,6,87,202,224,2,5,20,218,0
9,132,60,216,129,42,0,129,1,160,19,12,231,45,64,11,14,213,109,32,5,8,101,109,64,11,13,23,
9,129,67,248,129,48,0,118,1,128,18,7,2,145,0,17,9,108,182,96,16,10,83,214,64,8,8,14,226,1
9,134,31,88,131,55,0,235,2,0,11,15,112,145,224,13,16,94,189,160,10,14,11,201,128,14,18,27
18,118,130,120,119,121,117,103,110,108,98,100,96,94,95,89,80,84,94
9,124,71,168,131,46,0,6,1,32,16,6,128,17,0,19,10,111,57,224,13,10,229,117,224,10,9,16,121
9,144,54,24,130,39,0,234,1,128,10,8,94,125,32,4,8,222,189,96,4,10,104,17,1,9,8,4,85,97,12
9,130,101,216,128,39,0,125,2,192,14,8,114,165,64,11,11,22,169,160,21,4,145,202,224,25,8,2
9,116,77,8,129,38,0,128,1,192,12,9,21,61,64,22,8,114,105,192,8,7,16,113,160,17,6,9,165,22

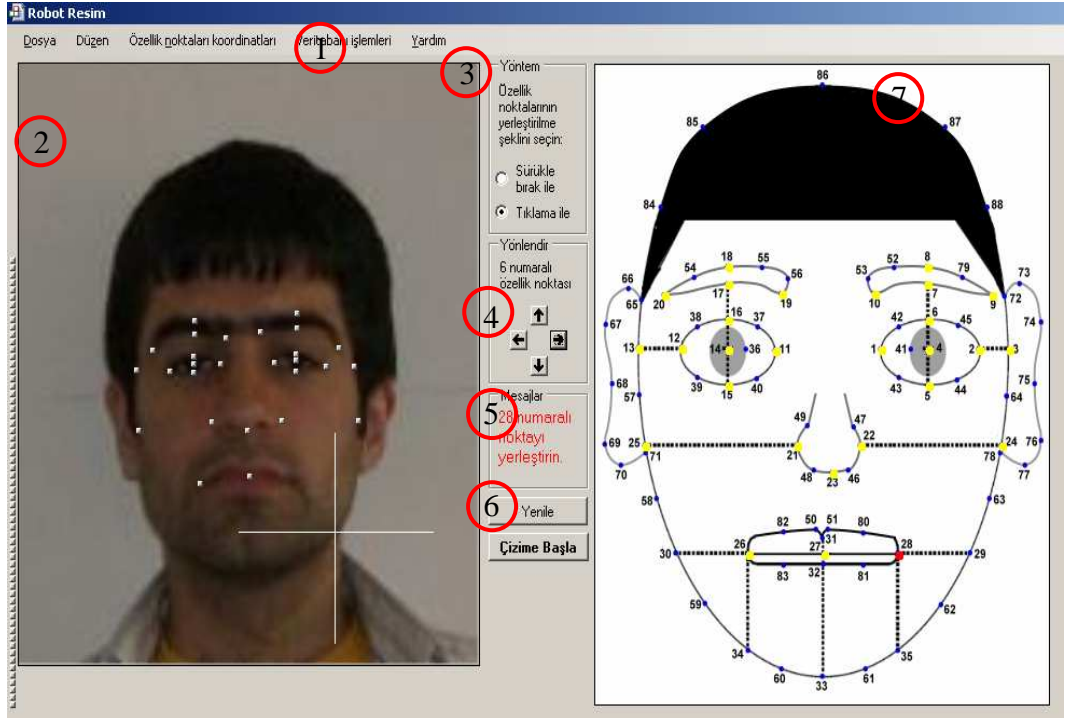
```

Şekil 5.11. Parmak izlerine ait özellik setlerinin sayısal halı.

5.3.2. Yüz İşleme Yazılımı

Yazılımın yüz işleme modülünde yüz ile ilgili her türlü işlem başarıyla gerçekleştirilmektedir. Yüze ait özellik setlerinin elde edilmesinden sistem sonuçlarının görsel değerlendirilmesinin yapıldığı görsel analiz platformunun gerçekleştirilmesine kadar birçok işlem yazılımın bu bölümünde gerçekleştirilmektedir. C# programlama dili kullanılarak Visual Studio 2005 ortamında geliştirilen yüz işleme yazılımının bu alt bölümünde özellikle yüzlere ait özellik noktalarının elde edilmesine yönelik kısmı üzerinde durulacak, sistem sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik kısmı ise görsel analiz platformunun anlatıldığı kısımda detaylı olarak verilecektir. Yüzlere ait referans noktalarının en doğru şekilde belirlenmesi için her türlü detayın düşünüldüğü yüz işleme yazılımının bu bölümünün kullanıcı ara yüzü Şekil 5.12’de verilmekte, kullanımı ve çalışma yöntemleri şekil üzerinde daire içerisinde verilen numaralarla gösterilmekte ve bu numaralarla gösterilen bölümler ilgili alt başlıklarda kısaca anlatılmaktadır. Yüz işleme yazılımının özellik noktalarının elde edilmesine yönelik olarak yaptığı işlemler özetle aşağıda verilen adımlar takip edilerek gerçekleştirilmektedir.

1. Yüz resminin açılması.
2. Yüze ait özellik noktalarının belirlenmesinde kullanıcıya uygun, kullanışlı, esnek bir platform sağlanması.
3. Kullanıcının işaretleyeceği noktaların yerlerini doğru bir şekilde belirleyebilmek için ilgili noktanın şablon üzerinde işaretlenerek kullanıcının uygun şekilde yönlendirilmesi. Bu anlamda şablon üzerindeki noktalar işlevlerine göre 3 değişik renge sahiptirler. Bunlar mavi, sarı ve kırmızı renklerdir. Noktalar henüz herhangi bir yöntemle işleme tabi tutulmadığında mavi renktedir. Üzerinde işlem yapılmış olan noktalar sarı renk ve üzerinde işlem yapılacak nokta kırmızı renk ile gösterilmektedir.
4. Özellik noktalarının kaydı ve saklanması ile ilgili çeşitli formatların kullanılabilir olması ve bilginin bu formatlarda kullanımına olanak sağlanması sayesinde yazılım ileride gerçekleştirilebilecek farklı çalışmalar için kullanılacak formatta veriler üretilebilmektedir.
5. Elde edilen özellik noktalarının tamamının (tüm yüz) veya bir kısmının (yalnızca ağız, burun, kaş, göz, yüz çevresi, kulak vs) robot resminin çizdirilebilmesi. Bu sayede elde edilen özellik noktalarının ilgili kişiyi ne kadar hassas temsil ettiği kontrol edilebilmekte, özellik noktaların elde edilmesi esnasında gözden kaçan ayrıntıların farkına varılabilmektedir.
6. Yüzlere ait özellik noktalarının hem robot resim şeklinde hem de çeşitli formatlarda kaydedilebilen koordinat değerleri şeklinde kaydedilebilmesi.
7. Robot resimde saç uzunluğu gibi faktörler göz önünde bulunarak kafa üst kısmının olması ya da olmaması durumlarının isteğe göre seçmeli olarak kullanılabilmesi.



Şekil 5.12. Yüz işleme yazılımının kullanıcı ara yüzü.

Şekil 5.12’de verilen yüze ait özellik setlerinin elde edilmesinde kullanılan referans noktalarının her biri bir buton olarak tasarlanmıştır. Tüm özellik noktaları dinamik olarak üretilmektedir. Bu nedenle program üzerinde değişiklik yapmak kolaydır. Sistemin işleyeceği yüze ait toplam 88 adet özellik noktası bulunmaktadır. Bu özellik noktalarının yerleştirilmesinde programın girişinde sağ bölümde verilen şablon temel alınarak çalışılmaktadır. Bu noktaların yüz resmi üzerine yerleştirilmelerinde çeşitli kontroller kullanıcının daha önceden tanımlanmış kurallar çerçevesinde noktaları en doğru şekilde belirlemesine ve özellik noktalarının en doğru şekilde oluşturulmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Yüz işleme modülü Şekil 5.12’de yuvarlak içerisinde verilen sayılar dikkate alınarak 7 alt bölümde anlatılacaktır. Verilen şekilde “1” numara ile gösterilen **Menüler** bölümü, resim açmak, kaydetmek, yakınlaştırmak gibi yüz resmine dair işlemler ve veritabanı ve metin dosyaları ile ilgili işlemlerin kontrollerinin yapıldığı bölümdür.

“2” numara ile verilen **Resim** bölümü, şekildeki ekranın sol bölümüdür. Kullanıcının çalışacağı, işlemlerini gerçekleştireceği temel bölüm burasıdır. Veritabanında bulunan kişilerin yüz resimleri buraya açılır ve yüzlere ait özellik noktalarının belirlenmesi

işlemi bu platformda gerçekleştirilir. Yüze ait özellik noktaları Sürükle-Bırak (Şablon) Yöntemi ve İşaretleme (Tıklama) Yöntemi olmak üzere iki yöntemle elde edilebilmektedir. İlk yöntem olan sürükle-bırak tekniğinde resim üzerinde 88 adet nokta varsayılan olarak belirlenen yerlere gelir ve kullanıcı sürükle bırak tekniğini kullanarak noktaları olmaları gereken doğru yerlere sürükler. Seçili durumda olan noktanın bir etiket yardımıyla kullanıcıya bildirilmesi suretiyle hata yapılmasının önüne geçilmeye çalışılır. İşaretleme yönteminde ise yüz resmi, üzerinde hiç bir nokta olmaksızın gelir ve 1. noktadan itibaren sırasıyla kullanıcıdan her noktayı doğru yere tıklaması beklenir.

“3” numara ile verilen **Yöntem** kutusu ile özellik noktalarının elde edilme yönteminin seçimi yapılır. Seçilen yöntemle göre özellik noktaları otomatik olarak varsayılan yerlere konumlandırılır veya program kullanıcının tüm noktaları sırasıyla yerlerine koyması için kullanıcıdan ilk noktanın yerini belirlemesine hazırlanmış durumda açılır. Teknikler ile ilgili detaylı açıklama ilerleyen kısımlarda verileceği için burada değinilmeyecektir.

“4” numara ile verilen **Yönlendir** kutusu gerek sürükle bırak yöntemi gerekse tıklama yönteminde doğru yerlerine yerleştirilmeye çalışılan noktaların daha hassas hareket etmelerine olanak sağlamaktadır. Burada verilen butonlar tıklanan özellik noktası seçili durumda iken ilgili özellik noktasına bir piksellik hareket yeteneği kazandırmaktadır.

“5” numara ile verilen **Mesaj** kutusu kullanıcı işlem yaparken kullanıcı tarafından yapılabilecek hataları en aza indirmek ve herhangi bir anda kullanıcıyı yönlendirmek amacıyla programa eklenmiştir. Mesaj kutusu bölümünde, kullanıcının yaptığı/yapması gereken işlemlerin sırası ile ilgili mesajlar görüntülenir. Programda nokta ile tabir ettiğimiz çok küçük boyutlu objelerle çalışıldığı için ve bazı yerlerde bu noktaların birbirilerine olan mesafelerinin çok yakın olması nedeniyle bu şekilde bir yönlendirme mekanizmasına ihtiyaç olduğu görülmüş ve programa eklenmiştir. Özellikle hangi özellik noktası üzerinde işlem yapıldığının görüntülenmesi kullanıcının işini oldukça kolaylaştırmaktadır.

“6” numara ile verilen **Temel İşlemler** kutusunda bulunan **Yenile** butonu daha sonra ayrıntılı olarak açıklanacak olan “Şekil Aç” işleminden sonra kullanılan bir butondur. Programın işlem yaptığı tüm resimleri aynı boyutta işleyerek özellik noktalarının elde edilmesinde oluşabilecek hataların önlenmesi amacıyla konulmuştur. Aynı kutuda

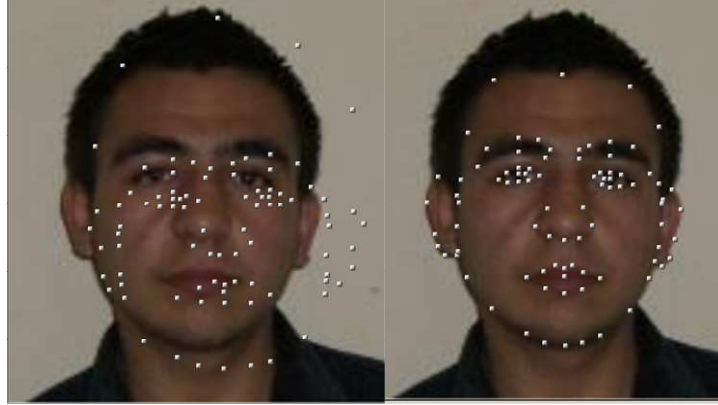
bulunan **Çizime Başla** butonu ise özellik noktaları elde edilen yüz resminin robot resminin çizilmesi ile ilgili işlemlerin yapıldığı forma geçişi sağlayan butondur.

“7” numara ile verilen **Model Bölümü** sadece şablonla ilgilidir ve özellik noktalarının elde edilmesinde kullanıcıyı yönlendirme amaçlı yerleştirilmiştir. Program robot resminin çizilmesi formunu ayrı bir forma açabildiği gibi şablonun yerine de açabilmektedir.

Program ilk başlatıldığında soldaki resim alanı boştur. Başlangıçta yeni bir resim açılarak işlemlere başlanır. Resim boyutu ve özellik noktalarını temsil eden buton büyüklükleri kullanıcının istediği şekilde ayarlanabilmektedir. Daha sonra özellik noktalarının yerleştirilmesi işlemine geçilmektedir. Özellik noktalarının yerleştirilmesinde iki temel alternatif mevcuttur. Kullanıcı istediği herhangi bir yöntemi seçerek özellik noktalarını elde etme işlemini kolayca gerçekleştirebilmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi bu alternatiflerden ilki sürükle-bırak yöntemi diğeri ise tıklama yöntemidir.

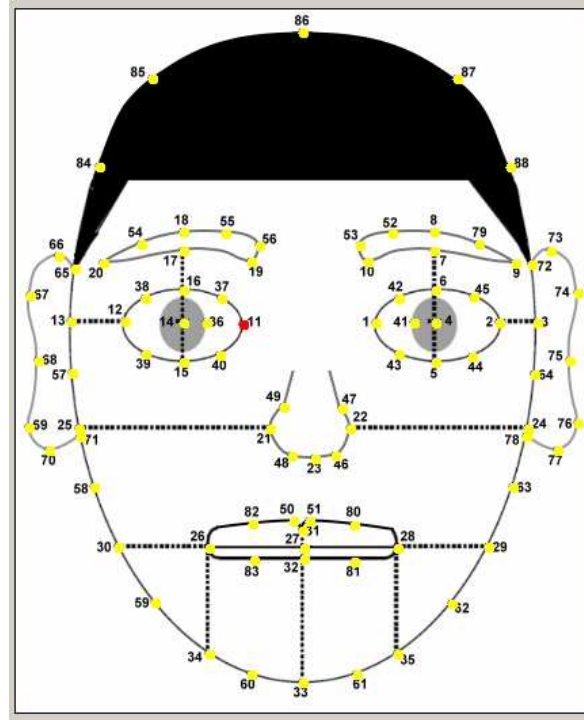
Sürükle-Bırak Yöntemi:

Bu yöntemde herhangi bir resim açıldıktan sonra program, açılan yüz üzerine daha önceden belirlenerek veritabanına kaydedilen varsayılan özellik noktaları şablonunu yerleştirir. Bu şablon, çalışma için kullanılan yüz veritabanında bulunan kişilerin ortalaması göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Resim ilk açıldığında orijinal boyutlarındadır ancak kullanıcının isteğine göre resim 10 katına kadar büyütülebilmektedir. Özellik noktalarının veritabanına kaydı sırasında herhangi bir ölçekleme yapılmadan noktaların o anki koordinatları da alınabilir, ölçekleme sonrasındaki koordinatlarının kaydı da yapılabilir. Bu ihtiyaca göre belirlenmektedir. Elde edilecek robot resim ile orijinal resmin aynı boyutlarda olması gerekmektedir. Veritabanındaki herhangi bir kişinin yüz resmi açılıp sürükle bırak tekniği ile noktalar yerleştirilmeye çalışıldığında ekrana gelen görüntü Şekil 5.13'te verilmektedir. İlgili noktalar doğru yerlerine sürüklenerek yüze ait özellik nokta seti elde edilir.



Şekil 5.13. Şablon yöntemi.

Bu yöntemde şablon genellikle seçilen resme tam olarak uymaz, kullanıcının doğru noktaları doğru yerlere sürükleyerek getirmesi gerekmektedir. Burada kullanıcının yaptığı özellik noktalarını sürükle-bırak ile asıl olmaları gereken yerlere taşıma işlemidir. Bu taşıma işlemi, fare yardımıyla kolaylıkla yapılmakla beraber bir kaç piksellik kısa mesafe yer değiştirmelerde istenen sonucu verememektedir. Bu nedenle programa “Yönlendir” kutusundaki oklar eklenerek tek piksellik hareketlerle daha hassas yerleştirme yeteneği kazandırılmıştır. Bir özellik noktası seçili durumda iken “Yönlendir” kutusundaki oklar o noktaya göre ayarlanır, ilgili noktanın hassas yer değiştirmesi bu butonlar yardımıyla yapılabilir. Aynı zamanda sağ bölümdeki model üzerinde de ilgili nokta kırmızı renk ile işaretlenerek hangi nokta üzerinde çalışıldığı kullanıcıya net olarak bildirilir. İlk başta tüm noktalar mavidir. Üzerine işlem yapılan nokta kırmızı, yerleştirme işlemi tamamlanan noktalar ise sarı renk alır. Seçili noktanın şablon üzerinde gösterimi Şekil 5.14’de verilmektedir. Tüm noktalar asıl yerlerine getirildikten sonra “Çizime Başla” butonuna tıklanır ve ister yeni açılan formda ister model üzerine açılan formda robot resim görüntülenir.



Şekil 5.14. Seçili noktanın şablonunda gösterimi.

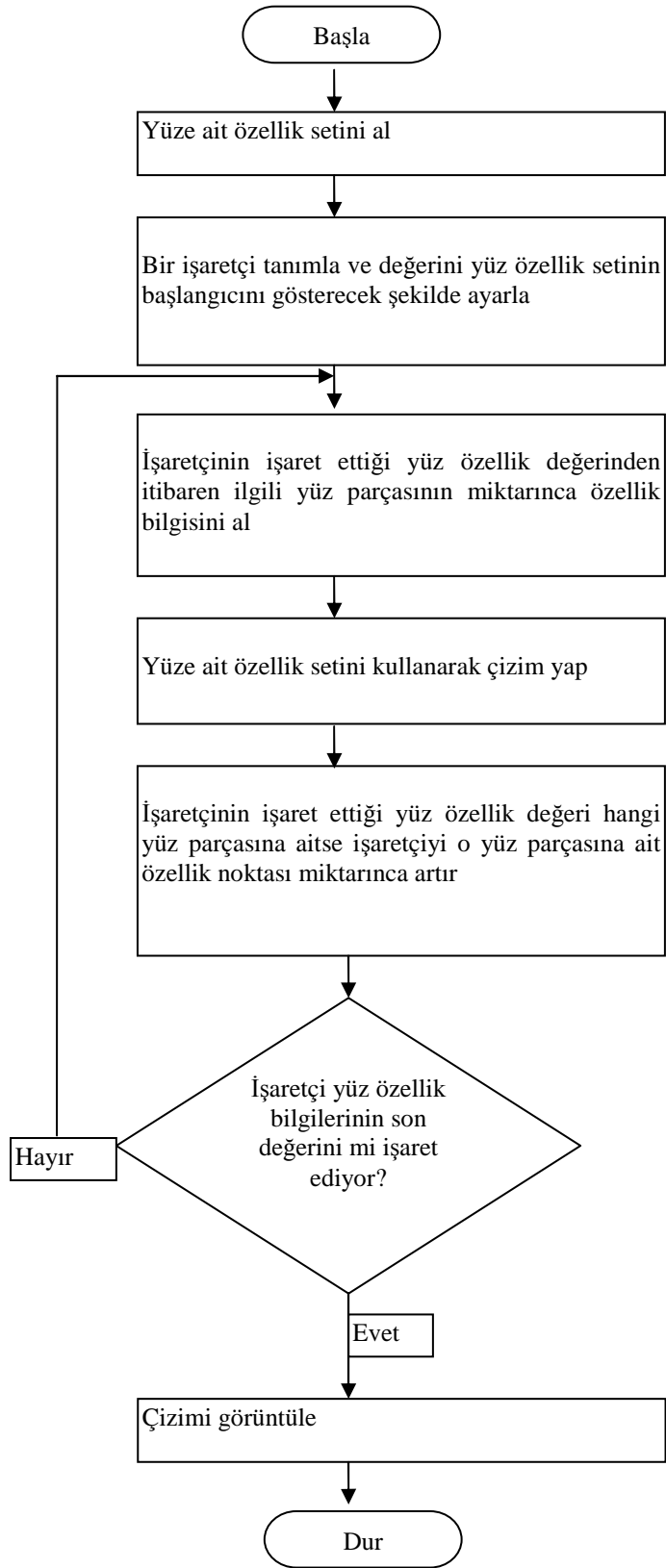
İşaretleme Yöntemi

Bazı kullanıcılara göre şablon yönteminde her noktanın asıl yerine getirilmesi zaman alıcı ve karmaşık bir işlem olabilmektedir. Bu yüzden özellik noktalarının daha hızlı olarak belirlenebilmesi için sürükle bırak yöntemine alternatif bir işaretleme yöntemi geliştirilmiştir. “Yöntem” kutusu yardımıyla seçilen işaretleme yönteminin başlangıcında resim üzerinde hiçbir nokta yoktur. Kullanıcı sırasıyla her noktayı doğru yerlerine tıklayarak özellik noktalar setini oluşturacaktır. Tıklama yönteminde yüz resminin ekrana ilk geliş şekli ve tüm noktaların yüz üzerine yerleştirilmiş hali Şekil 5.15’te verilmektedir. Sürükle bırak yöntemindekine benzer şekilde kullanıcının hata yapması ihtimalinin önüne geçilmesi için şablon üzerindeki renklendirme veya bilgilendirme mesajları kullanılmakta, klavye kısa yol tuşları sayesinde kullanıcıya tıkladığı nokta üzerinde hassas yerleştirme imkanı sağlanmaktadır.



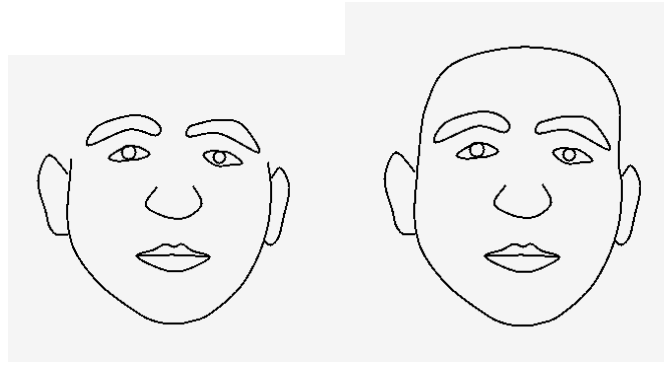
Şekil 5.15. Tıklama yöntemi.

Program yanlış olarak yerleştirilen herhangi bir noktanın fare ile sürüklenerek veya “Yönlendir” kutusundaki oklar kullanılarak doğru yerine konumlandırılabilmesine olanak sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Bunun için tüm noktaların tıklanmasının bitmesine gerek yoktur. Tıklama işlemine ara verilerek seçilen noktanın yerleşimi tamamlanmakta, daha sonra tıklama işlemine kalınan yerden devam edilebilmektedir. Özellik noktaları doğru yerlerine yerleştikten sonra robot resmin çizilerek noktaların doğruluk kontrollerinin yapılmasına ve bazı noktaların yerlerinin değiştirilmesine gerek duyulabilir. Bunun için “Çizime Başla” butonuna tıklanarak diğer forma geçilir. Çizilecek robot resmin çizgi kalınlığı, çizgi rengi, arka plan rengi ve robot resim çevresindeki çerçevenin olup olmaması gibi görünüm ayarları bu formda yapılır. Varsayılan ayarlar ile de çizim yapılabilir. Kafanın üst kısmı ile belirtilmek istenen, 84, 85, 86, 87 ve 88 numaralı özellik noktalarının varlığı veya yokluğudur. İsteğe göre ayarlar yapıldıktan sonra “Yenile / Çiz” butonuyla yeniden son yapılan değişikliklerin çizim üzerindeki etkisi görülebilir. Robot resmin çizilmesi işlemi, daha önceden belirlenen nokta grupları arasında kapalı şekiller çizilmesi ile yapılır. Programda kullanılan çizim işlemi Şekil 5.16’da tanımlanmaktadır.



Şekil 5.16. Çizim işleminin akış diyagramı.

Saç uzunluğunun ve saç modellerinin değişken olması nedeniyle kafanın üst kısmına ait özellik noktaları yüz bitimi-saç başlangıç noktasına işaret etmektedir. Bazı kişilerde bu sınırın tam olarak kestirilememesi özellik noktalarının doğru konumlanamamasına dolayısıyla sistem performansının düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden kafanın üst kısmının özellik setine dahil edilip edilmemesi kullanıcının seçimine ve kontrolüne bırakılmıştır. Bu kontrol Şekil 5.17’de verilmektedir. Çizilen robot resimler JPEG formatında kaydedilebilmektedir.



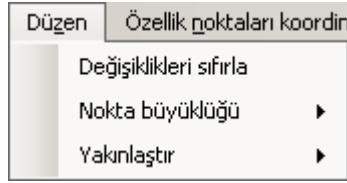
Şekil 5.17. Kafanın üst kısmı ile ilgili kontrol.

Yüz işleme yazılımında, işlemler çeşitli menüler şeklinde düzenlenerek kullanıcının işinin kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bu menüler ve içeriklerine burada kısaca değinilecektir. Şekil 5.18’de verilen düzen menüsünde 3 kontrol bulunmaktadır. Kullanıcının rahatı için geliştirilmiş bu kontroller aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Değişiklikleri sıfırla kontrolü programın başlangıç pozisyonuna getirilmesi için konulmuştur. Yani eğer şablon yönteminde çalışılıyorsa şablon yeniden yüklenmekte, işaretleme yönteminde çalışılıyorsa tüm noktalar silinip program kullanıcıdan ilk noktanın tıklanmasını bekler duruma getirilmektedir.

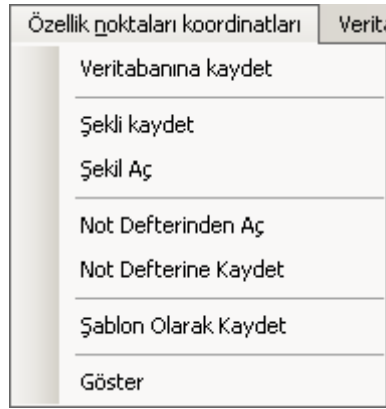
Nokta büyüklüğü kontrolü ile özellik noktalarını temsil eden butonların büyüklüğü 2x2 ile 7x7 piksel aralığında tanımlanabilmektedir. Varsayılan olarak 5x5 kullanılmıştır.

Yakınlaştır kontrolü ile açılan resmin büyüklüğü % 100 ile % 1000 arasında bir değere getirilerek resmin 10 kat büyütülebilmesi imkanı sağlanmıştır. Varsayılan olarak resmin özgün boyutu (% 100) seçili durumdadır.



Şekil 5.18. Düzen menüsü.

Şekil 5.19’da verilen özellik noktaları koordinatları menüsünde özellik noktalarının açılması, kaydı ve kayıt şekliyle ilgili bazı seçenekler mevcuttur. Bunlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır.



Şekil 5.19. Özellik noktaları koordinatları menüsü.

Menüden “Veritabanına kaydet” seçeneği ile herhangi bir yüz resmine ait özellik noktaları seti istenilen formatta veritabanına kaydedilir. Kişilere kayıt ismi verirken tekil bir numara kullanılarak çift girişlerin önüne geçilmiştir. Elde edilen özellik noktalarının koordinatları istenen formatta veritabanındaki “kisiler_koordinatlar” tablosuna eklenir. Ayrıca bu noktalar istenildiği zaman text dokümanlarına istenildiği formatta aktarılabilir. Şekil 5.20 X ve Y koordinatlarının sütunlar şeklinde kaydına bir örnektir. “Şekli kaydet” seçeneği ile o an açık olan resmin adresi ve büyütülme oranı ve özellik noktalarının o anki yerleri kaydedilerek kullanıcıya daha sonra işlemlere kaldığı yerden devam edebilme olanağı sunulmaktadır. Kullanıcı daha sonra bu dosyayı açtığı anda yarım bıraktığı işlemine kaldığı yerden devam edebilsin diye aynı resim aynı büyütme oranıyla açılmakta ve kullanıcıya kaldığı noktadan işlemlere devam etme

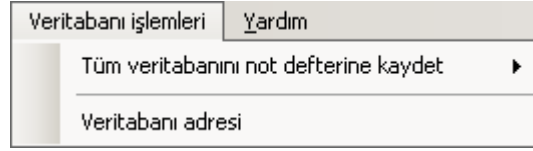
imkanı sunulmaktadır. Bu özellik aynı zamanda daha önceden oluşturulmuş ve işlemi tamamlanmış olan özellik noktaları setleri üzerinde değişiklik yapılabilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu da programa gerektiğinde çeşitli özellik noktalarına farklı işlevler yükleme veya özellik noktası sayısını kolaylıkla arttırıp azaltma esnekliği kazandırmaktadır.

id	x	y
1	244	270
2	289	273
3	321	272
4	267	270
5	268	278
6	268	263
7	268	243
8	268	228
9	308	260
10	232	248
11	197	274
12	146	277
13	119	279
14	172	272
15	172	280
16	172	265
17	172	246
18	172	233
19	204	251
20	130	266
21	192	319
22	249	316
23	218	328
24	323	328
25	119	319
26	176	371

Şekil 5.20. Bir kişiye ait özellik noktaları seti.

“Şekil Aç” seçeneği kullanılarak önceden kaydedilmiş bir resim özellik noktaları ile birlikte ekrana getirilir. Daha sonra “Yenile” butonuna basılarak resmin kaydedilirken sahip olduğu parametre seti yeniden düzenlenerek, örneğin önceden kullanılan yakınlaştırma oranı ölçüsünde büyütülerek kullanıcının kaldığı yerden devam etmesine olanak sağlanmıştır. “Not defterine kaydet” ile özellik noktalarının koordinatları not defterine kaydedilmekte, benzer şekilde “Not defterinden aç” seçeneği ile daha önceden kaydedilen özellik noktaları metin dosyasından alınıp programda kullanıcının istifadesine sunulmaktadır. “Şablon olarak kaydet” kontrolü ile özellik noktalarının o anki koordinatları şablon olarak kaydedilir ve daha sonra aynı resim Şablon yöntemi seçili haldeyken açıldığında bu koordinatlar temel alınır. Şablon koordinatları veritabanındaki “hepsi” tablosunda tutulur. “Göster” kontrolü ile özellik noktalarının o anki konumları ayrı bir formda gösterilir.

Şekil 5.21’de verilen veritabanı işlemleri menüsü tüm veritabanının kontrolünün sağlandığı menüdür. Bu bölüm veritabanındaki bilgilerin metin dosyası ortamına aktarılması işlemlerini kapsayan bir bölüm ve veritabanı adresinin tanımlandığı bir bölüm olmak üzere iki bölümden oluşur. “Tüm veritabanını not defterine kaydet” işlemi iki şekilde gerçekleştirilebilir. İlki, metin dosyasına veritabanındaki kayıtların önce X koordinatlarının ardından Y koordinatlarının kaydedilmesidir (XX...XXYY..YY). İkincisi ise noktaların sırasıyla bir X bir Y koordinatının kaydedilmesi şeklindedir (XYXY..XYXY). Veritabanının metin dosyasına aktarılması işleminde “kisiler_koordinatlar” tablosundaki kayıtlar kullanılmaktadır. Kullanılan veritabanının yeri değişmişse bu değişiklik “Veritabanı adresi” kontrolü ile güncellenebilmektedir.



Şekil 5.21. Veritabanı işlemleri menüsü.

Program basitlik ve kullanım kolaylığı açısından Access veritabanını kullanmaktadır. Veritabanının ismi “on.mdb” dir. Veritabanında 4 adet tablo bulunmaktadır. Bunlardan “genel” tablosunda veritabanı adresi ve veritabanı ile ilgili kontroller bulunur. “Hepsi” tablosunda şablon olarak kayıtlı bulunan özellik noktalarının koordinatları yer alır. “kisiler_koordinatlar” tablosunda kişiler ve bu kişilere ait özellik noktaları yer almaktadır. “Model” tablosu programın sağ bölümündeki modellerle ilgili kontrollerin yapıldığı tablodur. Bu tablodaki değerler programın geliştirilmesi aşamasında belirlenmiştir ve yalnızca yeni sisteme yeni özellik noktası ekleneceği veya var olan özellik noktalarına farklı işlevler yükleneneği zaman uygun şekillerde güncellenmesi gerekmektedir.

Özetle, sunulan yüz işleme yazılımının bu kısmı yüze ait 88 adet özellik noktasının manuel olarak belirlenmesi temeline dayanmaktadır. Program kullanıcının bu noktaları belirlemesi konusunda karşılaşılabileceği zorlukları yok etmek amacıyla oldukça esnek ve kolay kullanımlı bir program olarak geliştirilmiştir. Sunulan yazılımın esnekliği ile özellik noktalarının belirlenme aşaması hızlandırılmaya, kullanıcıdan doğabilecek hatalar minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Veritabanına ve metin dosyalarına kayıt

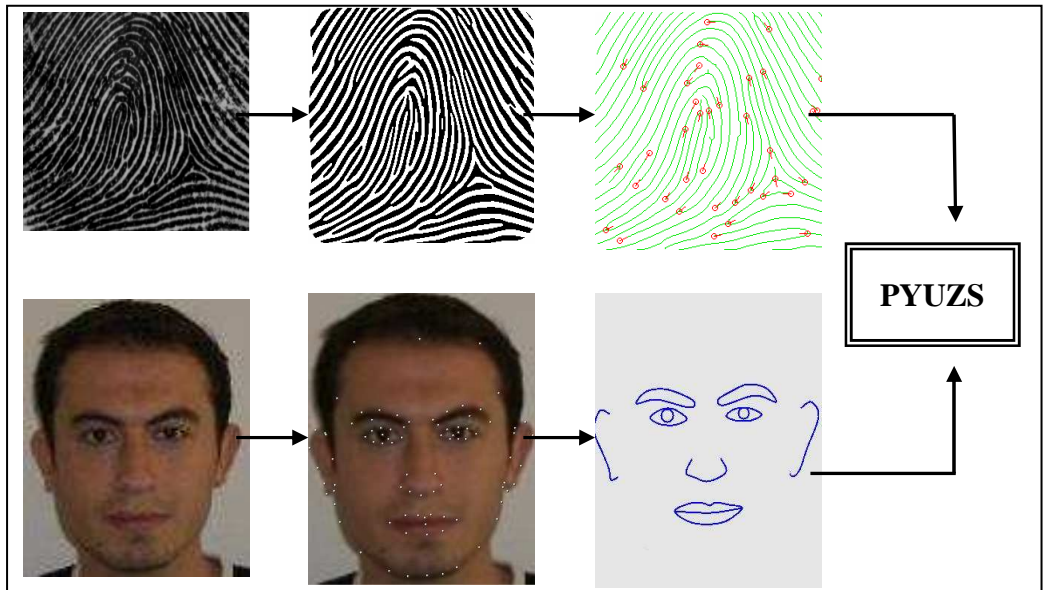
işlemleri çeşitli formatlarda yapılabilir. Bunun amacı çalışmanın ilerleyen safhalarında çeşitli formatlardaki bilginin sistemin performansı üzerindeki etkisinin test edilmesine ihtiyaç duyulabilmesi ihtimalidir. Ayrıca parmak izinden yüze geçişte çıkış verilerinin çeşitli formatlarda yazılabiliyor olması oluşturulabilecek sistemin değişik varyasyonlarının denenmesinde de işlemleri kolaylaştıracaktır.

5.4. Zeki Sistem Tasarımı

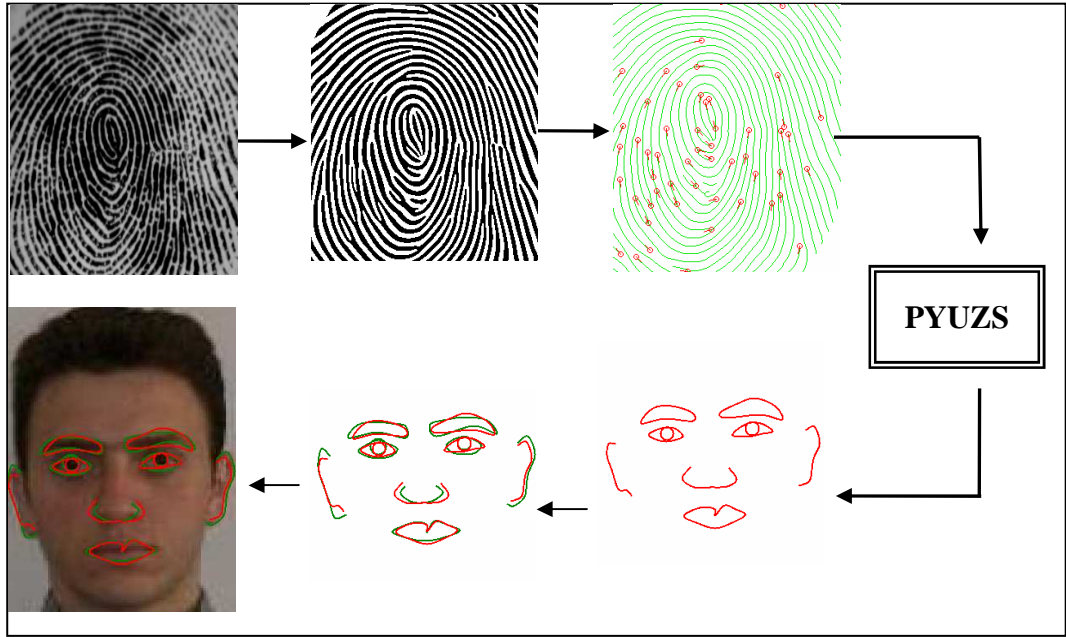
Parmak izi ve yüze ait biyometrik özellik setlerinin elde edilmesinden sonra PYUZS'de işlem sırası kullanılacak zeki sistemin tasarımına gelmektedir. Bu çalışmada, literatürde hiç çalışılmamış, hakkında en ufak bir bilgiye rastlanmayan, tamamen yeni bir ilişkinin varlığı veya yokluğunun araştırılması söz konusudur. Giriş-çıkış verileri ve bu verilerin boyutları gözönünde bulundurulduğunda bu problemin çok karmaşık ve modellenmesi zor bir problem olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kullanılacak sistemin doğrusal olmayan problemlerde modelleme yapabilecek, girişle çıkış arasındaki ilişkinin kullanıcı tarafından modellenmesine ihtiyaç duymayacak ve örneklerden öğrenip genelleme yapabilecek zeki bir sistem olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu açıdan bir araştırma yapıldığında yukarıda belirtilen özellikleri bünyesinde barındıran ve problemin doğasına en uygun yöntem olarak karşımıza çıkan çözüm YSA olmaktadır. Çünkü YSA, öğrenme yeteneği, kolayca farklı problemlere uyarlanabilirliği, örnekten öğrenip genelleme yapabilmesi, uygulamada daha az bilgi gerektirmesi ve kullanıcının giriş ile çıkış arasındaki ilişkiyi tarif etme mecburiyetinin olmayışı gibi pek çok üstünlüğe sahiptir. Bu avantajlarıyla literatürde birçok alana başarıyla uygulanarak bilim dünyasında saygın bir yer edinmiş iyi bilinen bir modelleme tekniğidir [397, 410]. Belirtilen üstünlükleri bünyesinde barındıran YSA'nın biyometri alanına başarıyla uygulandığı örnekler de mevcuttur [301, 302, 304-308, 310-317]. Aradaki ilişkinin analizinde kullanılacak sistemin YSA temelli bir sistem olmasına karar verilmesinin ardından Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak en iyi parametre setiyle donatılmış optimum YSA yapısı elde edilmiş ve kullanılmıştır. Taguchi deneysel tasarım yönteminin sunulan çalışmaya uygulanması Bölüm 4'te detaylı olarak anlatıldığından burada o konuya değinilmeyecektir.

5.4.1. Sistem Yapısının Ve Parametrelerin Belirlenmesi

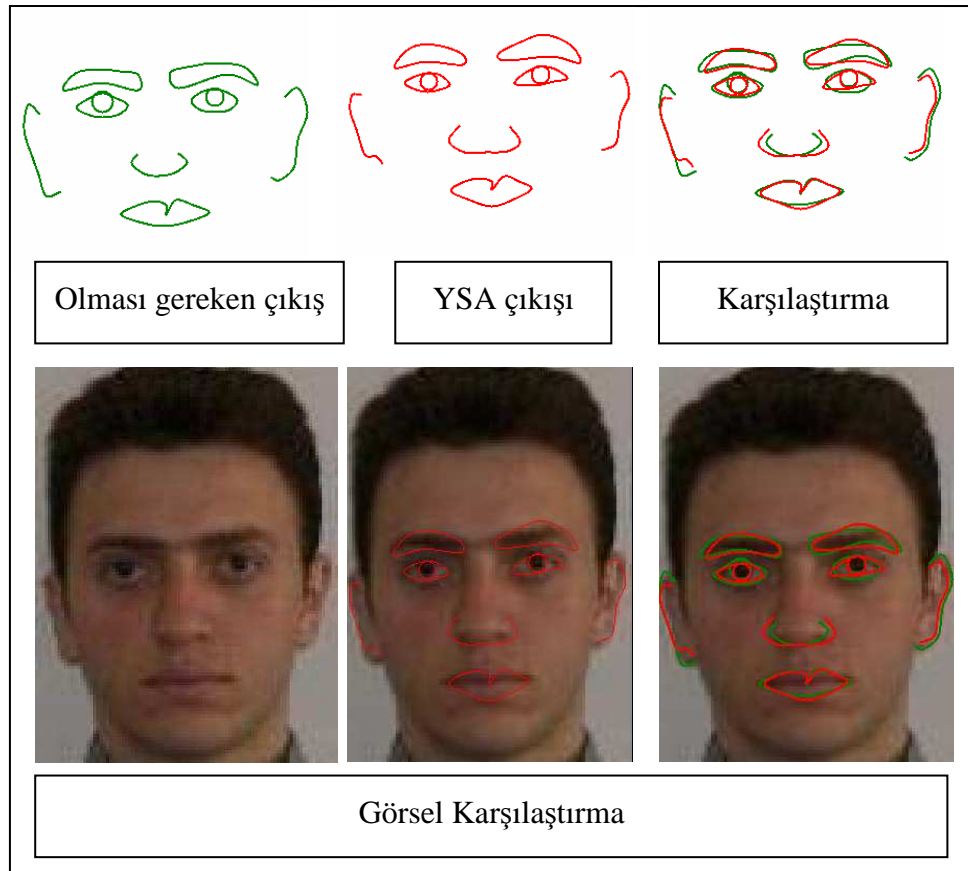
PYUZS için kullanılacak YSA mimarisi ile ilgili detaylı bir araştırma yapılmış, çok girişli çok çıkışlı ve doğrusal olmayan bir probleme uygun olabilecek YSA yapıları belirlenmiştir. Bu yapılar FF, FFTD, ELMAN, RBE ve GRNN yapılarıdır. Her bir yapı için ayrı ayrı deney tasarımları yapılmış ve her birinde en iyi sonucu üreten parametre setleri elde edilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki en iyi parametre setiyle donatılmış her bir YSA yapısı kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar elde edebilmektedir. Bu yapılar, parametreleri ve detayları ile ilgili her türlü bilgi, sonuç ve yorum Bölüm 4’de ayrıntılı olarak işlenmektedir. PYUZS’de kullanılacak yapı ve bu yapının parametrelerinin belirlenmesinin ardından sistem gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Problemin çözümünde, en basitten karmaşığa doğru ilerlenerek, olabilecek en basit çözümün tercih edilmesine gayret gösterilmiş ve sonuçta çalışma mantığı Şekil 5.22’de verilen zeki sistem yapısı ortaya çıkmıştır.



a) Eğitim



b) Test



(c) Değerlendirme İşlemi

Şekil 5.22. PYUZS ve elde edilen sonuçların görsel sunumları.

5.4.2. Eğitim

Tasarımı tamamlanan, parametreleri belirlenen PYUZS eğitim için hazır hale gelmiştir. Kişilerin parmakizlerine ait özellik setlerinin giriş, yüzlerine ait özellik setlerinin de çıkış olarak sisteme girilmesiyle eğitim işlemi gerçekleştirilmektedir. Sistem girişi her parmak izi için özellik noktalarına ait parmak izini yüksek doğrulukta temsil eden bir vektör, sistem çıkışı ise her bir yüz için sisteme öğretilmeye çalışılan yüz özellik noktalarına ait yüzü yüksek doğrulukta temsil eden bir vektördür. Parmak izlerindeki özellik noktası sayıları birbirlerine eşit olmadığı için her parmak izine ait özellik vektörünün boyutu da farklı olmaktadır. YSA giriş çıkışlarının standart olması gerektiğinden sunulan çalışmada giriş değerleri standart boyuta getirilerek işlem yapılmıştır. Çıkış sayısı ise sisteme öğretilmeye çalışılan yüz parçası sayısına doğru orantılı olarak artmakta ya da azalmaktadır. Önden çekilmiş yüz resimleri ile çalışılan bu çalışmada, kulakların net olarak şeklinin görülemiyor olması ve bayan erkek her iki cinsten insanları da barındıran veritabanında özellikle bayanlarda kaş şeklinin kişinin zevkine göre sonradan değiştirilmiş bir yapıya sahip olması nedeniyle her iki yüz parçası için de özellik noktalarının doğruluğu diğer yüz parçalarında olduğu kadar net değildir. Bu yüzden sistemin yüz parçaları bazında eğitim yapabilmemesine olanak sağlanmış, çeşitli yüz parçalarının sisteme dahil edilip edilmemesi kontrolü sistem yöneticisine bırakılmıştır.

5.4.3. Test

Eğitimde istenilen hata seviyesine erişildiğinde sistemin başarısının test edilmesi önem gerekmektedir. Eğitimde hem parmak izine ait özellik setleri hem de yüze ait özellik setleri kullanılmasına karşın testte sadece parmakizlerine ait özellik setleri kullanılmaktadır. Sistemin eğitimde görmediği bu test verisine karşı üretmiş olduğu sonuçların doğruluğu aslında direkt olarak sistemin performansını ifade etmektedir. Sunulan çalışma literatürde bir ilk çalışma olması bakımından, sistemin testi ve test sonuçlarının değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. YSA'nın tasarımı, eğitimi ve testi Matlab 7.1 ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistemin eğitim ve test işleminde 10 katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. 10 katlı çapraz doğrulama tekniği uygulanırken giriş-çıkış seti 10 eşit parçaya bölünmekte, bu 10 parçadan biri test kalan 9 parça eğitimde kullanılmaktadır. Her seferinde test olan parça değiştirilerek tüm

girişler dönüşümlü olarak test olacak şekilde eğitim-test işlemi 10 kez tekrar edilmektedir. Böylece sistem başarısı veritabanındaki tüm verilerin farklı katlarda test verisi olarak kullanılmasıyla daha net olarak ortaya konulmaktadır. Bu bize hem sistem performansının daha iyi değerlendirilmesini hem de sistemin tüm veri kümesi için nasıl bir davranış sergilediğinin görülmesi açısından büyük katkılar sağlamıştır.

5.5. Sistem Performansının Değerlendirilmesi

YSA temelli sistemin eğitiminin ardından sistemin eğitimde görmediği test verileriyle test edilmesi sonucu elde edilen YSA çıkışlarının değerlendirilmesi sunulan çalışma için kritik önem taşımaktadır. Çünkü sistem çıkışı yüze ait özellik setleridir ve sistem bu özellik setlerini ne kadar doğru bulursa performansı o kadar yüksek olacaktır. Başka bir ifadeyle bu çalışmada elde edilen sonuçlar yüzlere ait özellik setleridir ve bu sonuçların doğrulukları aslında komple sistemin doğruluğunu ifade etmektedir. Öncelikle test sonuçlarının değerlendirilmesinde literatürde biyometrik sistemlerin başarımının ölçülmesinde kullanılan FMR(t) & FNMR(t) grafiği ve ROC eğrisi gibi standart ölçütlerin kullanılması gerektiğine karar verilmiş, bu ölçütler hesaplanmış ve kullanılmıştır. Ancak sunulan sistemin klasik bir biyometrik tanıma/onaylama sistemi olmayışı, test sonuçlarının değerlendirilmesinde bu ölçütlerin tek başına yeterli olmadığı sonucunu doğurmuştur. Dolayısıyla sunulan tezde iddia edilen yaklaşımın doğruluk analizinin tam olarak yapılabilmesi, sistemin tarafsız olarak değerlendirilip gerçekte başarı başarısızlık oranının elde edilip gösterilebilmesi için sistem sonuçlarının ekstra parametrelerle değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmış ve bu konuda yapılan araştırma ve incelemeler neticesinde, sistemde değerlendirme modülü oluşturulmuştur. Bu modül içerisinde üç farklı değerlendirme platformunu barındırmaktadır. Bunlar, biyometrik sistemlerin standart değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı standart analiz platformuna araştırma uzayının daraltılma oranı parametresinin eklenmesiyle elde edilmiş, genişletilmiş standart analiz platformu, sayısal değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı sayısal analiz platformu ve görsel değerlendirmenin yapıldığı görsel analiz platformu olarak sıralanabilmektedir. Değerlendirme platformları ve metrikleri ile ilgili detaylı açıklamalar Bölüm 4'te verilmiştir. Bu nedenle bu bölümde ilgili platformlara kısaca değinilecek, görsel analiz platformu için geliştirilen yazılım detaylı olarak açıklanacaktır.

5.5.1. Standart Analiz Platformu

Uzun bir bilimsel geçmişe ve çok geniş bir literatüre sahip olan biyometrik sistemlerle ilgili sayısız teknik, algoritma, sistem ve donanım geliştirilmiştir. Zengin ürün yelpazesıyla ticaret alanında da güçlü bir şekilde boy gösteren biyometrik sistemlerin değerlendirilme şekilleri ve metrikleri de şüphesiz oluşmuştur. Konuyla ilgili literatür incelendiğinde bir çok çalışmada biyometrik sistemlerde yaygın olarak karşılaşılabilecek hataların modellenmiş olduğu ve bu hatalar ve parametreleri yardımıyla sistem doğruluğu ve güvenilirliğinin analiz edilmesine yönelik çeşitli yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir [1, 54, 428]. Bu analiz platformu ile ilgili detaylı bilgi 4. Bölümde verilmiştir.

5.5.2. Sayısal Analiz Platformu

İstatistiksel analiz ile ilgili kaynaklar incelendiğinde herhangi bir sistemden elde edilen bir tahmin değerinin gerçekte olması gereken değere olan uzaklığının sayısal olarak hesaplanmasında çeşitli metriklerin kullanıldığı görülmektedir. Bu metrikler incelendiğinde, sunulan tez çalışmasında sistemin elde ettiği değerler ile gerçekte olması gereken değerler arasındaki hatanın büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılacak metrikler MSE, SSE, APE, MAPE ve MAE olarak belirlenmiştir. Bu metriklerin detayları ve formülleri 4. Bölümde verilmiştir.

5.5.3 Görsel Analiz Platformu

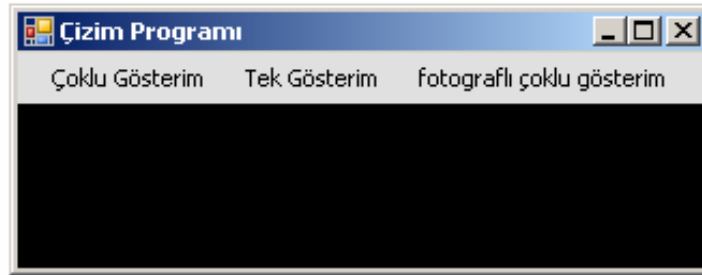
Görsel analiz platformunda olması gereken sonuçlar arasındaki fark her iki sonucun karşılaştırılarak aynı platformda çizilmesi şeklinde görsel olarak gözler önüne serilmeye çalışılmıştır. Önceki iki platformda kullanılan ve sistem başarısını grafiksel ve sayısal olarak ortaya koyan metriklerin hiçbirinin bu başarı oranını görsel olarak yansıtmadığı ve ikna edici olmadığı tarafımızdan görüldüğünden, görsel analiz platformunun sistemin değerlendirilmesi noktasındaki önemi daha iyi anlaşılacaktır. Görsel analiz platformunun gerçekleştirilmesi için tez çalışması bünyesinde bir yazılım geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Geliştirilen yazılımın işlem adımları takip eden satırlarda verilmektedir.

1. YSA sonuçları olması gereken sonuçlarla aynı platformda çizilmekte, bu sayede elde edilen sonucun gerçekte olması gereken sonuçla arasındaki hata görsel olarak verilmektedir.
2. YSA sonuçları ilgili test kişilerinin yüz resimleri üzerine çizilerek elde edilen sonucun gerçekte yüz üzerinde ne kadarlık bir hataya sahip olduğu farklı bir açıdan analiz edilebilmektedir.
3. YSA sonuçlarının tek tek ve büyük boyutlu olarak farklı sayfalarda çizilmesiyle hatalardaki detaylar veya detaylardaki hatalar hassas olarak görülebilmektedir.
4. YSA sonuçlarının hepsinin aynı sayfada ve küçük boyutlu olarak çizilmesi ile sistem performansının görsel ortamda komple olarak gözler önüne serilmesine olanak sağlanmaktadır.
5. Yüze ait parçaların herhangi biri veya tamamının çizgi kalınlığı, rengi, dosya kayıt formatı gibi bazı esnekliklerle çizilebiliyor olması sayesinde parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin yüzün hangi parçası ile daha kuvvetli olduğu, hangi parçası ile daha zayıf olduğu görülebilmektedir. Benzer şekilde hatanın yüksek çıktığı yüz parçalarında hatanın neden yüksek çıktığı ile ilgili yorumlar yapılabilmektedir. Örneğin “kulaklarla parmak izleri arasındaki ilişki gözlerle parmak izleri arasında olan ilişkiden daha mı zayıftır?” yoksa “önden alınan resimlerle çalışıldığından kulaklara ait özellik noktaları gözlerle ait özellik noktaları kadar yüksek doğruluklarla elde edilemediğinden mi sonuç bu şekilde çıkıyor?” gibi sorulara cevap bulunabilmesini sağlayabilecektir.

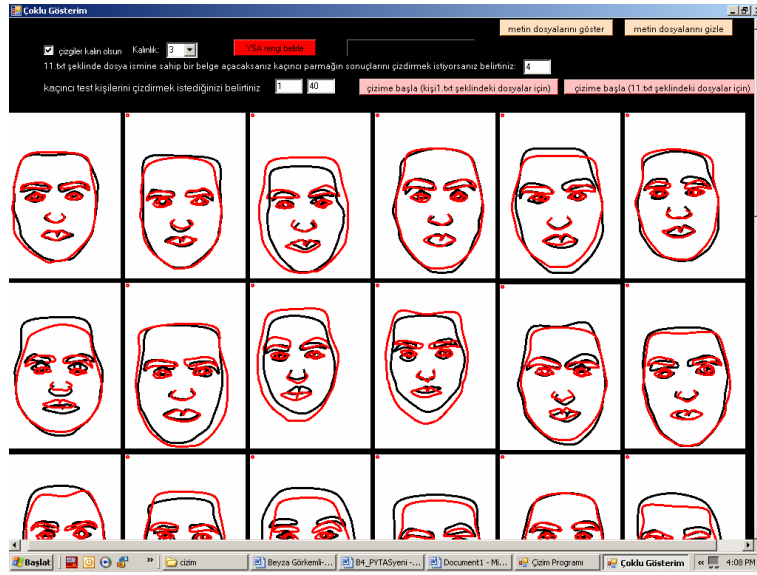
Yazılımın bu bölümü çizdirilmek istenen test sonuçlarını tek tek veya çoklu gösterim seçenekleri ile açmakta ve kullanıcıya tanınan çeşitli esneklikler dahilinde tercihler belirlendikten sonra sonuç çizimlerini yapmaktadır. Belirtilen amaca hizmet edebilecek daha önceden geliştirilmiş bir yazılım veya uygulama bulunmamaktadır. Bu yüzden benzer çalışmalarındaki benzer ihtiyaçları da karşılayabilecek kapasitede geliştirilen bu yazılım çalışmanın bundan sonraki aşamalarında da gerektiğinde geliştirilebilecek esneklikte ve yapıdadır.

Geliştirilen yazılım, çizdirilmek istenen ve içinde yüze ait özellik setlerini barındıran sistem sonuçlarının çizimini, çizilecek sonucun tek bir yüz parçasına mı yoksa tüm yüze mi ait olduğuna bakmaksızın başarıyla yapmaktadır. Yazılım YSA sonuçları ile “olması gereken sonuçlar” arasındaki farkı/benzerliği gösterebilmek için kullanıcının tercihine bağlı olarak test kişilerini tek tek ve detaylı bir kıyaslama için ayrı sayfalarda çizbildiği gibi tüm test sonuçlarını aynı sayfada çizilebilen çoklu gösterim ara yüzüne de sahiptir. Bu sayede sunulan sistemin başarısı tüm test sonuçlarının aynı sayfada görülmesiyle daha açık ve net bir şekilde değerlendirilebilecektir. Gerektiğinde de büyük boyutlu tek sayfalık çizimler sayesinde sonuçların en ince detayına kadar ulaşıp hata ayıklama noktasında çeşitli problemlere çözümler getirilebilecektir.

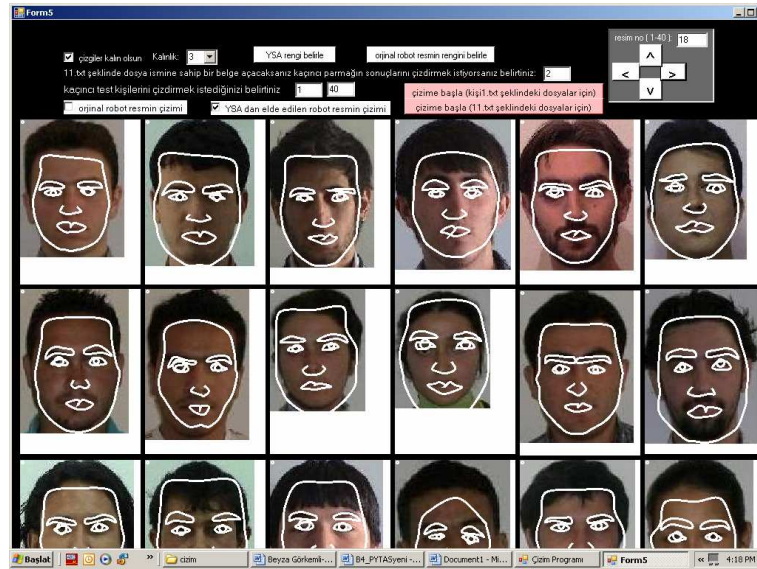
Çizim için kullanılan çizgi kalınlığının ve renginin kullanıcı tarafından ayarlanabilir olması kıyaslama işlemini kolaylaştıracak, detayların gözden kaçmasına engel olacak dolayısıyla değerlendirmenin daha doğru yapılmasına olanak sağlayacaktır. Çizim yazılımı ilk çalıştırıldığında Şekil 5.23’de verilen ara yüz ekrana gelmektedir. Burada kullanıcı menüden çoklu gösterim, tek gösterim veya fotoğraflı çoklu gösterim seçeneklerinden birini seçerek çizimin formatını belirleyebilmektedir. Kullanıcının seçtiği formata göre çizim işlemi gerçekleştirilmektedir. Çizim işlemi, sistem sonucu ve olması gereken sonucun kişiler için ayrı ayrı sayfalarda tek kişilik veya tek sayfada toplu olarak, tüm yüz veya yüz parçalarının çeşitli kombinasyonları için, kişilerin yüz resmi üzerine veya başka bir sayfaya olmak üzere çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Geliştirilen çizim yazılımının daha iyi anlaşılabilmesi ve belirtilen kombinasyonlar hakkında daha iyi fikir vermesi amacıyla Şekil 5.24’den Şekil 5.28’e kadar yazılımdan elde edilen bazı çizim örnekleri sunulmaktadır.



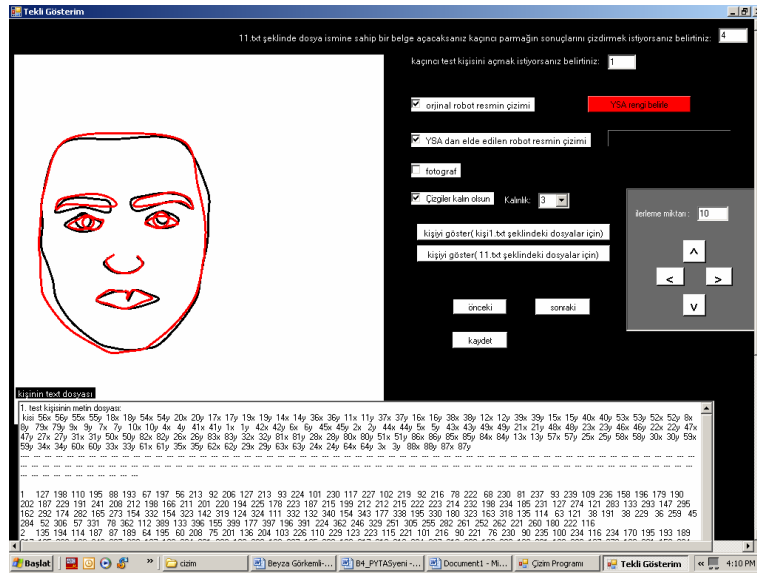
Şekil 5.23. Çizim yazılımı giriş ekranı.



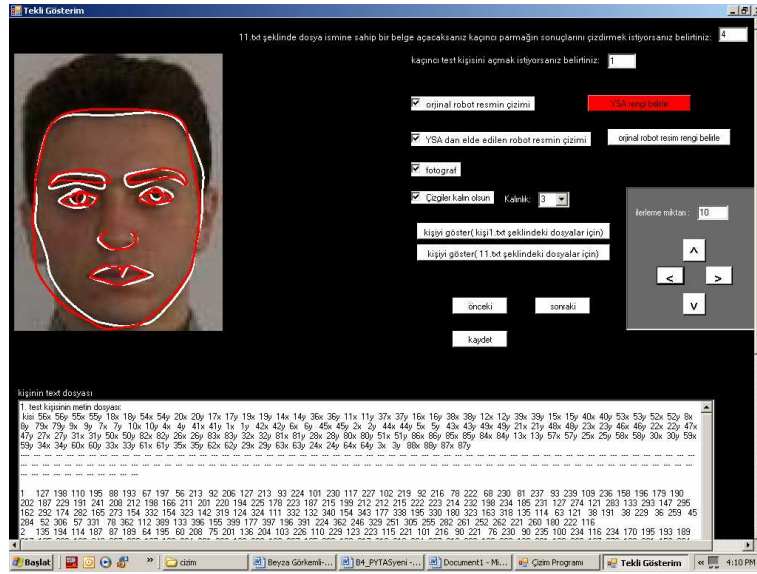
Şekil 5.24. Tüm test kişileri için YSA sonuçları ve olması gereken çıkışların boş sayfada sunumu.



Şekil 5.25. Tüm test kişileri için YSA sonuçlarının kişilerin kendi resimleri üzerinde sunumu.



Şekil 5.26. Sadece bir test kişisi için YSA çıkışı ve olması gereken çıkışın boş sayfada büyük boyutta sunumu.



Şekil 5.27. Sadece bir test kişisi için YSA çıkışı ve olması gereken çıkışın ilgili kişinin resmi üzerinde büyük boyutta sunumu.

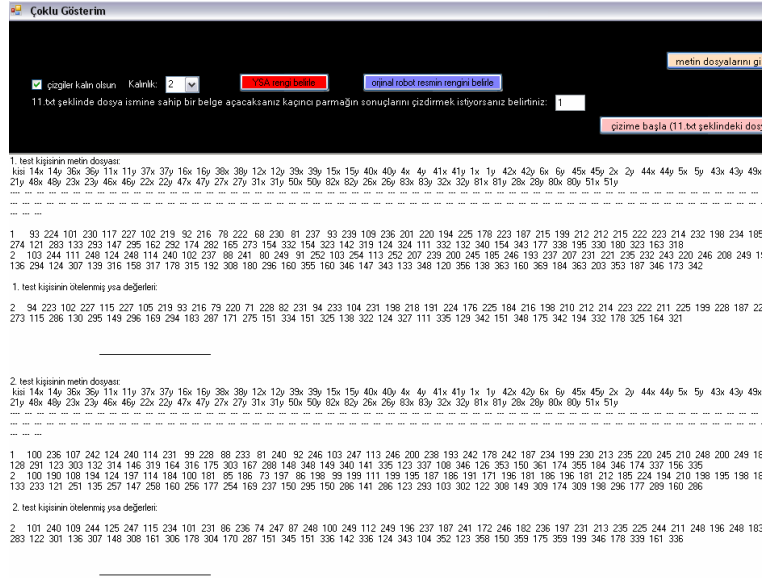


Şekil 5.28. Sadece bir test kişisi için YSA çıkışının ilgili kişinin kendi resmi üzerinde ve büyük boyutta sunumu.

Tekli gösterim, çoklu gösterim, YSA çıkışı, olması gereken çıkış, tüm yüz, tek bir yüz parçası, yüz parçalarının çeşitli kombinasyonlarının aynı sayfada, ayrı sayfalarda, kişilerin yüz resimleri üzerinde çizilmesi ve tüm bunların gerektiğinde sayısal değerlerinin alınması işlemlerini başarıyla kullanıcının isteğine göre gerçekleştiren çizim bölümü, çizgi kalınlığı, renk düzeni gibi ayrıntılarıyla da esnek ve amaca uygun bir yazılım olarak bu tez çalışmasının önemli bir kısmını oluşturduğu ve sonuçların daha ikna edici olarak gösterilmesinde işlevini başarıyla yerine getirdiği değerlendirilmektedir. İşlevini başarıyla yerine getirmiştir. Geliştirilen çizim yazılımı, verilen yüze ait sonuçların çizilmesinin yanı sıra Şekil 5.29’da verildiği gibi bu değerleri görmeye, kopyalamaya veya dışarı aktarmaya da olanak sağlayacak şekilde geliştirilmiştir.

Test sonuçlarının tek ve ayrıntılı olarak açılmasında sonuçlar arasında kullanıcının kolayca gezinebilmesi için “önceki” ve “sonraki” gibi kontrol butonları bulunmaktadır. Ayrıca elde edilen çizimlerin gerek resim olarak gerekse metin olarak dış ortama aktarılması ve kaydedilmesi de yazılım sayesinde mümkündür.

Burada şunu da belirtmekte fayda vardır. Bu çizim yazılımının geliştirilmesinden sonra bu çalışmanın uluslar arası literatürde kabulü daha da artmıştır. Uluslararası kongrelerde sunulan bildirilerde, görsel sonuçlar çalışmaya olan ilgiyi arttırmıştır.



Şekil 5.29. Yüzlere ait sayısal sonuçların her türlü kontrollerini gerçekleştiren esnek tasarımdan bir ekran görüntüsü.

Geliştirilen yazılım sunulan tez çalışmasında gerçekleştirilen işlemlerin tüm ihtiyaçlarını başarılı bir şekilde karşılamaktadır. Yüz işleme yazılımı, yüz parçası çiziminin dışında farklı alanlarda da hizmet edebilecek şekilde esnek olarak gerçekleştirilmiştir. Özellik noktalarının çiziminin gerektiği her türlü problemde çeşitli formatlarda çizim yapabilecek şekilde kolaylıkla getirilebilecek esneklikte tasarlanan program böylece başka problemlere kolayca adapte edilebilecektir.

5.6. Sonuç

Bu bölümde parmak izi ile yüz arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin analizinde kullanılmak üzere tasarlanan sistem ayrıntılı olarak anlatılmıştır. İşlemlerin adım adım gerçekleştirildiği ve her adımın sistem başarısına doğrudan etki edeceğinin bilindiği bu şekilde karmaşık bir sistemin gerçekleştirilmesinde hiçbir ayrıntının gözden kaçmaması, her türlü detayın titizlikle ele alınması gerektiği aşikârdır. Sunulan tez çalışmasında gerçekleştirilen bu sistemin gerek bir bütün olarak amacına hizmet etmesi gerekse her işlem adımının üzerine düşen görevi başarıyla tamamlayabilmesi için büyük gayret ve zaman harcanmıştır. Sonuçta yüze ait hiçbir bilgiye sahip olmaksızın parmak izinden yüz robot resmini çizebilen bir sistem elde edilmiş ve sunulmuştur.

6. BÖLÜM

PARMAK İZİ İLE YÜZ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ

Parmak izleri ile yüzlere ait konuyla ilgili bilgiler araştırılıp incelendiğinde bu iki biyometrik özelliğe ait literatür bu iki özellik arasında bir ilişkinin varlığını işaret etmektedir. Bu bilgiler 4. Bölümde “motivasyonlarımız” kısmında verilmiştir. Parmak izi ile yüz arasında varlığı düşünülen bu ilişkinin analizi için başka bir deyişle bu bilgiler ışığında oluşturulan hipotezlerin kanıtlanması için bu ilişkinin deneysel veya matematiksel olarak ortaya konulması, gereklidir. Bu bölümde “Arada ilişki var mı?” sorusuna net bir cevap aranmıştır. Bunun için önceki iki bölümde verilen bilgiler ve elde edilen sonuçlar ışığında parmak izi bilgisinden yüze ulaşılmasında ilk adım olan parmak izinden yüz parçalarına ulaşmaya çalışılmıştır. Yüzler parçalara bölünerek işlemler yapılmış ve arada olduğu düşünülen bu ilişkinin varlığı sorgulanmış, boyutu ve yönü konusunda incelemelerde bulunulmuştur. Her yüz parçası için elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak verilmiştir. Parmak izi ile tek tek yüz parçaları arasındaki ilişkinin/ilişkilerin analizi neticesinde elde edilen sonuçlar parmak izi ile tüm yüz arasında ilişki olup olmadığı konusuna ışık tutacaktır.

6.1. Parmak izi ile Yüz Parçaları Arasındaki İlişkinin Analizi

Tez çalışmasının bu bölümünde yüzler gözler, burun, ağız, yüz çevresi, kaşlar ve kulaklar olmak üzere 6’ya bölünmüş ve sadece parmak izi bilgisi kullanılarak yüz

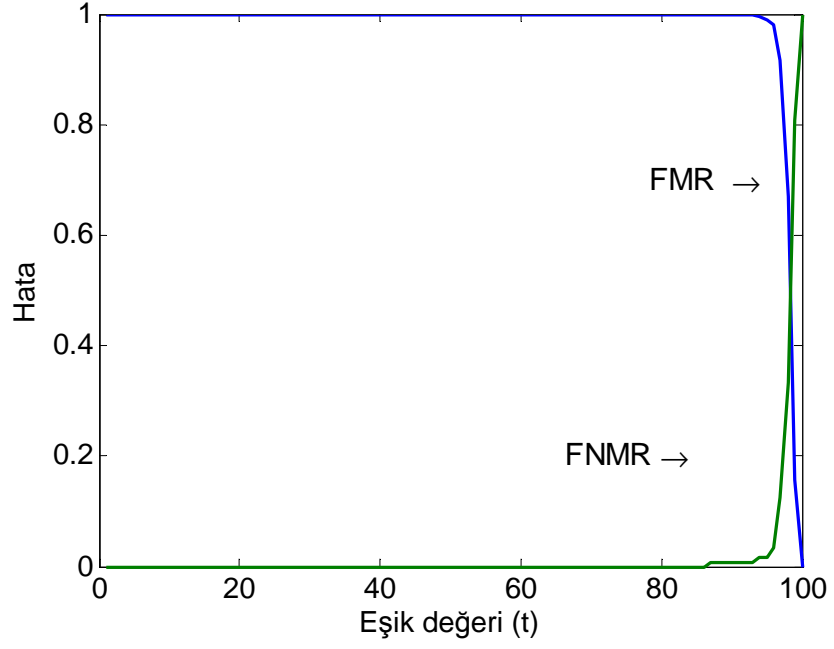
parçalarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Sistemde aradaki ilişkinin analizinde kullanılan YSA yapısı Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak bulunan en iyi parametrelerle donatılmış olan FF YSA yapısıdır. Sistemin eğitimi ve testinde 10 katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Parmak iziyle yüz parçaları arasındaki ilişkinin analiz edildiği yapılar ve sonuçları aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

6.1.1. Parmak izi ile Gözler Arasındaki İlişki Modeli

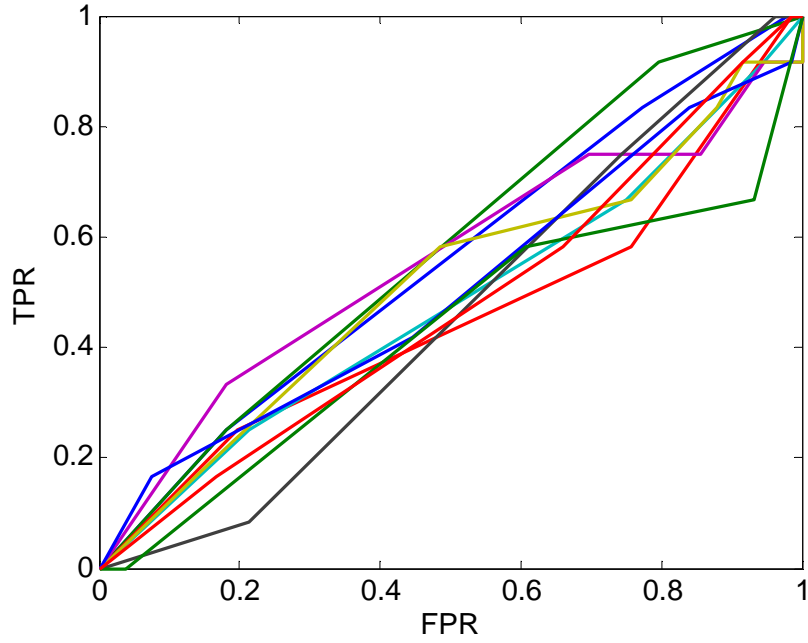
Parmak izi ile gözler arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, gözlere ait özellik setleri de sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile gözler arasındaki ilişkinin modellenmesinde 4. Bölümde Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile elde edilen parametrelerle donatılmış FF YSA yapısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 4'deki yaklaşımla benzer şekilde sistemin araştırma uzayını daraltma oranının eklenmesiyle genişletilmiş standart analiz platformu, sayısal analiz platformu ve görsel analiz platformu olmak üzere 3 farklı platformda değerlendirilmiştir. "Sunulan sistem bir biyometrik tanıma sistemi olsaydı başarısı ne olurdu?" sorusuna cevap veren standart analiz platformunda sisteme ait FMR(t) & FNMR(t) grafiği, ROC eğrisi ve sistemin araştırma uzayını daraltma oranı verilmekte, sistem başarısının sayısal metriklerle ortaya konulduğu sayısal analiz platformunda sistemin testinde kullanılan 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait sayısal sonuçlar değerlendirilmekte ve parmak izinden yüz parçalarının elde edilmeye çalışıldığı bu adım için 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait her katta elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların olması gereken değerleriyle karşılaştırılarak çizildiği çizimlerin verildiği görsel analiz platformunda ise sistem başarısı görsel olarak ifade edilmektedir. Görsel analiz platformunda kullanılan bu şekillerde açık renkli çizimler YSA çıkışlarını koyu renkli çizimler ise ilgili yüz parçalarına ait arzu edilen sonuçları ifade etmektedir.

6.1.1.1. Standart Analiz Platformu

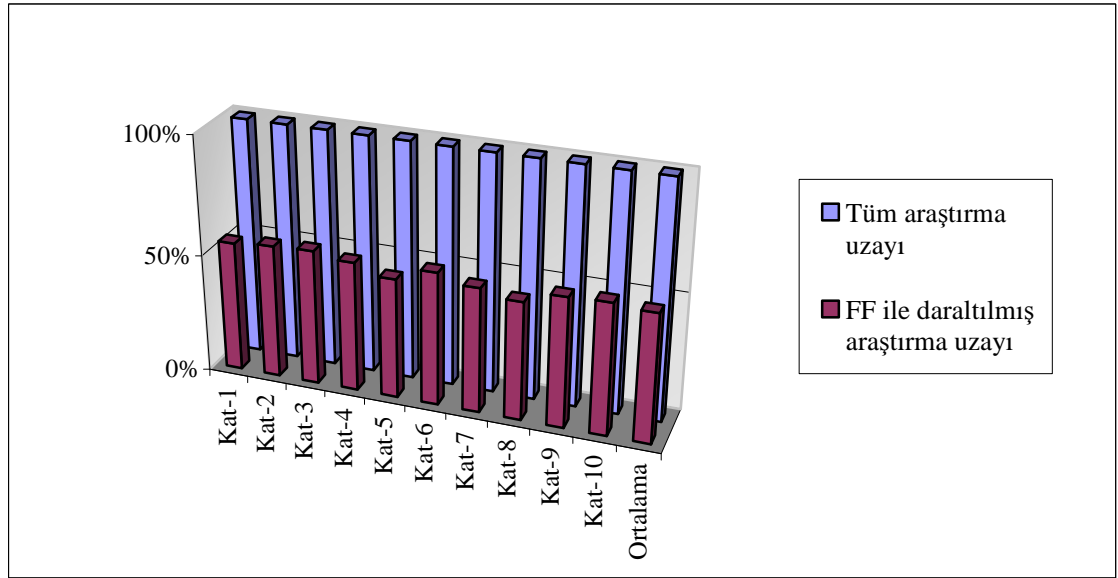
Parmak izinde gözlerin elde edilmeye çalışıldığı yapıda 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her bir katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 6.1'de ve her kata ait ROC eğrilerinin aynı grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 6.2'de verilmektedir. Şekil 6.3 ise FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayını göstermektedir.



Şekil 6.1. Gözlere ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 6.2. Gözlere ait sonuçların ROC grafiği.



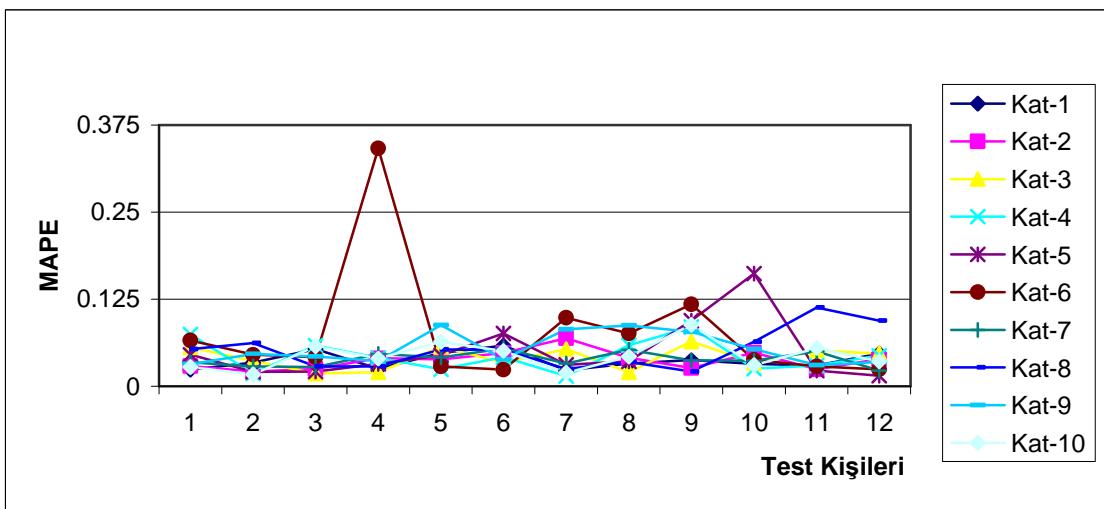
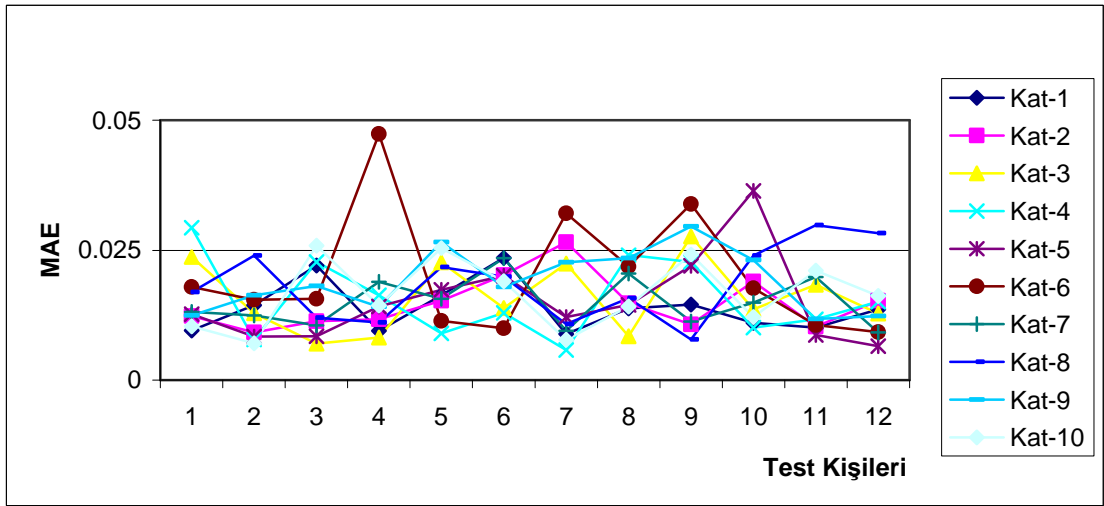
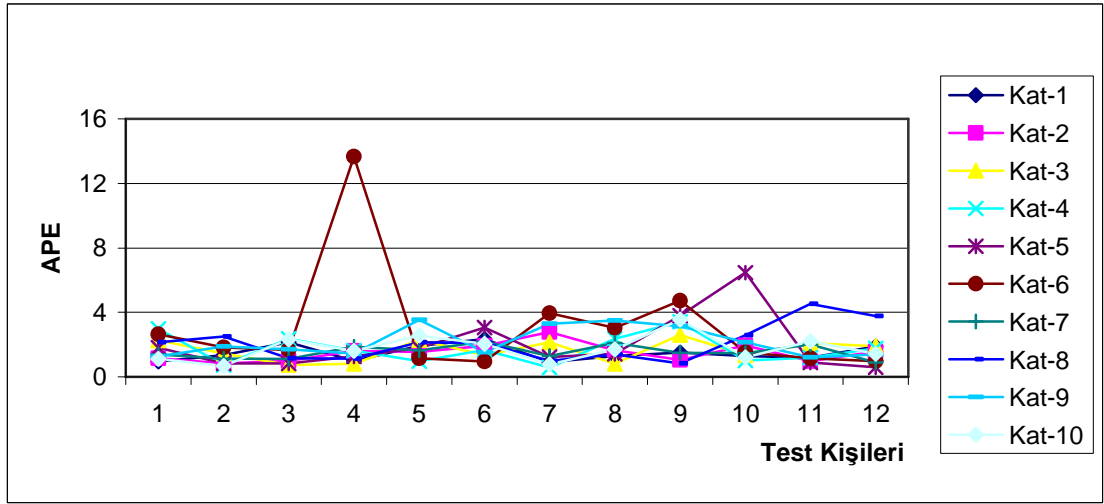
Şekil 6.3. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.

6.1.1.2. Sayısal Analiz Platformu

























Parmak izinden gözlerin elde edilmesine yönelik olarak yapılan çalışmada FF YSA yapısının elde etmiş olduğu sayısal analiz sonuçları Tablo 6.1'de; 10 katlı çapraz doğrulama sonuçlarının her katına ait APE, MAE ve MAPE değerleri ayrı ayrı Şekil 6.4'te ve MAPE ve MAE değerlerinin her kat için ortalamaları Şekil 6.5'te verilmektedir.

















































Tablo 6.1. Parmak izinden gözleri elde etmeye çalışan sistemin sayısal analiz platformunda değerlendirilmesi.













	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	3.10286	1.90321	1.48452
MSE	0.00067	0.00030	0.00043
SSE	0.32160	0.14270	0.20751
MAE	0.02024	0.01644	0.01393
MAPE	0.07757	0.04758	0.03711



Şekil 6.4. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.

2. Kat Sonuçları:	3. Kat Sonuçları:	4. Kat Sonuçları:	5. Kat Sonuçları:
			
			
			
			
			
			

6. Kat Sonuçları:	7. Kat Sonuçları:	8. Kat Sonuçları:	9. Kat Sonuçları:
 	 	 	 
 	 	 	 
 	 	 	 
 	 	 	 
 	 	 	 
 	 	 	 

10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 6.6. Gözler için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

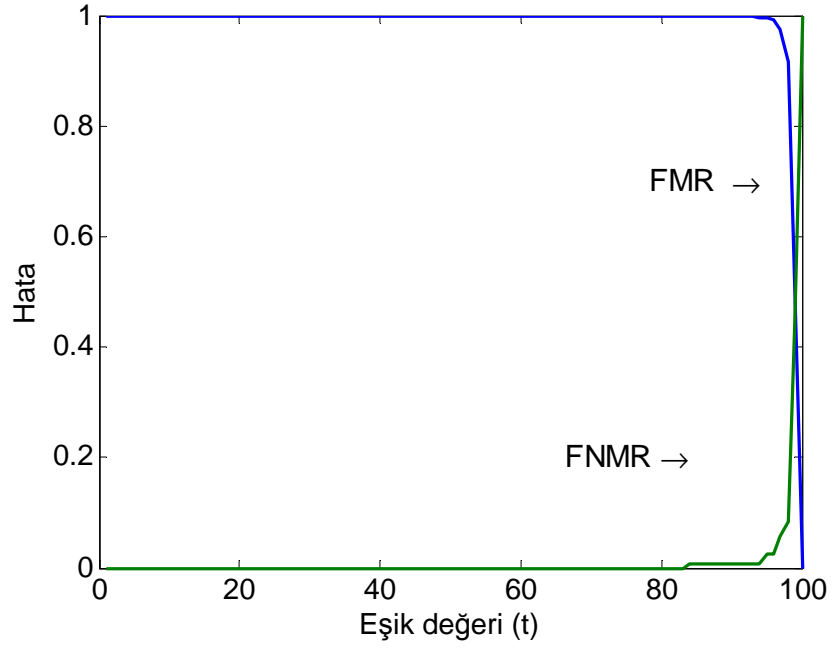
Yalnızca parmak izleri kullanılarak gözlerin elde edilmeye çalışıldığı yapının sonuçları incelendiğinde, sistemin araştırma uzayını 0.54310'una düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 75 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

6.1.2. Parmak izi ile Burun Arasındaki İlişki Modeli

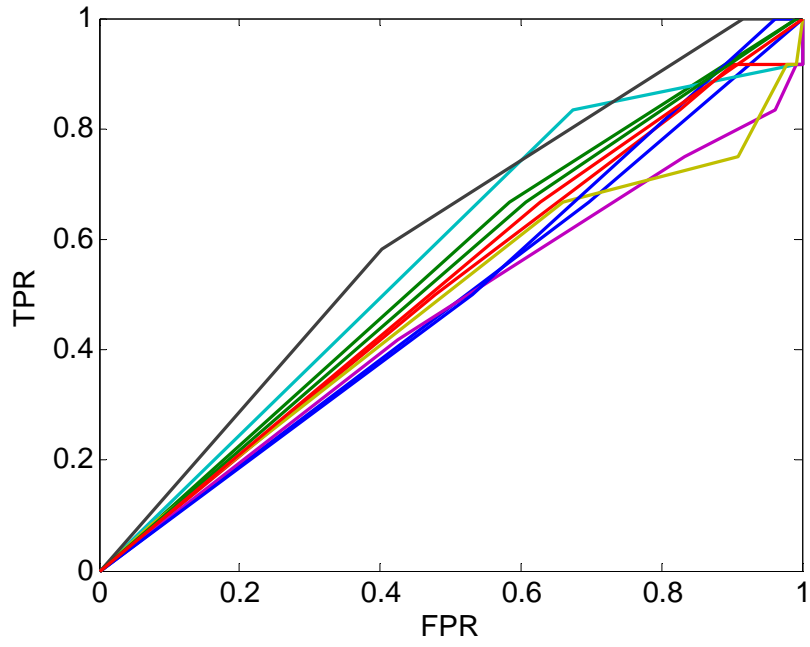
Parmak izi ile burun arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, burunlara ait özellik setleri de sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile burun arasındaki ilişkinin modellenmesinde de gözlerin modellenmesi için kullanılan yapıyla özdeş olan bir FF YSA yapısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda farklı alt başlıklar altında değerlendirilmektedir.

6.1.2.1. Standart Analiz Platformu

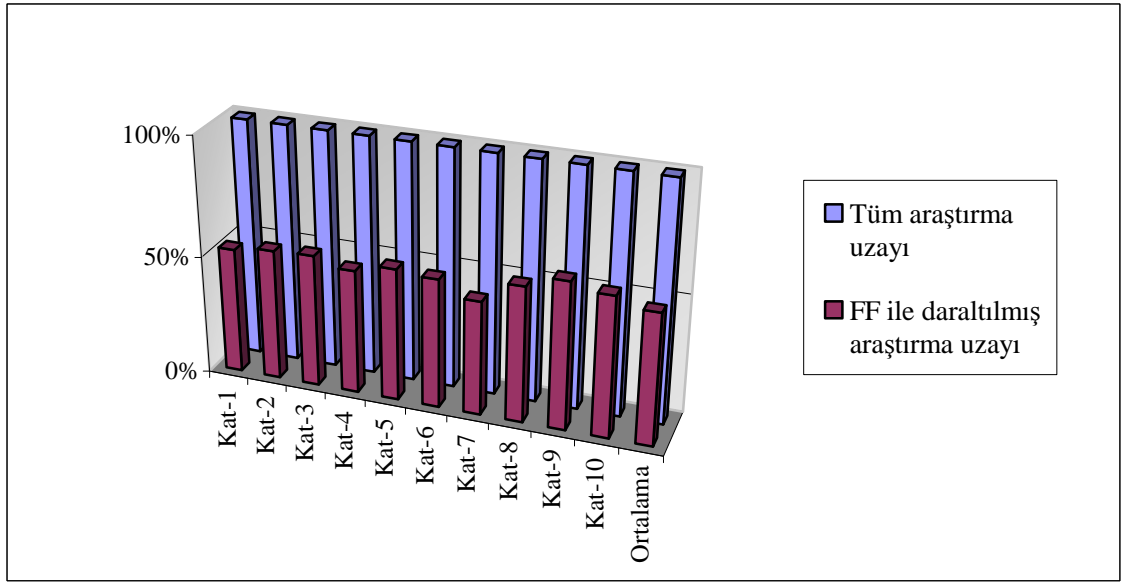
Parmak izinden burun yapısının elde edilmesinde kullanılan YSA yapısında 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin tüm katlarından elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 6.7'de, her kata ait ROC eğrisinin aynı grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 6.8'de ve FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı Şekil 6.9'da verilmektedir.



Şekil 6.7. Burunlara ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 6.8. Burunlara ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



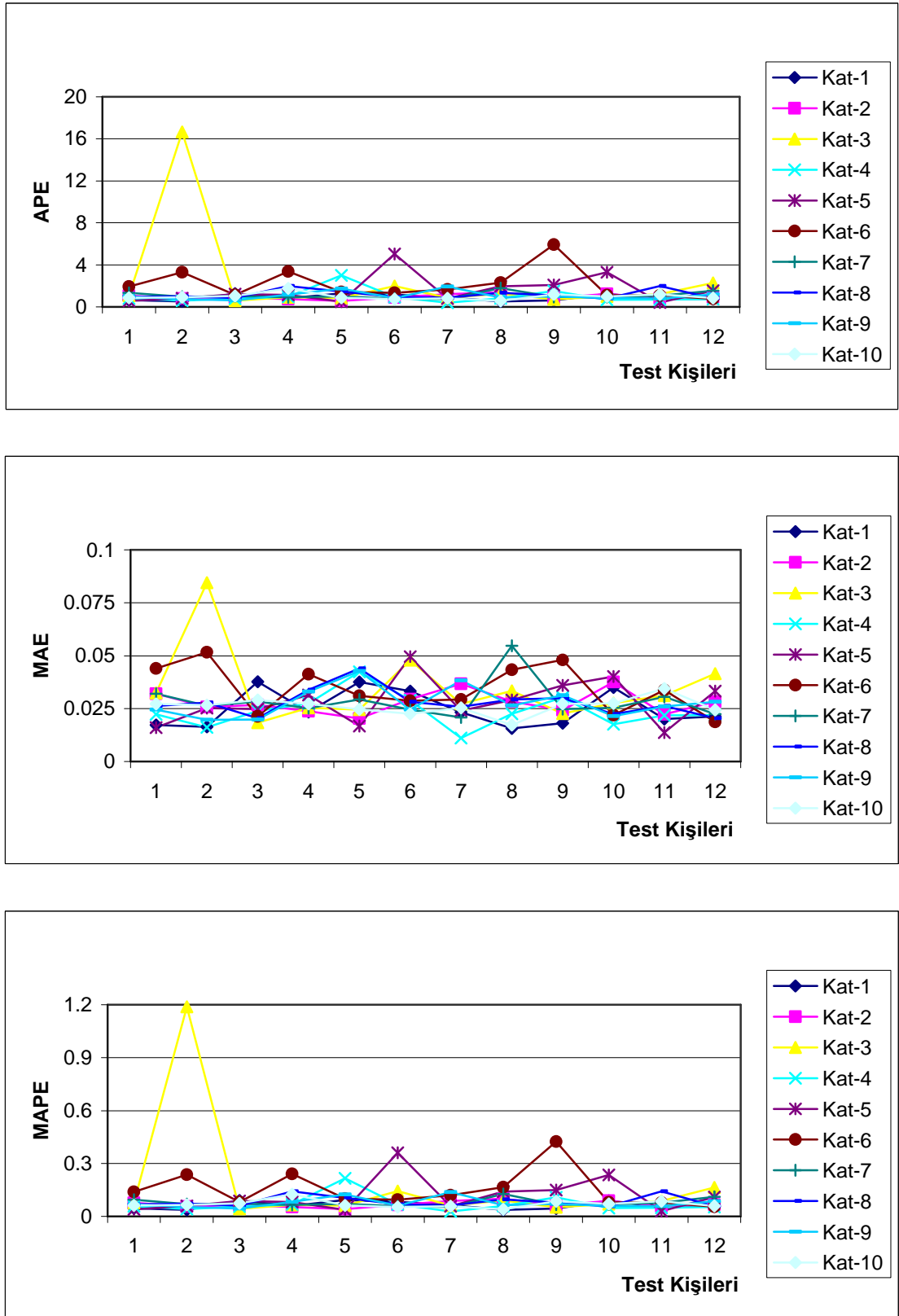
Şekil 6.9. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.

6.1.2.2. Sayısal Analiz Platformu

Yalnızca parmak izlerini kullanılarak burun yapılarına ulaşılmaya çalışılan sistemin sayısal analiz sonuçları Tablo 6.2’de, 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 6.10’da ve MAPE ve MAE değerlerinin her kat için ortalamaları ise Şekil 6.11’de verilmektedir.

Tablo 6.2. Parmak izlerini kullanarak burun yapılarına ulaşmaya çalışan sistemin sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	2.44954	1.32935	0.87261
MSE	0.00240	0.00100	0.00141
SSE	0.39520	0.17120	0.23612
MAE	0.03469	0.02846	0.02383
MAPE	0.17496	0.09495	0.06233



Şekil 6.10. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.

5. Kat Sonuçları:	4. Kat Sonuçları:		3. Kat Sonuçları:		2. Kat Sonuçları:	
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C

9. Kat Sonuçları:	8. Kat Sonuçları:		7. Kat Sonuçları:		6. Kat Sonuçları:	
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	E	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C

10. Kat Sonuçları:	C	C	C	C	C	C
	C	C	C	C	C	C

Şekil 6.12. Burun yapıları için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

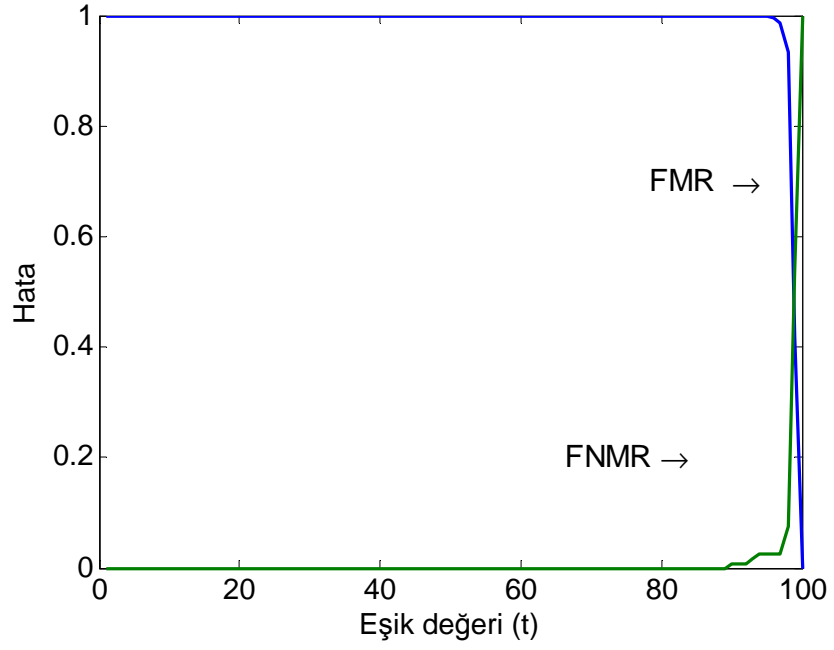
Parmak izlerinden burun yapılarına ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını 0.55070'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 106 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

6.1.3. Parmak izi ile Ağız Arasındaki İlişki Modeli

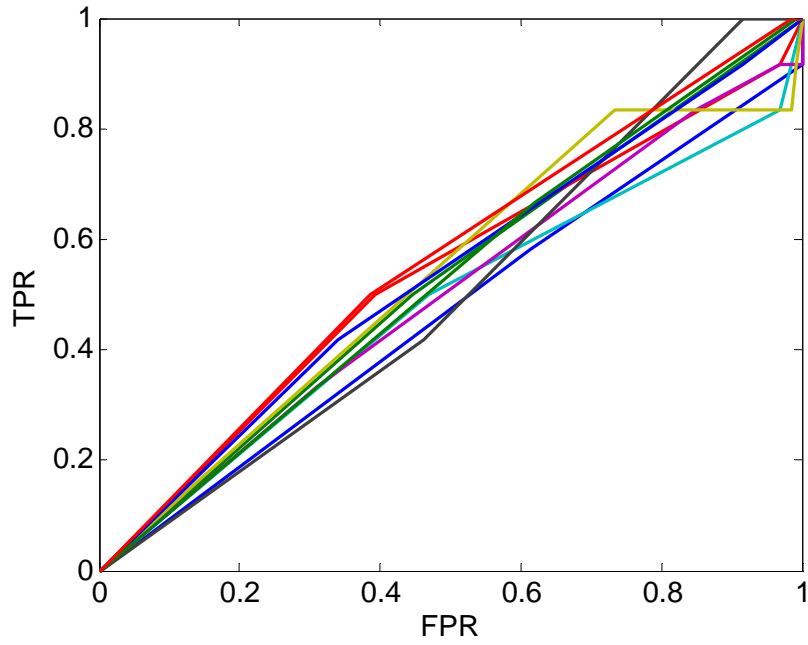
Parmak izi ile ağız arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, ağızlara ait özellik setleri de sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile ağız arasındaki ilişkinin modellenmesinde önceki yapılarla özdeş olan bir FF YSA yapısı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilen alt başlıklarda değerlendirilmiştir.

6.1.3.1. Standart Analiz Platformu

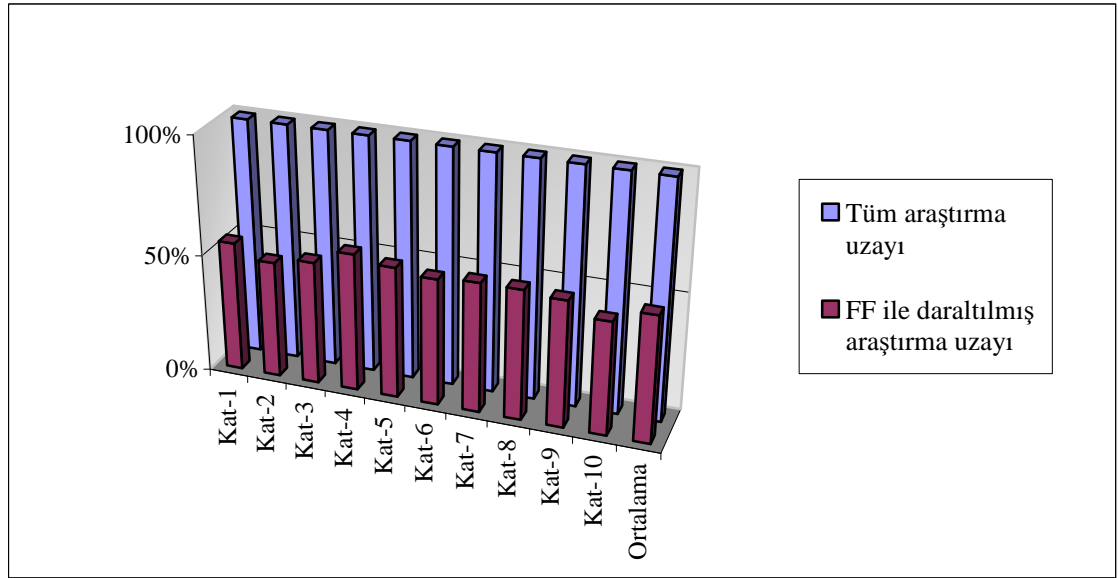
Parmak izinden ağız yapısının elde edilmesinde kullanılan FF YSA yapısında, 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 6.13'te ve her kata ait ROC eğrilerinin aynı grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 6.14'te verilmektedir. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı ise Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.13. Ağızlara ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 6.14. Ağızlara ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



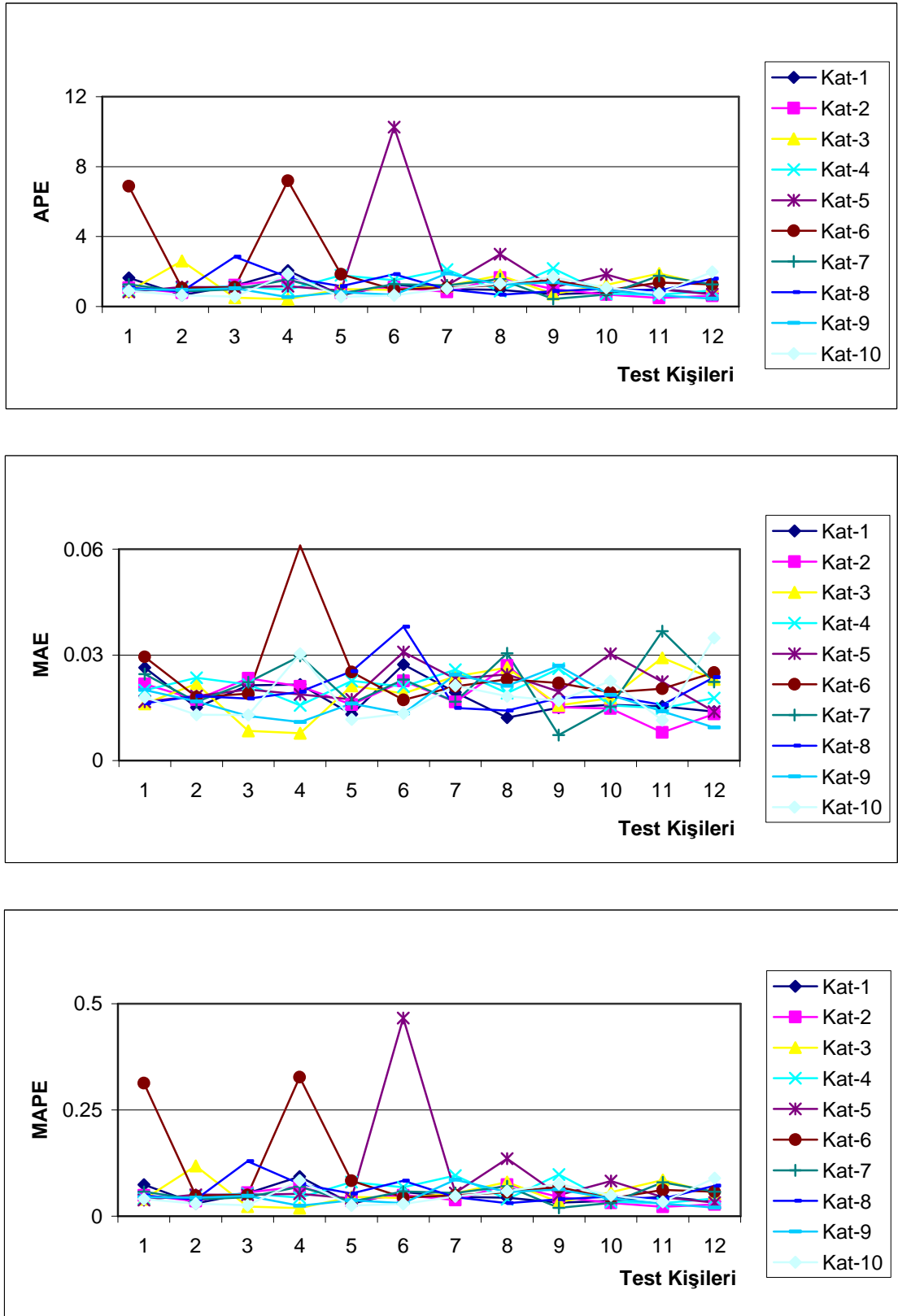
Şekil 6.15. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.

6.1.3.2. Sayısal Analiz Platformu

















































Parmak izlerini kullanarak ağız yapılarına ulaşmaya çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 6.3'te, 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 6.16'da ve MAPE ve MAE değerlerinin katlar bazında ortalamaları Şekil 6.17'de verilmektedir.

















































Tablo 6.3. Parmak izlerini kullanarak ağız yapılarına ulaşmaya çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.













	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	2.20136	1.31367	0.96138
MSE	0.00110	0.00050	0.00072
SSE	0.29970	0.13950	0.18933
MAE	0.02502	0.01992	0.01702
MAPE	0.10006	0.05971	0.04370



Şekil 6.16. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.

5. Kat Sonuçları:						
						
4. Kat Sonuçları:						
						
3. Kat Sonuçları:						
						
2. Kat Sonuçları:						
						

6. Kat Sonuçları:						
						
7. Kat Sonuçları:						
						
8. Kat Sonuçları:						
						
9. Kat Sonuçları:						
						

10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 6.18. Ağız yapıları için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

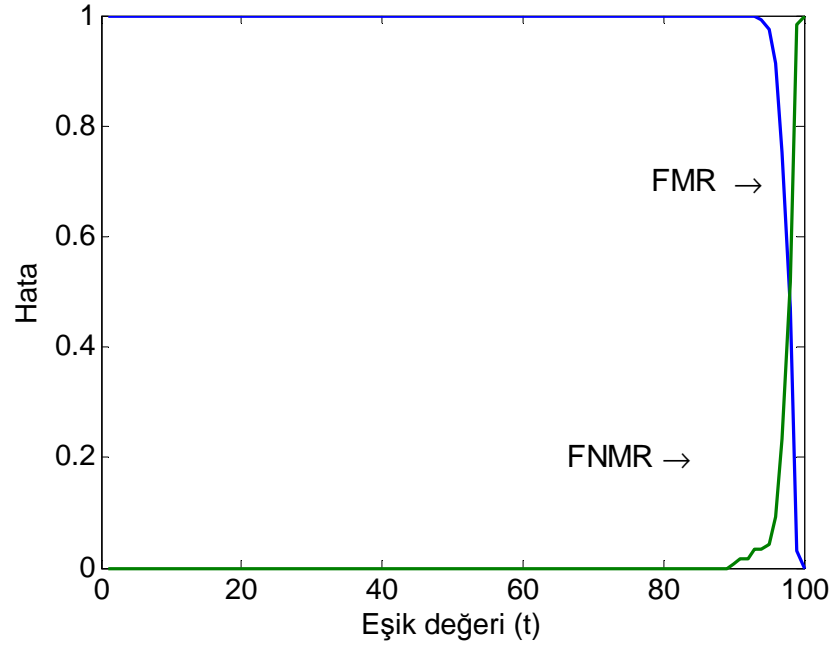
Parmak izlerini kullanılarak ağız yapılarına ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını 0.53470'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 110 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

6.1.4. Parmak izi ile Yüz Çevresi Arasındaki İlişki Modeli

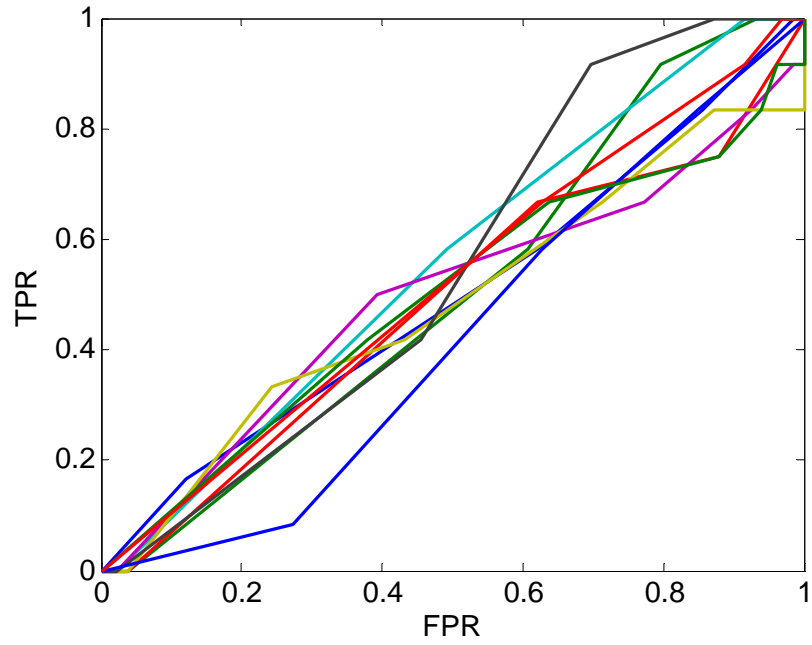
Parmak izi ile yüz çevresi arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, yüz çevrelerine ait özellik setleri de sistem çıkışı ifade etmektedir. Bu sistem için de öncekilerle özdeş FF YSA yapısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilen alt başlıklarda değerlendirilmektedir.

6.1.4.1. Standart Analiz Platformu

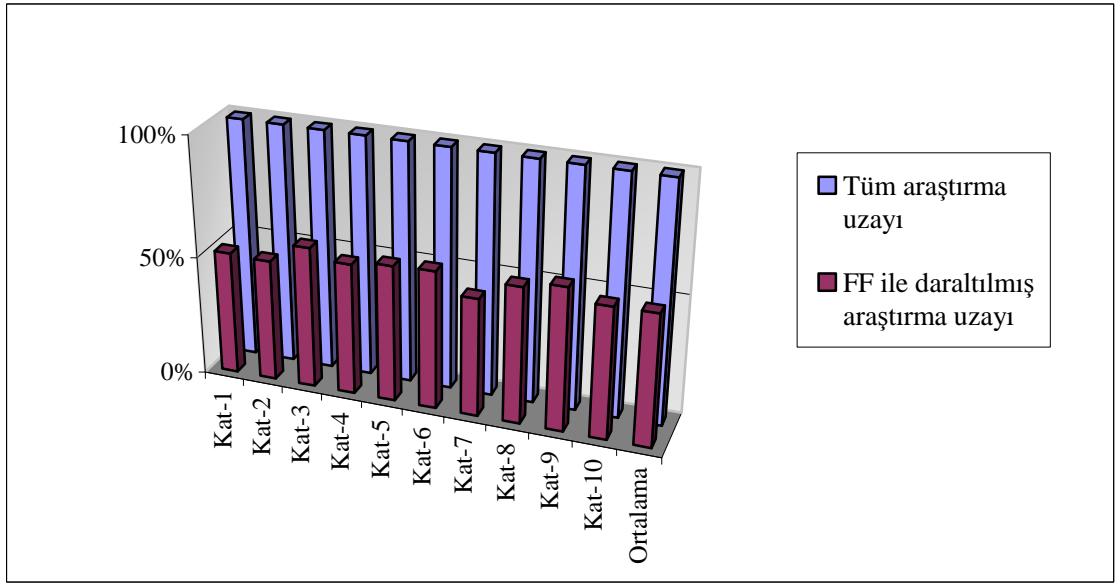
Parmak izinden yüz çevresinin elde edilmeye çalışıldığı FF YSA yapısında 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 6.19'da ve her kata ait ROC eğrilerinin aynı grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 6.20'de verilmektedir. Şekil 6.21 ise FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayını göstermektedir.



Şekil 6.19. Yüz çevresine ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 6.20. Yüz çevresine ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



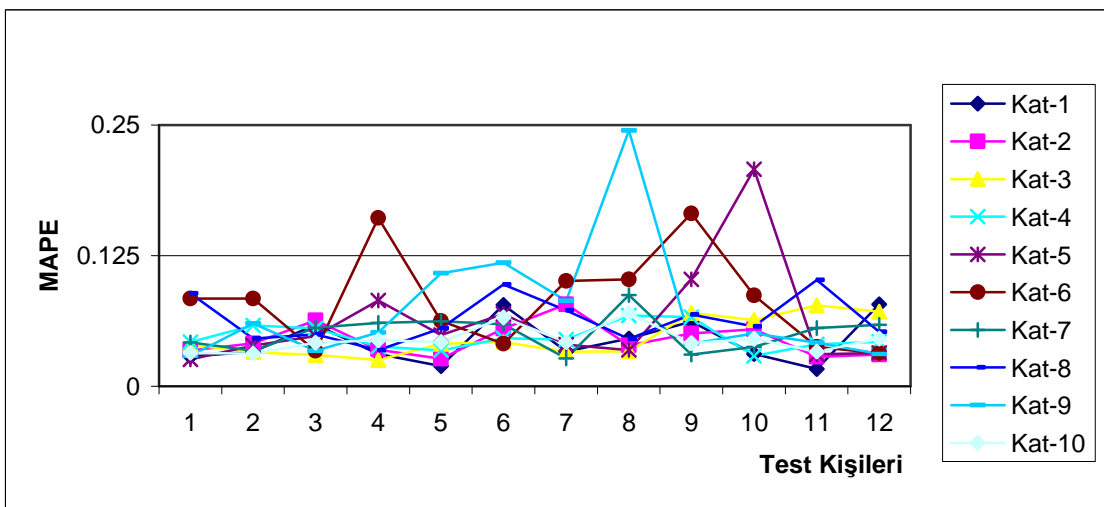
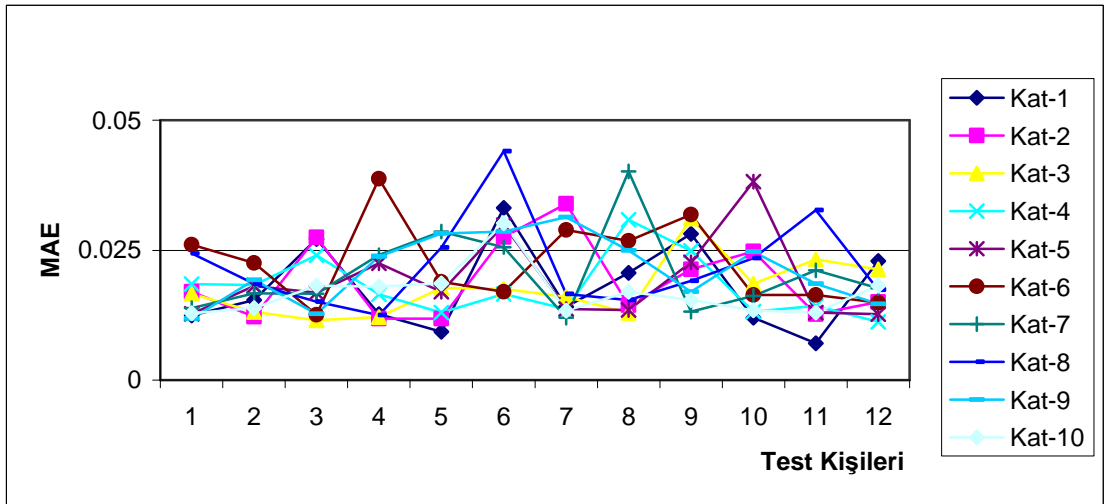
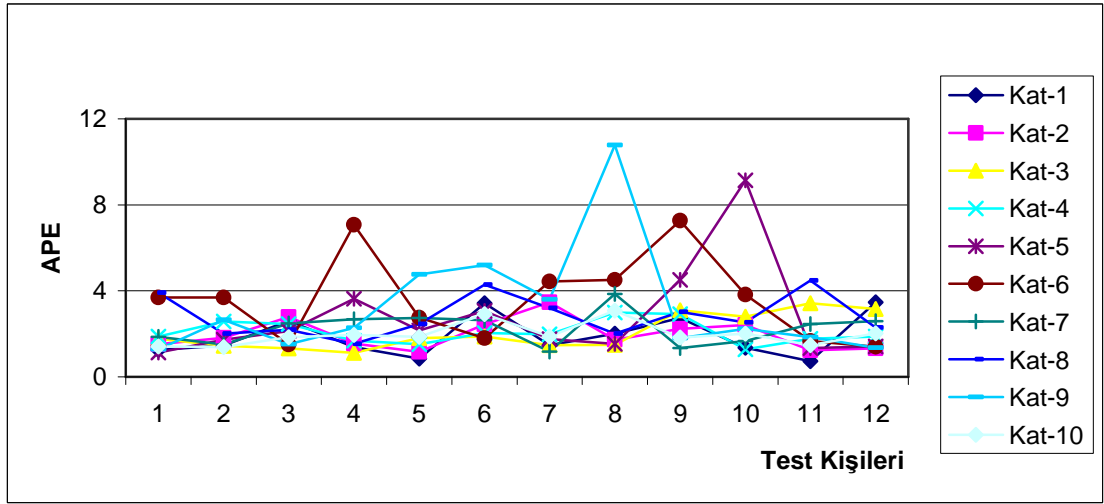
Şekil 6.21. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.

6.1.4.2. Sayısal Analiz Platformu

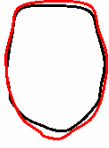
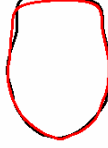




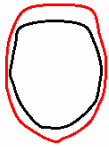




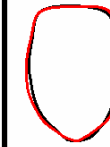
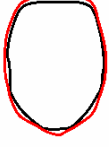




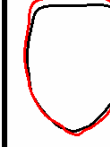
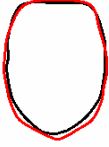




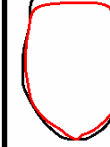
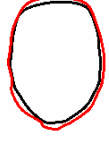




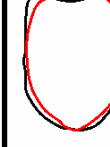
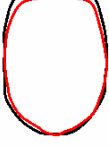
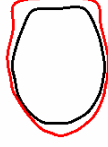




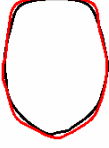
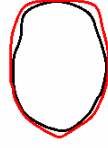




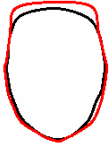





Parmak izlerini kullanarak yüz çevresine ulaşmaya çalışan FF YSA yapısının sayısal analiz platformunda değerlendirilmesi neticesinde elde edilen sayısal analiz sonuçları Tablo 6.4'te, 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 6.22'de ve MAPE ve MAE değerlerinin katlar bazında ortalamaları ise Şekil 6.23'te verilmektedir.

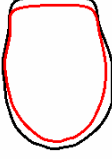

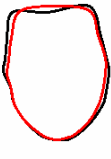
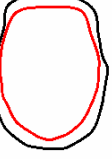


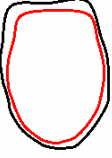

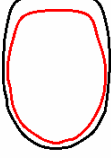





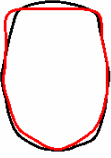



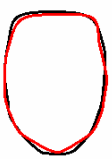
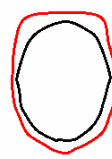
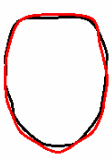
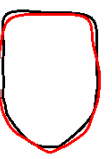


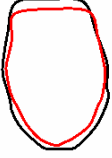

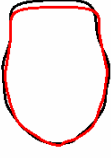



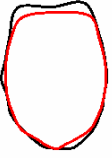

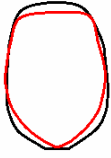
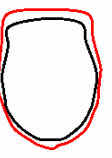


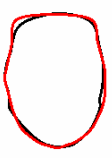

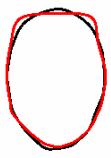



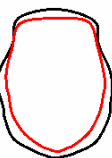

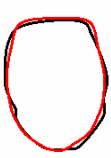



Tablo 6.4. Parmak izlerini kullanarak yüz çevresine ulaşmaya çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuç tablosu.

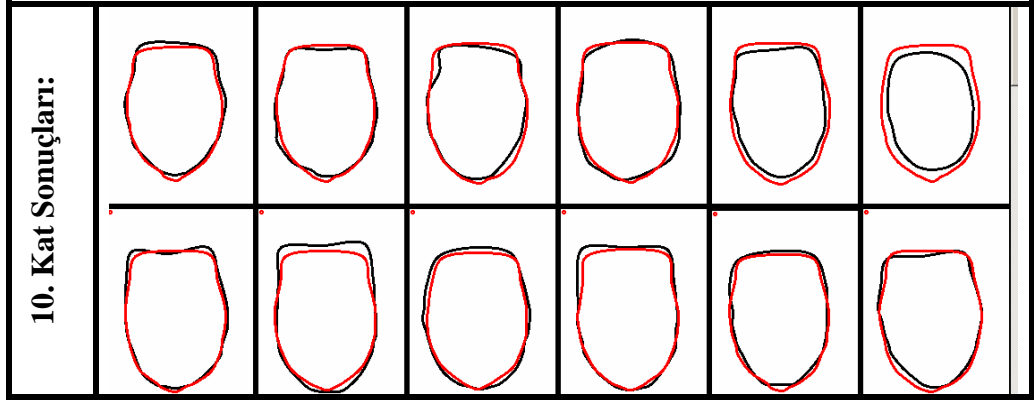
	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	3.63661	2.47424	1.89312
MSE	0.00084	0.00046	0.00064
SSE	0.44230	0.24410	0.33853
MAE	0.02258	0.01950	0.01682
MAPE	0.08265	0.05623	0.04303



Şekil 6.22. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.

2. Kat Sonuçları:						
						
3. Kat Sonuçları:						
						
4. Kat Sonuçları:						
						
5. Kat Sonuçları:						
						

6. Kat Sonuçları:						
						
7. Kat Sonuçları:						
						
8. Kat Sonuçları:						
						
9. Kat Sonuçları:						
						



Şekil 6.24. Yüz çevresi için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

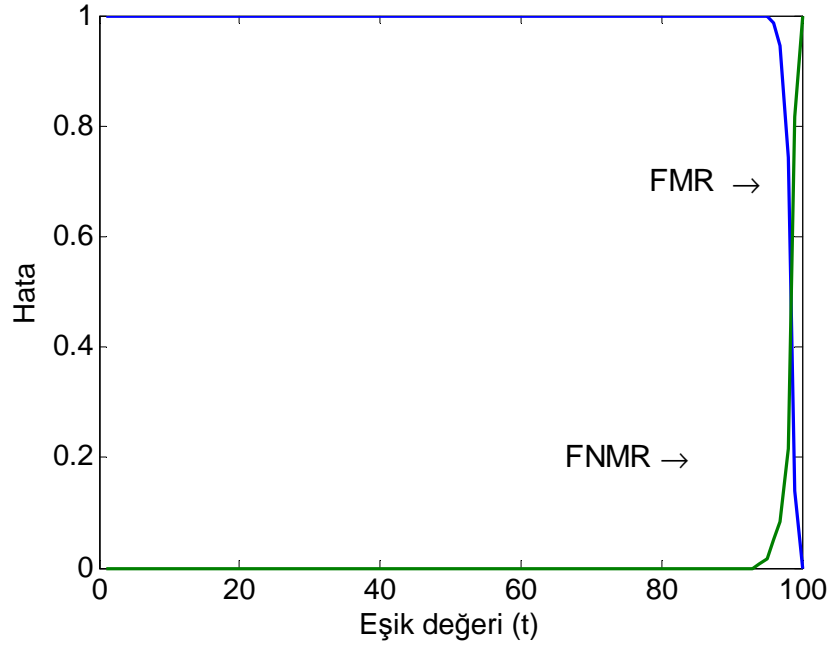
Parmak izlerinden yüz çevrelerine ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını 0.55140'ına düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 72 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

6.1.5. Parmak izi ile Kaşlar Arasındaki İlişki Modeli

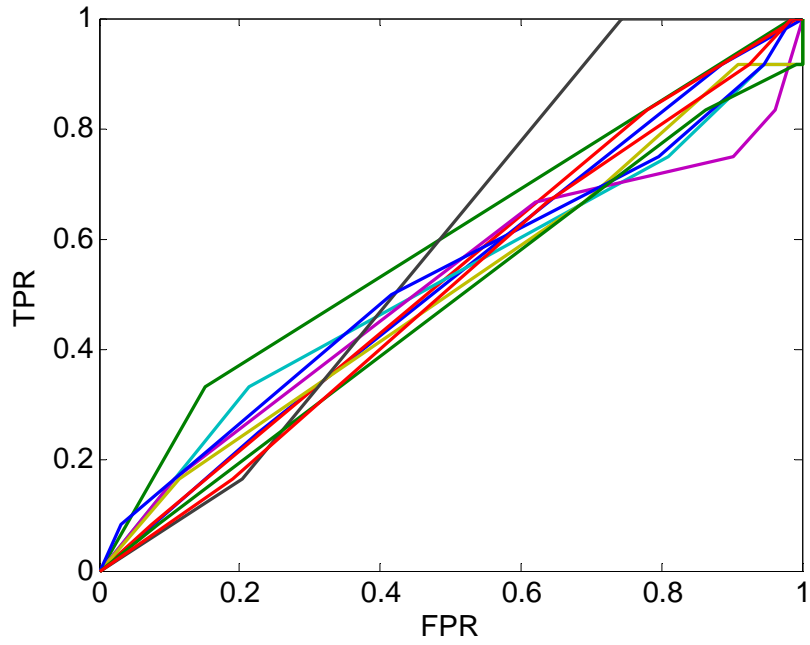
Parmak izi ile kaşlar arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, kaşlara ait özellik setleri de sistem çıkışını ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar önceki yapılara benzer şekilde aşağıda verilen alt başlıklarda değerlendirilmektedir.

6.1.5.1. Standart Analiz Platformu

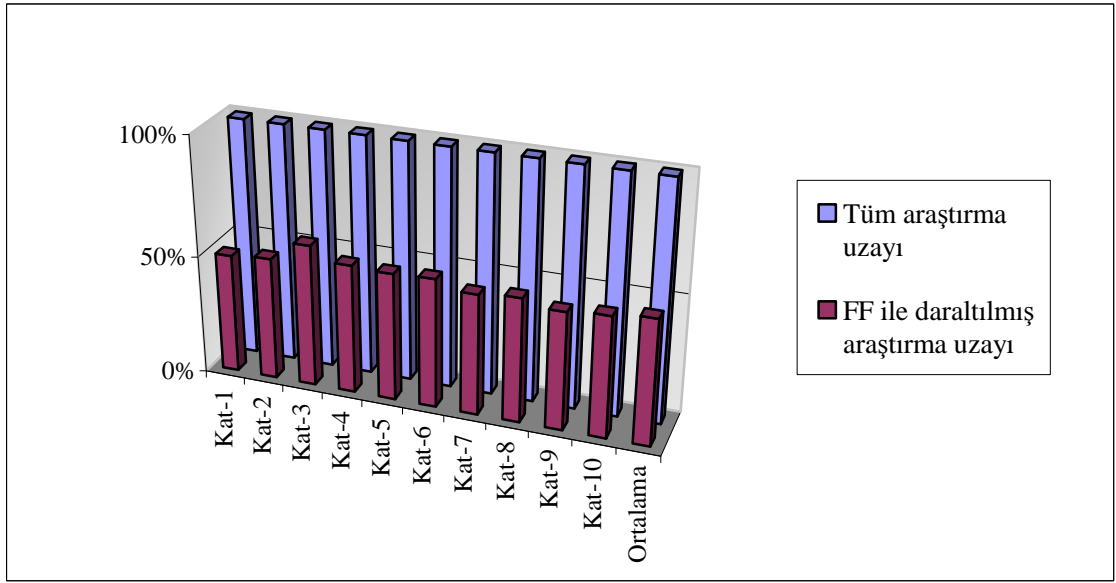
Parmak izinden kaşların elde edilmeye çalışıldığı FF YSA yapısı için 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 6.25'te ve her kata ait ROC eğrilerinin aynı grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 6.26'da verilmektedir. Şekil 6.27 ise FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayını göstermektedir.



Şekil 6.25. Yüz çevresine ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 6.26. Yüz çevresine ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



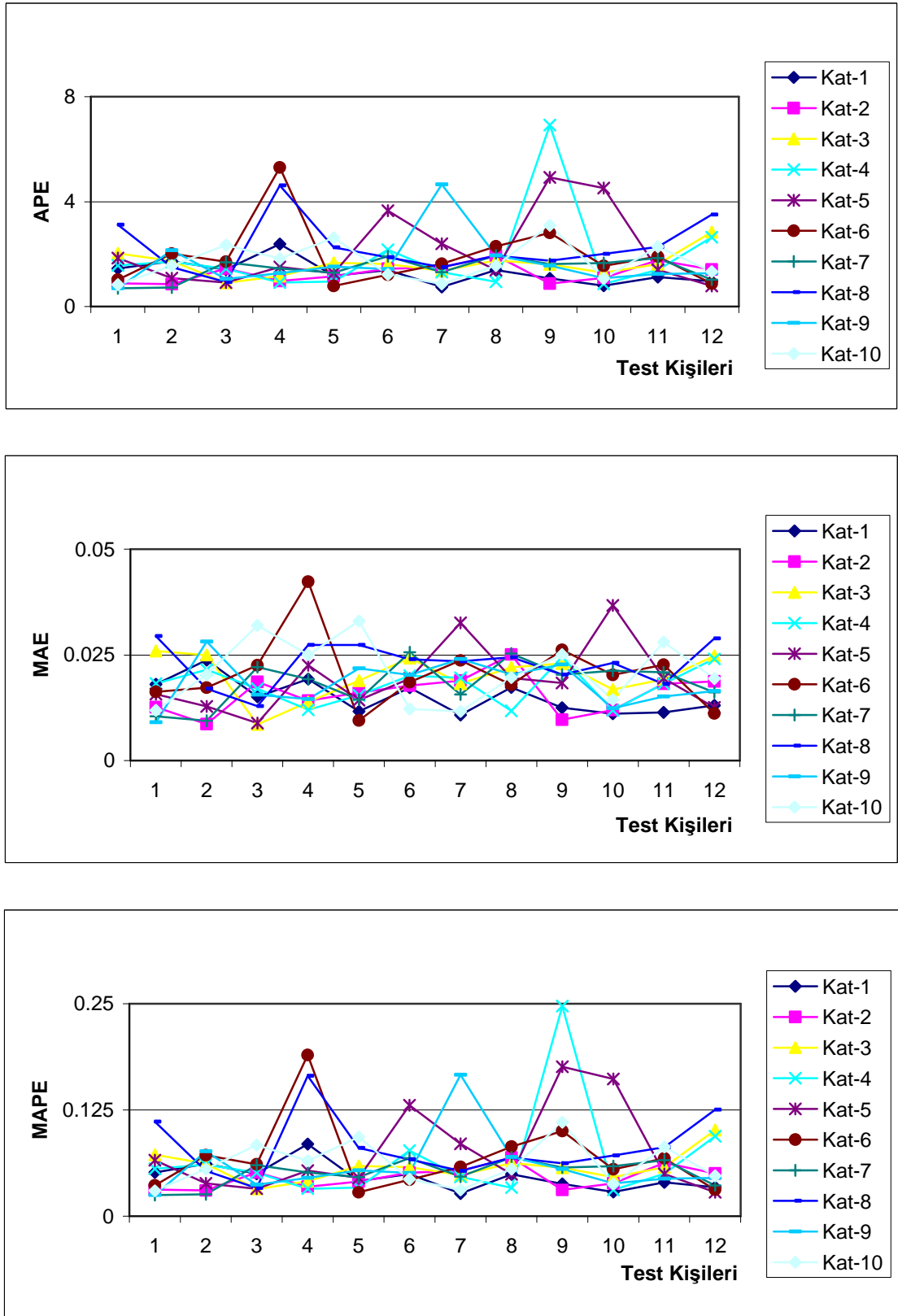
Şekil 6.27. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.

6.1.5.2. Sayısal Analiz Platformu

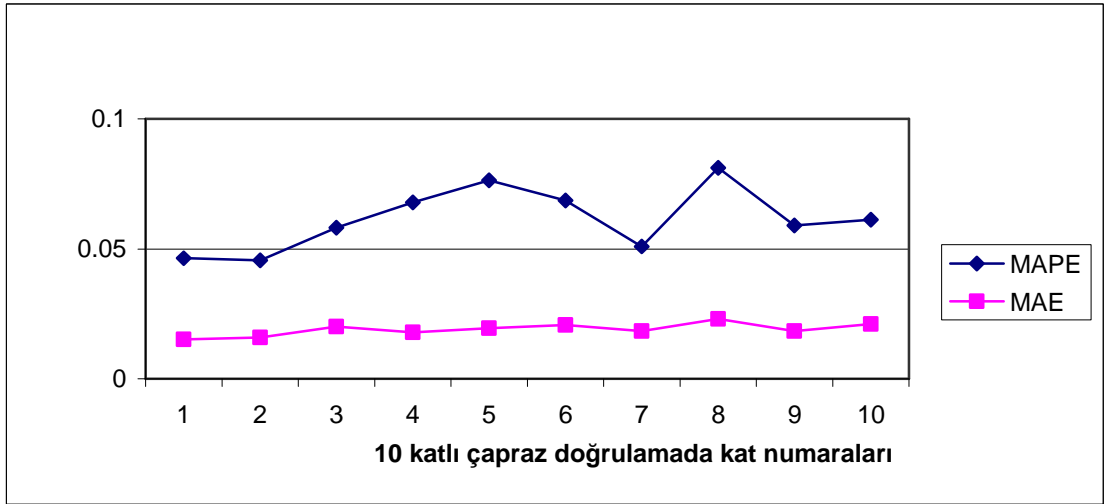
Parmak izlerinden kaşların elde edilmesi için geliştirilen sistemden elde edilen sonuçlar Tablo 6.5'te, 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 6.28'de ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalamaları Şekil 6.29'da verilmektedir.

Tablo 6.5. Parmak izlerini kullanarak kaşlara ulaşmaya çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	2.27208	1.72350	1.27439
MSE	0.00085	0.00037	0.00061
SSE	0.28550	0.12390	0.20578
MAE	0.02301	0.01896	0.01508
MAPE	0.08115	0.06155	0.04551



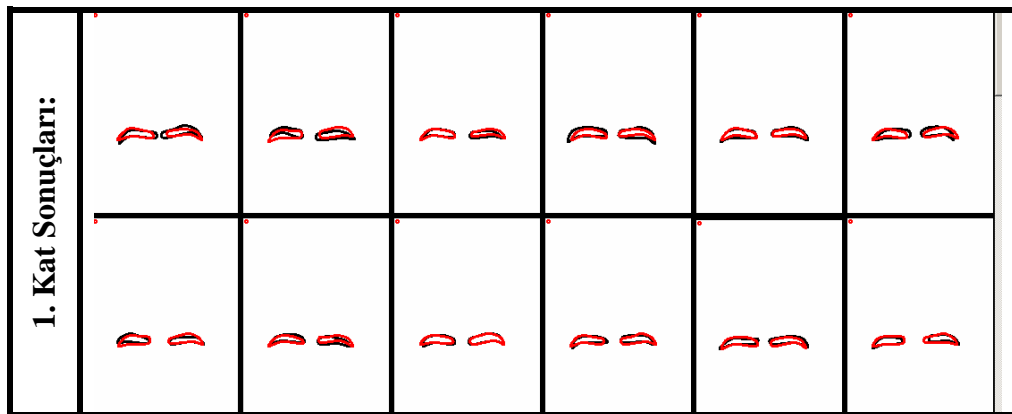
Şekil 6.28. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.















































































Şekil 6.29. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

6.1.5.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden kaşları elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu yüz parçalarına ait olması gereken sonuçlar karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 6.30'da sunulmuştur.



9. Kat Sonuçları:								
								
8. Kat Sonuçları:								
								
7. Kat Sonuçları:								
								
6. Kat Sonuçları:								
								

10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 6.30. Kaşlar için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

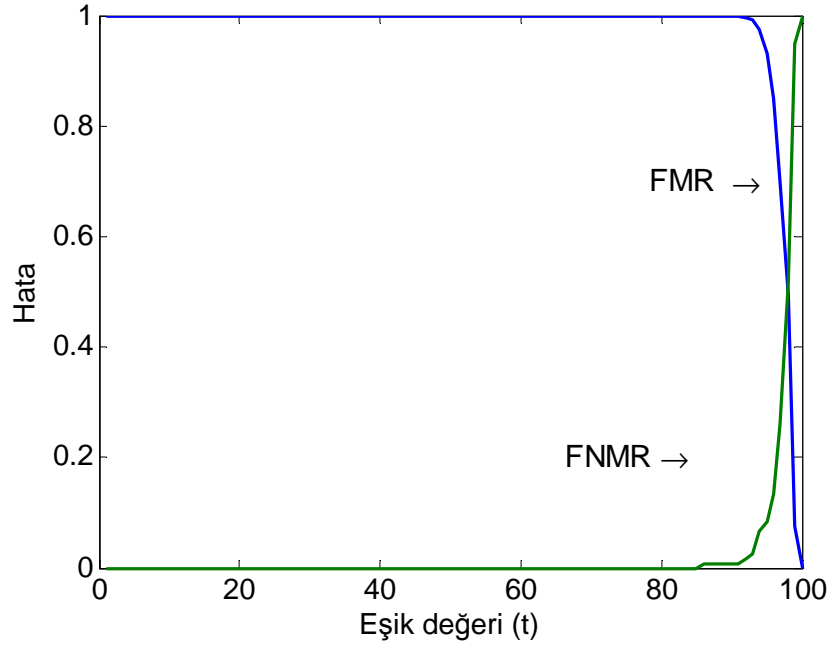
Parmak izlerinden kaşları elde etmeye çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını 0.52570'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 100 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

6.1.6. Parmak izi ile Kulaklar Arasındaki İlişki Modeli

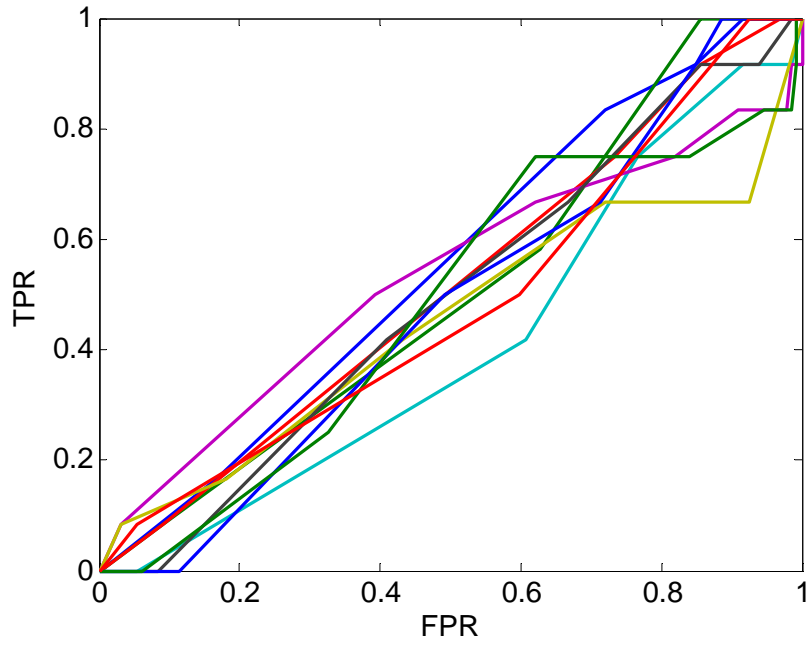
Parmak izi ile kulaklar arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen YSA modeli ile yapılan analiz çalışmalarında parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, kulaklara ait özellik setleri de sistem çıkışını ifade etmektedir. Sistem FF YSA yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda farklı alt başlıklarda değerlendirilmiştir.

6.1.6.1. Standart Analiz Platformu

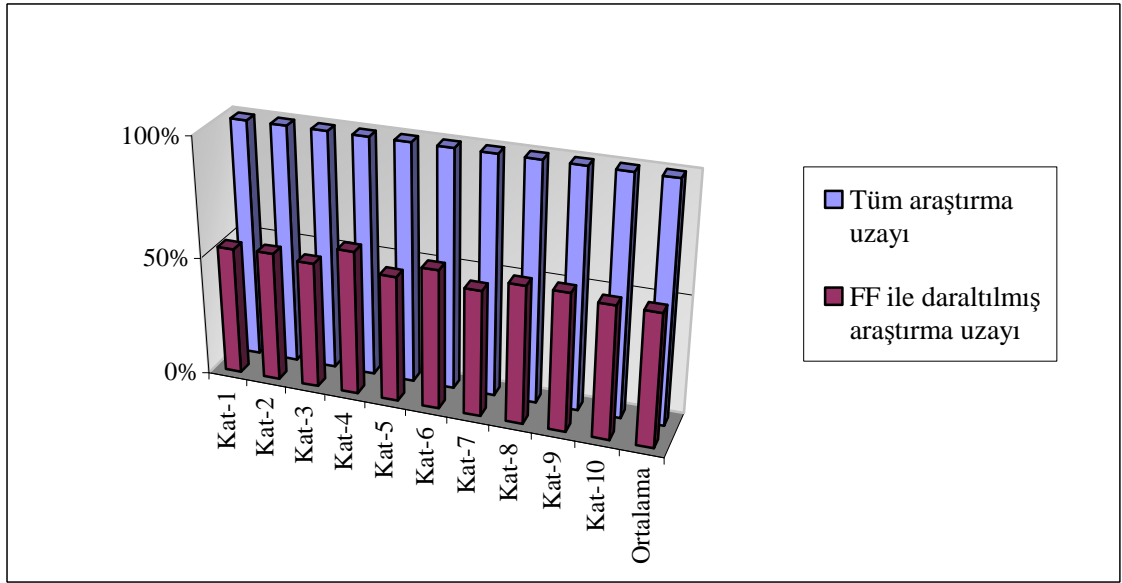
Parmak izinden kulak yapısının elde edilmesine yönelik olarak çalışan sistemde yapılan testlerde 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 6.31'de, her kata ait ROC eğrisinin aynı grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 6.32'de ve FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı Şekil 6.33'te verilmektedir.



Şekil 6.31. Kulaklara ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 6.32. Kulaklara ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



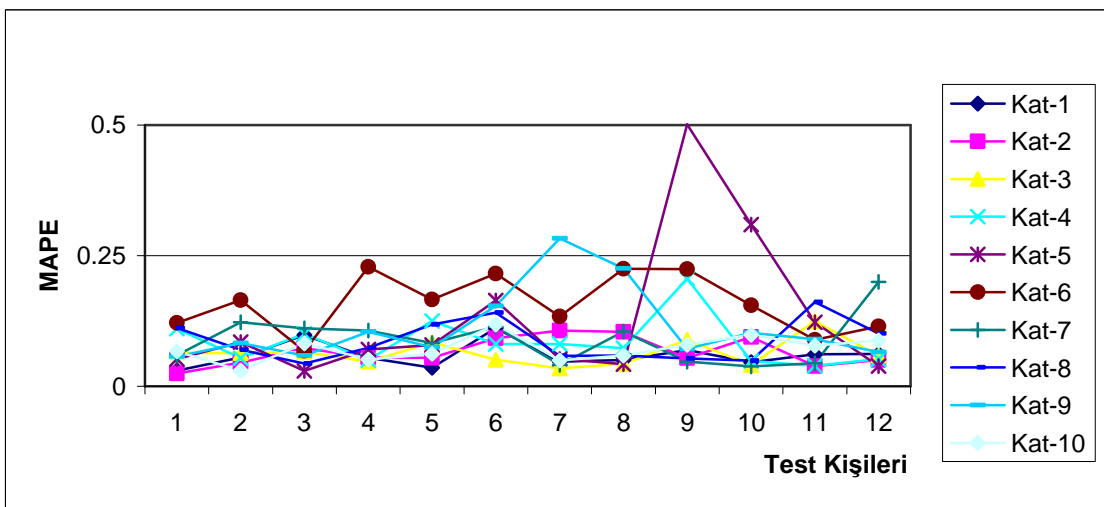
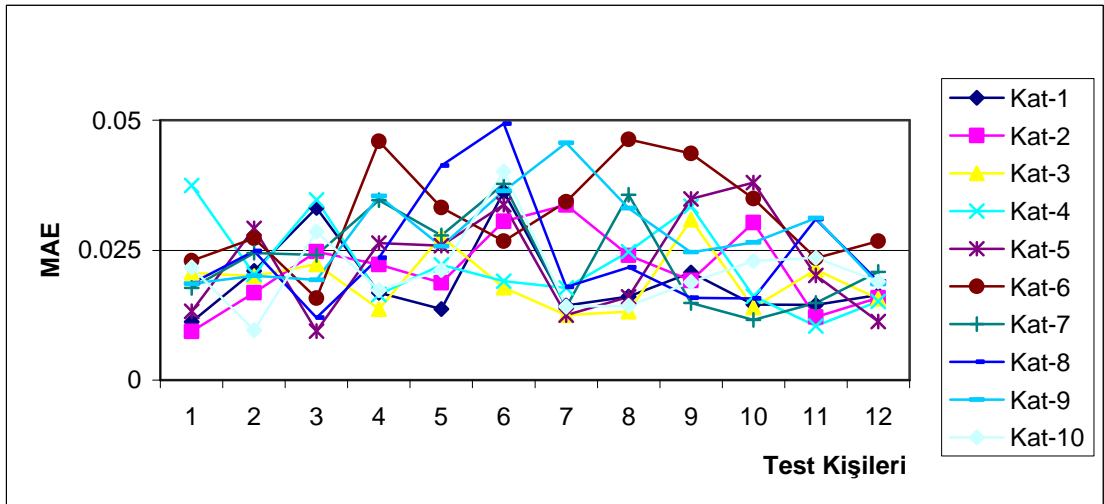
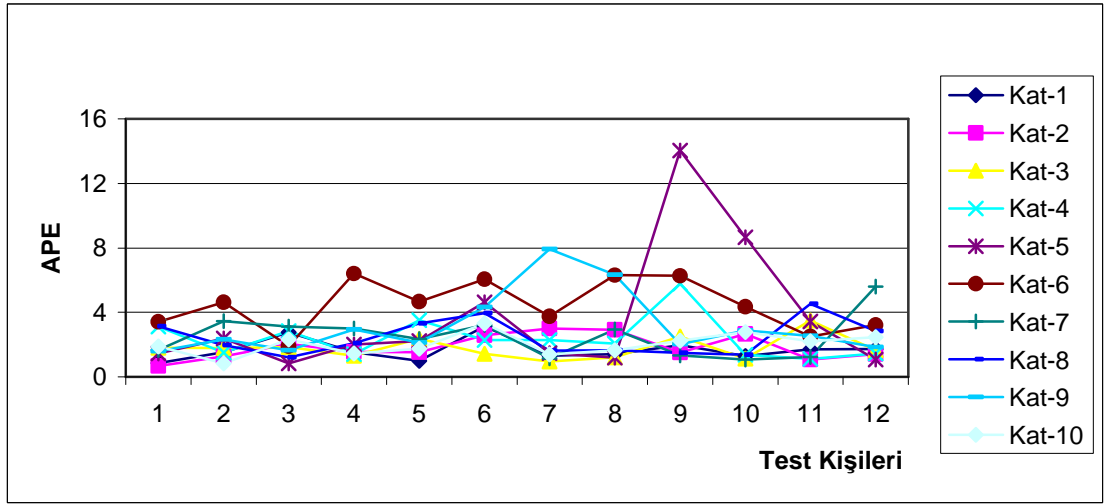
Şekil 6.33. FF YSA yapısı ile daraltılmış araştırma uzayı.

6.1.6.2. Sayısal Analiz Platformu

Parmak izlerini kullanarak kulaklara ulaşmaya çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 6.6'da, 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 6.34'te, MAPE ve MAE değerlerinin ortalamaları Şekil 6.35'te verilmektedir.

Tablo 6.6. Parmak izlerini kullanarak kulaklara ulaşmaya çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	4.45000	2.59306	1.68223
MSE	0.00140	0.00060	0.00084
SSE	0.45750	0.19190	0.28316
MAE	0.03177	0.02324	0.01903
MAPE	0.15893	0.09261	0.06008



Şekil 6.34. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.

10. Kat Sonuçları:									

Şekil 6.36. Kulaklar için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Parmak izlerinden kulakları elde etmeye çalışan sistemin test sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını 0.55560'ına düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 72 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

6.2. Parmak izi ile Yüz Parçaları Arasındaki İlişkinin Karşılaştırılması

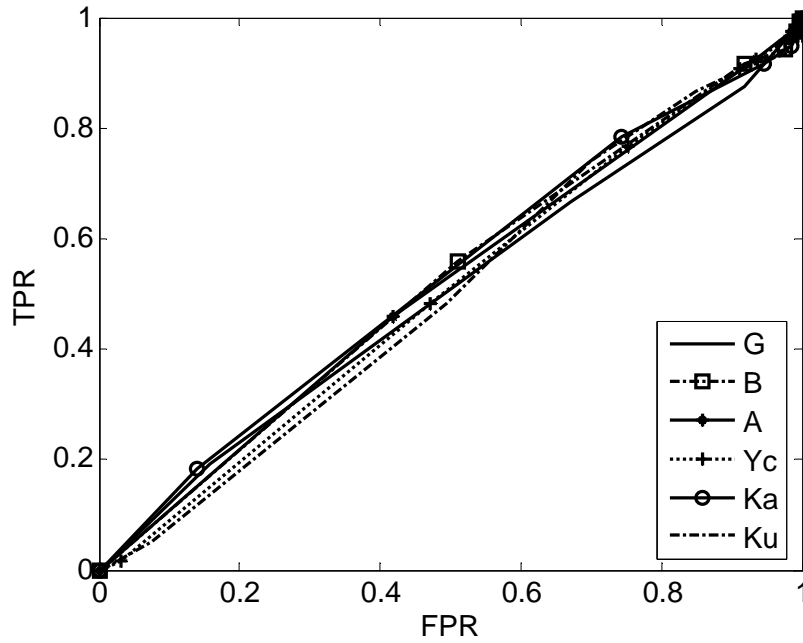
Parmak izi ile tek tek yüz parçaları arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmaların sonuçları bu bölümde ilgili alt başlıklar ile hem sayısal olarak verilmiş hem de grafikler ve çizimler şeklinde ifade edilmiştir. Bu grafikler ve sayısal değerler incelendiğinde elde edilen sonuçların parmak izi ile yüz parçaları arasında belirli bir ilişkinin olduğuna işaret ettiği görülmektedir.

Bu bölümde parmak izleri ile yüz parçaları arasındaki ilişkinin modellenmesi hedeflenmiş, yalnızca parmak izleri kullanılarak elde edilen yüz parçaları analiz edilerek parmak izi ile yüz parçaları arasındaki ilişkinin boyutu ve yönü konusunda bulgulara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu işlem için kullanılan YSA temelli sistem tüm yüz parçaları için standarttır. Bu yapı Bölüm 4'te elde edilen optimum parametrelerle donatılmış FF YSA yapısıdır. Tasarımı, eğitimi ve testi yapılan sistemlerden elde edilen sonuçların sağlıklı bir şekilde analiz edilebilmesi için tez çalışmasının genelinde kullanılan ve detayları Bölüm 4'te verilen değerlendirme metrikleri göz önünde bulundurulmuştur. Sistemden elde edilen sonuçlar bu bölümde tek tek ve ayrıntılı olarak verilmiş ve işlenmiştir. Sadece parmak izleri kullanılarak her bir yüz parçasına ait elde

edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde, parmak izleri ile yüz parçaları arasında belirli bir ilişkinin mevcut olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu ilişki kullanılarak hangi yüz parçasına ulaşılmak istenirse istenilsin belirli doğruluğa ve kabul edilebilir hata seviyelerine sahip nitelikli sonuçlar elde edilebilmektedir. Yüz parçalarına ait standart analiz platformları sistemin bir biyometrik tanıma onaylama sistemi şeklinde düşünüldüğünde sistem performansını ortaya koymaktadır. Bu platformda elde edilen sonuçlar incelendiğinde sistemin bir biyometrik tanıma onaylama sistemi olarak büyük bir başarıya sahip olmadığı görülebilmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi sunulan sistem bir biyometrik yüz tanıma onaylama sistemi değildir. Bu açıdan önerilen sistemin araştırma uzayını daraltma oranı daha önemli bir metrik durumundadır. Sistem araştırma uzayını daraltma konusundaki başarısına göre değerlendirilecek olursa yalnızca parmak izleri kullanılarak hangi yüz parçasına ulaşılmak istenirse istensin elde edilen sonuçlarla araştırma uzayının ortalama 0.54350'sine düşürülmüş olduğu görülmektedir. Bu ise çalışmanın bir ilk çalışma olmasına ve aynı ırktan insanlardan oluşan bir veritabanı kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiş olmasına rağmen oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde sayısal analiz platformları birçok metriğin aynı anda kullanılmasıyla elde edilmiş detaylı incelemelerin sonuçlarını vererek, sistem sonuçlarının olması gereken sonuçlara çok düşük hatalarla yakınsadığını göstermektedir. Görsel analiz platformlarında ise elde edilen sonuçlar gerçekte olması gereken sonuçları ifade eden değerlerle karşılaştırılarak üst üste çizilmiştir. Çizimler sistem başarısını görsel olarak ifade etmekte ve parmak izleriyle yüz parçaları arasındaki ilişkinin varlığını ve bu ilişkiyi kullanarak parmak izlerinden yüz parçalarına kabul edilebilir hatalarla ulaşılabileceğini farklı bir platformda ifade etmek adına önemlidir. Tüm platformlarda elde edilen sonuçlar “parmak izleri ile yüz parçaları ilişkilidir, bu ilişki kullanılarak parmak izlerinden yüz parçalarına belirli doğruluklarla ulaşılabilir” şeklinde bir sonucu ifade etmekte ve **Hipotez #1** başlığıyla verilen “Parmak izleri ile tek tek yüz parçaları arasında ilişki vardır” şeklinde tanımlanan ilk hipotezimizi de kanıtlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar ışığında parmak izleriyle yüz parçaları arasındaki ilişkinin boyutu hakkında fikir sahibi olabilmek için ayrı ayrı platformlarda elde edilen sonuçların birleştirilerek verilmesi ve karşılaştırılabilecek şekilde ifade edilmesi gerekmektedir. Bunun için ilk olarak her bir yüz parçasına ait standart analiz platformlarında elde

edilen sonuçlar birleştirilerek incelenecektir. Burada yüz parçalarının her birine ait 10 katlı çapraz doğrulama sonuçlarından elde edilen ROC eğrilerinin ortalamasının aynı sayfada çizilmesi şeklinde bir karşılaştırma ve kontrol yapılacaktır. Şekil 6.37 analiz edilen 6 yüz parçasına ait ortalama ROC eğrilerini göstermektedir. Şekilde sadelik ve kolay anlaşılabilirlik açısından (G: gözler, B: burun, Yc: yüz çevresi, Ku: kulaklar, A: ağız, Ka: kaşlar) şeklinde bir kodlama yapılmıştır.



Şekil 6.37. 6 adet yüz parçasına ait ortalama ROC eğrileri.

Verilen ROC eğrileri grafiği incelendiğinde parmak izlerinden yüz parçalarının elde edildiği yapılar birer biyometrik sistem olarak değerlendirildiklerinde performanslarının benzer şekilde haritalandığı, ortalama ROC eğrileri açısından yapıların birbirinden çok farklı olmadıkları görülmektedir. Dolayısıyla ROC grafiğini kullanarak parmak izi ve yüz parçaları arasındaki bu ilişkinin büyüklüğü ve derecesi hakkında fikir sahibi olmamız, parmak izleri kullanılarak hangi yüz parçalarına daha az hata değerleriyle ulaşılabilceği konusunda yorum yapabilmemiz çok fazla mümkün olmamaktadır. Ancak ufak farklara sahip ROC eğrileri bu haliyle yorumlandığında parmak izleri kullanılarak yüz parçalarına ulaşılması hedeflenen bu çalışmada gözler, ağız ve burnun elde edilmeye çalışıldığı yapıların diğerlerine göre daha yüksek bir performansa sahip olduğu görülmektedir. Bunları yakın eğrilerle kaşlar, yüz çevresi ve kulakları elde

etmeye çalışan yapılar takip etmektedir. Özetle ROC eğrileri grafiğinden gözler, burun ve ağız yapılarıyla parmak izleri arasındaki ilişki, kaşlar, yüz çevresi ve kulaklar yapılarıyla parmak izleri arasındaki ilişkiden daha kuvvetlidir yorumu yapılabilmektedir.

Parmak izleriyle yüz parçaları arasındaki ilişkinin yönü ve boyutu ile ilgili sürdürülen analiz çalışmasında sistemin araştırma uzaylarını daraltma oranlarının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Her yüz parçası için kullanılan sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayları Tablo 6.7’de verilmektedir. Tüm araştırma uzayının 1.00000 olarak alındığı Tablo 6.7 incelendiğinde araştırma uzaylarının daraltılması açısından performans sıralaması katlara göre farklılık göstermektedir. Ortalamalara göre bir değerlendirme yapıldığında sıralamanın kaşlar, ağız, gözler, burun, yüz çevresi ve kulaklar şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 6.7. Her bir yüz parçası için daraltılmış araştırma uzayları.

	Gözler	Burun	Ağız	Yüz Çevresi	Kaşlar	Kulaklar
Kat-1	0.54861	0.52778	0.54861	0.51389	0.50000	0.53472
Kat-2	0.56250	0.54861	0.49306	0.50694	0.51389	0.54167
Kat-3	0.56944	0.55556	0.52083	0.59028	0.59722	0.52778
Kat-4	0.54861	0.52083	0.58333	0.54861	0.54167	0.60417
Kat-5	0.50694	0.55556	0.55556	0.56944	0.53472	0.52778
Kat-6	0.56250	0.54167	0.53472	0.57639	0.54167	0.58333
Kat-7	0.52778	0.47917	0.54861	0.49306	0.50694	0.52778
Kat-8	0.50000	0.56944	0.54861	0.56944	0.52083	0.57639
Kat-9	0.54861	0.61806	0.53472	0.59722	0.49306	0.57639
Kat-10	0.55556	0.59028	0.47917	0.54861	0.50694	0.55556
Ortalama	0.54310	0.55070	0.53470	0.55140	0.52570	0.55560

Karşılaştırma işleminde sıra sayısal analiz platformunda elde edilen sonuçların mukayesesine gelmiştir. Sayısal analiz platformunda kullanılan değerlendirme metriklerinin ortalama değerleri kullanılarak 6 yüz parçası için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar bir tabloda birleştirilmiş ve sistemlerin performansları bu ortalamaların karşılaştırılması neticesinde değerlendirilmiştir. Bu ortalamalar Tablo 6.8’de verilmektedir. Tablo 6.8 incelendiğinde hata değerlerine göre başarı sıralamasının değiştiği ancak APE ortalamasına göre sıralamanın ağız, burun, kaşlar, gözler, yüz çevresi ve kulaklar şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 6.8. Farklı 6 yüz parçası için sistemden elde edilen ortalama hata değerleri.

Yüz Parametreleri/Hatalar	APE	MSE	SSE	MAE	MAPE
Gözler	1.90321	0.00030	0.14270	0.01644	0.04758
Burun	1.32935	0.00100	0.17120	0.02846	0.09495
Ağız	1.31367	0.00050	0.13950	0.01992	0.05971
Yüz Çevresi	2.47424	0.00046	0.24410	0.01950	0.05623
Kaşlar	1.72350	0.00037	0.12390	0.01896	0.06155
Kulaklar	2.59306	0.00060	0.19190	0.02324	0.09261

6.3. Sonuç

Bu bölümde, parmak izi ile yüz parçaları arasında olduğu düşünülen bir ilişki YSA temelli bir sistemle modellenmiş ve bu ilişkinin boyutu ve yönü hakkında çeşitli analizler yapılmıştır. Parmak izleri ile yüz parçaları ilişkili midir? Eğer ilişkili ise bu ilişki parmak izleri ile yüzün hangi parçası/parçaları arasında daha kuvvetli veya daha zayıftır? Yalnızca parmak izleri kullanılarak yüze ait hangi noktalara ya da bölgelere daha düşük hatalarla ulaşabiliriz? gibi sorulara cevaplar aranmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, parmak izleri ile yüz parçaları arasındaki ilişkinin varlığını işaret eder niteliktedir. Arada olduğu bulunan bu ilişkinin boyutu ve yönü konusunda fikir sahibi olabilmek için yüz parçalara bölünerek işlemler yapılmış, her yüz parçası için elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde elde edilen sonuçlar yüze ait değişmeyen özellikler olarak bilinen ve yüz tanıma işlemlerinde özellik setlerinin elde edilmesinde kullanılan ağız, burun, gözler, kaşlar, yüz çevre ve kulaklar gibi yüz parçaları ile parmak izleri arasında belirli bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Bu ilişki en fazla ağız ve burun, daha sonra gözler ve kaşlar ve son olarak da yüz çevresi ve kulaklar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kulaklara ait elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu sonuçların kulaklarla ilgili kabul edilebilir hatalarla sonuçlar ürettiği, yerleri ve şekilleri konusunda fikir verdiği ancak diğer yüz parçalarında tutturduğu başarıyı burada yakalayamadığı şeklinde yorum yapılabilmektedir. Bunun sebebi olarak da sunulan çalışmada önden çekilmiş yüz resimleri ile çalışıldığı, dolayısıyla kulaklara ait özellik noktaları setlerinin diğer yüz parçalarına ait özellik setleri kadar yüksek doğruluklarla elde edilememiş olabileceği söylenebilmektedir.

7. BÖLÜM

PARMAK İZİ - YÜZ PARÇASI KOMBİNASYONLARI VE PARMAK İZİ - TÜM YÜZ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN MODELLENMESİ

Sunulan çalışmanın bir önceki bölümünde parmak izi ile yüz parçaları arasındaki ilişkinin varlığı sorgulanmış, aradaki ilişkinin boyutu ve yönü hakkında analizler yapılmıştır. Bu bölümde ise daha fazla yüz parçası dikkate alınarak oluşturulmuş yüz kombinasyonları ile parmak izleri arasındaki ilişki araştırılmış ve böyle bir ilişkinin varlığına dair deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Parmak izi ile yüz kombinasyonları arasındaki ilişkinin analizi yönündeki çalışmalarındaki motivasyonumuz bir önceki bölümde parmak iziyle tek tek yüz parçaları arasında ilişkinin varlığının deneysel olarak tespit edilmiş olmasıdır. Parmak izi ile tüm yüz arasında ilişki olup olmaması konusuna ışık tutan parmak izinden yüz parçalarına ulaşma ve parmak izi ile tek tek yüz parçaları arasındaki ilişkinin/ilişkilerin analizine ait sonuçlar 6. Bölüm'de verildiği şekildedir. Bu bölümde ise sistemin yalnızca parmak izleri kullanılarak yüzün en basit kombinasyonlarından başlayıp tamamının elde edilmesine kadar olan süreçleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Burada elde edilen sonuçlar sadece parmak izlerinden yüze veya yüze ait çeşitli parçaların kombinasyonlarına ulaşmak istendiğinde elde edilebilecek başarıyı adım adım gösterecektir. 6. Bölümde yapılan incelemeler ve araştırmalarda sistemin her yüz parçası için aynı oranda başarı sergileyemediği, elde edilen başarının yüz parçalarına göre değiştiği sonucuna varılmıştır. Bu bölümde yüz parçalara bölünüp çeşitli kombinasyonlar oluşturularak bu ilişkinin boyutu ve yönü konusunda araştırma ve incelemeler genişletilerek modelleme çalışmaları kapsamlı hale getirilmiştir. Sistemin yüze ait özelliklerin değişik kombinasyonlarında nasıl sonuçlar verdiğini görmek ve değerlendirmek açısından sistem 8 farklı kombinasyon için eğitilmiş ve sonuçlar detaylarıyla bu bölümde sunulmuştur. Sistemde kullanılan YSA yapısı Taguchi deney

tasarım yöntemi kullanılarak elde edilen parametrelerle donatılmış olan FF YSA yapısıdır. Sistemin eğitimi ve testinde 10 katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar önceki bölümlerdeki değerlendirme yaklaşımına benzer şekilde daraltılmış araştırma uzayı parametresi ile genişletilmiş standart analiz platformu, sayısal analiz platformu ve görsel analiz platformu olmak üzere 3 farklı platformda değerlendirilmiştir. Sunulan sistemin bir biyometrik tanıma sistemi olması varsayımıyla başarısının ve güvenilirliğinin hesaplandığı standart analiz platformunda sisteme ait FMR(t) & FNMR(t) grafiği ve ROC eğrileri verilmektedir. Sistemin araştıma uzayını daraltma oranları üzerine bir çalışma yapılarak bu platform çalışmanın doğasına ve amacına uygun şekilde genişletilmiştir. Sayısal analiz platformunda sistemin testinde kullanılan 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait sayısal sonuçlar hesaplanıp değerlendirilmekte ve sunulmaktadır. Görsel analiz platformunda ise 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait her katta elde edilen sonuçların olması gereken değerleriyle karşılaştırılarak çizildiği sonuçlar verilmektedir. Sözü edilen bu şekillerde daha önceki bölümlerde olduğu gibi açık renkli çizimler YSA çıkışlarını koyu renkli çizimler ise ilgili yüzlere ait olması gereken sonuçları ifade etmektedir.

7.1. Parmak izi ile Yüz Arasındaki İlişkinin Araştırılması ve Analizi

Parmak iziyle yüzün çeşitli kombinasyonlarına ait ilişkiler incelenmiş, sistemlere ait detaylar, sonuçları ve değerlendirmeleri aşağıda sunulmuştur.

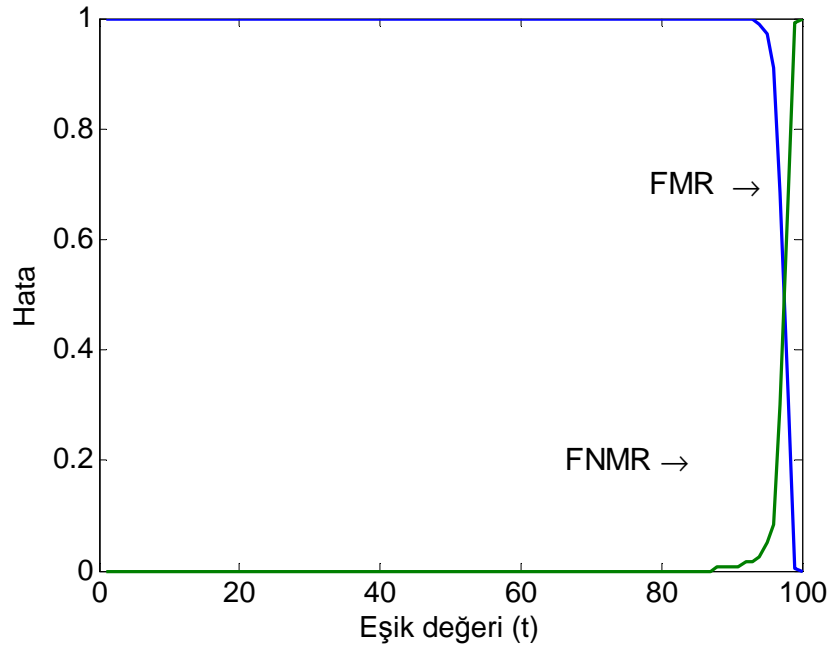
7.1.1. Parmak izi ile Gözler-Burun Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Gözler-burun kombinasyonu yüze ait değişmeyen özellikleri kapsayan az sayıda yüz parçasından oluşan bir kombinasyondur. Yüze ait iç parçalar olarak bilinen kaşlar, gözler, burun ve ağız yapıları yüz tanıma sistemleri açısından en önemli yüz parçalarıdır. Ancak bu parçalar kişinin konuşma, gülme hareket etme gibi davranışlarından ve üzgün sevinçli ya da sinirli olma gibi ruhsal durumlarından oldukça etkilenirler. Hem davranış hem de ruhsal durumdan en çok etkilenen özelliklerin başında ağız gelir. Benzer şekilde kadınlarda estetik açıdan orijinal şeklini koruyamayan özellik kaş yapısıdır. Bunlara kıyasla daha sabit, değişmeyen yapılarıyla dikkat çeken gözler ve burnun yalnızca parmak izlerini kullanarak elde edilmesine yönelik bir

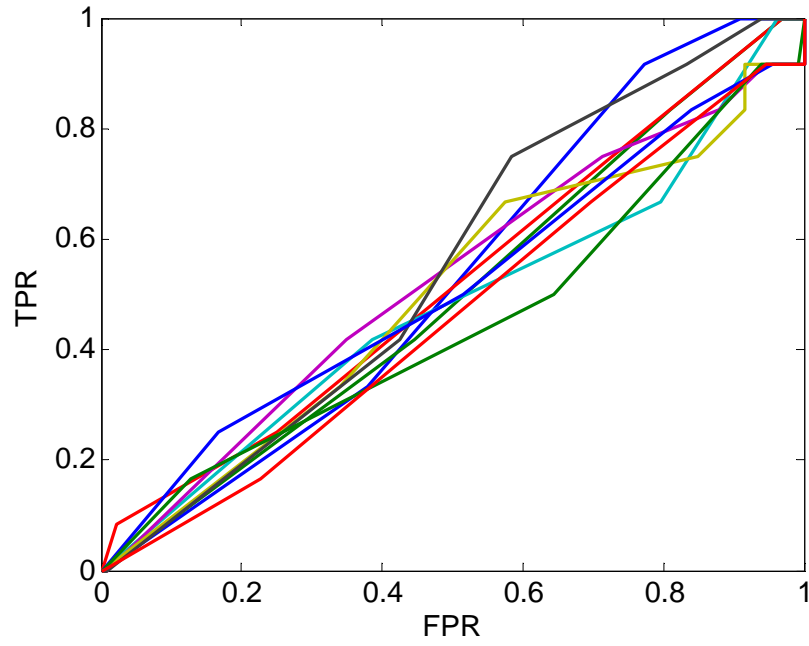
çalışma yapılmış ve sonuçları bu alt bölümde sunulmuştur. Parmak izi ile gözler-burun kombinasyonu arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, gözler ve buruna ait özellik setlerinin toplamı da sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile gözler-burun kombinasyonu arasındaki ilişkinin modellenmesinde daha önceki yapılar da kullanılan FF YSA yapısı tercih edilmiştir. Sonuçlar daha önce belirlenen ve detayları önceki bölümlerde verilen platformlarda daha önceki metodolojiye benzer şekilde değerlendirilmiş ve aşağıda ilgili alt başlıklarla sunulmuştur.

7.1.1.1. Standart Analiz Platformu

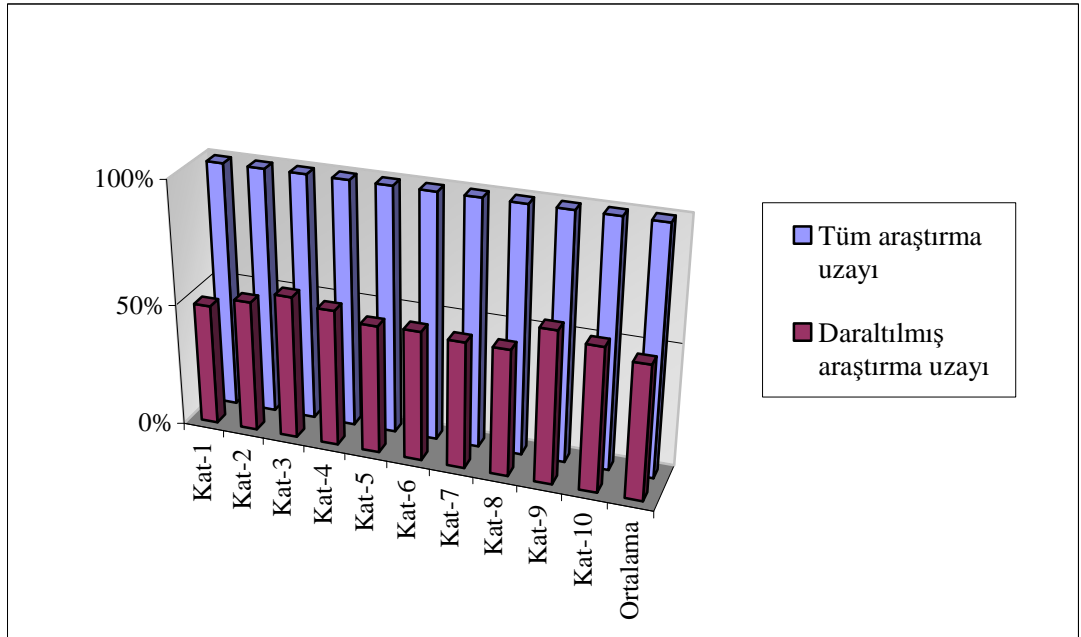
Parmak izinden gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için gerçekleştirilen 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.1’de ve tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.2’de verilmektedir. Şekil 7.3 ise gözler-burun kombinasyonu için FF YSA yapısıyla daraltılmış araştırma uzayını göstermektedir.



Şekil 7.1. Gözler-Burun kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.2. Gözler-Burun kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



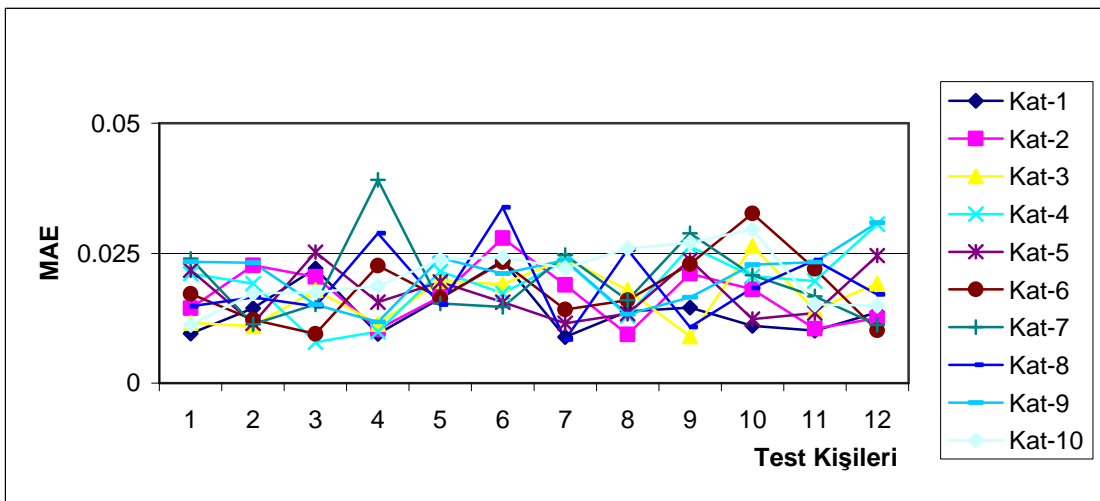
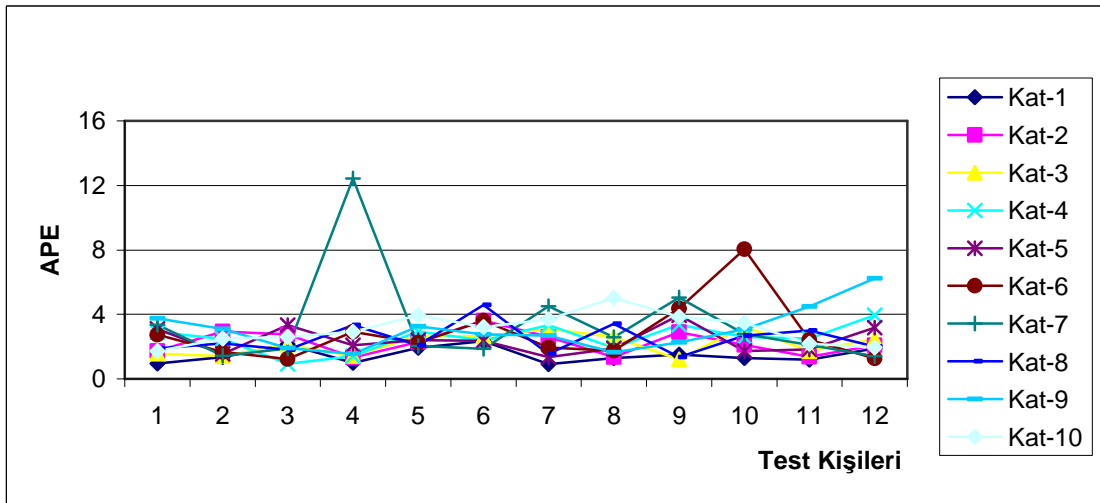
Şekil 7.3. Gözler-burun kombinasyonu için FF YSA yapısıyla daraltılmış araştırma uzayı.

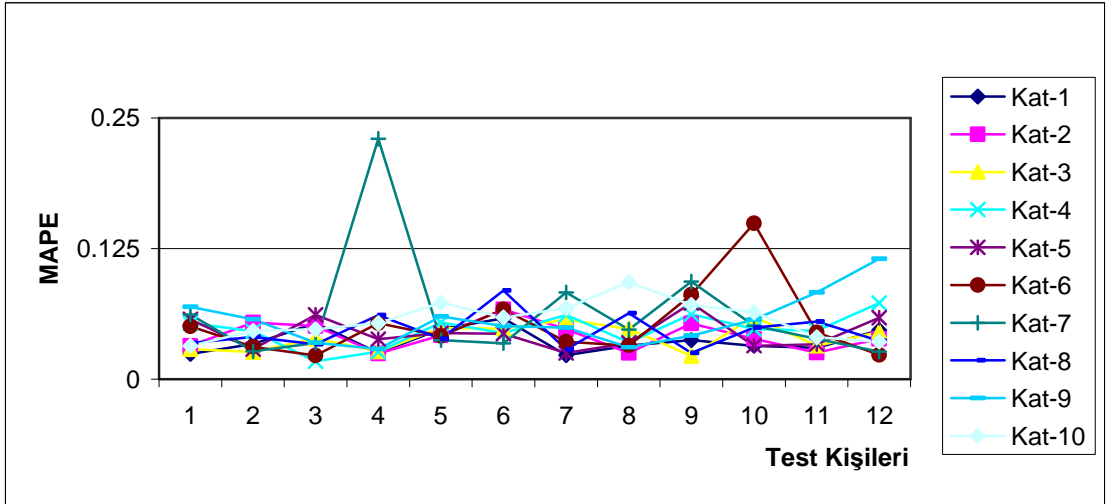
7.1.1.2. Sayısal Analiz Platformu

Parmak izlerinden gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.1'de; 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 7.4'te ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalamaları ise Şekil 7.5'te verilmektedir.

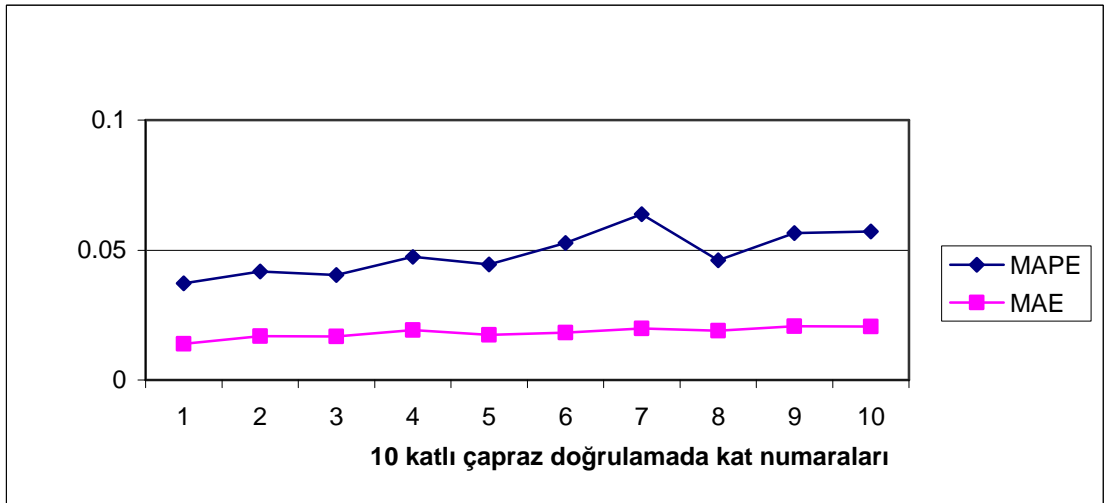
Tablo 7.1. Parmak izinden gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan sistemin sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	3.44921	2.58002	1.48452
MSE	0.00069	0.00044	0.00058
SSE	0.44690	0.28570	0.37295
MAE	0.02071	0.01823	0.01393
MAPE	0.06388	0.04874	0.03711


























Şekil 7.4. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.



























Şekil 7.5. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.1.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu yüz kombinasyonuna ait olması gereken sonuçlar karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.6'da verilmiştir.

4. Kat Sonuçları:	3. Kat Sonuçları:		2. Kat Sonuçları:		1. Kat Sonuçları:	
						
						
						

5. Kat Sonuçları:	6. Kat Sonuçları:	7. Kat Sonuçları:	8. Kat Sonuçları:
			
			
			
			
			
			

9. Kat Sonuçları:						
10. Kat Sonuçları:						

Şekil 7.6. Gözler-burun kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Parmak izlerini kullanılarak gözler-burun kombinasyonuna ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.54440'ına düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 95 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

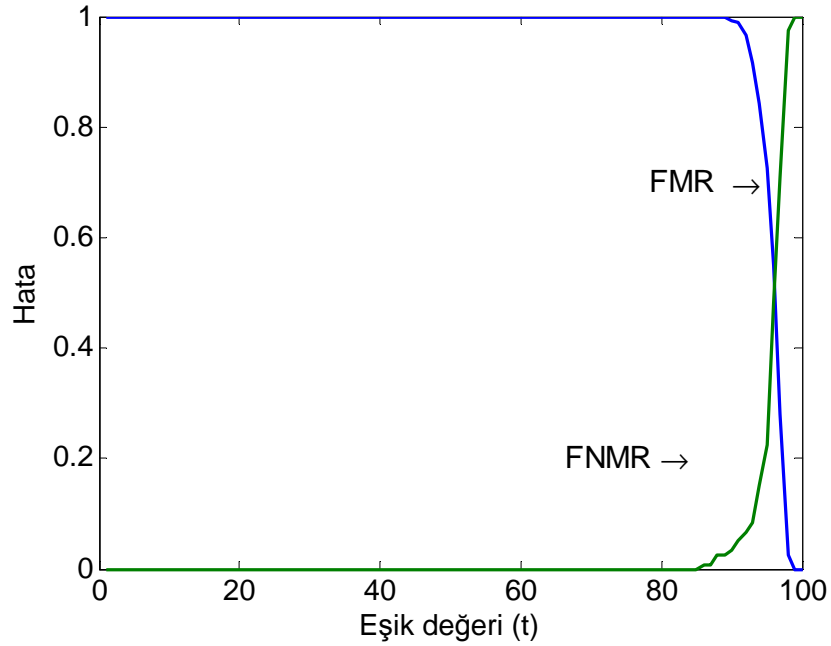
7.1.2. Parmak izi ile Yüz çevresi-Kulaklar Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonu da yüze ait dış çerçeveyi belirleyen özellikleri kapsadığından önemli bir kombinasyondur. Çünkü yüze ait kontur bilgisi olarak da bilinen dış çerçeve yüz hakkında anlamlı bilgiler ihtiva etmektedir. Yüzün şeklinin ortaya konulduğu bu kontur bilgisinin elde edilmesine yönelik sistem ve sonuçlar bu alt bölümde elde edilmiş ve sunulmuştur. Parmak izi ile yüz çevresi-kulaklar kombinasyonu arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem

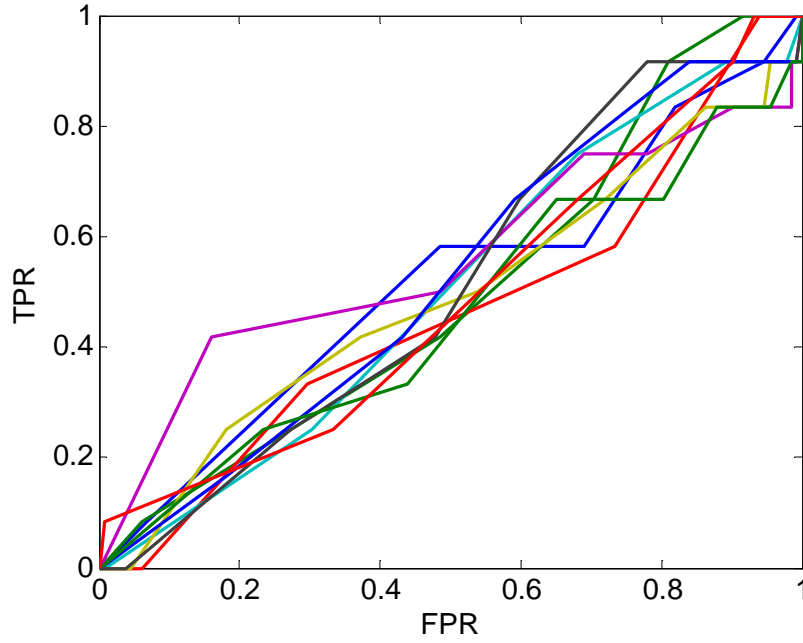
girişini, yüz çevresi-kulaklara ait özellik setlerinin toplamı da sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile bu kombinasyon arasındaki ilişkinin modellenmesinde 300 girişli 72 çıkışlı bir FF YSA yapısı kullanılmıştır. Sonuçlar daha önce belirlenen kurallar çerçevesinde 3 farklı platformda değerlendirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

7.1.2.1. Standart Analiz Platformu

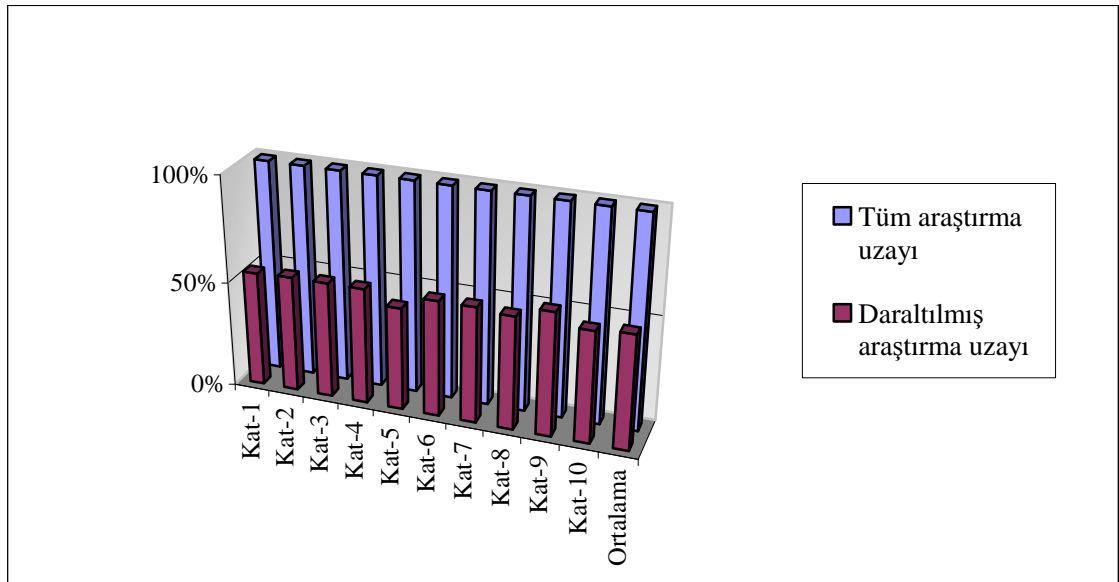
Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonuna ait özellik setlerinin elde edilmeye çalışıldığı bu yapıda 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.7’de, tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.8’de ve sistemin kullanılmasıyla daraltılmış araştıma uzayını gösteren grafik Şekil 7.9’da verilmektedir.



Şekil 7.7. Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.8. Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



Şekil 7.9. Yüz çevresi-kulaklar kombinasyonu için FF YSA yapısı kullanılarak daraltılmış araştırma uzayı.

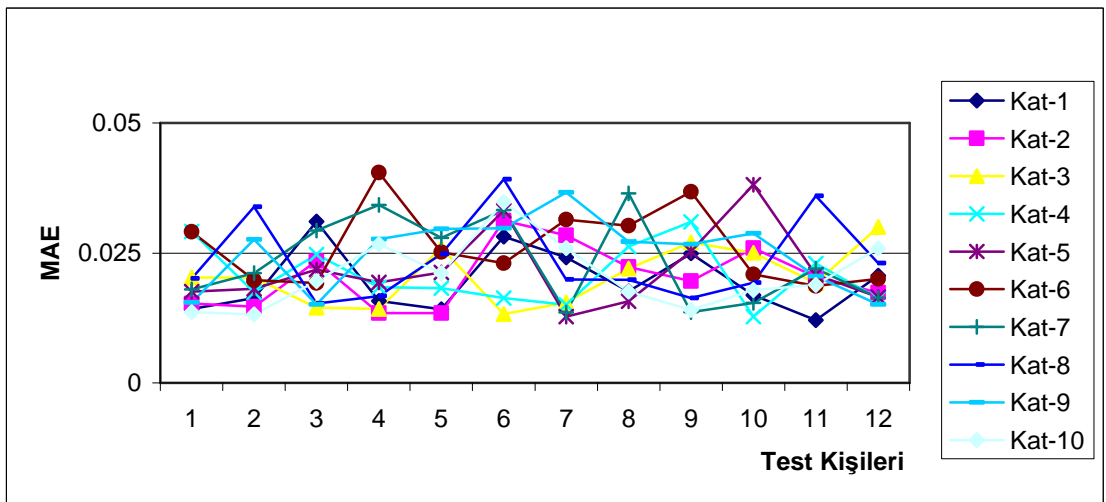
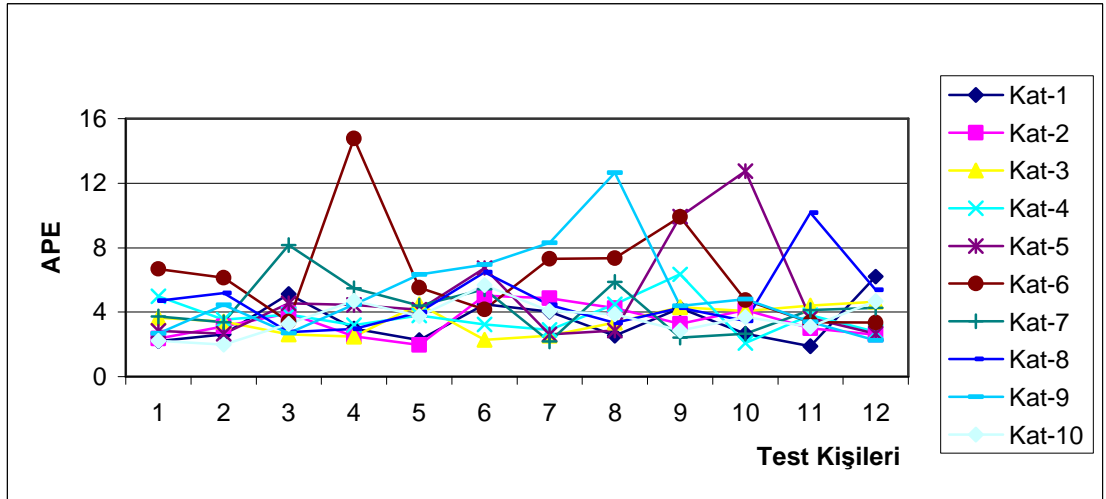
7.1.2.2. Sayısal Analiz Platformu

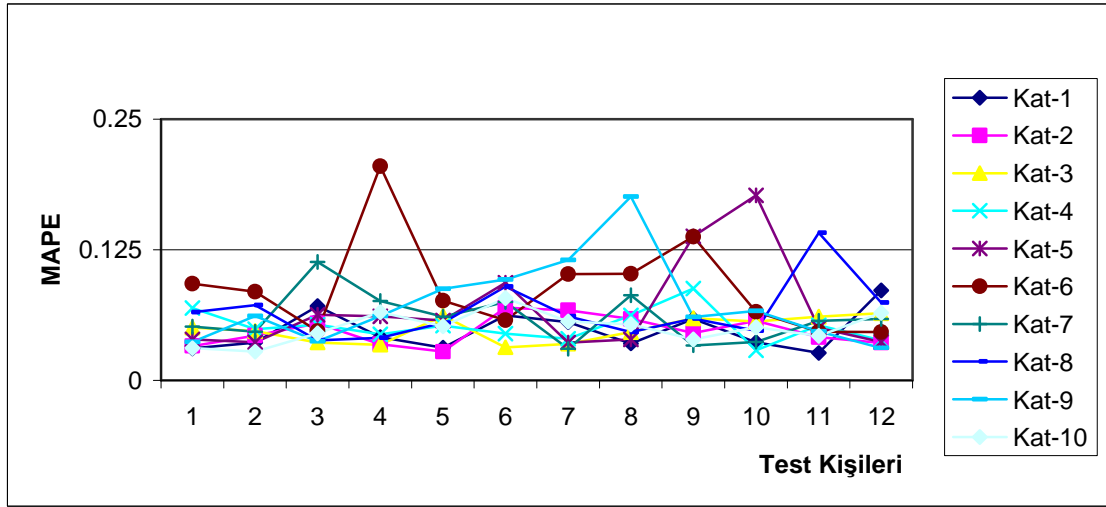
Parmak izlerinden yüz çevresi-kulaklar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.2'de; 10 katlı çapraz doğrulama

değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 7.10'da ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalaması Şekil 7.11'de verilmektedir.

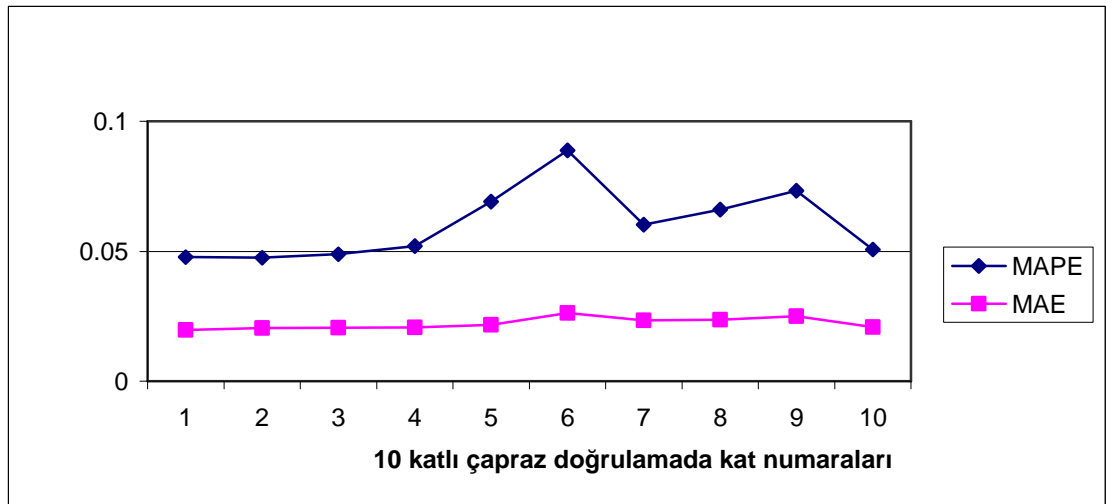
Tablo 7.2. Parmak izinden yüz çevresi-kulaklar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	6.39113	4.35062	3.41441
MSE	0.00100	0.00060	0.00079
SSE	0.89280	0.54040	0.68433
MAE	0.02621	0.02221	0.01964
MAPE	0.08877	0.06043	0.04742





Şekil 7.10. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.






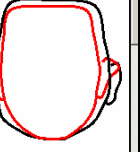


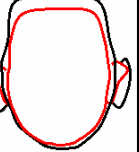






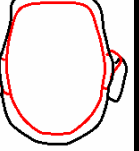
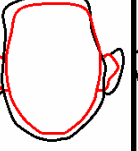



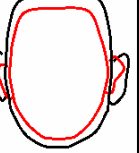

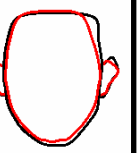
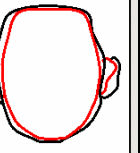




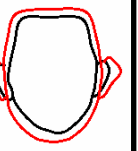
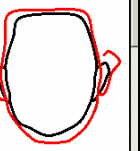


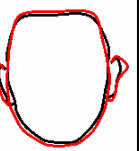

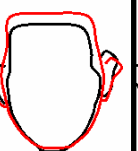





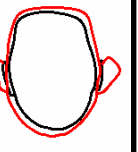




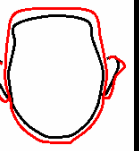
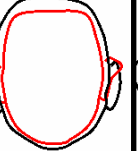
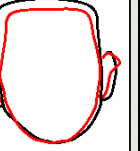


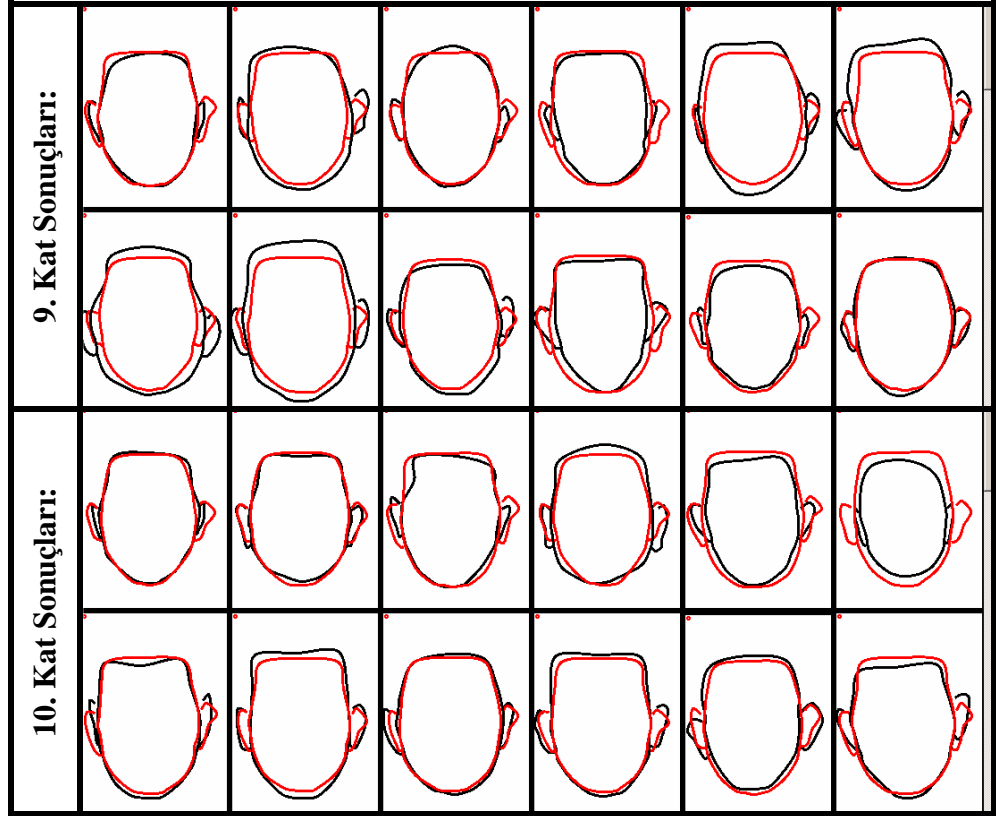
Şekil 7.11. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.2.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden yüz çevresi-kulaklar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların olması gereken değerleri karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.12'de verilmiştir.

1. Kat Sonuçları:						
2. Kat Sonuçları:						
3. Kat Sonuçları:						
4. Kat Sonuçları:						

5. Kat Sonuçları:						
						
6. Kat Sonuçları:						
						
7. Kat Sonuçları:						
						
8. Kat Sonuçları:						
						



Şekil 7.12. Yüz çevresi-kulaklar için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Yalnızca parmak izlerini kullanarak yüz çevresi-kulaklar kombinasyonuna ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.54170'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 82 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

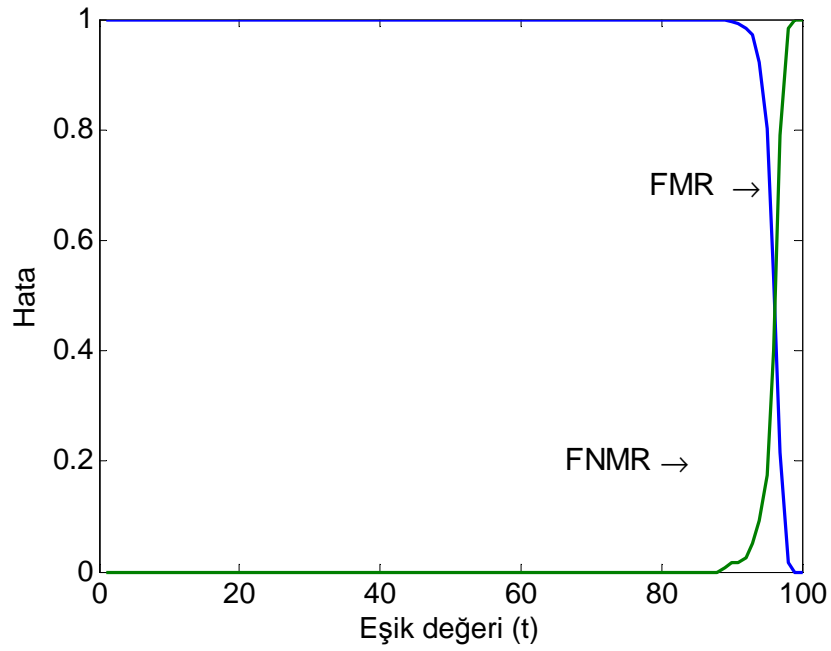
7.1.3. Parmak izi ile Kaşlar-Gözler-Burun Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

İkili kombinasyonların ardından sistemin üçlü kombinasyonlar karşısındaki davranışını belirlemek açısından iki farklı üçlü kombinasyon oluşturulacak ve yapılar test edilecektir. Bu yapılardan ilki kaşlar-gözler-burun kombinasyonudur. Parmak izi ile verilen kombinasyon arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, kaşlar-gözler-burun yapısına ait özellik setlerinin toplamı da sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile bu kombinasyon arasındaki ilişkinin modellenmesinde daha önceki yapılardakiyle özdeş bir FF YSA yapısı kullanılmıştır.

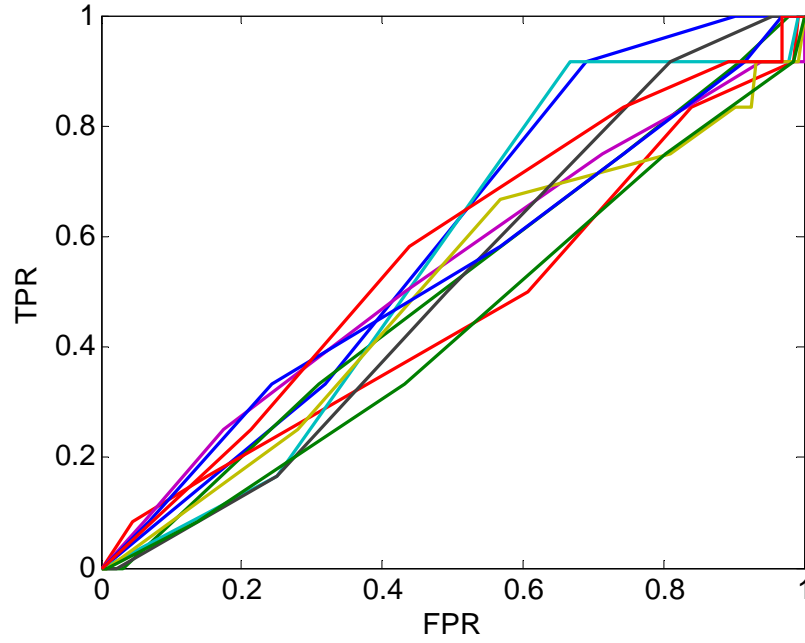
Sonuçlar daha önce belirlenen kurallar çerçevesinde değerlendirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

7.1.3.1. Standart Analiz Platformu

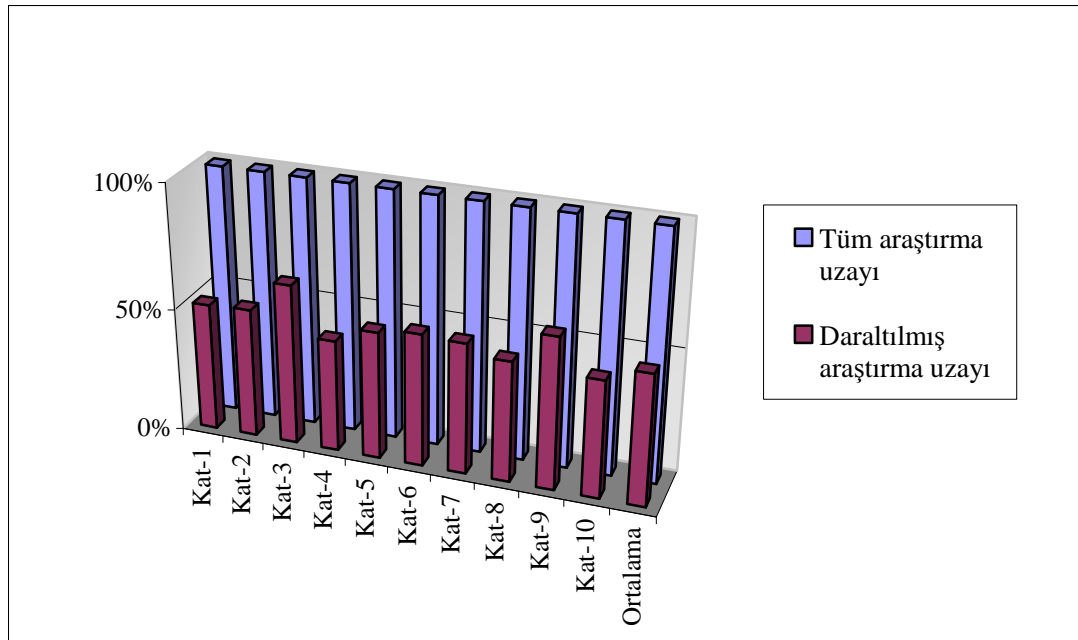
Kaşlar-gözler-burun kombinasyonuna ait özellik setlerinin elde edilmeye çalışıldığı bu yapıda 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.13'te, tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.14'te ve sistemin kullanılmasıyla daraltılmış araştırma uzayını gösteren grafik Şekil 7.15'te verilmektedir.



Şekil 7.13. Kaşlar-gözler-burun kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.14. Kaşlar-gözler-burun kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



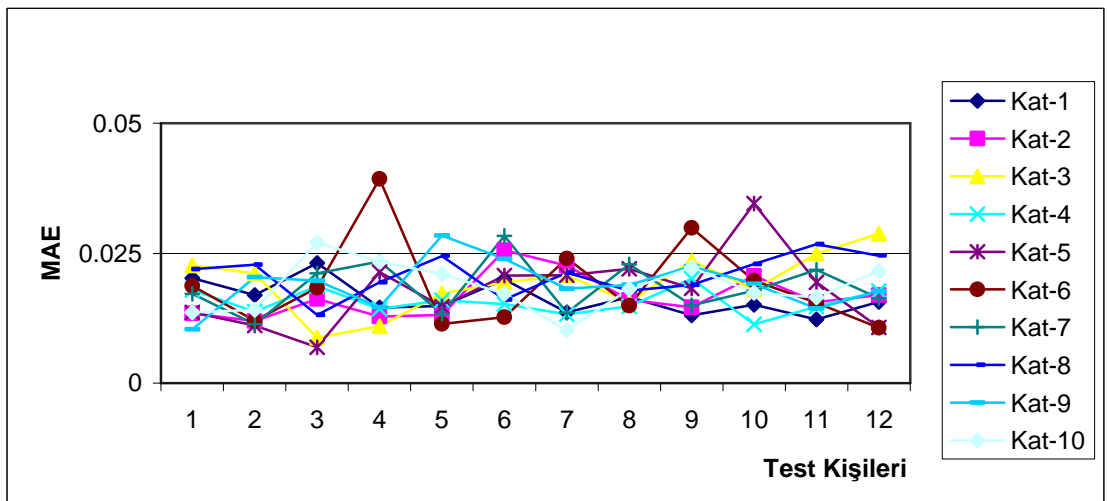
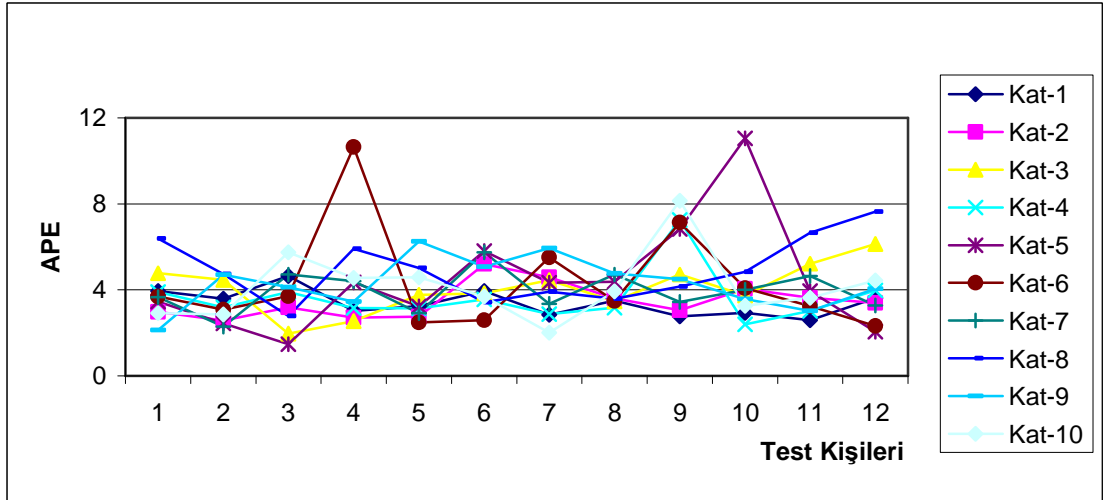
Şekil 7.15. Kaşlar-gözler-burun kombinasyonu için FF YSA yapısı kullanılarak daraltılmış araştırma uzayı.

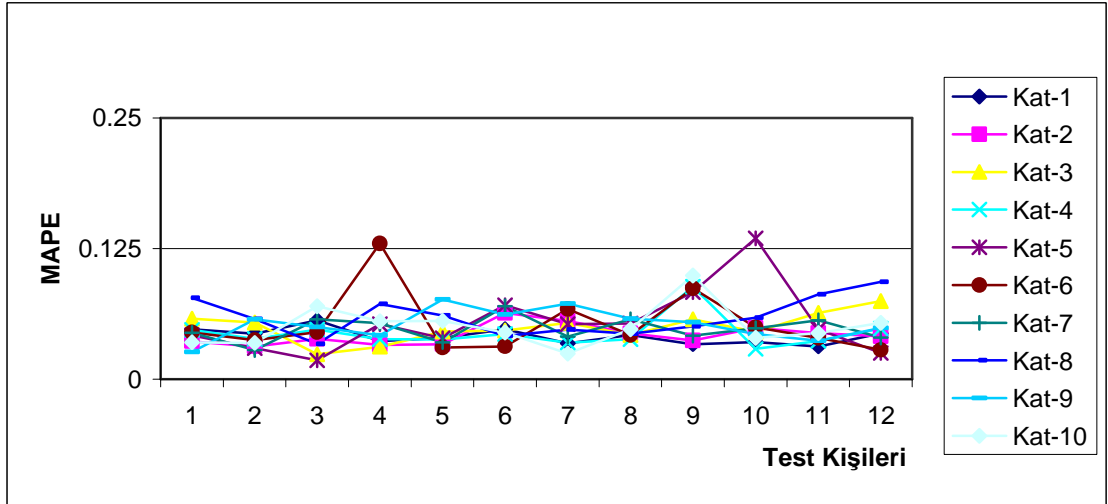
7.1.3.2. Sayısal Analiz Platformu

Parmak izlerinden kaşlar-gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.3'te; 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 7.16'da ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalaması Şekil 7.17'de verilmektedir.

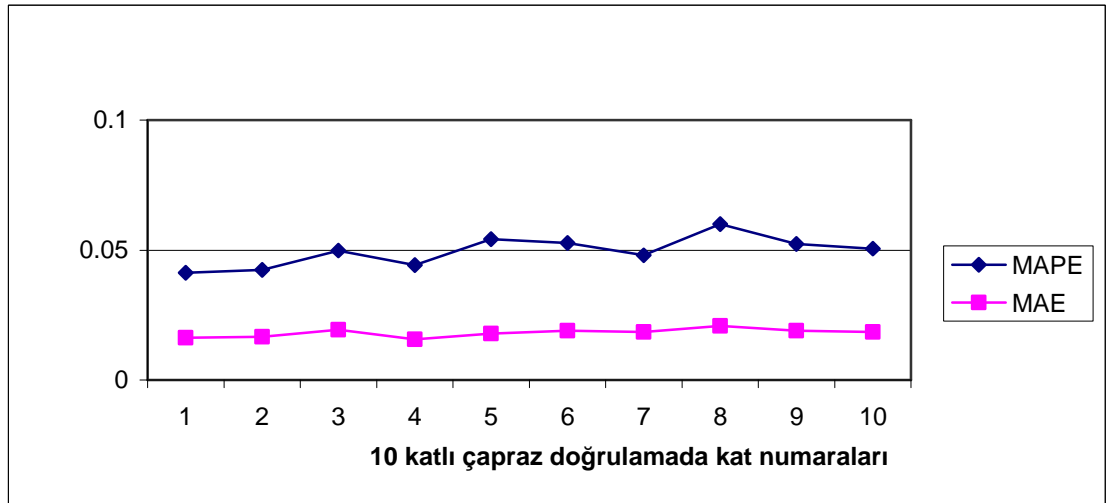
Tablo 7.3. Parmak izinden kaşlar-gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	4.91897	4.06335	3.38303
MSE	0.00069	0.00038	0.00055
SSE	0.67440	0.37620	0.53812
MAE	0.02081	0.01813	0.01562
MAPE	0.05999	0.04955	0.04126









































Şekil 7.16. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.





















Şekil 7.17. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.3.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden kaşlar-gözler-burun kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların olması gereken değerleri karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.18'de verilmiştir.

1. Kat Sonuçları:												
2. Kat Sonuçları:												
3. Kat Sonuçları:												
4. Kat Sonuçları:												
												
												
												

8. Kat Sonuçları:	7. Kat Sonuçları:		6. Kat Sonuçları:		5. Kat Sonuçları:	
						
						
						

9. Kat Sonuçları:						
						
10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 7.18. Kaşlar-gözler-burun kombinasyonu için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Sadece parmak izi bilgilerini kullanılarak kaşlar-gözler-burun kombinasyonuna ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.52780'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 87 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

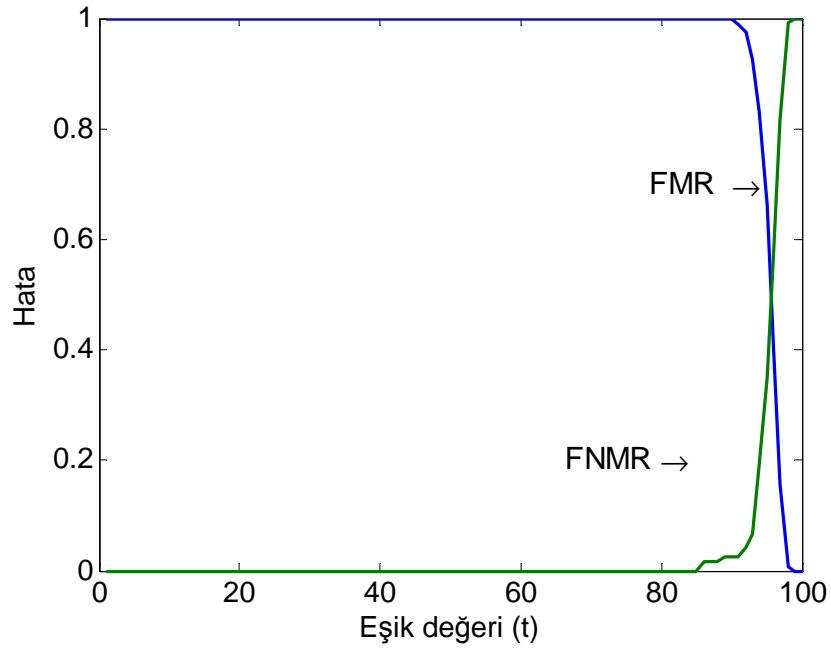
7.1.4. Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Sunulan tez çalışmasında olduğu gibi, standart ortamlarda kontrollü alınan yüz resimleri ile çalışılıyorsa gözler-burun-ağız kombinasyonu yüze ait değişmeyen özellikleri ihtiva eden ve yüz hakkında anlamlı ve önemli bilgiler taşıyan en önemli yüz parçalarıdır. Yüze ait iç özelliklerin başka bir deyişle yüzün iç şeklinin ortaya konulduğu bu kombinasyon ve sonuçları bu alt bölümde işlenmiştir. Parmak izi ile gözler-burun-ağız kombinasyonu arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait özellik setlerinin toplamı da sistem

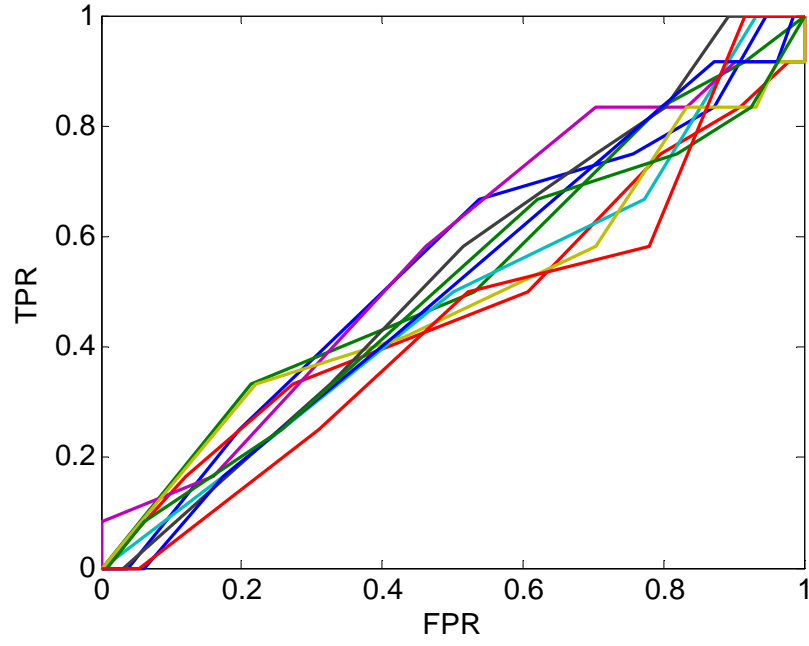
çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile bu kombinasyon arasındaki ilişkinin modellenmesinde 300 girişli 76 çıkışlı bir FF YSA yapısı kullanılmıştır. Sonuçlar önceki yapılara benzer şekilde değerlendirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

7.1.4.1. Standart Analiz Platformu

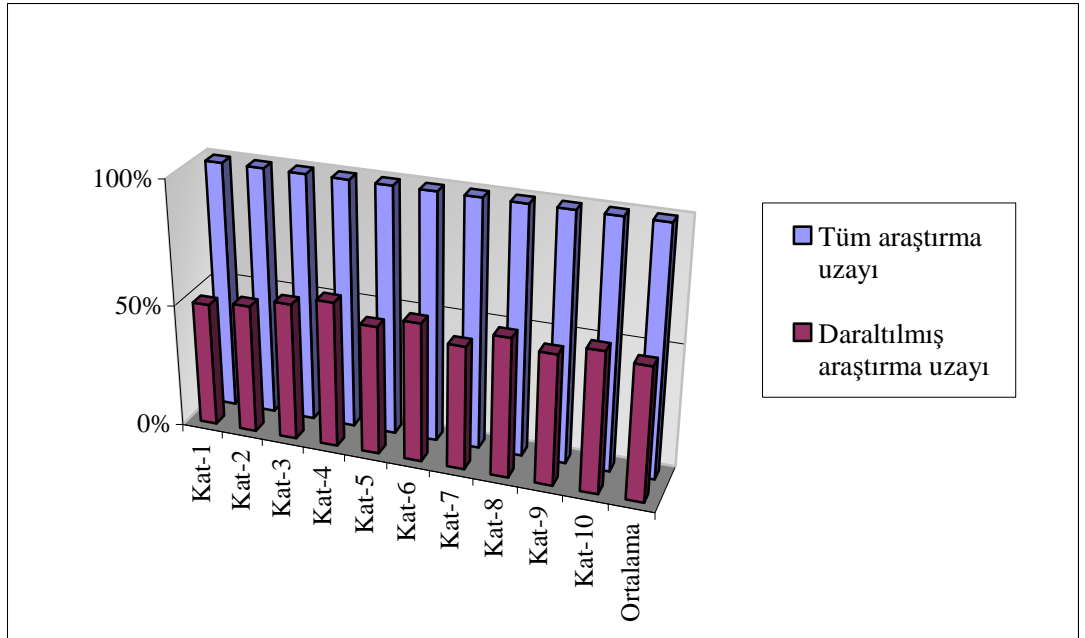
Parmak izlerinden gözler-burun-ağız kombinasyonunun elde edilmeye çalışıldığı 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.19'da ve tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.20'de verilmektedir. Gözler-burun-ağız kombinasyonu için sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayı ise Şekil 7.21'de görülmektedir.



Şekil 7.19. Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.20. Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



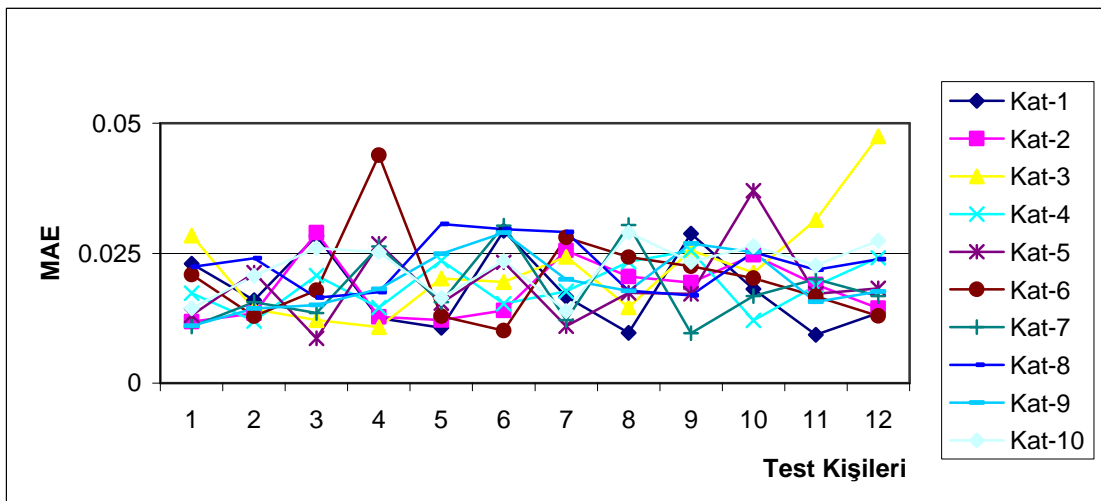
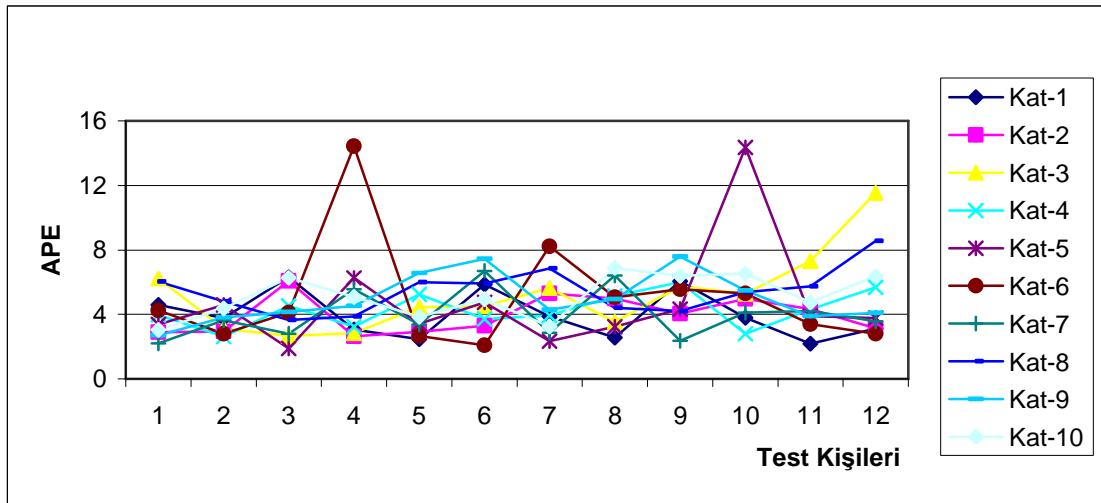
Şekil 7.21. Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ait sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayı.

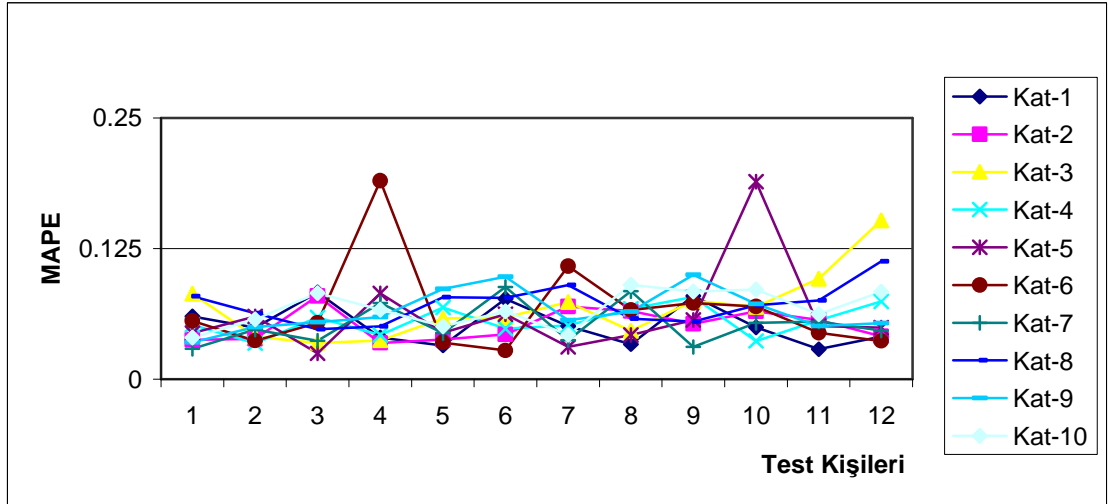
7.1.4.2. Sayısal Analiz Platformu

Parmak izlerinden gözler-burun-ağız kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.4'te; 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri ve ortalama MAPE ve MAE değerleri sırasıyla Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'te verilmektedir.

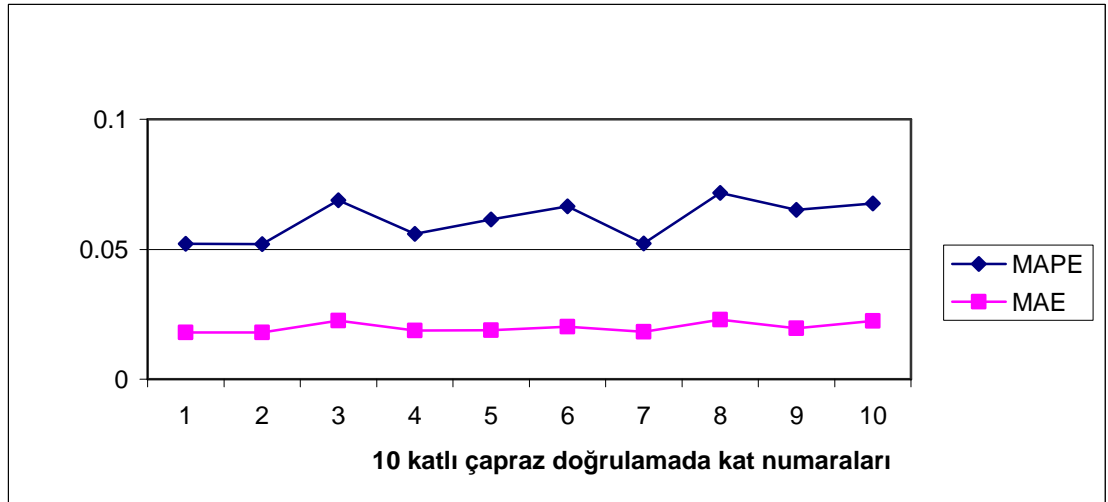
Tablo 7.4. Parmak izinden gözler-burun-ağız kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	5.44755	4.66573	3.95484
MSE	0.00086	0.00050	0.00064
SSE	0.78660	0.45800	0.58511
MAE	0.02290	0.01993	0.01796
MAPE	0.07168	0.06139	0.05204





















































Şekil 7.22. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.



























Şekil 7.23. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.4.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden gözler-burun-ağız kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu kombinasyona ait olması gereken sonuçlar karşılaştırılarak çizilmiştir ve Şekil 7.24'te verilmiştir.

4. Kat Sonuçları:		3. Kat Sonuçları:		2. Kat Sonuçları:		1. Kat Sonuçları:	
							
							
							
							
							
							

9. Kat Sonuçları:						
						
10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 7.24. Gözler-burun-ağız kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Gözler-burun-ağız kombinasyonuna ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.54100'üne düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 81 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

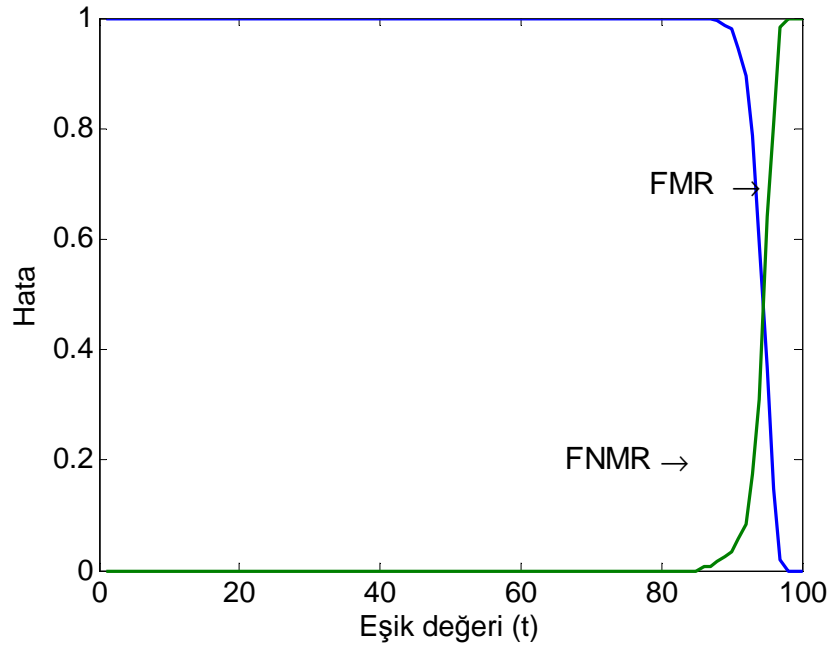
7.1.5. Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Kaşlar Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Bu alt bölümde, standart ortamlarda kontrollü alınan yüz resimleri ile çalışıldığında yüze ait değişmeyen iç parçalar olarak özetlenebilen gözler-burun-ağız kombinasyonuna kaş yapısının da eklenerek yüze ait tüm iç özellikleri kapsayan başka bir deyişle yüzün tam iç şeklini ifade eden bir kombinasyon oluşturulmaya çalışılmıştır. Parmak izi ile gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonu arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna ait özellik setlerinin toplamı da sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile bu kombinasyon

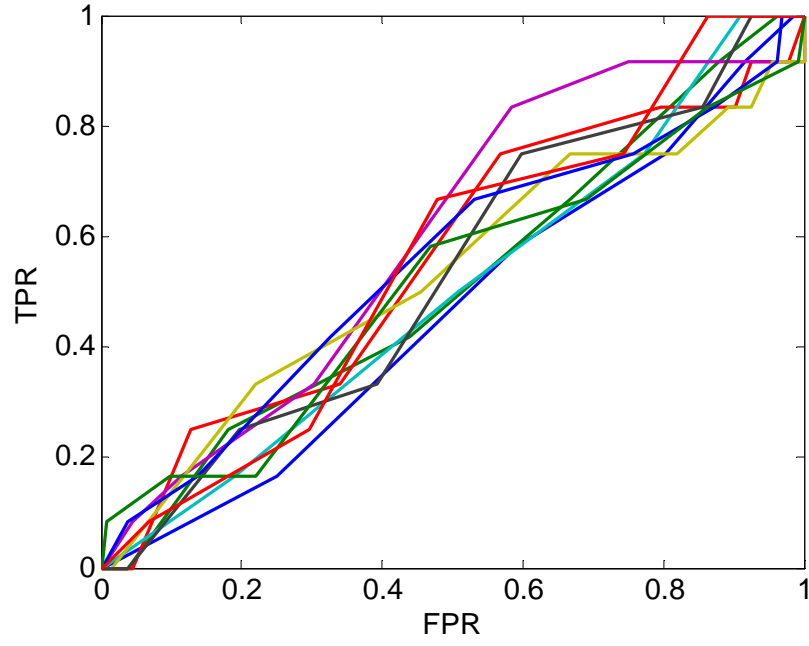
arasındaki ilişkinin modellenmesinde 300 girişli 104 çıkışlı bir yapı kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilip aşağıda sunulmuştur.

7.1.5.1. Standart Analiz Platformu

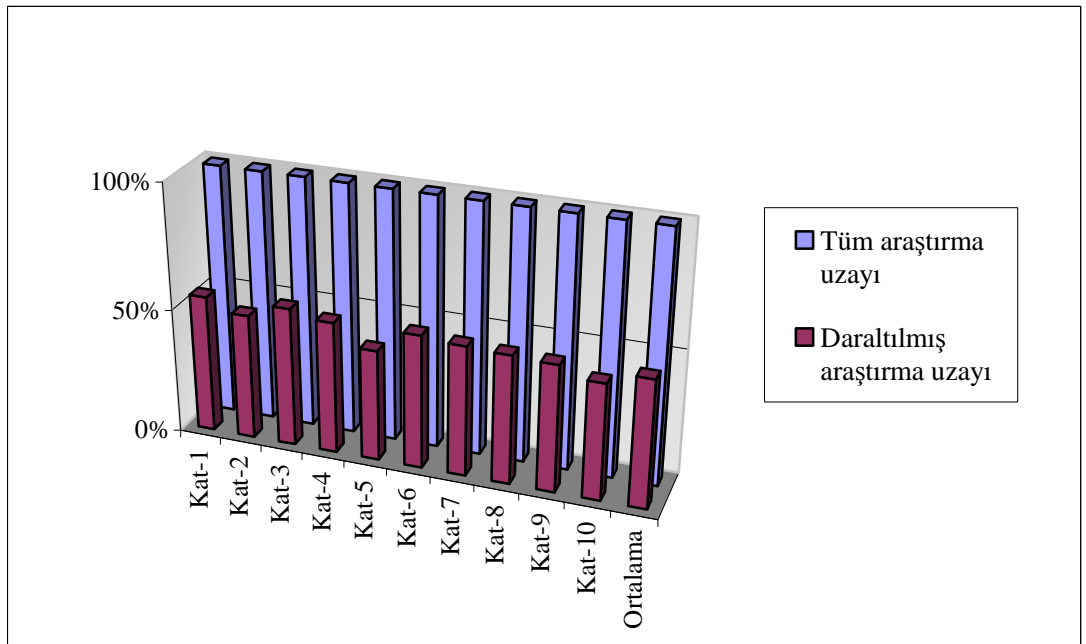
Parmaki izinden gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna ulaşmaya alışan FF YSA yapısı için gerçekleştirilen 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her bir katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.25'te, tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.26'da ve FF YSA tarafından daraltılmış araştırma uzayı Şekil 7.27'de verilmektedir.



Şekil 7.25. Gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.26. Gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



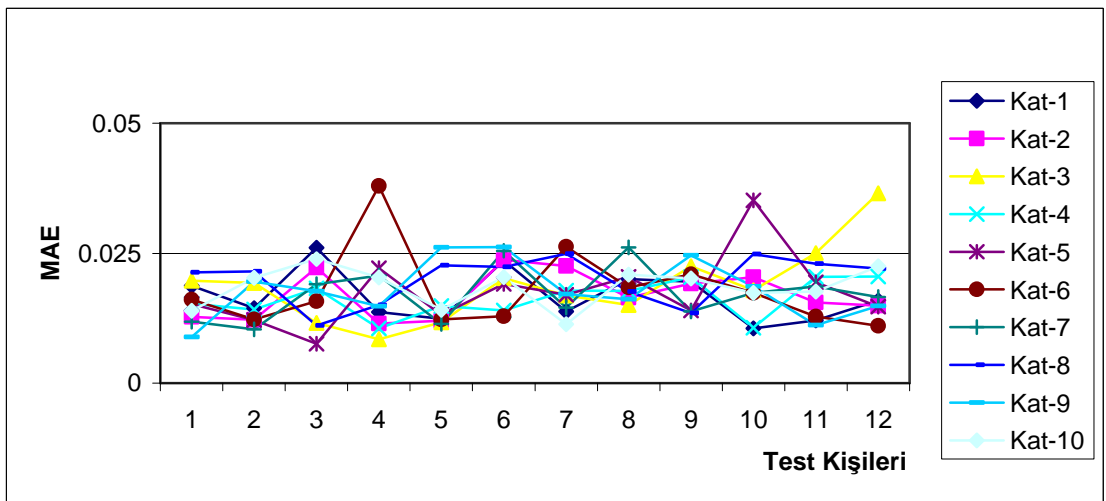
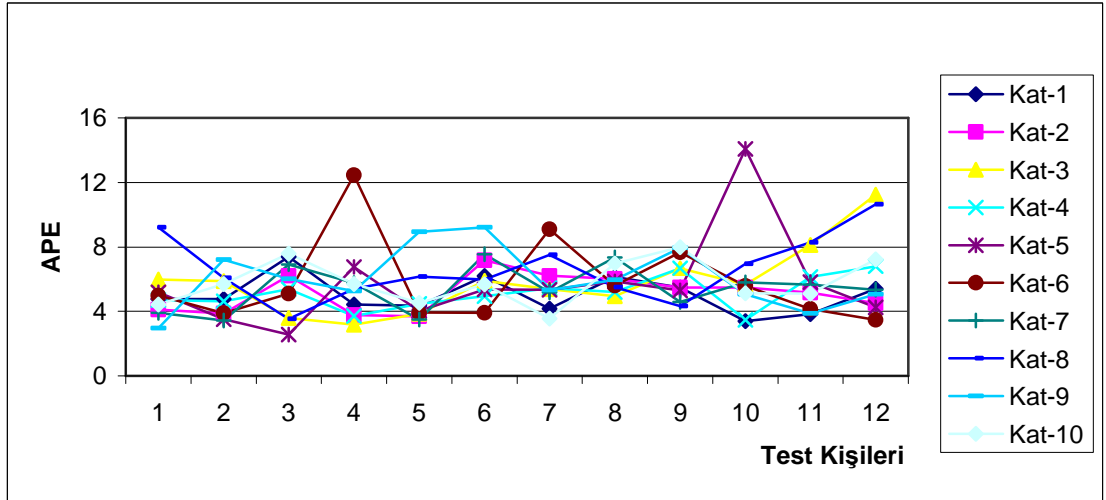
Şekil 7.27. FF YSA tarafından daraltılmış araştırma uzayı.

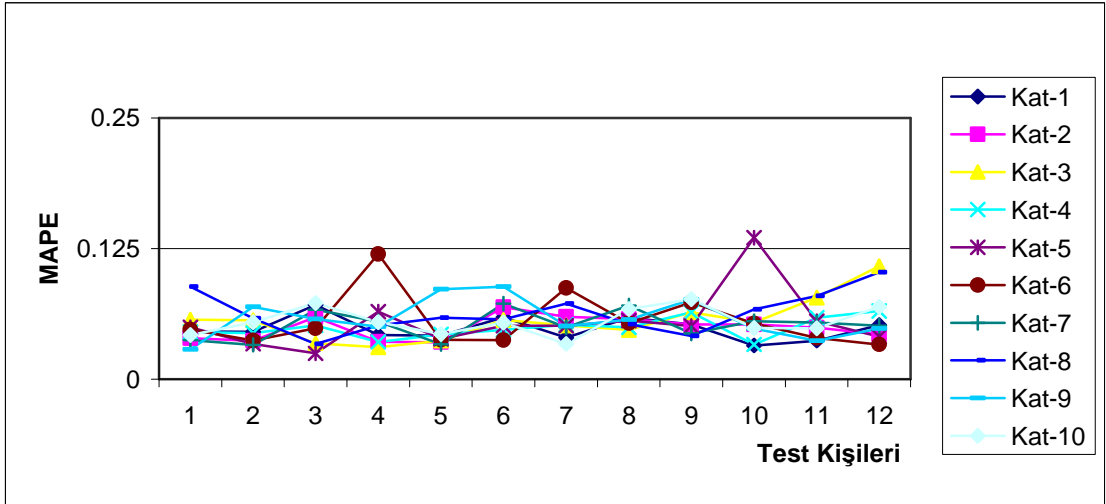
7.1.5.2. Sayısal Analiz Platformu

Parmak izlerinden gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.5'te; 10 katlı çapraz doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 7.28'de ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalaması Şekil 7.29'da verilmektedir.

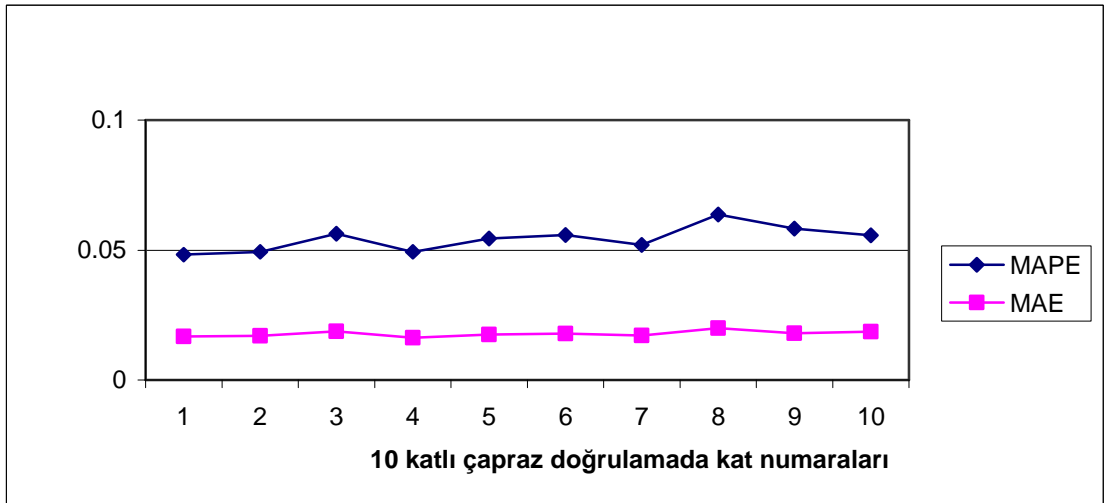
Tablo 7.5. Parmak izinden gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	6.62817	5.65140	5.01978
MSE	0.00063	0.00040	0.00053
SSE	0.79190	0.50430	0.65519
MAE	0.01996	0.01774	0.01619
MAPE	0.06373	0.05434	0.04827















































Şekil 7.28. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.






Şekil 7.29. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.5.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar, bu kombinasyona ait olması gereken sonuçlarla karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.30'da verilmiştir.

4. Kat Sonuçları:	3. Kat Sonuçları:		2. Kat Sonuçları:		1. Kat Sonuçları:	
 	 	 	 	 	 	 
 	 	 	 	 	 	 
 	 	 	 	 	 	 

5. Kat Sonuçları:	6. Kat Sonuçları:	7. Kat Sonuçları:	8. Kat Sonuçları:

9. Kat Sonuçları:						
						
10. Kat Sonuçları:						
						

Şekil 7.30. Gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Parmak izi bilgilerinden gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonunu elde etmeye çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.51180'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 76 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

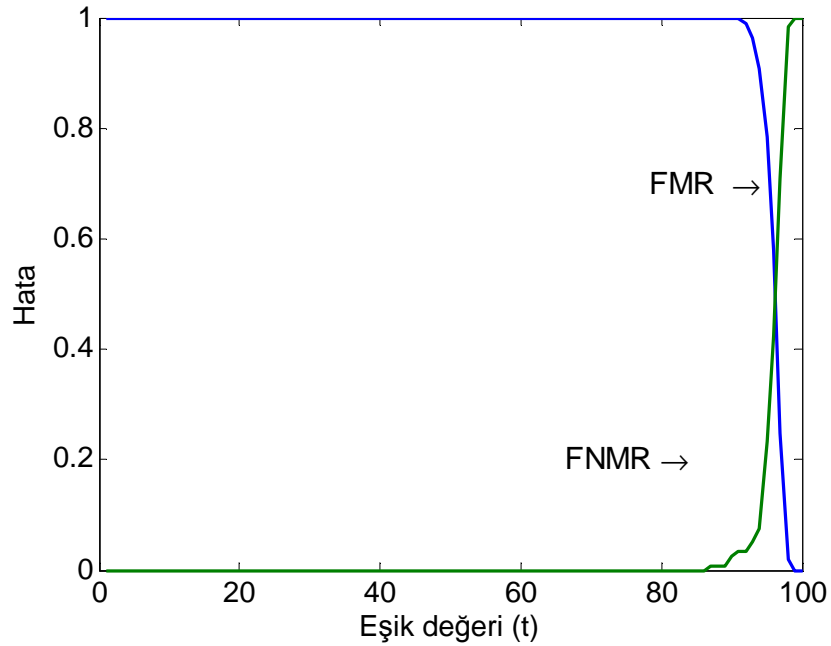
7.1.6. Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Yüz çevresi Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Standart ortamlarda kontrollü alınan yüz resimleri ile çalışıldığında yüze ait değişmeyen iç parçalara ek olarak yüz çevresinin de hesaba katılması halinde sistem performansı ve doğruluğu nasıl olur? sorusuna cevap arandığı bu alt bölümde yüze ait değişmeyen iç özellikler olan gözler-burun-ağız kombinasyonuna yüz çevresi de eklenerek yüze ait değişmeyen iç ve dış özelliklerin bir kombinasyonu oluşturulmuştur. Parmak izi ile

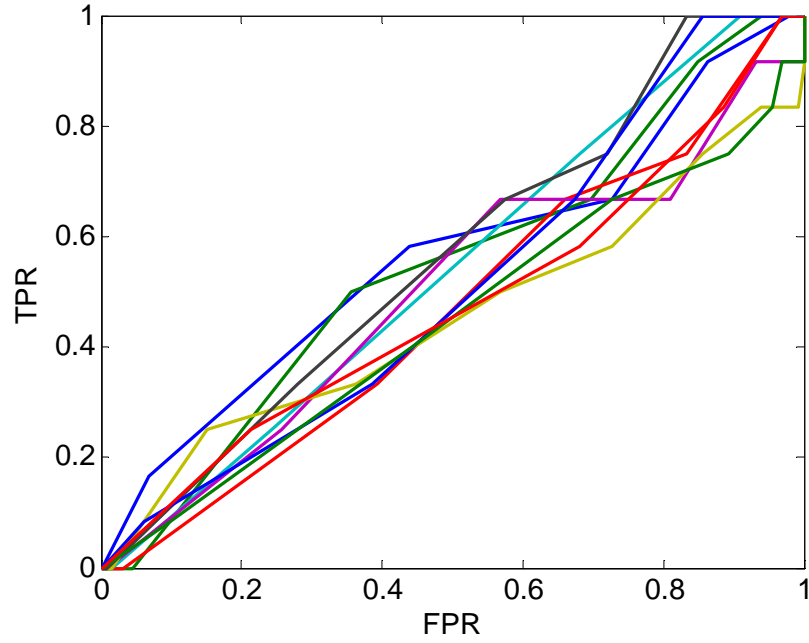
gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonu arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, ilgili kombinasyona ait özellik setlerinin toplamı da sistem çıkışı ifade etmektedir. Parmak izi ile bu kombinasyon arasındaki ilişkinin modellenmesi için gerçekleştirilen FF YSA yapısının sonuçları daha öncekilere benzer şekilde 3 farklı platformda değerlendirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

7.1.6.1. Standart Analiz Platformu

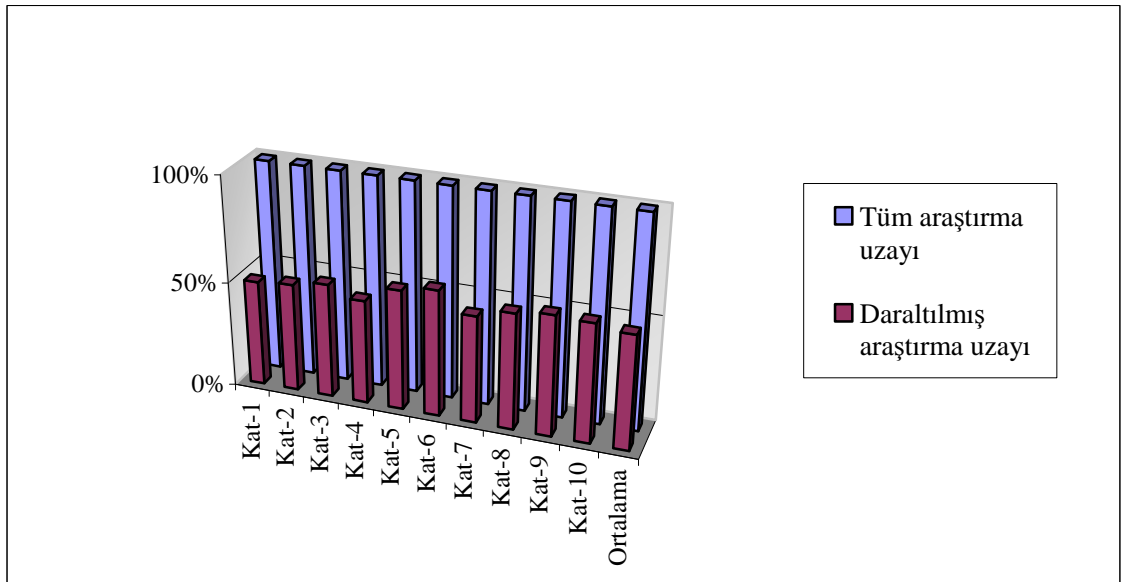
Sistem sonuçlarının 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde değerlendirilmesinde her katta elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.31'de, tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.32'de ve sistem tarafından daraltılan araştırma uzayı Şekil 7.33'te verilmektedir.



Şekil 7.31. Gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.32. Gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



Şekil 7.33. Sistem tarafından daraltılan araştırma uzayı.

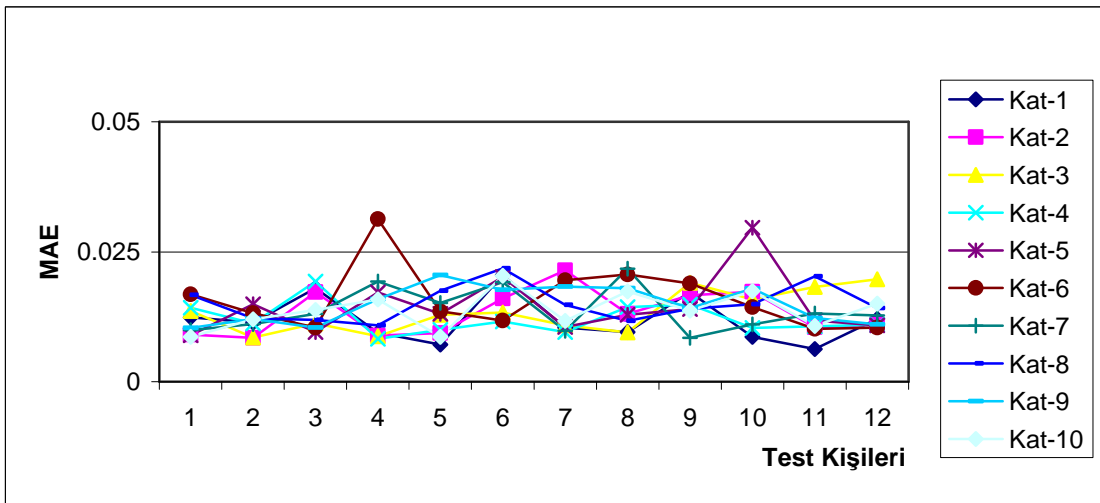
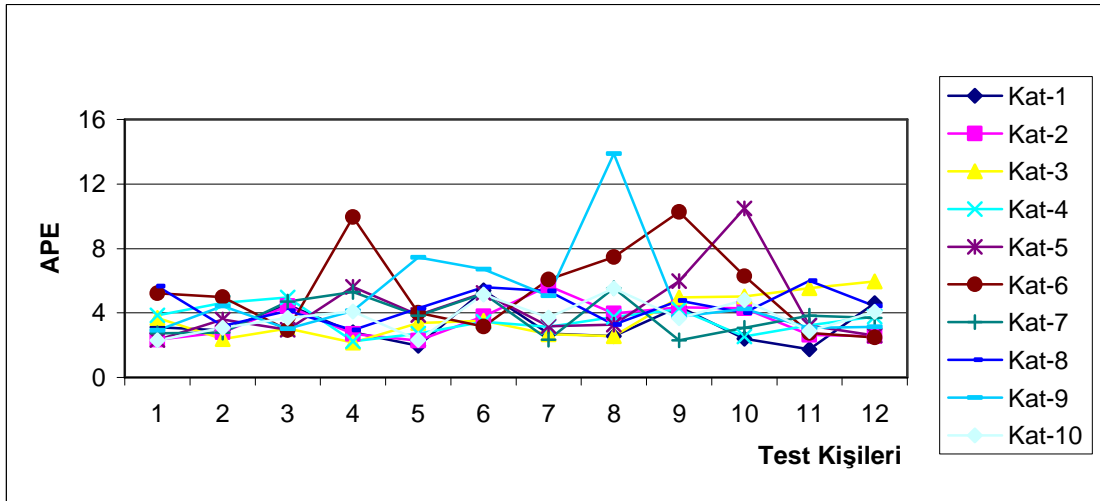
7.1.6.2. Sayısal Analiz Platformu

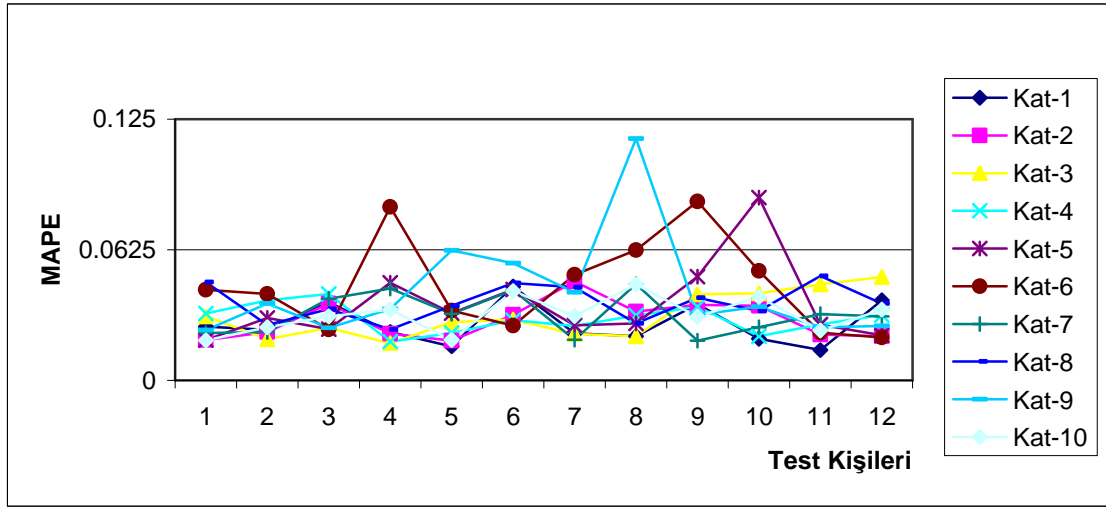
Parmak izlerinden gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.6'da; 10 katlı çapraz doğrulama

değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 7.34'te ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalaması Şekil 7.35'te verilmektedir.

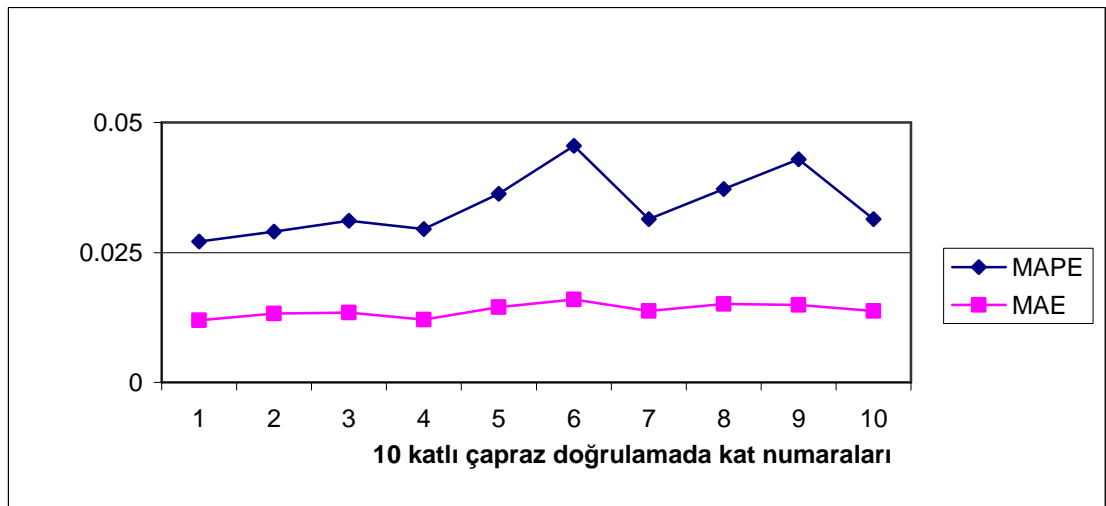
Tablo 7.6. Parmak izinden gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	5.46357	4.09828	3.25353
MSE	0.00049	0.00025	0.00035
SSE	0.70010	0.36350	0.50070
MAE	0.01590	0.01383	0.01190
MAPE	0.04553	0.03415	0.02711





















































Şekil 7.34. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.



Şekil 7.35. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.6.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için 10 katlı çapraz doğrulama tekniğine ait tüm katlarda elde edilen çıkışlar ve bu kombinasyona ait olması gereken çıkışlar karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.36'da verilmiştir.

5. Kat Sonuçları:						
						
6. Kat Sonuçları:						
						
7. Kat Sonuçları:						
						
8. Kat Sonuçları:						
						



Şekil 7.36. Gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Yalnızca parmak izlerini kullanılarak gözler-burun-ağız-yüz çevresi kombinasyonuna ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.54030'una düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 85 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

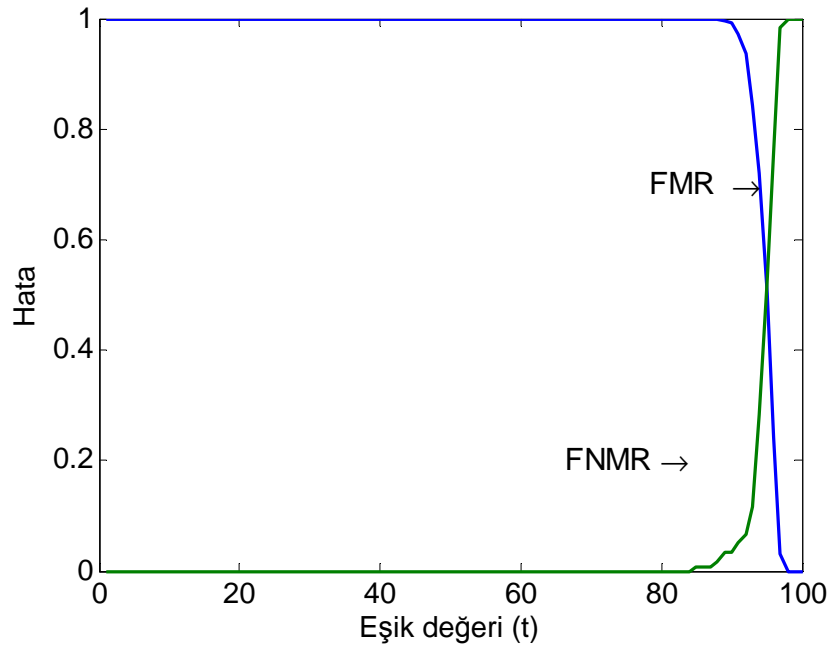
7.1.7. Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Kaşlar-Yüz çevresi Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Bu alt bölümde, daha önce çalışılan yapılara göre daha karmaşık bir kombinasyon oluşturularak, sistemin bu karmaşık kombinasyon karşısında sergileyeceği davranış ve başarısının nasıl değişeceği durumu incelenmeye çalışılmıştır. Yüze ait iç parçalar olan gözler-burun-ağız-kaşlar kombinasyonuna yüz çevresi de eklenerek yüze ait tüm iç özellikler ve yüzün sınır bilgisini ihtiva eden yüz çevresinin bir kombinasyonu oluşturulmuş, elde edilen sonuçlara göre sistem başarısı değerlendirilmiş ve aşağıda

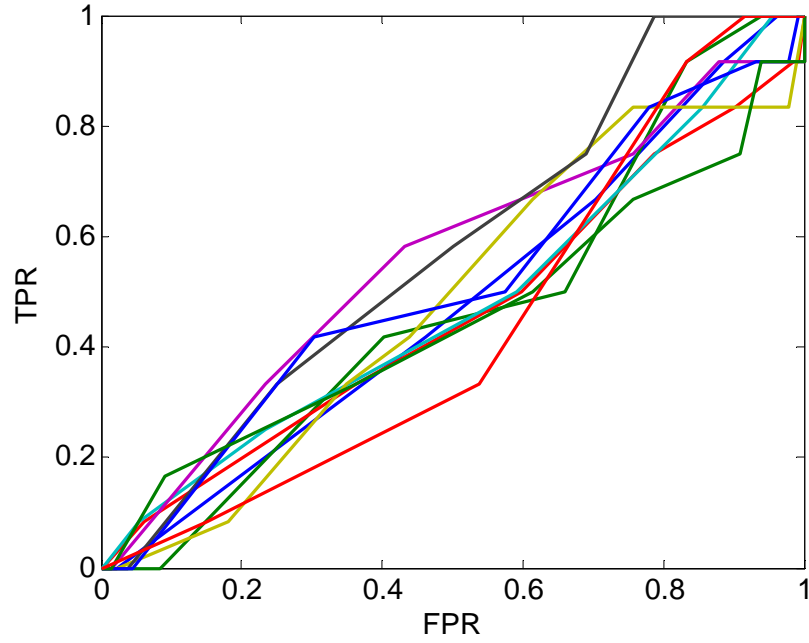
sunulmuştur. Parmak izi ile gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonu arasındaki ilişkinin analizinde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, ilgili kombinasyona ait özellik setlerinin toplamı da sistem çıkışını ifade etmektedir. Daha önceki yapılara özdeş 300 girişli 148 çıkışlı bir FF YSA yapısı kullanılarak elde edilen sonuçlar önceki yapılarınkine benzer şekilde analiz edilmiştir.

7.1.7.1. Standart Analiz Platformu

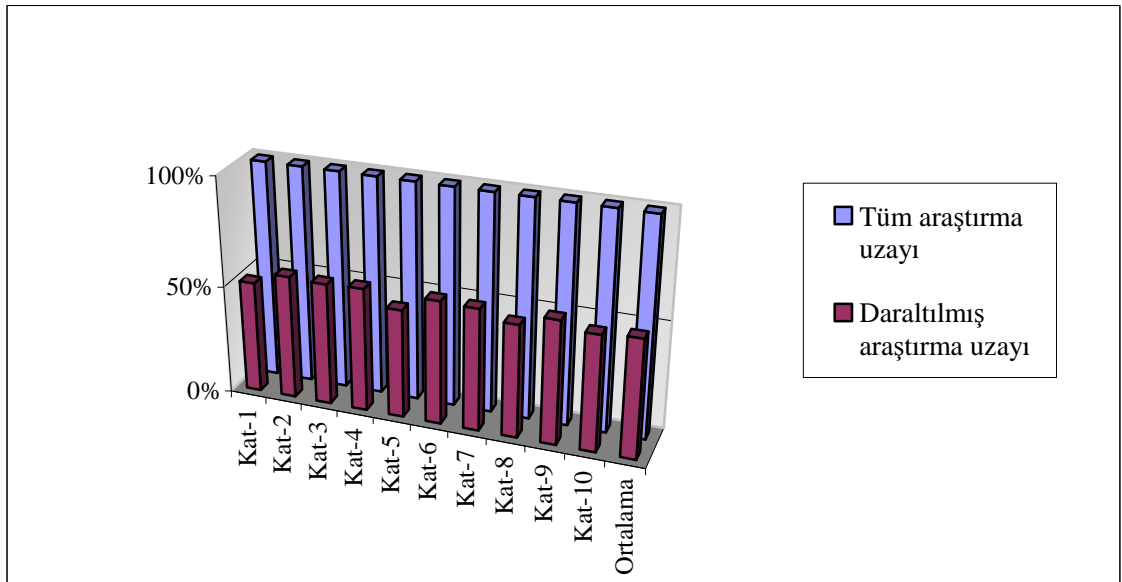
İlgili kombinasyon için sistem 10 katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Her katta elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği Şekil 7.37’de, tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği Şekil 7.38’de ve bu kombinasyon için gerçekleştirilen FF YSA yapısı tarafından daraltılmış araştırma uzayı Şekil 7.39’da verilmektedir.



Şekil 7.37. Gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.38. Gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonuna ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



Şekil 7.39. FF YSA yapısı tarafından daraltılmış araştırma uzayı.

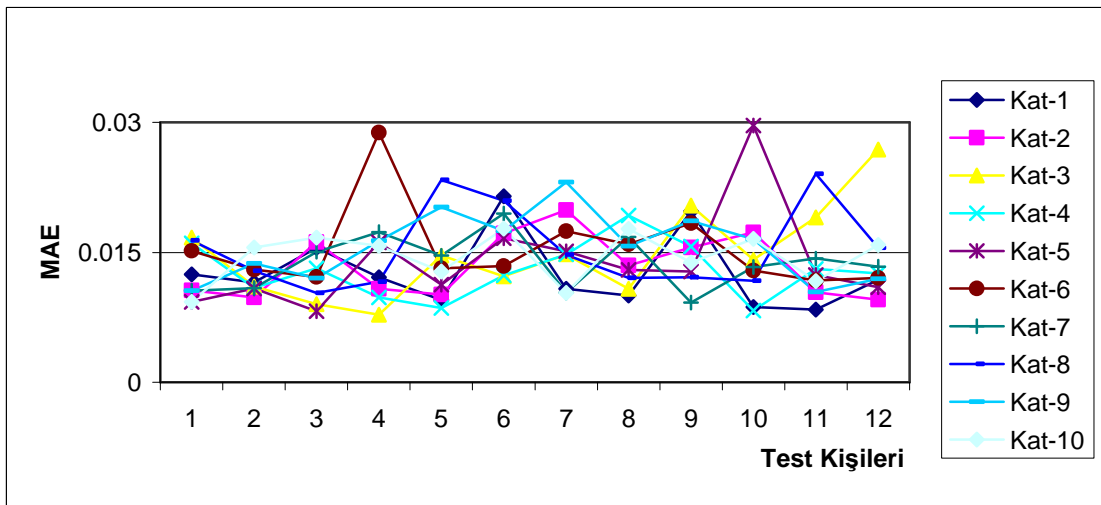
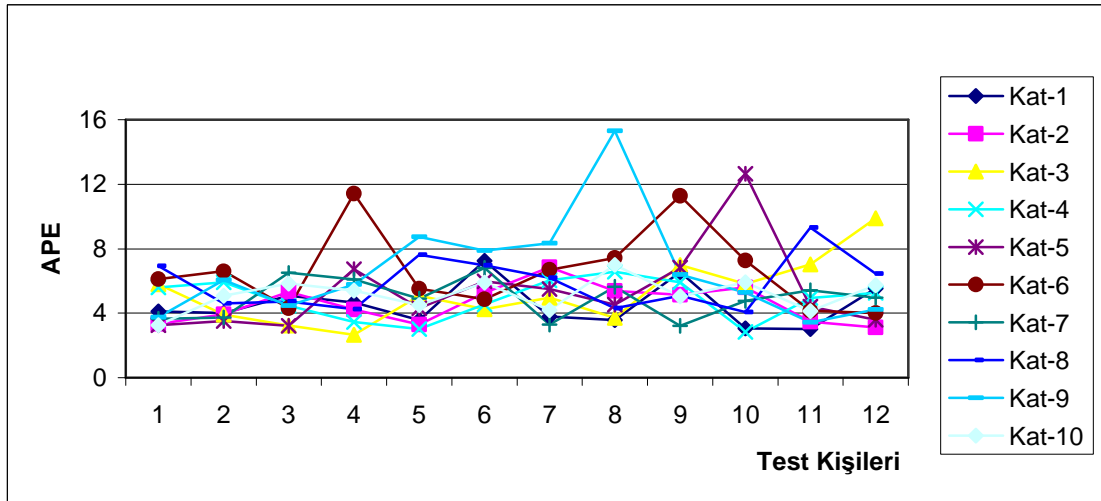
7.1.7.2. Sayısal Analiz Platformu

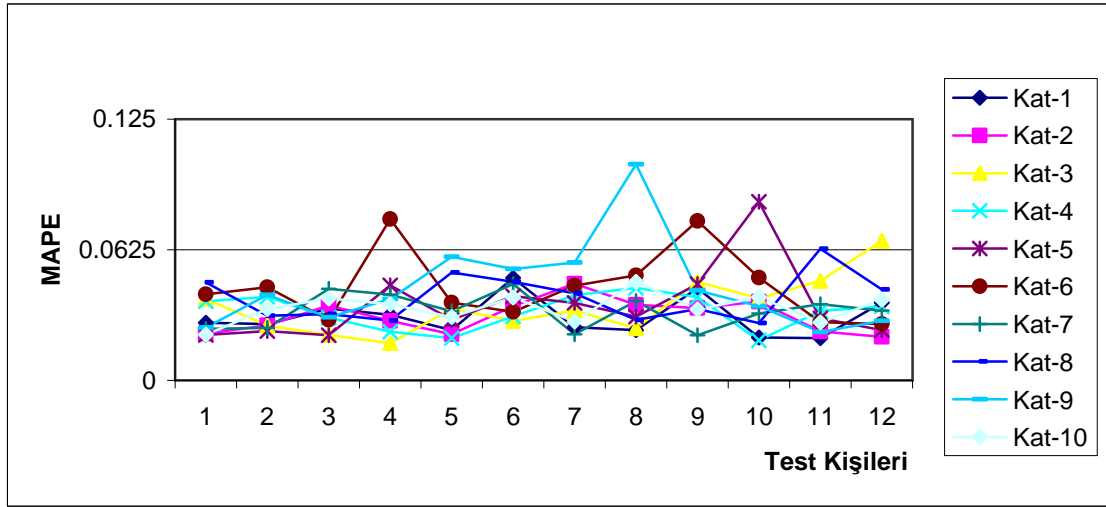
Parmak izlerinden gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.7'de; 10 katlı çapraz

doğrulama değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri ve MAPE ve MAE değerlerin ortalaması ise sırasıyla Şekil 7.40 ve Şekil 7.41'de verilmektedir.

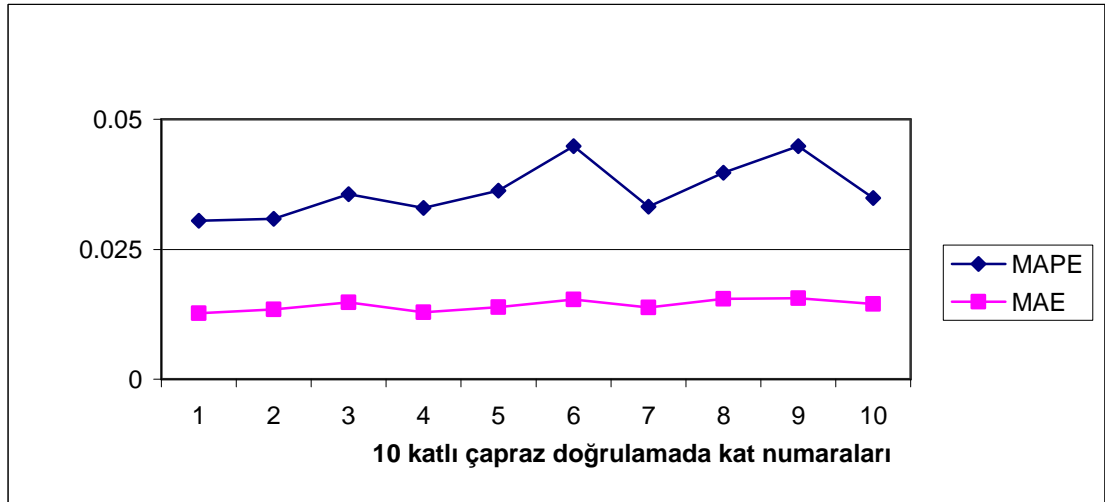
Tablo 7.7. Parmak izinden gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	6.63902	5.38282	4.51242
MSE	0.00044	0.00028	0.00036
SSE	0.78500	0.48950	0.63807
MAE	0.01556	0.01421	0.01266
MAPE	0.04486	0.03637	0.03049





















































Şekil 7.40. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.















































Şekil 7.41. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.7.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonunu elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu kombinasyona ait olması gereken sonuçlar karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.42'de verilmiştir.

1. Kat Sonuçları:						
						
2. Kat Sonuçları:						
						
3. Kat Sonuçları:						
						
4. Kat Sonuçları:						
						

5. Kat Sonuçları:						
						
6. Kat Sonuçları:						
						
7. Kat Sonuçları:						
						
8. Kat Sonuçları:						
						



Şekil 7.42. Gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi kombinasyonu için YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Sadece parmak izi bilgilerinden gözler-burun-ağız-kaşlar-yüz çevresi gibi karmaşık bir kombinasyona ulaşmaya çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.55280'ine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 77 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

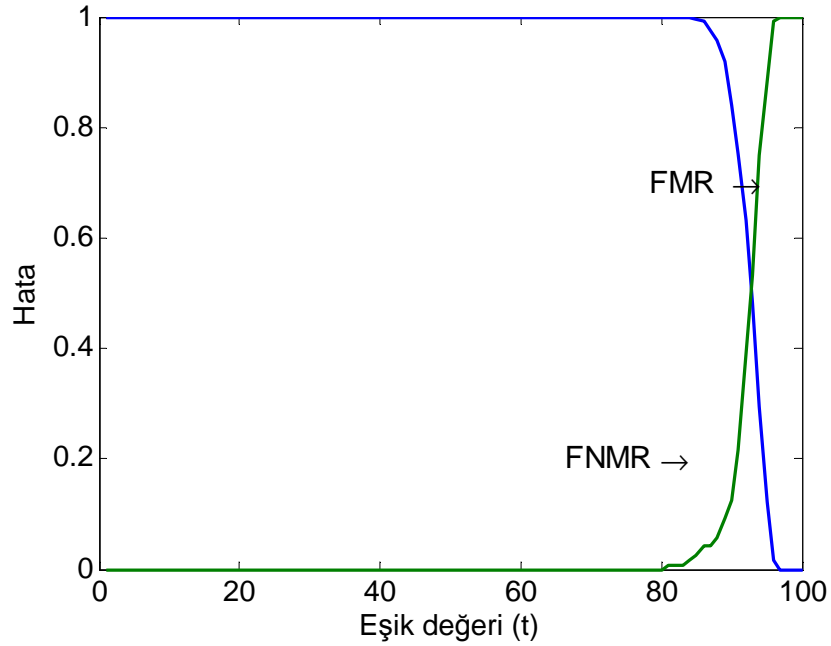
7.1.8. Parmak izi ile Gözler-Burun-Ağız-Kaşlar-Yüz çevresi-Kulaklar (Tüm Yüz) Kombinasyonu Arasındaki İlişkinin Analizi

Yüze ait tüm parçalarla parmak izleri arasındaki ilişkinin analiz edildiği bu alt bölümde ise sadece parmak izleri kullanılarak tüm yüzün elde edilmesindeki sistem performansı ve doğruluğu analiz edilecektir. Yüze ait en karmaşık kombinasyon olan tüm yüz parçalarının elde edilmeye çalışıldığı bu bölümde parmak izlerine ait özellik setleri sistem girişini, tüm yüze ait özellik setleri de sistem çıkışını ifade etmektedir. Parmak izi ile bu kombinasyon arasındaki ilişkinin modellenmesinde önceki çalışmalarla özdeş

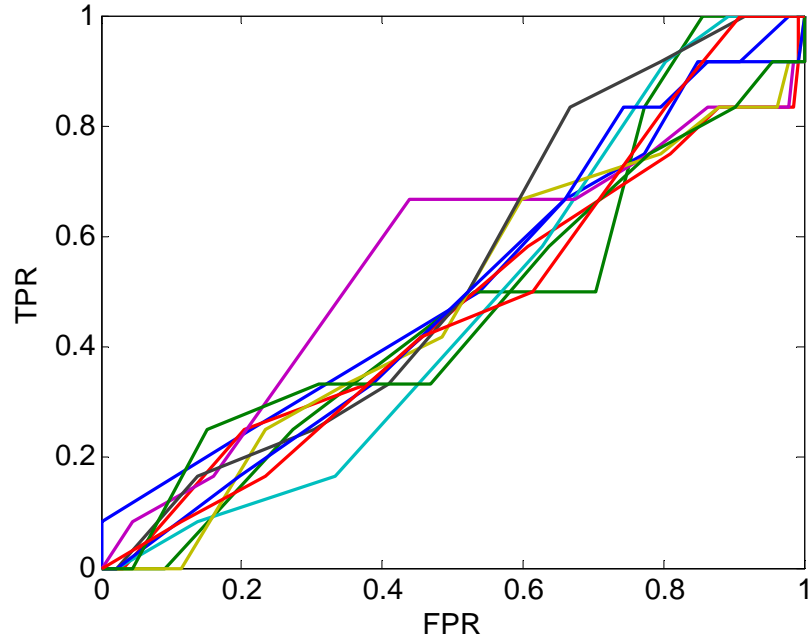
olan 300 girişli 176 çıkışlı bir FF YSA yapısı kullanılmıştır. Sonuçlar yine öncekilere benzer şekilde 3 farklı platformda değerlendirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

7.1.8.1. Standart Analiz Platformu

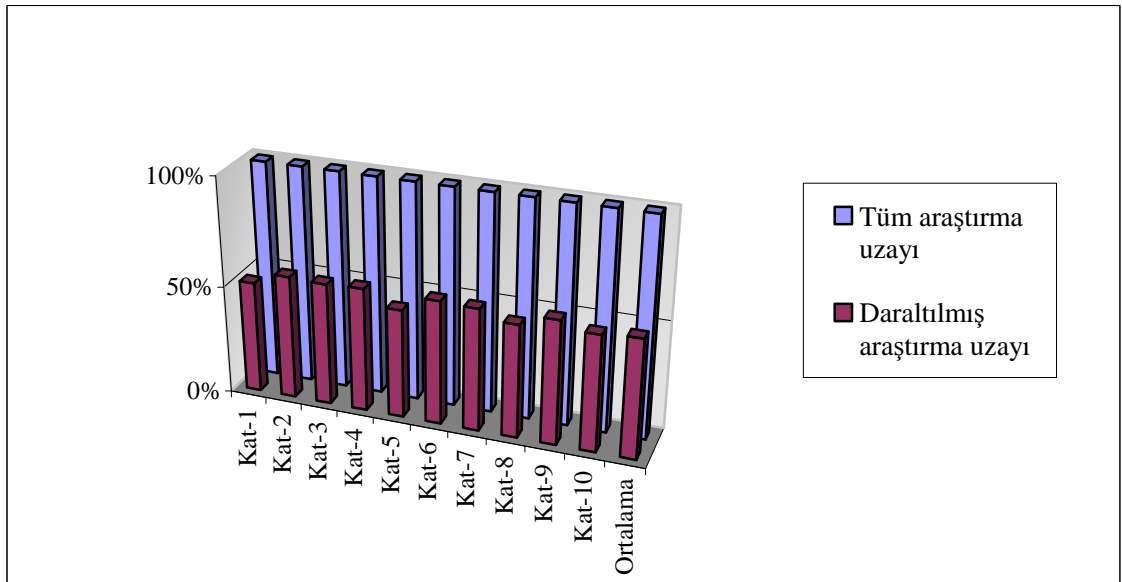
Parmak izlerinden tüm yüzün elde edilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen sistem için 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinin her katında elde edilen sonuçların ortalaması alınarak çizilmiş FMR(t) & FNMR(t) grafiği şekil 7.43'te ve tüm katlara ait ROC eğrilerinin ayrı ayrı tek grafik üzerinde çizildiği ROC eğrileri grafiği şekil 7.44'te verilmektedir. Yapının araştırma uzayını daraltma konusundaki performansı ise şekil 7.45'te gösterilmiştir.



şekil 7.43. Yüzün tüm parçalarını içeren kombinasyona ait sonuçların FMR(t) & FNMR(t) grafiği.



Şekil 7.44. Yüzün tüm parçalarını içeren kombinasyona ait sonuçların ROC eğrileri grafiği.



Şekil 7.45. Tüm yüzün elde edilmesine yönelik sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayı.

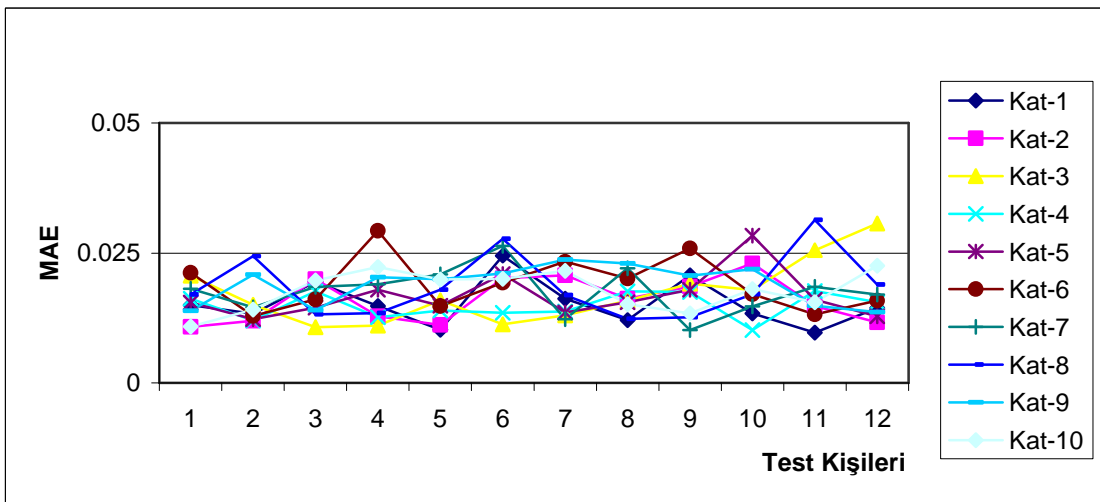
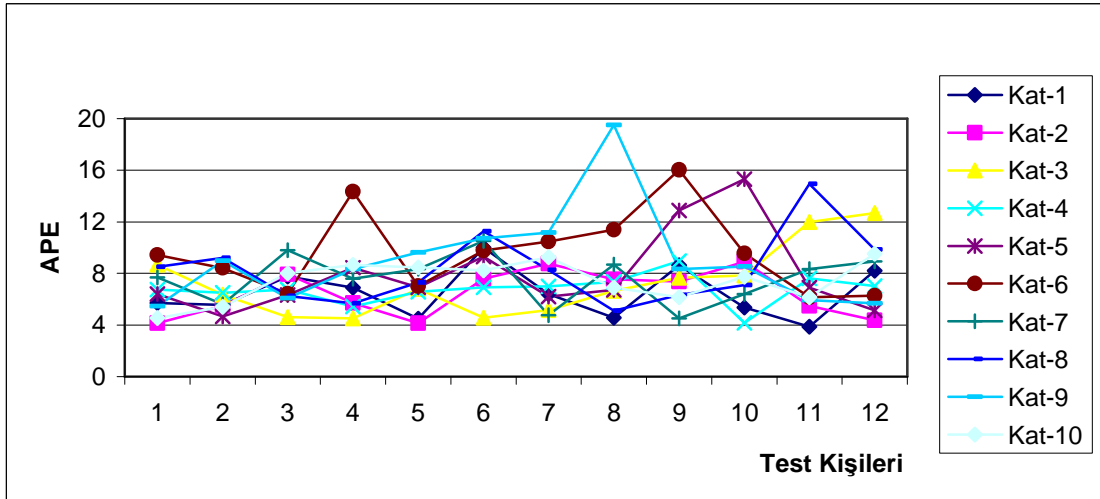
7.1.8.2. Sayısal Analiz Platformu

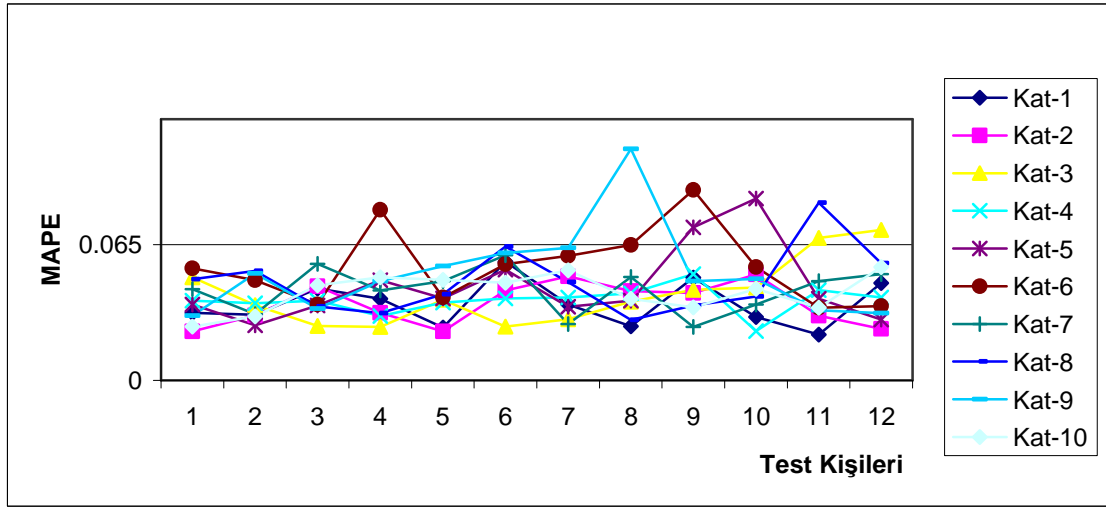
Parmak izlerinden tüm yüzün elde edilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen FF YSA yapısı için sayısal analiz sonuçları Tablo 7.8'de; 10 katlı çapraz doğrulama

değerlendirmesinde her kat sonucuna ait APE, MAE ve MAPE değerleri Şekil 7.46'da ve MAPE ve MAE değerlerinin ortalaması ise Şekil 7.47'de verilmektedir.

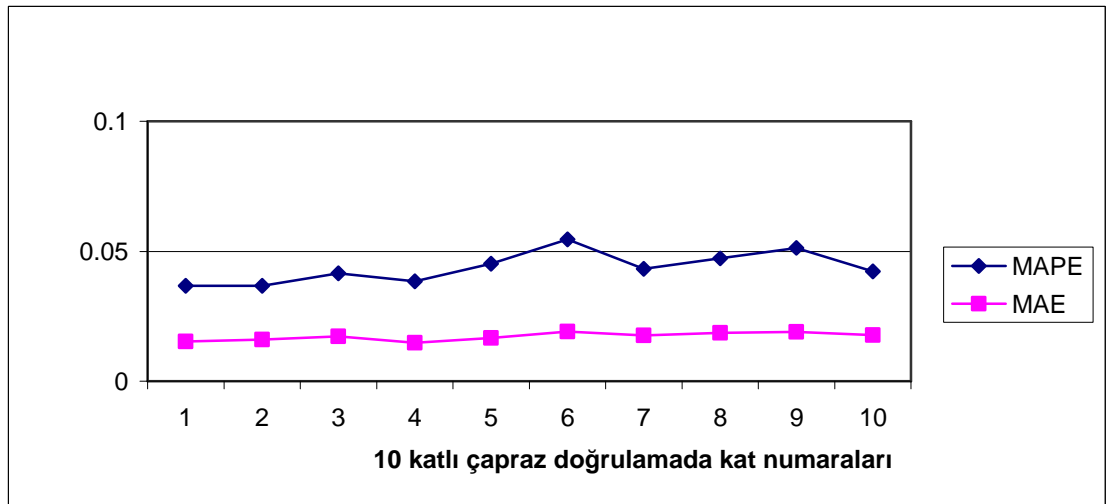
Tablo 7.8. Parmak izinden tüm yüzü elde etmeye çalışan FF YSA için sayısal analiz sonuç tablosu.

	Maksimum	Ortalama	Minimum
APE	9.60953	7.68515	6.44791
MSE	0.00067	0.00038	0.00053
SSE	1.40740	0.79380	1.12700
MAE	0.01905	0.01718	0.01482
MAPE	0.05460	0.04367	0.03664





















































Şekil 7.46. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde her kat için APE, MAE ve MAPE değerleri.



















































Şekil 7.47. 10 katlı çapraz doğrulama tekniğinde katlara ait ortalama MAPE ve MAE değerleri.

7.1.8.3. Görsel Analiz Platformu

Parmak izinden tüm yüzü elde etmeye çalışan FF YSA yapısı için her katta elde edilen sonuçlar ve bu kombinasyona ait olması gereken sonuçlar karşılaştırılarak çizilmiş ve Şekil 7.48'de verilmiştir.

1. Kat Sonuçları:						
						
2. Kat Sonuçları:						
						
3. Kat Sonuçları:						
						
4. Kat Sonuçları:						
						

5. Kat Sonuçları:						
						
6. Kat Sonuçları:						
						
7. Kat Sonuçları:						
						
8. Kat Sonuçları:						
						



Şekil 7.48. Tüm yüz için FF YSA sonuçları ve olması gereken sonuçlar.

Yalnızca parmak izleri kullanılarak tüm yüzü elde etmeye çalışan sistemin sonuçları incelendiğinde, araştırma uzayını ortalama 0.54720'sine düşürdüğü, sayısal metrikler bakımından olması gereken değerlere kabul edilebilir hatalarla yaklaştığı ve 120 adet görsel test sonucundan 65 tanesinin olması gereken değerlere çok yaklaştığı görülmektedir.

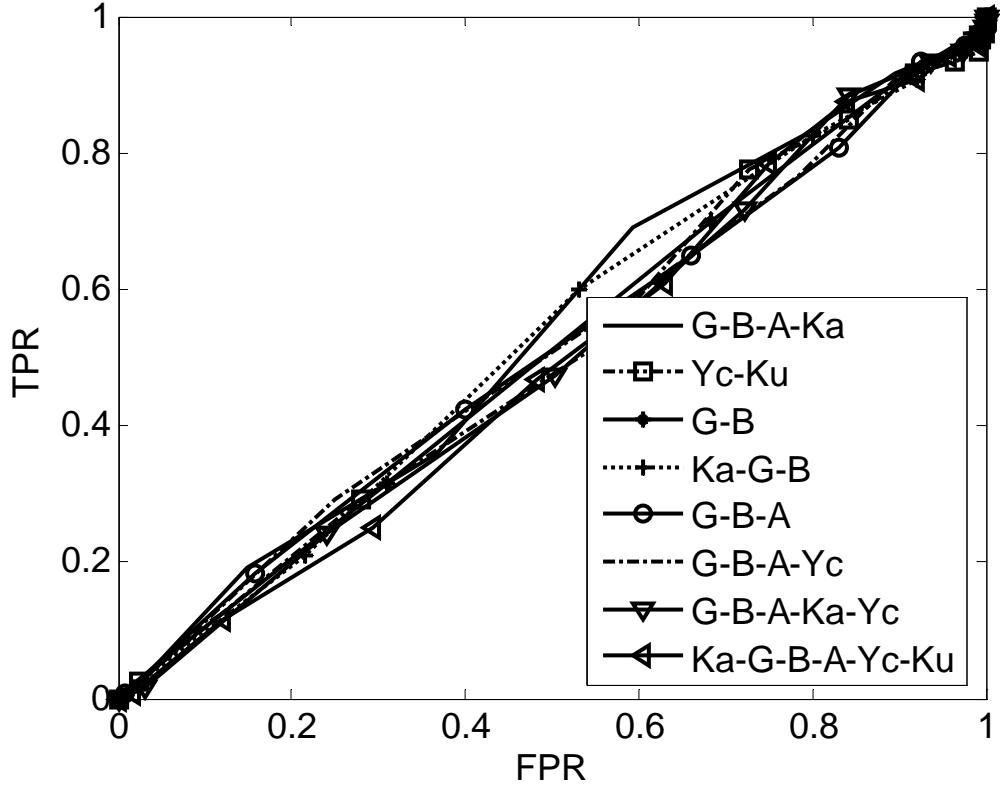
7.2. Parmak izi ile Yüze ait özelliklerin çeşitli Kombinasyonları Arasındaki İlişki Modellerinin Karşılaştırılması

Parmak izi ile 6 adet yüz parçasının 8 farklı kombinasyonu arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmaların sonuçları yukarıda hem sayısal olarak verilmiş hem de grafikler ve çizimler şeklinde tek tek ifade edilmiştir. Bu grafikler ve sayısal değerler parmak izleri ile yüzler arasında daha önce Bölüm 4'te ve Bölüm 6.'da varlığı ifade edilmiş, boyutu ve büyüklüğü hakkında fikirler yürütülmüş olan parmak izi-yüz ilişkisini doğrulamakta ve yalnızca parmak izleri kullanılarak yüze kabul edilebilir hata

değerleriyle ulaşılabileceği gerçeğini bir kez daha gözler önüne sermektedir. Yüzün hangi parçası ya da parçalarına veya hangi parçalarının kombinasyonlarına ulaşılması arzu ediliyorsa o şekilde elde edilmesine olanak sağlayacak esneklikte gerçekleştirilen sistemin tüm kombinasyonlar için elde ettiği sonuçlar birlikte incelendiğinde varılan nokta 6. Bölüm’de elde edilen sonuçla paraleldir. Bu sonuç parmak izi - yüz parçaları ve parmak izi - yüz kombinasyonları arasında bir ilişkinin var olduğu ve yalnızca parmak izleri kullanılarak yüz parçalarına ve yüz kombinasyonlarına kabul edilebilir hatalarla ulaşılabileceği şeklinde bir sonuçtur.

Bu bölümde incelenen 8 farklı kombinasyon için kullanılan sistem daha önceki bölümde tek tek yüz parçaları için kullanılan sistemle özdeş ve standarttır. Bu yapı Taguchi deney tasarım metodu ile optimum parametre setiyle donatılmış FF YSA yapısıdır.

Çeşitli yüz parçası kombinasyonları için sadece parmak izleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ve detayları yukarıda tek tek verilmektedir. Parmak izleri ile yüzler arasında var olduğu düşünülen bu ilişkinin mevcudiyetini ifade eden bu deneysel sonuçlar incelendiğinde hangi yüz parçası kombinasyonuna ulaşılacak istenilirse istenilsin kabul edilebilir hata seviyelerine sahip nitelikli sonuçlar elde edilebileceği görülmektedir. Bu kombinasyonlar için elde edilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapılması mümkündür. Bu analizde ayrı ayrı platformlarda elde edilen sonuçların birleştirilerek verilmesi ve karşılaştırılabilecek şekilde ifade edilmesi için her bir yüz parçası kombinasyonuna ait 10 katlı çapraz doğrulama sonuçlarından elde edilen ROC eğrilerinin ortalamasının alınarak her bir yüz parçası kombinasyonuna ait ortalama bir ROC grafiği elde edilmesi ve bu 8 ortalamanın aynı sayfada çizilmesi şeklinde bir kontrol yapılmıştır. Şekil 7.49 analiz edilen yüz parçası kombinasyonlarına ait ortalama ROC eğrileri grafiğini göstermektedir. Çalışılan kombinasyonlara ait ROC eğrileri grafiğinde sadelik ve kolay anlaşılabilirlik açısından yüz parçalarının baş harfleri dikkate alınarak (G: gözler, B: burun, Yc: yüz çevresi, Ku: kulaklar, A: ağız, Ka: kaşlar) şeklinde bir kodlama yapılmıştır.



Şekil 7.49. İncelenen 8 yüz parçası kombinasyonuna ait ortalama ROC eğrileri grafiği.

Verilen grafik incelendiğinde sistemler birer biyometrik tanıma onaylama sistemi olarak düşünüldüğünde birbirlerinden çok farklı davranmadıkları görülmektedir. ROC eğrileri grafiği eğrilerdeki ufak farklar göz önünde bulundurularak yorumlandığında, parmak izleri kullanılarak yüz parçası kombinasyonlarına ulaşılması hedeflenen bu çalışmada en düşük hata değerlerine sahip sistemlerin, G-B-A, G-B-A-Ka, Ka-G-B ve G-B, kombinasyonlarının elde edilmeye çalışıldığı yapılar olduğu sonucu çıkmaktadır. Bunun anlamı sadece parmak izleri kullanılarak çok düşük hatalarla ilgili yüz kombinasyonlarına ulaşılabilir. Bunları yine yakın bir performans ile Yc-Ku, G-B-A-Yc ve G-B-A-Ka-Yc yapıları takip etmektedir. Son yapı olan tüm yüz kombinasyonunda ise sistem performansı diğer 7 yüz parçası kombinasyonuna ait yapılara kıyasla biraz daha düşüktür. Ancak yalnızca ROC eğrileri grafiğine göre yapılan yorumlar tek başına yeterli olmamakta, sonuçların diğer platformlarda da mukayeseli olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Özetle ROC eğrileri grafiğinden başarı sırasının yukarıda verildiği şekilde olduğu söylenebilir. Ancak parmak izleriyle

yüz parçası kombinasyonları arasındaki bu ilişki sıralamasının son şeklini vermeden diğer analiz platformlarından da faydalanılması elde edilecek sonucun daha sağlıklı olmasına katkı sağlayacaktır. Parmak izleriyle yüz parçalarının çeşitli kombinasyonlarından oluşan çıkışlar arasındaki ilişkinin yönü ve boyutu ile ilgili sürdürülen mukayeseli analizde sistemin araştırma uzaylarını daraltma oranlarının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Her bir yüz parçası için kullanılan sistem tarafından daraltılmış araştırma uzayları Tablo 7.9’da verilmektedir. Tüm araştırma uzayının 1.0000 olarak kabul edildiği Tablo 7.9 incelendiğinde araştırma uzaylarının daraltılması açısından performans sıralamasının katlara göre farklılık arz ettiği görülmekte, araştırma uzaylarının daraltılması parametresinde ortalamalara göre bir değerlendirme yapıldığında ise sıralamanın G-B-A-Ka, Ka-G-B, G-B-A-Yc, G-B-A, Yc-Ku, G-B, G-B-A-Ka-Yc-Ku, Ka-G-B-A-Yc şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 7.9. Her bir yüz parçası kombinasyonu için daraltılmış araştırma uzayları.

	G-B	Yc-Ku	Ka-G-B	G-B-A	G-B-A-Ka	G-B-A-Yc	Ka-G-B-A-Yc	G-B-A-Ka-Yc-Ku
Kat-1	0.49306	0.54167	0.51389	0.50000	0.54861	0.50000	0.52778	0.51389
Kat-2	0.53472	0.54861	0.52083	0.52083	0.50000	0.51389	0.55556	0.56944
Kat-3	0.58333	0.54861	0.64583	0.55556	0.55556	0.54167	0.59028	0.56250
Kat-4	0.55556	0.54861	0.45139	0.59028	0.52778	0.49306	0.56250	0.56944
Kat-5	0.52083	0.48611	0.51389	0.52083	0.44444	0.56944	0.50694	0.50000
Kat-6	0.52778	0.54861	0.53472	0.56250	0.53472	0.59722	0.58333	0.56944
Kat-7	0.51389	0.54861	0.52778	0.50000	0.52083	0.50694	0.50694	0.56250
Kat-8	0.51389	0.53472	0.48611	0.56250	0.51389	0.54861	0.50000	0.52083
Kat-9	0.61806	0.58333	0.61111	0.52778	0.50694	0.56944	0.57639	0.56944
Kat-10	0.58333	0.52778	0.47222	0.56944	0.46528	0.56250	0.61806	0.53472
Ortalama	0.54440	0.54170	0.52780	0.54100	0.51180	0.54030	0.55280	0.54720

Sayısal analiz platformunda, 8 farklı yüz kombinasyonu için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar, değerlendirme metriklerinin ortalama değerleri kullanılarak mukayese edilirse sistemlerin performansları Tablo 7.10’da verilmektedir. Tablo 7.10 incelendiğinde hata değerlerine göre performans sıralamasının da tek olmadığı her hata değerine göre farklı bir sıralama elde edilebildiği görülmektedir. Örneğin APE değerine göre başarı sıralaması G-B, Ka-G-B, G-B-A-Yc, Yc-Ku, G-B-A, Ka-G-B-A-Yc, G-B-A-Ka, G-B-A-Ka-Yc-Ku, şeklinde iken, MAE’ye göre bu sıralama G-B-A-Yc, Ka-G-B-A-Yc, G-B-A-Ka-Yc-Ku, G-B-A-Ka, Ka-G-B, G-B, G-B-A, Yc-Ku şeklindedir.

Tablo 7.10. Farklı 8 yüz kombinasyonu için sistemden elde edilen ortalama hata değerleri.

	APE	MSE	SSE	MAE	MAPE
G-B	2.58002	0.00044	0.28570	0.01823	0.04874
Yc-Ku	4.35062	0.00060	0.54040	0.02221	0.06043
Ka-G-B	4.06335	0.00038	0.37620	0.01813	0.04955
G-B-A	4.66573	0.00050	0.45800	0.01993	0.06139
G-B-A-Ka	5.65140	0.00040	0.50430	0.01774	0.05434
G-B-A-Yc	4.09828	0.00025	0.36350	0.01383	0.03415
Ka-G-B-A-Yc	5.38282	0.00028	0.48950	0.01421	0.03637
G-B-A-Ka-Yc-Ku	7.68515	0.00038	0.79380	0.01718	0.04367

Üzerinde çalışılan 8 adet yüz parçası kombinasyonunun başarısının sayısal olarak verildiği Tablo incelendiğinde sistemin tüm ortalama hatalar çerçevesinde değerlendirildiğinde yüksek bir performansa sahip olduğu, yalnızca parmak izleri kullanılarak yüz parçalarına ait hangi kombinasyona ulaşılmak istenilirse istenilsin başarılı sonuçlar elde edilebileceği sonucu çıkmaktadır. Sunulan tez çalışmasının 4, 6 ve 7. bölümlerinde birbirini destekler ve tamamlar nitelikte elde edilen bu sonuçlar çeşitli platformlarda değerlendirilerek sistem başarısı farklı açılardan gözler önüne serilmektedir.

7.3. Sonuç

Bu bölümde, parmak izi ile yüz kombinasyonları arasında olduğu düşünülen bir ilişki YSA temelli bir sistemle modellenmiş ve bu ilişkinin boyutu ve yönü hakkında çeşitli analizler yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, parmak izleri ile yüz kombinasyonları arasındaki ilişkinin varlığını işaret eder niteliktedir. Arada olduğu bulunan bu ilişkinin boyutu ve yönü konusunda fikir sahibi olabilmek için çeşitli analizler yapılmış, her yüz kombinasyonu için elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak verilmiş ve mukayeseli olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, parmak izleri ile yüz kombinasyonları arasındaki ilişkinin varlığını işaret eder niteliktedir.

8. BÖLÜM

SONUÇ VE TARTIŞMA

Güvenlik ve kimliklendirme alanının vazgeçilmez unsuru olarak nitelendirilebilen biyometri bilimi, köklü geçmişi, çok geniş ve zengin literatürü ve tam anlamıyla oturmuş ve gelişmiş standartları ile dikkat çeken bir teknolojidir. Özellikle bu tez çalışmasında işlenmiş alt başlıklar olan parmak izi ve yüz tanıma teknikleri uzun yıllardır derinlemesine araştırılmış konular olmalarına rağmen günümüzde hala popülerliğinden ve cazibesinden hiç bir şey kaybetmeden bilim çevrelerinin ilgilerini çekmeye devam etmektedir. Konuyla ilgili literatür taranmış ve bu tezin 2. Bölümünde detaylı olarak verilmiştir. Bu denli bilimsel ilgi ve çalışmaya rağmen biyometri literatüründe biyometrik özellikler arasında olabilecek bir ilişki bu güne kadar tartışılmamıştır. Aksine literatürde parmak izi ve yüzün birbirinden bağımsız veriler olduğu kabulü yaygındır [7].

Biyometrik özellikler arasında olabilecek ilişkinin araştırılması, incelenmesi ve modellenmeye çalışılması ilk olarak sunulan tez çalışması ile başlamıştır. Bu şekilde bir problemin tanımlanması, çözülmeye ve modellenmeye çalışılması, konuyla ilgili çeşitli hipotezler oluşturulması ve bu hipotezlerin deneysel olarak ispatının yapılması gibi işlemlerin başarıyla gerçekleştirildiği bu tez çalışması tüm bu işlemlerin gerçekleştirilmesi bakımından dünyada bir ilktir.

Gerçekleştirilen sistemin girişi parmak izlerine ait özellik setleri, çıkışı ise yüzlere ait özellik setleridir. Bu iki veri seti arasındaki ilişkinin tez esnasında tasarlanan zeki sistem tarafından öğrenilip modellenmesi yoluna gidilmiştir. YSA temelli zeki sistemin tasarımında bu yapının optimum parametre setinin belirlenmesi için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Giriş-çıkış verileri ve bu verilerin boyutları gözönünde bulundurulduğunda aradaki ilişkinin öğrenilmesi probleminin ne kadar karmaşık ve

modellenmesi zor bir problem olduğu görülmektedir. Sunulan çalışma temelde ÇBVT’de bulunan parmak izi ve yüz biyometrik özelliklerinin özellik setlerinin elde edilmesi, YSA temelli zeki sistemin tasarlanması, parametrelerinin belirlenmesi, sistemin eğitimi ve testi, sistem sonuçlarının yorumlanması ve performansının değerlendirilmesi gibi işlem adımlarından oluşmaktadır. Sistemin gerek bir bütün olarak amacına hizmet etmesi gerekse her işlem adımının üzerine düşen görevi başarıyla tamamlayabilmesi sunulan çalışmanın vazgeçilmez unsurlarındandır. Tüm bu işlemlerin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için tez bünyesinde bu işlemleri hızlıca yapabilecek yazılımlar geliştirilmiş ve tüm yazılımlar bir platform altında toplanmıştır.

Bu bölümde, tez sırasında elde edilen sonuçlar tek tek yorumlanmış, daha önce oluşturulan hipotezlerin ispat edilmesi için elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirilmiştir. Tez çalışmasında başlangıçta oluşturulan hipotezlerin doğrulanması veya çürütülmesi konusunda yapılan çalışmalar aşağıda başlıklar halinde verilmektedir.

Hipotez #1 başlığıyla verilen ilk hipotezimiz “Parmak izleri ile tek tek yüz parçaları arasında ilişki vardır” şeklindedir. Bu hipotezin kanıtlanması için gerçekleştirilen tüm çalışmalar ve sonuçları 6. Bölümde detaylı olarak verilmiştir. Parmak izleri ile tek tek yüz parçaları arasındaki ilişkinin analizinin yapıldığı çalışmaların sayısal sonuçları Tablo 8.1’de özetle verilmektedir. Verilen sayısal değerler yalnızca parmak izleri kullanılarak çeşitli yüz parçalarına ulaşmaya çalışan sistemin 1.31367 ile 2.59306 arasında APE, 0.00030 ile 0.00100 arasında MSE, 0.12390 ile 0.24410 arasında SSE, 0.01644 ile 0.02846 arasında MAE ve 0.4758 ile 0.9495 arasında MAPE değerleriyle gayet başarılı sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Bu ise verilen hipotezin deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla doğruluğunun kanıtlandığı anlamına gelmektedir.

Tablo 8.1. Parmak izleri ile tek tek yüz parçaları arasındaki ilişkinin analizi.

Yüz Parametreleri/Hatalar	APE	MSE	SSE	MAE	MAPE
Gözler	1.90321	0.00030	0.14270	0.01644	0.04758
Burun	1.32935	0.00100	0.17120	0.02846	0.09495
Ağız	1.31367	0.00050	0.13950	0.01992	0.05971
Yüz Çevresi	2.47424	0.00046	0.24410	0.01950	0.05623
Kaşlar	1.72350	0.00037	0.12390	0.01896	0.06155
Kulaklar	2.59306	0.00060	0.19190	0.02324	0.09261

Aynı hipotezi desteklemek için 6. Bölümde her yüz parçası için elde edilen 120 adet görsel test sonucunun uzman gözüyle incelenip analiz edilmesi şeklinde bir çalışma yapılmıştır. Görsel sonuçların da elde edilen hata değerleriyle uyumluluk içerisinde olduğu ve aradaki ilişkiyi işaret eden sayısal tabloya benzer şekilde parmak izleri ile yüz parçaları arasında var olan bir ilişkiyi işaret ettiği görülmüştür. Görsel sonuçlar analiz edildiğinde yalnızca parmak izleri kullanılarak gözlerin elde edilmeye çalışıldığı yapıda 120 adet test sonucundan 75 tanesinin olması gereken test sonucuna çok düşük hatalarla yakınsadığı görülmektedir. Burunlar için bu oran 120’de 106, ağızlar için 120’de 110, yüz çevreleri için 120’de 72, kaşlar için 120’de 100 ve son olarak kulaklar için 120’de 72 şeklindedir. Sayısal tabloyla paralel olarak haritalanan bu görsel sonuçlar bir kere daha **Hipotez #1**’in doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Sunulan tez çalışmasında, parmak izi ile yüz parçaları arasındaki ilişkinin varlığına işaret eden sonuçlar motivasyon olarak kullanılarak, sistemin yalnızca parmak izlerinden çeşitli yüz parçası kombinasyonlarına ulaşması konusundaki başarısını incelemek üzere çalışmalar da yapılmış, sistemin benzer bir davranışı bu kombinasyonlarda da gösterdiği sonucuna varılmıştır. Sistem, ikili, üçlü, dördü ve beşli yüz parçalarından oluşan çeşitli kombinasyonlarla yapılan deneysel çalışmalarda parmak izleri ile yüz kombinasyonları arasındaki ilişkiyi işaret eden başarılı sonuçlar elde etmiştir. Elde edilen bu sonuçlar 7. Bölümde detaylı olarak verilmiştir. Parmak izleri ile çeşitli yüz kombinasyonları arasındaki ilişkinin analizinin yapıldığı çalışmaların sayısal sonuçları Tablo 8.2’de verilmektedir. Tabloda sadelik ve kolay anlaşılabilirlik açısından tez içerisinde kullanıldığı şekilde yüz parçalarının baş harfleri dikkate alınarak (G: gözler, B: burun, Yc: yüz çevresi, Ku: kulaklar, A: ağız, Ka: kaşlar) şeklinde bir kodlama yapılmıştır.

Tablo 8.2. Parmak izleri ile yüz kombinasyonları arasındaki ilişkinin analizi.

	APE	MSE	SSE	MAE	MAPE
G-B	2.58002	0.00044	0.28570	0.01823	0.04874
Yc-Ku	4.35062	0.00060	0.54040	0.02221	0.06043
Ka-G-B	4.06335	0.00038	0.37620	0.01813	0.04955
G-B-A	4.66573	0.00050	0.45800	0.01993	0.06139
G-B-A-Ka	5.65140	0.00040	0.50430	0.01774	0.05434
G-B-A-Yc	4.09828	0.00025	0.36350	0.01383	0.03415
Ka-G-B-A-Yc	5.38282	0.00028	0.48950	0.01421	0.03637

Verilen sayısal değerler yalnızca parmak izleri kullanılarak çeşitli yüz kombinasyonlarına ulaşmaya çalışan sistemin 2.58002 ile 5.65140 arasında APE, 0.00025 ile 0.00060 arasında MSE, 0.2857 ile 0.5404 arasında SSE, 0.01383 ile 0.02221 arasında MAE ve 0.03415 ile 0.06139 arasında MAPE değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ikinci hipotez olarak verilen ve “parmak izleri ile yüz parçalarına ait çeşitli kombinasyonlar arasında ilişki vardır” şeklinde tanımlanan **Hipotez #2**'nin de deneysel olarak kanıtlanması anlamına gelmektedir. Önceki adımdaki yaklaşıma benzer şekilde görsel analiz sonuçları da değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre, sistem G-B kombinasyonu için 120'de 95, Yç-Ku kombinasyonu için 120'de 82, Ka-G-B kombinasyonu için 120'de 87, G-B-A kombinasyonu için 120'de 81, G-B-A-Ka kombinasyonu için 120'de 76, G-B-A-Yç kombinasyonu için 120'de 85 ve son olarak Ka-G-B-A-Yç kombinasyonu için 120'de 77 görsel sonucu olması gereken değerlere çok yakın doğruluklarla elde edebilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar parmak izi ile yüz parçası kombinasyonları arasındaki ilişkinin varlığını ortaya koymak ve ikinci hipotezin doğruluğunu kanıtlamakla kalmamakta, ilk hipotezin doğruluğunu da perçinlemektedir.

Ayrıca hem yüz parçaları hem de yüz kombinasyonları için elde edilen hata değerlerinin birbirinden farklı oluşu “parmak izleri ile yüz parçaları veya kombinasyonları arasındaki ilişkinin yönü ve boyutu farklıdır” şeklinde tanımlanan **Hipotez #3**'ün de doğruluğunu göstermektedir.

“Parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin varlığı matematiksel, fizyolojik, biyolojik veya deneysel olarak ispat edilebilir” şeklinde tanımlanan **Hipotez #4**'ün fizyolojik ve biyolojik ispatı olabilecek bilimsel gerçekler ayrıntılarıyla 4. Bölümde verildiğinden burada tekrar verilmeyecektir. Ancak deneysel sonuçlar göstermektedir ki parmak izleri ile yüzler arasında bir ilişki vardır. Aradaki ilişki henüz matematiksel olarak ispatlanmamış olsa da elde edilen deneysel sonuçlar bunun varlığını ortaya koymaktadır.

Çalışmanın deneysel sonuçları YSA temelli bir zeki sistem kullanılarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar “parmak izleri ile yüzler arasındaki ilişkinin varlığının matematiksel olarak

ispatının güç olduğu bir durumda YSA gibi modelleme yöntemleri kullanılarak bu ilişki deneysel olarak ispat edilebilir” şeklinde tanımlanan **Hipotez #5**'i de ispat etmektedir.

Son hipotez olan **Hipotez #6** için de benzer bir çalışma yapılmış, “kişilerin yalnızca parmak izleri kullanılarak yüz parçalarına ve yüzlerine ait özelliklere ulaşılabilir” şeklinde tanımlanan bu hipotez kanıtlanmaya çalışılmıştır. Yalnızca parmak izleri kullanılarak tüm yüzün elde edilmeye çalışıldığı en karmaşık adımda da önceki sonuçlara benzer şekilde sonuçlar üreten sistem, yalnızca parmak izlerinden tüm yüze ait özellik setlerini kabul edilebilir doğruluklarla elde edebilmiştir. Bu sonuçlar özetle Tablo 8.3'te verilmektedir. Tablo 8.3 incelendiğinde sistemin kabul edilebilir hatalara sahip olduğu, 120 kişilik görsel sonuçlarından 65 tanesinin arzu edilen sonuçlara çok yakın sonuçlar ürettiği göz önünde bulundurularak son hipotezimizin de sistemin deneysel sonuçları vasıtasıyla desteklendiği ve bu hipotezin de kanıtlandığı yorumu yapılabilmektedir.

Tablo 8.3. Parmak izleri ile tüm yüz arasındaki ilişkinin analizi.

	APE	MSE	SSE	MAE	MAPE
Tüm Yüz	7.68515	0.00038	0.7938	0.01718	0.04367

Daha önce hiç çalışılmamış bir konuda çözümler sunması açısından önem arz eden bu tez çalışmasının analiz sonuçları göstermektedir ki sunulan çalışma sahasında bir ilk olmasına ve hala geliştirilme sürecini tamamlamamış bulunmasına rağmen arzu edilen değerlere çok yakın sonuçlar üretmektedir. Bu ise çalışmayı dünya çapında önemli ve değerli kılmaktadır. Ancak tamamen yeni bir konuya çalışılıyor olması yanında bazı zorlukları getirmiştir. Bu zorluklar aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir.

1. Çalışmanın nereden ve nasıl başlayacağı ve ne yönde ilerleyeceği ile ilgili herhangi bir belirli prosedürün olmayışı çalışmanın gerçekleştirilmesini zorlaştırmıştır.
2. Çalışmada kullanılacak hazır ÇBVT bulunmayışı çalışmanın aşılması gereken en büyük sorunlarından biridir. Bu sorun tez çalışması bünyesinde bir ÇBVT'nin oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Ancak tez bünyesinde oluşturulan veritabanı da uluslararası standartlardan bazılarını sağlayamamaktadır. Mesela bu şekilde tez bünyesinde oluşturulan ÇBVT, mecburen aynı ırktan kişilerin biyometrik

özelliklerini ihtiva etmektedir. Halbuki birçok milletten insanlardan alınmış biyometrik özellikleri ihtiva eden dünya çapında karma bir ÇBVT ile sistemin eğitimi ve testi tam olarak yapılabilir, sistem başarısı daha net olarak gözler önüne serilebilirdi. Ancak sunulan tez bünyesinde bu şekilde uluslararası bir ÇBVT'nin oluşturulması mümkün değildir.

3. Çalışmada sunulan yaklaşımın daha önce kabul gören parmak izleri ile yüzlerin birbirinden bağımsız veriler oluşu gibi bazı fikirlere ters düşmesi nedeniyle biyometri alanında çalışan kişilerde, yaklaşıma karşı oluşan bir önyargı ve direncin olması, çalışmanın uluslararası platformda kabulünü ve onayını zorlaştırmıştır.
4. Konunun her türlü detayına dair yapılacak birçok çalışma ve araştırmanın olması konunun yavaş ilerlemesine neden olmuştur.
5. Parmak izleriyle yüzler arasındaki ilişkinin modellenmesinde ağırlıklarının ya da öğrendiği metodolojinin matematiksel olarak anlamlandırılmadığı YSA gibi bir tekniğin kullanılması aradaki ilişkinin modelinin oluşturulmasını zorlaştırmıştır.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi esnasında karşılaşılan ve yukarıda maddeler halinde verilen tüm zorluklar içinde belki de en önemlisi tüm zorluklara rağmen gerçekleştirilen sistemin nasıl bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiği ile ilgili belirli bir prosedürünün olmayışıdır. Yani her türlü zorluğa rağmen gerçekleştirilen sistemin sonuçlarının nasıl değerlendirileceği, sistem başarısının insanlara nasıl anlatılacağı, sistem sonuçlarının nasıl bir platformda sunulacağı ile ilgili bir yolun daha önce belirlenmemiş olmasıdır. Çünkü her türlü zorluk aşılarak gerçekleştirilen sistemin değerlendirilmesi ile ilgili izlenecek yolun belli olmaması sistemin diğer insanlar tarafından anlaşılmasına veya yanlış anlaşılmasına neden olabilmekte bu ise çalışmanın çeşitli önyargı ve şüphelerle değerlendirilmesine yol açabilmektedir. Bu çalışmada sistemin değerlendirme kriterleri ilk defa tarafımızdan belirlenmiş ve kullanılmıştır. Tarafımızdan sunulan bu kriterlerin bu konuda çalışan diğer araştırmacı ve bilim adamları tarafından da benimsenip kullanılabilmesi düşünülmektedir. Değerlendirme kriterleri belirlenen sistem ilk önce parmak izleri ile yüz parçaları arasındaki ilişkinin analizinde kullanılmıştır. Bunun için yüz parçalara bölünerek işlem yapılmış, her yüz parçası için elde edilen sonuçlar 6. Bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bu sonuçların yüze ait değişmeyen özellikler olarak bilinen ve yüz tanıma işlemlerinde

özellik setlerinin elde edilmesinde kullanılan ağız, burun, gözler, kaşlar, yüz çevresi ve kulaklar gibi yüz parçaları ile parmak izleri arasındaki bir ilişkinin varlığına işaret ettiği düşünülmektedir. Bu ilişkinin en fazla ağız ve burun, daha sonra gözler ve kaşlar ve son olarak da yüz çevresi ve kulaklar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Tez boyunca çeşitli yönleriyle tanıtılan çalışmanın birçok güçlü tarafının yanı sıra bir takım zayıf yönleri de bulunmaktadır. Sunulan yaklaşım sahasında bir ilk çalışma niteliğinde olduğu için üzerinde çalışılacak, geliştirilecek ve detaylandırılacak çok yönü bulunmaktadır. Çalışma ile ilgili gelecekte yapılması hedeflenen işlemler çalışmanın zayıf yönlerinin giderilmesi, geliştirilmesi ve detaylandırılması şeklinde ifade edilebilmektedir. Sunulan yaklaşım bu açıdan değerlendirildiğinde hem zayıf yönlerinin giderilmesi hem de çalışmanın gelişim sürecini tamamlaması için bazı işlemlere ihtiyaç duymaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verildiği şekilde sıralanabilmektedir.

1. Sunulan sistem çok daha büyük ölçekli bir veritabanı ile test edilmelidir. Bu veritabanı uluslararası standartları sağlamalı ve dünyanın birçok ülkesinden kişilere ait biyometrik özellikleri kapsamalıdır. Ayrıca bu veritabanı konuyla ilgilenen herkesin kolayca ulaşabileceği bir platformda olmalıdır.
2. Gerçekleştirilen sistem için şüphesiz tek platform YSA tekniği değildir. Sistem çeşitli alternatif modelleme teknikleri kullanılarak tekrar tasarlanmalı ve sonuçlar bu çalışmada elde edilen sonuçlarla mukayese edilmelidir.
3. Parmak izlerine ait özellik setleri değişik yöntemlerle elde edilip sistem performansı mukayeseli olarak değerlendirilmelidir.
4. Benzer şekilde yüzlere ait özellik setleri değişik yöntemlerle elde edilip sistem mukayeseli olarak değerlendirilmelidir.
5. Yüzlere ait özellik setlerinin elde edilmesinde kullanılan koordinat değerleri yerine alternatif yöntemler denenerek sistem performansı incelenmelidir.
6. Yüzlere ait özellik setlerinin elde edilmesi için gerçekleştirilen sistem otomatikleştirilerek sistemin ön işlemleri hızlandırılmalı ve sistem bu şekilde iyileştirilmelidir.
7. Parmak izlerine ait özellik setlerinin boyutu PCA ve benzeri yöntemler kullanılarak azaltılmalı veya parmak izlerine ait özellik setlerinin elde

edilmesinde standart uzunluklarda özellik setleri elde edebilen bir yöntem tercih edilerek sistem hassasiyetinin artırılabilceği gösterilmelidir.

8. Parmak izine ait global veya yerel özellik noktalarının yüzün hangi noktalarıyla ilişkili olduğuna dair çalışmalar yapılmalı ve aradaki ilişkinin büyüklüğü, yönü ve boyutu konusunda net sonuçlar elde edilmelidir.
9. Sistem sonuçlarının değerlendirilmesinde istatistik alanında çalışan bilim insanlarıyla işbirliği yapılarak sistem sonuçlarının farklı açılardan farklı platformda değerlendirilmesine olanak sağlanmalıdır.
10. Fizyoloji, genetik, kimya ve tıp biliminden araştırmacılarla ortak projeler yapılarak çalışmanın tıbbi, fizyolojik genetik ve kimyasal yönlerine açıklık getirecek araştırma ve incelemeler yapılmalıdır. Daha sonra elde edilen bilgi ve bulgular ışığında matematikçilerle ortak çalışmalar yapılarak aradaki ilişkinin matematiksel boyutu araştırılmalı ve bu ilişkinin matematiksel modeli ortaya konulmalıdır.
11. Sistemden elde edilen yüze ait özellik setleri kullanılarak iki boyutlu yüz verilerine ulaşılabilmektedir. Bu iki boyutlu bilginin üç boyutlu yüz bilgilerine dönüştürülmesi hedeflenmektedir.
12. Çalışma ilk aşamada OPTOS'larda en çok tercih edilen parmak izi olan sağ el işaret parmağına ait parmak izleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem tüm parmaklar için tekrarlanarak sistem sonuçları sunulan çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalıdır.
13. Sistemde işlemler sadece önden çekilmiş yüz resimleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin açılı çekilmiş veya profil resimler üzerindeki başarısı da değerlendirilmelidir.
14. Sistem giriş çıkışlarına gürültü etkisi hakkında detaylı araştırmalar yapıp sistemin güvenilirliği test edilmelidir.

Sonuç olarak, sunulan tez çalışmasında parmak izi ve yüz arasında olduğu düşünülen bir ilişkinin bulunması ve analizi konusunda çeşitli araştırma ve incelemeler yapılmış, elde edilen bilgiler ve belgeler ışığında çalışmalara yön verilerek yalnızca parmak izi bilgisinden yüz bilgisine ulaşabilen zeki bir sistem geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sunulan sistemin literatürde bir ilk çalışma olmasına ve hala geliştirilmekte olan bir sistem olmasına rağmen başarılı sonuçlarıyla dikkat çeken ve gelecek vaad eden bir

Çalışma olduğunu göstermektedir. Sunulan alışma hem sahasında bir ilk araştırma olması açısından hem de çeşitli yönleriyle geliştirilmeye, ilerletilmeye ve detaylandırılmaya uygunluğuyla yepyeni bir araştırma ve çalışma sahası oluşturmaktadır. Bu bakımından sunulan tez çalışmasının biyometri ve güvenlik sahalarında hem ülkemiz hem de dünya literatrine büyük katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K., and Prabhakar, S., Handbook of Fingerprint Recognition, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003.
2. Jain, A.K., Hong L., Pankanti, S., Bolle, R., An Identity Authentication System Using Fingerprints, Proceedings of the IEEE, 85(9), 1365-1388, 1997.
3. Jain, A.K., Ross, A., Prabhakar, S., An introduction to biometric recognition, IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 14(1), 4-19, 2004.
4. Halici U., Jain L.C., Hayashi, I., Lee, S.B., Tsutsui T., Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition, CRC press, USA, 1999.
5. Bouchaffra, D., and Amira, A., Structural Hidden Markov Models for Biometrics: Fusion of Face and Fingerprint, In Special Issue of Pattern Recognition Journal, Feature Extraction and Machine Learning for Robust Multimodal Biometrics, 2007.
6. Prabhakar, S., and Jain, A.K., Decision-level fusion in fingerprint verification, Pattern Recognition, 35(4), 861–874, 2002.
7. Indovina, M., Uludag, U., Snelick, R., Mink A., and Jain, A., Multimodal biometric authentication methods: a cots approach, Proc. MMUA 2003, Workshop on Multimodal User Authentication, 99-106, 2003.
8. Fierrez-Aguilar, J., Ortega-Garcia, J., Gonzalez-Rodriguez, J., Bigun, J., Discriminative multimodal biometric authentication based on quality measures, Pattern Recognition, 38(5), 777–779, 2005.
9. <http://www.yok.gov.tr/egitim/ogretmen/kitaplar/sosbilgi/kaynakunite/unit11.doc>
10. Snelick, R., Uludag, U., Mink, A., Indovina M., and Jain, A.K., Large scale evaluation of multimodal biometric authentication using state-of-the-art systems, IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(3), 450–455, 2005.
11. Özkaya, N., Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2003.
12. Cevikalp, H., Neamtu, M., Wilkes, M., Barkana, A., Discriminative Common Vectors for Face Recognition, IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 27(1), 2005.

13. Lu, X., Image Analysis for Face Recognition, Personal Notes, 1-36, May 2003.
14. Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, P.J., and Rosenfeld, A., Face recognition: a literature survey, *ACM Computing Surveys*, 35, 399-459, 2003.
15. Biometrical & Art. Int. Tech., http://www.neurotechnologija.com/vf_sdk.html (2008)
16. Ozkaya, N., Sagirolu, S., Intelligent Face Border Generation System from Fingerprints, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2008)* in *IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2008)*, IEEE Catalog number: CFP08FUZ-CDR, ISBN: 978-1-4244-1819-0, ISSN: 1098-7584, Congress: 2007907698, 1-6 June 2008, Hong Kong, 2008.
17. Sagirolu, S., Ozkaya, N., An Intelligent Automatic Face Contour Prediction System, *Advances in Artificial Intelligence, The 21. Canadian Conference on Artificial Intelligence (AI 2008)*, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Springer Berlin/Heidelberg, ISSN: 0302-9743 (Print) 1611-3349 (Online), ISBN 978-3-540-68821-1, Volume: 5032/2008, Pages 246-258, (DOI 10.1007/978-3-540-68825-9_24), 28-30 May 2008, Ontario, Canada, 2008.
18. Sagirolu, S., Ozkaya, N., An Intelligent Automatic Face Model Prediction System, *International Conference on Multivariate Statistical Modelling&High Dimensional Data Mining (HDM 2008)*, 19-23 June 2008, Kayseri, Turkey, 2008.
19. Ozkaya, N., Sagirolu, S., Intelligent Face Mask Prediction System, *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2008)* in *IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2008)*, IEEE Catalog number: CFP08IJS-CDR, ISBN: 978-1-4244-1821-3, ISSN: 1098-7576, Library of Congress: 2007907698, 1-6 June 2008, Hong Kong, 2008.
20. Ozkaya, N., Sagirolu, S., Translating the Fingerprints to the Faces: A New Approach, *IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference (SIU 2008)*, IEEE Catalog number: CFP08559 – CDR, ISBN: 978-1-4244-1999-9, Library of Congress: 2007943521, 20-22 April 2008, Turkey, 2008.
21. Sagirolu, S., Ozkaya, N., Artificial Neural Network Based Automatic Face Model Generation System from Only One Fingerprint, *The Third International Workshop on Artificial Neural Networks in Pattern Recognition (ANNPR)*,

- Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer Berlin/Heidelberg, ISSN: 0302-9743 (Print), 1611-3349 (Online), Vol. 5064, DOI: 10.1007/978-3-540-69939-2, ISBN: 978-3-540-69938-5, 305-316, June 30, 2008, 2-4 July 2008, Paris, France, 2008.
22. Ozkaya, N., Sagirolu, S., Face Recognition from Fingerprints, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23 (4), 2008.
 23. Sagirolu, S., Ozkaya, N., An Intelligent and Automatic Eye Generation System from Only Fingerprints, Information Security and Cryptology Conference with International Participant (ISC), Ankara, Turkey, 2008.
 24. Sagirolu, S., Ozkaya, N., Artificial Neural Network Based Automatic Face Parts Prediction System from Only Fingerprints, IEEE Workshop on Computational Intelligence in Biometrics: Theory, Algorithms, and Applications, IEEE SSCI 2009, March 30–April 2, Nashville, TN, USA.
 25. Sagirolu, S., Ozkaya, N., Generating a Biometric Feature One from Another: A New Approach, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Science, accepted for publication in volume july, 2009.
 26. Sagirolu, S., Ozkaya, N., Parmak izinden yüz, Yüzden parmak izi tanıma, Türk Patent Enstitüsü, Patent No: 2008-G-23173, 2008.
 27. McKenna, S., Gong, S., and Raja, Y., Modelling Facial Colour and Identity with Gaussian Mixtures, Pattern Recognition, 31(12), 1883-1892, 1998.
 28. Jain, A.K, Ross, A., and Pankanti, S.: Biometrics: a tool for information security, IEEE Trans. on Information Forensics and Security, 1(2), 125-143, 2006.
 29. Jain, A.K., Pankanti, S., Prabhakar, S., Hong, L., Ross, A., and Wayman, J.L., Biometrics: A Grand Challenge, In Proceedings of the Int. Conf. on Pattern Recognition, Cambridge, UK, August, 2, 935-942, 2004.
 30. International Biometric Group,
http://www.biometricgroup.com/reports/public/market_report.html
 31. Galton F., Finger Prints, McMillan, London, 1892
 32. Henry E., Classification and Users of Fingerprints, Routledge, London, 1900.
 33. Cole S.A., Suspect Identities: A History of Fingerprint and Criminal Identification, Harvard Universtiy Press, Cambridge, MA, 2001.

34. Srihari, S.N., Cha, S.H., Arora, H., Lee, S., Individuality of Handwriting: A Validation Study in Proc Conf. on Document Analysis and Recognition (6th), 106-109, 2001.
35. Pankanti, S., Prabhakar, S., Jain, A.K., On the Individuality of Fingerprints, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(8), 101-1025, 2002.
36. Osterburg, J.W., An Inquiry into the Nature of Proof, The Identity of Fingerprints, Journal of Forensic Sciences, 9, 413-427, 1964.
37. Stoney, D.A., A Quantative Assesment of Fingerprint Individuality, Ph.D. Thesis, Universtiy of California, Davis, 1985.
38. Pearson, K., The Life and Letters of Francis Galton, vol III A, University Press Cambridge, 1930.
39. Pearson K., Galtons Work on Evidential Value of Fingerprints, Sankhaya: Indian Journal of Statistics, 1 (50), 1933.
40. Balthazard, V., De l'identification par les empreintes digitales, Comptes Rendus, des Academies des Sciences, 152, 1862-1869, 1911.
41. Bose, 1917. in Stoney, D.A., A Quantative Assesment of Fingerprint Individuality, Ph.D. Thesis, Universtiy of California, Davis, 1985.
42. Wentworth, B., Wilder, H.H., Personel Identification, Badger R.G., Boston, 1918.
43. Cummins, H., Mildo, C., Fingerprints, Palms and Soles, Dover, NewYork, 1943.
44. Gupta, S.R., Statistical Survey of Ridge Characteristics, Int. Criminal Police Review, 218, 130, 1968.
45. Roxburg T., On Evidential Value of Fingerprints, Sankha: Indian Journal of Statistics, 1, 189-214, 1933.
46. Amy, 1948. in Stoney D.A., Thornton J.I., A Acritical Analysis of Quantitative Fingerprints Individuality Models, Journal of Forensic Sciences, 31(4), 1187-1216, 1986.
47. Trauring, M., Automatic Comparison of Finger-Ridge Patterns Nature, 938-940, 1963.
48. Kingston, C., Probabilistic Analysis of Partial Fingerprint Patterns, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1964.

49. Osterburg, J., Parthasarathy, T., Raghavan, T.E.S., and Sclove, S.L., Development of a Mathematical Formula for the Calculation of Fingerprint Probabilities Based on Individual Characteristics, *J. Am. Statistical Assoc.*, 72(360), 772-778, 1977.
50. Stoney D.A., Thornton J.I., A Acritical Analysis of Quantitative Fingerprints Individuality Models, *Journal of Forensic Sciences*, 31(4), 1187-1216, 1986.
51. Zhu, Y., Dass, S.C., and Jain, A.K., Statistical Models for Assessing the Individuality of Fingerprints, *IEEE Transactions On Information Forensics And Security*, 2(3), September 2007.
52. Champod, C., Margot, P., Computer Assisted Analysis of Minutiae Occurences on Fingerprints, In: Almog J et Springer E (eds.), *Proceedings of the International Symposium on Fingerprint Detection and Identification*, Israel National Police, 305-318, 1996.
53. Sclove S.L., The Occurence of Fingerprint Characteristics as a Two Dimensional Process, *Journal of American Statistics Association*, 74(367) 588-595, 1979.
54. Phillips, P. J., Martin, A., Wilson, C.L., and Przybocky, M., An Introduction to Evaluating Biometric Systems, *IEEE Computer Magazine*, February, 56-63, 2000.
55. Meagher, S.B., Buldowle, B., Ziesig, D., 50K Fingerprint Comparison Test, USA vs. Byron Mitchell, US District Court Eastern District of Philadelphia Government Exhibits, 6-8 and 6-9 in Daubert Hearing before Judge J. Curtis Joyner, 1999.
56. Daugman, J., Recognizing Persons by Their Iris Patterns in Biometrics: Personal Identification in a Network Society, A.K. Jain, R. Bolle, and Si Pankanti (Eds) Kluwer Academic, New York, 1999.
57. Golfarelli, M., Maio, D., Maltoni, D., On The Error-Reject Tradeoff in Biometric Verification Systems, *IEEE PAMI*, 19(7), 1997.
58. Rice, J.A., *Mathematical Statistics and Data Analysis*, 2nd edition, Duxbury Press, CA, 1995.
59. Lumini, A., and Nanni, L.: Two-class Fingerprint matcher, *Pattern Recognition*, 39(4), 714-716, 2006.
60. Moenssens A., *Fingerprint Techniques*, Chilton, London, 1971.

61. Wilson, C.L., Watson, C.I., Neural Network Fingerprint Classification, *Journal of Artificial Neural Network*, 1(2), 203-228, 1994.
62. Kawagoe, M., Tojo, A., Fingerprint Pattern Classification, *Pattern Recognition*, 17, 295-303, 1984.
63. Rao, K., Balck, K., Type Classification of Fingerprints: A Systactic Approach, *IEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2(3), 223-231, 1980.
64. Maio, D., Maltoni, D., A Structural Approach to Fingerprint Classification , in *Proceedings 13th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Vienna, 578-585, 1996.
65. Cappeli, R., Lumini, A., Mario D., Maltoni D., Fingerprint Classification By Directional Image Partitioning, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21 (5), 402-421, 1999.
66. Candela, G.T., Grother, P.J., Watson, C.I., Wilkinson, R.A., Wilson, C.L., PCASYS A Pattern-Level Classification Automation System for Fingerprints Technical Report NISTIR, 5647, 1995.
67. Jain, A.K., Prabhakar, S., Hong, L., A Multichannel Approach to Fingerprint Classification, *IEEE Transactions on Patern Analysis and Machine Intelligence*, 21(4), 348-359, 1999.
68. Cappelli, R., Maio, D., Maltoni, D., Combining Fingerprint Classifiers, in *proceedings First International Workshop on Multiple Classifier Systems (MCS2000)*, Cagliari, 351-361, 2000.
69. Senior, A., A combination Fingerprint Classifier, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(10), 1165-1174, 2001.
70. Marcialis, G.L., Roli, F., Frasconi, P., Fingerprint classification by combination of flat and structural approaches, *IAPR 3rd International Conference on Audio and Video-Based Biometric Person Authentication AVBPA01*, Halmstad (Sweden), J. Bigun and F. Smeraldi Eds, Springer LNCS 2091, 241-246, 2001.
71. Moayer, B., Fu, K., A systactic Approach to Fingerprint Pattern Recognition, *Pattern Recognition*, 7, 1-23, 1975.
72. Moayer, B., Fu, K., An Application of Stochastic Languages to Fingerprint Pattern Recognition, *Pattern Recognition*, 8, 173-179, 1976.

73. Hughes, P., Green, A., The Use of Neural Networks for Fingerprint Classification, in Proc. Int. Conf. on Neural Networks (2nd), 79-81, 1991.
74. Bowen, J., Home Office Automatic Fingerprint Pattern Classification Project, IEE Colloquium on Neural Networks for Image Processing Applications, 1, 1-5, 1992.
75. Kamijo, M., Kojima, K., Mieno, H., Classification of fingerprint images using a neural network, Systems and Computers, in Japan, 23(3), 1992.
76. Moscinska K., Tyma G., Neural Network Based Fingerprint Classification, in Proc. Int. Conf. on Artificial Neural Networks (3rd) 1993.
77. Kamijo, M., Classifying Fingerprint Images Using Neural Network. Deriving the Classification State, in Proc. Int. Conf. on Neural Networks, 3, 1932-1937, 1993.
78. Omidvar, O.M., Blue, J.L., Wilson, C.L., Improving Neural Network Performance for Character and Fingerprint Classification by Altering Network Dynamics, in proc. World Congress on Neural Networks, 151-158, 1995.
79. Halici, U., Ongun, G., Fingerprint Classification Through Self Organizing Maps Modified to Theat Encertainties, Proc. of the IEEE, 84(10), 1497-1512, 1996.
80. Karu, K., Jain, A.K., Fingerprint Classification, Pattern Recognition, 29(3), 389-404, 1996.
81. Chong, M.M.S., Ngee, T.H., Liu, J., Gay, R.K.L., Gay: Geometric framework for fingerprint image classification. Pattern Recognition 30(9), 1475-1488, 1997.
82. Ballan, M., Sakarya, F.A., Evans, B.L., Fingerprint Classification Technique Using Directional Images, Proc. IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, 1, 101-104, 1997.
83. Wei, D., Yuan, Q., Jie, T., Fingerprint Classification System with feedback Mechanism Based on genetic Algorithm, in Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition (14th), 1, 163-165, 1998.
84. Lumini, A., Maio, D., Maltoni D., Inexact Graph Matching for Fingerprint Classification, Machine GRAPHICS & VISION Special Issue on Graph Trasformations in Pattern Generation and CAD, 8(2), 231-248, 1999.
85. Hong L., Jain A.K., Classification of Fingerprint Images, in Proc Scandinavian Conf. on Image Analysis (11th), 1999.

86. Cappelli, R., Maio, D., Maltoni, D., Fingerprint Classification based on Multi-space KL, in proceedings Workshop on Automatic Identification Advances Technologies (AutoID'99), Summit (NJ), 117-120, 1999.
87. Cho, B.H., Kim, J.S., Bae, J.H., Bae, I.G., Yoo, K.Y., Core-Based Fingerprint Image Classification, *icpr*, 2, 2859, 15th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'00), 2, 2000.
88. Bartesaghi, A., Fernández, A., Gómez, A., Performance Evaluation of an Automatic Fingerprint Classification Algorithm Adapted to a Vucetich Based Classification System, *AVBPA 2001*, 259-265, 2001.
89. Bernard, S., Boujema, N., Vitale, D., Bricot, C., Fingerprint classification using kohonen topologic map, in: *International Conference on Image Processing (ICIP01)*, 230-233, 2001.
90. Pattichis, M.S., Panayi, G., Bovic, A.C., Hsu, S.P., Fingerprint Classification Using an AM-FM Model, *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(6), 951-954, 2001.
91. Yager, N., Amin, A., Fingerprint classification: a review, *Pattern Analysis & Applications*, 7(1), 77-93, 2004.
92. Senior, A., A Hidden Markov Model Fingerprint Classifier, in *Proc. Asilomar Conf. on Signals Systems and Computers (31st)*, 306-310, 1997.
93. Yao, Y., Frasconi, P., Pontil, M., Fingerprint Classification With Combination Of Support Vector Machines, In *Proc. Int. Conf. On Audio and Video based Biometric person Authentication*, 253-258, 2001.
94. Cappelli, R., Maio, D., Maltoni, D., A Multi-Classifer Approach to Fingerprint Classification, *Pattern Analysis and Applications Special Issue on Fusion of Multiple Classifiers*, 5(2), 136-144, 2002.
95. Jain A.K., Minut, S., Hierarchical Kernel Fitting for Fingerprint Classification and Allignment, in *Proc. Int. Conf.on Pattern Recognition (16th)*, 2, 469-473, 2002.
96. Bazen, A.M., Veldhuis, R.N.J., Likelihood-ratio-based biometric verification, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 86-94, 2004.

97. Dorai, C., Ratha, N.K., Bolle, R.M., Dynamic behavior analysis in compressed fingerprint videos *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 58–73, 2004.
98. Thomaz, C.E., Gillies, D.F., Feitosa, R.Q., A new covariance estimate for Bayesian classifiers in biometric recognition, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(2), 214–223, 2004.
99. Toh, K.-A., Wei-Yun Y., Combination of hyperbolic functions for multimodal biometrics data fusion, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 34(2), 1196–1209, 2004.
100. Uludag, U., Pankanti, S., Prabhakar, S., Jain, A.K., Biometric cryptosystems: issues and challenges, *Proceedings of the IEEE*, 92(6), 948–960, 2004.
101. Faundez-Zanuy, M., On the vulnerability of biometric security systems, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 19(6), 3–8, 2004.
102. Faundez-Zanuy, M., A door-opening system using a low-cost fingerprint scanner and a PC, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 19(8), 23–26, 2004.
103. Brunelli, R., Poggio, T., Face Recognition: Features versus Templates, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(10), 1042-1052, October 1993.
104. Cappelli, R., Maio, D., Maltoni, D., Wayman, J.L., Jain, A.K., Performance evaluation of fingerprint verification systems, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(1), 3–18, 2006.
105. Antonelli, A., Cappelli, R., Maio, D., Maltoni, D., Fake finger detection by skin distortion analysis *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 1(3), 360–373, 2006.
106. Garris, M.D., Tabassi, E., Wilson, C.L., NIST Fingerprint Evaluations and Developments, *Proceedings of the IEEE*, 94(11), 1915–1926, 2006.
107. Sirovich, L., Meytlis, M., Symmetry, Probability, and Recognition in Face Space, *PNAS-Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(17), 6895-6899, 2009.
108. Ross, A., Shah, J., Jain, A.K., From Template to Image: Reconstructing Fingerprints from Minutiae Points *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(4), 544–560, 2007.

109. Martinsen, O.G., Clausen, S., Nysaether, J.B., Grimnes, S., Utilizing Characteristic Electrical Properties of the Epidermal Skin Layers to Detect Fake Fingers in Biometric Fingerprint Systems-A Pilot Study, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(5), 891–894, 2007.
110. Qinghan X., Technology Review-Biometrics-Technology, Application, Challenge, and Computational Intelligence Solutions, *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2(2), 5–25, 2007.
111. Ratha, N.K., Chikkerur, S., Connell, J.H., Bolle, R.M., Generating Cancelable Fingerprint Templates *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(4), 561–572, 2007.
112. Corcoran, P., Iancu, C., Callaly, F., Cucos, A., Biometric Access Control for Digital Media Streams in Home Networks, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 53(3), 917–925, 2007.
113. Chulhan, L., Jeung-Yoon, C., Kar-Ann, T., Sangyoun L., Alignment-Free Cancelable Fingerprint Templates Based on Local Minutiae Information *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 37(4), 980–992, 2007.
114. Galy, N., Charlot, B., Courtois, B., A Full Fingerprint Verification System for a Single-Line Sweep Sensor, *IEEE Sensors Journal*, 7(7), 1054–1065, 2007.
115. Cappelli, R., Lumini, A., Maio, D., Maltoni, D., Fingerprint Image Reconstruction from Standard Templates, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(9), 1489–1503, 2007.
116. Yezeng C., Larin, K.V., In Vivo Two- and Three-Dimensional Imaging of Artificial and Real Fingerprints With Optical Coherence Tomography, *IEEE Photonics Technology Letters*, 19(20), 1634–1636, 2007.
117. Weiguo, S., Howells, G., Fairhurst, M., Deravi, F., A Memetic Fingerprint Matching Algorithm, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2(3), 402–412, 2007.
118. Alonso-Fernandez, F., Fierrez, J., Ortega-Garcia, J., Gonzalez-Rodriguez, J., Fronthaler, H., Kollreider, K., Bigun, J.A., Comparative Study of Fingerprint Image-Quality Estimation Methods, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2(4), 734–743, 2007.

119. Nandakumar, K., Jain, A.K., Pankanti, S., Fingerprint-Based Fuzzy Vault: Implementation and Performance, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2(4), 44–757, 2007.
120. Dongjae , L., Kyoungtaek , C., Heeseung, C.,Jaihie, K., Recognizable-Image Selection for Fingerprint Recognition With a Mobile-Device Camera, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 38(1), 233–243, 2008.
121. Fronthaler, H., Kollreider, K., Bigun, J., Local Features for Enhancement and Minutiae Extraction in Fingerprints, *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(3), 354–363, 2008.
122. Bie, T.D., Cristianini, N., Rosipal, R., Eigenproblems in Pattern Recognition, *Handbook of Computational Geometry for Pattern Recognition, Computer Vision, Neurocomputing and Robotics*, E. Bayro-Corrochano (editor), Springer-Verlag, Heidelberg, April 2004.
123. Wayman, J.L., Biometrics in Identity Management Systems, *IEEE Security & Privacy*, 6(2), 30–37, 2008.
124. Ross, A., Nadgir, R., A Thin-Plate Spline Calibration Model For Fingerprint Sensor Interoperability, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(8), 1097–1110, 2008.
125. Taekyoung K., Hyeonjoon M., Biometric Authentication for Border Control Applications, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(8), 1091-1096 , 2008.
126. Lingling, F., Shuguang, W., Hongfa, W., Tiande, G., Singular Points Detection Based on Zero-Pole Model in Fingerprint Images, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(6), 929–940, 2008.
127. Chongwen, W., Gangyi, D., Zhiwei, Z., Fingerprint matching combining the adjacent feature with curvature of ridges, *WCICA 2008. 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 6811-6816, 2008.
128. Jing, L., Shuzhong, L., Jianyun, N., Ming, L., An Improved Fingerprint Recognition Algorithm Using EBFNN, *WGEC '08. Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, 504–507, 2008.
129. Jing, L., Shuzhong, L., Ming, L., Jianyun, N., Application of Dimensionality Reduction Analysis to Fingerprint Recognition *ISCID '08. International Symposium on Computational Intelligence and Design*, 102–105, 2008.

130. Seong-Jin, K., Kwang-Hyun, L., Sang-Wook H., Euisik Y., A CMOS Fingerprint System-on-a-Chip With Adaptable Pixel Networks and Column-Parallel Processors for Image Enhancement and Recognition *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 43(11), 2558–2567, 2008.
131. Huckemann, S., Hotz, T., Munk, A., Global Models for the Orientation Field of Fingerprints: An Approach Based on Quadratic Differentials *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(9), 1507–1519, 2008.
132. Engel, D., Pschernig, E., Uhl, A., An Analysis of Lightweight Encryption Schemes for Fingerprint Images, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(2), 173–182, 2008.
133. Hyejeong L., Sang-Ho L., Taeseok K., Hyokyung B., Secure user identification for consumer electronics devices, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(4), 1798–1802, 2008.
134. Cappelli, R., Ferrara, M., Maltoni, D., On the Operational Quality of Fingerprint Scanners, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(2), 192–202, 2008.
135. Sanghoon L., Heeseung C., Kyoungtaek, C., Jaihie, K., Fingerprint-Quality Index Using Gradient Components, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(4), 792-800, 2008.
136. Bringer, J., Chabanne, H., Cohen, G., Kindarji, B., Zemor, G., Theoretical and Practical Boundaries of Binary Secure Sketches, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(4), 673–683, 2008.
137. Reddy, P.V., Kumar, A., Rahman, S., Mundra, T.S., A New Antispoofing Approach for Biometric Devices, *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 2(4), 328–337, 2008.
138. Vatsa, M., Singh, R., Noore, A., Unification of Evidence-Theoretic Fusion Algorithms: A Case Study in Level-2 and Level-3 Fingerprint Features, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 39(1), 47–56, 2009.
139. Kumar, A., Ravikanth, C., Personal Authentication Using Finger Knuckle Surface, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 4(1), 98–110, 2009.

140. Cappelli, R., Maltoni, D., On the Spatial Distribution of Fingerprint Singularities, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(4), 742-748, 2009.
141. Yang, M.H., Kriegman, D.J., and Ahuja, N., Detecting faces in images: a survey, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(1), 34-58, 2002.
142. Kotropoulos, C., Tefas, A., and Pitas, I., Frontal Face Authentication Using Variants of Dynamic Link Matching Based on Mathematical Morphology, *Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing*, 122-126, 1998.
143. Tefas, A., Kotropoulos, C., and Pitas, I., Variants of Dynamic Link Architecture Based on Mathematical Morphology for Frontal Face Authentication, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 814-819, 1998.
144. Lam, K., and Yan, H., Fast Algorithm for Locating Head Boundaries, *Electronic Imaging, J.*, 3(4), 351-359, 1994.
145. Moghaddam, B., and Pentland, A., Probabilistic Visual Learning for Object Recognition, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(7), 696-710, 1997.
146. Craw, I., Tock, D., and Bennett, A., Finding Face Features, *Proc. Second European Conf. Computer Vision*, 92-96, 1992.
147. Graf, H.P., Chen, T., Petajan, E., and Cosatto, E., Locating Faces and Facial Parts, *Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition*, 41-46, 1995.
148. Turk M., and Pentland, A., Eigenfaces for Recognition, *J. Cognitive Neuroscience*, 3(1), 71-86, 1991.
149. Samal A., and Iyengar, P.A., Automatic Recognition and Analysis of Human Faces and Facial Expressions: A Survey, *Pattern Recognition*, 25(1), 65-77, 1992.
150. Chellappa, R., Wilson, C.L., and Sirohey, S., Human and Machine Recognition of Faces: Survey, *Proc. IEEE*, 83(5), 705-740, 1995.
151. Liu, C., Wechsler, H., Evolutionary Pursuit and Its Application to Face Recognition, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(6), 570-582, 2000.

152. Srisuk S., and Kurutach, W., Face Recognition using a New Texture Representation of Face Images, Proceedings of Electrical Engineering Conference, Cha-am, Thailand, 1097-1102, 2003.
153. Crowley, J.L., and Berard, F., Multi-Modal Tracking of Faces for Video Communications, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 640-645, 1997.
154. Darrell, T., Gordon, G., Harville, M., and Woodfill, J., Integrated Person Tracking Using Stereo, Color, and Pattern Detection, Int'l Computer Vision, J., 37(2), 175-185, 2000.
155. Edwards, G.J., Taylor, C.J., and Cootes, T., Learning to Identify and Track Faces in Image Sequences, Proc. Sixth IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 317-322, 1998.
156. Donato, G., Bartlett, M.S., Hager, J.C., Ekman, P., and Sejnowski, T.J., Classifying Facial Actions, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21(10), 974-989, 2000.
157. Essa, I.A., and Pentland, A., Facial Expression Recognition Using a Dynamic Model and Motion Energy, Proc. Fifth IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 360-367, 1995.
158. Yang, G., and Huang, T. S., Human Face Detection in Complex Background, Pattern Recognition, 27(1), 53-63, 1994.
159. Kotropoulos, C., and Pitas, I., Rule-Based Face Detection in Frontal Views, Proc. Int'l Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 4, 2537-2540, 1997.
160. Kanade, T., Picture Processing by Computer Complex and Recognition of Human Faces, PhD Thesis, Kyoto Univ., 1973.
161. Sirohey, S.A., Human Face Segmentation and Identification, Technical Report CS-TR-3176, Univ. of Maryland, 1993.
162. Chetverikov, D., and Lerch, A., Multiresolution Face Detection, Theoretical Foundations of Computer Vision, 69, 131-140, 1993.
163. Leung, T.K., Burl, M.C., and Perona, P., Finding Faces in Cluttered Scenes Using Random Labeled Graph Matching, Proc. Fifth IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 637-644, 1995.

164. Burl, M.C., Leung, T.K., and Perona, P., Face Localization via Shape Statistics, Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition, 154-159, 1995.
165. Leung, T.K., Burl, M.C., and Perona, P., Probabilistic Affine Invariants for Recognition, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 678-684, 1998.
166. Kendall, D.G., Shape Manifolds, Procrustean Metrics and Complex Projective Shapes, Bull. London Math. Soc., 16, 81-121, 1984.
167. Mardia, K.V., and Dryden, I.L., Shape Distributions for Landmark Data, Advanced Applied Probability, 21, 742-755, 1989.
168. Yow, K.C., and Cipolla, R., A Probabilistic Framework for Perceptual Grouping of Features for Human Face Detection, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 16-21, 1996.
169. Yow K.C., and Cipolla, R., Feature-Based Human Face Detection, Image and Vision Computing, 15(9), 713-735, 1997.
170. Yow K.C., and Cipolla, R., Enhancing Human Face Detection Using Motion and Active Contours, Proc. Third Asian Conf. Computer Vision, 515-522, 1998.
171. Cipolla, R., and Blake, A., The Dynamic Analysis of Apparent Contours, Proc. Third IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 616- 623, 1990.
172. Takacs B., and Wechsler, H., Face Location Using a Dynamic Model of Retinal Feature Extraction, Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition, 243-247, 1995.
173. Han, C.-C., Liao, H-Y.M., Yu, K.-C., and Chen, L.-H., Fast Face Detection via Morphology-Based Pre-Processing, Proc. Ninth Int'l Conf. Image Analysis and Processing, 469-476, 1998.
174. Rowley, H., Baluja, S., and Kanade, T., Neural Network-Based Face Detection, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 203-208, 1996.
175. Amit, Y., Geman, D., and Jedynek, B., Efficient Focusing and Face Detection, Face Recognition: From Theory to Applications, Wechsler, H., Phillips, P.J., Bruce, V., Fogelman-Soulie, F., and Huang, T.S., eds., 163, 124-156, 1998.
176. Augusteijn, M.F., and Skujca, T.L., Identification of Human Faces through Texture-Based Feature Recognition and Neural Network Technology, Proc. IEEE Conf. Neural Networks, pp. 392-398, 1993.

177. Haralick, R.M., Shanmugam, K., and Dinstein, I., Texture Features for Image Classification, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, 3(6), 610-621, 1973.
178. Dai, Y., and Nakano, Y., Face-Texture Model Based on SGLD and Its Application in Face Detection in a Color Scene, *Pattern Recognition*, 29(6), 1007-1017, 1996.
179. Fahlman, S., and Lebiere, C., The Cascade-Correlation Learning Architecture, *Advances in Neural Information Processing Systems 2*, Touretsky, D.S., ed., 524-532, 1990.
180. Kohonen, T., *Self-Organization and Associative Memory*. Springer 1989.
181. Graf, H.P., Cosatto, E., Gibbon, D., Kocheisen, M., and Petajan, E., Multimodal System for Locating Heads and Faces, *Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 88-93, 1996.
182. Yang J., and Waibel, A., A Real-Time Face Tracker, *Proc. Third Workshop Applications of Computer Vision*, 142-147, 1996.
183. Jebara, T.S., and Pentland, A., Parameterized Structure from Motion for 3D Adaptive Feedback Tracking of Faces, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 144-150, 1997.
184. Jebara, T.S., Russell, K., and Pentland, A., Mixtures of Eigenfeatures for Real-Time Structure from Texture, *Proc. Sixth IEEE Int'l Conf. Computer Vision*, 128-135, 1998.
185. Satoh, S., Nakamura, Y., and Kanade, T., Name-It: Naming and Detecting Faces in News Videos, *IEEE Multimedia*, 6(1), 22-35, 1999.
186. Miyake, Y., Saitoh, H., Yaguchi, H., and Tsukada, N., Facial Pattern Detection and Color Correction from Television Picture for Newspaper Printing, *J. Imaging Technology*, 16(5), 165-169, 1990.
187. Crowley, J.L., and Bedrune, J.M., Integration and Control of Reactive Visual Processes, *Proc. Third European Conf. Computer Vision*, 2, 47-58, 1994.
188. Starner T., and Pentland, A., Real-Time ASL Recognition from Video Using HMM's, Technical Report 375, Media Lab, Massachusetts Inst. of Technology, 1996.

189. Oliver, N., Pentland, A., and Berard, F., LAFER: Lips and Face Real Time Tracker, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 123-129, 1997.
190. Yang, J., Stiefelhagen, R., Meier, U., and Waibel, A., Visual Tracking for Multimodal Human Computer Interaction, Proc. ACM Human Factors in Computing Systems Conf. (CHI 98), 140-147, 1998.
191. Kim, S.-H., Kim, N.-K., Ahn, S.C., and Kim, H.-G., Object Oriented Face Detection Using Range and Color Information, Proc. Third Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 76-81, 1998.
192. Sun, Q.B., Huang, W.M., and Wu, J.K., Face Detection Based on Color and Local Symmetry Information, Proc. Third Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 130-135, 1998.
193. Qian, R.J., Sezan, M.I., and Matthews, K.E., A Robust Real-Time Face Tracking Algorithm, Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, 131-135, 1998.
194. Saxe D., and Foulds, R., Toward Robust Skin Identification in Video Images, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 379-384, 1996.
195. Kjeldsen, R., and Kender, J., Finding Skin in Color Images, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 312- 317, 1996.
196. Sobottka K., and Pitas, I., Face Localization and Feature Extraction Based on Shape and Color Information, Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, 483-486, 1996.
197. Sobottka J., and Pitas, I., Segmentation and Tracking of Faces in Color Images, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 236-241, 1996.
198. Wangand H., Chang, S.-F., A Highly Efficient System for Automatic Face Region Detection in MPEG Video, IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, 7(4), 615-628, 1997.
199. Chai, D., and Ngan, K.N., Locating Facial Region of a Head-and-Shoulders Color Image, Proc. Third Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 124-129, 1998.

200. Dai, Y., and Nakano, Y., Extraction for Facial Images from Complex Background Using Color Information and SGLD Matrices, Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition, 238-242, 1995.
201. Saber, E., and Tekalp, A.M., Frontal-View Face Detection and Facial Feature Extraction Using Color, Shape and Symmetry Based Cost Functions, Pattern Recognition Letters, 17(8), 669-680, 1998.
202. Chen, Q., Wu, H., and Yachida, M., Face Detection by Fuzzy Matching, Proc. Fifth IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 591-596, 1995.
203. Yang M.-H., and Ahuja, N., Detecting Human Faces in Color Images, Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, 1, 127-130, 1998.
204. Cai, J., Goshtasby, A., and Yu, C., Detecting Human Faces in Color Images, Proc. 1998 Int'l Workshop Multi-Media Database Management Systems, 124-131, 1998.
205. Yang M.-H., and Ahuja, N., Gaussian Mixture Model for Human Skin Color and Its Application in Image and Video Databases, Proc. SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Databases VII, 3656, 458-466, 1999.
206. Forsyth, D., A Novel Approach to Color Constancy, Int'l Computer Vision, 5(1), 5-36, 1990.
207. McKenna, S., Raja, Y., and Gong, S., Tracking Colour Objects Using Adaptive Mixture Models, Image and Vision Computing, 17(3/4), 223-229, 1998.
208. Huttenlocher, D., Klanderman, G., and Rucklidge, W., Comparing Images Using the Hausdorff Distance, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15, 850-863, 1993.
209. Ahuja, N., A Transform for Multiscale Image Segmentation by Integrated Edge and Region Detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 18(9), 1211-1235, 1996.
210. Sakai, T., Nagao, M., and Fujibayashi, S., Line Extraction and Pattern Detection in a Photograph, Pattern Recognition, 1, 233-248, 1969.
211. Craw, I., Ellis, H., and Lishman, J., Automatic Extraction of Face Features, Pattern Recognition Letters, 5, 183-187, 1987.
212. Song, J., Chen, B., Chi, C., Qiu, X., and Wang, W., Face Recognition Based on Binary Template Matching, Advanced Intelligent Computing Theories and

- Applications with Aspects of Theoretical and Methodological Issues, Lecture Notes in Computer Science, 4681, 1131-1139, 2007.
213. Govindaraju, V., Locating Human Faces in Photographs, *Int'l Computer Vision, J.*, 19(2), 129-146, 1996.
 214. Govindaraju, V., Sher, D.B., Srihari, R.K., and Srihari, S.N., Locating Human Faces in Newspaper Photographs, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 549-554, 1989.
 215. Govindaraju, V., Srihari, S.N., and Sher, D.B., A Computational Model for Face Location, *Proc. Third IEEE Int'l Conf. Computer Vision*, 718-721, 1990.
 216. Venkatraman, M., and Govindaraju, V., Zero Crossings of a Non-Orthogonal Wavelet Transform for Object Location, *Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing*, 3, 57-60, 1995.
 217. Tsukamoto, A., Lee, C.-W., and Tsuji, S., Detection and Tracking of Human Face with Synthesized Templates, *Proc. First Asian Conf. Computer Vision*, 183-186, 1993.
 218. Tsukamoto, A., Lee, C.-W., and Tsuji, S., Detection and Pose Estimation of Human Face with Synthesized Image Models, *Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition*, 754-757, 1994.
 219. Samal A., and Iyengar, P.A., Human Face Detection Using Silhouettes, *Int'l J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 9(6), 845-867, 1995.
 220. Sumi Y., and Ohta, Y., Detection of Face Orientation and Facial Components Using Distributed Appearance Modeling, *Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition*, 254-259, 1995.
 221. Sinha, P., Object Recognition via Image Invariants: A Case Study, *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 35(4), 1735-1740, 1994.
 222. Sinha, P., Processing and Recognizing 3D Forms, PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology, 1995.
 223. Papageorgiou, C., and Poggio, T., A Trainable System for Object Recognition, *Int'l Computer Vision Journal*, 38(1), 15-33, 2000.
 224. Breazeal, C., and Scassellati, B., A Context-Dependent Attention System for a Social Robot, *Proc. 16th Int'l Joint Conf. Artificial Intelligence*, 2, 1146-1151, 1999.

225. Scassellati, B., Eye Finding via Face Detection for a Foevated, Active Vision System, Proc. 15th Nat'l Conf. Artificial Intelligence, 1998.
226. Miao, J., Yin, B., Wang, K., Shen, L., and Chen, X., A Hierarchical Multiscale and Multiangle System for Human Face Detection in a Complex Background Using Gravity-Center Template, Pattern Recognition, 32(7), 1237-1248, 1999.
227. Yuille, A., Hallinan, P., and Cohen, D., Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates, Int'l J. Computer Vision, 8(2), 99-111, 1992.
228. Kwon, Y.H., and Vitoria Lobo, N., Face Detection Using Templates, Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition, 764-767, 1994.
229. Kass, M., Witkin, A., and Terzopoulos, D., Snakes: Active Contour Models, Proc. First IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 259-269, 1987.
230. Leymarie, F., and Levine, M.D., Tracking Deformable Objects in the Plan Using an Active Contour Model, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(6), 617-634, June 1993.
231. Lanitis, A., Taylor, C.J., and Cootes, T.F., An Automatic Face Identification System Using Flexible Appearance Models, Image and Vision Computing, 13(5), 393-401, 1995.
232. Kirby, M., and Sirovich, L., Application of the Karhunen-Loe`ve Procedure for the Characterization of Human Faces, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12(1), 103-108, Jan. 1990.
233. Cootes, T.F., and Taylor, C.J., Locating Faces Using Statistical Feature Detectors, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 204-209, 1996.
234. Anderson, T.W., An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, New York: John Wiley, 1984.
235. Karhunen, K., Uber Lineare Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series AI: Mathematica-Physica, 37, 3-79, 1946. (Translated by RAND Corp., Santa Monica, Calif., Report T-131, Aug. 1960).
236. Fukunaga, K., Introduction to Statistical Pattern Recognition, New York: Academic, 1972.
237. Loe`ve, M.M., Probability Theory. Princeton, N.J.: Van Nostrand, 1955.
238. Jolliffe, I.T., Principal Component Analysis. New York: Springer-Verlag, 1986.

239. Gonzalez, R.C., and Wintz, P.A., *Digital Image Processing*. Reading: Addison Wesley, 1987.
240. Pearson, K., On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space, *Philosophical Magazine*, 2(), 559-572, 1901.
241. Hotelling, H., Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components, *Educational Psychology, J.*, 24, 417- 441, 498-520, 1933.
242. Gottumukkal, R., Asari, V.K., An improved face recognition technique based on modular PCA approach, 25(4), 429-436, 2004.
243. Sung, K.-K., *Learning and Example Selection for Object and Pattern Detection*, PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology, 1996.
244. Sung, K.-K., and Poggio, T., Example-Based Learning for View-Based Human Face Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(1), 39-51, Jan. 1998.
245. Osuna, E., Freund R., and Girosi F., Training Support Vector Machines: An Application to Face Detection, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 130-136, 1997 .
246. Rowley, H., Baluja, S., and Kanade, T., Neural Network-Based Face Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(1), 23-38, Jan. 1998.
247. Tan, K.R., and Chen, S.C., Adaptively weighted sub-pattern PCA for face recognition, *Neurocomputing*, 64, 505-511, 2005.
248. Kervrann, C., Davoine, F., Perez, P., Li, H., Forchheimer, R., and Labit, C., Generalized Likelihood Ratio-Based Face Detection and Extraction of Mouth Features, *Proc. First Int'l Conf. Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication*, 27-34, 1997.
249. Yang, M.-H., Ahuja, N., and Kriegman, D., Mixtures of Linear Subspaces for Face Detection, *Proc. Fourth Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 70-76, 2000. .
250. Duda, R.O., and Hart, P.E., *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York: John Wiley, 1973.
251. Duda, R.O., Hart, P.E., and Stork, D.G., *Pattern Classification*. New York: Wiley-Interscience, 2001.
252. Bishop, C.M., *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford Univ. Press, 1995.

253. Belhumeur, P., Hespanha, J., and Kriegman, D., Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(7), 711-720, 1997.
254. Ghahramani, Z., and Hinton, G.E., The EM Algorithm for Mixtures of Factor Analyzers, Technical Report CRG-TR-96-1, Dept. Computer Science, Univ. of Toronto, 1996.
255. Frey, B.J., Colmenarez, A., and Huang, T.S., Mixtures of Local Subspaces for Face Recognition, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 32-37, 1998. .
256. Hinton, G.E., Dayan, P., and Revow, M., Modeling the Manifolds of Images of Handwritten Digits, *IEEE Trans. Neural Networks*, 8(1), 65-74, 1997.
257. H. Cevikalp, M. Neamtu, Nonlinear Discriminant Common Vectors, *Proceedings of the IEEE 13th Signal Processing and Communications Applications Conference*, 292–295, 2005.
258. He, Y., Zhao, L., Zou, C., Kernel Discriminative Common Vectors For Face Recognition, *Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, 18-21 August 2005.
259. Swets, D.L., and Weng, J., Using Discriminant Eigenfeatures for Image Retrieval, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(8), 891-896, Aug. 1996.
260. Zhao, W., Chellappa, R., and Krishnaswamy, A., Discriminant Analysis of Principal Components for Face Recognition, *Proc. Third Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 336-341, 1998.
261. Agui, T., Kokubo, Y., Nagashashi, H., and Nagao, T., Extraction of Face Recognition from Monochromatic Photographs Using Neural Networks, *Proc. Second Int'l Conf. Automation, Robotics, and Computer Vision*, 1,18(8), 1-5, 1992.
262. Juell, P., and Marsh, R., A Hierarchical Neural Network for Human Face Detection, *Pattern Recognition*, 29(5), 781-787, 1996.
263. Propp, M., and Samal, A., Artificial Neural Network Architectures for Human Face Detection, *Intelligent Eng. Systems through Artificial Neural Networks*, 2, 1992.

264. Soulie, F., Viennet, E., and Lamy, B., Multi-Modular Neural Network Architectures: Pattern Recognition Applications in Optical Character Recognition and Human Face Recognition, *Int'l J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 7(4), 721-755, 1993.
265. Vaillant, R., Monrocq, C., and Le Cun, Y., An Original Approach for the Localisation of Objects in Images, *IEE Proc. Vision, Image and Signal Processing*, 141, 245-250, 1994.
266. Burel, G., and Carel, D., Detection and Localization of Faces on Digital Images, *Pattern Recognition Letters*, 15(10), 963-967, 1994.
267. Fe'raud, R., PCA, Neural Networks and Estimation for Face Detection, *Face Recognition: From Theory to Applications*, Wechsler, H., Phillips, P.J., Bruce, V., Fogelman-Soulie, F., and Huang, T.S., eds., 163, 424-432, 1998.
268. Fe'raud, R., and Bernier, O., Ensemble and Modular Approaches for Face Detection: Comparison, *Advances in Neural Information Processing Systems 10*, Jordan, M.I., Kearns, M.J., and Solla, S.A., eds., 472-478, MIT Press, 1998.
269. Fe'raud, R., Bernier, O.J., Villet, J.-E., and Collobert, M., A Fast and Accurate Face Detector Based on Neural Networks, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(1), 42-53, Jan. 2001.
270. Kramer, M.A., Nonlinear Principal Component Analysis Using Autoassociative Neural Networks, *Am. Inst. Chemical Eng. J.*, 37(2), 233-243, 1991.
271. Collobert, M., Fe'raud, R., Tourneur, G.L., Bernier, O., Viallet, J.E., Mahieux, Y., and Collobert, D., LISTEN: A System for Locating and Tracking Individual Speakers, *Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 283-288, 1996. .
272. Bernier, O., Collobert, M., Fe'raud, R., Lemarie, V., Viallet, J.E., and Collobert, D., MULTRAK: A System for Automatic Multiperson Localization and Tracking in Real-Time, *Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing*, 136-140, 1998. .
273. Lin, S.-H., Kung, S.-Y., and Lin, L.-J., Face Recognition/Detection by Probabilistic Decision-Based Neural Network, *IEEE Trans. Neural Networks*, 8(1), 114-132, 1997.

274. Rowley, H., Baluja, S., and Kanade, T., Human Face Detection in Visual Scenes, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Touretzky, D.S., Mozer, M.C., and Hasselmo, M.E., eds., 875-881, 1996.
275. Rowley, H., Baluja, S., and Kanade, T., Rotation Invariant Neural Network-Based Face Detection, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 38-44, 1998.
276. Valentin, D., Abdi, H., Edelman, B., O'Toole, A.J., Principal Component and Neural Network Analyses of Face Images: What Can Be Generalized in Gender Classification, *Journal of Mathematical Psychology*, 41, 398-412, 1997.
277. Martinez, A., and Kak, A., PCA versus LDA, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(2), 228-233, 2001.
278. Rowley, H.A., *Neural Network-Based Face Detection*, PhD thesis, Carnegie Mellon Univ., 1999.
279. Waibel, A., Hanazawa, T., Hinton, G., Shikano, K., and Lang, K., Phoneme Recognition Using Time-Delay Neural Networks, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 37(3), 328-339, May 1989.
280. Sung, K.-K., and Poggio, T., Example-Based Learning for View-Based Human Face Detection, *Technical Report AI Memo 1521*, Massachusetts Inst. of Technology AI Lab, 1994.
281. Oren, M., Papageorgiou, C., Sinha, P., Osuna, E., and Poggio, T., Pedestrian Detection Using Wavelet Templates, *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 193-199, 1997.
282. Papageorgiou, C., Oren, M., and Poggio, T., A General Framework for Object Detection, *Proc. Sixth IEEE Int'l Conf. Computer Vision*, 555-562, 1998.
283. Guo, G., Li, S.Z., Chan, K., Face Recognition by Support Vector Machines, *Proc. of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 26-30 March 2000, Grenoble, France, 196-201, 2000.
284. Carleson, A., Cumby, C., Rosen, J., and Roth, D., The SnoW Learning Architecture, *Technical Report UIUCDCS-R-99-2101*, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign Computer Science Dept., 1999.
285. Yang, M.-H., Roth, D., and Ahuja, N., A SNoW-Based Face Detector, *Advances in Neural Information Processing Systems 12*, S.A. Solla, T. K. Leen, and K.-R. Mu' ller, eds., 855-861, MIT Press, 2000.

286. Schneiderman, H., and Kanade, T., Probabilistic Modeling of Local Appearance and Spatial Relationships for Object Recognition, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 45-51,1998. .
287. Schneiderman, H., and Kanade, T., A Statistical Method for 3D Object Detection Applied to Faces and Cars, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1, 746-751, 2000.
288. Rikert, T., Jones, M., and Viola, P., A Cluster-Based Statistical Model for Object Detection, Proc. Seventh IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 2, 1046-1053, 1999.
289. Samaria, F.S. Face Recognition Using Hidden Markov Models, PhD thesis, Univ. of Cambridge, 1994.
290. Samaria F., and Young, S., HMM Based Architecture for Face Identification, Image and Vision Computing, 12, 537-583, 1994.
291. Nefian, A.V., and H III, M.H., Face Detection and Recognition Using Hidden Markov Models, Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, 1, 141-145, 1998.
292. Rajagopalan, A., Kumar, K., Karlekar, J., Manivasakan, R., Patil, M., Desai, U., Poonacha, P., and Chaudhuri, S., Finding Faces in Photographs, Proc. Sixth IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 640-645, 1998.
293. Lew, M.S., Information Theoretic View-Based and Modular Face Detection, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 198-203, 1996.
294. Colmenarez, A.J., and Huang, T.S., Face Detection with Information-Based Maximum Discrimination, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 782-787, 1997.
295. Pentland, A., Moghaddam, B., and Starner, T., View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition, Proc. Fourth IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 84-91, 1994.
296. Qian, R.J., and Huang, T.S., Object Detection Using Hierarchical MRF and MAP Estimation, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 186-192, 1997 .
297. Huang, J., Gutta, S., and Wechsler, H., Detection of Human Faces Using Decision Trees, Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 248-252, 1996.

298. Duta, N., and Jain, A.K., Learning the Human Face Concept from Black and White Pictures, Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition, 1365-1367, 1998 .
299. Baştürk, B., Bilgisayar destekli yöntemlerle yüzdeki dismorfik rahatsızlıkların otomatik tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2005.
300. Kepenekci, B., Face Recognition Using Gabor Wavelet Transform, PhD thesis, The Middle East Technical University, 2001.
301. Bryliuk, D., Starovoitov, V., Access Control by Face Recognition Using Neural Networks, The 2nd International Conference on Artificial Intelligence, September 16-20, Crimea, Ukraine, 428-436, 2000.
302. Gutta, S., Huang, J., Takacs, B., Wechsler, H., Face Recognition Using Ensembles of Networks, Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition, 4, 5054. 1996.
303. Huang, F.J., Zhou, Z., Zhang, H.J., Chen T., Pose Invariant Face Recognition, IEEE Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, Grenoble, France, 2000.
304. Cottrell, G.W., Flemming M., Face Recognition Using Unsupervised Feature Extraction, Proceedings of the International Neural Network Conference, 1990.
305. Lawrence, S., Giles, C.L., Tsoi, A.C., Baek, A.D., Face Recognition: A Hybrid Neural Network Approach, 1996.
306. Lawrence, S., Giles, C.L., Tsoi, A.C., Baek, A.D., Face Recognition: A Convolutional Neural Network Approach, 1997.
307. Howell, A.J., Buxton, H., Receptive Field Functions for Face Recognition, Proc. 2nd International Workshop on Parallel Modelling of Neural Operators for Pattern Recognition (PAMONOP), Faro, Portugal, 83-92. 1995.
308. Howell, A.J., Buxton, H., Face Recognition Using Radial Basis Function Neural Networks, BMVC'96 Conference, Edinburg, 1996.
309. Howell, A.J., Buxton, H., Towards Unconstrained Face Recognition from Image Sequences, In ICAFG, 1996.
310. Howell, A.J., Automatic Face Recognition Using Radial Basis Functions, CSRP 488, May 1998.
311. Howell, A.J., Face Unit Radial Basis Function Networks, Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition, CRC Press, 315-334, 1999.

312. Er, M.J., Wu, S., Lu, J., Face Recognition Using Radial Basis Function (RBF) Neural Networks, Proc. of the 38th IEEE Conf. on Decision and Control, Phoenix, Arizona, USA, 1999.
313. Er, M.J., Wu, S., Lu, J., Toh, H.L., Face Recognition With Radial Basis Function (RBF) Neural Networks, IEEE Transactions on Neural Networks, 13(3):697-710, 2002.
314. Feitosa, R.Q., Comparing the Performance of the Discriminant Analysis and RBF Neural Network for Face Recognition, ISAS'99, 1999.
315. Huang, R.B., Law, L.T., Cheung, Y.M., An Experimental Study: On Reducing RBF Input Dimension by ICA and PCA, 2002.
316. Gutta, S., Wechsler, H., Face Recognition Using Hybrid Classifier Systems, Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Neural Networks, 2, 1017-1022, 1996.
317. Hjelmsås, E., Wroldsen, J., Face Recognition with Multi-Layer Perceptrons, NOBIM Proceedings (Norwegian Image Processing and Pattern Recognition Conference), 1997.
318. Gordon, G.G., Face Recognition from Frontal and Profile Views, Proceedings of the International Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, IWAfGR95, 47-52, Zurich, 1995.
319. Marcialis, G.L., Roli, F., Fusion of LDA and PCA for Face Recognition, Workshop on Machine Vision and Perception, held in the context of the 8th Meeting of the Italian Association for Artificial Intelligence, AI*IA02, September, 10-13, Siena (Italy), 2002.
320. Achermann, B., Bunke, H., Combination of Classifiers on the Decision Level for Face Recognition, Technical Report IAM-96-002, Institut für Informatik und angewandte Mathematik, Universität Bern, Bern, 1996.
321. Gutta, S., Huang, J., Imam, İ.F., Wechsler, H., Face and Hand Gesture Recognition Using Hybrid Classifiers, Proceedings of the International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, ICAFG 96, 164-169, Killington, 1996.
322. Wallhoff, F., Rigoll, G., A Novel Hybrid Face Profile Recognition System Using the FERET and Mugshot Databases, ICIP01, 1, 1014-1017, 2001.

323. Wallhoff, F., Müller, S., Rigoll, G., Hybrid Face Recognition Systems for Profile Views Using the Mugshot Database, In IEEE Int. Proceedings on International Conference on Computer Vision, Workshop RATFG (ICCV), Vancouver, Canada, July 2001.
324. Rong , X., Ming-Jing, L., Hong-Jiang, Z., Robust multipose face detection in images, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 14(1), 31–41, 2004.
325. Faundez-Zanuy, M., Fierrez-Aguilar, J., Ortega-Garcia, J., Gonzalez-Rodriguez, J., Multimodal biometric databases: an overview, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 21(8), Part 1, 29–37, 2006.
326. Ngo, D.C.L., Teoh, A.B.J., Goh, A., Biometric hash: high-confidence face recognition, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 16(6), 771–775, 2006.
327. Jian, Y., Zhang, D., Jing-yu, Y., Niu, B., Globally Maximizing, Locally Minimizing: Unsupervised Discriminant Projection with Applications to Face and Palm Biometrics, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 29(4), 650–664, 2007.
328. Sutcu, Y., Qiming, L., Memon, N., Protecting Biometric Templates With Sketch: Theory and Practice, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2(3), Part 2, 503–512, 2007.
329. Aaraj, N., Ravi, S., Raghunathan, A., Jha, N.K., Hybrid Architectures for Efficient and Secure Face Authentication in Embedded Systems, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 15(3), 296–308, 2007.
330. Mohanty, P., Sarkar, S., Kasturi, R., From Scores to Face Templates: A Model-Based Approach, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 29(12), 2065–2078, 2007.
331. Adler, A., Schuckers, M.E., Comparing Human and Automatic Face Recognition Performance, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 37(5), 1248–1255, 2007.
332. Fox, N.A., Gross, R., Cohn, J.F., Reilly, R.B., Robust Biometric Person Identification Using Automatic Classifier Fusion of Speech, Mouth, and Face Experts, IEEE Transactions on Multimedia, 9(4), 701–714, 2007.

333. Mitra, S., Savvides, M., Brockwell, A., Statistical Performance Evaluation of Biometric Authentication Systems Using Random Effects Models, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(4), 517–530, 2007.
334. Jian, Y., Chengjun, L., Horizontal and Vertical 2DPCA-Based Discriminant Analysis for Face Verification on a Large-Scale Database, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2(4), 781–792, 2007.
335. Golic, J.D., Baltatu, M., Entropy Analysis and New Constructions of Biometric Key Generation Systems, *IEEE Transactions on Information Theory*, 54(5), 2026–2040, 2008.
336. Faltemier, T.C., Bowyer, K.W., Flynn, P.J., A Region Ensemble for 3-D Face Recognition, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(1), 62–73, 2008.
337. Chengjun, L., Learning the Uncorrelated, Independent and Discriminating Color Spaces for Face Recognition, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(2), 213–222, 2008.
338. Yang, J., Liu, C., Color Image Discriminant Models and Algorithms for Face Recognition, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(12), 2088–2098, 2008.
339. Schmid, N. A., Nicolo, F., On Empirical Recognition Capacity of Biometric Systems Under Global PCA and ICA Encoding, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3, 512 – 528, 2008.
340. Dabbah, M.A., Woo, W.L., Dlay, S.S., Image-based facial recognition in the domain of high-order polynomial one-way mapping, *IEEE Image Processing*, 2(3), 139–149, 2008.
341. Mahoor, M. H, Abdel-Mottaleb, M, A Multimodal Approach for Face Modeling and Recognition, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(3), 431–440, 2008.
342. Haitao, Z., Pong Chi, Y., Incremental Linear Discriminant Analysis for Face Recognition, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 38(1), 210-221, 2008.
343. Yang, J., Liu, C., Color Image Discriminant Models and Algorithms for Face Recognition, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(12), 2088–2098, 2008.

344. Jen-Tzung, C., Chin-Pin, L., Maximum Confidence Hidden Markov Modeling for Face Recognition, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(4), 606–616, 2008.
345. Khashman, A., A Modified Backpropagation Learning Algorithm With Added Emotional Coefficients, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(11), 1896–1909, 2008.
346. Geng, X., Zhou, Z.-H., Smith-Miles, K., Individual Stable Space: An Approach to Face Recognition Under Uncontrolled Conditions, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(8), 1354–1368, 2008.
347. Gokberk, B., Dutagaci, H., Ulas, A., Akarun, L., Sankur, B., Representation Plurality and Fusion for 3-D Face Recognition, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 38(1), 155-173, 2008.
348. Xudong, J., Mandal, B., Kot, A., Eigenfeature Regularization and Extraction in Face Recognition, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(3), 383–394, 2008.
349. Xianchao, X., Shuicheng, Y., Kwok, J.T., Huang, T.S., Matrix-Variate Factor Analysis and Its Applications, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(10), 1821–1826, 2008.
350. Mohanty, P., Sarkar, S., Kasturi, R., Phillips, P.J., Subspace Approximation of Face Recognition Algorithms: An Empirical Study, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(4), 734–748, 2008.
351. Xiaoguang, L., Jain, A.K., Deformation Modeling for Robust 3D Face Matching, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(8), 1346–1357, 2008.
352. Makinen, E., Raisamo, R., Evaluation of Gender Classification Methods with Automatically Detected and Aligned Faces, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(3), 541–547, 2008.
353. Yanwei, P., Yuan, Y., Xuelong, L., Gabor-Based Region Covariance Matrices for Face Recognition, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 18(7), 989–993, 2008.
354. Jianxin, W., Brubaker, S.C., Mullin, M.D., Rehg, J.M., Fast Asymmetric Learning for Cascade Face Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(3), 369–382, 2008.

355. Peng, W., Qiang, J., Robust Face Tracking via Collaboration of Generic and Specific Models, *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(7), 1189–1199, 2008.
356. FJun-Su, J., Jong-Hwan, K., Fast and Robust Face Detection Using Evolutionary Pruning, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(5), 562 – 571, 2008.
357. Kui, J., Shaogang, G., Generalized Face Super-Resolution, *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(6), 873–886, 2008.
358. Demirel, H., Anbarjafari, G., Pose Invariant Face Recognition Using Probability Distribution Functions in Different Color Channels, *IEEE Signal Processing Letters*, 15, 537–540, 2008.
359. James, A.P., Dimitrijević, S., Face Recognition Using Local Binary Decisions, *IEEE Signal Processing Letters*, 15, 821–24, 2008.
360. Zafeiriou, S., Pitas, I., Discriminant Graph Structures for Facial Expression Recognition, *IEEE Transactions on Multimedia*, 10(8), 1528–1540, 2008.
361. Dacheng ,T., Mingli, S., Xuelong, L., Jialie, S., Jimeng, S., Xindong, W., Faloutsos, C., Maybank, S.J., Bayesian Tensor Approach for 3-D Face Modeling, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 18(10), 1397–1410, 2008.
362. Xiaozheng, Z., Yongsheng, G., Maylor, L., Recognizing Rotated Faces From Frontal and Side Views: An Approach Toward Effective Use of Mugshot Databases, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(4), 684–697, 2008.
363. Chengjun, L., Learning the Uncorrelated, Independent, and Discriminating Color Spaces for Face Recognition, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(2), 213–222, 2008.
364. Zhiming, L., Chengjun, L., Hybrid Color and Frequency Features Method for Face Recognition, *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(10), 1975–1980, 2008.
365. Goudelis, G., Tefas, A., Pitas, I., Automated Facial Pose Extraction From Video Sequences Based on Mutual Information, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 18(3), 418–424, 2008.

366. Vadakkepat, P., Lim, P., De Silva, L.C., Liu J., Li Li L., Multimodal Approach to Human-Face Detection and Tracking, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(3), 1385–1393, 2008.
367. Wimmer, M., Stulp, F., Pietzsch, S., Radig, B., Learning Local Objective Functions for Robust Face Model Fitting, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(8), 1357–1370, 2008.
368. O'Toole, A.J., Phillips, P.J., Jiang, F., Ayyad, J., Penard, N., Abdi, H., Face Recognition Algorithms Surpass Humans Matching Faces over Changes in Illumination, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(9), 1642-1646, 2007.
369. Mutelo, R.M., Woo, W.L., Dlay, S.S., Discriminant analysis of the two-dimensional Gabor features for face recognition, *IET Computer Vision*, 2(2), 37–49, 2008.
370. Saha, S., Puthenpurayil, S., Schlessman, J., Bhattacharyya, S.S., Wolf, W., The Signal Passing Interface and Its Application to Embedded Implementation of Smart Camera Applications, *Proceedings of the IEEE* , 96(10), 1576–1587, 2008.
371. Yun, S., Sadka, A.H., Kondo, A.M., Automatic Single View-Based 3-D Face Synthesis for Unsupervised Multimedia Applications *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 18(7), 961–974, 2008.
372. Ratsch, M., Teschke, G., Romdhani, S., Vetter, T., Wavelet Frame Accelerated Reduced Support Vector Machines, *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(12), 2456–2464, 2008.
373. Magee, J.J., Betke, M., Gips, J., Scott, M.R., Waber, B.N., Human–Computer Interface Using Symmetry Between Eyes to Detect Gaze Direction, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 38(6), 1–1261, 2008.
374. Jianxin, W., Brubaker, S.C., Mullin, M.D., Rehg, J.M., Fast Asymmetric Learning for Cascade Face Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(3), 369–382, 2008.
375. Cotsaces, C., Nikolaidis, N., Pitas, I., Face-Based Digital Signatures for Video Retrieval *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 18(4), 549–553, 2008.

376. Cordea, M. D., Petriu, E. M., Petriu, D. C., Three-Dimensional Head Tracking and Facial Expression Recovery Using an Anthropometric Muscle-Based Active Appearance Model, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(8), 1578-1588, 2008.
377. Sung, J., Kim, D., Pose-Robust Facial Expression Recognition Using View-Based 2D 3D AAM, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 38(4), 852–866, 2008.
378. Hongliang, L., Ngan, K.N., Qiang L., FaceSeg: Automatic Face Segmentation for Real-Time Video, *IEEE Transactions on Multimedia*, 11(1), 77–88, 2009.
379. Murphy-Chutorian, E., Trivedi, M.M., Head Pose Estimation in Computer Vision: A Survey, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(4), 607–626, 2009.
380. Dornaika, F., Raducanu, B., Three-Dimensional Face Pose Detection and Tracking Using Monocular Videos: Tool and Application, *IEEE Transactions on : Accepted for future publication, Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, PP, Forthcoming, 2009
381. Castillo-Franco, M., Devarakota, P. R., Ginhoux, R., Kater, S., Mirbach, B., Ottersten, B., 3D Skeleton Based Head Detection and Tracking Using Range Images, *IEEE Transactions on : Accepted for future publication Vehicular Technology*, PP, Forthcoming, 2009.
382. Chen, Y., Fan, K., Han, C., Jeng, B., Wang, C., A CNN-Based Face Detector with a Simple Feature Map and a Coarse-to-fine Classifier *IEEE Transactions on : Accepted for future publication Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PP, Forthcoming, 2009 .
383. Masip, D., Lapedriza, A., Vitria, J., Boosted Online Learning for Face Recognition, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 39(2), 530–538, 2009.
384. Wright, J., Yang, A.Y., Ganesh, A., Sastry, S.S., Yi M., Robust Face Recognition via Sparse Representation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(2), 210 – 227, 2009.
385. Jiyong, W., Gaoyun, A., Qiuqi, R., Independent Gabor Analysis of Discriminant Features Fusion for Face Recognition, *IEEE Signal Processing Letters*, 16(2), 97–100, 2009.

386. Krinidis, M, Nikolaidis, N, Pitas, I, 3-D Head Pose Estimation in Monocular Video Sequences Using Deformable Surfaces and Radial Basis Functions, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 19(2), 261–272, 2009.
387. Kasturi, R., Goldgof, D., Soundararajan, P., Manohar, V., Garofolo, J., Bowers, R., Boonstra, M., Korzhova, V., Jing, Z., Framework for Performance Evaluation of Face, Text, and Vehicle Detection and Tracking in Video: Data, Metrics, and Protocol, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(2), 319–336, 2009.
388. Jilin, T., Yun, F., Huang, T.S., Locating Nose-Tips and Estimating Head Poses in Images by Tensorposes, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 19(1), 90–102, 2009.
389. Gunes, H., Piccardi, M., Automatic Temporal Segment Detection and Affect Recognition From Face and Body Display, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 39(1), 64–84, 2009.
390. Prior, F.W., Brunsten, B., Hildebolt, C., Nolan, T.S., Pringle, M., Vaishnavi, S.N., Larson-Prior, L.J., Facial Recognition From -Rendered Magnetic Resonance Imaging Data, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 13(1), 5–9, 2009.
391. Dai, D. Q., Yang, W. H., Two-Dimensional Maximum Margin Feature Extraction for Face Recognition, *IEEE Transactions on: Accepted for future publication Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, PP*, Forthcoming, 2009 .
392. Zhifeng, L., Dahua, L., Xiaoou, T., Nonparametric Discriminant Analysis for Face Recognition, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(4), 755–761, 2009.
393. Chengjun, L., Jian, Y., ICA Color Space for Pattern Recognition, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 20(2), 248–257, 2009.
394. Medioni, G., Choi, J., Cheng-Hao K., Fidaleo, D., Identifying Noncooperative Subjects at a Distance Using Face Images and Inferred Three-Dimensional Face Models, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 39(1), 12–24, 2009.

395. Gavrilova, M. L., Monwar, M. M., Multimodal Biometric System Using Rank-Level Fusion Approach, IEEE Transactions on: Accepted for future publication Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, PP, Forthcoming, 2009.
396. Choi, J. Y., Plataniotis, K. N., Ro, Y. M., Color Face Recognition for Degraded Face Images, IEEE Transactions on: Accepted for future publication Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, PP, Forthcoming, 2009.
397. Sağıroğlu, S., Beşdok, E., Erler, M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitabevi, 2003.
398. Güven, A., Göze ait elektrofizyolojik sinyaller kullanılarak yapay sinir ağları destekli bazı göz hastalıklarının teşhisi, Doktora Tezi, Kayseri, 2006.
399. Mc Culloch, W.S., Pitts, W.H., A Logical Calculus of The Ideas Immanent in Neural Nets, Bull. Math. Biophys, 5, 115-133, 1943.
400. Wiener, N., Cybernetics or Control and Communications in the Animal and the Machine Actualities Sci., Ind. No. 1053, Hermann et Cie., Paris, MIT press, Cambridge, MA and John Wiley & Sons, Newyork, NY, 1948.
401. Hebb, D.O., The Organization of Behaviour, John Wiley Sons, New York-USA, 1949.
402. Rosenblatt, F., Principles of Neuradynamics, Spartan Boks, New York-USA, 1959.
403. Rosenblatt, F., Principles of Neuradynamics: Perceptrons and The Theory of Brain Mechanisms, Spartan Boks, Washington DC-USA, 1962.
404. Widrow, B., Hoff, M., Adaptive Switching Circuits, Ire Wescon Convention Record, 4, 96-104, 1960.
405. Grossberg, S., The Adaptive Brain I: Cognition, Learning, Reinforcement and Rhytm, and The Adaptive Brain II: Visions, Speech, Language and Motor Control, Elsevier, Amsterdam, 1986.
406. Anderson, C., Learning Problem Solving with Multilayer Connectionist Systems, Technical Report COINS TR 86-50, University of Massachusetts, Amherst, 1986.
407. Minsky, M.L., Papert, S.A., Perceptron, Expanded Edition, Cambridge, MIT Pres., London-UK, 1969.
408. Hopfield, J.J., Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities, Proc. Nat. Acad. Sci., 79, 2554-2558, 1982.

409. Rumelhart, D.E., Mc Clelland, J.L., PDP Research Group, Paralel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, MIT Pres, Cambridge, 1986.
410. Zurada, J.M., Introduction to Artificial Neural Networks, West Puplishing Company, St. Paul, 1992.
411. Carpenter, G.A., Grossberg, S., The ART of Adaptive Pattern Recognition by A Self Organizing Neural Network, Computers, 1, 77-88, 1988.
412. Haykin, S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation, New York-USA, Macmillan College Publishing Comp. Inc., 1994.
413. Spetch, D. F., General Regression Neural Network, IEEE Trans. on Neural Networks, 2(6),568-576, 1991.
414. Rutkowski, L., Generalized Regression Neural Networks in Time-Varying Environment, IEEE Trans. on Neural Networks, 15(3), 576-596, 2004.
415. Hoya, T., Notions of Intuition and Attention Modeled by a Hierarchically Arranged Generalized Regression Neural Network, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 34(1), 200-209, 2004.
416. Hoya, T., Chambers, J. A., Heuristic Pattern Correction Scheme Using Adaptively Trained Generalized Regression Neural Networks, IEEE Trans. on Neural Networks, 12(1) 1, 91-100, 2001.
417. Jain, A., Prabhakar, S., Pankanti, S.: On the similarity of identical twin fingerprints, Pattern Recognition 35(11), 2653–2663, 2002.
418. Kong, D. Zhang and G. Lu, A study of identical twins palmprint for personal verification, Pattern Recognition, 39(11), 2149-2156, 2006.
419. Cummins, H., Midlo, C., Fingerprints, Palms and Soles: An Introduction to Dermatoglyphics, Dover Publications Inc., New York, 1961.
420. Costello, D., Families: the perfect deception: identical twins, Wall Street J. Feb. 12th 1999.
421. Bodmer, W., McKie, R., The Book of Man: The Quest to Discover our Genetic Heritage, Viking,1994
422. Jain, A., Prabhakar, S., Pankanti, S.,Twin Test: On Discriminability of Fingerprints, Book Series Lecture Notes in Computer Science, 211-217, 2001.
423. Youssif, A.A.A., Chowdhury, M.U., Ray, S., and Nafaa H.Y., Fingerprint Recognition System Using Hybrid Matching Techniques, 6th IEEE/ACIS

- International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007), 2007.
424. Canyılmaz, E, Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2001.
 425. Ross, P.J., Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, Singapore, 1989.
 426. Lochner, J.H., and Matar, J.E, Designing for Quality, ASQC Quality Press, 190, 1990.
 427. Canyılmaz, E., Kutay, F., Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 18(3), 51-63, 2003.
 428. Dass, S.C., Zhu, Y., Jain, A.K., Validating a Biometric Authentication System: Sample Size Requirements, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 28(12), 1302-1319, 2006.
 429. <http://en.wikipedia.org>
 430. Novobilski, A., and Kamangar, F.A.: Absolute percent error based fitness functions for evolving forecast models, FLAIRS Conference, 591-595, 2001.
 431. Jain, A.K., Hong L., and Kulkarni, Y., F2ID: A personal identification system using faces and fingerprints, Proc. 14th International Conference on Pattern Recognition, Brisbane, 1373–1375, 1998.
 432. Cox, I.J., Ghosn J., and Yianilos, P.N.: Feature-Based Face Recognition Using Mixture Distance, Computer Vision and Pattern Recognition, 209-216, 1996.

ÖZGEÇMİŞ

Necla ÖZKAYA 1977 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında mezun oldu, aynı yıl aynı bölümde araştırma görevlisi olarak göreve başladı, halen görevine devam etmektedir. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans eğitimini 2003 yılında tamamladı. 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı. Evli ve iki çocuk annesidir.

Adres: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
38039 - KAYSERİ
Telefon: 0 352 437 49 01 - 32600
Faks: 0 352 437 57 84
e-posta: neclaozkaya@erciyes.edu.tr