

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZ RESİMLERİNDEN YAŞ BİLGİSİNİN
TESPİT EDİLMESİ

Merve KILINÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2012

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZ RESİMLERİNDEN YAŞ BİLGİSİNİN
TESPİT EDİLMESİ

Merve KILINÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DANIŞMANI

Doç. Dr. Yusuf Sinan AKGÜL

GEBZE

2012



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/03/2012 tarih ve 2012/13 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 03/04/2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan MERVE KILINÇ'ın tez çalışması BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

Doç. Dr. Yusuf Sinan AKGÜL

ÜYE

:

Doç. Dr. Fatih Erdoğan SEVİLGİN

ÜYE

:

Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/.../.... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: YÜZ RESİMLERİNDEN YAŞ BİLGİSİNİN TESPİT EDİLMESİ

YAZAR ADI: MERVE KILINÇ

Bir insana ait yaşlanma süreci, genetik, sağlık, yaşam stili ve hatta hava koşulları gibi pek çok faktör tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle yüz resimlerinden insanın yaşının tahmin edilmesi sadece günümüz bilgisayarla görme sistemleri için değil bazı durumlarda insanlar için bile zor bir problemdir. Genel bir yaş sınıflandırıcı oluşturmak için insan yüzünün şekilsel ve dokusal bilgileri birlikte kullanılmalıdır.

Bu tez çalışmasında önerilen yaş tespit sisteminde, yaşlanmanın meydana getirdiği değişimleri tanımlamak amacıyla insan yüzünün geometrik ve dokusal öznitelikleri birlikte kullanılmaktadır. Sistem temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır: eğitim aşaması ve test aşaması. Eğitim aşamasında, eğitim setindeki yüz resimlerine düzgün dağılım göstermeyen iç içe geçmiş yaş grup değerleri atanmıştır. Sonrasında eğitim setinde, ön işlemden geçirilmiş yüz resimlerine bazı yüzsel öznitelik çıkarım yöntemleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen öznitelik vektörlerinin kullanılması ile yaş sınıflandırıcılar modellenmektedir. Test aşamasında, test edilen yüz resminin her bir gruba ait olma olasılığının tayin edilmesi için yaş sınıflandırıcılar kullanılmaktadır. Sınıflandırıcı olasılık değerlerinin interpolasyonu en son tahmini yaş değerini üretir.

Çalışmada farklı öznitelik değerleri farklı sınıflandırma algoritmaları ile birlikte kullanılarak test edilmiştir. Çeşitli test senaryoları için yapılan karşılaştırmalı sonuçlar göstermektedir ki, yaş tahmininin en düşük Ortalama Tam Hata değeri, Yerel Gabor İkili Örüntü Operatörü ve Geometrik öznitelik değerlerinin birlikte kullanılması ile elde edilmektedir.

SUMMARY

THESIS TITLE: AGE ESTIMATION FROM HUMAN FACE IMAGES

AUTHOR: MERVE KILINÇ

Aging progress of a person is influenced by many factors such as genetics, health, lifestyle, and even weather conditions. Therefore human age estimation from face image is a challenging problem not only for the existing computer vision systems but also for humans in some circumstances. For creating a general aging model, facial shape and texture information of human face should be used together.

The proposed age estimation system in this thesis, combines the geometric and textural features of the human face to represent the variants that aging causes. System mainly consists of two phases: training phase and testing phase. In the training phase, face images in the training set are assigned to non-uniformly formed overlapping age group labels. Then several facial feature extraction methods are applied to the preprocessed face images in the training set. Finally, age classifiers are modeled by using the extracted feature vectors. In the testing phase, age classifiers are used to assign probabilities of the tested face image belonging to each group. The interpolation of the classifier probabilities produces the final estimated age.

In the study different facial features were tested by using them with different classifier algorithms. Comparative results of different testing scenarios show that, the lowest Mean Absolute Error of age estimation is obtained using the fusion of Local Gabor Binary Pattern operator and Geometric features.

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimlerim boyunca bana her zaman yol gösteren saygıdeğer danışmanım Sayın Doç. Dr. Yusuf Sinan AKGÜL'e, bana her türlü olanağı sağlayıp, çalışmalarına katkı sağlayan değerli yöneticilerime ve iş arkadaşlarıma ve beni büyütüp bugünlere getiren, maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	5
3.YÜZ RESMİNİN TEMSİLİ	7
3.1.GEOMETRİK ÖZNİTELİKLER	8
3.2.DOKUSAL ÖZNİTELİKLER	16
3.2.1.Yerel İkili Örüntü Operatörü (YİÖ)	19
3.2.2.Gabor Filtreleme	23
3.2.3.Yerel Gabor İkili Örüntü Operatörü (YGIÖ)	25
4.YAŞ TESPİT ALGORİTMALARI	26
4.1.SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ	26
4.2.REGRESYON YÖNTEMİ	27
4.3.MELEZ YÖNTEM	29
5.YAŞ TESPİTİNDE GEOMETRİK VE DOKUSAL ÖZNİTELİKLERİN BİRLİKTE KULLANILMASI	31
5.1.EĞİTİM AŞAMASI	32
5.2.TEST AŞAMASI	35
6.DENEYLER	36
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	51
EK 1 – TERİMLER (İngilizce – Türkçe)	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

2B	: İki Boyutlu
YİÖ	: Yerel İkili Örüntü
YGİÖ	: Yerel Gabor İkili Örüntü
DAA	: Doğrusal Ayrım Analizi
ÖBA	: Öncelikli Bileşen Analizi
AGES	: Yaşlanma Örüntüsü Altuzayı
HGM	: Hareketli Görüntü Modeli
OTH	: Ortalama Tam Hata
DVM	: Destek Vektör Makinesi
DVR	: Destek Vektör Regresyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1.CRANIO-FACIAL GROWTH MODEL	8
3.2.CRANIO-FACIAL GROWTH MODEL	9
3.3.GEOMETRİK ORAN DEĞERLERİNİN GÖSTERİMİ	10
3.4.YÜZDEN TESPİT EDİLEN 34 ÖNEMLİ NOKTA	12
3.6.ÇAPRAZ ORAN TANIMI	13
3.7.GÖZ KÖŞE NOKTALARI İÇİN ÇAPRAZ ORAN TANIMI	13
3.5.ÇALIŞMADA KULLANILAN GEOMETRİK ÖZNETELİKLER	14
3.8.İNSAN YÜZÜNDEKİ DEĞİŞİMİN 10 YAŞ ARALIKLA GÖSTERİMİ	16
3.9.KIRIŞIKLIK HARİTASI	17
3.10.YETİŞKİN BİR BİREYE AİT KIRIŞIKLIK ANALİZ İŞLEMİ	18
3.11.YAŞLI BİR BİREYE AİT KIRIŞIKLIK ANALİZ İŞLEMİ	18
3.12.KIRIŞIKLIK DEĞİŞİM ÖRÜNTÜLERİ	19
3.13.ORJİNAL YEREL İKİLİ ÖRÜNTÜ OPERATÖRÜ	20
3.14.DEĞERLENMİŞ YEREL İKİLİ ÖRÜNTÜ OPERATÖRÜ	21
3.15.AYDINLANMAYA KARŞI DAYANIKLI YİÖ İMGELERİ	22
3.16.GABOR FİLTRE BANKASI	24
3.17.GABOR FİLTRELEME İŞLEMİ	24
3.18.YEREL GABOR İKİLİ ÖRÜNTÜ İŞLEMİ	25
5.1.YAŞ TESPİT SİSTEMİ AKIŞ DİYAGRAMI	32
5.2.FG-NET VERİSETİ İÇİN İÇ İÇE GEÇMİŞ YAŞ GRUP DEĞERİ	33
5.3.MORPH VERİSETİ İÇİN İÇ İÇE GEÇMİŞ YAŞ GRUP DEĞERİ	34
6.1.FG-NET VERİSETİ İÇİN ÖRNEK FOTOĞRAF DİZİSİ	36
6.2.MORPH VERİSETİ İÇİN ÖRNEK FOTOĞRAF DİZİSİ	37
6.3.MORPH VERİSETİ İÇİN AYRIK YAŞ GRUP DEĞERİ	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1.FG-NET VERİSETİ İÇİN İMGELERİN YAŞ GRUPLARINA GÖRE DAĞILIMI	37
6.2.FG-NET VERİSETİ İÇİN YAŞ TESPİTİNİN OTH DEĞERLERİ	38
6.3.FG-NET VERİSETİ İÇİN ONLU YIL ARALIKLARI OTH DEĞERLERİ	39
6.4.AYRIK YAŞ GRUP DEĞERLERİ İÇİN OTH DEĞERLERİ	40
6.5.MORPH VERİSETİ İÇİN OTH DEĞERLERİ	41
6.6.MORPH VERİSETİ İÇİN ONLU YIL ARALIKLARI OTH DEĞERLERİ	42
6.7.FG-NET VERİSETİ İÇİN FARKLI METOTLAR İÇİN OTH DEĞERLERİ	42

1. GİRİŞ

İnsan yüzü kişiye özel bir tanımlayıcı, onu diğer insanlardan ayırt edici bir örüntüdür. Kişiyeye ait bir yüz resmi, ona ait kimlik, ırk, cinsiyet, yaş, yüz ifadesi gibi pek çok önemli bilgiyi açığa vurmaktadır. Bu tür bilgilerin otomatik olarak bilgisayar sistemleri tarafından elde edilmesi özellikle bilgisayarla görme, örüntü tanıma, makine öğrenmesi ve görüntü işleme gibi farklı araştırma alanları için oldukça popüler bir hale gelmiştir.

İnsan yüz analizi; biyometrik tanıma sistemlerinde, insan-bilgisayar etkileşiminde ve erişim kontrol gerektiren güvenlik uygulamalarında yoğun talep görmektedir. Bu sebeple özellikle yüz tanıma, yüz ifade tespiti, insan yüzü modellemesi alanlarında başarı oranı yüksek, daha hızlı, daha kullanışlı sistemler geliştirmek amacıyla önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Kişinin yüzünden yaşının tespit edilmesi sadece mevcut bilgisayar sistemleri için değil bazı durumlarda insanlar için dahi oldukça zor bir problemdir. Yüze ait diğer özniteliklere (kimlik, ırk, cinsiyet, ifade) nazaran yaş tespit çalışmalarının kendisine ait karakteristik özellikleri bulunmaktadır:

- Yaş tespiti standart bir sınıflandırma problemi olarak düşünülemez. Farklı uygulamalar için farklı senaryolar oluşturulmalıdır. Kişinin ait olduğu yaş grubunun belirlenmesi amacıyla çok sınıflı bir sınıflandırma problemi olarak düşünülebileceği gibi, kişinin tam yaşının hesaplanması amacıyla bir regresyon problemi olarak da ele alınabilir.
- Yaşlanma; zamanın geçişine bağlı olarak bireyde görülen anatomik ve fizyolojik değişiklikleri tanımlar. Bu değişiklikler bireyin cinsiyetine, genetik özelliklerine, sağlık durumuna, yaşam şartlarına hatta bulunduğu çevrenin iklim koşullarına bağlı olarak şekillenmektedir. Bu nedenle yaşlanma kişiden kişiye farklılık gösterir. Aynı yaşlardaki farklı bireylerin görünüşleri de

farklı olmaktadır. Bu sebeple aynı yaş grubuna ait bireyleri tanımlayıcı genel bir yaş modeli oluşturmak zor bir problemdir.

- Yaş tespiti veya yaş grup sınıflandırması uygulamalarında başarılı sonuçlar elde etmek için çalışmalarda kullanılacak veri setinin, farklı koşullara ait verileri içermesi gerekmektedir. Aynı kişinin farklı yaşlarına ait fotoğraflarının bulunması ve bu fotoğrafların doğru bir şekilde etiketlenmesi işlemi oldukça zordur. Nitelikli ve doğru bir yaş tespit modeli oluşturmak için farklı örneklerden gelecek negatif etkileri azaltacak, doğru etiketlenmiş tam bir veri setine ihtiyaç vardır.

Karşılaşılabilecek mevcut zorluklara rağmen yaş tespiti ve yaşlanmaya karşı yüz tanıma çalışmaları oldukça ilgi çekici ve popüler bir hale gelmiştir. Bu alanda oldukça fazla gerçek dünya uygulaması mevcuttur. Örneğin, yaş kısıtlaması gerektiren erişim kontrol sistemlerinde, kişinin yaş bilgisine göre mevcut bilgi veya sisteme erişimine izin verilir. İçki veya sigara satışının otomatik olarak yapıldığı sistemlerde, kişinin yaşı tespit edilerek satışın yasal olup olmadığı saptanabilir. Yaş tespiti, yaş tabanlı bir müşteri profili oluşturmak amacıyla kullanılabilir. Firmalar en çok hangi ürünün hangi yaş grubundaki insanlar tarafından tercih edildiğini tespit ederek buna göre bir pazarlama stratejisi oluşturabilirler. Yeni bir ürüne ait reklam kampanyaları ve pazarlama planları da ürünün hitap edeceği yaş grubundaki kişilere özel bir şekilde yapılabilir.

Yaş tespiti için olası uygulamalar dışında, kişiye ait bir resimden kişinin yıllar sonraki veya yıllar önceki görünümünün tahmin edilmesi çalışmaları da oldukça ilgi görmektedir. Özellikle kayıpların bulunması amacıyla kişinin önceki yıllarda çekilmiş bir fotoğrafı kullanılarak doğal yaşlandırma yöntemi ile yıllar sonraki görünümü elde edilir [Wang et. al., 2006] [Ramanathan and Chellappa, 2007]. Yüz tanıma sistemlerinde, sistemin uzun yıllar boyunca çalışması bekleniyorsa, kişiye ait o anki fotoğraflar kullanılarak yıllar sonraki görünümü de sisteme tanıtılabilir. Böylece doğru ve yüksek performanslı yüz tanıma sistemleri elde edilecektir. Yaşlanmaya bağlı olarak ortaya çıkan yüzün şeklindeki ve dokusundaki değişiklikler

eğlence sektöründe de kullanılmaktadır. Filmlerde (Örneğin: “The Curious Case of Benjamin Button”) veya bilgisayar oyunlarında kişinin gençliğinden yaşlılığına kadar olan süreçte yüzündeki meydana gelen değişiklikler modellenilebilir [Fu et. al., 2010].

Bu tez çalışmasında yüz resimlerinden elde edilen geometrik ve dokusal özniteliklerin, farklı sınıflandırma algoritmaları tarafından kullanılması ile elde edilen yaş tespit sistemi tanımlanmıştır. Sistemde bireyin çocukluk döneminden, yetişkinlik dönemine geçişte yüzünde meydana gelen değişimleri tanımlayan geometrik öznitelikler ve yetişkinlik döneminden yaşlılık dönemine geçişte meydana gelen değişimleri tanımlayan dokusal öznitelikler birlikte kullanılmıştır. Bu şekilde daha dayanıklı ve performansı yüksek bir yöntem elde edilmiştir. Geometrik oran değerleri aydınlanmaya karşı dayanıklı iken, kafanın pozisyonundan kaynaklanan değişimlerden ve kameranın parametre değerlerinden etkilenmektedir. Bu durumu önlemek için yüz resimlerinden elde edilen geometrik oran değerlerinden bazıları kafanın pozisyonunun önselden farklı olduğu durumlara karşı dayanıklı olarak seçilmiştir. Bu amaçla çapraz oran değerleri kullanılmıştır. Objektif bir şekilde etiketlenmiş yüz resimleri kullanılarak bireylerin yaş değerlerine bağlı olarak yaş grup değerleri oluşturulmuştur.

Farklı yaş gruplarının sınır bölgelerinde bulunup, benzer özellikler gösteren örnekler hataya sebep olmaktadır. Bu örneklerin bir yaş grubuna ait olacak şekilde sınıflandırılması yanlıştır. Bu hataların giderilmesi amacıyla iç içe geçmiş yaş grup değerleri oluşturulmuştur. Böylelikle örnek tek bir yaş grubuna ait olmak yerine sınır bölgeleri arasında yer aldığı iki yaş grubuna ait olacak şekilde atanmaktadır. Çalışmada iç içe geçmiş yaş grup değerleri ve ayrık yaş grup değerleri kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlere ilişkin performans değerleri karşılaştırıldığında iç içe geçmiş yaş gruplarının daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür.

Literatürde yer alan yaş tespit sistemlerinde problem iki farklı şekilde ele alınabilmektedir. Problem, bireyin hangi yaş grubuna ait olduğunun tespit edilmesi şeklinde düşünüldüğünde bir sınıflandırma problemi, bireyin tam yaşının

hesaplanması şeklinde düşünüldüğünde ise bir regresyon problemi olmaktadır. Çalışmada yaş tespit sistemi, daha önce gerçekleştirilmiş yaş tespit sistemlerinden farklı bir şekilde elde alınmıştır. Literatürde yer alan sınıflandırma ve regresyon algoritmalarından farklı olarak öncelikle eğitim aşamasında oluşturulmuş olan sınıflandırma modelleri kullanılarak test edilen bireyin daha önce tanımlanan yaş sınıf değerlerine ait olma olasılıkları tespit edilir. Sonrasında bu olasılık değerleri kullanılarak kişinin tam yaşı hesaplanır. Oluşturulan sistem, yaygın olarak yaş tespit sistemlerinde kullanılan FG-NET [The FG-NET Aging Database, 2010] ve MORPH [MORPH Face Database] veri setlerinde farklı senaryolar kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları daha önce yapılmış, literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırılabilir şekildedir.

Yaş tespiti ile ilgili daha önceden yapılmış olan çalışma türleri “Literatür Taraması” adı verilen 2. Bölümde anlatılacaktır. İnsan yüzünün yaşlanması ve genel olarak yüz analiz uygulamalarında yüz resminin temsil edilmesi için kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin yaş tespitinde kullanım şekilleri 3. Bölümde anlatılacaktır. 4. Bölümde, yaş tespiti için daha önceden geliştirilmiş temel algoritmalar detaylı olarak anlatılacaktır. 5. Bölümde belirtilen yöntem ve tekniklere dayanarak geliştirilen yaş tespit yöntemi detaylı bir şekilde açıklanacaktır. 6. Bölümde ise geliştirilen sistemin bazı popüler veri setleri üzerinde yapılan test sonuçları, literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılmalı olarak yorumlanacaktır.

İnsan yüzünden yaş tespit etme amacıyla geliştirilen bu sistem 24-26 Şubat 2012 tarihleri arasında düzenlenen International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP) isimli uluslararası konferansta yayınlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

İnsan yüzünden yaş bilgisinin tespit edilmesi amacıyla daha önce yapılmış çalışmaları 3 kategoride inceleyebiliriz. Bunlardan ilki, yaşlanmaya bağlı olarak kişinin yüzünde meydana gelen şekilsel ve dokusal değişimlerin modellenmesi ve elde edilen verilerin yaşlanmaya karşı dayanıklı yüz tanıma sistemlerinde kullanılmasıdır [Wang et. al., 2006] [Ling et. al., 2007] [Ramanathan and Chellappa, 2007]. Kişinin özellikle gençlik dönemlerinde, yüzünde büyümeye bağlı olarak meydana gelen şekilsel değişimler “*Craniofacial Growth Model*” olarak bazı doğrusal veya doğrusal olmayan parametreler yardımıyla tanımlanmıştır [Ramanathan and Chellappa, 2006]. Sonrasında aynı tür çalışmadan yola çıkılarak yaşlanmaya bağlı olarak kırışıklık, renk değişimleri gibi yüzdeki dokusal değişimler modellenmiştir [Ramanathan and Chellappa, 2008] [Mukaida and Ando, 2004]. Yaşlanmanın yüzdeki etkileri üzerine yapılan diğer bir çalışmada ise yüze ait şekil ve renk bilgilerinin harmanlanması ile elde edilen birleşik yüz resimleri kullanılarak erkek yüz resimleri üzerinde simülasyon gerçekleştirilmiştir [Burt and Perrett, 1995].

Yaş bilgisi ile ilgili yapılmış bir diğer çalışma türü de kişilerin ait olduğu yaş grup aralıklarının belirlenmesidir. Kişinin tam yaşının tespit edilmesi zor bir iştir [Gao and Ai, 2009], bu nedenle bazı yaş sınıf değerleri tanımlanmış, eğitim setindeki resimler yaş değerlerine göre etiketlenmiştir. Eğitim sonunda elde edilen model kullanılarak test edilecek imgeler sınıflandırılır. Yaşa özel oluşturulan sınıflandırıcılar için öncelikle kabaca kişinin hangi yaş aralığında olduğu tespit edilir, sonrasında daha özel yerel sınıflandırıcılar kullanılarak kişinin tam yaşı tespit edilir. Yaş grup tespiti alanında yapılmış ilk çalışmada yüzdeki geometrik oranlar ve deride oluşan kırışıklıklar kullanılmış; kişiler bebek, genç ve yaşlı olarak sınıflandırılmıştır [Kwon and Lobo, 1994]. Bir diğer çalışmada yüz resimlerine Yerel İkili Örüntü - YİÖ (Local Binary Patterns - LBP) operatörü uygulanmış ve elde edilen öznitelik vektörü ile birlikte AdaBoost algoritması kullanılarak kişiler çocuk, yetişkin ve yaşlı olmak üzere 3 yaş grubu altında sınıflanmıştır [Yang and Ai, 2007]. Benzer bir çalışmada ise yüz resimlerine Gabor filtre uygulanmış ve elde edilen öznitelik

vektörü Doğrusal Ayırışım Analizi - DAA (Lineer Discriminant Analysis - LDA) algoritmasında kullanılmıştır. Yapılan çalışmadan yüz resimleri bebek, çocuk, yetişkin ve yaşlı olmak üzere 4 farklı sınıfta gruplanmıştır.

Yaş grup tespiti haricinde kişinin tam yaşının belirlenmesi amacıyla pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Daha önce yapılmış olan bir çalışmada yüzde meydana gelen şekilsel ve dokusal değişimler parametreler yardımıyla tanımlanmış ve sonrasında bu parametrelerin sınıflandırma algoritmaları tarafından kullanılması ile kişinin tam yaşı tespit edilmiştir [Lanitis et. al., 2004]. Diğer bir çalışmada yaşlılık sürecini modellemek amacıyla, bireyin farklı yaşlarına ait çok sayıda resim kullanılmıştır. Yaşlanma Örüntüsü Altuzayı - YÖA (Aging Pattern Subspace - AGES) olarak adlandırılan yöntemde; Hareketli Görüntü Modeli – HGM (Active Appearance Model - AAM) [Cootes et. al., 2001] [Cootes et. al., 1998] yönteminin kullanılması ile elde edilen öznitelik vektörleri Öncelikli Bileşen Analizi - ÖBA (Principal Component Analysis - PCA) algoritmasından geçirilmiştir. Sonrasında test edilecek resimlerin oluşan alt uzaydaki yerleri tespit edilmiştir [Geng et. al., 2007]. AGES yönteminde her bir birey için özel bir örüntü oluşturulmaktadır. Bunun yerine, farklı bireylerin farklı yaşlarına ait resimlerin kullanılması ile genel bir yaşlanma örüntüsü oluşturulması fikri ortaya çıkmıştır [Guo et. al., 2008]. Yöntemin temel amacı resim uzayını, temsil yeteneği güçlü daha düşük boyuttaki bir uzay ile eşleştirmektir. Yöntemin en büyük avantajı, farklı bireylere ait resimlerin kullanılabilmesi nedeniyle büyük bir veri setinin daha kolay bir şekilde elde edilebilmesidir [Fu et. al., 2010].

3. YÜZ RESMİNİN TEMSİLİ

Yaşlanma; zamanın geçişine bağlı olarak bireyde birtakım geri dönüşü olmayan anatomik ve fizyolojik değişikliklerin yaşandığı bir süreçtir. Yaşlanma kişiden kişiye farklılık gösterse de, insanın büyüüp gelişmesi ve yaşlanmasına bağlı olarak vücudunda görülen bazı genel değişiklikler benzer özellikler göstermektedir. Bu genel değişimler, insan yüzünde meydana gelen yaşlanma belirtilerinin modellenmesine imkan sağlamaktadır. Biyolojik açıdan bakıldığında, insan yüzündeki değişimler iki aşamada incelenebilir. Kişinin doğumundan yetişkin dönemine kadar geçen sürede yüzünde şekilsel bir büyüme meydana gelmektedir. Alın ve yanaklarda genişleme, çenenin daha belirgin bir hale gelmesi, yüz çevresinin yuvarlak bir halden U şekline dönmesi, yüzdeki önemli noktalar (göz, burun, ağız gibi) arasındaki uzaklıkların artması büyümeye bağlı olarak yüzde görülen değişimlerdendir [Alberta et. al., 2007].

Yaşlanmanın ikinci aşaması olarak görülen değişimler ise, kişinin yetişkinlik döneminden yaşlılık dönemine geçişinde ortaya çıkmaktadır. Ergenlik döneminin sonunda yüzdeki kemik yapısında gözle görülür bir büyüme olmadığından şekilsel olarak büyük bir değişim yaşanmaz. Değişimler genellikle ciltte meydana gelen kırışıklıklar, lekeler, sarkmalar ve cilt renginde oluşan farklılıklar şeklindedir. Yüzdeki kırışıklıklar genellikle alında, göz çevresinde ve genellikle kilo kaybına ve yer çekiminin de etkisine bağlı olarak yanaklarda görülmektedir [Alberta et. al., 2007].

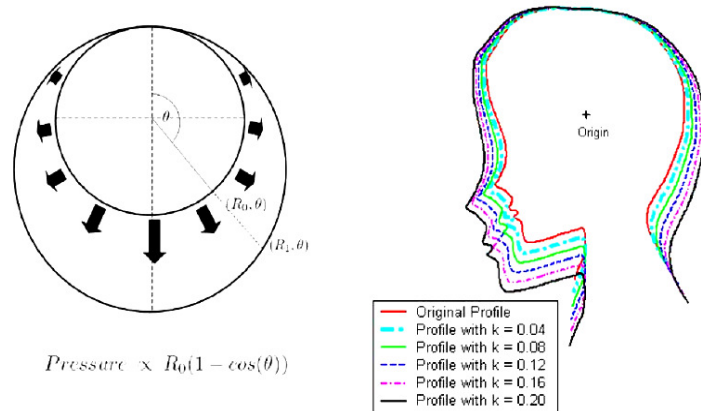
İnsan yüzünde meydana gelen bu değişimlerin modellenmesi amacıyla pek çok teknik kullanılabilir. Yüzdeki şekilsel değişimler; yüzdeki önemli noktalar, bu noktalar arasındaki geometrik oranlar veya bu noktaların kullanılması ile elde edilen fonksiyon parametreleri yardımıyla modellenebilir. Yüzdeki dokusal değişimlerin modellenmesi amacıyla kırışıklık tespiti veya yüzün tüm dokusunun bazı filtrelerden geçirilmesi ile elde edilen piksel değerleri kullanılabilir.

3.1. Geometrik Öznitelikler

Kişinin doğumundan yetişkinlik dönemine kadar büyümeye bağlı olarak yüzünde şekilsel bazı değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin modellenmesi için yüzdeki önemli noktalar arasındaki uzaklıkların birbirine olan oranları kullanılmıştır. Elde edilen parametreler yüzü temsil edici özniteliklerdir. “*Cranio-facial Growth Model*” olarak adlandırılan bu yöntemde, insan yüzündeki büyüme bazı parametreler yardımıyla aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir [Todd et. al., 1980].

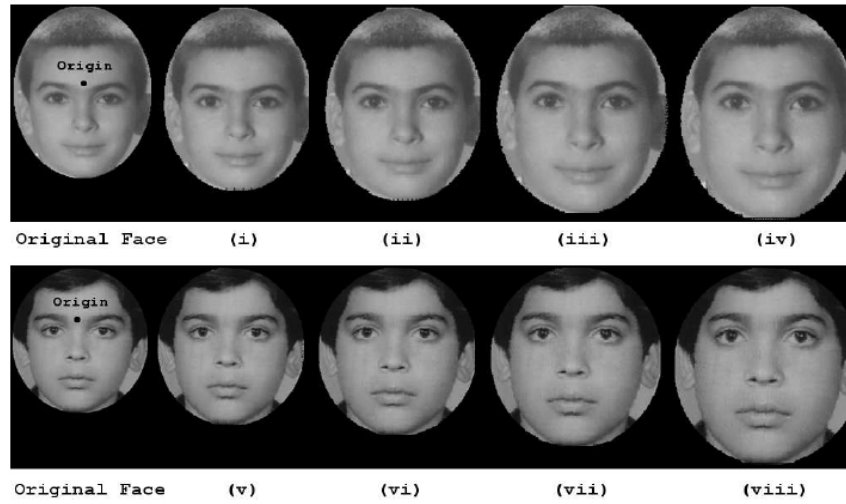
$$\theta' = \theta, \quad R' = R(1 + k(1 - \cos \theta))$$

Yukarıda belirtilen formülde, (R, θ) ve (R', θ') sırasıyla değişimden önce ve değişimden sonra objenin yüzeyinde bulunan bir noktaya ait açılal koordinatları temsil etmektedir. İnsan kafasındaki büyümenin parametreler kullanılarak matematiksel olarak gösterimi doğal büyümeye uygun değildir.



Şekil 3.1(a) Cranio-facial growth model (b) Farklı k parametreleri için kafanın büyüklüğünün değişmesi [Ramanathan and Chellappa, 2006]

Farklı k parametre değerleri için kafanın şekilsel büyümesi Şekil 3.1’de görülmektedir. k değerinin büyümesi daha büyük yaş aralıkları için yaşanan büyümeyi göstermektedir. Şekil 3.2.’de ise, farklı k değerleri için gerçekleştirilen değişimin gerçek hayattan alınmış insan yüzü fotoğraflarına uygulanması görülmektedir.

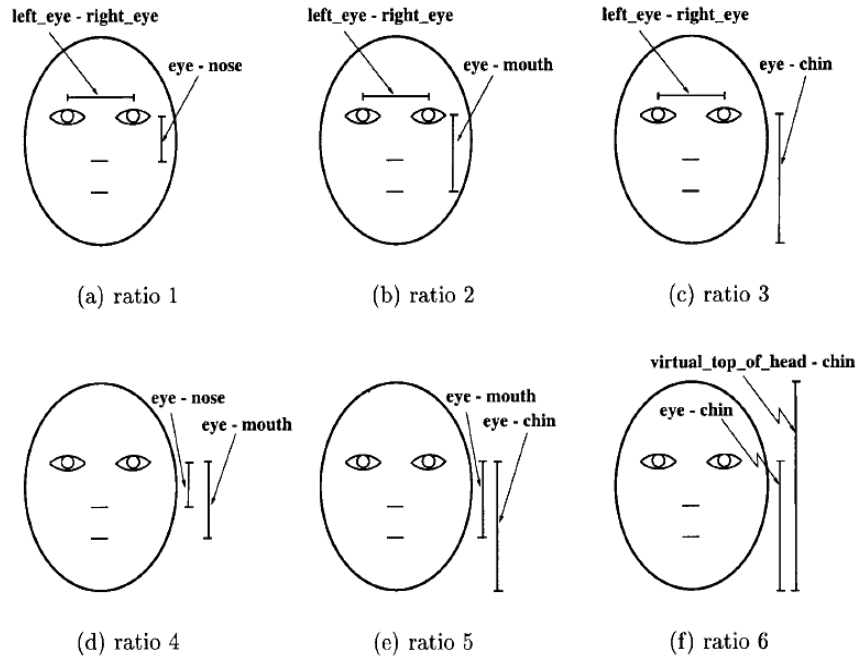


Şekil 3.2 Cranio-facial growth modelin gerçek insan fotoğrafına uygulanması. Transformasyonda kullanılan k parametreleri sırasıyla (i) $k = 0.06$ (ii) $k = 0.12$ (iii) $k=0.18$ (iv) $k = 0.21$ (v) $k = 0.06$ (vi) $k = 0.12$ (vii) $k = 0.18$ (viii) $k = 0.27$ [Ramanathan and Chellappa, 2006].

Yüz antropometrisi, insan yüzündeki önemli noktalar arasındaki uzaklık değerleri ve bu değerlerin birbirlerine olan oranlarının ölçümü şeklinde tanımlanabilir [Ramanathan and Chellappa, 2006]. Yüzdeki önemli noktalar arasındaki bu oranlar, yüzün yaşlanmaya bağlı olarak nasıl değiştiğinin belirlemek için kullanılmaktadır. Temelde insan yüzünde bulunan 57 noktanın kullanılması ile elde edilen uzaklık ve bu uzaklıklar arasındaki oran değerleri kullanılmaktadır.

Daha önceki yaş sınıf tespiti amacıyla yapılan çalışmada 6 oran değeri kullanılmıştır. Öncelikle yüzdeki bazı önemli noktalar tespit edilmiştir. Sonrasında

Şekil 3.3.'de belirtildiği gibi noktalar arasındaki uzaklık değerlerinin birbirlerine olan oranları, bebekleri diğer yaş grubundaki insanlardan ayırt etmek için kullanılmıştır [Kwon and Lobo, 1996].



Şekil 3.3. Yaş sınıf tespiti amacıyla kullanılan 6 geometrik oran değerinin yüz modeli üzerinde gösterimi [Kwon and Lobo, 1996]

Kişinin doğumundan yetişkinlik dönemine kadar yüzünde meydana gelen şekilsel büyümenin modellenmesi amacıyla gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise yüzdeki 24 önemli nokta tespit edilmiştir. Sonrasında, bu noktalardan elde edilen 52 geometrik oran, modelleme için gerekli büyüme parametrelerinin hesaplanması için kullanılmıştır [Ramanathan and Chellappa, 2006].

Antropometrik yöntemlerin, kişinin doğumundan yetişkinlik dönemine kadar olan zamanda, yüz resminin temsil edilmesi amacıyla kullanımı uygundur. Çünkü kişinin yetişkinlik döneminde yüzünde şekilsel olarak belirgin bir değişim

olmadığından, geometrik oranların yaş tespit amacıyla fazla bir ayırt ediciliği olmayacaktır. Antropometrik modelleme, sadece yüzün geometrisi ile ilgili bilgi sağlamaktadır. Genellikle 2B bir fotoğraftan elde edilen geometrik oranlar, fotoğraftaki kişinin kafa pozisyonundan etkilenmektedir. Ayrıca 2B bir fotoğraftan kafanın modelinin çıkartılması da oldukça zor bir problemdir.

Yüzün şekilsel olarak modellenmesi amacıyla kullanılan bir diğer yöntem de Hareketli Görüntü Modeli – HGM (Active Appearance Model - AAM)'dir. Hareketli Görüntü modeli, yüzü hem şekil, hem de dokusal olarak statik bir şekilde modeller [Cootes et. al., 2001]. Hareketli Görüntü Modeli oluşturulması için, bir $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ eğitim setine ihtiyaç vardır. X_i , i resmi üzerindeki noktalar kümesini temsil eder. Tüm eğitim verisine Öncelikli Bileşen Analizi – ÖBA (Principal Component Analysis - PCA) uygulandığında oluşan X_i değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

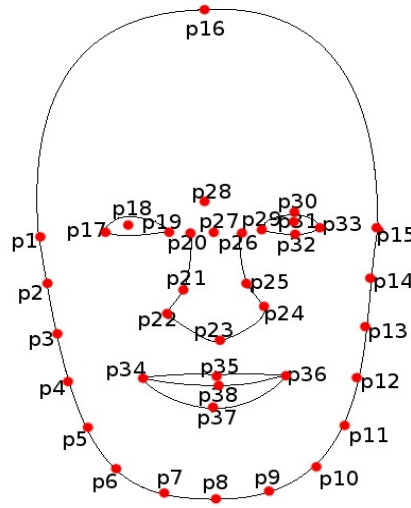
$$X_i = X_\mu + P_S \cdot b_{si}$$

Formülde, X_μ ortalama şekil, P_S ÖBA'nın X_i üzerine uygulanması sonucu elde edilen değişimler seti, b_{si} ise şekil parametreleridir.

Hareketli Görüntü Modeli, antropometrik yöntemlerden farklı olarak, yüzün sadece şekilsel modelini çıkartmaz, aynı zamanda yüzün dokusal yapısını da temsil edici bilgiler içeren öznitelik vektörü oluşturur. Bu nedenle sadece genç yaşlardaki kişiler için değil, tüm yaş gruplarındaki insanlar için ayırt edici niteliğe sahiptir.

Bu tez çalışmasında, insan yüzünde özellikle yetişkin dönemine kadar görülen şekilsel değişiklikler geometrik öznitelikler kullanılarak tanımlanmıştır. Yüzdeki önemli noktalar arasındaki uzaklık değerlerinin birbirlerine olan oranları insan yüzünü geometrik olarak tanımlamak için kullanılmıştır. Bu amaçla yüzdeki önemli 38 nokta tespit edilmiş (Şekil 3.4.) ve bu noktalar arasındaki öklid uzaklık değerlerinin kullanılması ile toplam 34 adet geometrik oran tanımlanmıştır. Bu

değerlerden bazıları daha önce yapılmış olan çalışmalardan sağlanmış (Oran1 (*Facial index*), Oran2 (*Mandibular index*), Oran3 (*Intercanthal index*), Oran4 (*Orbital index*), Oran5 (*Eye fissure index*), Oran6 (*Nasal index*), Oran7 (*Vermilion height index*), Oran8 (*Mouth-Face index*), Oran9 (*Biocular width-total face height*), Oran10 (*intercanthal-mouth width*)) [Ramanathan and Chellappa, 2006] diğerleri ise deneysel olarak ayırt ediciliğinin yüksek olduğu görülerek kullanılmıştır. Şekil 3.5’de geometrik öznitelik olarak çalışmada kullanılan 34 oran görülmektedir.

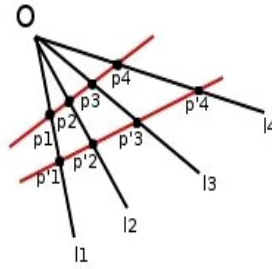


Şekil 3.4 Yüzden tespit edilen 34 önemli nokta

İnsan yüzünden elde edilen geometrik öznitelikler, aydınlanmada meydana gelecek değişimlere karşı dayanıklıdır. Buna karşın kafanın pozisyonundan kaynaklanan değişimlerden ve kameranın parametre değerlerinden etkilenmektedir. Çalışmada kullanılan 34 geometrik orandan ikisi bu problemlere çözüm olacak niteliktedir. Şekil 3.5.’de görülen Oran 33 ve Oran 34, çapraz oran (cross ratio) tabanlı geometrik özniteliklerdir. Aynı doğru üzerindeki p1, p2, p3 ve p4 4 farklı nokta ise, bu noktalar için çapraz oran aşağıdaki gibi tanımlanır:

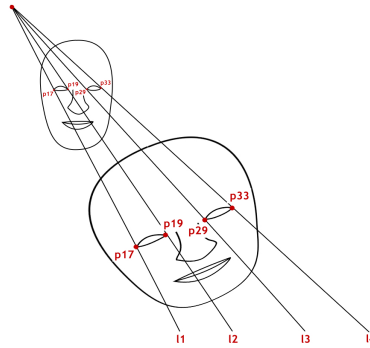
$$(p_1, p_2; p_3, p_4) = \frac{(p_1 - p_3)(p_2 - p_4)}{(p_2 - p_3)(p_1 - p_4)}$$

Çapraz oran, izdüşümsel değişimlerden etkilenmez. Şekil 3.6.'da aynı O noktasından geçen, fakat aynı düzlemde bulunmayan l_1, l_2, l_3 ve l_4 olmak üzere 4 adet doğru bulunmaktadır. Bu doğrular için tanımlanan çapraz oran, O noktasından geçmeyen başka bir doğru ile bu doğruların kesişimine ait çapraz oran şeklinde tanımlanabilir [Forsyth and Ponce, 2003]. Bu nedenle $(p_1, p_2; p_3, p_4)$ noktalar için elde edilen çapraz oran ile yeni elde edilen $(p'_1, p'_2; p'_3, p'_4)$ noktaları için elde edilen çapraz oran aynıdır $((p_1, p_2; p_3, p_4) = (p'_1, p'_2; p'_3, p'_4))$.

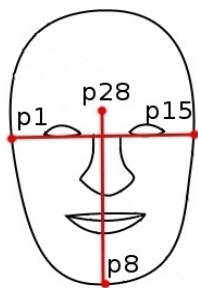


Şekil 3.6. Çapraz oran (cross ratio) tanımı

Bu çalışmada kullanılan l_1, l_2, l_3 ve l_4 doğruları Oran 33'de göz noktalarından geçen doğrular olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.7.). Oran 34'de ise, yüzdeki dikey pozisyon değişimleri göz önüne alınarak $(p_{16}, p_{28}; p_{38}, p_8)$ oranı kullanılmıştır.

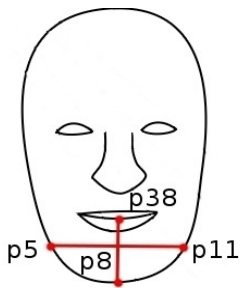


Şekil 3.7 Göz köşe noktaları için çapraz oran tanımı



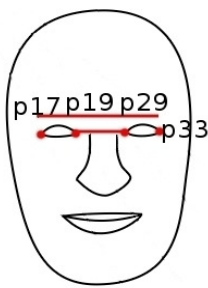
Oran1

$$\frac{|p8-p28|}{|p15-p1|}$$



Oran2

$$\frac{|p8-p38|}{|p11-p5|}$$



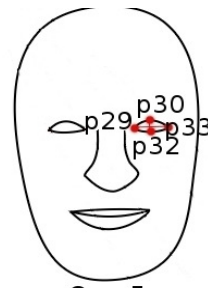
Oran3

$$\frac{|p29-p19|}{|p33-p17|}$$



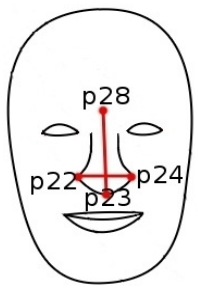
Oran4

$$\frac{|p33-p29|}{|p29-p19|}$$



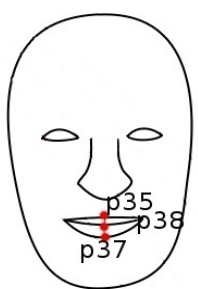
Oran5

$$\frac{|p32-p30|}{|p33-p29|}$$



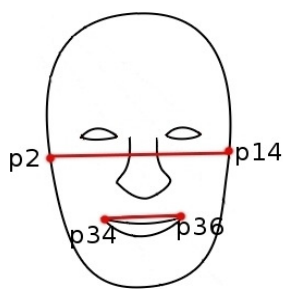
Oran6

$$\frac{|p24-p22|}{|p23-p28|}$$



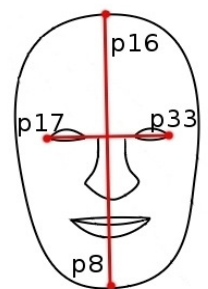
Oran7

$$\frac{|p38-p35|}{|p37-p38|}$$



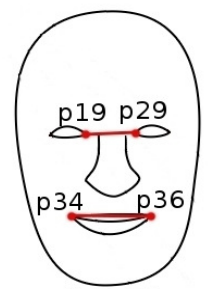
Oran8

$$\frac{|p36-p34|}{|p14-p2|}$$



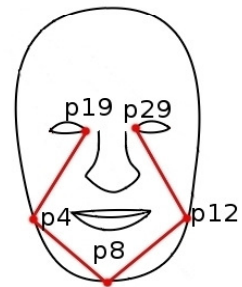
Oran9

$$\frac{|p33-p17|}{|p8-p16|}$$



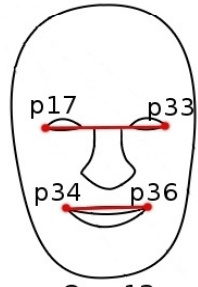
Oran10

$$\frac{|p29-p19|}{|p36-p34|}$$



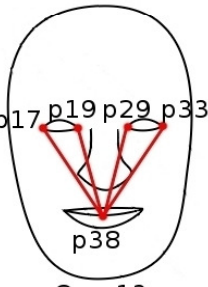
Oran11

$$\frac{(|p8-p4|+|p12-p8|)/2}{(|p19-p4|+|p12-p29|)/2}$$



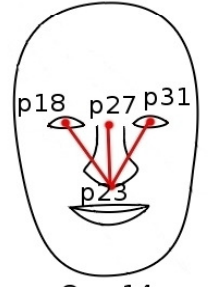
Oran12

$$\frac{|p33-p17|}{|p36-p34|}$$



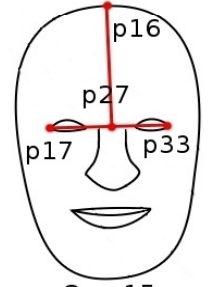
Oran13

$$\frac{(|p38-p19|+|p29-p38|)/2}{(|p38-p17|+|p33-p38|)/2}$$



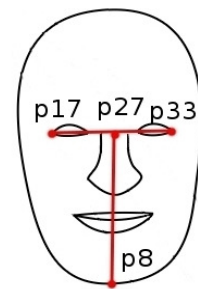
Oran14

$$\frac{|p23-p27|}{(|p23-p18|+|p31-p23|)/2}$$



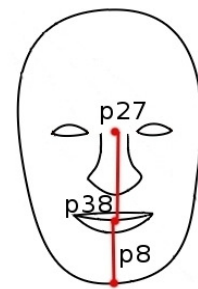
Oran15

$$\frac{|p27-p16|}{|p33-p17|}$$



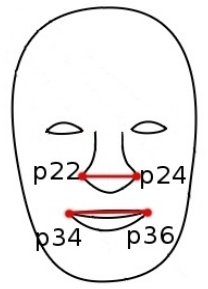
Oran16

$$\frac{|p33-p17|}{|p8-p27|}$$



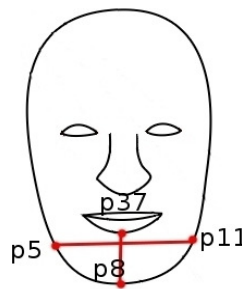
Oran17

$$\frac{|p38-p8|}{|p38-p27|}$$



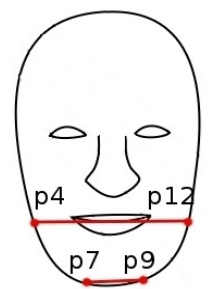
Oran18

$$\frac{|p24-p22|}{|p36-p34|}$$



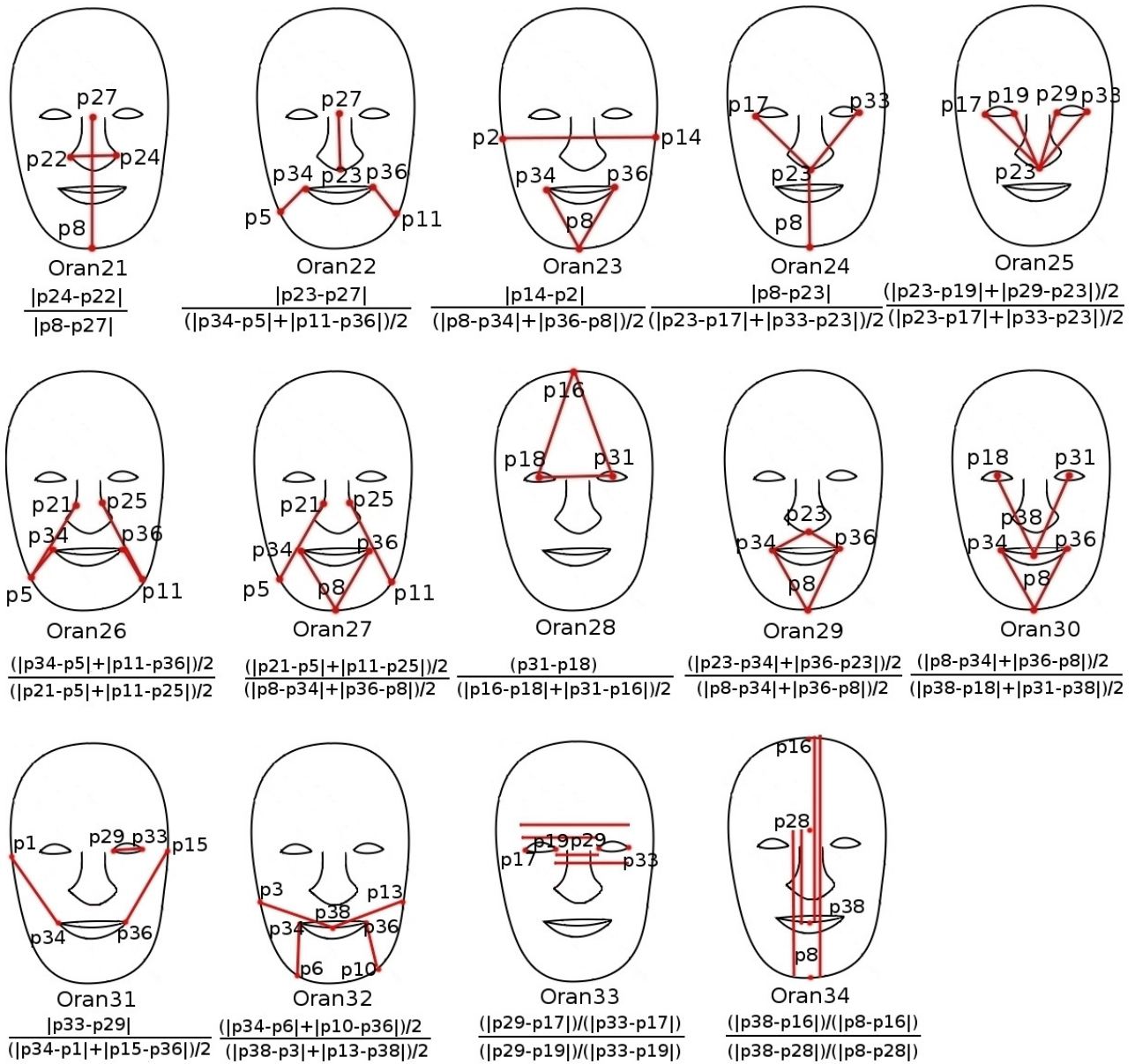
Oran19

$$\frac{|p11-p5|}{|p8-p37|}$$



Oran20

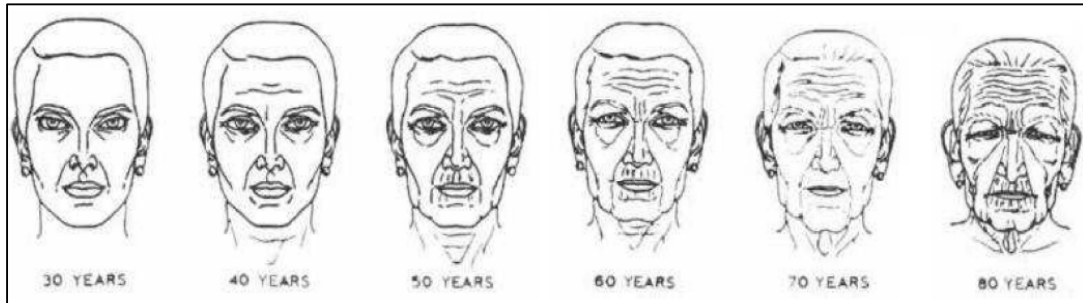
$$\frac{|p9-p7|}{|p12-p4|}$$



Şekil 3.5 Çalışmada kullanılan geometrik öznelikler

3.2. Dokusal Öznitelikler

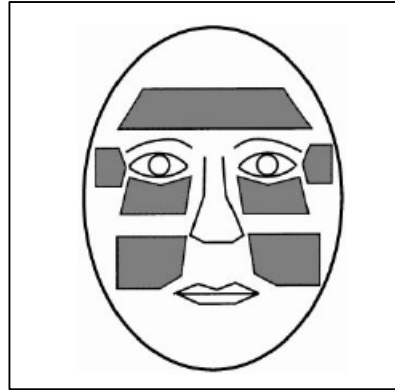
Yetişkinlik döneminden yaşlılık dönemine geçişte kişinin yüzünde yaşanan değişiklikler genelde ciltteki yaşlanmadır. Kasların esnekliğini kaybetmesi ve yerçekiminin de etkisiyle yüzde sarkmalar görülmektedir. Yüz dokusunda lekeler, renk değişimleri meydana gelir. Kişide görülen kilo kaybının da etkisiyle yanaklar düşer, gözaltında torbalar oluşur. Özellikle alın, yanaklar ve göz çevresindeki kırışıklıklar yaşlanmanın en büyük göstergesi sayılmaktadır. Yüzdeki bu kırışıklıkların derinliği, yeri ve oryantasyonu aynı yaş grubundaki kişiler için benzer özellikler göstermektedir. Şekil 3.8.'de 30 yaşından 80 yaşına kadar insan yüzünde görülen değişimlerin 10'ar yaş aralıklarla gösterimi verilmiştir [Stone, 2010].



Şekil 3.8. 30-80 yaşları arasında insan yüzündeki değişimin 10 yaş aralıklarla gösterimi [Gonzales-Ulloa and Flores, 1965]

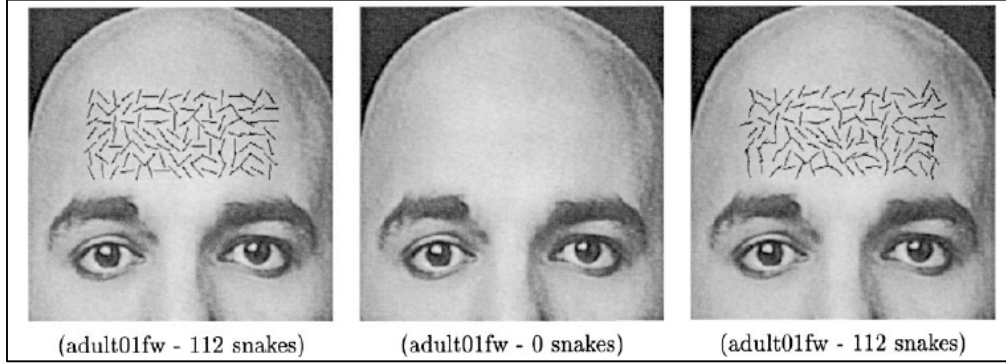
Yetişkinlikten yaşlılığa geçişte kişinin yüzünde belirgin olarak şekilsel bir değişim görülmemektedir. Fakat kaslarda görülen elastikiyet kaybı ve zayıflamaya bağlı olarak geometrik öznitelik elde etme amacıyla kullanılan önemli noktaların pozisyonları değişebilir. Özellikle kadınlarda yüz şeklinin U şeklinden, dikdörtgen veya ters üçgen biçiminde değiştiği görülmüştür [Stone, 2010].

Daha önce yapılmış bir çalışmada kişileri yaşlı veya yetişkin olarak ayırt edebilmek amacıyla kırışıklık tespiti gerçekleştirilmiştir [Kwon and Lobo, 1996]. Kırışıklıkların yoğunlukla alın, göz çevresi ve yanaklarda olduğu bilindiğinden bu bölgeler için bir kırışıklık haritası (Şekil 3.9.) oluşturularak kırışıklıklar tespit edilmiştir. Kırışıklık tespit algoritması şu şekilde çalışmaktadır: Öncelikle haritada belirtilen bölgelere farklı yönelimlerde rastgele pek çok yılan (snake) bırakılmaktadır. Yılan algoritması, resim üzerindeki farklı yoğunluk değerine sahip eğrinin tespit edilmesi için kullanılır [Kass et. al., 1988]. Derin bir kırışıklık, cilt üzerinde, ten renginden daha koyu bir çizgi meydana getirir. Bu nedenle kırışıklığın tespiti için yılan algoritmasının kullanılması uygundur. Elde edilen kırışıklık sayısına göre kişiler yetişkin veya yaşlı olarak sınıflandırılmaktadır.

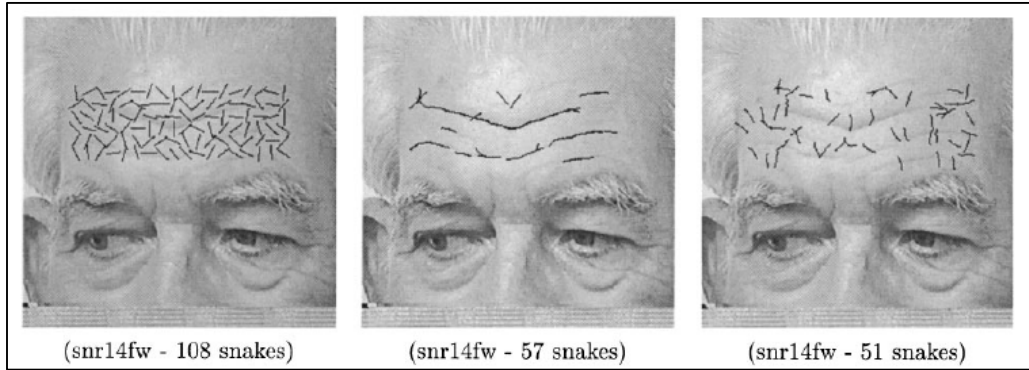


Şekil 3.9. Kırışıklık haritası [Kwon and Lobo, 1996]

Kırışıklık analiz işlemi yetişkin ve yaşlı bireyler için sırasıyla Şekil 3.10. ve Şekil 3.11. gösterilmektedir. Resimlerde 1. kolon resim üzerine rastgele yerleştirilen yılanlar görülmektedir. 2. kolonda kırışıklık olarak tespit edilen yılanlar, 3. kolonda ise kırışıklığa ait olmayan yılanlar görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, yetişkin bir kişinin yüzünde kırışıklık tespit edilemezken, yaşlı bir bireye ait yüz resminde pek çok yılan belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.10. Yetişkin bir bireye ait kırışıklık analiz işlemi [Kwon and Lobo, 1996]

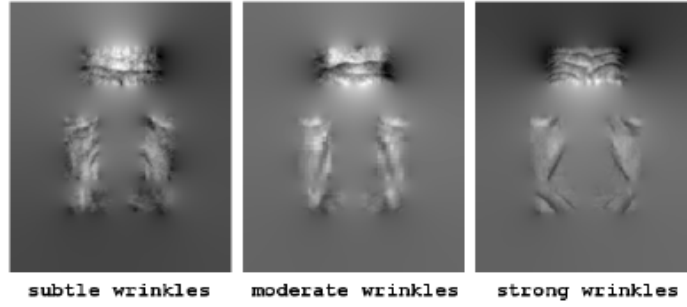


Şekil 3.11. Yaşlı bir bireye ait kırışıklık analiz işlemi [Kwon and Lobo, 1996]

Daha önceki bir çalışmada yaşlanmaya bağlı olarak insan yüzünde görülen kırışıklık ve diğer dokusal değişikliklerin modellenmesi için bir model gerçekleştirilmiştir [Ramanathan and Chellappa, 2008]. Yüzdeki kırışıklıkların modellenmesi amacıyla alın (W_1), göz kenarları (W_2), burun- yanak bölgesi (W_3) ve alt çene (W_4) olmak üzere 4 bölge tespit edilmiştir. Yüzdeki bu bölgelere test edilen kişinin yaş bilgisine göre Şekil 3.12.'da gösterilen 3 farklı derecedeki kırışıklık değişiminden biri uygulanmıştır. Yüzdeki dokusal değişim aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$\nabla J_{t_2} = \nabla J_{t_1} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^4 W_n \cdot (\nabla I_{t_2}^{(i)} - \nabla I_{t_1}^{(i)})$$

I_{t_1} ve I_{t_2} , kişinin t_1 ve t_2 yaşlarına ait resimler, ∇I_{t_1} ve ∇I_{t_2} , bu resimlere ait gradyanlar, J_{t_1} ve J_{t_2} test için kullanılan resmin t_1 ve t_2 yaşlarına ait resimler, ∇J_{t_1} ve ∇J_{t_2} , bu resimlere ait gradyanlar. ∇J_{t_2} 'nin elde edilmesi için t_1 anındaki test resmine; aynı yaş aralığındaki eğitim resimlerinden elde edilen bilgi eklenir.



Şekil 3.12. Farklı derecelerdeki kırışıklık değişim örüntüleri

Yüzün dokusal olarak temsil edilmesi için kullanılan diğer bir yöntem; yüz resminin tamamının veya belirli bir bölgesinin bir takım filtrelerden geçirilmesidir. Filtreleme sonucu elde edilen piksel değerleri sınıflandırma algoritmaları için öznitelik olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan bazı temel yöntemler Yerel İkili Örüntü - YİÖ (Local Binary Pattern - LBP) operatörü, Gabor filtreleme ve bu iki yöntemden yola çıkılarak elde edilmiş olan Yerel Gabor İkili Örüntü -YGIÖ (Local Gabor Binary Pattern -LGBP) operatörüdür.

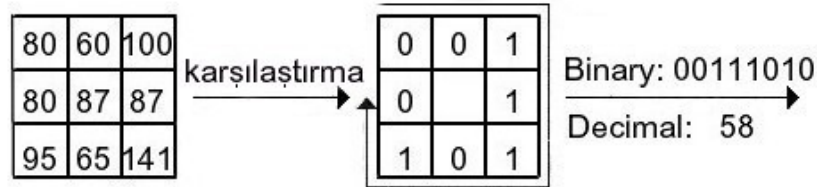
3.2.1. Yerel İkili Örüntü Operatörü (YİÖ)

Yerel ikili örüntü (YİÖ), resmin yerel yapısını özetleyen, parametrik olmayan bir operatördür. Merkez ve komşu piksel değerleri arasında sıralı ikili

karşılaştırmalara dayalı ayırimsama gücü yüksek bir analiz tekniğidir [Marcel et. al., 2007].

Farklı YİÖ teknikleri özellikle yüz tanıma uygulamalarında etkili olarak kullanılan bir yöntemdir [Ahonen et. al., 2004]. YİÖ yönteminin aydınlanma koşullarına karşı dayanıklı olması önemli bir özelliktir. YİÖ operatörünün farklı çeşitleri mevcuttur.

a) Orijinal Yerel İkili Örüntü: Orijinal Yerel İkili Örüntü, bir merkez pikselin komşu piksel değerleri ile arasındaki sıralı ikili karşılaştırmalardan oluşur. Operatör, bir resimdeki her pikseli, kendisini çevreleyen 3×3 lük komşuluk bölgesindeki komşu piksellerini, merkez piksel değerine göre eşikleyerek etiketler (Şekil 3.13.). Eğer komşu pikselin değeri, merkez pikselden büyük veya eşitse komşu piksel 1, küçükse 0 değerini alır [Marcel et. al., 2007].



Şekil 3.13. Orijinal Yerel İkili Örüntü Operatörü

İşlem sonunda oluşan 8 bitlik Orijinal Yerel İkili Örüntü kodu aşağıdaki gibi gösterilebilir [Marcel et. al., 2007]:

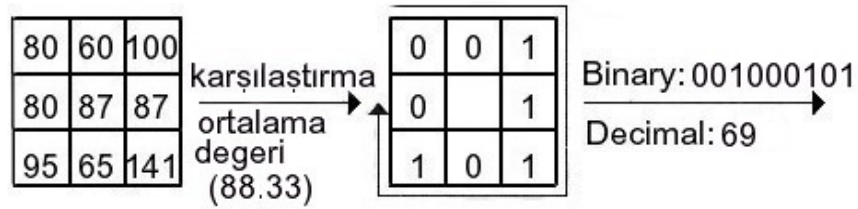
$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^7 s(i_n - i_c) 2^n$$

Yukarıdaki formülde; i_c resmin merkez koordinatındaki $(x_c - y_c)$ piksel değeri, i_n merkez pikseli çevreleyen 8 adet komşuluğuna ait piksel değerleridir. Formülde belirtilen $s(x)$ fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanır:

$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

b) Çoklu Ölçülü Yerel İkili Örüntü: Çoklu Ölçülü Yerel İkili Örüntü operatöründe Orijinal operatörden farklı olarak her piksel merkez kabul edilerek R yarıçaplı bir daire üzerinde bulunan P adet pikselin değerlerine göre eşiklenerek etiketlenir.

c) Değerlenmiş Yerel İkili Örüntü: Orijinal operatörden farklı olarak resimdeki her piksel kendisini çevreleyen 3×3 lük komşuluk bölgesindeki piksellerin ortalama değeri ile karşılaştırılır (Şekil 3.14.).



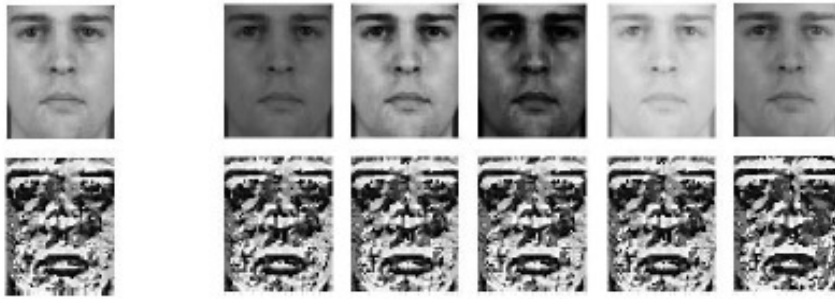
Şekil 3.14. Değerlenmiş Yerel İkili Örüntü Operatörü

İşlem sonunda oluşan 9 bitlik Değerlenmiş Yerel İkili Örüntü kodu aşağıdaki gibi gösterilebilir [Marcel et. al., 2007].

$$ILBP(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^8 s(i_n - i_c) 2^n$$

Yukarıdaki formülde, i_m komşulukta yer alan piksellerin ortalama değeridir, $s(x)$ fonksiyonu ise Orijinal Yerel İkili Örüntü Operatöründe kullanıldığı şekilde tanımlanmıştır.

Yerel İkili Örüntü operatörü, resim ön işleme amacıyla da kullanılabilir. Özellikle aydınlanmadaki değişimlere karşı dayanıklı olduğundan, aydınlanma normalizasyon tekniği olarak kullanılabilir [Heusch et. al., 2006]. Şekil 3.15.'de, farklı aydınlanma ortamlarında çekilmiş resimlere YİÖ operatörü uygulandığında resimlerde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.15. Aydınlanmaya karşı dayanıklı YİÖ resimleri [Marcel et. al., 2007]

Daha önce yapılmış yüz tanıma çalışmalarında ([Ekenel et. al., 2008], [Ahonen et. al., 2004] [Günay and Nabiye, 2008]) yüz imgelerinin betimlemesi için YİÖ operatörlerinin kullanılmasının performansı arttırdığı görülmüştür. Bu nedenle tez çalışmasında ham piksel değerleri yerine YİÖ operatöründen geçirilmiş piksel değerlerinin oluşturduğu öznitelik vektörü Öncelikli Bileşen Analizinden geçirildikten sonra sınıflandırma algoritmasında kullanılmıştır.

3.2.2. Gabor Filtreleme

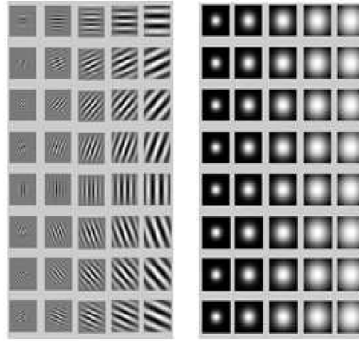
Gabor filtreler, görüntü işleme ve bilgisayarla görme alanında özellikle öznelik çıkarımında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [Jemaa and Khanfir, 2009] [Forsyth and Ponce, 2003] [Liu and Wechsler, 2002]. Özellikle yüz tanıma gibi uygulama alanlarında, farklı yönelim, büyüklük ve frekans değerlerinin kullanılmasıyla yüzün dokusunun detaylı bir şekilde analizi mümkün olmaktadır.

Gabor filtre bir resme uygulandığında, resimde filtre ile aynı yerel frekans ve oryantasyondaki nokta en güçlü cevap verecek nokta olacaktır. Gabor filtre denklemini matematiksel olarak aşağıdaki formülde belirtildiği gibi ifade edilebilir [Bhuiyan and Liu, 2007]:

$$\Psi_{u,v}(z) = \frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} e^{(-\|k_{u,v}\|^2 \|z\|^2 / 2\sigma^2)} \left[e^{ik_{u,v}z} - e^{-\sigma^2 / 2} \right]$$

Yukarıdaki formülde, $k_{u,v} = k_v e^{i\phi_v}$, $k_v = k_{maks} / f^v$ frekans için, $\Phi_u = u\pi/8$, $\Phi_u \in [0, \pi)$ ise yönelim için parametrelerdir. $z = (x, y)$ resimdeki piksel değeridir.

Farklı bileşen değişkenleri ile bir resmin detaylı bir analizi yapılabilmektedir. Değişik açı ve frekanslar kullanılarak değişik niteliklere sahip gabor filtreleri ile filtre bankası oluşturulabilir. Şekil 3.16.'de 5 farklı frekans ve 8 farklı yönelimde $\left\{ 0, \frac{\pi}{8}, \frac{2\pi}{8}, \frac{3\pi}{8}, \frac{4\pi}{8}, \frac{5\pi}{8}, \frac{6\pi}{8}, \frac{7\pi}{8} \right\}$ gabor filtrelerden oluşan bir gabor filtre bankası görülmektedir. Şekilde 1. kolonda filtrelere ait reel kısım, 2. kolonda ise büyüklük kısmı bulunmaktadır.

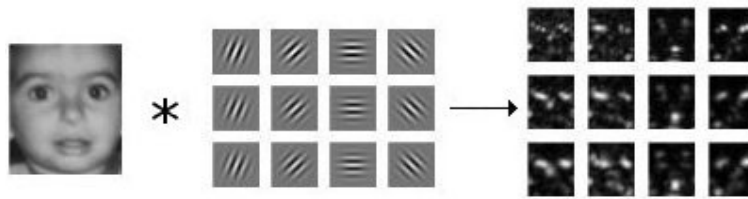


Şekil 3.16. Gabor filtre bankası [Wiskott et. al., 1999]

Bir görüntü gabor filtresi ile işleme tabi tutulduğunda elde edilen çıkış, giriş görüntüsü ile gabor fonksiyonunun işleme sokulması ile elde edilir [Bhuiyan and Liu, 2007]. Formülde ‘*’ sembolü convolution operatörü olarak tanımlanmaktadır.

$$g_{f,\theta}(x, y) = f(x, y) * \Psi_{f,\theta}(x, y)$$

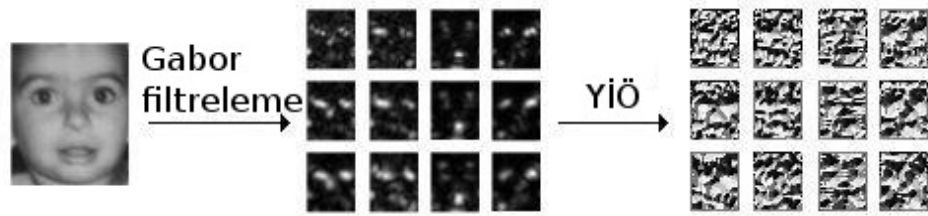
Bu çalışmada, farklı oryantasyon ve frekans değerleri ile oluşturulan gabor filtreleri yüz resmi ile işleme tabi tutulmuştur. Şekil 3.17.’de görüldüğü gibi çıktı olarak birbirinden farklı 12 büyüklük değeri resmi elde edilmiştir. Resimlere ait piksel değerlerinin oluşturduğu öznitelik vektörü Öncelikli Bileşen Analizi – ÖBA (Principal Component Analysis – PCA)’den geçirildikten sonra sınıflandırma algoritmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Gabor filtreleme işlemi

3.2.3. Yerel Gabor İkili Örüntü (YGIÖ)

Yerel Gabor İkili Örüntü operatörü; Gabor filtreleme ve Yerel İkili Örüntü işlemlerinin birleşimidir [Zhang et. al., 2005]. Bir resme ait Yerel Gabor İkili Örüntü betimlemesinin oluşturulması için öncelikle, resim farklı oryantasyon ve frekanslardaki Gabor filtreler ile işleme sokulur. Sonrasında elde edilen resimlerdeki her bir piksele YİÖ operatörü uygulanır. Örnek bir yüz resmi için belirtilen işlem Şekil 3.18.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Yerel Gabor İkili Örüntü işlemi

Yüz dokusunu kabaca özetleyen farklı büyüklükteki ve farklı oryantasyondaki Gabor filtreler ile resimdeki küçük detayları açığa çıkaran Yerel İkili Örüntü operatörleri birlikte uygulandığında resme ait piksel değerlerinin temsil yeteneği daha etkin bir hal alır [Zhang et. al., 2005]. Bu durum yöntemin de performansını arttıracaktır. Çalışmada gabor filtreleme yönteminde kullanılan değerler aynı şekilde YGIÖ operatöründe de aynen kullanılmıştır. Sonrasında elde edilen 12 büyüklük resmine YİÖ operatörü uygulanmıştır. Resimlere ait piksel değerlerinin oluşturduğu öznitelik vektörü Öncelikli Bileşen Analizinden geçirildikten sonra sınıflandırma algoritmasında kullanılmıştır.

4. YAŞ TESPİT ALGORİTMALARI

İnsan yüzünden yaş bilgisinin tespit edilmesi temelde bir örüntü tanıma problemidir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda yaş tespiti bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır [Lanitis et. al., 2004]. Bu sınıflandırma kişilerin bazı belirli yaş gruplarına atanması şeklinde olabilir [Gao and Ai, 2009], [Yang and Ai, 2007]. Bu tür bir sınıflandırma dışında her yaş değeri bir sınıf olarak ele alınarak örneğin 1’den 60’a kadar olan yaş aralığı için toplam 60 sınıf oluşturulabilir.

Yaş değerleri sıralı bir dizi olarak düşünüldüğünde, yaş tespiti bir regresyon problemine dönüşebilmektedir. Yüzün bazı parametreler ile tanımlanması, ardından bu parametrelerin bir yaşlanma fonksiyonuna verilerek tam yaştan tespit edilmesi söz konusu olmaktadır.

4.1. Sınıflandırma Yöntemi

Yaş tespitinin bir sınıflandırma problemi olarak ele alınması ve buna bağlı olarak yüz resminin parametrik olarak tanımlanması sonucunda bir öznitelik vektörü elde edilir. Elde edilen öznitelik vektörünün sınıflandırma algoritmasına verilmesiyle bireyin ait olduğu tahmin edilen sınıf değeri tespit edilir. Daha önce de belirtildiği gibi bu sınıf değeri (örneğin; bebek, çocuk, genç, yetişkin, yaşlı gibi) eğitim sırasında belirlenmiş sabit yaş aralıkları ile tanımlanmış değerler olabilir [Gao and Ai, 2009] [Kwon and Lobo, 1999] [Yang and Ai, 2007]. Ya da her bir yaş değerinin bir sınıf etiketi olarak tanımlanması mümkündür.

Lanitis ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada [Lanitis et. al., 2004] öncelikle Hareketli Görüntü Modeli kullanılarak yüz resimlerine ait öznitelik vektörü elde edilmiştir. Sonrasında eğitim verilerine ait bu vektörler farklı sınıflandırma algoritmaları (İkinci Dereceden Denklem Fonksiyonları, En Yakın Mesafe Algoritması, Yapay Sinir Ağları) ile birlikte kullanılarak eğitim modelleri elde

edilmiştir. Test işlemi esnasında ise test edilecek veri oluşturulan bu modeller kullanılarak etiketlenmektedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmada, sınıflandırma için farklı yöntemlerden de bahsedilmiştir. Bu yöntemlerden ilkinde; tüm eğitim verisinin kullanılmasıyla elde edilecek genel bir sınıflandırıcı yerine, farklı yaş gruplarındaki verilerin kullanılması ile birden fazla sınıflandırıcı oluşturulur. Böylece kullanılan yerel sınıflandırıcılar ile daha doğru bir yaş değeri elde edilebilir. Diğer bir yöntemde ise; birbirine görünüş olarak benzeyen insanların aynı şekilde yaşlanacağı fikri baz alınmıştır. Bu nedenle eğitim setinde görünüş olarak birbirine benzer özellikler gösteren kişiler kümelenmiş ve her bir küme için bir sınıflandırıcı oluşturulmuştur.

Ueki ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada [Ueki et. al., 2006] yaş tespiti 11 sınıflı bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır. Öncelikle eğitim seti birbiriyle örtüşmeyen 11 yaş grubuna ayrılmıştır. Sonrasında Doğrusal Ayrışım Analiz yönteminin kullanılması ile öznitelik vektörü elde edilmiş ve her bir grup için bir Gauss modeli oluşturulmuştur. Test işlemi esnasında ise her bir model ile karşılaştırma yapılarak benzerlik değerleri hesaplanmıştır.

Belirtilen sınıflandırma çözümlerinin dışında farklı öznitelik çıkarım yöntemlerinin ve farklı sınıflandırma algoritmalarının kullanılması ile gerçekleştirilen yöntemler literatürde mevcuttur [Kanno et. al., 2001] [Yang and Ai, 2007] [Gao and Ai, 2009].

4.2. Regresyon Yöntemi

Regresyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu ilişkinin lineer olduğu düşünüldüğünde, regresyonun matematiksel olarak ifadesi: $y = a + bx + e$ şeklinde olacaktır. Bu formülde belirtilen x , herhangi bir x değeri; y , x değerine bağlı olarak tanımlanmış değer; a ve b sabit değerler; e ise hata değeridir.

Regresyon çözümünü yaş tespit problemine uyguladığımızda; x değeri; yüze ait şekilsel ve dokusal bir modeli oluşturan parametreler vektörüdür. Bu vektörün belli bir fonksiyona verilmesi ile elde edilen sonuç değeri kişinin tahmin edilen tam yaş değeri olacaktır.

Lanitis ve ark., gerçekleştirdiği bir çalışmada [Lanitis, et. al., 2002], yaş tespit problemine resim tabanlı regresyon çözümü getirmiştir. Yapılan çalışmada, yüz resimleri için parametrelerle ifade edilebilen istatistiksel bir model oluşturulmuştur. Eğitim aşamasında farklı kişilere ait resimler kullanılarak, bireyler ve oluşturdukları modeller arasında bağlantı sağlanmıştır. Lineer bağlantı şu şekilde formüle edilebilir:

$$yaş = f(b)$$

formülde belirtilen b değişkeni, 50 adet model parametresi içeren bir vektördür. f fonksiyonu ise yüz resminin parametrik betimlemesi ile bireyin yaşı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Belirtilen formül dışından ayrıca ikinci dereceden denklem ve kübik olmak üzere 2 farklı yaşlanma fonksiyonu daha tanımlanmıştır. Bu fonksiyonlar:

$$yaş = denge_degeri + w_1 T b$$

$$yaş = denge_degeri + w_1 T b + w_2 T(b^2) + w_3 T(b^3)$$

formüllerde belirtilen w_1 , w_2 ve w_3 değerleri sırasıyla b_1 , b_2 ve b_3 için ağırlık değerleri, $denge_degeri$ değeri ise, hatayı minimize edecek şekilde hesaplanmaktadır.

Fonksiyonlar için kullanılacak eğitim verileri farklı şekillerde seçilebilir. Eğitim setindeki tüm bireylere ait resimlerden elde edilen model parametrelerinin kullanılması ile genel bir yaşlanma fonksiyonu elde edilebilir. Bunun dışında test

edilecek kişiye ait yaşlanma fonksiyonu, eğitim setinde ona en çok benzeyen kişiye ait yaşlanma fonksiyonu şeklinde de seçilebilir.

Regresyon yönteminin kullanıldığı diğer bir yaş tespit çalışmasında resim uzayı daha düşük bir uzaya indirgenmiş ve sonrasında resmin düşük boyuttaki betimlemesi üzerinde bireye ait yaş tahmini gerçekleştirilmiştir [Fu and Huang, 2008]. Düşük boyuta indirgeme işlemi matematiksel olarak ifade edilirse:

$$y = P(X, L)$$

Yukarıda belirtilen formülde; X , orijinal resim; L , bireyin gerçek yaş değeri; y , resmin daha düşük boyuttaki betimlemesi; P fonksiyonu ise iki uzay arasındaki eşleştirmeyi gerçekleştiren iz düşüm fonksiyonudur.

Tahmini yaş değerinin hesaplanması ise şu şekilde ifade edilebilir:

$$L = f(y)$$

Formülde belirtilen f , regresyon fonksiyonu; L ise tahmini yaş değeridir. Yapılan çalışmada, iki değişkenli denklem fonksiyonunun kullanılması ile gerçekleştirilen regresyonun, lineer ve kübik olanlara kıyasla daha yüksek bir performans gösterdiği belirtilmiştir [Fu and Huang, 2008].

4.3. Melez Yöntem

Yukarıda belirtilen yöntemlerden de anlaşılacağı gibi, yaş tespit problemi hem sınıflandırma hem de regresyon problemi olarak düşünülebilir. Hangi yöntemin daha yüksek performans gösterdiği daha önce gerçekleştirilmiş bir çalışmada belirtilmiştir. Bu çalışmada iki farklı veri seti üzerinde sınıflandırma algoritması olarak Destek Vektör Makinesi (DVM), regresyon yöntemi olarak da Destek Vektör Regresyonu (DVR) test edilmiştir. FG-NET veriseti üzerinde gerçekleştirilen test işleminde, DVR

yöntemi daha yüksek performans gösterirken; YGA [Fu and Huang, 2008] [Fu et. al., 2007] veri tabanı için DVM daha iyi bir yöntem olarak görülmektedir [Guo et. al., 2008]. Bu nedenle sınıflandırma ya da regresyon yöntemlerinden hangisinin daha yüksek performans gösterdiğine ilişkin kesin bir gösterge bulunmamaktadır.

Kullanılan test verisinden bağımsız olarak yüksek performans gösterecek bir sistemin oluşturulması için sınıflandırma ve regresyon metotlarının birlikte kullanılması fikri doğmuştur. Guo ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada [Guo et. al., 2008] regresyon ve sınıflandırma işlemleri iki aşama şeklinde kullanılmıştır. Öncelikle, eğitim setindeki tüm veriler için DVR yönteminin kullanılması ile lineer bir regresyon oluşturulmuştur. Regresyon sonucunda kişiye ait tahmin edilen yaş değeri geniş bir aralık içinde verilmektedir. Bu değer gerçek yaş değerine yaklaşması işlemi sınıflandırma yoluyla yapılmıştır. Her bir yaş değerinin bir sınıf olarak temsil edildiği yerel sınıflandırma işlemi için Destek Vektör Makine algoritması kullanılmıştır. Yalnız sınıflandırma ve yalnız regresyon yöntemlerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar melez yöntem ile karşılaştırıldığında, melez yöntemin veri setinden (FG-NET ve YGA) bağımsız olarak daha yüksek performans sergilediği görülmektedir [Guo et. al., 2008].

Bu tezde sunulan çalışma, sınıflandırma ve eğri uydurma yöntemlerinin birlikte kullanılması sebebiyle melez bir yöntem sayılmaktadır. Eğitim esnasında öncelikle tüm verilerin kullanılması ile genel bir sınıflandırma modeli elde edilmiştir. Test sırasında bu modelin kullanılmasıyla test verisinin önceden belirlenmiş olan yaş gruplarına ait olma olasılıkları hesaplanır. Elde edilen en yüksek üç olasılık değeri test edilen bireyin tam yaşının hesaplanması için lineer yaş tespit fonksiyonunda kullanılmaktadır.

5. YAŞ TESPİTİNDE GEOMETRİK VE DOKUSAL ÖZNETELİKLERİN BİRLİKTE KULLANIMI

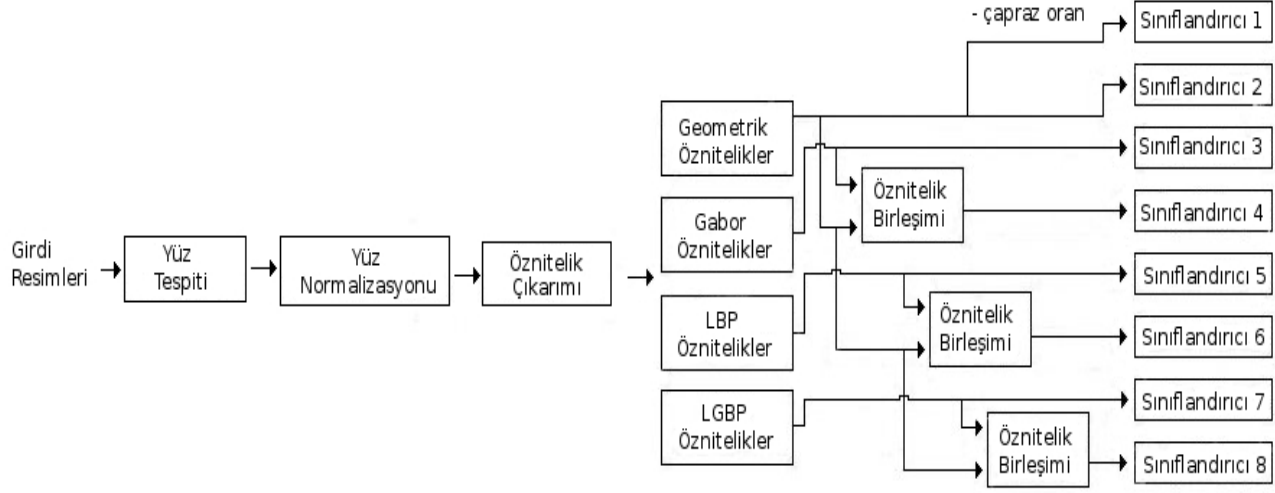
Yaşlanmanın insan yüzündeki etkisi geometrik ve dokusal biçimlerde olabilmektedir. Özellikle bireyin çocukluk döneminden yetişkinlik dönemine geçişte yüzünde meydana gelen değişimleri geometrik öznitelikler; yetişkinlik döneminden yaşlılık dönemine geçişte meydana gelen değişimleri ise dokusal öznitelikler tanımlamaktadır. Bu nedenle daha önce yapılan çalışmalarda bir yaş grubunu diğerinde ayırmak için geometrik ve dokusal öznitelikler ayrı ayrı kullanılmıştır [Kwon and Lobo, 1999] [Yang and Ai, 2007]. Çocukları yetişkinlerden ayırt edebilmek için şekilsel değişimlerden; yetişkinleri yaşlılardan ayırt edebilmek için dokusal değişimler ve kırışıklıklardan faydalanılmıştır.

Bu tezde sunulan çalışmada ayrı ayrı sınıflandırıcılar kullanmak yerine tüm özniteliklerin birlikte kullanılması ile genel bir sınıflandırıcı oluşturulmuştur. Çalışmada, her birinde farklı özniteliklerin kullanıldığı 8 farklı sınıflandırıcı test edilmiştir. Bazı sınıflandırıcılarda sadece geometrik, bazılarında sadece dokusal, bazılarında ise geometrik ve dokusal öznitelikler birlikte kullanılmıştır. Şekil 5.1.'de geliştirilen yaş tespit sistemine ait akış çizgesi görülmektedir. Oluşturulan sistem kısaca açıklanacak olursa:

- Eğitim aşamasında öncelikle eğitim setindeki bireylere ait öznitelik çıkarım işlemi gerçekleşmekte, sonrasında bu özniteliklerin sınıflandırma algoritmalarına verilmesi ile sınıflandırma modelleri oluşturulmaktadır.

- Test aşamasında ise eğitim aşamasında oluşturulan model kullanılarak test edilecek bireye ait resmin yaş gruplarına ait olma olasılıkları tespit edilir. Sonrasında

bu olasılık değerleri kullanılarak regresyon yöntemi ile bireyin tahmini tam yaşı hesaplanır.



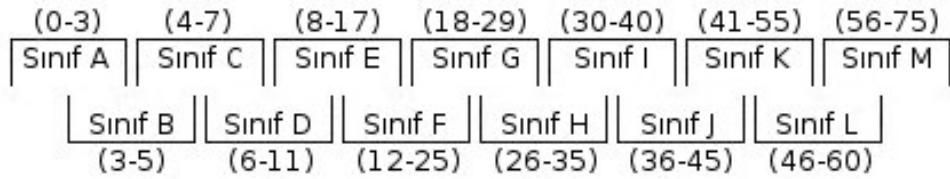
Şekil 5.1. Yaş tespit sistemi akış çizgesi

5.1. Eğitim Aşaması

Geliştirilen sistemde eğitim aşamasında amaç; eğitim setindeki verileri temsil edebilecek, ayırt ediciliği yüksek öznitelik elde edilmesi, sonrasında da bu özniteliklerin kullanılması ile etkili bir yaş sınıflandırma modelinin oluşturulmasıdır. Sınıflandırma işleminin yapılabilmesi için, öznitelik çıkarım işleminden önce, kişilere ait yaş sınıf değerleri belirlenmelidir.

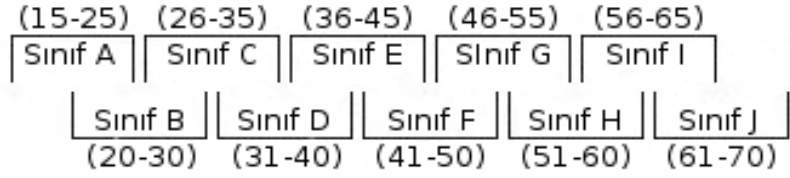
Yaşlanma belirtileri kişiden kişiye farklılık gösteriyor olsa da (Bkz. 1. Bölüm) aynı yaş grubundaki bireyler benzer şekilsel ve dokusal özellikler göstermektedir. Bu nedenle kişiler yaş gruplarına göre etiketlenilmiştir. Diğer taraftan benzer özellikler gösteren kişileri belli gruplara ayırmak, sınır bölgelerinde yer alan bireyler

düşünüldüğünde hata değerinin artmasına sebep olacaktır. Tahmini yaş değerinden kaynaklanan hata değerini azaltmak için, etiketleme iç içe geçmiş yaş grupları kullanılarak yapılmıştır. Yöntemin test edilmesi için çalışmada FG-NET [The FG-NET Aging Database, 2010] ve MORPH [MORPH Face Database] [Ricanek and Tesafaye, 2006] olmak üzere iki farklı veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri setleri kişi sayısı, kişilere ait resim sayısı, resimlerin çekildiği ortam özellikleri ve yaş dağılımı gibi nitelikler bakımından farklılık göstermektedir. Bu nedenle çalışmada iç içe geçmiş iki farklı yaş grup değeri kullanılmıştır.



Şekil 5.2. FG-NET veri seti için iç içe geçmiş yaş grup değeri

FG-NET veri setinde bebek, çocuk ve genç bireylere ait resim sayısı fazla iken, 40 yaşından büyük bireylere ait oldukça az sayıda resim bulunmaktadır. Bu sebeple düzensiz bir dağılım görülmektedir. Ayrıca doğumundan yetişkinlik dönemine kadar kişinin gelişiminde görülen özelliklerin belirgin olması daha iyi bir yaş tahmini yapabilmemize yarar. Buna karşın özellikle yaşlılık döneminde yüzde görülen niteliklerin ayırt ediciliğinin düşük olması daha kaba bir tahmin yapmamıza sebep olur. Şekil 5.2.'de FG-NET veri seti için kullanılan iç içe geçmiş yaş grup değeri belirtilmektedir. Görüldüğü üzere, çocukluk ve gençlik dönemleri için grup aralık değerleri daha küçükken, ileriki dönemlerde daha geniş bir yaş aralığı bir grup değeri tarafından temsil edilmektedir. MORPH veri setinde ise 16-77 yaş aralığında bireylere ait, 55000'den fazla resim bulunmaktadır. MORPH veri seti için 15 yaşından başlayıp 70 yaşına kadar onarlı gruplar halinde oluşturulmuş bir yaş grup değeri kullanılmıştır (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. MORPH veri seti için iç içe geçmiş yaş grup değeri

Etiketleme işleminin ardından Şekil 5.1.'de bulunan akış çizgesinde görüldüğü üzere eğitim setindeki resimler üzerinde yüz tespit işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem için Haar tabanlı sınıflandırıcılar kullanılır [Viola and Jones, 2001]. Viola-Jones yüz tespiti yönteminde haar benzeri öznitelikler kullanılarak yüz resmi olan ve yüz resmi olmayan veri üzerinde eğitim işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında elde edilen model kullanılarak test edilecek resim üzerinde yüz tespiti yapılır.

Yüz resmi tespit edilip, çıkarım yapıldıktan sonra resim üzerinde geometrik ve aydınlanma normalizasyonları gerçekleştirilir. Geometrik normalizasyon işleminde, göz orta noktalarının aynı doğru üzerinde bulunması ve tüm resimlerde bu noktalar arasındaki piksel uzaklık değerinin sabit olması için gerekli transformasyon işlemleri gerçekleştirilir. Aydınlanma normalizasyonu için Tan ve Triggs tarafından geliştirilen yöntem [Tan and Triggs, 2007] kullanılmıştır. Yöntemde sırasıyla; gama düzeltme (gamma correction), gauss diferansiyonu (Difference of Gaussian - DoG), maskeleme ve kontrast eşitleme (Contrast Equalization) işlemleri gerçekleştirilir.

Normalizasyon işlemlerinin ardından resim, öznitelik çıkarım işlemine hazır hale gelir. Çapraz oran değerleri dışındaki yüzdeki önemli noktalar arasındaki oranlardan elde edilen 32 geometrik öznitelik, Sınıflandırıcı 1'de öznitelik vektörü olarak kullanılmıştır. Sınıflandırıcı 2'de daha önce belirtilmiş olan (Bkz. Bölüm 3.1.) 34 geometrik öznitelikten oluşan bir öznitelik vektörü kullanılmıştır. Yüzün dokusal olarak temsilini sağlayan Gabor, YİÖ ve YGİÖ operatörlerinden elde edilen öznitelik vektörleri sırasıyla Sınıflandırıcı 3, Sınıflandırıcı 5 ve Sınıflandırıcı 7'de kullanılmıştır. Bunların dışında, yüz resminin temsil gücünü artırma amacıyla

geometrik ve dokusal öznitelikler birlikte kullanılmıştır. Sınıflandırıcı 4'de geometrik ve gabor öznitelikler; Sınıflandırıcı 6'da geometrik ve YİÖ öznitelikleri; Sınıflandırıcı 8'de geometrik ve YGİÖ öznitelikleri birlikte kullanılmıştır.

Yüz resminden çıkarılan öznitelik vektörleri daha sonra sınıflandırma algoritmasına verilir ve her bir sınıflandırıcıdan bir sınıflandırma modeli elde edilir. Bu tez çalışmasında sunulan yöntemde sınıflandırma algoritması olarak AdaBoost kullanılmıştır [Freund and Schapire, 1996].

5.2. Test Aşaması

Test işlemine girmeden önce test edilecek örnek resim, eğitim aşamasında bahsedilen ön işlemlerden (resim üzerinde yüzün tespit edilmesi, geometrik ve aydınlanma normalizasyonları) geçirilmektedir. Test aşamasında, eğitim aşamasında oluşturulan sınıflandırma modeli AdaBoost algoritmasında kullanılarak test edilecek verinin yaş gruplarına ait olma olasılıkları hesaplanır. Sonrasında bu olasılık değerleri, aşağıda belirtilen formüldeki gibi kullanıldığında tahmini yaş değeri hesaplanabilmektedir.

$$Tahmin\ i_yaş = X_{orta}P_x + ((Y_{orta} - X_{orta})/2)P_y + ((Z_{orta} - X_{orta})/2)P_z$$

Yukarıda belirtilen formülde X_{orta} , Y_{orta} ve Z_{orta} , sırasıyla test verisinin ait olma olasılığının en yüksek olduğu sınıflara ait yaş aralıklarını orta değeridir. P_x , P_y ve P_z ise, sırasıyla test verisine ait en yüksek ait olma olasılıklarıdır. Formülden anlaşıldığı gibi, test verisi için sınıflandırıcı tarafından sonuç olarak döndürülen en yüksek 3 ait olma olasılığı kullanılarak tahmini yaş değeri hesaplanır.

6. DENEYLER

Yöntem FG-NET [The FG-NET Aging Database, 2010] ve MORPH [MORPH Face Database] veri setlerine ait resimler üzerinde test edilmiştir. Yöntem OpenCV kütüphanesi kullanılarak C++ dilinde ve Linux ortamında gerçekleştirilmiştir.

FG-NET veri seti, 0-69 yaş aralığındaki 82 farklı bireye ait 1002 adet yüksek çözünürlüklü, renkli veya siyah-beyaz resimlerden oluşmaktadır. Şekil 6.1.'de FG-NET veri setinde bulunan aynı bireyin farklı yaşlarına ait fotoğrafları gösterilmektedir.

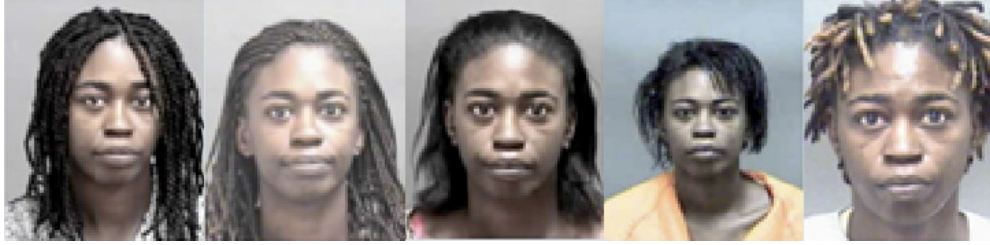


Şekil 6.1. FG-NET veri seti örnek fotoğraf dizisi

Veri setinde bulunan yüz resimleri, aydınlanma, yüz ifadesi, kafa pozisyonu gibi değişimler sergileyen, kontrolsüz ortamda çekilmiş resimlerdir. FG-NET veri setinin dezavantajı, yüksek doğrulukla çalışacak bir model oluşturulabilmesi için yeterli sayıda yetişkin ve yaşlı birey fotoğrafı içermemesidir. Veri setinde bulunan bireylerin, oluşturulan yaş grup modeline göre dağılımları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

MORPH veri seti, 16-77 yaş aralığındaki 13000 den fazla farklı bireye ait 55000 den fazla resim içermektedir. Resimlerin yaklaşık %15'i kadın bireylere aittir. Veri setinde her birey için kontrollü ortamda çekilmiş, ortalama 4 farklı fotoğraf bulunmaktadır. Veri setinin büyüklüğü nedeniyle çalışmada gerçekleştirilen testler veri setine ait bir alt kümede gerçekleştirilmiştir. Altkümenin oluşturulması için 16-65 aralığındaki her bir yaş değeri için rastgele seçilmiş 20 farklı bireye ait 20

fotoğraf kullanılmıştır. Şekil 6.2’de MORPH veri setinde bulunan aynı bireyin farklı Yaşlarına ait fotoğrafları gösterilmektedir.



Şekil 6.2. MORPH veri seti örnek fotoğraf dizisi

Çizelge 6.1. FG-NET veri seti için resimlerin yaş gruplarına dağılımı

<i>Yaş Sınıf Aralıkları</i>	<i>Veri Sayısı</i>
(0-3)	141
(3-5)	120
(4-7)	156
(6-11)	201
(8-17)	321
(12-25)	361
(18-29)	210
(26-35)	100
(30-40)	88
(36-45)	55
(41-55)	49
(46-60)	27
(56-75)	9

FG-NET veri seti üzerinde yapılan deneylerde, öncelikle, her bir örnek, bireye ait gerçek yaş değeri bilgisi kullanılarak, oluşturulan yaş grup değeri modeline göre

etiketlendirilmiştir (Şekil 5.2.). İç içe geçmiş yaş grupları kullanıldığından, sınır değeri dışındaki tüm resimler iki adet etikete sahip olacaktır. Etiketleme işleminden sonra, her bir sınıflandırıcı üzerinde “Bir-Kişiyi-Dışarıda-Bırak (Leave-One-Person-Out)” yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Kullanılan yöntemde, her bir tekrarlama, veri setinde bulunan bir bireye ait tüm resimler test için kullanılırken, geri kalan tüm resimler eğitim işlemi için kullanılmaktadır. Başarımın ölçülmesi amacıyla daha önce yaş tespit çalışmalarında da kullanılan “Ortalama Tam Hata (Mean Absolute Error)” (OTH) metriği kullanılmıştır. Ortalama Tam Hata, gerçek yaş değerleri ile tahmin edilen yaş değerleri arasındaki farkın ortalaması olarak tanımlanmıştır [Fu et. al., 2010]. Çizelge 6.2.’de yüz resmini temsil edici farklı öznelik vektörleri kullanan 8 sınıflandırıcı için OTH değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. FG-NET veri seti için yaş tespitinin Ortalama Tam Hata Değerleri

<i>Sınıflandırıcı</i>	<i>OTH</i>
Sınıflandırıcı 1 (Çapraz oran içermeyen geometrik öznelikler)	7,86
Sınıflandırıcı 2 (Geometrik öznelikler)	6,68
Sınıflandırıcı 3 (Gabor öznelikler)	10,24
Sınıflandırıcı 4 (Geometrik+Gabor öznelikler)	9,35
Sınıflandırıcı 5 (YİÖ öznelikleri)	8,94
Sınıflandırıcı 6 (Geometrik+YİÖ öznelikleri)	8,18
Sınıflandırıcı 7 (YGiÖ öznelikleri)	9,55
Sınıflandırıcı 8 (Geometrik+YGiÖ öznelikleri)	5,05

Çizelge 6.2.’de görüldüğü gibi, dokusal özneliklerin, geometrik özneliklerle birlikte kullanılması sınıflandırıcıların performansını arttırmaktadır. Geometrik ve YGiÖ özneliklerini birlikte kullanan Sınıflandırıcı 8, 5.05 OTH hata değeri ile yaş tespit işleminde en yüksek performansı göstermiştir.

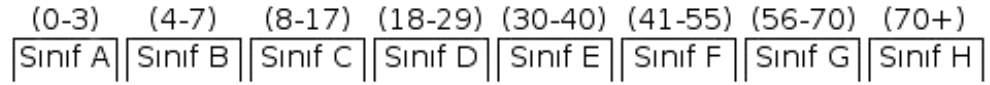
Çizelge 6.3. FG-NET veri seti için yaş tespitinin onlu yıl aralıkları için Ortalama Tam Hata Değerleri

<i>Yaş Aralıkları</i>	<i>Öznitelik Vektörü</i>						
	Geometrik	YİÖ	Gabor	YGIÖ	Geometrik + YİÖ	Geometrik + Gabor	Geometrik + YGIÖ
(0-10)	4,35	6,8	8,62	8,24	5,46	6,17	3,34
(11-20)	4,72	5,32	7,53	7,4	6,13	7,95	3,28
(21-30)	8,87	9,71	9,31	6,13	11,87	13,37	7,17
(31-40)	13,18	18,48	20,21	19,45	12,71	13,46	10,25
(41-50)	16,08	25,38	22,76	22,51	18,91	20,97	13,4
(51-60)	24,83	38,7	30,45	27,82	28,58	26,13	14,57
(61-70)	31,85	37,6	36,9	45,23	38,52	34,9	24,81
OTH	6,68	8,94	10,24	9,55	8,18	9,35	5,05

Daha önce belirtildiği gibi FG-NET veri setinde bulunan resimlerin ait olduğu bireyler yaş değerlerine göre düzenli bir dağılım göstermemektedir (Bkz. Çizelge 6.1.). Yöntemin daha detaylı analizi için her on yıl için ayrı ayrı Ortalama Tam Hata değeri hesaplanmış ve Çizelge 6.3.'de belirtilmiştir. Belirtilen hesaplama metriğinde, (0-10), (11-20), (21-30), (31-40), (41-50), (51-60), (61-70) yaş aralıklarında bulunan bireylere ait OTH değerleri ayrı ayrı toplanmış, sonrasında gruptaki birey sayısına bölünerek ortalama değeri hesaplanmıştır. Tüm öznitelik vektörleri için OTH değerinin ilk iki onlu yaşlarda düştüğü, daha sonrakiler için artış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni doğru ve etkili bir sınıflandırma modeli oluşturmak için, FG-NET veri setinde yetişkin ve yaşlı bireylere ait yeterli resim verisinin bulunmaması olabilir.

Farklı yaş gruplarının sınır bölgelerinde bulunup, benzer özellikler gösteren örnekler hataya sebep olmaktadır. Bu hataların giderilmesi amacıyla iç içe geçmiş

yaş grup değerleri oluşturulmuştur. İç içe geçmiş yaş gruplarının, ayırık olanlara nazaran daha yüksek performans sergilediğinin gösterilmesi için, ayırık yaş grupları oluşturulmuştur (Şekil 6.3.). Bu şekilde veri setindeki her bir resmin tek bir etiketi olacaktır. Yöntem ayırık yaş grupları kullanılarak test edilmiştir. Her on yıl için ayrı ayrı Ortalama Tam Hata Değeri hesaplanmış ve sonuç değerleri Çizelge 6.4.'de belirtilmiştir. Tüm öznitelik vektörleri için yapılan karşılaştırmalı sonuçlar, iç içe geçmiş yaş gruplarının ayırık olanlara göre daha az hata ile çalıştığını göstermektedir.



Şekil 6.3. MORPH veriseti için ayırık yaş grup değeri

Çizelge 6.4. FG-NET veri seti için ayırık yaş grup değerleri kullanılarak yaş tespitinin onlu yıl aralıkları için Ortalama Tam Hata değeri

<i>Yaş Aralıkları</i>	<i>Öznitelik Vektörü</i>						
	Geometrik	YİÖ	Gabor	YGİÖ	Geometrik + YİÖ	Geometrik + Gabor	Geometrik + YGİÖ
(0-10)	5,2	9,45	9,37	10,39	5,22	5,8	5,16
(11-20)	6,49	6,39	7,37	6,7	6,02	6,48	6,1
(21-30)	9,12	10,32	10,1	9,77	7,99	8,66	7,67
(31-40)	14,23	20,02	19,2	17,51	15,28	17,45	16,75
(41-50)	18,75	24,11	28,67	23,01	19,8	22,07	16,3
(51-60)	27,55	38,3	40,18	34,24	24,35	32,39	30,99
(61-70)	27,71	32,79	38,63	46,48	30,73	29,38	34,1
OTH	7,75	10,42	10,85	10,65	7,54	8,35	7,58

MORPH veri seti üzerinde yapılan deneyde öncelikle, Şekil 5.3.'de gösterilen yaş grup modeli kullanılarak etiketlendirme yapılmıştır. Veri setinin büyüklüğü nedeniyle çalışmada, 16-65 aralığındaki her bir yaş değeri için rastgele seçilmiş 20 farklı bireye ait 20 fotoğraftan oluşan toplam 1000 resim kullanılmıştır. Sonrasında her bir sınıflandırıcı üzerinde “Birini-Dışarıda-Bırak (Leave-One-Out)” metodu kullanılarak test işlemi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.5.'de yüz resmini temsil edici farklı öznelik vektörleri kullanan 8 sınıflandırıcı için OTH değerleri gösterilmiştir. Çizelge 6.5.'de görüldüğü gibi en düşük hata oranı Sınıflandırıcı 8 ile elde edilmiştir. Yöntemin daha detaylı analizi için her on yıl için ayrı ayrı Ortalama Tam Hata değeri hesaplanmış ve Çizelge 6.6.'da belirtilmiştir. FG-NET veri seti üzerinde yapılan deneylerde elde edilen hata değerleri ilk iki onlu yaşlarda düşük, daha sonrakiler için daha yüksektir. MORPH veri seti üzerinde yapılan deneylerde elde edilen hata değerleri ise her onlu yaş grubu için benzer değerler almaktadır.

Çizelge 6.5. MORPH veriseti için yaş tespitinin Ortalama Tam Hata Değerleri

<i>Sınıflandırıcı</i>	<i>OTH</i>
Sınıflandırıcı 2 (Geometrik öznelikler)	15,15
Sınıflandırıcı 3 (Gabor öznelikler)	9,73
Sınıflandırıcı 4 (Geometrik+Gabor öznelikler)	8,11
Sınıflandırıcı 5 (YİÖ öznelikleri)	12,33
Sınıflandırıcı 6 (Geometrik+YİÖ öznelikleri)	10,93
Sınıflandırıcı 7 (YGIÖ öznelikleri)	8,58
Sınıflandırıcı 8 (Geometrik+YGIÖ öznelikleri)	6,28

Çizelge 6.6. MORPH veriseti için yaş tespitinin onlu yıl aralıkları için Ortalama Tam Hata Değerleri

<i>Yaş Aralıkları</i>	<i>Öznitelik Vektörü</i>						
	Geometrik	YİÖ	Gabor	YGiÖ	Geometrik + YİÖ	Geometrik + Gabor	Geometrik + YGiÖ
(10-20)	21,37	16,66	13,96	9,29	13,8	11,62	9,13
(21-30)	14,65	13,76	9,19	8,33	11,69	8,04	6,5
(31-40)	11,42	8,2	9,27	7,36	8,02	7,57	5,34
(41-50)	12,49	12,03	10,7	7,97	11,11	8,38	7,06
(51-60)	16,26	12,31	7,15	9,62	10,77	6,44	5,23
(61-70)	20,5	14,13	10,78	10,03	12,32	8,57	5,43
OTH	15,15	12,33	9,73	8,58	10,93	8,11	6,28

Bu tezde sunulan yöntem ayrıca literatürde yer alan diğer yaş tespit çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda da “Bir-Kişiyi-Dışarıda-Bırak (Leave-One-Person-Out)” test yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca test ortamının ve kullanılan veri setinin (FG-NET) ayrı olması da karşılaştırmayı mümkün kılmıştır. Çizelge 6.7.’de görüldüğü üzere sunulan yöntem literatürde yer alan diğer yöntemler ile karşılaştırılabilir sonuçlar vermektedir.

Çizelge 6.7. FG-NET veri seti üzerinde Farklı Metotlar için Ortalama Tam Hata Değerleri

<i>Yöntem</i>	<i>OTH</i>
(Geng et. al., 2007)	6,77
(Geng et. al., 2007)	8,06
(Guo et. al., 2008)	5,07
(Yan et. al., 2008)	4,95
(Guo et. al., 2009)	4,77
Önerilen Yöntem	5,05

Yaş tespiti amacıyla gerçekleştirilmiş tabloda belirtilen çalışmalardan bazıları sadece sınıflandırma yöntemini, bazıları ise sadece regresyon yöntemini kullanmışlardır. Genel bir yaş tespit modeli oluşturmak yerine kadın ve erkek bireyler için farklı modeller kullanarak yaş tespiti gerçekleştiren çalışmalar bulunmaktadır. Daha önceki yıllarda gerçekleştirilmiş ve OTH değeri önerilen yöntemden daha düşük olan çalışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmalar detaylı bir hata analizi belirtmediklerinden kesin karşılaştırma yapmak doğru olmamaktadır.

Farklı verisetleri üzerinde, farklı yaş grupları için, farklı öznitelik değerleri ile yapılan sonuçların Ortalama Tam Hata değerleri farklılıklar göstermektedir. Ancak önerilen sistem için gerçekleştirilen tüm deney sonuçları analiz edildiğinde yöntemin ortalama 5 yaş hata ile çalıştığı söylenebilir.

Farklı öznitelik değerlerinin yaş tespiti üzerindeki etkisi incelenirse:Yüzdeki şekilsel değişimleri simüle eden geometrik öznitelik değerlerin kişinin erken yaşlarında daha etkili olduğu, daha çok ayırt edicilik sağladığı görülmüştür. Kişinin yüzündeki kırışıklık, renk değişimi gibi dokusal değişimleri simüle eden dokusal değişimlerin ise, kişinin ileriki yaşlarında etkili olduğu tespit edilmiştir. Genel bir model oluşturmak için geometrik ve dokusal değişimlerin birlikte kullanılması ile sistemin daha düşük hata değeri ile çalıştığı görülmüştür.

Eğitim aşamasında verisetinde bulunan örneklerin etiketlenmesi amacıyla kullanılan iç içe geçmiş yaş gruplarının sistemin performansını iyileştirdiği görülmüştür. Aynı veri seti üzerinde kullanılan ayırık ve iç içe geçmiş yaş gruplarının performansları test edildiğinde iç içe geçmiş yaş gruplarının sağladığı Ortalama Tam Hatanın tüm yaş grubundan bireyler için daha düşük olduğu görülmüştür.

Farklı verisetleri için elde edilen OTH değerinin farklı olduğu görülmüştür. Bu nedenle eğitim aşamasında ve test aşamasında kullanılan verinin büyüklüğü, verisetinde bulunan bireylerin yaş değerleri, imge kalitesi gibi etkenlerin yaş tespitinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında insan yüzünden yaş bilgisinin tespit edilmesi için bir sistem önerilmiştir. Kişinin çocukluk döneminden yetişkinlik dönemine geçişte yüzünde meydana gelen şekilsel değişimlerin temsili için yüzdeki önemli noktalar arasındaki geometrik oran değerleri ve yetişkinlik döneminden yaşlılık dönemine geçişte yüzünde meydana gelen dokusal değişimlerin temsili için ise yüz resminin çeşitli filtrelerden geçirilmesi sonucu elde edilen piksek değerleri öznitelik vektörleri olarak kullanılmıştır. Genel bir yaş sınıflandırıcı oluşturmak için insan yüzünden elde edilen öznitelik vektörleri sınıflandırıcıda birlikte kullanılmıştır. Sınıflandırıcı, test edilen resmin her bir yaş grubuna ait olma olasılığını hesaplamaktadır. Sınıflandırıcı olasılık değerlerinin interpolasyonu en son tahmini yaş değerini üretmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda her bir dokusal öznitelik değerlerinin geometrik oranlar ile birlikte kullanılmasının başarı oranlarını arttırdığı görülmüştür. Karşılaştırmalı deney sonuçları, Yerel Gabor İkili Örüntü Operatöründen geçirilmesi sonucu elde edilen piksel değerlerinin geometrik oran değerleri ile birlikte kullanılması sonucunda en düşük Ortalama Hata Değeri nin elde edildiğini göstermektedir (FG-NET veri seti için 5,05 ve MORPH veri seti için 6,28).

Bu tez çalışmasında ele alınan yaş tespiti problemi oldukça popüler ve gerçek dünyada oldukça fazla uygulama alanı olan bir problemdir. Bu nedenle oluşacak Ortalama Tam Hatanın en aza indirilmesi üzerinde çalışılması gerekmektedir. Testlerin daha büyük ve daha çok farklı ırktan, cinsiyetten ve yaş değeri açısından düzenli dağılım gösteren bir veriseti üzerinde yapılması da oldukça önemlidir. Gelecek çalışmada üzerinde durulması planlanan diğer bir konu ise çalışmanın önemli noktalarından birini oluşturan iç içe geçmiş yaş grup değerleridir. Çalışmada iç içe geçmiş yaş grup değerleri sezgisel bir şekilde oluşturulmuştur. Gelecek çalışmada bu grup değerlerinin kullanılan verisetinin karakteristik özelliklerine bağlı olarak otomatik bir şekilde oluşturulması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Ahonen T., Hadid A., Pietikainen M., "Face recognition with local binary patterns", European Conference on Computer Vision, pp. 469-481, 2004.
2. Ahonen T., Hadid A., Pietikainen M., "Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition". IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 12, pp. 2037-2041, 2006.
3. Alberta A. M., Ricanek K., Patterson E., "A Review of the Literature on the Aging Adult Skull and Face: Implications for Forensic Science Research and Applications". Forensic Science Int'l, vol. 172, no. 1, pp. 1-9, 2007.
4. Bhuiyan A. A., Liu C. H., "On face recognition using gabor filters". Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007.
5. Burt D.M. and Perrett D.I., "Perception of age in adult caucasian male faces: Computer graphic manipulation of shape and colour information". Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 259, pp.137-143, 1995.
6. Chellappa R., Ramanathan N., "Face Recognition across Age Progression". Proc. Face Recognition Grand Challenge and ICE Workshop, 2006.
7. Cootes T., Edward G., Taylor C., "Active Appearance Models". IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 23, no. 6, pp. 681-685, 2001.

8. Cootes T., Edward G., Taylor C., "Active Appearance Models". Proc. European Conf. Computer Vision, vol. 2, pp. 484-498, 1998.
9. Ekenel H., Fischer M., Tekeli E., Stiefelhagen R., Ercil A., "Local binary pattern domain local appearance face recognition". In Signal Processing, Communication and Applications Conference, SIU 2008, pp. 1-4, 2008.
10. Forsyth D. A., Ponce J., "Computer Vision: A Modern Approach", Prentice Hall, 2003.
11. Freund Y., Schapire R. E., "Experiments with a New Boosting Algorithm". In Proceedings of the Thirteenth International Conference on Machine Learning, pp. 148-156, 1996.
12. Fu Y., Xu Y., Huang T. S., "Estimating Human Ages by Manifold Analysis of Face Pictures and Regression on Aging Features". Proc. IEEE Conf. Multimedia and Expo, pp. 1383-1386, 2007.
13. Fu Y., Huang T. S., "Human Age Estimation with Regression on Discriminative Aging Manifold". IEEE Trans. Multimediam, vol. 10, no. 4, pp. 578-584, 2008.
14. Fu Y., Guo G., Huang T. S., "Age Synthesis and Estimation via Faces: A Survey". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 32, no. 11, pp. 1955-1976, November 2010.
15. Gao F. and Ai H., "Face age classification on consumer images with gabor feature and fuzzy lda method". In Proceedings of the Third International Conference on Advances in Biometrics, ICB'09. pp. 132-141. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 2009.

16. Geng X., Zhou Z.-H., Smith-Miles K., “Automatic Age Estimation Based on Facial Aging Patterns”. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 29, no. 12, pp. 2234-2240, December 2007.
17. Gonzalez-Ulloa M., Flores E., “Sensibility of the Face: Basic Study to Understand Its Causes and Effects”. *Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 36, pp. 239-246, 1965.
18. Guo G., Fu Y., Dyer C., Huang T., “Image-based human age estimation by manifold learning and locally adjusted robust regression”. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 17(7): 1178-1188, 2008.
19. Gu G., Fu Y., Huang T. S., Dyer C., “Locally Adjusted Robust Regression for Human Age Estimation”. *Proc. IEEE Workshop Applications of Computer Vision*, 2008.
20. Günay A., Nabyev V., “Automatic Age Classification with LBP”. *Proc. Int’l Synmp. Computer and Information Sciences*, 2008.
21. Heusch G., Rodriguez Y., Marcel S., “Local Binary Patterns as an Image Processing for Face Authentication”. *IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 9-14, 2006.
22. Jemaa Y. B., Khanfir S., “Automatic local Gabor features extraction for face recognition”. *International Journal of Computer Science and Information Security, IJCSIS*. Vol. 3, no. 1, 2009.
23. Kanno T., Akiba M., Teramachi Y., Nagahashi H., Agui T., “Classification of Age Group Based on Facial Images of Young Males by Using Neural Networks”. *IEICE Trans. Information and Systems*, vol. E84-D, no. 8, pp.1094-1101, 2001.

24. Kass M., Witkin A., Terzopoulos D., "Snakes: Active contour models". In IJCV, pp. 321-331, 1988.
25. Kilinc M., Akgul Y. S. "Human Age Estimation via Geometric and Textural Features", ". In Proc. International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), vol. 1, pp. 531-538, 2012.
26. Kwon Y.H. and Lobo N. D. V., "Age classification from facial images". In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.762-767, 1999.
27. Lanitis A., Taylor C., Cootes T., "Toward Automatic Simulation of Aging Effects on Face Images". IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 4, pp. 442-455, April 2002.
28. Lanitis A., Draganova C., Christodoulou C., "Comparing Different Classifiers for Automatic Age Estimation". IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics Part B. Vol. 34, no. 1, pp. 621-628, February 2004.
29. Ling H., Soatto S., Ramanathan N., Jacobs D., "A Study of Face Recognition as People Age". Proc. IEEE Conf. Computer Vision, 2007.
30. Liu C., Wenchsler H., "Gabor Feature Based Classification Using the Enhanced Fisher Linear Discriminant Model for Face Recognition". IEEE Trans. Image Processing, vol. 11, no. 4, pp. 467-476, 2002.
31. Marcel S., Rodriguez Y., Heusch G., "On the recent use of local binary patterns for face authentication". International Journal on Image and Video Processing Special Issue on Facial Image Processing. IDIAP-RR 06-34, 2007.
32. MORPH Face Database, <http://faceaginggroup.com/>, 2010.

33. Mukaida S., Ando H., “Extraction and Manipulation of Wrinkles and Spots for Facial Image Synthesis”. Proc. IEEE Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 749-754, 2004.
34. Ramanathan N. and Chellappa R., “Modeling age progression in young faces”. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2006. IEEE Computer Society Conference on. Vol. 1, pp. 387-394, 2006.
35. Ramanathan N., Chellappa R., “Recognizing Faces Across Age Progression”. Face Biometrics for Personal Identification, Hammoud R., Abidi M., Abidi B., eds., pp. 27-42, Springer-Verlag, 2007.
36. Ramanathan N. and Chellappa R., “Modeling shape and textural variations in aging faces”. In Automatic Face Gesture Recognition, 2008, FG'08. 8th IEEE International Conference on. pp. 1-8, 2008.
37. Ricanek K., Tesafaye T., “MORPH: A Longitudinal Image Database of Normal Adult Age-Progression”, Proc. IEEE Int’l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 341-345, 2006.
38. Stone A., “The Aging Process of the Face & Techniques of Rejuvenation”.
http://www.aaronstonemd.com/Facial_Aging_Rejuvenation.shtm, 2010.
39. Tan X., Triggs B., “Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions”. In Zhou S.K., et al. (eds) AMFG 2007. LNCS, vol. 4778, pp. 168 – 182. Springer, Heidelberg, 2007.
40. Todd J. T., Mark L.S., Shaw R.E., Pittenger J. B., “The perception of human growth”. Scientific American, 242(2): 132-144, 1980.

41. The FG-NET Aging Database, <http://www.fgnet.rsunit.com/>, <http://www-prima.inrialpes.fr/FGnet/>, 2010.
42. Ueki K., Hayashida T., Kobayashi T., “Subspace-Based Age Group Classification Using Facial Images under Various Lighting Conditions”. Proc. IEEE Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 43-48, 2006.
43. Viola P., Jones M., “Robust real time object detection”. In IEEE ICCV Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision, 2001.
44. Wang J., Shang Y., Su G, Lin X., “Age Simulation for Face Recognition”. Proc. Int’l Conf. Pattern Recognition, pp. 913-916, 2006.
45. Yang Z. G, Ai H. Z., “Demographic Classification with Local Binary Patterns”. Pages 464- 473.
46. Zhang W., Shan S., Gao W., Chen X., Zhang H., “Local gabor binary pattern histogram sequence (lgbphs): a novel non-statistical model for face representation and recognition”. In Computer Vision, 2005. ICCV 2005. Tenth IEEE International Conference on, vol. 1, pp. 786-791, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini Pendik Orhan Sinan İlk Öğretim Okulu'nda, Lise öğrenimini ise Pendik Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başladı. 2009 yılında TÜBİTAK – Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü'nde Araştırmacı olarak başladığı görevini halen sürdürmektedir.

EK 1

TERİMLER

İngilizce – Türkçe

A	
access	erişim
age	yaş
age estimation	yaş tahmini
age classification	Yaş sınıflandırma
aging	yaşlanma
aging function	Yaşlanma fonksiyonu
Aging Pattern Subspace	Yaşlanma Örüntüsü Altuzayı
analysis	analiz
active	Hareketli, aktif
Active Appearance Model	Harektli Görüntü Modeli
appearance	görüntü, görünüş
anthropometry	antropometri
adult	yetişkin
Artificial Neural Networks	Yapay Sinir Ağları
actual	gerçek
B	
binary	ikili
C	
classification	sınıflandırma
Classification model	Sınıflandırma modeli
classifier	sınıflandırıcı
cross ratio	çapraz oran
component	bileşen
Computer vision	Bilgisayarla görme
Contrast equalization	Kontrast eşitleme
colored	renkli

D descriptor discriminant Difference of gaussian database decimal	tanımlayıcı, betimleyici, temsil edici ayrışım Gauss Diferansiyonu veritabanı, veriseti onlu
E euclid distance estimated	öklid uzaklığı tahmini
F feature frontal Feature extraction face facial emotions formative years filter Filter bank facial points frequency Flow chart	öznelik önsel Öznelik çıkarımı yüz yüzsüz ifade gençlik dönemleri filtre Filtre bankası yüzdeki önemli noktalar frekans Akış çizgesi
G gradient gamma correction gaussian geometric grayscale	gradyan gama düzeltme gauss geometrik siyah-beyaz
H head pose	kafa pozisyonu
I image intensity illumination	imge, resim yoğunluk aydınlanma

improved image process implementation	değerlenmiş İmge işleme, Görüntü işleme gerçekleme, gerçekleştirme
J	
K kırııklık	wrinkle
L legal linear Linear Discriminant Analysis local Local Binary Pattern Local Gabor Binary Pattern label Leave-One-Out Leave-One-Person-Out	yasal lineer, doğrusal Doğrusal Ayrım Analizi yerel Yerel İkili Örüntü Yerel Gabor İkili Örüntü etiket Birini Dışarıda Bırak Bir Kişiy Dışarıda Bırak
M marketing strategy multi mean Mean Age Error median magnitude masking	pazarlama stratejisi çoklu ortalama Ortalama Yaş Hatası orta büyüklük maskeleme
N non-uniform non-linear non-parametrik neighborhood normalization non-overlapped	düzensiz dağılım göstermeyen doğrusal olmayan parametrik olmayan komşuluk normalizasyon ayrık
O overlapped	iç içe geçmiş

orientation	yönelim
P	
pattern	örüntü
pixel	piksel
principal	öncelikli, temel
Principal Component Analysis	Öncelikli Bileşen Analizi
preprocess	ön işlem
probability	olasılık
Q	
R	
robust	dayanıklı
regression	regresyon, eğri uydurma
raw	ham
S	
simulation	simulasyon
subspace	altuzay, altküme
space	uzay
static	statik, sabit
scale	ölçek, büyüklük
snake	yılan
shortest distance	En yakın mesafe
statistical	istatistiksel
Support Vector Machine	Destek Vektör Makinesi
Support Vector Regression	Destek Vektör Regresyonu
T	
textural	dokusal
threshold	eşik
training	eğitim
transformation	transformasyon, dönüşüm
U	
uniform	düzenli, düzgün dağılım
V	
variation	değişim, değişiklik

vector vertical	vektör dikey
W Wrinkle map	Kırışıklık haritası
X	
Y	
Z	