

**ADLI BİLİMLERDE GEOMETRİK MORFOMETİK
YÖNTEMLERİN UYGULAMALARI**

**APPLICATIONS OF GEOMETRIC MORPHOMETRIC
METHODS IN FORENSIC SCIENCES**

ÖZGÜL YAHYAOĞLU

PROF. DR. A. MURAT AYTEKİN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

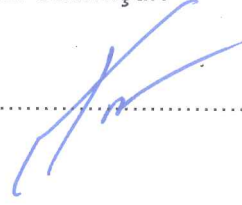
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2015

ÖZGÜL YAHYAOĞLU' nun hazırladığı **“Adli Bilimlerde Geometrik Morfometrik Yöntemlerin Uygulamaları”** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **BİYOLOJİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

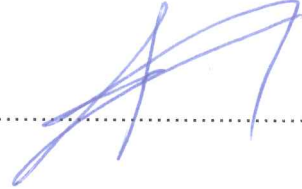
Prof. Dr. Nevin KESKİN

Başkan



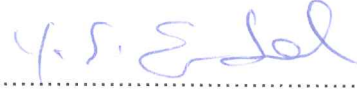
Prof. Dr. Ahmet Murat AYTEKİN

Danışman



Prof. Dr. Yılmaz Selim ERDAL

Üye



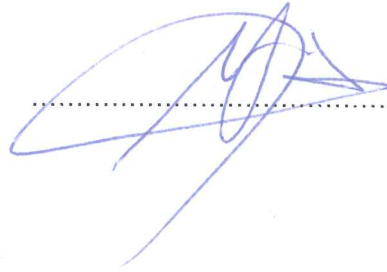
Doç. Dr. İlkan TATAR

Üye



Yrd. Doç. Dr. Fatih DİKMEN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma Sevin DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Küçük kara balıklara ...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel veya yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

19 /06/ 2015


Özgül YAHYAOĞLU

ÖZET

ADLİ BİLİMLERDE GEOMETRİK MORFOMETİK YÖNTEMLERİN UYGULAMALARI

Özgül YAHYAOĞLU

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Murat AYTEKİN

İkinci Tez Danışmanı: Doç. Dr. G. Alev ÖZKÖK

Haziran 2015, 82 sayfa

Canlıların sahip olduğu morfolojik özelliklerin incelenmesi biyolojik bilimlerde önemli bir yer tutmaktadır. Bitki ve hayvan sistematğinde kullanımının yanı sıra insanlarda parmak izi, yüz, iris ve kulak gibi belirli fiziksel özellikler kişiye özgü yapılara sahip olup kimlik tespiti amacıyla kullanılabilir. Adli bilimlerde kimlik tespiti sağlanması amacıyla yapılan çalışmaların tarihi 19. yüzyıl sonlarında Alphonse Bertillon tarafından yapılan antropometrik ölçümlere dayandırılmaktadır.

İnsan dış kulağı, fiziksel biyometrik bir karakter olarak adli bilimlerde kimlik tespiti ve doğrulama amacıyla kullanılmaktadır. İnsan dış kulağının bu özelliği dikkate alınarak tez kapsamında, Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı ile gönüllü katılımcılardan elde edilen 3B (3 boyutlu) dış kulak görüntüleri landmark tabanlı geometrik morfometrik yöntemlerle incelenmiştir. Kulak, kişiye özgü karakteristik yapısı, yüzde olduğunun aksine mimiklerden etkilenmemesi gibi özellikleri ile pasif biyometrik sistemlerde tercih edilen bir karakterdir. Biyometrik önemi göz önüne alınarak incelenen kulak morfolojisinde

bireyler arasında görülen varyasyonun anlaşılabilmesi için Temel Bileşen Analizi (PCA) uygulanmıştır. Bu sayede, kimlik doğrulama ya da tespiti amacıyla yapılacak görüntü analizlerinde dikkate alınabilecek varyasyonu en çok ifade eden belirli özelliklerin başka bir deyişle şekil değişkenlerinin ortaya konması hedeflenmiştir. PCA sonuçları ilk üç temel bileşenin birlikte toplam varyasyonun %89'unu açıkladığını ortaya koymuştur. Bu analiz ile varyasyon için en açıklayıcı şekil değişkenleri ortaya konarak elde edilen sonuçların kimlik tespiti amacıyla yapılacak görüntü analizlerinde dikkate alınabileceği ortaya konmuştur.

Adli olaylarda kimlik tespiti amacıyla sıklıkla fotoğraf ya da video gibi 2 boyutlu (2B) görüntülerden yararlanılmaktadır. Ancak bu noktada, 3 boyutlu (3B) anatomik bir yapı olan insan dış kulağının biyometrik karakteristiklerinin 2B görüntü üzerinde ne kadar ifade olduğu, 2B görüntünün 3B yapının temsili olup olamadığı sorusu ortaya çıkmaktadır. Tez çalışmasında 2B ve 3B formların birbirlerinden farklılıkları Öklid Mesafe Matrisi Analizi (EDMA) kullanılarak araştırılmıştır. Landmarklar arası mesafelerden yararlanarak tanımlanan 2B ve 3B ortalama formlar arasındaki fark, conchal oyukta görülmüştür. Bunun haricinde ortalama formlar birbirine yakın bulunmuştur. Bu sonuçlar kimlik tespiti amacıyla yapılan bir çalışmada görüntü edinim sistemlerinin önemi çerçevesinde tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dış kulak, Geometrik morfometri, PCA, EDM, Yapılandırılmış ışık tarayıcı

ABSTRACT

APPLICATIONS OF GEOMETRIC MORPHOMETRIC METHODS IN FORENSIC SCIENCES

Özgül YAHYAOĞLU

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. A. Murat AYTEKİN

Co-supervisor: Doç. Dr. G. Alev ÖZKÖK

Haziran 2015, 82 pages

Analysis of morphological traits of living organisms has always created a great interest in biological sciences. In addition to the use of physical traits in systematics studies in botany or zoology, physical traits such as finger print, face, iris and ear are used to distinguish individuals in personal identification. Its applications in the field of forensics can be traced back to the anthropometric studies of Alphonse Bertillon at end of 19th century.

The human external ear is a physical biometric trait which is used in forensic sciences for personal identification and verification. In this thesis study, human external ear morphology is investigated by landmark based geometric morphometrics. For this purpose, 3D ear images are obtained from voluntary participants via Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany) structured light surface scanner. Compared to face, ear is not affected by mimics and its unique morphology makes it advantageous for passive biometric systems. Considering biometric importance of the ear Principle Component Analysis (PCA) is conducted to detect the overall shape

variation. According to PCA results, first three principle components are related with %89 of overall variation ,cumulatively. With this analysis, the most exploratory shape variables are unveiled and these results could be useful in image analysis aiming personal identification.

2 dimensional (2D) images such as photographs or videos are often being used for personal identification in forensic cases. Herein, it appears as a problem whether 2D representation of 3 dimensional (3D) human external ear is adequate to extract biometric features or not. In this study, Euclidean Distance Matrix Analysis (EDMA) is used to reveal form differences between 2D and 3D representations of auricle. Accordingly, 2D and 3D mean forms are defined by form matrices which includes interlandmark distances and as a results the difference between two forms appear at the conchal bowl. Apart from this, two mean forms are found to be similar to each other. These results are discussed within the context of image acquisition systems for identification purpose.

Keywords: Auricle, Geometrik morphometrics, PCA, EDMA, Structured light scanner

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında yol gösterici olan, bu çalışmanın ortaya konmasına özveriyle emek veren danışmanım Prof. Dr. Ahmet Murat Aytekin'e, sunduğu teknik imkanlar için ikinci danışmanım Doç. Dr. Alev Özkök'e teşekkür ederim.

Her zaman bilgi ve tecrübelerini cömertçe paylaşan Araş. Gör. Çiğdem Özenirler'e, Araş. Gör. Pınar Barkan'a, Yrd. Doç. Dr. Fatih Dikmen'e, Seçil Büyükkafadar'a ve Kürşat Koyuncu'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisansım boyunca birlikte çalıştığım, sohbetiyle, desteğiyle, dostluğuyla her zaman yanımda olan Burcu Daşer'e teşekkür ederim.

Dört bir yandan hayatı ören, umudu yeşerten, güç katan dostlarıma teşekkür ederim.

Her zaman var güçleriyle beni destekleyen, babam Mustafa Yahyaoğlu'na, annem Macide Yahyaoğlu'na ve kardeşim Duygu Pembe Öksüz'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİ	4
2.1. Adli bilimlerde fiziksel karakterlerden yararlanılarak kimlik tespiti ve doğrulanması	4
2.1.1. Biyometrik kimlik tanıma ve doğrulama sistemlerinin işleyişi.....	5
2.1.2. Biyometrik karakter özellikleri	6
2.1.3. Kulak biyometrisi	7
2.2. Dış kulak (<i>Auris externa</i>) embriyolojisi ve anatomisi	10
2.3. Geometrik Morfometri	17
2.3.1. Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis, PCA)	20
2.3.2. Öklid Uzaklık Matrisi Analizi (Euclidean Distance Matrix Analysis, EDMA)	23
2.4. Veri görselleştirme	24
3.MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1.Görüntülerin elde edilmesi	26
3.1.1. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany).....	27
3.1.2. Kalibrasyon.....	29
3.1.3.Tarama aşaması.....	30
2.1.4. Görüntülerin normalizasyonu (post-processing)	31
3.2.Geometrik morfometrik analiz	32
3.2.1.Landmarkların yerleştirilmesi	32
3.2.2.Dış kulak hattının belirlenmesi.....	34
3.2.3.Dış kulak hattı boyunca semilandmarkların yerleştirilmesi	35

3.3.Temel Bileşen Analizi (PCA) ve Warped Görüntüler	37
3.3.1. EVAN Toolbox (ET)	38
3.4.Öklid Uzaklık Matrisi Analizi (Euclidean Distance Matrix Analysis,EDMA)	40
4.SONUÇLAR.....	42
4.1. BULGULAR.....	42
4.1.1. Temel Bileşen Analizi (PCA) Sonuçları	42
4.1.2.Öklid Mesafe Matrisi Analizi (EDMA) Sonuçları.....	47
4.2.TARTIŞMA.....	50
4.3. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	56
Ek 1.İzin Formu	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Biyometrik sistemlerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kurulan çeşitli veri bankaları 9

Çizelge 2.2. Örnek kovaryans matrisi..... 22

Çizelge 3.1. Form dosyası (.frm) ve Tableau dosyası (.ltb) içerisinde yer alan dosyalar 40

Çizelge 4.1. PCA sonucunda elde edilen özdeğerler, varyans (%) ve kümülatif varyans (%) tablosu 43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Iannarelli'nin sistemine göre antropometrik ölçümlerin gösterimi]	7
Şekil 2.2. Kulak tanıma sisteminin aşamaları.....	8
Şekil 2.3. Kulağın embriyolojik gelişimi	11
Şekil 2.4. İnsan dış kulağı anatomisi.....	13
Şekil 2.5. Anotia ve micrtio durumu oluşumu	14
Şekil 2.6. Auriculanın biçiminde meydana gelebilecek çeşitli bozukluklar.....	15
Şekil 2.7. 3 tip landmarkın gösterimi	18
Şekil 2.8. Procrustes süperimpozisyonu şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.9. Örnek bir datanın dağılımı ve temel bileşenlerin gösterimi.....	21
Şekil 2.10. Veri görselleştirme süreci	24
Şekil 3. 1. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı.....	26
Şekil 3. 2. Şerit projeksiyon sisteminin (fringe projection system) kurulması	27
Şekil 3.3. Tarayıcının görüş alanı ve derinliğe (z koordinata) bağlı olarak değişimi .	28
Şekil 3. 4. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany) Kalibrasyon paneli (Field of view), Açılı düzenleyici (angle master)	29
Şekil 3.5. Tarama sonucu elde edilen 3 tek taramanın (single scan) hizalanmış görüntüsü.....	30
Şekil 3.6. 'Merge' işleminden sonra normalizasyon aşaması için hazır görüntü.....	31
Şekil 3.7. Görüntü iyileştirme aşamasından sonra elde edilen görüntü.....	32
Şekil 3.8. Yeni açılan .vpn dosyasında Templand işlemi seçilmesi.....	33
Şekil 3. 9. Şekil. Landmarkların görüntü üzerinde gösterimi	34
Şekil 3.10. Görüntü (surface) üzerine ilişkili curve dosyası oluşturulması.....	35

Şekil 3.11. Referans (template) görüntüde yer alan semilandmarklar diğer örneklere aktararak ve konumlandırılması	36
Şekil 3.12. Görüntü üzerinde landmark, curve ve semilandmark gösterimi.....	37
Şekil 3. 13. Temel bileşen analizi, GPA ve warped görüntüler için Evan Toolbox v.1.63 programında oluşturulan .vpn dosyası.....	38
Şekil 3.14. 4 landmark ve 6 landmarklar arası mesafenin gösterimi	41
Şekil 4.1. Temel bileşen analizine dahil edilen örneklerin GPA sonucu	42
Şekil 4.2. 1. ve 2. temel bileşenlerin grafik gösterimi ve eksenlerle ilişkili warped görüntüler	44
Şekil 4.3. 1. ve 2. temel bileşenin grafik gösterimi	45
Şekil 4.4. 1. ve 3. temel bileşenin grafik gösterimi	46
Şekil 4.5. EDMA Bootstrap sonuçları grafik gösterimi.....	48
Şekil 4.6. Öklid Mesafe Matriksi Analizi (EDMA) sonucu elde edilen biçim fark grafiği	49

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler



Kadın



Erkek

Kısaltmalar

3B	3 boyutlu
2B	2 boyutlu
$d(l,m)$	l ve m noktaları arasındaki öklid mesafesi
EDMA	Öklid Mesafe Matrisi Analizi
ET	EVAN Toolbox
EVAN	European Virtual Anthropology Network
$F(X)_{lm}$	X bireyi form matrisi
$F(Y)_{lm}$	Y bireyi form matrisi
FDM	Biçim fark matrisi
Lm	Landmark
GPA	General Procrustes Analizi
PCA	Temel Bileşen Analizi
PC	Temel Bileşen
*.frm	Form dosya dormatı
*.ltb	Tablo dosya formatı
*.obj	3D model dosyası
*.stl	Stereolithography CAD modelleme dosya formatı
*.txt	Text dosyası
*.vpn	Virtual programming network

1.GİRİŞ

Doğa bilimlerinde biyolojik yapıların benzerlik ve farklılıklarının karşılaştırılması temel yaklaşımlardan birisini oluşturmaktadır. Biyolojik yapıların incelenmesi canlıların geçirdiği evrimsel gelişimsel süreçlerin, canlılar arasındaki filogenetik ilişkilerin ve bu yapıların biyomekanik fonksiyonlarının anlaşılmasında önemli bir yer tutmaktadır [1].

Tarihsel olarak biyolojik yapıların karşılaştırılmasının yapının üzerinden alınan doğrusal ve açısal ölçümlerden, bilgisayar destekli sistemler kullanılarak yapının tüm geometrisini incelemeye olanak sağlayan görselliği kuvvetli metotlara doğru evrildiğini görmekteyiz [2].

Geometrik morfometri, anatomik noktaların, genellikle, Kartezyen koordinatları ile formun geometrisini tanımlayarak analizine olanak sağlayan çok değişkenli istatistiki bir yöntemdir [2-5]. Çok sayıda şekil değişkenini bir arada incelemeye olanak sağlamasının yanı sıra analiz sonuçlarının grafiksel gösterimine de olanak sağlaması ile geometrik morfometri şekil ve biçim analizinde tercih edilen bir metottur.

Anatomik yapıların incelenmesi biyolojik bilimlerde olduğu gibi adli bilimlerde de önemli bir yer tutmaktadır [6-10]. Abdel Fatah ve ark. [10], kafa iskeletinden yaş tespiti yapmaya odaklandıkları çalışmalarında landmark tabanlı geometrik morfometrik yöntemlerden yararlanmışlardır.

Adli bilimlerde antropometrik ölçümlerden yararlanılması Fransız kriminolog Alphonse Bertillon'un 1800'lerin sonlarındaki çalışmaları ile başlamaktadır. Fotoğrafın icadıyla birlikte başlayan adli olaylarda şüpheli ya da suçluların fotoğraflarının arşivlenmesi Bertillon tarafından belirli bir dizi antropometrik ölçümün, ön ve yan profil fotoğraflarının kişiye ait kimlik ve kişisel bilgilerini içeren etiketlerle birlikte düzenlenmesi ile sistematik bir disiplin haline gelmiştir. Galton'un parmak izinin kişiye özgü olduğunu ortaya attığı çalışmalarıyla yakın zamanda Bertillon kulağın da benzer özellikte olduğunu, kişiye özgü bir biçimi olduğunu savunmuştur [11, 12].

Görüntü edinim ve bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler adli bilimlerde kimlik tespiti ve doğrulaması alanlarında da yeni sorular ve yaklaşımları gündeme getirmiştir. Harf ve/veya rakamlara dayalı sistemlerin yaygın kullanım alanı edindiği günümüzde yüz, parmak izi, iris gibi fiziksel karakter baz alınan biyometrik sistemler de giderek daha çok dikkat çekmektedir. Kulak görüntüsünün zaman zaman kamera görüntülerinden ve fotoğraflardan edinileceği ve yüzle karşılaştırıldığında mimik gibi çeşitli ifadelerden

etkilenmediği göz önüne alındığında önemli bir biyometrik karakter olduğu kabul edilmektedir [13].

Bertillon'un çalışmalarından yıllar sonra 1989 yılında Alfred V. Iannarelli tarafından öne sürülen ve 'Iannarelli's system' olarak adlandırılan kulak fotoğrafları üzerinden yapılan ölçümlere dayalı antropometrik metot kulak biyometriği alanındaki öncü çalışmalardandır [14].

Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak kulak biyometriği alanında yüksek kesinlikte sonuçlara ulaşılan çeşitli metotlar geliştirilmiştir. İlk olarak 1999 yılında Moreno ve ark. tarafından güvenlik uygulamalarında kullanılmak üzere otomatik kulak biyometrisi sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada, yaklaşık olarak %93'lük doğrulukta tanıma sonucuna ulaşılmıştır [15]. Islam ve Davies [16], 3B (3 boyutlu) otomatik kulak tanıma çalışmalarında UND (University of Notre Dame) veri bankasındaki kulak görüntülerinden yararlanarak %95.4 oranında kesinlikte tanıma sonucu elde etmişlerdir.

Son on yılda biyometrik araştırmalarda yeni olarak tek karakter (unimodal) yerine birden çok karaktere odaklanan ve çoklu algoritmaların kullanıldığı sistemler (multibiometrics) üzerinde durulmaktadır. Bu sistemler sayesinde görüntü üzerinde tespit edilmesinde sorunla karşılaşılan fiziksel yapıların oluşturduğu dezavantajın giderilmesi amaçlanmaktadır [17-20].

Dış kulağın adli vakalarda başvurulacak bir diğer özelliği ise kulak izidir. 3B yapıya sahip olan dış kulağın bırakacağı 2B (2 boyutlu) iz basınç, pozisyon ve salgı yapısıyla değişebileceği gibi dezavantajlarından dolayı tartışmalı bir konudur [21]. Bununla birlikte Junod ve ark [21] FearID veri bankasını kullanarak olay yerinden alınan kulak izi (earmark) ve bilgisayarda kimlikli olarak yer alan kulak izi görüntüsü (earprint) karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, % 88 oranındaki doğruluğa erişen ilk olarak otomatik kulak izi tanınması gerçekleştirilmiştir.

Kulak morfolojisi adli bilimlerde dikkate alınan sahip olduğu bireye özgü karakteristik özelliğinin yanı sıra yaş ve cinsiyete bağlı gelişimsel sürecini anlamaya yönelik cerrahi ve ergonomik tasarım alanlarında da pek çok çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmalarla doğuştan ya da sonradan gelişen malformasyonlara yapılacak cerrahi müdahalelerin zamanlamasının belirlenmesine ve işitme cihazlarının tasarlanmasında standartların oluşturulmasına katkı sağlamak amaçlanmıştır [22-30].

Tez çalışması iki noktadan hareketle oluşturulmuştur. Öncelikle, biyolojik bilimlerde anatomik yapıların karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılan çok değişkenli istatistikî bir metot olan geometrik morfometrik yöntemler ile adli bilimlerde giderek daha çok dikkat çeken fiziksel biyometrik bir karakter olarak insan dış kulağının bireyler arasında gösterdiği varyasyonun incelenmesi amaçlanmıştır. Teknolojik ve enformatik gelişmelere paralel olarak adli bilimlerde biyometrik alanı hızla gelişmektedir. Bu noktada görülmektedir ki, fiziksel biyometrik karakterlerin antropometrik incelenmeleri ve böylelikle biyometrik karakteristikleri oluşturan şekil değişkenlerinin belirlenmesi ihtiyaç duyulan sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir basamağı teşkil etmektedir. Dış kulak morfolojisinin incelenmesine yönelik bu araştırma ile geliştirilecek görüntü analizi uygulamalarında dikkate alınabilecek şekil değişkenlerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında üzerinde durulan ikinci nokta ise, 3 boyutlu anatomik bir yapının bilgisayar ortamında 2B veya 3B olarak yeniden görselleştirilmesi arasında yapının temsili açısından yarattığı fark olmuştur. Fotoğraf ve video gibi 2B görüntülerden kimlik tespiti amacıyla yararlanılması yaygın bir uygulama olmasına karşın 3B anatomik bir yapı olan insan dış kulağının sahip olduğu kişiye özgü morfolojik karakterlerin bu 2B görüntülerde ne kadar ifade olduğu ortaya konmamıştır. Bu çalışma ile kimlik tespiti amacıyla geliştirilecek bir uygulamada hangi görüntü edinim sistemlerinin tercih edilmesi gerektiği tartışılmıştır.

Yapılan tez çalışması ile biyometrik önemi ortaya konmuş insan dış kulağının varyasyonun irdelenerek şekil değişkenlerinin ortaya konması ve bilgisayar ortamındaki ifadesinin ele alınması ile geliştirilecek biyometrik metotlara katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2.GENEL BİLGİ

2.1. Adli bilimlerde fiziksel karakterlerden yararlanılarak kimlik tespiti ve doğrulanması

Biyometrik (biometrics), bireylerin fiziksel ya da davranışsal karakterlerinin (özelliklerinin) baz alınarak tanınması ile ilgili alandır [14]. Tarihsel açıdan biyometriği, mağara duvarlarındaki resimlerin yanında imza olarak yapıldığı düşünülen el izlerine veya yüz yıllar önce Çin’de yeni doğan bebeklerin karışmasını önlemek için ayaklarının ve ellerinin izlerinin alınmasına dayandırabiliriz [14, 31].

‘Biyometrik’ terimi bireyin kimliğinin tanınmasına dayalı ilgi alanını ifade ederken ‘antropometri’, insanlar arasındaki fiziksel çeşitliliğin anlaşılması amacıyla kullanılan çeşitli fiziksel özelliklerin ölçümü olarak tanımlanmaktadır [14]. Antropometri terimi ilk olarak, Alman anatomist Johann Sigismund Elsholtz’un 1654 yılındaki doktora çalışmasında, insanların fiziksel özelliklerinin bilimsel ölçümünü tanımlamak için kullanıldı [3]. Buradan hareketle insanlarda kimlik tespitine imkan sağlayan fiziksel özelliklerin ölçümü olan biyometrik ölçümler antropometrinin içerisinde yer aldığını söyleyebiliriz.

Toplumun organizasyonunda sanayi devrimi ile birlikte meydana gelen değişim ve dönüşümün kimlik tespitinin resmi olarak önem kazanmasını beraberinde getirdiği görülmektedir. Fransız polis memuru Alphonse Bertillon tarafından 1893 yılında yayınlanan ve antropometrinin kriminal vakaların aydınlatılması amacıyla kullanılabileceğini savunduğu çalışması *Identification anthropométrique*, bu dönemin etkisini taşımaktadır [32, 33].

Karl Pearson, Francis Galton ve Walter Weldon fiziksel karakterlerin ölçümü üzerine yaptıkları istatistiki çalışmalarını 1901 yılında Biometrika adını verdikleri kitapla yayınlamışlardır. Bu çalışmalarıyla birlikte Galton, günümüzde en yaygın kullanılan biyometrik karakter olan parmak izi üzerine yaptığı çalışmalarında, parmak izinin bireyler arasındaki farklılığına dikkat çekmiştir [11]. Böylelikle, fiziksel karakterlerin kişilerin kimliklerinin tespitinde kullanılabileceğine dair görüşü desteklemiştir.

Her geçen yıl giderek artan sayılarda insanın gerek ülke içinde gerekse ülkeler arasında seyahat etmesi, internetin kullanıcılarının kişisel bilgilerini içeren geniş kullanım alanları oluşması gibi gelişmeler yeni güvenlik önlemleri ihtiyaçları doğurmuştur. Sonuç olarak otomatik biyometrik sistemler yaygın olarak hayatımıza

girmiştir. Şifre veya kimlik numarasına dayalı bilgi temelli tanıma sistemleri (knowledge-based identification systems) ile kimlik ve pasaporta dayalı sembol temelli tanıma sistemlerinin (token-based identification systems) yanı sıra kişiye özel karakteristik ve eşsiz özelliklerin tanınmasına dayalı olan biyometrik tanıma sistemleri daha güvenilir kabul edilmektedir [14].

2.1.1. Biyometrik kimlik tanıma ve doğrulama sistemlerinin işleyişi

Biyometrik sistemler temelde örüntü tanıma (pattern recognition) sistemidir. Bireyden alınan biyometrik data içerisinde gerekli özellikler ayrıldıktan sonra karşılaştırma sonuçlarına dayalı sistem çalışır. Kapsamlı bir biyometrik sistem 4 temel modülden oluşur; sensör modülü; kalite değerlendirme ve öznitelik çıkarım modülü; eşleştirme modülü ve veritabanı modülü [18]. Ross, Nandakumar ve Jain tarafından [18] tanımlanan bu sistem aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

Sensör modül: Ham biyometrik datanın elde edilebilmesi için uygun biyometrik okuyucu ya da tarayıcı gereklidir. Bu aşamada devreye sensör modülü girmektedir. İnsan makina arayüzü (HMI-human machine interface) olarak tanımlanan modül biyometrik sistemler için kritik bir öneme sahiptir.

Kalite değerlendirme ve öznitelik çıkarımı: İlk adım olarak sensörden biyometrik data alındıktan sonra bu datanın ileriki aşamalarda kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmelidir. Bu aşamada datanın kalitesi artırılabilir veya data yeterli kalitede elde edilememişse tekrar alınır. Daha sonrasında bu değerlendirmelerden geçen datadan odaklanılan biyometrik özelliği en iyi ortaya koyacak belirgin özellikler çıkarılır. Bu özellikler, öznitelikler olarak da adlandırılmaktadır.

Eşleştirme ve karar verme modülü: Bu modülde bireye ait ham datadan alınan biyometrik bilgi seti, veritabanındaki bilgi ile karşılaştırılarak eşleşme skoru elde edilir.

Veritabanı modülü: Veritabanı, biyometrik bilgi ambarı olarak işlev görür. Kullanıcıya ait kişisel bilgilerle (örneğin; isim, adres) beraber ham datadan elde edilmiş biyometrik bilgiler bulunur. Bu bilgiler oluşturulurken bir bireye ait biyometrik bilgiler birden fazla kez alınarak birlikte tutulabilir. Bir bireye ait biyometrik özellik setindeki değişkenlik intra-class değişkenlik, farklı bireylere ait biyometrik özellik setleri arasındaki değişkenlik ise inter-class değişkenlik olarak tanımlanmaktadır. Biyometrik sistemlerde

kullanım için uygun bir özellik setinin düşük intra-class ve yüksek inter-class değişkenlik göstermesi gerekmektedir.

2.1.2. Biyometrik karakter özellikleri

Çeşitli uygulamalarda pek çok biyometrik karakter kullanılmıştır. Yüz, parmak izi, iris, kulak gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra, ses gibi davranışsal özellikler de biyometrik karakter olarak kullanılmaktadır [18, 34, 35]. Biyometrik karakterlerden aynı zamanda bitki ve hayvan sistematğinde de yararlanılmaktadır. Farklı taksonomik düzeyleri (örneğin; cins, familya vb. düzeylerinde) ayırmak için kullanılacak karakterler belirlenerek canlıların teşhisi ve sınıflandırması yapılabilmektedir [36-38]. Bunun yanı sıra, insan biyometrik karakterleri ve karakter özellikleri sistematik çalışmalarda kullanılanlardan farklılık göstermektedir.

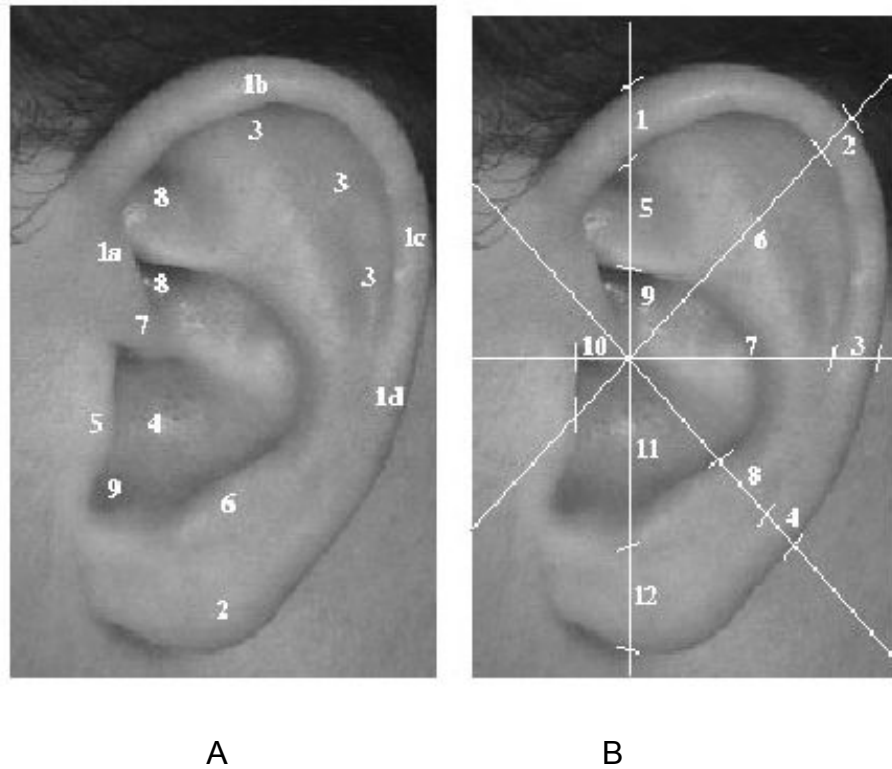
Fiziksel ya da davranışsal bir karakterin biyometrik sistemlerde kullanılabilmesi için çeşitli özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikler Bolle ve ark. [14] tarafından 7 madde olarak sıralanmıştır:

- 1.Evrensellik: Uygulamaya dahil her bireyin belirlenen karaktere sahip olması gerekir.
- 2.Eşsizlik/Benzersizlik: Populasyondaki bireyler belirlenen özellik açısından yeterli düzeyde farklılık sergilemelidir.
- 3.Kalıcılık: Bireyde zaman içerisinde belirlenen karakter açısından bir değişim olmaması, karakterin kaybolmaması (örneğin; yaşlanmaya bağlı olarak) gerekir.
- 4.Ölçülebilirlik: Karakterler uygun biyometrik araçlar yardımıyla bireyden elde edilerek sayısallaştırılabilir.
- 5.Performans: Tanıma kesinliğinin ve bu kesinlikte sonuca ulaşmak için gerekli kaynağın sistemin kısıtlamaları ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen değerdir.
- 6.Kabul edilebilirlik: Uygulamayı kullanacak hedef populasyondaki bireyler belirlenen fiziksel ya da davranışsal karakterlerini sisteme tanıtmayı kabul etmelidir.
- 7.Aldatılabilirlik: Belirlenen karakter sistemi yanıltmak amaçlı kolaylıkla taklit edilememeli ya da değiştirilememeli.

Her biyometrik karakter belirtilen özelliklerin tamamını taşımayabilir. Biyometrik sistemin amacına ve kapsamına uygun olarak karakter seçilmelidir [14].

2.1.3. Kulak biyometrisi

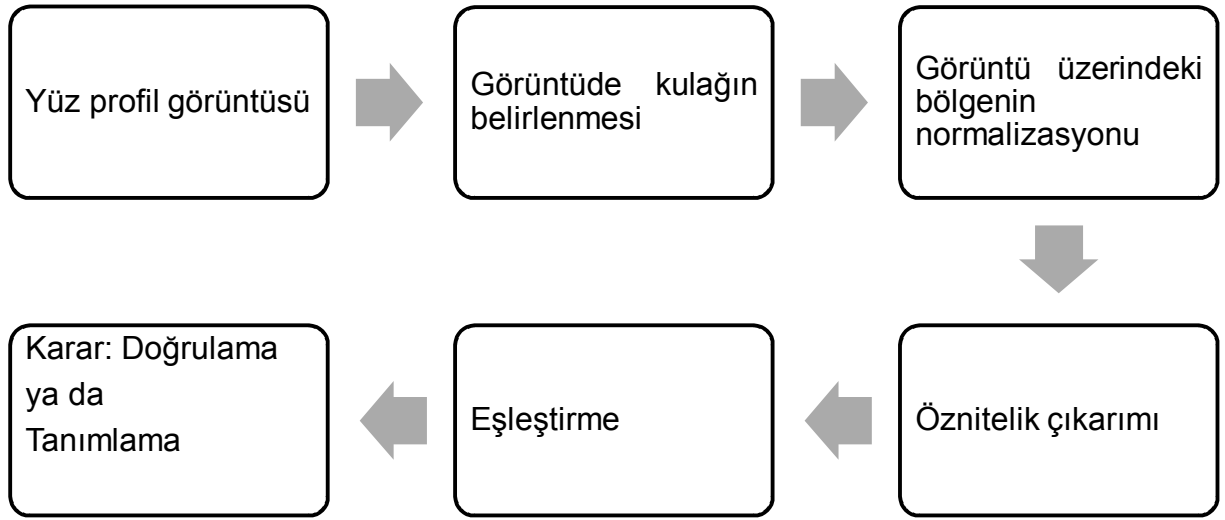
Kulak mimik gibi duygusal ifadelerden etkilenmemesi, yaşlanmayla birlikte ciltte oluşan deformasyonla birlikte yüze kıyasla daha az değişmesi ve barındırdığı karakteristik biçim farklılıkları nedeniyle biyometrik çalışmalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bertillon'un öncü çalışmalarından sonra Alfred V. Lannarelli'nin 1989 yılında yayına dönüştürdüğü çalışmaları kulağın biyometrik sistemlerde kullanımının ilk örneği kabul edilmektedir [19]. Lannarelli, standard olarak elde ettiği kulak fotoğrafları üzerinde çalışmış ve belirlediği 12 nokta arasındaki ölçümler ile bir bireye ait karakteristik özelliklerin ifade edilebileceğini önermiştir (Şekil 2.1.) [39-41].



Şekil 2. 1. Lannarelli'nin sistemine göre antropometrik ölçümlerin gösterimi A. Anatomi, B. Ölçümler, A. 1 Helix, 2 Lob, 3 Antihelix, 4 Concha, 5 Tragus, 6 Antitragus, 7 Crus helicis, 8 Fossa triangularis, 9 Incisura intertragica B. Lannarelli'nin sistemi [32]

Kulak tanıma sistemi tipik olarak bir örüntü tanıma sistemidir [19]. Bu sistemde girdi görüntü (input image) bir özellik setine indirgenir. Sonraki aşamada diğer görüntülere ait özellik setleriyle karşılaştırması yapılır ve kimliği saptanır [15, 20, 39, 41-51]

Kulak tanıma sisteminin, doğrulama (verification) ve tanımlama (identification) olmak üzere iki işletim yolu (mode) vardır. Doğrulama yönteminde, nesne bir kimlik ile ilişkilidir. Girdi görüntü (input image) ve nesnedeki ilgili özellik setleri karşılaştırılarak iddia edilen kimlik açısından değerlendirilir. Tanımlama yönteminde ise, nesne bir kimlik ile ilişkilendirilmemiştir. Girdi görüntü veri bankasında özellikleri açısından bilinen diğer görüntülerle karşılaştırılır ve en iyi eşleştiği görüntü belirlenir (Şekil 2.2.) [52-54].



Şekil 2.2. Kulak tanıma sisteminin aşamaları

Iannarelli'nin çalışmasının ardından, 1960 yılında Fields ve ark. yeni doğan bebeklere ait 260 set kulak fotoğrafı ile yaptıkları incelemede bebeklerin kimliklerini belirlenmesinde bu yöntemin kullanılabileceğini öne sürmüştür [19].

2 boyutlu görüntüleme sistemlerinin yanı sıra 3 boyutlu görüntülerin alınmasını sağlayan donanımların giderek yaygınlaşması biyometrik çalışmalarda yeni sorulara ve cevaplara zemin hazırlamıştır.

Geliştirilen farklı algoritmaların da katkısıyla yüksek doğruluk yüzdelere sahip kulak tanıma metotları ortaya konmuştur [16, 19, 20, 31, 41-43, 47, 50, 51, 55]. Moreno ve ark. 1999'da ilk defa kulak tanıma için tamamen otomatik bir sistemi tanımladılar. Biyometrik sistemlerde kulağın yüze kıyasla daha tek düze renk dağılımına sahip olması ve mimikten etkilenmemesinden dolayı daha elverişli bir karakter olduğunu öne

sürdüler. Bu çalışmada nitelik vektörü olarak dış kulak noktalarını, kulak şeklini ve kıvrımları ile karşılaştırma ağlarından çıkardıkları makro nitelikleri belirlediler [15]. Bu metot daha sonra Mu ve ark. tarafından geliştirildi [46]. Bu çalışmada nitelik vektörü dış kulak şekli ve iç kulak yapısı olarak tanımlandı ve sonrasında sınıflandırma için nöral ağ kullanıldı. Bu haliyle metot Iannarelli'nin geliştirdiği sistemin basitçe otomatize edilmesi olarak ele alınmaktadır [19].

Diğer biyometrik özellikler için olduğu gibi kulak biyometrisi araştırmaları kurulan veri bankaları ile yürütülmektedir. Bu sayede kulak biyometrisinin geliştirilmesi ve geliştirilen metotların performanslarının değerlendirilmesi yapılabilmektedir [19]. Bilimsel araştırmalarda kullanılmak üzere geliştirilen bu veri bankaları, farklı aydınlatma koşulları altında ve/veya farklı açılardan çekilmiş kulak ve yüz fotoğraflarını ve video sekanslarını, 3B görüntüleri içerebilmektedir (Çizelge 2.1.). Geliştirilen veri bankaları araştırmacılara açık olabileceği gibi lisanslı olarak erişilebilen bankalar da bulunmaktadır [19].

Çizelge 2.1. Biyometrik sistemlerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kurulan çeşitli veri bankaları

Veri bankası	Geliştirildiği Üniversite	İçerik
Midas's ear	İstanbul Teknik Üniversitesi	50 farklı kişiye ait 300 resim içermektedir [44].
WVU	West Virginia University	402 katılımcıya ait 460 video sekansı, 54 katılımcıya ait çoklu sekans (multisequence) içermektedir [56].
USTB	The University of Science and Technology Beijing	4 alt gruba ayrılmış. CCD kamera kullanılarak farklı açılarda görüntüler yer almaktadır [57].

UCR	The University of California Riverside	155 katılımcıya ait 902 range görüntü yer almaktadır [58].
UND	The University of Notre Dame	Farklı yıllarda oluşturulmuş 4 farklı koleksiyon içerir. Katılımcıların 3B ve 2B olmak üzere profil görüntüleri yer almaktadır [59].
IIT Delhi	Hong Kong Polytechnic University	125 kişiden alınan 493 kulak görüntüsünden oluşmaktadır [60].

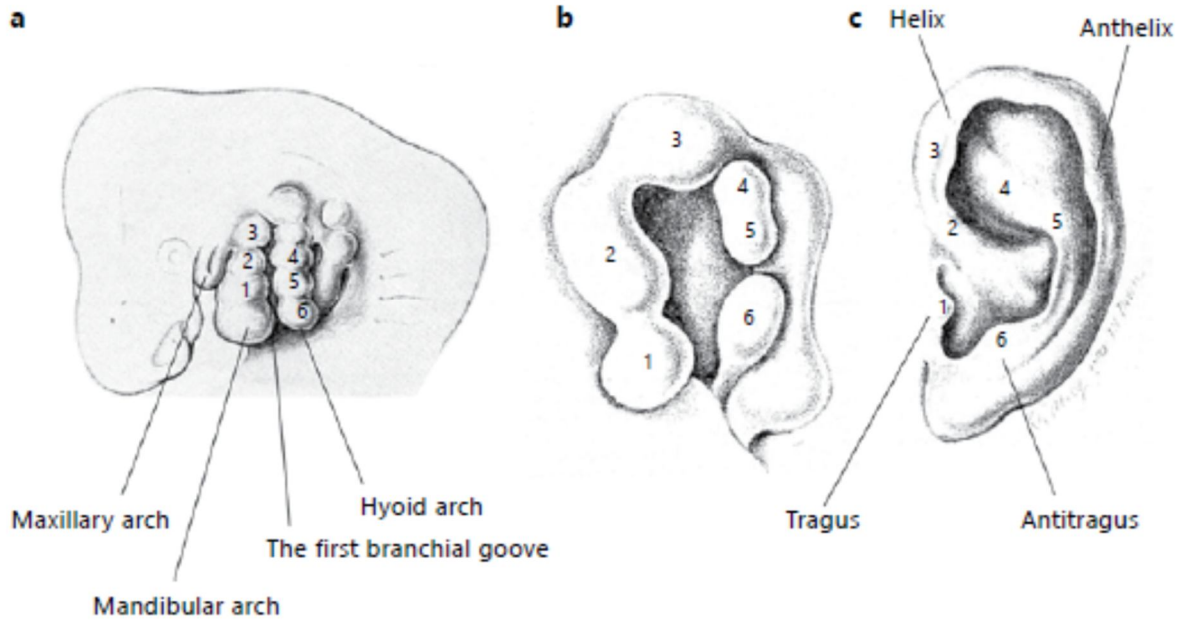
Chen ve Bhanu'nun çalışması [61], 3B kulak biyometrik sistemi geliştirilmesi üzerine yapılan ilk çalışmadır [19]. Bu çalışmada, 3B görüntülerin eşleştirilmesinde Iterative Closest Point (ICP) algoritmaları kullanılarak tekniğin kullanılan 30 görüntüde 2 yanlış eşleştirme yaptığını ortaya koymuşlardır. 2007 yılında Chen ve Bhanu tarafından yapılan bir diğer çalışmada [58], University of California Riverside (UCR) tarafından geliştirilen veri bankasından 155 kişiye ait 952 adet 3B görüntü ve University of Notre Dame (UND) veri bankasından 302 kişiye ait 3B ve 2B görüntülerden oluşan 942 görüntü kullanıştır. Kullanılan görüntüler, kulağın belirlenmesi için şekil-model tabanlı teknik ile kulağın tanınması için Local Surface Patch (LSP) ve Iterative Closest Point (ICP) algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda UCR veri bankasından alınan görüntülerde %96.77, UND veri bankasından alınan görüntülerle ise %96.36 oranında kulak tanınması doğru olarak gerçekleşmiştir.

2.2. Dış kulak (*Auris externa*) embriyolojisi ve anatomisi

Omurgalı hayvanlarda her bir organ, embriyonik gelişimin erken evresinde meydana gelen üç germ tabakasından ; ektoderm, mezoderm ve endodermden köken alır [62].

Fetusun gelişimi esnasında baş bölgesinde embriyonun ventralinde yer alan altı çift brakial yay ve her brakial yay çiftinin arasında yer alan beş brakial oyuk meydana gelir. Gebeliğin 4. haftasında nöral krest hücrelerinin brakial bölgeye göç etmesi ile

birlikte 1. brakiyal yay (mandibular yay) ile 2. brakiyal yay (hiyoid yay) mesoderm hücreleri farklılaşarak auriculanın gelişimi başlar [63]. 6. haftaya gelindiğinde bu iki brakiyal yay üzerinde ilk üçü 1. brakiyal yayda diğer üçü 2. brakiyal yayda olmak üzere altı adet mezenkimal tepecik (hillocks of His) gelişir. Anne karnında 11-12. haftalarda bu tepecikler kaynaşarak auriculayı meydana getirirler ve tragus, crus helicis, heliks, antihelix, antitragus ve kulak memesi bu tepeciklerden köken alır (Şekil 2.3.). Kulak memesi dış kulakta gelişen ilk yapıdır. Kıkırdagın oluşumu ise 7. haftada conchanın 1. brankiyal oyuğun ektoderminden köken almasıyla başlar [64]. Gelişim esnasında çeşitli bozuklar meydana gelebilmektedir. Örneğin; conchal oyuk gelişimi sırasında meydana gelebilecek bozukluklar kulak kepçesinin baş ile yaptığı açının artmasına, antihelixin kıvrılmasında meydana gelebilecek bozukluklar ise scaphanın dışa doğru eğilmesine yol açmaktadır [30, 63, 65].



Şekil 2.3. Kulağın embriyolojik gelişimi a. Embriyonik gelişimin 6. haftasında mandibular ve hiyoid yay üzerinde gelişen altı mezenkimal tepecik b. Embriyonik gelişimin 7. haftası c. Erişkin kulağında altı mezenkimal tepecikten gelişen yapılar [63]

Kulak kepçesi (sayvan, *auricula*) ve dış kulak yolu (*meatus acusticus externus*) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Kulak kepçesi başın iki yanında mastoid çıkıntının önünde ve çene ekleminin arkasında yer almaktadır. Kulak kepçesi başa yapışık olduğu gibi dış kulak yolu ile de uzanır. Kulak kepçesi dış yüzünün orta kısmında

concha auriculae adında bir çukurluk bulunur ve bu çukurluk dış kulak yolu (*meatus acusticus externus*) ile devam etmektedir. *Concha*'nın çevresinde dört çıkıntı bulunmaktadır: Aşağıda ve önde *tragus*, aşağıda ve arkada *antitragus*, yukarıda ve önde *helix*'in başlangıcı olan *crus helcis*, arkada da *antihelix* [66].

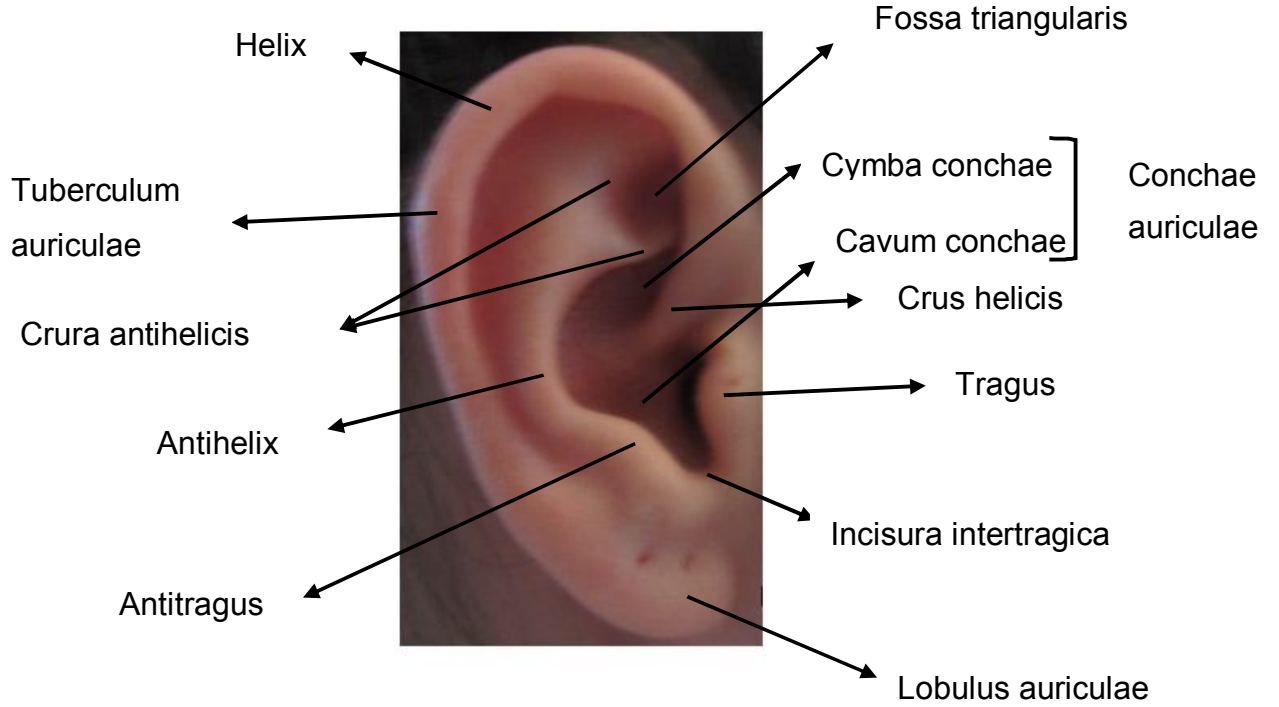
Heliks (*helix*), *concha*'nın içerisinden öne ve yukarıya doğru başlayarak kulak kepçesinin geniş parçasının çevresinde yer alarak kulak memesinin (*lobulus auriculae*) üzerine doğru incelererek sonlanan çıkıntıdır. Başlangıç kısmına *crus helcis* adı verilir. *Crus helcis* kulak kepçesi çukurunu (*concha auriculae*) üstte *cymba conchae* ve altta *cavum conchae* adı verilen iki kısma ayırır. Helix boyu uzunluğunda kendi üzerine katlanmış bir yapı gösterir. Bu arada kalan oluğa *scapha* adı verilmektedir. Bireylere özgü bir yapı olarak heliksin serbest kenarının üst ve arka kısmında yer alan Darwin tüberkülü (*tuberculum auriculae*) görülebilmektedir [64].

Tragus (*Tragus*), *concha*'nın alt ve ön kenarı ile *crus helcis*'in alt ve ön kısmında yer alan çıkıntıdır. *Tragus* ile *crus helcis* arasında bulunan oyuğa ise *sulcus helicotragicus* adı verilir [66].

Antitragus (*Antitragus*), *tragus*un altında bulunan ve *incisura intertragica* adı alan küçük bir girintinin (çentik) arkasında yer almaktadır. *Tragustan* küçük olan bu çıkıntı *concha*'nın alt kısmında yer alır [67].

Antiheliks(*Antihelix*), *antitragustan* başlayarak *concha*'nın arka sınırı ile heliks arasındaki mesafeyi dolduran kabartıya denir. Bu yapı kulak kepçesinin yukarı ve ön kısmında iki kola ayrılır ve *crura antihelcis* adı verilir. Bunlardan alt kol *concha*'nın üst kısmını sınırlarken iki kol arasında da üçgen çukur anlamına gelen *fossa triangularis* oluşur [64].

Kulak memesi (*Lobulus auriculae*), *tragus* ve *antitragus* altında yer alan yarım daire şeklindeki yağ doku içeren deri kıvrımıdır [64].



Şekil 2.4. İnsan dış kulağı anatomisi

Kulak kepçesi, elastik kıkırdak iskelet ile bağ ve kas dokusundan meydana gelmektedir. Bu yapılar dıştan ince bir deri tabakası ile çevrilidir. Auriculada ayrıca atar ve toplar damalar, lenf damarları ve sinirler bulunmaktadır [64].

Sinir sistemi gelişimi esnasında meydana gelebilecek malformasyonların minor fiziksel anomalilere (Minor Physical Anomalies, MPA) yol açtığı ortaya konmuştur [68, 69]. Sforza ve ark. [70] Down sendromlu bireylerin kulak boyunun genişliğine oranın ve kulağın yüz orta hattıyla yaptığı açının kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, Apert-Crouzon sendromlu bireylerde ise geniş kulaklar görülebilmektedir [25, 30]. Düşük konumlu kulak deformitesi Noonan sendromlu bireylerde görülebilirken, yapışık kulak deformitesine Turner sendromu olan bireylerde rastlanabilmektedir.

Auriculada meydana gelen bozukluklar gelişimsel olarak ya da doğuştan olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmektedir [23, 71, 72]:

A. Doğumsal (Konjenital) bozukluklar

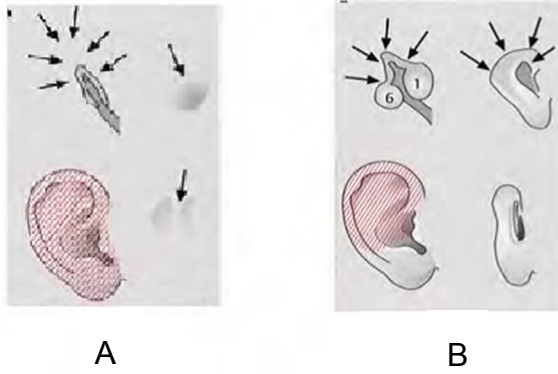
Embriyolojik dönemde brankiyal arkların normal gelişimini tamamlayamaması sonucu ortaya çıkmaktadır.

a. Sayvanın büyüklüğü ile ilgili olarak (Şekil 2.5.) ;

Anotia; kulak kepçesi yokluğu ve dış kulak yolunun kapalı olması durumu.

Microtia; küçük kulak kepçesi görülen durum.

Macrotia; auriculanın büyük olduğu durum.



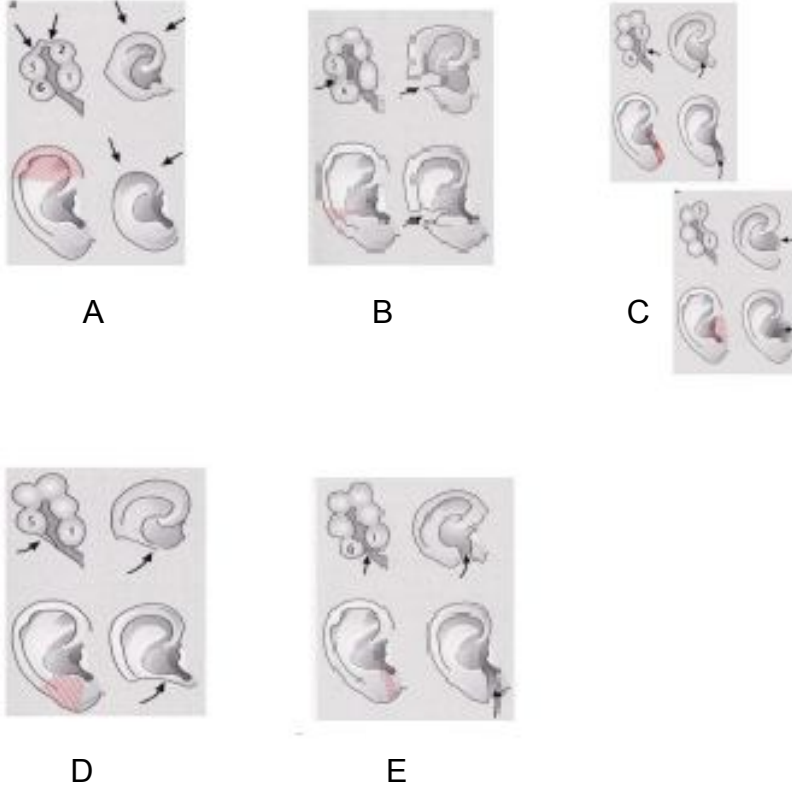
Şekil 2.5. Anotia ve microtia durumu oluşumu A. Anotia, B. Microtia [72]

b. Auriculanın biçimiyle ilgili olarak (Şekil 2.6.);

Kepçe kulak deformitesi

Helikste meydana gelebilecek deformiteler

Kulak memesinde meydana gelen malformasyonlar



Şekil 2.6. Auriculanın biçiminde meydana gelebilecek çeşitli bozukluklar. A.B. Helikste meydana gelen deformiteler C, D, E Kulak memesinde meydana gelebilecek deformiteler [72]

c. Pozisyonuyla ilgili olarak;

Melotia; kulakların yanak hizasında bulunması

Synotia; kulakların yüzün orta hattına doğru birbirilerine yakın bulunması

Alçak konumlu kulak; kromozomal anomali ya da annenin gebelik esnasında ilaç kullanması gibi durumlarda meydana gelebilecek bir bozukluktur [73].

Bunların yanı sıra kulak gelişimine bağlı olarak çevresinde, aksesuar auricular kabartılarının gelişmesi sonucu oluşan auricula ekleri olarak adlandırılan çeşitli yapılar bulunmaktadır. Bunlar;

Auricular fistula; auriculanın yüze bağlandığı yerin ön kısmında küçük oyuk şeklinde görülen bozukluk

Auricular appendage; genellikle tragusun ve crus heliksin dışarısında gelişen genellikle deriden oluşmuş kimi zaman ise kıkırdak içeren kabartılardır [74].

B. Sonradan gelişen bozukluklar

Travma, yanık, donma gibi çevresel etkenler sonucu auriculada çeşitli deformiteler gelişebilmektedir [73].

a. Otohematoma: Çarpma ya da darbe alma gibi travmalar sonucu perikondrium ile kondrium arasında kan birikimine otohematom denir. Özellikle güreş, boks gibi yakın temas sporcularında travmaya bağlı olarak bu hastalık görülmektedir [75, 76].

b. Perikondritis: Kıkırdak dokuyu besleyen perikondriumun iltihaplanmasıdır. Hastalığın etkin tedavi edilmemesi sonucu kıkırdak dokunun tahribatı ve buna bağlı olarak da kulak kepçesinde şekil bozuklukları meydana gelmektedir [77].

c. Auricula tümörleri: Metastaz yapmayan (benign) tümörlere rastlanabildiği gibi özellikle ilerleyen yaşlarda malign tümörlere daha sıklıkla rastlanmaktadır [73].

Başlıca tümörler arasında, anjioma, kist, fibroa, papilloma, eksoztoz ve adenoma sayılabilir [73].

Dış ortamdaki seslerin toplanması ve orta kulağa iletilmesi görevinde olan dış kulak, morfolojisi açısından primatlarda kayda değer bir farklılık göstermektedir ve bu farklılığın filogenetik ilişkileri yansıttığı bilinmektedir [78]. Coleman ve Ross [78], primatların işitsel farklılıklarını, dış kulak morfolojilerini ve işitme performanslarını filogenetik ilişkileriyle birlikte ele almıştır. Çalışmanın bulgularına göre antropoidler hemen hemen yüksekliği genişliğine eşit kulaklara sahipken, anthropoid olmayanlar dar ve uzun kulaklara sahiptir. Uzun ve dar dış kulak yapısına sahip prosimianların düşük frekanslı sesleri algılamalarının yüksek frekanslara daha düşük olduğunu, geniş ya da büyük kulaklara sahip primatların ise düşük ve yüksek frekanslı seslere algılamalarının yüksek olduğu ortaya konmuş.

İnsan dış kulağı bireyin yaşı ve cinsiyetine göre morfolojik farklılıklar göstermektedir [22, 29, 30, 44, 79]. Sforza ve ark [30], 4-73 yaşları arasındaki 346 kadın ve 497 erkekten oluşan grupta yaş ve cinsiyete bağlı olarak dış kulak morfolojisinde meydana gelen değişimleri ele aldığı çalışmalarında kadın ve erkekte kulağın uzunluğunun bireyin yaşamı boyunca arttığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca kulak genişliğinin de yaşa bağlı olarak arttığı aynı çalışmanın bulguları arasındadır. Yaşa bağlı bu şekil değişiklikleri, başlıca kulak kepçesinde yer alan kıkırdak dokunun fibrillerinin

gevşemesi ve kondrosit hücrelerinin yoğunluğunun azalamasıyla beraber kulağın büyümesi olarak gözlenir [22, 30]. Buna ek olarak pretragal deri kıvrımlarının yaş tespiti amacıyla kullanılabileceği öne sürülmüştür [29].

2.3. Geometrik Morfometri

Morfometri, biçim varyasyonunun ve bu varyasyonun diğer değişkenlerle kovaryasyonunun incelenmesidir [80, 81]. Bu tanıma dayanarak morfometrik çalışmaların odağının biçimin kendisi değil, biçimin diğer değişkenlerle olan ilişkisi olduğu söylenebilir.

Canlıların fiziksel özelliklerine göre karşılaştırılmaları yüzyıllardır biyolojide temel konulardan birisidir [3, 4]. Hayvanların şekillerini karşılaştırmaya yönelik olduğu bilinen ilk kayıtlar M.Ö. 5. yüzyıl'a ait olduğu Blackith (1965) tarafından ortaya konmuştur [2, 3]. Phytagoras çevresindeki okula ait olduğu bilinen bu kayıttaki canlıların kaba bir çizimi ve bu çizimdeki çizgiler arasında bulunan bağlantı noktaları sayısı canlıyı tanımlamakta kullanılmıştır [82]. Antik Mısır'ın Orta Krallık dönemine (M.Ö.1986-1633) ait buluntularda ise eşit karelere bölünmüş bir alan üzerinde insan figürlerinin resmedilerek bu yöntemle anatomik bir karşılaştırma yapıldığı görülmektedir [1].

Biçim analizi bir çok biyolojik araştırmanın temel bir parçası olmuştur [1-4]. Morfometrinin geometri, istatistik ve biyolojinin sentezi ile birlikte bir disiplin olarak gelişimi D'arcy Thompson'ın 1917 yılında yayınladığı *On Growth and Form* adlı kitabına dayandırılabilir. Thompson bu çalışmada biyolojik formu Kartezyen dönüşümler (Cartesian transformations) olarak adlandırdığı matematiksel deformasyonlar olarak tanımlanmıştır [5].

Biyolojik yapıya ait fiziksel özelliklerin doğrusal, açısal ya da oransal ölçümler dayalı çalışmalar günümüzde klasik morfometri olarak tanımlanmaktadır [3]. Morfolojik değişkenlerin analizinde çok değişkenli istatistikî metotların kullanıldığı bu çalışmalar aynı zamanda çok değişkenli morfometri olarak da adlandırılmaktadır [3, 4]. Bu yöntem, morfolojik ölçümler arasındaki kovaryasyonun ve örneklemeler arasında veya örneklem içerisinde varyasyon örüntüsünün ortaya konulabilmesine olanak sağladı [3]. İstatistikî analizlere, Temel Bileşen Analizi (PCA) , faktör analizi, Kanonik Değişkenler Analizi (CVA) ve ayırt edici fonksiyon analizleri dahil edilmiştir. Klasik morfometrik yöntemlerin bir kısıtlaması, doğrusal ölçümlerin büyüklükle yüksek korrelasyon

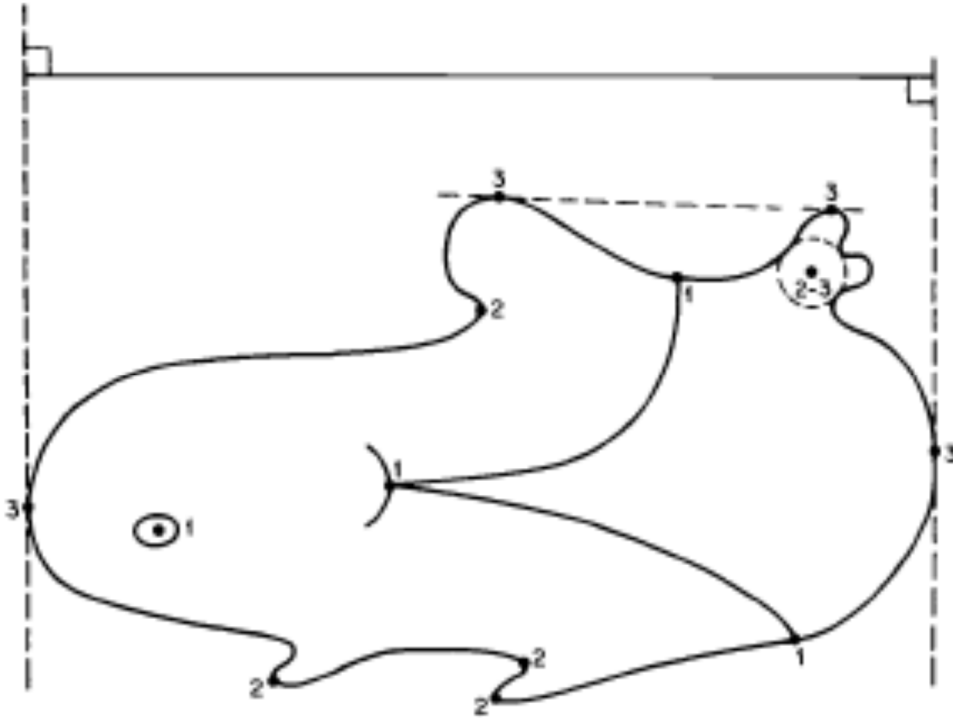
göstermesidir [4]. Büyüklükten bağımsız olarak şekil değişkenlerinin incelenebilmesi, şekil varyasyonun aydınlatılabilmesi için önemlidir. Ayrıca, doğrusal ölçümlerin her tekrar için hata payının yüksek olması ve farklı şekillerde homolog noktalar arasında yapılacak ölçümlerden alınabilecek aynı sonuçlar ile şekillerin karşılaştırılmasını zorlaştırması da metodun getirdiği kısıtlamalardandır. Tüm bunlar nesnenin geometrisini edinmenin önemini ortaya çıkarmıştır [3].

Geometrik morfometri, morfolojik verinin sayısallaştırılmasında doğrusal mesafeler, açılar ya da oranlar yerine ,genellikle, Kartezyen koordinatların kullanılmasıdır [2, 3, 83]. Morfometri alanında devrim olarak nitelenen geometrik morfometrik yöntemlerle morfolojik datanın gösterimi kolaylaşmış ve çok değişkenli istatistiki yöntemlerin uygulanabilmesine olanak sağlamıştır. Bookstein [80] 3 tip landmark tanımlamıştır (Şekil 2.7.):

Tip I landmark: Dokuların kesiştiği noktalar,

Tip II landmark: Kıvrımların oluştuğu noktalar

Tip III landmark: Yapının birden çok bölgesini tanımlayan uç noktalar



Şekil 2.7. 3 tip landmarkın gösterimi [5]

Bookstein & Schaefer [84] ve Katina ve ark. [85] landmark sınıflandırmasını yeniden ele alarak 3 tip daha eklemişlerdir:

Tip IV landmark: Yapının dış hattında yer alan semilandmarklar

Tip V landmark: Yüzeydeki semilandmarklar

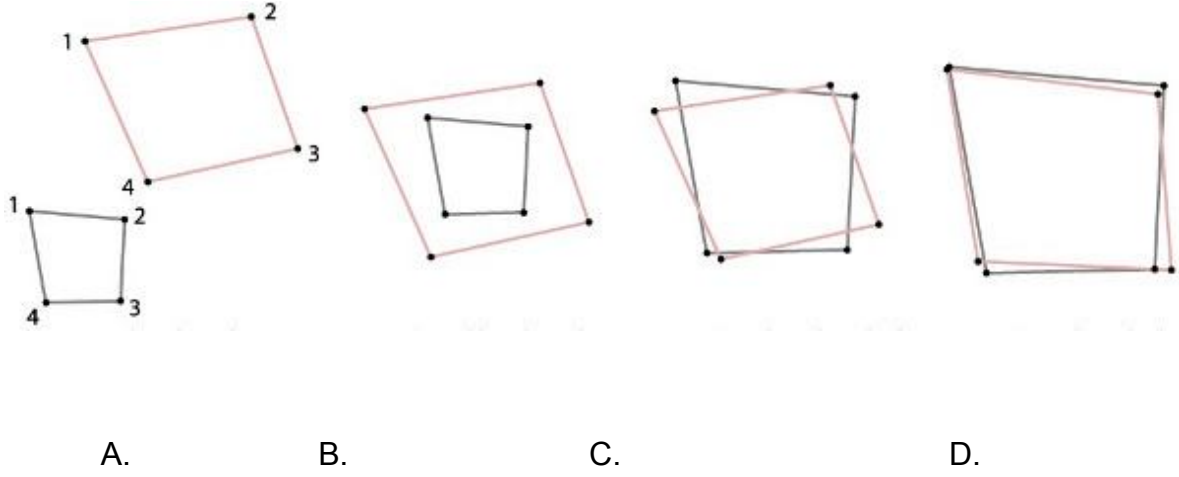
Tip VI landmark: Yapılı (constructed) semilandmarklar

Semilandmarklar, incelen yapıda biyolojik homolog noktaların belirlenmesinin zor olduğu dış hatlar boyunca ya da yüzeyde ifade olan geometrik bilginin sayısallaştırılması amacıyla geliştirilmiştir [5, 86, 87]. Bu bağlamda semilandmarklar geometrik homolojiyi yansıtan noktalar olarak tanımlanmaktadır [86]. Semilandmarklar, örneklem içerisinde seçilen referans (template) örnek üzerine yerleştirilir ve sonrasında bu semilandmarklar diğer örneklerle aktarılır. Aktarım sonrasında semilandmarkların geometrik homolog olarak konumlandırılması ve örnekler arasındaki Procrustes mesafesinin en aza indirilmesi amacıyla kaydırma (sliding) fonksiyonu ile tamamlanır [87].

Morfometrinin amacı benzerlikleri ve farklılıkları ölçmektir [3, 5]. Morfometrik mesafeler benzemezliğin temel birimidir. Geometrik morfometride benzemezliğin temel birimi Procrustes mesafesidir [88, 89]. Procrustes mesafesi, şekiller karşılaştırıldıktan sonra iki şekildeki ilgili landmarklar arası mesafelerin kareleri toplamının kökü alınarak elde edilir. Örneğin; A şekli için ilgili landmarkın koordinatları (x_1, y_1) , B şekli için ise (x_2, y_2) olsun. Bu durumda iki landmark arasındaki Procrustes mesafesi :

$$\sqrt{(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)}$$

formülü ile hesaplanır [80]. Procrustes mesafesi iki biçimin ağırlık merkezine (centroid) göre üst üste getirilmesinin ardından aynı ölçeğe ve aynı konuma getirilmesi sonunda hesaplanır. Bu sayede yönelim, ölçek, ötelenme (rotation, scale, translation) etkileri ortadan kaldırılarak sadece biçim değişkenleriyle analize devam edilir. Bu işlem Generalized Procrustes Analysis (GPA) olarak adlandırılmaktadır [89, 90].



Şekil 2.8. Procrustes süperimpozisyonu şematik gösterimi. A. Landmarklar yerleştirilmiş ham hali B. Eş merkezli landmarklar C.Eş merkezli ve ölçekli landmarklar D. Eş merkezli,ölçekli ve konumlu landmarklar [91]

Procrustes süperimpozisyonundan (Şekil 2.8.) sonra örneklerin benzemezlikleri Temel bileşen analizi (PCA), İnce tabaka analizi (TPS) gibi metotlarla incelenebilir [2].

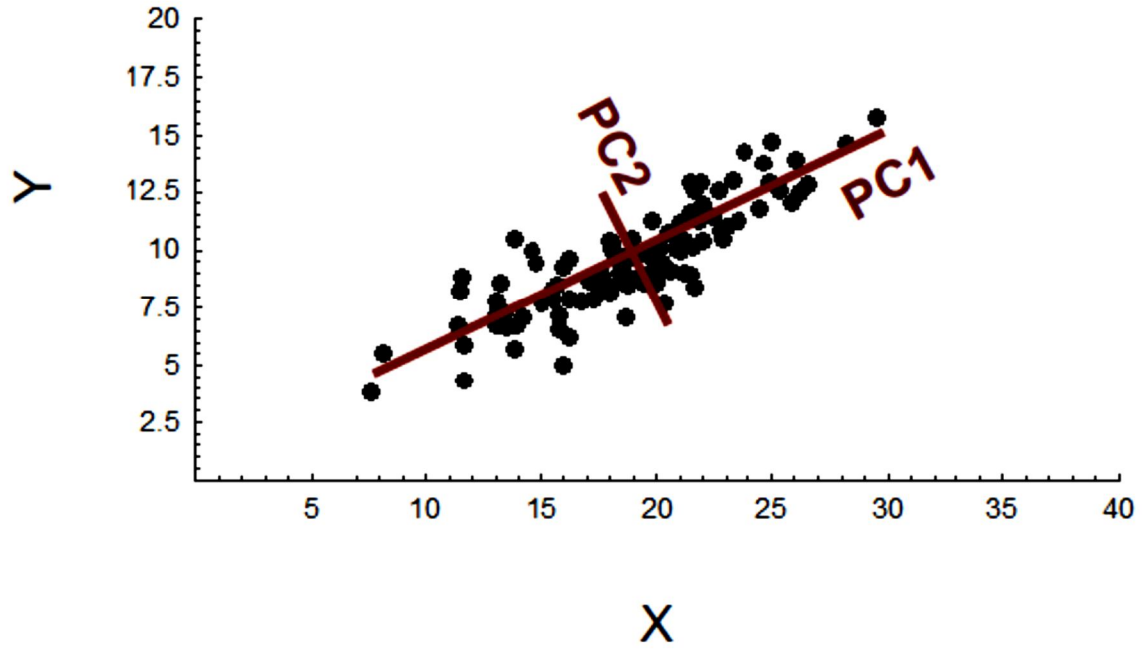
Geometrik morfometrik yöntemler biyolojik yapıların sayısallaştırılmasında ve analizinde sağladığı avantajlardan dolayı adli antropoloji, paleoantropoloji, anatomi ve zooloji gibi pek çok alanda uygulanan bir metottur [6, 7, 10, 36, 92, 93].

2.3.1. Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis, PCA)

Temel Bileşen Analizi (PCA) çok sayıda birbiriyle korrelasyon göstermeyen bağımsız değişkenden oluşan datayı analiz eden çok değişkenli bir metottur. İlk olarak 1901 yılında Pearson tarafından ortaya atılan metot 1930'lara gelindiğinde Hotelling'in katkılarıyla geliştirildi. Temelde bir boyut azaltma yöntemi olan PCA çok sayıda bağımsız değişkeni bir arada inceleme imkanı sağladığı için morfometrik araştırmalarda önemli bir adımdır [2, 94]. Özellikle geometrik morfometrik yöntemlerle elde edilen çok sayıda şekil değişkenin birlikte analiz edilmesini sağlayarak, biçim varyasyonunun incelenen örneklemin tümünde ne şekilde olduğunun anlaşılmasına imkan vermektedir .

PCA, örneklemdaki varyasyonun dağılımını birbirini dikey olarak kesen doğrusal eksenlerde tanımlanır. PCA grafiğinde birbirleri arasında korrelasyon göstermeyen bu eksenler temel bileşenleri diğer adıyla şekil değişkenlerini ifade eder. Birinci temel

bileşenin varyasyona katkısı en büyüktür ve grafikte varyasyonun en büyük dağılım gösterdiği eksendir. İkinci temel bileşen geriye kalan toplam varyansa maksimum katkıda bulunmaktadır (Şekil 2.9.). Diğer bileşenler ise gittikçe azalan miktarlarda toplam varyansa katkıda bulunurlar. Bu nedenle, az sayıda bileşenle toplam varyansın büyük bir kısmı açıklanabilmektedir.



Şekil 2.9. Örnek bir datanın dağılımı ve temel bileşenlerin gösterimi. PC1 varyasyonun en çok dağılım gösterdiği ekseni ifade ederken PC2 bu ekseni dik olarak kesmekte ve varyasyonun en çok dağılımın gösterdiği ikinci ekseni ifade etmektedir [88]

Geometrik morfometride standart olarak varyasyon datası korunmak istendiği için kovaryans matrisi kullanılır [2, 90]. Kovaryans matrisinde diyagonal elementler varyans, diyagonal dışı elemanlar ise kovaryanstır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Örnek kovaryans matrisi. Diyagonal elementler varyans, diyagonal dışı elemanlar kovaryanstır.

A	B	C	D
B	5.34	7.45	6.56
C	7.45	3.32	2.66
D	6.56	2.66	4.21

Landmark datasının temel bileşen analizinde;

1. Landmarklar süperimpoze edilir
2. Her şekilden konsensus şekil çıkartılarak ‘residuals’ oluşturulur. Bu sayede PC eksenleri ortalama şekil merkeze alınarak hizalanır.
3. Kovaryans matrisinin özdeğerleri ve özvektörleri hesaplanarak ana eksen ve üzerinde dağılım gösteren varyasyon belirlenir.
4. ‘Residuals’ özvektörlerle çarpılarak her bir şeklin (bireyin) grafikte dağılımı belirlenir [95, 96].

Özdeğerler; datanın dağılımında varyasyonu gösteren değerlerdir. Bu durumda her PC eksenindeki varyasyon özdeğerdir. Eksenlerin ilişkili özdeğerlerinin toplamı örneklemdaki toplam varyasyona eşittir [88, 95, 96].

Özvektörler; temel bileşen ve orjinal değişken arasındaki açıdır. Açının büyüklüğü her PC eksenindeki orjinal değişkenin ağırlığını bir diğer deyişle önemliliğini belirler [88, 95, 96].

PCA grafiğinde yer alan her bir nokta analizdeki bir örneğin şeklini temsil etmektedir. Grafikte noktaların birbirine olan yakınlığı şekillerin benzerliklerini göstermektedir. Böylelikle bütün örneklemdaki şekil varyasyonu incelenebilmektedir [2].

2.3.2. Öklid Uzaklık Matrisi Analizi (Euclidean Distance Matrix Analysis, EDMA)

Öklid uzaklık matrisi analizi (EDMA) 2B ya da 3B koordinatları olan homolog landmark setiyle karakterize edilmiş 2 örneğin şeklini veya 2 grup örneğin şeklini karşılaştırır [97, 98]. Öncelikle her nesne için tüm olası landmarklar arası mesafeler hesaplanır ve form matrisi elde edilir. X bireyi D boyutlu bir uzayda K sayıda landmarkın konfigürasyonu ile tanımlanmaktadır. Buna göre form matrisi [99]:

$$F(X) = \begin{bmatrix} 0 & d(1,2) & d(1,3) & \dots & d(1,K) \\ d(2,1) & 0 & d(2,3) & \dots & d(2,K) \\ d(3,1) & d(3,2) & 0 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 \end{bmatrix}$$

Simetrik matris olan form matrisinde $d(l,m)$ landmark l ile m arasındaki öklid uzaklığını göstermektedir. Ayrıca, form matrisi ilgili bireyin ortalama formuna karşılık gelmektedir [99].

Her bir örnek için elde edilen form matrisi birbirlerine oranlanarak form fark matrisi elde edilir. Örneğin; X ve Y bireylerinin ortalama formları kullanılarak biçim fark matrisleri (FDM) aşağıdaki gibi hesaplanabilir [99]:

$$FDM(X, Y)_{lm} = \frac{F(X)_{lm}}{F(Y)_{lm}}$$

Böylelikle farksızlık (null) hipotezi olan örneklerin benzerliği test edilir. Biçim fark matrisi ile sadece şekil ya da biçim farklılıkları değil, aynı zamanda hangi landmarkın varyasyona daha çok katkı yaptığı anlaşılabilir .

Biyolojik formun landmark datası kullanılarak incelenebilmesine olanak sağlayan pek çok yöntem geliştirilmiştir [97, 100]. EDMA, şekli ya da biçimi koordinat sisteminden bağımsız olarak açıklar ve ölçek, yönelim, konum gibi parametrelerden etkilenmez. [97, 98]. Bu özelliğiyle rastgele yada kullanıcı tarafından belirlenen koordinat sistemlerine veya deformasyon fonksiyonlarına bağımlı olan İnce Tabaka Analizi (TPS), Relative Warps ve Procrustes Süperimpozisyonu gibi diğer metotlardan ayrılır. Bu metotlarla elde edilen sonuçların biyolojik yorumu seçilen koordinat sistemine göre değişiklik gösterebilir [99].

2.4. Veri görselleştirme

Görselleştirme zihinsel bir görüntünün biçimlendirilmesi ve aktarılması olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç duyuların aktarımını/ifadesini sağlayarak bir iletişim sistemi oluşturmaktadır. Günümüzde görselleştirme, bilgisayarların karmaşık datayı anlama, iletişim ve karar verme gibi amaçlarla görsel canladırma (visual imagery) dönüştürdüğü bir alandır (Şekil 2.10.). Görselleştirmenin bilimsel bir alan ve bir disiplin olarak tanımlanması 1980'lerin sonlarında National Science Foundation tarafından yayınlanan 'Visualization in Scientific Computing' (Bilimsel bilgi işlemede görselleştirme) başlıklı bir bildiri ile gerçekleşmiştir [101].



Şekil 2.10. Veri görselleştirme süreci [104]

Bilgisayar teknolojilerinin yanı sıra görüntü edinim teknolojilerinin gelişimi bilimsel görselleştirme alanının gelişmesinde ve genişlemesinde önemli bir itici güç olmuştur. Böylelikle, bir çok alanda olduğu gibi biyolojik bilimlerde de datanın toplanması, işlenmesi (optimizasyon/normalizasyon) ve analizi aşamalarında ayrılmaz bir yer

edinmiştir. Örneğin, artık ilgilenilen biyolojik yapının kendisini saklanamasa dahi 2B ya da 3B görüntüleri saklanabilmektedir. Ayrıca, nesneler üzerinden kumpasla doğrusal ya da açısal ölçümler alınabilmesi dışında nesnenin sahip olduğu geometriyi ortaya koyabilen geometrik morfometri gibi çok değişkenli istatistiki metotların geliştirilmesi sayesinde şekil ve biçim detaylı olarak incelenebilmektedir [102, 103].

Biyolojik yapının bilgisayar ortamına aktarılarak dijital data halinde incelenmesi için seçilen donanım ve yazılımlar elde edilecek sonuçta önemli rol oynamaktadır. Fiziksel gerçekliği (physical reality) olan anatomik yapıların bilgisayar ortamında yaratılan yeniden görüntülenmeleri sanal gerçeklik (virtual reality) olarak tanımlanmaktadır [105]. Mühendislik ve mimarlık alanlarında bilgisayar ortamında yapılandırılan model gerçek (fiziksel) nesneye dönüştürülür ve bu aşamalara sanal yapılandırma adı verilmektedir. Bunun yanı sıra biyolojik bilimlerde ve tersine mühendislikte (reverse engineering) gerçek nesne bilgisayar ortamına aktarılarak üzerinde çalışılacak model haline getirilir. Bu yöntem ise sanal yeniden yapılandırma olarak adlandırılmaktadır [105].

Bu aşamada, biyolojik yapıların fiziksel gerçeklik ortamından sanal gerçeklik alanına nasıl aktarılacağı ve aktarılan bu datanın orijinali ne kadar temsil edeceği soruları oluşmaktadır [105, 106].

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, gönüllü katılımcılar bilgilendirildikten sonra görüntüler aynı kişi tarafından alınmıştır. Gönüllü katılımcılar görüntülerinin tez çalışmasında kullanılmasını onaylamışlardır. (Ek: İzin formu)

3 boyutlu sol dış kulak görüntüleri 33 gönüllü katılımcıdan (n=33, 22♀,11♂; yaş aralığı:19-31) Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı kullanılarak 26/05/2014- 30/06/2014 tarihleri arasında Viyana Üniversitesi Antropoloji Bölümü'nde, (Universität Wien, Department für Anthropologie, Viyana, Avusturya) elde edilmiştir. Tarayıcının verdiği görüntülerin tekrarlanabilirliğinin test edilmesi amacıyla 3 gönüllü katılımcıdan (n=3, 2♀,1♂) 4 kez görüntü alınmış ve bu replika görüntüler analize dahil edilmiştir. Analizler toplam 43 adet görüntü ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. Görüntülerin elde edilmesi

Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany), ölçüm uzunluğu 325 mm olan 300mm gövde üzerinde 893 sensör ve 1384*1036 piksel renkli kamera bulunan modülü tripod üzerine yerleştirilerek kullanılmıştır (Şekil 3.1.). Donanım, Windows XP işletim sistemi kurulu Core2 Duo,2 GHz, 2GB RAM, 60 GB bilgisayara ,IEEE 1394 (FireWire®) bilgisayar ara yüzü ile bağlandı. Ortalama olarak insan kulak büyüklüğü göz önüne alınarak 400*500mm görüş alanı (field of view) seçildi. Çalışmanın, kalibrasyon ve tarama aşamalarında üretici firma (Breuckmann GmbH,Germany) tarafından geliştirilen Optocat yazılımı kullanıldı.

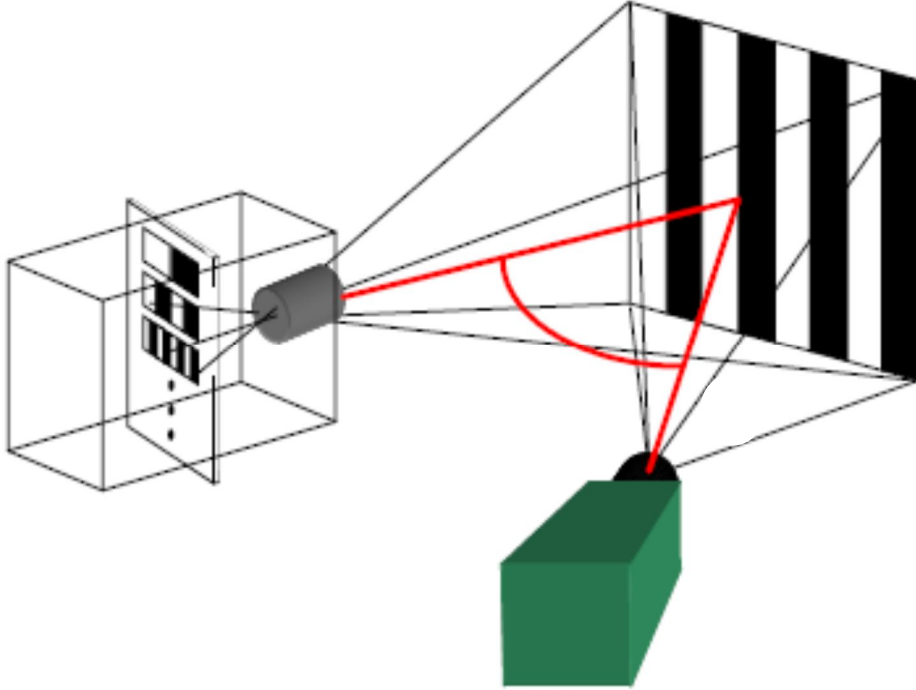


Şekil 3. 1. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı, tripod üzerine monte edilmiş kamera ve sensör modülü

3.1.1. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany)

Tez kapsamında 3B görüntüler Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany) yapısal ışık tarayıcısı kullanılarak elde edildi. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH,Germany), elde edilen görüntü kalitesi ve taşınabilirliği açısından pek çok farklı alandaki çalışmalarda tercih edilmiştir [107-110]

Breuckmann triTOS-HE Gray kodu ve faz kayması tekniği (phaseshift technique) ile oluşturulan özel projeksiyon modeli kullanır (Şekil 3.2.). Gray kodu, ardışık iki sayı arasında tek bit değişimi olan ikili numara sistemidir, örneğin; 0000, 0001, 0011, 0010, 0110, 0111. Projektörden nesne üzerine Gray kodlu ikili şerit projeksiyon yansıtılır. Bu projeksiyon ile n model (pattern) sekansı olmak üzere nesne 2^n bölüme ayrılır. Böylelikle her bir piksel n modelden alınan 0'ların ve 1'lerin sekansından oluşan kodla ilişkilendirilir. Bu kod, ilgili görüntü pikseli ile projektör şerit numaralarını ilişkilendirir. Yüksek frekanslı modellerde aynı şeride ait tüm pikseller aynı koda sahiptir. Ayrıca, sistemin çözünürlüğünü artırmak için bir kaç kez periyodik model tek yönde kaydırılarak yansıtılır [111].

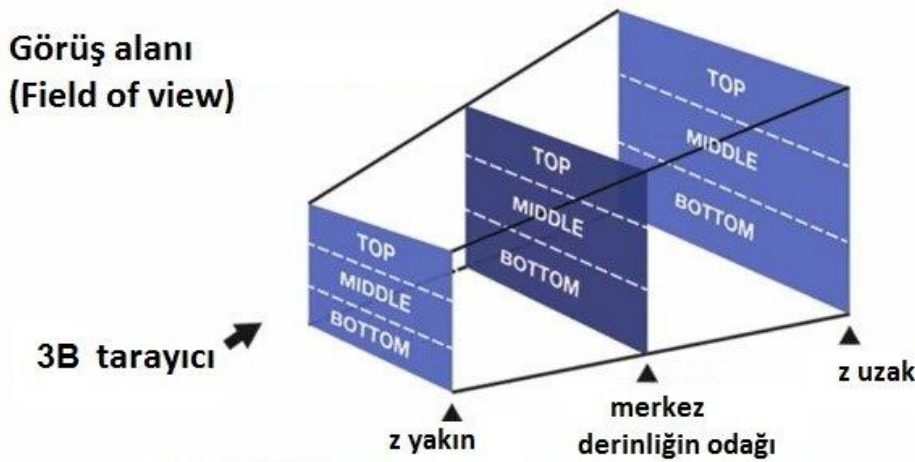


Şekil 3. 2. Şerit projeksiyon sisteminin (fringe projection system) kurulması. Sol tarafta yer alan sensörden yansıtılan şerit projeksiyon sistemi sağ tarafta yer alan kamera tarafından alınarak görüntü oluşturulmaktadır [111]

Donanım, kalibrasyon için gerekli kalibrasyon paneli ve açı düzenleyici (angle master), yazılım ile kamera ve sensörün birlikte yer aldığı gövde parçasıyla birlikte temin edilebilmektedir.

Kamera ve sensör taranacak alanın büyüklüğüne göre uygun odak mesafesine sahip olmalıdır. Bu şekilde seçilen uygun uzunluktaki gövde kısmı modüler olup tripod üzerine monte edilerek sabitlenir ve taranacak nesneyle aynı yüksekliğe getirilerek kullanılır.

Kalibrasyon aşamasında kullanılan kalibrasyon paneli yardımıyla tarayıcının görüş alanı belirlenir (Şekil 3.3.). Bu nedenle kalibrasyon panelinin taranacak nesnenin ebatlarına uygun olarak seçilmesi gereklidir. Böylelikle mümkün olduğunca yüksek kalitede görüntü alınabilir [107].

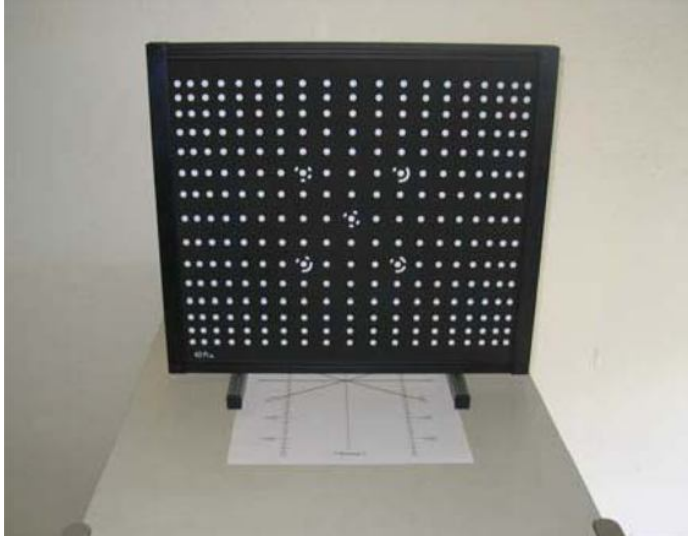


Şekil 3.3. Tarayıcının görüş alanı ve derinliğe (z koordinata) bağlı olarak değişimi [112]

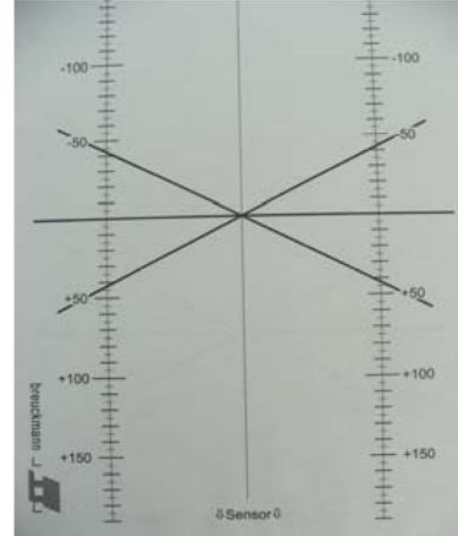
Tarayıcı bilgisayara IEEE 1394 (FireWire®) bilgisayar ara yüzü ile bağlanmaktadır. Üretici firma Breuckmann GmbH, Germany tarafından tedarik edilen Optocat programı tarayıcının bağlandığı bilgisayara yüklenerek kalibrasyon ve görüntülerin eldesi aşamaları ile isteğe bağlı olarak normalizasyon aşamasında kullanılmaktadır. Elde edilen görüntüler programdan .stl formatında alınabilmektedir.

3.1.2. Kalibrasyon

Kalibrasyon aşaması 3 boyutlu tarayıcıya hedef nesnenin bulunduğu çevrenin (uzayı) tanıtıldığı aşamadır. Bu aşamada tarayıcı 2 boyutlu görüntüyü 3 boyutlu geometride tanımlar. Kalibrasyon süresince hedef nesnenin boyutlarına göre uygun kalibrasyon paneli seçilmesi elde edilecek 3 boyutlu görüntünün kalitesinde önemlidir (Şekil 3.4.) [107].



A



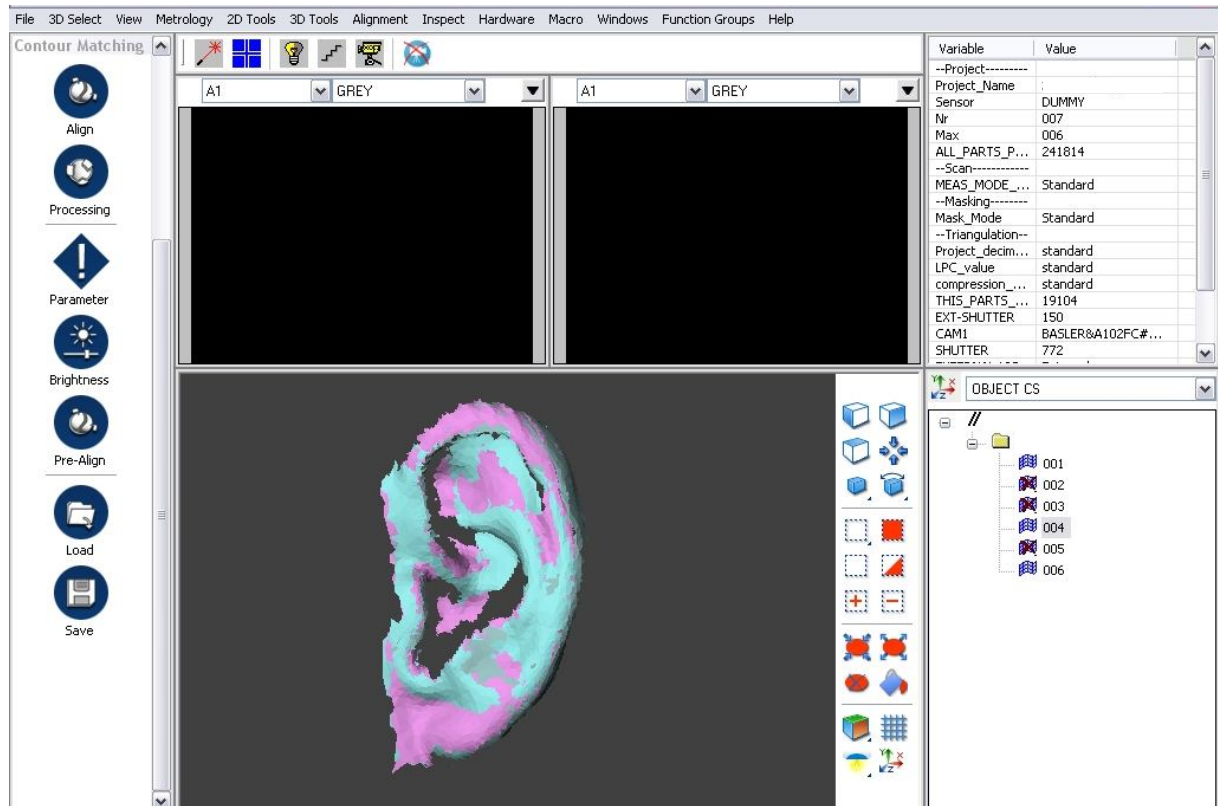
B

Şekil 3. 4. Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany) A. Kalibrasyon paneli (Field of view), B. Açık düzenleyici (angle master) [108]

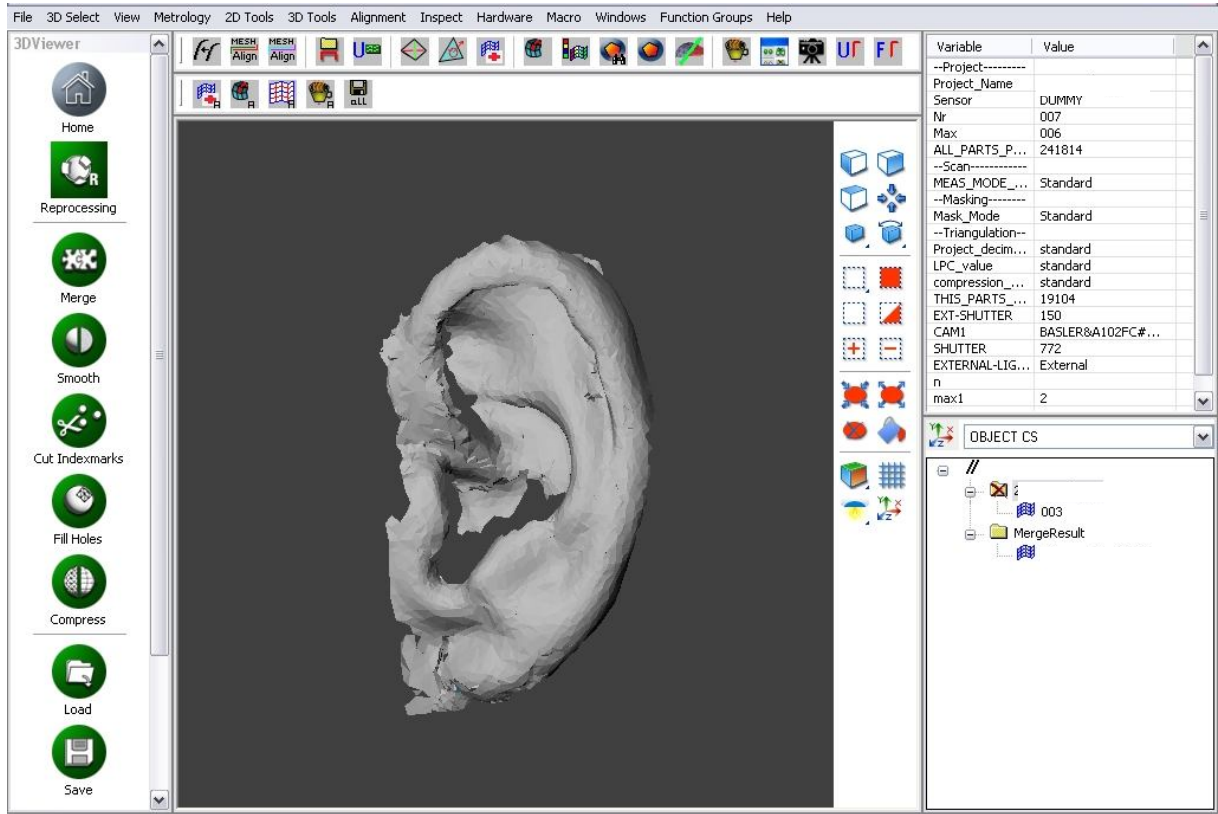
Kalibrasyon aşamasında öncelikli olarak, kamera ve sensörün bulunduğu modülün üzerinde yer alan lazer ışığı görüş alanının merkezinde bulunan noktaya odaklanır ve bu sayede modül ile nesne arasındaki optimum mesafe belirlenir. Bilgisayarda açık olan Optocat programı ana penceresinde görülen 'Calibration' sekmesine tıklanarak kalibrasyon işlemine başlanır. Bu aşama Optocat programının yönlendirdiği şekilde görüş alanının belirli mesafelere ve belirli açılarla yerleştirilmesiyle devam eder. Son olarak kalibrasyon kalitesi değerlendirilerek sonlandırılır. Kalibrasyon süresince çalışma ortamı karanlık tutulmuştur.

3.1.3. Tarama aşaması

Kalibre edilen tarayıcı görüntülerin alınması için hazır durumdadır. Görüntü kalitesini etkileyeceği için gönüllü katılımcıların varsa küpe vb. aksesuarlarını çıkartmaları ve tarama süresince başlarını sabit tutmaları istenmiştir. Tarama aşamasının sonunda elde edilen görüntüler bir ya da birden fazla tek yönlü tarama (single scan) hizalanıp bir araya getirilmesi sonucu oluşur. Bu nedenle, her katılımcı için birden çok tek yönlü tarama yapıldı. Her bir taramadan sonra tripodun konumu değiştirilerek kulağın 3 boyutlu yapısının tam olarak alınmasına çalışıldı. Bir bireye ait elde edilen her bir tarama öncelikle manuel olarak hizalandı (pre-align) (Şekil 3.5.). Sonrasında *Optocat* programında yer alan 'Align' komutu yardımıyla otomatik olarak optimize edilmiştir. Bu şekilde hizalanmış iki görüntü üzerine aynı aşamalar tekrarlanarak üçüncü ve daha sonra dördüncü vb. taramalar eklenerek istenilen 3 boyutlu nesne oluşturulabilmektedir (Şekil 3.6.). Son aşama olarak hizalanmış görüntüler 'Merge' komutuyla birleştirilir ve .stl formatında kaydedilerek bir sonraki aşama için hazır hale getirilir (Şekil 3.7.). Her bir tarama karanlık ortamda yapılmıştır. Görüntülerde yüzey rengi (pixel) alınmamıştır.



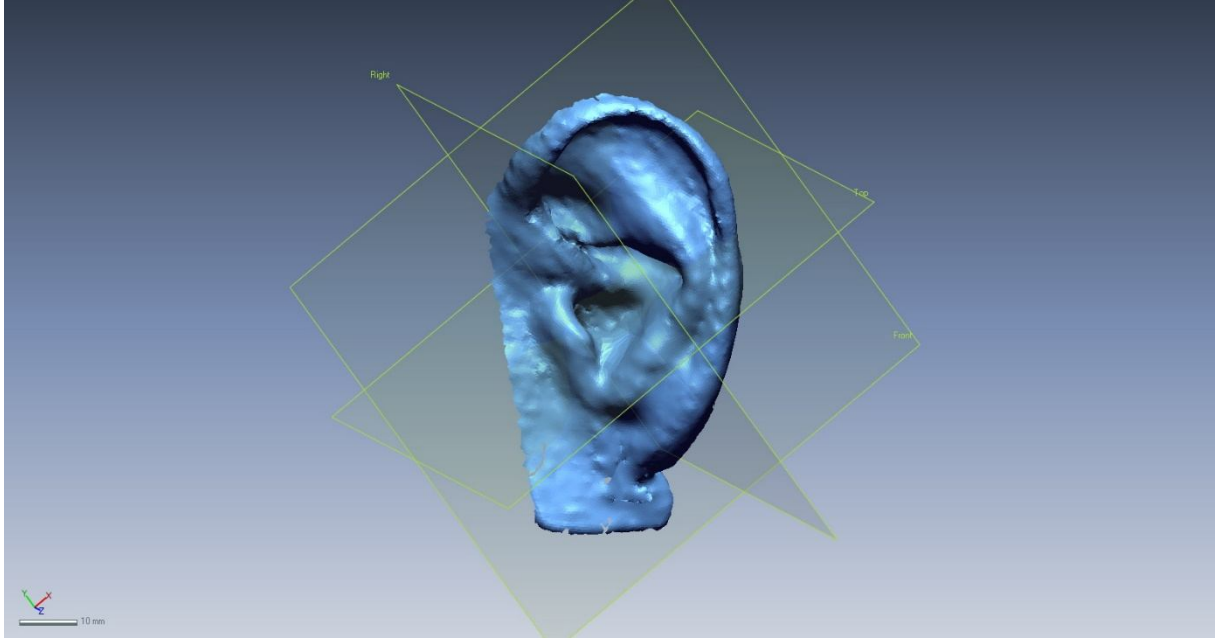
Şekil 3.5. Tarama sonucu elde edilen 3 tek taramanın (single scan) hizalanmış görüntüsü



Şekil 3.6. 'Merge' işleminden sonra normalizasyon aşaması için hazır görüntü

2.1.4. Görüntülerin normalizasyonu (post-processing)

.stl formatında Optocat programında kaydedilen dosya Rapidform XOR™ (INUS Technology, Inc, Korea) programında açılarak görüntülerin analizi yapılmadan önce iyileştirilmesi yapılmıştır. Görüntüde yer alan ve analizde odaklanılacak bireye ait karakteristik bilgileri kaybetmeyecek şekilde ve düzeyde görüntü yüzeyinin pürüzsüzleştirilmesi yapıldı. Bu işlem Mesh Buildup Wizard™ kullanılarak otomatik olarak gerçekleştirildi. Son halini alan görüntüler .obj formatında kaydedilmiştir (Şekil 3.7.).

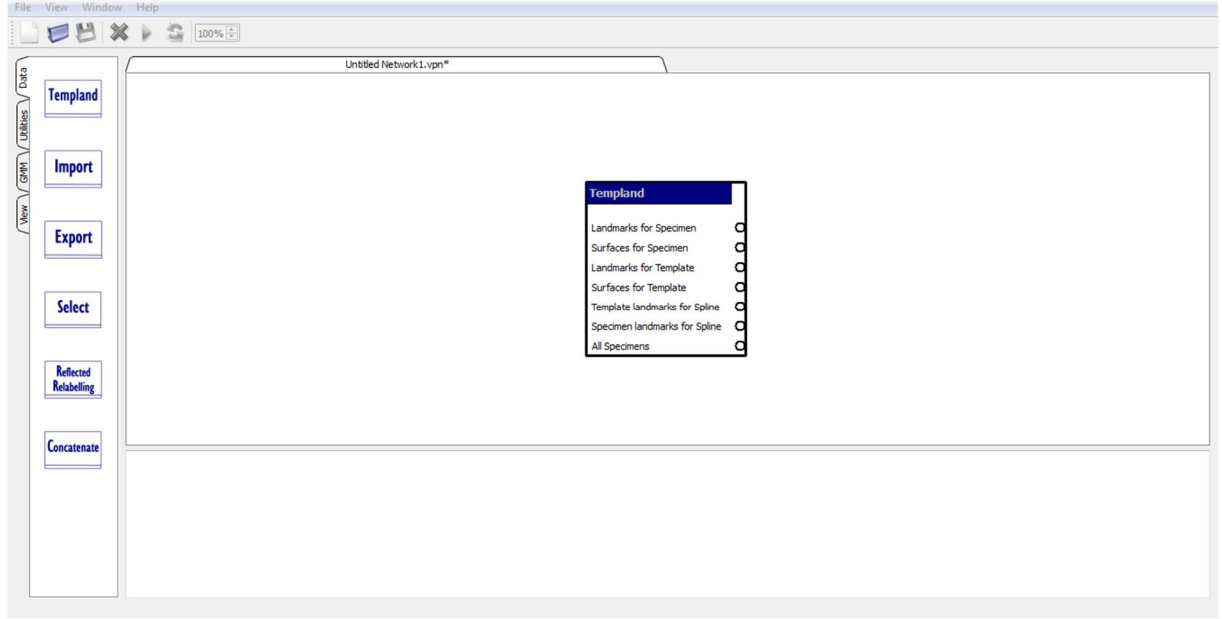


Şekil 3.7. Görüntü iyileştirme aşamasından sonra elde edilen görüntü

3.2. Geometrik morfometrik analiz

3.2.1. Landmarkların yerleştirilmesi

Öncelikle EVAN toolbox v.1.63 programında açılan ana sayfada (yeni .vpn dosyası) 'Templand' işlemi seçilerek açılmıştır (Şekil 3.8.). Bu işlem ile .obj formatında kaydedilen görüntüler açılarak landmarklar yerleştirilebilmektedir. Katılımcılara ait .obj formatında kaydedilen 3B dış kulak görüntüleri 'Surface' sekmesi sağ tıklanarak ekranda görüntülenmiştir.



Şekil 3.8. Yeni açılan .vpn dosyasında Templand işlemi seçilmesi

Bu aşamadan sonra, landmarklar görüntüler üzerine belirlenen yerlere çift tıklanarak yerleştirilmiştir. Yerleştirilen her bir landmark , 'Landmarks' sekmesi altında belirlemekte ve bu sayede yerleştirildikten sonra silinmesi ya da kaydırılması mümkün olmaktadır.

Homolog landmark noktaları her bireyde aynı noktalara aynı sırayla yerleştirildi. Belirlenen landmark noktaları ;

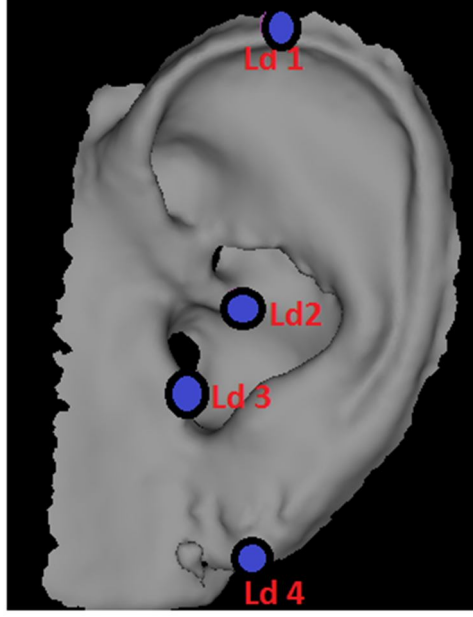
Landmark 1; heliksin en yüksek noktası (marjinal)

Landmark 2; crus helicis üzerinde conchaya bağlandığı nokta

Landmark 3; tragus üzerinde

Landmark 4; kulak memesi üzerinde lobun en aşağı noktası (marjinal) veya orta noktası

olarak belirlenmiştir (Şekil 3.9.).

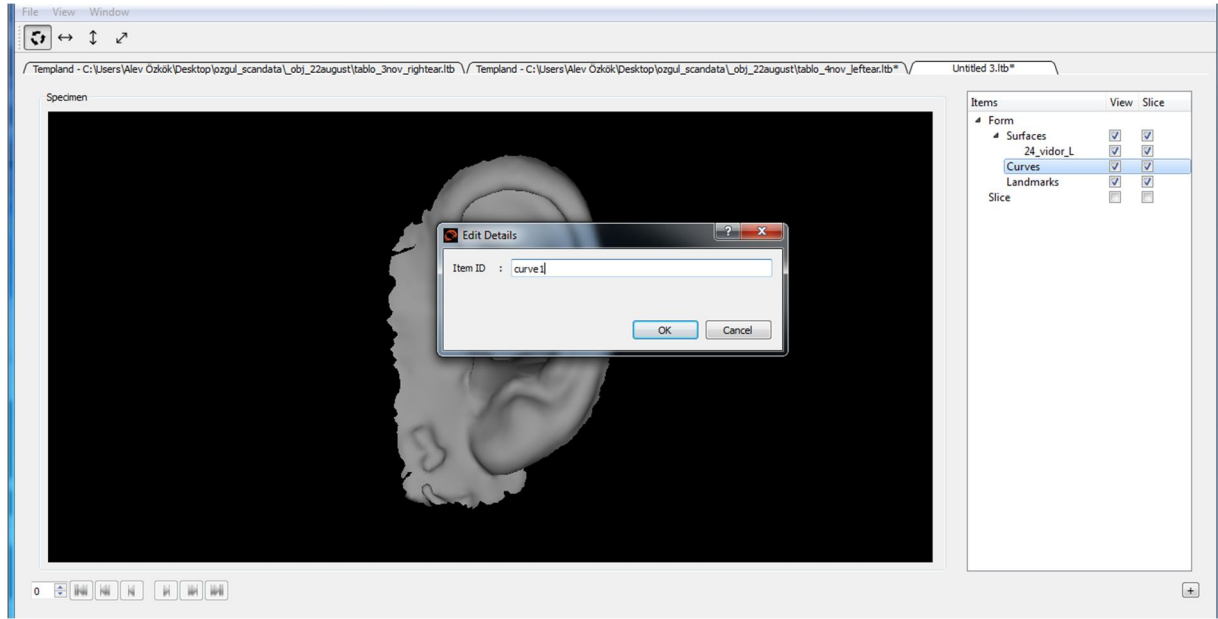


Şekil 3. 9. Şekil. Landmarkların görüntü üzerinde gösterimi

Landmarkların yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra dosya .frm uzantılı form dosyası olarak kaydedilmiştir.

3.2.2. Dış kulak hattının belirlenmesi

Kulağın dış hattının sayısallaştırılması amacıyla heliks üzerinde yer alan landmark 1 ile kulak memesi üzerine yerleştirilmiş olan landmark 4 arasında curve (dış kulak hattı) çizilmiştir. Belirlenen iki landmark arasında heliksin kavisini takip edecek şekilde ard adra landmarklar yerleştirilmiştir. Sonrasında, program penceresinde sağda yer alan panelde 'Landmarks' sekmesine üzerine sağ tıklanarak 'Save as curve' seçilmiştir. Curve dosyası görüntünün ait olduğu katılımcının etiketiyle birlikte kulak görüntüsünden ayrı olarak aynı dosya içerisinde kaydedilmiştir. Evan Toolbox programında analiz esnasında ana ekranda kulak görüntüsü (surface) yer alırken ilgili curve dosyası bu görüntünün üzerine açılmıştır. Bu esnada ekranda beliren panelde açılacak curve dosyasına etiket verilmesi gerekmektedir (Şekil 3.10.). Semilandmarklar ilgili curve üzerine referans bireyden diğer bireylere aktarılarak tüm örnekleme yerleştirileceği için belirlenecek etiketin analize dahil edilecek tüm bireyler için aynı olması gerekmektedir.



Şekil 3.10.Görüntü (surface) üzerine ilişkili curve dosyasının etiketi oluşturulmalıdır.

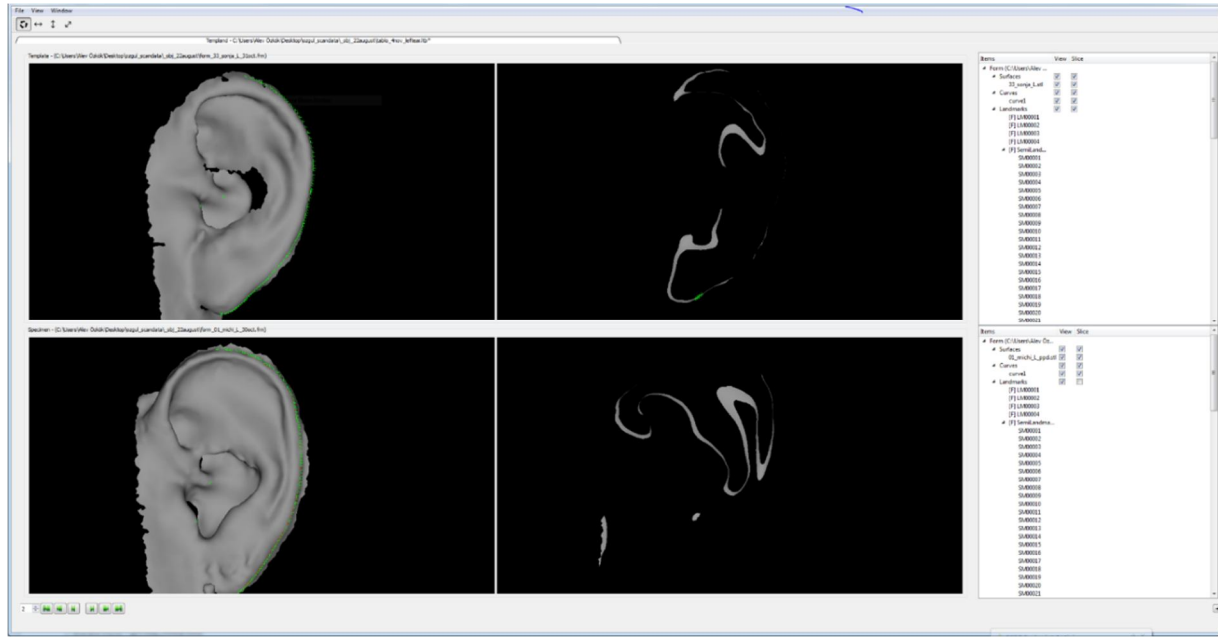
3.2.3. Dış kulak hattı boyunca semilandmarkların yerleştirilmesi

Semilandmarklar, landmarklardan farklı olarak 'geometrik homolog' noktalar olarak tanımlanmaktadır [86, 113]. Bu nedenle, semilandmarkların analize dahil edilmesi için bir görüntünün referans (template) olarak seçilmesi gerekmektedir.

Örnekleme içerisinde referans görüntü araştırmacı tarafından belirlenmektedir. Referans görüntüyü belirleme esnasında, seçilen görüntünün ortalama şekli yansıtmaya özen gösterilmeli ve uç değerlerde yer alacağı tahmin edilen görüntüler seçilmemelidir. Bu sayede semilandmarkların ortalama bir şekil üzerinde tanımlanmaları sağlanmış olacak ve diğer örneklerle aktarımları esnasında oluşacak hata payı azalacaktır.

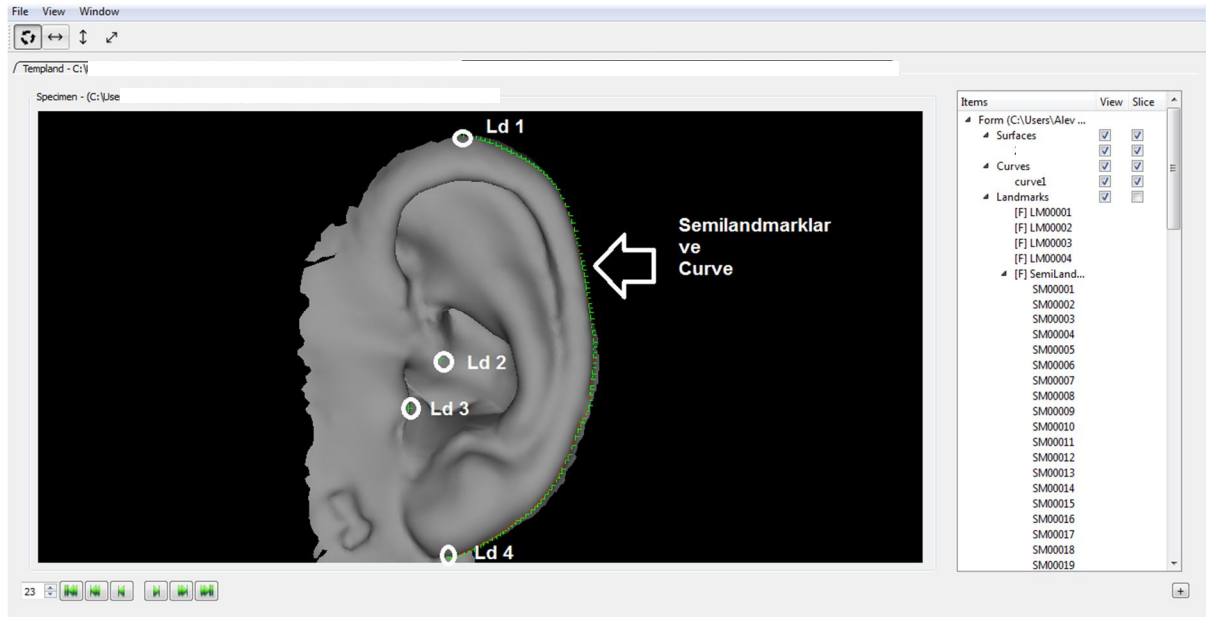
Referans görüntü seçildikten sonra program penceresinde sağda yer alan panelde 'Landmarks' sekmesi sağ tıklanarak 'Add semilandmarks' seçilmiştir. Sonrasında, curve üzerine 98 adet semilandmark yerleştirilerek görüntü kaydedilmiştir. Bu işlem yalnızca referans olarak seçilen görüntü üzerinde yapılmıştır.

Örneklemede yer alan tüm görüntülere semilandmarkların yerleştirilmesi için EVAN toolbox v.1.63 programında 'File' sekmesinden yeni .ltb dosyası (tableau file) oluşturulmuştur. Bu dosyaya ilk olarak referans görüntü eklenerek ve kaydedilmiştir.



Şekil 3.11. Referans (template) görüntüde yer alan semilandmarklar diğer örneklerle aktarılır ve konumlandırılması. Üst panelde referans görüntü, alt panelde semilandmarkların aktarıldığı örnek yer almaktadır.

Her bir yeni örnek oluşturulan .ltb dosyasına eklendikten sonra 'Warp semilandmarks to specimen' komutu ile semilandmarklar referans görüntüden otomatik olarak alt panelde yer alan görüntüye aktarılmıştır (Şekil 3.11.). Aktarılan semilandmarkların örnekte konumlandırılması için sırasıyla 'project' ve 'slide' komutları arka arkaya semilandmarkların yerleri sabitlenene kadar uygulanmıştır. Bu işlemle birlikte semilandmarkların geometrik homolog noktalara yerleştirilmesi sağlanmaktadır [114].



Şekil 3.12. Görüntü üzerinde landmark, curve ve semilandmark gösterimi

3.3. Temel Bileşen Analizi (PCA) ve Warped Görüntüler

EVAN toolbox v.1.63 programında .vpn dosyası oluşturuldu. Bu dosya üzerinde istenilen işlemler ve aralarındaki bağlantıların bulunduğu bir network oluşturulmuştur (Şekil 3.13.).

Import> GPA Module> Export

Import> GPA Module> Warper

Import> GPA Module> PCA> Export

Import> GPA Module> PCA> Graph Plotter

Import> GPA Module> PCA> 3D Plotter

Import> GPA Module> PCA> Graph Plotter> Warper> 3D Viewer

‘Import’ üzerine tıklanarak .ltb formatında kaydedilmiş olan tüm örneklem üzerinde curve, landmark ve semilandmarkların yer aldığı dosya ve .obj formatında referans görüntü seçilmiştir.

İlgili temel bileşen ekseninde kulakta görülen deformasyonu görselleştirebilmek için ‘Warper’ işlemi kullanılmıştır.

da yüzey üzerine yerleştirilir ve konumları geometrik homolog olarak değerlendirilir [102]. Bu nedenle, semilandmarkların yerleştirilmesi için öncelikle bir referans birey seçilmelidir. Bu referans birey üzerinden semilandmarklar örneklemdaki diğer bireylere aktarılabilir.

Semilandmarklar, İnce Tabaka Analizi (TPS) fonksiyonundan temel alır ve örnekteki landmark konfigürasyonuna bağlı olarak geometrik olarak doğru konuma getirilir. Bu işlem kaydırma (sliding) olarak tanımlanır. Kaydırma işlemi, farklı serbestlik dereceleri içermektedir:

1-Curve üzerindeki semilandmarklar 1 serbestlik derecesine sahiptir.

2-Yüzeydeki semilandmarklar 2 serbestlik derecesine sahiptir.

3- 'Eksik' olarak tanımlanan semilandmarklar 3 serbestlik derecesine sahiptir [114].

Örneklerin tümüne landmark ve semilandmark yerleştirildikten sonra, kordinatları Procrustes süperimpozisyonu için kullanılır. Bu işlemle beraber, referans(template) yerine sonuçta elde edilen ortalama konfigürasyon geçer. Sonrasında tüm örnekler ortalamaya göre tekrar kaydırılır. Buradan elde edilen sonuçlar ileriki şekil ve biçim analizi için kullanılabilir.

Templand 2 tip dosya formatı kullanır, biri form dosyası (.frm) diğeri ise tableau dosyası (.ltb).

Form dosyası (.frm), bir örnek içerir. Bu dosyada yüzey, ilişkili landmark ve semilandmarklar ile landmarkların konumlarına dair diğer bilgiler (örneğin; simetri) bulunur. Her bir form dosyası (.frm) tüm landmark ve semilandmarkların depolanması ya da landmarkların yerleştirilmesi işleminde ara basamak olarak düşünülebilir (Çizelge 3.1.).

Tableau dosyası (.ltb), örneklemin bilgisini içerir (Çizelge 3.1.). Form dosyalarının ardışık olarak birleştirilmesi ile tüm örneklerin landmark konfigürasyonu tek seferde çıktı olarak alınabilmesini sağlar.

Çizelge 3.1. Form dosyası (.frm) ve Tableau dosyası (.ltb) içerisinde yer alan dosyalar [114]

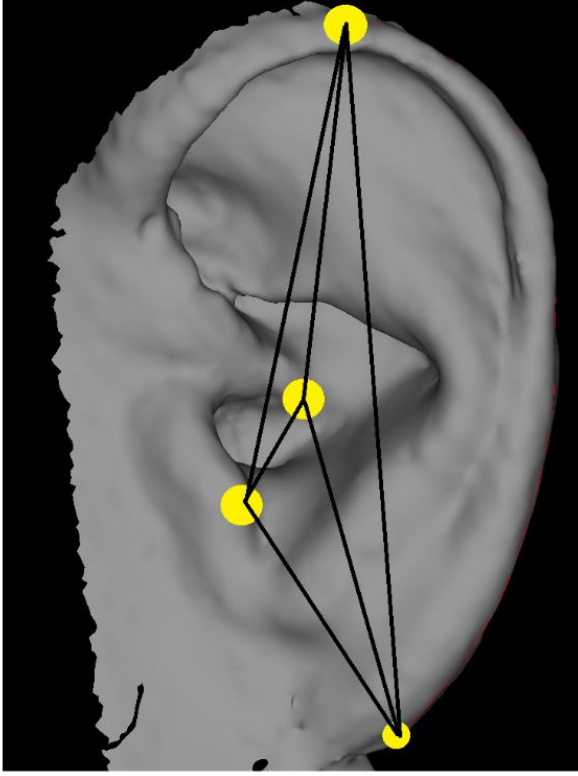
Form dosyası (.frm)	Tableau dosyası (.ltb)
Yüzey (.obj)	Template form (.frm)
Landmarklar	Hedef form 1 (.frm)
Semilandmarklar	Hedef form 2 (.frm)
Curve (.obj)	Hedef form 3(.frm)

Evan Toolbox yazılımında verilerin analizi VPN (Virtual Programming Networks) adı verilen yönlü grafikler kullanılarak yapılmaktadır. Kullanıcı tarafından dizayn edilen bu grafikler seçilen işlemlerden oluşan bir ağ sistemi olarak görülmektedir 'Import' işlemi ağ sistemine aktarılan veriler sisteme eklenen diğer işlemlerle sırayla analiz edilip sonuçların grafiksel gösterimine kadar götürülebilmektedir [116].

3.4. Öklid Uzaklık Matrisi Analizi (Euclidean Distance Matrix Analysis,EDMA)

34 gönüllü katılımcıdan (n=34, 23♀,11♂; yaş aralığı:19-31) alınan görüntüler ve 3 bireye ait 3'er replika görüntü ile birlikte toplam 43 adet sol kulak görüntüsüne ait landmark koordinat verileri .txt soyası olarak EVAN toolbox v.1.63 yazılımından dışa aktarılmıştır (export). Aynı şekil uzayında karşılaştırma yapmak amacıyla 2 boyutlu veriler, dışa aktarılan 3 boyutlu koordinat verilerinin bulunduğu .txt dosyasından z koordinat verilerinin silinmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen iki veri setinde 4 landmark arasında oluşan 6 landmarklar arası mesafe (Şekil 3.14.), WinEDMA v.1.0.1 yazılımında 'FORM' prosedüründe analiz edildi [117]. 'FORM' prosedüründe ham landmark koordinat verileri (pay ve payda da yer alan 2 veri seti olmak üzere), ilgili ortalama form matrislerindeki homolog her elemanın oranlanmayısıyla karşılaştırma yapılmakta, diğer bir adıyla biçim-fark analizi yapılmaktadır [118]. Tekrar örnekleme metodu olarak 'Nonparametrik bootstrap' seçilerek 1000 tekrarla gerçekleştirildi.

Normal dağılım elde etmek için yapılan bootstrap aşamasında 2 boyutlu veri seti (pay) referans alınmıştır.



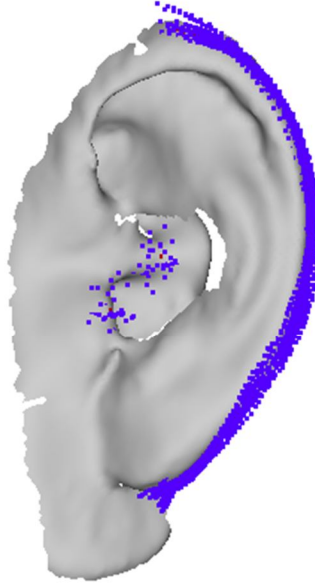
Şekil 3.14. 4 landmark ve 6 landmarklar arası mesafenin gösterimi

4.SONUÇLAR

4.1. BULGULAR

4.1.1. Temel Bileşen Analizi (PCA) Sonuçları

Temel Bileşen Analizi örneklemdaki bireylerin kulak morfolojilerindeki varyasyonun anlaşılması, tüm şekil değişiminin incelenmesi amacıyla yapılmıştır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Temel bileşen analizine dahil edilen örneklerin GPA sonucu

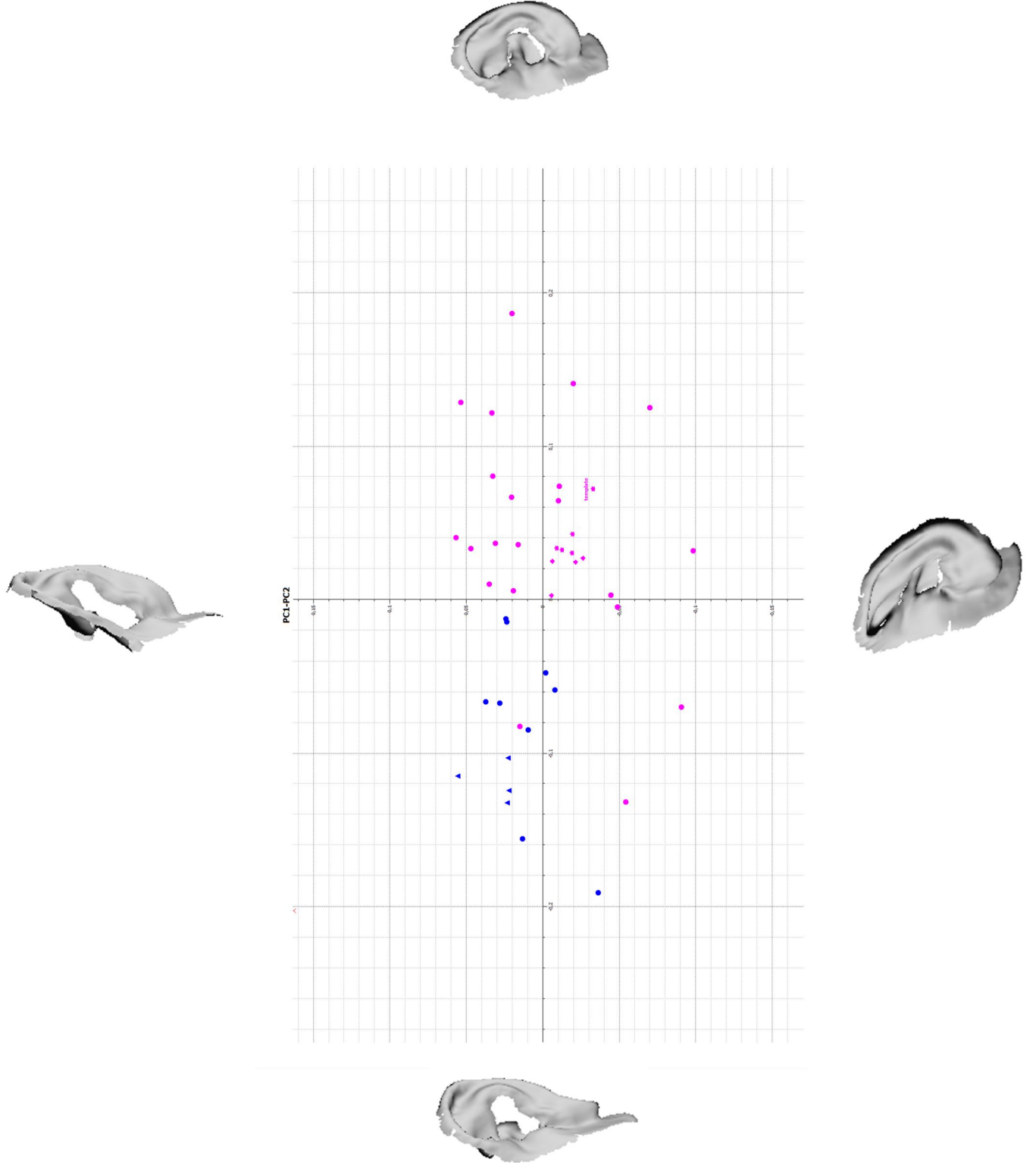
Buna göre, 1. temel bileşen kulak kepçesinin (auricula) boyu ile ilişkili olup varyasyonun %70' ini açıklamaktadır. 2. temel ögenin ise heliksin özellikle üst kısmında meydana gelen kıvrılmalarla ilişkili olduğu ve varyasyonun %13'ünü tanımladığı görülmektedir. Bununla birlikte, ilk üç temel öge birlikte varyasyonun %89'unu açıklamaktadır (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. PCA sonucunda elde edilen özdeğerler, varyans (%) ve kümülatif varyans (%) tablosu

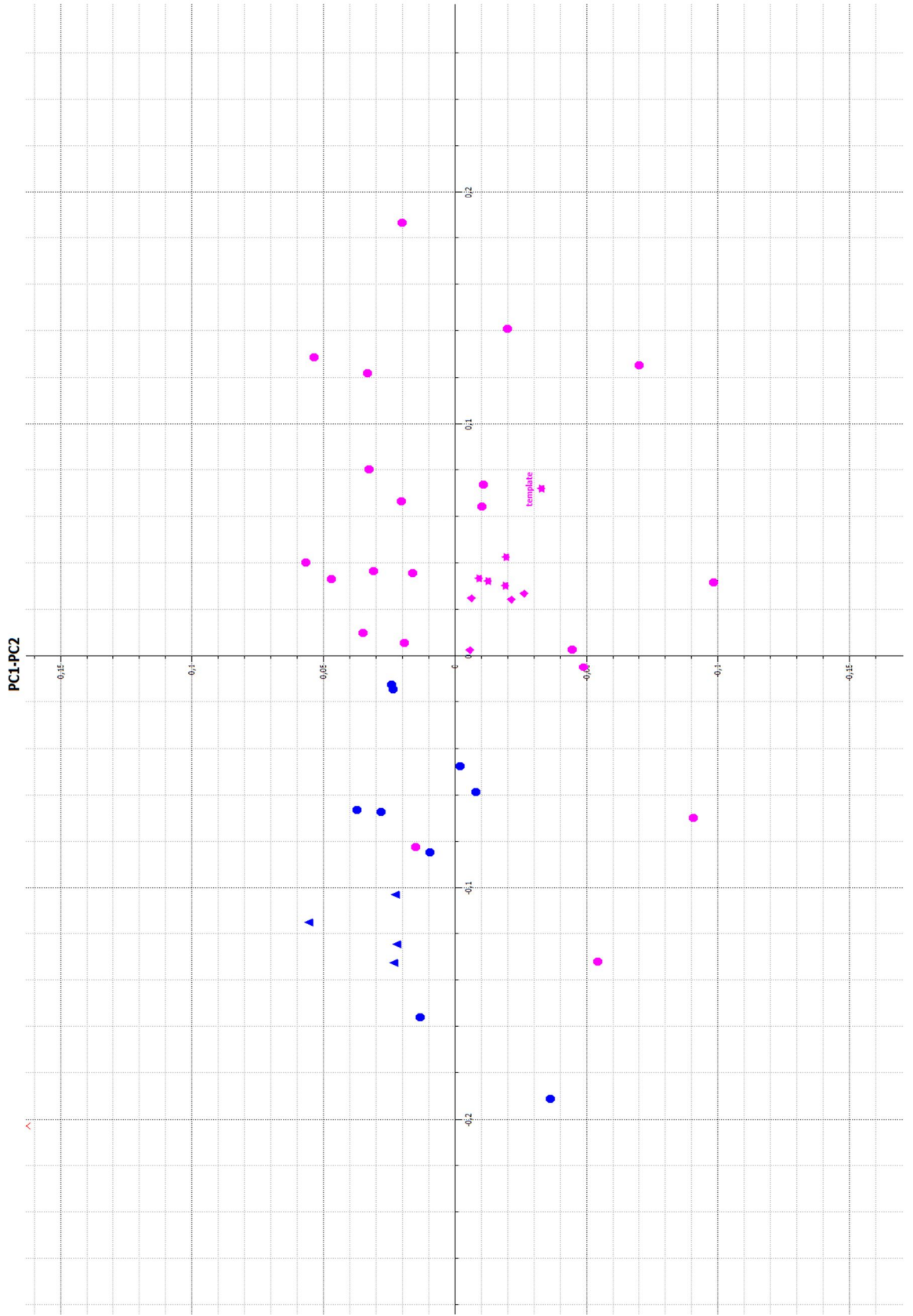
	Özdeğerler (Eigenvalues)	Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
PC 1	0.00737781	69.5917	69.5917
PC 2	0.00137841	13.0019	82.5936
PC 3	0.000664737	6.27017	88.8638
PC 4	0.000268939	2.53679	91.4006
PC 5	0.000232971	2.19752	93.5981
PC 6	0.000215544	2.03314	95.6312
PC 7	0.000102841	0.970059	96.6013

Analiz sonucunda, örneklemdaki her bir birey birbirini dik kesen doğrusal ve korrelasyon göstermeyen eksenler üzerinde şekil farklılıklarına göre dağılım göstermiştir. Grafikteki her bir nokta bir bireye ait şekli temsil etmektedir (Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

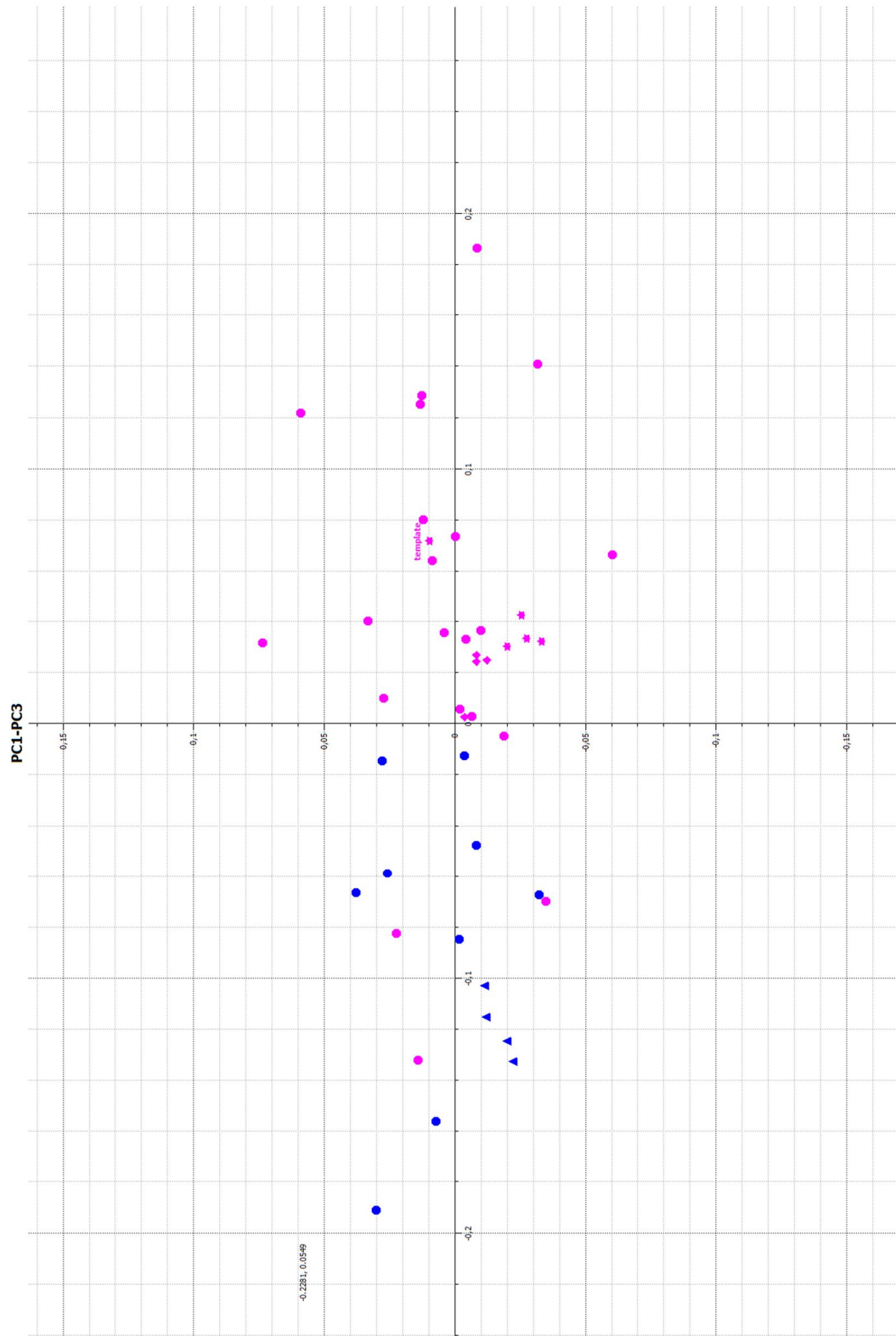
Görüntüler ölçeklendirilmeden analiz edilerek sadece şekil değişkenliği incelenmiştir. Böylelikle, şekil uzayında çizilen temel bileşenler grafiğinde eksenlerin dik kesiktiği nokta ortalama (konsensus) şekle göre alınmıştır. Varyasyonu en çok ifade eden ilk üç temel bileşene göre datanın dağılımı gösterildi.



Şekil 4.2. 1. ve 2. temel bileşenlerin grafik gösterimi ve eksenlerle ilişkili warped görüntüler. Grafikte yatay eksen PC1 dikey eksen PC2 yer almaktadır. Erkek bireyler mavi noktalarla kadın bireyler ise pembe noktalarla gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 1. ve 2. temel bileşenin grafik gösterimi. Yatay eksen PC1, dikey eksen PC2. Erkek bireyler mavi noktalarla kadın bireyler ise pembe noktalarla gösterilmiştir. 3 farklı bireye ait 4'er replika görüntü her birey için ayrı sembollerle gösterilmiştir.



Şekil 4.4. 1. ve 3. temel bileşenin grafik gösterimi. Yatay eksen PC1, dikey eksen PC3. Erkek bireyler mavi noktalarla kadın bireyler ise pembe noktalarla gösterilmiştir. 3 farklı bireye ait 4'er replika görüntü her birey için ayrı sembollerle gösterilmiştir.

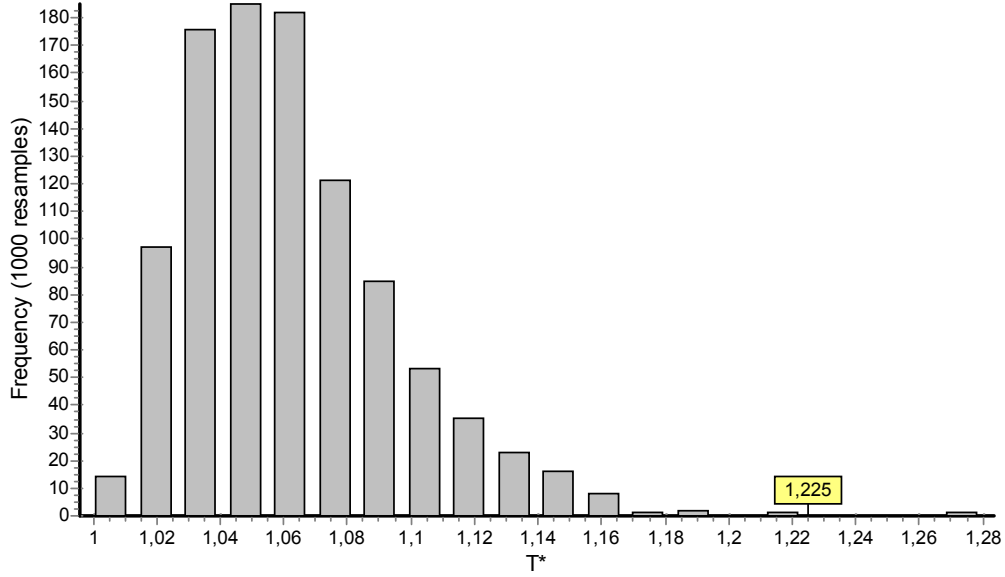
Temel bileşen analizi sonucu elde edilen grafiklere (Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.) göre kadın ve erkek katılımcılar arasında varyasyonun farklı trendlerde seyrettiği görülmektedir. 1. temel bileşene bakıldığında erkekler daha çok 1. temel bileşeni temsil eden x ekseninde negatif yönde dağılım gösterirken (büyüme yönünde farklılaşma) kadınlar daha çok x ekseninde pozitif yönde (küçülme yönünde farklılaşma) bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.2.).

4.1.2.Öklid Mesafe Matrisi Analizi (EDMA) Sonuçları

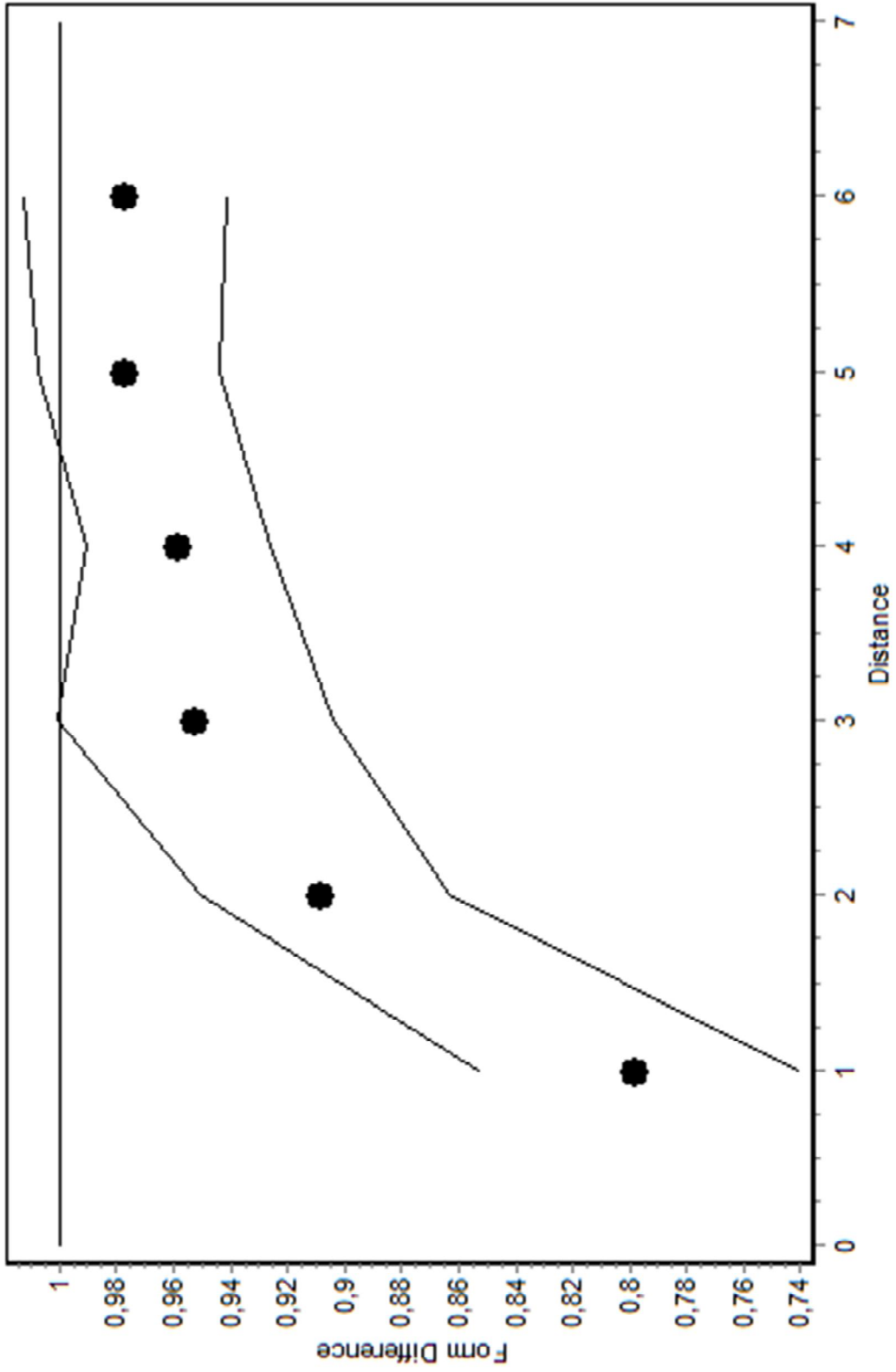
Öklid mesafe matrisi analizi WinEDMA v.1.0.1 programında 'FORM' prosedürü takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 2 boyutlu ham koordinat verilerinden ve 3 boyutlu ham koordinat verilerinden elde edilen form matrisleri karşılaştırılarak Form fark matrisi elde edilmiştir (Çizelge 4.1.). Analiz, 4 landmarktan elde edilen 6 landmarklar arası mesafe ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14.). Analiz sonucunda landmarklar arası mesafeler biçim fark mesafelerine bakılarak yorumlanmıştır. Şekil 4.6.'da gösterilen landmarklar arası mesafelerin biçim farkıyla ilişkisine göre, 1. ve 2. landmarklar arası mesafe görece en fazladır. Landmarkların konumunu hatırlatacak olursak (Şekil 3.9.), 1. landmark heliksin en yüksek noktasında bulunurken 2. landmark crus helikte yer almaktadır. Buna göre, conchal derinliği tanımlayan 2. landmarkın 3 boyutlu görüntünün 2 boyutlu görüntüden farkını ortaya koyduğu söylenebilir. Diğer landmarklar arası mesafeler arasındaki göreceli farkın 1'e yakın olması bu mesafelerin birbirlerine olan benzerliğinin yüksekliğine yani bu landmark noktalarının z koordinat bilgilerinin landmarkların öklid uzayındaki konumunu tanımlamakta anlamlı bir fark yaratmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Sonuçlar, 1000 bootstrap tekrarı sonucu ile %90 güven aralığında bulunmuştur (Şekil 4.5.).

Çizelge 4.1. Form fark matrisi (form difference matrix)

LD_1	0.000			
LD_2	0.960	0.000		
LD_3	0.983	0.802	0.000	
LD_4	0.982	0.916	0.965	0.000



Şekil 4.5. EDMA Bootstrap sonuçları grafik gösterimi. Dikey eksen Frekans (1000 bootstrap tekrarı) ve yatay eksen bu tekrarlar elde edilen T*(T dağılımının bootstrap hali) [97] dağılımı gösterilmektedir. T* için Standart sapma:1.225



Şekil 4.6. Öklid Mesafe Matrisi Analizi (EDMA) sonucu elde edilen biçim fark grafiği (2 boyutlu koordinat datasının 3 boyutlu koordinat datasına oranı)

4.2. TARTIŞMA

Son yıllarda geometrik morfometri çalışmalarında görülen en büyük değişim 3 boyutlu verilerin kullanılmasındaki hızlı artıştır [4]. 3B görüntünün alınmasında kullanılan donanımların (CT, lazer tarayıcılar, ışık tarayıcılar vb.) daha kolay ulaşılabilir olmasıyla birlikte gelinen bu durum biyolojik yapının morfolojisinin incelenmesine de yeni bir perspektif getirmiştir. Halen gerek temin etmede gerekse uygulamadaki kolaylığı ile 2 boyutlu görüntülerle çalışmak tercih edilmekle beraber incelenen 3 boyutlu yapının bilgisayar ortamında 2 boyutlu olarak görüntülenmesinin yapının orijinal halini ne kadar yansıttığı sorusu doğmuştur [106]. Bu çalışmalar öncelikle incelenen yapının sorunun cevabını etkilediğini ortaya koymuştur. Cardini [106], çene kemiğiyle yaptığı karşılaştırmada kafatası üzerinde yaptığına kıyasla 2B ve 3B görüntülerin birbirine daha benzer olduğu çıkarımına varmıştır. Bunun yanı sıra 2B ve 3B görüntülerin ayrı ayrı alınması gözlemcinin ve kullanılan donanımın hata oranını artırmasıyla taraflı sonuçlara götürmektedir. Bunun bir diğer nedeni de iki verinin farklı şekil uzayında alınmış olması ve dolayısıyla farklı Procrustes mesafelerinde analiz edilmiş olmaları olarak tartışılmıştır. Bu tartışmaları değerlendirerek, tez çalışmasında Öklid Mesafe Matrisi Analizi ile karşılaştırdığımız iki veri seti aynı şekil uzayında oluşturulmuştur. Veriler ilk olarak yapılandırılmış ışık tarayıcı olan Breuckmann triTOS-HE kullanılarak 3 boyutlu olarak alındıktan sonra bu görüntülere ait ham koordinat verilerinde yer alan z koordinatı silinmiş ve dosya 2 boyutlu veri seti olarak tanımlanarak yeniden kaydedilmiştir. Landmarklar arası doğrusal mesafelerden yararlanılarak yapılan analizin sonucunda 2B ve 3B landmark konfigürasyonu ile elde edilen ortalama formlar benzer bulunmuştur. Dikkati çeken sonuç conchal derinliği ifade eden crus heliksin conchaya birleştiği nokta olan landmark 1 ile heliksinin en yüksek noktası olan landmark 2 arasındaki mesafenin iki veri seti arasında en çok farklılığı göstermesidir (Şekil 4.6.). Bu sonuç, ortalama formların birbirine benzer olmasıyla birlikte adli olaylarda her bir bilginin kritik öneme sahip olabileceği göz önüne alınarak değerlendirildiğinde kulak üzerinde sadece 3 boyutlu görüntülerle yapılacak bir inceleme sonucunda crus heliks ile ilişkili şekil değişiminin saptanabildiğini ortaya koymuştur. 3B datanın toplanması için gerekli donanımlar eskisine kıyaslandığında daha ulaşılabilir olmasına karşın, 2B datanın edinildiği fotoğraf donanımları halen daha uygun fiyatlarla temin edilebilmektedir. Bu bağlamda, 2B görüntülerin birleştirilerek 3B görüntüler haline

getirilmesini sağlayan protokollerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Biyolojik yapının (şeklin) homolog noktalar ile tanımlanması ve tanımlanan bu noktaların karşılaştırılarak şekillerin, biçimlerin farklılıklarının incelenmesi için pek çok metot geliştirilmiştir; sonlu elementler analizi (Finite Element Analysis, FEA), fourier ve elliptik fourier analizi ve öklid mesafe matrisi analizi [97, 98, 100, 119]. EDMA, koordinat sisteminden bağımsız olarak homolog landmarklar arası mesafelerden yararlanarak iki şeklin ya da iki şekil setinin ölçeksiz olarak karşılaştırılmasını sağlar [97, 98, 119]. Karşılaştırma sonucunda tüm farklılıkla beraber farklılığın hangi bölgelerde olduğunu da ortaya koymaktadır. Bu özellikleri nedeniyle metot, 2B ve 3B görüntüleri temsil eden ham koordinat verilerinin analizinde tercih edilmiştir. Böylelikle, 3 boyutlu bir yapıya sahip olan insan dış kulağının bilgisayar ortamında 2B ya da 3B olarak tanımlanan şekillerinin arasındaki farklar incelenen landmarklar açısından ortaya konmuştur.

Tez kapsamında 3 boyutlu görüntüler Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı kullanılarak elde edilmiştir. Görüntülerin detaylı olarak alınması amacıyla tarayıcının kamera ve sensör modülü katılımcı sabit dururken farklı açılarda konumlandırılarak tarama yapılmış ve bu tarama sonuçları süperimpoze edilerek bütün kulak görüntüsü elde edilmiştir. Tek bir tarama 1 dakikadan az sürmesine rağmen görüntünün tamamının eldesi (normalizasyon aşamasına hazır hali) her katılımcı için ortalama 15 dakika sürmüştür. Buna rağmen kulağın kıvrımlı yapısı nedeniyle bazı bölgelerin görüntülenmesinde sorun yaşanmıştır. Sonraki aşamada görüntüler Rapidform XOR™ (INUS Technology, Inc, Korea) programında iyileştirilmiştir. Bu işlemde analiz için odaklanılacak bireysel karakteristik özellikleri korunarak görüntüdeki deformasyonlar her birey için aynı standart prosedüre göre giderilmiştir (Şekil 3.7.).

Görüntülerin alınmasının ve iyileştirilmesinin güvenilirliğinin ve tekrarlanabilirliğinin test edilmesi amacıyla 3 bireye ait 4 ayrı tarama sonucu elde edilen görüntüler de analize dahil edilmiştir. Bunun sonucunda, her bireye ait görüntü PCA grafiğinde çakışmamasına karşın diğer bireylere göre görece daha yakındır (Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.). Örneklem sayısının düşük olması ve bu nedenle grafiğin ölçeğinin küçük olması aynı bireye ait görüntüler arasındaki farkı görece büyük göstermiş ve bu nedenle sonuçlar çakışmamış ancak yakın kalmış olabilir. Bu değerlendirme ile gerekli

durumlarda adli vakalarda elde edilecek profil görüntüsünün, görüntünün orijinalliği korunarak iyileştirilebileceği ve bu sayede daha güvenilir çıkarımlara varılabileceği sonucuna varılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca gelişmiş güvenlik teknolojileri açısından farklı güvenlik sistemlerinin eklenmesine katkı yapacak ön sonuçlar elde edilmiştir.

Baron [120], referans alınarak ön çalışma aşamasında David Laser Scanner 2.4.3. (DAVID Vision Systems GmbH, Germany) kullanılarak görüntüler alınmıştır. Tarama sistemi bilgisayar yazılımı, laser ışık kaynağı ve bilgisayar girişi olan kameradan (webcam) oluşmaktadır. Taşıma, kurulum ve kullanım kolaylığı olan bir üründür. Ancak hareket hassasiyetinin çok yüksek olması katılımcılarla çalışırken önemli bir dezavantaj oluşturmıştır. Katılımcılar, tarama esnasında rahat ve sabit olmalarını kolaylaştıracak şekilde oturur pozisyonda kalmışlardır. Bunun sonucunda meydana gelen kamera ile katılımcı arasındaki mesafe görüntü kalitesinin önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Her iki durumda da görüntü kalitesindeki azalma görüntünün yüzeyinde dalgalanma oluşması şeklindedir. Bu da bireysel karakteristik özelliklerin doğru şekilde elde edilememesine sebep olacağından bu tez çalışmasında kullanılmak için uygun olmadığına kanaat getirilmiştir. Baron çalışmasında bunu göz önünde bulundurarak gönüllülerden diş kalıbı alınmasında kullanılan alginat maddesi ile kalıplar almış ve bu modelleri David Laser Scanner 2.4.3. (DAVID Vision Systems GmbH, Germany) ile tarayarak 3 boyutlu görüntülerini elde etmiştir.

Bu çalışmayı göz önünde bulundurarak David Laser Scanner 2.4.3. (DAVID Vision Systems GmbH, Germany) için nesnelerin 3 boyutlu görüntülerinin elde edilmesinde kullanışlı ve etkili olduğu söylenebilir.

Tez kapsamında, insan dış kulak morfolojisi girintili, çıkıntılı ve kıvrımlı yapısından dolayı doğrusal ya da açısal ölçümler yerine yapıyı bütün olarak incelemeyi sağlayan landmark tabanlı geometrik morfometrik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Özellikle biyometrik önemi göz önüne alındığında kulağın sahip olduğu kompleks geometrinin incelenmesi varyasyonun anlaşılması ve bu sayede biyometrik sistemlerin geliştirilebilmesi için sahip olduğu kritik önem değerlendirilmiştir.

Geometrik morfometrik analiz için belirlenen curve ve landmarkların konumu tarama sonucu elde edilen görüntülerin kalitesi göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Baron [120] çalışmasında, tragus ve antitagus bölgelerinde curve çizerek analizlerini gerçekleştirirken bu çalışmada Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann

GmbH,Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı ile bu bölgelerden istenilen görüntü alınamamıştır. Landmark 2 ve landmark 3 anatomik landmark noktaları olmalarına karşın, landmark 1 ve 4 dış kulak hattını tanımlamak amacıyla heliksin en yüksek noktasına ve kulak memesinin en alçak noktasına olmak üzere iki uç noktaya konmuştur (Şekil 3.9.). Süreklilik gösteren yapılar üzerinde yer alan bu landmark noktalarının yerlerinin belirlenmesi diğer landmarklara göre oldukça göreceli olmasına karşın GPA sonuçları örneklemin bu noktalarda diğer noktalara kıyasla daha fazla göstermediğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.1.).

Temel bileşen analizi data içerisindeki varyasyonu etkilemeden datanın boyutluluğunun azaltılarak (dimension reduction) küçültülmesini ve böylelikle çok değişkenli datanın analizini sağlar [1, 2]. Bu özelliği ile PCA, biyometrik sistemlerde ihtiyaç duyulan çok değişkenli datanın analizinde tercih edilen bir metottur. Bu çalışmada PCA, hem datanın boyutluluğun azaltılmasında hem de şekil değişkenlerinin belirlenmesi ve incelenmesinde kullanılmıştır. Geometrik morfometrinin sağladığı avantajlardan biri olan datanın sayısallaştırılarak görselleştirilmesi ve sonuçların grafiksel gösterimine olanak sağlaması ile PCA için elverişli data oluşturduğu görülmüştür.

Tez çalışmasında, heliksin yukarı doğru en çok çıkıntı yaptığı noktadan başlayarak kulak memesinin aşağı doğru en çok çıkıntı yaptığı nokta arasında çizilen curve ve üzerinde konumlandırılan semilandmarklar ile bireyler arasında yüksek farklılık gösterdiği bilinen dış kulak hattı sayısallaştırılmıştır [120]. Görüntüler ölçeklendirilmeden, biçim uzayında (Kendall's shape space) incelenerek sadece şekil değişkenlerine odaklanılmıştır.

Temel bileşen analizi ile örneklem içinde varyasyonun yaklaşık %70'ini dış kulağın uzunluğunun yani heliks ve kulak memesinin uzunluğunun açıkladığını görmekteyiz (Şekil 4.2.). Bununla birlikte, erkek bireylerde kulakların kadın bireylere göre daha uzun olduğu görülmektedir. Farklı populasyonlarda yapılan antropometrik çalışmalar da erkeklerde ortalama kulak uzunluğunun kadınlara kıyasla daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır [24, 121-123].

Baron [120], çalışmasında cinsiyet tayinini yapabilmek amacıyla 23 bireyden (11♂, 12♀) lazer tarayıcı olan David Laser Scanner 2.4.3. (DAVID Vision Systems GmbH, Germany) yardımıyla 3 boyutlu görüntüler alarak landmark tabanlı geometrik morfometrik yöntemlerle analiz etmiştir. Sonuçta, cinsiyetler arasında anlamlı bir fark

bulunamamış ve bunun düşük örneklem büyüklüğünden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür. Bu çalışmada örneklem büyüklüğü bu sonuçlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

3B lazer tarayıcılar veya yapılandırılmış ışık tarayıcılar uzun yıllardır anatomik yapıların incelenmesinde kullanılmaktadır [124-128]. Aung ve ark. [129], optik lazer tarayıcı kullanarak elde ettikleri 3B yüz görüntüleri üzerinde 14 landmark ile yüz üzerinde doğrudan yaptıkları 83 antropometrik ölçümü karşılaştırarak elde edilen ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak iki ölçüm arasında 1.0 mm'den az fark olduğu sonucuna varmışlardır. Kraniyofasiyal antropometrik ölçümlerde 3B görüntülerle çalışmaların avantaj ve dezavantajlarını ele aldıkları çalışmalarında Özsoy ve ark. [130], 3B görüntülerin 2B görüntülere kıyasla yüz üzerinden doğrudan yapılan ölçümlere daha yakın olduğunu ortaya koymuştur.

Antropometrik çalışmalardan farklı olarak biyometrik çalışmalarda 3B görüntülerin eldesinde range data kullanılmasının yanı sıra video sekanslarının ve 2B görüntülerin dönüştürülmesinden faydalanılmaktadır [16, 19, 55, 58, 61, 131, 132]. Bu yöntemlerle tez çalışmasında kullanılmış olan yapılandırılmış ışık tarayıcı gibi donanımlardan daha düşük maliyetli donanımlarla 3B görüntü elde edilmesinin yanı sıra adli vakalarda başvurulacak güvenlik kamerası görüntülerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması ile antropometri ve biyometrik alanındaki bu tartışmalar buluşturularak adli antropoloji ve biyolojik antropoloji alanlarına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

4.3. SONUÇ

Tez kapsamında bireyler arasında dış kulak morfolojisinin gösterdiği varyasyonun incelenmesi ile dış kulağın bilgisayar ortamında 2B ve 3B görüntülerle ifadesinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada, 33 gönüllü katılımcıdan (n=33, 22♀, 11♂) Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı kullanılarak 3 boyutlu sol dış kulak görüntüleri alındı. Görüntüler landmark tabanlı geometrik morfometrik yöntemlerle incelenmiştir. Bireyler arasında görülen varyasyonun incelenmesi amacıyla Temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır. Temel bileşen analizi sonucunda, dış kulağın boyuyla ilişkili olduğu belirlenen 1. temel bileşenin toplam varyasyonun yaklaşık %70' ini temsil ettiği ortaya konmuştur. Bununla birlikte, 2. temel bileşen heliksin üst kısmında görülen farklılıklar ile tragus ve heliks

arasındaki mesafeyi (kulak genişliği) ifade etmekte ve toplam varyasyonu açıklaması %13 oranındadır (Şekil 4.2.). Bu sonuçlara göre, ilk üç temel bileşen birlikte toplam varyasyonun %89'unu açıklamaktadır (Çizelge 4.1.). Bu bulgular göz önünde bulundurularak kulak morfolojisine dayalı kimlik doğrulama amacıyla geliştirelecek bir sistemde görüntünün analizinde kulak yapısının tamamı yerine az sayıda belirli morfolojik özelliklere odaklanılabileceği ortaya konmuştur.

Üç boyutlu bir yapıya sahip olan insan dış kulağını bilgisayar ortamına aktarmak için için 2B ya da 3B görüntüleme sistemlerinden yararlanılmaktadır. Tez çalışmasında, bu farklı görüntüleme sistemleri ile bilgisayar ortamında yeniden ifade edilen görüntülerin benzerlik ve farklılıklarına bakılmıştır. Bu amaçla, Breuckmann triTOS-HE (Breuckmann GmbH, Germany) yapılandırılmış ışık tarayıcı kullanılarak 3 boyutlu olarak elde edilen dış kulak görüntülerinin ham koordinat datalarından 2 boyutlu veri seti elde edilmiştir. Landmarklar arası mesafelere dayalı olarak iki veri setini karşılaştırmayı sağlayan Öklid mesafe matrisi analizi (EDMA) kullanıldı. Bu analizin sonucunda, crus heliksi tanımlayan landmarkın sahip olduğu derinlik bilgisinin (z koordinat) iki veri seti arasındaki farkı yarattığı ortaya konmuştur. Bununla birlikte heliks, tragus ve kulak memesinde yer alan diğer landmarkların 2B ve 3B ifadelerindeki fark oldukça düşüktür. Kimlik doğrulama ya da tespiti amacıyla yürütülen bir sistemde her bir bilginin kritik önem teşkil edebileceği dikkate alındığında bu karşılaştırma oldukça önemlidir. Özellikle son yıllarda, 3 boyutlu görüntülerin eldesi için geliştirilen tarama sistemlerinin daha portatif ve uygun fiyatlı hale getirildiğini görüyoruz. Buna karşın halen fotoğraf ve video gibi yöntemlerle elde edilen 2 boyutlu görüntülerin eldesi kadar avantajlı değildir. Bu nedenle, biyometrik sistemlerin kullanım kazanabilmesinde görüntü edinim sistemlerinin gelişmesi önemli bir yer tutmaktadır.

İnsan dış kulağının fiziksel biyometrik bir karakter olarak geniş kabul gördüğü günümüzde gelecek çalışmaların kulak biyometrisine dayalı sistemlerin genel kullanıma açık hale getirilmesine yönelik olması gerektiği görülmektedir. Bu bağlamda biyometrik tanıma ya da doğrulama yapacak donanımların geliştirilmesiyle birlikte kulağın bireylerde yaşlanmayla birlikte geçirdiği morfolojik değişimin incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Slice, D.E., *Modern morphometrics in physical anthropology*: Springer Science & Business Media, Vol. 6, **2005**.
- [2] Slice, D.E., Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36(1): p. 261-281, **2007**.
- [3] Adams, D.C., Rohlf F.J., and Slice D.E., Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 71(1): p. 5-16, **2004**.
- [4] Adams, D.C., Rohlf F.J., and Slice D.E., A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy; Vol 24, No 1: Virtual Morphology and Evolutionary Morphometrics in the new millenium*, **2013**.
- [5] Bookstein, F.L., *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*: Cambridge University Press, **1991**.
- [6] Guyomarc'h, P., Dutailly B., Charton J., Santos F., Desbarats P., and Coqueugniot H., Anthropological facial approximation in three dimensions (AFA3D): computer-assisted estimation of the facial morphology using geometric morphometrics. *Journal of Forensic Sciences*, 59(6): p. 1502-16, **2014**.
- [7] Perlaza, N.A., Sex determination from the frontal bone: a geometric morphometric study. *Journal of Forensic Sciences*, 59(5): p. 1330-2, **2014**.
- [8] Stephan, C.N., Amidan B., Trease H., Guyomarc'h P., Pulsipher T., and Byrd J.E., Morphometric comparison of clavicle outlines from 3D bone scans and 2D chest radiographs: a shortlisting tool to assist radiographic identification of human skeletons. *Journal of Forensic Sciences*, 59(2): p. 306-13, **2014**.
- [9] Stephan, C.N. and Guyomarc'h P., Quantification of perspective-induced shape change of clavicles at radiography and 3D scanning to assist human identification. *Journal of Forensic Sciences*, 59(2): p. 447-53, **2014**.
- [10] Abdel Fatah, E.E., Shirley N.R., Jantz R.L., and Mahfouz M.R., Improving Sex Estimation from Crania Using a Novel Three-dimensional Quantitative Method. *Journal of Forensic Sciences*, 59(3): p. 590-600, **2014**.
- [11] Albrizio, A., Biometry and anthropometry: from Galton to constitutional medicine. *Journal of Anthropological Sciences*, 85: p. 101-123, **2007**.
- [12] Purkinje, J., Herschel W., Bertillon A., and Galton F., The level of robustness, diversity and economical impact of biometric tech. *Technical Report, Visual Information Laboratory, Bristol*, **2012**.
- [13] Jain, A.K., Dass S.C., and Nandakumar K. *Can soft biometric traits assist user recognition?* in *Defense and Security*: International Society for Optics and Photonics, **2004**.
- [14] Bolle, R. and Pankanti S., *Biometrics, Personal Identification in Networked Society: Personal Identification in Networked Society*, ed. K.J. Anil: Kluwer Academic Publishers, **1998**.

- [15] Moreno, B., Sanchez A., and Velez J.F. *On the use of outer ear images for personal identification in security applications*. in *Proceedings IEEE 33rd Annual 1999 International Carnahan Conference on Security Technology*, **1999**.
- [16] Islam, S.S., Davies R., Bennamoun M., and Mian A., Efficient Detection and Recognition of 3D Ears. *International Journal of Computer Vision*, 95(1): p. 52-73, **2011**.
- [17] Jain, A.K. and Ross A., Multibiometric systems. *Communications of the ACM*, 47(1): p. 34-40, **2004**.
- [18] Ross, A.A., Nandakumar K., and Jain A.K., *Handbook of multibiometrics*: Springer Science & Business Media, Vol. 6, **2006**.
- [19] Abaza, A., Ross A., Hebert C., Harrison M.A.F., and Nixon M.S., A survey on ear biometrics. *ACM Computing Surveys*, 45(2), **2013**.
- [20] Arbab-Zavar, B. and Nixon M.S., On guided model-based analysis for ear biometrics. *Computer Vision and Image Understanding*, 115(4): p. 487-502, **2011**.
- [21] Junod, S., Pasquier J., and Champod C., The development of an automatic recognition system for earmark and earprint comparisons. *Forensic Science International*, 222(1-3): p. 170-8, **2012**.
- [22] Alexander, K.S., Stott D.J., Sivakumar B., and Kang N., A morphometric study of the human ear. *Journal of Plastic Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 64(1): p. 41-7, **2011**.
- [23] Azaria, R., Adler N., Silfen R., Regev D., and Hauben D.J., Morphometry of the adult human earlobe: a study of 547 subjects and clinical application. *Plastic Reconstructive Surgery*, 111(7): p. 2398-402; discussion 2403-4, **2003**.
- [24] Barut, C. and Aktunc E., Anthropometric measurements of the external ear in a group of Turkish primary school students. *Aesthetic Plastic Surgery*, 30(2): p. 255-9, **2006**.
- [25] Bozkir, M.G., Karakas P., Yavuz M., and Dere F., Morphometry of the external ear in our adult population. *Aesthetic Plastic Surgery*, 30(1): p. 81-5, **2006**.
- [26] Kalcioglu, M.T., Miman M.C., Toplu Y., Yakinci C., and Ozturan O., Anthropometric growth study of normal human auricle. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 67(11): p. 1169-1177, **2003**.
- [27] Koudelová, J., Dupej J., Brůžek J., Sedlak P., and Velemínská J., Modelling of facial growth in Czech children based on longitudinal data: Age progression from 12 to 15 years using 3D surface models. *Forensic Science International*, 248(0): p. 33-40, **2015**.
- [28] Meijerman, L., Van Der Lugt C., and Maat G.J.R., Cross-Sectional Anthropometric Study of the External Ear. *Journal of Forensic Sciences*, 52(2): p. 286-293, **2007**.
- [29] Niemitz, C., Nibbrig M., and Zacher V., Human ears grow throughout the entire lifetime according to complicated and sexually dimorphic patterns--conclusions from a cross-sectional analysis. *Anthropologie Anzieger*, 65(4): p. 391-413, **2007**.

- [30] Sforza, C., Grandi G., Binelli M., Tommasi D.G., Rosati R., and Ferrario V.F., Age- and sex-related changes in the normal human ear. *Forensic Science International*, 187(1-3): p. 110 e1-7, **2009**.
- [31] Zhang, D.D., *Automated Biometrics: Technologies and Systems*: Springer Publishing Company, Incorporated. 332, **2013**.
- [32] Burge, M. and Burger W., *Ear biometrics*, in *Biometrics*, Springer. p. 273-285, **1996**.
- [33] Hurley, D.J., Arbab-Zavar B., and Nixon M.S., *The Ear as a Biometric*, in *Handbook of Biometrics*, A. Jain, P. Flynn, and A. Ross, Editors, Springer US. p. 131-150, **2008**.
- [34] Jain, A., Bolle R., and Pankanti S., *Introduction to biometrics*, in *Biometrics*, Springer. p. 1-41, **1996**.
- [35] Jain, A., Hong L., and Pankanti S., Biometric identification. *Communications of the ACM*, 43(2): p. 90-98, **2000**.
- [36] Barkan, N.P. and Aytekin A.M., Systematical studies on the species of the subgenus *Bombus* (*Thoracobombus*) (Hymenoptera: Apidae, *Bombus* Latreille) in Turkey. *Zootaxa*, 3737: p. 167-83, **2013**.
- [37] Wappler, T., De Meulemeester T., Murat Aytekin A., Michez D., and Engel M.S., Geometric morphometric analysis of a new Miocene bumble bee from the Randeck Maar of southwestern Germany (Hymenoptera: Apidae). *Systematic Entomology*, 37(4): p. 784-792, **2012**.
- [38] Viscosi, V. and Cardini A., Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. *PLoS One*, 6(10): p. e25630, **2011**.
- [39] Burge, M. and Burger W. *Ear biometrics in computer vision*. in *Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on*, **2000**.
- [40] Burge, M. and Burger W. *Ear Biometrics for Machine Vision*. in *21th Workshop Austrian Association for Pattern Recognition*: Verlag R Oldenbourg, **1997**.
- [41] Abdel-Mottaleb, M. and Zhou J., *Human Ear Recognition from Face Profile Images*, in *Advances in Biometrics*, D. Zhang and A. Jain, Editors, Springer Berlin Heidelberg. p. 786-792, **2005**.
- [42] Arbab-Zavar, B. and Nixon M.S., *On shape-mediated enrolment in ear biometrics*, in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. p. 549-558, **2007**.
- [43] Kandgaonkar, T.V., Mente R.S., Shinde A.R., and Raut S.D., *Ear Biometrics: A Survey on Ear Image Databases and Techniques for Ear Detection and Recognition*. 2015, **2015**.
- [44] Kocaman, B., Kirci M., Gu, x, nes, x, O. E., Cakir Y., x, and zbudak O. *On ear biometrics*. in *EUROCON 2009, EUROCON '09. IEEE*, **2009**.
- [45] Mahoor, M.H., Cadavid S., and Abdel-Mottaleb M. *Multi-modal ear and face modeling and recognition*. in *Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on*, **2009**.

- [46] Mu, Z., Yuan L., Xu Z., Xi D., and Qi S., *Shape and Structural Feature Based Ear Recognition*, in *Advances in Biometric Person Authentication*, S. Li, et al., Editors, Springer Berlin Heidelberg. p. 663-670, **2005**.
- [47] Pflug, A. and Busch C., Ear biometrics: a survey of detection, feature extraction and recognition methods. *Biometrics, IET*, 1(2): p. 114-129, **2012**.
- [48] Sanaa, A., Gupta P., and Purkait R., Ear biometrics: A new approach. *Biometrics*, 1: p. 1 Introduction, **2007**.
- [49] Victor, B., Bowyer K., and Sarkar S. *An evaluation of face and ear biometrics*. in *Pattern Recognition, 2002. Proceedings. 16th International Conference on*, **2002**.
- [50] Yan, P. and Bowyer K., *Multi-biometrics 2D and 3D Ear Recognition*, in *Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication*, T. Kanade, A. Jain, and N. Ratha, Editors, Springer Berlin Heidelberg. p. 503-512, **2005**.
- [51] Yan, P., Bowyer K.W., and Chang K.J. *ICP-based approaches for 3D ear recognition*. **2005**.
- [52] Kuş, M., *Temel Bileşen Analizi ve Fisher Doğrusal Ayırıcılar Yöntemleri ile Kulak Biyometrisi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul, **2013**.
- [53] Kaçar, Ü., *ARM Tabanlı Gömülü Sistemlerde Kulak Tanıma Sisteminin Gerçeklenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi: İstanbul, **2013**.
- [54] Karadaş, K., *Biyometrik Sistem ile İnsan Profil Resmi Üzerinden Kulak Bölgesinin Tespiti ve Cinsiyet Belirleme*, Beykent Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü: Ankara, **2014**.
- [55] Cadavid, S. and Abdel-Mottaleb M. *Human Identification based on 3D Ear Models*. in *Biometrics: Theory, Applications, and Systems, 2007. BTAS 2007. First IEEE International Conference on*, **2007**.
- [56] Fahmy, G., El-Sherbeeney A., Mandala S., Abdel-Mottaleb M., and Ammar H. *The effect of lighting direction/condition on the performance of face recognition algorithms*. in *Defense and Security Symposium: International Society for Optics and Photonics*, **2006**.
- [57] Laboratory, E.R., *USTB database*, University of Science and Technology Beijing **2005**.
- [58] Chen, H. and Bhanu B., Human ear recognition in 3D. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 29(4): p. 718-737, **2007**.
- [59] Laboratory, C.V.R., *CVRL Data Sets*, Department of Computer Science and Engineering University of Norte Dame, **2005**.
- [60] Laboratory, B.R., *IIT Delhi Ear Image Database version 1.0*, Indian Institute of Technology Delhi, **2006**.
- [61] Chen, H. and Bhanu B. *Contour matching for 3D ear recognition*. in *Application of Computer Vision, 2005. WACV/MOTIONS'05 Volume 1. Seventh IEEE Workshops on: IEEE*, **2005**.
- [62] Kuru, P.D.M., *Omurgalı Hayvanlar*. 9. baskı ed, Ankara: Palme Yayıncılık, **2009**.
- [63] Ozeki, H., Development of the auricle and external auditory canal. *Adv Otorhinolaryngol*, 75: p. 30-5, **2014**.

- [64] Sancak, B., , and Cumhur M., *Fonksiyonel anatomi : Baş-boyun ve iç organlar*. 5. basım ed, Ankara: ODTÜ Yayıncılık, **2010**.
- [65] Armin, B.B., Ruder R.O., and Azizadeh B., Partial Auricular Reconstruction. *Seminars in Plastic Surgery*, 25(4): p. 249-256, **2011**.
- [66] Sobotta, J., Paulsen F., and Waschke J., *Sobotta atlas of human anatomy: Head, Neck and Neuroanatomy*. Fifteenth ed. ed, München: Elsevier/Urban & Fischer, **2011**.
- [67] Norton, N.S., *Netter'in dış hekimleri için baş ve boyun anatomisi*. xvii ed, Ankara: Güneş Tıp, **2013**.
- [68] Boztaş, M.H., Güney E., Arisoy Ö., Sercan M., and Ensari H., Severity of minor physical anomalies as a possible trait marker in schizophrenia. *Noropsikiyatri Arsivi*, 49(3): p. 188-191, **2012**.
- [69] Tényi, T., Trixler M., and Csábi G., Minor physical anomalies in affective disorders. A review of the literature. *Journal of Affective Disorders*, 112(1–3): p. 11-18, **2009**.
- [70] Sforza, C., Dellavia C., Tartaglia G.M., and Ferrario V.F., Morphometry of the ear in Down's syndrome subjects. A three-dimensional computerized assessment. *International Journal Oral Maxillofacial Surgery*, 34(5): p. 480-6, **2005**.
- [71] Byrd, H.S., Langevin C.J., and Ghidoni L.A., Ear molding in newborn infants with auricular deformities. *Plast Reconstr Surg*, 126(4): p. 1191-200, **2010**.
- [72] Bartel-Friedrich, S. and Wulke C., Classification and diagnosis of ear malformations. *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery*, 6: p. Doc05, **2007**.
- [73] Tunalı, S., *Erişkin Türk Bireylerde Auricula Morfometrisi ve Varyasyonları*, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü: Ankara, **2005**.
- [74] Moore, K.L., Persaud T.V.N., and Torchia M.G., The developing human : clinically oriented embryology. **2013**.
- [75] Roy, S. and Smith L.P., A novel technique for treating auricular hematomas in mixed martial artists (ultimate fighters). *American Journal of Otolaryngology*, 31(1): p. 21-24, **2010**.
- [76] Mudry, A. and Pirsig W., Auricular hematoma and cauliflower deformation of the ear: From art to medicine. *Otology and Neurotology*, 30(1): p. 116-120, **2009**.
- [77] Hanif, J., Frosh A., Marnane C., Ghufloor K., Rivron R., and Sandhu G., Lesson of the week: "high" ear piercing and the rising incidence of perichondritis of the pinna. *BMJ: British Medical Journal*, 322(7291): p. 906, **2001**.
- [78] Coleman, M.N. and Ross C.F., Primate auditory diversity and its influence on hearing performance. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 281(1): p. 1123-1137, **2004**.
- [79] Brucker, M.J., Patel J., and Sullivan P.K., A morphometric study of the external ear: age- and sex-related differences. *Plastic Reconstructive Surgery*, 112(2): p. 647-52; discussion 653-4, **2003**.

- [80] Bookstein, F.L., Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. *Medical Image Analysis*, 1(3): p. 225-243, **1991**.
- [81] Dryden, I. and Mardia K., Multivariate shape analysis. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A*: p. 460-480, **1993**.
- [82] Elewa, A.M., *Morphometrics for nonmorphometricians*: Springer, **2010**.
- [83] Lawing, A.M. and Polly P.D., Geometric morphometrics: recent applications to the study of evolution and development. *Journal of Zoology*, 280(1): p. 1-7, **2010**.
- [84] Bookstein, F., Schaefer K., Mitteroecker P., Gunz P., and Seidler H. *The geometry of anthropometrics: A new typology of landmarks*. in *American Journal of Physical Anthropology*, **2004**.
- [85] Katina, S., Bookstein F., Gunz P., and Schaefer K. *Was it worth digitizing all those curves? A worked example from craniofacial primatology*. in *American Journal of Physical Anthropology*, **2007**.
- [86] Gunz, P. and Mitteroecker P., *Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces*. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, Vol. 24, **2013**.
- [87] Gunz, P., Mitteroecker P., and Bookstein F.L., *Semilandmarks in three dimensions*, in *Modern morphometrics in physical anthropology*, Springer. p. 73-98, **2005**.
- [88] Polly, P.D., "Procrustes, PCA and morphospace", Department of Geological Sciences Indiana University Available from: <http://www.indiana.edu/~g562/>, (accessed **5/06/2015 Access, 2012**).
- [89] Rohlf, F.J., Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. *Journal of Classification*, 16(2): p. 197-223, **1999**.
- [90] Rohlf, F.J. and Bookstein F.L., Computing the uniform component of shape variation. *Systematic Biology*, 52(1): p. 66-69, **2003**.
- [91] "Procrustes superimposition", Virtual Anthropology University of Vienna, Available from: <http://www.virtual-anthropology.com/virtual-anthropology/geometric-morphometrics/procrustes-superimposition>, (accessed **5/06/2015 Access, 2015**).
- [92] Ocakoğlu, G., Turan Özdemir S., Ercan I., and Etöz A., The shape of the external human ear: A geometric morphometric study. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 33(1): p. 184-190, **2013**.
- [93] Turan Ozdemir, S., Ercan I., Ozkaya G., Simsek Cankur N., and Selim Erdal Y., Geometric morphometric study and cluster analysis of late Byzantine and modern human crania. *Collegium antropologicum*, 34(2): p. 493-499, **2010**.
- [94] Dryden, I.L. and Mardia K.V., *Statistical shape analysis*: John Wiley & Sons, Chichester, **1998**.
- [95] Polly, P.D., "Geometric Morphometrics: First analysis", Department of Geological Sciences Indiana University Available from: <http://www.indiana.edu/~g562/>, (accessed **5/06/2015 Access, 2012**).
- [96] Jolliffe, I., *Principal component analysis*: Wiley Online Library, **2002**.

- [97] Lele, S. and Richtsmeier J.T., Euclidean distance matrix analysis: a coordinate-free approach for comparing biological shapes using landmark data. *American Journal of Physical Anthropology*, 86(3): p. 415-27, **1991**.
- [98] Lele, S., Euclidean Distance Matrix Analysis (EDMA): Estimation of mean form and mean form difference. *Mathematical Geology*, 25(5): p. 573-602, **1993**.
- [99] Cole III, T.M. and Richtsmeier J.T., A simple method for visualization of influential landmarks when using Euclidean distance matrix analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 107(3): p. 273-283, **1998**.
- [100] Richtsmeier, J.T., DeLeon V.B., and Lele S.R., The promise of geometric morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology*, Suppl 35: p. 63-91, **2002**.
- [101] Banissi, E., Forsell C., Johansson J., and Marchese F.T., *Information Visualisation: Techniques, Usability and Evaluation*: Cambridge Scholars Publishing, **2014**.
- [102] Weber, G.W., Virtual Anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 156: p. 22-42, **2015**.
- [103] Weber, G.W. and Bookstein F.L., *Virtual anthropology : a guide to a new interdisciplinary field*, Wien; London: Springer, **2011**.
- [104] Özkök, A., "Veri görselleştirme", Available from: <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~ozkok/kriminal/#0>, (accessed **5/06/2015 Access, 2014**).
- [105] Zollikofer, C.P. and de León M.S.P., *Virtual reconstruction: a primer in computer-assisted paleontology and biomedicine*: Wiley-Interscience, **2005**.
- [106] Cardini, A., Missing the third dimension in geometric morphometrics: how to assess if 2D images really are a good proxy for 3D structures? *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 25(2), **2014**.
- [107] McPherron, S.P., Gernat T., and Hublin J.-J., Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds. *Journal of Archaeological Science*, 36(1): p. 19-24, **2009**.
- [108] Kuş, A., Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications. *Sensors (Basel)*, 9(3): p. 1967-79, **2009**.
- [109] Niven, L., Steele T.E., Finke H., Gernat T., and Hublin J.-J., Virtual skeletons: using a structured light scanner to create a 3D faunal comparative collection. *Journal of Archaeological Science*, 36(9): p. 2018-2023, **2009**.
- [110] Wachowiak, M.J. and Karas B.V., 3d Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications. *Journal of the American Institute for Conservation*, 48(2): p. 141-158, **2009**.
- [111] Akca, D., Grün A., Breuckmann B., Lahanier C., Akca D., Akca D., Grün A., and Grün A., *High definition 3D-scanning of arts objects and paintings*: Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, **2007**.
- [112] E-Newsletter, d.S., "The Importance of Calibrating a 3D Scanner for Accuracy", Available from: <http://www.3d3solutions.com/newsletter/june2012.php>, (accessed **5/06/2015 Access, 2012**).

- [113] Mitteroecker, P. and Gunz P., Advances in Geometric Morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2): p. 235-247, **2009**.
- [114] O'Higgins, P., Weber G.W., Baverstock H., Proa M., Dunn J., and Fornai C., *Manuals for the EVAN Toolbox No.1*, European Virtual Anthropology Network - EVAN (www.evan.at) and the EVAN-Society., **2012**.
- [115] Phillips, R., O'Higgins P., Bookstein F., Phillips R., O'Higgins P., and Bookstein F., *EVAN (European Virtual Anthropology Network) toolbox*, European Virtual Anthropology Network - EVAN (www.evan.at) and the EVAN-Society., **2010**.
- [116] Weber, G.W. and Bookstein F.L., *Manuals for the EVAN Toolbox No.2*, European Virtual Anthropology Network - EVAN (www.evan.at) and the EVAN-Society, **2012**.
- [117] Cole, T., *WinEDMA: Software for Euclidean distance matrix analysis. Version 1.0. 1*, Kansas City: Univeristy of Missouri-Kansas City School of Medicine, **2002**.
- [118] Cole, T.M., *WinEDMA User's Guide Version 1.0.1 Beta*, Kansas City: Univeristy of Missouri-Kansas City School of Medicine, **2002**.
- [119] Lele, S.R. and Richtsmeier J.T., *An invariant approach to statistical analysis of shapes*: CRC Press, **2001**.
- [120] Baron, K., *Morphometric shape analysis of the human ear*, University of Vienna: Viyana, **2011**.
- [121] Murgod, V., Angadi P., Hallikerimath S., and Kale A., Anthropometric study of the external ear and its applicability in sex identification: assessed in an Indian sample. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 45(4): p. 431-444, **2013**.
- [122] Alexander, K.S., Stott D.J., Sivakumar B., and Kang N., A morphometric study of the human ear. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 64(1): p. 41-47, **2011**.
- [123] Deopa, D., Thakkar H.K., Prakash C., Niranjana R., and Barua M.P., Anthropometric measurements of external ear of medical students in Uttarakhand Region. *Journal of the Anatomical Society of India*, 62(1): p. 79-83, **2013**.
- [124] McCance, A., Moss J., Wright W., Linney A., and James D., A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 30(4): p. 221-232, **1992**.
- [125] Ayoub, A., Wray D., Moos K., Siebert P., Jin J., Niblett T., Urquhart C., and Mowforth R., Three-dimensional modeling for modern diagnosis and planning in maxillofacial surgery. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*, 11(3): p. 225-233, **1995**.
- [126] Moss, J., Linney A., Grindrod S., and Mosse C., A laser scanning system for the measurement of facial surface morphology. *Optics and Lasers in Engineering*, 10(3): p. 179-190, **1989**.
- [127] Bhatia, G., Vannier M.W., Smith K.E., Commean P.K., Riolo J., and Young V.L., Quantification of facial surface change using a structured light scanner. *Plastic Reconstructive Surgery*, 94(6): p. 768-774, **1994**.

- [128] Coward, T., Watson R., and Scott B., Laser scanning for the identification of repeatable landmarks of the ears and face. *British Journal of Plastic Surgery*, 50(5): p. 308-314, **1997**.
- [129] Aung, S., Ngim R., and Lee S., Evaluation of the laser scanner as a surface measuring tool and its accuracy compared with direct facial anthropometric measurements. *British Journal of Plastic Surgery*, 48(8): p. 551-558, **1995**.
- [130] Ozsoy, U., Demirel B.M., Yildirim F.B., Tosun O., and Sarikcioglu L., Method selection in craniofacial measurements: advantages and disadvantages of 3D digitization method. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 37(5): p. 285-290, **2009**.
- [131] Cadavid, S. and Abdel-Mottaleb M., 3-D ear modeling and recognition from video sequences using shape from shading. *Information Forensics and Security, IEEE Transactions on*, 3(4): p. 709-718, **2008**.
- [132] Hui, C. and Bhanu B. *Human ear detection from side face range images*. in *Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on*, **2004**.

Ek 1. İzin formu



Einverständniserklärung/Consent form

Teilnehmernr.:

Participant ID:

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass der Oberflächenscan meiner Ohren unter Wahrung der Anonymität von Özgül Yahyaoğlu, Hacettepe University, für wissenschaftliche Zwecke verwendet wird.

I agree to have my ear surface scans used for scientific purposes by Özgül Yahyaoğlu, Hacettepe University. I was informed that anonymity is guaranteed.
I understand that my participation is voluntary and that I am free to withdraw at any time, without giving any reason.

Name des Teilnehmers
Name of participant

Datum
Date

Unterschrift
Signature

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Özgül Yahyaoğlu

Doğum Yeri: İstanbul

Medeni Hali: Bekar

E-posta: ozgulyahyaoglu@hacettepe.edu.tr

Adresi: Gençlik mah. 1326. sok. Gökkaya apt. No:40/b Muratpaşa/ANTALYA

Eğitim

Lise: Metin Nuran Çakallıklı Anadolu Lisesi

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü, Uygulamalı Biyoloji Anabilim Dalı

Doktora: -

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce, İleri Seviye

İş Deneyimi

-

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

‘Forensic Applications of Geometric Morphometrics: Understanding Human Ear Variation’ (Sözlü Sunum), International Congress of Anthropological Sciences 2015