



T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ ZELANDA TAVŞANI CRANIUM'UNUN GEOMETRİK MORFOMETRİK ANALİZİ

Havali AKKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VETERİNER ANATOMİ ANABİLİM DALI

Danışman

Doç. Dr. İftar GÜRBÜZ

BURDUR-2023

T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ ZELANDA TAVŞANI CRANIUM'UNUN GEOMETRİK
MORFOMETRİK ANALİZİ**

Havali AKKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VETERİNER ANATOMİ ANABİLİM DALI

Danışman

Doç. Dr. İftar GÜRBÜZ

Bu Araştırma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinatörlüğü tarafından “0788-YL-21” proje numarası ile desteklenmiştir.

BURDUR-2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez dönemim süresince bana her konuda destek veren, yardım ve tavsiyelerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. İftar GÜRBÜZ'e göstermiş olduğu destek ve ilgi için en içten duygularıyla teşekkür ederim. Bu süreçte kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak yardımını benden esirgemeyen Doç. Dr. Yasin DEMİRASLAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince göstermiş oldukları ilgi ve desteklerinden dolayı Burdur Mehmet Akif Üniversitesi Veteriner Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı'nda Anabilim Dalı Başkanı olarak görev yapmakta olan Sayın Prof. Dr. Özcan ÖZGEL hocam başta olmak üzere bölüm hocalarımızdan Prof. Dr. Emine KARAKURUM'a, Doç. Dr. Ömer Gürkan DİLEK'e teşekkür ederim. Tez sürecinde yardımlarını hiç esirgemeyen ve hep yanımda olan değerli arkadaşım Sultan KAYA'ya çok teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında, her daim yanımda olan ve tez sürecinde de yardımını hiç esirgemeyen eşim Mustafa AKKAYA'ya, kızım Ahsen AKKAYA'ya oğlum Sebahattin Mert AKKAYA'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK	i
KABUL ve ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
ETİK BEYAN	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER	vii
TABLolar	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Morfometrinin Tarihçesi	2
2.1.1. Geleneksel Morfometri	2
2.1.2. Geometrik Morfometri	2
2.2. Geometrik Morfometri Yöntemleri	3
2.2.1. Landmark Sistemi (LM)	3
2.2.2. Thin-Plate Spline (TPS)	5
2.2.3. Generalized Procrustes Analizi (GPA)	6
2.2.4. Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis, PCA)	7
2.2.5. MorphoJ	8
2.2.6. Göreceli Çarpıtma Analizi (Relative Warp Analysis, RWA)	8
2.2.7. Tek Yönlü Varyans Analizi (One-way ANOVA)	9
2.3. Yeni Zelanda Tavşanı	9
2.4. Tavşanda Kafatası Anatomisi	9
2.4.1. Kafatasının arka bölümü (<i>Neurocranium</i>)	10
2.4.1.1. <i>Occipital Segment</i>	10
2.4.1.1.1. <i>Squama Occipitalis</i>	10
2.4.1.1.2. <i>Pars Lateralis</i>	10
2.4.1.1.3. <i>Pars Basilaris</i>	11
2.4.1.2. <i>Temporoparietal Segment</i>	11
2.4.1.2.1. <i>Os Basisphenoidale</i>	11
2.4.1.2.2. <i>Ala Basisphenoidale</i>	11
2.4.1.2.3. <i>Os Temporale</i>	12
2.4.1.2.4. <i>Os Parietale</i>	12
2.4.1.3. <i>Frontal Segment</i>	12
2.4.1.3.1. <i>Os Presphenoidale</i>	12
2.4.1.3.2. <i>Ala Presphenoidale</i>	13
2.4.1.3.3. <i>Os Frontale</i>	13
2.4.2. Facial Bölge (<i>Viscerocranium</i>)	14
2.4.2.1. <i>Os Nasale</i>	14
2.4.2.2. <i>Os Incisivum</i>	14
2.4.2.3. <i>Os Maxilla</i>	15
2.4.2.3.1. <i>Os Palatinum</i>	15
2.4.2.3.2. <i>Os Pterygoideum</i>	16

2.4.2.3.3. <i>Os Zygomaticum</i>	16
2.4.2.4. <i>Os Vomer</i>	16
3. GEREÇ ve YÖNTEM	22
3.1. Hayvan Materyali	22
3.2. Geometrik Morfometri Analiz Yöntemi	22
3.3. Kafatası Üzerinde Belirlenen Landmarklar	23
3.3.1. Dorsal	23
3.3.2. Ventral	24
3.3.3. Lateral	25
3.3.4. <i>Mandibula</i>	25
4. BULGULAR	27
4.1. Dorsal	27
4.2. Ventral	31
4.3. Lateral	36
4.4. <i>Mandibula</i>	41
5. TARTIŞMA	47
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLER

Şekil 2.1.	Üç tip landmarkın gösterimi	5
Şekil 2.2.	Thin-Plate Spline kullanarak koordinat dönüşümün örneği	5
Şekil 2.3.	Procrustes analiz aşamaları	6
Şekil 2.4.	Procrustes Geometrisi	7
Şekil 2.5.	<i>N. Bebbianae</i> üzerinde, generalized procrustes analizi	7
Şekil 2.6.	Tavşan <i>cranium</i> 'unda dorsal görünüm	18
Şekil 2.7.	Tavşan <i>cranium</i> 'unda ventral görünüm	19
Şekil 2.8.	Tavşan <i>cranium</i> 'unda lateral görünüm	20
Şekil 2.9.	Tavşan <i>mandibula</i> 'sında lateral (A) ve median (B) görünüm	20
Şekil 3.1.	Dişi Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü görüntülerinde belirlenen landmarklar	23
Şekil 3.2.	Dişi Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntüleri üzerinde belirlenen landmarklar	24
Şekil 3.3.	Erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral yönlü görüntülerinde belirlenen landmarklar	25
Şekil 3.4.	Dişi Yeni Zelanda Tavşanında <i>mandibula</i> 'nın lateral görüntüleri üzerinde belirlenen landmarklar	26
Şekil 4.1.	Kafatasının dorsal yönlü görüntülerinin birinci temel bileşene göre grafik üzerindeki dağılımı	28
Şekil 4.2.	Kafatasının dorsal yönlü görüntülerinde hiyerarşik yakınlığın grafiksel gösterimi	28
Şekil 4.3.	Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü konsensüs grafiği	29
Şekil 4.4.	MorphoJ programında dorsal yönden birinci temel bileşene göre elde edilen lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)	30
Şekil 4.5.	Kafatasının ventral yönlü görüntülerinin PCA1'e göre grafiksel dağılımı	32
Şekil 4.6.	Kafatasının ventral yönlü görüntülerinde hiyerarşik yakınlığın grafiksel gösterimi	33
Şekil 4.7.	Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı ventral yönlü konsensüs grafiği	34
Şekil 4.8.	Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntülerinde MorphoJ programında elde edilen PC1'in lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)	35
Şekil 4.9.	Kafatasının lateral yönlü temel bileşenler analizinde PCA1'in grafiksel dağılımı	37
Şekil 4.10.	Kafatasının lateral yönlü görüntülerinde tavşanların hiyerarşik yakınlığının grafiksel gösterimi	38
Şekil 4.11.	Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral görüntülerinde konsensüs grafiği	39
Şekil 4.12.	Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral yönlü görüntülerinde MorphoJ programında elde edilen PC1'in lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)	40
Şekil 4.13.	Yeni Zelanda Tavşanı <i>mandibula</i> 'sının PCA1'e göre dağılımı	42
Şekil 4.14.	Yeni Zelanda Tavşanı <i>mandibula</i> 'sına ait görüntülerde tavşanların hiyerarşik yakınlığının grafiksel gösterimi	43

- Şekil 4.15.** Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sına ait görüntülerin konsensüs grafiği **44**
- Şekil 4.16.** Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sının lateral görüntülerinde belirlenen landmarklarda, PC1'e göre ortaya çıkan şekil farklılıklarının lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05) **45**



TABLÖLAR

Tablo 4.1. Kafatasının dorsal yönlü görüntülerinde belirlenen temel bileşenler analizi sonuçları	27
Tablo 4.2. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri	31
Tablo 4.3. Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntülerinde temel bileşenler analizi sonuçları	32
Tablo 4.4. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri	36
Tablo 4.5. Kafatasının lateral yönlü görüntülerinde yapılan temel bileşenler analizi sonuçları	37
Tablo 4.6. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri	41
Tablo 4.7. Yeni Zelanda Tavşanı <i>mandibula</i> 'sında yapılan temel bileşenler analizi sonuçları	42
Tablo 4.8. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı <i>mandibula</i> 'sının lateral yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri	46

SİMGELER ve KISALTMALAR

ANOVA	Tek Yönlü Varyans Analizi (Analysis of Variance)
D	Dişi
E	Erkek
For	Foramen
GPA	Generalized Procrustes Analysis
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LM	Landmark
M	Musculus
N	Neochlamisus
n	Nervi
n	Toplam veri sayısı
Past	Paleontological Statistics Package
PCA	Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis)
PCA1	Birinci Temel Bileşen Analizi
Proc	Processus
RWA	Göreceli Çarpıtma Analizi (Relative Warp Analysis)
TPS	Thin-plate spline
TpsDig2	Thin Plate Spline Dig2 (Tps File Digitize landmarks)
TpsSmall	Thin Plate Spline Small (Tps File "small" Variation In Shape)
TpsRelw	Tps File Relative Warps Analysis
TpsUtil	Thin Plate Spline Util (Tps File Utility Program)
Yy	Yüzyıl

ÖZET

Yeni Zelanda Tavşanı Cranium'unun Geometrik Morfometrik Analizi

Araştırmada, Yeni Zelanda tavşanı kafatasının cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntemle şekilsel durumunun belirlenmesi amaçlandı. Çalışmada 10 adet erkek, 10 adet dişi tavşan olmak üzere 20 adet Yeni Zelanda tavşanı kafatası kullanıldı. Tavşan *cranium*'u kaynatılarak masere edildikten sonra kafatası ventral, dorsal, lateral yönden ve *mandibula* lateral yönden fotoğraflandı. TpsUtil ve TpsDig2 programları kullanılarak, kafatası fotoğrafları üzerinde ventral yönde 15, dorsal yönde 14, lateral yönde 14, *mandibula* fotoğraflarında ise lateral yönde 10 adet homolog landmark işaretlendi. PAST (Version 4.02) programı ile superimpozisyon uygulanarak yeni koordinatlar üzerinden temel bileşenler analizi ve relative warp analizi yapıldı. İşaretlenen landmarkların şekil farklılıklarını belirlemek amacıyla MorphoJ yazılımı kullanıldı. Temel Bileşenler analizine göre, Yeni Zelanda tavşanı kafatasının ventral, dorsal, lateral yönlü görüntüleri ile *mandibula*'nın lateral yönlü görüntülerinde dişi ve erkek tavşanların birinci temel bileşen analizi grafiğinde belli bir bölgede toplanmadığı tespit edildi. Dolayısıyla temel bileşen analizine göre belirgin bir cinsiyet farklılığına rastlanmadı. Birinci temel bileşen analizine göre kafatasının ventral, dorsal, lateral ve *mandibula*'nın lateral yönlü görüntülerinde toplam şekil farklılığı sırasıyla %57.225, %34.813, %42.427 ve %31.147'sini açıkladı. Temel bileşenler analizleri arasında en fazla varyasyon ventral görüntülerde belirlenen PCA1 (%57.225) değerine aitti. Göreceli çarpıtma analizi sonucunda, dişi tavşanlar arasındaki varyasyon değeri (RWA1: %70.44) en fazla ventral görüntüler üzerinde, erkek tavşanlarda da (RWA1: %50.55) en fazla lateral görüntüler üzerinde belirlendi. Sonuç olarak elde edilen verilerin, tavşan türleri ve kafatasları üzerinde uygulanacak geometrik morfometrik analiz ile ilgili çalışmalara ve arkeolojik araştırmalara katkı sağlayacağı kanaatindeyiz.

Anahtar Kelimeler: Geometrik Morfometri, Relative Warp Analizi, Temel Bileşen Analizi, Yeni Zelanda Tavşanı

ABSTRACT

Geometric Morphometric Analysis of New Zealand Rabbit Cranium

In the research, it was aimed to determine the shape of the skull of the New Zealand rabbit by geometric morphometric method according to gender. In the study, 20 New Zealand rabbit skulls, including 10 male and 10 female rabbits, were used. After the rabbit cranium was boiled and macerated, the skull was photographed from the ventral, dorsal, lateral aspect and the mandible from the lateral aspect. Using TpsUtil and TpsDig2 programs, 15 homologous landmarks were marked on the skull photographs in the ventral direction, 14 in the dorsal direction, 14 in the lateral direction, and 10 in the lateral direction in the mandible photographs. By applying superimposition with the PAST (Version 4.02) program, principal component analysis and relative warp analysis were performed on new coordinates. Morphoj software was used to determine the shape differences of the marked landmarks. According to Principal Components analysis, ventral, dorsal, and lateral views of New Zealand rabbit skull and lateral views of mandible, male and female rabbits were not concentrated in a certain region in the first principal component analysis graph. Therefore, no significant gender difference was found according to principal component analysis. According to the first principal component analysis, the total shape differences in the ventral, dorsal, lateral, and lateral views of the skull were explained 57.225%, 34.813%, 42.427%, and 31.1147%, respectively. The highest variation among principal component analyzes belonged to PCA1 (57.225%) determined in ventral images. As a result of the relative distortion analysis, the variation value among female rabbits (RWA1: 70.44%) was determined the most on ventral images, and in male rabbits (RWA1: 50.55%) the most on lateral images. As a result, we believe that the data obtained will contribute to the studies on geometric morphometric analysis to be applied on rabbit species and skulls, and to archaeological research.

Keywords: Geometric Morphometry, Relative Warp Analysis, Principal Component Analysis, New Zealand Rabbit

1. GİRİŞ

Morfometri, şekil anlamını içeren “*morphe*” ve ölçüm anlamına gelen “*metron*” kelimeleriyle oluşan, Avrupa’da 17.yy’a dayanan istatistiksel analiz dalıdır (Mitteroecker ve Gunz, 2009). Morfometrik çalışmaların amacı, morfolojik varyasyon analizi için gerekli uygulamaların yapılmadan önce, landmarkların belirlenmesi ve tanımının yapılması işlemidir (O’Higgins, 2000).

Geleneksel morfometri yöntemi ile şeklin mesafe ve mesafe oranları, açı, alan ve hacim ölçümleri istatistiksel olarak analiz edilir (Mitteroecker ve Gunz, 2009). Anatomik noktalarda uygulanan geleneksel morfometri analiz yöntemlerinin kısıtlı olması, zamanla yeni bir yöntem olan geometrik morfometrinin doğuşuna neden olmuştur (Adams ve ark., 2004; Aytek, 2017). Geometrik morfometri, biyolojik şekillerin türler arası farklılıklarının ve benzerliklerinin istatistiksel analizi için yeni bir görüşü temsil eder (Rohlf, 2000a). Geometrik morfometri analizinin geleneksel morfometriden farkı, şekilsel değişimleri istatistiksel olarak ortaya koymaktır. (Trapani, 2003). Geometrik morfometri, alternatif yaklaşımlara göre daha kapsamlı şekil ölçüm sonuçları verdiği için, bu yöntem ile yapılan ekolojik ve evrimsel çalışmalar son yıllarda artış gösterdi (Adams ve Otarola-Castillo, 2013).

Güncel olan bu yöntem, günümüzde biyoloji, zooloji, antropoloji, adli tıp gibi birçok alanda uygulanır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, cinsiyet ve türler arası şekil farklılığını saptamak için geometrik morfometri yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır (Şahiner ve Yalçın, 2007; Katina ve ark., 2004; Sinanoğlu, 2018; Altun ve ark., 2015; Erol ve Aytek, 2016; Demircioğlu ve ark., 2021; Yalçın ve Kaya, 2009; Temizer ve Önel, 2011; Gündemir ve ark., 2020; Gürbüz ve ark., 2020; Ocakoğlu ve ark., 2013; Önel, 2010; Otağ ve Çimen, 2003). Literatürde Yeni Zelanda Tavşanı *cranium*’unda geleneksel morfometri yöntemi ile cinsiyet farklılıklarının değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur (Akbulut ve ark., 2014; Özkadif ve Eken, 2016; Gürbüz ve ark., 2015). Ancak Yeni Zelanda tavşanı kafatasının cinsiyete göre şekilsel değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmadı. Bu çalışmada Yeni Zelanda Tavşanı kafatası şeklinin cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntem ile belirlenmesi amaçlandı.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Morfometrinin Tarihçesi

Modern morfometriye 20.yy'ın ortalarında geçildi. Morfometrinin, geometrik açıdan istatistiksel gelişimi D'arcy Thompson'ın 1917 yılında yayımladığı "*On Growth and Form*" adlı kitabına dayanır (Bookstein, 1997).

Morfometride, Reyment'in (1984) geleneksel morfometri analizi ile Bookstein'in (1987) geometrik tabanlı morfometri analizi üzerine iki farklı görüş vardır (Rohlf ve Bookstein, 1990). Geleneksel morfometri ile yapılan araştırmaların yetersizliğiyle 1990 yılının ilk yarısında morfometri büyük bir değişikliğe uğradı ve geometrik morfometri adında yeni bir yaklaşım ortaya çıktı (Rohlf ve Marcus, 1993). Geleneksel morfometriye göre geometrik morfometri yöntemi, biçim varyasyonunda daha fazla bilgi içeren istatistiksel yöntemler ile şekli analiz eder (Rohlf, 2000a). Bu yöntem şekil analizinin en yeni metodudur (Slice, 2007).

2.1.1. Geleneksel Morfometri

Geleneksel morfometri, cisimlerin açı, oran, uzunluk, yükseklik, genişlik gibi nitel özellikleri üzerinde durur (Adams ve ark., 2004; Rohlf ve Marcus, 1993). Ayrıca, elde edilen verilerin birbirleri ile ilişkisini istatistiksel olarak analiz eder. Yani veriler arası ilişkinin birbirleri ile anlamlı ya da anlamsız olduğunu istatistiksel olarak ortaya koyar (Zelditch ve ark., 2012).

2.1.2. Geometrik Morfometri

Geometrik morfometri, iki veya üç boyutlu Kartezyen koordinatlardan elde edilen anatomik noktaların analizine dayalı bir yöntemdir (Bookstein, 1997; Aytekin, 2017; Boz ve ark., 2023). Bu yöntem, şekli, şekiller arası farklılıkları ve bu farklılıkların önem derecesini de inceler (Slice, 2007; Yahyaoğlu, 2015; Boz ve ark., 2023). Bu alanda bir cismin boyut ve konumu üzerinden bağımsız olarak geometrik özellikleri belirlenir. (Mitteroecker ve Gunz, 2009). Şekildeki istatistiksel

farklılıkların analizini yorumlayıp, grafiksel olarak görselleştirilmesine imkan tanır (Rohlf ve ark., 1996; Boz ve ark., 2023).

Geometrik morfometri yönteminin en başarılı yönü, landmarklar ile çeşitli verileri birbiriyle anlamlı bir şekilde grafiksel analizini sağlamasıdır (Bookstein, 1996).

Şekil analizi çalışmaları ilk olarak biyoloji alanında uygulandı. Bu yüzden genellikle biyolojik örneklerde yapılan çalışmalar uygulama alanı bakımından çok geniş kapsamlıdır (Dryden ve Mardia, 2016). Aynı zamanda arkeoloji alanında iskelet ve fosil gibi materyallerin şekilsel farklılığını araştırmak için geometrik morfometrik çalışmalar yapılmıştır (Chacon ve ark., 2016; Erol ve Aytek 2016; Cardillo, 2010; Brande ve Saragusti, 1996). Antropoloji alanında insan vücuduna ait çeşitli yapılar üzerinde uygulanan geometrik morfometrik çalışmalar bulunmaktadır (Sinanoğlu, 2018; Erol ve Aytek 2016; Özkoçak ve Özdemir 2018; O'Higgins, 2000; Şahiner ve Yalçın, 2007). Aynı yöntem ile hayvanlara ait çeşitli yapılar üzerinde de uygulanan çalışmalar mevcuttur (Casanova ve ark., 2019; Gürbüz ve ark., 2020; Gürbüz ve ark., 2022; Demircioğlu ve ark., 2021; Yaprak ve ark., 2023).

2.2. Geometrik Morfometri Yöntemleri

2.2.1. Landmark Sistemi (LM)

Verilerin geometrik analizi ile belirlenen bir şekildeki eğrinin diğer şekillerde belirlenen eğrilere karşılık gelmesi ve bu eğriler üzerinde şekle uygun noktaların bilinmesi, analizin homolojisi açısından yorumlanmasını sağlar (Rohlf ve Bookstein, 1990). Şekil üzerinde belirlenen sabit noktalar Landmark (LM) olarak isimlendirilir (Bookstein, 1997; Aytek, 2017; Boz ve ark., 2023).

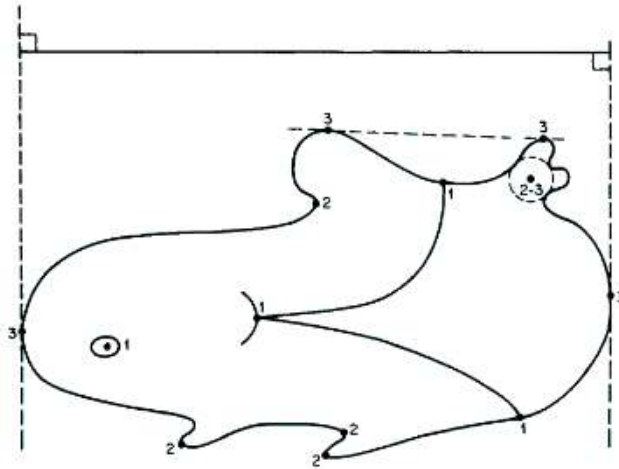
Geometrik morfometri yönteminde kullanılan LM sisteminde, iki ve üç boyutlu koordinatlar ile geometrik ölçümler yapılır (Rohlf ve Marcus, 1993). İki boyutlu analiz koordinatları dijital aletlerle veya bilgisayar ortamında ölçülürken, üç

boyutlu analizler bilgisayarlı tomografi veya manyetik rezonans görüntüleme yöntemleri ile elde edilir (Mitteroecker ve Gunz, 2009).

Koordinat sistemi üzerinde bulunan anatomik noktaların, iki boyutlu analizini içeren x ve y koordinatları ile görüntü hakkında kısıtlı bilgi sağlanır, üç boyutlu analizde ise x , y ve z koordinatları ile görüntü hakkında daha fazla bilgi sağlanır (Aytek, 2017).

Şekil üzerinde LM'lerin belirlemede dikkat edilmesi gerekenler anatomik noktaların homolog olması, morfolojiyi kapsamaması, tekrar edildiğinde güvenilirliği sağlaması, aynı düzlemde yer alması ve diğer LM'ler ile ilişkilerinde yer değiştirmemesidir (Zelditch ve ark., 2012; Boz ve ark., 2023). Yapılmış olan işlem, başkaları tarafından tekrar edildiğinde aynı güvenilir sonucu vermesi LM'ler için önemlidir (Zelditch ve ark., 2004).

LM'ler tip I, tip II, tip III olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Tip I LM'ler, dış yüzeyde belli olan iki yapının, dokunun ya da kemiklerin birleşiminde yer alan, kolaylığı ve güvenilirliği açısından en çok tercih edilen landmarkdır. Tip II LM'ler, kıvrımlı yapıların en uç noktalarında yer alan noktalardır. Tip III LM'ler, alanın çapı, ağırlık merkezi gibi özellikleri göz önünde bulunduran, semi-landmarkları da içeren noktalardır (Bookstein, 1997).

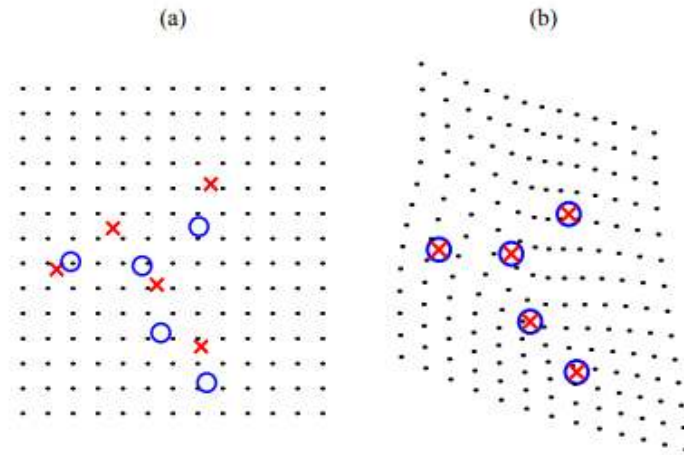


Şekil 2.1. Üç tip landmarkın gösterimi. **1.** Tip I landmark, dokuların kesiştiği noktalar. **2.** Tip II landmark, kıvrımlarda oluşan noktalar. **3.** Tip III landmark, yapının birden fazla bölgesini tanımlayan uç noktalar (Bookstein, 1997)

Katina ve ark. (2007), LM'ler sınıflandırma sistemine üç tip anatomik nokta daha ekledi. Tip IV LM'ler, şeklin dış kısmındaki semilandmark, tip V LM'ler, yüzey üzerinde bulunan semilandmark ve tip VI LM'ler, yapılandırılmış semilandmarklardır (Yahyaoğlu, 2015).

2.2.2. Thin-Plate Spline (TPS)

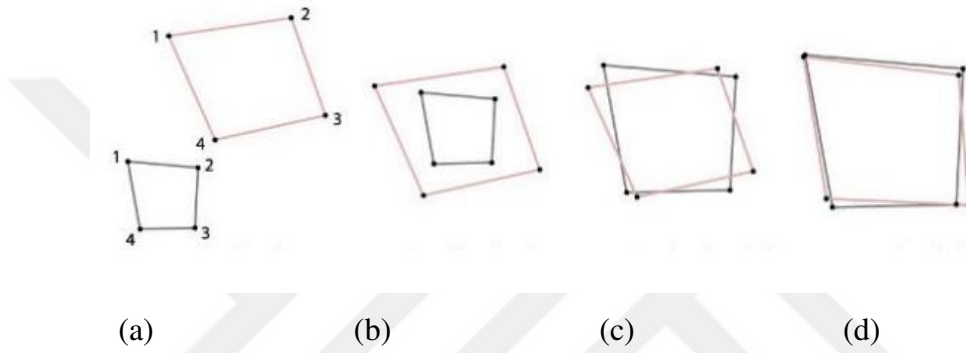
Thin-plate spline (TPS), şekildeki LM'lerin konfigürasyonunun matematiksel bir model olan metal levhalarını, bükme fiziği ile belirler (Rohlf, 2000b). Bu teknik, belirlenen hedef ve kaynak LM'leri birbirine eşleyerek ince levha spline'larına elastik bir dönüşüm sağlar (Sprengel ve ark., 1996). İlk olarak örneklerin fotoğrafları elde edilir ve daha sonra landmarkları işaretlemek için fotoğrafların tps formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için tpsUtil programı kullanılır (Rohlf, 2018; Boz ve ark., 2023).



Şekil 2.2. Thin-Plate Spline kullanarak koordinat dönüşümün örneği. (a). Karşılıklı gelenlerin bilindiğini varsaydığımız iki nokta kümesi, (b). TPS eğriliği, noktaların mükemmel bir şekilde hizalanması ve ızgaranın bükülmesi, iki kümeyi üst üste getirmek için gereken deformasyonu gösterir (Donata ve Belongie, 2003)

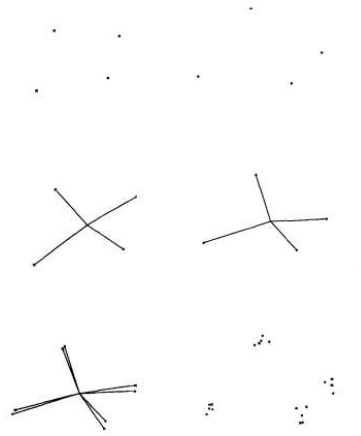
2.2.3. Generalized Procrustes Analizi (GPA)

Generalized Procrustes Analizi (GPA), şeklin ölçek, konum ve yöneliminden kaynaklı farklılıklarının yok olduğu, cisimlerin bir koordinat sistemi üzerinde üst üste bindirildiği bir yöntemdir (Adams ve ark., 2004; Adams ve Otarola-Castillo, 2013; Rohlf, 2000a; Rohlf ve Marcus, 1993; Bookstein, 1989; Boz ve ark., 2023). Bu yöntem şeklin analizinde, homolog olan LM'ler için uygundur (Mitteroecker ve Gunz, 2009).

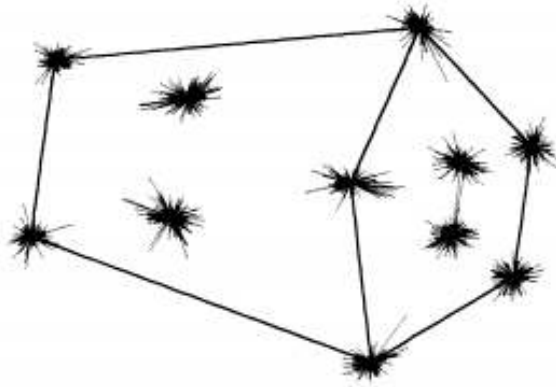


Şekil 2.3. Procrustes analiz aşamaları. (a). Landmarkların yerleştirilmiş hali, (b). Eş merkezli landmarklar, (c). Eş merkezli ve ölçekli landmarklar, (d). Eş merkezli, ölçekli ve konumlu landmarklar (Yahyaoğlu, 2015)

Geometrik morfometride procrustes yöntemi ile çok boyutlu şekil uzayının tanımlanması ve sonuçların grafiksel olarak yansıtılması sağlanarak, şeklin istatistiksel analizi yapılır (Rohlf, 2000b; Yazar ve ark., 2009). Procrustes koordinatları, LM arasındaki kareli uzaklıkların toplamını en küçük hale uyarlaması sonrasında oluşan koordinatlardır. Tam ve kısmi uyarlama olmak üzere iki çeşit procrustes uyarlama yöntemi bulunur. Tam Procrustes yöntemi öteleme, döndürme ve ölçekleme ile cisim üzerine uyarlanmasıyla oluşur. Kısmi Procrustes yöntemiyle öteleme ve döndürme işlemi cisim üzerinde uyarlanarak şekil ve büyüklüğü elde edilir (Aslan, 2007; Boz ve ark., 2023).



Şekil 2.4. Procrustes Geometrisi. Üst sıra; dört yer işaretli iki şekil. Orta sıra; her şekil ağırlık merkezinden yer işaretlerine kadar olan mesafenin karesi toplamı. Sol alt; üst üste yerleştirilir ve bir şekil diğeri üzerine döndürülerek homologlar arası en küçük kare farkının olduğu konuma getirilir. Sağ alt; sabit şekil procrustes yöntemindeki yer değiştirme vektörleri, ortalama etrafında dört nokta (Bookstein, 1996)



Şekil 2.5. *N. Bebbianae* üzerinde, generalized procrustes analizi (Adams ve Funk, 1997)

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

Temel Bileşen Analizi (PCA), birbiri ile korelasyon ilişkisi içinde olmayan bağımsız değişkenlerin oluşturduğu analiz yöntemidir. Karl Pearson'un 1901 yılında başlattığı temel bileşenler analizi ile ilgili çalışmaları, 1930 yılında Hotelling

tarafından geliştirildi (Yahyaoğlu, 2015). Geometrik morfometrik çalışmalarda farklı istatistiksel analizler kullanılsa da en sık PCA kullanılmaktadır (Boz ve ark., 2023).

Temel bileşenler analizi, şekil üzerinde uygulanan generalized procrustes analizi sonucu elde edilen yeni koordinatlarda uygulanarak şekil varyasyonunu ortaya koyar (Erol ve Aytek, 2016). Varyasyon, verilerdeki değişken sayısına bağlı olarak farklı açılardan analiz edilir (Boz ve ark., 2023). PCA, gruplar arası farklılıkları değil, şekil değişikliklerini belirlemek için kullanılır (Özger, 2021; Boz ve ark., 2023). İşlem sonrasında ortaya çıkan PCA, veri seti içerisindeki varyasyonların birbirlerinden ne şekilde ayrıldığını yüzdesel oranlar ile belirler (Erol ve Aytek, 2016). Şekil varyasyonunda değişiklikler sırasıyla belirlenir ve ilk büyük değişiklik birinci temel bileşen (PC1) olarak adlandırılır (Boz ve ark., 2023).

2.2.5. MorphoJ

Şekil değişikliğinin hangi LM üzerinde olduğunu tespit etmek için MorphoJ 1.06 (Klingenberg, 2011) yazılımı kullanılır (Erol ve Aytek, 2016). MorphoJ, morfometrik programların formatlarındaki dosyalardan içe aktarılabilen ham koordinat verilerinden başlayarak çeşitli şekil analizleri sunar (Boz ve ark., 2023).

2.2.6. Göreceli Çarpıtma Analizi (Relative Warp Analysis, RWA)

Göreceli çarpıtma analizi (RWA), x ve y koordinat sistemi üzerindeki gruplaşmanın farklılık veya benzerliklerini ortaya koyar (Bookstein, 1991; Rohlf ve Marcus, 1993). Bu yöntem ile LM'lerin konsensüs grafiği ve varyansları yüzdesel olarak belirlenir (Adams ve ark., 2004, Rohlf ve Marcus, 1993). Türler içinde de şekilleri tanımlamaya ve ayırt etmeye yardımcı olan nicel bir yöntemdir (Requieron ve ark., 2012).

2.2.7. Tek Yönlü Varyans Analizi (One-way ANOVA)

ANOVA, tıbbi araştırmalarda en sık kullanılan istatistiksel yöntemlerden biridir (Kim, 2017). Tek yönlü varyans analizi, gruplar arası farkın anlamlı olup olmadığına odaklanır (Erol ve Aytek, 2016).

2.3. Yeni Zelanda Tavşanı

Yeni Zelanda Beyaz tavşanı (*Oryctolagus cuniculus L.*), *Chordata*’ların *Craniata* grubu, *Mammalian* sınıfı, *Lagomorpha* takımı, *Leporidae* familyasına aittir (McLaughlin ve Chiasson, 1979).

Tavşan ile ilgili ilk kayıtlar 13.yy’da İngiltere’de olduğu yönündedir. Romalılar tarafından MÖ 1.yy’da yetiştirilmiş olup, ilk evcilleştirme çalışmaları Fransa’da 6-10.yy’lar arasındadır. Tavşan, 1672 yıllarında bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır (Poyraz, 2000).

Tavşan, gelişmiş bir fermentasyon özelliği olan *secum*’a ve üst kesici dişlere sahip olan *herbivor* grubunda bulunan hayvandır (Taibo, 2014). İlk 12 haftalık dönemde erişkin kemik yapısı şekillenir ve 17-33. haftalarda sonlanır (Düzler ve Çakır, 2003). Boyutları farklılık gösterse de temel anatomik özellikleri aynıdır (Taibo, 2014). Tavşanlar, yetiştirme süresinin kısa olması, deney öncesi ve sonrası takibinin kolay oluşu nedeniyle bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılır (Mapara ve ark., 2012).

2.4. Tavşanda Kafatası Anatomisi

Tavşanda kafatası, hareketsiz eklemler ile birleşen kemiklerden oluşur (Reece ve Rowe, 2017). Kafatasının yan duvarının büyük çoğunluğunu *skuamozal* kemik oluşturur (Kozma ve ark., 1974). Tavşanın kafatası, beyni çevreleyen, iyi gelişmiş bir arka bölüme (*neurocranium*) ve çenelerden oluşan bir ön bölüme (*viscerocranium*) sahiptir. Arka bölüm ile ön bölüm arasında *orbita*’lar bulunur (Frag ve ark., 2012).

2.4.1. Kafatasının arka bölümü (*Neurocranium*)

Neurocranium'u oluşturan kemikler, *occipital* segment, *temporoparietal* segment ve *frontal* segment olmak üzere üç bölümde gruplandırılır (Şekil 2.8) (Farak ve ark., 2012).

2.4.1.1. *Occipital* Segment

Occipital segment kafatasının arka (ense) yüzeyini ve kafatası tabanının caudal bölümünü oluşturur. Tamamen birbirine kaynaşmıştır ve omuriliğin içinden çıktığı büyük bir geçit olan *foramen magnum*'u çevreler. *Os occipitale*, *squama occipitalis* (*supraoccipital*), *pars basilaris* (*basioccipital*) ve çift olarak bulunan *pars lateralis* (*exoccipital*) olmak üzere dört bölümden oluşur (Crabb, 1931; Prasad, 1969). *Squama occipitalis*, *foramen magnum*'un dorsal'inde bulunur. *Pars basilaris*, ventral'de bulunan yassı bir kemiktir. *Pars lateralis* ise *foramen magnum*'un yanlarında bulunan bir çift kemiktir (Farak ve ark., 2012; Kozma ve ark., 1974).

2.4.1.1.1. *Squama Occipitalis*

Squama occipitalis, *occipital* kemiğin *skuamoz* kısmını temsil eder. Yüzeyi çukurlu ve düz kalkan benzeridir. Orta kısmı belirgin bir şekilde dörtgendir ve caudolateral olarak *crista nuchae* uzanır. *Cranial*'de, iki *os parietale*'den ve *os interparietale*'den ayrılır. *Crista nuchae*'nin ense tarafında derin bir çukurlu çöküntü vardır. Ek olarak, *protuberentia occipitalis externa*, *crista nuchae* ile *foramen magnum* arasında uzanır (Farak ve ark., 2012).

2.4.1.1.2. *Pars Lateralis*

Pars lateralis'in, dorsal'inde derin bir çöküntü ve ventral'inde *condylus occipitalis* bulunur. *Condylus occipitalis*, *foramen magnum*'un her iki yanında belirgin şişlikler olarak uzanır ve atlas ile eklemler. Her iki *pars lateralis*'in yan kenarı ventral olarak *processus jugularis*'e doğru çıkıntı yapar. Bu bölüm *bulla tympanica* yanındadır. *Fossa condylaris* derindir, *condylus occipitalis* ile *processus*

jugularis arasında yer alır. *Canalis hypoglossus* burada bulunur (Farak ve ark., 2012).

2.4.1.1.3. Pars Basilaris

Os occipitale'nin tabanında bulunan kısa ve yassı bir kemiktir. *Os sphenoidale* ile eklemleştği yerde kalınlığı artar. Üzerinde, *sulcus longitudinalis mediana* ve iki küçük kas çıkıntısı *tuberculum muscularis* bulunur (Farak ve ark., 2012; Kozma ve ark., 1974).

2.4.1.2. Temporoparietal Segment

Temporoparietal segment, *os basisphenoidale*, bir çift *alasphenoidale*, bir çift *os temporale*, ve bir çift *os parietale* olmak üzere yedi kemikten oluşur (Şekil 2.7) (Farak ve ark., 2012).

2.4.1.2.1. Os Basisphenoidale

Os basisphenoidale, kafatasının tabanında bulunur. İnce bir kıkırdak plakası ile *os basioccipitale* ile birleşen geniş bir arka uca sahiptir. *Sulcus longitudinalis mediana*'nın hemen arkasında kemiğin neredeyse ortasında sona eren *canalis craniopharyngeus* denilen bir kanal bulunur. Bu bölgede bulunan diğer kanal ise *fossa hypophysiale*'den *cranium* boşluğuna açılan kanaldır (Craigie, 1948; Farak ve ark., 2012).

2.4.1.2.2. Ala Basispheoidale

Ala basispheoidale, kanat şeklinde bir çift kemiktir. Ventral'de *os basisphenoidale*, lateral'de *os temporale* ile eklemleşir. Her bir *alasphenoidale* *orbita* duvarının caudal'ine uzanır ve *os palatinum*'un caudal sınırı ile birleşir, bu sınırda *processus pterygoideus* bulunur (Craigie, 1948; Farak ve ark., 2012).

2.4.1.2.3. *Os Temporale*

Os temporale, kafatasının lateral duvarının büyük bölümünü oluşturur. *Os parietale* ve *os alaspheoidale* arasında bulunur. *Os zygomaticum* ile ventral olarak eklemleşen ve *arcus zygomaticus*'un oluşumuna katılan *proc. zygomaticus* belirgindir. *Proc. zygomaticus*'un ventral'inde *mandibula* ile eklemleşen *fossa mandibula* bulunur. *Os temporale capsula auditiva*'yı içerir. Gözenekli yapılı olan *pars mastodea* ile *bulla tympanica* olmak üzere iki bölümü daha vardır. Dış yan tarafında *meatus acusticus externus* olarak isimlendirilen dış kulak yolu bulunur. *Meatus acusticus externus*'un ventral'inde *proc. styloideus* mevcuttur. *Proc. styloideus* ile *proc. mastoideus* arasında *for. stylomastoideum* bulunur. *Canalis carotidea* büyüktür ve *bulla tympanica*'nın ventromedial'inde yer alır. *Bulla tympanica* ile *os occipitale*'nin *pars lateralis*'i arasında *for. jugulare* vardır (Farag ve ark., 2012).

2.4.1.2.4. *Os Parietale*

Os parietale beynin dorsal'inde bulunan bir çift hafif kemerli kemiktir. Her iki *os parietale* median hat boyunca birbirine bir sütür ile sıkıca birleşir. *Os interparietale*, *squama occipitalis* ile *os parietale* arasında uzanır (Farag ve ark., 2012).

2.4.1.3. *Frontal Segment*

Frontal segment, ventral'de *os presphenoidale*'nin gövdesi, lateral'de iki kanatlı *os alaspheoidale* (*orbitosphenoidale*) ve dorsal'de bir çift *os frontale* olmak üzere 5 kemikten oluşur (Şekil 2.7) (Farag ve ark., 2012).

2.4.1.3.1. *Os Presphenoidale*

Os presphenoidale, kafatasının ventral tarafında, *os basisphenoidale*'nin önünde yer alan ve ona bir kıkırdak ile bağlı olan ince, küçük bir kemiktir. *Os*

presphenoidale for. opticum'un *cranioventral* sınırını oluşturur (Farag ve ark., 2012; Jordan ve Verma, 1983; Wingerd, 1985; Brewer, 2006).

2.4.1.3.2. Ala Presphenoidale

Ala presphenoidale, dışa doğru hafifçe şişkin kanat benzeri plakalar şeklindedirler ve ventral'de *presphenoid*, caudal'de *temporal* ve dorsal'de *frontal* sütürlerle birleşirler. *Orbita*'nın medial duvarının bir parçasını oluşturur (Farag ve ark., 2012).

2.4.1.3.3. Os Frontale

Os frontale, beynin dorsal'inde bulunan bir çift büyük ve güçlü kemiktir. Her iki *os frontale*, median çizgi boyunca *interfrontal* sütür ile birbirleriyle birleşir. *Os frontale* lateral'e uzanır ve *cranial*'de iki burun kemiği arasında ters V şeklinde birleştiği yerde öne doğru daralır. *Os frontale* dorsolateral sınırda *orbita*'nın belirgin çıkıntısı olan *proc. supraorbitalis*'i şekillendirir. *Frontal* kemiğin lateral sınırında, *incisura supraorbitalis rostralis* ve *incisura supraorbitalis caudalis* olarak isimlendirilen öne ve geriye uzanan iki çentik bulunur. *Orbita*'lar *frontal* segment'in *cranial* sınırında bulunur. *Frontal*, *orbitosphenoid*, *alasphenoid* ve *ethmoid* kemik tarafından oluşturulan *septum interorbitale* iki *orbita*'yı birbirinden ayırır. *Orbita*'nın bu median duvarı büyük bir geçiş olan *for. opticum*'u içerir (Jordan ve Verma, 1983; Wingerd, 1985; Brewer, 2006). Optik eksen tavşanda median düzleme neredeyse dik açı oluşturur. Bu durum tavşanlarda geniş bir görüş yelpazesine olanak tanır. *Orbita*'nın yan kenarları *os zygomaticum* tarafından korunur (Farag ve ark., 2012).

Os Lacrimale

Os lacrimale, *orbita*'nın rostral sınırında küçük bir çift kemik olarak bulunur (Jordan ve Verma, 1983; Wingerd, 1985). *Os lacrimale* gözyaşının geçişine izin veren *ductus nasolacrimalis* isimli kanalı içerir. *Orbita*'nın ventrorostral kısmı *tuber maxilla* ile sınırlandırılır. İki *orbita*'nın median duvarı arasında *fossa pterygopalatina* bulunur ve burada *for. maxillare* (*canalis infraorbitalis*'in başlangıcı), *for.*

sphenopalatinum (burun boşluğuna açılır) ve *for. palatinum caudale* (*canalis palatinus*'un başlangıcı) bulunur. *Craniodorsal*'de, *for. opticum*'a açılan, *for. ethmoidale* küçük bir delik olarak bulunur. *Fissura orbitalis for. opticum*'un ventral'inde bulunur (Farag ve ark., 2012).

Os Ethmoidale

Os ethmoidale, beyin boşluğunun önünde ve burun boşluğunun caudal'inde bulunur. Beyin boşluğunu burun boşluğundan ayırır. *Fila olfactoria* olarak isimlendirilen koku siniri liflerinin içinden geçtiği bir delikli sahaya benzer oluşum olan *lamina cribrosa*'ya sahiptir. *Lamina cribrosa*, *septum nasale*'nin caudodorsal sınırında bulunur (Farag ve ark., 2012).

2.4.2. Facial Bölge (Viscerocranium)

Facial bölge, dorsal'de *os nasale*, lateral'de *os maxilla* ve ventral'de *os vomer* ile örtülüdür (Şekil 2.6) (Farag ve ark., 2012).

2.4.2.1. *Os Nasale*

Os nasale, yüz kemiklerinin dorsal'inde bulunur. Bir çift olan bu kemik hafifçe dışbükey formludur. Uzunlukları boyunca aynı genişliğe sahiptir, ancak *frontal* kemik ile eklemleşen caudal uçları incedir. Rostral ucu çentiklidir ve burun deliklerinin dorsal'de kemik bölümünü oluşturur. *Septum nasale* ile burun boşluğu iki bölüme ayrılır. *Nasal* kemik ventral'de *os vomer* ile desteklenir. Burun boşluğunda, *concha*'ların kemik çatısını oluşturan *ethmoid* kemiğin dorsal *turbinale*, ventral *turbinale* ve *ethmoturbinale*'si bulunur (Farag ve ark., 2012).

2.4.2.2. *Os Incisivum*

Maxillar kemiğin ön sınırında bir çift olarak bulunan *os incisivum* burun boşluğunun lateral ve ventral duvarını oluştur. Her bir *incisiv* kemik, rostral sınırda biri önde ve büyük diğeri geride ve daha küçük olan iki kesici diş içerir. *Sulcus*

sagittalis'e sahiptir. Uzun ve dar bir çıkıntı olan *proc. nasalis* lateral olarak geride *frontal* ve *maxillar* kemik sınırına kadar uzanır (Jordan ve Verma, 1983; Barone, 1989). *Nasal* kemik ve *incisive* kemik arasında *incisura nasoincisiva* bulunur. Sert damağın yapısına katılan *processus palatinus* olarak isimlendirilen *os palatinum*'a doğru uzanan uzantıları içerir. *Proc. palatinus*, caudolateral olarak *fissura palatina*'yı sınırlandırır (Frag ve ark., 2012; Jordan ve Verma, 1983; Barone, 1989).

2.4.2.3. Os Maxilla

Os maxilla, üst çeneyi oluşturur. *Incisive* ve *nasal* kemik ile sütürlerle birleşir. *Maxilla*'nın dış yüzünü oluşturan rostral parçası *corpus maxilla* bölümünü oluşturur. Bu bölüm pütürlü bir yapıdadır üzerinde çok sayıda *trabeküllü* görünümde *foramina* bulunur. Burada ayrıca *for. infraorbitale*'de bulunur. *Corpus maxilla*'nın caudal'inde *tuber maxilla*, lateral'inde *tuber faciale* bulunur. *Tuber faciale* zygomatic kemiğin *proc. zygomaticus*'una katılır ve caudal'de *temporal* kemiğin *proc. zygomaticus*'u ile birleşir ve birlikte *arcus zygomaticus*'u şekillendirirler. *Maxillar* kemiğin ventral parçası *proc. alveolaris* bölümünü oluşturur. Bu bölümde her bir kafa yarımında 2 tane *premolar*, 3 tane *molar* diş bulunur. Diş kökleri *fossa alveolaris* olarak isimlendirilen çöküntüye oturur. Üst çenede ayrıca çift olarak bulunan *os palatinum*, *os zygomaticum* ve *os pterygoideum* da mevcuttur (Frag ve ark., 2012).

2.4.2.3.1. Os Palatinum

Os palatinum, *lamina perpendicularis* ve *lamina horizontalis* olmak üzere iki bölüm içerir. *Lamina perpendicularis chonae*'nın lateral bölümünü oluşturur. *Lamina horizontalis* ise sert damağın caudal dar bölümünü şekillendirir. Her bir *palatinum* *premolar-molar* dişler seviyesinde *foramen palatinum majus*'u (*rostralis*) içerir. *For. palatinum majus canalis palatinus*'un rostral deliğidir (Frag ve ark., 2012).

2.4.2.3.2. *Os Pterygoideum*

Os pterygoideum küçük ve düzensiz kemiklerdir. *Os palatinum*'un gerisinde bulunur ve *alabasisphenoidale* ile *proc. pterygoideum* seviyesinde eklemleşir. Her bir *pterygoid* kemik *laminae pterygoidea* ile ikiye ayrılan geniş bir *fossa pterygoidea*'ya sahiptir. *Lamina lateralis*'in tabanında *foramen alare* bulunur (Farag ve ark., 2012).

2.4.2.3.3. *Os Zygomaticum*

Bir çift kemik olan *os zygomaticum arcus zygomaticus*'un caudoventral parçasını oluşturur. *Os temporale*'nin *processus zygomaticus*'u, *maxilla*'nın *processus zygomaticus*'u ve *os zygomaticum* birlikte *arcus zygomaticus*'u şekillendirir (Farag ve ark., 2012; Jordan ve Verma, 1983; Barone, 1989; Brewer, 2006).

2.4.2.4. *Os Vomer*

Os vomer, median hat boyunca uzanan, *cavum nasi*'yi sağ ve sol iki yarıma ayıran *septum nasale*'nin ventral parçasını oluşturur. *Fissura palatina*'dan görülebilir (Farag ve ark., 2012).

Mandibula

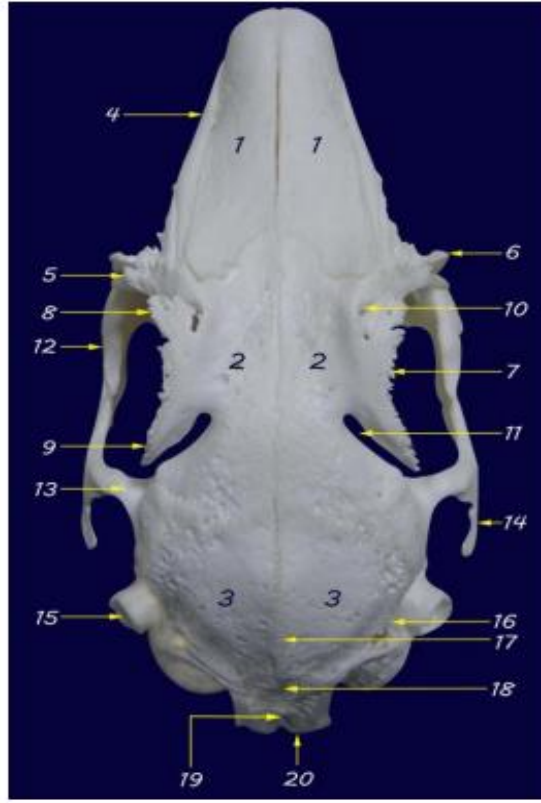
Mandibula (alt çene kemiği) önde *symphysis mandibulae* ile birbirine birleşen iki kemikten oluşur. Her bir *mandibula*'nın *ramus mandibulae* ve *corpus mandibulae* olmak üzere iki bölümü vardır (Şekil 2.9) (Farag ve ark., 2012; Kozma ve ark., 1974).

Corpus mandibulae diş alveollarının bulunduğu horizontal kısımdır. *Incisive* ve *molar* dişleri barındıran bölümler olmak üzere iki kısımda incelenir. *Incisive*

bölümü, *symphysis mandibula*'yı oluşturan ve *incisive* dişleri içeren kalın kısımdır. *Molar* bölümü, *ramus mandibulae*'ya kadar devam eden 2 tane *premolar* ve 3 tane *molar* diş içeren caudal kısımdır. Tavşanlarda köpek dişleri bulunmaz, bu nedenle *incisive* dişler ile *premolar* dişler arasında *diastema* veya *margo interalveolaris* olarak isimlendirilen bir boşluk vardır (Crabb, 1931; Prasad, 1969). Son *molar* dişin hemen arkasında, dorsal sınırdan *mandibula*'nın medial tarafına geçen oldukça büyük bir *foramen retroalveolare* bulunur (Farag ve ark., 2012).

Foramen mandibulae, son *molar* dişin caudoventral'inde *ramus mandibulae*'nın medial yüzeyinde bulunur. *Foramen mentale*, birinci *premolar* dişin biraz *craniolateral*'inde yer alır (Farag ve ark., 2012).

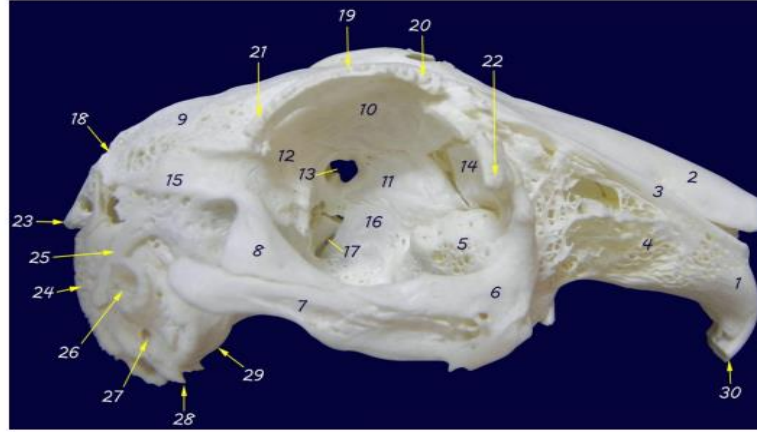
Ramus mandibulae, çene kaslarının bağlanması için ince ve düz genişletilmiş kemik plakasıdır. *Ramus mandibulae*'nin caudodorsal'inde kafatası (*os temporale*'nin *processus zygomaticus*'u) ile eklem yapan *proc. condylaris* bulunur. *Proc. condylaris*'in önünde bulunan çıkıntı *proc. coronoideus*'tur. *Proc. coronoideus* ile *proc. condylaris* arasında *incisura mandibularis* denilen çentik bulunur. *Ramus mandibulae*'nin caudoventral sınırı yuvarlaktır (Farag ve ark., 2012). Bu bölüm *bulla tympanica*'nın palpasyonunu engeller (Chow ve ark., 2009).



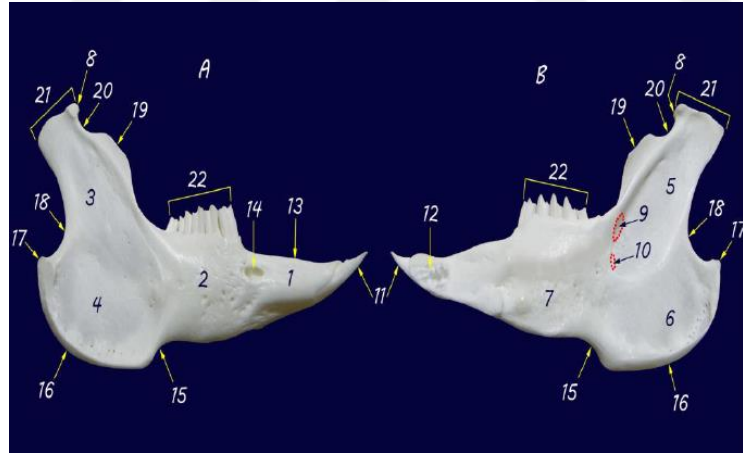
Şekil 2.6. Tavşan *cranium*'unda dorsal görünüm. 1, *os nasale*; 2, *os frontale*; 3, *os parietale*; 4, *processus nasalis os incisivum*; 5, *os lacrimale*; 6, *tuber faciale*; 7, *margo supraorbitalis*; 8, *rostral branch*; 9, *caudal branch*; 10, *incisura supraorbitalis rostralis*; 11, *incisura supraorbitalis caudalis*; 12, *processus zygomaticus os maxillae*; 13, *processus zygomaticus os temporale*; 14, *os zygomaticum*; 15, *meatus acusticus axternus*; 16, *pars squamosa os temporale*; 17, *crista sagittalis externa*; 18, *os interparietale*; 19, *squamosa occipitalis*; 20, *crista nuchae* (Farag ve ark., 2012)



Şekil 2.7. Tavşan *cranium*'unda ventral görünüm. 1, *foramen magnum*; 2, *crista nuchae*; 3, *protuberantia occipitalis externa*; 4, *condylus occipitalis*; 5, *processus jugularis*; 6, *canali n. Hypoglossi*; 7, *bulla tympanica*; 8, *foramen jugulare*; 9, *canalis caroticus*; 10, *pars basilaris os occipitale*; 11, *os basisphenoidale*; 12, *tuberculum basilaris*; 13, *canalis craniopharyngeus*; 14, *os presphenoidale*; 15, *vomer*; 16, *fissura orbitalis*; 17, *lamina perpendicularis os palatinum*; 18, *lamina horizontalis os palatinum*; 19, *choanae*; 20, *margo supraorbitalis*; 21, *fossa pterygoidea*; 22, *ala presphenoidale*; 23, *processus pterygoideus*; 24, *os zygomaticum*; 25, *tuber faciale*; 26, *prossesus palatinus of maxilla*; 27, *foramen palatinum majus*; 28, *corpus ossis incicivi*; 29, *prosessus palatinus*; 30, *os conchae nasalis ventralis*; 31, *fissura palatinus*; 32, *dentes incicive*; 33, *processus alveolaris* (Farak ve ark., 2012)



Şekil 2.8. Tavşan *cranium*'unda lateral görünüm. 1, *corpus ossis incisivivi*; 2, *os nasale*; 3, *processus nasalis os incisivum*; 4, *corpus maxillae*; 5, *tuber maxillae*; 6, *processus zygomaticus*; 7, *os zygomaticum*; 8, *processus zygomaticus os temporale*; 9, *os parietale*; 10, *os frontale*; 11, *ala presphenoidale*; 12, *os temporale*; 13, *canalis opticus*; 14, *os lacrimale*; 15, *os temporale*; 16, *lamina perpendicularis os palatinum*; 17, *fissura orbitalis*; 18, *os interparietale*; 19, *margo supraorbitalis*; 20, *rostral branch*; 21, *caudal branch*; 22, *os lacrimale*; 23, *crista nuchae*; 24, *processus mustoideus*; 25, *processus retrotympanicus*; 26, *meatus acusticus aternus*; 27, *foramen stylomastoideum*; 28, *processus jugularis*; 29, *bulla tympanica*; 30, *dentes incisivi* (Farag ve ark., 2012)



Şekil 2.9. Tavşan *mandibula*'sında lateral (A) ve median (B) görünüm. 1, *corpus mandibulae (pars incisiva)*; 2, *corpus mandibulae (pars molaris)*; 3, *ramus mandibulae*; 4, *fossa masseterica*; 5, *fovea pterygoidea*; 6, *fossa pterygoidea*; 7, *facies lingualis*; 8, *processus condylaris (caput)*; 9, *foramen retroalveolaris*; 10, *foramen mandibulae*; 11, *incisura mandibulae*; 12, *symphysis mandibulae*; 13, *margo interalveolaris*; 14, *foramen mentale*; 15, *incisura vasorum faciaium*; 16, *angulus mandibulae*; 17, *processus angularis*; 18, *collum mandibulae*; 19, *processus coronoideus*; 20, *incisura mandibulae*; 21, *processus condylaris*; 22, *dentes premolares, molares* (Farag ve ark., 2012)

Literatürde kafatası üzerinde yapılan geometrik morfometrik çalışmalar (Şahiner ve Yalçın, 2007; Erol ve Aytek, 2016; Demircioğlu ve ark., 2021; Yalçın ve Kaya, 2009; Gürbüz ve ark., 2020, Casanova ve ark., 2019; Yaprak ve ark., 2023) bulunmaktadır. Ancak, Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ve *mandibula*'sının cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntemle inceleyen çalışmaya rastlanılmadı. Çalışmada Yeni Zelanda Tavşanı kafatasları ve *mandibula*'sı cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntemler ile incelenmesi amaçlandı.



3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Hayvan Materyali

Çalışma için Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan onay alındı (Onay tarihi: 13.10.2021, Sayı: 820). Araştırmada 10 adet dişi ve 10 adet erkek olmak üzere toplam 20 adet erişkin ve sağlıklı Yeni Zelanda Tavşanı kafatası kullanıldı.

3.2. Geometrik Morfometri Analiz Yöntemi

Tavşan *cranium*'u kaynatılarak masere edildikten sonra, kafatası ventral, dorsal ve sol lateral yönde, sol *mandibula* lateral yönde fotoğraflandı. Fotoğraf çekimleri tüm materyallerde 50 cm uzaklıktan yapıldı. Kaydedilen fotoğraflar JPEG formatında bilgisayara aktarıldıktan sonra önceden belirlenmiş landmarkları (LM) yerleştirmek için TpsUtil (Version 1.79) programı ile Tps formatında dosya oluşturuldu (Rohlf, 2019). TpsDig2 (Version 2.31) programı ile fotoğraflar üzerinde homolog LM'ler işaretlendi (Rohlf, 2018). Kafataslarının dorsal görüntülerinde 14 (Şekil 3.1), ventral görüntülerinde 15 (Şekil 3.2), lateral görüntülerinde 14 (Şekil 3.3) ve *mandibula* görüntülerinde de 10 adet (Şekil 3.4) homolog LM işaretlendi. Böylece LM'lerin kartezyen koordinatları belirlendi. TpsSmall (Version 1.34) programı ile homolog LM doğrulama testi yapıldı (Rohlf, 2017).

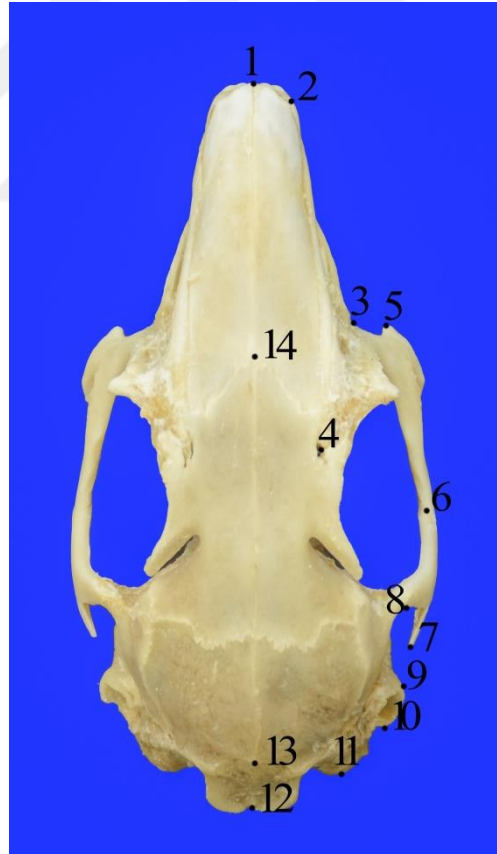
Çalışmamızda, elde edilen fotoğraflarda büyüklük, yön ve pozisyon gibi farklılıklar olabileceğinden dolayı görüntülerde generalized procrustes analizi (GPA) ile superimpozisyon işlemi uygulandı (Slice, 2007). Bu analizin uygulanması için PAST (Version 4.02) programı kullanıldı (Hammer ve ark., 2001). Superimpozisyon sonucu elde edilen yeni koordinatlar üzerinde temel bileşen analizi (Principle Component Analysis, PCA) yapıldı. Böylece örneklerin cinsiyete göre birbirinden ayrılma derecesi belirlendi (Zelditch ve ark., 2004). Ayrıca şekil farklılığının hangi LM düzeyinde ve yönünde olduğunu belirlemek için MorphoJ programı kullanıldı (Klingenberg, 2011). Çalışmada TpsRelw (Version 1.70) programıyla göreceli çarpıtma analizi (Relative Warp Analizi, RWA) yapılarak grupların konsensüs

grafikleri oluşturuldu ve grafik üzerindeki LM'lerin dağılımları test edildi (Rohlf, 2019). Gruplara göre LM koordinat değerlerinin istatistiksel analizi ANOVA testi ile PAST (Version 4.02) programında gerçekleştirildi.

3.3. Kafatası Üzerinde Belirlenen Landmarklar

3.3.1. Dorsal

Kafatasının dorsal yönlü fotoğrafları üzerinde belirlenen LM'ler Şekil 3.1'de gösterildi. İstatistiksel analizden önce bu LM'ler için TpsSmall (Version 1.34) (Rohlf, 2017) programında doğrulama testi yapıldı. Bu test sonucunda *uncentred correlation* ve *root mean square error* değerleri sırasıyla 1.000000 ve 0.000025 olarak tespit edildi. Bu sonuçlar LM'lerin doğruluğunu ortaya koydu.

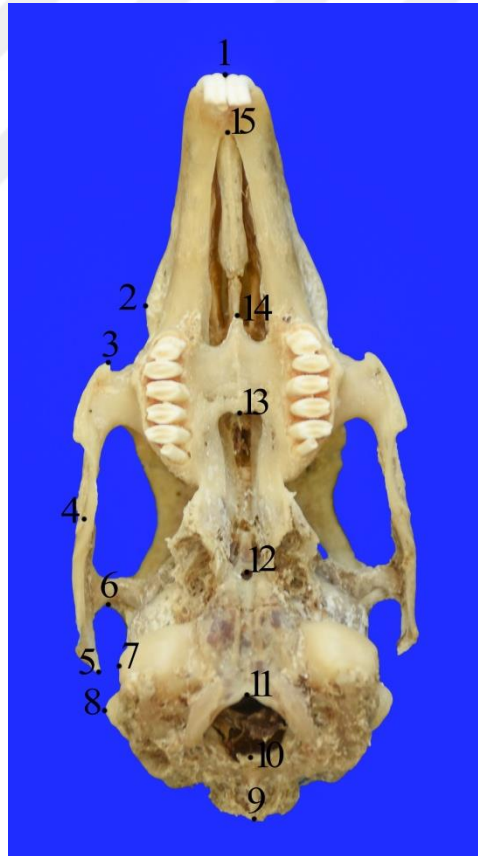


Şekil 3.1. Dişi Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü görüntülerinde belirlenen landmarklar. **LM1.** *Os incisivum*'un *craniomedial*'i, **LM2.** *Os nasale*'nin *craniolateral*'i, **LM3.** *Medial göz açısı*, **LM4.** *Incisura supraorbitalis rostralis*,

LM5. *Arcus zygomaticus*'un cranial'i, **LM6.** *Processus temporalis* ile *processus zygomaticus*'un birleşimi, **LM7.** *Arcus zygomaticus*'un caudal'i, **LM8.** *Processus zygomaticus osis temporalis*'in caudomedial'i, **LM9.** Dış kulak yolu cranial'i, **LM10.** Dış kulak yolu caudal'i, **LM11.** *Os occipitale*'nin caudal'i, **LM12.** Kafatasının caudamedial'i, **LM13.** *Os interparietale*'nin orta noktası, **LM14.** *Sutura nasofrontalis*'in medial'i

3.3.2. Ventral

Kafatasının ventral yönlü fotoğrafları üzerinde belirlenen LM'ler Şekil 3.2'de gösterildi. İstatistiksel analizden önce LM'ler için TpsSmall (Version 1.34) (Rohlf, 2017) programında doğrulama testi yapıldı. Bu test sonucunda *uncentred correlation* ve *root mean square error* değerleri sırasıyla 1.000000 ve 0.000080 olarak tespit edildi. Bu değerler LM'lerin doğru yerleştiğini gösterir.

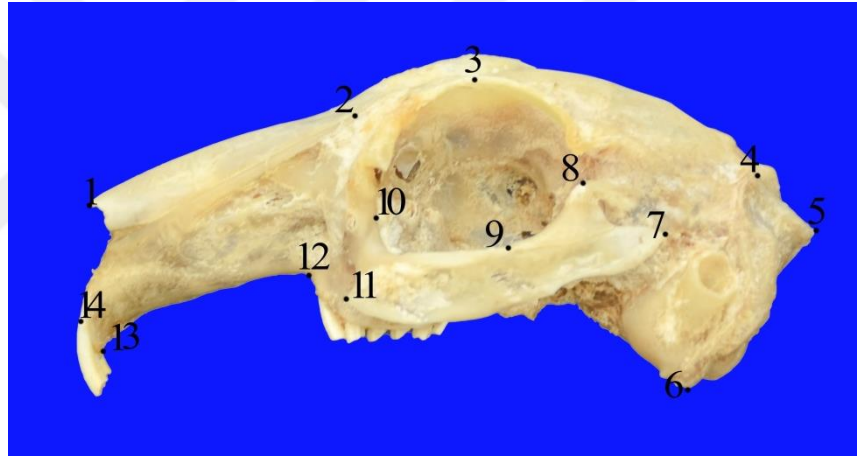


Şekil 3.2. Dişi Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntüleri üzerinde belirlenen landmarklar. **LM1.** *Os incisivum*'un craniomedial'i, **LM2.** *Facies facialis*'in lateral çıkıntısı, **LM3.** *Tuber faciale*'nin cranial'i, **LM4.** *Arcus zygomaticus*'un orta noktası, **LM5.** *Arcus zygomaticus*'un caudal'i, **LM6.** *Processus zygomaticus osis temporalis*'in caudomedial'i, **LM7.** *Os temporale*'nin lateral

çıkıntısı, **LM8**. Dış kulak yolu lateral çıkıntısı, **LM9**. *Os occipitale*'nin caudomedial'i, **LM10**. *Foramen magnum*'un dorsomedial'i, **LM11**. *Foramen magnum*'un ventromedial'i, **LM12**. *Canalis craniopharyngeus*, **LM13**. *Os palatium*'un caudomedial'i, **LM14**. *Maxilla*'nın *proc. palatinus*'unun *craniomedial*'i, **LM15**. *Os incisivum*'un *proc. palatinus*'unun *craniomedial*'i

3.3.3. Lateral

Kafatasının lateral yönlü görüntülenen fotoğrafları üzerinde belirlenen LM'ler Şekil 3.3'te gösterildi. İstatistiksel analizden önce LM'ler için TpsSmall (Version 1.34) (Rohlf, 2017) programında doğrulama testi yapıldı. Bu test sonucunda *uncentred correlation* ve *root mean square error* değerleri sırasıyla 1.000000 ve 0.000025 olarak tespit edildi. Bu sonuçlar LM'lerin doğruluğunu ortaya koydu.

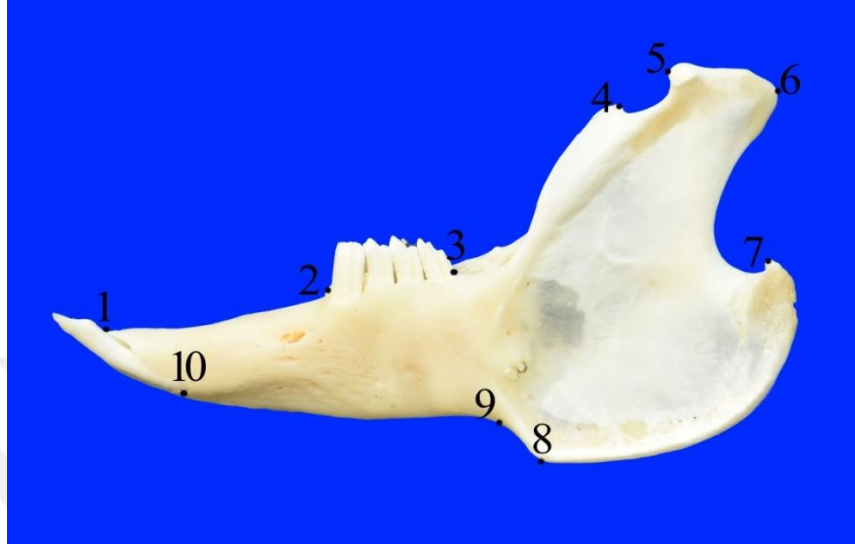


Şekil 3.3. Erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral yönlü görüntülerinde belirlenen landmarklar. **LM1**. *Os nasale*'nin *craniomedial*'i, **LM2**. *Os incisivum*'un *proc. nasalis*'inin caudal'i, **LM3**. *Orbita*'nın dorsal'i, **LM4**. *Os interparietale* ile *os parietale* kesişimi, **LM5**. *Crista nuchae*'nin medial'i, **LM6**. *Os occipitale*'nin caudoventral'i, **LM7**. *Arcus zygomaticus*'un caudal'i, **LM8**. *Os temporale*'nin *proc. zygomaticus*'u, **LM9**. *Os maxilla*'nın *proc. zygomaticus*'u ile *os temporale*'nin *proc. zygomaticus*'unun kesişimi (*Arcus zygomaticus*'un orta noktası), **LM10**. Medial göz açısı, **LM11**. *Arcus zygomaticus*'un *cranial* ucu, **LM12**. *Corpus maxilla*'nın caudoventral açısı, **LM13**. *Dentes incisivi* köklerinin caudal'i, **LM14**. *Os incisivum*'un *craniomedial*'i

3.3.4. Mandibula

Mandibula'nın sol lateral yönde görüntülenen fotoğraflarda belirlenen LM'ler Şekil 3.4'te gösterildi. İstatistiksel analizden önce LM'ler için TpsSmall (Version

1.34) (Rohlf, 2017) programında doğrulama testi yapıldı. Bu test sonucunda *uncentred correlation* ve *root mean square error* değerleri sırasıyla 1.000000 ve 0.000033 olarak tespit edildi. Böylece ilgili LM'lerin doğrulukları test edildi.



Şekil 3.4. Dişi Yeni Zelanda Tavşanında *mandibula*'nın lateral görüntüleri üzerinde belirlenen landmarklar. **LM1.** *Os incisivum*'un *craniomedial*'i, **LM2.** *Premolar* diş kökünün *cranial* ucu, **LM3.** Sonuncu *molar* diş kökünün *caudal*'i, **LM4.** *Proc. coronoideus*'un *caudal*'i, **LM5.** *Proc. condylaris*'in *cranial*'i, **LM6.** *Proc. condylaris*'in *caudal*'i, **LM7.** *Proc. angularis*, **LM8.** *Angulus mandibulae*'nin *cranial* ucu, **LM9.** *Incisura vasorum facialis*, **LM10.** *Incisive* diş kökünün *caudal* sınırı

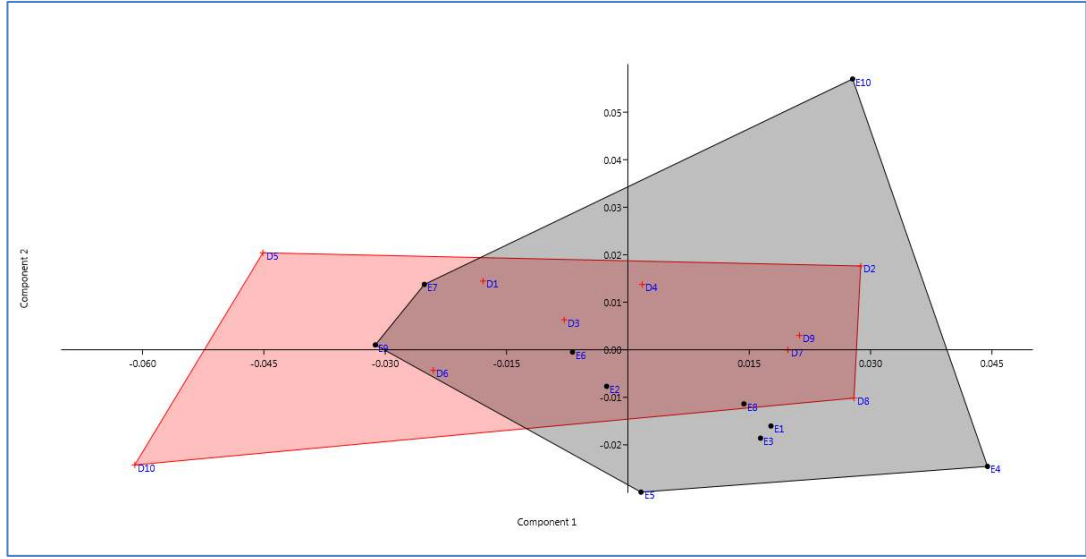
4. BULGULAR

4.1. Dorsal

Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü görüntülerinin PCA sonuçları Tablo 4.1’de gösterildi. Buna göre PCA1 toplam şekil farklılığının %34.813’ünü, ilk dört temel bileşen (PCA1+PCA2+PCA3+PCA4) ise %74.7986’sını açıkladı. Temel bileşenler arasında belirgin kırılma noktası PCA1 ve PCA2 arasında görüldü. PCA1’e göre örneklerin dağılımı Şekil 4.1’de gösterildi. PCA1 grafiğine göre erkeklerin 6 tanesinin y ekseninin sağında, 4 tanesinin y ekseninin solunda toplandığı, dişilerin de 5 tanesinin y ekseninin sağında, 5 tanesinin y ekseninin solunda toplandığı görüldü. PCA’ya göre dorsal görüntüler üzerinde belirgin bir cinsiyet ayrımı saptanmadı.

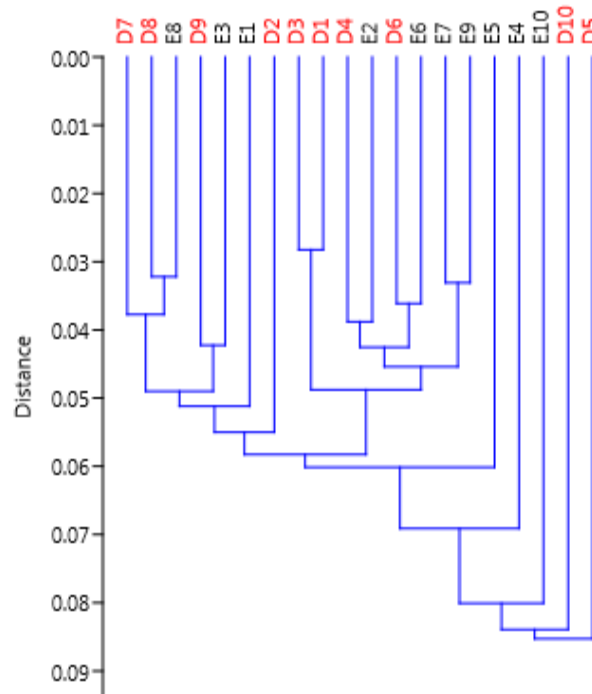
Tablo 4.1. Kafatasının dorsal yönlü görüntülerinde belirlenen temel bileşenler analizi sonuçları

PC	Özdeğer	% Varyasyon	PC	Özdeğer	% Varyasyon
1	0.000756026	34.813	9	4.39307E-05	2.0229
2	0.000400653	18.449	10	3.12824E-05	1.4405
3	0.000400653	11.752	11	2.97296E-05	1.369
4	0.000212493	9.7846	12	1.48024E-05	0.68161
5	0.000151737	6.987	13	1.14935E-05	0.52924
6	0.000125615	5.7842	14	1.04518E-05	0.48127
7	6.13189E-05	2.8235	15	7.12679E-06	0.32817
8	4.85338E-05	2.2348	16	4.98594E-06	0.22959



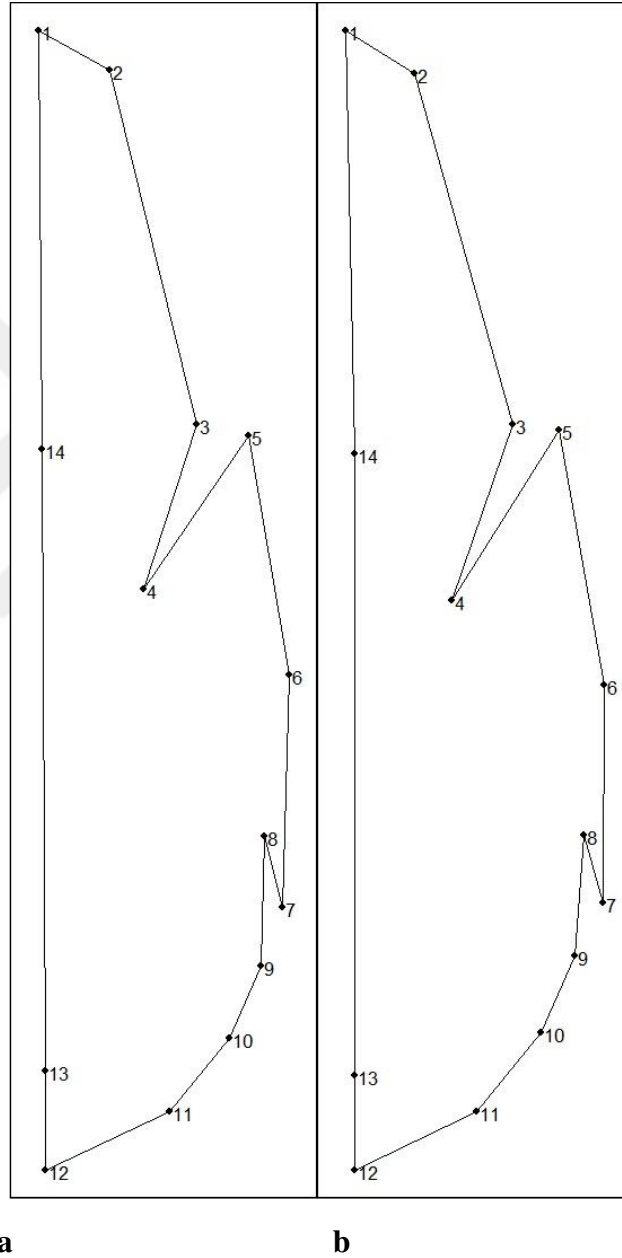
Şekil 4.1. Kafatasının dorsal yönlü görüntülerinin birinci temel bileşene göre grafik üzerindeki dağılımı. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Mavi: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Tavşanların hiyerarşik yakınlığı Şekil 4.2’de gösterildi. Bu grafikte, erkek ve dişi tavşanların hiyerarşik olarak belirgin bir bölgede toplanmadığı gözlemlendi.



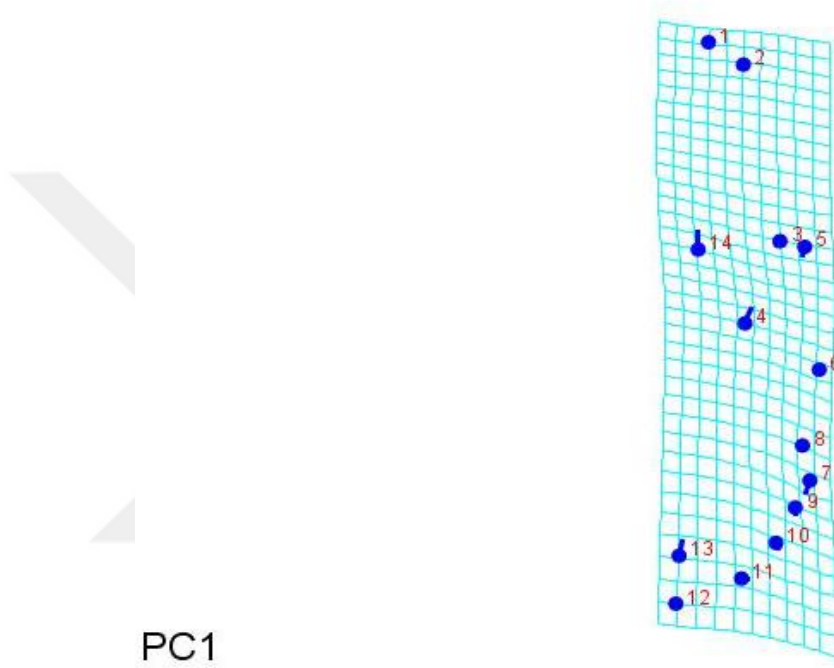
Şekil 4.2. Kafatasının dorsal yönlü görüntülerinde hiyerarşik yakınlığın grafiksel gösterimi. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Siyah: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Konsensüs grafiğinin cinsiyete göre analizi Şekil 4.3'te gösterildi. Dişilerde kafatasının dorsal yönlü görüntüleri üzerinde yapılan relative warp analizinde RWA1, RWA2, RWA3 değerleri %45.51, %19.31, %11.76 olarak belirlendi. Erkeklerde ise relative warp analizinde RWA1, RWA2, RWA3 değerleri sırasıyla %35.53, %30.45, %10.91 olarak tespit edildi.



Şekil 4.3. Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü konsensüs grafiği

MorphoJ programında, dorsal yönden PC1'e göre elde edilen lolipop grafiği Şekil 4.4'te gösterildi. Buna göre tavşanlar arasındaki şekil farklılığı en fazla LM14, LM13, LM4, LM7 ve LM5 seviyesinde olduğu, diğer landmarklarda değişimin olmadığı gözlemlendi. PC1 grafiğine göre LM4, LM13, LM14 craniodorsal, LM5, LM7 cranioventral yönde olduğu görüldü.



Şekil 4.4. MorphoJ programında dorsal yönden birinci temel bileşene göre elde edilen lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)

Anatomik olarak, kafatasının dorsal yönlü geometrik analizinde, şekil farklılığı daha çok *viscerocranium*'da işaretlenen landmarklarda olduğu gözlemlendi. *For. supraorbitale* ve *os frontale* ile *os nasale*'nin kesişimindeki farkın belirgin olduğu tespit edildi. *Neurocranium*'da ise sadece *os interparietale* düzeyinde belirgin bir farklılık gözlemlendi.

Procrustes koordinatlarının bireyler arası istatistiksel analizi sonucunda elde edilen p değerleri Tablo 4.2'de gösterildi. Buna göre dorsal yönde LM2, LM4, LM9, LM11 x koordinatında anlamlı fark bulundu ($P < 0.05$).

Tablo 4.2. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının dorsal yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri

Dorsal	<i>x</i>	<i>y</i>
LM1	0.9946	0.5458
LM2	0.04355*	0.6738
LM3	0.3778	0.9298
LM4	0.02386*	7.907E-05
LM5	0.9743	0.9319
LM6	0.5194	0.06281
LM7	0.5529	0.8109
LM8	0.339	0.7789
LM9	0.03639*	0.7803
LM10	0.3157	0.5699
LM11	0.004593*	0.4387
LM12	0.435	0.9797
LM13	0.4968	0.2872
LM14	0.1624	0.4372

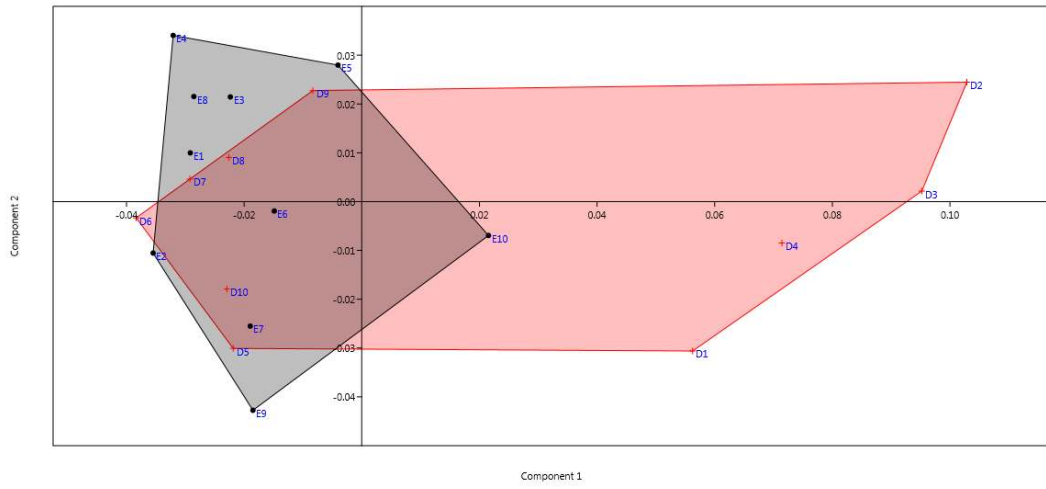
(* = $p < 0.05$)

4.2. Ventral

Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü PCA sonuçları Tablo 4.3'te gösterildi. Buna göre 16 tane temel bileşen hesaplandı. PCA1 toplam şekil farklılığının %57.225'ini, ilk dört temel bileşen (PCA1+PCA2+PCA3+PCA4) ise %87.9227'sini açıkladı. Temel bileşenler arasında belirgin kırılma noktası PCA1 ve PCA2 arasında gözlemlendi. PCA1'e göre örneklerin dağılımı Şekil 4.5'teki grafikte gösterildi. Buna göre dişilerin 6 tanesinin ve erkeklerin 9 tanesinin y ekseninin solunda toplandığı görüldü. Kafatasının ventral yönlü görüntüleri üzerinde uygulanan PCA'ya göre, belirgin bir cinsiyet farklılığı saptanmadı. Ancak erkek tavşanlar arasındaki kümeleşme dişilere göre daha fazlaydı.

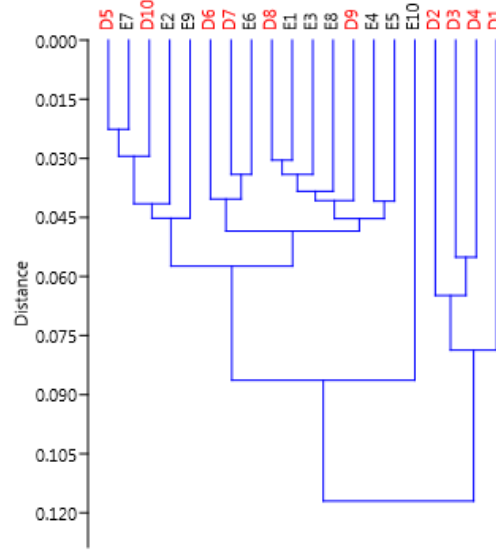
Tablo 4.3. Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntülerinde temel bileşenler analizi sonuçları

PC	Özdeğer	% Varyasyon	PC	Özdeğer	% Varyasyon
1	0.00198286	57.225	9	3.59177E-05	1.0366
2	0.000477659	13.785	10	2.79973E-05	0.80799
3	0.000330734	9.5449	11	1.72693E-05	0.49839
4	0.000255298	7.3678	12	1.38285E-05	0.39909
5	0.000104652	3.0202	13	8.00428E-06	0.231
6	7.84149E-05	2.263	14	6.42042E-06	0.18529
7	6.15645E-05	1.7767	15	4.69381E-06	0.13546
8	5.15237E-05	1.487	16	4.14185E-06	0.11953



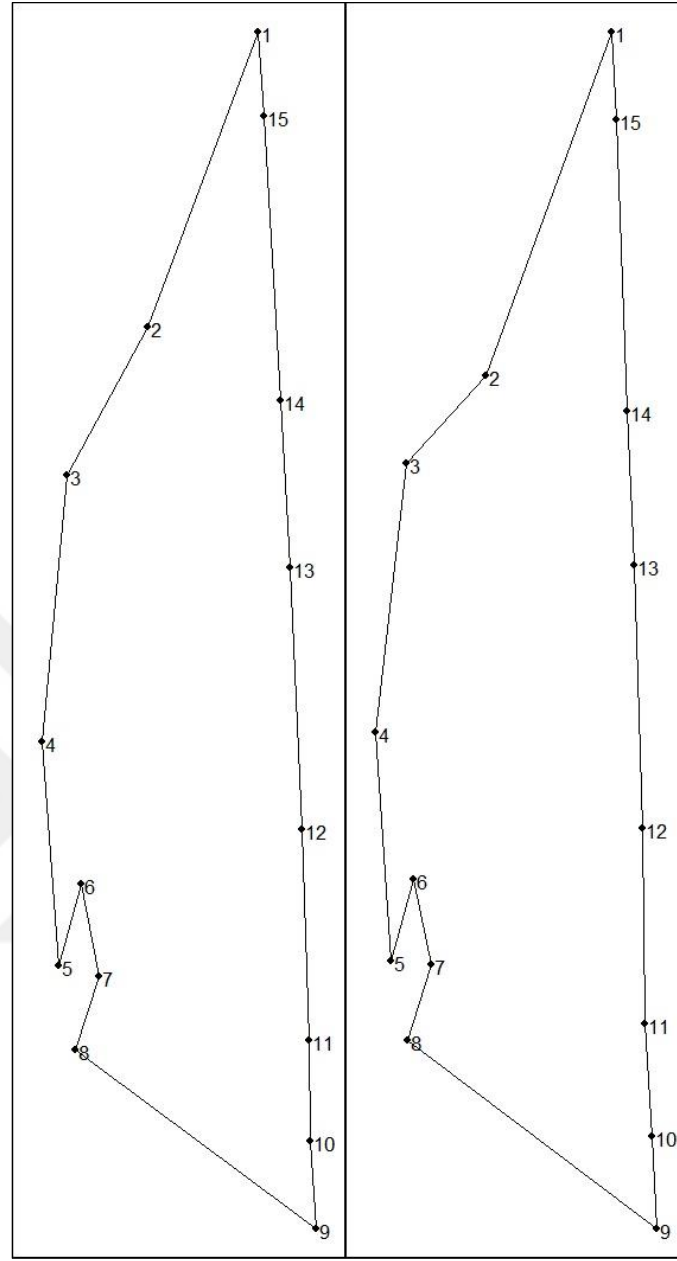
Şekil 4.5. Kafatasının ventral yönlü görüntülerinin PCA1'e göre grafiksel dağılımı. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Mavi: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Kafatasının ventral'inde belirlenen hiyerarşi grafiği Şekil 4.6'da verildi. Buna göre, erkek ve dişi tavşanların hiyerarşik olarak belirgin bir bölgede toplanmadığı görüldü.



Şekil 4.6. Kafatasının ventral yönlü görüntülerinde hiyerarşik yakınlığın grafiksel gösterimi. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Siyah: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Ventral yönlü konsensüs grafiğinin cinsiyete göre analizi Şekil 4.7’de gösterildi. Relative warp analizine göre dişilerde RWA1, RWA2, RWA3 değerleri sırasıyla %70.44, %12.13, %6.65 olarak belirlendi. Erkeklerde ise bu değerler sırasıyla %39.37, %32.99, %10.25 olarak belirlendi. Konsensüs grafiğine göre, kafatasının ventral görüntülerinde dişi tavşanlarda LM2 (*facies facialis*’in lateral çıkıntısı) noktasındaki açığı erkek tavşanlara göre daha geniş olduğu tespit edildi.

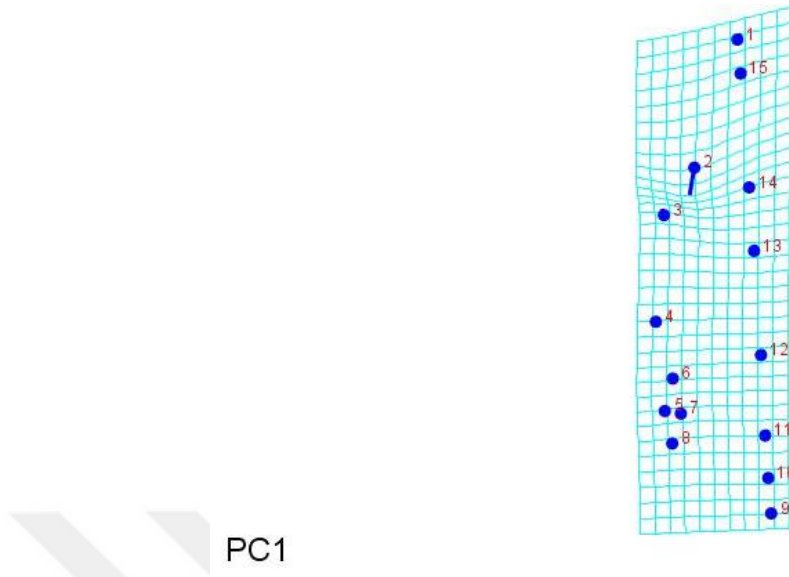


a

b

Şekil 4.7. Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı ventral yönlü konsensüs grafiği

MorphoJ programında kafatasının ventral yönlü görüntüleri üzerinde PC1'e ait lolipop grafiği Şekil 4.8'de gösterildi. Buna göre tavşanlar arasındaki şekil farklılığının en fazla LM2 (*facies facialis*'in lateral çıkıntısı) seviyesinde olduğu görüldü. LM2'nin caudolateral yönlü olduğu tespit edildi.



Şekil 4.8. Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntülerinde MorphoJ programında elde edilen PC1'in lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)

Anatomik olarak, kafatasının ventral yönlü geometrik morfometrik analizinde, şekil farklılığı daha çok *viscerocranium*'da olduğu gözlemlendi. Özellikle *maxilla*'nın *facial* çıkıntısındaki farklılığın belirgin olduğu tespit edildi.

Procrustes koordinatlarının bireyler arası istatistiksel analizi sonucunda elde edilen p değerleri Tablo 4.4'te gösterildi. Buna göre ventral yönde LM2, LM13'te *x* koordinatında, LM2, LM14, LM15'te *y* koordinatında anlamlı fark bulundu ($P < 0.05$).

Tablo 4.4. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri

Ventral	<i>x</i>	<i>y</i>
LM1	0,09037	0,2435
LM2	0,0001838*	0,02729*
LM3	0,1774	0,7697
LM4	0,1673	0,348
LM5	0,3624	0,5166
LM6	0,9681	0,3081
LM7	0,3422	0,3345
LM8	0,6815	0,1238
LM9	0,3091	0,439
LM10	0,7505	0,558
LM11	0,3192	0,2468
LM12	0,3919	0,8367
LM13	0,03711*	0,3648
LM14	0,3464	0,02249*
LM15	0,3981	0,003332*

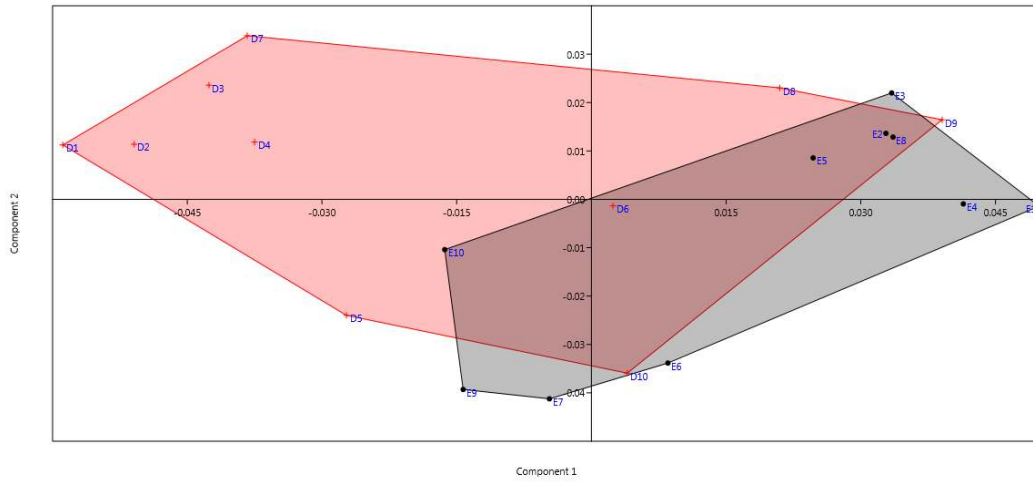
(* = $p < 0.05$)

4.3. Lateral

Çalışmada Yeni Zelanda Tavşanının kafatasında lateral yönden belirlenen LM koordinatları ile yapılan PCA sonuçları Tablo 4.5'te gösterildi. Buna göre PCA1 toplam şekil farklılığının %42.427'sini, ilk dört temel bileşen (PCA1+PCA2+PCA3+PCA4) ise %77.0238'ini açıkladı. Temel bileşenler arasında belirgin kırılma noktasının PCA1 ve PCA2 arasında olduğu görüldü. Erkek ve dişi Yeni Zelanda Tavşanlarının PCA1'e göre, *x* ve *y* koordinat eksenindeki istatistiksel dağılımları Şekil 4.9'da gösterildi. PCA1 üzerinde dişilerin 7 tanesinin *x* ekseninin üstünde, erkeklerin de 4 tanesinin *x* ekseninin üstünde lokalize olduğu görüldü. Kafatasının lateral yönlü görüntüleri üzerinde uygulanan PCA'ya göre, belirgin bir cinsiyet farklılığı saptanmadı. Ancak dişi tavşanlar arasındaki kümeleşme erkeklere göre daha fazlaydı.

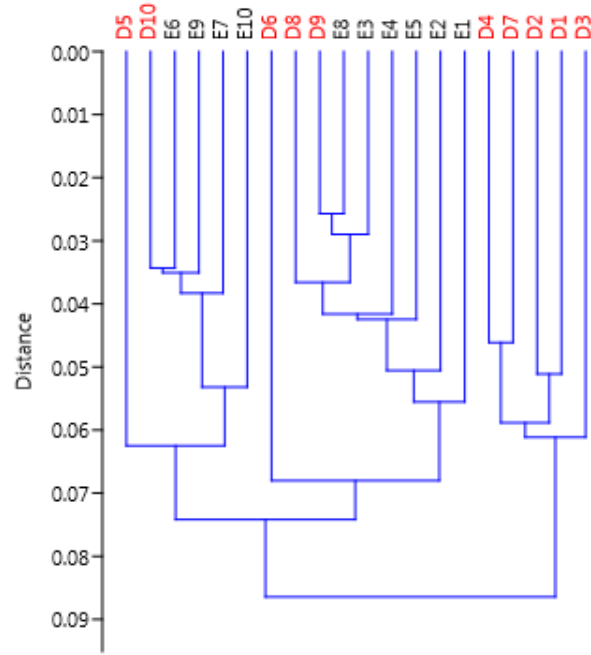
Tablo 4.5. Kafatasının lateral yönlü görüntülerinde yapılan temel bileşenler analizi sonuçları

PC	Özdeğer	% Varyasyon	PC	Özdeğer	% Varyasyon
1	0.00116693	42.427	9	5.12679E-05	1.864
2	0.000535391	19.466	10	3.84636E-05	1.3985
3	0.000237603	8.6388	11	2.92237E-05	1.0625
4	0.000178557	6.492	12	1.84826E-05	0.67199
5	0.000149407	5.4322	13	1.75771E-05	0.63907
6	0.000111646	4.0592	14	1.11656E-05	0.40596
7	0.000102641	3.7318	15	7.94422E-06	0.28884
8	7.62102E-05	2.7709	16	6.03891E-06	0.21956



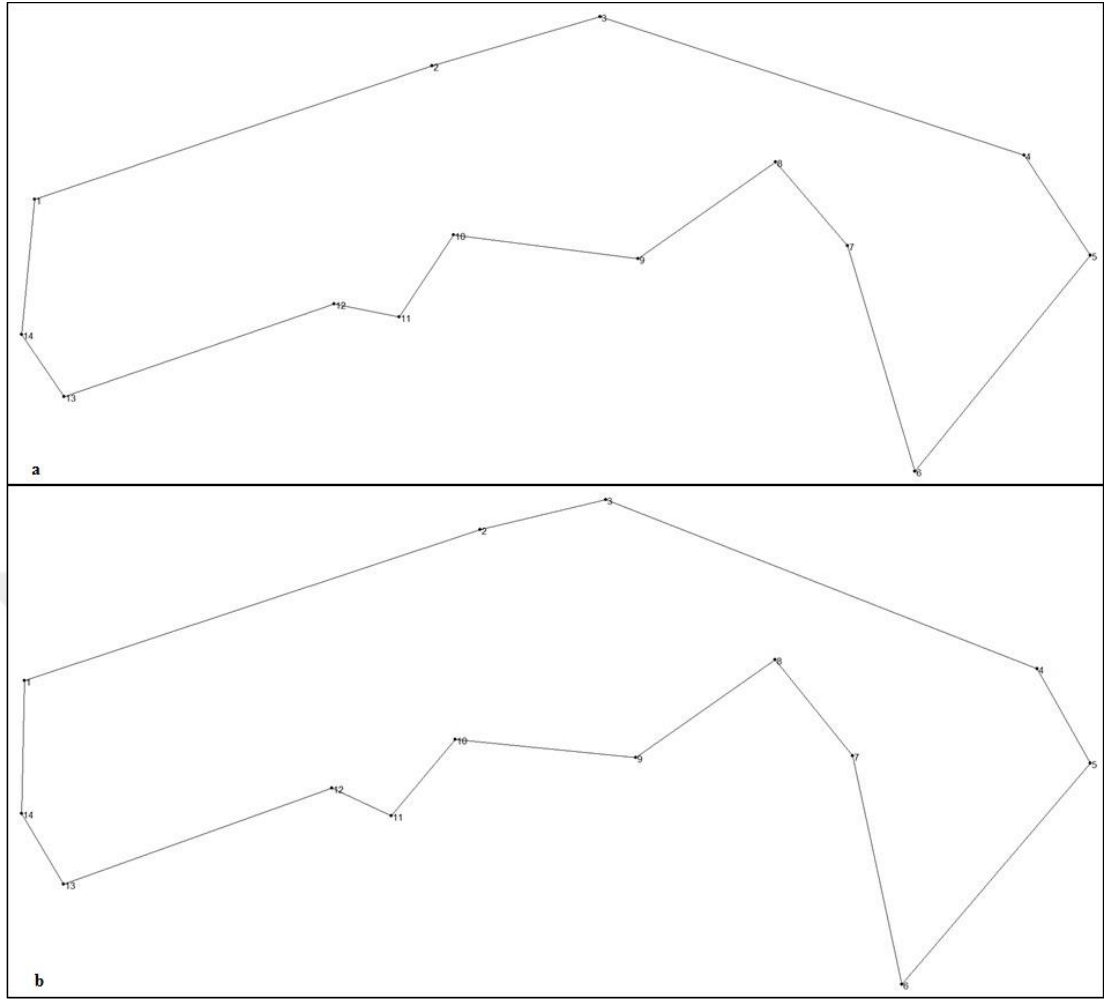
Şekil 4.9. Kafatasının lateral yönlü temel bileşenler analizinde PCA1'in grafiksel dağılımı. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Mavi: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Örneklerin hiyerarşik yakınlıklarını belirlemek için yapılan test sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.10'da gösterildi. Buna göre örneklerin cinsiyet faktörüne göre belirgin bir kümeleşme göstermediği belirlendi.



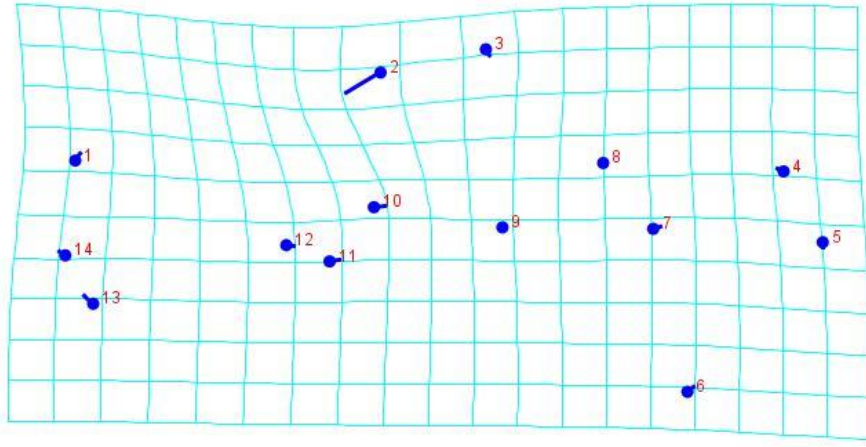
Şekil 4.10. Kafatasının lateral yönlü görüntülerinde tavşanların hiyerarşik yakınlığının grafiksel gösterimi. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Siyah: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Lateral yönlü konsensüs grafiğinin cinsiyete göre analizi Şekil 4.11’de gösterildi. Dişilerde relative warp analizinde RWA1, RWA2, RWA3 değerleri sırasıyla %41.41, %18.81, %12.00 olarak belirlendi. Erkeklerde de RWA1, RWA2, RWA3 sırasıyla %50.55, %16.24, %13.97 olarak belirlendi. Konsensüs grafiğine göre, kafatasının lateral görüntülerinde dişi tavşanlarda (LM2) *os incisivum*’un *proc. nasalis*’inin caudal’i ile (LM3) *orbita*’nın dorsal’i arasındaki mesafe erkek tavşanlara göre yere daha dik olduğu tespit edildi.



Şekil 4.11. Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral görüntülerinde konsensüs grafiği

Kafatasının lateral yönlü görüntülerinde MorphoJ programında yapılan PC1'e göre lolipop grafiği Şekil 4.12'de gösterildi. Buna göre tavşanlar arasındaki şekil farklılığı en fazla LM2 seviyesinde ve LM1, LM3, LM4, LM6, LM7, LM10, LM11, LM12, LM13, LM14 seviyesinde olduğu görüldü. PC1 grafiğine göre, LM2 rostroventral, LM13, LM4, LM14 rostradorsal, LM7, LM12, LM10, LM11 caudal, LM1, LM6 caudodorsal, LM3 caudoventral yönlüydü. LM5, LM8 ve LM9 seviyesinde şekil farklılığı gözlenmedi.



PC1

Şekil 4.12. Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral yönlü görüntülerinde MorphoJ programında elde edilen PC1'in lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)

Anatomik olarak, kafatasının lateral yönlü geometrik morfometrik analizindeki fark daha çok *viscerocranium*'da olduğu gözlemlendi. Özellikle *incisive* kemiğin *nasal* kemiğe doğru yaptığı çıkıntının (*Proc. nasalis*) sonlandığı noktadaki farklılık oldukça belirgindi. Bu nokta (LM2) erkek tavşanlarda daha caudal'deydi.

Procrustes koordinatlarının bireyler arası istatistiksel analizi sonucunda elde edilen p değerleri Tablo 4.6'da gösterildi. Buna göre lateral yönde LM1 x koordinatında, LM2, LM9, LM14 y koordinatında anlamlı fark bulundu ($P < 0.05$).

Tablo 4.6. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının lateral yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değerleri açısından p değerleri

Lateral	x	y
LM1	0.006952*	0.7329
LM2	0.0801	0.01667*
LM3	0.6545	0.8376
LM4	0.4977	0.9956
LM5	0.727	0.1354
LM6	0.963	0.5439
LM7	0.7748	0.9061
LM8	0.2197	0.9523
LM9	0.09262	0.02086*
LM10	0.6758	0.9723
LM11	0.2884	0.8869
LM12	0.6352	0.4245
LM13	0.5978	0.2724
LM14	0.2344	0.02622*

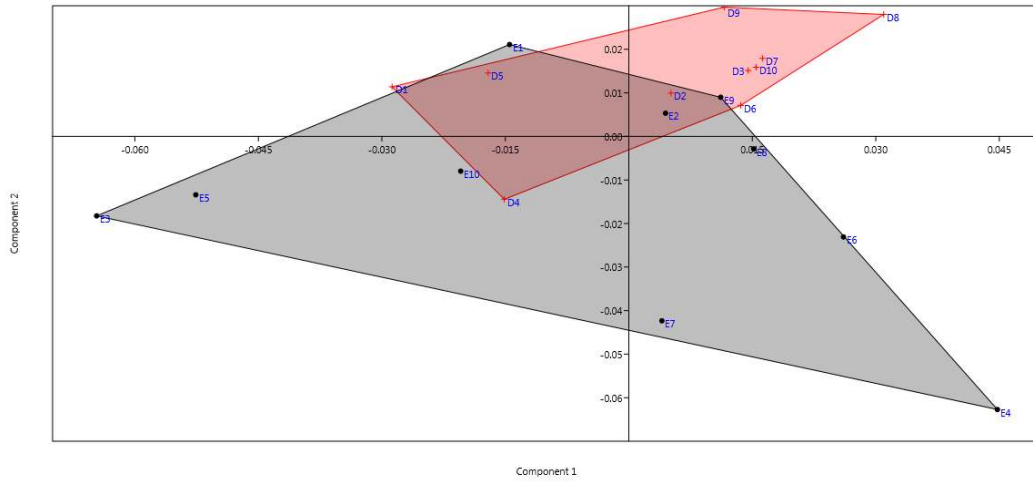
(* = p<0.05)

4.4. Mandibula

Çalışmada Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sında yapılan PCA sonuçları Tablo 4.7'de gösterildi. Buna göre PCA1 toplam şekil farklılığının %31.147'sini, ilk dört temel bileşen (PCA1+PCA2+PCA3+PCA4) ise %77.8704'ünü açıkladı. Temel bileşenler arasındaki fark en fazla PCA2 ve PCA3 arasında gözlemlendi. PCA1'e göre örneklerin dağılımı Şekil 4.13'teki grafikte gösterildi. PCA1 grafiğine göre, dişilerin 9 tanesi ve erkeklerin 3 tanesinin x ekseninin üstünde toplandığı görüldü. Erkek tavşanlar arasındaki varyasyon dişi tavşanlardan daha fazlaydı.

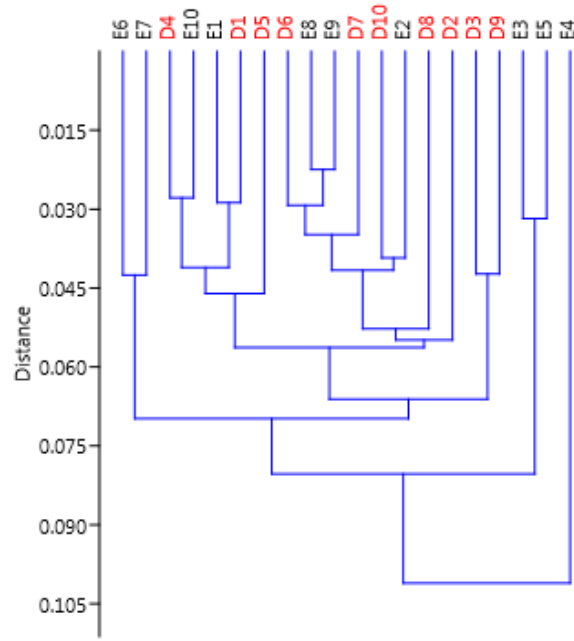
Tablo 4.7. Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sında yapılan temel bileşenler analizi sonuçları

PC	Özdeğer	% Varyasyon	PC	Özdeğer	% Varyasyon
1	0.000737687	31.147	9	4.13815E-05	1.7472
2	0.0005561	23.48	10	2.93863E-05	1.2408
3	0.000327111	13.812	11	1.90679E-05	0.8051
4	0.000223374	9.4314	12	9.23555E-06	0.38995
5	0.000162846	6.8758	13	7.01224E-06	0.29608
6	0.000103333	4.363	14	4.97431E-06	0.21003
7	8.80964E-05	3.7197	15	2.52123E-06	0.10645
8	5.42671E-05	2.2913	16	1.98749E-06	0.083917



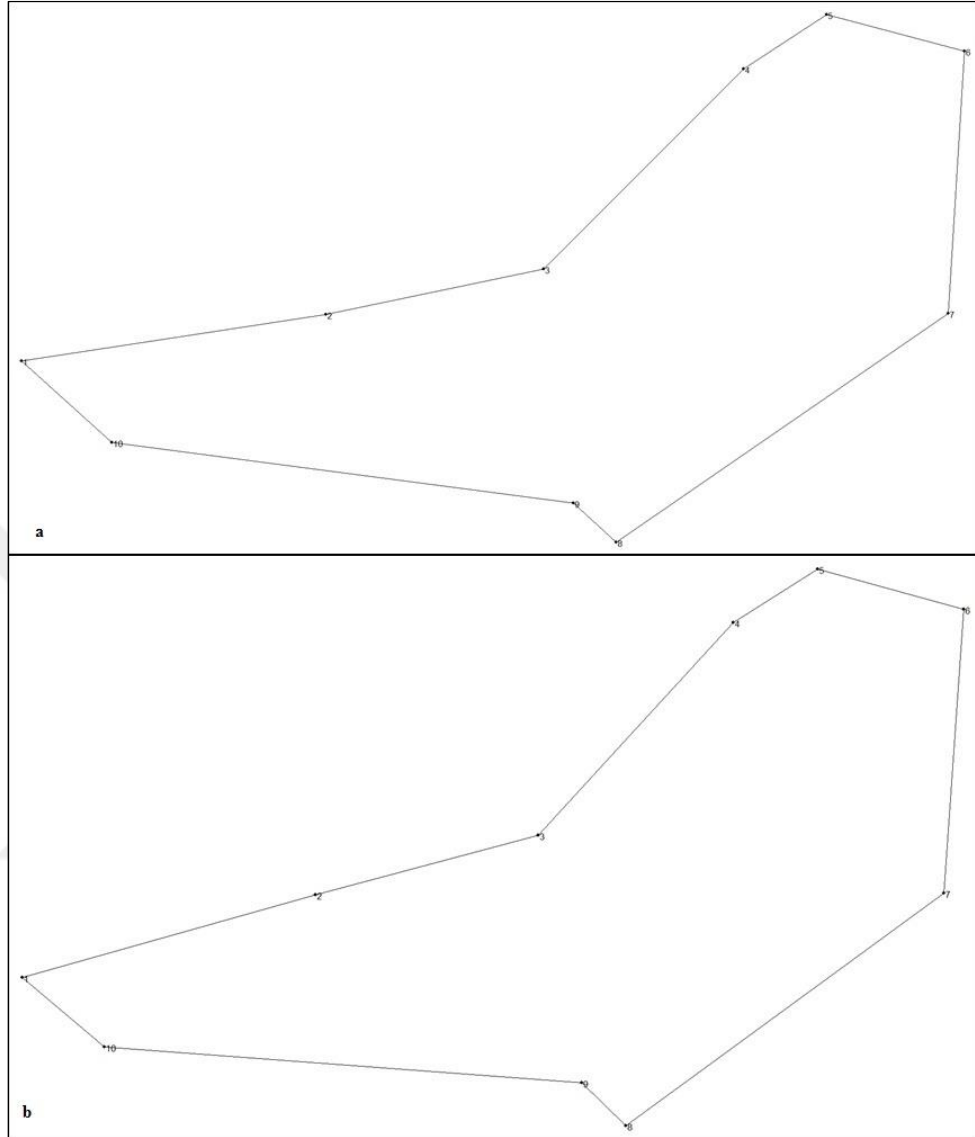
Şekil 4.13. Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sının PCA1'e göre dağılımı. Kırmızı: Diş Yeni Zelanda Tavşanı (D), Mavi: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Mandibula'ların hiyerarjik yakınlıklarını belirlemek için yapılan test sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.14'te gösterildi. Buna göre tavşanların cinsiyet faktörüne göre belirgin bir kümeleşme göstermediği saptandı.



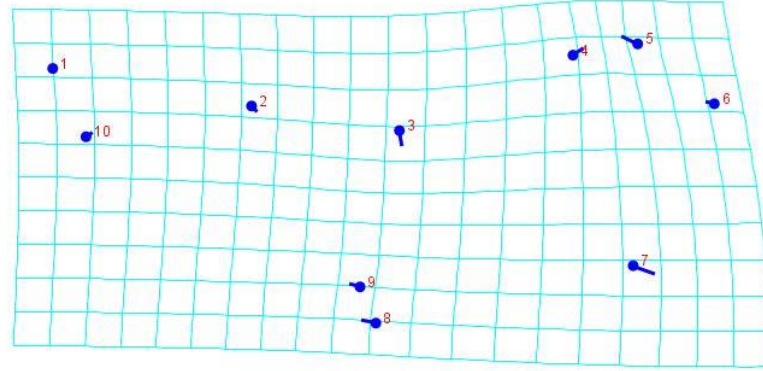
Şekil 4.14. Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sına ait görüntülerde tavşanların hiyerarşik yakınlığının grafiksel gösterimi. Kırmızı: Dişi Yeni Zelanda Tavşanı (D), Siyah: Erkek Yeni Zelanda Tavşanı (E)

Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sına ait konsensüs grafiğinin cinsiyete göre analizi Şekil 4.15'te gösterildi. Relative warp analizine göre, dişilerde RWA1, RWA2, RWA3 değerleri sırasıyla %32.96, %27.19, %13.34 olarak belirlendi. Erkeklerde ise bu değerler sırasıyla %48.20, %23.53, %17.17 olarak hesaplandı. Buna göre erkek tavşanların *mandibula*'ları şekilsel olarak daha fazla varyasyon gösterdi.



Şekil 4.15. Dişi (a) ve erkek (b) Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sına ait görüntülerin konsensüs grafiği

MorphoJ programında PC1'e göre elde edilen lolipop grafiği Şekil 4.16'da gösterildi. Buna göre tavşanlar arasındaki şekil farklılığı en fazla LM5, LM7 seviyesinde, daha az LM3, LM4, LM8, LM9, LM6, LM2 ve LM10 seviyesinde olduğu görüldü. PC1 grafiğine göre, LM5 *craniodorsal*, LM7 *cranioventral*, LM8, LM9 *cranial* yönde olduğunu saptandı. LM1 seviyesinde ise bir farklılık gözlenmedi.



PC1

Şekil 4.16. Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula*'sının lateral görüntülerinde belirlenen landmarklarda, PC1'e göre ortaya çıkan şekil farklılıklarının lolipop grafiği (Ölçek faktörü (set scale factor): 0.05)

Anatomik olarak *mandibula*'nın lateral yönlü geometrik analizindeki farklılıkların daha çok *ramus mandibula*'da olduğu gözlemlendi. Özellikle (LM7) *proc. angularis* ve (LM5) *proc. condylaris* noktasında şekilsel farklılık oldukça belirgindi.

Procrustes koordinatlarının bireyler arası istatistiksel analizi sonucunda elde edilen p değerleri Tablo 4.8'de gösterildi. Buna göre *mandibula*'nın lateral yönlü görüntülerinde LM3, LM4 ve LM7 *x* koordinatında, LM4 *y* koordinatında anlamlı ($P < 0.05$) fark bulundu.

Tablo 4.8. Dişi ve erkek Yeni Zelanda Tavşanı *mandibula* 'sının lateral yönlü görüntüleri üzerindeki landmarkların koordinat değeri açıısından p değeri

<i>Mandibula</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
LM1	0.7757	0.1145
LM2	0.1526	0.6855
LM3	0.002772*	0.128
LM4	0.0002159*	0.003718*
LM5	0.8977	0.9296
LM6	0.575	0.8135
LM7	0.003816*	0.8783
LM8	0.6027	0.4958
LM9	0.1166	0.6723
LM10	0.9297	0.5214

(* = $p < 0.05$)

5. TARTIŞMA

Çalışmada Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntemle şekilsel durumu belirlendi. Buna göre, PCA’da erkek ve dişi tavşanlar arasında belirgin bir ayrılma olmadığı görüldü. PCA’lar arasında en fazla varyasyon ventral görüntülerde belirlenen PCA1 (%57.225) değerine aitti. MorphoJ programında yapılan analizde PC1’e göre elde edilen lolipop grafiklerinde, kafatası üzerinde şekilsel farkın daha çok *viscerocranium*’da olduğu gözlemlendi. *Mandibula*’da ise şekilsel fark en fazla *ramus mandibula*’daydı.

Böhmer (2017), *Oryctolagus cuniculus* türüne ait 12’şer adet Avrupa tavşanı ve evcil tavşan kafatasını şekilsel olarak karşılaştırmıştır. Böhmer (2017) çalışmasında, yabani ve evcil tavşan kafatasının laterolateral radyolojik görüntüleri üzerinde 14 adet LM belirlemiştir. Buna göre ilk üç temel bileşenin toplam şekil farklılığının %75’ini açıkladığını bildirmiştir (PC1: %56.60, PC2: %13.24, PC3: %9.91). Literatürde (Böhmer, 2017) konsensüs grafiğinde *os nasale*’nin *craniomedial*’i en yüksek varyansı, *os occipitale*’nin *caudal*’i ikinci en yüksek varyansı göstermiştir. Yapılan çalışmada ise literatür’den (Böhmer, 2017), farklı olarak ilk üç temel bileşen toplam şekil farklılığının %70.5318’ini açıklamıştır (PC1: %42.427, PC2: %19.466, PC3: %8.6388). Aynı zamanda, literatürde (Böhmer, 2017) belirtilen anatomik noktalarda cinsiyetler arası farklılık gözlenmezken, en fazla varyasyonun LM2 (*os incisivum*’un *proc. nasalis*’inin *caudal*’i) düzeyinde olduğu belirlendi.

Kafatasının şekli, genetik ve çevresel faktörlerle birlikte farklı beslenme davranışından da etkilenir (Figueirido ve ark., 2012). Beslenmede etkin olan çiğneme kasları, çenenin hareket yönünü ve çiğneme kuvvetini belirler (Gürbüz ve ark., 2020). Böhmer (2017), şekil farklılığının daha çok çiğneme kaslarının yapıldığı bölgede olduğunu ifade etmiştir. *Mandibular* hareketlerin oluşmasında ve besinlerin parçalanmasında yardımcı olan çiğneme kasları *m. masseter*, *m. temporalis*, *m. pterygoideus lateralis* ve *m. pterygoideus medialis* olarak incelenmiştir (Schmolke, 1994; Velasco, 1993). Kabak ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada Yeni Zelanda Tavşanı *musculus masseter*’in *pars profunda*’sının rostral parçası, *arcus*

zygomaticus'un rostral'i ile *os zygomaticum* ve *maxilla*'nın ventral ve medial kenarından başlayarak *ramus mandibulae*'nin başlangıç noktasına bağlandığını raporlamışlardır. *Musculus temporalis*, lateral parçası *os parietale* ve *os temporale*'nin *pars squamosa*'sından başlayarak *proc. coronoideus*'un dorsal ucuna bağlandığı belirtilmiştir (Kabak ve ark., 2007). Yapılan çalışmada da literatür (Böhmer, 2017) ile uyumlu olarak çiğneme kaslarının olduğu bölgelerden *arcus zygomaticus* ile *os parietale*'de şekilsel farklılıklar görülmüştür. Çiğneme kaslarının bulunduğu *ramus mandibula*'daki bu şekilsel farklılıkların sebebinin mandibular hareketlerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Önel (2010), çalışmasında yabani tavşan (*Lepus europaeus*)'a ait Elazığ ilinden 19 ve Malatya ilinden 24 tane olmak üzere kafatasında geometrik morfometrik yöntemle cinsiyet dimorfizmini incelemiştir. Araştırmacı, *cranium*'un dorsal görüntülerinde 12, ventral görüntülerinde 23 ve *mandibula*'nın lateral görüntülerinde ise 10 tane LM belirlemiştir. Önel (2010), populasyonlar arasında yaptığı PCA sonucunda *cranium*'un dorsal görüntülerinde ve *mandibula* görüntülerinde herhangi bir gruplaşma olmadığını, *cranium*'un ventral görüntülerinde ise bir gruplaşma görülse de %95 elips grafiğinde tam bir ayrım olmadığını bildirmiştir. Bununla birlikte yabani tavşan kafatası görüntülerini cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntem ile analiz etmiş ancak cinsiyetler arası belirgin bir gruplaşma olmadığını belirlemiştir. Cinsiyetler arası yapılan bu çalışmada da araştırmacının (Önel, 2010) populasyonlar arası elde ettiği bulguları ile benzer şekilde, gruplar arası en belirgin varyasyonun ventral görüntüler üzerinde olduğu belirlendi. Buna rağmen tüm görüntüler üzerinde cinsiyetler arası belirgin bir gruplaşma gözlenmedi. Araştırmacı (Önel, 2010), bunun nedenini, aynı tür içerisindeki populasyonlarda farklılaşmanın az olmasından kaynaklı olduğunu ifade etmiştir.

Casanova ve ark. (2019) tarafından, yaban tavşanı (n=22) ile yaban tavşanı tipine ait toy tipi tavşanların (n=21) kafataslarında cinsiyetler arası şekil farklılığını belirlemek için geometrik morfometri yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar, kafataslarının laterolateral yönlü radyografik görüntüleri üzerinde 7 adet LM işaretlemişlerdir. Cinsiyetler arası şekil farklılığı, toy tipi tavşanlarda olduğu

görülmüştür ($p=0.034$). Bu farklılığın *splanchnocranium*'da (*viscerocranium*) olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar (Casanova ve ark., 2019) bu farklılığın nedenini, genetik yapının gelişimsel süreçte cinsiyetler arası değişimi etkilemesinden kaynaklı olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada da literatürle (Casanova ve ark., 2019) uyumlu olarak lateral yönlü görüntülerdeki şekil farklılık daha çok *viscerocranium*'da olduğu gözlemlendi.

Casanova ve Miquel (2021), toy tipi tavşanlarda *cranial* asimetri farkını cinsiyete göre incelemiştir. Bu amaçla 46 yetişkin (9, erkek; 37, dişi) tavşan kafatasını dorsal yönden fotoğraflayarak üzerinde 13 adet LM belirlemiştir. Casanova ve Miquel (2021), PCA sonucuna göre ilk üç temel bileşenin %74.4'ünü temsil ettiğini açıklamıştır (PC1: %47.7, PC2: %16.8, PC3: %9.7). Yapılan çalışmada ise literatürden (Casanova ve Miquel, 2021), farklı olarak ilk üç temel bileşen toplam şekil farklılığının %65.014'ünü açıklamıştır (PC1: %34.813, PC2: %18.449, PC3: %11.752). Araştırmacılar (Casanova ve Miquel, 2021), kafatasının dorsal yönlü görüntüleri üzerinde şekil farklılığının daha çok *viscerocranium*'da (LM3, LM4, LM13,) olduğunu rapor etmişlerdir. Bu farklılığın daha çok *maxilla* (*arcus zygomaticus*'un *cranial*'i) ve *nasal* kemiğin lateral çıkıntılarında olduğu belirtilmiştir (Casanova ve Miquel, 2021). Bu çalışmada da literatürle (Casanova ve Miquel, 2021) uyumlu olarak dorsal yönlü görüntülerde şekil farklılığı daha çok *viscerocranium*'da olduğu gözlemlendi. Ancak literatürden farklı olarak dorsal görüntüler üzerinde *nasal* kemiğin lateral çıkıntısı üzerinde belirlenen LM'da (LM2) bir farklılık gözlenmedi. Yapılan çalışmada özellikle de LM14 (*sutura nazafrontalis*'in medial'i) ile LM5 (*arcus zygomaticus*'un *cranial*'i) seviyelerindeki farklılık belirgindi. Araştırmacılar (Casanova ve Miquel, 2021), bu değişimin sebebinin yetiştirme süreciyle ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir.

Geiger ve ark. (2022), evcilleştirmenin kafatası şekil değişimi üzerindeki etkisini görmek için 16'sı yabani ve 14'ü evcil olan 30 Avrupa tavşanının (*Oryctolagus cuniculus Linnaeus*) kafatasını geometrik morfometri yöntemi ile incelemiştir. Araştırmacılar (Geiger ve ark., 2022) kafataslarının üç boyutlu görüntüleri üzerinde 14 adet LM işaretlemiştir. Geiger ve ark. (2022), kafatasının lateral yönü görüntülerinde, ilk iki temel bileşenin (PC1, %48.3; PC2, %13.3)

%61.6'sını açıkladığını bildirmişler. Geiger çalışmasında evcil tavşanların yabani tavşanlara göre, burnunun uzun, kafatasının dorsoventral basık, *arcus zygomaticus*'un mediolateral olarak dar, diş sırasının daha kısa olduğunu bildirmişlerdir. Geiger ve ark. (2022), kafatası şekil farklılığının sebebini tavşanlardaki yetiştirme süreci ve beslenme alışkanlıklarıyla ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada ise literatürle (Geiger ve ark., 2022), benzer şekilde kafatasının lateral yönlü görüntülerinde ilk iki temel bileşen toplam şekil farklılığının %61.893'ünü açıklamıştır (PC1, %42.427; PC2, %19.466).

Kraatz ve Sherratt (2016), *Leporid*'lerde (tavşanlar ve yabani tavşanlar) kafatası şekil değişikliğini neyin etkilediğini araştırmak için geometrik morfometriyi kullanmışlardır. Araştırmacılar (Kraatz ve Sherratt 2016), 184 kafatası üzerinde 52 landmark belirlemişler ve temel bileşen analizi sonucunda ilk dört temel bileşeni %64.2 olarak açıklamışlardır. Yapılan çalışmada literatür'den (Kraatz ve Sherratt, 2016), farklı olarak dorsal yönlü görüntüler üzerinde ilk dört temel bileşen şekil farklılığının %74.7986'sını açıklamış ve en fazla varyasyon PC1 (%34.813)'de görülmüştür. Kraatz ve Sherratt (2016), dorsal yönde en fazla varyasyonu PC1 (%26.7) ile *fasiyal* uzama ve burun kemiklerinin *proksimal* kısmının genişlemesiyle ilişkili olduğunu açıklamışlardır. Bu çalışmada literatürle (Kraatz ve Sherratt 2016) uyumlu olarak dorsal yönlü görüntülerde şekil farklılığı daha çok *viscerocranium*'da olduğu gözlemlendi. Araştırmacılar (Kraatz ve Sherratt 2016) bu kafatası şekil değişiminin ekolojik faktörlerden kaynaklı olduğunu ifade etmişlerdir.

Popülasyonlarda seksüel *dimorfizm* büyük farklılık göstermekle birlikte iskelet üzerinde cinsiyet ayrımı en iyi sonuçlandıran bölge *cranium* ve *pelvis*'tir. *Cranium* üzerinden cinsiyet belirlemede en etken kemikler *mandibula* ve *viscerocranium* bölgesinde yer alanlardır. Araştırmacılara göre morfolojik gözlemlerle cinsiyet tayini sadece kafatası kullanılarak %80 oranında tahmin edilirken, kafatası ve *mandibula* birlikte kullanılarak bu oran %90'a çıkmaktadır (Güleç ve ark., 2003; Scheuer, 2002; Bilge, Barutçu, 2012). Literatürde, farklı hayvan türleri üzerinden geometrik morfometrik yöntemlerle cinsiyet *dimorfizm* belirleme hakkında çalışmalar bulunmaktadır (Duro ve ark., 2021; Szara ve ark., 2022; Gündemir ve ark., 2020; Demircioğlu ve ark., 2021; Gürbüz ve ark., 2022).

Demircioğlu ve ark. (2021), çalışmalarında İvesi koyunu kafatası ve *mandibula*'sını geometrik morfometrik yöntemlerle incelemişlerdir. Araştırmacılar (Demircioğlu ve ark., 2021), dorsal ve lateral yönlü görüntülerde şekil farklılığını *viscerocranium* ve *neurocranium*'da olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada şekil farklılığı literatürden (Demircioğlu ve ark., 2021) farklı olarak *viscerocranium*'da olduğu görüldü. *Mandibula* görüntüleri üzerinde şekil farklılığı literatürde (Demircioğlu ve ark., 2021) *ramus mandibula* ile birlikte *corpus mandibula*'da değişiklik görülmüşken bu çalışmada literatürden farklı olarak sadece *ramus mandibula*'da değişiklik görülmüştür.

Gürbüz ve ark. (2022), 4 dişi ve 9 erkek Kızıl tilki kafatasını cinsiyete göre geometrik morfometrik yöntemle incelemek için dorsal yönlü görüntülerde 11 ve lateral yönlü görüntülerde 19 homolog LM işaretlemişlerdir. Araştırmacılar (Gürbüz ve ark., 2022), lateral yönlü görüntüler üzerinde şekil farklılığını *processus hamatus* ile *arcus zygomagus*'un *cranial* birleşiminde tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise lateral yönlü görüntülerde şekil farklılığı literatürden (Gürbüz ve ark., 2022) farklı olarak *viscerocranium*'da olduğu saptanmıştır. Yapılan çalışmada dorsal yönlü görüntüler üzerinde şekil farklılığı literatürle uyumlu olarak daha çok *viscerocranium* olmak üzere *neurocranium*'da olduğunu rapor edildi.

Gürbüz ve ark. (2015), Yeni Zelanda Tavşanı kafatası üzerinde cinsiyete göre farklılığı morfometrik olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar (Gürbüz ve ark., 2015), 10 erkek ve 10 dişi olmak üzere 20 adet Yeni Zelanda Tavşanını dorsal ve ventral yönden 19 farklı *craniometrik* değer ölçmüşlerdir. Gürbüz ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada cinsiyetler arasındaki farkı istatistiksel olarak anlamsız bulmuşlardır. Yapılan çalışmada da literatür (Gürbüz ve ark., 2015) ile uyumlu olarak kafatası şekli görüntüleri üzerinde belirgin bir cinsiyet ayrımı saptanmamıştır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının cinsiyet faktörüne dayalı geometrik morfometrik yöntemler ile analizi sağlandı. Temel bileşenler analizine göre, Yeni Zelanda Tavşanı kafatasının ventral, dorsal, lateral yönlü görüntüleri ile *mandibula*'nın lateral yönlü görüntülerinde dişi ve erkek tavşanların belirli bir bölgede yoğunlaşmadığı tespit edildi. Çalışmada yapılan temel bileşenler analizleri arasında en fazla varyasyon ventral görüntülerde belirlenen PCA1 (%57.225) değerine aitti. PCA1'e göre *x* ve *y* koordinatında dişilerin 6 tanesinin ve erkeklerin 9 tanesinin *y* ekseninin solunda toplandığı görüldü.

Göreceli çarpıtma analizi sonucunda, dişi tavşanlar arasındaki varyasyon değeri (RWA1: %70.44) en fazla ventral görüntüler üzerinde belirlendi. Ventral yönlü konsensüs grafiğinde, *facies facialis*'in lateral çıkıntısının dişilerde erkeklere göre lateral yönlü olduğu tespit edildi.

Göreceli çarpıtma analizi sonucunda, erkek tavşanlar arasındaki varyasyon değeri (RWA1: %50.55) en fazla lateral görüntüler üzerinde belirlendi. Lateral yönlü konsensüs grafiğinde, *os incisivum*'un *proc. nasalis*'inin caudal'i (LM2) ile *orbita*'nın dorsal'i (LM3) arası mesafenin erkeklerde daha kısa ve LM2'nin erkeklerde biraz daha caudodorsal'de olduğu gözlemlendi.

MorphoJ programında kafatasının ventral, dorsal, lateral yönlü görüntüleri üzerinde yapılan birinci temel bileşene göre lolipop grafikleri elde edildi. Bu grafiklerde anatomik olarak, kafatasının geometrik morfometrik analizinde şekilsel farklılık en fazla *viscerocranium*'da olduğu gözlemlendi. *Mandibula*'daki MorphoJ programı sonucu elde edilen PC1'in lolipop grafiğinde anatomik olarak fark en fazla *ramus mandibula*'daydı. Bu bölgede şekil farklılığının nedeninin çiğneme fonksiyonundan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak elde edilen verilerin diğer tavşan türlerinin kafatasları üzerinde uygulanacak geometrik morfometrik çalışmalara katkı sağlayacağı kanaatindeyiz.

Aynı zamanda zooarkeolojik çalışmalarda bulunan *cranium*'lar üzerinde şekilsel bilgi vermesi açısından önem arz etmektedir.



KAYNAKLAR

- Adams DC, Otarola-Castillo E (2013).** Geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *MEE.*, **4**, 393-399.
- Adams DC, Funk DJ (1997).** Morphometric inferences on sibling species and sexual dimorphism in *Neochlamisus bebbianae* leaf beetles: multivariate applications of the thin-plate spline. *Syst. Biol.*, **46**, 180-194.
- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE (2004).** Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Ital. J. Zool.*, **71**, 5-16.
- Akbulut Y, Demiraslan Y, Gürbüz İ, Aslan K (2014).** Yeni Zelanda tavşanı (*Oryctolagus cuniculus* L.)'nda cinsiyet faktörünün mandibula morfometrisine etkisi. *Fırat Üniv. Sađl. Bil. Vet. Derg.*, **28(1)**, 15-18.
- Altun A, Çek Ş, Çembertaş E (2015).** Cyphotilapia frontosa'da Cinsiyete Bağlı Şekil Farklılıklarının Geometrik Morfometri Yöntemiyle Belirlenmesi. *Yunus Arş. Bül.*, **3**, 13-20.
- Aslan E (2007).** Şekil analizinde ince levha yöntemi ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Matematik Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa/Türkiye.
- Aytek Aİ (2017).** Geometrik Morfometri. *MASROP E-Dergi*, **11**, 1-7.
- Barone R (1989).** Anatomie Com-paree des Maamiferes Do- mestiques, third Ed Vigot, Paris, 811.
- Barutçu S (2012).** Geometrik Morfometri Yöntemi ile Cinsiyet Belirleme Üzerine Bir Örnek. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü Fen Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul/Türkiye.
- Brande S, Saragusti I (1996).** A morphometric model and landmark analysis of acheulian hand axes from Northern Israel. *Advances in morphometrics*, 423-435.
- Brewer NR (2006).** Historical special topic overview on rabbit comparative biology. *JAALAS*, **45(1)**, 8-24.
- Bookstein FL (1987).** Morphometrics for Functional Imaging Studies. *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, **7**, 23-27.
- Bookstein FL (1989).** Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE TPAMI/PAMI.*, **11**, 567-585.
- Bookstein FL (1991).** Thin-plate splines and the atlas problem for biomedical images. In Biennial International Conference on Information Proccessing in Medical Imaging. Springer, Berlin, Heidelberg, 326-342.

Bookstein FL (1996). *Combining the tools of geometric morphometrics.* In Advances in morphometrics. Springer, Boston, MA, 131-151.

Bookstein FL (1997). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology.* Cambridge University Press, 30-66.

Boz İ, Manuta N, Özkan E, Kahvecioğlu O, Pazvant G, Ince N G, Gundemir O (2023). Geometric morphometry in veterinary anatomy. *Veterinaria*, **72(1)**, 15-27.

Böhmer C, Böhmer E (2017). Shape variation in the craniomandibular system and prevalence of dental problems in domestic rabbits: a case study in evolutionary veterinary science. *Vet. Sci.*, **4(1)**, 5.

Cardillo M (2010). Some applications of geometric morphometrics to archaeology. *Morphometrics for nonmorphometricians*, 325-341.

Casanova P, Miquel P (2021). Diferente Asimetría Craneal Según Sexo en el Conejo Toy. *Int J Morphol.*, **39(3)**, 864-868.

Casanova P, Pere M, Lloveras L, Nadal J (2019). Skull sexual dimorphism appears in toy rabbits. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, **28(2)**, 225-231.

Chacon MG, Detroit F, Coudenneau A, Moncel, MH (2016). Morphometric assessment of convergent tool technology and function during the Early Middle Palaeolithic: the case of Payre, France. *PloS one*, **11(5)**, e0155316.

Chow EP, Bennett RA, Dustin AL (2009). Ventral bulla osteotomy for treatment of otitis media in a rabbit. *J. Exot. Pet. Med.*, **18(4)**.

Crabb ED (1931). Principles of functional anatomy of the rabbit. P. Blackstone's son & co, 93-94.

Craigie EH (1948). *Bensley's practical anatomy of the rabbit. An elementary laboratory textbook in mammalian anatomy.* University of Toronto Press, **(8)**, 53-60.

Demircoğlu İ, Demiraslan Y, Gürbüz İ, Dayan MO (2021). Geometric Morphometric Analysis of Skull and Mandible in Awassi Ewe and Ram. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, **27**, 43-49.

Donata G, Belongie SJ (2003). *Approximation methods for thin plate spline mappings and principal warps.* Department of Computer Science and Engineering, University of California, San Diego, 5-13.

Dryden IL, Mardia KV (2016). *Statistical shape analysis: whit applications in R.* Second Edition, John Wiley & Sons, 995.

Duro S, Gündemir O, Sönmez B, Jashari T, Szara T, Pazvant G, Kambo A (2021). A different perspective on sex dimorphism in the adult Hermann's tortoise: geometric morphometry. *Zool. Stud.*, 60.

Düzler A, Çakır A (2003). Yeni Zelanda tavşanında ön ekstremitelerin postnatal osteolojik gelişimi. *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg.*, **50(3)**, 165-172.

Erol AS, AYTEK Aİ (2016). *Antik Anadolu toplumlarının geometrik morfometrik karşılaştırılmaları.* Doktora Tezi, Antropoloji (Paleoantropoloji) Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara/Türkiye.

Farag FM, Daghash SM, Khalifa EFM, Hussein MM, Hagrass S (2012). Anatomical studies on the skull of the domestic rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) with special reference to the hyoid apparatus. *J. Vet. Anat.*, **5(2)**, 49-70.

Figueirido B, Serrano AFJ, Palmqvist P (2012). Geometric morphometrics shows differences and similarities in skull shape between the red and giant pandas. *J. Zool.*, **286(4)**, 293-302.

Geiger M, Sanchez Villagra MR, Sherratt E (2022). Cranial shape variation in domestication: A pilot study on the case of rabbits. *J. Exp. Zool. B Mol. Dev. Evol.*, **338(8)**, 532-541.

Güleç E, Sağır M, İsmail ÖZER (2003). İnsan İskeletlerinde Foramen Magnum'dan Cinsiyet Tayini. *Ankara Üniversitesi D. T. C. F. Dergisi*, **43(1)**, 1-9.

Gündemir O, Özkan E, İnce NG, Pazvant G, Demircioğlu İ, Aydoğdu S, Dayan MO. (2020). Investigation of Os Coxae in Horses Using Geometric Morphometry Method. *Harran Üniv. Vet. Fak. Derg.*, **9**, 170-176.

Gürbüz İ, AYTEK A, Demiraslan Y, Onar V, ÖZGEL Ö (2020). Geometric morphometric analysis of cranium of wolf (*Canis lupus*) and German shepherd dog (*Canis lupus familiaris*). *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, **26**, 525-532.

Gürbüz İ, Demiraslan Y, Aslan K (2015). Morphometric analysis of the skull of New Zealand rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.) according to gender. *Arc J Anim Vet Sci*, **1(2)**, 27-32.

Gürbüz İ, Demiraslan Y, Karaavcı FA, Yılmaz O, Demircioğlu İ (2022). Geometric Morphometric Analysis on the skull of the Red Fox (*Vulpes vulpes*). *Harran Üniv. Vet. Fak. Derg.*, **11(1)**.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron*, **4 (1)**, 1-9.

Jordan EL, Verma PS (1983). *Chordate zoology and elements of animal physiology.* S Chand, Company Ltd, Ramnagar, New Delhi, 553-641.

Kabak M, Gültiken ME, Burcu ONUK (2007). Yeni Zelanda tavşanında (*Oryctolagus cuniculus* L.) articulatio temporomandibularis ve çiğneme kaslarının anatomisi. *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg.*, **54(3)**, 149-15.

Katina S, Bookstein F, Gunz P, Schaefer K (2007). Was it worth digitizing all those curves? A worked example from craniofacial primatology. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 44-140.

Katina S, Sefcakova A, Velemínska J, Bruzek J, Velemínský P (2004). A geometric approach to criminal sexual dimorphism in fossil skulls from Predmosti (Upper Palaeolithic Czech Republic) Anthropology. *J. Nat. Mus. Nat. Hist. Ser.*, **173**, 133-44.

Klingenberg CP (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol. Ecol. Resour.*, **11**, 353-357.

Kim TK (2017). Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean J. Anesthesiol.*, **70**(1), 22-26.

Kozma C, Macklin W, Cummins LM, Mauer R (1974). Anatomy, physiology and biochemistry of the rabbit. *The biology of the laboratory rabbit*, **12**(1), 55-58.

Kraatz B, Sherratt E (2016). Evolutionary morphology of the rabbit skull. *PeerJ.*, **4**, e2453.

Mapara M, Thomas BS, Bhat KM (2012). Rabbit as an animal model for experimental research. *Dent. Res. J.*, **9** (1), 111-118.

McLaughlin CA, Chiasson RB (1979). Laboratory Anatomy of the Rabbit. *Wm. C. Brown Publishers*. USA. 1-2.

Mitteroecker P, Gunz P (2009). Advances in Geometric Morphometrics. *Evol. Biol.*, **36**, 235-247.

Ocañoğlu G, Özdemir ST, Ercan İ, Etöz A (2013). The Shape of the External Human Ear: A Geometric Morphometric Study/İnsan Dış Kulağının Şekli: Geometrik Morfometrik Bir Çalışma. *Türkiye Klinikleri J. Med. Sci.*, **33**, 184.

O'Higgins P (2000). The study of morphological variation in the hominid fossil record: biology, landmark and geometry. *J. Anat.*, **197**, 103-120.

Otağ İ, Çimen M (2003). Femurdan morfometrik yöntemlerle cinsiyet tayini. *CÜ. Tıp. Fak. Derg.*, **25**, 165-170.

Önel A (2010). *Elazığ Malatya İlleri Yabani Tavşan (Lepus europaeus Pallas, 1778) Populasyonlarının Geometrik Morfometrik Yöntemler Kullanılarak Karşılaştırılması.* Doktora Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ/Türkiye.

Özger G (2021). *The Late Bronze Age animal mobility and herding strategies: A geometric morphometric study of Ovis aries and Capra hircus remains from Hittite period Sapinuwa (Ortaköy/Turkey).* (Master's thesis, Middle East Technical University), 27-75.

Özkadif S, Eken E (2016). Craniometric measurements of New Zealand rabbits skull from three-dimensional reconstruction images. *J. Anim. Vet. Sci.*, (2), 9-14.

Özkoçak V, Özdemir F (2018). Anadolu erkeklerinde sağ ve sol kulak kepçesinin yaşa göre değişimi. *Electronic Turkish Studies*, **13(18)**.

Poyraz Ö (2000). Laboratuvar Hayvanları Bilimi. Kardelen Ofset, Ankara, 279-299.

Prasad SN (1969). A laboratory manual of vertebrate zoology. Rec Id: 11287720, Allah-abad, Pustakayan, **5(2)**, 49-70.

Reece WO, Rowe EW (2017). *Functional anatomy and physiology of domestic animals*. JWS., 180.

Requieron EA, Torres MAJ, Demayo CG (2012). Applications of relative warp analysis in describing of scale shape morphology between sexes of the snakehead fish *Channa striata*. *Int. J. Biol. Ecol. Environ. Sci.*, **1(6)**, 205-209.

Reyment RA, Blackith RE, Campbell NA (1984). *Multivariate morphometrics*. Academic Press, **10**.

Rohlf FJ (2017). TpsSmall Version 1.34. Ecology & Evolution, SUNY at Stone Brook, USA.

Rohlf FJ (2018). TpsDig Version 2.31. Ecology & Evolution, SUNY at Stone Brook, USA.

Rohlf FJ (2019). TpsUtil program Version 1.79. Ecology & Evolution, State University of New York, Stony Brook, NY.

Rohlf FJ (2000a). On the use of shape spaces to compare morphometric methods. *Hystrix O. J. Mamm.*, **11**, 9-25.

Rohlf FJ (2000b). Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. *Am. J. Phys. Anthropol.*, **111**, 463-478.

Rohlf FJ, Bookstein FL (1990). *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*. Special Publication No. 2, University of Michigan Museum of Zoology.

Rohlf FJ, Marcus LF (1993). A revolution morphometrics. *Trends Ecol. Evol.*, **8**, 129-132.

Rohlf FJ, Loy A, Corti M (1996). Morphometric analysis of Old World Talpidae (Mammalia, Insectivora) using partial-warp scores. *Syst. Biol.*, **45**, 334-362.

Scheuer L (2002). Application of Osteology to Forensic Medicine. *Clinical Anatomy*, **15**, 297-312.

Schmolke C (1994). The relationship between the temporomandibular joint capsule, articular disc and jaw muscles. *J. Anat.*, **184(2)**, 335.

Sinanoğlu E (2018). *Geometrik Morfometrik Yöntemi Kullanarak Pelvis İskeletinden Cinsiyet Tayini*. Yüksek Lisans Tezi, Antropoloji (Fizik Antropoloji) Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara/Türkiye.

Slice DE (2007). Geometrik morphometrics. *Annu. Rev. Anthropol.*, **36**, 261-281.

Sprengel R, Rohr K, Stiehl HS (1996). Thin-plate spline approximation for image registration. *In Proceedings of 18 th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, **3**, 1190-1191.

Szara T, Duro S, Gündemir O, Demircioğlu İ (2022). Sex determination in Japanese Quails (*Coturnix japonica*) using geometric morphometrics of the skull. *Animals*, **12**(3), 302.

Şahiner Y, Yalçın H (2007). Erkek ve bayanlarda kafatası kemiğinden geometrik morfometri metoduyla cinsiyet tayini ve ramus flexure. *Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg.*, **2**, 134-142.

Taibo A (2014). *Veterinary Medical Terminology Guide and Workbook*, This edition first published, **3**, 478-480.

Temizer A, Önel A (2011). Elazığ ve Malatya İlleri Yabani Tavşanı (*Lepus europaeus* Pallas, 1778)'nın Geometrik ve Morfometrik Yöntemler Kullanılarak Karşılaştırılması. *Fırat Univ. J. Sci.*, **23**, 1-12.

Trapani J (2003). Geometric morphometric analysis of body-form variability in *Cichlasoma minckleyi*, the Cuatro Ciénegas cichlid. *Environ. Biol. Fishes*, **68**, 357-369.

Velasco JM, Vazquez JR, Collado JJ (1993). The relationships between the temporomandibular joint disc and related masticatory muscles in humans. *J. Maxillofac. Surg.*, **51**(4), 390-395.

Wingerd BD (1985). Rabbit dis-section manual. *The Johns Hopkins university press, Baltimore*, 46.

Yahyaoğlu Ö (2015). *Adli Bilimlerde Geometrik Morfometrik Yöntemlerin Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara/Türkiye.

Yalçın H, Kaya MA (2009). Anadolu yaban koyunu ve Akkaraman koyununun kafa kemikleri üzerinde karşılaştırılmalı geometrik morfometri. *Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg.*, **2**, 105-116.

Yaprak A, Özgel Ö, Demiraslan Y (2023). Geometric Morphometric Analysis of Skull in Honamlı, Hair, Kilis and Saanen Goat Using Dorsal Landmarks. *Kocatepe Vet. J.*, **16**(1), 86-92.

Yazar İ, Yavuz HS, Çay MA (2009). Temel bileşen analizi yönteminin ve bazı klasik ve robust uyarlamalarının yüz tanıma uygulamaları. *ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Derg.*, **21**, 49-63.

Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD (2012). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Second Edition.

Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL (2004). Geometric morphometrics for biologists: A primer. *Elsevier Academic Press*.



