

## Review Article

**Morfometrik ve Geometrik Morfometrik Yöntemlerinin Veterinerlik Anatomisi Alanında Kullanımı****Şevval ÖZDEMİR<sup>1</sup>\*, Mehmet CAN<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Veterinerlik Anatomisi Anabilim Dalı, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye<sup>2</sup> Anatomi Anabilim Dalı, Veteriner Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

\*Corresponding author e-mail: sevalozdemir889@gmail.com

**ÖZET****MAKALE  
BİLGİSİ**

Materyaller üzerinde kullanılan araçlar ile uzunluk, açı gibi parametrelerin ölçüldüğü ve sonuçların istatistiksel analizini kapsayan yöntem morfometridir. Morfometrik yöntemler şeklin konu edinildiği birçok alanda ve çeşitli materyaller üzerinde uzun zamandır kullanılmaktadır. Sağlık bilimleri konu edinen araştırma dallarında faydalanan bu yöntem veterinerlik anatomisi alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Yaşanan teknolojik ilerlemeler ile morfometrik yöntemler de gelişmektedir. Morfometrik yöntem ile elde edilen ölçümlerin yanı sıra incelenen materyalin şekil yorumunun tamamen araştırmacının gözlemine dayalı olması bu yöntemi ampirik kılmaktadır. Geliştirilen son yaklaşım şekil analizine ve geometrik bilgilerin tamamının tutulmasına yaptığı vurgu nedeniyle geometrik morfometri olarak adlandırılmaktadır. Geometrik morfometrik incelemelerde indirekt yöntemler yardımıyla veri elde edilmektedir. Bu yöntemler üç boyutlu tarayıcıdan elde edilen görüntüler, radyografik görüntüler üzerinden yapılmakla birlikte en sık kullanılan yöntem fotoğraflama yöntemidir. Bu yöntemde verilerin saptanması için kartezyen koordinatları kullanılır. Bunun yanı sıra fotoğraflama metoduyla iki ve üç boyutlu incelemelerin yapılması mümkündür. Ayrıca bu yeni yöntem, çok sayıda şekil değişkenini bir arada incelemeye olanak tanıırken analiz sonuçlarının grafiksel gösterimine de imkan sağlamaktadır. Morfometrik yöntemler ile şekil analizi, araştırmacının yorumuna dayalıyken geometrik morfometrik yöntemlerde bu analiz sonucunda daha kesin verilere ulaşmak mümkündür. Bu çalışmada, veterinerlik anatomisi alanında sıklıkla yararlanılan morfometrik ve geometrik morfometrik yöntemlerin kıyaslanması ve bu yöntemlerin kullanılmasının ne gibi farklılıklar yarattığını ortaya koymak hedeflenmektedir.

Geliş:  
28.07.2023  
Kabul:  
20.11.2023

**Anahtar kelimeler:** *Anatomik nokta, fotoğraflama, şekilsel değişim.***Usage of Morphometric and Geometric Morphometric Methods in the Field of Veterinary Anatomy****ABSTRACT****ARTICLE  
INFO**

Morphometry is a method in which parameters such as length and angle are measured with the tools used on the materials and the statistical analysis of the results. Morphometric methods have been used for a long time in many areas where shape is the subject and on various materials. This method, which is used in research branches dealing with health sciences, is also frequently used in the field of veterinary anatomy. Morphometric methods are also developing with technological advances. In addition to the measurements obtained by the morphometric method, the interpretation of the shape of the material examined is based entirely on the observation of the researcher, making this method empirical. The last approach developed is called geometric morphometry because of its emphasis on shape analysis and retention of all geometric information. In geometric morphometric examinations, data are obtained with the help of indirect methods. Although these methods are performed on images obtained from a three-dimensional scanner and radiographic images, the most commonly used method is photography. In this method, Cartesian coordinates are used to determine the data. In addition, it is possible to carry out two- and three-dimensional examinations with the same method. In addition, this new method allows to examine a large number of shape variables together and also provides a graphical display of the analysis results. While shape analysis with morphometric methods is based on the researcher's interpretation, it is possible to obtain more precise data as a result of this analysis in geometric morphometric methods. In this study, it is aimed to compare morphometric and geometric morphometric methods, which are frequently used in the field of veterinary anatomy, and to reveal what differences the use of these methods creates.

Received:  
28.07.2023  
Accepted:  
20.11.2023

**Keywords:** *Anatomical point, photographing, shape change*

**Cite this article as:** Özdemir, Ş., & Can, M. (2023). Morfometrik ve Geometrik Morfometrik Yöntemlerinin Veterinerlik Anatomisi Alanında Kullanımı. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 13(2), 226-235. <https://doi.org/10.53518/mjavl.1334252>

## GİRİŞ

Morfometri terimi, Antik Yunancadan gelen “morphe” (şekil, biçim) ve “metria” (ölçüm) kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşur (Mitteroecker ve Gunz, 2009). Bir materyalle ilgili çalışıldığında ortaya çıkan soruların pek çoğu şekille ilgilidir. Bu sorular; “Bir popülasyondaki kemiğin /organın /yapının ortalama şekli nedir?”, “Bu ortalama şeklin etrafındaki popülasyonda varyasyon modeli nedir?”, “Gruplar şekil olarak nasıl farklılık gösterir?” ve “Bu farklılıkların işlevsel önemi nedir?” gibi olabilmektedir. Morfometri, bu tür soruları ele almak amacıyla istatistiksel analizlerden yararlanan bir alandır (Slice, 2007). Morfometri yönteminin sıklıkla yararlandığı alanlardan biri de veterinerlik anatomisidir. Anatomik çalışmalar, klinik ve cerrahi pratiğin temelini oluşturur (Dyce ve ark., 1996). Yapılan anatomik ölçümler; tür içi ve türler arası kıyaslama yapma, cinsiyet tayini ve taksonomik ayrımlar ile türlere ait şekil farklılıklarını belirlemek amacıyla kullanılır (Bayram, 2022). Morfometrinin kullanıldığı güncel çalışmalardan bazıları şu şekilde örneklendirilebilir.

İki farklı tür arasındaki ayırt edici özelliklerin saptanması amacıyla Hasak ve Hasmer koyunları cranium’u üzerine yapılan çalışmada Hasmer koyunu kafatasının diğer türe göre daha uzun olduğu sonucuna varılmıştır (Can ve ark., 2022). Benzer çalışmalar tek tür üzerinde yapılabilmektedir. Özüdoğru ve ark. (2020) yapmış olduğu çalışmada Hasak koyununa ait mandibulalar üzerinde yapılan ölçüm farklılıkları ile hem aynı tür içerisinde değişimin hem de literatürdeki benzer ölçümlerin kıyaslanması sonucunda mandibulanın diğer türlerden daha az uzunluğa sahip olduğu kanaatine varılmıştır. Morfometrik ölçümler ile cinsiyet tayini amacıyla Malakan atı mandibulası üzerine yapılan çalışmalar sonucunda cinsiyet faktörünün yalnızca processus coronoideus’lar arası mesafe ile yapılabileceği sonucuna varılmıştır (Gürbüz ve ark., 2016). Bu incelemeler yalnızca iskelet bölümleri kapsamında sınırlı kalmamış ve yapı, doku veya organlar üzerinde de incelemelere rastlanmaktadır. Bu çalışmaların örneklerinden biri, Yılmaz ve ark. (2018) Aseel ırkı horoz ve tavuklarda glandula uropygialis’in morfometrik incelemesi sonucunda iki hayvan ırkı arasında morfometrik özellikleri açısından anlamlı bir farklılık bulunamadığını belirtir.

Son gelişmelerle değişime uğrayan morfometrik yöntemler artık ‘geleneksel/klasik morfometri’ olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımdan hareketle Rohlf ve Marcus’a (1993) göre geleneksel morfometrik çalışmalar; açılar, anatomik noktalar ve oranları kullanarak yapıların genişlik, uzunluk ve derinlik gibi parametrelerin ölçümlerini ve bu ölçümlerin istatistiksel yöntemlerle analizlerini kapsar. Bunun yanı sıra geleneksel morfometrik yöntemlerle genel form ne gerçekten tespit edilir ne de analizde kullanılır (Rohlf ve Marcus, 1993). Bu yöntemle incelenen organizmanın şeklindeki farklılıklar, genelde şekli bilinen geometrik nesnelere benzetilerek açıklanmaktadır. Böylece bir organizmanın dairesel veya eliptik yapısı tanımlanabilmektedir. Bu benzetimler ile, özellikle tanımlanmaya çalışılan şekil karmaşık olduğunda ve eşleştirmeye çalışılan nesnenin şekliyle tam olarak örtüşmediğinde herhangi bir sonuç elde edilemez. En basit şekillerin tanımlanmasında bile, bu yaklaşımlar o cismin ne kadar dairesel olduğunu ifade edilmesine izin vermez (Velemínská ve ark., 2013). Dalga’nın (2019) Abaza keçilerinin foramen mentale şekillerini ortaya koyduğu çalışmada dört örnekte oval şekilli iken üç örnekte de şeklin yuvarlak olduğunu belirtir. Ancak bu sonuç herhangi bir istatistik veriyle desteklenemez ve araştırmacının yorumuna dayalıdır. Şeklin tanımlanmasındaki bu gereklilikler göz önünde bulundurularak çalışmalarda materyalin kompleks şeklini, geleneksel morfometrinin temelini oluşturan doğrusal (lineer) ölçümler aracılığıyla tam anlamıyla ortaya konulmadığı için yeni bir yöntemin gerekliliği ortaya çıkmıştır (Pavlinov, 2001). Morfometri yalnızca bir yüzyıl içerisinde gelişerek tek değişkenli, iki değişkenli ve çok değişkenli analizlere dönüşmüştür. Aynı zamanda kendi şekil tanımlayıcılarıyla ortaya çıkan “Geometrik Morfometri” olarak adlandırılan yeni bir disiplin haline gelmiştir (Claude, 2008). İki yöntemin doğru sınıflandırma oranları arasında belirgin farklılıklar vardır. Geometrik morfometrik analiz, doğrusal analize göre daha fazla bilgi sağlar (Pares- Casanova ve ark., 2020).

## Geometrik Morfometri

Şekil analizine yönelik bu son yaklaşım, araştırma süreci boyunca geometrik bilgilerin tamamen tutulmasına yaptığı vurgu nedeniyle “geometrik morfometri” (GM) olarak adlandırılır (Slice, 2007). Son ilerlemeler morfometrik prosedürlerin odağının daha geleneksel ölçümleri tanımlamak için kullanılan anatomik noktaların yerine kartezyen koordinatlara yönelmesini sağlamıştır. Geometrik morfometri yaklaşımları, ölçümlerin direkt olmayan yani indirekt olan metotları kullanarak veri elde edilmesini hedefler. Bu yaklaşımda fotoğraflama, röntgen ve tarama ile iki boyutlu görüntüler üzerinden veya üç boyutlu lazer tarayıcı ve

bilgisayarlı tomografi gibi üç boyutlu dijitalleştirme aletlerinden elde edilen görüntülerden yararlanır. Materyal üzerinde yapılan çeşitli görüntüleme yöntemlerinin başında fotoğraflama gelir. Fotogrametri olarak adlandırılan bu yöntemde fotoğraflar üzerinde yapılan ölçümlerin kolay elde edilmesi en önemli avantajlarından (Özkoçak ve Alkaya, 2017).

Geometrik morfometrik analizlerin ve çalışmaların temelinde landmarklar rol oynamaktadır. Landmarklar biyolojik anlamlılığı keşfetmeyi ve şekli tanımlamayı sağlayan referans noktaları bütünüdür (Caymaz, 2022). Farklı alanlarda kullanımı dönüm noktası, işaret ve sınır taşı anlamlarını içeren landmark terimi, canlı üzerinde yapılacak incelemeler için Slice'ın (2005) çalışmasında ilk defa anatomik nokta (anatomical points) olarak değerlendirilmiştir.

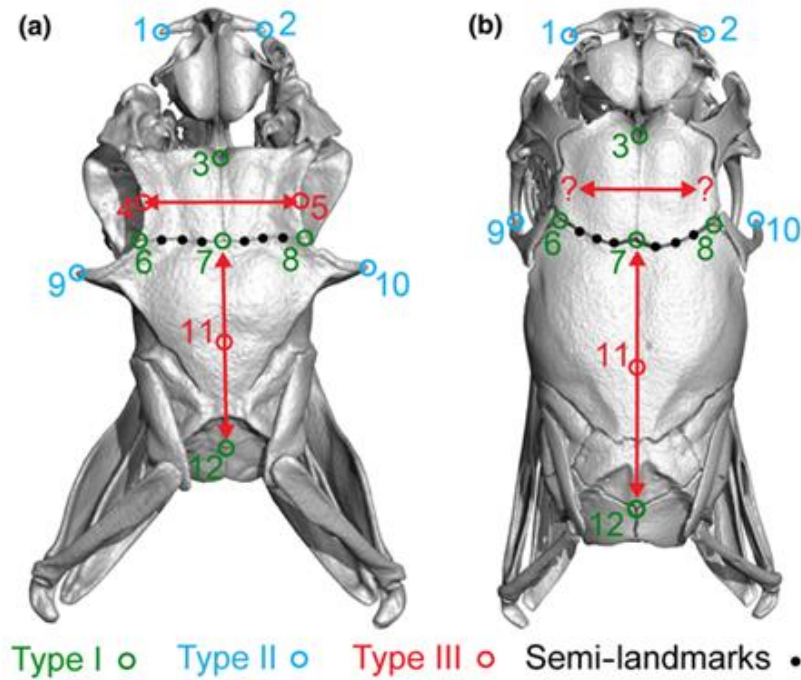
Bookstein (1991) landmarkları buldukları yere göre üç tipe sınıflandırmıştır (Şekil 1.):

- Tip I landmarklar, birbiri ile ilişkilendirilebilen noktalar,
- Tip II landmarklar, kıvrımlı ve/veya çıkıntılı alanlardaki noktalar,
- Tip III landmarklar, uç noktalar.

Çalışılan materyallerin deforme olması veya eksikliğe/fazlalığa sahip olması landmarkların homolog oluşunu etkileyen bir faktördür. Bazı eğriler ve yüzeyler üzerinde bilgi almak için homolog noktalar bulunmadığında ‐eksik”, ‐yarı işaret” veya ‐semilandmark” olarak adlandırılan noktalar araştırmaya yön verebilmektedir (Gunz ve ark., 2005).

Bookstein'in sınıflandırmasını, Katina ve ark. (2007) yeniden değerlendirerek üç tip daha eklemiştirler:

- Tip IV landmarklar, yapının dış hattında bulunan semilandmarklar,
- Tip V landmarklar, yüzey üzerindeki semilandmarklar,
- Tip VI landmarklar, yapılı (constructed) semilandmarklardır.



Şekil 1. Landmark tipleri (Palci ve Lee, 2019).

Geometrik morfometri yöntemleriyle yapılan araştırmaların anatomik dağılımı tekdüze olmamasının yanı sıra en fazla ilgilenilen yapı cranium olmuştur (Slice, 2007). Gürbüz ve ark. (2022) erkek ve dişi tilkilerin cranium kıyaslaması sonucunda dişilerde regio zygomatica daha kısa ve squama temporalis'in daha uzun olduğu belirtilmiştir. Benzer çalışma erkek ve dişi alageyikler üzerine yapılmış, sonucunda erkek alageyiklerde daha belirgin interfrontal çıkıntı bulunduğu saptanırken aynı çalışmada mandibulanın cinsiyet ayrımında daha doğru bir kemik olduğu vurgulanmıştır (Abbasabadi ve ark., 2020). Bunun yanı sıra cranium'u oluşturan kemik bölümlerinin yalnızca birinin veya birkaçının incelendiği çalışmalarda bulunur. Bu çalışmaların en güncel örneklerinden birinde sfenoid kemiğin koyun ve keçiler arasındaki ayırt edici özellikleri araştırılmıştır.

Koyunlarda bu kemiğin keçilere göre daha geniş ve uzun olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Parés-Casanova ve ark., 2021).

Cranium'a ek olarak aynı çalışmada mandibula'nın incelendiği İvesi koç ve koyunlarının (Demircioğlu ve ark., 2021) şekil değişim oranları kıyaslandığında cinsiyet ayrımı için cranium'un dorsal ve lateral yönden şekil analizinin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan bir diğer çalışmada şekil farklılığından yararlanılarak kafatası örneğinin Alman çoban köpeği veya kurda ait olduğunun anlaşılabilceği sonucuna varılmıştır (Gürbüz ve ark., 2020). Bu çalışmaların yanı sıra tavşanlar üzerine yapılan inceleme, vahşi akrabalarının aksine evcil tavşanlarda kuvvet üreten modüllerin (kafatası ve mandibula) kuvvet alıcı modülden (hipselodont dişler) bağımsız geliştiği ve bunun çiğneme performansını etkilediğini göstermektedir (Böhmer ve Böhmer, 2017). Kranial bölgede işitsel kemiklerin şekil analizi ilk kez geometrik morfometri ile ortaya konmuştur (Hadžimerović ve ark., 2023). Bu yöntemin kullanıldığı çalışmalarda gerek eksilteli/ hasar görmüş örnekler üzerinde gerekse vücut bütünlüğünü bozmadan radyografik görüntüler üzerinden yapılmasını sağladığından veterinerlik anatomisi alanında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Bununla birlikte iskeletin cranial bölümünde yoğunlaşan araştırma konularının yanı sıra diğer bölümlerde göz ardı edilmemiştir. Postcranial bölümde araştırmacılar, goril, insan ve primatlara ait cervical vertebrae (Manfreda ve ark., 2006) şekil değişimleri üzerine çalışma gerçekleştirmiş ve insana ait örneklerin diğerlerinden ayırt edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bunların yanı sıra farklı maymun türleri ve insana ait pelvis (Bouhallier ve Berge, 2006) kıyaslanmasında fetüs büyüklüğünün farklılığı göz önünde bulundurulmuş ve pelvis uzunluk farklarının normal olduğu çıkarımı yapılmıştır. Goril, insan ve primatlarda yapılan bir diğer çalışmada humerus incelenmiş ve sonucunda tür ayrımı yapmaya yönelik farklılıkların bulunmadığını ortaya koymuştur (Bacon, 2000). Masko ve ark. (2022) yapmış olduğu çalışmada GM kullanarak eşek, midilli ve at türlerinin sırt profilleri ve kafa şekillerindeki farklılıkların tespit edilmesinin yetiştirilme şartlarının iyileştirilmesi açısından önemli olduğundan kıyaslama yapılmış ve sonucunda üç hayvan türünün sırt şekillerinde önemli değişimler bulunduğu kaydedilmiştir.

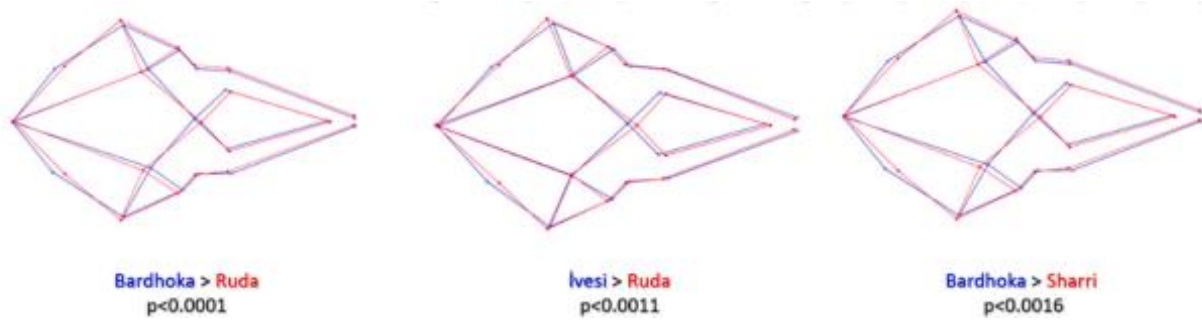
Son yıllarda şekil analizi kullanılarak cinsiyet analizi ve taksonomi açısından farklı çalışmalar yapılmaktadır (Demircioğlu ve ark., 2022; Hadžimerović ve ark., 2022). Kaplumbağalarda yapılan bir çalışmada geometrik morfometrik incelemeler sonucunda humero/femoral suture oranının cinsiyet ayrımında yararlı olmadığını ancak femoro/pektoral suture oranının ayrımı sağlayabileceğini ortaya çıkarmışlardır (Duro ve ark., 2021). Başka bir çalışmada safkan atların radyografileri incelenmiş, radyometrik ve geometrik özelliklerle erkek ve dişi bireyler arasında cinsiyet ayrımının radio-palmar açılar aracılığıyla yapılabileceği ortaya konmuştur (Gündemir ve ark., 2021). Geometrik şekil analizi kullanılarak aynı tür içinde cinsiyet ayrımı yapmak mümkün olabilir (Szara ve ark., 2022). Abdullayeva (2022) yapmış olduğu çalışmada, geometrik morfometri yönteminin insan iskeleti üzerinde cinsiyeti belirlemek için uygulanabilirliğine dair yapılan araştırmaları değerlendirilerek bu yöntemin uygulanmasının pozitif ve negatif yönlerini ele almıştır. Geometrik morfometri teknikleriyle yapılan bu gibi araştırmalar iskelet kalıntılarında cinsiyeti belirlemek için alternatif bir yol sunmaktadır. Kemiklerden yararlanılarak yapılan geometrik morfometri yöntemi araştırmalarında çıplak gözün görmemiş olabileceği biçim farklılıklarının gözlemlenmesinden dolayı daha doğru sonuçlar alınabilmektedir (Vance ve Steyn, 2013).

Geometrik morfometrik yöntemlerin gelişimi, geleneksel morfometrinin sorgulanmasına ve sonuçlarının geometrik morfometri ile karşılaştırılmasına yol açmıştır. Bu kapsamda veterinerlik anatomisi alanında, at kafatasları üzerinde yapılan araştırmada doğrusal ölçüm analizlerinin hata payı %5,5 olmasına rağmen geometrik morfometrik analizlerin hata payının %0,27 olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra geometrik morfometrik analiz, doğrusal analize göre daha fazla bilgi sağlamaktadır (Parés-Casanova ve ark., 2020). Tıp alanında yapılan benzer kıyaslama çalışmaları mevcuttur. Bernal (2007) yaptığı çalışmada insana ait azı dişlerinin boyut ve şekillerini ölçmüş ve bunun sonucunda boyut belirlemede tutarlılıklar bulunmakla birlikte şekillerin değerlendirilmesinde geometrik morfometri yöntemlerinin daha verimli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bernal, çalışmasında özellikle düzensiz şekilli, girinti ve çıkıntıya sahip materyallerde geometrik morfometrinin kullanılmasının daha anlamlı olduğunu ifade eder. Bunun yanı sıra geleneksel morfometride ölçümler manuel olarak yapıldığından hata oranının daha yüksek olduğunu Kafa ve Arı (2004) yaptığı çalışmada ortaya koymuştur. Tüm bunlardan hareketle Aytek (2017) geometrik morfometrinin kendine özgü bir şekilde sahip bütün her şeyde kullanılabileceği çıkarımını yapmaktadır.

Geometrik morfometrinin en önemli avantajlarından biri, şekil farklılıklarının doğrudan resim veya bilgisayar animasyonları olarak görselleştirilebilmesi olmakla birlikte, bu metotta kullanılan cihazların (üç boyutlu lazer tarayıcı-yazıcı) pahalı ve taşınabilen nitelikte olmayışı bu yöntemin dezavantajı olarak değerlendirilebilir. Geometrik morfometri yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda yeterli birey sayısının olması ve doğru yerleştirilmiş landmarklar iyi sonuç elde etmeyi sağlar (Scholtz ve ark., 2010). Gelişen geometrik morfometri yöntemi, birden fazla alana uygulanabilen önemli bir boyut ve şekil varyasyonu yöntemine dönüşmüştür (Abdullayeva, 2022). Geometrik morfometri yöntemi cinsiyet analizi, tür içi ve türler arası ayırım ve taksonomik sınıflandırma için daha kapsamlı analiz ve daha kesin sonuçlar sağlamaktadır.

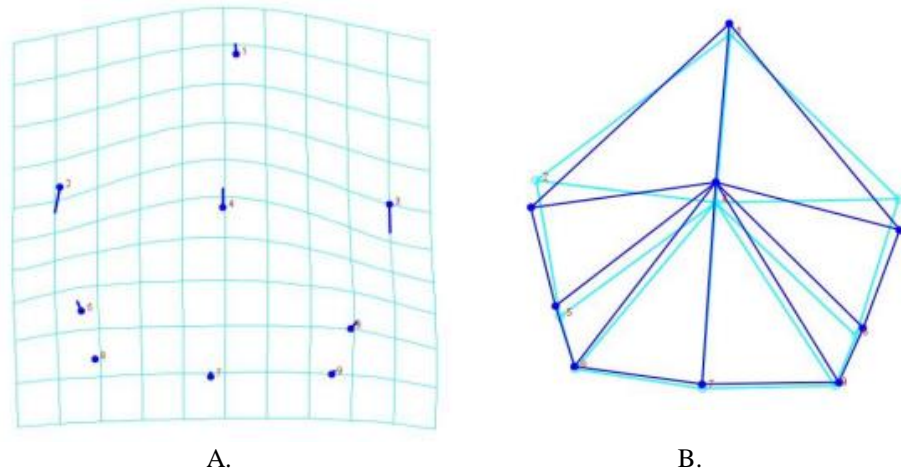
## Geometrik Morfometride Kullanılan İstatistikî Yöntemler

Geometrik morfometrinin yararlanıldığı çalışmalarda koordinat verilerini standardize etmek amacıyla birçok istatistik yöntem önerilmiştir. İstatistiksel analiz yöntemleri temel bileşen analizi, eşit medyanlar testi, T testi, F testi, tek yönlü varyans analizi, normal yapıya göre artık analizi, Kolmogorov-Smirnov testi, Kruskal Wallis testi, normal dağılım testi, doğrusal uygunluk analizi, normal en küçük kareler regresyonu, genelleştirilmiş doğrusal model, Procrustes landmark merkezli uygunluk analizi, resgresyon analizi ve saçılım analizidir (Özkoçak ve Alkaya, 2017). Bu yöntemlerden teorik olarak en gelişmiş olanı Procrustes metot olarak bilinen landmark tekniğidir. Bu teknik örnek çiftleri için landmark koordinatlarının sıralanmış setlerini içeren translasyon, rotasyon ve ölçeklendirme parametrelerinin en küçük kareler olarak tahminine bağlıdır (Boz ve ark., 2023). Landmarklar ile elde edilen bu şekil yapıları üst üste bindirilir ve böylece aradaki farklılıklar gözlemlenebilir (Şekil 2.) (Dryden ve Mardia, 1998). Bundan sonraki aşama, ortaya çıkan farkların yeni bir düzlemde özetlenmesidir. Bu amaçla Temel Öğeler Analizi (PCA) kullanılabilir. Son aşama ise çoklu varyans analizi (MANOVA) gibi yöntemler ile özetlenen farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının sınanmasıdır. Landmarklar kullanılarak bir yapının biçimi belirlenirken üst üste bindirme yöntemleriyle yapı, skala etkisinden arındırılır. Böylelikle ortaya çıkan olası sonuç büyüklükten etkilenmez (Bookstein, 1991).



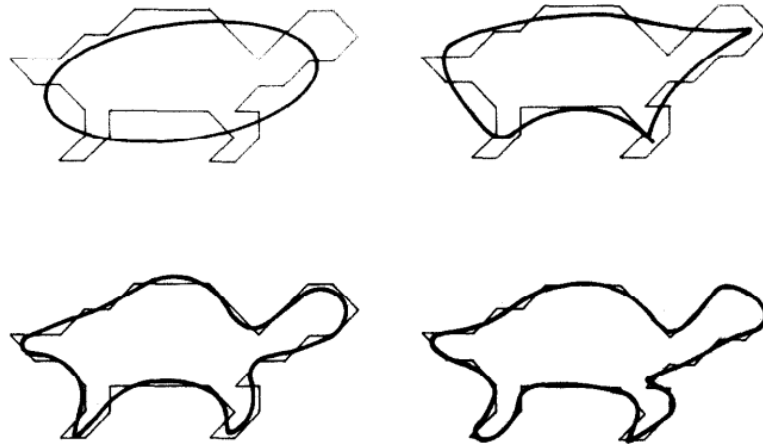
Şekil 2. Procrustes analizi (Gündemir ve ark., 2023).

Temel Bileşen Analizi (PCA), ana amaçları şu şekilde sıralanabilir; verinin boyutunu küçültme, tahminlerde bulunma ve bazı analizler için veri setini görüntüleme. Çok boyutlu verilere doğru açıdan bakılarak verilerdeki ilişkiler çoğu zaman açıklanabilir. Bu yöntem bahsedilen "doğru açıyı" bulmaya odaklanır (Şekil 3.) (Koçak, 1998).



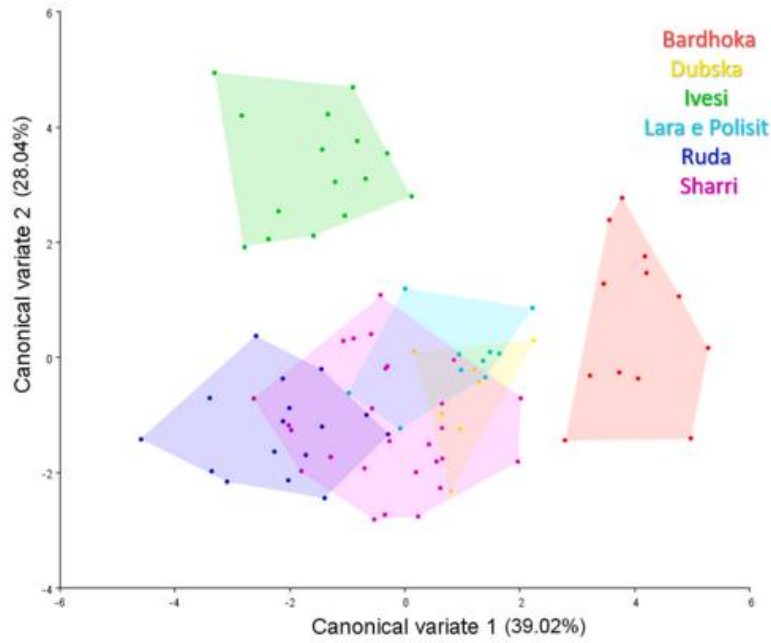
Şekil 3. A. Temel bileşen analizi landmark bazında gösterimi; B. Temel Bileşen Analizi çizgisel gösterimi (Aytek, 2016).

Eliptik Fourier Analizi (EFA), şeklin matematiksel yöntemler kullanılarak özetlenmesini sağlar (Kuhl ve Giardina, 1982). İncelenen materyallerin tamamını iki boyutlu olarak kabul ederek dış hat çizgilerini oluşturan x, y koordinatlarının Fourier katsayılarına dönüştürülmesi prensibini temel alır (Şekil 4.). Bu yöntem, bitkilerde ve hayvanlarda farklı taksonomik düzeylerdeki karmaşık şekil varyasyonlarını açıklamak adına kullanılmaktadır (Polihronakis, 2006). Bu yöntem özellikle de landmarklardan etkin biçimde yararlanılamadığı durumlarda çok kullanışlı bir araçtır (Kergoat ve Alvarez, 2008). Kaesler ve Waters'ın 1972'de Ostorokod'lar üzerinde yaptığı çalışma, bu yöntem kullanılarak organizmaların biçimsel değerlendirmelerinin yapıldığı ve sistematik durumlarının yorumlandığı çalışmaların ilk örneklerinden biridir.



Şekil 4. Eliptik Fourier Analizi (Kuhl ve Giardin, 1982).

Kanonik Değişken Analizi (CVA), çok değişkenli verilerde grup yapısını analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Şekil 5.). Matematiksel olarak tek yönlü çok değişkenli varyans analizine eşdeğerdir ve aynı zamanda Kanonik Ayırıcı Analiz olarak da adlandırılır (Boz ve ark., 2023). Amacı, grup yapısında neyin değişip neyin değişmediğini belirlemek olan modeller geliştirmektir. Cinsiyet veya soy gibi örnekler içindeki grupları analiz etmek istediğinizde CVA kullanılır. Grup içindeki varyasyona göre gruplar arasındaki ayrımı maksimize eden ve bilinmeyen bir bireyin bilinen gruplardan birine sınıflandırılmasına izin veren çok değişkenli bir prosedürdür (Manthley ve Ousley, 2020).



Şekil 5. Kanonik değişken analizi (Gündemir ve ark., 2023).

## Analiz İçin Geliştirilen Uygulamalar

Bu uygulamalardan en kullanışlı, ulaşılabilir ve verimli olan programlar şunlardır;

MorphoJ programının amacı, GM'deki en önemli analiz türleri için bir platform sağlamaktır (Klingenberg, 2011). Genellikle ilk adım olarak şekil değişkenleri Procrustes üst üste binmesi kullanılarak üretilir. Daha sonra program aykırı değerleri arayabilir ve hatta yanlışlıkla değiştirilen yer işaretlerini onarmak bile mümkündür. Programdaki 'Varyasyonlar' bölümü 'Procrustes Analysis of variance (ANOVA)' seçeneğini içerir ve tek numuneler tekrar tekrar kaydedilmiş ölçüm hatasını belirlemek için kullanılabilir (Manthley ve Ousley, 2020). Analizler boyunca dönüm noktası konfigürasyonlarının simetrisini tam olarak hesaba katan tek program paketidir. Bu önemli bir noktadır çünkü kafatası gibi birçok biyolojik yapı iki taraflı simetriktir (Klingenberg, 2010). Bu program daha kapsamlı olduğu için veterinerlik anatomisi alanında daha sık kullanılır.

3D-ID, bu program daha çok adli tıp alanında yapılan geometrik morfometri çalışmaları için iyi bir platformdur. Adli olarak ilgili gruplar içinde geometrik morfometri kullanarak bilinmeyen bir bireyin cinsiyetini ve soyunu tahmin etmek için tasarlanmış bir programdır. Yapılan analizler, cranial yer işaretlerinin üç boyutlu koordinatları kullanılarak gerçekleştirilir (Manthley ve Ousley, 2020).

R programs, indirilebilecek bir dizi geometrik morfometrik pakete sahiptir. Bu program paketi içerisindeki en iyi örneklerden biri kapsamlı bir yazılım olan Dean Adams'ın Geomorph'udur (Boz ve ark., 2023). Geomorph, Procrustes analizinin tüm aşamalarını tek bir bilgisayar paketinde uygulayan örneklerin dijitalleştirilmesi ve hem sabit yer işaretlerinin hem de yarı yer işaretlerinin iki ve üç boyutlu analizini içeren ücretsiz bir yazılımdır. Bu sayede biyolojik şekil değişiminin daha kapsamlı bir ölçümü ve analizi sağlanır (Adams ve Otarola-Castillo, 2013).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Klasik morfometri çalışmalarında kullanılan yöntemler yanlış değildir yalnızca yeterince güçlü değildir. Bunun sebebi ise bu yöntemlerin kullanımıyla incelenen materyalin şekli hakkında net bir sonuca ulaşamaması ve şeklin yalnızca araştırmacının yorumuna dayalı olmasından dolayı ampirik kalmasından kaynaklanır. Uzun süredir yararlanılan bu metotlar yeni gelişen geometrik morfometrinin temelini oluşturmaktadır. Geometrik morfometri ile sayısal veriler görselleştirilerek şekil hakkında bilgi ve boyut farklılıklarının tanımlanmasını sağlar. Bunların yanı sıra geometrik morfometri de kusursuz değildir. Bu sınırlamalardan biri materyallerin arasındaki farkları özetlemek ve taksonomik ilişkilerin tahmini için

değerlendirme amacıyla mesafe ölçüsüne gereksinim bulunmasıdır. Neredeyse bütün bilimsel gelişmelerde olduğu gibi etkili olup olmadığı tartışma konusu olsa da çoğu araştırmacı incelenen parametrelerde geometriyi dikkate almanın önemli olduğu konusunda fikir birliği sağlamıştır.

Tüm bunlardan hareketle, geometrik morfometri yönteminin daha karmaşık ve düzensiz şekil veya yüzeye sahip materyallerde kullanımının daha doğru sonuçlar vermesinin yanı sıra geleneksel morfometri ile yapılan şekil açıklamaları tamamen insan gözüne bağlı olduğundan yorumdan ibarettir. Bunlara ek olarak, yapılan lineer ölçümlerin tek elden yapılması önemli olmakla beraber hata payı yüksek bir yöntem olduğu da bir gerçektir. Ancak geometrik morfometri yönteminin de uygulanabilirliği daha zor ve zaman alıcı olduğu da göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak geleneksel ve geometrik morfometrinin farklı avantaj ve dezavantajlarının olduğu göz önünde bulundurulunca bu iki yöntemin birbirlerini tamamlayıcı olarak beraber kullanılması daha uygun olacaktır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

## Yazar Katkısı

Tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

## Etik Beyan

“Morfometrik ve Geometrik Morfometrik Yöntemlerinin Veterinerlik Anatomisi Alanında Kullanımı” başlıklı çalışmanın yazım sürecinde bilimsel kurallara, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir. Bu araştırma doküman analizi ve betimsel incelemeye dayalı olarak yapıldığından etik kurul kararı zorunluluğu bulunmamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Sanyal, B., & Ghosh, S.K. (2022). Dosimetry in food irradiation. In: V.M. Gómez- López & R. Bhat (Eds). *Electromagnetic technologies in food science* (pp. 33-52). Hoboken:John Wiley & Sons, Inc.
- Abbasabadi, B.M., Ghoghghi, F., Rahmati, S. ve Hajian, O. (2020). Dama dama mesopotamica. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*, 15(02), 221-233. doi:10.22059/ijvm.2020.299875.1005075.
- Abdullayeva, H. (2022). İskeletten Cinsiyet Belirlemede Geometrik Morfometri Yönteminin Uygulanabilirliği [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (Tez No: 752469)
- Adams, D.C. ve Otarola-Castillo, E. (2013). Geomorph: An R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4, 393–399. doi: 10.1111/2041-210X.12035.
- Aytek, A.İ. (2016). Antik Anadolu Toplumlarının Geometrik Morfometrik Karşılaştırmaları [Doktora tezi, Ankara Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (Tez No: 430466).
- Aytek, A.İ. (2017). Geometrik Morfometri, *Mimarlar Arkeologlar Sanat Tarihçileri Restoratörler Ortak Platformu E-Dergisi*, 17(11). <http://www.masrop.org/>
- Bacon, A.M. (2000). Principal components analysis of distal humeral shape in pliocene to recent African hominids: the contribution of geometric morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology*, 111(4), 479–487. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(200004\)111:4<479::AID-AJPA4>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(200004)111:4<479::AID-AJPA4>3.0.CO;2-%23)
- Bayram, S. (2022). Rinoplasti ve Rekonstrüksiyon Açısından Geometrik Morfometri Yöntemi ile Burun Şeklinin Analizi [Yüksek Lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi] Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (Tez No: 717607)
- Bernal, V. (2007). Size and Shape Analysis of Human Molars: Comparing Traditional and Geometric Morphometric Techniques, *HOMO- Journal of Comparative Human Biology*, 58, 279- 296. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2006.11.003>
- Bookstein, F. (1991). *Morphometric tools for landmark data*. (Press 1). United Kingdom; Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511573064>
- Bouhallier, J. ve Berge, C. (2006). Analyse morphologique et fonctionnelle du pelvis des primates Catarrhiniens: conséquences pour l’obstétrique. *Comptes Rendus Palevol*, 5(3- 4), 551- 560. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2005.12.007>
- Boz, İ., Manuta, N., Özkan, E., Kahvecioğlu, O., Pazvant, G., Gezer İnce, N., Hadžiomerović, N., Szara, T., Altundağ, Y. ve Gündemir, O. (2023). Geometric Morphometry In Veterinary Anatomy. *Veterinaria*, 72(1), 15-27. <https://doi.org/10.51607/22331360.2023.72.1.15>



- Böhmer, C. ve Böhmer, E. (2017). Shape variation in the craniomandibular system and prevalence of dental problems in domestic rabbits: A case study in evolutionary veterinary science. *Veterinary Sciences*, 4(1), 5. doi: 10.3390/vetsci4010005
- Can, M., Özüdoğru, Z. ve İlgün, R. (2022) A morphometric study on skulls of hasmer and hasak sheep breeds. *International Journal of Morphology*, 40(6),1536-1545.
- Caymaz, B.N. (2022). Humerus Distal Ucu Morfometrik Analizi [Yüksek lisans tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (Tez No: 750605).
- Claude, J. (2008). *Morphometrics with R*. New York: Springer Science+Business Media. doi: 10.1007/978-0-387-77790-0
- Dalga, S. (2019) Topographic and morphometric study of the mental foramina of Abaza goats with its clinical implication for regional anaesthesia. *Folia Morphologica*. 79(3), 576–579. Doi: 10.5603/FM.a2019.0122
- Demircioğlu, İ., Demiraslan, Y., Gürbüz, İ. ve Dayan, M. O. (2021). Geometric morphometric analysis of skull and mandible in Awassi ewe and ram. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 27(1). doi: 10.9775/kvfd.2020.24714
- Demircioğlu, İ., Duro, S., Güngören, G., Choudhary, O.P., Gündemir, O., Demiraslan, Y. ve Pazvant, G. (2022). Digits angle and digits length ratio in japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Indian Journal of Animal Research*, 56(9), 1105-1109. doi: [10.18805/IJAR.B-1326](https://doi.org/10.18805/IJAR.B-1326)
- Dryden, I.L. ve Mardia, K.V. (1998). *Statistical Shape Analysis*. New York: Wiley.
- Duro, S., Gündemir, O., Sönmez, B., Jashari, T., Szara, T., Pazvant, G. ve Kambo, A. (2021). A different perspective on sex dimorphism in the adult Hermann's tortoise: Geometric morphometry. *Zoological Studies*. 60. doi: 10.6620/ZS.2021.60-09
- Gunz, P., Mitteroecker, P. ve Bookstein, F.L. (2005). Semilandmarks in three dimensions, *Modern Morphometrics in Physical Anthropology (ss. 73-74)*. Kluwer Academic.
- Gündemir, O., Hadžiomerović, N., Pazvant, G. ve Erdikmen, D.O. (2021). Radiometric and geometric morphometric analysis of the carpal joint area in 2-year-old thoroughbred horses. *Veterinaria*, 70(2), 209-17. doi:10.51607/22331360.2021.70. 2.209.
- Gündemir, O., Duro, S., Szara, T., Koungoulos, L., Jashari, T., Demircioğlu, İ. ve Melnyk, O. O. (2023). Skull variation in different breeds sheep from Balkan countries. *Annals of Anatomy- Anatomischer Anzeiger*, 249, 152083. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2023.152083>
- Gürbüz, İ., Demiraslan, Y., Gülbaz, F. ve Aslan, K. (2016). Malakan Atı mandibula'nın cinsiyete göre morfometrik özellikleri. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 32 (3), 136-140.
- Gürbüz, İ., Aytok, A.İ., Demiraslan, Y., Onar, V. ve Özgel, O. (2020). Geometric morphometric analysis of cranium of wolf (*Canis lupus*) and German shepherd dog (*Canis lupus familiaris*). *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 26(4), 525-32. doi: 10.9775/kvfd.2019.23841.
- Gürbüz, İ., Demiraslan, Y., Karaavcı, F.A., Yılmaz, O. ve Demircioğlu, İ. (2022). Geometric Morphometric Analysis on the skull of the Red Fox (*Vulpes vulpes*). *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 11(1),1-7. doi:10.31196/huvfd.1012563.
- Hadžiomerović, N., Gündemir, O. ve Kovacevic, S. (2022). Mandible size and shape of the red fox (*Vulpes vulpes*) and golden jackal (*Canis aureus*). *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10, 364-368. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.2.364.368>
- Hadžiomerović, N., Gündemir, O., Tandir, F., Avdić, R. ve Katica, M. (2023). Geometric and morphometric analysis of the auditory ossicles in the red fox (*Vulpes vulpes*). *Animals*, 13, 1230. <https://doi.org/10.3390/ani13071230>.
- Kaesler, R. L. ve Waters, J. A. (1972). Fourier analysis of the ostracode margin. *Geological Society of America Bulletin*, 83(4), 1169-1178. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[1169:FAOTOM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1169:FAOTOM]2.0.CO;2)
- Kafa, İ.M. ve Ari, İ. (2004). Morfometrik Çalışmalarda Manüel (El ile) ve Dijital (Sayısal)- Bilgisayar Destekli Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 30(3), 141-144. <https://dergipark.org.tr/en/pub/uutfd/issue/35255/391135>
- Katina, S., Bookstein, F., Gunz, P.ve Schaefer, K. (2007). Was it worth digitizing all those curves? A worked example from craniofacial primatology. *American Journal of Physical Anthropology*, 44, 140.
- Kergoat, G.J. ve Alvarez, N. (2008). Assessing the phylogenetic usefulness of a previously neglected morphological structure through elliptic Fourier analyses: a case study in *Bruchus* seed- beetles (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Systematic Entomology*, 33(2); 289-300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2007.00405.x>
- Klingenberg, C.P. (2011). MORPHOJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*. 11, 353–357. doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
- Koçak, İ. (1998). Temel bileşenler analizi ve uygulaması. [Doktora tezi, İnönü Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (Tez No: 71597)
- Kuhl, F.P. ve Giardina, C.R. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour, computer graphics and image processing. *Computer Graphics and Image Processing*, 18(3), 236-258. [https://doi.org/10.1016/0146-664X\(82\)90034-X](https://doi.org/10.1016/0146-664X(82)90034-X)
- Manfreda, E., Mitteroecker, P., Bookstein, F.L. ve Schafer, K. (2006). Functional morphology of the first cervical vertebra in humans and nonhuman primates. *Anatomical Record*, 289, 184–194. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20113>



- Manthley, L. ve Ousley, S.D. (2020). Geometric Morphometrics. *Statistics and Probability in Forensic Anthropology*, 289-298. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815764-0.00023-X>
- Masko, M., Wierzbicka, M., Zdrojkowski, Ł., Jasiński, T., Sikorska, U., Pawliński, B. ve Domino, M. (2022). Comparison of donkey, pony, and horse dorsal profiles and head shapes using geometric morphometrics. *Animals*, 12(7), 931. doi: 10.3390%2Fani12070931.
- Mitteroecker, P., Gunz, P. ve Bookstein, F.L. (2005). Heterochrony and geometric morphometrics: a comparison of cranial growth in *Pan paniscus* versus *Pan troglodytes*. *Evolution and Development*, 7(3), 244–258. <https://doi.org/10.1111/j.1525-142X.2005.05027.x>
- Mitteroecker, P. ve Gunz, P. (2009). Advances in Geometric Morphometrics. *Journal of Evolutionary Biology*, 36,235-247. <https://doi.org/10.1007/s11692-009-9055-x>
- Özkoçak, V. ve Alkaya, A. (2017). *Geometrik Morfometride İstatiksel Yaklaşımlar*. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Özüdoğru, Z., İlgün, R. ve Can, M. (2020). Morphometric Study on the Hasak Sheep Mandible. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(4), 516-519.
- Pares-Casanova, P.M. ve Domènech-Domènech, X. (2021). A comparative analysis of sphenoid bone between domestic sheep (*ovis aries*) and goat (*capra hircus*) using geometric morphometrics. *Anatomia Histologia Embryologia*, 50(3), 556-561. doi: 10.1111/ahe.12661.
- Pares-Casanova, P.M., Salamanca-Carreño, A., Crosby Granados, R.A. ve Bentez-Molano, J. (2020). A comparison of traditional and geometric morphometric techniques for the study of basicranial morphology in horses: a case study of the Araucanian Horse from Colombia. *Animals*, 10(1), 118. doi: 10.3390/ani10010118.
- Pavlinov, I.Y. (2001). Geometric morphometrics, a new analytical approach to comparison of digitized images. p. 41-90 in: *Information Technology in Biodiversity Resarch. (2nd.) International Symposium*, St. Petersburg.
- Palci, A., ve Lee, M. S. (2019). Geometric morphometrics, homology and cladistics: review and recommendations. *Cladistics*, 35(2), 230-242.
- Polihronakis, M. (2006). Morphometric analysis of intraspecific shape variation in male and female genitalia of *Phyllophaga hirticula* (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae). *Annals of the Entomological Society of America*, 99, 144-150. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2006\)099\[0144:MAOISV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)099[0144:MAOISV]2.0.CO;2)
- Rohlf, F.J. ve Marcus, L.F. (1993). A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(4),129-132. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90024-J](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90024-J)
- Scholtz, Y., Steyn, M. ve Pretorius, E. (2010). A geometric morphometric study into the sexual dimorphism of the human scapula. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology*, 61, 253–270. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2010.01.048>
- Slice, D.E. (2005). *Modern morphometrics in physical anthropology*. Kluwer Academic, Plenum Publishers: New York.
- Slice, D.E. (2007). Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36, 261-281. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2010.01.048>
- Szara, T., Duro, S., Gündemir, O. ve Demircioğlu, İ. (2022). Sex determination in Japanese Quails (*Coturnix japonica*) using geometric morphometrics of the skull. *Animals*, 12(3), 302. doi: 10.3390/ani12030302.
- Vance, V.L. ve Steyn, M. (2013). Geometric morphometric assessment of sexually dimorphic characteristics of the distal humerus. *HOMO- Journal of Comparative Human Biology*, 64, 329– 340. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2013.04.003>
- Velemínská, J., Krajíček, V., Dupej, J., Gómez-Valdés, J.A., Velemínský, P., Šefčáková, A., Pelikán, J., Sánchez-Mejorada, G. ve Brůžek, J. (2013). Technical Note: Geometric Morphometrics and SexualDimorphism of the Greater Sciatic Notch in Adults From Two Skeletal Collections: The Accuracy and Reliability of Sex Classification. *American Journal of Physical Anthropology*, 152(4), 435-571. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22373>
- Yılmaz, B., Harem, İ.Ş., Demircioğlu, İ., Özyiğit, G. ve Bozkaya, F. (2018) Aseel ırkı horoz ve tavuklarda Glandula uropygialis'in anatomik, morfometrik ve histolojik özellikleri. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 34 (2), 65-70. DOI: 10.15312/EurasianJVetSci.2018.182
- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L. ve Sheets, H.D. (2004). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Cambridge: Academic press.