



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DİREKT RADYOGRAFİLERDEN CALCANEUS HACMİNİN
BASİT BİR SEZGİSEL YAKLAŞIMLA TAHMİN EDİLMESİ
İÇİN MORFOMETRİSİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ
KULLANARAK ANALİZİ**

Ali UTKAN

**ANATOMİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Aysun UZ**

**ANKARA
2024**

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİREKT RADYOGRAFİLERDEN CALCANEUS HACMİNİN
BASİT BİR SEZGİSEL YAKLAŞIMLA TAHMİN EDİLMESİ
İÇİN MORFOMETRİSİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ
KULLANARAK ANALİZİ

Ali UTKAN

ANATOMİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Aysun UZ

ANKARA
2024

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “DİREKT RADYOGRAFİLERDEN CALCANEUS HACMİNİN BASİT BİR SEZGİSEL YAKLAŞIMLA TAHMİN EDİLMESİ İÇİN MORFOMETRİSİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ KULLANARAK ANALİZİ” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümü ile tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler ve yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Ali UTKAN

18/1/2024

KABUL ve ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Anatomi Anabilim Dalında
Ali Utkan tarafından hazırlanan
“Direkt Radyografilerden Calcaneus Hacminin Basit Bir Sezgisel Yaklaşımla Tahmin Edilmesi İçin
Morfometrisinin Makine Öğrenmesi Kullanarak Analizi” adlı
tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından DOKTORA TEZİ olarak OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile
kabul/ret edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi:

İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.....Üniversitesi
Jüri Başkanı

İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.....Üniversitesi
Raportör

İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.....Üniversitesi
Üye

İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.....Üniversitesi
Üye

İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.....Üniversitesi
Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Direkt Radyograflardan Calcaneus Hacminin Basit Bir Sezgisel Yaklaşımla Tahmin Edilmesi İçin Morfometrisinin Makine Öğrenmesi Kullanarak Analizi

Düzensiz bir şekle sahip olan calcaneus'un morfolojik ve morfometrik analizi üzerine birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, calcaneus hacminin hesaplanmasındaki zorluklar nedeniyle hacmi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada amaç iki yönlü direkt radyograflar üstünde yapılacak ölçümleri kullanarak, basit matematiksel işlemlerle, calcaneus'un yaklaşık hacmini verebilecek bir formül bulmaktır. Çalışmada Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim dalı laboratuvarlarında bulunan ve bütünlüğü bozulmamış 216 kuru calcaneus kullanıldı. Kemikler numaralandırıldıktan sonra hacimleri Arşimet'in suyla yer değiştirme yöntemi kullanılarak ölçüldü. Suyun kemiklere nüfuz etmesini önlemek için parti balonu ile kaplama tekniği olarak adlandırdığımız yeni bir yöntem kullanıldı. Gruplar halinde röntgen kasetleri üzerine, önce lateral yüzleri üzerine daha sonra plantar yüzler üzerine yerleştirilen calcaneus'ların röntgenleri çekildikten sonra görüntüleri dijital ortama aktarıldı. Lateral radyograflarda; maksimum anteroposterior uzunluk (maks AP l), maksimum gövde uzunluğu (maks gövde l), gövde yüksekliği (gövde h), minimum gövde yüksekliği (min gövde h), facies articularis cuboidea yüksekliği (f articularis cuboidea h), Böhler açısı, Gissane açısı; aksiyel radyograflarda; maksimum posterior transvers genişlik (maks post w) ve minimum posterior transvers genişlik (min post w) ölçüldü. İstatistiksel analizler önce IBM® SPSS® sürüm 24.0 (IBM Corp, ABD, 2017) yazılımı kullanılarak yapıldı. Bulunan değerler normal dağılıma uymadığı için non parametrik testler kullanıldı. Daha sonra makine öğrenmesinden yararlanıldı. Ölçülen değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkileri bulmak ve değişkenlerin belli bir kısmı kullanılarak hacim verisini verecek bir formül bulmak için, veri bilimi alanında yoğun bir şekilde kullanılan ve ücretsiz olarak kullanılabilinen bir programlama dili olan, Python versiyon 3.12'nin pandas ve numpy kütüphaneleri kullanıldı. Python'da temel analizler yapıldıktan sonra çoklu lineer regresyon modeli, polynomial regresyon modeli ve LightGBM-Karar Ağacı modelleri denenerek en uygun bulunan çoklu lineer regresyon modeli kullanıldı. Ölçülen değerlerin hiçbirinde veya hacim değerlerinde sağ ve sol taraflar arasında istatistiksel anlamlı bir fark bulunmadı. Hacim ortalaması 55,8 ml ve standart deviasyonu 11,7 olarak bulundu. Çoklu linear regresyon modelinde Spearman'ın Sıralama Korelasyon testinde anlamsız çıkan Böhler açısı ve Gissane açısı ile korelasyon katsayısı 0,39 çıkan facies articularis cuboidea h formülünden çıkarıldı. Formül "Hacim (ml) = 0,96×maks AP l (mm) + 0,40×maks gövde l (mm) - 0,29×gövde h (mm) + 0,76×min gövde h (mm) + 0,14×maks post w (mm) + 0,48×min post w (mm) - 7,49" olarak bulundu. Analiz sonuçları tahmin gücü daha yüksek bir formül elde edebilmek için daha fazla değişken kullanmak gerektiğini göstermekle beraber önerilen formül calcaneus'un kesin hacmini vermeyecek bile olsa calcaneus hacmiyle ilgili çalışmalarda bir indeks olarak kullanılabilmesinin mümkün olacağı kanaatindeyiz.

Anahtar Sözcükler: Calcaneus, hacim tahmini, makine öğrenmesi, radyografik ölçümler, su taşıma ile hacim ölçümü

SUMMARY

Analysis of Calcaneus Morphometry Using Machine Learning to Estimate Calcaneus Volume from Plain Radiographs with a Simple Heuristic Approach

Although many studies have been conducted on the morphological and morphometric analysis of the calcaneus which has an irregular structure, there are limited studies on calcaneus volume due to the difficulties in calculating its volume. The aim of this study is to find a formula that can give the approximate volume of the calcaneus with simple mathematical operations using measurements made on two view plain radiographs. The study was carried out on 216 dry calcanei in the laboratory of the Department of Anatomy, Ankara University Faculty of Medicine. After the bones were numbered, their volumes were measured using Archimedes' water displacement method. A new method called the party balloon coating technique was used to prevent water from penetrating the dry bones. Calcanei were placed in groups on x-ray cassettes, first on their lateral faces, then on their plantar faces. After their x-rays were taken, the images were transferred to digital media. In lateral radiographs: maximum anteroposterior length (max AP l), maximum body length (max body l), body height (body h), minimum body height (min body h), facies articularis cuboidea height (f articularis cuboidea h), Böhler angle, Gissane angle; in axial radiographs: maximum posterior transverse width (max post w) and minimum posterior transverse width (min post w) were measured. Statistical analyzes were performed using IBM® SPSS® version 24.0 (IBM Corp, ABD, 2017) software at first. Since the data did not follow a normal distribution, nonparametric tests were used. Then, machine learning was used. Pandas and numpy libraries of Python version 3.12 which is a freely available programming language that is widely used in the field of data science, were used to find the relationships between the measured variables and to find a formula that will estimate calcaneus volume. After performing basic analyzes in Python, the multiple linear regression model, polynomial regression model and LightGBM-Decision Tree models were tested and the multiple linear regression model was found to be most suitable. There was no statistically significant difference between the right and left sides in any of the measured values or volume values. The average volume was 55.8 ml and the standard deviation was 11.7. In the multiple linear regression model, Böhler angle and Gissane angle, which were found to be insignificant in Spearman's Rank Correlation test, and facies articularis cuboidea h, whose correlation coefficient was 0.39, were removed from the formula. The formula is "Volume (ml) = 0.96×max AP l (mm) + 0.40×max body l (mm) - 0.29×body h (mm) + 0.76×min body h (mm) + 0.14×max post w (mm) + 0.48×min post w (mm) - 7.49". Although the analysis results show that more variables should be used to obtain a formula with higher predictive power and it does not give the exact calcaneus volume, we believe that it will be possible to use the proposed formula as an index in studies on calcaneus volume.

Keywords: Calcaneus, machine learning, radiographic measurements, volume estimation, water displacement volumetry

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	v
İçindekiler	vi
Önsöz	vii
Simgeler ve Kısaltmalar	viii
Şekiller	ix
Çizelgeler	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Tarihçe	1
1.2. Genel Bilgiler	2
1.2.1. Stereoloji	2
1.2.2. Heuristik Karar Verme	3
1.2.3. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi	4
1.3. Ayak Anatomisi	5
1.3.1. Ossa Pedis	5
1.3.2. Calcaneus'un Katıldığı Eklemler	10
1.3.3. Calcaneus'a Tutunan Kaslar	13
1.3.4. Calcaneus'un Kanlanması	17
1.3.5. Calcaneus'un İnnervasyonu	18
2. GEREÇ VE YÖNTEM	19
2.1. Kemik ve Hacim Hesaplamaları İçin Gereç ve Yöntem	19
2.2. Radyolojik Gereç ve Yöntem	19
2.2. İstatistik ve Veri Analizi	21
3. BULGULAR	28
3.1. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	26
3.2. Ölçümlerin Kendi Aralarında Korelasyonları	34
3.3. Python Kodlama Programıyla Calcaneus Hacimlerinin Temel Analizleri	36
3.4. Python Kodlama Programı Kullanarak Calcaneus Ölçümlerinin Calcaneus Hacmi ile Korelasyonu	37
4. TARTIŞMA	44
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	57

ÖNSÖZ

Düzensiz bir geometrik şekle sahip calcaneus'un morfometrik ölçümleri bilgisayarlı tomografi görüntülerinin rekonstrüksiyonu ile daha kesin yapılabilir. Ancak kolay ulaşılabilir ve ucuz olan direkt radyografi çekimleri kullanılarak yapılacak ölçüm ve bu tez ile geliştirdiğimiz formül kullanılarak basit matematiksel işlemlerle elde edilecek yaklaşık hacim değerinin ilerde yapılacak çalışmalarda bir indeks olarak kullanabileceğini düşünüyoruz.

Ankara Üniversitesi Anatomi Anabilim Dalında doktora eğitimim boyunca değerli fikir ve önerileri ile desteğini esirgemeyen başta tez danışmanım Prof. Dr. Aysun Uz, Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Tuna Karahan ve Prof. Dr. İbrahim Tekdemir olmak üzere, eğitimimde emeği geçen Anatomi Anabilim Dalı'ndaki tüm öğretim üyelerine, çalışanlarına ve doktora öğrencisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamın önemli bir basamağı olan makine öğrenmesi ile veri analizleri halen ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü son sınıf öğrencisi olan Emre Doğan tarafından gerçekleştirilmiştir. Kendisine teşekkürü borç bilirim.

Engin istatistik bilgisiyle veri analizlerine yardımcı olan Doç. Dr. Ali Eba Demirdağ'a teşekkür ederim.

Bu tezimi, iyi bir hekim olma yolunda örnek aldığım Dr. Ragıp Utkan ve yetişmeme katkısı olan tüm öğretmenlerime ithaf ederim.

Ali UTKAN

SİMGELER ve KISALTMALAR

A	Arteria
AP	Anteroposterior
Art	Articulatio
BT	Bilgisayarlı Tomografi
h	yükseklik
l	uzunluk
Lig	Ligamentum
M	Musculus
m	metre
maks	Maksimum
min	Minimum
ml	mililitre
mm	milimetre
MRG	Manyetik Rezonans Görüntüleme
N	Nervus
Proc	Processus
Rr	Rami
SD	Standart Deviasyon
V	Vena
w	genişlik
$\bar{x}$	Ortalama

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Ayak kemiklerinin gruplanmış olarak üstten görünüşü.	6
Şekil 1.2. Talus ve calcaneus'un superiordan görünüşleri.	7
Şekil 1.3. Talus ve calcaneus'un plantar yüzden görünüşleri.	8
Şekil 1.4. Talus ve calcaneus'un lateralden görünüşleri.	8
Şekil 1.5. Talus ve calcaneus'un medialden görünüşleri.	9
Şekil 1.6. Os cuboideum, ossa cuneiformia, os naviculare ve ossa metatarsi'nin dorsalden görünüşleri.	10
Şekil 1.7. Calcaneus eklemleri superiordan görünüşleri.	11
Şekil 1.8. Ayak ve ayak bileği bağlarının lateralden görünüşleri.	12
Şekil 1.9. Ayak ve ayak bileği bağlarının medialden görünüşleri.	12
Şekil 1.10. Ayak bağlarının plantardan görünüşleri.	13
Şekil 1.11. Art. talocalcaneonavicularis AP ve yan düzlemde aksı.	13
Şekil 1.12. Posterior yüzdeki kaslar. M. gastrocnemius kaldırılmış.	15
Şekil 1.13. Ayaktan başlayan veya ayakta sonlanan kasların dorsal ve plantar yüzde yapışma yerleri.	16
Şekil 1.14. Ayak bileği ve arka ayak arterial anastomozları.	17
Şekil 1.15. Calcaneus'un şematik olarak lateralden (a) ve medialden kanlanması (b).	18
Şekil 2.1. Kuru kemiklerin balon içine yerleştirilmesi.	19
Şekil 2.2. 50 ml enjektör yardımıyla içerdeki havanın aspire edilmesi.	20
Şekil 2.3. Balonun boyun kısmından bağlanması ve fazlalıkların kesilmesi.	20
Şekil 2.4. Arşimet'in su taşıma yönteminin kullanılması. Kemığın tamamen suya batırılması için 1 mm Kirschner telleri ile bastırılması.	21
Şekil 2.5. Lateral ve aksiyel çekimler için röntgen kasetleri üzerine yerleştirilmiş (162-179 nolu calcaneus'lar).	21
Şekil 2.6. Röntgen çekimleri kasetin merkezine dik ve 1 m uzaklıktan yapıldı.	22
Şekil 2.7. Lateral ve aksiyel radyografiler (162-179 nolu calcaneus'lar).	22
Şekil 2.8. Lateral ve aksiyel radyografilerde ters çevrilmiş renkler (162-179 nolu calcaneus'lar).	23
Şekil 2.9. Lateral ayak grafisi ve iyi çekilmiş bir aksiyel grafi örneği.	23
Şekil 2.10. 1: Maksimum anteroposterior uzunluk.	24
Şekil 2.11. 2: Maksimum gövde uzunluğu; 3: Gövde yüksekliği.	24
Şekil 2.12. 4: Minimum gövde yüksekliği; 5: Facies articularis cuboidea yüksekliği.	25
Şekil 2.13. 6: Böhler açısı.	25
Şekil 2.14. 7: Gissane açısı.	26
Şekil 2.15. 8: Maksimum posterior transvers genişlik; 9: Minimum transvers genişlik.	26
Şekil 3.1. Hacim değerlerinin histogramı.	36
Şekil 3.2. Hacim değerlerinin noktalama grafiği.	36

Şekil 3.3. Hacim-maks AP l noktalama grafiği.	37
Şekil 3.4. Hacim-maks gövde l noktalama grafiği.	38
Şekil 3.5. Hacim-gövde h noktalama grafiği.	38
Şekil 3.6. Hacim-min gövde h noktalama grafiği.	38
Şekil 3.7. Hacim-facies articularis cuboidea h noktalama grafiği.	39
Şekil 3.8. Hacim-Böhler açısı grafiği.	39
Şekil 3.9. Hacim-Gissane açısı noktalama grafiği.	39
Şekil 3.10. Hacim-maks post w noktalama grafiği.	40
Şekil 3.11. Hacim-min post w noktalama grafiği.	40
Şekil 3.12. Regresyon çizgisi.	40
Şekil 3.13. Regresyon sonuçları.	41
Şekil 3.14. Varyans Enflasyon Faktörleri (VIF).	42
Şekil 3.15. Polinom regresyon sonuçları.	43

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Yapılan tüm ölçümler.	28
Çizelge 3.2. Sağ ve sol calcaneus'larda maksimum AP uzunluk karşılaştırması.	31
Çizelge 3.3. Sağ ve sol calcaneus'larda maksimum gövde uzunluğu karşılaştırması.	31
Çizelge 3.4. Sağ ve sol calcaneus'larda gövde yüksekliği karşılaştırması.	31
Çizelge 3.5. Sağ ve sol calcaneus'larda minimum gövde yüksekliği karşılaştırması.	32
Çizelge 3.6. Sağ ve sol kemiklerde facies articularis cuboidea yüksekliği karşılaştırması.	32
Çizelge 3.7. Sağ ve sol kemiklerde Böhler açısı karşılaştırması.	32
Çizelge 3.8. Sağ ve sol kemiklerde Gissane açısı karşılaştırması.	33
Çizelge 3.9. Sağ ve sol kemiklerde maksimum posterior transvers genişlik karşılaştırması.	33
Çizelge 3.10. Sağ ve sol kemiklerde minimum posterior transvers genişlik karşılaştırması.	33
Çizelge 3.11. Sağ ve sol kemiklerde hacim karşılaştırması.	34
Çizelge 3.12. Ölçüm ve hacim sonuçlarının kendi aralarındaki korelasyon analizi.	34
Çizelge 3.32. Spearman'ın sıralama rho katsayıları (Değişkenler ile hacim ilişkisi).	37

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Tarihçe

Düzensiz dikdörtgen prizma şekilli bir kemik olan calcaneus ayakta yer alan kemiklerden en büyüğü olup topuğun alt ve arka kısmında yer aldığı için topuk kemiği olarak da bilinir. Özelleşmiş yapısı ile talus'u alttan destekleyerek vücut ağırlığını yere iletirken, bacağın arka tarafındaki kaslar için de bir kaldıraç kolu işlevi görür. Altı yüzeye ve dört eklem yüzüne sahiptir.

İnsan calcaneus morfolojisi diğer primatlarınkinden farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar sayesinde yürüyüşün verimli ve istikrarlı bir şekilde yapılabilmesi mümkün olur (Klenerman ve Wood, 2006). Calcaneus, seyrek ancak oldukça organize bir trabeküler kemik yapıyı çevreleyen ince bir kortikal kemik katmana sahiptir (Mittra vd., 2008). Koşarken veya yürürken her adımda yere sertçe temas ettiği için yüksek kompresif, tensil ve torsiyon kuvvetlerine maruz kalsa da şeklinde deformasyon görülmez. Eğer kırılırsa normal fonksiyon ve yürüyüşü geri kazanabilmek için kemiğin orijinal şeklinin restorasyonu gereklidir.

Calcaneus'un morfolojik ve morfometrik analizi üzerine anatomi, ortopedi, spor hekimliği, antropoloji ve adli tıp bilim dallarında birçok çalışma yapılmıştır. Calcaneus'un boyut ve şeklindeki varyasyonların bazı ayak, diz ve kalça rahatsızlıklarına neden olduğunu belirten literatür çalışmaları bulunmaktadır (Anne Reilly vd., 2006). Calcaneus morfolojindeki farklılıkların sporculara bazı disiplinler için avantaj sağladığı veya dezavantaj yaratabildiği bilinmektedir (Raichlen vd., 2011). Ayrıca yüksek yoğunluklu antrenmanlar sonucunda, calcaneus hacminde değişiklik olabileceği belirtilmiştir (Escamilla-Martínez vd., 2016; Harding vd., 2020). Calcaneus cesetlerde genellikle bozulmadan bulunabildiği için antropoloji ve adli tıp araştırmalarında da yaygın olarak kullanılan kemiklerden biridir. Morfometrik değerler kullanılarak cesedin yaş ve cinsiyeti hakkında tahminlerde bulunmak mümkün olmaktadır. (Bidmos ve Asala, 2005; DiMichele, 2010; Ekizoglu vd., 2017; Inamori-Kawamoto vd., 2016; Navega vd., 2015).

Calcaneus hastalıklarının teşhisi ve takibi, ameliyatlarının planlanması veya değerlendirilmesi amacıyla radyolojik görüntülerde calcaneus'un birçok morfometrik ölçümü tanımlanmış fakat hacminin hesaplanmasındaki zorluklar nedeniyle calcaneus hacmi literatürde sınırlı sayıda çalışmanın konusu olmuştur (Acer vd., 2008; Ergün, 2018; Hıdıroğlu, 2019; Inamori-Kawamoto vd., 2016; Krmek vd., 2011). Anatomi laboratuvarlarında kuru kemiklerin Arşimet'in su taşıma yöntemiyle yapılan ölçümlerinde suyun kemik içine girmesi

önemli bir sorundur. Düzensiz şekli nedeniyle calcaneus hacminin hesaplanması tek olası yolu bilgisayarlı tomografi (BT) çekiminden elde edilen ince kesit görüntülerin bir bilgisayar yazılımında Cavalieri yöntemi ile birleştirilmesidir. Bu işlem sırasında bilgisayar yazılımı kullanılsa da kemik sınırlarının her kesitte manuel olarak belirlenmesi gerektiğinden dolayı pratik değildir. Ayrıca in vivo uygulandığında tomografi çekimi yüksek oranda radyasyon maruziyeti gerektirmektedir.

Temel tıbbi diagnostik görüntüleme yöntemleri olan, direkt radyografi, BT, manyetik rezonans görüntüleme (MRG), ultrasonografi ve radyonüklid görüntüleme yöntemleri içinde direkt radyografi, kolay ulaşılabilir ve ucuz olduğu için kemik görüntülenmesinde en sık kullanılan yöntemdir. Bu çalışmanın amacı calcaneus'un iki yönlü direkt radyografi görüntülerinden elde edilecek ölçümleri kullanarak calcaneus hacmini tahmin edebilecek basit bir formül elde etmektir. Yapay zekanın bir alt dalı olan makine öğrenimini kullanarak, algoritmalar ile sonucun kesinliği ve kanıtlanabilir olup olmadığı önemsenmeden en hızlı ve kolay şekilde iyiye yakın bir çözüm yolunun araştırıldığı bir problem çözme tekniği olan sezgisel (heuristik) yaklaşımla bu formülün bulunmasının mümkün olduğunu kanaatindeyiz (Cabitza vd., 2018; Fu vd., 2019).

Bu formülle elde edilecek matematiksel işlem calcaneus'un kesin hacmini vermeyecek bile olsa ilerde yapılacak çalışmalarda bir indeks olarak kullanılabileceğini düşünüyoruz. Aynı zamanda, yaş, cinsiyet, boy ve vücut kitle indeksi bilinen hastalara ait iki yönlü ayak grafilerinden, bu formülle bulunacak değerler kullanılarak hazırlanacak tablolar, antropoloji ve adli tıp alanında, sadece calcaneus kullanılarak maktulün teşhis edilmesinde kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca calcaneus hacminin Arşimet'in su taşıma yöntemiyle bulunmasına imkân sağlayan ve kuru kemiklerin içine su girmesini önlemek amacıyla geliştirdiğimiz yöntem kuru kemik hacim hesaplaması gereken çalışmalara önemli bir katkı sağlayabilir.

1.2. Genel Bilgiler

1.2.1. Stereoloji

Tarafsız (unbiased) ve nicel veriler sağlamak için randomize, sistematik örnekleme yöntemlerini kullanan, temel istatistik ve geometri prensiplerine dayanan bir yöntem olan stereoloji, kesitler veya projeksiyonlar gibi iki boyutlu (düz) görüntülerin üç boyutlu yorumu anlamına gelir. Kurucuları tarafından International Society for Stereology olarak isimlendirilen, 1961 yılında kurulan derneğe atfen kullanılmaya başlanmış bir kelimedir (Elias, 1967).

Stereoloji, bazı üç boyutlu niceliklerin iki boyutlu düzlemsel kesitlerde yapılan ölçümlerden yararlanarak üç boyutlu rekonstrüksiyon olmadan belirlenebileceği gerçeğinden yararlanır. İki boyutlu düzlemden üç boyutlu uzayı tahmin etmek olarak da tanımlanabilir. Örneğin, herhangi bir nesnenin iki boyutlu kesitlerini kullanarak nesneyi yeniden yapılandırmadan üç boyutlu hacmi bulunabilir.

Tarihsel olarak iki bin yıl önce astronomların yaptığı gözlemlerle uzaydaki yıldız ve gezegenler hakkında yaptıkları tahminler aslında stereolojinin ilk uygulamalarıdır. Astronomların kullandığı yöntemler geliştirilerek daha sonra metalürji, anatomi ve zooloji gibi fen bilimlerinin hemen hemen tüm dallarında kullanılmaya başlanmıştır (Elias vd., 1971).

Morfometrik çalışmalarda uzunluk, çevre ve alan gibi tanımlamalar basit formüller kullanılarak bulunurken, stereolojide hacim dansite gibi değerler daha karmaşık formüller kullanılarak hesaplanır. Stereolojide hesaplamaların doğruluğu istatistik ilkelerine dayanmaktadır (örneklem boyutu, randomizasyon ve izotropi). Stereoloji için örnekleme tasarımı en düşük toplam maliyet veya çaba ile maksimal miktarda nicel yapısal bilgi elde edecek şekilde yapılır (Mandarim-de-Lacerda, 2003). Stereolojik düşüncenin özü 18. yüzyılda Button'un geometri ve olasılıkla ilgili incelemelerine ve 19. yüzyıl Fransız jeolog Delesse'nin alanlardan hacim bulma çalışmalarına dayanmaktadır. Canlılardaki hesaplamalarda bireyler arasındaki biyolojik varyasyon tahmininin başarısını etkilerken mikroskobik düzeydeki varyasyonların etkisi önemli değildir.

Calcaneus'un stereoloji ile hacim hesaplaması BT kullanılarak hacim bulunmasından tamamen farklıdır. Bilgisayarlı tomografi kullanıldığında kemikten alınan X-ışını kesitlerinin alan ölçümleri bulunduktan sonra bir program yardımıyla kemiğin üç boyutlu geometrisi etkili bir şekilde yeniden oluşturulur. Stereolojik teknikler kullanıldığında ise birkaç temsili düzlem kesiti kullanılarak kemiğin üç boyutlu şekli ortaya çıkarılmadan hacmi tahmini olarak bulunur.

1.2.2. Heuristik Karar Verme

Heuristik (Sezgisel) Yunanca keşfetmek veya bulmak anlamına gelen “heurísko” kelimesinden gelir. Arşimet'in hamamda su taşıma yöntemiyle hacim hesaplama yöntemini ilk bulduğunda kullandığı iddia edilen Yunanca “eureka” sözcüğü ile aynı etimolojiye sahiptir. Heuristik yöntem, daha karmaşık yöntemlere göre daha hızlı, tutumlu ve/veya doğru kararlar vermek amacıyla bilginin bir kısmını göz ardı eden bir stratejidir (Gigerenzer & Gaissmaier, 2011). Basit farz etme senaryolarıyla yapılan deneme yanılma deneysel araştırma sürecine dayalı bir araştırma yöntemidir. Heuristik yöntemler, yeni gelişmeler veya ampirik keşifler

elde etmeye çalışan bilimsel yöntemin bir parçasıdır. Daha doğrusu bu prosedür ve farklı türden problemlerle karşılaşıldığında ideal çözümler geliştirmek için kullanılan basit karar stratejileridir.

Heuristik yöntem, ideale yakın bir çözümün mümkün olduğunu varsayar ve işlevselliği bulguların doğru değerlendirilmesine bağlıdır. Bununla birlikte her biri farklı bir teoriye dayalı farklı yollar ve olasılıklar değerlendirildiğinden, bulunan sonuç her zaman optimal olmayabilir. Bu teori ampirik gelişmelerin de olabileceğini varsayarak daha önce mevcut deneysel kurulumda incelenmeyen gözlemlenmemiş yeni gelişmeleri de öngören ilerici bir teoridir. Bu yöntem matematik, kimya ve diğer birçok bilim dalında kullanılmaktadır ve yöntem bilimsel olarak ispatlanmamış ve kanıtlanmamış matematik formülleri de içerebilmektedir. Ancak genelde doğruya yakın sonuç elde edilir. Bilgisayar biliminde kullanılan heuristik algoritmalar geçiş süresinde daha verimli hale gelebilmek için en iyi çözümü aramaktan vazgeçerek çözüm zamanını azaltan algoritmalarlardır.

1.2.3. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi

Yapay zekâ insan zekasını taklit eden sistemler veya makineler anlamına gelen kapsamlı bir terimdir. İstatiksel teknikler kullanarak bilgisayara bir durumu öğretip, o sorunu çözmek için karar verme yeteneği öğretmektir. İnsanlar unutulabilir, duygusaldır ve tutarsız kararlar verir. Oysa yapay zekâ asla unutmaz ve hep tutarlıdır. Yapay zekâyı eğitmek daha kolay ve daha hızlıdır ve bilgi aktarımı kolaydır. Matematiksel bir modele ve kurala ihtiyaç duymaz. Veriler arasında bilinmeyen ilişkileri de görebilir ve hızlıdır.

Makine öğrenimi ise çok katmanlı yapay sinir ağları yöntemini kullanarak bilgisayara verileri işledikçe kendi kendine karmaşık örüntüleri algılama ve veriye dayalı akılcı kararlar verebilme becerisi kazandıran ve performansını gittikçe arttırmaya odaklanan algoritmaların tasarım ve geliştirme süreçlerini konu edinen bir bilim dalıdır. Makine öğrenimi ve yapay zekâ birbirinden farklıdır. Tüm makine öğrenimi çözümleri yapay zekanın alt kümesiyken tüm yapay zekâ çözümleri makine öğrenimi değildir. Makine öğrenimi olasılık kuramı ve istatistik yöntemlerini kullanırken veri madenciliği yaparak örüntüleri de tanımaya odaklanır.

Tıbbi kayıtlardan ve verilerden elde edilen bilgi karışık, düzensiz ve işlenmemiş bilgi sağlar. Ayrıca aykırı yani hatalı bilgi de içerir. Makine öğrenimi teknikleri tıbbi personele bu verileri kullanarak tanı ve prognoz tahminlerinde bulunmalarında yardımcı olmak üzere, sınıflandırma modelleri sunarak tıp alanındaki problemlerin çözümünde destek olurlar. Makine öğrenimi karar ağacı algoritması (decision tree), destek vektör makinesi yöntemi,

(support vector machine), rastgele orman yöntemi (random forest), evrimsel algoritmalarla dayalı modeller (evolutionary algorithms) ve sürü zekâsı (swarm intelligence) yöntemlerini kullanır (Horn, 1999). Makine öğrenimi verilerden öğrenerek öğrenilen bu verilere dayanan tahmin modelleri oluşturmak için kullanılır. Genellikle bu tip durumlarda diğer akıllı teknikler tatmin edici bir çözüm bulunmasına olanak vermez. Makine öğrenmesi kesin bir ölçeklemeyi hızlı ve otomatik yapar.

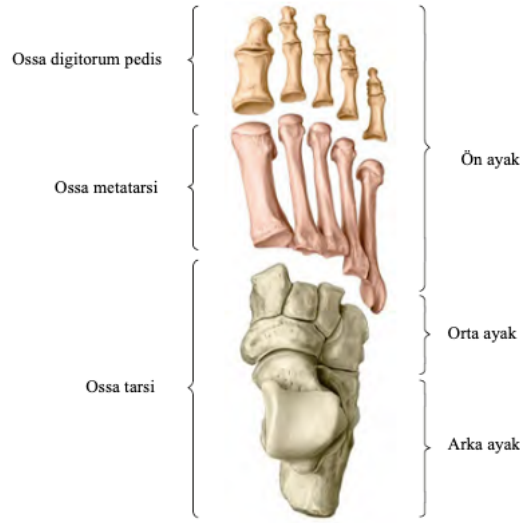
Derin öğrenme makine öğrenmesinin daha karmaşık modeller ile tasarlanmasıyla gerçekleştirilir. Genellikle görüntü sınıflandırması segmentasyonu obje tanıma gibi model yapılarında tercih edilen yaklaşımdır.

1.3. Ayak Anatomisi

Ayak, ambulasyon ve duruş sırasında membrum inferius ve zemin arasında kuvvet iletimi sağlayan ve bu iletim sırasında bir yumuşatıcı olarak şok emici biyomekanik değişikliklere olanak sağlayan, ossa sesamoidea ile birlikte 28 adet ossa, articulatio talocruralis dahil edildiğinde 31 adet juncturae ve daha fazla facies articularis, tendo, fascia, ligamenta, bursa ve kompartmanlar içeren karmaşık bir anatomik yapıdır (Gray vd., 2005; MacGregor ve Byerly, 2021; Moore vd., 2019; Standring).

1.3.1. Ossa Pedis

Anatomik terminolojide ayak kemikleri (ossa pedis): ossa tarsi; ossa metatarsi ve ossa digitorum olarak sınıflandırılır (Elhan, 2014; Gilroy vd., 2020) (Şekil 1.1). Klinikte fonksiyonel olarak ayak üç bölümde incelenir: Ön ayak; 14 falanks ve 5 metatars kemikten, orta ayak; os naviculare, ossa cuneiformia ve os cuboideum'dan ve arka ayak; calcaneus ve talus'tan oluşur (Gilroy vd., 2020; Wineski, 2018).



Şekil 1.1. Ayak kemiklerinin gruplanmış olarak üstten görünüşü. Atlas of Anatomy. Gilray vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009)s:400.

Ossa tarsi: Ayağın proksimal yarısında bulunan ossa tarsi'yi, proksimalde talus ve calcaneus, distalde (medialden laterale) os cuneiforme mediale, os cuneiforme intermedium, os cuneiforme laterale ve os cuboideum'un oluşturduğu iki sıra şeklinde dizilmiş kalın ve kısa kemikler oluşturur. Bu iki sıra arasında os naviculare yer alır. Bu kemiklerin altı yüzü bulunur.

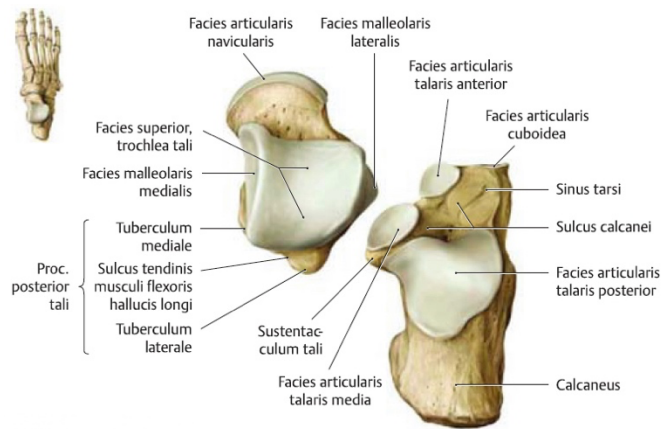
Talus: Hiçbir kas veya tendonun yapışmadığı, ayak ve bacak kemikleri arasında bir ara geçiş görevi gören kemiktir. Uzun eksen anteriora, mediale ve inferiora doğru yönelen talus'un; corpus, tali collum tali ve caput tali olarak üç bölümü vardır. Büyük bir kısmı oluşturan corpus tali'nin eklem kırırdağı ile kaplı makara şeklindeki üst kısmı trochlea tali olarak adlandırılır. Tibia ve fibula'nın alt uçlarının meydana getirdiği kemik çataltın içine sokularak art. talocruralisi oluşturur. Corpus tali'nin alt yüzünde sulcus tali ile birbirlerinden ayrılan eklem yüzleri bulunur. Bunlar facies articularis calcanea anterior, facies articularis calcanea media ve daha büyük olan facies articularis calcanea posterior'dur. Dar olan arka yüzdeki çıkıntıya proc. posterior tali denilir. Burada yer alan sulcus tendinis musculi flexoris hallucis longi'nin ikiye ayırdığı bölgelere tuberculum laterale ve tuberculum mediale olarak adlandırılır (Şekil 1.2;1.3).

Caput tali distal kısımdır ve önde facies articularis navicularis denilen dışbükey eklem yüzü os naviculare'nin facies articularis talaris adı verilen içbükey arka yüzü ile eklem yapar.

Corpus tali ve caput tali arasındaki dar bölüme collum tali denilir. Üst yüzünde bulunan deliklerden damar ve sinirler geçer. Alt tarafında facies articularis navicularis calcanea media bulunur.

Calcaneus: Tarsal kemiklerin en büyüğü ve embriyolojik olarak ilk kemikleşeni olan calcaneus vücut ağırlığının zemine iletiminin sağlanmasının yanında arka tarafına tendo musculi tricipitis surae (Tendo calcaneus / Achilles) olarak yapışan kaslar için de kaldıraç kolu görevi yapar. Küboidi andıran düzensiz bir şekli vardır ve uzun eksen distale, yukarıya ve laterale doğru yönelmiştir (Şekil 1.2;1.3;1.4). Calcaneus arka yarısında kısmen daha kalın olmakla birlikte üstüne binen yük göz önüne alındığında göreceli olarak ince bir korteks ile çevrili, yoğun kansellöz kemik dokusu yapısındadır.

Üst yüzü bazı kaynaklarda iki (Elhan, 2014), bazılarında ise üç bölümde incelenebilir (Gray vd., 2005). Arka bölüm transvers olarak dış bükey eklem yapmayan bir yüzeye sahiptir ve Tendo calcaneus ile arasında fibroadipoz bir doku bulunur. Ön tarafta ise üç eklem yüzü bulunur. Bunlardan facies articularis talaris posterior en büyüğüdür. Sulcus calcanei olarak adlandırılan bir oluk facies articularis talaris posterior ve facies articularis talaris media'yı ayırırken aynı zamanda talus'taki karşılığı ile birlikte sinus tarsi'yi meydana getirir. En önde ise facies articularis talaris anterior bulunur. Eklem yüzlerinin şekil ve büyüklükleri farklılıklar gösterebilmekte, ön ve orta birleşik tek bir eklem şeklinde olabilmektedir (Jung vd., 2015; Uygur vd., 2009).

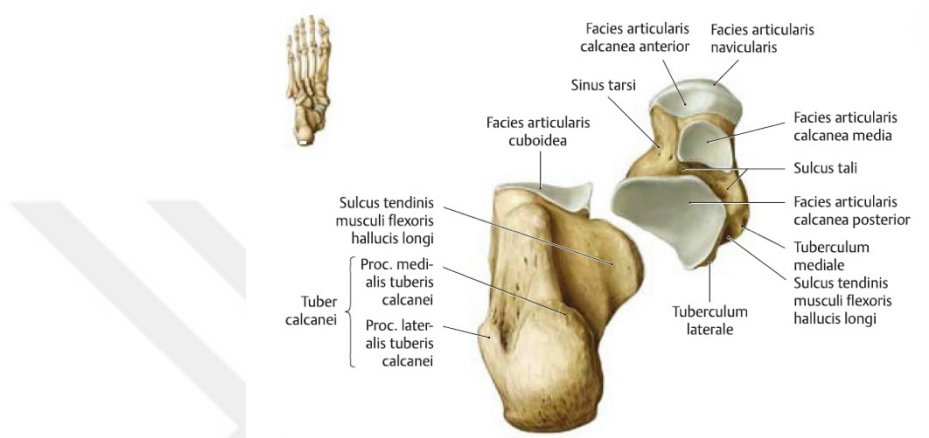


Şekil 1.2. Talus ve calcaneus'un superiordan görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:407.

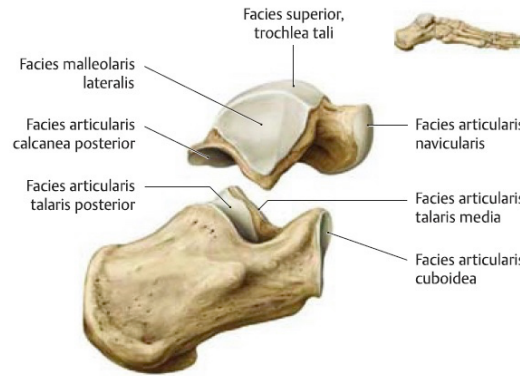
Calcaneus'un arka ucunda tuber calcanei isimli bir çıkıntı bulunur. Bu çıkıntının da lateral ve medialinde ligaman, kas, aponevroz ve retinaculumların tutunduğu proc. lateralis

tuberis calcanei ve proc. medialis tuberis calcanei yer alır. Arka tarafına tendo musculi tricipitis surae tutunur. Lig. calcaneocuboidea plantaris'in tutunduğu alt yüzün ön tarafında bulunan çıkıntı tuberculum calcanei olarak isimlendirilir.

Calcaneus'un lateral yüzü daha düzdür. Ancak ortasının hemen alt ve önünde trochlea fibularis olarak isimlendirilen bir çıkıntı bulunur. Bunun hemen altında yer alan sulcus tendinis musculi fibularis longi denilen oluktan m. fibularis longus'un tendonu geçer.



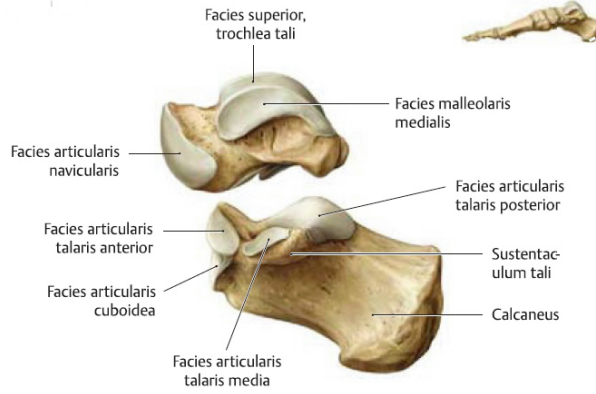
Şekil 1.3. Talus ve calcaneus'un plantar yüzden görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:407.



Şekil 1.4. Talus ve calcaneus'un lateralinden görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilray vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:407.

Medial yüz vertikal olarak içbükeydir ve üst sınırın lateralinden mediale uzanan sustentaculum tali bu içbükeyliği daha da arttırır (Şekil 1.5). Sustentaculum tali üstünde facies articularis talaris media ve altında sulcus tendinis musculi flexoris hallucis longi bulunur.

Bacağın arkasından gelen nörovasküler yapılar ayak tabanına medial yüzden geçer. Talus ile eklem yapan facies articularis talaris posterior'un önünde bulunan sulcus calcanei, talus'ta bulunan sulcus ile birleşerek sinus tarsi'yi meydana getirir.

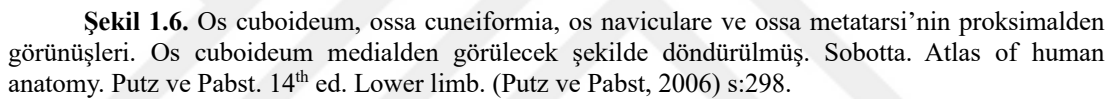


Şekil 1.5. Talus ve calcaneus'un medialden görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:407.

Os naviculare: Ossa tarsi'nin distal ve proksimal sırası arasında medial tarafta yer alıp dışbükey olan üst yüzü ve iç bükey plantar yüzü ile arcus longitudinalis medialis'in kilit taşıdır. Transvers olarak dış bükey yapıdaki ön yüzü vertikal çizgilerle birbirinden ayrılmış üç ayrı eklem yüzü ile ossa cuneiforme mediale, ossa cuneiforme intermedium ve ossa cuneiforme laterale ile eklem yaparken, iç bükey olan arka tarafı ise caput tali ile eklem yapar. Medial yüzündeki çıkıntı tuberositas ossis navicularis olarak isimlendirilmiştir. Bazen lateral yüzü os cuboideum ile eklem yapar (Şekil 1.6).

Ossa cuneiformia: Medialden laterale doğru os cuneiforme mediale, os cuneiforme intermedium, os cuneiforme laterale olarak isimlendirilen 3 kemikten oluşur. Medialde olanı daha büyüktür. Os cuboideum, os naviculare ve 1-3. ossa metatarsi ile eklem yaparlar (Şekil 1.6).

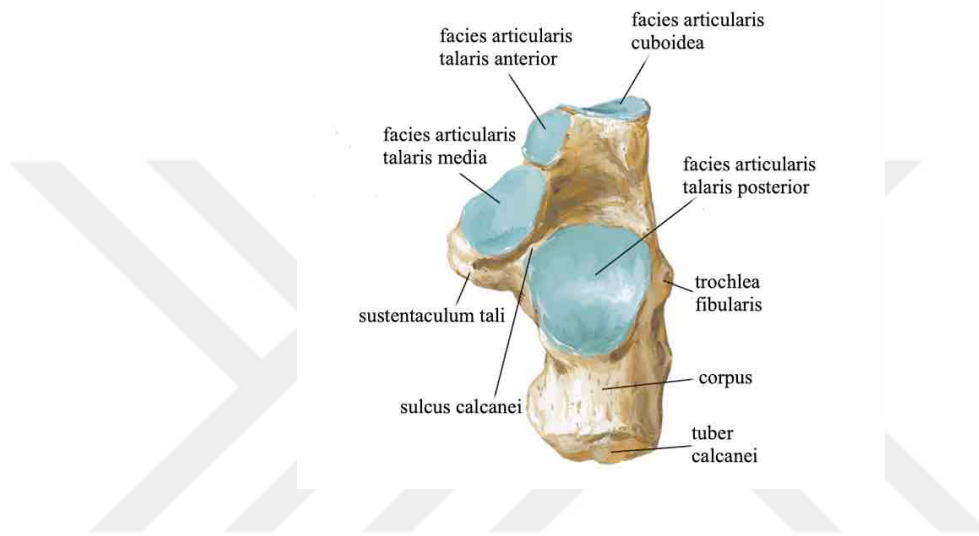
Os cuboideum: Distal sıra tarsal kemiklerin en lateral olanıdır. Calcaneus, os cuneiforme laterale ve 4. ve 5. ossa metatarsi ile eklem yapar (Şekil 1.6). Ligamanların yapıldığı dorsolateral yüzü pürüzlüdür. Kemiğin plantar yüzünde çaprazlama yer alan sulcus tendinis musculi fibularis longi calcaneus'ta yer alan sulcus tendinis musculi fibularis longi'nin devamıdır.



Ossa digitorum pedis: Toplam 14 adet kemikten oluşmaktadır. Ossa metatarsi'ye benzer olarak basis, corpus ve caput bölümleri bulunur. Birinci parmakta iki, diğer parmaklarda ise üçer phalanx bulunur.

Articulatio talocalcanea (Art. subtalaris): Calcaneus üst yüzü ve talus'un alt yüzü arasında, birbirinden ayrı, bağlantısı olmayan, kendilerine ait eklem kapsüllerine sahip, iki fonksiyonel eklem bulunur. Bu eklemler ön tarafta calcaneus'un facies articularis talaris

anterior ve facies articularis media ile talus'daki facies articularis calcanea anterior ve facies articularis calcanea media arasında, arka tarafta ise calcaneus'un facies articularis talaris posterior ve talus'daki facies articularis posterior arasındadır (Şekil 1.7). Posteriodaki eklem articulatio subtalaris olarak bilinir. Bu eklem lig. talocalcaneum laterale, lig. talocalcaneum mediale ve lig. talocalcaneum interosseum ve fibröz bir kapsülle sıkıca sabitlendiğinden ancak diğer tarsal eklemlerle birlikte kayma hareketi yaparak inversiyon-eversiyon hareketine katılırlar (Şekil 1.8;1.9;1.10).



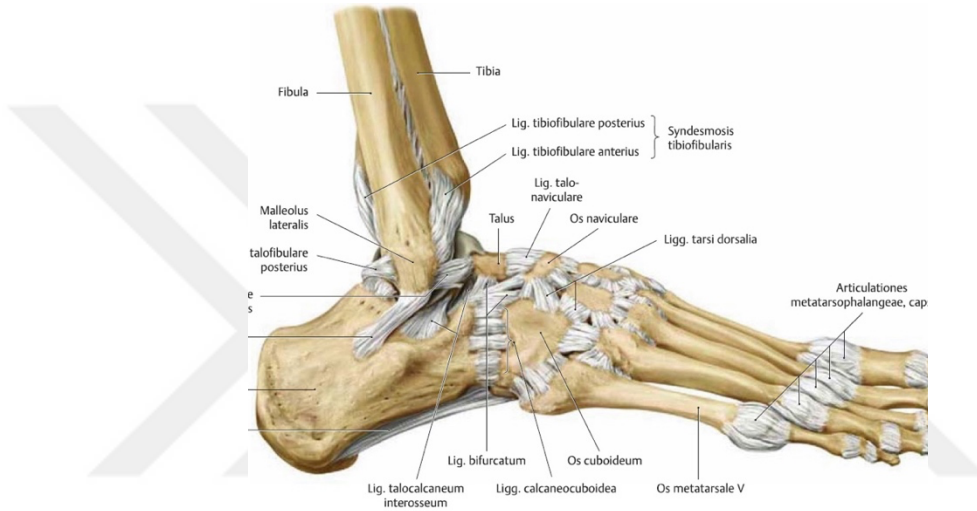
Şekil 1.7. Calcaneus eklemleri superiordan görünüşleri. Atlas of human anatomy. Netter 7th ed. Ankle and foot. (Netter, 2019) s:517.

Articulatio talocalcaneonavicularis: Art. talocalcaneonavicularis, ön tarafta calcaneus'un facies articularis talaris anterior, talus'daki facies articularis calcanea anterior ve os naviculare arasında oluşmuş plana tipinde bir eklemdir. Ön tarafta gevşek olan fakat arka bölümü lig. talocalcaneum interosseum ile desteklenen bir kapsül ve lig. talonaviculare ile sabitlenir (Şekil 1.8;1.9;1.10). Art. talocalcaneonavicularis ve art. subtalaris birlikte hareket ederek ayak içten dışa, önden arkaya ve yukarıdan aşağıya doğru uzanan bir hayali aks etrafında inversiyon-eversiyon yapar (Şekil 1.11).

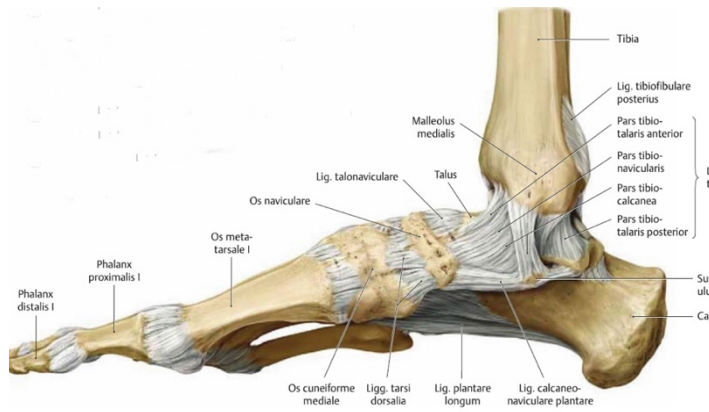
Articulatio calcaneocuboidea: Calcaneus'un ön bölümünde yer alan facies articularis cuboidea ile ekleme katılan diğer kemik olan os cuboideum'un facies articularis calcanea'sı arasında oluşur. Art. plana grubu bir eklemdir. Gevşek olan capsula articularis, lig bifurcatum, lig. plantare longum ve lig. calcaneocuboideum plantare ve lig. calcaneocuboideum dorsale ile sağlamlaştırılmıştır. Aynı seviyede bulunan art. talocalcaneonavicularis'in ön bölümü ile

birlikte art. tarsi transversa (Chopart eklemi) olarak anılırlar. Ayak bu eklemden fleksiyon-ekstansiyon, supinasyon-pronasyon karışımı bir hareket yapar.

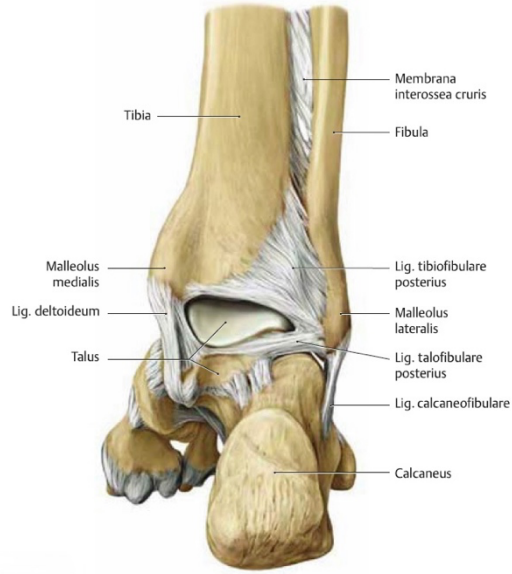
Calcaneus’u os naviculare’ye bağlayan bağlar: Bu iki kemik arasında bir eklem olmamasına rağmen lig. bifurcatum’un bir parçası olan lig. calcaneonaviculare ve lig. calcaneonaviculare plantare ile birbirine bağlanmıştır. Lig. calcaneonaviculare plantare caput tali’yi alttan destekleyerek ayak kubbesinin pasif olarak desteklemekte önemli bir rol oynar. Elastik bir yapısı olması nedeniyle spring ligamanı ismiyle de anılır. Bu bağın hemen altından geçen m. tibialis posterior ‘un tendonu ise bu kubbeyi aktif olarak destekler.



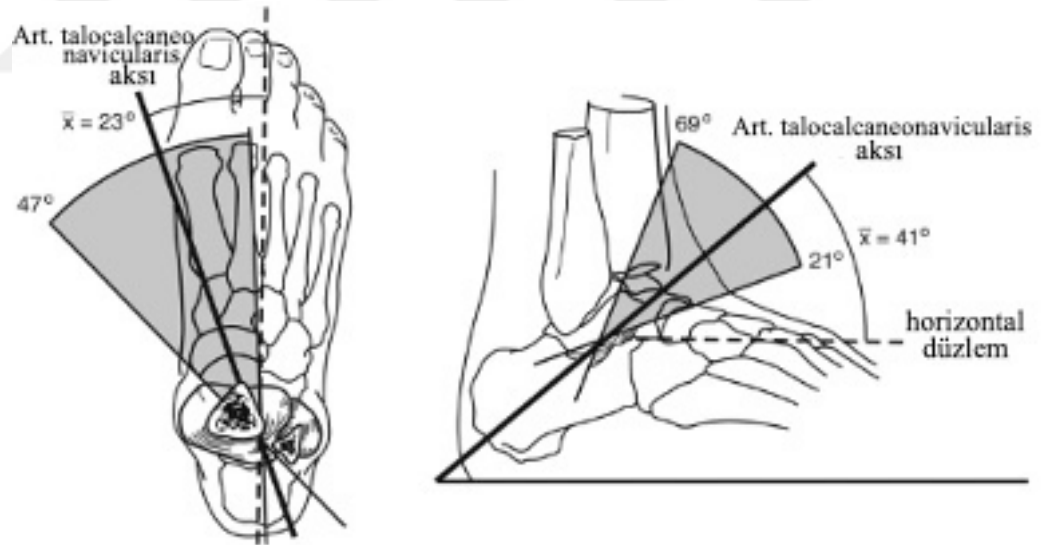
Şekil 1.8. Ayak ve ayak bileği bağlarının lateralinden görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:409.



Şekil 1.9. Ayak ve ayak bileği bağlarının medialinden görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:408.



Şekil 1.10. Ayak ve ayak bileği bağlarının posteriordan görünüşleri. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Ankle & foot. (Gilroy vd., 2009) s:409.



Şekil 1.11. Art. talocalcaneonavicularis AP ve yan düzlemde aksı (Jastifer ve Gustafson, 2014).

1.3.3. Calcaneus'a Tutunan Kaslar

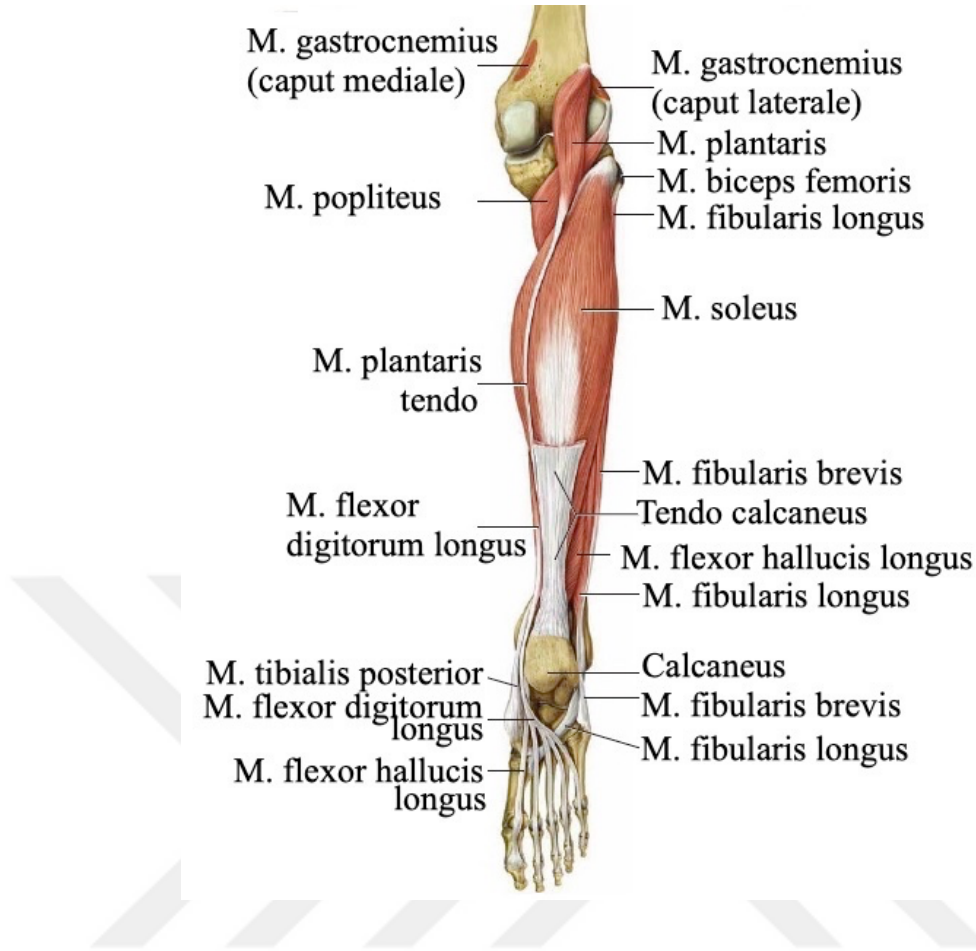
Posterior yüzde:

Musculus gastrocnemius: Bacağın posterior yüzündeki kaslar içinde en yüzeyde bulunan iki başlı bir kastır. Caput laterale, epicondylus lateralis femoris'ten ve daha büyük olan caput mediale, epicondylus medialis femoris'ten başlar. Ayrıca diz eklem kapsülünün üstünden başlayan bazı lifler de bu ikisine katılır. İki baş birleşerek tek kas gövde haline gelir ve ön tarafından başlayan aponeurosis tendo musculi gastrocnemii'yi oluşturduktan sonra m. soleus'un tendonuyla birleşerek tendo calcaneus'a katılarak tuber calcanei'de sonlanır (Şekil 1.12). Ayağa plantar fleksiyon yaptırırken diz eklemine de fleksiyon yaptırır. N. tibialis tarafından innerve edilir.

Musculus soleus: M. gastrocnemius'un derininde bulunan ve m. gastrocnemius'dan daha geniş yassı bir kastır (Şekil 1.12).

Caput fibulae ve 1/3 proksimal fibula'nın posteriorundan, tibia'da bulunan linea musculi solei ve iki kemik arasında bulunan arcus tendineus musculi solei'den aponevroz şeklinde başlar ve gene aponevroz şeklinde sonlanır. Bu aponevroz m. gastrocnemius'un tendonuyla birleşerek oluşan tendo calcaneus'a katılır ve tuber calcanei'de sonlanır. Proksimalde m. soleus, m. gastrocnemius tarafından kaplanmıştır. Fakat distalde kendinden daha dar olan tendonun iki yanından palpe edilebilir. N. tibialis tarafından innerve edilir. M. gastrocnemius ve m. soleus birlikte m. triceps surae olarak adlandırılır. Ayağın en kuvvetli fleksörüdür ancak aponeurosis plantaris vasıtasıyla parmak uçlarına kadar etkisi mevcuttur. Tendo calcaneus insan vücudundaki en kalın ve en dayanıklı tendondur. Lifleri vertikal olarak düz bir seyir göstermez. Değişik derecelerde spiral bir yapı oluşturur. M. gastrocnemius'dan gelen lifler calcaneus'da daha laterale yapışırken. m. soleus'dan gelenler daha mediale yapışır (Gray vd., 2005).

Musculus plantaris: M. plantaris, m. triceps surae arkasında yer alan küçük bir kas ve uzun ince bir tendondan oluşur (Şekil 1.12). Labium laterale linea aspera ve lig. popliteum obliquum'dan başlayıp, tendonu tendo calcaneus'un medial kenarı boyunca uzanır ve tuber calcanei'de sonlanır. Etkisi çok az olsa da ayağın plantar fleksiyonuna ve diz ekleminden bacağın fleksiyonuna yardım eder. N. tibialis tarafından innerve edilir.



Şekil 1.12. Posterior yüzdeki kaslar. M gastrocnemius kaldırılmış. Atlas of Anatomy. Gilroy vd. Lower limb. (Gilroy vd., 2009) s:394.

Dorsal yüzde:

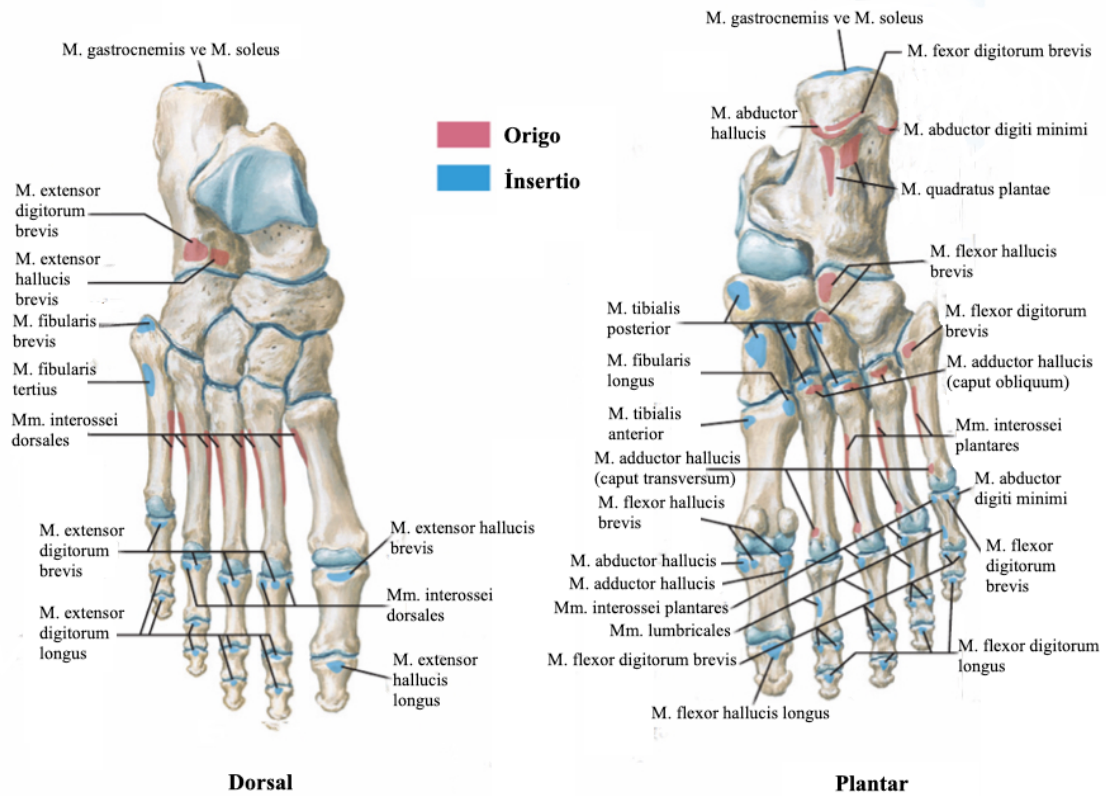
Musculus extensor hallucis brevis: Calcaneus'un superolateral yüzünden ve buraya yapışan lig. talocalcaneum interosseum ve retinaculum musculorum extensorum inferius'tan başlayıp, ossa metatarsi üstünde tendon haline gelerek, a. dorsalis pedis'i yüzeyel olarak geçip birinci parmağın phalanx proximalis'ine tutunur (Şekil 1.13). Birinci parmağın ekstansiyonuna yardımcı olur. N. fibularis profundus tarafından innerve edilir.

Musculus extensor digitorum brevis: Calcaneus'un superolateral yüzünün anteriorundan ve buraya yapışan lig. talocalcaneum interosseum ve retinaculum musculorum extensorum inferius'tan başlayıp ossa metatarsi üstünde ayrı tendonlar haline gelerek, 2-4. ayak parmaklarda sonlanan m. extensor digitorum longus tendonlarının yan taraflarına tutunur (Şekil 1.12). Orta üç parmağın ekstansiyonuna yardım eder. N. fibularis profundus tarafından innerve edilir.

Plantar yüzde:

Musculus flexor digitorum brevis: Aponeurosis plantaris'in altında ve ona yapışık olarak bulunur. Plantar kasların birinci tabakası içinde merkezde yer alır. Proc. medialis tuberis calcanei ve aponeurosis plantaris'in orta kısmından başlayıp tendonlara ayrılarak 2-5 parmakların phalanx media'larına yapışır (Şekil 1.13). Bu dört parmağa fleksiyon yaptırır. N. plantaris medialis tarafından innerve edilir.

Musculus abductor hallucis: Eminentia plantaris medialis olarak bilinen ayağın medial kabartısını oluşturan kastır. Plantar damar ve sinirlerin başlangıçlarında üstlerini kaplar. Birincil olarak muscolum flexorum'dan başlarken proc. medialis tuberis calcanei ve aponeurosis plantaris ve intermusküler septumdan da başlangıcı vardır. M. flexor hallucis brevis'in medial tendonu ile birlikte başparmağın phalanx proximalis'inde sonlanır (Şekil 1.13). Başparmağa abduksiyon yaptırır. N. plantaris medialis tarafından innerve edilir.



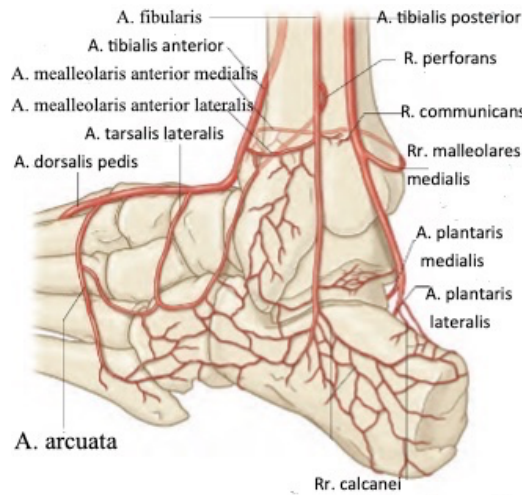
Şekil 1.13. Ayaktan başlayan veya ayakta sonlanan kasların dorsal ve plantar yüzde yapışma yerleri. Foot/ankle. Thompson ve Netter 2nd ed. Netter's concise orthopaedic anatomy. (Thompson ve Netter, 2010) s:361.

Musculus abductor digiti minimi: Ayağın lateral kenarında eminentia plantaris lateralis olarak bilinen kabartıyı yapan yüzeysel bir kıştır. Proc. medialis tuberis calcanei ve proc. lateralis tuberis calcanei ile aponeurosis plantaris'ten başlayıp 5. phalanx proximalis'in proksimalinde dış yan yüzde sonlanır (Şekil 1.13). Beşinci parmağa abduksiyon yaptırır. N. plantaris lateralis tarafından innerve edilir.

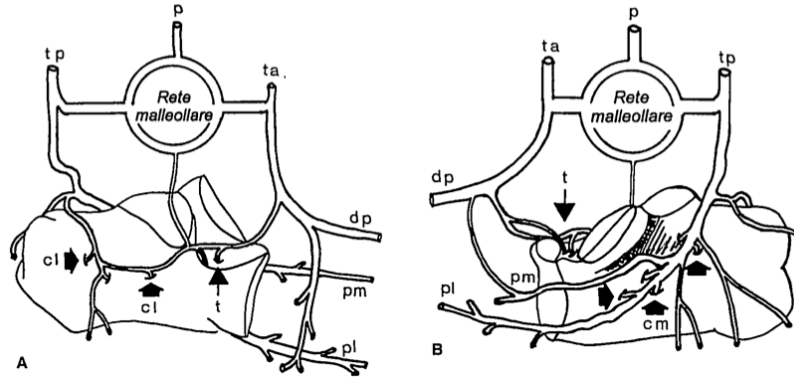
Musculus quadratus plantae: M. flexor accessorius olarak da isimlendirilen bu kas iki başlıdır. Bunlardan lateral baş daha yassı olup tendinöz yapıdadır ve proc. lateralis tuberis calcanei'den başlar. Daha büyük ve musküler yapıda olan ve medialde bulunanı ise calcaneus'un medial içbükey yüzünden başlar. İkisi arasında lig. plantare longum bulunur. İki baş birleşerek m. flexor digitorum longus'un tendonunun posterolateral kenarında sonlanır (Şekil 1.13). Varyasyonu sıkça görülen m. quadratus plantae, m. flexor digitorum longus'un fonksiyonunun düzenlenmesine katkı sağlayarak lateraldeki dört parmağın fleksiyonunu sağlar. N. plantaris lateralis tarafından innerve edilir.

1.3.4. Calcaneus'un Kanlanması

Calcaneus'un lateraldeki yarısı a. fibularis rr malleolares laterales'i verdikten sonra verdiği rr. calcanei'den, medialdeki yarısı ise a. tibialis posterior'un rr. malleolares medialis'i verdikten sonra verdiği rr. calcanei'den ve calcaneus'un yüzde onu ise a. dorsalis pedis'in dalı olan a. tarsalis lateralis'ten çıkan sinus tarsi arteri ve perforan dallardan beslenir (Andermahr vd., 1999) (Şekil 1.14). Andermahr vd. (1993) on üç spesmen ile yaptığı çalışma sonucunda şematik olarak çizdikleri kanlanma Şekil 1.15 de verilmiştir.



Şekil 1.14. Ayak bileği ve arka ayak arterial anastomozları. Gray's Anatomy. Gray vd. 41st ed. Ankle and foot. (Gray vd., 2005) s:1426.



Şekil 1.15. Calcaneus'un şematik olarak lateralden (a) ve medialden kanlanması (b). p: A. fibularis; tp: A. tibialis posterior; ta: A. tibialis anterior; dp: A. dorsalis pedis; cl: lateral calcaneal arter; t: sinus tarsi arteri; pm: A. plantaris medialis; pl: A. plantaris lateralis (Andermahr vd., 1999).

1.3.5. Calcaneus'un İnnervasyonu

Calcaneus, n. tibialis, n. fibularis profundus ve n. suralis'in dalları tarafından innerve edilir (Keener ve Sizensky, 2005).

Topuğun kutanöz innervasyonu, lateralde n. suralis, n. cutaneus surae lateralis, n. suralis ve rr. calcanei laterales tarafından sağlanır. Posteromedialde n. saphenus, anteriorde n. fibularis superficialis ve inferomedialde n. tibialis'in rr. calcanei medialis tarafından sağlanır.

Articulatio calcaneocuboidea, n. plantaris lateralis, n. fibularis profundus ve n. cutaneus dorsalis lateralis'ten innervasyon alır.

Articulatio talocalcaneonavicularis, n. plantaris medialis ve n. fibularis profundus tarafından innerve edilir. Art. talocalcanea, n. plantaris medialis ve n. cutaneus dorsalis lateralis tarafından innerve edilir. Nadiren, n. fibularis superficialis aksesuar derin peroneal sinir şeklinde devam eder ve art. talocalcanea ve art. calcaneocuboidea'ya ek dallar sağlar (Keener ve Sizensky, 2005).

2. GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Kemik ve Hacim Hesaplamaları İçin Gereç ve Yöntem

Çalışmada Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim dalı laboratuvarlarında bulunan ve bütünlüğü bozulmamış 216 kuru calcaneus kullanıldı.

Kemikler numaralandırıldıktan sonra hacimleri Arşimet'in suyla yer değiştirme yöntemi kullanılarak ölçüldü. Bu yöntemde suyun kemiklere nüfuz etmesi önemli bir sorundur ve şimdiye kadar bu sorunu önlemek için tekrarlanabilir bir yöntem önerilmemiştir. Çalışmamızda bu sorunu çözmek için tarafımızca geliştirilen parti balonu ile kaplama tekniği olarak adlandırdığımız yeni bir yöntem kullanıldı.

Bu yöntemde her kemik 10 inç parti balonları içine yerleştirildikten sonra balon içindeki hava 50 ml şırınga kullanılarak aspire edilir ve balon boyun kısmından kemiğe bitişik olarak bağlanarak hava alması önlendikten sonra kalan fazla kısımlar kesilir (Şekil 2.1;2.2;2.3;2.4). Bu sayede kemik yüzeyleri çepeçevre ince bir lateks tabakasıyla kaplanmış olur.



Şekil 2.1. Kuru kemiklerin balon içine yerleştirilmesi.

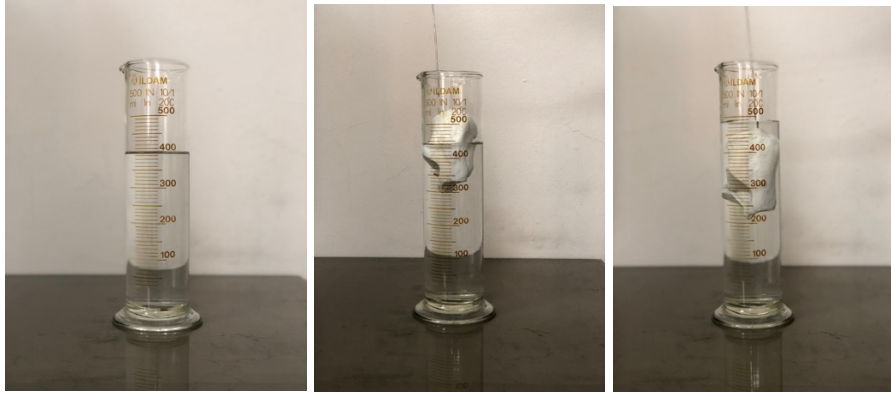


Şekil 2.2. 50 ml enjektör yardımıyla içerdeki havanın aspire edilmesi.



Şekil 2.3. Balonun boyun kısmından bağlanması ve fazlalıkların kesilmesi.

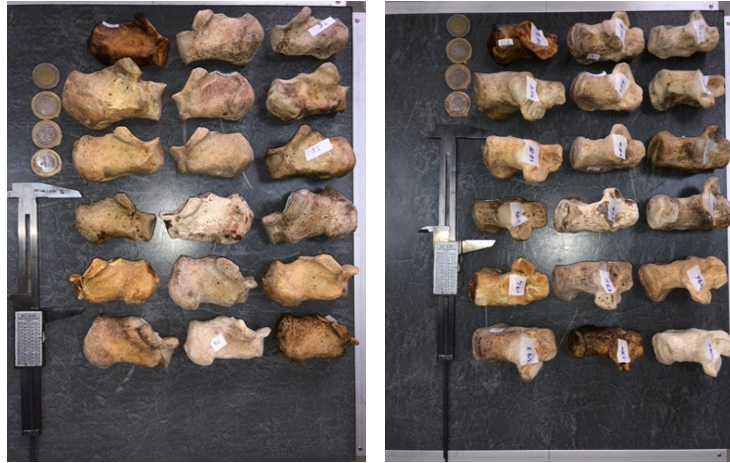
Bu kemikler işaretlenmiş seviyeye kadar içi su dolu dereceli silindir kaplarına 1 mm kalınlığında Kirchner telleri ile itirilerek tamamen batırıldı. Suyun yükselen yeni seviyesi tespit edildi. Bu değerden önceki değer çıkartılarak kemik hacmine denk gelen yer değiştiren su miktarı bulundu. Bu yöntemin güvenilir olduğu on dört kuru calcaneus kullanılarak yapılan bir ön çalışmada elde edilen değerlerle 1 mm kalınlığında BT kesitlerinin Aquarius iNtuition Volume Rendering programında gerçekleştirilen üç boyutlu rekonstrüksiyonlardan elde edilen değerlerin benzer çıkmasıyla gösterilmiştir (Utkan vd., 2019).



Şekil 2.4. Arşimet'in su taşıma yönteminin kullanılması. Kemiğin tamamen suya batırılması için 1 mm Kirschner telleri ile bastırılması.

2.2. Radyolojik Gereç ve Yöntem

Numaralandırılmış kemikler direkt radyografileri çekilmek üzere röntgen film kasetleri üzerine gruplar halinde yerleştirildi. Yan grafipler çekilirken kemikler lateral yüzleri üzerine yatırılacak, aksiyel grafipler için kemikler plantar yüzleri üzerine yerleştirilerek gereğinde devrilmemeleri için pamuklarla desteklendi. Kalibrasyonda kullanılmak üzere kaset üzerine büyük çene açıklığı 10 cm olacak şekilde Vernier kaliper yerleştirildi (Şekil 2.5).



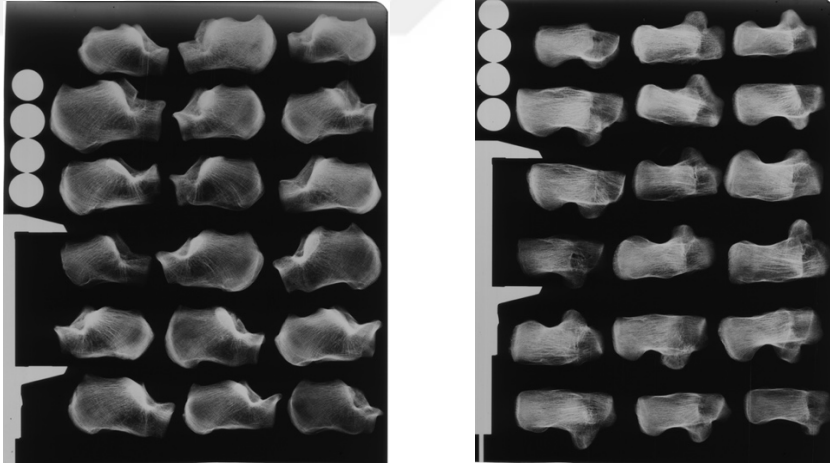
Şekil 2.5. Lateral ve aksiyel çekimler için röntgen kasetleri üzerine yerleştirilmiş (162-179 nolu calcaneus'lar.)

Çekimler IMD Basic 100 mobil röntgen makinası ile her seferinde kasetin merkezine dik olarak 1 m uzaklıktan yapıldı. Çekilen filmler HUQ 450 XM otomatik film banyo cihazı kullanılarak standart röntgen filmleri elde edildi (Şekil 2.6).



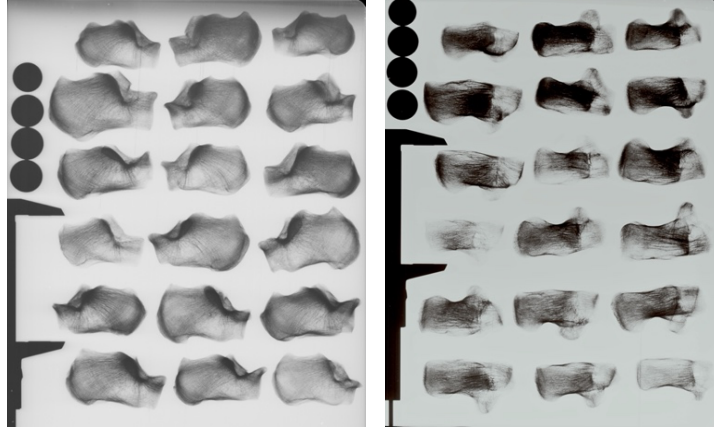
Şekil 2.6. Röntgen çekimleri kasetin merkezine dik ve 1 m uzaklıktan yapıldı.

Çekilen negatif filmler Epson Expression 1200XL model A3 grafik tarayıcı ile A3 Transparency unit kullanılarak tarandı ve her bir radyografi dijital olarak bilgisayara yüklendi.



Şekil 2.7. Lateral ve aksiyel radyografiler (162-179 nolu calcaneus'lar)

Dijital görüntüler macOS Big Sur işletim sisteminde Paintbrush v 2.6 uygulaması kullanılarak ters renklere (invert colors) çevrildi (Şekil 2.8). Bu görüntüler bilgisayar ekranında açıldıktan sonra Ondesoft Screen Rulers for Mac v 1.13.1 programı kullanılarak ve radyografilerdeki 10 cm ölçüsü ekranda 10 cm olacak şekilde manuel olarak ayarlanarak, kısaca kalibrasyon yapıldıktan sonra, ölçümler yapıldı.



Şekil 2.8. Lateral ve aksiyel radyografilerde ters çevrilmiş renkler (162-179 nolu calcaneus'lar)

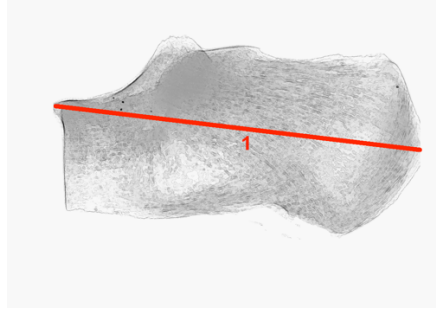
Genelde calcaneus, direkt yan ayak röntgenleri ile kolaylıkla ayırt edilebilmesine rağmen, bu düzleme dik olan aksiyel olarak tanımlanan görüntüyü her zaman elde etmek kolay değildir. Aksiyel görüntü ile sustentaculum tali dahil talocalcaneal ekleme kadar tüm kemiğin görüntülenebileceği belirtilmekle beraber genellikle sadece posterior kısım net olarak ortaya konulabilmektedir (Şekil 2.9). Bu nedenle calcaneus için birçok morfometrik ölçüm tanımlanmış olmasına rağmen bu çalışmada sadece radyografilerde kolaylıkla ölçülebilen aşağıdaki ölçümlerin yapılması uygun bulduk.



Şekil 2.9. Lateral ayak grafisi ve iyi çekilmiş bir aksiyel grafi örneği.

Lateral radyografide:

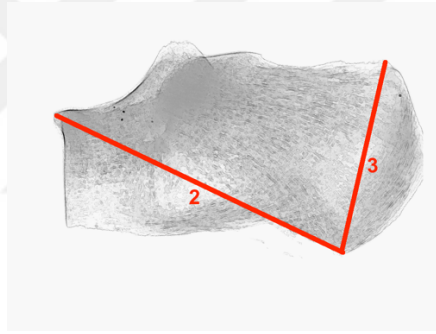
1. Maksimum anteroposterior uzunluk (maks AP I): Tuber calcanei en arka noktasından, proc. anterior superior calcanei'nin en öndeki noktasına çizilen doğrunun uzunluğu (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. 1: Maksimum anteroposterior uzunluk.

2. Maksimum gövde uzunluğu (maks gövde l): Proc. medialis tuberis calcanei en plantar ucundan, proc. anterior calcanei'nin en öndeki noktasına çizilen doğrunun uzunluğu (Şekil 2.11).

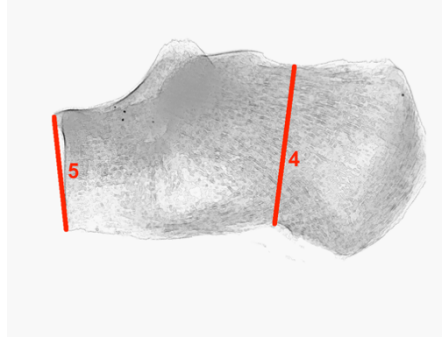
3. Gövde yüksekliği (gövde h): Proc. medialis tuberis calcanei en plantar ucundan, tuber calcanei'nin en dorsal ve üst noktasına çizileni doğrunun uzunluğu (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. 2: Maksimum gövde uzunluğu; 3: Gövde yüksekliği.

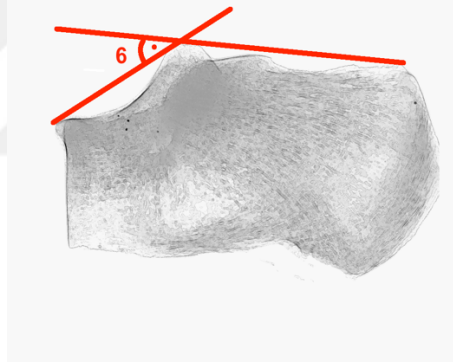
4. Minimum gövde yüksekliği (min gövde h): Posteriorıda, plantar yüzle superior yüz arasında çizilebilen en kısa doğrunun uzunluğu (Şekil 2.12).

5. Facies articularis cuboidea yüksekliği (f articularis cuboidea h): Proc. anterior calcanei'nin en üst noktasıyla facies articularis cuboidea'nın en alt noktaları arasında çizilen doğrunun uzunluğu (Şekil 2.12).



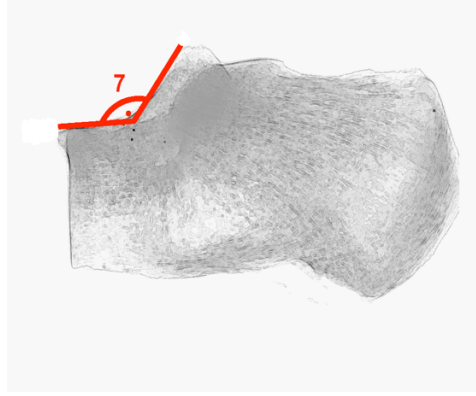
Şekil 2.12. 4: Minimum gövde yüksekliği; 5: Facies articularis cuboidea yüksekliği.

6. Böhler açısı (Böhler açısı): Proc. anterior calcanei'nin en yüksek noktası ile facies articularis talaris posterior'un en yüksek noktası arasında çizilen doğru ile facies articularis talaris posterior'un en yüksek noktası ile tuber calcanei'nin en üst noktası arasında çizilen doğrunun arasındaki açı (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. 6: Böhler açısı.

7. Gissane açısı (Gissane açısı): Facies articularis talaris anterior ve facies articularis talaris posterior'a tanjensiyel çizilen doğruların arasındaki açı (Şekil 2.14).

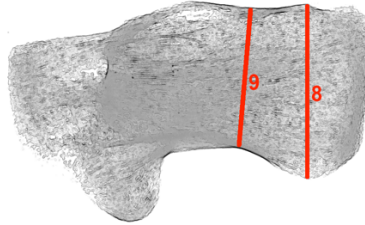


Şekil 2.14. 7: Gissane açısı.

Aksiyel radyografide:

8. Maksimum posterior transvers genişlik (maks post w): Posteriorıda, lateral ve medial yüzlere dik olarak çizilen maksimum uzunluktaki doğrunun uzunluğu (Şekil 2.15).

9. Minimum posterior transvers genişlik (min post w): Posteriorıda, lateral ve medial yüzlere dik olarak çizilen minimum uzunluktaki doğrunun uzunluğu (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. 8: Maksimum posterior transvers genişlik; 9: Minimum transvers genişlik.

2.2. İstatistik ve Veri Analizi

İstatistiksel analizler IBM® SPSS® sürüm 24.0 (IBM Corp, ABD, 2017) yazılımı kullanılarak yapıldı. Bulunan değerler normal dağılıma uymadığı için non parametrik testler kullanıldı. Tanımlayıcı değerler ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum, olarak hesaplandı. Sağ ve sol kemiklerde bulunan değerler Mann-Whitney U testi ile

karşılaştırıldı. Hacim ve diğer değerler arasında korelasyon olup olmadığı Spearman korelasyon testiyle karşılaştırıldı. Korelasyon katsayısı rho olarak kabul edildi. $P < 0.05$ istatistiki olarak anlamlı kabul edildi.

Ölçülen değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkileri bulmak ve değişkenlerin belli bir kısmı kullanılarak hacim verisini verecek bir formül bulmak üzere Python versiyon 3.12'nin pandas ve numpy kütüphaneleri kullanıldı. Ayrıca verinin görselleştirilmesi için seaborn ve matplotlib, istatistiksel ilişkilerin bulunması için scipy ve statsmodels kütüphanelerinden yararlanıldı. Python özellikle veri bilimi alanında yoğun bir şekilde kullanılan bir programlama dilidir ve tüm önemli platformlar için kaynak veya ikili biçimde ücretsiz olarak mevcuttur ve serbestçe dağıtılabilir. Python'da temel analizler yapıldıktan sonra çoklu lineer regresyon modeli, polinomsal regresyon modeli ve LightGBM-Karar Ağacı modelleri denenerek en uygun bulunan çoklu lineer regresyon modeli kullanıldı.

3. BULGULAR

3.1. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Ölçümleri yapılan toplam 216 calcaneus'un 116'sı sağ ve 100'ü sol taraftı. Yapılan tüm ölçümler çizelge 3.1'de verilmiştir. Maksimum AP uzunluk, maksimum gövde uzunluğu, gövde yüksekliği, minimum gövde yüksekliği, facies articularis cuboidea yüksekliği, Böhler açısı, Gissane açısı, maksimum posterior transvers genişlik, minimum posterior transvers genişlik ve hacim değerleri, sağ ve sol taraf açısından karşılaştırıldı (Çizelge 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8; 3.9; 3.10; 3.11).

Çizelge 3.1. Yapılan tüm ölçümler.

no	taraf	maks AP l	maks gövde l	gövde h	min gövde h	fa cuboidea h	Böhler aç	Gissane aç	maks post w	min post w	hacim
1	sağ	87	62	50	40	29	44	128	47	34	89
2	sağ	79	65	46	40	29	46	139	40	32	67
3	sol	82	68	42	37	30	45	131	35	30	53
4	sağ	77	66	41	35	28	46	138	35	29	57
5	sol	75	61	41	33	24	43	128	36	26	41
6	sağ	76	62	40	36	29	43	121	41	31	61
7	sol	71	59	41	37	28	31	134	31	24	49
8	sol	67	58	35	32	18	29	114	30	25	44
9	sağ	76	65	37	31	24	37	139	32	24	52
10	sağ	73	60	43	37	24	27	129	39	29	57
11	sol	72	60	40	36	22	40	126	30	24	47
12	sağ	80	75	45	40	30	42	130	37	36	88
13	sağ	78	60	43	38	24	36	126	35	27	59
14	sol	73	58	38	37	26	44	136	33	25	48
15	sağ	79	66	41	30	25	29	134	34	26	61
16	sağ	78	61	43	37	25	50	138	33	27	59
17	sol	68	56	38	35	25	35	118	34	30	40
18	sağ	73	61	41	32	24	37	125	35	27	40
19	sol	79	67	43	35	23	40	134	30	26	68
20	sol	72	57	44	36	23	22	120	30	22	46
21	sol	84	72	42	38	23	38	133	37	31	78
22	sağ	76	66	40	34	25	25	131	30	27	53
23	sol	70	60	37	33	25	31	117	31	23	48
24	sağ	71	58	37	32	23	33	116	29	23	41
25	sol	75	60	41	33	25	30	124	32	30	50
26	sol	68	57	37	34	22	30	116	28	29	42
27	sağ	73	58	41	33	22	36	136	30	23	42
28	sol	81	68	38	35	27	51	126	37	28	59
29	sol	82	65	41	38	26	32	146	42	32	64
30	sol	82	60	44	35	23	37	130	35	24	52
31	sağ	81	63	42	39	26	33	137	38	27	64
32	sağ	76	63	42	35	24	38	129	35	31	54
33	sol	79	63	45	40	26	32	129	38	27	64
34	sol	75	58	46	38	25	34	122	37	28	59
35	sağ	76	67	39	32	27	34	135	33	23	47
36	sağ	82	68	42	38	25	34	134	33	23	59
37	sol	73	58	42	35	24	32	121	33	31	52
38	sağ	83	70	47	36	29	32	116	37	27	61
39	sağ	84	73	41	38	30	27	109	36	27	67
40	sol	67	58	37	31	20	33	123	29	25	40
41	sağ	78	60	46	34	20	22	130	28	22	52
42	sağ	72	58	42	37	22	33	120	29	27	51
43	sağ	80	67	51	38	24	30	123	32	30	63
44	sağ	75	62	37	35	25	43	138	33	25	47
45	sağ	92	76	45	40	28	41	139	41	32	79
46	sol	75	60	41	37	25	40	126	30	30	56
47	sol	79	62	42	37	25	33	131	35	30	59
48	sol	87	63	44	42	23	40	116	37	31	69
49	sağ	81	60	44	38	25	46	149	43	29	52
50	sağ	75	62	41	31	23	38	133	30	22	42
51	sağ	77	57	41	33	21	42	119	35	26	50
52	sol	80	62	42	44	24	33	120	32	23	49
53	sol	80	67	42	37	23	38	116	29	25	52
54	sol	87	71	45	37	25	39	128	37	32	71
55	sol	78	63	43	39	26	31	125	30	25	40

Çizelge 3.1. Devam. Yapılan tüm ölçümler.

no	taraf	maks AP l	maks gövde l	gövde h	min gövde h	fa cuboidea h	Böhler aç	Gissane aç	maks post w	min post w	hacim
56	sağ	85	67	50	40	17	25	133	35	30	71
57	sağ	81	63	47	39	27	31	138	33	29	67
58	sağ	71	58	37	30	21	33	126	30	22	47
59	sağ	72	53	45	37	17	28	124	30	28	43
60	sağ	78	62	41	38	24	30	131	33	29	45
61	sağ	71	53	46	40	22	38	124	30	29	39
62	sağ	67	55	37	33	21	38	122	32	26	38
63	sol	80	67	45	37	24	28	125	35	29	67
64	sağ	76	57	43	37	25	35	130	32	27	49
65	sol	77	60	45	37	25	33	124	34	28	52
66	sağ	90	75	48	45	28	34	136	43	34	112
67	sağ	77	63	42	35	25	40	133	32	27	61
68	sol	77	75	42	35	20	37	118	39	29	50
69	sol	80	63	45	38	25	36	135	37	30	60
70	sol	82	69	46	35	27	36	134	37	27	61
71	sol	75	57	43	36	21	32	135	31	25	53
72	sol	71	60	38	32	22	33	138	36	27	42
73	sağ	85	71	51	45	25	34	128	35	28	69
74	sol	85	65	46	40	24	24	132	35	31	63
75	sağ	76	65	41	35	25	37	133	37	29	57
76	sağ	77	53	52	40	26	36	139	32	25	57
77	sol	76	65	38	37	21	40	147	30	27	50
78	sol	76	60	44	37	26	39	128	32	27	49
79	sol	79	58	47	39	23	43	135	42	37	62
80	sağ	82	65	49	39	25	39	134	36	29	64
81	sağ	83	67	50	41	30	29	141	40	28	65
82	sol	72	60	40	33	21	39	133	27	23	49
83	sol	78	62	44	37	27	30	126	33	26	68
84	sol	76	60	45	38	26	30	133	35	30	67
85	sol	82	61	45	36	25	33	141	35	29	61
86	sağ	71	60	45	38	17	31	117	30	25	53
87	sağ	79	63	44	39	24	33	127	33	29	59
88	sağ	70	60	39	31	23	37	126	28	25	45
89	sağ	80	61	48	40	26	27	114	34	32	61
90	sağ	76	63	45	38	22	30	135	28	28	53
91	sağ	85	63	52	47	28	21	133	37	29	73
92	sol	71	56	49	41	23	32	135	36	30	48
93	sağ	79	60	45	39	25	30	126	34	29	69
94	sağ	70	57	37	32	22	33	124	30	25	40
95	sağ	85	68	50	40	28	35	130	36	29	69
96	sağ	87	64	45	40	24	28	138	33	28	61
97	sol	71	59	39	37	25	28	107	30	30	50
98	sağ	76	65	49	41	28	40	120	34	29	68
99	sol	81	64	45	40	23	33	118	35	28	58
100	sağ	73	60	45	37	24	22	108	31	25	49
101	sağ	72	56	39	34	27	24	118	30	26	46
102	sol	81	62	43	37	24	33	127	32	31	68
103	sağ	68	55	35	33	19	32	130	29	24	36
104	sağ	77	56	42	37	22	29	130	35	27	46
105	sağ	82	65	45	40	24	33	129	32	27	59
106	sağ	83	64	48	40	28	20	117	40	30	58
107	sol	82	71	43	38	27	18	140	39	32	60
108	sol	75	60	42	33	23	32	144	35	29	44
109	sağ	78	63	40	37	23	39	134	35	29	54
110	sol	73	57	47	37	27	56	120	44	28	58
111	sağ	88	65	48	41	24	30	134	34	28	68
112	sağ	76	63	43	36	25	43	134	36	28	51
113	sol	83	67	48	40	24	28	125	36	30	76
114	sağ	82	68	42	35	27	38	128	33	23	53
115	sağ	69	58	37	33	20	30	129	30	24	37
116	sağ	87	68	48	42	25	33	127	36	30	71
117	sol	84	68	48	35	25	22	145	39	30	72
118	sağ	77	64	42	37	28	32	130	35	29	58
119	sol	75	60	40	33	25	31	120	32	24	39
120	sol	76	62	41	33	24	22	130	33	28	48
121	sol	67	53	40	33	21	23	114	27	21	38
122	sağ	76	60	41	38	21	26	111	32	28	53
123	sağ	81	68	42	36	25	25	134	33	28	59
124	sağ	80	68	45	36	20	34	129	37	29	51
125	sağ	79	62	41	36	24	39	136	32	28	52
126	sağ	84	66	51	43	28	35	120	36	30	50
127	sağ	83	67	104	45	28	61	124	37	36	47
128	sol	79	63	41	36	23	39	122	33	29	62
129	sağ	64	54	34	30	19	42	121	27	27	78
130	sol	75	65	42	38	23	44	145	31	27	44
131	sol	83	62	44	41	21	39	119	35	30	75
132	sağ	81	66	41	35	20	34	135	34	25	72

Çizelge 3.1. Devam. Yapılan tüm ölçümler.

no	taraf	maks AP l	maks gövde l	gövde h	min gövde h	fa cuboidea h	Böhler aç	Gissane aç	maks post w	min post w	hacim
133	sol	69	60	40	37	23	32	121	30	25	52
134	sağ	82	64	45	40	25	27	125	36	29	54
135	sağ	81	64	46	36	22	45	136	31	29	55
136	sağ	77	64	43	38	23	55	112	36	30	58
137	sağ	73	60	40	33	18	24	104	28	24	63
138	sol	79	65	40	37	25	32	116	32	23	57
139	sol	77	64	42	37	23	28	118	28	25	49
140	sağ	68	57	45	39	23	31	125	30	28	51
141	sol	75	63	47	41	23	34	127	37	30	66
142	sağ	71	61	38	32	20	28	120	32	23	51
143	sol	79	63	41	36	24	39	135	35	29	52
144	sol	84	65	51	43	27	34	123	38	29	66
145	sol	83	77	50	45	29	55	119	41	31	76
146	sağ	77	63	40	36	22	42	113	37	29	52
147	sağ	63	55	32	30	18	45	128	35	30	34
148	sağ	75	65	42	38	22	38	134	33	26	54
149	sağ	82	70	45	41	20	40	128	31	27	63
150	sağ	80	65	40	34	21	52	126	30	28	54
151	sağ	71	60	41	36	23	30	126	32	24	48
152	sağ	77	66	43	40	25	34	114	37	31	61
153	sol	80	62	44	39	17	35	135	34	25	69
154	sol	76	65	43	40	23	27	120	29	25	59
155	sağ	81	61	47	39	25	25	126	37	30	49
156	sol	81	57	48	39	25	41	135	32	31	50
157	sağ	77	67	43	39	25	49	114	36	29	53
158	sol	73	60	42	35	17	24	112	29	24	48
159	sol	81	77	42	37	26	24	116	30	24	61
160	sağ	78	60	47	38	24	32	117	32	24	42
161	sağ	78	61	44	38	23	37	117	37	27	43
162	sol	69	66	36	32	21	40	133	33	25	40
163	sağ	76	61	45	37	25	36	116	32	26	49
164	sağ	68	55	37	30	21	36	125	28	21	34
165	sol	89	71	66	45	31	37	130	37	30	83
166	sağ	71	56	41	38	22	41	130	27	27	49
167	sol	73	61	40	35	21	50	122	33	26	48
168	sol	76	68	41	38	27	23	109	37	28	59
169	sağ	73	61	39	37	24	38	126	32	27	49
170	sağ	78	64	39	35	25	46	125	38	20	57
171	sol	69	65	38	36	20	53	134	31	27	44
172	sağ	83	63	48	38	24	17	127	35	27	60
173	sağ	82	68	42	36	27	28	98	35	28	71
174	sol	77	65	35	36	20	40	123	36	30	54
175	sol	76	63	45	38	23	34	123	35	28	60
176	sol	81	68	40	30	28	29	124	39	24	58
177	sol	81	66	45	39	27	25	117	34	29	65
178	sol	77	68	40	34	26	26	98	33	26	47
179	sol	73	60	40	35	19	33	135	28	24	46
180	sol	80	65	41	38	24	49	130	42	30	58
181	sol	84	67	43	40	28	48	122	42	31	63
182	sol	81	66	45	38	29	50	119	40	30	59
183	sağ	76	64	47	38	26	46	127	32	29	54
184	sağ	84	68	52	44	27	25	124	37	32	73
185	sağ	71	53	42	36	21	30	133	27	27	40
186	sağ	69	59	37	31	21	23	124	27	26	39
187	sol	84	66	47	39	27	33	129	36	27	62
188	sağ	69	59	40	33	25	24	120	30	25	39
189	sol	77	63	43	40	26	30	121	33	28	66
190	sol	72	57	41	34	23	33	121	34	28	49
191	sol	73	60	39	33	23	25	126	32	23	42
192	sol	79	63	39	34	23	28	117	33	27	51
193	sağ	74	62	37	36	22	30	137	32	28	43
194	sağ	86	71	38	47	29	32	135	41	34	89
195	sol	71	62	55	32	20	40	136	32	27	44
196	sol	85	68	51	40	23	27	125	39	29	71
197	sağ	69	60	38	35	20	34	122	31	25	39
198	sağ	81	62	43	38	20	41	130	32	25	64
199	sol	76	61	43	36	25	40	140	31	25	43
200	sol	76	57	43	36	27	37	132	30	26	68
201	sağ	83	64	48	40	25	30	134	34	27	73
202	sol	86	72	49	39	32	30	129	46	22	58
203	sağ	75	62	37	32	23	40	129	28	25	60
204	sol	81	65	50	41	28	16	134	41	32	49
205	sol	85	65	47	40	26	36	124	37	32	59
206	sol	75	60	47	40	19	34	138	28	28	37
207	sol	76	60	43	37	20	28	127	36	32	50
208	sağ	77	61	44	39	23	33	148	33	27	71
209	sol	82	70	42	36	22	27	120	34	29	59
210	sol	78	61	47	41	30	38	119	31	30	46

Çizelge 3.1. Devam. Yapılan tüm ölçümler.

no	taraf	maks AP l	maks gövde l	gövde h	min gövde h	fa cuboidea l	Böhler aç	Gissane aç	maks post w	min post w	hacim
211	sağ	80	63	45	38	24	23	126	35	36	38
212	sağ	77	61	41	34	22	34	139	31	25	78
213	sağ	77	62	48	41	26	32	122	39	31	64
214	sağ	79	65	45	41	24	22	119	37	28	70
215	sağ	75	65	41	37	26	29	137	35	27	46
216	sol	77	60	47	40	23	46	125	36	30	58

Çizelge 3.2. Sağ ve sol calcaneus’larda maksimum AP uzunluk karşılaştırması.

Maks AP l	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	77,4 $\pm$ 5,5 (77,0;63-92)	0,921
Sol	77,4 $\pm$ 5,0 (77,0;67-89)	

Sağ ve sol calcaneus’larda maksimum AP uzunluk açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı (p=0,921>0,05).

Çizelge 3.3. Sağ ve sol calcaneus’larda maksimum gövde uzunluğu karşılaştırması.

Maks gövde l	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	62,7 $\pm$ 4,7 (63,0;53-76)	0,824
Sol	63,0 $\pm$ 4,7 (62,5;53-77)	

Sağ ve sol calcaneus’larda maksimum gövde uzunluk açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı (p=0,824>0,05).

Çizelge 3.4. Sağ ve sol calcaneus’larda gövde yüksekliği karşılaştırması.

Gövde h	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	43,6 $\pm$ 7,0 (43,0;32-104)	0,817
Sol	43,1 $\pm$ 4,4(43,0;35-66)	

Sağ ve sol calcaneus’larda gövde yükseklik açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,817>0,05$).

Çizelge 3.5. Sağ ve sol calcaneus’larda minimum gövde yüksekliği karşılaştırması.

Min gövde h	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	37,0 $\pm$ 3,7 (37,0;30-47)	0,767
Sol	37,0 $\pm$ 3,0 (37,0;30-45)	

Sağ ve sol calcaneus’larda minimum gövde yükseklik açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,767>0,05$).

Çizelge 3.6. Sağ ve sol kemiklerde facies articularis cuboidea yüksekliği karşılaştırması.

F articularis cuboidea h	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	24,0 $\pm$ 3,0 (24,0;17-30)	0,860
Sol	24,0 $\pm$ 2,9 (24,0;17-32)	

Sağ ve sol calcaneus’larda maksimum gövde uzunluk açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,860>0,05$).

Çizelge 3.7. Sağ ve sol kemiklerde Böhler açısı karşılaştırması.

Böhler açısı	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) °	p
Sağ	34,0 $\pm$ 7,7 (34,0;17-61)	0,949
Sol	34,5 $\pm$ 7,9 (33,0;16-56)	

Sağ ve sol calcaneus’larda Böhler açısı yönünden istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,949>0,05$).

Çizelge 3.8. Sağ ve sol kemiklerde Gissane açısı karşılaştırması.

Gissane aç	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) °	p
Sağ	128,0 $\pm$ 8,6 (128,0;98-149)	0,232
Sol	126,4 $\pm$ 8,9 (126,0;98-147)	

Sağ ve sol calcaneus’larda Gissane açısı yönünden istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,232>0,05$).

Çizelge 3.9. Sağ ve sol kemiklerde maksimum posterior transvers genişlik karşılaştırması.

Maks post w	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	33,0 $\pm$ 3,8 (33,0;27-47)	0,413
Sol	34,1 $\pm$ 4,0 (34,0;27-46)	

Sağ ve sol calcaneus’larda maksimum posterior transvers genişlik açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,413>0,05$).

Çizelge 3.10. Sağ ve sol kemiklerde minimum posterior transvers genişlik karşılaştırması.

Min post w	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) mm	p
Sağ	27,5 $\pm$ 3,0 (27,5;20-36)	0,381
Sol	27,8 $\pm$ 2,9 (28,0;21-37)	

Sağ ve sol calcaneus’larda minimum posterior transvers genişlik açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,381>0,05$).

Çizelge 3.11. Sağ ve sol kemiklerde hacim karşılaştırması.

Hacim	$\bar{x} \pm SD$ (Medyan:Min-Maks) ml	p
Sağ	56,3 $\pm$ 12,9 (54,0;34-112)	0,727
Sol	55,4 $\pm$ 10,2 (53,5;37-83)	

Sağ ve sol calcaneuslarda hacim açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p=0,727>0,05$).

3.2. Ölçümlerin Kendi Aralarında Korelasyonları

Değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve derecesini tanımlamak için, dağılım normal olmadığından dolayı kullanılan Sperman testi sonuçları Çizelge 3.11 de verilmiştir.

Ölçüm değerlerinin kendi arasındaki korelasyon tablosuna göre:

Hacim ile maks AP l arasında ($r=0,709$, $p<0,01$); hacim ile maks gövde l arasında ($r=0,563$, $p<0,01$); hacim ile gövde h arasında ($r=0,494$, $p<0,01$); hacim ile min gövde h arasında ($r=0,534$, $p<0,01$); hacim ile f articularis cuboidea h arasında ($r=0,392$, $p<0,01$); hacim ile maks post w arasında ($r=0,499$, $p<0,01$); hacim ile min post w arasında ($r=0,432$, $p<0,01$) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde korelasyon bulunurken; hacim ile Böhler ve hacim ile Gissane açıları arasındaki korelasyon istatistiksel olarak anlamlı değildi ($p>0,05$).

Çizelge 3.12. Ölçüm ve hacim sonuçlarının kendi aralarındaki korelasyon analizi.

		hacim	maks AP l	max gövde l	gövde h	min gövde h	f a cuboidea	Böhler aç	Gissene aç	maks post w
maks AP l	Korelasyon	0,709								
	Anlamlılık	0,000								
maks gövde l	Korelasyon	0,563	0,725							
	Anlamlılık	0,000	0,000							
gövde h	Korelasyon	0,494	0,607	0,298						
	Anlamlılık	0,000	0,000	0,000						
min gövde h	Korelasyon	0,534	0,608	0,358	0,751					
	Anlamlılık	0,000	0,000	0,000	0,000					
f a cuboidea h	Korelasyon	0,392	0,495	0,435	0,368	0,399				
	Anlamlılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
Böhler aç	Korelasyon	0,015	-0,013	0,035	-0,075	-0,019	0,008			
	Anlamlılık	0,831	0,846	0,610	0,271	0,780	0,909			
Gissene aç	Korelasyon	0,110	0,093	0,093	0,097	0,024	0,046	0,196		
	Anlamlılık	0,106	0,174	0,174	0,156	0,721	0,503	0,004		
maks post w	Korelasyon	0,499	0,612	0,506	0,433	0,456	0,522	0,129	0,098	
	Anlamlılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,149	
min post w	Korelasyon	0,432	0,455	0,308	0,462	0,540	0,339	0,119	0,060	0,611
	Anlamlılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	0,377	0,000

Maks AP l ile maks gövde l arasında ($r=0,725$, $p<0,01$); maks AP l ile gövde h arasında ($r=0,607$, $p<0,01$); maks AP l ile min gövde h arasında ($r=0,608$, $p<0,01$); maks AP l ile f articularis cuboidea h arasında ($r=0,495$, $p<0,01$); maks AP l ile maks post w arasında ($r=0,612$, $p<0,01$); maks AP l ile min post w arasında ($r=0,455$, $p<0,01$) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde korelasyon bulunurken; maks AP l ile Böhler ve maks AP l ile Gissane açıları arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunmadı ($p>0,05$).

Maks gövde l ile gövde h arasında ($r=0,298$, $p<0,01$); maks gövde l ile min gövde h arasında ($r=0,358$, $p<0,01$); maks gövde l ile f articularis cuboidea h arasında ($r=0,435$, $p<0,01$); maks gövde l ile maks post w arasında ($r=0,506$, $p<0,01$); maks gövde l ile min post w arasında ($r=0,308$, $p<0,01$) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde korelasyon bulunurken; maks gövde l ile Böhler ve maks gövde l ile Gissane açıları arasında korelasyon anlamlı değildi ($p>0,05$).

Gövde h ile min gövde h arasında ($r=0,751$, $p<0,01$); gövde h ile f articularis cuboidea h arasında ($r=0,368$, $p<0,01$); gövde h l ile maks post w arasında ($r=0,433$, $p<0,01$); gövde h ile min post w arasında ($r=0,462$, $p<0,001$) pozitif yönde korelasyon bulunurken; gövde h ile Böhler ve gövde h ile Gissane açıları arasında korelasyon anlamlı değildi ($p>0,05$).

Min gövde h ile f articularis cuboidea h arasında ($r=0,399$, $p<0,001$); min gövde h ile maks post w arasında ($r=0,456$, $p<0,001$); min gövde h ile min post w arasında ($r=0,540$, $p<0,01$) pozitif korelasyon bulunurken min gövde h ile Böhler ve min gövde h ile Gissane açıları arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunmadı ($p>0,05$).

F articularis cuboidea h ile maks post w arasında ($r=0,522$, $p<0,001$); f articularis cuboidea h ile min post w arasında ($r=0,339$, $p<0,001$) pozitif yönde korelasyon bulunurken f articularis cuboidea h ile Böhler ve f articularis cuboidea h ile Gissane açıları arasında korelasyon istatistiksel anlamlı değildi ($p>0,05$).

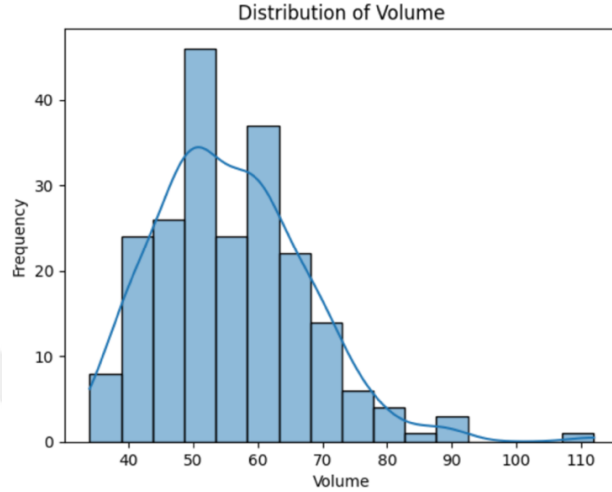
Böhler açısı ile Gissane açısı arasında ($r=0,196$, $p<0,01$) pozitif korelasyon bulunurken Böhler açısı ile maks post w ve Böhler açısı ile min post w arasındaki korelasyon anlamlı değildi ($p>0,05$).

Gissane açısı ile maks post w ve Gissane açısı ile min post w arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunmadı ($p>0,05$).

Maks post w ile min post w arasında ($r=0,611$, $p<0,001$) istatistiksel olarak anlamlı pozitif yönde korelasyon bulundu.

3.3. Python Kodlama Programıyla Calcaneus Hacimlerinin Temel Analizleri

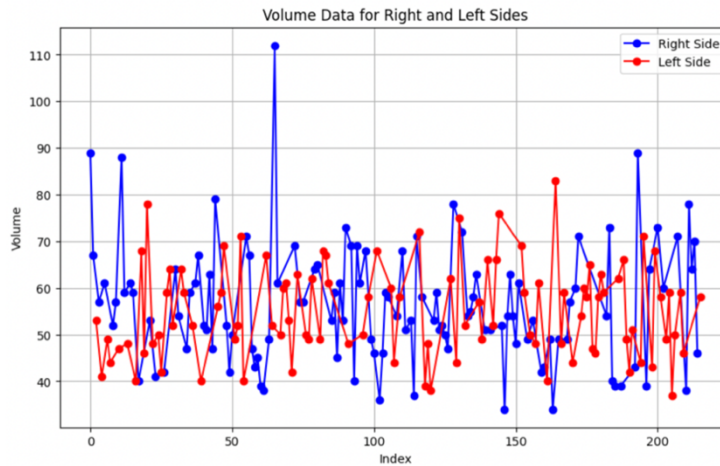
Python kodlama programıyla yapılan analizlerde calcaneus hacimlerinin ortalaması 55,8 ml ve standart deviasyonu 11,7 olarak bulundu. Hacim değerleri histogramı Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. Hacim değerlerinin histogramı.

Hacim değerleri üç standart sapma (sigma) kuralına göre değerlendirildiğinde yalnızca bir aykırı değer bulundu (Şekil 3.2).

Python kodlama programı kullanılarak yapılan Shapiro-Wilk testiyle hacim verilerinin dağılımı incelendiğinde, W istatistiğinin 0,96 olduğu ve p değerinin 0,000014 ($p < 0,001$) olduğu yani normal dağılım olmadığı tespit edildi. Mann-Whitney U testi ile de sağ ve sol kemik hacimleri arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p = 0.64$).



Şekil 3.2. Hacim değerlerinin noktalama grafiği.

3.4. Python Kodlama Programı Kullanarak Calcaneus Ölçümlerinin Calcaneus Hacmi ile Korelasyonu

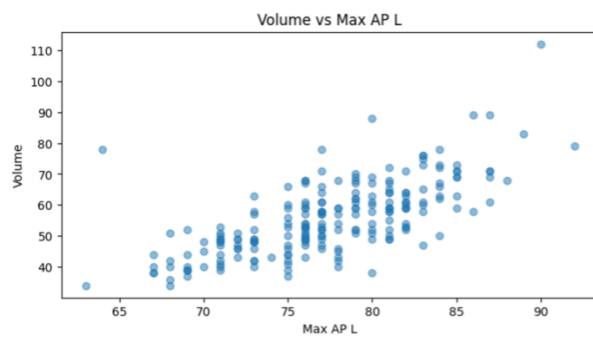
Her bir değişkenin hacim ile olan korelasyonunu test etmek için Spearman'ın sıralama rho katsayıları bulundu (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.13. Spearman'ın sıralama rho katsayıları (Ölçümler ile hacim ilişkisi).

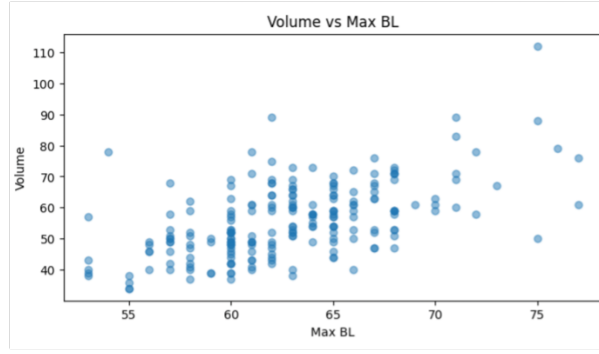
Değişken	rho katsayısı	p değeri
maks AP l	0,71	$2,5 * 10^{-34}$
maks gövde h	0,56	$1,7 * 10^{-19}$
gövde h	0,49	$1,1 * 10^{-14}$
min gövde h	0,53	$2,3 * 10^{-17}$
f articularis cuboidea h	0,39	$2,4 * 10^{-9}$
Böhler açısı	0,01	0,8
Gissane açısı	0,11	0,1
maks post w	0,49	$5,3 * 10^{-15}$
min post w	0,43	$3,2 * 10^{-11}$

Ölçülen değerlerin hacim ile korelasyon tablosu değerlendirildiğinde Böhler açısı ve Gissane açısı haricinde tüm değerler anlamlı ve pozitif yönde korelasyon göstermiştir.

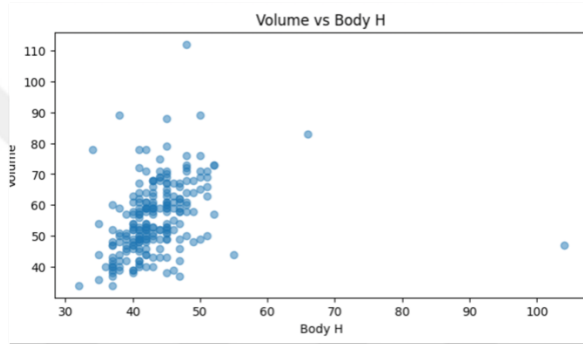
Değişkenlerin hacim ile ilişkisi Şekil 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8; 3.9; 3.10 de ayrı ayrı gösterilmiştir.



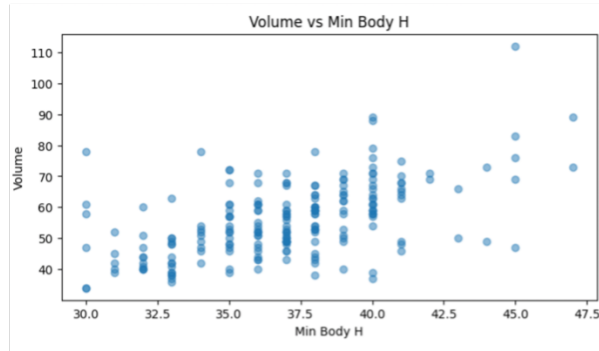
Şekil 3.3. Hacim-maks AP l noktalama grafiği.



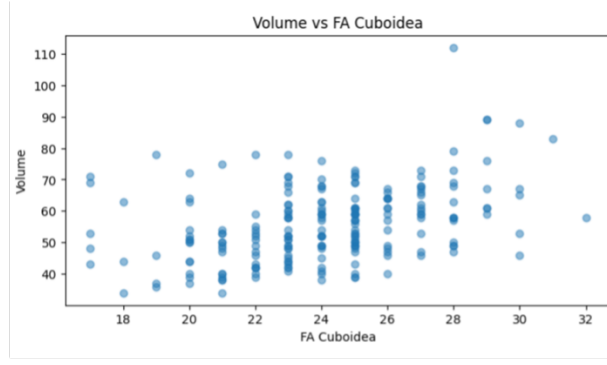
Şekil 3.4. Hacim-maks gövde l noktalama grafiği.



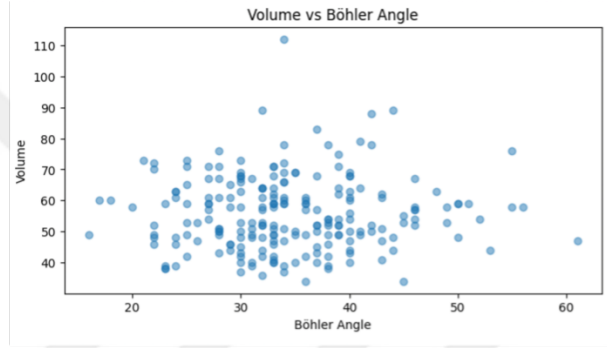
Şekil 3.5. Hacim-gövde h noktalama grafiği.



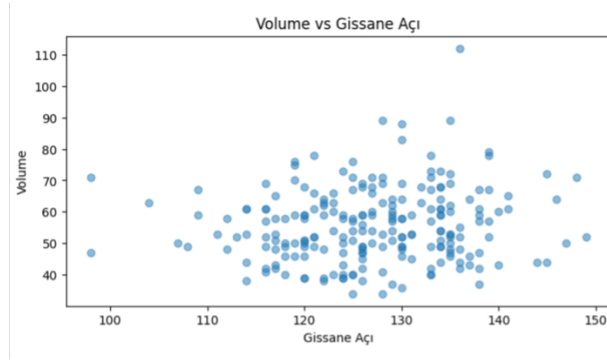
Şekil 3.6. Hacim-min gövde h noktalama grafiği.



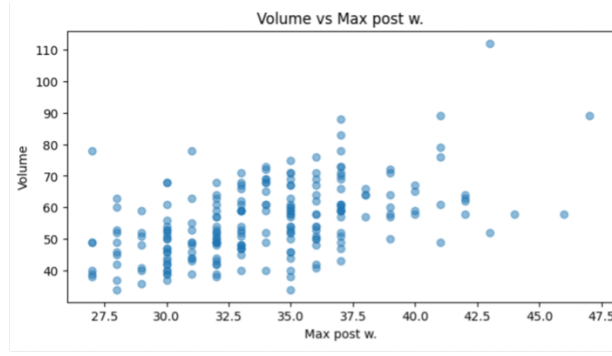
Şekil 3.7. Hacim-facies articularis cuboidea h noktalama grafiği.



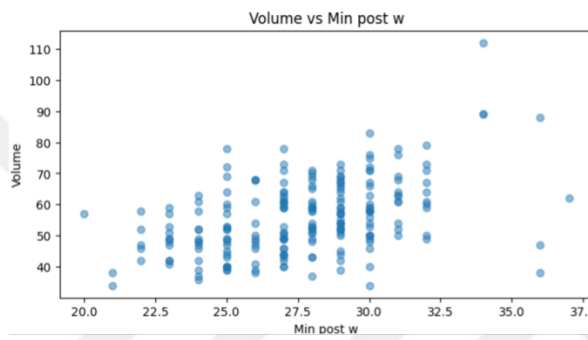
Şekil 3.8. Hacim-Böhler açısı noktalama grafiği.



Şekil 3.9. Hacim-Gissane açısı noktalama grafiği.

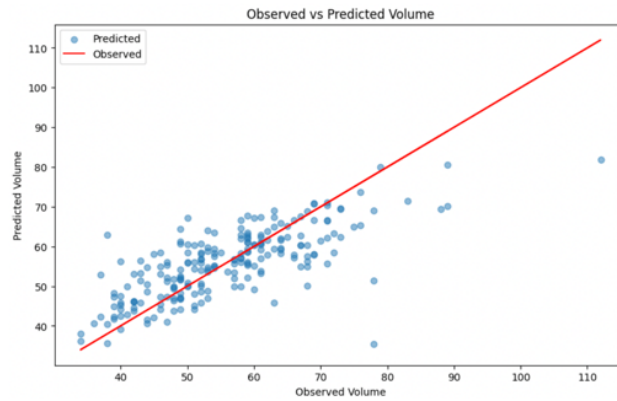


Şekil 3.10. Hacim-maks post w noktalama grafiği.



Şekil 3.11. Hacim-min post w noktalama grafiği.

Python programı ile uygulanan çoklu linear regresyon modelinde Spearman'ın Sıralama Korelasyon testinde anlamsız çıkan Böhler açısı ve Gissane açısı ile korelasyon katsayısı rho: 0,39 çıkan facies articularis cuboidea h formülü basitleştirmek için formülden çıkartıldı. Kalan altı değişkenle yapılan çoklu linear regresyon modelinde regresyon çizgisi Şekil 3.12 de ve regresyon sonuçları Şekil 3.13 de verilmiştir.



Şekil 3.12. Regresyon çizgisi.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	Volume	R-squared:	0.543			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.530			
Method:	Least Squares	F-statistic:	41.36			
Date:	Mon, 04 Dec 2023	Prob (F-statistic):	5.04e-33			
Time:	22:20:29	Log-Likelihood:	-753.31			
No. Observations:	216	AIC:	1521.			
Df Residuals:	209	BIC:	1544.			
Df Model:	6					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-77.4862	8.727	-8.879	0.000	-94.690	-60.283
Max AP L	0.9629	0.191	5.049	0.000	0.587	1.339
Max BL	0.3959	0.170	2.324	0.021	0.060	0.732
Body H	-0.2857	0.119	-2.397	0.017	-0.521	-0.051
Min Body H	0.7622	0.250	3.046	0.003	0.269	1.255
Max post w.	0.1447	0.197	0.734	0.464	-0.244	0.533
Min post w	0.4777	0.245	1.948	0.053	-0.006	0.961
Omnibus:	59.930		Durbin-Watson:	1.879		
Prob(Omnibus):	0.000		Jarque-Bera (JB):	222.487		
Skew:	1.072		Prob(JB):	4.87e-49		
Kurtosis:	7.486		Cond. No.	1.96e+03		

Şekil 3.13. Regresyon sonuçları.

OLS (Ordinary Least Squared) yani sıradan en küçük kareler yöntemi doğrusal regresyon modeli kurulurken verilerin ortasından geçen eğime (çizgiye) en az kare farkı ile yaklaştırmaya çalışan bir yöntemdir.

R-Squared (R-kare): Verilerin yerleştirilmiş regresyon çizgisine ne kadar yakın olduğunun istatistiksel bir ölçüsüdür. Sosyal bilimler için 0,70 üzeri ve doğa bilimleri için ise değişkenlik göstermekte olup 0,60 üzeri kabul edilebilir bir başarı ölçütü sayılabilir.

Adjusted R-Squared (Düzenlenmiş R-kare): Bu değer genellikle çoklu regresyon analizinde kullanılır. Modele değişken eklendikçe R-kare değeri değişkeni etkili varsayıp varyansını açıkladığını sanabilir. Ancak düzenlenmiş R-kare ile her bir değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi ölçülerek daha optimum sonuçlar vermektedir. R-kare ile düzenlenmiş R-kare değerlerinin birbirine yakın çıkması önemlidir.

Bir regresyon modeli kullanıldığında, bu regresyon modelinin sağlıklı çalışıp çalışmadığını anlamamız için yapmamız gereken testler vardır. Ve bunlardan bir de Durbin-Watson testidir. Artık değerler olup olmadığını ve bunların bir korelasyon halinde olup

olmadığını test eder. Modelde otokorelasyon olup olmadığını gösterir ve 1,5–2,5 arasında olması otokorelasyon olmadığını gösterir.

Durbin-Watson değerinin 1,879 olması, yani 2 ye yakın olması anlamlı bir otokorelasyonun bulunmadığını göstermektedir. Elde edilen R-kare değeri 0,543'tür.

Çoklu doğrusallığı test etmek için elde ettiğimiz Varyans Enflasyon Faktörü (VIF) değerleri Şekil 3.14'deki gibi bulundu.

	feature	VIF
0	const	433.659830
1	Number	1.099443
2	Max AP L	3.646447
3	Max BL	2.224776
4	Body H	1.715002
5	Min Body H	2.444798
6	FA Cuboidea	1.660079
7	Böhler Angle	1.120216
8	Gissane Açısı	1.111371
9	Max post w.	2.195098
10	Min post w	1.790972

Şekil 3.14. Varyans Enflasyon Faktörleri (VIF)

Varyans enflasyon faktörü (VIF), bir çoklu regresyon değişkenleri kümesindeki çoklu eşdoğrusallık miktarının bir ölçüsüdür. Matematiksel olarak, bir regresyon modeli değişkeni için VIF, genel model varyansının, yalnızca o tek bağımsız değişkeni içeren bir modelin varyansına oranına eşittir. Bu oran her bağımsız değişken için hesaplanır. Yüksek bir VIF, ilişkili bağımsız değişkenin modeldeki diğer değişkenlerle yüksek düzeyde eşdoğrusal olduğunu gösterir.

Tüm VIF değerleri 10'un oldukça altında gözlemlendiğinden anlamlı bir çoklu doğrusallık gözlenmemiştir, yani değişkenler birbirlerini etkilememektedir.

Coefficient (Regresyon katsayısı); iki veya daha fazla değişken arasındaki ortalama fonksiyonel ilişkinin istatistiksel bir ölçüsüdür. Regresyon sonuçlarından kabaca aşağıdaki regresyon formülü önerilebilir.

$$\text{Hacim (ml)} = 0,96 \times \text{maks AP l (mm)} + 0,40 \times \text{maks gövde l (mm)} - 0,29 \times \text{gövde h (mm)} + 0,76 \times \text{min gövde h (mm)} + 0,14 \times \text{maks post w (mm)} + 0,48 \times \text{min post w (mm)} - 77,49.$$

Doğrusal bir regresyonda girdi (x) ve çıktı (y) arasında lineer (doğrusal) bir ilişki olduğu varsayılmaktadır. Öte yandan polinomsal regresyonda ise girdi ve çıktı arasındaki ilişki düz bir doğru biçiminde değildir. Burada bir doğru yerine eğri bir ilişki mevcuttur ve basit olarak polinomsal regresyon bize bu eğrinin fonksiyonunu vermektedir.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	Volume	R-squared:	0.487			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.474			
Method:	Least Squares	F-statistic:	39.81			
Date:	Mon, 04 Dec 2023	Prob (F-statistic):	1.12e-28			
Time:	22:33:47	Log-Likelihood:	-765.83			
No. Observations:	216	AIC:	1544.			
Df Residuals:	210	BIC:	1564.			
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-16.6372	10.191	-1.633	0.104	-36.726	3.452
Böhler Angle	0.9036	0.507	1.782	0.076	-0.096	1.903
Max AP L:Min Body H	0.0148	0.003	5.418	0.000	0.009	0.020
Böhler Angle^2	-0.0165	0.007	-2.441	0.015	-0.030	-0.003
Böhler Angle:Min post w	0.0097	0.007	1.354	0.177	-0.004	0.024
Max post w.:Min Body H	0.0079	0.006	1.415	0.158	-0.003	0.019
Omnibus:	37.393	Durbin-Watson:	1.929			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	100.807			
Skew:	0.735	Prob(JB):	1.29e-22			
Kurtosis:	6.007	Cond. No.	6.25e+04			

Şekil 3.15. Polinomsal regresyon sonuçları

Polinomsal Regresyon sonuçları incelendiğinde, p değerleri ve Durbin-Watson değeri sağlıklı görünmekle beraber R-kare değeri 0,487 olarak bulundu (Şekil 3.14).

Makine öğrenimi (LightGBM-Karar Ağacı, R-kare değeri 0,22) gibi diğer modelleme yöntemleri de kullanılmış olsa da R-kare değerinde anlamlı bir iyileşme sağlanamadı. Daha iyi polinom modelleri veya makine öğrenmesi algoritması kullanarak daha yüksek bir değere ulaşma ihtimali olabilmekle beraber sonuçlar daha fazla calcaneus'ta ölçüm yapmak veya daha fazla değişken kullanmak gerektiğini göstermektedir.

4. TARTIŞMA

Ayağın arkasını oluşturan ve yerle temas ederek vücut ağırlığının çoğunu alt ekstremiteden yere aktaran tek tarsal kemik olan calcaneus, tarsal kemiklerin en büyüğü ve embriyolojik olarak ilk kemikleşenidir (Gardner ve Gray, 1959). Calcaneus arka yarısında kısmen daha kalın, taşıdığı yük ile kıyaslandığında göreceli olarak ince bir korteks ile çevrili, yoğun kansellöz kemik dokusu yapısındadır. Evrimsel süreçte dik olarak yürüyen insan hareketinin ihtiyaçlarına uygun olarak düzensiz bir şekle kavuşmuştur (Klenermann ve Wood, 2006). Calcaneus ile ilgili literatürde birçok osteometrik parametre tanımlanmıştır (Ekizoğlu vd., 2017; Güler vd., 2022; Koshy vd., 2002; Krmek vd., 2011; Nozaki vd., 2020; Uygur vd., 2009). Ancak, kendine özgü aşırı düzensiz bir geometrik şekle sahip olan calcaneus'un hacmi ile ilgili literatürde çok az sayıda çalışma rapor edilmiştir (Acer vd., 2008; Inamori-Kawamoto vd., 2016; Krmek vd., 2011). Bu çalışmada calcaneus'un iki yönlü direkt radyografi görüntülerinden elde edilecek ölçümler kullanarak calcaneus hacmini tahmin edebilecek basit bir formül elde etmek amaçlanmıştır ve özgün bir formül geliştirilmiştir. Bulduğumuz özgün matematiksel formül sayesinde direkt ayak radyografilerinden elde edilecek ölçümleri kullanarak heuristic (sezgisel) bir yaklaşımla calcaneus hacmini tahmin etmek mümkün olabilecektir.

Çalışmamızda kullanılan nirengi noktaları, çizgiler ve açılar daha önce yapılan birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu ölçümlerden iki yönlü radyografiler üstünde işaretlenmesi ve ölçülmesi kolay olanlarının çalışmamızda kullanılması tercih edilmiştir. Nozaki vd. (2020) calcaneus'ta cinsiyet ve yaşa bağlı bulunan farklılıklarını üç boyutlu geometrik modellerde tarif ettikleri yer işareti koordinatlarına göre niceliksel bir yaklaşımla analiz etmişler ve cinsiyete göre sadece calcaneus boyutlarında değil şeklinde de farklılıklar olduğunu, ayrıca yaşlanmayla beraber muhtemelen mekanik strese bağlı yeniden yapılanmayla calcaneus şeklinin değiştiğini, rapor etmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları 37 adet nirengi noktasından bazıları çalışmamızdaki ölçümlerin başlangıç veya bitiş noktaları olarak kullanılmıştır.

Güler vd. (2022) Anadolu insanına ait 30 adet calcaneus'un antropometrik ölçümlerini değerlendirerek farklı ırklarla yapılan çalışmalara göre benzerlikler ve farklılıklar olduğunu rapor etmişlerdir. Ekizoğlu vd. (2017) çağdaş Türk popülasyonunda 208 hastanın ayak bilgisayarlı tomografi kesitlerinden elde edilen üç boyutlu modeller üzerinde ölçümler tanımlamışlar ve bu ölçümlere göre cinsiyet tahmininde bulunabileceğini rapor etmişlerdir. Amuti vd. (2020) Koshy vd. (2002) Güney Hindistan popülasyonunda, 110 calcaneus'ta, tarif

ettikleri ölçümleri ve literatürde rapor edilen denklemleri kullanarak kişinin boy uzunluğunun tahmin edilebileceğini rapor etmişlerdir.

Uygur vd. (2009) Türkiye’de 221 calcaneus’ta, Sarvaiya vd. (2012) Hindistan’ın Gujarat eyaletinde 250 calcaneus’ta, tarif ettikleri ölçümleri ve talar eklem tiplerini çalışmışlar ve buldukları sonuçların Amerika, Hindistan ve Afrika ırklarında yapılan çalışmalarla uyumlu iken Avrupa’da gerçekleştirilenlerle farklılıklar gösterdiğini bildirmişlerdir. Krmek vd. (2011) calcaneus’un antropolojik ölçümleri isimli çalışmalarında, önce 67 calcaneus’ta, tanımladıkları ölçümleri yapmışlar, ağırlıklarını ölçmüşler ve boyutsuz parametreler olarak isimlendirdikleri dört adet indeks tarif etmişler ve daha sonra calcaneus hacimlerini Arşimet’in su taşıma yöntemiyle bulmaya çalışmışlardır.

Kemiklerin hacimlerini bulmak kolay değildir. Düzensiz bir geometrik cisim eğer düzenli geometrik şekillerin birleşmesinden oluşuyorsa cismin hacmi her bir şeklin hacmi bulunup toplanarak bulunabilir. Calcaneus’u düzgün geometrik şekillere ayırmak mümkün değildir, bu nedenle ya Cavalieri methodu kullanarak ya da Arşimed’in su taşıma yöntemi kullanılarak hacmi hesaplanabilir. Cavalieri ilkesine göre iki katı cisimden elde edilen dilimler aynı yüzey alanına sahipse iki cismin hacmi birbirine eşittir. Kısaca, düzensiz bir geometrik cismin hacmini bulmak için cismi ince dilimlere ayrılıp her bir dilimin hacmi toplanır.

Literatürde Arşimed’in su taşıma yöntemi birçok organ ve dokunun hacmini bulmak amacıyla kullanılmıştır. Basitleştirilmiş bir düzenele su taşıma yöntemi kullanarak meme kanseri sonucunda gelişen lenfödem miktarını ölçmenin geçerli bir yöntem olduğu rapor edilmiştir (Sagen vd., 2009). Benzer şekilde alt ekstremitte lenfödem takibinde de kullanılmaktadır (Devoogdt vd., 2019). Adli otopside de sıklıkla kullanılmaktadır (Abd El-Hai vd., 2022; Tanaka vd., 2023).

Acer vd. (2008), bilgisayarlarda tomografi görüntülerinde Cavalieri ilkesini kullanılarak calcaneus hacminin tarafsız tahmin etmek amacıyla yaptıkları çalışmada, dokuz kuru calcaneus’u Arşimet’in su taşıma yöntemiyle de ölçmüşlerdir. Çalışmalarında kuru kemiklerin doğrudan içi su dolu dereceli silindire batırıldığı belirtilmiştir. Oysa Arşimed’in su taşıma yöntemiyle yapılan ölçümlerde kullanılan akışkanların kemik içine nüfuz ettiği daha önce yapılan çalışmalarda bilinmekte ve daha gelişmiş teknikler bulunmadan önce kansellöz kemik hacmini bulmak amacıyla kullanılmaktaydı. Hatta Zou vd. (1997) calcaneus kansellöz kemik oranı bulmak için akışkan olarak surfaktan ilave edilmiş su kullanılmasının Helium ile yapılan ölçümlere göre daha tekrar edilebilir sonuçlar verdiğini rapor etmişlerdir.

Pietalk vd. (2013) insan uzun kemiklerinin temel oranları ve logaritmik periyodiklik isimli, kemiklerin plastik replikalarını kullanarak yaptıkları çalışmada, Arşimed'in su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerlerinin Cavalieri yöntemiyle bulunan değerlere göre daha düşük çıktığını, gerçek kemiklerle yapılan ölçümlerde ise kemik içine giren su miktarının her seferinde farklı bulunduğunu ve bu sorunu önleyecek tekrarlanabilir bir önlem bulamadıklarını rapor etmişlerdir.

Yaptığımız ön denemelerde benzer şekilde ölçüm yapmaya çalıştığımızda aynı kemiğin tekrarlayan ölçümlerinde farklı sonuçlar bulmamız üzerine yaptığımız incelemede, suyun bir kısmının kemiğe nüfus ederek olması gerekenden daha az su taşımaya neden olduğunu fark ettik. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim dalı laboratuvarların ait kemiklerde kalıcı bir değişiklik yapmamak ve kemiklerin zarar görmemesi amacıyla parti balonu ile kaplama tekniği olarak adlandırdığımız bir yöntem kullandık. Arşimed'in su taşıma yöntemiyle kemiklerin hacimlerinin bulunması sırasında suyun kemiklere nüfuz etmesini önleyecek tekrarlanabilir bir yöntem literatürde rastlanamamıştır.

Diabetes Mellitus ve periferik nöropatinin majör komplikasyonlarından olan ülserasyonlar ve enfeksiyonlar ve nöropatik (Charcot) artropati gibi diyabetik ayak hastalıkları ayak kemiklerinde osteolize neden olur. Commean vd., (2011) hacimsel kantitatif bilgisayarlı tomografi kullanarak bu hastalarda metatarsal ve tarsal kemiklerin hacim değişikliklerini araştırmıştır. Yaptıkları çalışmada ince kesit tomografi gerekliliğinin yanında geliştirdikleri bilgisayar programının kemik sınırlarını hassas ve doğru bir şekilde otomatik olarak belirlemesi mümkün olmadığından, çalışmada yer alan iki bağımsız değerlendirici için önce onar saatlik eğitim verdiklerini belirtmişlerdir. Bilgisayarlı tomografi kullanarak hacim ölçümü yapılmasının da birçok zorluğu bulunmaktadır.

Stereoloji, bazı üç boyutlu niceliklerin iki boyutlu düzlemsel kesitlerde yapılan ölçümlerden yararlanarak üç boyutlu rekonstrüksiyon olmadan belirlenebileceği gerçeğinden yararlanır (West, 2012). İki boyutlu düzlemden üç boyutlu uzayı tahmin etmek olarak da tanımlanabilir. Örneğin, herhangi bir nesnenin iki boyutlu kesitlerini kullanarak nesneyi yeniden yapılandırmadan üç boyutlu hacmi bulunabilir.

Stereoloji terimi International Society for Stereology adıyla 1961 yılında kurulan dernek sayesinde literatüre girmiştir (Elias, 1967). Olasılık, örnekleme ve geometri kurallarını kapsayan stereoloji ile yapılan tahmin gerçek hacim değerine yaklaşabilir.

Düzensiz şekillere sahip ürünlerinin hacminin 3 boyutlu yeniden yapılanmaya dayalı olarak ölçülmesi için bilgisayarlı video sistemleriyle incelenmesi kullanılmakta olan bir yöntemdir. Siswantora vd. (2014) düzensiz şekilli gıda ürünlerinin hacimlerini sezgisel yöntemle Monte Carlo yöntemiyle ölçmüşlerdir. Bu çalışmada beş farklı açıyla aldıkları görüntüleri bilgisayar programıyla değerlendirmişlerdir. Monte Carlo yönteminde üç boyutlu rekonstrüksiyon yapmadan, rastgele seçilen noktaların bir objenin içinde mi dışında mı olduğu bilgisine dayanarak cismin hacmi hakkında çıkarımda bulunulur. Sapkal vd. (2017) benzer şekilde kamera görüntüleri alarak görüntülerden üç boyutlu rekonstrüksiyon yapılan yöntemlerini anlattıkları çalışmada üç farklı açı ile görüntü almışlardır.

Çalışmamızda calcaneus'un sadece iki yönlü direkt radyografi görüntülerinden elde edilebilecek ölçümleri kullanarak calcaneus hacmini tahmin edebilecek basit bir formül bulmayı amaçladık. Literatürde herhangi bir kemiğin sadece iki yönlü direkt radyografilerini kullanarak kemik hacminin hesaplandığı bir yöntem rapor edilmemiştir. Yapay zekanın bir alt dalı olan makine öğrenimini kullanarak, algoritmalar ile sonucun kesinliği ve kanıtlanabilir olup olmadığı önemsenmeden en hızlı ve kolay şekilde iyiye yakın bir çözüm yolunun bulunduğu bir problem çözme tekniği olan sezgisel (heuristic) bir yaklaşımla böyle bir formülün teorikte bulunması mümkündür (Cabitza vd., 2018; Fu vd., 2019).

Gigeranzer ve Gaissmaier (2011) bireyler ve enstitüler tarafından ticari, tıbbi ve yasal konularda karar verme ile ilgili yapılan birçok çalışmayı inceledikten sonra heuristik yöntemlerle verilen kararların karmaşık rasyonel stratejilerle verilenlerden daha doğru sonuçlar verebildiğini bulmuşlardır. Marewski ve Gigeranzer (2012) daha fazla bilginin her zaman daha iyi olduğu yönündeki genel kanının aksine, heuristik yöntemlerin kullanılmasının hem doktorların hem de hastaların sağlıklı kararlar almasına yardımcı olabildiğini bildirmiştir. Bu yöntemin mevcut bilgilerin bir kısmının göz ardı ederek yalnızca birkaç ilgili bağımsız değişkene dayandıran basit karar stratejileri olduğunu vurgulamışlardır.

Makine öğrenmesi bir programın sabit kodlama yapmadan datadan öğrenmesidir. Verilerin çeşitli özellikleri arasındaki korelasyonları ve bu özellikler arasındaki hedef ilişkileri bulmamıza yardımcı olarak çözülecek problemin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur. Veri kümesinin analiz ederek ve özetleyerek daha iyi anlamamıza yardımcı olur ve karmaşık bilgilerden öngörüler çıkarmak kolaylaşır. Böylece daha karşılaşılmamış data hakkında da varsayımlarda bulunmamızı sağlar. Anatomi alanında bazı çalışmalarda kullanılmış olsa da önerdiğimiz şekilde sezgisel bir yaklaşım ve kullanılan yöntem özgündür. Makine öğrenmesi ile karar vermede üç ana araç kullanılır; mantık, istatistik ve heuristik yöntemler. Her biri

belirli bir tür soruna uygundur. Bununla birlikte farklı makine öğrenimi teknikleri, farklı sorun türleri için daha uygundur ve hangi tekniğin uygulanılacağına genellikle yalnızca çeşitli istatistiksel yöntemler hakkında iyi bilgi sahibi olunmasıyla karar verilebilir.

Python, makine öğrenimi için popüler bir programlama dilidir. Makine öğrenimi algoritmalarının uygulanmasını kolaylaştıran çok sayıda açık kaynak kitaplığa ve çerçeveye sahiptir. Birçok farklı uygulama için kullanılır. Python'un öğrenilmesi kolay olduğundan okullarda programlamaya giriş dili olarak kullanıldığı gibi, NASA gibi üst düzey programlama yapılan yerlerde de profesyonel yazılım geliştiriciler tarafından da kullanılır. Python, program modülerliğini ve kodun yeniden kullanımını teşvik eden modülleri ve paketleri destekler. Python tüm önemli platformlar için kaynak veya ikili biçimde ücretsiz olarak mevcuttur ve serbestçe dağıtılabilir.

Basit analizler ve doğrudan veri görselleştirmesi için IBM® SPSS® yeterli olabilir. Ancak, metin analizi veya büyük veri kümelerini içeren daha karmaşık analizler için Python'un kitaplıkları daha gelişmiş özellikler sunar. Çalışmamızda hem IBM® SPSS® hem de Python kullanılmıştır.

Çalışmamızda kullandığımız dokuz ayrı ölçümün ve hacim değerlerinin analizlerine göre, sağ ve sol calcaneus'lar arasında istatistiksel bir fark saptanmadı. Misselyn vd. (2018) kırk altı sağlıklı bireyin her iki calcaneus'unun bilgisayarlı tomografi 3-boyutlu rekonstrüksiyonlarında, tarif ettikleri birçok nokta arasında yaptıkları ölçümlerde, sağ ve sol taraflar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulmamıştır. Bros vd. (2021) ise ayağın basarken çekilen bilgisayarlı tomografi görüntülerinden elde ettikleri 3-boyutlu rekonstrüksiyonlarındaki parametrelerin 2-boyutlu görüntülerden elde edilenlerden daha farklı bulunduğunu, bununla beraber ayak basarken veya basmazken farklı sonuçlar elde edilmesine rağmen, sağ ve sol taraflar arasında istatistiksel fark olmadığını rapor etmişlerdir.

Çalışmamızda hacim ile maksimum AP uzunluk, maksimum gövde uzunluğu, gövde yüksekliği, minimum gövde yüksekliği, açısı, f articularis cuboidea h, maksimum posterior transvers genişlik, minimum posterior transvers genişlik arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde korelasyon bulundu. Hacim ile Böhler açısı ve Gissane açısı arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı değildi. Benzer şekilde Acer vd. (2008) çalışmasında maksimum uzunluk, gövde yüksekliği, minimum en ölçüleri kullanılmış ve bu ölçülerle hacim arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Krnek vd. (2011) calcaneus'un anterior kısmının hacmine çok etki etmediğini uzunluk ve posterior uzunluk olarak tarif ettikleri ölçümlerle hacim arasında pozitif korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir.

Çalışmanın bazı limitasyonları mevcuttur. Öncelikle PACS (Picture Archiving and Communication Systems - Görüntü Saklama ve İletişim Sistemleri) veya DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine - Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim) radyografik görüntülerin saklanması, erişimi, dağıtımı ve sunumu içi günümüzde rutin olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlere entegre edilen programlarla ölçüm yapmak daha kolaydır. Röntgen negatif filmlerinin dijital ortama aktarılması ve ölçüm yapılması için ayrı bir bilgisayar programı kullanılmasına ihtiyaç yoktur. Çalışmada kullanılan radyografiler bu sistemle elde edilmemiş ve ayrı bir işlemle dijital ortama aktarılmış ve ölçümler farklı bir program yardımıyla yapılmıştır. İkincil olarak hacim ölçümleri için yeri değişen su miktarına dereceli kaptaki çizgilere bakılarak karar verilmiştir. Suyu taşıyarak su miktarını hassas terazide ölçen sistemler literatürde tarif edilmiş olmasına rağmen böyle bir düzenek kullanılması mümkün olmamıştır. Dolayısıyla ölçülen hacim değerlerinin hassasiyeti tartışmalıdır. Son olarak kuru calcaneus kemiklerinde yapılan çalışmada kemiklerin sağ veya sol taraf olması dışında cinsiyet, yaş ve diğer demografik özelliklerin hacim ile olan ilişkisi çalışılamamıştır.

İskelet kalıntılarından cinsiyet belirleme biyolojik tanımlama için gerekli en önemli adımdır. Ayak kemikleri özellikle calcaneus ayakkabı ile iyi korunduğundan adli tıpta kimliksiz cesetlerin cinsiyetlerinin teşhis edilmesinde ve arkeolojide en çok kullanılan kemiklerden biridir. Calcaneus'un morfometrik özelliklerini kullanarak cinsiyet tespit edilmesi konusunda birçok yazar kendi toplumlarından elde ettikleri verilerle çalışmalar yapmışlardır (Inamoro-Kawamoto vd., 2016; Kim vd., 2013; Lee vd., 2015). Kim vd. (2013) on değişken kullanarak yaptıkları çalışmada cinsiyet belirlemede maksimum calcaneus uzunluğunun %85 doğru sonuç verdiğini fakat tüm morfometrik ölçümler birlikte kullanıldığında çok daha güvenilir bir sonuca ulaşıldığını rapor etmişlerdir (Kim vd., 2013). Lee vd. (2015) 55 kadın 55 erkek, kimlikleri bilinen toplam 110 kadavraya ait clavícula scapula, humerus, radius, ulna, os coxae, femur, patella, tibia, talus ve calcaneus'larının bilgisayarlı tomografi görüntülerinden kemiklerin hacim ve yüzey alanlarını hesaplayarak diskriminant analizi kullanarak cinsiyete göre farklılıklarını çalışmışlardır. Aynı kemiklerin sağ ve sol taraf değişkenleri arasında önemli bir fark bulmamışlar fakat tüm kemiklerin yüzey alanı veya hacimleri ile cinsiyetler arasında önemli ölçüde farklılık göstermiştir.

Inamoro-Kawamoto vd. (2016) adli tıp kurumunun Japon ırkına ait 179 postmortem otopsi vakasında yaptıkları çalışmada calcaneus ve talus'un bilgisayarlı tomografiden elde edilen morfometrik verilerini kullanarak, cesedin cinsiyet, yaş ve boy uzunluğu konusunda

öngörülerde bulunabileceğini bildirmişlerdir. Vücut ağırlığı tahmininde yanılğı payının daha çok olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışma sonucunda önerdiğimiz formülde kullanılacak değişkenler iki yönlü direkt calcaneus grafilelerinden kolaylıkla elde edilebilecek ölçümleri içermektedir. Önerilen formül calcaneus'un kesin hacmini vermeyecek bile olsa ilerde yaş, cinsiyet, boy ve vücut kitle indeksi bilinen hastalara ait iki yönlü ayak grafilelerinden elde edilecek verilerle yapılacak yeni çalışmalarda bir indeks olarak kullanıldığında, antropoloji, adli tıp ve ortopedi başta olmak üzere birçok bilim dalında yapılacak çalışmalara önemli bir katkı sağlamasının mümkün olacağını düşünüyoruz.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak, calcaneus'un çekilen iki yönlü direkt radyografilerinden, maksimum AP uzunluk (maks AP L), maksimum gövde uzunluğu (maks gövde l), gövde yüksekliği (gövde h), minimum gövde yüksekliği (min gövde h), maksimum posterior transvers genişlik (maks post w), minimum posterior transvers genişlik (min post w) ölçümleri yapılırsa, “**Hacim (ml) = 0,96×maks AP l (mm) + 0,40×maks gövde l (mm) – 0,29×gövde h (mm) + 0,76×min gövde h (mm) + 0,14×maks post w (mm) + 0,48×min post w (mm) -77,49**” formülünü kullanarak calcaneus'un yaklaşık hacim değerine ulaşmak mümkündür. Daha kesin bir sonuca ulaştıracak formül için daha fazla sayıda calcaneus üstünde ölçüm yapılması veya calcaneus hacmiyle aralarında istatistiksel anlamlı bir korelasyon tespit edilmeyen Böhler açısı, Gissane açısı veya f articularis cuboidea h haricinde daha fazla noktadan yapılacak ölçümleri ve farklı parametreleri içeren yeni çalışmalar yapılması bu konuya daha çok katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Hai, A.A., Shokry, D.A., Elghamry, H., Hassan, H.H., Basyoni, H.A. & Razik, H.A.A. (2022). A suggested formula for postmortem estimation of brain edema using morphometric parameters in Egyptian population. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 43(3), 241-248. <https://doi.org/10.1097/paf.0000000000000762>
- Acer, N., Bayar, B., Basaloglu, H., Oner, E., Bayar, K. & Sankur, S. (2008). Unbiased estimation of the calcaneus volume using the Cavalieri principle on computed tomography images. *Ann Anat*, 190(5), 452-460. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2008.06.003>
- Agoada D. (2018). The relationship between linear osteological and radiographic measurements of the human calcaneus and talus. *Anat Rec (Hoboken)*, 301(1),21-33. doi:10.1002/ar.23697.
- Almeida, D.F., Astudillo, P., Vandermeulen ,D. (2021). Three-dimensional image volumes from two-dimensional digitally reconstructed radiographs: A deep learning approach in lower limb CT scans. *Med Phys*, 48(5), 2448-2457.
- Ammann, P., Rizzoli, R. (2003). Bone strength and its determinants. *Osteoporosis International*, 14(3), 13-18.
- Amuti, T., Muuthuri, N., Nichome, L., Ouko, I., Misiani, M., Olabu, B., & Ogeng'o, J. (2020). Morphometric dimensions of the calcaneus. *J Foot Ankle Surg*, 59(5), 949-952. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.09.040>
- Andermahr, J., Helling, H. J., Rehm, K. E. & Koebke, Z. (1999). The vascularization of the os calcaneum and the clinical consequences. *Clin Orthop Relat Res*, (363), 212-218.
- Anne Reilly, K., Louise Barker, K., Shamley, D. & Sandall, S. (2006). Influence of foot characteristics on the site of lower limb osteoarthritis. *Foot Ankle Int*, 27(3), 206-211. <https://doi.org/10.1177/107110070602700310>
- Bidmos, M. & Asala, S. (2005). Calcaneal measurement in estimation of stature of South African blacks. *Am J Phys Anthropol*, 126(3), 335-342. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20063>
- Broos, M., Berardo, S., Dobbe, J.G.G., Maas, M., Streekstra, G.J., & Wellenberg, R.H.H. (2021). Geometric 3D analyses of the foot and ankle using weight-bearing and non weight-bearing cone-beam CT images: The new standard? *European Journal of Radiology*, 138, 109674. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109674>
- Cabitza, F., Locoro, A., & Banfi, G. (2018). Machine learning in orthopedics: A literature review. *Front Bioeng Biotechnol*, 6, 75. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00075>
- Commean, P.K., Kennedy, J.A., Bahow, K.A., Hildebolt, C.F., Liu, L., Smith, K.E., Hastings, M.K., Ju, T., Prior, F.W. & Sinacore, D.R. (2011). Volumetric quantitative computed tomography measurement precision for volumes and densities of tarsal and metatarsal bones. *J Clin Densitom*, 14(3), 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2011.05.006>
- David, V., Stephens, T., Kindl, R., Ang, A., Tay, W., Asaid, R. & McCullough, K. (2015). Calcaneotalar ratio: A new concept in the estimation of the length of the calcaneus. *J Foot Ankle Surg J*, 54(3), 370-372.
- Devoogdt, N., Cavaggion, C., Van der Gucht, E., Dams, L., De Groef, A., Meeus, M., Van Hemelrijck, R., Heynen, A., Thomis, S. & Orhan, C. (2019). Reliability, validity, and feasibility of water

- displacement method, figure-of-eight method, and circumference measurements in determination of ankle and foot edema. *Lymphat Res Biol*, 17(5), 531-536. <https://doi.org/10.1089/lrb.2018.0045>
- Di Chiro, G. & Nelson K.B. (1962). The volume of the sella turcica. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 87, 989-1008.
- DiMichele, D. (2010). *Sex estimation in a modern forensic sample using a discriminant function Analysis from the Calcaneus* (unpublished thesis) San Marcos. Texas.
- Dye, N.B., Vagts, C., Manson T.T. & O'Toole, R.V. (2015). Estimation of tibial shaft defect volume using standard radiographs: development and validation of a novel technique. *Injury*, 46(2), 299-307.
- Ergün C. (2018). *Kalkaneus kırıkları cerrahisi sonrası sağlam kalkaneusa göre kalkaneus hacim değişikliğinin fonksiyonel sonuçlar üzerine etkileri*. (Tıpta Uzmanlık Tezi). Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı.
- Ekizoglu, O., Inci, E., Palabiyik, F.B., Can, I.O., Er, A., Bozdog, M., Kacmaz, I.E. & Kranjoti, E.F. (2017). Sex estimation in a contemporary Turkish population based on CT scans of the calcaneus. *Forensic Science International*, 279, 310.e311-310.e316. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.07.038>
- Elhan, A. (2014). Ossa pedis. Arıncı K. & Elhan A. (Eds.), *Anatomi* (5. Baskı, Cilt 1, ss. 26-30). Ankara, Güneş Kitapevi.
- Elias, H. (1967). Stereology. *Science*, 156(3778), 1137-1140. <https://doi.org/10.1126/science.156.3778.1137-a>
- Elias, H., Hennig, A. & Schwartz, D.E. (1971). Stereology: applications to biomedical research. *Physiological Reviews*, 51(1), 158-200. <https://doi.org/10.1152/physrev.1971.51.1.158>
- Escamilla-Martínez, E., Martínez-Nova, A., Gómez-Martín, B., Sánchez-Rodríguez, R., Fernández-Seguín, L.M. & Pedrera-Zamorano, J.D. (2016). Calcaneal Bone Mass Modification in Recreational Runners. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 106(6), 381-386. <https://doi.org/10.7547/15-122>
- Fu, G.S., Levin-Schwartz, Y., Lin, Q.H., & Zhang, D. (2019). Machine Learning for Medical Imaging. *J Healthc Eng*, 2019, 9874591. <https://doi.org/10.1155/2019/9874591>
- Gardner E, Gray DJ. (1959). The prenatal development of the skeleton and joints of the human foot. *J Bone Joint Surg [Am]*, 41,847-51.
- Garofolini, A., Taylor S. (2019). The effect of running on foot muscles and bones: A systematic review. *Human Movement Science*, 64, 75-88.
- Gigerenzer, G. & Gaissmaier, W. (2011). Heuristic decision making. *Annu Rev Psychol*, 62, 451-482. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120709-145346>
- Gilroy, A.M., MacPherson, B.R., Wikenheiser, J.C., Voll, M.M. & Wesker, K. (2009). *Atlas of anatomy*. New York, Thieme.
- Gray, H., Standring, S., Ellis, H. & Berkovitz, B.K.B. (2005). *Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice* (39th ed.). Elsevier Churchill Livingstone.

- Güler H., Uçar Sümeyye U., Güçlü Ekinci H.K., Al K. (2022). Calcaneus'un antropometrik ölçümünün klinik önemi (Clinical significance of anthropometric measurement of Calcaneus) Sağlık Bilimleri Dergisi (Journal of Health Sciences), 31(1), 45-50.
- Harding, A.T., Weeks, B.K., Lambert, C., Watson, S.L., Weis, L.J., & Beck, B.R. (2020). Effects of supervised high-intensity resistance and impact training or machine-based isometric training on regional bone geometry and strength in middle-aged and older men with low bone mass: The LIFTMOR-M semi-randomised controlled trial. *Bone*, 136, 115362. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2020.115362>.
- Hart, N.H., Newton, R.U., Tan, J., Rantalainen, T., Chivers, P., Siafarikas A., Nimphius S. (2020). Biological basis of bone strength: anatomy, physiology and measurement. *J Musculoskeletal Neuronal Interact*, 20(3), 347-371.
- Hidroğlu M. (2019). *Non-operatif tedavi edilmiş erişkin kalkaneus kırıklarında fonksiyonel sonuçları belirleyen faktörlerin araştırılması*. (Tıpta Uzmanlık Tezi). Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ankara Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı.
- Horn, W. (1999). *Artificial intelligence in medicine : proceedings : Joint European Conference on Artificial Intelligence in Medicine and Medical Decision Making, AIMDM'99, Aalborg, Denmark, June 20-24, 1999 / Werner Horn [et al.] (eds)*. Springer.
- Ishii, Y., Noguchi, H., Sato, J., Yoshioka, K., Toyabe, S. (2015). Bone quality of the calcaneus 5years after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 30(2), 196-198.
- Inamori-Kawamoto, O., Ishikawa, T., Michiue, T., Mustafa, A.M., Sogawa, N., Kanou, T., Oritani, S., & Maeda, H. (2016). Possible application of CT morphometry of the calcaneus and talus in forensic anthropological identification. *Int J Legal Med*, 130(2), 575-585. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1258-3>
- Jastifer, J.R. & Gustafson, P.A. (2014). The subtalar joint: biomechanics and functional representations in the literature. *Foot (Edinb)*, 24(4), 203-209. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2014.06.003>
- Jung, M.H., Choi, B.Y., Lee, J.Y., Han, C.S., Lee, J.S., Yang, Y.C. & Cho, B.P. (2015). Types of subtalar joint facets. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 37(6), 629-638. <https://doi.org/10.1007/s00276-015-1472-1>
- Karalezli, N., Bozkurt, I., Unver Dogan N., Kerimoglu , U. (2014). How do Different Sporting Activities Affect Bone Patella Volume?: A descriptive pilot study. *International Journal of Morphology*, 32, 245-250.
- Keener, B.J. & Sizensky, J.A. (2005). The anatomy of the calcaneus and surrounding structures. *Foot Ankle Clin*, 10(3), 413-424. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2005.04.003>
- Kim, D.I., Kim, Y.S., Lee, U.Y. & Han, S.H. (2013). Sex determination from calcaneus in Korean using discriminant analysis. *Forensic Sci Int*, 228(1-3), 177.e171-177. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.03.012>
- Klenerman, L. & Wood, B. (2006). Recent evaluation of the human foot. In *The Human Foot : A Companion to Clinical Studies* (pp. 27-29). Springer London
- Koshy, S., Vettivel, S. & Selvaraj, K.G. (2002). Estimation of length of calcaneum and talus from their bony markers. *Forensic Sci Int*, 129(3), 200-204. [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(02\)00278-5](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(02)00278-5)

- Krmek, V., Krmek, N., Jo-Osvatić, A., & Nikolić, V. (2011). Antropological measurement of the calcaneus. *Coll Antropol*, 35(1), 55-59.
- Kumar, A., Rastogi, S., Haider, Y., Kumar, S., Chauhan, S., & Passey, J. (2021). Morphometric variations of the lateral surface of calcaneus: Can standard plate sizes fit all? *J Clin Orthop Trauma*, 13, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.11.012>
- Lee, U. Y., Kim, I. B., & Kwak, D. S. (2015). Sex determination using discriminant analysis of upper and lower extremity bones: New approach using the volume and surface area of digital model. *Forensic Sci Int*, 253, 135.e131-134. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.05.017>
- MacGregor, R. & Byerly, D.W. (2021). Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Foot Bones. In *StatPearls (Internet)*. StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557447/>.
- Mandarim-de-Lacerda, C.A. (2003). Stereological tools in biomedical research. *An Acad Bras Cienc*, 75(4), 469-486. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652003000400006>
- Marewski, J. N., & Gigerenzer, G. (2012). Heuristic decision making in medicine. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 14(1), 77-89. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2012.14.1/jmarewski>.
- McLachlan, M.S., Williams, E.D., Fortt R.W., Doyle F.H. (1968). Estimation of pituitary gland dimensions from radiographs of the sella turcica. A post-mortem study. *Br J Radiol*, 41(485), 323-330.
- Misselyn, D. A., Buck, S. D., Matricali, G., & Nijs, S. (2018). 3D Imaging and symmetry of the Calcaneal bone. *J Clin Exp Orthop*, 4, 60. <https://doi.org/10.4172/2471-8416.10006>
- Mittra, E., Rubin, C., Gruber, B. & Qin, Y.X. (2008). Evaluation of trabecular mechanical and microstructural properties in human calcaneal bone of advanced age using mechanical testing, microCT, and DXA. *J Biomech*, 41(2), 368-375. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.09.003>
- Moore, K.L., Agur, A.M.R. & Dalley, A.F., II. (2019). *Clinically oriented anatomy* (8th edition). Wolters Kluwer Health.
- Navega, D., Vicente, R., Vieira, D.N., Ross, A.H. & Cunha, E. (2015). Sex estimation from the tarsal bones in a Portuguese sample: a machine learning approach. *Int J Legal Med*, 129(3), 651-659. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1070-5>
- Netter, F. (2019). *Atlas of Human Anatomy* (7th edition). Philadelphia, PA, Elsevier.
- Nozaki, S., Watanabe, K., Kamiya, T., Katayose, M., & Ogihara, N. (2020). Three-Dimensional Morphological Variations of the Human Calcaneus Investigated Using Geometric Morphometrics. *Clin Anat*, 33(5), 751-758. <https://doi.org/10.1002/ca.23501>
- Pietak, A., Ma, S., Beck, C.W., & Stringer, M.D. (2013). Fundamental ratios and logarithmic periodicity in human limb bones. *J Anat*, 222(5), 526-537. <https://doi.org/10.1111/joa.12041>
- Putz R. & Pabst R. (2006) Sobotta. *Atlas of human anatomy*. (14th ed.) Münih, Elsevier.
- Raichlen, D.A., Armstrong, H. & Lieberman, D.E. (2011). Calcaneus length determines running economy: implications for endurance running performance in modern humans and Neandertals. *J Hum Evol*, 60(3), 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.11.002>

- Reyneke, C.J.F., Luthi M., Burdin, V., Douglas, T.S., Vetter T., and Mutsvangwa T.E.M. (2019). Review of 2-D/3-D Reconstruction Using Statistical Shape and Intensity Models and X-Ray Image Synthesis: Toward a Unified Framework. *IEEE Rev Biomed Eng.* 12: 269-286.
- Sagen, A., Kåresen, R., Skaane, P. & Risberg, M.A. (2009). Validity for the simplified water displacement instrument to measure arm lymphedema as a result of breast cancer surgery. *Arch Phys Med Rehabil*, 90(5), 803-809. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.11.016>.
- Sapkal, D.D., Ajinkya, U., Paramveer, A., Singh, D., & Pranav, N. (2017). Volume estimation of an object using 2D images. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 114(12), 333-341.
- Sarvaiya, B. J., Patel, S. V., Single, G. & Master, D.C. The types of talar articular facets and morphometric measurements of the human calcaneum bone of Gujarat Region. *Nat. J. Integr. Res. Med*, 3(3), 34-8, 2012.
- Siswanto, J., Prabuwno, A.S., Abdullah, A. & Idrus, B. (2014). Monte Carlo method with heuristic adjustment for irregularly shaped food product volume measurement. *Scientific World Journal*, 2014, 683048. <https://doi.org/10.1155/2014/683048>
- Stephen, W.H. (2005). Archimedes revisited: a faster, better, cheaper method of accurately measuring the volume of small objects. *Physics Education*, 40(5), 468.
- Tanaka, K., Hitosugi, M., Takaso, M., Nakamura, M., & Takeda, A. (2023). Affecting factors of prostate volume in forensic autopsied decedents. *Healthcare*, 11(10), 1486. <https://www.mdpi.com/2227-9032/11/10/1486>
- Thompson, J.C. & Netter, F.H. (2010). *Netter's concise orthopaedic anatomy* (2nd ed.). Philadelphia, PA, Saunders Elsevier.
- Tümer, N., Arbabi, V., Gielis, W.P., de Jong, P.A., Weinans, H., Tuijthof, G.J.M., & Zadpoor, A.A. (2019). Three-dimensional analysis of shape variations and symmetry of the fibula, tibia, calcaneus and talus. *J Anat*, 234(1), 132-144. <https://doi.org/10.1111/joa.12900>
- Sogancioglu, E., Murphy K., Th Scholten, E., Boulogne L.H., Prokop M., van Ginneken B. (2022). Automated estimation of total lung volume using chest radiographs and deep learning. *Med Phys*, 49(7), 4466-4477.
- Utkan, A., Gülçek, S., Korkmaz, A.C., & Uz, A. (2019, 27-31 Aralık). *Using Archimedes' method to measure os calcaneus volume* [Oral presentation]. 20. Ulusal Anatomi Kongresi., İstanbul.
- Uygur, M., Atamaz, F., Celik, S., & Pinar, Y. (2009). The types of talar articular facets and morphometric measurements of the human calcaneus bone on Turkish race. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 129(7), 909-914. <https://doi.org/10.1007/s00402-008-0729-0>
- West, M.J. (2012). Introduction to stereology. *Cold Spring Harb Protoc*, 2012(8). <https://doi.org/10.1101/pdb.top070623>
- Wineski, L.E. (2018). *Snell's Clinical Anatomy by Regions* (10th ed.). Wolters Kluwer.
- Zou, L., Bloebaum, R.D., & Bachus, K.N. (1997). Reproducibility of techniques using Archimedes' principle in measuring cancellous bone volume. *Med Eng Phys*, 19(1), 63-68. [https://doi.org/10.1016/s1350-4533\(96\)00045-8](https://doi.org/10.1016/s1350-4533(96)00045-8)

ÖZGEÇMİŞ

