

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ADLİ TIP ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi
Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş MERİÇ

KAFA İÇİ RADYOGRAFİK BİYOMETRİK ÖLÇÜMLER İLE YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİ

(Uzmanlık Tezi)

Dr. Emre GÜNGÖRDÜ

EDİRNE - 2025

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimimin başından beri özellikle olgu temelli, bütüncül ve farklı bakış açıları kazandırmak amacıyla çokça çabalayan sayın Prof. Dr. Gürcan ALTUN hocama, özellikle eğitim, öğretim ve akademik yayın faaliyetlerine sıkça teşvik eden sayın Prof. Dr. Ahmet YILMAZ hocama, bilgilerini ve tecrübelerini aktarmakta her zaman açık ve paylaşımcı olan sayın Prof. Dr. Ali Derya AZMAK hocama, tez sürecini birlikte yürüttüğümüz, gerek bilimsel gerek teknik gerekse de bireysel konularda desteğini her daim hissettiğim tez ve akademik danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş MERİÇ hocama, ölçümlerin gerçekleştirilmesinde destek olan sayın Dr. Öğr. Üyesi Serdar SOLAK hocama, istatistiksel değerlendirmelerindeki yardımlarından dolayı sayın Prof. Dr. Necdet SÜT hocama, beni Adli Tıp dünyasına yönlendiren, tıp fakültesinde kendisinden çok şey öğrendiğim sayın Dr. Öğr. Üyesi Esra Naile SAKA hocama, birlikte geçirdiğimiz süre boyunca verimli, huzurlu, keyifli ve sağlıklı bir çalışma ortamına sahip olmamızda payı olan tüm çalışma arkadaşlarıma ve çocukluktan yetişkinliğe, mevcut hayat serüvenimde ilk ve en büyük destekçim olan, halen de desteğini zerre esirgemeyen biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
GENEL BİLGİLER.....	3
CİNSİYET VE YAŞ TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERE GENEL	
BAKIŞ.....	3
YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	5
ÇALIŞMADA İNCELENEN YAPILARIN YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİNDEKİ	
ROLÜ	8
YAŞ VE CİNSİYET KAVRAMLARININ TÜRK HUKUK SİSTEMİNDEKİ YERİ.11	
YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİNDE GÜVENİLİRLİK, RAPORLAMA VE ETİK	
İLKELER	12
GEREÇ ve YÖNTEMLER	15
BULGULAR.....	29
TARTIŞMA.....	62
SONUÇLAR.....	77
ÖZET	81
SUMMARY	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	

SİMGE VE KISALTMALAR

%95 CI	: %95 Confidence Interval (%95 Güven Aralığı)
5 Fold CV	: 5 Fold Cross Validation Test (5 Katlı Çapraz Doğrulama Testi)
10 Fold CV	: 10 Fold Cross Validation Test (10 Katlı Çapraz Doğrulama Testi)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGFAD	: Arbeitsgemeinschaft Forensische Altersdiagnostik (Adli Yaş Tespiti Çalışma Grubu)
AP	: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)
AUC	: Area Under the Curve (Eğri Altındaki Alan)
BP	: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
C1	: First Cervical Vertebrae (Birinci Servikal Omur/Atlas)
C2	: Second Cervical Vertebrae (İkinci Servikal Omur/Axis)
C3	: Third Cervical Vertebrae (Üçüncü Servikal Omur)
C4	: Fourth Cervical Vertebrae (Dördüncü Servikal Omur)
CIA	: Central Intelligence Agency (ABD Merkezi İstihbarat Teşkilatı)
DFA	: Discriminant Function Analysis (Ayrırma Fonksiyonu Analizi)
DICOM	: Digital Imaging and Communications in Medicine (Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim)
df1	: Degrees of freedom 1 (Serbestlik derecesi 1)
df2	: Degrees of freedom 2 (Serbestlik derecesi 2)
DNA	: Deoxyribonucleic Acid (Deoksiribonükleik Asit)
EDC	: Endocrine Disrupting Chemicals (Endokrin Bozucu Kimyasallar)

EASO	: European Asylum Support Office (Avrupa İltica Destek Ofisi)
F	: F Statistic (Model Varyansının Hata Varyansına Oranı)
F1	: F1 Score (Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması)
FoV	: Field of View (Görüntüleme Alanı)
IBM Comp.	: International Business Machines Company (International Business Machines Şirketi)
ICC	: Interclass Correlation Coefficient (Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı)
IDS7	: Image Display System 7 (Görüntü Görüntüleme Sistemi 7)
kV	: Kilovolt
mA	: Miliamper
MAE	: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
mAs	: Miliamper saniye
MPR	: Multiplanar Reconstruction (Çok Planlı Rekonstrüksiyon)
ms	: Milisaniye
MSE	: Mean Squared Error (Hatanın Karelerinin Ortalaması)
mRNA	: Messenger Ribonucleic Acid (Mesajcı Ribonükleik Asit)
One Way ANOVA	: One Way Analysis of Variance (Tek Yönlü Varyans Analizi)
PACS	: Picture Archiving and Communication System (Görüntü Arşivleme ve İletişim Sistemi)
PLS	: Partial Least Squares (Kısmi En Küçük Kareler)
PLS-DA	: Partial Least Squares Discriminant Analysis (Kısmi En Küçük Kareler Ayırma Analizi)
PLSR	: Partial Least Squares Regression (Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu)
Proc.	: Processus (Çıkıntı)
R²	: Coefficient of Determination (Açıklanan Varyans Katsayısı)
RFM	: Random Forest Modelling (Rasgele Orman Modellemesi)
RMSEP	: Root Mean Square Error of Prediction (Tahmin Hatalarının Karekök Ortalamasının Karesi)
ROC	: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği)
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paketi)
STR	: Short Tandem Repeat (Kısa Ardışık Tekrar Dizileri)
SVM	: Support Vector Machine (Destek Vektör Makinesi)

t	: Time (zaman)
Tukey HSD	: Tukey Honestly Significant Difference (Tukey'in Dürüst Anlamalı Farklılık Testi)
UNHCR	: United Nations High Commissioner for Refugees (Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği)
UNICEF	: United Nations International Children's Emergency Fund (Birleşmiş Milletler Uluslararası Çocuklara Acil Yardım Fonu)
VIP	: Variable Importance in Projection (Projeksiyondaki Değişken Önemi)
Y-STR	: Y-Chromosomal Short Tandem Repeat (Y Kromozomal Kısa Ardışık Tekrar Dizileri)



GİRİŞ VE AMAÇ

Kimliklendirme, diğer bir ifadeyle kişisel tanımlama, adli tıp uygulamaları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde şüphelilerden faillere, felaket kurbanlarından faili meçhul cinayetlere kurban giden bireylere kadar hem antemortem hem de postmortem süreçlerde kimliklendirme çalışmalarına sıkça ihtiyaç duyulmaktadır. Yaşayan bireylerde kimliklendirme genellikle kişiye ait resmi bir belge, fotoğraf, parmak izi gibi klasik yöntemlerle yapılırken, özellikle yaş tespiti gereken adli olgularda ve cansız bireylerde farklı metotlara başvurulabilmektedir. Bu durumlarda genellikle otopsi bulguları, dental kayıtlar, DNA analizleri, antropolojik ölçümler gibi birçok yöntemin birlikte kullanılması gerekmektedir. Canlı bireylerde, örneğin suça sürüklenen çocuk olgularında, reşit olmayan bireylerin evlilik taleplerinde, askerlikte, velayet, vasi tayini gibi hukuki gerekliliklerde, kimlik bilgilerinin doğrulanması amacıyla, yaş tayinine ihtiyaç duyulabilmektedir. Yine bütünlüğünü kaybetmiş cesetlerin, felaket kurbanlarının ya da toplu mezar keşiflerinde tespit edilen bireylerin kimliklendirilmesinde, farklı yaş ve cinsiyet tayini yöntemleri kullanılmaktadır.

Teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle birlikte bilgisayarlı tomografi görüntülerinin geriye dönük olarak incelenebilmesi, adli tıp alanında morfometrik ölçümlere yönelik çalışmaların popüleritesini arttırmaktadır. Hızlı sonuç vermesi, hem antemortem hem de postmortem dönemlerde kullanılabilmesi, incelemeler için ileri uzmanlık gerektirmemesi, yönteme ilgiyi arttıran nedenlerden bazılarıdır. Özellikle sella turcica, foramen magnum, atlas ve axis gibi bazı intrakranial yapıların morfometrik analizleri, yaş ve cinsiyet tespiti hakkında önemli bilgiler taşıyabildiği düşünülmektedir (3-5).

Yaş tayininde özellikle 18-25 yaş aralığı belirsiz bir alan olarak yorumlanmaktadır. Literatürde yaş tayininde kabul görmüş Greulich-Pyle, Tanner-Whitehouse 2-3 gibi yöntemler

genç yaşlarda daha iyi sonuçlar verirken, ergenlik sonrası genç erişkinlik dönemlerinde ayırt edicilik sorunları yaşayabilmektedir (6, 7). Kemik matürasyonunun tamamlandığı ya da tamamlanmasının yakın olduğu ergenlik sonrası dönemin, yaş tespiti açısından potansiyel ayırt edici biyometrik özellikler barındırabileceğine inanılmaktadır (8).

Günümüzde istatistiksel analizlerin ötesinde, makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırma modelleri de yaş ve cinsiyet tespitine yönelik analizlere entegre edilmektedir. PLSR (Partial Least Squares Regression), DFA (Discriminant Function Analysis), PLS-DA (Partial Least Squares Discriminant Analysis), lojistik regresyon gibi yöntemler, çok sayıda parametrenin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayarak hem sınıflandırma hem de regresyon modellemelerinde etkin olarak kullanılmaktadır (9, 10).

Çalışmanın amacı, 01.01.2020 - 31.12.2024 tarihleri arasında çekilmiş 18 yıl 0 ay 1 gün ile 25 yıl 11 ay 29 gün yaş aralığındaki bireylere ait baş bölgesini ve atlas ile dens axis'i içeren bilgisayarlı tomografi görüntülerinin geriye dönük incelenmesiyle elde edilen 13'ü direkt ölçüm, 17'si oransal, ikisi asimetrik aritmetik hesaplama olmak üzere toplam 32 morfometrik parametre ile istatistiksel analizler yapıp, sonucunda anlamlı olarak değerlendirilen parametreler üzerinden cinsiyet ve yaş tespitinde kullanılabilecek modeller oluşturularak bilimsel literatürü zenginleştirmek ve genç yetişkinlik döneminde yer alan bireylerin cinsiyet ve yaşlarını tespit edebilmektir.

“Mensurae ossa loquuntur.”

(Ölçümler kemikleri konuşturur.)

GENEL BİLGİLER

Kimliklendirme, bireye ait biyolojik (parmak izi, DNA, diş yapısı vb.), biyometrik (iris, yüz, ses vb.), fenotipik (cinsiyet, boy, kilo, ten rengi vb.) ve belgeye dayalı (doğum belgesi, nüfus kayıtları, kimlik kartı, pasaport, sürücü belgesi vb.) verilerin incelenmesiyle gerçekleştirilen bilimsel bir tanıma süreci olarak tanımlanmaktadır. Adli tıp uygulamalarında kimliklendirmede kullanılan veriler ise bireyin canlı olup olmamasına göre benzerlikler ve farklılıklar gösterebilmektedir. Yaşayan bireylerde kimliklendirme genellikle kişiye ait resmi bir belge, fotoğraf, parmak izi gibi klasik yöntemlerle yapılırken, cansız bireylerde genellikle otopsi bulguları, dental kayıtlar, DNA analizleri, antropolojik ölçümler gibi birçok çeşitli yöntemin birlikte kullanılması gerekmektedir (1, 2). Yaş ve cinsiyet, kimliklendirmede yaygın olarak kullanılan iki önemli belirteç olarak özellikle hukuk ve adli tıp uygulamalarında sıkça karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmada bahsi geçen yaş kavramı, bireyin doğumuyla başlayan kronolojik zaman çizelgesini; cinsiyet kavramı ise genetik (XX ya da XY kromozomlarından birini taşıma) ve fenotipik (kadın veya erkek genital yapısı ile ikincil seks karakterlerine sahip olma) özelliklere dayanan biyolojik yapıyı ifade etmektedir.

CİNSİYET VE YAŞ TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERE GENEL BAKIŞ

Günümüzde cinsiyet tespitinde kullanılmak üzere geliştirilmiş, birçok anatomik bölge, yapı veya oluşum kullanan farklı yöntemler mevcuttur. Antropometrik yöntemler, genellikle pelvis, kranium, mandibula, femur ve humerus gibi iskelet elemanları üzerinden yapılan ölçüm, analiz ve değerlendirmelerle geliştirilmiştir (11). Pelvis kemiği, günümüzde cinsiyet tespitinde

kullanılan antropolojik yöntemler arasındaki güvenilir bir iskelet elemanı olup; kadınlarda daha geniş, oval ve pubik açının daha büyük olmasıyla erkeklerden ayırt edilebilmektedir (12). Kranium erkeklerde daha iri ve çıkıntılı hatlara sahiptir (13). Mandibula, erkeklerde daha büyük, kare yapıda ve açılı formdadır (14). Femur ve humerus gibi uzun kemikler ise erkeklerde daha uzun ve kalın olup; bu yapılar üzerinden çeşitli ölçümler ve oranlamalar yapılmasıyla cinsiyet tespitinde kullanılabilir (11, 15). Kemiklerin yanı sıra dişler de boyut farkları, kanal sayısı ve şekilleri ile görüntülemeler ve mikroskobik analizlerin de yardımıyla cinsiyet tespitinde faydalanılan yapılar olarak kabul görmektedir (16). Gelişen teknoloji ile ileri yöntemlerle STR (short tandem repeat), erkek cinsiyetine özgü olan Y kromozomu, Y-STR ve Amolgenin proteini gibi yapı ve moleküllerin analizleri aracılığıyla cinsiyet tespiti yapılabilmektedir (17-19).

Yaş tespiti ise kendi içerisinde farklı metodlar içermektedir. İskelet yapıları, diş, kranial yapılar ve suturalar, uzun kemiklerin epifiz - diyafiz birleşme bölgeleri, kemiklerin yoğunluk ve histolojik değerlendirmeleri ile telomer uzunluğu, DNA metilasyon paternleri, aspartik asit rasemizasyonu gibi biyokimyasal parametrelerin analizleri yaş tespitinde kullanılmaktadır (20-22). Ayrıca göz kürelerinin sabit olarak alındığı ve tanımlanmış sefalometrik landmarklar aracılığıyla yapılan ölçüm ve analizlerde; 6-10, 10-14, 14-18 ve 18-22 yaş grupları arasında ayırım yapılabildiği bildirilmiştir (23).

Dişler aracılığıyla yaş tespiti amacıyla sıkça kullanılan yöntemler içerisinde; alt çenedeki daimî yedi dişin gelişim evrelerine göre sınıflandırılmasını temel alan Demirjian Yöntemi, tek dişin mineralizasyon evrelerini temel alan Moorrees Yöntemi, açık apeks ölçümüne dayalı Cameriere Yöntemi, süt dişlerinden daimi dişlere geçiş döneminin değerlendirildiği Nolla Yöntemi gibi yöntemler yer almaktadır (24-27).

İskelet gelişim ve kemikleşme merkezlerinin yaş tespiti amacıyla incelendiği yöntemler ve oluşturulan rehberler arasında; el bilek röntgenlerinin değerlendirildiği Greulich-Pyle Atlası, temelinde el bilek kemiklerinin puanlama sistemini barındıran Tanner-Whitehouse Atlası (TW2-3), iliak krest apofizinin incelendiği Risser Sınıflandırması, klavikular medial epifiz kapanma evrelerinin değerlendirildiği bir başka derecelendirme metodu gibi yöntemler sayılabilmektedir (7).

Ayrıca koronal, sagittal, lamboid sutura gibi yapıların kapanma derecelerinin de yaşla ilişki olduğu düşünülmektedir (28). Humerus, tibia, femur, ulna, radius, metakarpal kemikler gibi iskelet yapılarının epifiz - diafiz birleşme bölgeleri de yaş tespitinde kullanılmaktadır. 22 yaşına kadar el, radius, ulna, humerus, skapula, pelvis grafileri, 23-40 yaş aralığında sakrum ve koksiks grafileri, 40 yaş civarında sternum grafisi ile 45-50 yaş aralığında ön göğüs grafileri,

yaş tespitinde kullanılması tavsiye edilen radyolojik tetkikler olarak literatürde yer almaktadır (2, 29). Kemik yoğunluğu ölçümleri, haversian sistem değişiklikleri, osteon sayısı ve çapları da özellikle orta ve ileri yaş bireylerin yaş tespitinde önem taşımaktadır (30, 31).

Doğrudan yaş ve cinsiyet tespitinde kullanılmayan ancak ikincil cinsiyet özelliklerinin gelişimine göre biyolojik olgunluk düzeyini ve gelişimsel yaşın kronolojik yaşla uyumunu değerlendiren bir rehber olan Tanner sınıflandırması, yaş ve cinsiyet tespitinde yardımcı bir unsur olarak literatürde yer almaktadır (32, 33).

Türkiye’de çocuk ve genç bireylerde yaş tespiti yapmak amacıyla Greulich-Pyle Atlası’nın temel alındığı, el, el bileği, omuz ve pelvis kemiklerinin gelişim evrelerinin incelenmesiyle geliştirilmiş radyolojik yaş tespit atlası olan Gök Atlası da bulunmaktadır (29). Türkiye’deki çocukların büyüme ve gelişime evrelerinin yaşa ve cinsiyete göre değerlendirilmesinde kullanılan bir başka referans ise Neyzi ve ark. (34) tarafından geliştirilen büyüme eğrileridir. Bu eğriler; 0-18 yaş aralığındaki Türk çocuklarında vücut ağırlığı, boy uzunluğu, baş çevresi ve vücut kitle indeksi gibi antropometrik veriler ile persantil dağılımları sunarak çocukların gelişim takibini sağlamaktadır. Yapılan bir çalışmada, Türk çocukları üzerinden yapılan yaş tespitinde; kızlar için Tanner-Whitehouse 3 Atlası, erkekler için ise Greulich - Pyle Atlası’nın daha doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir (35).

Günümüzde biyokimyasal ve genetik analizlerle de yaş tespiti çalışmaları yapılmaktadır. Kromozom uçlarında zaman içinde kısalmanın incelendiği telomer uzunluğu analizleri, mRNA, DNA metilasyon paternleri ile genetik yaş tespit çalışmaları, özellikle iskelet kalıntılarından elde edilen diş ve kemik dokularında aspartik asit rasemizasyonu ölçümleri yaş tespitinde önem arz etmektedir (21, 22).

YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

İskelet yapıları üzerinden yaş ve cinsiyet tespiti yapılırken bireyin tıbbi özellikleri de göz ardı edilmemelidir. Bazı hastalıklar, ilaçlar, beslenme, çevre koşulları, ailenin kalıtsal yapısı gibi durumlar iskelet yapılarının büyüme ve gelişmesini etkileyebilmektedir. Aşağıdaki tablolarda bazı faktörlere genel hatlarıyla yer verilmiştir.

Tablo 1. Kemik yaşının kronolojik yaştan ileri olmasına neden olan patolojik durumlar ve bazı farmakolojik ajanlar (36)

Kemik Yaşını Hızlandıran Patolojik Durumlar	Kemik Yaşını Etkileyen Bazı Farmakolojik Ajanlar
Adrenal Hiperplazi	Amiodaron
Akrodizostoz	Budesonid
Adrenokortikal Tümör	Beklometazon
Primer Aldosteronizm	Fenitoin
Artrogripozis	Metilfenidat
Beckwith-Wiedemann Sendromu	Dipropiyonat
Serebral Tümör	
Cockayne Sendromu	
Konjenital Adrenal Hiperplazi	
Cushing Sendromu	
Ektopik Gonadotropin Üretimi	
Ailevi İleri Kemik Yaşı	
Gigantizm	
Hipertiroidizm	
İdyopatik İzoseksüel Erken Ergenlik	
Lipodistrofi	
Marshall Smith Sendromu	
McCune Albright Sendromu	
Nörofibromatozis	
Obezite	
Periferik Disostozis (Brailsford)	
Sotos Sendromu	
Trizomi 8 Sendromu	
Weaver Sendromu	

Tablo 2. Kemik yaşının kronolojik yaştan geride olmasına neden olan patolojik durumlar ve faktörler (36)

Addison Hastalığı	Dubowitz Sendromu	Juvenil İdiyopatik Osteoporoz	Diğer Kronik Enfeksiyonlar (Sıtma vb.)
Amonopterin Fetopatisi	Yoğun Sporculuk	Juvenil Romatoid Artrit	Papillon-Lefevre Sendromu
Anemiler	Endemik İshal	KBG Sendromu	Parazitoz
Aspartilglukozaminüri	Aşırı Kilo Kaybı	Kocher-Debre-Semelaigne Sendromu	Patterson Sendromu
C Sendromu	Fetal Kızamıkçık Sendromu	Laron Cüceliği	Fenilketonüri
Çölyak Hastalığı	Freeman-Seldom Sendromu	Larsen Sendromu	Pleonosteozis
Kistik Fibrozis	Fukosidoz	Legg-Calve-Perthes Hastalığı	Prader-Willi Sendromu

Tablo 2. (devamı) Kemik yaşının kronolojik yaştan geride olmasına neden olan patolojik durumlar ve faktörler (36)

Cleidocraneal Displazi	Gapo Sendromu	Lenz-Manjewski Hiperostotik Cücelik	Raşitizm
Coffin-Lowry Sendromu	Toprak Yeme Hastalığı (Pıca)	Lesch-Nyhan Sendromu	Böbrek Yetmezliği
Coffin-Siris Sendromu	Tip I Glikojen Depo Hastalığı	Malnütrisyon	Renal Tübüler Asidoz
Crohn Hastalığı	Hipoadrenalizm	Marinesco-Sjögren Sendromu	Raşitizm
Bakır Eksikliği	Hipogonadizm	Mauriac Sendromu	Rubinstein-Taybi Sendromu
De Lange Sendromu	Hipoparatiroidizm	Melnick-Needles Osteodisplazisi	Silver-Russell Sendromu
De Morsier Sendromu	Hipopitüitarizm	Metatropik Displazi	Talasemi Majör
De Sanctis-Cacchione Sendromu	Hipotiroidizm	Meyer Femur Başı Displazisi	Talasemi Minör
Sağır-Mutizm-Guatr Ötiroidizm Sendromu	Histiositozis X	Mukolipidoz II	3-M Sendromu
Deprivasyon Cüceliği	HIV Enfeksiyonu	Mukopolisakkaridoz	Trikoehezis Nodosa Sendromu
Deprivasyon Sendromu	Hipogonadizm	Nefrotik Sendrom	Trizomi 21 (Down Sendromu)
Diabetes Mellitus Tip I	Incontinentia Pigmenti	Anoreksiya Nervoza	Weill-Marchesani Sendromu
Diabetes Mellitus Tip II	İntrauterin Gelişme Geriliği	Noonan Sendromu	Wilson Hastalığı
Bazı İlaçlar	Johanson-Blizzard Sendromu	İdiopatik Juvenil Osteoporoz	Zellweger Sendromu

Tablolarda yer alan sendromlar, hastalıklar ve ilaçlar dışında da kemik metabolizmasını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyerek kemik gelişimini yavaşlatan ya da hızlandıran, diğer bir ifadeyle kemik yaşının kronolojik yaşa göre ileride seyretmesine veya geri kalmasına neden olan birçok bireysel, çevresel ve kalıtsal faktör bulunmaktadır.

Cinsiyet gelişiminin; kalıtsal hastalıklar [Turner Sendromu (45 X0), Klinefelter Sendromu (47 XXY), Androjen Duyarsızlık Sendromu, 5-alfa redüktaz eksikliği vb.], hormonal stabilite, beslenme durumu, kronik hastalıklar, çevresel faktörler gibi çok sayıda etkene bağlı olduğu bilinmektedir. Örneğin, kozmetik sektöründe sıkça kullanılan endokrin bozucu kimyasallar (EDC'ler), pubertenin gerek erken gerekse geç başlaması neden olarak bireyin

büyüme ve gelişmesinde standart ölçülerden sapmaya neden olabilmektedir (37). Çocukluk çağı obezitesinin, hipotalamus - hipofiz - gonad aksını uyararak hem kızlarda hem erkeklerde puberte başlangıcını öne çektiği bildirilmiştir (38). Birçok kronik hastalığın (maligniteler, çölyak, diabetes, talasemi vb.) ve kemoterapi ya da radyoterapi gibi yoğun tedavi süreçlerinin de hormon aksını etkileyerek puberte gelişimini geciktirebildiği bildirilmektedir (39). Bu nedenle yaş ve cinsiyet tespiti yapılırken yalnızca morfometrik analizlere değil, biyolojik ve çevresel faktörlere de dikkat edilmesi gerekmektedir.

ÇALIŞMADA İNCELENEN YAPILARIN YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİNDEKİ ROLÜ

Çalışmada referans olarak kullanılan bireylerin yaşlarının doğrulanması amacıyla klavikula, yaş ve cinsiyet tespiti amacıyla frontal kemik, oksipital kemik, paryetal kemikler, sella turcica, foramen magnum, atlas ve axis kemiklerine ait yapılara yönelik bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden ölçümler ve oranlamalar yapılmıştır.

Klavikula, hem intramembranöz hem endokondral ossifikasyonla gelişen, vücutta ossifikasyonu en erken başlayan, ancak en geç tamamlanan kemiklerden biridir (40, 41). Medialde manubrium sterni lateralde ise akromion ile eklem yapmaktadır (42). Medial epifiz ossifikasyonunun genellikle 13-14 yaşlarında başlaması ve kapanmasının yaklaşık 26 yaşa kadar sürebilmesi nedeniyle yaş tespitlerinde sıkça kullanılmaktadır (43, 44).

Frontal kemik, alın bölgesinde bulunan ve içerisinde sinüs barındıran, kraniumun en ön bölümünde yer alan kemiktir. Neurokranium ve viscerokranium yapılarının oluşumunda rol almaktadır. Posteriorunda yer alan paryetal kemiklerle sutura coronalis aracılığıyla eklem yaparken; alt tarafta bulunan nazal kemiklerle, göz çukuru medial duvarında yer alan lakrimal kemiklerle ve etmoid kemikle, göz çukurunun lateral duvarında bulunan zigomatik kemiklerle ve kafatası tabanında yer alan sfenoid kemikle de eklem yapmaktadır. Frontal kemik, toplamda 12 farklı kemikle eklem yaparak, kranial yapının bütünlüğüne önemli bir katkı sağlamaktadır (45). Frontal kemik, doğumda çift yapıda bulunmakta ve bu iki yarım parçanın arasındaki metopik sutura genellikle dördüncü ayda kapanmaya başlamakta olup çoğu bireyde 10. ay civarında tamamen kapandığı ifade edilmekle birlikte bazı bireylerde bir yaştan üzerinde de açık kalabildiği bilinmektedir (46). Bu nedenle erken yaşlarda metopik sutura, yaş tespiti açısından değerli olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, frontal kemiğin alın çıkıntısı olan glabella ve frontal sinüs, cinsiyete göre farklılık gösterebilmekte ve bu yapılar erkeklerde daha belirgin olup cinsiyet tespitinde tamamlayıcı nitelikte kullanılabileceği bilgisi literatürde yer almaktadır (47, 48).

Oksipital kemik, kafatasının arka kısmında yer alan ve tek kemik yapısında bulunan kranium elemanıdır. Kraniumun arka-alt bölümünü oluşturan tek kemik olup, foramen magnum aracılığıyla beyin ile medulla spinalis arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Pars basilaris, pars lateralis ve squama occipitalis olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Üst tarafta paryetal kemiklerle sutura lambdoidea aracılığıyla, yan taraflarda temporal kemiklerle sutura occipitomastoidea aracılığıyla ve ön tarafta ise synchondrosis sphenooccipitalis aracılığıyla sfenoid kemikle eklem yapmaktadır. Ayrıca oksipital kondiller aracılığıyla atlas ile eklemleşerek, başın fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine olanak tanımaktadır (45). Synchondrosis sphenooccipitalis, genellikle erken yaşlarda görülen kartilajinöz bir yapı olup, 18 yaş civarında kemikleştiği belirtilmektedir (49). Foramen magnum'un erkeklerde genellikle daha büyük ve yuvarlak yapıda, kadınlarda ise daha küçük ve elipsoid şekilde oluşu, cinsiyet tespitinde önemli bir belirteç olarak değerlendirilirken; eksternal oksipital çıkıntı olan inion yapısının erkeklerde daha belirgin olması yine cinsiyet tespitinde yardımcı bir bulgu olarak kabul görmektedir (50, 51). Oksipital kemiğin tabanında yer alan bazis-oksipital ve bazis-sfenoidal birleşme bölgeleri kapanma derecelerinin ise yaş tespitinde önem arz ettiği ifade edilmektedir (52).

Paryetal kemikler, kraniumun her iki yan taraf üst kısımlarında simetrik olarak yerleşmiş kemiklerdir. Birbirleriyle sutura sagittalis, frontal kemikle sutura coronalis, oksipital kemikle sutura lambdoidea ve temporal kemikle sutura squamosa aracılığıyla eklemleşirler. Konveks dış yüzeyleri ve konkav iç yüzeyleriyle kranial kubbenin oluşumuna katkı sağlamaktadırlar. İç yüzeylerinde bulunan arteria meninge media'ya ait sulcuslar, paryetal kemiklerin ayırt edici anatomik özelliklerindendir (45). Paryetal kemik literatürde, yaş ve cinsiyet tespitinde çalışılan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Anterior fontanelin 18. ay civarında, posterior fontanelin ise doğumdan sonraki ilk birkaç ay içinde kapanması, sagittal ve lambdoid suturaların ilerleyen yaşla birlikte kemikleşmesi nedeniyle paryetal kemiklerin ve içerdiği bu yapıların bireyin yaş tespitine katkı sağladığı düşünülmektedir (52). Paryetal kemiklerin kalınlığı, eminenslerin belirginliği gibi ölçüm ve analizlerin, cinsiyet tespitinde önemli bir yere sahip olduğuna değinilmektedir (13, 53).

Sfenoid kemikte yer alan, içerisinde hipofiz bezini bulunduran ve lateral sefalometrik radyografi, bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntülemesi gibi radyolojik yöntemlerle incelenebilen sella turcicanın; özellikle ön - arka uzunluğunun (AP) ve transvers çapının yaşla birlikte artış göstermesi nedeniyle, yaş tespitinde kullanılabilecek yapılar arasında olduğu düşünülmektedir (54, 55). Sella turcicanın bir çalışmada, erkeklerde kadınlara kıyasla

daha büyük bir morfolojiye sahip olduğu tespit edilmiş ve bu durum, cinsiyet tespitinde tamamlayıcı bir belirteç olarak kullanılabileceği şeklinde yorumlanmıştır (55).

Birinci servikal vertebra olarak da bilinen atlas (C1), diğer vertebralardan en temel farkı olan gövdesiz yapısıyla dikkat çekmektedir. Ön ve arka ark olmak üzere iki kemik halka ile çevrili bir halka yapısı oluşturmaktadır. Foramen vertebrae bu halkanın içine verilen isimdir ve içerisinde medulla spinalis ile birlikte beyin sapı yer almaktadır. Üst tarafında yer alan fovea articularis superior adlı eklem yüzeyleri, oksipital kemik kondilleri ile birlikte atlantooccipital eklemi oluşturmakta ve bu eklem başın fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine olanak sağlamaktadır. Alt tarafında yer alan fovea articularis inferior ise, axis (C2) ile bağlantı kurmaktadır. Ön arkta, fovea dentis isimli çukur şeklindeki yapı aracılığıyla dens axis ile eklemleşerek atlantoaksiyal eklemine oluşturmaktadır. Tuberculum anterius ve tuberculum posterius isimli yapılar ise kas ve bağların tutunduğu bölgelerdir. Lateral kısımlarda bulunan processus transversuslar içerisinde foramen transversariumlar bulunmakta ve bu yapıların içerisinde arteria vertebralis'ler geçmektedir (45). Atlas üzerinden cinsiyet tespiti yapılırken yaygın olarak kullanılan morfometrik parametreler; anteroposterior mesafe, transvers uzunluk, foramen vertebrae boyutları ve processus transversuslar arası uzaklık olup, bu ölçümler değerlendirildiğinde; genellikle erkeklerde bu değerlerin daha büyük olduğu tespit edilmiştir (56). Yaş tespitinde, özellikle erişkinlik öncesi dönemde, atlasın ossifikasyon merkezleri ile arkusların birleşme zamanları temel alınmaktadır (57).

Axis, ikinci servikal vertebra olup, dens (odontoid çıkıntı) yapısı ile diğer vertebralardan kolaylıkla ayırt edilmektedir. Dens, yukarı doğru uzanım gösteren silindir şeklinde bir çıkıntı olup atlas ile eklemleşerek başın rotasyon hareketine olanak sağlamaktadır. Densin ön tarafı atlasın fovea dentis yapısıyla, arka tarafı ise lig. transversum atlantis ile ilişkilidir. Axis'in gövdesi kısa, pedikülleri kalın ve processus spinosus bifid yapıda olup; üst taraftaki fasetler atlas ile alt taraftaki fasetler ise üçüncü vertebra ile eklemleşerek servikal omurganın stabilitesine katkı sağlamaktadır. Laterallerde bulunan foramen transversariumlardan vertebral arterler geçmektedir (45). Axis vertebraı aracılığıyla yapılan dens axis yüksekliği, korpusun anteroposterior ve transvers mesafeleri, maksimum vertebra genişliği, odontoid çıkıntı boyutları ve lamina uzunlukları gibi ölçümler; literatürde cinsiyet tespitinde kullanılabilen temel morfometrik parametreler arasında yer almaktadır (58, 59). Axis vertebraı, özellikle çocukluk ve ergenlik döneminde, dens ossifikasyon merkezleri ve bu merkezlerin füzyon zamanları sayesinde yaş tespitinde kullanılabilmektedir. Ayrıca odontoid çıkıntının apeksi ayrı bir ossifikasyon merkezi olarak doğumdan sonraki ilk yıllarda belirlemekte ve genellikle 3-6 yaş

arasında gövdeyle birleşmektedir. Ek olarak, axis arkuslarının kapanma zamanı da yaş tespiti açısından yardımcı bir belirteç olarak değerlendirilmektedir (57).

YAŞ VE CİNSİYET KAVRAMLARININ TÜRK HUKUK SİSTEMİNDEKİ YERİ

Yaş ve cinsiyet, bireyin toplum içerisindeki konumunu ve hukuki durumunu belirleyen temel biyolojik özelliklerdendir. Bu iki unsur, özellikle adli karar mekanizmalarında ve adli tıbbi süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Kişinin yaşı, hukuki çerçevede hak, görev ve sorumluluklarını belirlemektedir (60).

Kronolojik açıdan 18 yaşını doldurmamış bireyler, Türk hukuk sisteminde çocuk olarak kabul edilmektedir. Hukuki açıdan çocuk kavramı, çoğu ulusal ve uluslararası metinde benzer biçimde tanımlanmıştır. 5395 sayılı Çocuk Koruma Kanunu 3. maddesinde “çocuk, daha önce ergin olsa bile on sekiz yaşını doldurmamış kişiyi ifade eder” şeklinde yaş temelli olarak net şekilde tanımlanmıştır (61). Ayrıca, Türkiye’nin de taraf olduğu Birleşmiş Milletler Çocuk Haklarına Dair Sözleşme’nin 1. maddesi de henüz on sekiz yaşını doldurmamış her insanın çocuk sayıldığını ifade etmekte ve taraf devletlere bu yaş sınırını tanıma yükümlülüğü getirmektedir (62).

Dünya genelinde ceza sorumlulukları yaşa göre değerlendirilmektedir. Örneğin Almanya’da 0-14, 14-18, 18-21 şeklinde, İngiltere’de 0-7, 7-14, 14-17 şeklinde, Fransa’da 0-13, 13-16, 16-18 şeklinde, Rusya’da 0-14, 14-18, 18-20 şeklinde olmak üzere üçlü ayırım yapılmışken; İsviçre’de ise, 0-7, 7-15, 15-18, 18-25 şeklinde dört yaş grubundan oluşan kademeli ceza sistemi benimsenmiştir (60). Türk Ceza Kanunu’nda da ceza sorumluluğu yaşa göre kademelendirilmiş ve suça sürüklenen çocuk kavramı kullanılmıştır. Kanunun 31. maddesinde; 12 yaşından küçüklerin ceza sorumluluğunun olmadığı, 12-15 yaş aralığındaki çocukların ise algılama ve irade yetenekleri doğrultusunda değerlendirileceği, 15-18 yaş arası çocukların ise suçun anlam ve sonuçlarını kavrama yeterliliğine sahipse, indirimli olarak cezalandırılabilmesi yer almaktadır. Aynı kanunun 33. maddesinde ise; fiili işleyen bireyin işitme veya konuşma engeli bulunması halinde; 31. maddede belirtilen hükümlerle ilgili yaş sınırları üç yıl ilerletilerek, sırasıyla 12 yerine 15, 15 yerine 18 ve 18 yerine 21 yaş esas alınarak değerlendirmesi gerektiği yer almaktadır. Yine aynı kanunun 103 ve 104. maddelerinde; vücut dokunulmazlığına karşı işlenen suçlarda mağdurun yaş sınırları çizilmiş; 15 yaşını doldurmamış çocukla cinsel birlikteliğin, rıza aranmaksızın suç olarak tanımlandığı, 15-18 yaş aralığındaki bireylerde, şikâyeteye bağlı durumların suç oluşturduğu, 18 yaşını doldurmuş bireylerde ise, bireyin rızasının olmadığı durumların suç olduğu belirtilmiştir (63). Türk Medeni

Kanunu 124. Maddesinde ise; bireylerin 17 yaşını doldurmadıkça evlenemeyeceği, ancak mahkeme tarafından uygun görülen durumlarda 16 yaşın dolmasıyla evliliğe izin verilebileceği yer almaktadır (64).

Cinsiyet tespiti de benzer şekilde birçok hukuki süreçte önemli rol oynamaktadır. Medeni hukuk açısından yaş ve cinsiyet, evlenme ve aile birliği kurma, askerlik yükümlülüğü, sosyal haklardan yararlanma ve emeklilik gibi birçok konuda bireyin toplumdaki yerini ve yasal statüsünü belirlemektedir. Türk Medeni Kanunu 134. maddesinde; sadece kadın- erkek bireylerin evliliğine izin verildiği, Askeratma Kanunu 3. maddesinde; Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı erkek bireylerin zorunlu askerlik yükümlülüğü bulunduğı, Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu 28. maddesinde; emeklilik yaşında ve çalışma günlerinde, kadın erkek farkı ile ilgili hükümler yer almakta, Türk Medeni Kanunu 40. maddesinde ise; cinsiyet değişikliğine izin verilen durumlara ve bunlara yönelik özel kurallara yer verilmektedir (64-66). Bu nedenle, özellikle resmi kayıtlarda verileri net olmayan kişilerde yaş ve cinsiyet tespiti, hukuksal uyumsuzlıkların çözümü için oldukça önemlidir.

YAŞ VE CİNSİYET TESPİTİNDE GÜVENİLİRLİK, RAPORLAMA VE ETİK İLKELER

Yaş ve cinsiyet tespitinde kullanılan yöntemlerin geçerliliğı, temel aldıkları referans çalışmaların bilimsel kalitesine doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, yaş ve cinsiyet tespitinde kullanılacak yöntemlerin temel birkaç niteliğe sahip olması oldukça önemlidir. Öncelikle, temel alınan referans çalışmanın yeterli örneklem büyüklüğüne sahip olması ve çalışmada yer almış bireylere ait yaş bilgilerinin doğruluğunun kesin olması gerekmektedir. Yaş dağılımları dengeli olmalı, cinsiyetlere göre ayrı analizleri yapılmalı ve incelemelerin yapıldığı zamana dair bilgiler açıkça belirtilmelidir. Ayrıca, yöntem ve gereçlerin ayrıntılı biçimde tanımlanması, direkt veya radyolojik görüntülemeler üzerinden incelenen morfolojik yapıların net şekilde tarif edilmesi ve elde edilen bulguların dağılım aralıklarıyla birlikte sunulması gereklidir. Çalışmada yer almış referans grubun etnik kökeni, sosyoekonomik durumu ve tıbbi geçmişi gibi değişkenlere dair bilgilerin yer alması da, yöntemin genellenebilirliği açısından önemli bir rol oynamaktadır (36).

Yaş ve cinsiyet tespitinde raporlama da değerlendirme kadar önemlidir. AGFAD (Adli Yaş Tespiti Çalışma Grubu) 2008 yılında bir raporlama standardizasyonu önermiştir. Bu öneriye göre yaş ve cinsiyet tespiti raporlarının; güncel bilimsel literatürle uyumlu, anlaşılır, kanıta dayalı ve şüphe uyandırmayacak netlikte olması, uzman görüşlerinin yalnızca bulguların listelenmesinden ibaret olmaması, kullanılan yöntemlerin referans çalışmalarla desteklenmesi,

her bir bulgunun varyasyon aralıklarının belirtilmesi, olgunun bireysel özellikleriyle ilişkilendirilmesi ve yaştan olasılık temelli olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (7, 36). Düzenlenen raporda, yaştan gerçek yaş olma olasılığı veya bireyin yaştanın ilgili yaş sınırının üzerinde olup olmadığı belirtilmelidir. Bu amaçla aşağıdaki olasılık derecelendirmelerinin kullanılması önerilmiştir (36).

Tablo 3. Yaş tespitinde AGFAD tarafından raporlamada kullanılması önerilen olasılık derecelendirmeleri(36)

Sonuç	Olasılık
Neredeyse kesin olasılık	> %99,8
Çok olası veya yüksek olasılık	> %90
Olası	> %50
Kararsız	= %50
Daha az olası veya olası değil	< %50
Çok olası değil	< %10
Neredeyse kesinlikle olası değil	< %0,2

Yöntemlerin bilimsel yönleri kadar etik ilkeleri de net ve güçlü olmalıdır. Bemp ve Childress tarafından yaş ve cinsiyet tespitine yönelik uygulamalarda gözetilmek üzere dört temel etik ilke belirlenmiştir. Bunlar; özerklik (autonomy), zarar vermeme (non-maleficence), yarar sağlama (beneficence) ve adalet (justice) ilkeleridir (7, 67). Hekimler, yaş ve cinsiyet tespitinde anılan ilkeleri gözeterek, yargı sürecinde tarafsız bir bilirkişi rolü üstlendiğini unutmamalıdır. Bu nedenle hekimin, mesleki bağımsızlığını ve tarafsızlığını koruyarak, bireyin haklarını gözeterek, zarar vermeden adil bir değerlendirme süreci yürütmesi elzemdir.

Özellikle toplu göç hareketleri sırasında, çocukların yaşlarının doğru belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Çocuğun yaştanın yanlış saptanması, yetişkin muamelesi görmesine ve korunma haklarını kaybetmesine yol açabilmektedir. Bu durumlara yönelik uluslararası rehberler geliştirilmiştir. UNICEF ve UNHCR tarafından yayımlanan ortak rehberlerde; yaş ve cinsiyet tespiti yapılırken; çocuğun üstün yararının gözetilmesi, incelemelerin rızası dâhilinde yapılması ve işlemin çocuğa zarar vermemesinin temel ilkeler arasında yer alması gerektiği vurgulanmaktadır. (68, 69).

Avrupa İltica Destek Ofisi (EASO) tarafından geliştirilen yaş tespiti rehberinde ise; tespit yönteminin minimum düzeyde invaziv olması, açık rıza alınması ve değerlendirme sonuçlarının cezalandırıcı biçimde kullanılmaması gerektiği belirtilmektedir (70).

Ulusal ve uluslararası hukuk sisteminde yer alan bu ve bunun gibi düzenlemeler, yaş ve cinsiyet tespitinin sadece tıbbi değil, aynı zamanda hukuki açıdan da yüksek öneme sahip olduğunu göstermektedir. Tüm bu anlatılar, alıntılar ve aktarımlar doğrultusunda, etik ilkeler

de gözetilerek, cinsiyet ve yaş tespitinde kullanılabilecek parametrelerin tespit edilip, anlamlı saptanan değişkenler ile modeller ve bu modeller üzerinden denklemler geliştirilerek, bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden kafa içi yapılar ile atlas ve axis'e ait, “Yöntem ve Gereçler” kısmında detaylıca yer verilen yapıların ölçümleri ve analizleri aracılığıyla, 18-25 yaş aralığındaki bireylerde cinsiyet ve yaş tespiti yapılması hedeflenmiş, bu doğrultuda çalışmaya geçilmiştir.



GEREÇ ve YÖNTEMLER

Çalışma için Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır (Karar No: 07/04, Tarih: 14.04.2025).

Çalışmada Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde, 1 Ocak 2020-31 Aralık 2024 tarihleri arasında kafa içi, boyun ve göğüs bölgesi tomografi çekimi yapılan bireylerin görüntüleri retrospektif olarak incelenmiştir. Bu tarihler arasında toplam 42521 adet kranial ve servikal bilgisayarlı tomografi çekimi yapıldığı merkez bilgi sistem biriminden öğrenilmiştir. Bu görüntüler çalışmaya dâhil etme ve çalışmadan dışlama kriterleri ile filtrelenmiştir. Çekim tarihinde 18 yıl, 0 ay, 1 gün ile 25 yıl 11 ay 29 gün aralığındaki çalışmaya dahil etme ve dışlama kriterlerini karşılayan, baş bölgesi ve atlas ile dens axis'i içeren, 0,5-1 mm kesit aralığındaki toplam 822 adet görüntü, 1 mm kalınlıkta rekonstrükte edilerek aksiyal ile sagittal olmak üzere iki planda ve bu vakalar içerisinde varlığı tespit edilmiş 108 göğüs bölgesi bilgisayarlı tomografi görüntüsü 0,5-1,25 mm kesit kalınlığında elde edilerek aksiyal planda incelenmiştir. İnceleme sürecinde, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı'nda öğretim üyesi olarak görev yapmakta olan, intrakraniyal değerlendirme konusunda yetkin ve tecrübe sahibi bir radyoloji uzmanından destek alınmıştır.

Görüntüleme işlemleri, GE Revolution Maxima (GE Healthcare, Chicago, ABD)-128 kesitli, Siemens Somatom Definition AS+ (Siemens Healthineers, Forchheim, Almanya)-128 kesitli ve Toshiba Aquilion TSX-101A (Canon Medical Systems, Japonya)-64 kesitli olmak üzere üç farklı cihazlarla yapılmıştır. Cihazların farklı olması nedeniyle ölçümler; 100-140 kV tüp voltajı ve 70-350 mAs referans tüp akımıyla, otomatik doz modülasyonu eşliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan görüntüler üç farklı cihaz ile elde edilmiş olmakla

birlikte, hangi olgunun hangi cihazla görüntülediğine dair veriler sistemde yer almadığından, cihaz bazlı alt grup analizi gerçekleştirilememiştir.

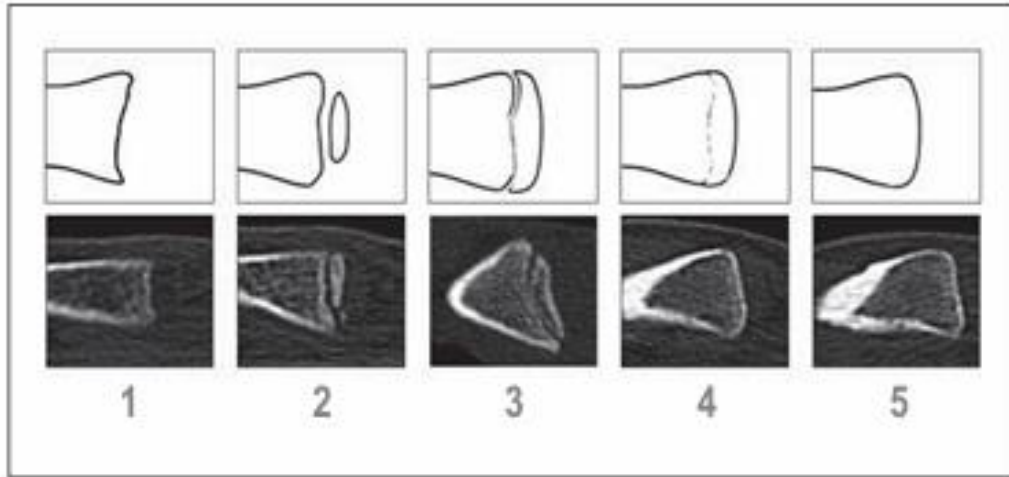
Elde edilen görüntüler, yerel PACS (Picture Archiving and Communication System) yazılımı aracılığıyla DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. Görüntüleme sürecinde, Sectra Workstation IDS7 (Sectra AB, Linköping, İsveç) yazılımı kullanılarak çoklu düzlem rekonstrüksiyon (MPR) ve kesitsel ölçümler gibi ileri görüntüleme tekniklerinden yararlanılmıştır.

Olguların seçimi sırasında, Trakya Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi yerel tıbbi veri kayıt sistemi ve PACS (Picture Archiving and Communication System) sistemlerindeki tıbbi veriler, ilaç, tanı ve tedavi bilgileri ile radyoloji uzmanı tarafından düzenlenmiş görüntüleme raporları taranmıştır.

Çalışmaya dahil edilme kriterleri arasında; bireylerin çekim tarihinde 18 yıl, 0 ay, 1 gün ile 25 yıl 11 ay, 29 gün aralığında olması, malignite, endokrin bozukluk ya da metabolik sendrom tanısı ve tedavi öyküsünün bulunmaması, görüntülemelerde radyoloji uzmanı tarafından intrakranial bölgede yapısal veya edinsel patoloji (kitle, tümör, malformasyon, kanama alanı) izlenmemesi, ölçüm yapılan kemiklerde ve yapılarda herhangi bir patoloji raporlanmaması ile görüntülerde yaygın hareket artefaktı tanımlanmamış olması yer almaktadır.

Çalışmaya dahil edilmeme kriterleri arasında; bireylerin çekim tarihinde 18 yıl, 0 ay, 1 gün ile 25 yıl 11 ay, 29 gün aralığında olmaması, malignite, endokrin bozukluk ya da metabolik sendrom tanısı ve tedavi öyküsünün bulunması, görüntülemelerde radyoloji uzmanı tarafından intrakranial bölgede yapısal veya edinsel patoloji (kitle, tümör, malformasyon, kanama alanı) izlenmesi, ölçüm yapılan kemiklerde ve yapılarda herhangi bir patoloji raporlanması ile görüntülerde yaygın hareket artefaktı tanımlanmış olması yer almaktadır.

108 göğüs bölgesi bilgisayarlı tomografi görüntüsü, kranial değerlendirmeden bağımsız olarak, çalışmacı tarafından bir radyoloji uzmanı eşliğinde aksiyal planda incelenmiş ve literatürde kabul görmüş olan Schmeling ve ark. (44) tarafından geliştirilmiş klavikula medial ossifikasyon evrelerine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada örnek olarak kullanılan görsel materyal (Şekil 1), Schmeling ve ark. (71) tarafından yapılan başka bir çalışmadan alınmıştır. Her ne kadar medial klavikular ossifikasyon evreleme sistemi zamanla detaylandırılmış olsa da, bu çalışmada asıl amaç detaylı sınıflandırma yapmak değil, çalışmaya dahil edilen bireylerin sistemde kayıtlı kronolojik yaşlarının literatürde yer edinmiş referans bir çalışmanın sonuçları ile tutarlılığını değerlendirmek olduğundan, mevcut medial klavikular ossifikasyon evreleme sınıflandırması tercih edilmiştir.



Şekil 1. Schmeling ve ark. (71) tarafından klavikula medial ossifikasyon evrelerine göre yapılan sınıflandırma

Schmeling ve ark. (44) tarafından klavikula medial ossifikasyon evrelerine göre sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre birinci evrede ossifikasyon merkezinin henüz oluşmadığı, ikinci evrede ossifikasyon merkezinin geliştiği ancak epifiz kıkırdağında ossifikasyon başlamadığı, üçüncü evrede epifiz kıkırdağının kısmen ossifiye olduğu, dördüncü evrede epifiz kıkırdağın tamamen ossifiye olduğu ancak epifizyal skarın izlenmeye devam ettiği, beşinci evrede ise epifiz kıkırdağın tamamen ossifiye olduğu ve epifizyal skarın izlenmediği bildirilmiştir. Medial klavikular ossifikasyon dereceleri ile yaş gruplarının uyumlarına yönelik değerlendirmelere “Bulgular” kısmında yer verilmiştir.

Kraniyal bilgisayarlı tomografi çekimlerine ait görüntüler aksiyal ve sagittal planlarda incelenmiş, seçilen kranial yapılar ile atlas ve dens axis ile ilgili morfometrik ölçümler ve oranlamalar gerçekleştirilmiştir. Bireyin pozisyonuna bağlı olarak ortaya çıkabilecek minimal sapmaların önüne geçilememesi doğal bir sınırlılık olmakla birlikte, bu sapmaların ölçüm doğruluğunu en az düzeyde etkilemesi için anatomik düzleme en uygun kesitler seçilmiştir. Anatomik yapıların görüntüleme alanında seçilebilen kısımları üzerinden ölçüm yapılmış; görüntüleme alanının sınırına yakın konumda bulunan ve ölçüm açısından yeterli referans noktaları içeren yapılar da uygun kabul edilmiştir. Uzunluk birimi olarak milimetre kullanılmıştır. Ölçümü yapılmış parametreler aşağıda verilmiştir:

1. Aksiyal planda kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) (Şekil 2).
2. Aksiyal planda kranial anteroposterior iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) (Şekil 2).
3. Aksiyal planda bipariyetal dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) (Şekil 3).

4. Aksiyal planda bipariyetal iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) (Şekil 3).
5. Sagittal planda sella turcica ön-arka maksimum uzunluğu (dorsum sella-tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe) (Şekil 4).
6. Sagittal planda foramen magnum ön-arka (anteroposterior Opisthion-Basion mesafesi) uzunluğu (ön arka aralıkta ölçülebilen en uzun mesafe) (Şekil 5).
7. Sagittal planda atlas ön-arka iç mesafe (maksimum anteroposterior foramen vertebrae çapı) (Şekil 5).
8. Sagittal planda atlas ön- arka dış mesafe (maksimum tuberculum anterius-tuberculum posterius) (Şekil 6).
9. Sagittal planda dens axis ölçülebilen maksimum ön-arka mesafe (atlas içinde ölçülebilen en uzun mesafe) (Şekil 6).
10. Aksiyal planda atlas sağ foramen transversarium maksimum çapı (Şekil 7).
11. Aksiyal planda atlas sol foramen transversarium maksimum çapı (Şekil 7).
12. Aksiyal planda atlas her iki processus transversus arasında maksimum ölçülebilen mesafe (Şekil 8).
13. Aksiyal planda dens axis'in atlas içerisinde kalan, ölçülebilen maksimum sağ-sol (transvers) uzunluğu (Şekil 9).

Bazı ölçümler kendi aralarında oranlanmış ve aşağıda listelenmiştir:

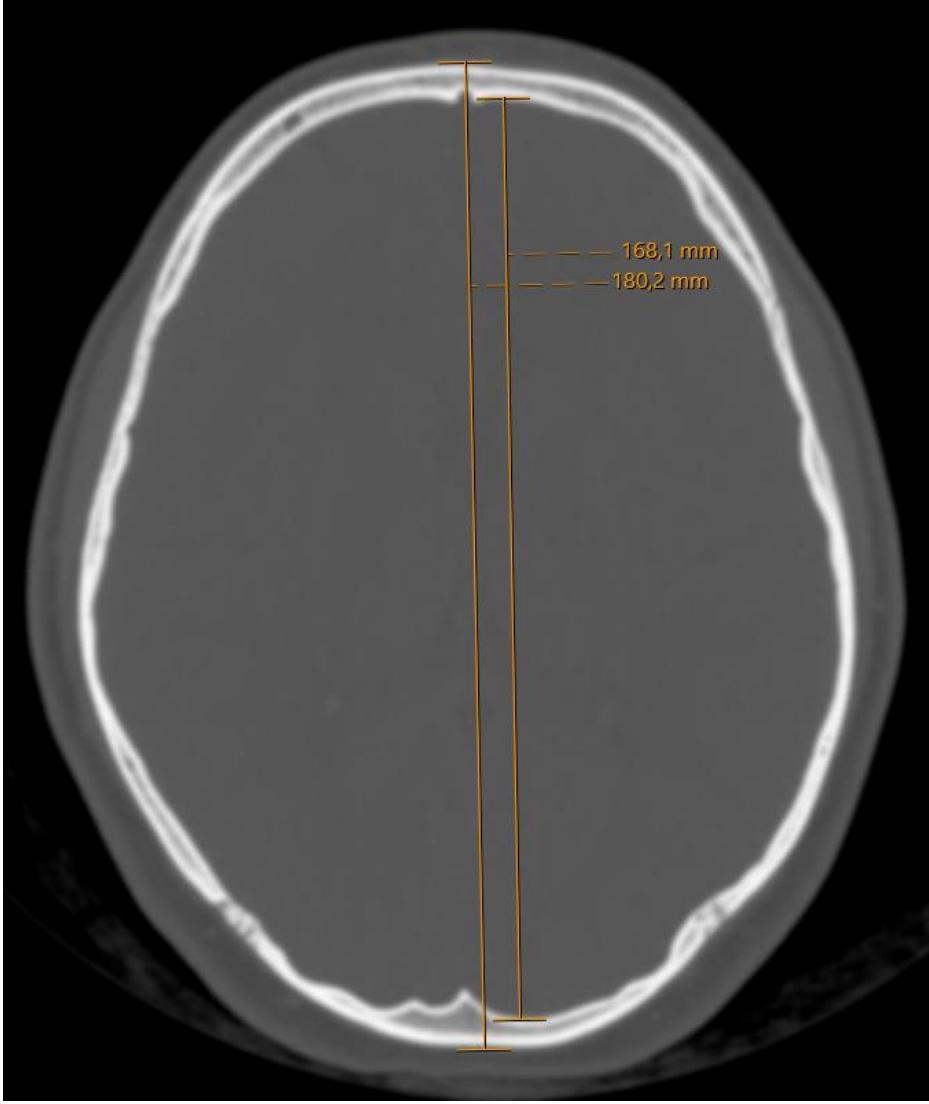
1. Atlas ön arka dış mesafe (maksimum tuberculum anterius-tuberculum posterius mesafesi) ile dens axis'in atlas içerisinde kalan ve ölçülebilen maksimum ön arka uzunluğu
2. Atlas her iki processus transversus arası maksimum ölçülebilen mesafe ile dens axis'in atlas içerisinde kalan ve ölçülebilen maksimum sağ-sol (transvers) uzunluğu
3. Kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile atlas ön-arka dış mesafe (maksimum tuberculum anterius - tuberculum posterius mesafesi)
4. Kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile dens axis'in atlas içerisinde kalan ve ölçülebilen maksimum ön-arka uzunluğu
5. Kranial anteroposterior iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) ile foramen magnum ön-arka (anteroposterior) uzunluğu (ön arka aralıkta ölçülebilen en uzun mesafe)
6. Bipariyetal dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile dens axis'in atlas içerisinde kalan ve ölçülebilen maksimum sağ-sol (transvers) uzunluğu
7. Bipariyetal dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile atlas her iki processus transversus arası maksimum ölçülebilen mesafe

8. Dens axis'in atlas içerisinde kalan ve ölçülebilen maksimum ön-arka uzunluğu ile sella turcica ön - arka maksimum uzunluğu (dorsum sella - tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe)
9. Foramen magnum ön-arka (anteroposterior Opisthion-Basion mesafesi) uzunluğu (ön arka aralıkta ölçülebilen en uzun mesafe) ile sella turcica ön-arka maksimum uzunluğu (dorsum sella-tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe)
10. Kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile sella turcica ön-arka maksimum uzunluğu (dorsum sella-tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe)
11. Kranial anteroposterior iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) ile sella turcica ön-arka maksimum uzunluğu (dorsum sella-tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe)
12. Atlas ön-arka dış mesafe (maksimum tuberculum anterius-tuberculum posterius mesafesi) ile sella turcica ön-arka maksimum uzunluğu (dorsum sella-tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe)
13. Atlas ön - arka iç mesafe (maksimum anteroposterior foramen vertebrae mesafesi) ile sella turcica ön-arka maksimum uzunluğu (dorsum sella-tuberculum sella arası maksimum ölçülebilen mesafe)
14. Kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile bipariyetal dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe)
15. Kranial anteroposterior iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) ile bipariyetal iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe)
16. Kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile kranial anteroposterior iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe)
17. Bipariyetal dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile bipariyetal iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) ölçümleri kendi aralarında oranlanmıştır.

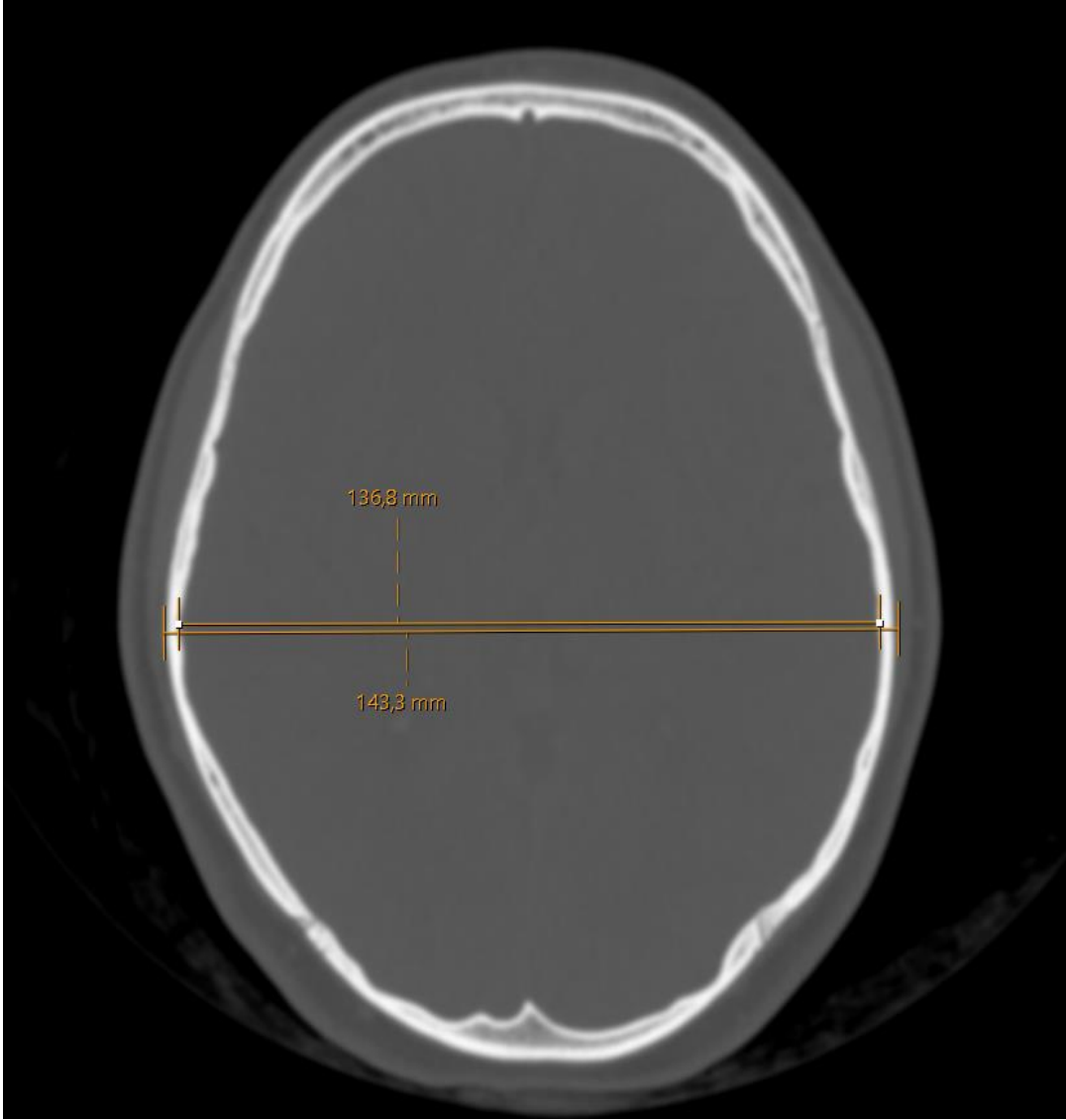
Ayrıca iki adet asimetrik aritmetik hesaplama yapılmıştır:

1. Kranial anteroposterior dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile kranial anteroposterior iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) farkı hesaplanıp çıkan sonuç ikiye bölünmüştür.
2. Bipariyetal dış uzunluk (eksternal ölçülebilen en uzun mesafe) ile bipariyetal iç uzunluk (internal ölçülebilen en uzun mesafe) farkı hesaplanıp çıkan sonuç ikiye bölünmüştür.

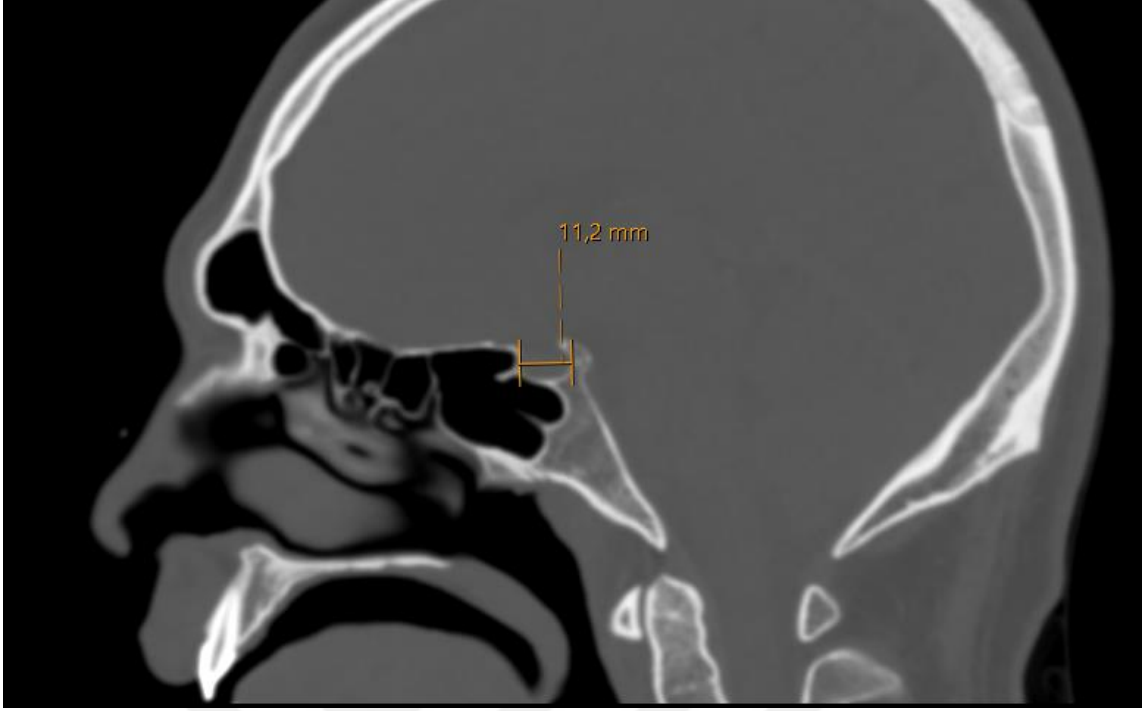
Bu hesaplamalardaki amaç; ortalama kalvaryum kalınlığı elde edilerek, yaşa ve cinsiyete göre bu değerlerdeki değişiminin analiz edilmesidir.



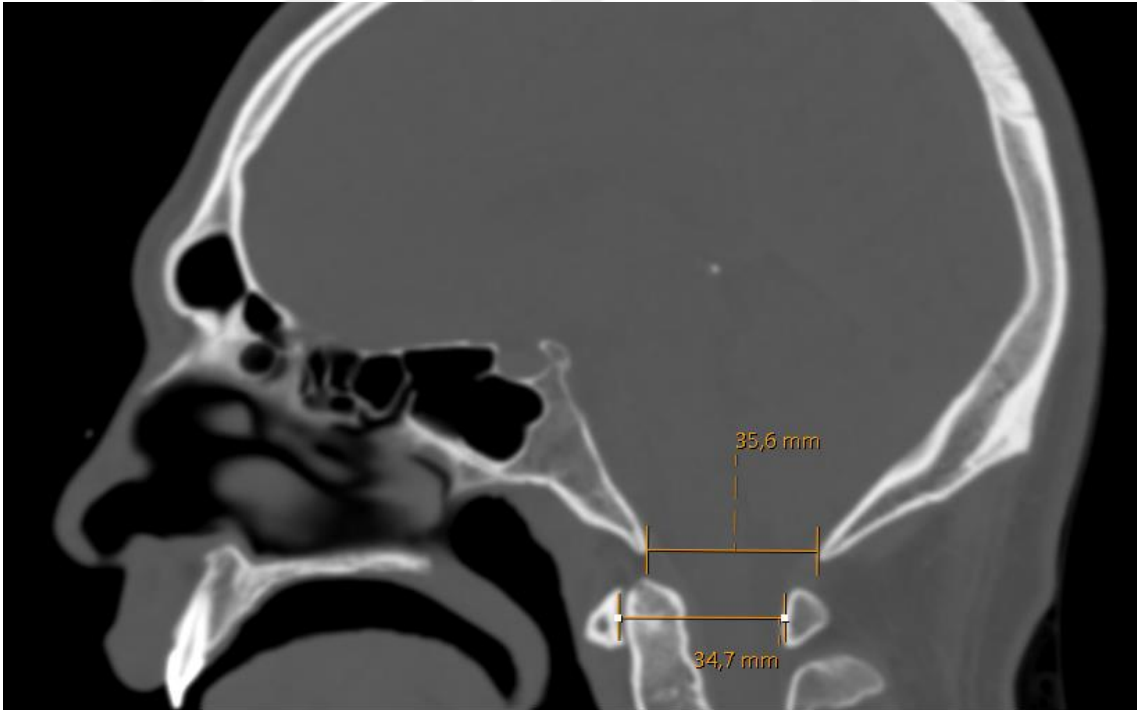
Şekil 2. Aksiyal planda görüntü alanına giren kranial ön-arka (AP) dış (eksternal), kranial ön-arka (AP) iç (internal) maksimum mesafe ölçüm örneği, 18 yaş, kadın, 1 mm kesit kalınlığı, 215 mA, 100 kV, FoV: 235 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



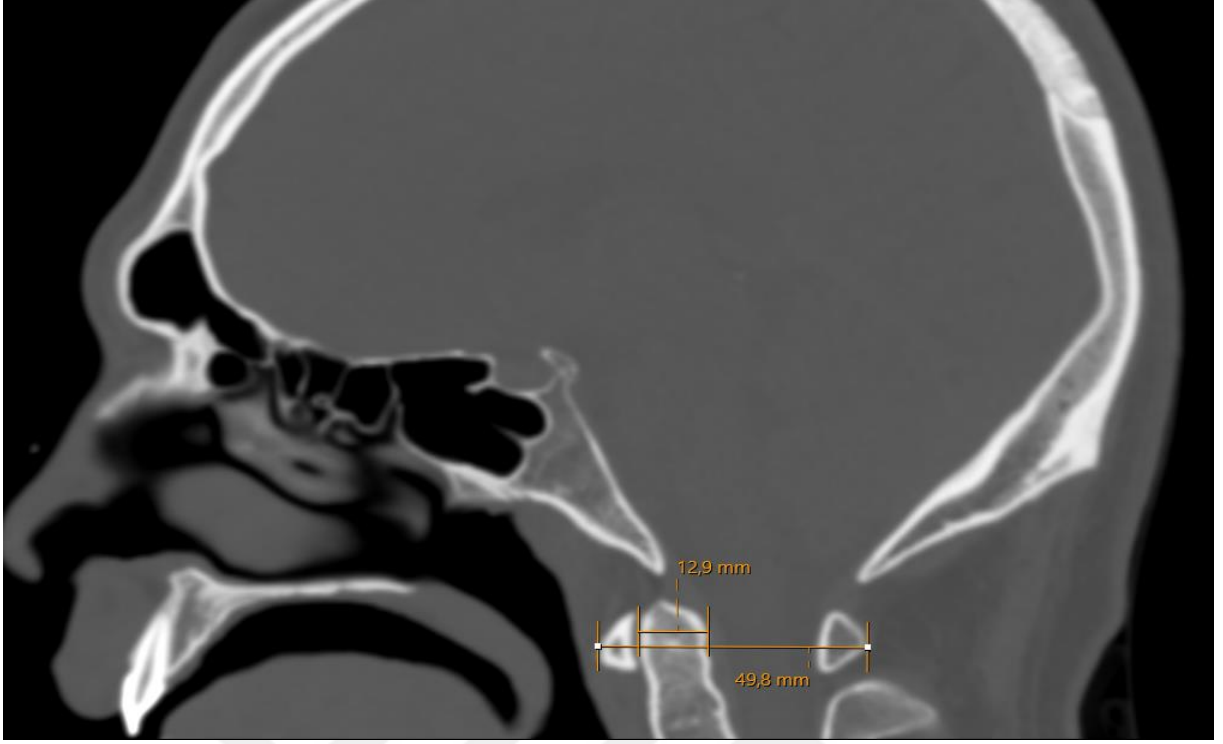
Şekil 3. Aksiyal planda görüntü alanına giren bipariyetal (BP) dış (eksternal) ve bipariyetal (BP) iç (internal) maksimum mesafe ölçüm örneği, 18 yaş, kadın, 1 mm kesit kalınlığı, 215 mA, 100 kV, FoV: 235 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



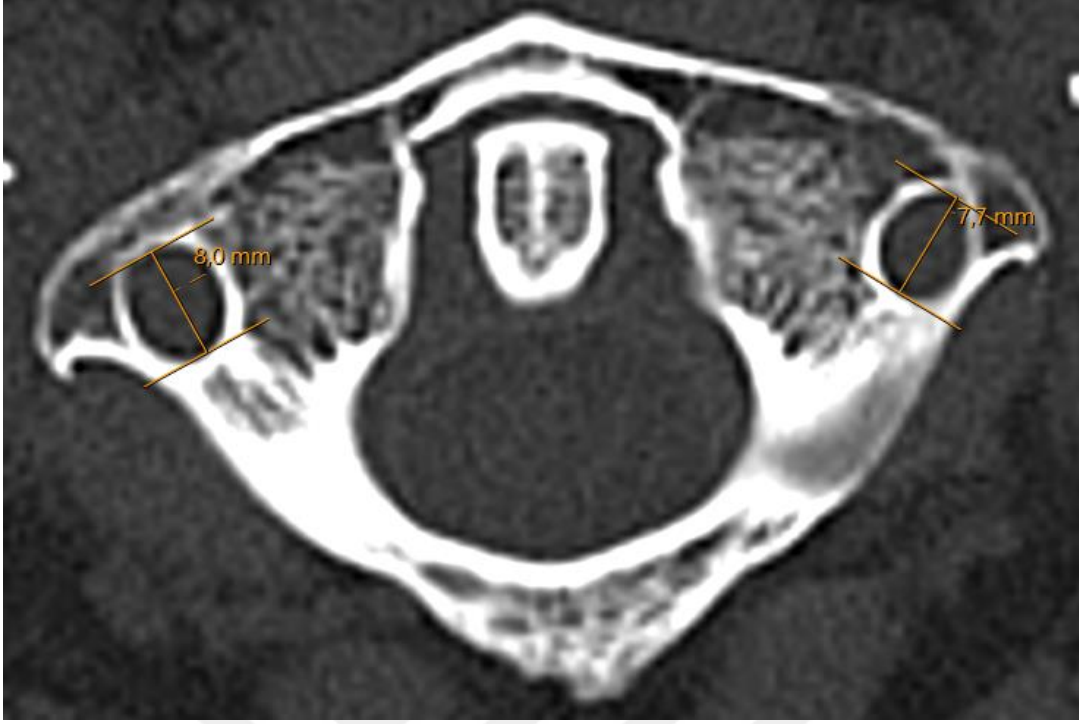
Şekil 4. Sagittal planda görüntü alanına giren sella turcica (AP) ön-arka maksimum mesafe ölçüm örneği, 25 yaş, erkek, 1 mm kesit kalınlığı, 242 mA, 100 kV, FoV: 248 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



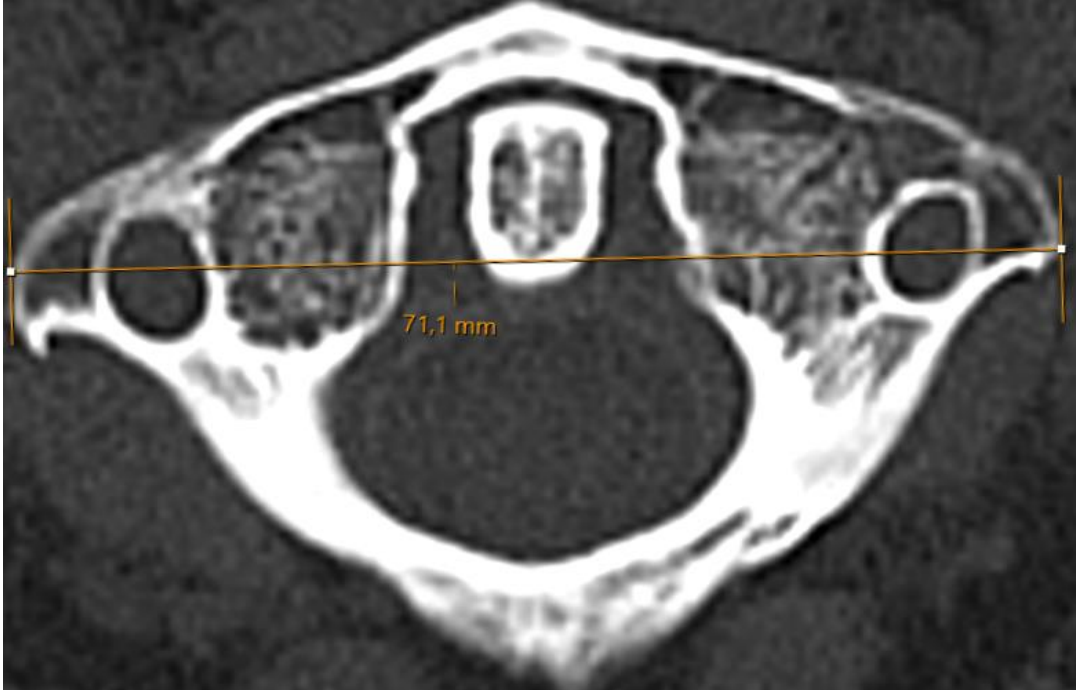
Şekil 5. Sagittal planda görüntü alanına giren foramen magnum (AP) ön-arka ve atlas internal (foramen vertebrae) ön-arka (AP) maksimum mesafe ölçüm örneği, 25 yaş, erkek, 1 mm kesit kalınlığı, 242 mA, 100 kV, FoV: 248 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



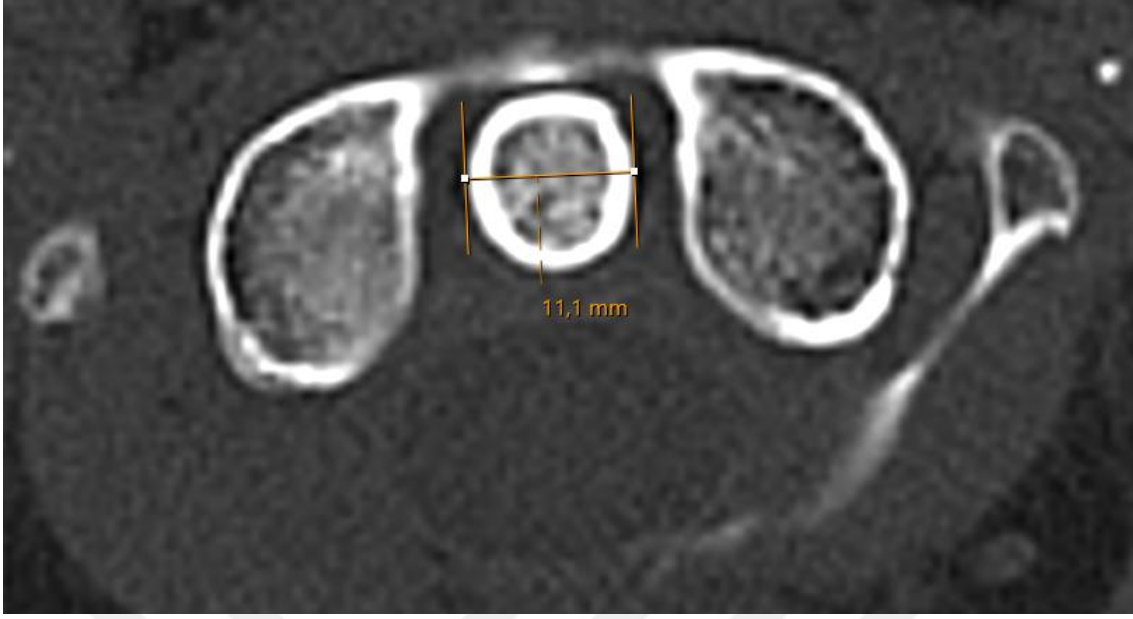
Şekil 6. Sagittal planda görüntü alanına giren atlas (dış) eksternal ön-arka (AP) ve atlas içerisinde bulunan dens axis ön-arka (AP) maksimum mesafe ölçüm örneği, 25 yaş, erkek, 1 mm kesit kalınlığı, 242 mA, 100 kV, FoV: 248 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



Şekil 7. Aksiyal planda görüntü alanına giren atlas sağ ve sol foramen transversarium çaplarının maksimum ölçüm örneği, 23 yaş, kadın, 1 mm kesit kalınlığı, 209 mA, 100 kV, FoV: 286 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



Şekil 8. Aksiyal planda görüntü alanına giren atlas processus transversuslar arası (transvers) maksimum mesafe örneği, 23 yaş, kadın, 1 mm kesit kalınlığı, 209 mA, 100 kV, FoV: 286 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



Şekil 9. Aksiyal planda görüntü alanına giren atlas içerisinde bulunan dens axis sağ-sol (transvers) maksimum mesafe örneği, 23 yaş, kadın, 1 mm kesit kalınlığı, 209 mA, 100 kV, FoV: 286 mm, t: 1000 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Tüm istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM Comp., Armonk, ABD) (Lisans no: 10240642) ve R yazılım dili (R Core Team, 2024) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. R tabanlı analizlerde RStudio, 2025.05.1 Build 513 (Posit Software, Boston, ABD) arayüzü tercih edilmiştir. SPSS ile temel tanımlayıcı istatistikler, dağılım testleri, parametrik ve nonparametrik karşılaştırmalar yapılırken; ileri düzey modelleme ve makine öğrenimi analizleri için R dili kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerde Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı'ndan destek alınmıştır. Çalışmaya dahil edilen 822 kafa içi bilgisayarlı tomografi görüntüsü içerisinde rasgele seçilen 50 görüntü, kafa içi görüntülemelerde klinik deneyime sahip bir radyoloji uzmanı ile çalışmacı tarafından ayrı ayrı ölçülmüş, ayrıca rasgele seçilen farklı 50 görüntü, çalışmacı tarafından yaklaşık bir ay sonra aynı program kullanılarak yeniden ölçülmüştür. Sonuçlar, gözlemci içi (inter observer) ve gözlemciler arası (intra observer) ölçüm güvenilirliği, Intraclass Correlation Coefficient (ICC) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Her iki gözlem türü için de iki yönlü karışık model (two-way mixed model 3,1) kullanılmış ve tutarlılık (consistency) esas alınmıştır. ICC değeri ile birlikte %95 güven aralığı, F istatistiği ve anlamlılık düzeyi (p) raporlanmıştır. ICC değerleri 0 ile 1

arasında yorumlanmış; 0,75 ve üzeri değerler iyi uyum, 0,90 ve üzeri değerler ise mükemmel uyum olarak kabul edilmiştir (72).

822 kişiye ait kategorik değişkenler sayı ve yüzde ile özetlenmiştir. Sayısal değişkenler; 13'ü doğrudan ölçüm, 17'si oransal ve ikisi asimetrik aritmetik hesaplama olmak üzere toplam 32 parametre olup, bu değişkenlerin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri cinsiyetlere göre hesaplanmıştır. Tüm ölçümlerde $\pm 5\%$ 'lik sapmalar teknik hata payı içinde değerlendirilmiştir.

Cinsiyete göre sayısal değişkenlerin dağılımı Kolmogorov-Smirnov testi, çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) istatistikleri ile değerlendirilmiştir. Cinsiyet değişkeni için sadece iki grup (kadın ve erkek) bulunduğu için, gruplar arası farkın değerlendirilmesinde normal dağılmayan değişkenlerde Mann-Whitney U testi doğrudan karşılaştırma amacıyla ana test olarak kullanılmıştır. Normal dağılım gösteren değişkenlerde bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

Cinsiyet tespiti amacıyla anlamlı bulunan 24 parametre kullanılarak PLS-DA ve lojistik regresyon modelleri oluşturulmuştur. Modelleme öncesinde veri setine bazı ön işleme adımları uygulanmıştır. Bu işlemler sırasıyla: düşük varyans gösteren değişkenlerin elenmesi (nzv), yüksek korelasyonlu değişkenlerin çıkarılması (corr), verilerin normalize edilmesi (YeoJohnson), merkezlenmesi ve ölçeklenmesi (center, scale), eksik değerlerin k-en yakın komşuluk yöntemiyle tamamlanmasıdır (knnImpute). Model performansı, veri setinin %75'i eğitim, %25'i test olarak ayrılarak değerlendirilmiş; ardından 5 ve 10 katlı çapraz doğrulama (5 fold CV ve 10 fold CV) yöntemleriyle desteklenmiştir. Her bir modelin değerlendirilmesinde, veri seti öncelikle cinsiyete göre dengeli (stratified) bir şekilde %75 eğitim ve %25 test olacak biçimde rastgele bölünmüştür. Tüm model test analizlerinde "set.seed(123)" komutu kullanılmıştır. 5 katlı ve 10 katlı çapraz doğrulama (cross-validation) yöntemleriyle, sonuçların tekrarlanabilirliğini sağlamak ve rasgeleliliği en aza indirmek amacıyla, tüm veri seti üzerinden performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Modellerin başarısı doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), F1 skoru, duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity) ve ROC-AUC gibi ölçütlerle değerlendirilmiş, PLS-DA modelindeki değişkenlerin önemi VIP skorlarıyla yorumlanmıştır. PLS-DA modelini daha pratik ve uygulanabilir hale getirmek amacıyla, en yüksek VIP skorlarına sahip üç parametre seçilerek alt PLS-DA modeli geliştirilmiş ve doğrudan hesaplama uygun aritmetik denklemi oluşturulmuştur. Eşik değeri Youden's J indeksi ile belirlenmiştir. Alt PLS-DA modeli, veri seti öncelikle %75'i eğitim, %25'i test olarak cinsiyete göre dengeli (stratified) bir şekilde ayrılarak analiz edilmiş, sonrasında "set.seed(123)" komutu kullanılarak 5 katlı ve 10 katlı

çapraz doğrulama testleriyle tüm veri seti üzerinden değerlendirilmiştir. ROC eğrileri çizilmiş, sınıflandırma matrisleri ve raporları oluşturulmuştur. Model sınıflandırma metrikleri (precision, recall, F1-score, accuracy) ile değerlendirilmiştir. Aynı üç parametreyle klasik DFA modeli geliştirilmiş ve benzer şekilde model sınıflandırma metrikleri (precision, recall, F1-score, accuracy) ile değerlendirilmiştir.

Yaş tespiti için aynı 32 parametre öncelikle 18-19 (18 yıl 0 ay 1 gün ile 19 yıl 11 ay 29 gün), 20-21, 22-23 ve 24-25 yaş (24 yıl 0 ay 1 gün ile 25 yıl 11 ay 29 gün) olmak üzere dört alt yaş grubuna ayrılarak değerlendirilmiştir. Yaş gruplarında sayısal değişkenlerin normal dağılıma uyumu Shapiro-Wilk testi, çarpıklık ve basıklık istatistikleri ile kontrol edilmiştir. Grup içi örneklem sayılarının görece az olması nedeniyle, normal dağılım varsayımının değerlendirilmesinde daha hassas sonuçlar sağlayan Shapiro-Wilk testi tercih edilmiştir. Normal dağılım gösteren değişkenlerde grup karşılaştırmaları için One Way ANOVA (tek yönlü varyans analizi), göstermeyenlerde Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır. Yaş değişkeni dört farklı yaş grubuna ayrıldığından, önce Kruskal-Wallis testi ile genel grup farkı değerlendirilmiş, ardından anlamlı bulunan parametreler için ikili grup karşılaştırmalarında post hoc analiz olarak Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. One Way ANOVA ile anlamlı bulunan parametrelerde ise Tukey HSD testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Post hoc analizler sonucunda tüm alt gruplarda istatistiksel olarak anlamlı fark gösteren herhangi bir parametre tespit edilememesi nedeniyle sınıflandırma modeli geliştirilememiştir.

One-Way ANOVA ve Kruskal-Wallis testi sonucunda anlamlı olarak değerlendirilen parametreler Pearson ve Spearman Korelasyon testlerine sokulmuştur. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Test sonuçlarında anlamlı olarak tespit edilen parametrelerin korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Korelasyon katsayıları belirlenen parametreler sürekli yaş tespiti amacıyla PLS regresyon analizine alınmıştır. Yaşlar, gün ay yıl şeklinde kaydedilmiş ve analizlerde ondalık birim şeklinde kullanılmıştır. Yaş tespiti amacıyla oluşturulan ana PLS regresyon modeline göre korelasyon katsayılarına göre yapılan değerlendirmeye en güçlü üç parametre ile yeni bir alt PLS regresyon modeli geliştirilmiştir. Modellerin geliştirilmesinden önceki veri işleme aşamasında; varyansı düşük ve yüksek korelasyonlu değişkenler elenmiş, veriler normalize edilip merkezlenmiş, eksik veriler ise k-en yakın komşu yöntemiyle tamamlanmıştır (preProcess: 'nzv', 'corr', 'YeoJohnson', 'center', 'scale', 'knnImpute'). Model regresyon metrikleri (R^2 , RMSEP, MAE, medyan mutlak hata, bias, varyans skoru) ile değerlendirilmiştir.

Çalışmanın hipotezleri:

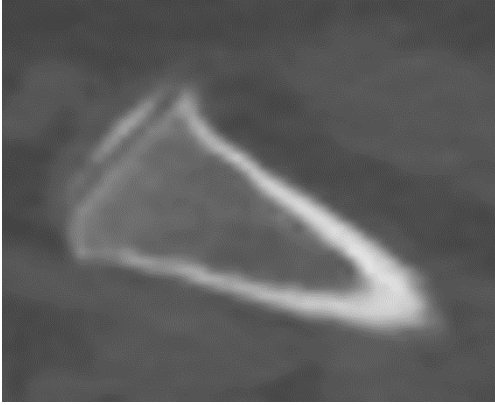
H1: Kafa içi radyografik biyometrik ölçümler ile 18-25 yaş aralığındaki bireylerin yaşı tespit edilebilir.

H2: Kafa içi radyografik biyometrik ölçümler ile 18-25 yaş aralığındaki bireylerin cinsiyeti tespit edilebilir.



BULGULAR

Sistemde bulunan ve çalışmada kullanılan görüntülere ait yaşların doğru kabul edilmesine yönelik 108 adet 0,5-1,25 mm kesit kalınlığında elde edilmiş toraks BT görüntüsü aksiyal planda, klavikula medial ossifikasyon dereceleri bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmacı ile radyoloji uzmanının birlikte incelediği görüntülerde, evre 1 ile uyumlu olarak değerlendirilen herhangi bir görüntü saptanmamıştır.



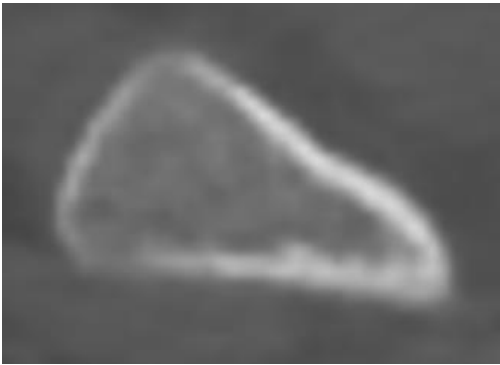
Şekil 10. Evre 2 olarak değerlendirilen görüntü. 18 yaş, kadın, 0,625 mm kesit kalınlığı, 280 mA, 120 kV, FoV: 435 mm, t: 500 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



Şekil 11. Evre 3 olarak değerlendirilen görüntü, 20 yaş, erkek, 1 mm kesit kalınlığı, 657 mA, 120 kV, FoV: 392 mm, t: 500 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



Şekil 12. Evre 4 olarak değerlendirilen görüntü, 21 yaş, kadın, 0,625 mm kesik kalınlığı, 268 mA, 120 kV, FoV: 362 mm, t: 500 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)



Şekil 13. Evre 5 olarak değerlendirilen görüntü, 25 yaş, kadın, 0,625 mm kesit kalınlığı, 400 mA, 120 kV, FoV: 500 mm, t: 600 ms (Görüntü, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi PACS arşivinden temin edilmiştir.)

Literatürde yer edinmiş, Kellinghaus ve ark. (43) tarafından yapılmış, klavikular medial ossifikasyon derece sınıflamasının temel alındığı referans bir çalışmada sunulan veriler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Kellinghaus ve ark. tarafından (43) yapılmış, klavikular medial ossifikasyon derece sınıflamasının temel alındığı referans çalışma sonuçları ile çalışmamızın sonuçlarının karşılaştırılması

	Görüntü Sayısı	Yaş Aralığı (yıl)	Kesit Kalınlığı (mm)	Evre 2 (yıl)	Evre 3 (yıl)	Evre 4 (yıl)	Evre 5 (yıl)
Referans Çalışma	592	10-35	0,6-1,5	13-20	16-26	21-35	26-35
Çalışmamız	108	18-25	0,5-1,25	18-20	18-24	21-25	22-25

mm: milimetre

Referans çalışma sonuçları ile tarafımızca değerlendirilen görüntüler karşılaştırıldığında, çalışmamızdaki 108 görüntüden 105'inin (%97.22) klavikular medial ossifikasyon dereceleri ile sistemde kayıtlı kronolojik yaşlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur. Her iki çalışma sonuçları arasında yüksek uyum (%97,22) saptanması üzerine, çalışmaya dâhil edilen bireylerin sistemde kayıtlı yaşları doğru kabul edilerek hedef ölçümlere geçilmiştir.

Tablo 5. Klavikular medial ossifikasyon evrelemesine göre yapılan yaş ve cinsiyete yönelik uyum analizi

Yaş	Cinsiyet	Toplam	Uyumlu Sayısı	Yüzde (%)
18	E	6	6	100
	K	3	3	100
19	E	7	7	100
	K	5	5	100
20	E	12	12	100
	K	8	8	100
21	E	7	7	100
	K	5	5	100
22	E	15	15	100
	K	6	5	83,33
23	E	10	10	100
	K	6	6	100
24	E	7	7	100
	K	1	1	100
25	E	7	6	85,71
	K	3	2	66,67

Genel Uyum Oranı: 105/108 = %97.22 (K: Kadın, E: Erkek)

Çalışmacı farklı zamanlarda kendi içinde (intra observer) ve intrakraniyal görüntülemelerin incelenmesi konusunda klinik deneyime sahip bir radyoloji uzmanı (inter observer) eşliğinde 50 görüntü değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 6 ve Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 6. Çalışmacı tarafından farklı zamanlarda gerçekleştirilen 50 ölçümün Intraclass Correlation Coefficient (ICC) değerlendirme sonuçları (intra observer)

Ölçüm Adı	ICC(3,1)	95% CI	F (df1, df2) / p*
Kranial AP Uzunluk (Dış)	0,999	0,998-0,999	F=1727,39 (49,50), p< 0,001
Kranial BP Uzunluk (Dış)	0,998	0,998-0,999	F=1319,42 (49,50), p< 0,001
Kranial AP Uzunluk (İç)	0,999	0,998-0,999	F=1618,34 (49,50), p< 0,001
Kranial BP Uzunluk (İç)	0,998	0,997-0,999	F=870,38 (49,50), p< 0,001
Sella Turcica AP Uzunluk	0,985	0,980-0,991	F=135,26 (49,50), p< 0,001
Foramen Magnum AP Uzunluk	0,997	0,995-0,998	F=581,81 (49,50), p< 0,001
Atlas AP Uzunluk (Dış)	0,999	0,998-0,999	F=1352,46 (49,50), p< 0,001
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	0,997	0,996-0,998	F=787,30 (49,50), p< 0,001
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	0,991	0,987-0,994	F=214,58 (49,50), p<0,001
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	0,987	0,981-0,992	F=148,02 (49,50), p< 0,001
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	0,998	0,997-0,999	F=1011,76 (49,50), p< 0,001
Dens Axis AP Uzunluk	0,993	0,990-0,996	F=274,39 (49,50), p< 0,001
Dens Axis Transvers Uzunluk	0,990	0,987-0,994	F=208,60 (49,50), p< 0,001

*p<0,05, **ICC**: Intraclass Correlation Coefficient (Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı)

%95 CI: %95 Confidence Interval (%95 Güven Aralığı)

df1: Degrees of freedom 1 (Serbestlik derecesi 1)

df2: Degrees of freedom 2 (Serbestlik derecesi 2)

F: F istatistiği (Model varyansının hata varyansına oranı)

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Biparietal (Bir parietal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Tablo 7. Çalışmacı ile radyoloji uzmanı tarafından gerçekleştirilen bağımsız 50 ölçümün Intraclass Correlation Coefficient (ICC) değerlendirme sonuçları (inter observer)

Ölçüm Adı	ICC(3,1)	95% CI	F (df1, df2) / p*
Kranial AP Uzunluk (Dış)	0,999	0,999-0,999	F=2217,47 (49,50), p< 0,001
Kranial BP Uzunluk (Dış)	0,999	0,998-0,999	F=1356,70 (49,50), p< 0,001
Kranial AP Uzunluk (İç)	0,999	0,999-1,000	F=2930,04 (49,50), p< 0,001
Kranial BP Uzunluk (İç)	0,999	0,998-0,999	F=1512,12 (49,50), p< 0,001
Sella Turcica AP Uzunluk	0,992	0,989-0,995	F=250,51 (49,50), p< 0,001
Foramen Magnum AP Uzunluk	0,997	0,996-0,998	F=675,47 (49,50), p< 0,001
Atlas AP Uzunluk (Dış)	0,999	0,998-0,999	F=1419,99 (49,50), p< 0,001
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	0,996	0,994-0,997	F=446,03 (49,50), p< 0,001
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	0,984	0,978-0,990	F=125,94 (49,50), p< 0,001
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	0,989	0,984-0,993	F=176,48 (49,50), p< 0,001
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	0,999	0,999-1,000	F=3096,74 (49,50), p< 0,001
Dens Axis AP Uzunluk	0,992	0,989-0,995	F=259,07 (49,50), p< 0,001
Dens Axis Transvers Uzunluk	0,992	0,989-0,995	F=252,99 (49,50), p< 0,001

*p<0,05, **ICC**: Intraclass Correlation Coefficient (Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı)

%95 CI: %95 Confidence Interval (%95 Güven Aralığı)

df1: Degrees of freedom 1 (Serbestlik derecesi 1)

df2: Degrees of freedom 2 (Serbestlik derecesi 2)

F: F istatistiği (Model varyansının hata varyansına oranı)

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Hem gözlemciler arası hem de gözlemci içi ICC değerlerinin 0,90'ın üzerinde olması nedeniyle çalışmacı ile radyoloji uzmanı ve çalışmacının kendi ölçümleri arasında mükemmel uyum olduğu saptanmıştır. Tüm ölçümler manuel olarak gerçekleştirildiğinden, ölçüm hatalarının tamamen ortadan kaldırılamayacağı öngörülmüş ve her bir ölçüm için yaklaşık $\pm\%5$ oranında teknik hata payı olabileceği kabul edilmiştir.

Örneklemede, 431 erkek ve 391 kadın olmak üzere toplam 822 birey yer almaktadır. Yaş gruplarına göre incelendiğinde; 18 yaş grubunda 82 birey, 19 yaş grubunda 123 birey, 20 yaş grubunda 134 birey, 21 yaş grubunda 111 birey, 22 yaş grubunda 114 birey, 23 yaş grubunda

107 birey 24 yaş grubunda 84 birey, 25 yaş grubunda 67 birey bulunmaktadır. Dağılımlar Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Çalışmaya dâhil edilen bireylere ait sistemde kayıtlı doğum tarihleri ile görüntüleme tarihleri arasındaki farka göre belirlenmiş verilerin yaş gruplarına göre dağılımları

Yaş Grubu	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek (%)	Kadın (%)
18-19	93	112	205	%45,4	%54,6
20-21	131	114	245	%53,5	%46,5
22-23	114	107	221	%51,6	%48,4
24-25	93	58	151	%61,6	%38,4
Toplam	431	391	822	%52,4	%47,6

Belirlenmiş kraniyal morfometrik parametrelere ilişkin ölçüm ve oranlamalar cinsiyetlere göre ayrılarak temel tanımlayıcı istatistikler belirlenmiş ve Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. Ölçümlerin cinsiyete göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Kadın Ortalama (mm)	Erkek Ortalama (mm)	Kadın Standart Sapma	Erkek Standart Sapma	Kadın Minimum Değer (mm)	Erkek Minimum Değer (mm)	Kadın Maksimum Değer (mm)	Erkek Maksimum Değer (mm)
Kranial AP Uzunluk (Dış)	173,01	178,72	7,17	7,78	152,2	155,5	195,1	198,9
Kranial BP Uzunluk (Dış)	140,73	145,96	5,34	5,97	124,6	129,2	158,5	165,0
Kranial AP Uzunluk (İç)	160,03	165,55	7,0	7,78	141,2	139,1	178,7	187,7
Kranial BP Uzunluk (İç)	132,45	137,48	5,24	5,98	116,3	119,2	148,6	159,1
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	6,49	6,59	1,43	1,44	3,2	2,55	9,9	9,95
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	4,14	4,24	1,01	0,98	2,15	2,3	8,6	8,65
Sella Turcica AP Uzunluk	10,52	10,65	1,05	1,09	7,5	7,3	13,8	13,9
Foramen Magnum AP Uzunluk	35,12	36,77	2,42	2,51	23,9	30,5	43,1	44,9
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	4,57	4,52	0,32	0,33	3,8	3,63	6,55	5,5
Atlas AP Uzunluk (Dış)	43,46	47,26	2,82	3,0	35,4	39,8	54,4	56,2
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	31,36	33,69	2,1	2,37	22,3	27,3	38,6	42,2
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	7,37	7,85	0,72	0,83	5,0	5,4	9,6	10,4
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	7,33	7,82	0,78	0,82	5,1	5,8	10,2	11,7
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	74,11	81,66	4,07	4,58	65,7	67,3	89,2	95,5
Dens Axis AP Uzunluk	11,45	12,5	0,87	0,92	9,2	9,9	14,6	15,5
Dens Axis Transvers Uzunluk	10,53	11,19	0,88	1,01	7,1	8,4	13,6	14,5
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	3,81	3,8	0,31	0,3	3,06	3,03	5,08	4,83
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	7,07	7,34	0,58	0,63	5,61	5,84	10,03	9,42
Kranial BP dış uzunluk ile Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk oranı	1,9	1,79	0,11	0,11	1,59	1,5	2,26	2,08
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	4,0	3,79	0,28	0,25	3,31	3,04	4,77	4,5

Tablo 9. (devamı) Ölçümlerin cinsiyete göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Kadın Ortalama (mm)	Erkek Ortalama (mm)	Kadın Standart Sapma	Erkek Standart Sapma	Kadın Minimum Değer (mm)	Erkek Minimum Değer (mm)	Kadın Maksimum Değer (mm)	Erkek Maksimum Değer (mm)
Kranial AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	15,19	14,37	1,21	1,11	11,99	11,12	18,3	18,77
Kranial BP dış uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	13,45	13,15	1,14	1,24	10,38	10,14	19,66	17,21
Dens axis AP uzunluk oranı ile Sella turcica AP uzunluk oranı	1,1	1,18	0,13	0,14	0,75	0,83	1,5	1,68
Foramen magnum AP uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	3,37	3,48	0,36	0,4	2,49	2,65	4,49	5,17
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	16,6	16,94	1,65	1,71	12,66	12,72	22,35	22,21
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	15,35	15,69	1,54	1,61	11,47	11,31	20,73	20,84
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	4,17	4,48	0,45	0,49	3,14	3,37	5,46	6,23
Atlas AP iç (foramen vertebrae) uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	3,01	3,19	0,32	0,36	2,17	2,4	4,06	4,73
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	1,23	1,23	0,06	0,06	1,06	1,07	1,4	1,4
Kranial AP iç uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	1,21	1,21	0,06	0,06	1,05	1,04	1,4	1,39
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	1,08	1,08	0,02	0,02	1,04	1,03	1,13	1,12
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	1,06	1,06	0,02	0,02	1,03	1,03	1,13	1,12

mm: milimetre

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Her bir morfometrik parametrenin normal dağılıma uyup uymadığı Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri de destekleyici olarak analize eklenmiştir. Sonuç olarak skewness ve kurtosis değerleri ± 1 aralığında olsa da Kolmogorov-Smirnov testinde $p < 0,05$ bulunması nedeniyle dağılım istatistiksel olarak normal dağılmıyor olarak kabul edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10. Parametrelerin Kolmogorov-Smirnov testi dağılım analizi sonuçları

Parametre	Kadın			Erkek		
	p*	çarpıklık	basıklık	p*	çarpıklık	basıklık
Kranial AP Uzunluk (Dış)	0,9999	0,01	-0,06	0,1956	-0,3	0,1
Kranial BP Uzunluk (Dış)	0,855	0,09	0,2	0,9862	0,03	0,16
Kranial AP Uzunluk (İç)	0,9583	-0,06	-0,32	0,0511	-0,4	0,36
Kranial BP Uzunluk (İç)	0,6322	-0,05	0,09	0,6269	-0,05	0,51
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	0,3539	0,18	-0,63	0,5064	0,12	-0,56
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	0,0004	0,87	1,06	0,0963	0,72	0,91
Sella Turcica AP Uzunluk	0,2084	0,25	0,14	0,1539	0,15	-0,28
Foramen Magnum AP Uzunluk	0,2942	-0,03	1,17	0,6947	0,24	-0,07
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	0,7235	0,75	3,25	0,1981	0,2	-0,1
Atlas AP Uzunluk (Dış)	0,3067	0,26	0,4	0,4784	0,17	-0,2
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	0,081	0,11	1,2	0,1136	0,37	-0,13
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	0,3443	0,12	0,23	0,1005	0,22	0,4
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	0,1781	0,39	0,48	0,0772	0,5	1,19
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	0,3607	0,44	0,31	0,798	0,05	0,08
Dens Axis AP Uzunluk	0,0427	0,43	0,17	0,5118	0,16	0,29
Dens Axis Transvers Uzunluk	0,0278	0,27	0,69	0,3257	0,19	-0,1
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	0,1052	0,5	0,45	0,7262	0,3	0,16
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	0,7854	0,6	1,75	0,2588	0,43	0,1
Kranial BP dış uzunluk ile Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk oranı	0,48	0,16	-0,19	0,881	0,12	-0,15
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	0,2999	0,24	-0,27	0,568	-0,03	-0,39
Kranial AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	0,414	0,03	-0,35	0,995	-0,01	0,29
Kranial BP dış uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	0,7192	0,47	1,77	0,716	0,27	0,09
Dens axis AP uzunluk oranı ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,3168	0,35	0,07	0,5712	0,42	0,23
Foramen magnum AP uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,9607	0,17	-0,11	0,407	0,61	0,82
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,6079	0,28	0,31	0,6077	0,25	-0,11
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,7976	0,27	0,24	0,8058	0,25	-0,09
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,2866	0,31	-0,17	0,7852	0,37	0,1
Atlas AP iç (foramen vertebrae) uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,751	0,23	-0,08	0,3351	0,59	0,7
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	0,3654	0,14	-0,28	0,7223	0,02	-0,44
Kranial AP iç uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	0,7634	0,21	-0,18	0,6647	0,06	-0,15
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	0,5101	0,28	-0,43	0,3991	0,22	-0,57
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	0,0013	0,85	0,76	0,1971	0,78	0,98

*p<0,05, Kolmogorov-Smirnov.

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Her bir morfometrik parametrenin cinsiyet değişkenine göre istatistiksel olarak anlamlı fark gösterip göstermediği analiz edilmiştir. Her iki grup (kadın ve erkek) için normal dağılım gösterip göstermediğine göre uygun istatistiksel test seçilmiştir. Eğer her iki grup için de dağılım normal ise parametrik yöntem olan bağımsız örneklem t-testi uygulanmış, dağılım normal değil ise nonparametrik Mann-Whitney U testi tercih edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir. Kullanılan testler ve p değerleri Tablo 11’de sunulmuştur.



Tablo 11. Parametrelerin cinsiyet tespitinde istatistiksel açıdan anlamlılık değeri değerlendirilmesi

Parametre	Kullanılan Test	p*
Kranial AP Uzunluk (Dış)	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial BP Uzunluk (Dış)	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP Uzunluk (İç)	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial BP Uzunluk (İç)	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değeri farkının yarısı	Bağımsız örneklem t-testi	0,3458
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değeri farkının yarısı	Mann-Whitney U testi	0,0712
Sella Turcica AP Uzunluk	Bağımsız örneklem t-testi	0,072
Foramen Magnum AP Uzunluk	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,0152
Atlas AP Uzunluk (Dış)	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Dens Axis AP Uzunluk	Mann-Whitney U testi	< 0,001
Dens Axis Transvers Uzunluk	Mann-Whitney U testi	< 0,001
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,5009
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial BP dış uzunluk ile Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial BP dış uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,0003
Dens axis AP uzunluk oranı ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Foramen magnum AP uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,0042
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,0024
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Atlas AP iç (foramen vertebrae) uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	< 0,001
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,2702
Kranial AP iç uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,3691
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	Bağımsız örneklem t-testi	0,2516
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	Mann-Whitney U testi	0,679

*p<0,05

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Cinsiyet tespiti amacıyla istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilen 24 morfometrik parametre kullanılarak lojistik regresyon ve PLS-DA (Partial Least Squares Discriminant Analysis) modelleri geliştirilmiştir. Her bir model, veri setinin %75'i eğitim, %25'i test olacak şekilde cinsiyete göre dengeli (stratified) biçimde rastgele ayrılmasıyla oluşturulmuş ve analizlerin yeniden üretilebilirliğini sağlamak ve rasgeleliğe bağlı varyasyonu en aza indirmek amacıyla tüm örneklem seçimlerinde “set.seed(123)” komutu kullanılmıştır.

Modeller ilk olarak yalnızca test verisi üzerinde değerlendirilmiştir. Başarı ölçütleri olarak kesinlik (precision), doğruluk (accuracy), F1 skoru, duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity) ve ROC AUC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) değerleri kullanılmıştır. Performans verileri Tablo 12’de yer almaktadır.

Tablo 12. Ana modellerin %75 eğitim-%25 test verisi ile performans verileri

Model	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Özgüllük	F1 Skoru	ROC AUC
PLS-DA	0,825	0,846	0,815	0,837	0,830	0,880
Lojistik Regresyon	0,825	0,840	0,824	0,827	0,832	0,877

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

PLS-DA: Partial Least Squares Discriminant Analysis (Kısmi En Küçük Kareler Ayrım Analizi)

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan)

Değer 1’e yaklaştıkça modelin ayırt ediciliği artmaktadır.

Ana modeller, 5 katlı ve 10 katlı çapraz doğrulama yöntemleriyle tüm veri seti üzerinden, analizlerin yeniden üretilebilirliğini sağlamak ve rastgeleliğe bağlı varyasyonu en aza indirmek amacıyla örneklem seçimlerinde “set.seed(123)” komutu kullanılarak test edilmiştir. Test sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 13 ve 14’te yer almaktadır.

Tablo 13. Ana modellerin 5 katlı çapraz doğrulama test sonuçlarının ortalama değerleri

Model	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Özgüllük	F1 Skoru	ROC AUC
PLS-DA	0,848	0,861	0,847	0,849	0,854	0,921
Lojistik Regresyon	0,850	0,855	0,861	0,839	0,858	0,920

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

PLS-DA: Partial Least Squares Discriminant Analysis (Kısmi En Küçük Kareler Ayrım Analizi)

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan)

ROC AUC değeri 1’e yaklaştıkça modelin ayırt ediciliği artmaktadır.

Tablo 14. Ana modellerin 10 katlı çapraz doğrulama test sonuçlarının ortalama değerleri

Model	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Özgüllük	F1 Skoru	ROC AUC
PLS-DA	0,841	0,854	0,840	0,841	0,847	0,921
Lojistik Regresyon	0,844	0,855	0,847	0,841	0,851	0,922

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

PLS-DA: Partial Least Squares Discriminant Analysis (Kısmi En Küçük Kareler Ayrım Analizi)

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan)

ROC AUC değeri 1'e yaklaştıkça modelin ayırt ediciliği artmaktadır.

Her iki modelin de benzer yüksek performans göstermesi yöntemin tutarlı ve güvenilir olduğuna işaret etmektedir.

Geliştirilen PLS-DA modeli üzerinden değişkenlerin VIP (Variable Importance in Projection) değerleri elde edilmiştir. Tablo 15'te VIP değerleri sunulmuştur.

Tablo 15. PLS-DA modelinde kullanılan parametrelerin VIP değerleri

Parametreler	VIP değerleri
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	1,742
Atlas AP Uzunluk (Dış)	1,507
Dens Axis Anteroposterior Uzunluk	1,332
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP mesafe)	1,232
Kranial BP Dış Uzunluk / Atlas Proc. Transversus Oranı	1,193
Kranial BP Uzunluk (Dış)	1,180
Kranial BP Uzunluk (İç)	1,147
Dens Axis AP Uzunluk / Sella Turcica AP Uzunluk Oranı	1,110
Kranial AP Dış Uzunluk / Atlas AP Dış Uzunluk Oranı	1,021
Kranial AP Uzunluk (Dış)	1,003
Kranial AP Uzunluk (İç)	0,999
Atlas AP İç Uzunluk / Sella Turcica Uzunluk Oranı	0,994
Dens Axis Transvers Uzunluk	0,962
Kranial AP Dış Uzunluk / Dens Axis AP Uzunluk Oranı	0,905
Foramen Magnum AP Uzunluk	0,880
Atlas Sağ Foramen Vertebra Çapı	0,850
Atlas Sol Foramen Vertebra Çapı	0,816
Atlas AP Dış Uzunluk / Sella Turcica AP Uzunluk Oranı	0,810
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk / Sella AP Oranı	0,653
Kranial AP İç Uzunluk / Foramen Magnum AP Uzunluk Oranı	0,623
Kranial BP Dış Uzunluk / Dens Axis Transvers Uzunluk Oranı	0,515
Kranial AP İç Uzunluk / Sella Turcica AP Uzunluk Oranı	0,387
Kranial AP Dış Uzunluk / Sella Turcica AP Uzunluk Oranı	0,373
Foramen Magnum AP Uzunluk / Sella Turcica AP Uzunluk Oranı	0,168

VIP>1, **VIP:** Variable Importance in Projection (Projeksiyondaki Değişken Önemi)

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Atlas processus transversuslar arası mesafe, atlas AP dış uzunluk ve dens axis AP uzunluk parametreleri, VIP değerlerine göre en önemli üç değişken olarak tespit edilmiştir.

İstatistiksel gürültünün azaltılıp, uygulanabilirliğin artırılması amacıyla, VIP sıralamasına göre en yüksek üç değere sahip bu parametreler seçilerek yeni bir alt PLS-DA modeli geliştirilmiştir.

Alt PLS-DA modelinden elde edilen denklem aşağıda sunulmuştur:

$$“Skor = -21,917 + 0,102 \times X_1 + 0,216 \times X_2 + 0,077 \times X_3”$$

X_1 = Atlas AP Dış Uzunluk (mm)

X_2 = Atlas Proc. Transversuslar Arası Mesafe (mm)

X_3 = Dens Axis AP Uzunluk (mm)

Modelde hesaplanan skor değerine göre cinsiyet sınıflandırması şu şekilde yapılmıştır:

Skor $\geq 0,46 \rightarrow$ Erkek

Skor $< 0,46 \rightarrow$ Kadın

Eşik değeri Youden’s J indeksi ile belirlendiğinde 0,463 olarak tespit edilmiş ancak kullanımda pratiklik amaçlanarak nötr karar noktası olan 0,46 eşiği tercih edilmiştir.

Veri seti “set.seed(123)” komutu kullanılarak, yalnızca cinsiyet değişkenine göre dengeli (stratified) olacak şekilde rastgele %75 eğitim ve %25 test olarak ikiye ayrılmıştır. Sonuçlar Tablo 16’da sunulmaktadır. Şekil 14’te ise alt PLS-DA modelinin ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi verilmiştir. Ayrıca Tablo 17’de, bu teste yönelik sınıflandırma raporu, Şekil 15’te ise sınıflandırma matrisi yer almaktadır.

Tablo 16. Alt PLS-DA modelinin %75 eğitim-% 25 test sonuçları

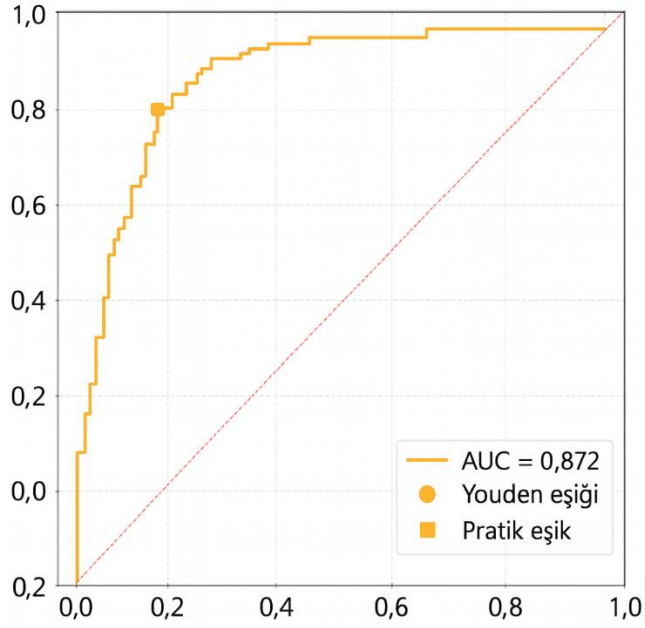
Model	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	F1 Skoru	ROC AUC
PLS-DA	82,5	84,6	83,0	81,4	83,6	0,872

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

PLS-DA: Partial Least Squares Discriminant Analysis (Kısmi En Küçük Kareler Ayrım Analizi)

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan)

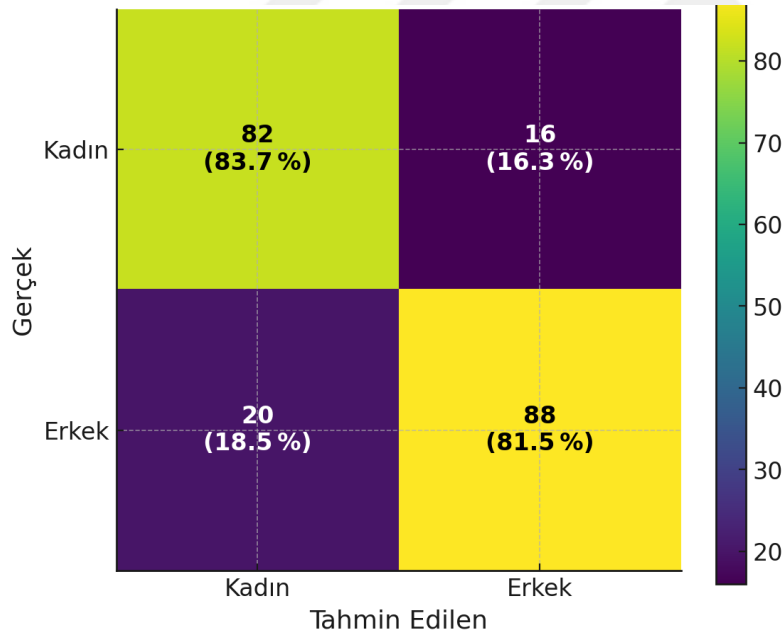
ROC AUC değeri 1’e yaklaştıkça modelin ayırt ediciliği artmaktadır.



ROC: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği)

AUC: Area Under the Curve (Eğri Altındaki Alan)

Şekil 14. Alt PLS-DA modelinin %75 eğitim-%25 test sonucu ROC eğrisi



Şekil 15. Alt PLS-DA modelinin %75 eğitim-%25 test sonucu sınıflandırma matrisi

Tablo 17. Alt PLS-DA modelinin %75 eğitim-%25 test sonucu sınıflandırma raporu

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Skoru	Destek
Kadın	0,804	0,837	0,820	98
Erkek	0,846	0,815	0,830	108
Makro Ortalama	0,825	0,826	0,825	206
Ağırlıklı Ortalama	0,826	0,825	0,825	206

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

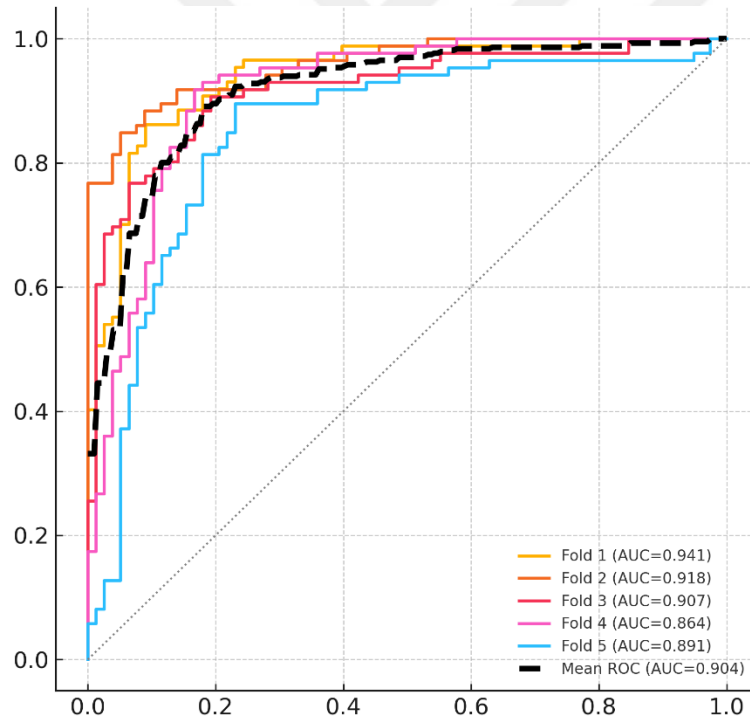
Alt PLS-DA modeli 5 katlı çapraz doğrulama testi ile edilmiştir. Test sonuçlarına Tablo 18’de yer verilmiştir. ROC eğrisi ise Şekil 16’da yer almaktadır.

Tablo 18. Alt PLS-DA modelinin 5 katlı çapraz doğrulama test sonuçları

Kat	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	F1 Skoru (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	ROC AUC
1	87,32	86,67	87,50	88,37	86,21	0,941
2	83,90	83,72	84,21	84,88	82,91	0,918
3	86,59	84,85	87,27	89,53	83,67	0,907
4	80,49	81,05	80,49	79,07	81,90	0,864
5	84,76	86,05	85,11	83,95	85,71	0,891
Ortalama	84,61	84,67	84,92	85,56	84,08	0,904
Standart Sapma	2,53	1,86	2,45	3,88	1,41	0,028

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan) ROC AUC değeri 1’e yaklaştıkça modelin ayırt ediciliği artmaktadır.



Fold: Kat

Mean: Ortalama

ROC: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği)

AUC: Area Under the Curve (Eğri Altındaki Alan)

Şekil 16. Alt PLS-DA modelinin 5 katlı çapraz doğrulama testi ROC eğrisi

Akabinde 10 katlı çapraz doğrulama testine geçilmiştir. Yapılan test ile ilgili sonuçlar Tablo 19’da yer almaktadır. ROC eğrisi ise Şekil 17’de yer almaktadır.

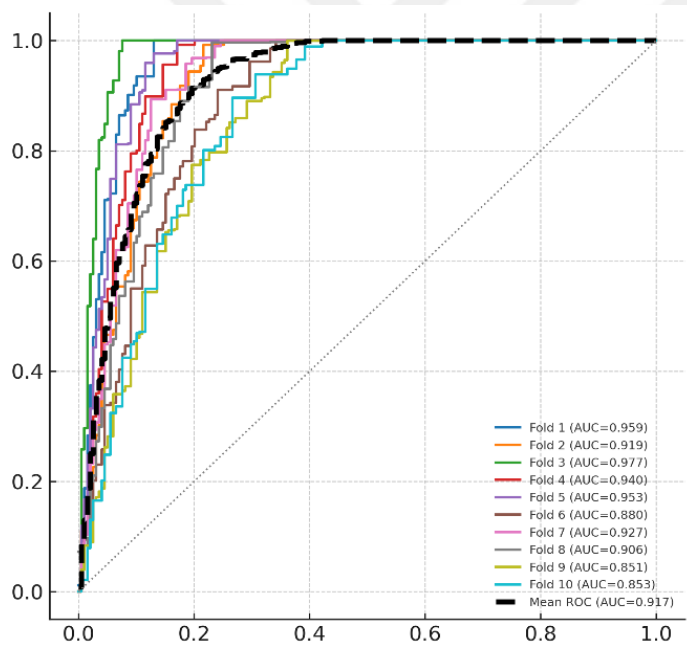
Tablo 19. Alt PLS-DA modelinin 10 katlı çapraz doğrulama test sonuçları

Kat	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	F1 Skoru (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	ROC AUC
1	89,16	87,23	90,11	93,18	84,62	0,959
2	81,93	83,33	82,35	81,40	82,50	0,919
3	92,68	93,02	93,02	93,02	92,31	0,977
4	84,15	81,25	85,71	90,70	76,92	0,940
5	90,24	88,89	90,91	93,02	87,18	0,953
6	80,49	80,00	81,82	83,72	76,92	0,880
7	85,37	86,05	86,05	86,05	84,62	0,927
8	86,59	83,33	87,91	93,02	79,49	0,906
9	79,27	78,26	80,90	83,72	74,36	0,851
10	84,15	87,50	84,34	81,40	87,18	0,853
Ortalama	85,40	84,89	86,31	87,92	82,61	0,917
Standart Sapma	4,33	4,49	4,12	5,13	5,64	0,040

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan)

ROC AUC değeri 1'e yaklaştıkça modelin ayırt ediciliği artmaktadır.



Fold: Kat

Mean: Ortalama

ROC: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği)

AUC: Area Under the Curve (Eğri Altındaki Alan)

Şekil 17. Alt PLS-DA modelinin 10 katlı çapraz doğrulama test ROC eğrisi

Literatürde yer alan sınıflandırma yöntemlerinde sıkça kullanılan DFA modeli de, alt PLS-DA modeliyle karşılaştırılması amacıyla, aynı üç parametre üzerinden benzer şekilde dengeli ayırım ve sabit tohumlama kullanılarak geliştirilmiştir. Modelin test sonuçları Tablo 20’de yer almaktadır. Tablo 21’de istatistiksel verileri, Tablo 22’de sınıflandırma raporu, Şekil 18’te ROC eğrisi ve Şekil 19’da sınıflandırma matrisi bulunmaktadır.

Üç parametrelı DFA modelinden elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$D = -40,727 + 0,210 \times X_1 + 0,309 \times X_2 + 0,606 \times X_3$$

X_1 = Atlas AP Dış Uzunluk (mm)

X_2 = Atlas Proc. Transversuslar Arası Mesafe (mm)

X_3 = Dens Axis AP Uzunluk (mm)

Modelde hesaplanan skor değerine göre cinsiyet sınıflandırması şu şekilde yapılmıştır:

Skor $\geq 0,418 \rightarrow$ Erkek

Skor $< 0,418 \rightarrow$ Kadın

Optimum Youden J indeksi 0,418 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 20. DFA modelinin %75 eğitim-% 25 test sonuçları

Model	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	zgllk (%)	F1 Skoru	ROC AUC
DFA	83,0	84,8	82,4	83,7	83,6	0,874

DFA: Discriminant Function Analysis (Diskriminant Fonksiyon Analizi)

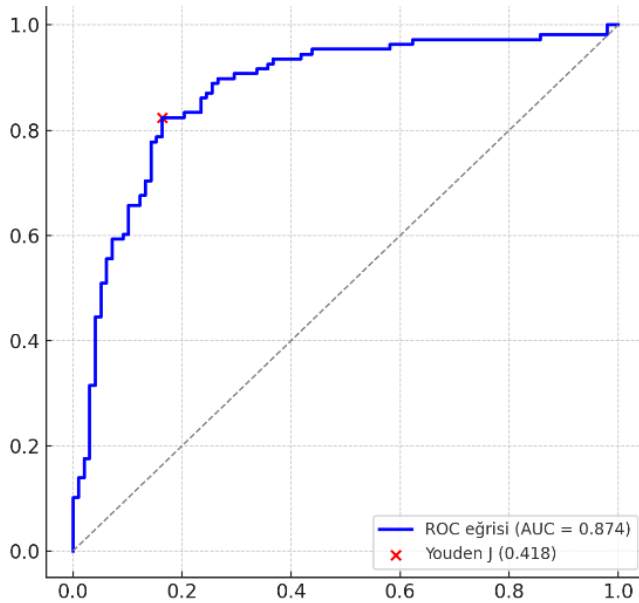
F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

ROC AUC: Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (Alıcı İşletim Karakteriştiği Eğrisi Altındaki Alan)

ROC AUC değeri 1'e yaklařtıķķa modelin ayırt ediciliği artmaktadır.

Tablo 21. DFA modeli istatistiksel verileri

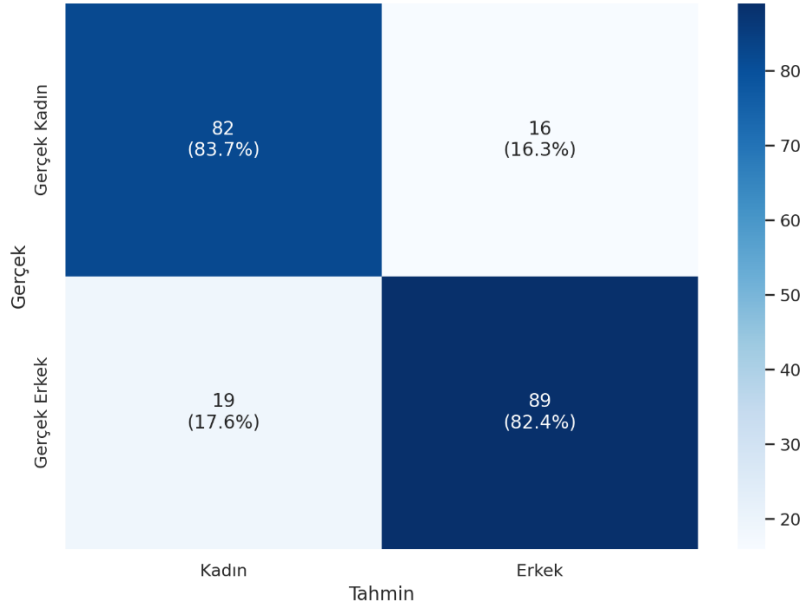
Kanonik Korelasyon	zdeğer	Wilks' Lambda	Grup Merkezi (Erkek)	Grup Merkezi (Kadın)
0,620	0,624	0,616	1,722	-1,816



ROC: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteriştiği)

AUC: Area Under the Curve (Eğri Altındaki Alan)

şekil 18. DFA modelinin %75 eğitim - %25 test sonucu ROC eğrisi



Şekil 19. DFA modelinin %75 eğitim-%25 test sonucu sınıflandırma matrisi

Tablo 22. DFA modelinin %75 eğitim-%25 test sonucu sınıflandırma raporu

Sınıf	Kesinlik (Precision)	Duyarlılık (Recall)	F1 Skoru	Destek (Support)
Kadın	0,812	0,837	0,824	98
Erkek	0,848	0,824	0,836	108
Makro Ortalama	0,830	0,830	0,830	206
Ağırlıklı Ortalama	0,832	0,830	0,830	206

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılığın Harmonik Ortalaması

Her iki modelin de benzer yüksek performans sergilemesi, yöntemin tutarlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir. DFA modeli yalnızca alt PLS-DA modeliyle karşılaştırılmak amacıyla geliştirilmiştir. İstatistiksel ileri test ve analizler alt PLS-DA modeli üzerinde yapılmıştır.

Cinsiyet tespitine yönelik istatistiksel analiz ve modelleme çalışmalarının tamamlanmasıyla yaş tespitine yönelik çalışmalara geçilmiştir. Analizler hem yaş grupları hem de gün ay yıl olarak sürekli yaş tayini şeklinde yapılmıştır. İlk olarak yaşlar 18-19, 20-21, 22-23 ve 24-25 olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Devamında genel tanımlayıcı istatistiksel (ortalama, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri) analizler yapılmıştır. Veriler Tablo 23'te sunulmuştur.

Tablo 23. Ölçümlerin yaş gruplarına göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Yaş Grupları	Birey sayısı	Ortalama (mm)	Standart Sapma	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Kranial AP Uzunluk (Dış)	18-19	205	175,314	7,6799	156,1	198,5
	20-21	245	176,581	7,8845	154,4	197,2
	22-23	221	176,007	8,4178	152,2	198,9
	24-25	151	176,005	8,0874	156,4	198,7
	Total	822	176,004	8,0179	152,2	198,9
Kranial BP Uzunluk (Dış)	18-19	205	142,168	5,8623	124,6	158,5
	20-21	245	143,760	6,1671	129,7	159,2
	22-23	221	144,170	6,2733	125,7	165,0
	24-25	151	143,748	6,6551	129,2	164,7
	Total	822	143,471	6,2510	124,6	165,0
Kranial AP Uzunluk (İç)	18-19	205	162,515	7,8595	142,4	181,5
	20-21	245	163,449	7,7842	141,8	181,8
	22-23	221	162,990	7,9629	141,2	184,5
	24-25	151	162,533	8,1249	139,1	187,7
	Total	822	162,925	7,9097	139,1	187,7
Kranial BP Uzunluk (İç)	18-19	205	133,992	5,8825	116,9	146,9
	20-21	245	135,36	6,1086	121,3	150,1
	22-23	221	135,775	5,9661	116,3	159,1
	24-25	151	135,126	6,7886	119,1	156,9
	Total	822	135,087	6,1722	116,3	159,1
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	18-19	205	6,3995	1,39038	3,60	9,90
	20-21	245	6,5659	1,43632	3,50	9,95
	22-23	221	6,5081	1,44407	3,25	9,90
	24-25	151	6,7358	1,46502	2,55	9,90
	Total	822	6,5401	1,43418	2,55	9,95
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	18-19	205	4,088	0,99952	2,25	7,60
	20-21	245	4,2004	0,95238	2,15	8,60
	22-23	221	4,1975	0,99775	2,40	8,65
	24-25	151	4,3113	1,04370	2,40	7,35
	Total	822	4,192	0,99445	2,15	8,65

Tablo 23. (devamı) Ölçümlerin yaş gruplarına göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Yaş Grupları	Birey sayısı	Ortalama (mm)	Standart Sapma	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Sella Turcica AP Uzunluk	18-19	205	10,456	1,0554	8,2	13,4
	20-21	245	10,501	1,0429	7,3	13,3
	22-23	221	10,638	1,0681	8,4	13,8
	24-25	151	10,834	1,1069	8,1	13,9
	Total	822	10,587	1,0714	7,3	13,9
Foramen Magnum AP Uzunluk	18-19	205	35,764	2,5393	23,9	42,6
	20-21	245	36,084	2,6401	28,3	44,9
	22-23	221	35,887	2,5208	28,3	43,4
	24-25	151	36,268	2,7102	31,0	43,1
	Total	822	35,985	2,5982	23,9	44,9
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	18-19	205	4,5626	0,34112	3,90	6,55
	20-21	245	4,549	0,33625	3,63	5,36
	22-23	221	4,5585	0,31798	3,75	5,79
	24-25	151	4,499	0,31156	3,74	5,29
	Total	822	4,5457	0,32843	3,63	6,55
Atlas AP Uzunluk (Dış)	18-19	205	44,707	3,3467	37,3	55,1
	20-21	245	45,537	3,5254	37,3	55,1
	22-23	221	45,859	3,4467	35,4	55,2
	24-25	151	45,735	3,5171	37,3	56,2
	Total	822	45,453	3,4814	35,4	56,2
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	18-19	205	32,301	2,307	26,7	40,3
	20-21	245	32,568	2,4075	27,1	39,7
	22-23	221	32,66	2,6146	22,3	42,2
	24-25	151	32,992	3,5094	25,6	58,7
	Total	822	32,604	2,6793	22,3	58,7
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	18-19	205	7,542	0,8556	5,4	10,4
	20-21	245	7,557	0,7475	5,0	10,4
	22-23	221	7,739	0,8435	5,7	10,3
	24-25	151	7,652	0,8081	5,5	9,9
	Total	822	7,62	0,8152	5,0	10,4
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	18-19	205	7,572	0,9139	5,1	11,7
	20-21	245	7,525	0,7632	5,8	10,7
	22-23	221	7,619	0,8499	5,6	10,1
	24-25	151	7,649	0,8207	5,6	10,4
	Total	822	7,585	0,8363	5,1	11,7

Tablo 23. (devamı) Ölçümlerin yaş gruplarına göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Yaş Grupları	Birey sayısı	Ortalama (mm)	Standart Sapma	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	18-19	205	77,171	5,3371	66,3	92,4
	20-21	245	78,349	6,0334	65,7	94,2
	22-23	221	78,234	5,745	66,1	95,5
	24-25	151	78,604	5,7695	66,8	94,2
	Total	822	78,071	5,7538	65,7	95,5
Dens Axis AP Uzunluk	18-19	205	11,89	1,002	9,3	15,2
	20-21	245	11,967	1,022	9,2	14,5
	22-23	221	12,06	1,059	9,7	15,5
	24-25	151	12,099	1,062	9,6	14,8
	Total	822	12,02	1,033	9,2	15,5
Dens Axis Transvers Uzunluk	18-19	205	10,687	1,0023	7,1	13,6
	20-21	245	10,838	1,0027	8,3	14,5
	22-23	221	10,974	0,9847	8,4	13,8
	24-25	151	11,044	1,0083	9,0	14,2
	Total	822	10,875	1,0056	7,1	14,5
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	18-19	205	3,7702	0,3002	3,09	4,76
	20-21	245	3,8203	0,3142	3,06	5,08
	22-23	221	3,8186	0,30967	3,03	4,83
	24-25	151	3,7942	0,28441	3,07	4,44
	Total	822	3,7989	0,32327	3,03	5,08
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	18-19	205	7,2662	0,68115	5,61	10,03
	20-21	245	7,2615	0,59255	5,91	9,42
	22-23	221	7,2634	0,60729	5,86	9,35
	24-25	151	7,153	0,6198	5,76	8,99
	Total	822	7,2194	0,62326	5,61	10,03
Kranial BP dış uzunluk ile Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk oranı	18-19	205	1,8479	0,10432	1,56	2,15
	20-21	245	1,841	0,12143	1,54	2,26
	22-23	221	1,8503	0,12681	1,5	2,2
	24-25	151	1,8365	0,13309	1,58	2,15
	Total	822	1,8412	0,12411	1,5	2,26
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	18-19	205	3,9393	0,29106	3,04	4,69
	20-21	245	3,8954	0,27896	3,11	4,61
	22-23	221	3,8549	0,28718	3,24	4,77
	24-25	151	3,8655	0,27915	3,17	4,66
	Total	822	3,89	0,28561	3,04	4,77

Tablo 23. (devamı) Ölçümlerin yaş gruplarına göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Yaş Grupları	Birey sayısı	Ortalama (mm)	Standart Sapma	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Kranial AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	18-19	205	14,8382	1,19117	11,99	17,88
	20-21	245	14,8438	1,21515	12,01	18,77
	22-23	221	14,6877	1,26346	11,12	18,30
	24-25	151	14,6419	1,26243	11,35	17,73
	Total	822	14,7559	1,233	11,12	18,77
Kranial BP dış uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	18-19	205	13,4064	1,25378	10,38	19,66
	20-21	245	13,3595	1,15668	10,31	16,39
	22-23	221	13,2307	1,19245	10,14	16,95
	24-25	151	13,1082	1,19617	10,28	17,21
	Total	822	13,2904	1,20105	10,14	19,66
Dens axis AP uzunluk oranı ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	205	1,1538	0,14261	0,75	1,5
	20-21	245	1,1494	0,1385	0,79	1,67
	22-23	221	1,1443	0,14776	0,86	1,68
	24-25	151	1,1271	0,14325	0,80	1,63
	Total	822	1,1403	0,14183	0,75	1,68
Foramen magnum AP uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	205	3,4497	0,37597	2,49	4,49
	20-21	245	3,464	0,37638	2,59	5,02
	22-23	221	3,4039	0,39106	2,52	5,17
	24-25	151	3,3770	0,38269	2,65	4,66
	Total	822	3,4283	0,38223	2,49	5,17
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	205	16,9182	1,67804	13,32	22,21
	20-21	245	16,9663	1,69184	12,66	22,35
	22-23	221	16,6942	1,69227	12,92	21,64
	24-25	151	16,3963	1,64846	12,72	21,00
	Total	822	16,7764	1,6807	12,66	22,35
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	205	15,683	1,5869	12,23	20,73
	20-21	245	15,7063	1,60677	11,66	20,84
	22-23	221	15,4567	1,54567	12,00	20,22
	24-25	151	15,1395	1,53257	11,31	19,26
	Total	822	15,5293	1,58333	11,31	20,84
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	205	4,3154	0,51033	3,28	5,97
	20-21	245	4,3695	0,46702	3,21	6,23
	22-23	221	4,3514	0,5255	3,22	5,81
	24-25	151	4,2571	0,47157	3,14	5,49
	Total	822	4,3305	0,49576	3,14	6,23

Tablo 23. (devamı) Ölçümlerin yaş gruplarına göre sınıflandırılmış ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Parametre	Yaş Grupları	Birey sayısı	Ortalama (mm)	Standart Sapma	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Atlas AP iç (foramen vertebrae) uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	205	3,1167	0,35059	2,28	4,38
	20-21	245	3,126	0,33874	2,28	4,73
	22-23	221	3,0985	0,38025	2,17	4,31
	24-25	151	3,0715	0,41633	2,26	5,64
	Total	822	3,1063	0,36802	2,17	5,64
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	18-19	205	1,2345	0,05975	1,07	1,40
	20-21	245	1,2298	0,06296	1,06	1,38
	22-23	221	1,2222	0,06348	1,07	1,37
	24-25	151	1,2261	0,06545	1,07	1,40
	Total	822	1,2283	0,06284	1,06	1,40
Kranial AP iç uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	18-19	205	1,2142	0,06249	1,05	1,40
	20-21	245	1,2090	0,06231	1,05	1,38
	22-23	221	1,2016	0,06018	1,06	1,37
	24-25	151	1,2047	0,06623	1,04	1,39
	Total	822	1,2075	0,0626	1,04	1,4
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	18-19	205	1,0791	0,01857	1,04	1,13
	20-21	245	1,0807	0,01872	1,04	1,13
	22-23	221	1,0801	0,01836	1,04	1,12
	24-25	151	1,0833	0,01933	1,03	1,12
	Total	822	1,0806	0,01872	1,03	1,13
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	18-19	205	1,0613	0,01582	1,03	1,12
	20-21	245	1,0623	0,01486	1,03	1,13
	22-23	221	1,062	0,01494	1,04	1,12
	24-25	151	1,0641	0,01665	1,04	1,12
	Total	822	1,0623	0,01547	1,03	1,13

mm: milimetre

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Yaş tespitine yönelik 32 parametre, 18 (18 yıl 0 ay 1 gün)-19, 20-21, 22-23 ve 24-25 (25 yıl 11 ay 29 gün) yaş grupları şeklinde dört gruba ayrılarak analiz edilmiştir. Grup içi örneklem sayılarının görece az olması nedeniyle, normal dağılım varsayımının değerlendirilmesinde daha hassas sonuçlar sağlayan Shapiro - Wilk testi tercih edilmiştir. Grupların içindeki örneklem daha az sayıda olması nedeniyle bu test tercih edilmiştir.

Çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri de destekleyici olarak analize dahil edilmiş, skewness ve kurtosis değerleri ± 1 aralığında olsa da Shapiro-Wilk testinde $p < 0,05$ bulunması nedeniyle dağılım normal dağılmıyor olarak kabul edilmiştir. Test sonuçlarına Tablo 24'te yer verilmiştir.

Tablo 24. Parametrelerin yaş gruplarına göre Shapiro-Wilk normal dağılım testi sonuçları

Parametre	18-19			20-21			22-23			24-25		
	p*	ç**	b***	p*	ç**	b***	p*	ç**	b***	p*	ç**	b***
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	0,01	0,507	0,494	0,027	0,298	0,973	0,366	0,148	0,057	0,264	0,029	0,313
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	0,001	0,662	1,683	0,004	0,506	0,871	0,261	0,23	-0,083	0,625	0,219	0,313
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	0,022	0,495	0,886	< 0,001	0,633	0,853	0,042	0,402	0,157	0,035	0,499	0,407
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	0,004	0,491	-0,057	0,018	0,104	-0,693	0,32	0,123	-0,323	0,154	0,027	-0,609
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	0,004	0,549	0,334	0,003	0,520	0,762	0,169	0,321	0,282	0,069	0,031	-0,743
Atlas AP Uzunluk (Dış)	0,026	0,593	0,281	0,198	0,167	0,076	0,973	-0,024	-0,587	0,589	-0,199	-0,543
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	0,001	1,085	1,064	0,043	0,621	0,515	0,02	0,651	0,416	0,012	0,653	0,155
Kranial BP dış uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	0,001	1,033	0,927	0,553	0,044	-0,121	0,58	-0,224	-0,428	0,01	0,512	0,225
Kranial BP dış uzunluk ile Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk oranı	0,681	0,053	-0,598	0,203	0,140	-0,046	0,458	0,047	-0,105	0,028	0,497	0,21
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	< 0,001	3,634	16,425	< 0,001	3,854	16,620	< 0,001	3,83	16,618	< 0,001	3,799	16,302
Kranial BP Uzunluk (Dış)	0,937	0,047	-0,151	0,123	0,097	-0,036	0,601	0,039	-0,217	0,494	-0,001	-0,068
Kranial BP Uzunluk (İç)	0,229	0,204	0,048	0,286	0,154	-0,012	0,04	0,428	0,272	0,444	0,165	0,085
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	< 0,001	3,686	16,465	< 0,001	3,852	16,698	< 0,001	3,782	16,583	< 0,001	3,798	16,297
Dens Axis Transvers Uzunluk	0,000	1,065	1,082	0,043	0,576	0,519	0,007	0,702	0,447	0,015	0,754	0,197
Dens Axis AP Uzunluk	0,239	0,131	-0,143	0,098	0,153	-0,276	0,027	0,497	0,403	0,294	0,044	0,099
Foramen Magnum AP Uzunluk	0,003	0,706	0,737	0,174	0,134	-0,123	0,307	0,159	-0,338	0,026	0,493	0,096
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	0,846	-0,120	-0,707	0,624	-0,271	-0,854	0,037	0,492	-0,255	0,94	0,18	-0,106
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	< 0,001	2,232	5,563	0,539	0,052	-0,133	0,198	-0,193	-0,635	0,489	-0,139	-0,282
Kranial AP iç uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	0,533	0,096	-0,671	0,857	-0,187	-0,792	0,16	-0,204	-0,651	0,911	-0,244	-0,661
Sella Turcica AP Uzunluk	0,249	0,119	-0,731	0,137	0,004	-0,822	0,077	-0,023	-0,597	0,632	0,054	-0,225
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,039	0,777	1,022	0,027	0,693	0,730	0,019	0,534	0,512	0,462	-0,036	-0,128
Atlas AP iç (foramen vertebrae) uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,013	0,965	1,126	< 0,001	0,899	1,055	0,02	0,709	0,502	0,036	0,428	0,264
Dens axis AP uzunluk oranı ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,117	0,390	-0,202	0,241	0,109	-0,255	0,004	0,631	0,477	0,013	0,582	0,38
Foramen magnum AP uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,868	-0,141	-0,944	0,002	1,004	1,023	< 0,001	0,975	0,898	0,017	0,911	0,493
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	0,025	0,637	0,903	0,020	0,448	0,462	0,009	0,615	0,523	0,294	0,147	-0,148
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,019	0,869	1,122	0,310	0,223	-0,008	0,174	0,084	-0,412	0,708	0,067	-0,297
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	0,045	0,666	0,937	0,374	0,028	-0,096	0,38	-0,01	-0,418	0,734	-0,044	-0,331
Kranial AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	0,439	0,062	-0,731	0,574	-0,078	-0,802	0,899	-0,002	-0,777	0,147	0,222	-0,715
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	0,966	0,223	0,113	0,675	0,098	-0,034	0,007	0,638	0,622	0,424	-0,213	-0,471
Kranial AP Uzunluk (Dış)	0,839	-0,101	-0,620	0,560	-0,095	-0,675	0,567	-0,063	-0,567	0,832	-0,063	-0,715
Kranial AP Uzunluk (İç)	0,091	0,188	-0,240	0,038	0,517	0,304	0,303	-0,047	-0,471	0,847	-0,135	-0,734
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	0,037	0,381	0,669	0,024	0,441	0,630	0,006	0,703	0,801	0,56	-0,18	-0,808

* $p < 0,05$, **b: Basıklık, ***ç: Çarpıklık AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru) BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru) Proc. : Processus (Çıkıntı)

Shapiro-Wilk testi sonuçlarına göre, $p > 0,05$ olan değişkenlerin normal dağılım gösterdiği kabul edilerek parametrik testler (One Way ANOVA, Tukey HSD) uygulanmıştır. $p < 0,05$ olan, yani normal dağılmayan değişkenlerde ise nonparametrik testler (Kruskal-Wallis ve Mann-Whitney U) tercih edilmiştir.

Yaş grupları arasında genel bir fark olup olmadığını görmek için ilk olarak One Way ANOVA ya da Kruskal-Wallis testi yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Testlere ve p değerlerine Tablo 25'te yer verilmiştir.

Tablo 25. Parametrelerin yaş gruplarına göre anlamlılık değerleri

Parametre	Test Türü	p*
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	Kruskal-Wallis	0,0223
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	Kruskal-Wallis	0,034
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,015
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	Kruskal-Wallis	0,0614
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,1101
Atlas AP Uzunluk (Dış)	Kruskal-Wallis	0,0016
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	Kruskal-Wallis	0,0383
Kranial BP dış uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	One Way ANOVA	0,2137
Kranial BP dış uzunluk ile Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk oranı	One Way ANOVA	0,4236
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0077
Kranial BP Uzunluk (Dış)	One Way ANOVA	0,09
Kranial BP Uzunluk (İç)	Kruskal-Wallis	0,1121
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	Kruskal-Wallis	0,1508
Dens Axis Transvers Uzunluk	Kruskal-Wallis	0,0016
Dens Axis AP Uzunluk	Kruskal-Wallis	0,0184
Foramen Magnum AP Uzunluk	Kruskal-Wallis	0,1819
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0274
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0442
Kranial AP iç uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	One Way ANOVA	0,112
Sella Turcica AP Uzunluk	One Way ANOVA	0,0042
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,035
Atlas AP iç (foramen vertebrae) uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0915
Dens axis AP uzunluk oranı ile Sella turcica AP uzunluk oranı	One Way ANOVA	0,1891
Foramen magnum AP uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0912
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0315
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0122
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0042
Kranial AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	One Way ANOVA	0,6135
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	Kruskal-Wallis	0,0415
Kranial AP Uzunluk (Dış)	One Way ANOVA	0,5564
Kranial AP Uzunluk (İç)	Kruskal-Wallis	0,3094
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	Kruskal-Wallis	0,0455

* $p < 0,05$

One Way ANOVA: One Way Analysis of Variance (Tek Yönlü Varyans Analizi)

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru) ,

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Anlamlı olarak belirlenen parametrelerin alt yaş grupları arasındaki farklarının belirlenmesi amacıyla post hoc analizlere geçilmiştir. Analizde, anlamlı ve normal dağılım

gösteren tek parametre olan sella turcica AP uzunluk parametresi için parametrik Tukey HSD testi, normal dağılım göstermeyen diğer anlamlı veriler için nonparametrik Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir. Post hoc analiz sonuçları Tablo 26 ve Tablo 27’de yer almaktadır.

Tablo 26. Sella turcica AP uzunluk Tukey HSD post hoc analiz sonuçları

Yaş Grupları		Ortalama Fark	p*	Alt Güven Sınırı	Üst Güven Sınırı
18–19	20–21	0,0452	0,9699	-0,2142	0,3047
18–19	22–23	0,1819	0,2925	-0,0838	0,4477
18–19	24–25	0,3782	0,0053	0,0842	0,6721
20–21	22–23	0,1367	0,5096	-0,1175	0,391
20–21	24–25	0,333	0,0138	0,0494	0,6165
22–23	24–25	0,1962	0,3009	-0,0932	0,4856

* $p<0,05$, **Tukey HSD**: Tukey Honestly Significant Difference (Tukey’in Dürüst Anlamlı Farklılık Testi)

Tablo 27. Mann-Whitney U post hoc analiz sonuçları

Parametre	Yaş Grupları		U İstatistiği	p*
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	20-21	18-19	26665,5	0,2584
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	20-21	22-23	27615,5	0,7085
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	20-21	24-25	17095,5	0,2051
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	18-19	22-23	21654	0,4318
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	18-19	24-25	13330,5	0,025
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	22-23	24-25	15135,5	0,1281
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	20-21	18-19	25444	0,8096
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	20-21	22-23	26959,5	0,9382
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	20-21	24-25	20065	0,1566
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	18-19	22-23	22121	0,6757
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	18-19	24-25	16704	0,2014
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	22-23	24-25	18355	0,1012
Atlas AP Uzunluk (Dış)	20-21	18-19	28692	0,0091
Atlas AP Uzunluk (Dış)	20-21	22-23	25595	0,3088
Atlas AP Uzunluk (Dış)	20-21	24-25	18034	0,6755
Atlas AP Uzunluk (Dış)	18-19	22-23	17858,5	0,0001
Atlas AP Uzunluk (Dış)	18-19	24-25	12791,5	0,0051
Atlas AP Uzunluk (Dış)	22-23	24-25	17227,5	0,5949
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	20-21	18-19	27070	0,1542
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	20-21	22-23	26197,5	0,5468
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	20-21	24-25	17779	0,5162
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	18-19	22-23	20208,5	0,0542
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	18-19	24-25	13807,5	0,0818
Atlas AP Uzunluk (İç) (Foramen Vertebrae AP Uzunluk)	22-23	24-25	16522,5	0,8732
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	20-21	18-19	25885,5	0,5735
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	20-21	22-23	23378	0,0108
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	20-21	24-25	17028,5	0,1839
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	18-19	22-23	19190	0,0063
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	18-19	24-25	13915	0,1032
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	22-23	24-25	17685,5	0,326
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	20-21	18-19	24647,5	0,735
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	20-21	22-23	25100,5	0,174
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	20-21	24-25	16677	0,0996
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	18-19	22-23	21577	0,3968
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	18-19	24-25	14368	0,2474

Tablo 27. (devamı) Mann-Whitney U post hoc analiz sonuçları

Parametre	Yaş Grupları		U İstatistiği	p*
Atlas Sol Foramen Transversarium Çapı	22-23	24-25	16302,5	0,707
Dens Axis AP Uzunluk	20-21	18-19	26331,5	0,3749
Dens Axis AP Uzunluk	20-21	22-23	26078	0,4932
Dens Axis AP Uzunluk	20-21	24-25	17408,5	0,3249
Dens Axis AP Uzunluk	18-19	22-23	20538,5	0,0958
Dens Axis AP Uzunluk	18-19	24-25	13688	0,0621
Dens Axis AP Uzunluk	22-23	24-25	16340	0,7346
Dens Axis Transvers Uzunluk	20-21	18-19	27469	0,0861
Dens Axis Transvers Uzunluk	20-21	22-23	25244,5	0,2078
Dens Axis Transvers Uzunluk	20-21	24-25	16482	0,0683
Dens Axis Transvers Uzunluk	18-19	22-23	18692,5	0,0018
Dens Axis Transvers Uzunluk	18-19	24-25	11984	0,0002
Dens Axis Transvers Uzunluk	22-23	24-25	15747	0,3567
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	20-21	18-19	24992	0,9303
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	20-21	22-23	29453,5	0,101
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	20-21	24-25	20442	0,0788
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	18-19	22-23	24647,5	0,1162
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	18-19	24-25	17061	0,099
Atlas Proc. Transversuslar arası uzunluk ile Dens axis transvers uzunluk oranı	22-23	24-25	16954,5	0,792
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	20-21	18-19	22869,5	0,1026
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	20-21	22-23	29764,5	0,0637
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	20-21	24-25	19747,5	0,2587
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	18-19	22-23	26963,5	0,0006
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	18-19	24-25	17986,5	0,0089
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	22-23	24-25	16125,5	0,5827
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	18-19	25820,5	0,6065
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	22-23	29690	0,0714
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	24-25	21941,5	0,0018
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	22-23	24205	0,2215
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	24-25	17955,5	0,0098
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	22-23	24-25	18225	0,1307
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	18-19	25603	0,7213
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	22-23	29608	0,0807
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	24-25	22149,5	0,0009
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	22-23	24312	0,1913

Tablo 27. (devamı) Mann-Whitney U post hoc analiz sonuçları

Parametre	Yaş Grupları		U İstatistiği	p*
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	24-25	18308,5	0,0031
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	22-23	24-25	18542	0,0684
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	18-19	26865,5	0,2021
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	22-23	27824,5	0,6046
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	24-25	20879,5	0,0313
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	22-23	21804	0,5042
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	24-25	16373	0,351
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	22-23	24-25	18271,5	0,1195
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	20-21	18-19	24133,5	0,4763
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	20-21	22-23	28951	0,1957
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	20-21	24-25	19070	0,6051
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	18-19	22-23	25143	0,0498
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	18-19	24-25	16555,5	0,2615
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	22-23	24-25	16122,5	0,5807
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	20-21	18-19	26244	0,4103
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	20-21	22-23	27550	0,7424
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	20-21	24-25	16902,5	0,1495
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	18-19	22-23	22005	0,6103
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	18-19	24-25	13452	0,0348
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	22-23	24-25	14955	0,0893
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	20-21	18-19	26402,5	0,3479
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	20-21	22-23	27526	0,7549
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	20-21	24-25	17595	0,4148
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	18-19	22-23	21799,5	0,5019
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	18-19	24-25	14009,5	0,1262
Kranial BP dış uzunluk ile Kranial BP iç uzunluk oranı	22-23	24-25	15740	0,3534

*p<0,05

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

Post hoc analizler sonucunda dört alt yaş grubunun hepsinde anlamlı derecede fark gösteren herhangi bir parametre tespit edilememesi nedeniyle, sınıflandırma modeli (PLS-DA, lojistik regresyon gibi) geliştirilememiştir. Alt yaş gruplarının bazılarında anlamlı derecede fark gösterdiği tespit edilen parametreler Tablo 28 ve Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 28. Tukey HSD post hoc analizlerine göre alt yaş grupları arasında anlamlı farklılık gösteren parametreler

Parametre	Yaş Grupları		p*
Sella turcica AP uzunluk (Tukey HSD)	18-19	24-25	0,0053
Sella turcica AP uzunluk (Tukey HSD)	20-21	24-25	0,0138

*p<0,05

Tukey HSD: Tukey Honestly Significant Difference (Tukey’in Dürüst Anlamlı Farklılık Testi)

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

Tablo 29. Mann-Whitney U post hoc analizlerine göre alt yaş grupları arasında anlamlı farklılık gösteren parametreler

Parametre	Yaş Grupları		p*
Kranial AP dış ve iç değer farkının yarısı	18-19	24-25	0,025
Kranial AP dış ve iç değer farkının yarısı	18-19	22-23	0,0006
Atlas AP dış uzunluk	18-19	20-21	0,0091
Atlas AP dış uzunluk	18-19	22-23	0,0001
Atlas AP dış uzunluk	18-19	24-25	0,0051
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	22-23	20-21	0,0108
Atlas Sağ Foramen Transversarium Çapı	18-19	22-23	0,0063
Dens Axis Transvers uzunluk	18-19	22-23	0,0018
Dens Axis Transvers uzunluk	18-19	24-25	0,0002
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	18-19	22-23	0,0006
Kranial AP dış uzunluk ile Atlas AP dış uzunluk oranı	18-19	24-25	0,0089
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	24-25	0,0018
Kranial AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	24-25	0,0098
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	24-25	0,0009
Kranial AP iç uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	18-19	24-25	0,0031
Atlas AP dış uzunluk ile Sella turcica AP uzunluk oranı	20-21	24-25	0,0313
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial BP dış uzunluk oranı	18-19	22-23	0,0498
Kranial AP dış uzunluk ile Kranial AP iç uzunluk oranı	18-19	24-25	0,0348

*p<0,05

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Analiz edilen 17 parametre ile sürekli yaş tahmini amacıyla PLS (Partial Least Squares) regresyon analizi çalışılmıştır. Yaşlar, gün ay yıl şeklinde kaydedilmiş ve analizlerde ondalık birim şeklinde kullanılmıştır. Metriklere Tablo 30’da yer verilmiştir.

Tablo 30. Sürekli yaş tespiti amacıyla geliştirilmiş 17 parametrelili PLSR modelinin metrikleri

R ²	RMSEP (Yıl)	MAE (Yıl)	Medyan Mutlak Hata	Ortalama Hata (Bias)	MSE	Açıklanan Varyans Skoru
0,011	2,09	1,78	1,75	0,001	4,36	0,011

R²: Coefficient of Determination (Açıklanan Varyans Katsayısı)

RMSEP: Root Mean Square Error of Prediction (Tahmin Hatalarının Karekök Ortalamasının Karesi)

MAE: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)

MSE: Mean Squared Error (Hata Karelerinin Ortalaması)

PLSR: Partial Least Squares Regression (Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu)

Oluşturulan modelin tahmin hatası ortalama 2 yıl düzeyindedir (RMSEP = 2,09 ve MAE = 1,78).

Genel anlamlılık testleri sonucunda istatistiksel açıdan anlamlı olarak tespit edilen ve PLS regresyon modelinde kullanılan 17 parametre ile Pearson ve Spearman Korelasyon analizi yapılmıştır. $p < 0,05$ olan değerler anlamlı olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar Tablo 31’de yer almaktadır.

Tablo 31. Genel anlamlılık testlerinde anlamlı olarak tespit edilen parametrelerle yapılmış Pearson ve Spearman Korelasyon analiz sonuçları

Parametre	Pearson katsayısı	Pearson p*	Spearman katsayısı	Spearman p*
Kranial AP Uzunluk (Dış)	0,02	0,5659	0,02	0,5764
Kranial BP Uzunluk (Dış)	0,104	0,0029	0,1	0,0044
Kranial AP Uzunluk (İç)	-0,01	0,7865	-0,016	0,6506
Kranial BP Uzunluk (İç)	0,078	0,0268	0,076	0,0299
Kranial AP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	0,082	0,0187	0,082	0,0196
Kranial BP ölçümlerinde dış ve iç değer farkının yarısı	0,086	0,0138	0,075	0,0329
Sella Turcica AP Uzunluk	0,127	0,0003	0,119	0,0007
Foramen Magnum AP Uzunluk	0,058	0,0985	0,051	0,1443
Kranial AP iç uzunluk ile Foramen Magnum AP uzunluk oranı	-0,065	0,0619	-0,044	0,211
Atlas AP Uzunluk (Dış)	0,097	0,0056	0,104	0,0029
Atlas AP Uzunluk (İç)	0,07	0,0469	0,07	0,0459
Atlas Sağ Foramen Vertebra Çapı	0,075	0,0331	0,091	0,0096
Atlas Sol Foramen Vertebra Çapı	0,04	0,2484	0,056	0,1112
Atlas Proc. Transversuslar Arası Uzunluk	0,077	0,0274	0,088	0,0121
Dens Axis AP Uzunluk	0,07	0,0446	0,067	0,0569
Dens Axis Transvers Uzunluk	0,136	0,0001	0,141	0,0001
Atlas AP dış uzunluk ile Dens axis AP uzunluk oranı	0,016	0,641	0,033	0,3479

* $p < 0,05$

AP: Anteroposterior (Önden arkaya doğru)

BP: Bipariyetal (Bir pariyetal kemikten diğerine doğru)

Proc. : Processus (Çıkıntı)

İstatistiksel gürültüyü azaltmak ve pratik bir denklem elde etmek amacıyla, en yüksek korelasyon katsayısına sahip üç parametreyle (dens axis transvers uzunluk, sella turcica AP

uzunluk ve BP dış mesafe ile) PLS regresyon modeli kurulmuştur. Metrikler Tablo 32’de bulunmaktadır.

Tablo 32. Sürekli yaş tespiti amacıyla geliştirilmiş üç parametrelili PLSR modelinin metrikleri

R²	RMSEP (Yıl)	MAE (Yıl)	Medyan Mutlak Hata	Ortalama Hata (Bias)	MSE	Açıklanan Varyans Skoru
0,027	2,1	1,79	1,76	0,001	4,4	0,037

R²: Coefficient of Determination (Açıklanan Varyans Katsayısı)

RMSEP: Root Mean Squared Error of Prediction (Tahminlerin Karekök Ortalama Hatası)

MAE: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)

MSE: Mean Squared Error (Ortalama Kare Hatası)

PLSR: Partial Least Squares Regression (Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu)

Modelden elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$“Tahmini Yaş = -4,73 + 0,204 \times X_1 + 0,190 \times X_2 + 0,156 \times X_3”$$

X_1 = Dens Axis Transvers Uzunluk (mm)

X_2 = Sella Turcica AP uzunluk (mm)

X_3 = Biparyetal Dış Mesafe (mm)

Geliştirilen alt PLS regresyon modeli, eğitim verisiyle oluşturulduktan sonra, iç geçerlilik performansının saptanması amacıyla aynı veri seti üzerinde test edildiğinde, bireylerin %80’inde yaş tespitin $\pm 2,91$ yıl sapma aralığında kaldığı görülmüştür.

TARTIŞMA

Yaş ve cinsiyet tespit çalışmalarında örneklem büyüklüğü, genellenebilirlik açısından önemli bir kriter konumunda yer almaktadır. Güncel literatür tarandığında, karşılaştırılan benzer çalışmaların örneklem büyüklüklerinin 72 ile 1276 arasında değiştiği görülmektedir. Bu nedenle çalışmamızda değerlendirilen 822 görüntülemenin, örneklem büyüklüğü açısından literatürle karşılaştırıldığında oldukça yüksek ve kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir (56, 58, 73-89).

Çalışmada değerlendirilen 32 parametreden 24'ü istatistiksel olarak cinsiyet tespiti açısından anlamlı bulunmuştur (Tablo 11). Cinsiyet sınıflandırmasına yönelik çok değişkenli modelleme sürecinde, istatistiksel olarak anlamlı bulunan 24 parametre ile PLS-DA ve lojistik regresyon olmak üzere iki farklı ana sınıflandırma modeli geliştirilmiştir. Bu süreçte geleneksel yöntemlerle sınırlı kalınmamış; makine öğrenimi temelli analizlerin yürütülmesine olanak sağlayan esnek yapıda ve güçlü modelleme yeteneklerine sahip R programlama dili tercih edilmiştir. Cinsiyet sınıflandırmasına yönelik modelleme sürecinde, veri seti öncelikle %75 eğitim-%25 test olarak ayrılmış, “set.seed(123)” komutu kullanılarak ve ayrımda cinsiyet oranları korunarak (stratified) dengeli bir bölme gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, gerçek hayatta modellerin bilinmeyen bir veri üzerinde nasıl performans göstereceğini değerlendirmek amacıyla uygulanmıştır.

Modellerin tekrarlanabilirliğini ve metodolojik sağlamlığını test etmek amacıyla, ayrıca 5 katlı ve 10 katlı çapraz doğrulama analizleri yapılmıştır. Bu yöntemler, modellerin genellenebilirliğini güçlendirmek ve aşırı uymaya (overfitting) karşı önlem almak amacıyla tercih edilmiştir. Ayrıca her tekrarın aynı veri düzeniyle yürütülmesi sağlanarak tekrarlanabilirliğin artırılması hedeflenmiştir. %75 eğitim-%25 test veri bölmesi sonucu

lojistik regresyon modelinin doğruluk oranı %82,5, PLS-DA modelinin ise doğruluk oranı %82,5 olarak tespit edilmiştir (Tablo 12). 5 katlı çapraz doğrulama test ortalama doğruluk oranlarının lojistik regresyon modeli için %85, PLS-DA modeli için ise %84,8 olduğu görülmüştür (Tablo 13). 10 katlı çapraz doğrulama ortalama test sonuçları bir önceki testlere benzer şekilde sonuçlanmış; doğruluk oranları lojistik regresyon modeli için %84,4, PLS-DA modeli için ise %84,1 olarak hesaplanmıştır (Tablo 14). Lojistik regresyon modelinden elde edilen denklemin direkt hesaplama uygun olmayan logaritmik yapıda olması nedeniyle sahada uygulanabilirliği zorlaştıracığı düşünüldüğünden, alt model olarak, modern ve doğrudan hesaplama elverişli yapıda olan PLS-DA modeli geliştirilmiştir.

Literatürde modellerin performans başarımlarına yönelik tanımlanmış sınıflandırmaya göre; %80-90 arası başarımlar gösteren modeller “iyi” olarak değerlendirilmektedir (90). Ayrıca geliştirilen modellerde, %80 ve üzeri doğruluk değerlerinin, klinik karar açısından anlamlı düzeyde olduğu kabul edilmektedir (91). Çalışmamızda geliştirilen PLS-DA ve lojistik regresyon modellerinin her ikisinin de benzer yüksek performans göstermesi (doğruluk > %80), yöntemin güçlü genel geçer bir yönü oluşuna işaret etmektedir. Ancak modellerin 24 parametrelili yapısının, yöntemin uygulanabilirliğini zorlaştıracığını düşündüğümüzden, ana PLS-DA modelinden elde edilen VIP değerleri içerisinde en güçlü üç parametre olan atlas AP dış uzunluğu, atlas processus transversuslar arası mesafe ve dens axis AP uzunluğu değişkenleri kullanılarak alt PLS-DA modeli geliştirilmiştir (Tablo 15).

Literatürde cinsiyet sınıflandırma yöntemlerinde DFA/LDA gibi klasik modellerin sıkça yer aldığı görülmektedir. DFA, sınıflar arası ayırımı temel alan klasik bir yöntem olup, yüksek boyutlu ve multikolineer verilerle çalışıldığında sınırlılıklar gösterebilmektedir. Büyük örneklerde boyut indirgemeyi entegre şekilde gerçekleştirebilen PLS modelleri ise analizlerde daha güvenilir sonuçlar verebilmekte ve “overfitting” riskini daha iyi azaltabilmektedir (92-95). Bu nedenle alt PLS-DA modelinin klasik modellerle karşılaştırılarak yöntemin tutarlılığının sınanması amacıyla aynı üç parametre ile DFA modeli de geliştirilmiştir.

Modeller, dengeli (stratified) yapıda %75 eğitim-%25 test veri bölmesi ve “set.seed(123)” komutu eklenerek oluşturulmuştur. %75 eğitim-%25 test veri bölmesi sonucu doğruluk oranlarının, alt PLS-DA modeli için %82,5; DFA modeli için ise %83 olduğu gözlenmiştir (Tablo 16, Tablo 20). Her iki modelin de benzer düzeyde performans göstermesi, yöntemin tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmamızdaki örneklem büyüklüğünün yüksek olması, çoklu değişken yapısının bulunması ve PLS-DA yönteminin, büyük örneklerde daha kararlı ve genellenebilir sonuçlar üretebilme yeteneğine sahip olması nedeniyle, bu yöntem tercih edilerek ileri istatistiksel analizler, alt PLS-DA modeli

üzerinden yapılmıştır. Alt PLS-DA modelinin 5 katlı çapraz doğrulama testi sonucunda ortalama doğruluk oranı %84,6; 10 katlı çapraz doğrulama testi sonucunun ortalama doğruluk oranı ise %85,4 olarak tespit edilmiştir (Tablo 18, Tablo 19).

Kafa içi morfometrik ölçümler yardımıyla cinsiyet tespitine yönelik olarak, Alt PLS-DA modelinden elde edilen denklem aşağıda yer almaktadır:

$$“Skor = -21,917 + 0,102 \times X_1 + 0,216 \times X_2 + 0,077 \times X_3”$$

X_1 = Atlas AP Dış Uzunluk (mm)

X_2 = Atlas Proc. Transversuslar Arası Mesafe (mm)

X_3 = Dens Axis AP Uzunluk (mm)

Modelde hesaplanan skor değerine göre cinsiyet sınıflandırması şu şekilde yapılmıştır:

Skor $\geq 0,46 \rightarrow$ Erkek

Skor $< 0,46 \rightarrow$ Kadın

Eşik değeri Youden’s J indeksi ile belirlendiğinde 0,463 olarak tespit edilmiş ancak kullanımda pratiklik amaçlanarak karar noktası olarak 0,46 eşiği tercih edilmiştir.

Denklemdaki tüm katsayıların, 0,102, 0,216 ve 0,077 olmak üzere, pozitif yönde olduğu saptanmıştır. Parametrelerin birim olarak artmasıyla, bireyin erkek olarak sınıflandırılma olasılığının artacağı çıkarımı yapılmıştır. En yüksek katsayıya sahip olan atlas processus transversuslar arası mesafe parametresi, erkek cinsiyet ayrımında en belirleyici değişken olarak öne çıkmıştır. Elde edilen denklemin doğrudan hesaplamaya uygun yapısı ile hem literatüre katkı sağlayacak değerde hem de pratikte kolaylıkla kullanılabilecek yapıda olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, çalışma öncesi oluşturduğumuz H2 hipotezinin doğrulandığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmada geliştirilmiş üç parametrelili model ve elde edilen denklem ile güncel literatürde bildirilen çalışmalar karşılaştırılmıştır.

Padovan ve ark. (56) tarafından, 110 erkek ve 81 kadına ait olduğunu bilinen 191 adet atlas kemiği üzerinden, atlas’ın anteroposterior (AP) uzunluğu, maksimum transvers uzunluğu (proc. transversuslar arası mesafe), foramen vertebrae AP ve transvers uzunlukları kumpas ile doğrudan ölçülmüş, cinsiyet tespitine yönelik olarak atlas’ın AP uzunluğu ve maksimum transvers uzunluğunun kullanıldığı iki parametrelili lojistik regresyon modeli geliştirilmiştir. Parametrelerin seçilmesinde ‘Stepwise Forward Wald’ yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen modelin kadınları %75,3, erkekleri %85,5 doğrulukla ayırt edebildiği ve genel sınıflandırma başarımının ise %81,2 olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda ise farklı olarak çok daha büyük örnekleme ait bilgisayarlı tomografi görüntülemeleri incelenerek, hem intrakraniyal görüntülemelerin incelenmesinde klinik deneyime sahip bir radyoloji uzmanı ile çift kör

değerlendirme hem de gözlemci içi değerlendirmelerle yüksek güven ortaya koyan ($ICC > 0,90$) dijital ölçümler yapılmıştır. Kullandığımız parametrelerden ikisi (atlas AP dış uzunluk ve processus transversuslar arası mesafe) karşılaştırılan çalışmada da kullanılmış parametrelerdir. Benzer doğruluk oranları elde edilmesine karşın, çalışmamızda bilgisayarlı tomografi görüntülerinin kullanılmasının, tekrarlanabilirliği ve değerlendirme hızını arttırdığı, elde edilen direkt hesaplamaya elverişli denklemin ise daha pratik ve sahada kullanıma daha elverişli bir yapıda olduğu düşünülmektedir.

Meral ve ark. (73) tarafından 21-50 yaş aralığındaki 300 erkek ve 300 kadın bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden yapılan çalışmada; maksimum kranial uzunluk, maksimum kranial genişlik, bimastoid çap, bizigomatik çap ve bigonial genişlik ölçümleri incelenerek DFA modeli geliştirilmiş, model ile %88 doğruluk oranına ulaşıldığı bildirilmiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde maksimum kranial uzunluk ve maksimum kranial genişlik ölçümleri yapılmış ve geliştirilen 24 parametrelili PLS-DA modelinde yer almıştır. Ancak bu iki parametre, VIP değerlerinin diğer değişkenlere kıyasla daha düşük bulunması nedeniyle pratik alt PLS-DA modeli içerisinde kullanılmamıştır. Çalışmamızda geliştirilen hem üç parametrelili DFA hem de alt PLS-DA modelinde, atlas ve dens axis yapılarına yönelik ölçümlere yer verilmiş ve istatistiksel analizlerde dengeli ayırım, sabit tohumlama gibi yapay yüksek doğruluğu önlemeye yönelik tedbirler alınmıştır. Sonuç olarak DFA modelimizde %83; alt PLS-DA modelimizde ise %82,5 doğruluk oranına ulaşılmış olup karşılaştırılan çalışma ile benzer doğruluk oranları elde edildiği düşünülmektedir.

Çekdemir ve ark. (74) tarafından yapılan çalışmada, 18-79 yaş aralığında bulunan 309 erkek ve 307 kadına ait olan toplam 616 kranial bilgisayarlı tomografi görüntüsü üzerinden maksimum kranial uzunluk, minimum frontal genişlik, bizigomatik genişlik, biparietal kord, maksimum kranial genişlik, bimastoid çap ve kranial taban uzunluğu ölçülerek analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, tüm morfometrik ölçümlerin cinsiyetler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği, tüm parametrelerde erkek bireylerin daha yüksek metrik değerlere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Cinsiyet ayrımında kullanılabilecek en değerli değişkenlerin; bizigomatik genişlik, maksimum kranial uzunluk ve bimastoid çap olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda kranial uzunluk ve genişlik parametreleri cinsiyet tespitinde anlamlı olarak değerlendirilmiş ve ana PLS-DA modelinde yer almıştır. Ancak VIP değerleri incelendiğinde karşılaştırılan çalışmadaki kadar öneme sahip olmadıkları saptanmıştır. Bu durumun her iki çalışmada irdelenen yaş aralıklarının farklılığının neden olduğu kranial morfolojik farklılıklarla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Torimitsu ve ark. (75) tarafından yapılan bir çalışmada; Japonya ve Batı Avustralya’da bulunan bireylerden elde edilen sırasıyla 230 (111 kadın; 119 erkek) ve 225 (112 kadın; 113 erkek) bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden 18 farklı intrakranial parametreye ilişkin ölçüm yapılmıştır. Görüntüler iki farklı bilgisayarlı tomografi cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen ölçümlerle, makine öğrenmesi yöntemleri olan RFM (Random Forest Modeling) ve SVM (Support Vector Machine) uygulanarak bireylerin soy kökenlerinin sınıflandırılması amaçlanmıştır. İki yönlü uniseks modelde sınıflandırma doğruluğu RFM için %93,2, SVM için ise %97,1 olarak raporlanmıştır. Cinsiyet ve kökeni birlikte sınıflayan dört yönlü modelde doğruluk oranı RFM için %84,0, SVM için ise %93,0 olarak belirlenmiştir. Cinsiyete özgü modellerde ise başarı oranlarının kadın bireylerde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada modellemede kullanılan maksimum kranial uzunluk parametresi, bizim çalışmamızda da değerlendirilmiş ancak VIP değeri düşük olduğundan pratik alt PLS-DA sınıflandırma modeline dâhil edilmemiştir. Bahsi geçen çalışmada olduğu gibi, çalışmamızda da birden fazla cihazdan elde edilen görüntüler incelenmiştir. Bu durumun, verilerin ve çıktıların genellenebilirliği açısından destekleyici olduğu düşünülmektedir. Alt PLS-DA modelimizden direkt hesaplanabilir pratik bir denklem geliştirilmesi çalışmamız lehine değerlendirilirken; Torimitsu ve ark. (75) tarafından yapılan çalışmada geliştirilmiş modellerden elde edilen performans verilerinin daha başarılı olduğu görülmektedir. Çalışmamızda 18-25 yaş aralığı gibi dar bir örneklem grubunun kullanılmasının, bu durumun nedenlerinden biri olduğu düşünülmektedir.

Franklin ve ark. (76) tarafından yapılan çalışmada, 200 erkek ve 200 kadın olmak üzere toplam 400 bireye ait kranial bilgisayarlı tomografi görüntülemelerinde, üç boyutlu olarak 31 anatomik landmark tanımlanmış ve bu noktalar arasından 18 doğrusal ölçüm yapılmıştır. Bonferroni düzeltmesi sonrası frontal genişlik ve orbital yüksekliği dışındaki tüm ölçümlerde cinsiyet dimorfizmi saptanmış, bu farkların, tek tek ölçümlerin örnek varyansının %3,5 ile %48,9’u arasında değişen oranlarında olduğu vurgulanmıştır. Cinsiyet tespitinde en önemli belirteçlerin bizigomatik genişlik ile kraniumun ve kranial tabanın maksimum uzunlukları olduğu belirtilmiş; bu parametrelerle geliştirilen DFA modeliyle ise %90 doğruluk oranı elde edildiği bildirilmiştir. Çalışmamızda da foramen magnum ve kraniumun maksimum ölçümleri yer almaktadır. Ana PLS-DA modelimizde yer alan bu parametrelere, VIP değerlerinin istenen seviyede olmaması nedeniyle alt PLS-DA modelimizde yer verilmemiştir. Ayrıca çalışmamızda daha geniş bir örneklem bulunması ve elde edilen denklemin kullanılmasında z-skor dönüşümüne gerek olmaması nedenleriyle PLS-DA modeli tercih edilmiştir. Ancak yine de yöntemin tutarlılığının sınanması amacıyla DFA modeli de geliştirilmiş ve istatistiksel

açından benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada üç boyutlu analizler ve anatomik landmarklar kullanılmasının, otomatize sistemler açısından avantaj sağladığı ancak ileri düzey radyolojik anatomi bilgisi ve göz alışkanlığı gerektirmesi nedeniyle saha uygulamaları açısından güçlük oluşturabileceği düşünülmektedir.

Madadin ve ark. (77) tarafından yapılan çalışmada, 100 erkek ve 100 kadın bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden aksiyal planda yedi farklı intrakranial ölçüm yapıldığı, analizler sonucunda foramen magnum AP uzunluk, foramen magnum transvers uzunluk, foramen magnum indeksi ve alan hesabının yer aldığı dört parametrelili DFA modeli geliştirildiği, bu modelin %71 doğrulukla cinsiyet tespiti yapabildiği bildirilmiştir. Çalışmamızda foramen magnum'a yönelik yalnızca sagittal planda AP mesafe ölçülmüş, bu parametre ana PLS-DA modelinde bulunmasına karşın diğer değişkenlere kıyasla düşük VIP değerine sahip olması nedeniyle alt PLS-DA modelinde yer almamıştır. Geliştirdiğimiz DFA modelinde ise istatistiksel analizler sonucunda %83 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Waghmode ve ark. (78) tarafından yapılan çalışmada, 98 erkek ve 52 kadına ait toplam 150 atlas kemiği üzerinde; processus transversuslar arası uzunluk, foramen vertebra transvers ve anteroposterior mesafe, sağ superior artiküler faset alanı ve vertebral kanal çevresi parametreleri kumpas ile ölçülmüş; sınıflandırma modeli oluşturmaksızın, ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler üzerinden cinsiyetler arası boyutsal farklılıklar ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda cinsiyet tespitine yönelik herhangi bir model geliştirilmemiştir. Gama ve ark. (58) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, 190 bireye ait axis vertebraları üzerinde belirlenen 13 farklı parametre kumpas kullanılarak doğrudan ölçülerek incelenmiş ve analizler sonucunda dört parametre kullanılarak oluşturulan lojistik regresyon modelinin cinsiyet tespitinde %86,7-89,7 doğruluk gösterdiği bildirilmiştir. Ölçümlerde odontoid çıkıntı incelenmiş olsa da oluşturulan modelde yer almamıştır. Çalışmamızda kullanılan verilerin yaşlarının bilinmesi, bilgisayarlı tomografi üzerinden ölçümler sayesinde tekrarlanabilir olması, örneklem büyüklüğü, ICC testleri ile güvenilirliğin desteklenmesi, PLS-DA modeli kullanılarak direkt hesaplamaya uygun bir sınıflandırma denklemi elde edilmesi üstün yönlerimiz olarak değerlendirilmektedir.

Asukai ve ark. (79) tarafından yapılan, 0-18 yaş aralığındaki 449 erkek ve 239 kız çocuğu olmak üzere toplam 688 çocuk bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden aksiyal planda atlasın analiz edildiği bir çalışmada; atlas dış ve iç (foramen vertebra) AP uzunlukları, spinal kanal AP uzunluğu ölçülmüş, anterior ve iki lateral ossifikasyon merkezi değerlendirilmiş, ayrıca nörosantral ve posterior birleşim hatları (synchondrosis) incelenmiştir. Yaş grupları üçer yıllık altı alt gruba ayrılmıştır. İncelemelerin güvenilirliğini test etmek için

çalışmamızda da olduğu gibi hem gözlemciler arasında hem de gözlemci içinde ICC uygulanmıştır. Atlas dış, iç ve spinal kanal AP uzunluklarının tüm yaş gruplarında erkeklerde daha büyük saptandığı, 10-12 yaş grubu haricinde bu büyüklüğün iki cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin büyüme zirvesinin, kız çocuklarında erkeklere kıyasla yaklaşık 3 yıl daha erken gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Çalışmanın sonucunda cinsiyet veya yaş tespitine yönelik herhangi bir model geliştirilmemiştir. Bu çalışmada incelenen atlas AP dış uzunluk parametresi çalışmamızda da incelenmiş olup alt PLS-DA modelinde de yer almaktadır. Her iki çalışmadaki önemi göz önüne alındığında; ilk servikal vertebra olan atlasın, cinsiyet tespitinde önemli bir konumda bulunduğu düşünülmektedir.

Özdemir ve ark. (80) tarafından yapılmış 0-65 yaş aralığındaki 404 erkek ve 399 kadın olmak üzere toplam 803 bireye ait 3 mm kesit kalınlığına sahip kranial bilgisayarlı tomografi görüntülerinin aksiyal, sagittal ve koronal planda incelenerek yaş ve cinsiyet tespiti yapılması hedeflenen bir çalışmada; 10'u intrakranial, 18'i paranasal sinüslerle ilgili toplam 28 parametre incelenmiştir. Ölçümler dijital ortamda yapılmış, güvenilirlik ICC ile desteklenmiştir. Ölçüm sonuçları tanımlayıcı istatistiksel analizlere, dağılım analizlerine, anlamlılık testlerine tabi tutulmuştur. Cinsiyet tespitinde üç farklı PLS-DA modeli geliştirilmiştir. %75 veri-%25 test ayırımı ile gerçekleştirilen performans sonuçlarında, sadece intrakranial ölçümlerle geliştirilen birinci modelin doğruluk oranı %77, sadece paranasal sinüslerden elde edilen parametrelerle geliştirilen ikinci modelin doğruluk oranı %70, her ikisi birlikte değerlendirilerek geliştirilen üçüncü modelin doğruluk oranı ise %79 olarak saptanmıştır. Çalışmamızda da benzer şekilde, bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden kranial alan, atlas ve dens axis incelenerek cinsiyet tespitine yönelik ana ve alt PLS-DA sınıflandırma modelleri geliştirilmiştir. Geliştirdiğimiz alt modelde, atlas ve dens axis yapılarına ait parametreler yer almaktadır. Karşılaştırılan çalışmada yer alan burun kemiği ve paranasal sinüs gibi yapılar, atlas ve axis vertebralarına kıyasla, travmaya maruz kalma riski daha yüksek anatomik yapılardır. Bu durumun, çalışmada geliştirilen modellerin genellebilirliği açısından riskler doğurabileceği öngörülmektedir. Ayrıca örneklemelerin yaş aralıkları kıyaslandığında; 0-65 yaş gibi geniş yaş aralıklarında kranial morfometrik farklılıklar daha rahat gözlemlenebilirken, 18-25 yaş gibi dar bir yaş aralığında bu farklılıkları ortaya koymanın daha güç olduğu düşünülmektedir. İlgili çalışmada geliştirilen 10, 18 ve 28 parametrelili modellerin, parametre sayısı ve ölçüm karmaşıklıkları nedeniyle kullanımda pratik olmadığı; çalışmamızda geliştirilen üç parametrelili alt PLS-DA modelinin ise kolay ölçüm ve doğrudan hesaplama sayesinde sahada kullanıma daha uygun olduğu düşünülmektedir.

Yine Torimitsu ve ark. (81) tarafından yapılan farklı bir çalışmada, 21-87 yaş aralığında bulunan 112 erkek ve 112 kadın olmak üzere toplam 224 bireye ait axis vertebra'sı bilgisayarlı tomografi görüntüleri, aksiyal ve sagittal planlarda 0,63 mm kesit kalınlığında değerlendirilmiştir. Çalışmamızda da incelenen dens axis sagittal AP çapı ile maksimum dens transvers çapı gibi ölçümlerin bulunduğu dokuz farklı parametre analiz edilmiştir. Dens axis sagittal AP çapının da yer aldığı beş parametreyle, %92,9 doğruluk oranına sahip bir modeli geliştirdikleri bildirilmiştir. Bu model, PLS-DA alt modelimizle kıyaslandığında daha yüksek bir performans göstermiş olsa da, analiz edilen parametre sayısının fazlalığı ve örneklem büyüklüğünün görece düşük olması çalışmamıza kıyasla zayıf yönleri olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca Torimitsu ve ark. (81) tarafından geliştirilmiş modelin DFA temelli olması nedeniyle, bu modelin PLS-DA modeline kıyasla “overfitting” riskini daha yüksek derecede barındırabileceği durumunun da göz önünde bulundurulması gerektiği düşünülmektedir.

Ekizoğlu ve ark. (82) tarafından yapılan bir çalışmada, 294 olguya ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden ilk yedi servikal vertebra detaylı olarak incelenerek istatistiksel analizler aracılığıyla toplam 15 farklı model geliştirilmiştir. Lojistik regresyon temelli bu modellerin cinsiyet tespitinde yüksek performans göstererek, %83,3 ile %91,4 arasında doğruluk oranlarını yakaladığı bildirilmiştir. Çalışmamızda da atlas ve dens axis yapıları kullanılarak, benzer yüksek performanslı, gerek ana PLS-DA ile lojistik regresyon modeli gerekse de alt PLS-DA ve DFA modeli geliştirilmiş ayrıca doğrudan hesaplamaya yönelik pratik bir denklem de elde edilmiştir.

Cinsiyet tespiti analizlerinden sonra yaş tespitine yönelik analizlere geçilmiştir. Hastane tıbbi kayıt sistemindeki veriler, bireylerin kayıtlı doğum tarihleriyle görüntüleme tarihi arasındaki fark hesaplanarak hem yıl, ay, gün şeklinde hem de 18-19, 20-21, 22-23, 24-25 yaş olmak üzere dört alt grup şeklinde kaydedilmiştir. Çalışılan 32 parametreden 17'si istatistiksel açıdan anlamlı olarak tespit edilmiştir (Tablo 24). Anlamlılık gösteren 17 parametrenin hangi alt yaş gruplarında farklılık gösterdiğinin belirlenmesi amacıyla post hoc analizlere geçilmiştir. Normal dağılım gösteren tek istatistiksel olarak anlamlı parametre olan sella turcica AP uzunluk değişkeninde Tukey HSD analizi, diğer 16 parametrede ise Mann-Whitney U analizi yapılmıştır (Tablo 25, Tablo 26). Post hoc analizler sonucunda tüm alt yaş gruplarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösteren herhangi bir parametre bulunamadığından sınıflandırma modeli geliştirilememiştir.

Sürekli yaş tespiti amacıyla gün ay yıl olarak kayıtlı yaş verileri ondalık birimlere çevrilmiştir (18 yaş 6 ay 0 gün = 18,5 şeklinde). Tek yönlü ANOVA ve Kruskal-Wallis testleri

sonucunda istatistiksel açıdan anlamlı olarak tespit edilen 17 parametre üzerinden PLS regresyon modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan modelin tahmin hatasının ortalama 2 yıl düzeyinde (RMSEP = 2,09 ve MAE = 1,78) olması, determinasyon katsayısının ($R^2 = 0,011$) ve açıklanan varyans skorunun (0,011) da düşük olması nedeniyle modelin sürekli yaş tespitinde yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır (Tablo 29). Modelde yer alan parametrelerin korelasyonlarını saptamak amacıyla Spearman ve Pearson analizleri yapılmış, incelenen tüm parametreler zayıf korelasyon göstermiştir (Tablo 30). En yüksek korelasyon değerine sahip parametrenin dens axis transvers uzunluğu olduğu gözlenmiştir.

İstatistiksel gürültüyü azaltmak ve daha iyi performans elde etmek amacıyla korelasyon değerlerine göre en iyi üç parametre olan sella turcica AP uzunluğu, dens axis transvers uzunluğu ve BP dış mesafe kullanılarak alt PLS regresyon modeli geliştirilmiştir.

$$\text{“Tahmini Yaş} = -4,73 + 0,204 \times \text{“Dens Axis Transvers Uzunluk (mm)”} + 0,190 \times \text{“Sella Turcica AP uzunluk (mm)”} + 0,156 \times \text{“Biparietal Dış Mesafe (mm)”}$$

Oluşturulan modelin tahmin hatası ortalama 1,8 yıl seviyesinde (RMSEP = 2,1 ve MAE = 1,79) tespit edilmiştir (Tablo 31). Modelin, 18-25 yaş aralığında yaş tespitinde yetersiz kaldığı sonucuna varılmış, bu nedenle H1 hipotezi yanlışlanmıştır. İncelediğimiz sınırlı yaş aralığında, üzerinde çalıştığımız kranial morfolojik yapılarda radikal değişimler gerçekleşmemesi nedeniyle, bu parametrelerin yaş tespitinde yetersiz kaldığı düşünülmektedir.

Kafatasının doğumdan itibaren hızlı şekilde büyümeye devam ettiği bilinmektedir. Kranial kubbenin kız çocuklarındaki büyümesi genellikle 13-14 yaş aralığında büyük ölçüde tamamlanırken, erkeklerde bu süre 14-15 yaşlara kadar uzayabilmektedir. Kranial tabanın büyümesi ise kız çocuklarında 13-15 yaşlarında büyük oranda sonlanırken, erkeklerde bu süre 15-17 yaşlarına dek devam etmektedir. Bu yaşlardan sonra, sağlıklı bireylerde kranial uzunluk, genişlik ve hacim gibi temel morfometrik parametreler büyük oranda sabitlenerek sınırlı düzeyde değişim göstermektedir (96, 97). Çalışmamızda kranium AP maksimum dış ve iç uzunlukları ölçülmüş ve farkları alınarak ikiye bölünmüştür. Biparietal dış ve iç mesafeler arasında da benzer hesaplamalar yapılmıştır. Frontooksipital ve biparietal ortalama kemik kalınlığı hesaplanmış ve frontooksipital ortalama kemik kalınlığının, post hoc analizler sonucunda 18-19 ile 22-23 ve 24-25 yaşları arasında anlamlı farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

Literatürde sella turcica'nın anteroposterior uzunluğunun 6-21 yaşları arasında büyük ölçüde sabit kaldığı, ancak derinlik ve çap gibi diğer boyutlarının yaşla birlikte arttığı bildirilmektedir (98). Çalışmamızda yapılan post hoc analizler sonucunda ise sella turcica AP

uzunluğunun 18-19 ile 24-25 ve 20-21 ile 24-25 yaşları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği gözlenmişken, diğer yaş grupları arasında anlamlı bir farka rastlanmamıştır.

Literatürde atlas vertebraasının ortalama 8 yaşlarında olgunlaştığı, varyasyon varlığında bu sürenin 13 yaşlarına kadar uzayabildiği belirtilmiştir. Axis vertebraasında, apikal epifizin ana yapıya katılması yaklaşık 8 yaşlarında gerçekleşirken, varyasyon bulunan durumlarda bu sürenin 10 yaşlarına kadar uzayabildiği ifade edilmiştir. Odontoid çıkıntının gövdeyle birleşmesini sağlayan subdental synchondrosis yapısı ile tepe kısmındaki ikincil ossifikasyon merkezinin ise yaklaşık 12 yaşlarında kapandığı bildirilmiştir (99-101). Çalışmamızda, dens axis transvers uzunluğunun 18-19 yaş grubuyla 22-23 ve 24-25 yaş grupları arasında, atlas dış AP uzunluğunun 18-19 yaş grubuyla 20-21, 22-23 ve 24-25 yaş grupları arasında, atlas sağ transversarium çapının ise 22-23 ile 18-19 ve 20-21 yaş grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Güncel literatür tarandığında; 18-25 yaş aralığında, doğrudan atlas, dens axis ve çalışmamızda incelenen diğer yapılar üzerinden geliştirilen net bir yaş tespiti modeline rastlanmamıştır. Tüm bu parametreler dışında, kranium AP dış uzunluğu, kranium AP iç uzunluğu, atlas AP dış uzunluğu ve sella turcica AP dış uzunluğu parametrelerinin birbirleriyle oranlarının da bazı alt yaş gruplarında anlamlı farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 27, Tablo 28).

Özdemir ve ark. (80) tarafından yapılmış yaş ve cinsiyet tespiti yapılmasını hedefleyen anılmış çalışmada; yaş tespiti amacıyla, ilk aşamada 28 parametrenin tümüyle PLS regresyon modeli geliştirilmiş, sonrasında ise 28 parametre içerisinden en iyi ayrım gücüne sahip dört parametre ile alt PLS regresyon modeli geliştirilmiştir. Her ne kadar, çalışmada PLS regresyon modellerine ait metriklerin (RMSEP, R², MAE gibi) kullanıldığı ve sınıflandırma modeline benzer iyi performans değerleri elde edildiği belirtilmiş olsa da, bu metriklerin sayısal değerlerine yer verilmediği görülmektedir. Aynı şekilde çalışmamızda da yaş tespitine yönelik sınıflandırma modeli kurulamamıştır. Sürekli yaş tespiti içinse PLS regresyon modeli geliştirilmiş, ancak performansı yetersiz kalmıştır. Modelin sınırlı performansının, dar yaş aralığı nedeniyle morfometrik farkların belirgin düzeyde ortaya çıkmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Öksüzler ve ark. (83) tarafından yapılan çalışmada, 20-85 yaş aralığında bulunan 231 bireye ait (131 kadın, 100 erkek) kranial manyetik rezonans görüntüleri incelenerek, clivus uzunluğu, McRae hattı, supraoksiput uzunluğu, Twining hattı, posterior kranial fossa yüksekliği, serebellum yüksekliği, clivus açısı, tentorium açısı, oksipital çıkıntı açısı ve hindbrain dikey uzunluğu ölçümleri yapılmıştır. Cinsiyetler arasında Twining hattı, posterior kranial fossa yüksekliği, serebellum yüksekliği ve hindbrain dikey uzunluğu ölçümlerinde

istatistiksel olarak anlamlı farklar saptandığı, yaşların dekatlara göre gruplandırılmasıyla yapılan karşılaştırmalarda ise; McRae hattı, twining hattı, posterior kranial fossa yüksekliği, serebellum yüksekliği, clivus açısı, tentorium açısı, oksipital çıkıntı açısı ve hindbrain dikey uzunluğu ölçümlerinde, tüm alt yaş grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlendiği bildirilmiştir. Ancak çalışmada herhangi bir sınıflandırma modeli geliştirilmemiş, yalnızca tanımlayıcı analizler yapılmıştır. Çalışmamızda ise 18-25 yaş aralığındaki bireylerin bilgisayarlı tomografi görüntüleri incelenerek, intrakranial alan ölçümlerinden kranial dış ve iç AP uzunlukları ile sella turcica AP uzunluklarının özellikle 18-19 ile 24-25 ve 20-21 ile 24-25 yaşları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir.

Kobayashi ve ark. (84) yaptığı bir çalışmada; 16-101 yaşları arasında bulunan 313 kadın, 321 erkek olmak üzere toplam 634 postmortem olguya ait bilgisayarlı tomografi görüntüsü incelenmiş, anterior median, posterior median ve total palatin sütür kapanma skorları ile yaş arasında anlamlı korelasyon saptanmıştır. Parametreler aracılığıyla sürekli yaş tespiti amacıyla lineer regresyon modeli geliştirilmiştir. Ortalama standart sapma yaklaşık 14 yıl düzeyinde olup, modelin doğruluğunun %72 oranında tahmin aralığı içinde kaldığı bildirilmiştir. Çalışmamızda 18-25 yaş aralığında geliştirilen alt PLS regresyon modelinin, aynı veri setiyle test edildiğinde, bireylerin %80'inde yaşların $\pm 2,91$ yıl sapma aralığında kaldığı görülmüştür. Ancak Kobayashi ve ark. (84) geliştirdikleri modeli farklı 50 veri ile test ederek %72 oranında doğruluk elde edebilmişken; çalışmamızda oluşturulan model farklı veri setiyle test edilemediğinden net bir doğruluk oranından bahsedilememiştir. Nitekim tarafımızca gerek 16-101 yaş aralığındaki çalışmadan elde edilen ± 14 yıl sapma, gerek 18-25 yaş aralığında elde ettiğimiz $\pm 2,91$ yıl sapma, saha kullanımı amacıyla kabul edilemez olarak değerlendirilmektedir.

Barszcz ve ark. (85) tarafından postmortem olguların intrakranial bilgisayarlı tomografi görüntülerinin incelenerek yaş tespiti yapılması hedeflenen bir çalışmada; yaşları 14-95 arasında değişen 114 erkek bireye ait görüntüler üzerinden koronal sütür, sagittal sütür ve lamboid sütür değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda net bir yaş tespitinde bulunulamamış, bireylerin 30 yaş altında ya da 50 yaş üstünde olduğu şeklinde yaş aralığı tespitinde bulunulabilmiştir. Tek başına lamboid sütüre dair anlamlı sonuçlar elde edilemediği ancak lamboid sütürün ektokranial taraf sol alt bölgesinin yaşla değişim gösterdiği bildirilmiştir. Savoldi ve ark. (86) tarafından yapılmış midpalatal sütürün yaş ve maksiller kompleks büyümesi ile ilişkisini değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışmada ise, 9-21 yaş aralığında bulunan 72 bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri incelenmiştir. Maksiller kompleks; premaxiller, maksiller ve palatin olarak üç segmente ayrılmış ve her segment interdigitasyon,

ossifikasyon ve sütür yoğunluğu gibi parametrelerle değerlendirilmiştir. Erkeklerde, maksiller segmentteki ossifikasyon düzeyi yaşla anlamlı şekilde artış gösterirken; sütür yoğunluğunun yumuşak dokuya oranı ise hem maksiller hem de palatin segmentlerde yaşla ilişkili bulunmuştur. Kadınlarda ise palatin segmentteki sütür yoğunluğu ile yumuşak doku oranınının, yaş ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkisinin bulunduğu gösterilmiştir. Ayrıca Reis ve ark. (87) tarafından yapılmış, orta palatal sütürün olgunlaşma evreleri ile yaş arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmada ise; 15 - 40 yaş arasındaki 289 kadın ve 198 erkek olmak üzere toplam 487 bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda yaş ile orta palatal sütürün olgunlaşma evresi arasında zayıf anlamlı bir ilişki bulunduğu bildirilmiştir. Çalışmamızla benzer yaş aralığına sahip bireylerin bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden kranial yapıların değerlendirildiği çeşitli çalışmaların, bu yaş grubunda radyolojik anatomik farklılıklarının belirlenmesi açısından önemli katkılar sağladığı düşünülse de her bir çalışmanın bireylerin yaşını kabul edilebilir düzeyde hata oranı ile belirleme konusunda yetersiz kaldığı açıktır.

Sönmez ve ark. (88) tarafından yapılmış bir çalışmada, 1-80 yaş aralığında bulunan 266 kadın, 258 erkek, toplam 524 bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüleri incelenerek, sella turcica yapısının yaş, cinsiyet, beden kitle indeksi ve diyabet varlığı gibi değişkenlerle ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada sella turcica uzunluğu ve çapı cinsiyetler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark göstermiş, ancak sella turcica yüksekliği, ön klinoid çıkıntılar arası mesafe ve arka klinoid çıkıntılar arası mesafe açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Parametreler ile beden kitle indeksi arasındaki ilişki irdelendiğinde; sella turcica uzunluğu, çapı ve ön klinoid çıkıntılar arası mesafe parametreleri istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Dekatlara ayrılmış yaş gruplarında, sella turcica uzunluğu, çapı ve anterior klinoid çıkıntılar arası mesafe değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş; buna karşın sella turcica yüksekliği ile posterior klinoid çıkıntılar arası mesafe değerleri yaşa bağlı olarak değişim göstermemiştir. Ayrıca diyabetli ve sağlıklı bireyler arasında, istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir. Çalışmamıza yalnızca sağlıklı bireyler dahil edilmiş, yaş aralığı 18-25 yaş ile sınırlandırılmıştır. Sella turcica dışında çok sayıda intrakranial yapı incelenmiş, cinsiyet sınıflandırması amacıyla geliştirilen ana PLS-DA modelinde ve sürekli yaş tespiti amacıyla geliştirilen pratik alt PLS regresyon modelinde, sella turcica AP uzunluk parametresi yer almıştır. Ancak analizlerimiz sonucunda sella turcica AP uzunluğunun, incelediğimiz yaş aralığında, sürekli yaş tespiti ile zayıf bir korelasyon gösterdiği çıkarımına varılmıştır.

Güncel literatürde, boyun vertebralarının sevikal ring apofiziyal gelişim evreleri üzerinden yaş tespiti amaçlanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Uys ve ark. (102) tarafından

geliştirilen bu yöntemde; evre 0'da ossifikasyon izlenmezken, evre 4'te tam ossifikasyon gözlemlendiği bildirilmiştir. Hocaoglu ve ark. (89) tarafından yapılan çalışmada ise; 805 erkek, 471 kadın, toplam 1276 bireye ait bilgisayarlı tomografi görüntüsü sagittal planda incelenerek C2, C3 ve C4 vertebralarına ait servikal ring apofiziyal gelişimleri aracılığıyla, anılan metod uyarınca yaş tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Evre 0-2 olarak tespit ettikleri bireylerin neredeyse tamamında 18 yaşın henüz tamamlanmadığı bildirilirken; evre 4 olarak belirledikleri bireylerin 18 yaşın üzerinde olma olasılığını ise, erkeklerde (üç vertebra ortalamasıyla) %81-90, kadınlarda ise %65-70 arasında saptadıklarını ifade etmişlerdir. Ancak, 20 yaşındaki bireylerin evre 3'te sık saptanması nedeniyle yöntemin kesinlik içermediği belirtilmiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde, bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden intrakranial ve servikal yapıların morfometrik analizleri yapılarak, ergenlik sonrası erişkinlik döneminde yaş tespitine yönelik model geliştirilmesi amaçlanmış, ancak başarılı olunamamıştır. Çalışmamız, karşılaştırılan tüm çalışmalar ile bir arada değerlendirildiğinde; 18-25 yaş aralığının, yaş tespiti açısından halen gri zon olarak varlığını sürdürdüğü, bu yaş aralığında farklı vücut bölgelerinin incelendiği yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sonuç olarak, çalışma ile cinsiyet tespiti konusunda yüksek doğruluk sağlayan bir model ve bu modelden türetilen pratik, kolay uygulanabilir bir denklem geliştirilmiştir. Yaş tespiti açısından ise oluşturulan modeller istenen düzeyde başarı gösterememiş; ancak bazı morfometrik parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı bulunması, bu değişkenlerin ileride yapılacak çalışmalarda odak noktası olabileceklerini düşündürmektedir. Bu yönüyle çalışma, özellikle 18-25 yaş arası dönemde cinsiyet tespiti konusunda literatüre net katkı sunarken, yaş tespiti açısından bu dar yaş aralığındaki kısmi morfolojik farklılıklara ve bundan kaynaklı analiz zorluklarına işaret etmektedir.

ÇALIŞMANIN GÜÇLÜ YÖNLERİ

Analizlerde, 822 verilik geniş örnekleme, 18-25 yaş gibi literatürde yaş ve cinsiyet tespitinde gri alan olarak tariflenen dar bir aralığa odaklanması çalışmanın güçlü yönlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Günümüz rutin klinik uygulamaların bir parçası olan bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinden analizler yapılması, verilere ulaşımın pratik ve yöntemin tekrarlanabilir olması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Üç farklı bilgisayarlı tomografi cihazından elde edilen görüntülerin kullanılmasının, tek tip cihaz gerekliliğini ortadan kaldırarak, genellenebilirliği arttırdığı düşünülmektedir. Her ne kadar ölçümler dijital ortamda el ile yapılmış olsa da, bu süreçte intrakranial değerlendirmede deneyimli bir radyoloji uzmanının katkısı alınmış ve hem gözlemciler arası hem de gözlemci

içi ICC analizlerinde yüksek düzeyde uyum ($ICC > 0,90$) tespit edilmiştir (72). Ölçümlerde spesifik landmarklar yerine “en uzun”, “en geniş”, “maksimum” gibi açık ve anlaşılabilir kriterlerin tercih edilmesinin, yöntemin yalnızca radyoloji uzmanları tarafından değil, sahada görev yapan farklı düzeydeki araştırmacılar tarafından da pratik biçimde uygulanabilmesini mümkün kılacağına inanılmaktadır. Bu tercihle, anatomik varyasyonlar ya da görüntüleme kalitesine bağlı olarak ilgili landmarkların ayırt edilememesi veya yanlış değerlendirilmesi gibi olumsuzlukların önüne geçilmesi de amaçlanmıştır.

Literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında diğer tüm çalışmalar, çalışma örnekleminde yer alan bireylerin yaşlarını, gerçekliğini yeniden sorgulamaksızın doğru kabul ederek analizlere başlamışken; çalışmamız örneklemindeki bireylerin sistemde kayıtlı yaşları, hedef ölçümler öncesinde, klinik deneyime sahip bir radyoloji uzmanıyla birlikte incelenerek, literatürde kabul görmüş olan medial klavikular ossifikasyon değerlendirmesi yöntemiyle doğrulanmıştır (56, 58, 73-89).

Kategorik veriler farklı bir bakış açısıyla incelendiğinde, CIA tarafından yayımlanan nüfus dağılım raporuna göre; dünya genelinde 15-24 yaş grubu içerisinde yaklaşık %51,8 oranında erkek ve %48,2 oranında kadın birey olduğu bildirilmiştir (103). Çalışmamızda yer alan 18-25 yaş grubundaki %52,4 erkek ve %47,6 kadın dağılımı ise, anılan küresel cinsiyet eğilimleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. Bu benzer dağılımın, çalışmanın temsiliyeti ve genellenebilirliği açısından önem taşıdığı düşünülmektedir.

Analizler sonucunda üç parametre üzerinden geliştirilmiş alt PLS-DA modeli, ana modellerle benzer düzeyde yüksek sınıflandırma performansı elde etmiştir. Yine alt PLS-DA modelinden oluşturulan denklemin; logaritmik dönüşüm, z-skor standardizasyonu gibi ön işlemler gerektirmemesi ve doğrudan aritmetik hesaplamalar ile çalışması nedeniye görece kullanışlı bir yapıda olduğu düşünülmektedir. Denkleminde yer alan üç parametrenin kolay ölçülebilir yapısı da göz önüne alındığında; geliştirilen alt PLS-DA modelinin, hem literatüre hem de saha uygulamalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI

Çalışmada kullanılan örneklemin 18-25 yaş aralığında ve tek merkezli olmasının, elde edilen sonuçların farklı etnik gruplara ve geniş yaş aralıklarına genellenebilirliğini sınırlandırdığı düşünülmektedir. Cinsiyet sınıflandırma modellerinin farklı etnik gruplar, çok merkezli veri setleri ve daha geniş yaş aralıkları içeren popülasyonlar üzerinde denenmesi, genellenebilirliğin sınanması açısından önem taşımaktadır.

Çalışmadaki morfometrik ölçümler dijital ortamda da olsa el ile gerçekleştirilmiş olup, bu durum doğal olarak gözlemciye bağlı öznel hata riski oluşturmaktadır. Bu riskin önlenmesi amacıyla; intrakranial görüntülemeye deneyimli bir radyoloji uzmanından destek alınmış ve çalışma verilerine hedef ölçümler öncesinde interkorelasyon ve intrakorelasyon analizleri uygulanmıştır. Ancak öznel hataların tamamen önüne geçilebilmesi için, gelecekte yapılacak çalışmalarda bu tür ölçümlerin, otomatik tabanlı sistemlerle desteklenmesi önerilmektedir.



SONUÇLAR

Araştırmanın sonuçları, aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Analizlerde kullanılan yaş verilerinin doğruluğu, yalnızca sistem kayıtlarına dayanılarak kabul edilmemiş; çalışmaya dahil edilmiş 822 bireyin 108'inde mevcut olan göğüs BT görüntüsü üzerinden medial klavikular ossifikasyon evreleri aksiyal planda, Schmeling ve ark. geliştirdiği sınıflamaya göre, klinik deneyime sahip bir radyoloji uzmanı ile birlikte değerlendirilmiş ve Kellinghaus ve ark. tarafından yayınlanmış referans çalışma ile karşılaştırılmıştır (43, 44, 71). Sistem kayıtlarındaki yaşlarla referans alınan yaş tespiti çalışması verileri arasında %97,22 oranında yüksek derecede bir uyum saptanmıştır.
2. Çalışmada 13'ü doğrudan ölçüm, 17'si oransal, ikisi asimetrik aritmetik hesaplama olmak üzere toplam 32 parametre üzerinden istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerle hem tanımlayıcı istatistikler hem de çok değişkenli modellemeler gerçekleştirilmiştir. Cinsiyet tespiti amacıyla, anlamlı olarak değerlendirilen 24 parametreyle PLS-DA ve lojistik regresyon modelleri geliştirilmiştir. Modellerde her ne kadar başarılı sonuçlar elde edilmiş olsa da; parametre sayısının fazla olmasının, modelin pratikliğini azalttığı ve uygulanabilirliğini güçleştirdiği kanısına varılmıştır. Bu nedenle VIP değerleri üzerinden en değerli olduğu tespit edilen üç parametre üzerinden yeni alt PLS-DA modeli geliştirilmiştir. PLS-DA modelinden direkt hesaplama elverişli aritmetik bir denklem elde edilmiştir. " $Skor = -21,917 + 0,102 \times Atlas\ AP\ Dış\ Uzunluk\ (mm) + 0,216 \times Atlas\ Proc.\ Transversuslar\ Arası\ Mesafe\ (mm) + 0,077 \times Dens\ Axis\ AP\ Uzunluk\ (mm)$ ". Skor değeri 0,46 ve üzeri olan bireyler erkek, 0,46'nın altındaki bireyler ise kadın olarak sınıflandırılmıştır. Hem dengeli (stratified) %75/25

ayrım testi, hem de 5 ve 10 katlı çapraz doğrulama ortalama sonuçlarına bakıldığında alt model, kadınları %81-87 duyarlılıkla, erkekleri ise %82-84 duyarlılıkla doğru sınıflandırmış; genel doğruluk oranları %82-85 aralığında seyretmiştir. Denklemin hem yüksek başarımlı göstermesi hem de sade yapısından ötürü kolay uygulanabilir olması nedeniyle, cinsiyet tespiti uygulamalarında literatüre ve saha uygulamalarına kayda değer bir fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Literatürde yer alan sınıflandırma yöntemlerinde sıkça geliştirilen klasik DFA modeli de, alt PLS-DA modeliyle karşılaştırılmak amacıyla, aynı üç parametre üzerinden dengeli ayrım ve sabit tohumlama kullanılarak geliştirilmiş ve DFA modelinden de denklem elde edilmiştir. “ $D = -40,727 + 0,210 \times \text{Atlas AP Dış Uzunluk (mm)} + 0,309 \times \text{Atlas Transvers Processuslar Arası Mesafe (mm)} + 0,606 \times \text{Dens Axis AP Uzunluk (mm)}$ ”. $D \geq 0,418$ olan bireyler erkek; $D < 0,418$ olan bireyler ise kadın olarak sınıflandırılmaktadır. Optimum Youden J indeksi 0,418 olarak tespit edilmiştir. %75 eğitim-% 25 test ayrımı test sonucunda %83 doğruluk oranı elde edilmiştir.
4. Geliştirilen cinsiyet tespit modeli, 18-25 yaş aralığında ve tek merkezli bir örneklem üzerinden oluşturulması nedeniyle genellenebilirlik açısından sınırlılık göstermektedir. Ancak bu modelin, farklı etnik grupları içeren, geniş yaş aralıklarına sahip çok merkezli verilerle test edilmesi durumunda, daha güçlü bir genel geçerlilik kazanabileceği öngörülmektedir.
5. Yaş tespiti amacıyla, sürekli yaş değerlerini öngörmeyi hedefleyen istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanan 17 parametreden oluşturulmuş ana PLS regresyon modeli ile daha sade ve istatistiksel gürültünün azaltıldığı, Pearson ve Spearman katsayılarına göre seçilmiş, atlas AP dış uzunluk, dens axis transvers uzunluk ve kranial AP iç uzunluk ile sella turcica AP uzunluk oranlamasıyla elde edilen üç parametrelili alt PLS regresyon modeli geliştirilmiştir. Ancak incelenen dar yaş aralığında, kemik matürasyonunun büyük ölçüde tamamlanmış olması gibi nedenlerden dolayı, modellerin beklenen performansa ulaşamadığı sonucuna varılmıştır.
6. Yaş grupları arasında sınıflandırma yapılabilmesi açısından farklı istatistiksel modelleme yöntemleri denenmiştir. Yaş verileri, 18-19, 20-21, 22-23 ve 24-25 yaş olmak üzere dört alt gruba ayrılmıştır. Post hoc analiz sonuçlarına göre, tüm alt gruplarda anlamlı farklılık gösteren ortak bir parametre saptanamadığından; yaş sınıflandırmasına yönelik bir model geliştirilememiştir. Elde edilen bulgular, genç erişkinlik döneminde yaş tespitine yönelik olarak kranial morfometrik analizlerin sınırlılıklarına ve bu yaş döneminin tahmininde karşılaşılan zorluklara işaret etmektedir.

7. Çalışmanın sonucunda, alt yaş gruplarının sınıflandırılmasına yönelik kullanışlı bir model geliştirilememiş olsa da post hoc analiz sonuçlarına göre, yaş grupları arasında bazı morfometrik parametrelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

- 20-21 ile 22-23 yaş grupları arasında ve 22-23 ile 24-25 yaş grupları arasında herhangi bir parametrede istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır.
- 18-19 ile 20-21 yaş grubu arasında sadece atlas AP dış uzunluk parametresinin istatistiksel olarak anlamlı olarak fark oluşturduğu saptanmıştır.
- 18-19 ile 22-23 yaş grubu arasında; kranial AP dış ve iç uzunluk farkının yarısı, atlas AP dış uzunluk, dens axis transvers uzunluk, kranial AP dış uzunluk ile atlas AP dış uzunluk oranı, kranial AP dış uzunluk ile kranial BP dış uzunluk oranı ve kranial AP dış uzunluk ile kranial AP iç uzunluk oranı parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu saptanmıştır.
- 18-19 ile 24-25 yaş grubu arasında; sella turcica AP uzunluk, kranial AP dış ve iç uzunluk farkının yarısı, atlas AP dış uzunluk, dens axis transvers uzunluk, kranial AP dış uzunluk ile atlas AP dış uzunluk oranı, kranial AP dış uzunluk ile sella turcica AP uzunluk oranı, kranial AP iç uzunluk ile sella turcica AP uzunluk oranı ve kranial AP dış uzunluk ile kranial AP iç uzunluk oranı parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu saptanmıştır.
- 20-21 ile 24-25 yaş grubu arasında; sella turcica AP uzunluk, kranial AP dış uzunluk ile sella turcica AP uzunluk oranı, kranial AP iç uzunluk ile sella turcica AP uzunluk oranı ve atlas AP dış uzunluk ile sella turcica AP uzunluk oranı parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu saptanmıştır.
- Atlas sağ foramen transversarium çapının, 18-19, 20-21 ve 22-23 yaş grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu saptanmıştır.
- Atlas AP dış uzunluk parametresinin; 18-19 ile 20-21, 18-19 ile 22-23 ve 18-19 ile 24-25 yaş grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu saptanmış olup, bu yönüyle en fazla yaş grubu arasında anlamlı fark gösteren parametre olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, çalışmada değerlendirilen parametrelerin yaş gruplarına göre farklılık gösterebildiği ve bu parametreleri ele alan ileri çalışmaların literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

8. Sürekli yaş tespitine yönelik geliştirilen gerek 24 parametrelili gerekse de üç parametrelili PLS regresyon modelleri geliştirilmiştir. Alt PLS regresyon modelinden elde edilen denklemin [$Tahmini\ Yaş = -4,73 + 0,204 \times "Dens\ Axis\ Transvers\ Uzunluk\ (mm)" + 0,190 \times "Sella\ Turcica\ AP\ uzunluk\ (mm)" + 0,156 \times "Biparietal\ Dış\ Mesafe\ (mm)"$] iç geçerlilik açısından aynı verilerle test edildiğinde, 1,79 MAE değeriyle bireylerin %80'inin yaş tespitinde $\pm 2,91$ yıl sapma aralığında kaldığı görülmüş; tüm performans metrikleri değerlendirildiğinde, modelin 18-25 yaş aralığındaki bireylerin sürekli yaş tespitinde kullanışlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

“De sexu, ossa locuta sunt; de aetate, sibilaverunt.”

(Cinsiyette kemikler konuştu, yaşta fısıldadı.)

ÖZET

Kimliklendirme, bireylerin kendine has özelliklerini saptamayı amaçlayan tanımlama sürecidir. Yaş ve cinsiyet tespiti ise bu sürecin temel bileşenleridir. Bu çalışmada, 18-25 yaş aralığındaki 431 erkek ve 391 kadın olmak üzere toplam 822 bireye ait görüntü, 1 mm kesit kalınlığında aksiyal ve sagittal planda bilgisayarlı tomografi ile rekonstrükte edilip retrospektif olarak incelenerek yaş ve cinsiyet tayini yapılması amaçlanmıştır. Literatürde “gri alan” olarak tanımlanan bu yaş aralığında; kranial bölge ile atlas ve dens axis yapılarının morfometrik analizleri kapsamında 13 doğrudan ölçüm, 17 oransal değer ve iki asimetri indeksi olmak üzere toplam 32 parametre değerlendirilmiştir.

Cinsiyet sınıflandırması için istatistiksel olarak anlamlı bulunan 24 parametre ile kısmi en küçük kareler ayırma analizi ve lojistik regresyon modelleri kurulmuş; model karmaşıklığını azaltmak amacıyla projeksiyondaki değişken önemi skorlarına göre seçilen en değerli üç parametre ile basitleştirilmiş kısmi en küçük kareler ayırma analizi ve ayırma fonksiyonu analizi modelleri geliştirilmiştir. Sürekli yaş tahmini için 17 parametrelili ana kısmi en küçük kareler regresyon modeli ile en yüksek korelasyona sahip üç parametreyi içeren alt model oluşturulmuş, ancak her iki modelin performans metrikleri yetersiz bulunmuştur. Ayrıca, tüm alt yaş grupları (18-19, 20-21, 22-23 ve 24-25) arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmadığından, yaş sınıflandırma modeli de geliştirilememiştir.

Sonuç olarak, üç parametrelili, doğrudan hesaplamaya elverişli ve yüksek performanslı bir kısmi en küçük kareler ayırma analizi cinsiyet tespit modeli geliştirilmiş olup (genel

ortalama doğruluk: %82,5–85,4), modelin çok merkezli ve farklı etnik grupları içeren daha geniş popülasyonlarda test edilerek genellenebilirliğinin değerlendirilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kimliklendirme, yaş tespiti, cinsiyet tespiti, genç yetişkinlik dönemi, bilgisayarlı tomografi



AGE AND SEX ESTIMATION USING INTRACRANIAL RADIOGRAPHIC BIOMETRIC MEASUREMENTS

SUMMARY

Identification is the process of determining the unique characteristics of individuals, with age and sex estimation constituting its fundamental components. This study aimed to determine age and sex by retrospectively analyzing axial and sagittal computed tomography images (1 mm slice thickness) of 822 individuals (431 males, 391 females) aged 18 to 25 years. In this age range, considered a ‘grey area’ in the literature, a total of 32 morphometric parameters were evaluated, including 13 direct measurements, 17 calculated ratios, and two asymmetry indices derived from the cranial region, atlas, and dens axis structures.

For sex classification, partial least squares discriminant analysis and logistic regression models were established using 24 statistically significant parameters. To reduce model complexity, simplified partial least squares discriminant analysis and discriminant function analysis models were developed with the three most valuable parameters based on variable importance in projection scores. For continuous age estimation, a main partial least squares regression model with 17 parameters and a simplified model including the top three correlating variables were constructed; however, the predictive performance of both models was found to be insufficient. Moreover, no statistically significant differences were observed between all age subgroups (18-19, 20-21, 22-23, and 24-25 years), precluding the development of an age classification model.

In conclusion, a high-performance, three-parameter, and directly applicable partial least squares discriminant analysis model for sex estimation was developed (overall accuracy: 82,5-85,4%). It is recommended that this model's generalizability be further evaluated in larger, multi-center studies involving diverse ethnic populations.

Keywords: Identification, age estimation, sex estimation, young adulthood, computed tomography



KAYNAKLAR

1. Zeyfeoglu Y, Hancı İH. İnsanlarda kimlik tespiti. Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi (STED) 2001;10(10):375–7.
2. Baransel Isır A. Adli hekimlikte yaş tayini. In: Koç S, M. C, editors. Birinci Basamakta Adli Tıp. 2 ed. İstanbul: İstanbul Tabip Odası yayınları; 2011. s. 222–34.
3. Kamaleldin ON, Abdelaal SF, Abdelrahman HI, Elsayed EA. Sex Determination by Analyzing Morphometrics of Sella Turcica, Foramen Magnum and Mastoid Process Using Head and Neck Multislice Computed Tomography in Egyptian Population. QJM: An Int J Med 2024;117.
4. Franklin D. Forensic age estimation in human skeletal remains: current concepts and future directions. Leg Med (Tokyo). 2010;12(1):1–7.
5. Šlaus M, Majović M, Ferček A. Estimation of fetal age from dimensions of atlas and axis ossification. Forensic Sci Int 2000;113(2):149–56.
6. Kaplan A, Yılmaz H. Kemik Yaşı Tayininde Kullanılan Greulich-Pyle ve Tanner-Whitehouse Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Bull Leg Med. 2020;25:6–15.
7. Schmeling Andreas, Ernst R. Medical Age Assessment in Living Individuals. In: Burkhard M, editor. Handbook of Forensic Medicine. 2 ed. Hoboken, NJ: Wiley; 2022. p. 1027–53.
8. Priya E. Methods of skeletal age estimation used by forensic anthropologists in adults: a review. Forensic Res Criminol Int J 2017;4(2):41–51.
9. Kuhn M, Johnson K. Measuring Performance in Regression Models. In: Kuhn M, Johnson K, editors. Applied Predictive Modeling. New York, NY: Springer New York; 2013. p. 95–100.
10. Kuhn M, Johnson K. Discriminant Analysis and Other Linear Classification Models. In: Kuhn M, Johnson K, editors. Applied Predictive Modeling. New York, NY: Springer New York; 2013. p. 275–328.

11. Liebenberg L, Krüger GC. Standardization and quality assurance in skeletal landmark placement and osteometry. *Forensic Sci Int* 2020;308:110168.
12. Patil KR, Mody RN. Determination of sex by discriminant function analysis and stature by regression analysis: a lateral cephalometric study. *Forensic Sci Int* 2005;147(2):175–80.
13. Rogers TL. Determining the sex of human remains through cranial morphology. *J Forensic Sci* 2005;50(3):493–500.
14. Arthanari A, Sureshbabu S, Ramalingam K, Prathap L, Ravindran V. Forensic Gender Prediction by Using Mandibular Morphometric Indices: A Panoramic Radiograph Study. *Cureus*. 2024;16(3):e56603.
15. Mall G, Hubig M, Büttner A, Kuznik J, Penning R, Graw M. Sex determination and estimation of stature from the long bones of the arm. *Forensic Sci Int* 2001;117(1):23–30.
16. Capitaneanu C, Willems G, Jacobs R, Fieuws S, Thevissen P. Sex estimation based on tooth measurements using panoramic radiographs. *IntJ Legal Med* 2017;131(3):813–21.
17. Maulani C, Auerkari EI. Molecular analysis for sex determination in forensic dentistry: a systematic review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 2020;10(1):36.
18. Nakanishi H, Shojo H, Ohmori T, Hara M, Takada A, Adachi N, et al. A novel method for sex determination by detecting the number of X chromosomes. *Int J Legal Med* 2015;129(1):23–9.
19. Dash HR, Rawat N, Das S. Alternatives to amelogenin markers for sex determination in humans and their forensic relevance. *Mol Biol Rep* 2020;47(3):2347–60.
20. Marcante B, Marino L, Cattaneo NE, Delicati A, Tozzo P, Caenazzo L. Advancing Forensic Human Chronological Age Estimation: Biochemical, Genetic, and Epigenetic Approaches from the Last 15 Years: A Systematic Review. *Int J Mol Sci* 2025;26(7):3158.
21. Ohtani S, Yamamoto T. Strategy for the estimation of chronological age using the aspartic acid racemization method with special reference to coefficient of correlation between D/L ratios and ages. *J Forensic Sci* 2005;50(5):1020–7.
22. Zubakov D, Liu F, Kokmeijer I, Choi Y, van Meurs JBJ, van IWFJ, et al. Human age estimation from blood using mRNA, DNA methylation, DNA rearrangement, and telomere length. *Forensic Sci Int Genet* 2016;24:33–43.
23. Machado CEP, Flores MRP, Lima LNC, Tinoco RLR, Franco A, Bezerra ACB, et al. A new approach for the analysis of facial growth and age estimation: Iris ratio. *PLOS ONE*. 2017;12(7):e0180330.
24. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 1973;45(2):211–27.
25. Nolla CM. The development of the permanent teeth. *J. Dent. Child*. 1952;27(4):254-66.

26. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE, Jr. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res* 1963;42:1490–502.
27. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med* 2006;120(1):49–52.
28. Ruengdit S, Troy Case D, Mahakkanukrauh P. Cranial suture closure as an age indicator: A review. *Forensic Sci Int* 2020;307:110111.
29. Gök Ş, Erölçer N, Özen C. *Adli Tıpta yaş tayini*. 2 ed: Adli Tıp Kurumu Yayınları; 1985.
30. Pedersen LT, Miszkiewicz J, Cheah LC, Willis A, Domett KM. Age-dependent change and intraskeletal variability in secondary osteons of elderly Australians. *J Anat.* 2024;244(6):1078–92.
31. Gumpangseth T, Mahakkanukrauh P. Age estimation in the combined long bones and ribs by histomorphometry: Past, present, and future. *Med. Sci. Law* 2023;64(1):52–71.
32. Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child.* 1969;44(235):291–303.
33. Marshall WA, Tanner JM. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child.* 1970;45(239):13–23.
34. Neyzi O, Günöz H, Furman A, Bundak R, Gokcay G. Türk çocuklarında vücut ağırlığı, boy uzunluğu, baş çevresi ve vücut kitle indeksi referans değerleri. *Çocuk Sağlığı ve Hastalık. Derg.* 2008;51.
35. Büken B, Şafak A, Buken E, Yazici B, Erkol Z, Ömer U, et al. Is the Tanner–Whitehouse (TW3) method sufficiently reliable for forensic age determination of Turkish children? *Turk J Med Sci.* 2010;40:797–805.
36. Schmeling A, Garamendi PM, Prieto JL, Landa MI. Forensic age estimation in unaccompanied minors and young living adults. In: Vieira DN, editor. *Forensic Medicine – From Old Problems to New Challenges*. London: IntechOpen; 2011. p. 77–120.
37. Greenspan LC, Lee MM. Endocrine disrupters and pubertal timing. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* 2018;25(1):49–54.
38. Shi L, Jiang Z, Zhang L. Childhood obesity and central precocious puberty. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2022;13:1056871.
39. Klein DA, Emerick JE, Sylvester JE, Vogt KS. Disorders of Puberty: An Approach to Diagnosis and Management. *Am Fam Physician.* 2017;96(9):590–9.
40. Mohsin A, Alam Z, Ekramuddin, Faruqi NA. Bilateral variations in the growth and development of human foetal clavicle. *Biomed Res India.* 2013;24(2):235–41.
41. Nagarchi K, Pillai KT, Saheb SH, Brekeit K, Alharbi M. Morphometry of Clavicle. *J. Pharm. Sci. & Res.* 2014;6(2):112–4.

42. Birch R. Pectoral Girdle and Upper Limb. In: Standring S, editor. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 41 ed. London: Elsevier; 2016. p. 776–897.
43. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A. Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med*. 2010;124(2):149–54.
44. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med*. 2004;118(1):5–8.
45. Gleeson M. Head and Neck. In: Standring S, editor. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 41 ed. London: Elsevier; 2016. p. 404–709.
46. Vinchon M. The metopic suture: Natural history. *Neurochirurgie*. 2019;65(5):239–45.
47. Del Bove A, Menéndez L, Manzi G, Moggi-Cecchi J, Lorenzo C, Profico A. Mapping sexual dimorphism signal in the human cranium. *Scientific Rep* 2023;13(1):16847.
48. Zheng B, Zhong Y, Al-Worafi NA, Liu Y. The dimensional and morphological assessment of the frontal sinus in sex estimation among different populations. *Head Face Med* 2023;19(1):8.
49. Irwin GL. Roentgen determination of the time of closure of the spheno-occipital synchondrosis. *Radiology*. 1960;75:450–3.
50. Gapert R, Black S, Last J. Sex determination from the foramen magnum: discriminant function analysis in an eighteenth and nineteenth century British sample. *Int J Legal Med* 2009;123(1):25–33.
51. Uysal S, Gokharman D, Kacar M, Tuncbilek I, Kosa U. Estimation of sex by 3D CT measurements of the foramen magnum. *J Forensic Sci* 2005;50(6):1310–4.
52. Scheuer L, Black S. Chapter Two - Skeletal Development and Ageing. In: Scheuer L, Black S, editors. *Developmental Juvenile Osteology*. London: Academic Press; 2000. p. 4–17.
53. Wang X, Liu G, Wu Q, Zheng Y, Song F, Li Y. Sex estimation techniques based on skulls in forensic anthropology: A scoping review. *Plos One*. 2024;19.
54. Silverman FN. Roentgen standards fo-size of the pituitary fossa from infancy through adolescence. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1957;78(3):451–60.
55. Alkofide EA. The shape and size of the sella turcica in skeletal Class I, Class II, and Class III Saudi subjects. *Eur J Orthod*. 2007;29(5):457–63.
56. Padovan L, Ulbricht V, Groppo FC, Neto JSP, Andrade VM, Júnior LF. Sexual dimorphism through the study of atlas vertebra in the Brazilian population. *J Forensic Dent Sci*. 2019;11(3):158–62.

57. Scheuer L, Black S. Chapter Five - The Head, Neck and Dentition. In: Scheuer L, Black S, editors. *Developmental Juvenile Osteology*. London: Academic Press; 2000. p. 36–170.
58. Gama I, Navega D, Cunha E. Sex estimation using the second cervical vertebra: a morphometric analysis in a documented Portuguese skeletal sample. *Int J Legal Med*. 2015;129(2):365–72.
59. Marlow EJ, Pastor RF. Sex determination using the second cervical vertebra--A test of the method. *J Forensic Sci*. 2011;56(1):165–9.
60. Erdem Ü, Doğramacı YG. Mevzuat ve Yargıtay Kararlarında Yaş Düzeltme Davaları. In: Koç S, Can M, editors. *Yaş Tayini*. İzmir: ATUD; 2017. s. 61–75.
61. TBMM TC. 5395 Sayılı Çocuk Koruma Kanunu. Ankara: Resmî Gazete; 2005.
62. BMÖ. Çocuk Haklarına Dair Sözleşme. Birleşmiş Milletler Genel Kurulu; 1989.
63. TBMM TC. 5237 Sayılı Türk Ceza Kanunu. Ankara: Resmî Gazete; 2004.
64. TBMM TC. 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu. Ankara: Resmî Gazete; 2001.
65. TBMM TC. 7179 sayılı Askeralma Kanunu. Ankara: Resmî Gazete; 2019.
66. TBMM TC. 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu. Ankara: Resmî Gazete; 2006.
67. Beauchamp TL, Childress JF. *Principles of Biomedical Ethics*. 7 ed. New York: Oxford University Press; 2013.
68. Smith T, Brownlees L. *Age Assessment: A Technical Note*. New York: UNICEF; 2013.
69. Unhcr, Unicef. *Safe & Sound: What States can do to ensure respect for the best interests of unaccompanied and separated children in Europe*. Geneva: UNHCR; 2014.
70. European Asylum Support O. *Practical Guide on Age Assessment, Second Edition*. Malta: EASO (EUAA); 2018.
71. Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E, Vieth V, Geserick G. Forensic Age Estimation. *Dtsch Arztebl Int* 2016;113(4):44–50.
72. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155–63.
73. Meral O, Meydan R, Toklu BB, Kaya A, Karadayi B, Acar T. Estimation of sex from computed tomography images of skull measurements in an adult Turkish population. *Acta Radiol* 2022;63(11):1513–21.
74. Cekdemir YE, Mutlu U, Karaman G, Balci A. Estimation of sex using morphometric measurements performed on cranial computerized tomography scans. *La Radiologia Med* 2021;126(2):306–15.

75. Torimitsu S, Nakazawa A, Flavel A, Swift L, Makino Y, Iwase H, et al. Estimation of ancestry from cranial measurements based on MDCT data acquired in a Japanese and Western Australian population. *Int J Legal Med* 2024;138(3):1193–203.
76. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A. Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 2013;229(1-3):158.e1–8.
77. Madadin M, Menezes RG, Al Saif HS, Abu Alola H, Al Muhanna A, Gullenpet AH, et al. Morphometric evaluation of the foramen magnum for sex determination: A study from Saudi Arabia. *J Forensic Legal Med* 2017;46:66–71.
78. Waghmode GT, Salve VM, Shinde PB, Waghmode UT. Sexing Adult Human Atlas Vertebrae in South India. *Indian J Anatomy*. 2017;6:280–3.
79. Asukai M, Fujita T, Suzuki D, Nishida T, Ohishi T, Matsuyama Y. Sex-Related Differences in the Developmental Morphology of the Atlas: A Computed Tomography Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018;43(10):699–704.
80. Ozdemir M, Turan Yurtsever N, Akdeniz E, Bugdaycı O. Age and sex estimation by cranial and paranasal sinus metric measurements of Turkish citizens using PLS methods. *Canadian Soc Forensic Sci J* 2025;58(1):20–33.
81. Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Yajima D, et al. Sexual determination based on multidetector computed tomographic measurements of the second cervical vertebra in a contemporary Japanese population. *Forensic Sci Int* 2016;266:588.e1–e6.
82. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Karaman G, Garcia-Donas J, Kranioti E, et al. Virtual morphometric method using seven cervical vertebrae for sex estimation on the Turkish population. *Int J Legal Med* 2021;135(5):1953–64.
83. Öksüzler M, Ozandaç Polat S, Ipek-Çay E, Göker P. The Relationship of the Posterior Cranial Fossa with Age and Sex. *Int J Morphol* 2021;39:1371–82.
84. Kobayashi S, Makino Y, Torimitsu S, Yamaguchi R, Chiba F, Tsuneya S, et al. Age estimation by evaluating median palatine suture closure using postmortem CT. *Int J Legal Med* 2023;137(4):1097–107..
85. Barszcz M, Badach E, Woźniak KJ. Cranial sutures as an age indicator: verification of the method using postmortem CT acquisition material. *Int J Legal Med* 2025. DOI:10.1007/s00414-025-03504-3
86. Savoldi F, Wong KK, Yeung AWK, Tsoi JKH, Gu M, Bornstein MM. Midpalatal suture maturation staging using cone beam computed tomography in patients aged between 9 to 21 years. *Scientific Rep* 2022;12(1):4318.
87. Reis LG, Ribeiro RA, Vitral RWF, Reis HN, Devito KL. Classification of the midpalatal suture maturation in individuals older than 15 years: a cone beam computed tomographic study. *Surg Radiol Anat* 2020;42(9):1043–9.

88. Sönmez E, Polat S, Öksüzler M, Göker P. Evaluation of Sella Turcica Morphology and Morphometry Based on Gender and Age in Our Population Using Computed Tomography. *J Craniofac Surg* 2024;35(2):678–81.
89. Hocaoglu E, Inci E, Ekizoglu O, Steyn M, Uys A. Age estimation in the living: cervical ring apophysis development in a Turkish sample using CT. *Int J Legal Med* 2020;134(6):2229–37.
90. Hosmer DW, Jr., Lemeshow S, Sturdivant RX. *Applied Logistic Regression*. 3rd edition ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2013.
91. Kononenko I. Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artif Intell Med* 2001;23(1):89–109.
92. Lasalvia M, Capozzi V, Perna G. A Comparison of PCA-LDA and PLS-DA Techniques for Classification of Vibrational Spectra. *App Sci* 2022;12:5345.
93. Martens H, Naes T. *Multivariate Calibration*. Chichester: Wiley; 1989.
94. Abdul Rashid N, Hussain W, Ahmad A, Abdullah F. Performance of Classification Analysis: A Comparative Study between PLS-DA and Integrating PCA+LDA. *Math. Stat* 2019;7:24–8.
95. Olivieri AC. The Partial Least-Squares Model. In: Olivieri AC, editor. *Introduction to Multivariate Calibration: A Practical Approach*. Cham: Springer International Publishing; 2024. p. 119–37.
96. Capote R, Preston K, Kapadia H. Craniofacial Growth and Development: A Primer for the Facial Trauma Surgeon. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2023;35(4):501–13.
97. Melsen B. Time and mode of closure of the spheno-occipital synchondrosis determined on human autopsy material. *Acta Anatomica* 1972;83(1):112–8.
98. Axelsson S, Storhaug K, Kjaer I. Post-natal size and morphology of the sella turcica. Longitudinal cephalometric standards for Norwegians between 6 and 21 years of age. *Eur J Orthod* 2004;26(6):597–604.
99. Piatt JH, Jr., Grissom LE. Developmental anatomy of the atlas and axis in childhood by computed tomography. *J Neurosurg Pediatr* 2011;8(3):235–43.
100. Pang D, Thompson DN. Embryology and bony malformations of the craniovertebral junction. *Childs Nerv Syst* 2011;27(4):523–64.
101. Jain N, Verma R, Garga UC, Baruah BP, Jain SK, Bhaskar SN. CT and MR imaging of odontoid abnormalities: A pictorial review. *Indian J Radiol Imaging*. 2016;26(1):108–19.
102. Uys A, Bernitz H, Pretorius S, Steyn M. Age estimation from anterior cervical vertebral ring apophysis ossification in South Africans. *Int J Legal Med*. 2019;133(6):1935–48.
103. Central Intelligence A. Sex ratio – The World Factbook: CIA; 2019 [updated 2019/01/09. Available from: <https://web.archive.org/web/20190109031519/https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/351.html>. (Erişim Tarihi: 27.07.2025)

EKLER



EK - 1

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ DEKANLIĞI GİRİŞİMSSEL OLMAYAN BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU Edirne, Türkiye

ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ONAYIBAŞVURU BİLGİLERİ	PROTOKOL KODU		TÜTF-GOBAEK 2025/138	
	PROTOKOL ADI		Kafa İçi Radyografik Biyometrik Ölçümler ile Yaş ve Cinsiyet Tespti	
	SORUMLU ARAŞTIRICI ÜNVANI / ADI		Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş MERİÇ	
	ARAŞTIRMA MERKEZİ			
	DESTEKLEYİCİ			
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER		Tek Merkez Ulusal	Çok Merkez Uluslararası
KARAR BİLGİLERİ	Karar No:07/04			Tarih:14.04.2025
	Fakültemiz Adli Tıp Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş MERİÇ'in sorumluluğunda yapılması planlanan ve yukarıda başvuru bilgileri verilen Araş. Gör. Dr. Emre GÜNGÖRDÜ'nün tez çalışmasının araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş; araştırmaya ilişkin giderlerin gönüllüye ve/veya bağlı bulunduğu sosyal güvenlik kurumuna ödendiği koşullarda ve veri toplanacak yerlerden gerekli izinler alındıktan sonra gerçekleştirilmesinde etik bilimsel standartlar açısından sakınca bulunmadığına mevcudun oy birliği ile karar verilmiştir.			
ETİK KURUL BİLGİLERİ				
ÇALIŞMA ESASI		Helsinki Bildirgesi, İyi Klinik Uygulamalar Kılavuzu, TÜTF-GOBAEK Yönergesi		

ÜYELER

Ünvan/Ad/ Soyadı	Uzmanlık Dalı	Kurumu	Cinsiyeti	İlişki(*)	Katılım (**)	İmza
Doç. Dr. Fatma Gülsüm ÖNAL Başkan	Tıp Tarihi ve Etik	T.Ü.T.F. Tıp Tarihi ve Etik A.D.	K	E H	E H	
Prof. Dr. Hakan GÜRKAN Başkan Yardımcısı	Tıbbi Genetik	T.Ü.T.F. Tıbbi Genetik A.D.	E	E H	E H	
Doç. Dr. Selçuk KORKMAZ Üye	Biyoistatistik	T.Ü.T.F. Biyoistatistik A.D.	E	E H	E H	
Prof. Dr. Mehmet Erdal VARDAR Üye	Ruh Sağlığı ve Hastalıkları	T.Ü.T.F. Ruh Sağlığı ve Hastalıkları A.D.	E	E H	E H	
Prof. Dr. Hasan ÜMİT Üye	İç Hastalıkları	T.Ü.T.F. İç Hastalıkları A.D.	E	E H	E H	
Prof. Dr. Semaz TOPALOĞLU Üye	İç Hastalıkları	T.Ü.T.F. İç Hastalıkları A.D.	K	E H	E H	
Doç. Dr. Sezgi SARIKAYA SOLAK Üye	Deri ve Zührevi Hastalıklar	T.Ü.T.F. Deri ve Zührevi Hastalıklar A.D.	K	E H	E H	
Doç. Dr. Oktay KAYA Üye	Fizyoloji	T.Ü.T.F. Fizyoloji A.D.	E	E H	E H	
Prof. Dr. Galip EKUKLU Üye	Halk Sağlığı	T.Ü.T.F. Halk Sağlığı A.D.	E	E H	E H	
Prof. Dr. Rıdvan DURAN Üye	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	T.Ü.T.F. Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları A.D.	E	E H	E H	
Dr. Öğr. Üyesi Sinan ATEŞ Üye	Kadın Hastalıkları ve Doğum	T.Ü.T.F. Kadın Hastalıkları ve Doğum A.D.	E	E H	E H	
Prof. Dr. Sevtap HEKİMOĞLU ŞAHİN Üye	Anestezi ve Reanimasyon	T.Ü.T.F. Anestezi ve Reanimasyon A.D.	K	E H	E H	
Doç. Dr. Doğan ALBAYRAK Üye	Genel Cerrahi	T.Ü.T.F. Genel Cerrahi A.D.	E	E H	E H	
Doç. Dr. Ayşegül KURT Üye	Protetik Diş	T.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi	K	E H	E H	
Doç. Dr. Hilal KEKLİCEK Üye	Protez-Ortez ve Biyomekani	T.Ü. Sağlık Bilimleri Fakültesi	K	E H	E H	
Avukat Emine NURLU Üye		T.Ü. Rektörlüğü	K	E H	E H	
Emekli Öğretmen Sinan SEÇKİN Üye	Emekli Öğretmen	Serbest Üye	E	E H	E H	

*Araştırma ile ilişkili

**Toplantıda Bulunma