



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TIP FAKÜLTESİ
ANATOMİ ANABİLİM DALI



**13. YY'A AİT GEÇ DÖNEM BİZANS KAFATASLARININ
3 BOYUTLU YÖNTEM İLE RESTORASYONU VE
DİJİTAL PROTOTİPLENDİRİLMESİ**

HÜSEYİN UZABACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURSA-2021



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TIP FAKÜLTESİ
ANATOMİ ANABİLİM DALI



**13. YY'A AİT GEÇ DÖNEM BİZANS KAFATASLARININ
3 BOYUTLU YÖNTEM İLE RESTORASYONU VE
DİJİTAL PROTOTİPLENDİRİLMESİ**

Hüseyin UZABACI

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

DANIŞMAN:

Doç. Dr. İlker Mustafa KAFA

BURSA-2021

TEZ KONTROL ve BEYAN FORMU

18/06/2021

Adı Soyadı: Hüseyin UZABACI

Anabilim Dalı: TIP/ANATOMİ

Tez Konusu: 13. yy'a ait Geç Dönem Bizans Kafataslarının 3 Boyutlu Yöntem ile Restorasyonu ve Dijital Prototiplendirmesi

<u>ÖZELLİKLER</u>	<u>UYGUNDUR</u>	<u>UYGUN DEĞİLDİR</u>	<u>AÇIKLAMA</u>
Tezin Boyutları	✓	<input type="checkbox"/>	
Dış Kapak Sayfası	✓	<input type="checkbox"/>	
İç Kapak Sayfası	✓	<input type="checkbox"/>	
Kabul Onay Sayfası	✓	<input type="checkbox"/>	
Sayfa Düzeni	✓	<input type="checkbox"/>	
İçindekiler Sayfası	✓	<input type="checkbox"/>	
Yazı Karakteri	✓	<input type="checkbox"/>	
Satır Aralıkları	✓	<input type="checkbox"/>	
Başlıklar	✓	<input type="checkbox"/>	
Sayfa Numaraları	✓	<input type="checkbox"/>	
Eklerin Yerleştirilmesi	✓	<input type="checkbox"/>	
Tabloların Yerleştirilmesi	✓	<input type="checkbox"/>	
Kaynaklar	✓	<input type="checkbox"/>	

DANIŞMAN ONAYI

Unvanı Adı Soyadı: Doç. Dr. İlker Mustafa KAFA

İmza:

İÇİNDEKİLER

Dış Kapak	
İç Kapak	
KABUL ONAY.....	III
TEZ KONTROL BEYAN FORMU	IV
İÇİNDEKİLER	V
TÜRKÇE ÖZET	VI
İNGİLİZCE ÖZET	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Kafatasının Embriyolojik Gelişim Süreci.....	6
2.1.1. İskelet sistemi.....	6
2.1.2. Kafatası'nın gelişimi	6
2.1.3. Yeni doğan kafatası.....	10
2.2. Kafatası Anatomisi.....	13
2.2.1. Kafa İskeleti.....	13
2.2.2. Norma frontalis, Norma facialis (Kafatasının önden görünüşü).....	18
2.2.3. Norma superior, Norma verticalis (Kafatasının üstten görünüşü)	21
2.2.4. Norma lateralis (Kafatasının yandan görünüşü)	23
2.2.5. Norma posterior, Norma occipitalis (Kafatasının arkadan görünüşü)....	26
2.2.6. Norma basalis, Norma inferior, Basis cranii externa.....	27
2.2.7. Basis cranii interna (Kafatasının içten görünüşü).....	28
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	31
3.1. 3D modelleme nedir?	49
4. BULGULAR.....	66
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	85
6. KAYNAKLAR	89
7. SİMGELER ve KISALTMALAR	96
8. TEŞEKKÜR	97
9. ÖZGEÇMİŞ	98

TÜRKÇE ÖZET

3 boyutlu modelleme ve yazıcıların sağlık alanında kullanımı gün geçtikçe artmaya ve geliştirilmeye devam etmektedir. 3 boyutlu modellemenin kullanım alanlarından biri de osteolojik materyal ve veriler üzerindedir. Anatomi, antropoloji, adli bilimler ve arkeoloji bilimleri açısından eski kemik kalıntılarının arşivlenmesi ve korunması, osteolojik materyaller üzerinde yapılacak çalışmalar için en önemli gerekliliklerden biridir. Eski ve yıllanmış kemik yapılar yıllar içerisinde deforme olmakta ve saklanmalarında zorluklar yaşanabilmektedir.

Tez çalışmasında, Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan 33 adet nispeten deforme olmuş ve 13. yy'a ait geç dönem Bizans kafatasları kullanılmıştır. Kafatasları kodlanıp, 3 boyutlu Hscan Prince Lazer tarayıcıyla modelleme yapılarak STL 3 boyutlu dosya formatında dijital arşiv olarak saklanmıştır. Deformiteler mümkün olduğunca restore edilip, eksik kemik yapılarının, mandibula hariç, yeniden modele eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Deformitelerin restorasyonunda “Simetriye Dayalı Yeniden Yapılandırma” ve “Geometriye Dayalı Yeniden Yapılandırma” yöntemi kullanılarak, dijital restore edilmiş prototipler elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca 3 boyutlu modellerden antropometrik noktalar arasındaki dijital ölçümler ile gerçek kemikler üzerindeki ölçümler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda SPSS istatistik yazılımı kullanılmıştır. Prototiplendirilmiş kafataslarının plastik örneklendirilmesinde Zaxe X1 yazıcı ve PLA türü plastik materyal kullanılmıştır.

3 boyutlu tarama ile elde edilen eski kafatası materyallerini, dijital ortamda ve basılı olarak prototiplendirip, arşivlendirip, gerçek kemiklere yakın morfometrik veriler alıp daha kalıcı, tekrar kullanılabilir, daha hassas materyal olarak araştırma ve eğitim amacıyla kullanmayı hedeflemekteyiz. Çalışmada aynı zamanda restore edilerek prototiplendirilmiş tarihi kafataslarından 3 boyutlu yazıcı ile çıktı alınması ve birer sert plastik örneklerinin de arşive ve eğitime kazandırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kafatası, 3 boyutlu modelleme, restorasyon, morfometri.

İNGİLİZCE ÖZET

3D Restoration and Digital Prototyping of 13th Century Late Byzantine Era Skulls

The use of 3D modeling and printers in the field of health continues to increase and develop day by day. One of the usage areas of 3D modeling is on osteological materials and data. Archiving and preserving ancient bone remains is one of the most important requirements for studies on osteological materials in terms of anatomy, anthropology, forensic sciences and archeological sciences. Old and aged bone structures are deformed over the years and there may be difficulties in their storage.

In the thesis study, 33 relatively deformed and late period Byzantine skulls from the 13th century were used in the Osteology Collection of Bursa Uludağ University Faculty of Medicine, Department of Anatomy. The skulls were encoded and modeled with a 3D Hscan Prince Laser scanner and stored as a digital archive in STL 3D file format. Deformities were restored as much as possible and the missing bone structures were added to the model, except for the mandible. Digitally restored prototypes were obtained by using "Symmetry Based Reconstruction" and "Geometry Based Reconstruction" methods in the restoration of deformities. Digital measurements between anthropometric points from 3D models and measurements on real bones were compared. SPSS statistics software was used for comparisons. Zaxe X1 printer and PLA type plastic material were used for plastic sampling of the prototyped skulls.

We aim to use the old skull materials obtained by scanning in 3D as digitally and in print, prototyping, archiving, obtaining morphometric data close to real bones and using them as more permanent, reusable, more sensitive material for research and education purposes. It is also aimed to print out the historical skulls that have been restored and prototyped with a 3-dimensional printer and to add one hard plastic sample to the archive and education.

Keywords: Skull, 3D modeling, restoration, morphometry.

1. GİRİŞ

Geçmiş dönemlerden kalan insan iskelet kalıntıları, arkeo-antropolojik alanda önemli bir kültürel miras olarak kabul edilir. Kemiklerin incelenmesi, yaş ve cinsiyetin belirlenmesi (Acsa'di, & Nemeske'ri 1970; Buikstra, & Ubelaker, 1994; Ferenbach, Schwidetzky, & Stloukal, 1980; Greene, Van Gerven, & Armelagos, 1986); boy tespiti (Radoinova, Tenekedjiev, & Yordanov, 2002; Raxter, Auerbach, & Ruff, 2006; Trotter, & Gleser, 1952) ve araştırılan kişide olası patolojiler ya da travmaların (Brickley, 2006; Ortner, 2003; Patrick, 2006) ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

İnsanlardaki morfometrik değişkenlikleri tanımlamada gerekli olan belirli indeksleri değerlendirmek için antropometrik analizler gerçekleştirilmektedir. Ancak, iskelet kalıntılarının birçoğu genellikle ciddi şekilde hasar görmüş veya iyi korunmamış durumda olmaktadır. Bu da araştırma amaçlı ortaya çıkarılmış olan mevcut niceliksel ve niteliksel bilginin kapsamlı bir biçimde sunumunu ciddi ölçüde sınırlamaktadır. Morfolojik ve morfometrik analizlerin doğru yapılabilmesi kesinlikle kalıntılarının korunma durumuna bağlıdır, çünkü kötü durumda bulunan, hasarlanmış osteolojik materyaller için bütüncül ölçüm veri setleri mevcut değildir (Fantini, De Crescenzo, Persiani, Benazzi, & Gruppioni, 2008).

İnsan kafatası, fiziksel antropolojik çalışmalarda, adli tıp araştırmalarında ve cerrahi planlamada çok önemli yer tutmaktadır (Xie Shudong, 2016).

Bilgisayar kullanarak kafatasının yeniden birleştirilmesinin güvenilirliği ve etkinliği hakkında çok çalışma bulunmaktadır. Hasar görmüş bir kafatasının restore edilmesi veya yeniden şekillendirilmesi gerektiğinde, kafatasının orijinal durumuna geri dönme oranı ve gerçekçiliği çok önemlidir. Çünkü restore edilmiş bir yüz görünümü öncelikle doğrudan kafatasının morfolojisine bağlı olacaktır (Mackenzie, 2007). Aynı zamanda paleontolojik çalışmalarda; parçalanmış kafataslarının kalıntılardan maksimum kanıt elde etmek için olabildiğince tam ve doğru bir şekilde restore edilmesi gerekir (White, 2000). Yüzün yeniden yapılandırılması amacıyla kafatası görüntülerini yakalama süreçleri artık mevcut olmasına rağmen, kafatasının

rekonstrüksiyon edilmesi için benzer teknolojilerin henüz hız ve doğruluk vaatlerini belgelemediği bilinmektedir (Davy, Gilbert, Schofield, & Evison, 2005).

Tamamen dijitalleştirilmiş bir yeniden yapılanma sürecinde üç boyutlu (3B) sanal kafatasının hasarlanmış yapılarının tespiti ve yeniden yapılandırılmasında lazer tarayıcılar ve bilgisayar modelleme yazılım programları kullanılabilir (Subke, 2005). Kafatasının oryantasyon ve yüz rekonstrüksiyonu ise; manuel restorasyon tekniği, sanal gerçeklik ve bilgisayar restorasyon yöntemleri adımları ile yapılabilmektedir (Mackenzie, 2007).

İnsan anatomisine yönelik eğitim, tıp eğitiminin bir kilometre taşıdır ve teorik bilgiyi uygulamak ve güçlendirmek için uygulamalı bir yaklaşım gerektirmektedir (Chambers, & Emllyn-Jones, 2009; Heetun, 2009). Anatomi, tıp müfredatının önemli bir bileşenidir ve nihai klinik uzmanlık alanından bağımsız olarak iyi klinik uygulamalarının da temel taşıdır; klinik muayene becerileri, tıbbi görüntüleme yorumlama ve girişimsel prosedürler için evrensel olarak önemi her zaman vurgulanmaktadır (Davis, Bates, Ellis, & Roberts, 2014). Anatomi en genel anlamda kadvralar üzerinden örnekleri, ders kitapları, didaktik öğretim oturumları ve plastik modellerin (Davis ve ark., 2014) yanı sıra yüzeysel anatomi ve ultrason kullanılarak öğretilir (Moscova, Bryce, Sindhusake, & Young, 2015; So, Patel, & Orebaugh, 2017). Anatomik yapıların üç boyutlu modellerinin oluşturulması, Lockhart (1927) tarafından önerilerek mumdan ve son zamanlarda alçı ve plastinasyonla (Gryglewski, 2013; Riederer, 2014) yapılan modeller ile uzun yıllardır kullanılmıştır. Tam vücut kadvra diseksiyonu uzun zamandır anatomi eğitiminde altın standart olarak görülmüştür (Sugand, Abrahams, & Khurana, 2010) ve bundan uzaklaşmalar her zaman dirençle karşılanmıştır. Diseksiyonun derin anatomik anlayışı teşvik ettiği, yüksek anatomik temeli olan kariyerler için bir coşku ve profesyonellik ve takım çalışması gibi aktarılabilir becerilerin geliştirilmesini teşvik ettiği gösterilmiştir (Slotnick, & Hilton, 2006; Smith, & Mathias, 2007, 2009 - 2011). Bununla birlikte, kadvraların temini bazı istisnalarda zor olabilmekte ve bazı ülkelerdeki eğitim kurumlarında son derece sınırlı olabilmektedir. Anatomi müfredatını geliştirmek için radyoloji ve görüntüleme çalışmalarının kullanımı birçok tıp fakültesi tarafından savunulmuştur ve bunu kesitsel görüntüleme veri setlerinden 3B yazdırılmış

modellerin kullanımına dönüştürmek, bir alternatif olarak sunulmuştur (Claire, Derek, & Malcolm, 2017).

Anatomi eğitimi geçtiğimiz 20 yılda diğer bilim dalları gibi değişikliklere ve gelişmelere uğramıştır (Drake, McBride, Lachman, & Pawlina, 2009). Bunun sonucunda anatomi öğretiminin saatlerinde ve seviyesinde bir azalma olduğu da bilinmektedir (Davis ve ark., 2014; Turney, 2007). Ek olarak, tam donanımlı bir anatomi bölümünün kurulması ve idamesinin getirdiği mali yük giderek artmaktadır. Son yıllarda, üç boyutlu baskı (3B), insan anatomi modellerinin yaratılması için yeni bir yöntemi temsil etmektedir. "Blokta yeni çocuk" (Drake, & Pawlina, 2014) anatomi eğitimi iyileştirmek ve aynı zamanda anatomide kullanmak için yeni fırsatlar yaratmıştır (Ventola, 2014). Küresel bir perspektiften bakıldığında, tüm tıp fakültelerinin kadavra bakımıyla ilgili mali kaygıları nedeniyle insan kadavra örneklerine erişimi ortalaması da yeterli değildir (McMenamin, Quayle, McHenry, & Adams, 2014; Raja, & Sultana, 2012). Ayrıca, artan öğrenci sayısı, temas saatlerinin azalması, kadavra sıkıntısı ve diseksiyon yapmak için gereken aşırı zaman bu eğitimde kadavra kullanımını azaltabilmektedir (Yammine, 2014). Diseksiyon temelli öğretim hala sosyal ve etik tartışmalara tabidir. Günümüzde anatomi eğitimi modernize etme zorunluluğu doğmuş olsa da, çoğunlukla eğitim hala görsel kaynaklara ve plastik modellere dayanmaktadır. Tespit solüsyonlarının kullanımı, doku ya da örneklerin hassas olması gibi pek çok faktör nedeniyle uygun eğitim ortamları dışında çalışabilme seçeneği de öğrencilerin elinden alınabilmektedir (Bartikian, Ferreira, Goncalves-Ferreira, & Neto, 2019).

Yeni teknolojilerin ortaya çıkması, öğrencilerin anatomik detayları öğrenmesinde atlaslarda verilen 2B görüntülerin ötesinde, 3B modellemelerin de kullanılabilmesine izin vermiştir. Bu modeller, oluşumların kendilerinin ve çevresindeki yapılarla ilişkilerinin gerçeğe yakın bir görüntüsünü sağlayabilmektedir (Khot, Quinlan, Norman, & Wainman, 2013; Yammine, & Violato, 2015). Yeni teknolojilerin hızlı gelişimi, bilginin yayılmasını kolaylaştırarak öğrencilerin farklı teknolojik araçlarla kolayca erişimine de izin vermiştir (Cornwall, & Pollard, 2012). Literatür bilimiz, öğrencilerin kemiklerle doğrudan gözlem ve birebir etkileşim ile yaptıkları uygulamalı anatomi çalışmalarında daha iyi eğitsel sonuçlar elde ettiklerini

söylemektedir (Juanes, Hernandez, Ruisoto, García, Villarrubia, & Prats, 2014; Turney, 2007). Ancak bu osteolojik materyallerin sürekli kullanımla bozulması, tüm öğrenciler için kemik parçalarını elde etmedeki zorluk gibi faktörler 3B yazıcıların tam ölçekli 3B kemik modellerinin üretimini teşvik etmiştir. Uygun maliyetler ile elde edilebilen örnekler eğitimde yeni bir bakış açısının da ortaya çıkmasına yol açmıştır (Biasutto, Ignacio Caussa, & Esteban Criado del Río, 2006; Baskaran, Strkalj, Strkalj, & Di Ieva, 2016). Günümüzde 3B yazıcıların ortaya çıkışı, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve eklemeli üretimden başlayarak üç boyutlu yapıların üretilmesine izin veren hızlı prototipleme tekniği ile 3B modellerin oluşturulmasına izin vermektedir (McGurk, Amis, Potamianos, & Goodger, 1997). Hızlı prototipleme tekniklerinin oluşturulması, düşük maliyetli 3B yazıcıların satışta olması bu teknikler için yeni yazılımların oluşturulması, sağlık bilimleri fakültelerinde anatomi öğretimi alanında 3B kemik modellerinin oluşturulmasına imkan sağlamıştır. Oluşturulan 3 boyutlu kafatası modellerinin, tam ölçekli olarak lisans öğrencileri tarafından çalışmaları için kullanımlarında kolayca tanımlanabilen doğru anatomik detaylar sunabildiği de uygulamalar ile görülmüştür (Lozano, Haro, Diaz, Manzoor, Ugidos, & Mendez, 2017). Gelişen 3B baskı teknolojisi özelleştirebilme, hızlı üretim, doğruluk ve nispeten düşük maliyet gibi birçok avantajlara da sahip olmaya başlamıştır (Shen, Yao, Xie, Guo, Shang, Dong, Li, Pan, Chen, Pan, & Xiong, 2017). Bir başka açıdan da tek bir gerçek örnekten istenildiği kadar model basılarak kullanıma sunulabilmektedir (Kumar, 2012). 3B baskı teknolojisi ve tıp biliminin birleşiminde yeni uygulamalar da ortaya çıkmıştır ve bu uygulamaların sayıları da gittikçe artmaktadır (Friedman, Michalski, Goodman, & Brown, 2016). Bir hastanın verilerine göre burun boşluğunun, paranasal sinüslerin (özellikle *sphenoid sinüs*) ve intrasellar / *hipofiz* patolojisinin doğru 3 boyutlu uzaysal modellerini yapmak için bildirilen prosedürler bu yaklaşımlara bir örnek olarak verilebilir (Waran, Menon, Pancharatnam, Rathinam, Balakrishnan, & Tung, 2012). Bilgisayarlı Tomografi (BT) tarayıcısı aracılığıyla *maksillofasial* patolojilerin görüntülerini elde ederek ve 3B modeli yeniden yapılandırarak derecelendirme yapılabilmektedir (Lee, Lee, Tse, Cheong, & Lim, 2012). Bunun gibi örnekler de BT çıktıları ile birlikte, 3B teknolojisi ve klinik tıp uygulamasının kombinasyonunun avantajlarını göstermektedir (Lee ve ark., 2012). 3B görselleştirilmeler, bir hekimin patolojiyi

daha iyi analiz etmesine yardımcı olabilmektedir (Matthew, Stephen, & Duncan, 2012). 3B baskı teknolojisinin ortopedik ve travma cerrahisinde gizli veya belirsiz ayrıntıların ortaya çıkmasına da yardımcı olabileceği bilinmektedir (Debarre, Hivart, Baranski, & Deprez, 2012)

3B modellemenin önemli kullanım alanlarından biri osteolojik materyal ve veriler üzerindedir. Anatomi, antropoloji, adli bilimler ve arkeoloji bilimleri açısından da eski kemik kalıntılarının arşivlenmesi ve korunması bu tür osteolojik materyaller üzerinde yapılacak çalışmalar açısından en önemli gerekliliklerden biridir. Eski ve yıllanmış kemik yapılar yıllar içerisinde deforme olmakta ve saklanmalarında zorluklar yaşanabilmektedir.

Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan 33 adet nispeten deforme olmuş ve 13. yy'a ait geç dönem Bizans kafatasları Bursa'nın İznik ilçesinde bulunan Roma Açık Hava Tiyatrosu'nun kazı çalışmaları sırasında ortaya çıkarılmıştır (Özbek, 1984; Yalman, 1985). Bu iskeletlerde hastalık izleri, yaralanma sonucu meydana gelen travmatik lezyonlar ve eksik kemik parçaları olduğu görülmektedir.

Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan kemiklerin 3B modelleme, baskı ve morfometrinin kullanım alanları da düşünülerek arşivleme ve eğitim için önemli bir yer tutmaktadır.

Tez çalışmasında 3B olarak tarama ile elde edilen eski kafatası materyalleri dijital ortamda ve basılı olarak prototiplendirilip, arşivlendirilip, gerçek kemiklere yakın morfometrik verilerin alınmasına yönelik olarak daha kalıcı, tekrar kullanılabilir, daha hassas materyal olarak araştırma ve eğitimde kullanılması amaçlanmıştır. Çalışmada aynı zamanda restore edilerek prototiplendirilmiş tarihi kafataslarından 3 boyutlu yazıcı ile çıktı alınması ve birer sert plastik örneklerinin de arşive ve eğitime kazandırılması hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kafatasının Embriyolojik Gelişim Süreci

2.1.1. İskelet sistemi

İskelet sisteminin gelişimi, paraksiyal mezoderm, nöral krista ve mezodermin lateral plağı (somatik tabaka) sürecine dayanır. Nöral tübün her iki tarafındaki segmentler şeklinde uzanan ve baş bölgesinde somitomer, *occipital* bölgeden *caudal* bölgeye doğru somit olarak isimlendirilen doku blokları paraksiyal mezoderm tarafından oluşturulur. Somitler daha sonra dermomyotom (dorsolateral) ve sklerotom (ventromedial) olarak isimlendirilen bölümleri oluşturmak için farklılaşmaya başlarlar. Dördüncü hafta sonunda ise *sklerotom* hücreleri *polimorf* bir şekil alarak mezenşim veya gevşek doku örgüsü oluştururlar. Mezenşimal hücreler migrasyon göstermeleri nedeniyle değişik yönde farklılaşma özelliği gösterirler. Bu hücreler *kondroblast*, *fibroblast* ya da *osteoblast* (kemik oluşturucu hücreler) şekline dönüşebilirler (Kayalı, 1982; Sadler, 1996).

Yüz kemiklerinin oluşumuna, baş bölgesindeki nöral krista hücreleri mezenşimal farklılaşma göstererek katılırken, *occipital* somitler ve somitomerler ise kafatası çatısı ve tabanının büyük bir kısmını oluştururlar. Membranöz ossifikasyon, kafatasındaki yassı kemiklerde mezenşimin kemik yapıya doğrudan farklılaşmasına denir. Kemiklerin büyük bir çoğunluğunda ise mezenşimal hücreler önce *hyalin* kıkırdak modeli oluştururken, sonra endokondral ossifikasyon yolu ile kemikleşir (Sadler, 1996).

2.1.2. Kafatasının gelişimi

Erişkin bir insanın kafatası oldukça karışık bir gelişim sonucunda oluşmuştur (Kayalı, 1982). Kafatası, iki bölüm halinde gelişmektedir. Beyin ve duyu organlarını çevreleyen neurocranium ile yüz kemikleri, solunum ve sindirim sistemlerinin giriş bölümünü saran *viscerocranium*'dur (Petorak, 1980).

İnsan kafatasında *neurocranium* gelişimi, üç dönemde gerçekleşmektedir.

Mezenkimal blastem dönemi,

Kıkırdak dönemi,

Kemikleşme dönemi (Kayalı, 1982).

Mezenkimal blastem dönemi; *cervical* mezoderm tarafından gebeliğin 5-6'ncı haftasında segmentasyona uğrar. Mezenkimal bir kapsül, beyni her taraftan çevirir. Bu kapsül *dorsal* tarafta *chorda dorsalis* ile bağlantı halindedir.

Kıkırdağın oluştuğu dönem (Chondro-cranium); *chorda dorsalis*'in başlangıç kısmındaki yan taraflarında *parachordalia* adı verilen 2 adet büyük kıkırdak parçası farklılaşır. Bu iki kıkırdak parçası tek bir kıkırdak haline geçerek bazal plaque adını alır. *Bazal plaque*, periotik kapsülle (Labyrinthe kapsülü) birleşerek *neurocranium*'un kulak parçası (*pars otica*'sı) ve oksipital parçası (*pars occipitalis*) şeklinde *regio sphenoccipitalis*'i yapar. Kulak parçasından daha sonra kulak labirentinin kemik kısmı ile temporal kemiğin *pars mastoidea*'sı ve *pars petrosa*'sı gelişir. *Pars occipitalis* ise occipital kemiğin chondral kemikleşme ile oluşan kısmını yapar. *Parachordalia*'nın ön tarafında da *praechordalia* (Prekordal) adı verilen iki çift kıkırdak oluşacak ve sonrasında birbirleriyle kaynaşacaktır. Birleşen prekordal kıkırdaklar burun kapsül kıkırdakları ile birleşerek *neurocranium*'un *regio sphenoehtmoidalis*'ini oluşturacaktır. *Pars ethmoidalis* ve *pars orbitotemporalis* olarak iki bölümü vardır. *Pars ethmoidalis*'ten, *etmoid* kemik, *concha nasalis inferior*, *pars orbito-temporalis*'ten ise *sfenoid* kemiğin *corpus*'u ile *sella turcica*, *ala major*, *ala minor* gelişecektir.

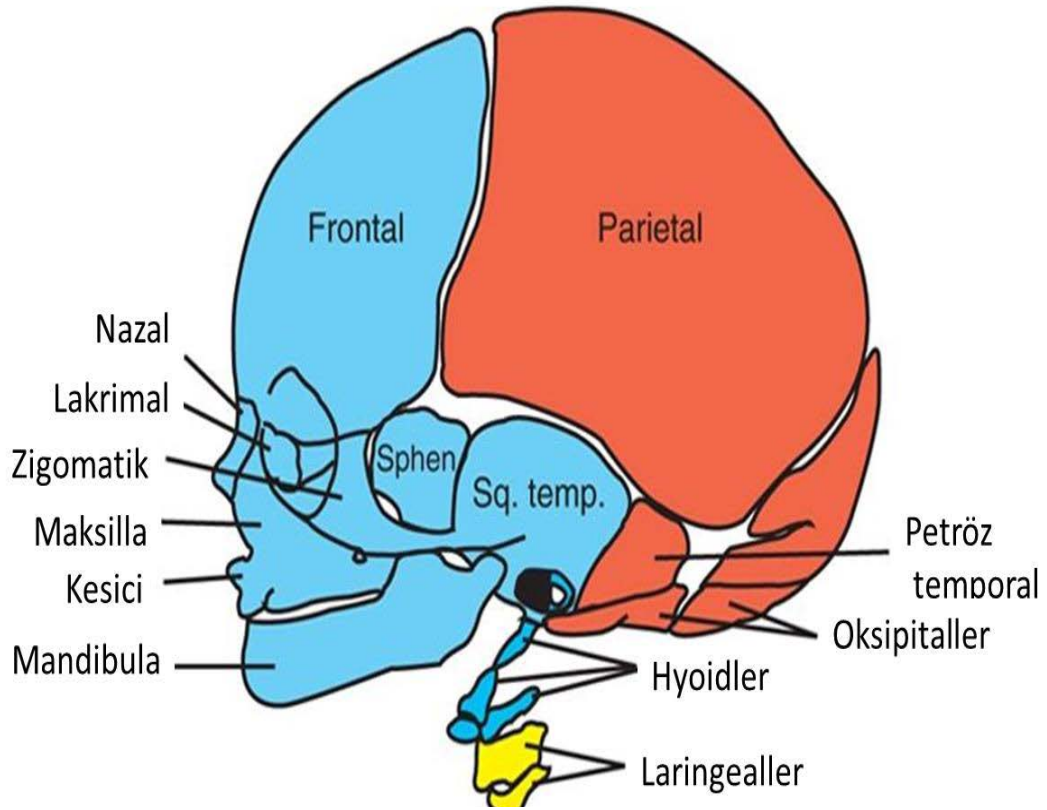
Kıkırdak dönem sonunda hem *bazal plaque* hem de *prekordal plaque* birleşerek tek bir kıkırdak haline dönüşecektir. *Chondro-cranium dorsale* doğru geniş kadeh şeklinde ortaya çıkacaktır. Kadeh şeklindeki bu yapının dip kısmı ilerde *basis cranii*'ye dönüşecektir. *Basis cranii*'yi yapacak kıkırdak oluşurken *foramen jugulare*, *canalis nervi hypoglossi*, *os temporale*, *pars petro-mastoidea*, *foramen lacerum*, *foramen spirale* gibi delikler de oluşacaktır.

Kemiklerin şekillendiği dönem; iki etken nedeniyle karışık bir durum gösterir. Tek bir kütlede oluşan kıkırdağın içerisinde değişik yerlerde ayrı ayrı kemikleşme noktaları belirmesiyle *basis cranii*'ye ait kemikler oluşmaya başlar. Bu kemikleşme noktaları arasında kalan kıkırdak parçaları kafatasının büyümesine ve genişlemesine yardımcı olur (Kayalı, 1982). *Intramembranöz* şekilde oluşan kemiklerden bazıları öncesinde *chondral* kemikleşme ile oluşmuş kemiklerin üzerine eklenmektedir. *Temporal* kemiğin *squama* ve *pars temporale* parçaları ve *occipital* kemiğin üst kısmı bu şekilde oluşum göstermiştir. Ancak gelişim sürecini tamamlamış kemikte ise *desmal* veya *chondral* yol ile oluşmuş kısımları ayırt etmek mümkün olmamaktadır. Yalnızca *intramembranöz* kemikleşme ile oluşan kemikler de bulunmaktadır. Bu kemiklere örnek olarak *os nasale*, *vomer*, *os frontale*, *os lacrimale* ve *os parietale* verilebilir.

Beynin gelişmesinde *desmal* kemiklerin birleşmeleri oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu kemikler belirli bir zamandan önce kaynaşırsa beyin olması gerektiği kadar gelişmemektedir (Kayalı, 1982). *Splanchno-cranium*'a ait kemiklerin de bir kısmı *desmal* olarak oluşum gösterirken bir kısmı ise kıkırdak modelin üzerine yapışmaktadır. Böylelikle *desmal Splanchno-cranium* ile *splanchno-cranium*'u birbirlerinden ayırt etmek mümkün olmaktadır. *Kondral splanchno-cranium*'da altı çift hyalin kıkırdak oluşumu göze çarpmaktadır. Endoderm ve ektoderm'in karşılıklı oluşturdukları yutak bölmeleri arasında birer *arcus* (kavis) içine yerleşmiş durumdadır. Yutak kavsinin mezenkimal dokusu içinde bir kas taslağı, bir hyalin kıkırdak, bir sinir ve bir de damar bulunmaktadır (Kayalı, 1982).

Altı adet olan yutak kavsinde sadece bir ve ikincisi *splanchno-cranium*'un yapımına katılmakta olup diğer dört yutak kavsi boynun üst kısımlarının yapılmasına yardımcı olur. Birinci yutak kavsinin *dorsal* kısmından, *maxiller* çıkıntıyı oluşturarak göz bölgesi altından öne doğru ilerler ve buradan *zygomatic* kemik, *maxilla* ve *temporal* kemiğin bir parçası ve orta kulağın örs kemiği (*incus*) gelişmektedir. *Ventral* kısım ise Meckel kıkırdağı adını alır ve bundan orta kulak çekiç kemiği (*malleus*) ve alt çene kemiği (*mandibula*) gelişecektir. İkinci yutak kavsinde bulunan kıkırdağın *dorsal* kısmında, orta kulağın üzengi kemiği (*stapedus*) gelişmektedir. *Ventral* kısım ise Reichert kıkırdağı adını alır ve bundan da *os hyoideum*'un küçük boynuzu ve ligamenti gelişecektir (Kayalı, 1982; Sadler, 1996).

Maxilla, os zygomaticum, os palatina ve mandibula'nın büyük bir kısmı *dorsal* kemikleşme ile *splanchno-cranium*'un kondral kemikleşme ile oluşan kısımları üzerine gelişerek eklenmektedir. *Neuro-cranium*'da olduğu gibi *splanchno-cranium*'da da *desmal* ve *kondral* kemikleşme ile oluşan kısımları erişkin dönemde ayırt etmek mümkün değildir (Kayalı, 1982).



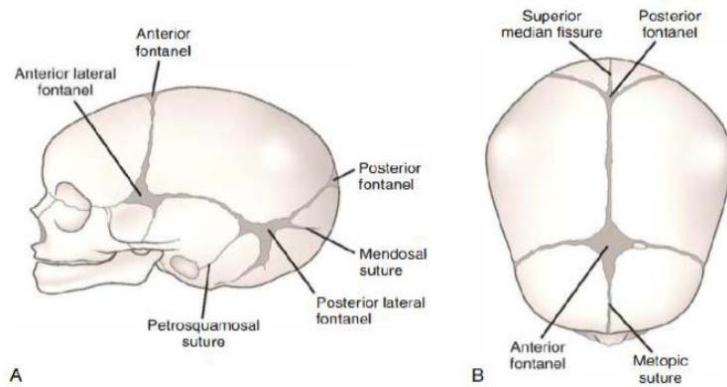
Şekil 1. Kafa ve yüze ait kemikler. Bu yapıların mezenşimi nöral kristadan (mavi), lateral plak mezodermi (sarı) ve paraksiyal mezodermden (kırmızı) oluşur (Sadler, 2005)

2.1.3. Yeni doğan kafatası

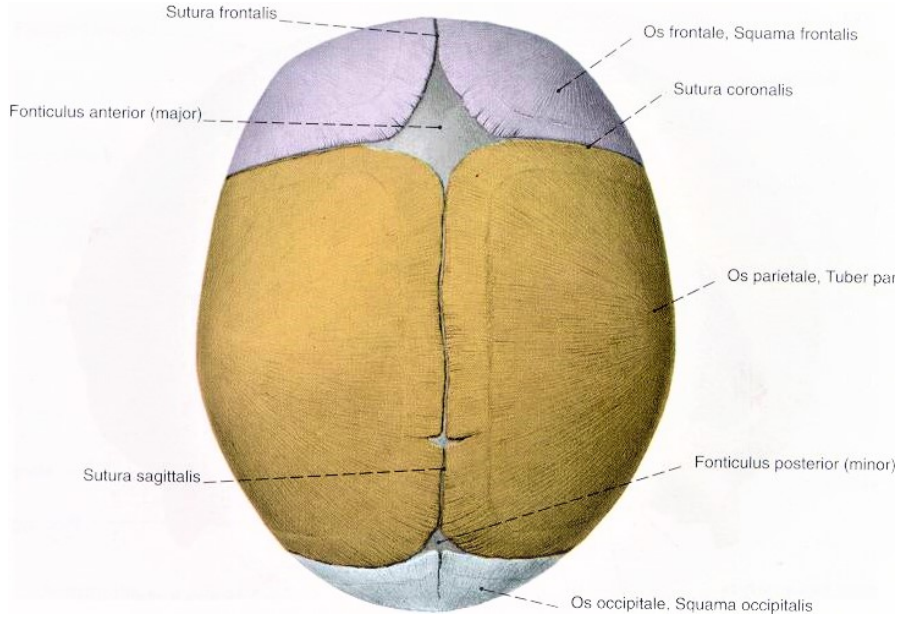
Doğumda, kafatasının yassı kemikleri birbirlerinden bağ dokusu yapısında sütünur adı verilen şeritlerle ayrılmaktadır. Sütünurler nöral krista kökenlidir ve ikiden fazla kemiğin biraraya geldiği noktada genişleyerek fontanel (*fonticulus*) adını alırlar (Sadler, 1996).

Anatomik olarak yenidoğan kafatasında önde, arkada, iki *sphenoid* ve iki *mastoid* olmak üzere altı adet fontanel (*fonticulus*) görünmektedir (Shajari, Rashidiranjbar, Ashrafi, 2011; Yıldırım, 2003). İki *frontal* kemik arasında metopik sütünur, , *frontal* kemik ile iki *parietal* kemik arasında *sutura coronalis*, iki *parietal* kemik arasında *sutura sagittalis*, iki *parietal* ve *occipital* kemik arasında *sutura lambdoidea*, *parietal* kemik ile *temporal* kemiğin *squamos* parçası arasında *sutura squamosa* bulunur (Özbek, & Vural, 2017). Ön fontanel, *frontal* kemik ile iki *parietal* kemiğin birleştiği *sagittal* sütünur üzerinde bulunurken arka fontanel, *occipital* kemik ile iki *parietal* kemiğin birleştiği *sagittal* sütünur üzerinde ve *sagittal* sütünurun *lambdoid* sütünurla birleştiği yerde bulunmaktadır. *Sphenoid* fontanel *frontal*, *sphenoid*, *parietal*, ve *temporal* kemiğin birleştiği *pterion* noktasında yer alırken *mastoid* fontanel ise *occipital*, *parietal* ve *temporal* kemiğin birleştiği asterion noktasında yer almaktadır (Özer, Kazancı, Karaaslan, & Yılmaz, 2013).

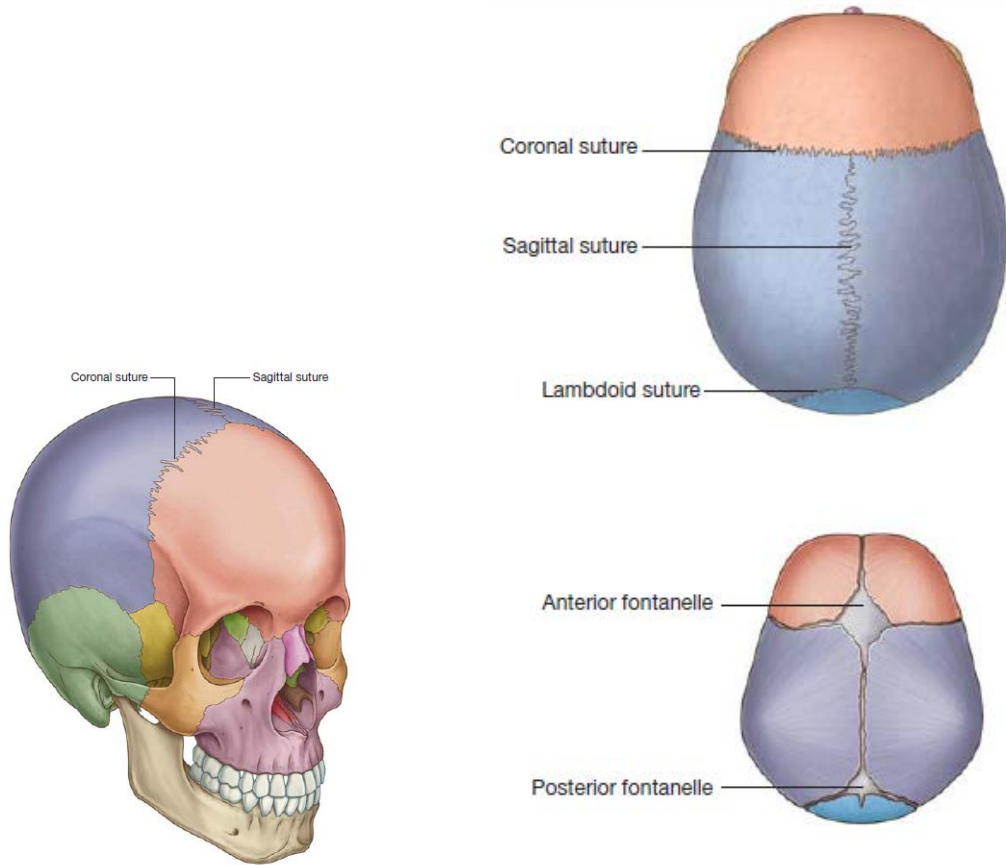
Fontanel'ler içinde en büyük olan ön fontanel, genellikle 10-12. aylarda kapanır. Ancak bazen 3 ay daha erken kapanabileceği gibi bazen de kapanması 18. aya kadar çıkabilir. Arka fontanel ise doğumdan sonra 3. ay civarında kapanırken yan fontaneler doğumdan sonraki birkaç hafta içinde kapanmaktadır (Shajari ve ark. 2011; Yıldırım, 2006).



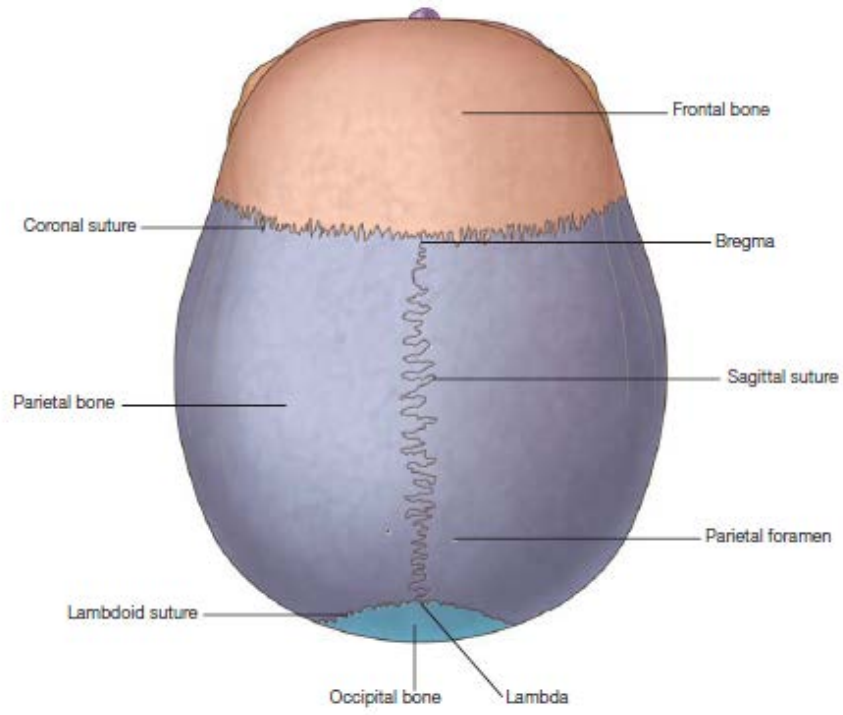
Şekil 2. Yenidoğanda kafatası (Gill, 2008)



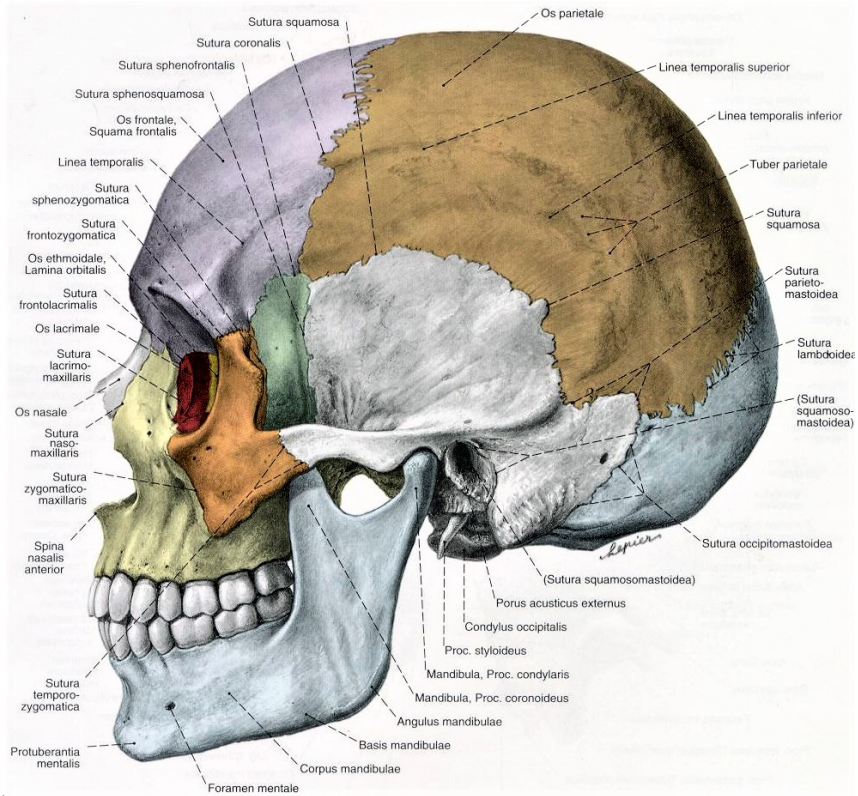
Şekil 3. Fontanellerin anatomik yerleşimi (Sobotta'dan uyarlanmıştır)



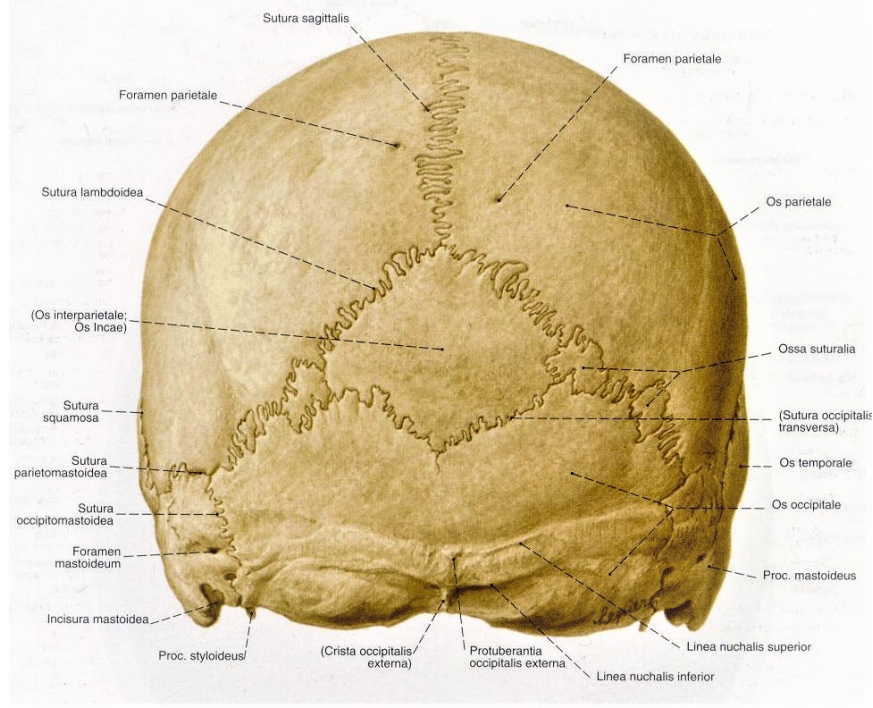
Şekil 4. Fontanellerin anatomik yerleşimi (Gray's Anatomy' den uyarlanmıştır)



Şekil 5. Süturların anatomik yerleşimi (Gray's Anatomy' den uyarlanmıştır)



Şekil 6. Süturların anatomik yerleşimi (Sobotta'dan uyarlanmıştır)



Şekil 7. Süturların anatomik yerleşimi (Sobotta'dan uyarlanmıştır)

2.2. Kafatası Anatomisi

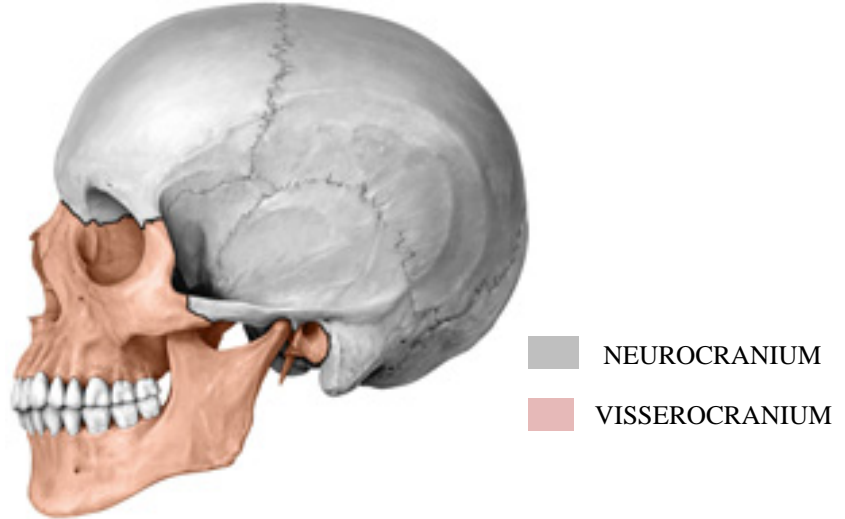
2.2.1. Kafa İskeleti

Baş, bedenin kontrol ve iletişim merkezi olarak önem arz etmektedir. Beyni çepeçevre saran yapısı ile düşünce, hayal kurma ve cevap verme, karar alma, hafıza ve yaratıcılık gibi bilincimizin bulunduğu yer olarak nitelendirilir (Moore, 1999).

Kafatası, beyni koruyarak, göz, kulak, burun ve tat alma organlarını destekleyerek, soluduğumuz havanın ve besin maddelerinin vücuda girmesini sağlayan açıklıklar için bir çerçeve oluşturur (Şahin, 2019).

Skeleton axiale'nin en üst kısmında bulunan ve kafa iskeletinin *mandibula* hariç tümüne *cranium*, kemiklerine ise *ossa cranii* adı verilmektedir. Kafa iskeletinde embriyolojik gelişim sırasında bağ dokusundan kemik dokusuna dönüşüm gösteren kemiklere *desmocranium*, kıkırdak dokusundan kemik dokusuna dönüşüm gösteren kemiklere ise *chondrocranium* denilir (Arıncı, & Elhan, 2001).

Tüm omurgahlarda, kafa iskeleti çevrelediği yapılara göre *neurocranium* ve *viscerocranium* (*splanchnocranium*) olmak üzere iki gruba ayrılır. *Neurocranium*, beyin ve beyinciğin yerleştiği *cavum cranii*'yi saran kafatası bölümüdür. *Viscerocranium* ise saçlı deri dışında, ağız ve burun boşlukları ile göz çukurunu çevreleyen bölümdür (Yıldırım, 2003). *Ossa cranii*'de 8 tanesi *neurocraniumda*, 14 tanesi ise *viscerocraniumda* olmak üzere toplam 22 kemik bulunmaktadır. Bu kemiklerle birlikte *os hyoideum* (1) ve *ossicula auditus* (6) da *viscerocranium* kemikleri içinde ilişkilendirilse de, çoğu zaman *ossa cranii* içerisine dahil edilmemektedir (Arıncı, & Elhan, 2001).



Şekil 8. Neurocranium ve Visserocranium kemikleri (Gilroy'den uyarlanmıştır)

Neurocranium kemikleri:

Sekiz adet kemikten oluşmaktadır. İki tanesi çift, dört tanesi tektir.

Os frontale (1)

Os occipitale (1)

Os sphenoidale (1)

Os ethmoidale (1)

Os temporale (2)

Os parietale (2)

Viscerocranium kemikleri;

On dört adet kemikten oluşmaktadır. 2 tanesi tek, altı tanesi çifttir.

Mandibula (1)

Maxilla (2)

Os palatinum (2)

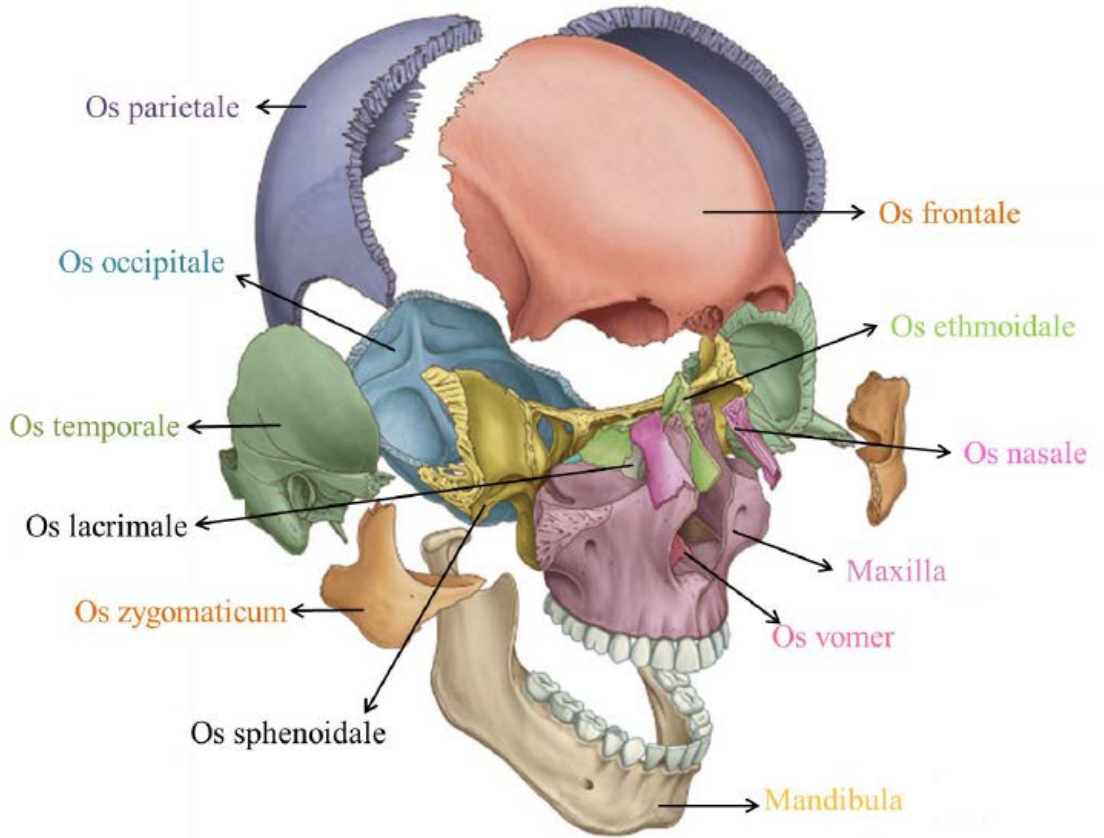
Os nasale (2)

Os lacrimale (2)

Os zygomaticum (2)

Os vomer (1)

Concha nasalis inferior (2) (Arifoğlu, 2019).



Şekil 9. Kafatası kemikleri (Drake ve Vogl'den uyarlanmıştır)

Kafatasının şekli kişiye, yaşa ve ırka göre değişkenlik göstermektedir. Kafatasında glabella-opisthion arası uzunluk ölçüleri 160 mm – 190 mm iken, tuber parietale'ler arası genişlik ölçüleri ise 120 mm – 160 mm'dir. Kafatası genişlik ölçüleri, uzunluğunun %75'inden daha az ise dolicocephali, bu oran % 80'den fazla ise brachiocephali olarak isimlendirilir (Bilge, 2019).

Yenidoğan çocuklarda *neurocranium*, *viscerocranium*'a oranla daha büyüktür. Yaşın ilerlemesi ve gelişim süreciyle birlikte *viscerocranium* daha hızlı gelişerek öncelikle *neurocranium*la eşit ağırlığa ulaşır. Gelişim süreciyle birlikte zamanla *neurocranium*'dan daha da büyük hale gelir (Arıncı, & Elhan, 2001).



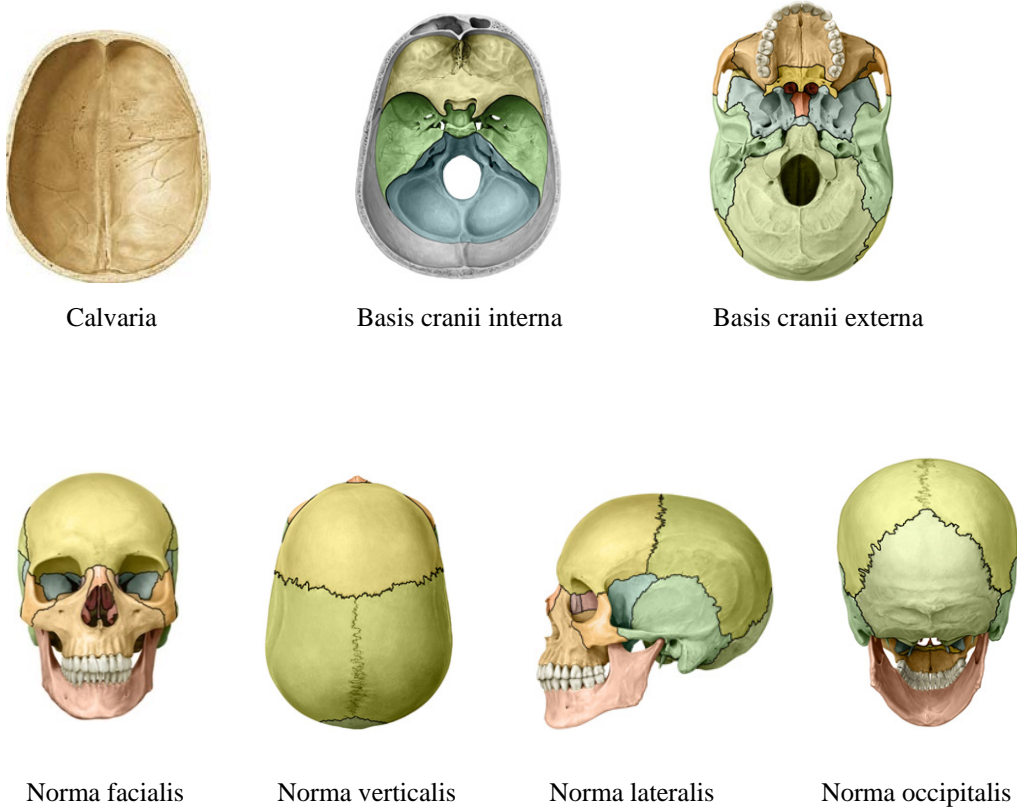
Şekil 10. Çocuklarda neurocranium – viscerocranium gelişimi (Tillmann'dan uyarlanmıştır)

Cranium'un üst kısmını saran ve *neurocranium* kemiklerinden olan *os occipitale*, *os frontale* ve 2 adet *os parietale* birleşerek kafatası kubbesi olarak adlandırılan *calvaria*'yı meydana getirmektedir. Bu kemikler yassı kemikler oluşturmaktadır ve *lamina externa* denilen dış yüzey, *lamina interna* denilen iç yüzey ve bu iki *lamina* arasında *diploe* (*substantia spongiosa*) katmanı bulunmaktadır. *Calvaria* kaldırıldığında ise kafatası tabanı olarak adlandırılan *basis cranii* ortaya çıkmaktadır (Çimen, 1996).

Kafatası tabanına alttan bakıldığında görünen yüzüne *basis cranii externa*, *calvaria* kaldırılıp kafatası tabanının iç yüzüne baktığımızda görünen yüzüne ise *basis cranii interna* adı verilmektedir (Singh, 2014). Beyin, beyin zarları ve kan damarlarının içerisinde bulunduğu kafatası ve *basis cranii*'nin iç yüzü olarak isimlendirilen kafatası boşluğuna ise *cavitas cranii* adı verilmektedir (Çimen, 1996). *Cavitas cranii*'de sayıca fazla küçük boşluklar da mevcuttur. Bu boşluklar içerisinde en önemlileri orta ve iç kulak boşluğu, burun boşluğu ve göz çukuru olarak sayılabilir. Bunun yanısıra *medulla spinalis*'in geçtiği *foramen magnum*, beyin kanlanmasını sağlayan ana kan damarlarının geçtiği açıklıklar ve 12 çift *cranial* sinirlerin geçtiği *foramenleri* de sayabiliriz (Marieb, & Hoehn, 2017).

Basis cranii önden arkaya doğru beyin çeşitli parçalarının yerleştiği üç kısma ayrılır. Bu üç çukur *fossa cranii anterior*, *fossa cranii media* ve *fossa cranii posterior* olarak isimlendirilir (Odar, 1984).

Kafatası ve kemikleri çeşitli görünüm şekillerine göre incelenmektedir. Önden görünüm *norma frontalis* veya *norma facialis* olarak isimlendirilirken, yandan görünüm *norma lateralis*, üstten görünümü *norma verticalis* veya *norma superior*, alttan görünüm *norma basalis* ve arkadan görünümü ise *norma occipitalis* olarak isimlendirilmektedir (Dauber, 2007).



Şekil 11. Kafatası görünüm şekilleri (Gilroy'den uyarlanmıştır)

2.2.2. Norma frontalis, Norma facialis (Kafatasının önden görünüşü)

Kafatasının önden görünen bölümü olup, 1/3'lük üst kısmında *os frontale*, 1/3'lük orta kısmında *os zygomaticum* ve *maxilla*, 1/3'lük alt kısmında da *mandibula* bulunmaktadır. Bu kemiklere ek olarak *regio orbitalis* ve *regio nasalis*'e ait oluşumlar da yer almaktadır (Drake, Vogl, & Mitchell, 2010).

Kafatasının önden görünümünde orbita, *cavitas nasalis*, ve *cavitas oris* gibi üç önemli boşluk da bulunmaktadır (Yıldırım, 2003).

Os frontale; üç bölüme ayrılır; *squama frontalis*, *pars nasalis* ve *pars orbitalis*. *Squama frontalis*, embriyolojik dönemden çocukluk dönemine kadar sağ ve sol olmak üzere iki parçadan gelişir. 6-8 yaşlarında ise bu iki parça kaynaşarak tek kemik halini alarak kafatasının üst-ön kısmını oluşturur (Arıncı, & Elhan, 2001).

Bazen bu iki parçalı kemik kaynaşmaz ve iki kemik arasında testere ağzı gibi *sutura frontalis persistens (sutura metopica)* adında bir suture kalabilir (Kamaşak, & Aycan, 2019). *Sutura metopica*'nın her iki yanında çıkıntılar mevcuttur. Bu çıkıntılara *tuber frontale (eminentia frontalis)* denir ve hemen altındaki kavisli kabarıklık ise *arcus superciliaris* adını alır. Bu iki oluşum arasındaki düz alana ise *glabella* denir. *Orbita*'yı üstten sınırlayıp *arcus superciliaris*'lerin altında kalan keskin kenar *margo supraorbitalis* olarak isimlendirilirken burada delik ya da çentik şeklinde olan *incisura (inc.) frontalis (medial'de)* ve *inc. supraorbitalis (for. supraorbitale) (lateralde)* adında iki önemli geçit de bulunmaktadır (Arıncı, & Elhan, 2001).

Pars nasalis, margo supraorbitalis'lerin arasında kalan bölümdür. *Glabella*'nın hemen altında *os frontale*'nin os nasale ile eklem yaptığı noktaya *nasion* denir (Singh, & Varacallo, 2020).

Pars orbitalis, üçgen biçiminde, ince iki laminadan oluşur. *Orbita* tavanının büyük bölümünü yapmaktadır (Çimen, 1996).

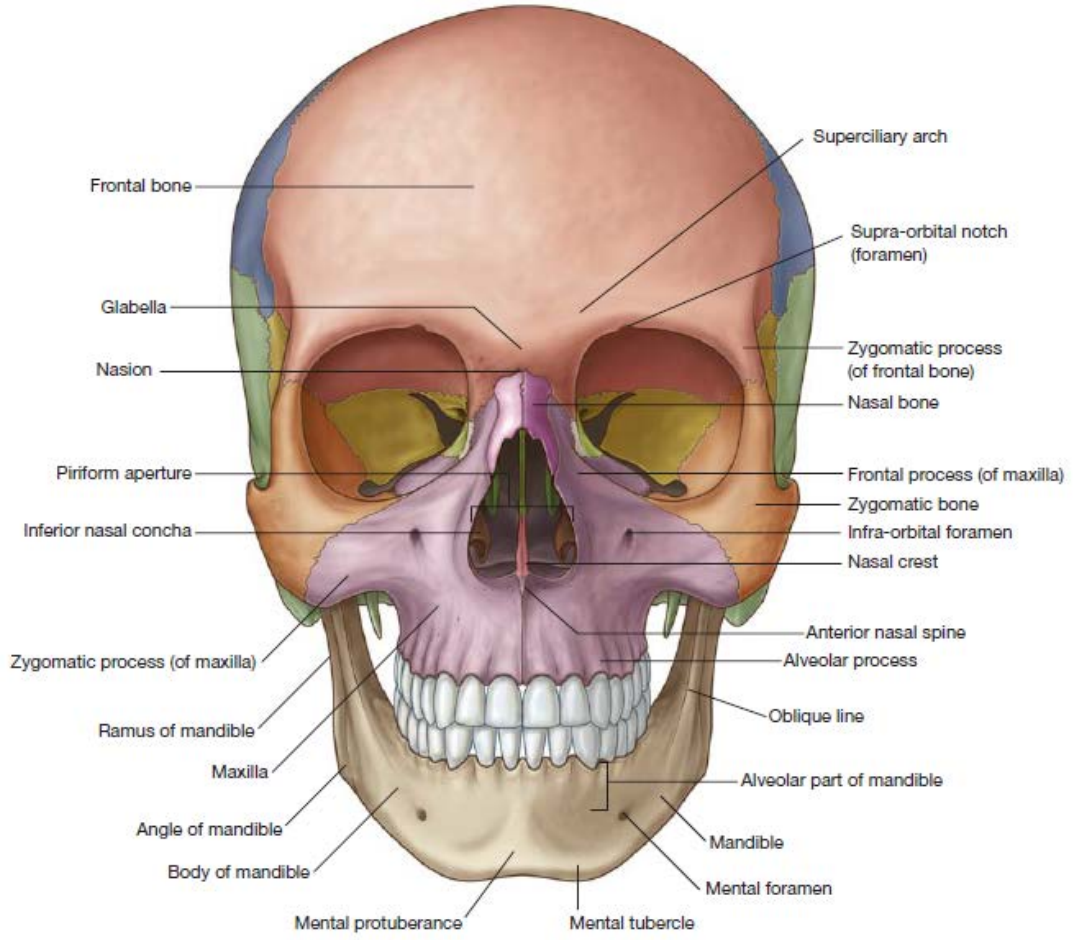
Os zygomaticum, sağ ve soldaki yanak çıkıntılarını oluşturur. *Orbitaların* alt ve dış duvarlarının yapısına katılır, *margo infraorbitale*'nin büyük bir bölümünü oluşturarak *maxilla*'nın üzerine oturur (Moore, 1999). *Os zygomaticum, os temporale, maxilla, os frontale* ve *os sphenoidale* ile eklem yapmaktadır. *Os temporale*'nin *processus zygomaticus*'u, *os zygomaticum*'un *processus temporalis*'i ile birlikte *arcus zygomaticus*'u oluşturur. Bu alana çiğneme kaslarından *musculus masseter* tutunur (Yu, & Wang, 2020).

Maxilla, piramit görünümlü bir çift kemik olup, yüz iskeletini, ağız boşluğunun tavanını, üst çeneyi, burun boşluğunun alt duvarını, orbita döşemesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Orta yüz bölgesindeki en önemli kemiktir.

Os frontale, os palatinum, os ethmoidale, os lacrimale, concha nasalis inferior, os nasale, os vomer ve *os zygomaticum* ile eklem yapmaktadır. *Proc. zygomaticus, proc. frontalis, proc. palatinus* ve *proc. alveolaris* adı verilen dört adet önemli çıkıntısı ile bu kemiklere uzantıları vardır. *Apertura piriformis*'in alt kenarında belirgin bir şekilde yaptığı çıkıntıya *spina nasalis anterior* denir. Ön yüzde *orbita*'nın hemen altında ise *foramen infraorbitale* bulunmaktadır. *Maxilla*'da

dişlerin dizildiği önemli bir diğer yapı ise *processus alveolaris*'dir. *Proc. alveolaris*lerin en alt kısmındaki antropometrik nokta *supradentale* veya *prosthion* olarak isimlendirilmektedir (Arifoğlu, 2019; Soriano, 2020).

Mandibula, alt çene kemiğini oluşturur. Yüz iskeletini oluşturan kemikler içerisinde en sağlam, en büyük aynı zamanda baş iskeletinin de tek hareketli kemiğidir (işitme kemikçikleri ve dil kemiği hariç). Horizontal olarak uzanan ve dişlerin bulunduğu kısma *corpus mandibulae*, arkada iki adet dik uzanan kısmına ise *ramus mandibulae* adı verilir. Her iki yapı arasında oluşan dik açığa ise *angulus mandibulae* denir ve buraya denk gelen antropolojik nokta *gonion* olarak isimlendirilir. Orta hatta *symphysis mandibula* şerit gibi bir çizgi şeklinde yer almaktadır. Bu çizgi altındaki kabarık alana ise *protuberantia mentalis* denir. *Corpus mandibula* üzerinde genellikle ikinci premolar diş hizasında *foramen mentale* bulunmaktadır ve alt-yan taraflarında ise *tubeculum mentale*'ler, alt orta kısmında *protuberantia mentalis* vardır. *Protuberantia mentalis* antropolojik nokta olarak *gnathion* ismini almaktadır. *Processus condylaris* ve *processus coronoideus* olarak adlandırılan iki önemli çıkıntı *ramus mandibula*'nın üst kısmında bulunur ve çene eklemi olarak adlandırılan *articulatio temporomandibularis* yapısına katılır (Arıncı, & Elhan, 2001; Çimen, 1996; Yıldırım, 2003).



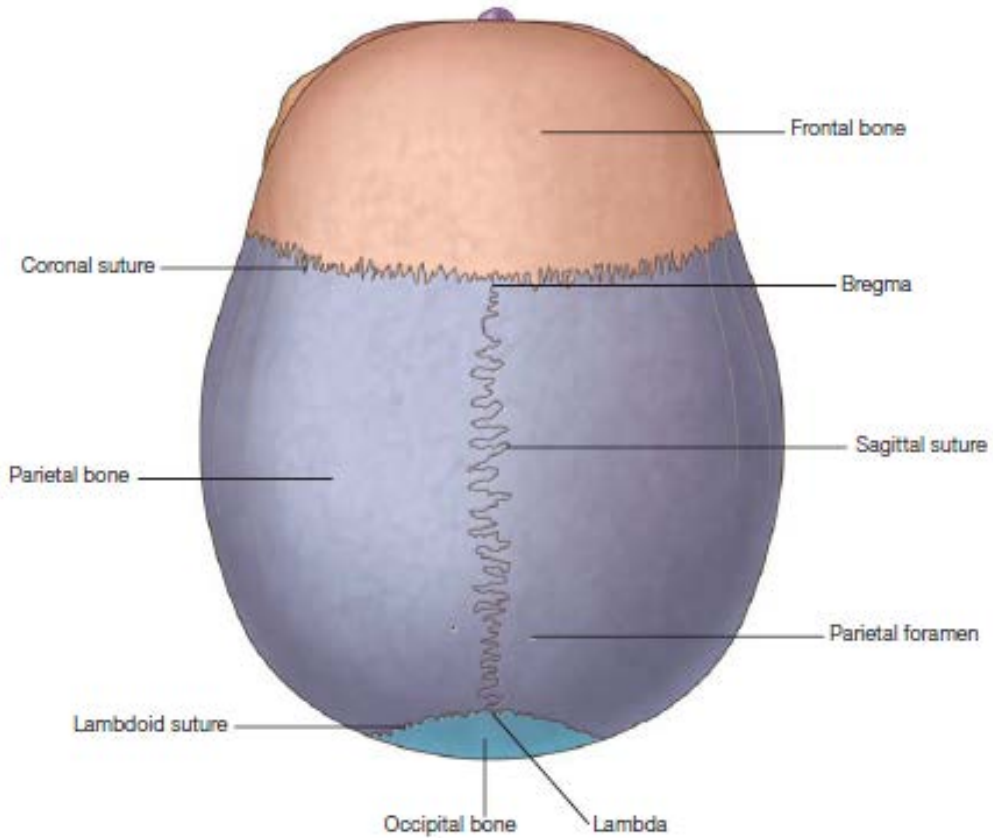
Şekil 12. Norma frontalis, Norma facialis (Drake ve Vogl'den uyarlanmıştır)

2.2.3. Norma superior, Norma verticalis (Kafatasının üstten görünüşü)

Kafatasına yukarıdan baktığımızda *calvaria*'yı oluşturan *os frontale*, *os parietale* ve *os occipitale* görünmektedir. Kafatasının üstten görünüşünde testere ağzı şeklinde olan eklemler görülmektedir. Bunlardan ilki, *os frontale* ve *os parietale* arasında transvers olarak uzanan *sutura coronalis*dir. İkinci eklem iki *os parietale* arasında bulunup *sagittal* yönde uzanan *sutura sagittalis*dir. Üçüncü eklem ise *os occipitale* ve iki *os parietale* arasında oluşan *sutura lambdoidea* ismini alır.

Sutura sagittalis ile *sutura coronalis*'in birleştiği yer, antropolojik noktalardan *bregma* olarak isimlendirilirken, bu noktada yeni doğan çocuklarda *fonticulus anterior* bulunmaktadır ve 18. ayda kapanmaktadır.

Sutura sagittalis ile *sutura lambdoidea*'nın birleştiği nokta *lambda* olarak isimlendirilir ve bu noktada yeni doğan çocuklarda *fonticulus posterior* bulunmaktadır. 2. ayda kapanır. *Sutura sagittalis*'in yanlarındaki çıkıntılı kısımda *tuber parietale* (*eminentia parietalis*), yan ve arka yarısında ise *for. parietale*'ler bulunmaktadır. Her iki taraftaki *for. parietale*'leri birleştiren çizginin *sutura sagittalis* ile kesiştiği noktaya ise *obelion* adı verilir. Ayrıca kafatasında en yüksek noktaya *vertex*, en arka parçaya ise *occiput* adı verilir (Arıncı, & Elhan, 2001; Cumhuriyet, 2001; Çimen, 1996).



Şekil 13. Norma occipitalis, Norma posterior (Drake ve Vogl' den uyarlanmıştır)

2.2.4. Norma lateralis (Kafatasının yandan görünüşü)

Kafa iskeletine yandan bakıldığında hem *neurocranium*, hem de *visserocranium*'a ait olan *os frontale*, *os occipitale*, *os parietale*, *os sphenoidale*'nin *ala major*'u, *os temporale* ve *os zygomaticum* görülmektedir (Arıncı, & Elhan, 2001; Cumhur, 2001).

Os parietale; dört kenarlı, dört köşeli, yassı ve iki yüzeyli bir çift kemiktir. Kemiğin ön-üst köşesine *angulus frontalis*, arka-üst köşesine *angulus occipitalis*, ön-alt köşesine *angulus sphenoidalis*, arka-alt köşesine ise *angulus mastoidea* adı verilir. Bu köşeler sırasıyla *bregma*, *lambda*, *pterion* ve *asterion* adı verilen antropolojik noktalara denk gelmektedir (Bilge, 2019). *Pterion*; *os temporale*, *os parietale*, *os sphenoidale* ve *os frontale*'nin birleştiği noktadır (Ari, Kafa, & Bakirci, 2009). *Asterion*; *os parietale*, *os occipitale* ve *os temporale* arasında bulunan *sutura lambdoidea*, *sutura occipitomastoidea* ve *sutura parietomastoidea*'nin kesişim noktasıdır (Babacan, Yıldız Yılmaz, Kafa, & Coşkun, 2019).

Os occipitale; kafa iskeletinde arka alt tarafı oluşturan bu kemiğin, *pars basilaris*, 2 adet *pars lateralis* ve *squama occipitalis* olmak üzere dört parçası vardır. Bu dört parçanın çevrelediği yapıya *for. magnum* adı verilir ve içerisinden oldukça önemli yapılar geçmektedir (Arifoğlu, 2009). *Pars basilaris*'te *tuberculum pharyngeum*, *pars lateralis*'te *condylus occipitalis*, *canalis occipitalis*, *squama occipitalis*'te *eminentia cruciformis*, *fossa cerebralis*, *fossa cerebellaris* ve *protuberantia occipitalis interna* gibi önemli yapılar bulunur (Arıncı, & Elhan, 2001). Arka yüzündeki çıkıntı *protuberantia occipitalis externa* olarak isimlendirilip, antropolojik nokta olarak *inion* adı verilir (Kamal, & Yadav, 2016).

Os temporale; kafa iskeletinin kısmen yan, kısmen de alt bölümündeki oluşumların yapısına katılarak kafatasında en büyük katkıyı bir çok bölümü ile bu kemik gerçekleştirmektedir (Drake ve ark., 2010).

Gerek işitme, gerekse denge organları ve bu organlara bağlı damar ve sinir yapılarının geçtiği delik ve kanalları bulundurması bakımından oldukça önemli bir kemiktir. Doğum sonrasında, *pars squamosa*, *pars petrosa* ve *pars tympanica* olarak

üç bölümden oluşan *os temporale*, kıkırdak dokusu ile birbirlerine bağlıken ilerleyen dönemde tek parça kemik haline dönüşmektedir (Arıncı, & Elhan, 2001).

Pars squamosa, düz ve geniş bir yapısı olup *os temporale*'nin ön ve üst bölümünü oluştururken kafa iskeletinin yan duvarlarının oluşumuna katılır. *Os temporale*'nin *processus zygomaticus*'u, *pars squamosa* uzantısı şeklinde ön tarafa doğru uzanır ve *os zygomaticum* ile *arcus zygomaticus*'u oluşturur. *Pars squamosa*'nın iç yüzü *lobus frontalis* kıvrımlarına komşuluk yapmaktadır (Drake ve ark., 2010; Johnston, & Whillis, 1938).

Pars petrosa, üç yüzü, üç kenarı ve bir tepesi olup, *os sphenoidale* ile *os occipitale* arasında bir kama gibi oturmuştur (Çimen, 1996).

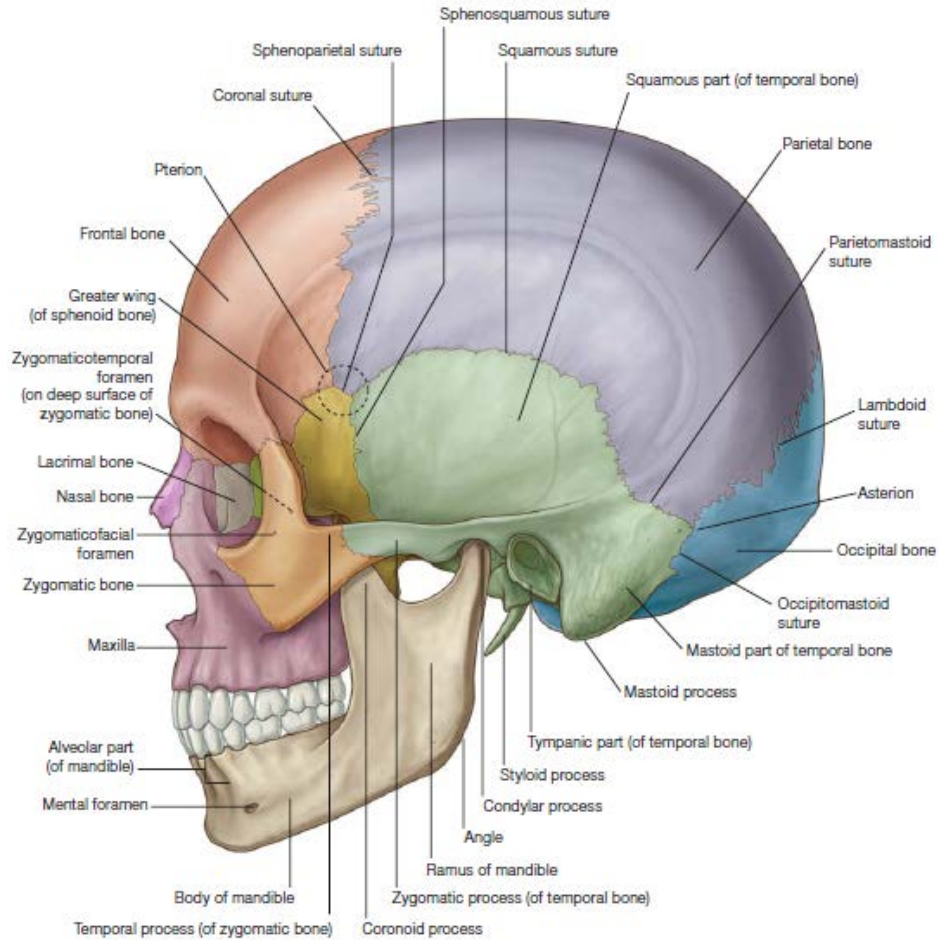
İç ve orta kulak oluşumları için koruma alanı görevi görür. Arka yüzde orta kısımda bulunan deliğe *porus acusticus internus* denir. Arka yüz alt kenarı arkasında *proc. intrajugularis* adında bir çentik bulunur ve bu çentik *os occipitale*'de aynı isimdeki çentikle birleşerek *for. jugulare*'yi oluşturmaktadır. *Os temporale*'nin en arka kenarında bulunan çıkıntı *processus mastoideus*, *fossa jugularis*'in arka-dış kısmındaki çıkıntı ise *proc. styloideus* ismini alır. Bu iki yapı arasında bulunan deliğe ise *for. stylo-mastoideum* denilmektedir (Arıncı, & Elhan, 2001).

Pars tympanica, *os temporale*'nin en küçük parçasıdır. Yeni doğanlarda üst kısım açık halka şeklindedir ve *anulus tympanicus* ismini alır. Erişkinlerde dış kulak yolu duvar yapısına katılır. *Pars tympanica*'nın ortasında bulunan deliğe *porus acusticus externus*, içeriye doğru devam eden yola ise *meatus acusticus externus* adı verilir. *Porus acusticus externus*'un üst noktasında *porion* adı verilen antropometrik bir nokta bulunmaktadır (Arıncı, & Elhan, 2001; Çimen, 1996).

Os zygomaticum, *os temporale*'nin *proc. zygomaticus*'u ile birleşerek *arcus zygomaticus*'u oluşturmaktadır. *Arcus zygomaticus*'un üzerinde *fossa temporalis*, altında ise *fossa infratemporalis* olarak isimlendirilen boşluklar yer almaktadır. Hem *neurocranium* hem de *viscerocranium* arasında bağlantı sağlayan önemli bir kemik olarak kabul edilmektedir. *Orbita*'nın alt ve dış duvar yapısına katılır (Bilge, 2019).

Os frontale, *os sphenoidale*, *os temporale* ve *maxilla* ile eklem yapar. Arkaya doğru uzantısına *proc. temporalis*, *os frontale*'ye doğru olan çıkıntısına *proc. frontalis*, *maxilla*'ya doğru olan çıkıntısına ise *proc. maxillaris* adı verilir (Arifoğlu, 2019).

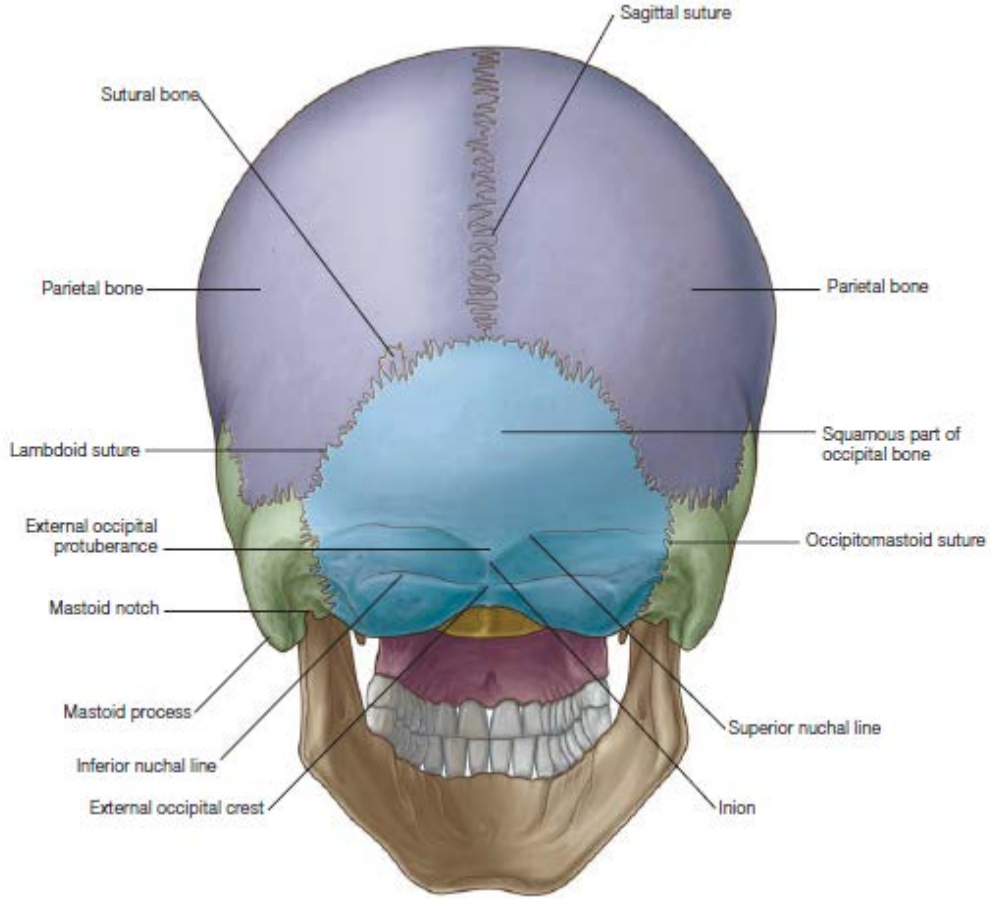
Os sphenoidale, kafa iskeletini oluşturan birçok kemik ile eklem yapmaktadır ve *basis cranii*'nin ortasında yer almaktadır. Yarasa veya kanatları açılmış yabanarısına benzer (Yıldırım, 2003). Gövdesine *corpus sphenoidale*, kanadı andıran yan çıkıntılara ise *ala major* ve *ala minor* denmektedir. *Corpus*'un üst yüz oluşumu içerisinde *sella turcica*, her bir kanadın kökü arasında *canalis opticus*, *ala major* üzerinde *for. ovale*, *for. spinosum*, *for. rotundum* gibi önemli damar ve sinirlerin geçişini sağlayan delikler bulunur. Bir diğer önemli iki yapı ise olan *fissura orbitalis superior* ve *fissura orbitalis inferior*'dur (Drake ve ark., 2010; Yıldırım, 2003).



Şekil 14. Norma lateralis (Kafatasının yandan görünüşü - Drake ve Vogl' den uyarlanmıştır)

2.2.5. Norma posterior, Norma occipitalis (Kafatasının arkadan görünüşü)

Kafa iskeletine arka taraftan baktığımızda yukarı ve orta hatta *sutura sagittalis*'in arka bölümü görülmektedir. Üst tarafta *os parietale* ile yaptığı eklem *sutura lambdoidea* altta ise *os temporale* ile eklem yeri olan *sutura occipitomastoidea* görülmektedir. Orta hat üzerindeki çıkıntı *protuberantia occipitalis externa* adını alır ve antropometrik nokta olarak buraya *inion* adı verilir. Bu çıkıntıdan aşağı doğru uzanan yapı *crista occipitalis externa*'dır. *Protuberantia occipitalis externa*'nın üzerinde transvers seyirli *linea nuchalis superior* ve altında ise *linea nuchalis inferior* isimli çizgiler bulunur (Arıncı, & Elhan, 2001).



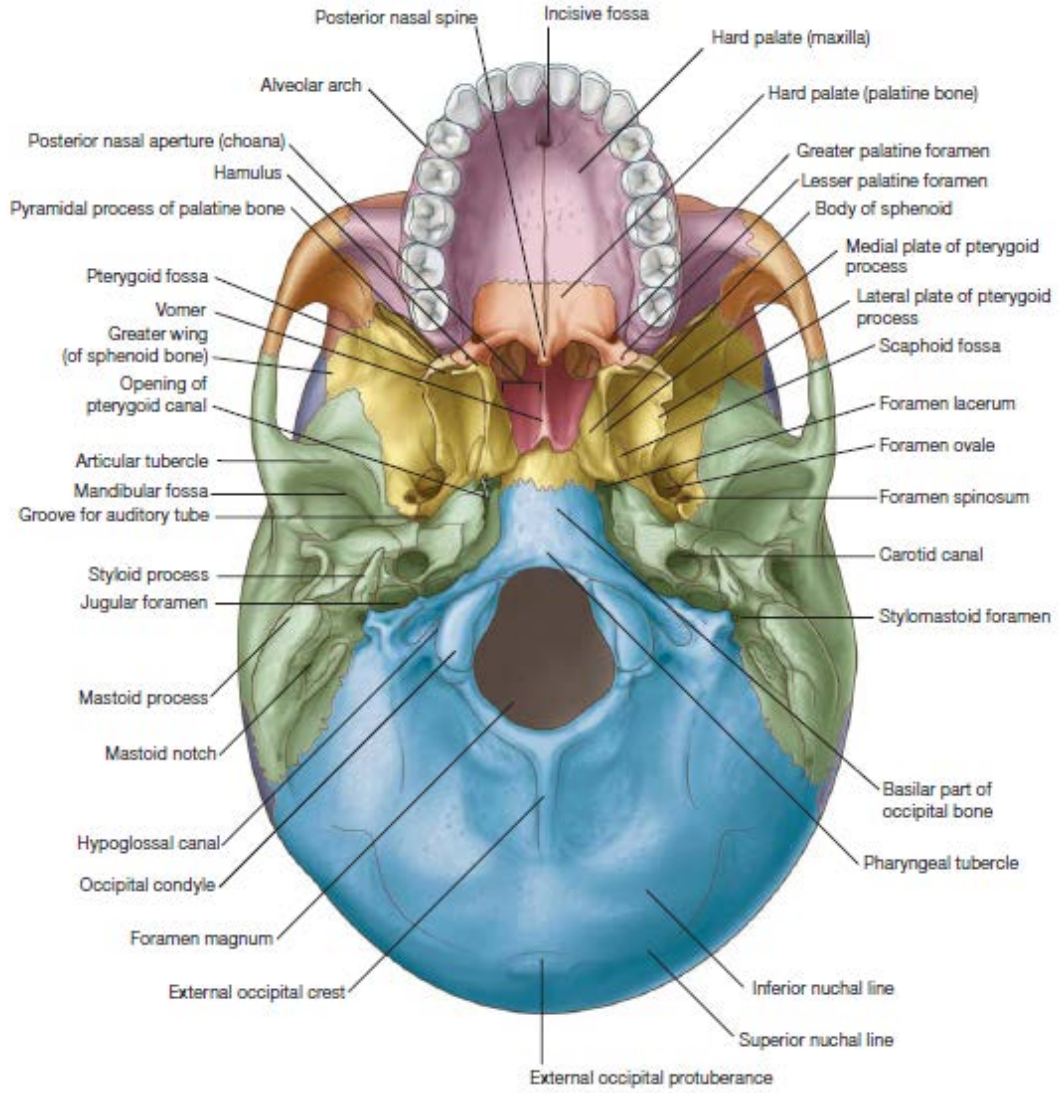
Şekil 15. Norma occipitalis (Kafatasının arkadan görünüşü - Drake ve Vogl' den uyarlanmıştır)

2.2.6. Norma basalis, Norma inferior, Basis cranii externa (Kafatasının alttan görünüşü)

Kafa iskeletinin tabanına (*basis cranii*) dıştan bakıldığında görünen bu kısma *basis cranii externa* adı verilmektedir. Önde ortada kesici dişler, yanlarda *os zygomaticum* ve *arcus zygomaticus* arka ise *linea nuchalis superior* ve *processus mastoideus* görünür. *Mandibula*'yı çıkarıp *basis cranii externa*'yı incelediğimizde ise *maxilla* (*proc. palatinus* ve *proc. alveolaris*), *os vomer*, *os palatinum*, *os temporale* (*pars squamosa* ve *pars petrosa*), *os sphenoidale* (*proc. pterygoideus*, *ala major*, *spina ossis sphenoidalis* ve *corpus* kısımları) ve *os occipitale* görünür (Arıncı, & Elhan, 2001; Cumhuriyet, 2001).

Norma basalis ön, orta ve arka olmak üzere üç kısımda incelenirken, bu bölümlerde önemli delikler ve kanallar yer almaktadır.

Ön kısımda *palatum durum*'un (sert damak) ön 3/4'lük kısmını *maxilla*, arka 1/4'lük kısmını ise *os palatinum* oluşturur. Bu iki bölüm arasında bulunan dikişlerin ön ucunda bulunan deliğe *for. incisivum*, arka kısmındaki çıkıntıya ise *spina nasalis posterior* adı verilir. *Palatum durum*'un arka dış kısmındaki büyük delik *for. palatinum majus*, küçük delikler ise *foramina palatina minora* olarak isimlendirilir. *Palatum durum*'un arka ve yukarısındaki burun boşluğu arka açıklığına ise *choanae* denmektedir. Orta kısmı, *palatum durum*'un arka kısmı ile *foramen magnum* arasında kalan bölümdür. Bu alanda içerisinde; *os temporale*'nin *pars petrosa*'sı ve *pars squamosa*'sı, *os sphenoidale*'ye ait *proc. pterygoideus* ve *corpus*'u, *os occipitale*'nin *pars basilaris*'i gibi önemli anatomik yapılar vardır. Bu kemik yapılar, *foramen ovale*, *foramen lacerum*, *foramen spinosum*, *fossa mandibularis* ve *tuberculum articulare*, *apertura externa canalis carotici* bulunmaktadır (Cumhuriyet, 2001; Çimen, 1996). Arka kısım büyük bir bölümünü ise *os temporale* ve *os occipitale* (*pars basilaris*) oluşturmaktadır. Buradaki önemli oluşumlar ise *for. magnum*, *canalis caroticus*, *foramen lacerum*'dur. *For. magnum*'un ön dış kenarında *for. jugulare* bulunmaktadır. Bu yapılar içerisinde önemli damarlar ve sinirler geçmektedir (Arıncı, & Elhan, 2001; Çimen, 1996).



Şekil 16. Basis cranii externa (Drake ve Vogl' den uyarlanmıştır)

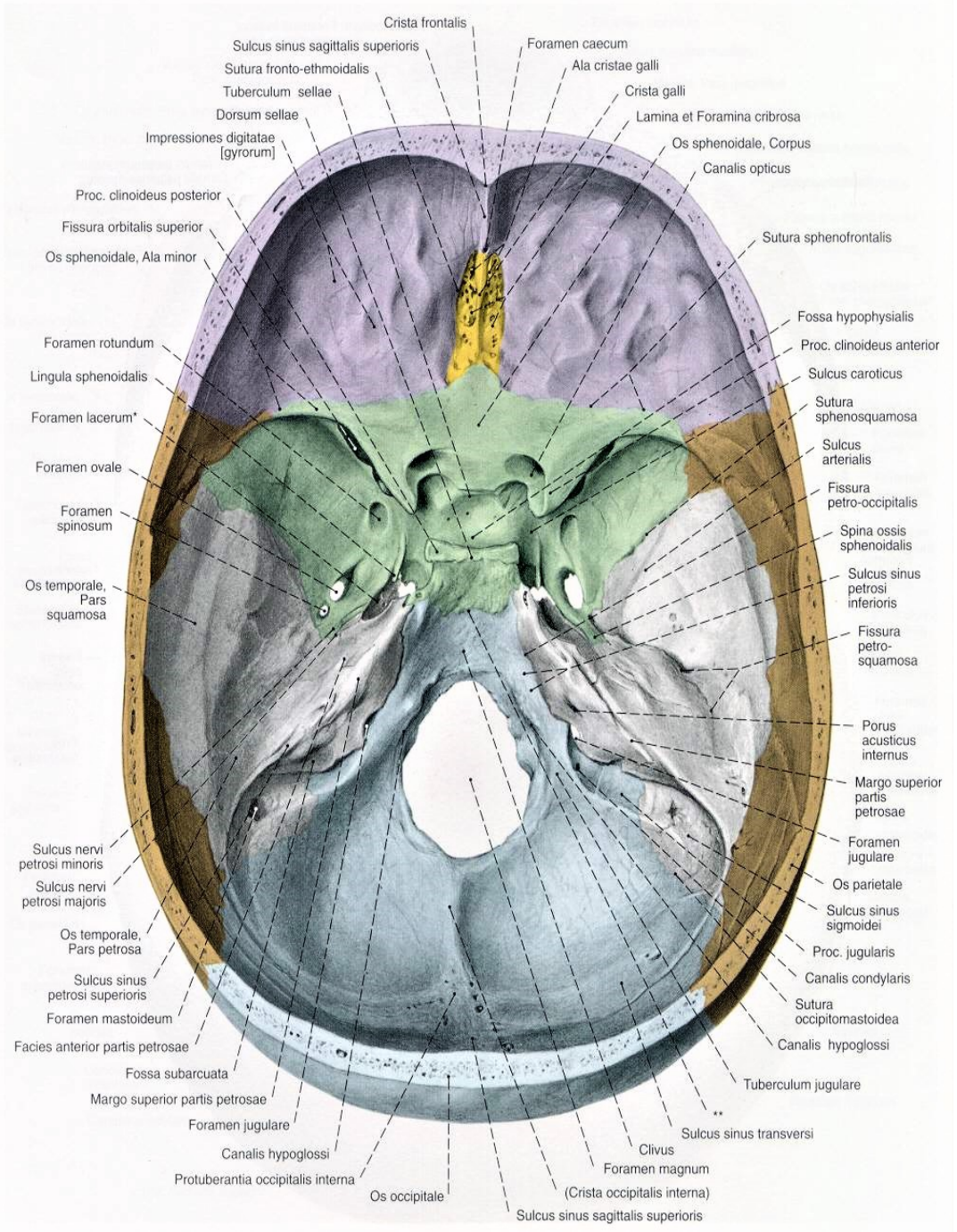
2.2.7. Basis cranii interna (Kafatasının içten görünüşü)

Calvaria çıkarıldıktan sonra kafa iskeleti tabanına üstten bakıldığında *basis cranii interna*'yı görmüş oluruz. *Basis cranii interna* beyin tarafından doldurulmuştur ve *fossa cranii anterior*, *fossa cranii media* ve *fossa cranii posterior* olmak üzere üç adet çukurluk bulunmaktadır.

Fossa cranii anterior, alt tarafta *os frontale*'nin pars orbitalis'i, ortada *os ethmoidale*'nin lamina cribrosa'sı, *for. cecum*, *crista galli*, arkada ise *os sphenoidale*'nin ala minor'ları arasında kalan ve diğer boşluklara göre daha yüksekçe duran bölümdür.

Fossa cranii media, ön tarafta *os sphenoidale*'nin ala minor'ları, arka ortada *dorsum sellae*, arka yanlarda ise *pyramis temporale*'nin üst kenarları arasındaki bölümdür. *Sella turcica*, *for. rotundum*, *fissura orbitalis superior*, *for. ovale*, *for. spinosum*, ve *for. lacerum* gibi önemli yapılar mevcuttur.

Fossa cranii posterior, fossa cranii anterior ve media'ya göre daha derin, daha geniş ve en büyük olan çukurluktur. Ön tarafta *os sphenoidale*'nin *dorsum sellae* ve *clivus*'u ile *os temporale*'nin pars petrosa'sının üst kenarı, yanlarda *os temporale*'nin pars squamosa'sı, arkada ise *os occipitale*'nin pars squamosa'sı ile sınırlıdır. *Porus acusticus internus*, *for. magnum*, *for. jugulare*, *canalis nervi hypoglossi* ve *canalis caroticus* gibi önemli yapılar bulunmaktadır (Arifoğlu, 2019; Yıldırım, 2003).



Şekil 17. Basis cranii interna (Sobotta'dan uyarlanmıştır)

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Tez çalışması, Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan 33 adet nispeten deforme olmuş 13. yy' a ait geç dönem Bizans kafatasları üzerinde yapılmıştır.

Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan kemikler, Bursa'nın İznik ilçesine bağlı Selçuk mahallesi Saraybahçe mevkiindeki Roma Açık Hava Tiyatrosu'nun kazı çalışmaları sırasında ortaya çıkarılmıştır. Tiyatro, Roma İmparatoru Trajanus (M.S. 98-117) zamanında inşa edilmiştir. Bursa müzesinden Uzman Arkeolog Bedri Yalman'ın Eski Eserler Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak 1980 yılından itibaren yürütmüş olduğu açma çalışmalarında, insan iskeletlerinin Geç Bizans Dönemi'ne ait olduğu tespit edilmiştir (Özbek, 1984; Yalman, 1985). Açığa çıkarılan şekil ve kitabeden anlaşıldığı üzere İznik Tiyatrosunda gladyatör dövüşleri de yapılmıştır. Savaşta ölen Bizans askerlerinin topluca yan-yana ve üst üste acele ile gömüldükleri bu alanda, oldukça iyi durumda olan insan iskeletleri gün ışığına çıkarılmıştır. Bazı iskeletlerde ise hastalık izleri, yaralanma sonucu meydana gelen travmatik lezyonlar da görülmüştür.

İskeletler, bazı ufak sapmalar dışında, genellikle başları batıya ve ayakları doğuya yönelik olmak üzere gömülmüştür. Gömülme yönünün aynı olmasına karşın ölen kişinin toprağa verilme sırasında kolların farklı pozisyonlarda tutulduğu raporlanmıştır.

38 kişiye ait iskeletlerde yapılan ilk antropolojik gözlemler bunların yaş ortalamasının 35,2 olduğunu göstermiştir. Ayrıca kafatası incelemeleri serinin heterojen ve değişik ırklara mensup bireylerden oluştuğunu göstermiştir (Özbek, 1984; Uzel, 1985).

Gömülenlerin hepsinin (bir yetişkin kadın ve bir çocuk iskeleti dışında) erkek ve yetişkin kişiler olması, gömülüş biçimleri (yan yana uzatılmış ya da üst üste atılmış), kafatasındaki yarık izi ve eksik durumdaki iskelet göz önüne getirildiğinde, savaş sırasında ölen askerlerin, olağanüstü koşullar gereği mezarlık olarak tercih edilen tiyatroya gömüldüğü akla gelmektedir. Eğer bir salgın hastalık ya da doğal

afet sonucu ölenler söz konusu olsaydı, her yaştan ve her cinsten insan iskeletlerine rastlanması gerektiği de bildirilmiştir (Özbek, 1984).

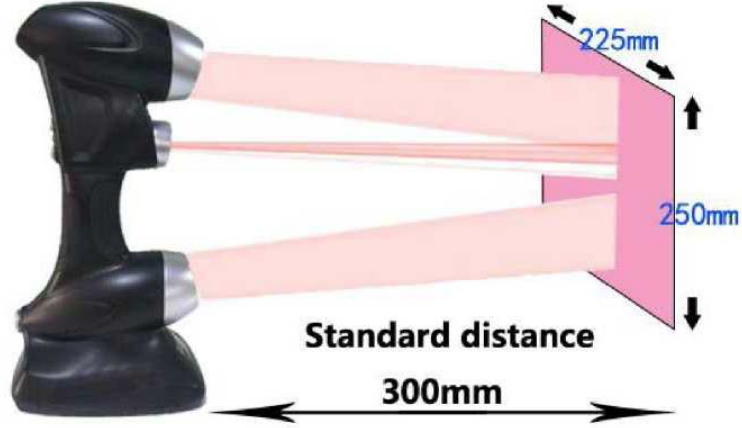
Çalışmamızda önce Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan 33 adet 13. yy'a ait geç dönem Bizans kafatasları deformiteleri ve sağlımlıkları açısından incelenip ve her biri kodlanarak genel morfolojik bütünlükleri açısından notlar alınarak dosyalanmıştır.

Dosyalama işlemlerinden sonra kafataslarından 3 boyutlu tarayıcı ile modelleme yapılarak materyallerin dijital arşivlemesi ve Stereolitografi (STL) 3 boyutlu (3B) dosya formatında elde edilmesi aşamaları gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu tarayıcı olarak Composite 3B Scanner Hscan Prince Series User Manual ~V3.0.1 - 2019.10 Lazer tarayıcı kullanılmıştır.

Kullanılan lazer tarayıcı Hangzhou Sikan Technology tarafından üretilen el tipi üç boyutlu bir tarayıcıdır ve nesnenin yüzeyindeki 3B nokta bulutunu elde etmek için çok sayıda lazer demeti kullanmaktadır. Tarayıcı, endüstriyel bir bölgeye veya bir üretim katına kolaylıkla taşınabilmekte ve taranan nesnenin boyutuna, şekline ve taramanın çalışma ortamına göre verimli ve doğru bir şekilde veri setleri çıkarabilmektedir.

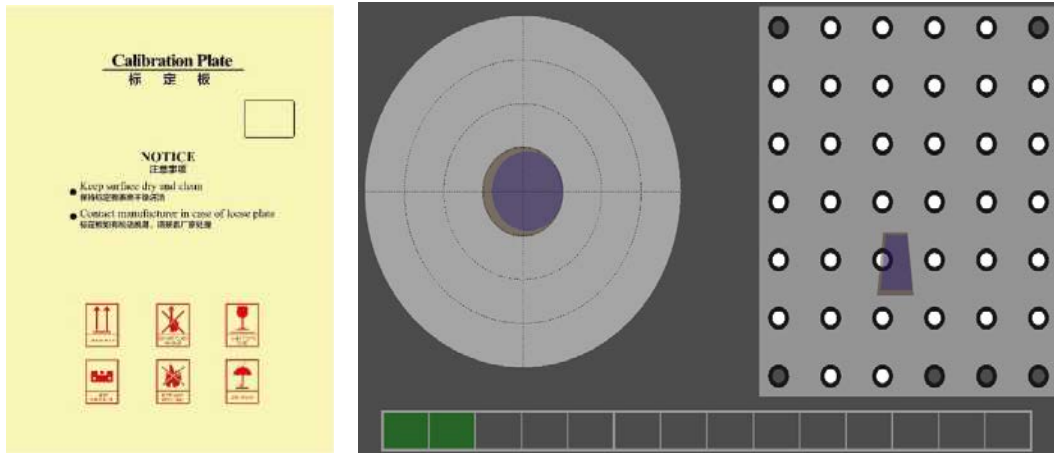
Hscan Prince serisi el tipi 3B tarayıcıda kırmızı ve mavi iki renkli lazer tipi bulunmaktadır. Kırmızı demet hızlı tarama ve mavi demet ise ince tarama seçeneklerinde kullanılmaktadır. Hscan Prince tarayıcı, üç boyutlu bir uzaysal nokta bulutu elde etmek için binoküler görüş prensibini kullanan bir araçtır. Çalışma pozisyonu, tarayıcının ve ölçülen nesnenin uzamsal konumunu elde etmek için işaret noktaları kullanılarak elde edilmekte ve lazer demeti, taranacak iş parçasının yüzeyini aydınlatmak için lazer yayıcı tarafından yayılır ve ardından kalibre edilir. Kamera sistemi ile yansıyan lazer demetlerini yakalamakta ve uzamsal olarak hesaplamalarda kullanılmaktadır. Tarayıcının iki kamerası arasındaki açısal fark dolayısı ile görüş açılarının birleştirilmesi ile ortak geniş bir görüş alanı sunabilmektedir. Tarama işlemi sırasında, ortak görüş alanında dört veya daha fazla konumlandırma işaretçisi olduğundan emin olmak gerekmekte ve taranan yüzeyin kameranın ortak odak uzaklığı içinde olması gerekmektedir. Tarayıcının ortak odak

uzaklığı, referans mesafesi, ortak odak uzaklığı aralığı ise alan derinliği olarak adlandırılmıştır ve çalışmamız için yeterli bir duyarlılık sunmuştur. Cihazın referans mesafesi 300 mm, alan derinliği 250 mm ve dağılımı - 100 ~ + 150mm olduğundan tarayıcı ile tarama yüzeyi arasındaki mesafe 200 ~ 450 mm arasındadır.



Şekil 18. Hscan/Prince alan derinliği ve referans mesafesi

Kalibrasyon plakası, esas olarak kamera parametrelerini kalibre etmek için kullanılmaktadır. İyi bir veri kalitesi sağlamak için, tarayıcı kullanıma başlamadan önce, sıcaklık değiştiğinde veya tarama verisi kalitesi düşük olduğunda kameranın kalibre edilmesi gerekmektedir.



Şekil 19. Kalibrasyon plakasının şekli



Şekil 20.Hscan Prince ürün yapısı

Yazılım kurulumu

Çalışmamıza yönelik yazılım ve donanımlar açısından minimum bilgisayar yapılandırma gereksinimleri Tablo 1’ de verildiği gibidir.

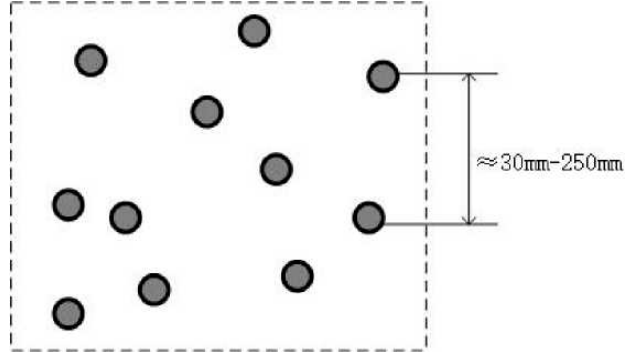
Tablo 1. Hscan Prince sistem gereksinimleri

Project (Proje)	Recommended configuration (Önerilen yapılandırma)	Minimum configuration on (Minimum yapılandırma)
CPU (İşlemci)	I7, Quad core eight threads	I5, Quad core four thread
RAM (Veri deposu)	32G	16G
Memory (Hafıza)	Independent 4G	Independent 2G
Interface mode (Ara yüz modu)	1*RJ45(1000M)	
Operating system (İşletim sistemi)	Win10	

Temel İşlem Süreci

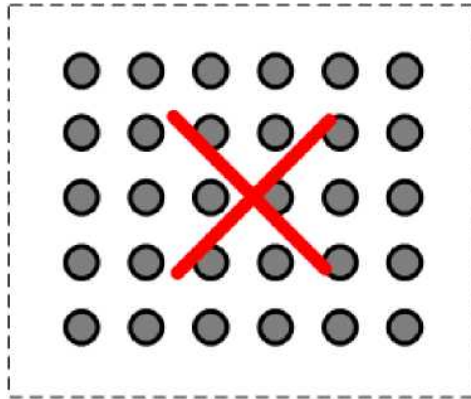
Her iki işaret noktası arasındaki boşluk, iş parçasının gerçek durumuna göre belirlenen 30 mm ila 250 mm'dir. Yüzey eğriliği çok az değişirse, iki işaret noktası arasındaki mesafe uygun şekilde daha büyük olabilmekte ve maksimum mesafe 250

mm olarak belirlenmiştir. İş parçasının yapısında fazla eğrilik varsa mesafe uygun şekilde azaltılabildiği gibi minimum mesafe 30 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 21. İşaret noktaları yapıştırma düzeni

Tarayıcı, işaretleyici noktalardan oluşan konum yapısını tanımlayarak göreceli olarak konumlandırıldığından, işaretleyici noktaların düzenli olarak düzenlenmesi durumunda, işaretleyici nokta konumundaki hataları okuma olasılığı artmakta ve dolayısıyla veri toplama hatalarına neden olmaktadır. Bu nedenle lazer tarayıcının görebileceği bu işaretlemelerin daha rastgele konumlandırma şeklinde yapılmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 22. Hatalı yerleştirilen işaret noktaları

Taranacak olan kafatası kenarına işaret noktaları yapıştırılmamıştır. Kafatası üzerindeki işaret noktalarının konumu, birbirlerine çok yakın ya da materyalin ucuna gelecek şekilde yapıştırılırsa tarama sonrasında elde edilen dosyada delikler oluşturacaktır. Bu da veri kalitesinin doğruluğunu sağlamak için bir göstergedir. Bu

nedenle, işaret noktaları yapıştırırken, materyalin kenardan 2 mm'den daha uzakta olması gerekmektedir ve çalışmamızda buna da özen gösterilmiştir.

Kafatasına işaret noktalarının yapıştırılması, sistem arayüzünün başlatılması, kafatasının Hscan Prince ile taranması, ön tarama noktalarının oluşturulması, tarama noktalarının oluşup şekillenmesi, lazer tarama yapılması, lazer tarama noktalarının şekillenmesi ve birleştirilmesi, lazer tarama sonrası 3B model oluşturulması ve mesh yapılması (Şekil 23 – 45'te) gösterilmektedir.



Şekil 23. Bizans dönemi kafatası önden görünüm



Şekil 24. İşaret noktalarının yapıştırılması



Şekil 25. Bizans dönemi kafatası yandan görünüm



Şekil 26. İşaret noktalarının yapıştırılması



Şekil 27. Bizans dönemi kafatası yandan görünüm



Şekil 28. İşaret noktalarının yapıştırılması



Şekil 29. Bizans dönemi kafatası alttan görünüm



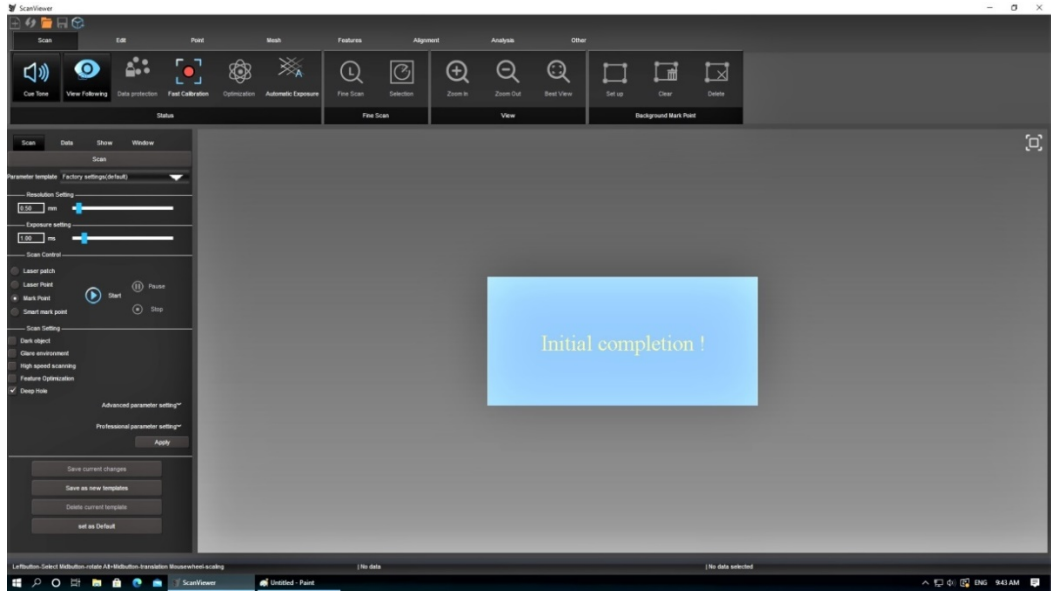
Şekil 30. İşaret noktalarının yapıştırılması



Şekil 31. İşaret noktalarını yapıştırılması



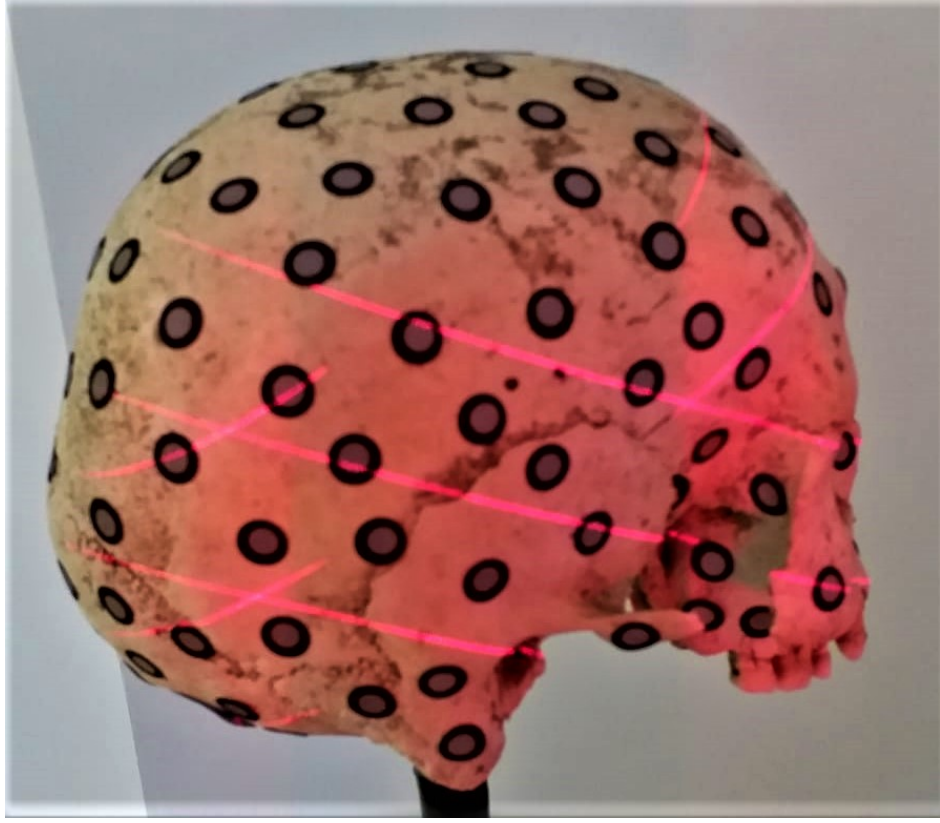
Şekil 32. İşaret noktalarını yapıştırılması



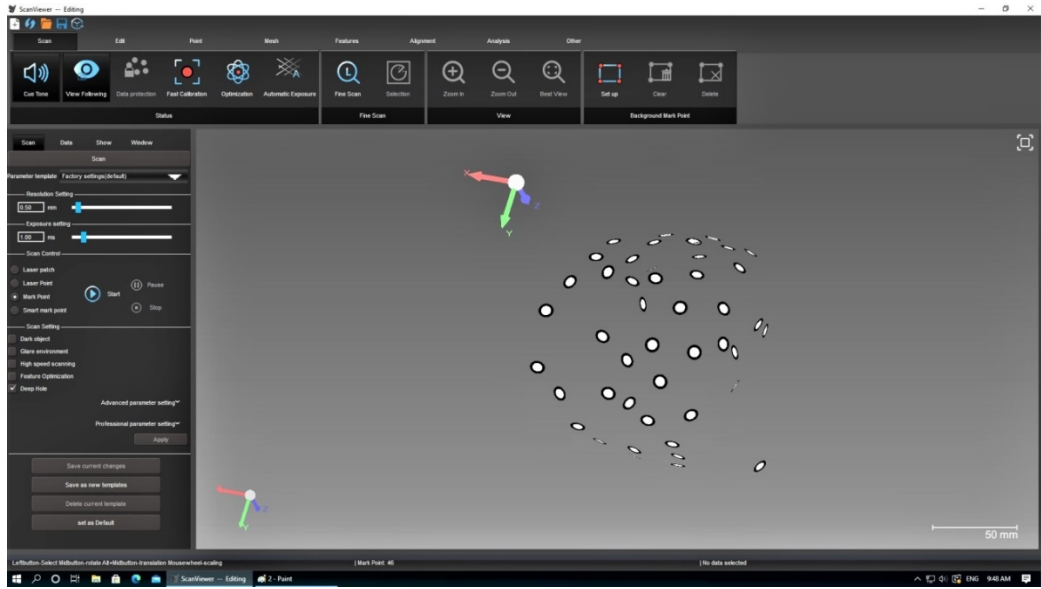
Şekil 33. HScan/Prince Tarama Yazılımı Arayüzü



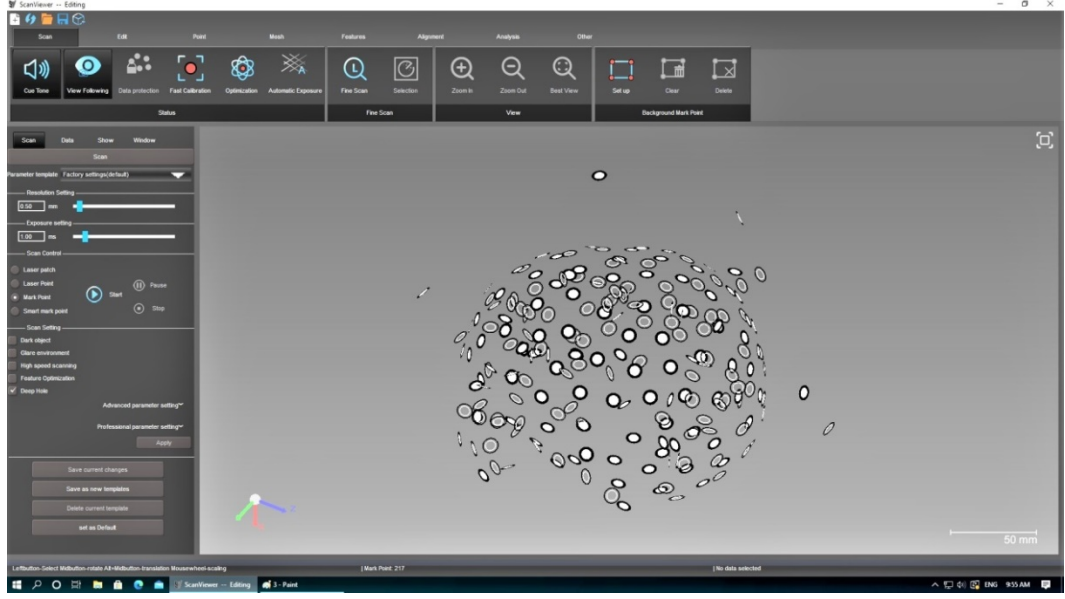
Şekil 34. HScan Prince ile tarama yapılması



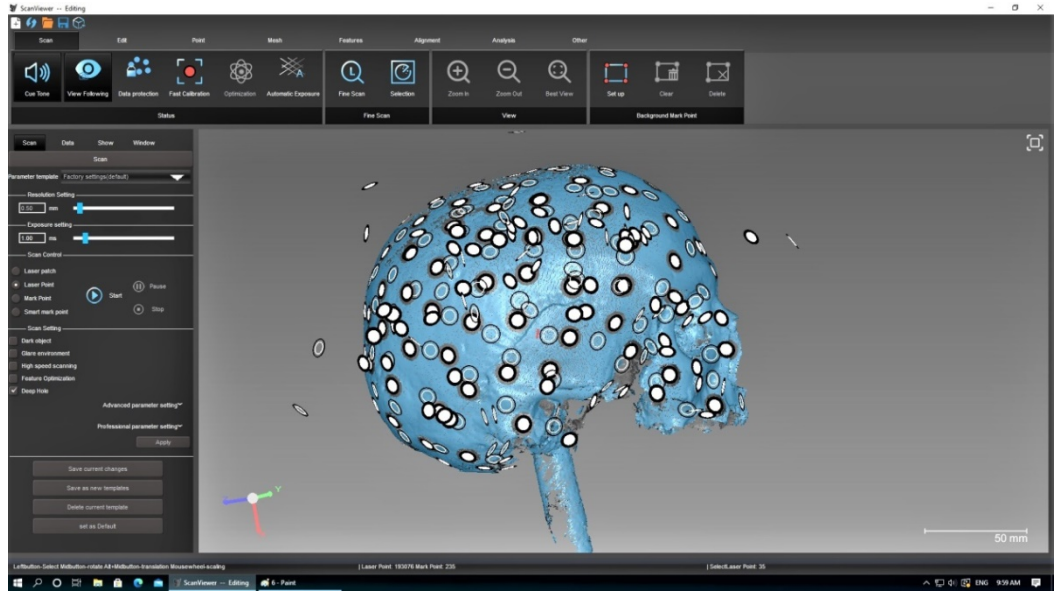
Şekil 35. HScan Prince ile tarama işlemi



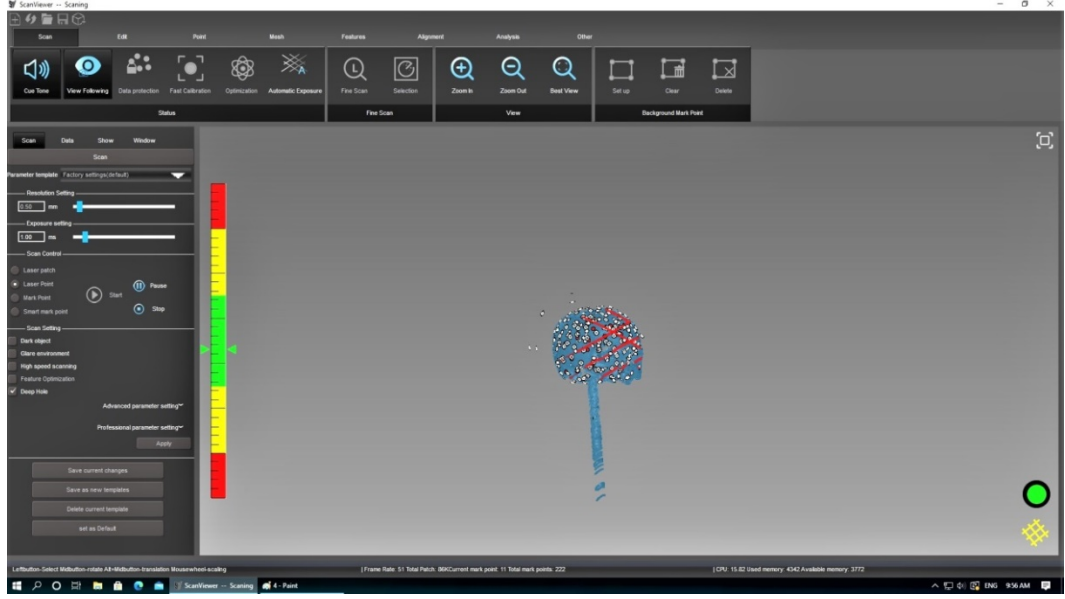
Şekil 36. Ön tarama noktalarının oluşması



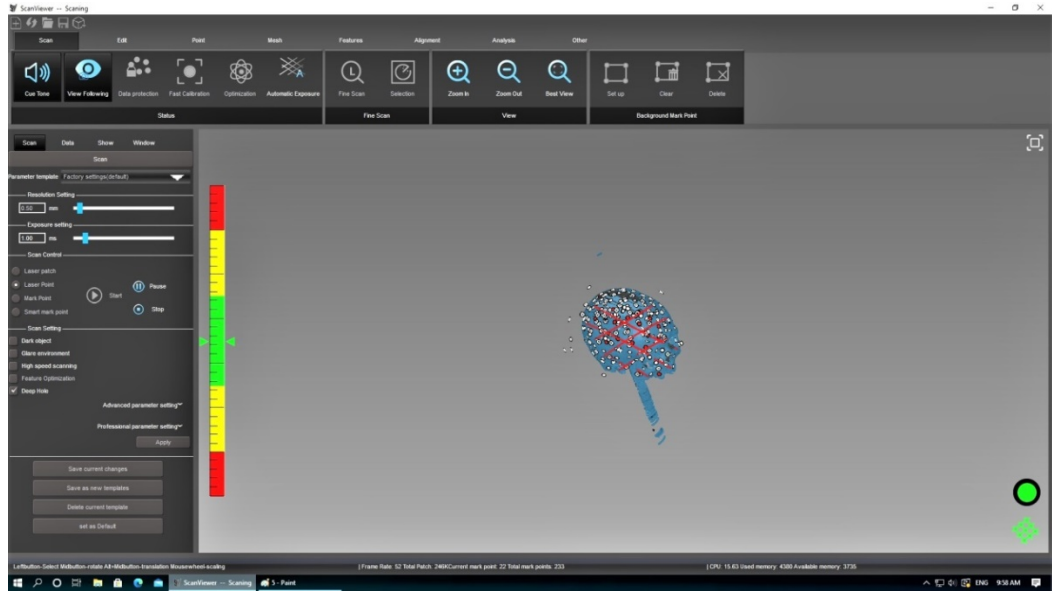
Şekil 37. Ön tarama noktalarının oluşması



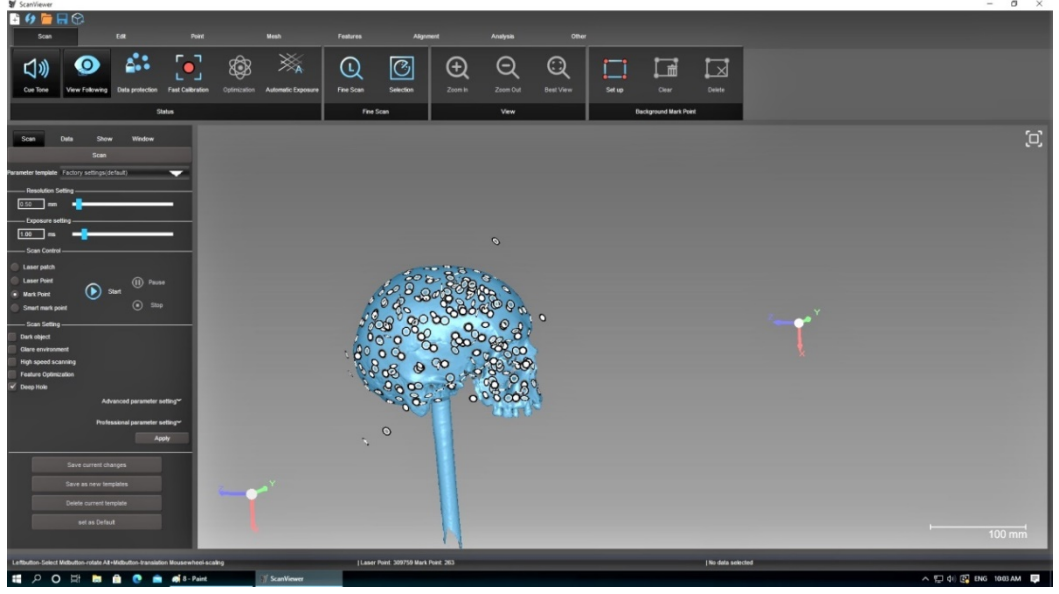
Şekil 38. Tarama noktalarının yüzey oluşturmaması



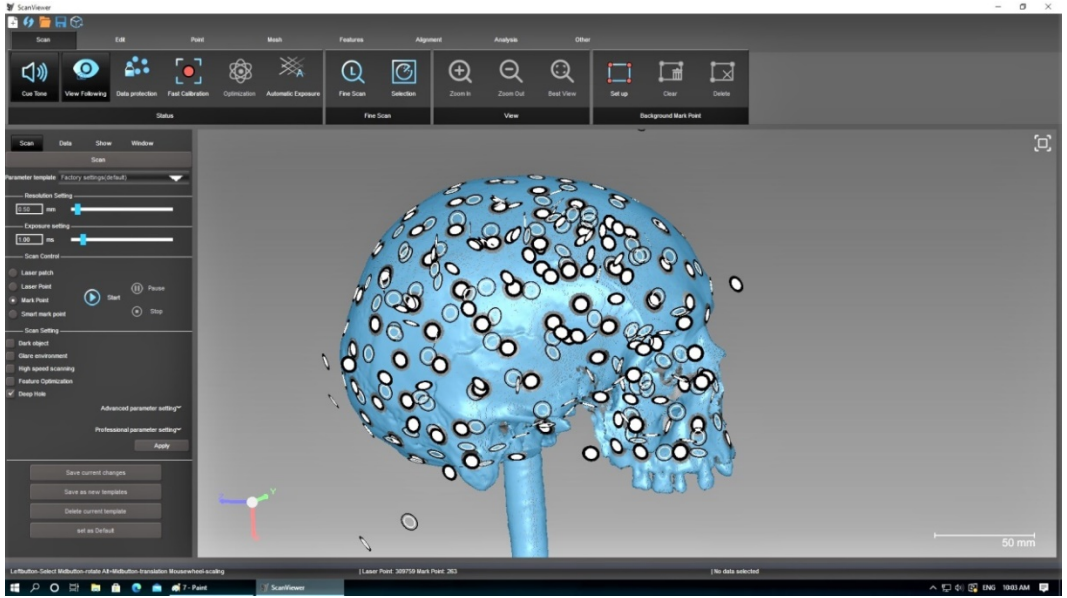
Şekil 39. Lazer tarama yapılması



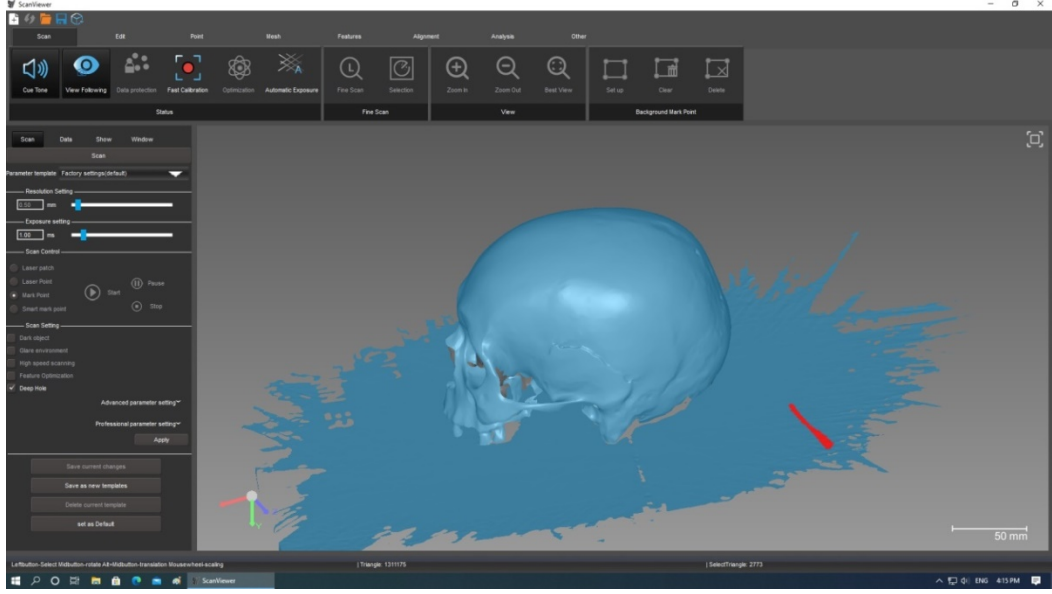
Şekil 40. Lazer tarama yapılması



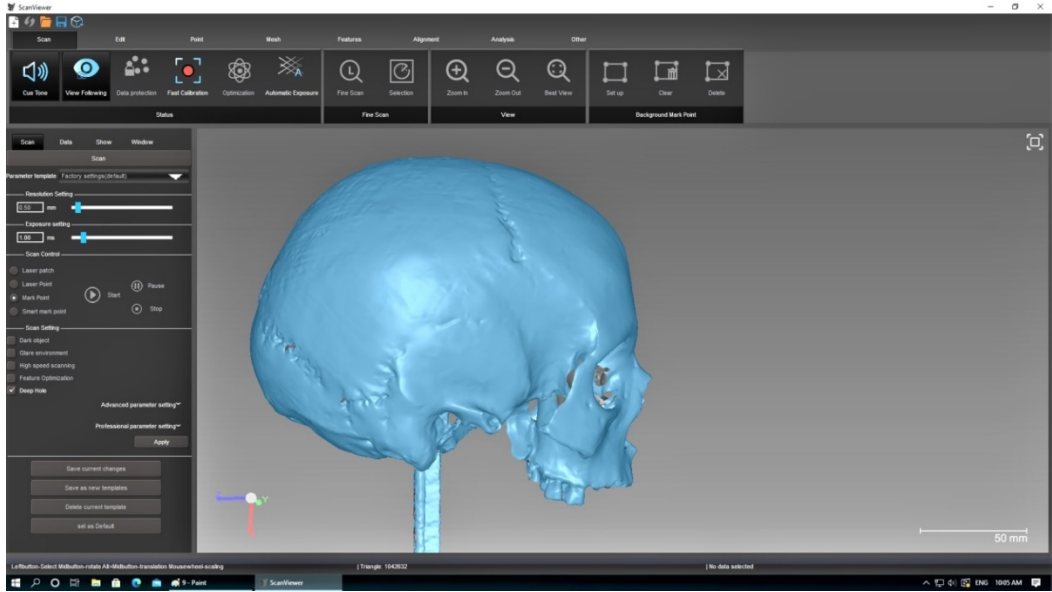
Şekil 41. Tarama noktalarının yüzey oluşturma



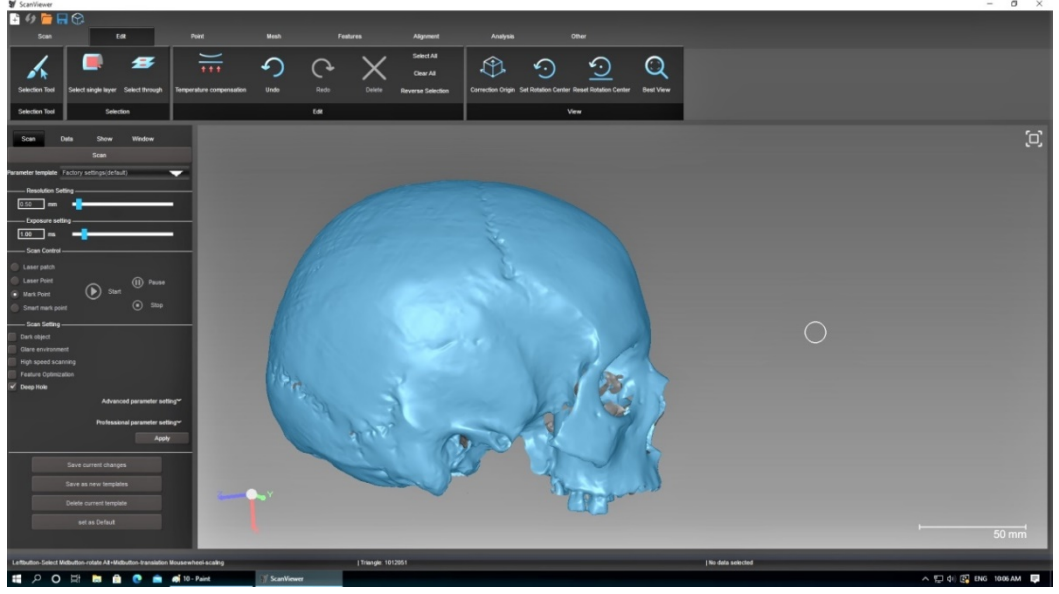
Şekil 42. Lazer tarama noktalarının yüzey oluşturma



Şekil 43.Lazer tarama sonrası mesh yapılan 3B model



Şekil 44. Mesh sonrası yüzey temizliği



Şekil 45. Mesh sonrası yüzey temizliği

3.1. 3B modelleme nedir?

3B modelleme gerçek nesnelerin bilgisayar ortamına aktarılarak  boyutlu olarak görmemizi sağlayan vektörel ve poligonlardan oluşan çizimlerdir. Taranacak ya da oluŐturulacak olan bu nesneler canlı ve durağan nesneler olabileceği gibi daha çok cansız materyaller olmaktadır. 3B modellemenin yapılabilmesi için bazı özel programlara da gereksinim duyulmaktadır. 3B printerler ile daha önceden taranan ya da yazılımlar ile tasarımı yapılan bu nesnelerin gerçek bir model haline dönüŐtürülmesi mümkündür.

3B Modelleme ve 3B Tasarım ve Morfometri

3B tasarım, var olmayan bir ürünü sıfırdan ortaya çıkararak yenilik yaratmaktır. 3B tasarımı gerçekleŐtirmek için yazılımsal ve donanımsal alt yapının yanında sanatsal yeteneklere de ihtiyaç duyulmaktadır. 3B modellemeye ise 3B tasarım süreci bittikten sonra geçilmektedir. Modelleme süreçlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemler aŐaėıda verildiği gibidir (“3B modelleme ve 3B tasarım”, 2021). Erişim adresi: <https://www.autodesk.com.tr/solutions/3d-modeling-software>

Çokgen modelleme, bu modellemede 3 boyutlu uzayda tanımlı olan noktalar doğrular ile birbirlerine bağlanmakta ve birleŐtirilmektedir. Çokgen model bu doğruların bağlantısı ile ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar çokgen modelleme sık bir kullanıma sahip olsa da oluşan modeller düzlemseldir. Bu nedenle de eğrisel görüntüler ancak doğrular kullanılarak belli yakınlıkta çizilebilir. Film, video ve oyun tasarımı ve animasyon efektleri için tercih edilir.

Eğrisel modelleme, burada kullanılan yüzeyler eğriler ile ifade edilir. Eğriler, farklı noktaların bir araya gelerek birbirleri ile doğrular aracılığıyla birleştirilmesi ile ortaya çıkarılır. Eğri zerindeki her noktanın matematiksel bir ağırlığı olduğu varsayılmakta ve noktaların ağırlığı ne kadar fazla ise, eğrinin o noktaya yakın olma ihtimalini de arttırmaktadır. Girintiler ve çıkıntıların ortaya çıkarılmasında özellikle bu modelleme türü kullanılmaktadır. Endüstriyel ve makine tasarımında kullanılır.

Dijital heykelleme, bu yöntem plastik yaklaşımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hacimsel, yer değiştirme ve mozaik şeklinde dijital heykellemeler yapılabilmektedir. Bu sistemde resim görüntüsü içerisinde gerekli noktalar alınarak heykelleme yapılabilmektedir.

3B modellemenin bu tür yöntemlerini hayatımızın pek çok alanında artık görebilmekteyiz ve yaşamımızın bir parçası haline geldiklerini söyleyebiliriz. 3B modelleme bir meslek olarak tek başına yapılabildiği gibi birçok meslek dalları içerisinde de kendine yer bulmaktadır.

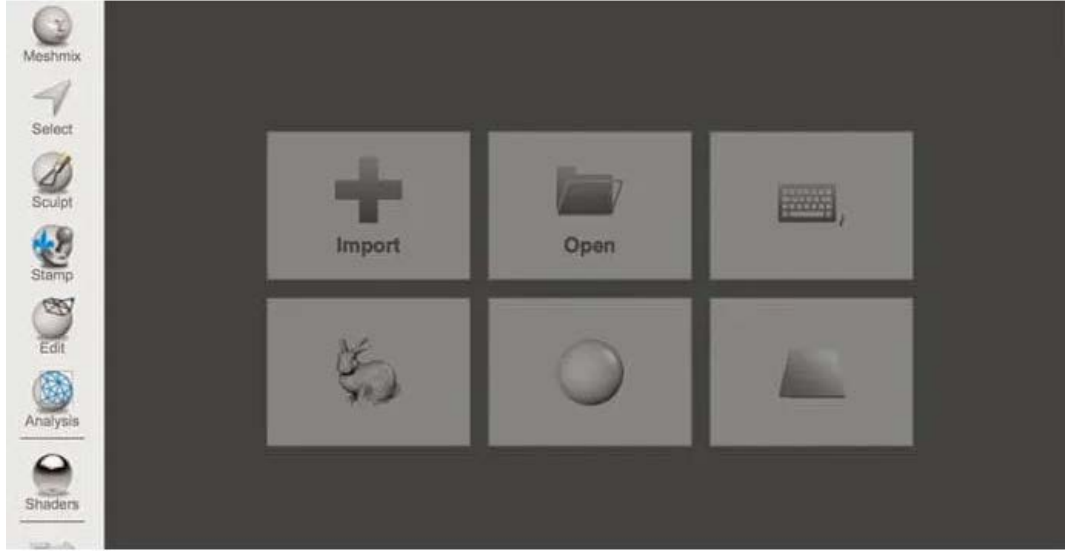
3B modelleme araçları aynı zamanda zaman kazandırıcı bir yaklaşımdır. Eskiz ya da karakalem çalışmalarıyla yapılacak uzun süreli işlere göre 3B modelleme oldukça hızlı ve daha kolaydır. Bu tip modellemeler bazı durumlarda otomatik olarak yapılabildiği gibi manuel olarak da yapılabilmektedir. Manuel olarak tasarlamayı düşündüğümüz nesneyi heykeltıraş gibi uğraşarak meydana getirirken, otomatik düzenleme ise önceden yapıp kaydedilmiş bir tasarımın tekrar kullanılmasına olanak vermektedir. Medikal sektörde otomatik modelleme yöntemi sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Tasarlanan nesnelere herhangi bir sorunla karşılaştığında bu sorun birkaç komut veya işleme sayesinde kolaylıkla çözülebilmektedir. Tasarlanan nesneyi her yanından görüntüleyebilmek, 3B modellemenin en önemli ve kullanışlı özelliklerinden birisi olarak dikkat çekmektedir (“3B modelleme ve 3B tasarım”, 2021). Erişim adresi: <https://www.autodesk.com.tr/solutions/3d-modeling-software>

Özet olarak, 3B modelleme, bir nesnenin veya şeklin matematiksel bir temsilini oluşturarak yazılım kullanma süreci olarak da ifade edilebilir. Oluşturulan nesne bir 3B model ismini alır ve modeller çeşitli birçok endüstri ve bilim alanlarında kullanılabilir. Video oyunları, mimari sektör, film sektörü, televizyon, inşaat sektörü, ürün geliştirme, bilim ve tıp alanlarında grafik tasarımları işlemek, görselleştirmek, simüle etmek için kullanılmaktadır.

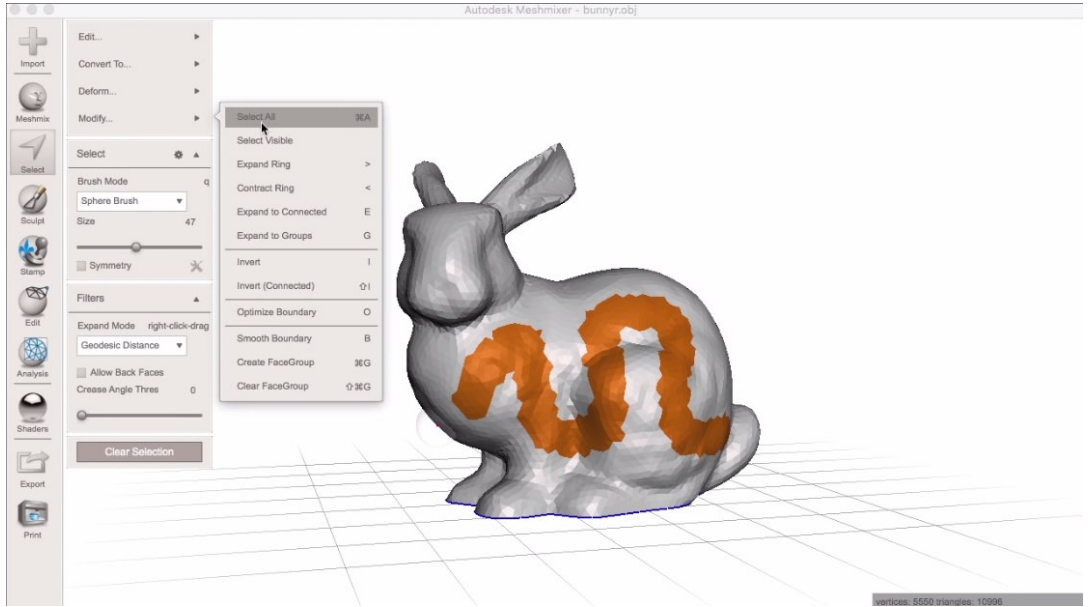
Çalışmamızda da terim ve yöntem olarak kullandığımız morfometri, organların ve organizmaların şekil varyasyonunun ve diğer parametrelerle birlikte değişkenliğinin incelenmesini ifade eder. Morfometrik teknikler, cismin şeklini, cismin boyutunu ve aynı zamanda cismin şekli ve boyutu arasındaki allometriyi (ilişki) ölçmeyi amaçlar.

Bu çalışmada Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan 33 adet nispeten deforme olmuş 13. yy' a ait geç dönem Bizans kafataslarının 3 boyutlu tarayıcı ile modellemeleri yapıldıktan sonra, STL formatında olan bu dosyalar Meshmixer programı kullanılarak üzerlerindeki yapay deformiteler yine dijital ortamda restore edilerek arşive eklenmiştir.

Meshmixer yazılımı diğer bilgisayar destekli program (CAD) veya 3B baskı programları arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Genelde kullanılan parametrik modelleme yöntemi yerine, Meshmixer daha çok temel bir şekil ile tasarlamaya başlanan modelleme ortamı sunmaktadır. Meshmixer, 3B baskı almadan önce üç boyutlu modelleri analiz etmek, düzenlemek ve değiştirmek için diğer programlara göre daha kullanışlıdır. Ayrıca farklı modelleri bir araya getirmek için de iyi bir yazılımdır. Bu yüzden Meshmixer 3B tasarımın Photoshop'u olarak isimlendirilmektedir. 3B baskı için katı modeller oluşturma, delik açma, delik doldurma, destek yapıları oluşturma, ağ oluşturma ya da sadeleştirme, 3B ölçümler vs. gibi bir çok kullanım imkanı sunmaktadır. Meshmixer'in kullandığı dosya formatları; .STL, .OBJ, .PLY, .AMF, .3MF, .OFF, .MIX' dir (Meshmixer, 2021). Erişim adresi: <https://www.meshmixer.com/>



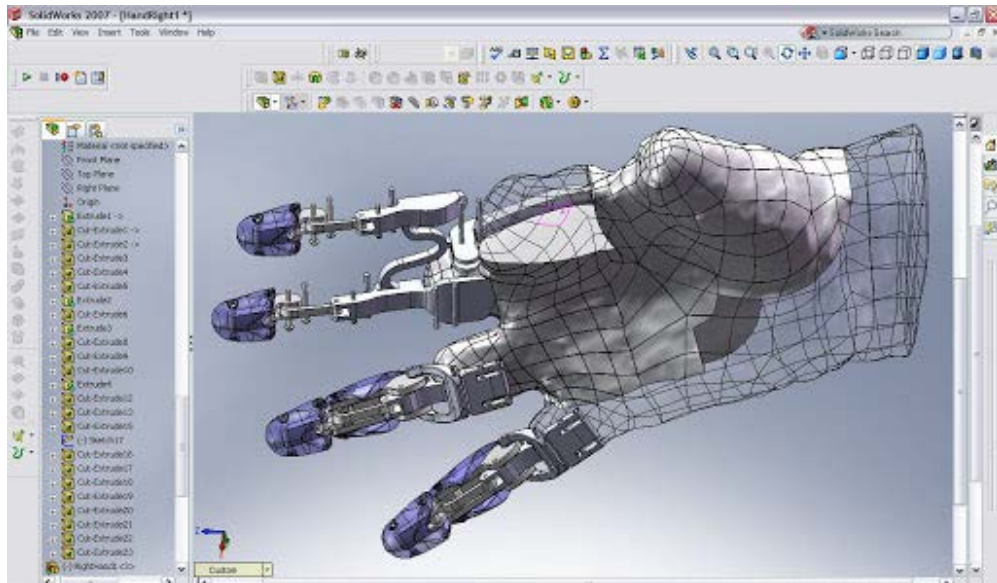
Şekil 46. Meshmixer kullanıcı arayüzü



Şekil 47. Meshmixer kullanıcı arayüzü

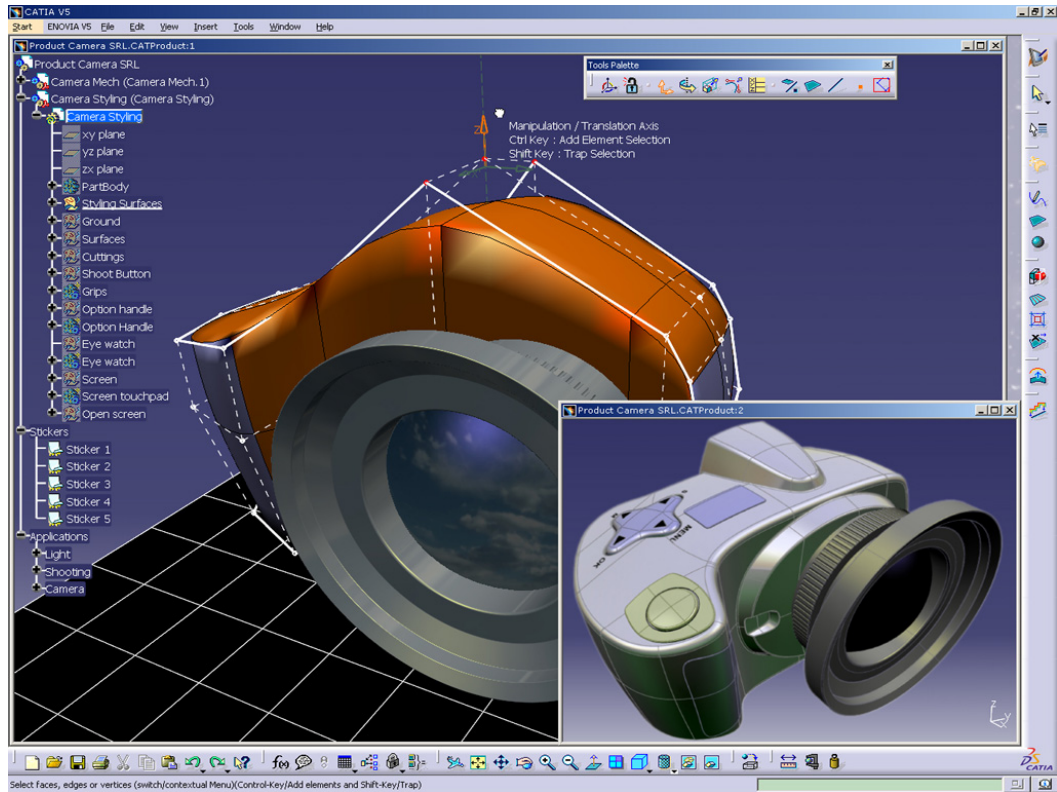
3 boyutlu olarak tarama ile elde edilen eski kafatası materyallerinin dijital ortamda ve basılı olarak prototiplendirilme işlemleri Solidworks 2019 ve Catia P3 V5R19 yazılım programları ile yapılmıştır.

Solidworks, yine birçok sektörde kullanılabilen, bilgisayar destekli 3 boyutlu katı modelleme ve tasarım yazılımıdır, 1995`te piyasaya sürülmüştür. 1997 yılında ise Dassault Systèmes şirketi ile sektörde hızlı yükselişini sürdürmüştür. SolidWorks, 2B ve 3B katı modeller ortaya çıkartabilmektedir. Basit, hızlı ve etkin şekilde kullanılabilen bir arayüzü bulunmaktadır. Ayrıca Windows ile bağlantılı ilk üç boyutlu katı modelleme (3B CAD) yazılımı olma özelliğine sahiptir. Solidworks gerek maliyetleri düşürüp kaliteyi arttıran, gerekse de ürün geliştirme süresini en aza indiren, öğrenmesi basit ancak oldukça güçlü işlevler sunabilmektedir. Solidworks 3B CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım), görselleştirme, simülasyon, elektrik tasarımı, ürün verisi yönetimi gibi birçok alanda oldukça yaygın olarak kullanılabilir. Ayrıca internet üzerinden kolaylıkla erişimin sağlanabileceği ücretsiz eğitim notları ve dokümanları da mevcuttur. Bu özellikleri Solidworks`u üç boyutlu katı modellemede en yaygın kullanılan programlar arasına sokmuştur. Ayrıca programın eğitimleri teknik liseler, meslek yüksek okulları, üniversiteler ve birçok özel kurslarda verilebilmektedir. AutoCAD dosyaları ile çalışabilen en uyumlu 3B CAD yazılımlarından biri olmasından dolayı birçok AutoCAD kullanıcısı, 2. boyuttan 3. boyuta geçiş için SolidWorks`u tercih etmektedir. Solidworks, plastik kalıpcılık, sac kalıpcılığı, otomasyon, makine, mobilya ürün tasarım, mekatronik, endüstriyel ürün tasarımı, sağlık sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Solidworks, 2021). Erişim adresi: <https://www.solidworks.com/tr>



Şekil 48. Solidworks kullanıcı arayüzü

Bilgisayar destekli üç boyutlu interaktif kullanım özelliğiyle Catia (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application) Fransız bir firma tarafından 1981 yılı itibariyle piyasaya sürülmüştür. IBM tarafından pazarlanmıştır. Kullanım alanları oldukça yaygındır. Dijital yapıların yönetimi ve organizasyonu, ölçeklenebilir mimari tasarımların temelinde, mekanik tasarım ve ekipman sistemlerinde, form ve stil tasarımında, sistem mühendisliği temelinde, tezgahta imalat, analiz ve simülasyonu gibi alanlarda ekip mühendisliği imkanı sunmaktadır. Catia, ürün tasarım bilgilerini geliştirme, yeniden kullanabilme ve döngülerini hızlandırarak kısa sürede yanıt alınmasında yardımcı olmaktadır. Günümüzde endüstri, mimari, otomotiv sektörü, gemi inşa, havacılık sektörü ve deniz araçları sektörü ve sağlık sektöründe hizmet vermektedir (Catia, 2021). Erişim adresi: <https://www.3dcatia.com/>



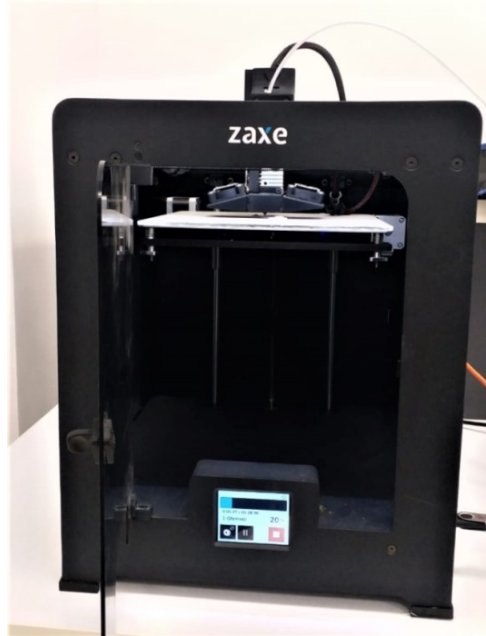
Şekil 49. Catia kullanıcı arayüzü

Solidworks ile Catia yazılımları arasındaki farklara bakacak olursak; birçok özellikleri aynı olan bu iki yazılımdan Solidworks daha uygun fiyatlı, Catia'nın yüzey modülü (imalatı yapılacak parçaların yüzeyler şeklinde modellemesi) ise solidwork'ün yüzey modülüne oranla çok daha iyidir.

Tez çalışmamızda aynı zamanda restore edilerek prototiplendirilmiş tarihi kafataslarından 3 boyutlu yazıcı ile çıktı alınması ve birer sert plastik örneklerinin de arşive ve eğitime kazandırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla prototiplendirilmiş kafataslarının plastik örneklendirilmesinde Zaxe X1 yazıcı ve materyal olarak da PLA türü plastik materyal kullanılmıştır. Elde edilen dijital 3 boyutlu olarak örneklenmiş modeller arşivlenerek ve ileride araştırma ve eğitim amaçlı olarak kullanılmak üzere saklanmıştır.

Kafataslarının plastik örneklendirilmesinde kullanılan Zaxe X1, Türkiye'de üretilen yerli üç boyutlu yazıcı olup, Türk mühendisleri ve teknisyenleri tarafından tasarlanmıştır. 50 mikrona kadar yüksek çözünürlüklü ve 70° açılara kadar desteksiz baskılar alınabilmektedir. Zaxe X1 ile kablosuz iletişim kurabildiği gibi USB flash bellek ya da SD kart ile yazdırma seçeneklerini de desteklemektedir.

Zaxe mühendisleri tarafından geliştirilen Zaxe Desktop yazılımı kullanılmaktadır.



Şekil 50. Zaxe X1 3B yazıcı



Şekil 51. Zaxe X1 3B yazıcı

ZAXE X1'İN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

FDM teknolojisi kullanılmaktadır.

200x200x220 mm'lik baskı hacmine sahiptir.

50-400 Mikron çözünürlüğü bulunmaktadır.

500mm/s – 300 mm/s baskı hızına sahiptir.

0,4 mm Nozzle çapına sahiptir.

Baskı kafa sayısı tektir.

ABS, PLA, Flex, Nylon, Karbon fiber gibi filamentler kullanılabilir.

1,75 Filament çapına sahiptir.

USB, Wi-Fi, Ethernet gibi bağlantılara sahiptir.

11 kg ağırlığında ve 36x36x45 cm boyutlarındadır.

Baskı tablası mevcuttur.

110V / 240 V, 50/60 Hz 2A' lik güç kaynağı bulunmaktadır.

STL, OBJ, AMF gibi formatlarda çıktı alınabilmektedir.

Zaxe Dekstop yazılımını kullanmaktadır.

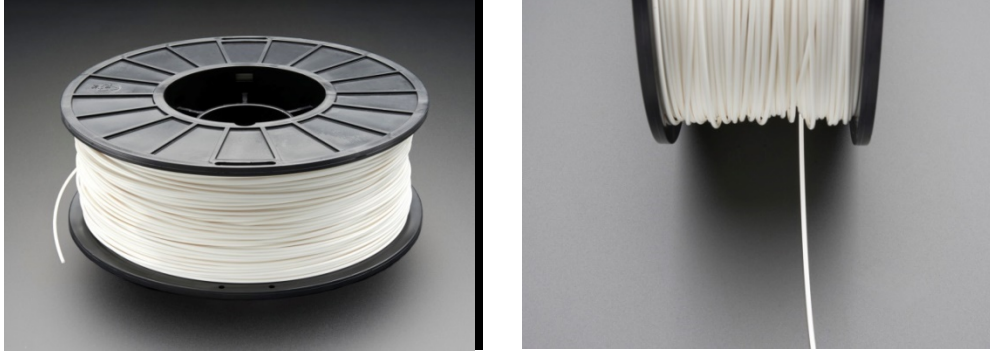
Dokunmatik ekranı ve kolay kullanım özelliklerine sahiptir (Zaxe, 2021). Erişim adresi: <https://zaxe.com/>

3B yazıcılarda kullanılan filamentlerin genel özellikleri

FDM (Katmanlı Üretim) (Fused Deposition Modeling) teknolojisine sahip yazıcıların çalışma prensipleri nispeten çok karmaşık değildir. Plastiğin eritilerek döküldüğü uca Nozzle adı verilir ve yapılmak istenen obje katman katman bir tabaka şeklinde oluşturulur. Filament ise eritilerek dökülen plastik malzemedir. 3B yazıcılarda kullanılan filament türlerinden Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) ve Polylactic Acid (PLA) en çok tercih edilenlerdir. Bunun dışında HIPS, PETG, PVA ve Naylon gibi filament türleri de kullanılmaktadır. Sıcaklık ve ışığa duyarlı PLA, esnek PLA örnekleri olduğu gibi, PLA ile genellikle %30-40 oranında karıştırılmış, bronz, tahta, pirinç, ağaç kabuğu, bambu, bakır, karbon fiberler ve antibakteriyel filamentler gibi özel malzemeler de bulunmaktadır.

Filamentlerin fiyatları kalitesine ve kullanılan malzemenin özelliğine göre değişiklik göstermekle birlikte 80 ila 250 TL arasında değişebilmektedir. PLA katkılı özel filamentlerin (pirinç, ağaç kabuğu, tahta, bronz vb.) fiyatları daha yüksektir. Çıktıların kalitesi yazıcıların olduğu kadar filamentlerin de kalitesine bağlıdır. Nemden etkilenen filamentlerin, bu tür dış etmenlerden korunabilmesi için içerisinde kurutucu silika jeli ya da vakumlu poşetlerle temin edilmesinde fayda vardır. Poşetinden çıkarılan filamentler ise kuru bir ortamda muhafaza edilmektedir. Eğer filamentler nemli ortamda uzun süre kalırsa basım sırasında yazıcı uçlarında “nozzle” kontrolsüz akışlar ve baloncuklar meydana gelebilmekte ve modelin baskı kalitesini etkileyebilmektedir. Bunun sonucunda hem uçlar tıkanabilmekte hem de 3B modellerin yüzey kalitesi bozulabilmektedir. Ayrıca, ABS dışındaki filamentlerin renginde de değişiklikler olması karşılaşılan başka bir sorun olabilmektedir (Zaxe, 2021). Erişim adresi: <https://zaxe.com/>

ABS, mukavemeti oldukça yüksek petrol bazlı bir termoplastiktir. Sorunsuz ve kaliteli baskılar için FDM teknolojisine sahip ve tabla ısıtıcısı olan bir 3B yazıcı kullanılmalıdır. Örnek olarak LEGO parçaları ABS türü filament kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 52. ABS filament

ABS Filament Özellikleri

ABS filament yüksek sertlikte ve dayanıklıdır, darbelere karşı dirençlidir.

Çok esnek değildir.

Yüzey işleme yapılabildiği gibi aseton ile çözünür.

Gıdalarla (yiyecek ve içecekler) kullanılması tavsiye edilmez.

230°C – 250°C basım sıcaklığı arasındadır.

Kapalı sisteme sahip 3B yazıcılarda soğuma esnasında çatlama, kalkma gibi sorunlarla karşılaşmaz.

Yatak sıcaklığı 80°C – 120°C arasında olması önerilmektedir.

Yatak kalibrasyonu ve sıcaklık ayarlarının dikkatli bir şekilde yapılması düzgün çıktılar alabilmek için önemlidir.

Basım işlemleri PLA' ya göre oldukça zahmetlidir.

ABS Filamenti Kullanım Alanları

Dayanıklılığı yüksek bir malzeme olduğundan dolayı, işlevsel 3B modellerin mukavemetinin yüksek ve sağlam olması için ABS filament daha çok tercih edilmektedir. Arabalar, mühendislik ve endüstri alanında prototip amaçlı 3B modeller, elektrikli alet ve ekipmanları gibi örnekler verilebilir. Ancak ABS, özellikle sıcak içecekler ve yiyeceklerle temas ettirilmemelidir.

PLA, şeker kamışı, mısır nişastasından üretilmiş organik bir biyopolimer ve termoplastiktir. Bundan dolayı, insan sağlığı için tehlike unsuru değildir. ABS filamentine göre daha parlaktır. FDM teknolojisi kullanabilen bir 3B yazıcı ile PLA baskı yapılabilir. 3B yazıcı dışında; streç filmler, plastik kaplar, bazı paketleme malzemeleri ve plastik su şişelerinde de PLA bulunmaktadır.



Şekil 53. PLA filamenti

PLA Filament Özellikleri

Basımı ABS filamentine göre daha zahmetsiz ve kolaydır.

Yapısı serttir, dayanıklıdır ve darbelere karşı mukavemeti yüksektir.

Biraz esnekliğe sahip olmakla beraber, kırılma özelliği mevcuttur.

Aseton ile zor çözünür.

190°C – 220°C arasında basım sıcaklığı gerçekleşir.

Soğuma esnasında herhangi bir çatlama ya da kalkma gibi sorunlar yaşatmaz.

PLA'nın yatak sıcaklığı 50 – 70°C arasında olması önerilmektedir.

Tek seferde ayarlanıp hazır hale getirilmiş üretim hızı, sıcaklık ve yatak kalibrasyonu ile sıkıntısız bir şekilde basım yapılabilir.

PLA Filamenti Kullanım Alanları

ABS'ye daha parlak olması ve sağlığa zararlı olmamasından dolayı genellikle gözle görülen ve insan vücudu ile temas halinde olabilecek yerlerde kullanılmaktadır. Mimari ölçek modeller, çocuklar için üretilen oyuncaklar, mutfak gereçleri, yemek sektöründe kurabiye kalıpları, genel kullanılan saklama kapları gibi örnekler verebiliriz. Güneş ışığına devamlı maruz kalacak modeller içinse PLA kullanmak pek önerilmemektedir. Ayrıca PLA' dan yapılan ürünlerin 60°C'den yüksek sıcaklıklarda yıkanmaması gerekmektedir.

ABS ve PLA' nın Detaylı Karşılaştırılması

Bir kahve kupası üretildiğinde, kullanılan malzeme PLA ise kahvenin sıcaklığı 60°C'den daha fazla ise kupanın tabanında bükülme yada çökme gibi deformeler oluşur. ABS'de ise sıcaklık 105°C'ye kadar dayanır, fakat sıcak yiyeceklerle ve sıcak sıvılarla temasında ortama kimyasal atık bırakabilmektedir.

PLA, yüzeyi sert fakat daha kolay kırılması muhtemel bir malzemedir. Bükülmeye çalışıldığında kırılma ihtimali yüksektir. PLA ile üretilen 3B modeller törpülenip, kesilip, taşlanıp, boyanabilirler. Ayrıca güçlü yapıştırıcılar (Evobond502-Vodabond2K) ile yapıştırılabilir. Yüzeyi pürüzsüzleştirmek için aseton kullanılmaz. Zımpara, ısı tabancası ve izopropil alkol hem yüzey temizliği hem parlaklık için kullanılabilir.

ABS ile üretilen modeller ise daha güçlü olmakla birlikte darbeye karşı daha mukavemettir. Bu yüzden, sık değişen hava koşullarına karşı ve mekanik parçalarda kullanılması tavsiye edilmektedir. ABS, PLA' ya göre daha esnektir ve işlenmesi daha kolaydır. ABS ile üretilen 3B modeller törpülenip, kesilip, taşlanıp, boyanabilirler. Güçlü yapıştırıcılar (Evobond502-Vodabond2K) ile yapıştırılabilir. Model yüzeylerini pürüzsüz, düzgün ve parlak yapmak için aseton, zımpara, ısı tabancası kullanılabilir.

PLA, 3B yazıcıyı yeni kullanacaklar için daha uygundur. Basım sırasında genellikle eğilme ya da kalkma gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bunun nedeni, basımı yaparken ilk katmanda bulunan malzemenin soğumasından kaynaklı olarak, plastik malzeme büzülüp yataktan ayrılarak diğer katmanları etkiler. Diğer bir sorun ise basılan parçanın üst katmanlarında çatlakların oluşmasıdır. ABS malzeme kullanırken bu tür sorunlarla karşılaşmak daha yüksek ihtimaldir. Birkaç basım denemesinin yapılması ve 3B yazıcının da ince ayarlarının yapılması ABS filament ile iyi bir basım kalitesi yakalayabilmek için önemlidir.

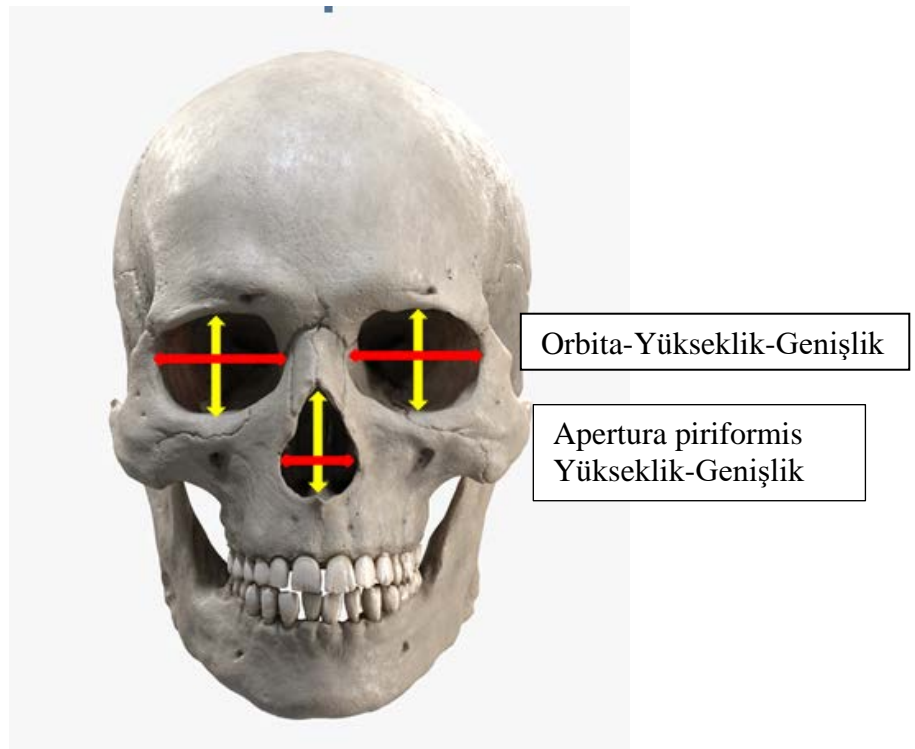
PLA malzemelerde ise ABS'ye kıyasla ilk katmanlarda meydana gelen kalkma yada sonraki katmanlarda oluşan çatlama sorunları ile karşılaşmamaktadır. PLA ile yapılan parçanın baskı yatağından kaldırılması ABS'ye göre daha kolaydır. ABS basımda daha yüksek ısıya ihtiyaç duyulması ile birlikte, kalkma ve çatlama gibi sorunlar da bulunmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için yatağa yapışma türü olan Raft seçilebilir. Ayrıca fan ile çok fazla soğutma yapılması önerilmez. 3B yazıcılarda yatak yapıştırıcısı olarak, PLA' da UHU veya saç spreyi kullanılabilir. ABS filamentte ise kapton bant ve BuildTak kullanılması uygundur ama biraz pahalıdır. Ucuz olarak ise güçlü saç spreyi kullanılabilir.

ABS kullanımında kötü bir plastik kokusu alınırken, PLA' da baharat kokusu, şekerimsi bir koku veya waffle gibi bir koku alınır. Plastik kokusunu uzun süre soluduğumuzda bulantı ya da baş ağrısı yaşanabilmektedir. Bu nedenle, PLA tabanlı filamentler ya da PLA kullanılması önerilmektedir. ABS malzeme kullanmak zorunda kalırsak filtresi olan ve basım için kapalı bir sisteme sahip 3B yazıcı kullanılması önerilmektedir.

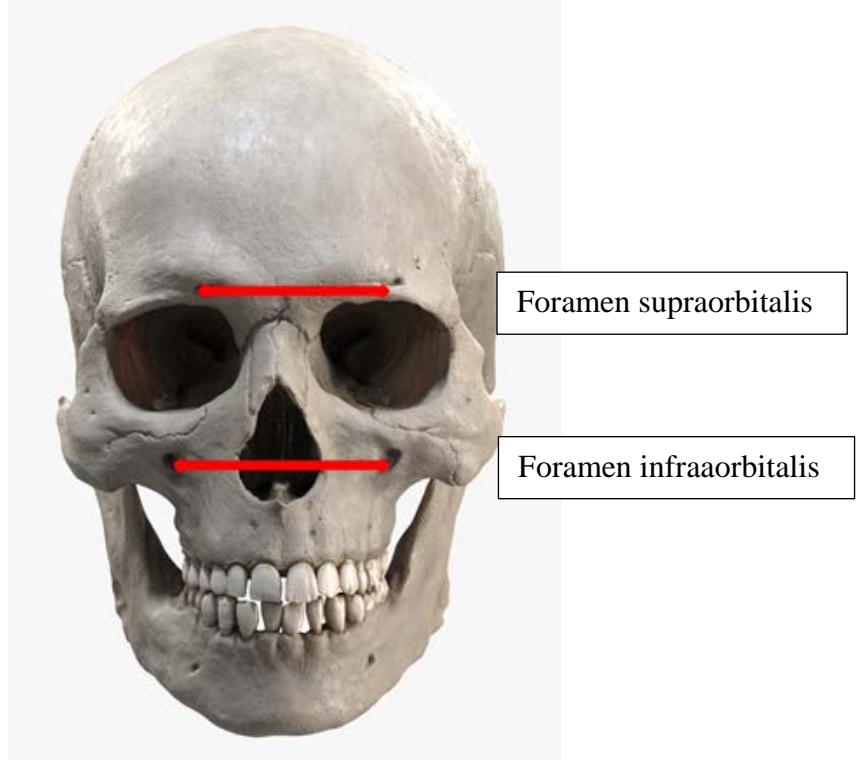
PLA, bitkilerden yapılan organik biyopolimer bir malzemedir ve gübre olarak kullanılıp doğada kolaylıkla parçalanabilir. Diğer yandan ABS ise biyopolimer olmadığı için doğada maalesef parçalanamaz, ama kolayca geri dönüştürülebilmesi mümkündür.

Tez çalışmamızda arşivlenen 3 boyutlu STL formatlı dosyalar üzerinde standart antropometrik noktalar arasında dijital ölçümler yapılarak, gerçek kemikler üzerinden elde edilen ölçümler ile orijinalliğe yakınlığının tespiti yapıldı ve niceliksel olarak karşılaştırıldı.

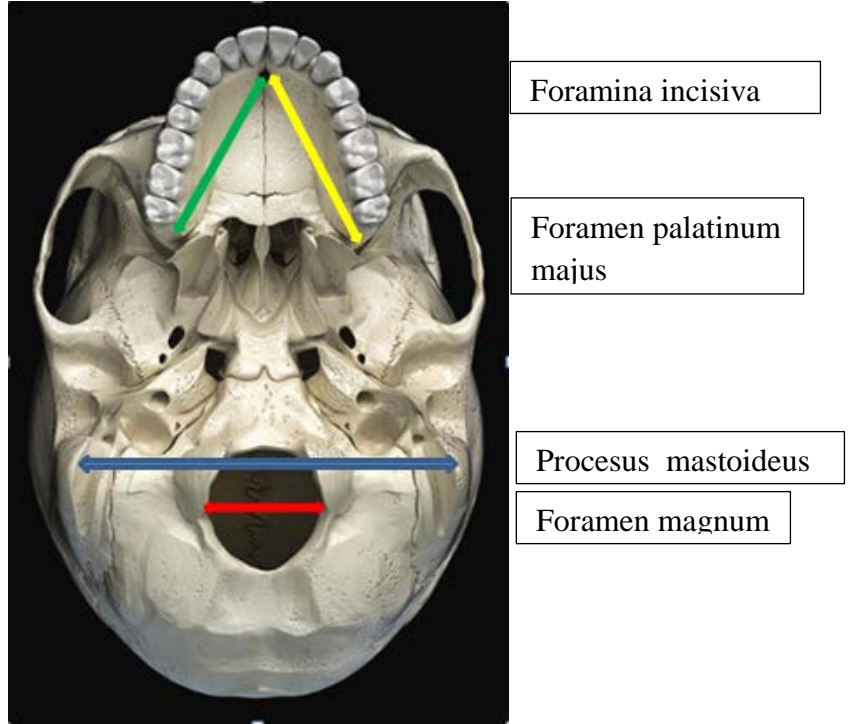
Osteoloji Koleksiyonu'nda yer alan 33 adet nispeten deforme olmuş 13. yy' a ait geç dönem Bizans kafataslarında belirlenen antropometrik noktalar, sağ *orbita*'nın (O) yükseklik ve genişliği, sol *orbita*'nın yükseklik ve genişliği, *apertura piriformis*'in (AP) yükseklik ve genişliği, sağ ve sol *foramen (for.) supraorbitalis* (FS) arası uzaklık, sağ ve sol *for. infraorbitalis* (FI) arası uzaklık, *foramina incisiva* (IF) ile sağ *for. palatinum majus* (FPM) arası uzaklık, *foramina incisiva* ile sol *for. palatinum majus* arası uzaklık, sağ ve sol *procesus (proc.) mastoideus* (PM) arası uzaklık, *for. magnum*'un (FM) genişliği, sağ *for. supraorbitalis* ile *nasion* (N) arası uzaklık, sol *for. supraorbitalis* ile *nasion* arası uzaklık, sağ *for. infraorbitalis* ile *nasion* arası uzaklık, sol *for. infraorbitalis* ile *nasion* arası uzaklık, sağ *for. supraorbitalis* ile sağ *for. infraorbitalis* arası uzaklık ve sol *for. supraorbitalis* ile sol *for. infraorbitalis* arası uzaklık olarak belirlendi.



Şekil 54. Orbita ve apertura piriformis'in yükseklik ve genişliği

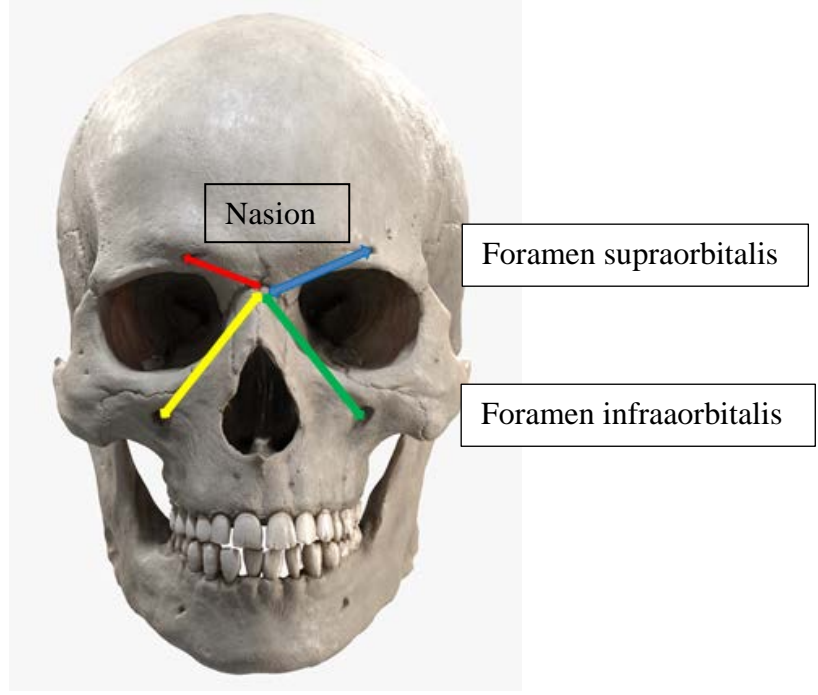


Şekil 55. For. supraorbitalis (sağ-sol)- For. infraorbitalis(sağ-sol) arası uzaklık

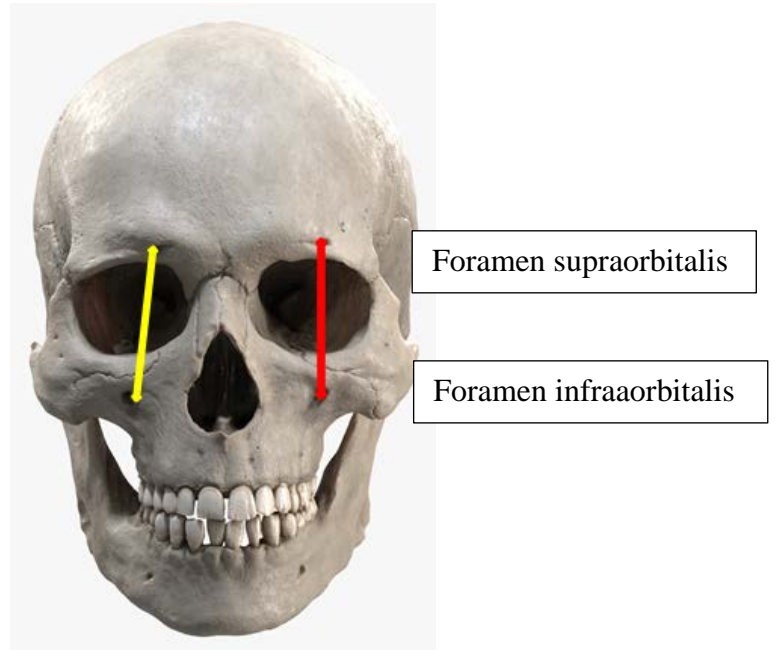


Şekil 56. For. incisiva ile for. palatinum majus arası uzaklık

Processus mastoideus sağ-sol arası uzaklık – for. magnum'un genişliği



Şekil 57. For. supraorbitale (sağ-sol) ile nasion arası uzaklık – For. infraorbitale (sağ-sol) ile nasion arası uzaklık



Şekil 58. For. supraorbitale (sağ-sol) ile for. infraorbitale (sağ-sol) arası uzaklık

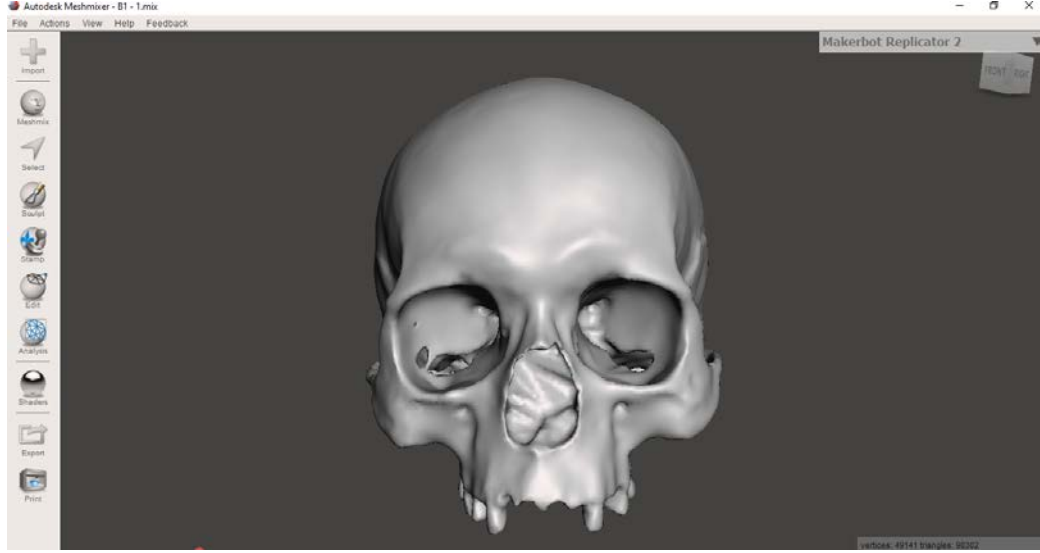
Belirlenen antropometrik noktalar, 3 boyutlu dosyaların dijital ölçümleri ile gerçek kemikler üzerinde kumpas yardımıyla yapılan ölçümler karşılaştırılmıştır. 3 boyutlu dijital arşivin, örneklenmesi alınan gerçek materyallere yakın sonuçlar verip vermediği niceliksel olarak ortaya çıkarılmıştır.

İstatistiksel Yöntem

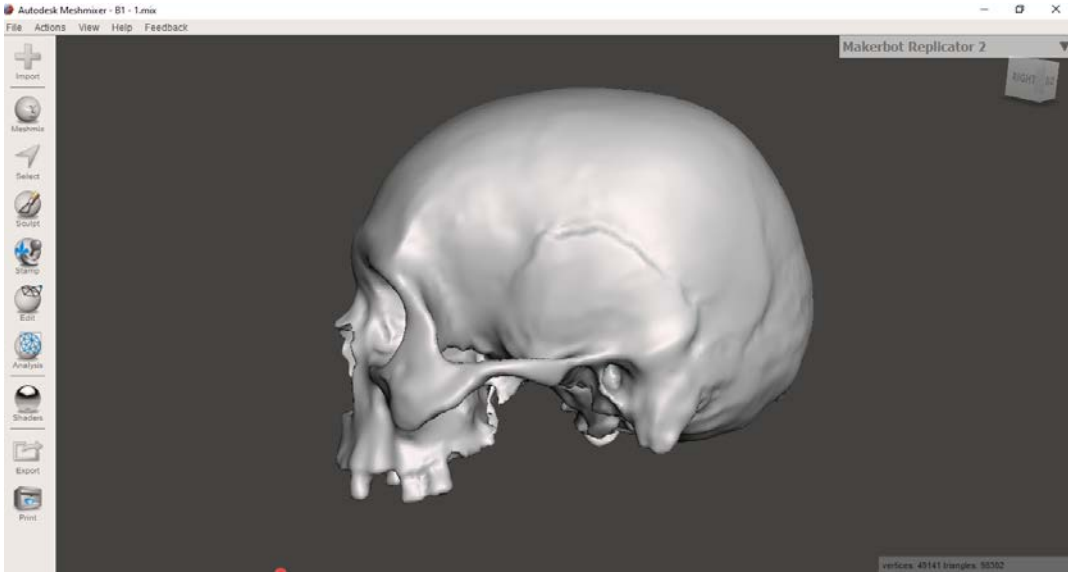
Çalışmada yer alan verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk's testi ile incelendi. Veriler normal dağılıma uygun olmadığı için kumpas kullanarak ve 3 boyutlu dosyaların dijital olarak yapılan ölçümleri arasındaki farklılıklar Wilcoxon testi ile değerlendirildi. Elde edilen ölçüm değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler hesaplandı. Verilerin analizinde IBM SPSS Statistics 23 programı kullanıldı. Elde edilen sonuçlar $p<0,05$ anlamlı kabul edilecek şekilde yorumlandı.

4. BULGULAR

Tez çalışmamızda 13. yy'a ait Geç Dönem Bizans kafataslarının taramaları yapıp, STL formatındaki dijital dosyalar kodlanarak arşivlenmiştir.

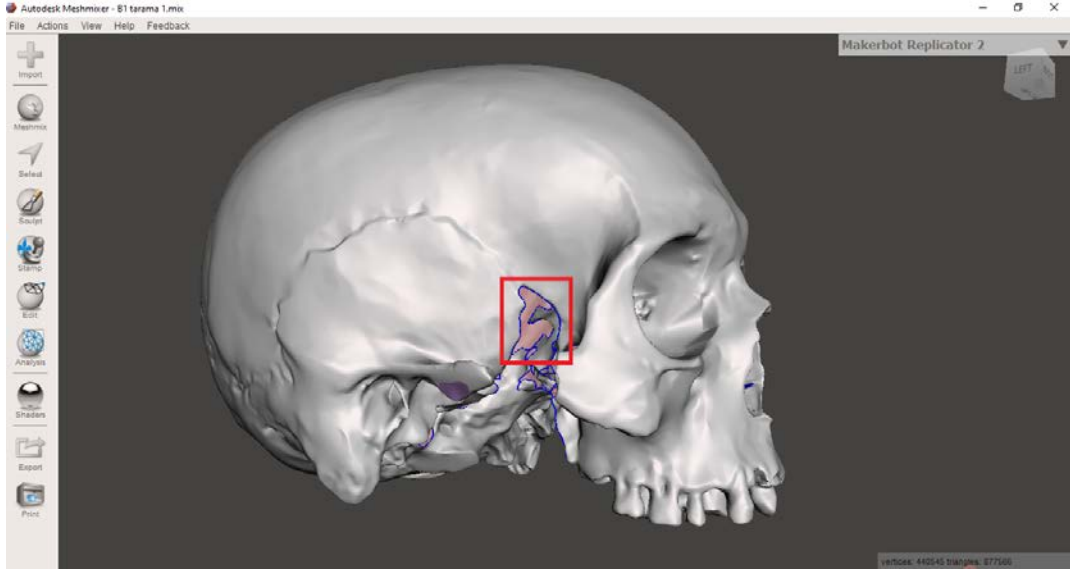


Şekil 59. Taraması yapılan dijital dosya formatlı kafatasları

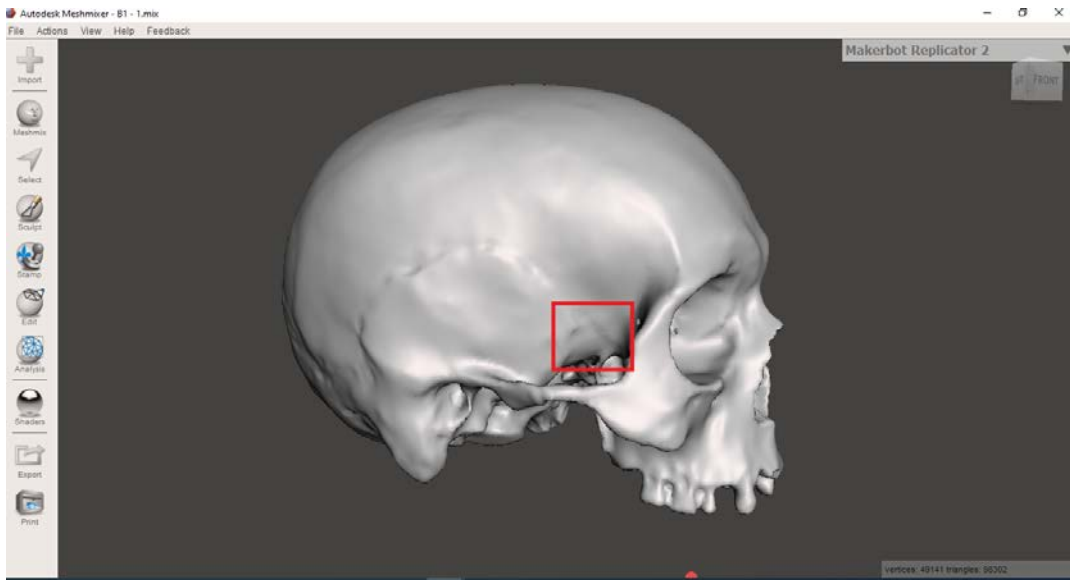


Şekil 60. Taraması yapılan dijital dosya formatlı kafatasları

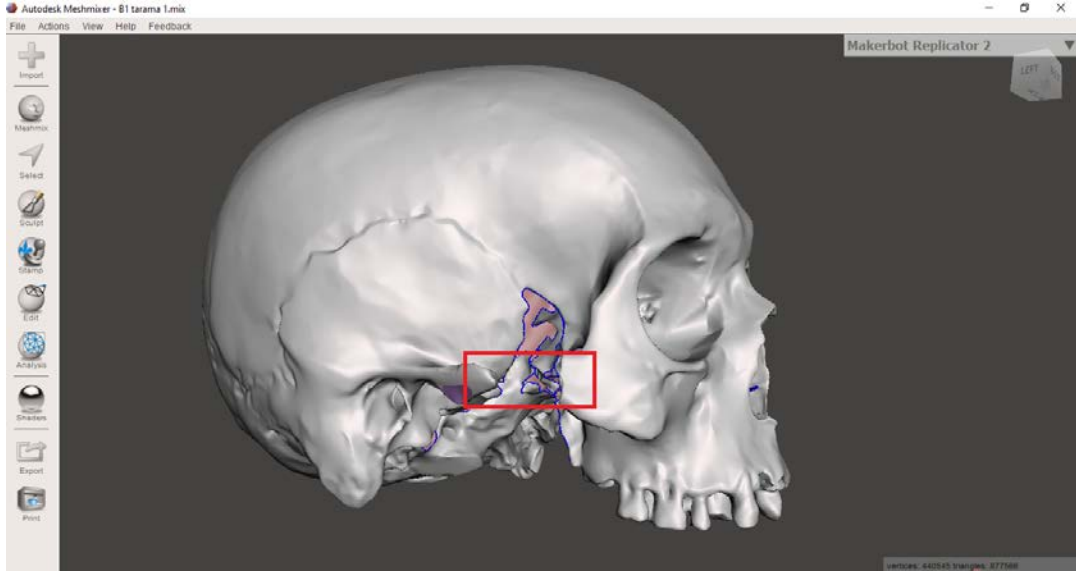
Eski ve yıllanmış kemik yapılar yıllar içerisinde deforme olmuş ve bazı parçaları kırılmıştır. Taramaları yapılan kafataslarından seçili olanlarına ait STL formatındaki dosyaları Meshmixer programı ile dijital ortamda restore edilerek arşivlenmiştir.



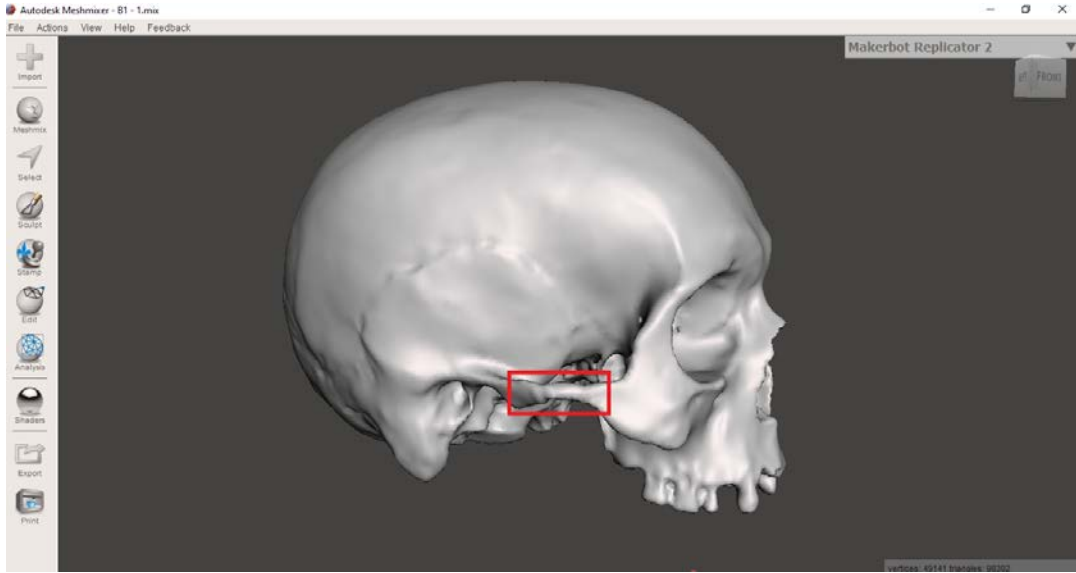
Şekil 61. Restorasyon öncesi dijital dosya



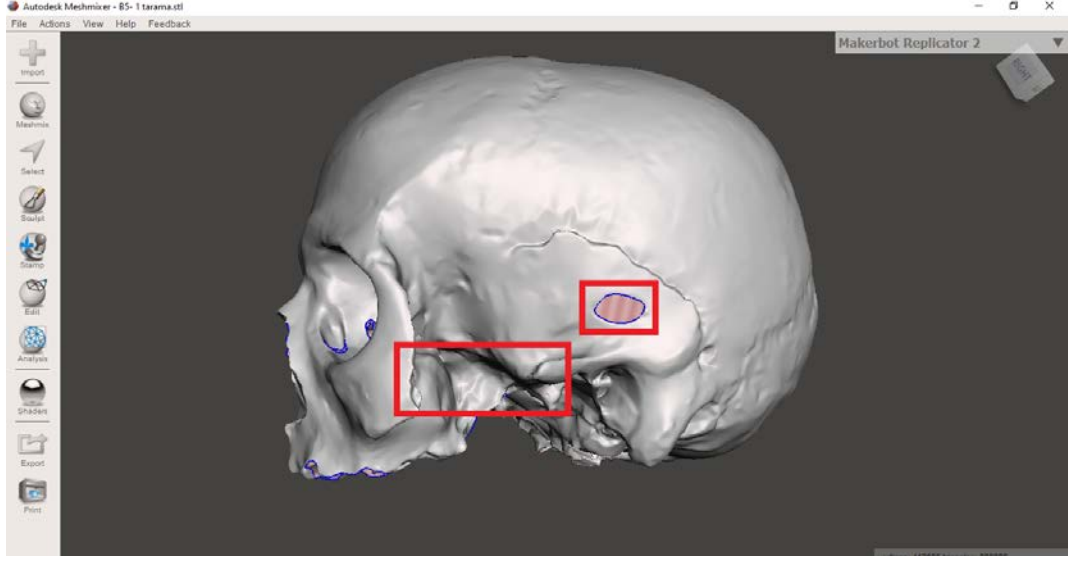
Şekil 62. Restore edilmiş dijital dosya



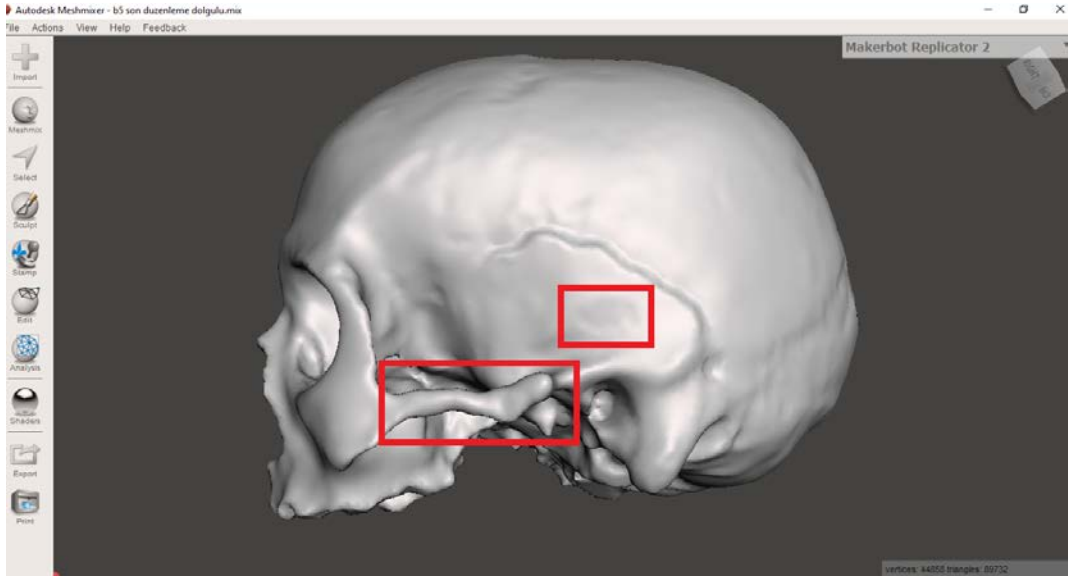
Şekil 63. Restorasyon öncesi dijital dosya



Şekil 64. Restore edilmiş dijital dosya

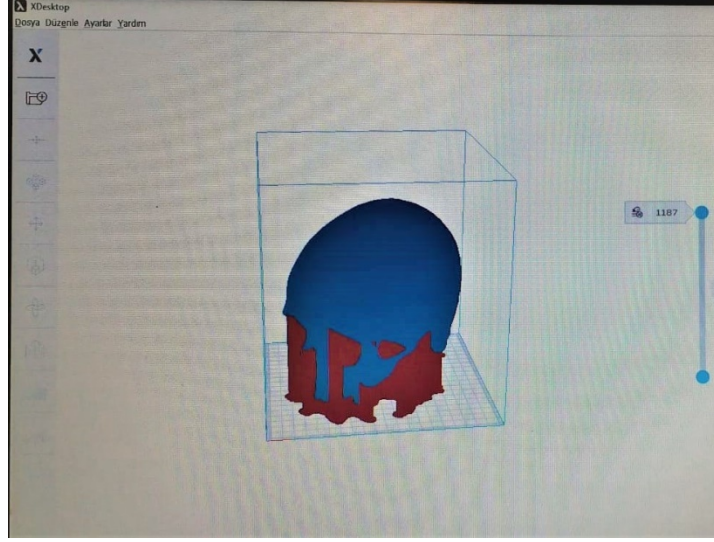


Şekil 65. Restorasyon öncesi dijital dosya



Şekil 66. Restore edilmiş dijital dosya

Meshmixer programı ile restore edilen dosyaların Zaxe XDesktop 2.1.8 yazılım ile düzenlemeleri yapılarak basılmıştır.



Şekil 67. Zaxe Xdesktop yazılım arayüzü



Şekil 68. Basımı yapılmış kafatası önden görünüm



Şekil 69. Basımı yapılmış kafatası yandan görünüm



Şekil 70. Basımı yapılmış kafatası yandan görünüm



Şekil 71. Basımı yapılmış kafatası ön-üst görünüm



Şekil 72. Basımı yapılmış kafatası alttan görünüm



Şekil 73. Bizans dönemi ve basımı yapılan kafatası önden görünüm



Şekil 74. Bizans dönemi ve basımı yapılan kafatası yandan görünüm



Şekil 75. Bizans dönemi ve basımı yapılan kafatası yandan görünüm

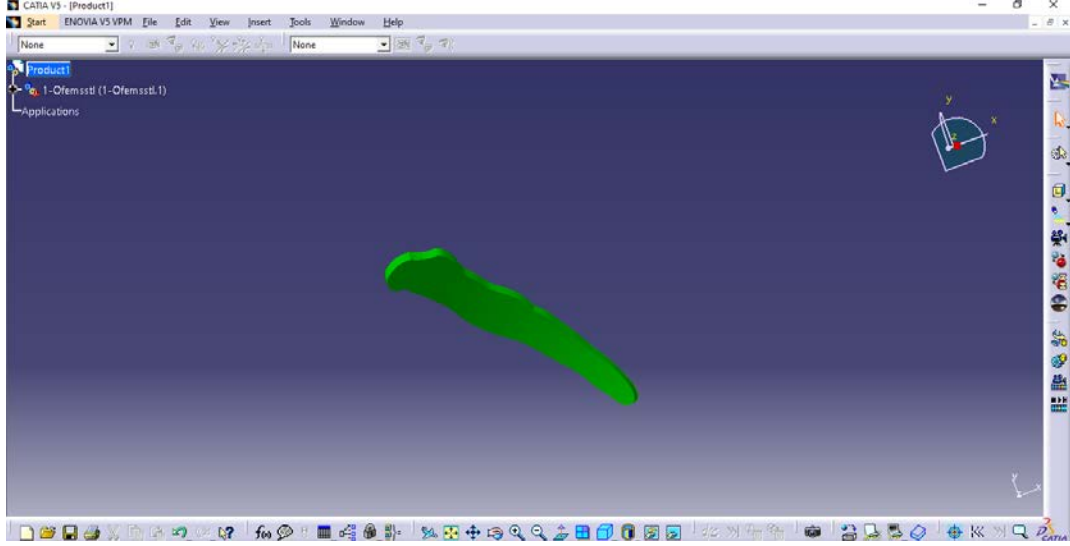


Şekil 76. Bizans dönemi ve basımı yapılan kafatası karşıdan görünüm

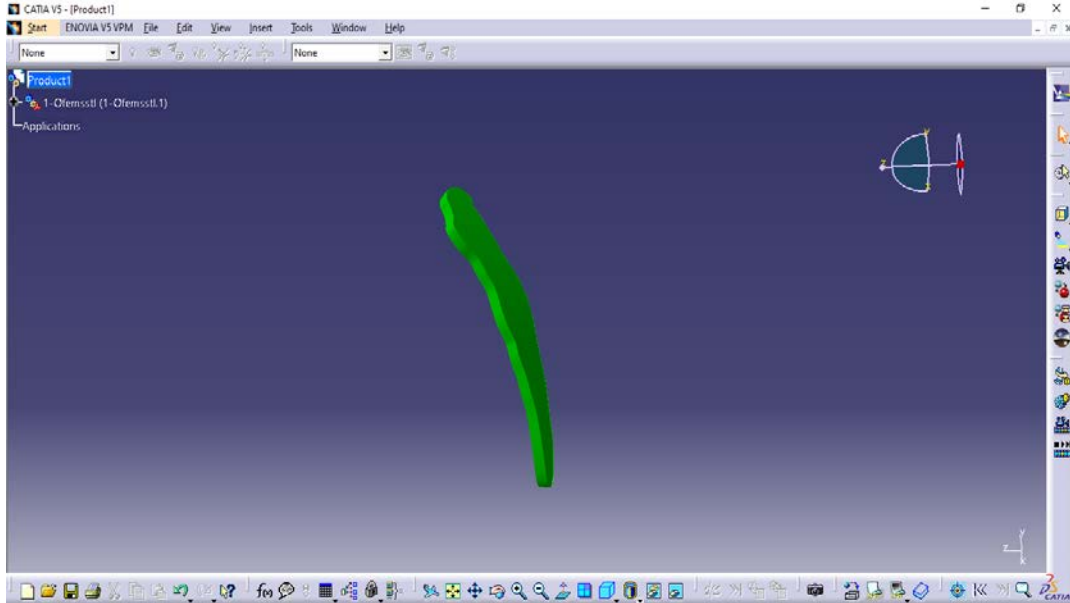


Şekil 77. Bizans dönemi ve basımı yapılan kafatası alttan görünüm

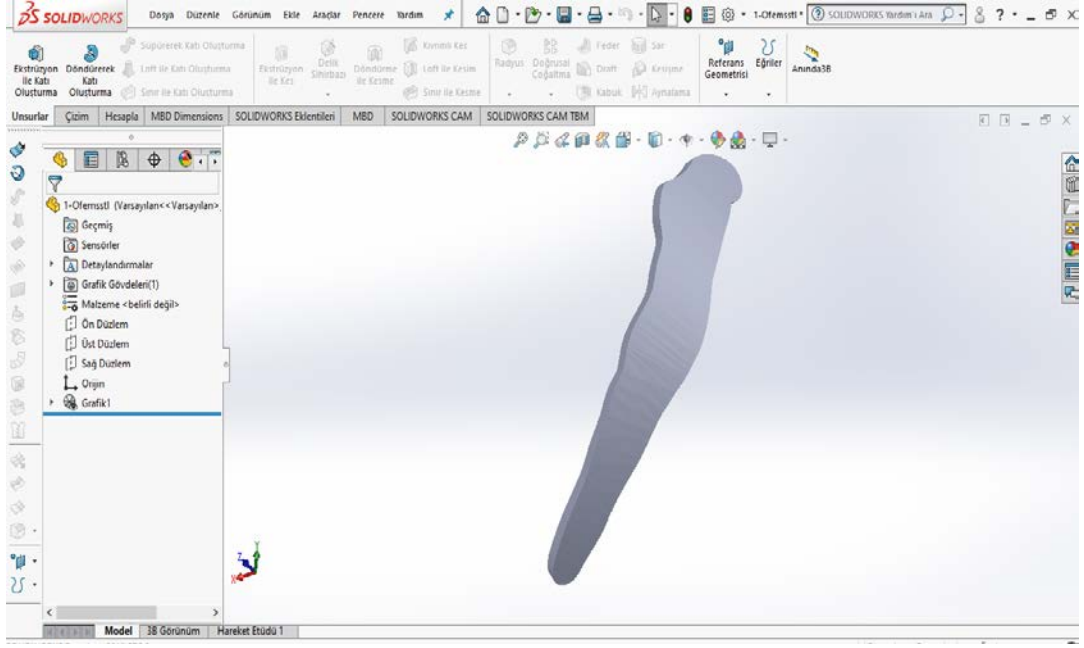
Çalışmamızda aynı zamanda eski dönem kafataslarının kırık olan eksik parçalarının Solidworks 2019 ve Catia P3 V5R19 yazılım programı ile prototipleri oluşturulmuştur.



Şekil 78. Catia programı ile eksik parça tasarımı

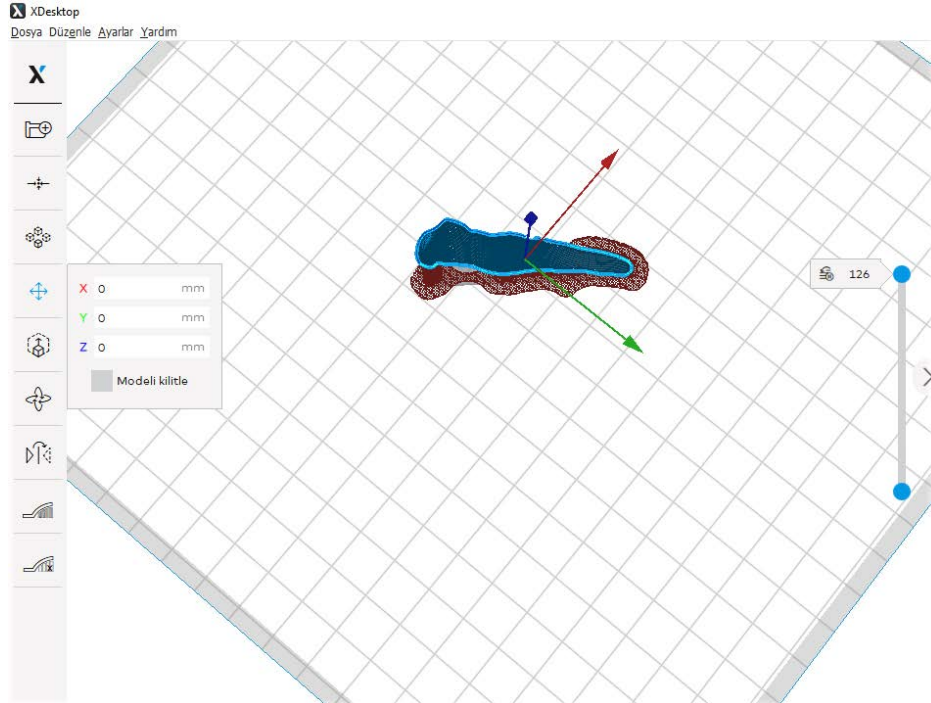


Şekil 79. Catia programı ile eksik parça tasarımı



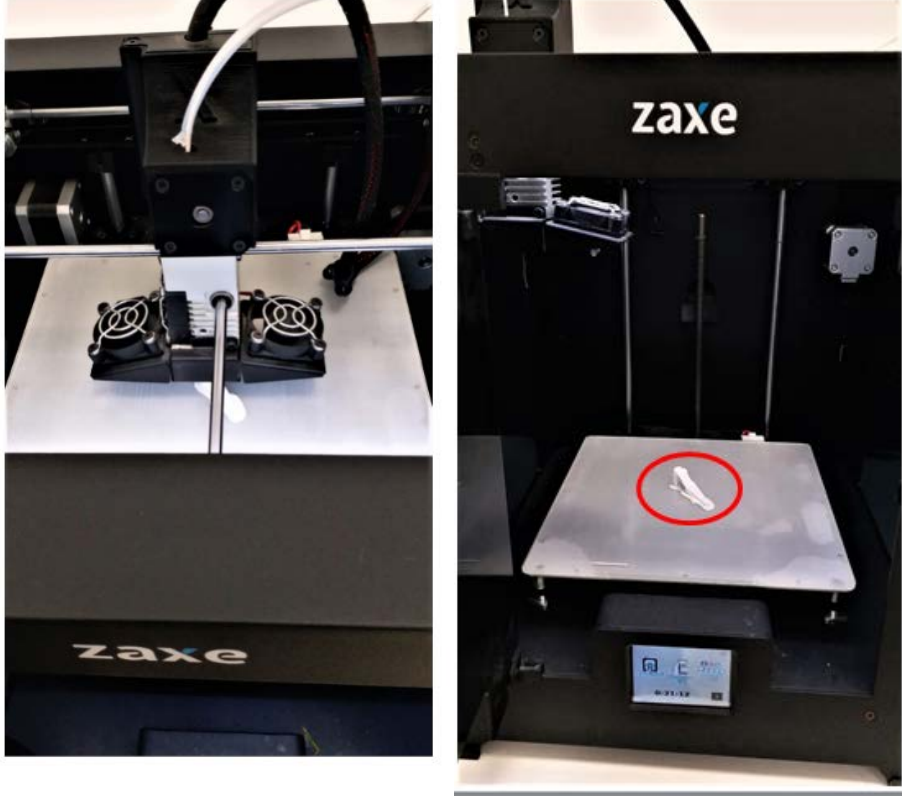
Şekil 80. STL dosyasına dönüştürülen eksik parça tasarımı (Solidworks)

Prototiplendirilmiş parçanın son ölçeklendirmesi yapılarak Zaxe X1 yazıcıda Xdesktop yazılım ile basıma hazır hale getirilmiştir.



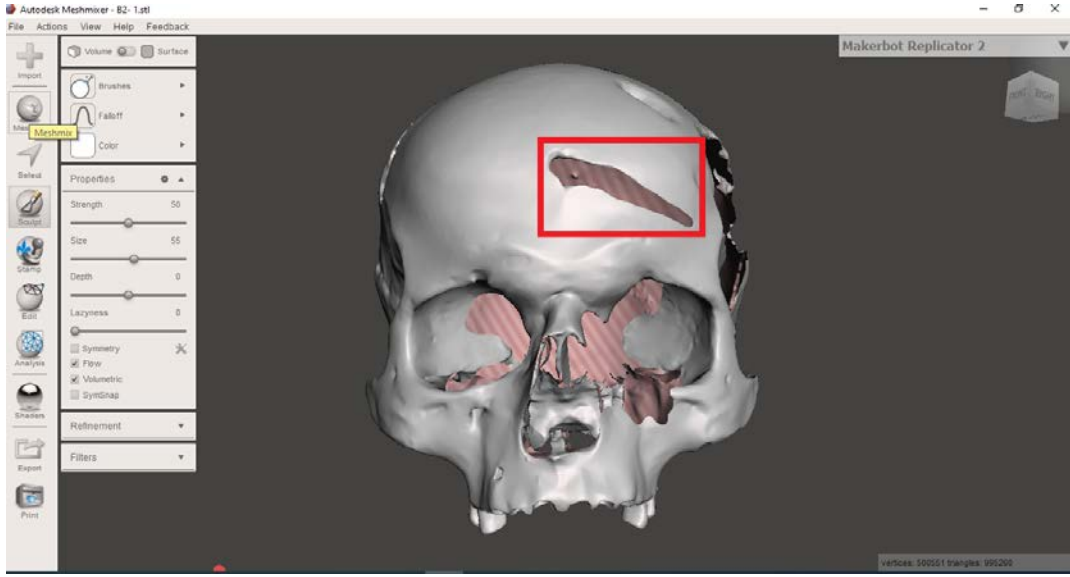
Şekil 81. Zaxe Xdesktop kullanıcı arayüzü

Zaxe X1 yazıcı ve Zaxe XDesktop 2.1.8 yazılım ile gerekli ayarları yapıp, parçanın basım ölçüleri USB flash belleğe aktarılarak PLA filament ile belirli bir ısıda eritilerek basım işlemi yapılmıştır.



Şekil 82. PLA filament ile basım aşaması

Kafatasının deforme olan kısmına prototiplendirilmiş parça Zaxe X1 yazıcı ile PLA filament kullanılarak plastik örneklendirilmesi tamamlanmıştır.



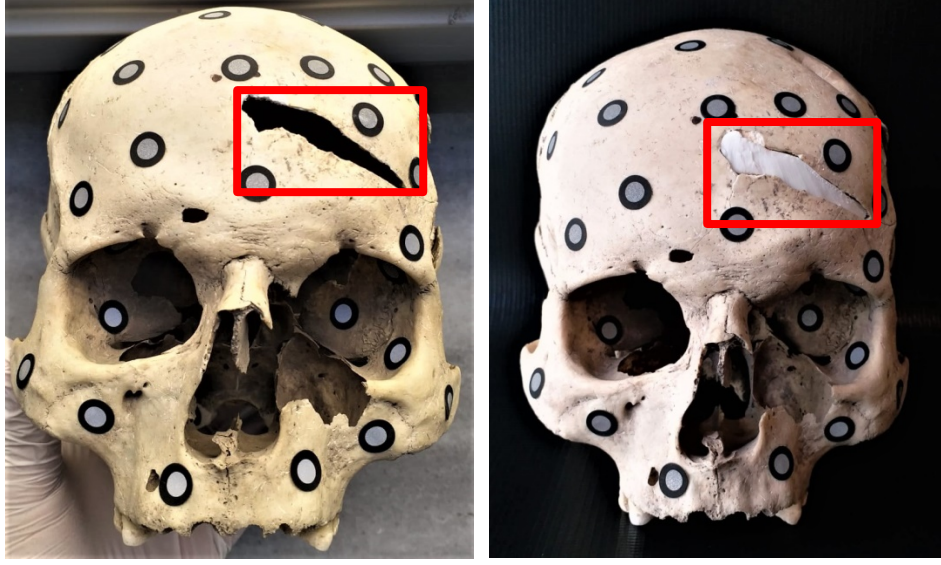
Şekil 83. Kafatasındaki eksik parçanın görünümü



Şekil 84. Basımı tamamlanan plastik parçanın önden görünümü



Şekil 85. Basımı tamamlanan plastik parçanın yandan görünümü



Şekil 86. Basılan prototiptin kafatasına yerleştirilmesi



Şekil 87. Basılan prototiptin kafatasına yerleştirilmesi

Çalışmada kumpas yardımıyla ve 3 boyutlu olarak ölçülen *foramina incisiva* (IF) ile sağ *for. palatinum majus* (FPM) arası uzaklık, *foramina incisiva* ile sol *for. palatinum majus* arası uzaklık, sağ ve sol *procesus (proc.) mastoideus* (PM) arası uzaklık değerlerine ilişkin elde edilen ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo-2’de belirtilmiştir. İncelenen değişkenler için kumpas yardımıyla ve 3 boyutlu elde edilen ölçüm değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 2. Kumpas ve 3D olarak ölçülen değerler arası karşılaştırma (mm)

Değişken		Kumpas	3D	p-değeri
IF- Sağ FPM	Medyan(Min-Max)	36,40(32,20-43,50)	36,75(33,27-43,45)	0,813
	Ortalama±Std.Hata	36,58±1,16	36,63±1,11	
IF- Sol FPM	Medyan(Min-Max)	37,90(32,50-44,60)	37,43(34,00-44,61)	0,484
	Ortalama±Std. Hata	37,70±1,30	30,13±5,12	
PM	Medyan(Min-Max)	105,100(94,65-114,50)	105,040(94,55-114,35)	0,953
	Ortalama±Std. Hata	105,53±2,25	105,51±2,27	

Kumpas yardımıyla ve 3-boyutlu olarak ölçülen sağ *orbita* yükseklik, sol *orbita* yükseklik, sağ *orbita* genişlik ve sol *orbita* genişlik değerlerine ilişkin elde edilen ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo-3’de belirtilmiştir. İncelenen değişkenler için kumpas yardımıyla ve 3-boyutlu elde edilen ölçüm değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 3. Kumpas ve 3D olarak ölçülen değerler arası karşılaştırma (mm)

Değişken		Kumpas	3D	p-değeri
Sağ Orbita yükseklik	Medyan(Min-Max)	34,40(30,10-40,40)	34,22(30,41-40,93)	0,053
	Ortalama±Std. Hata	34,37±1,02	34,58±1,05	
Sol Orbita yükseklik	Medyan(Min-Max)	34,25(29,90-41,40)	35,10(29,98-42,10)	0,203
	Ortalama±Std. Hata	34,49±1,12	34,78±1,23	
Sağ Orbita genişlik	Medyan(Min-Max)	41,15(39,75-45,35)	41,19(39,15-44,94)	0,683
	Ortalama±Std. Hata	41,66±0,62	41,57±0,57	
Sol Orbita genişlik	Medyan(Min-Max)	40,47(39,50-44,50)	40,96(38,72-43,07)	0,646
	Ortalama±Std. Hata	40,86±0,47	40,78±0,48	

Çalışmada kumpas yardımıyla ve 3 boyutlu olarak ölçülen *apertura piriformis*'in (AP) yükseklik ve genişliği, sağ ve sol *for. supraorbitalis* (FS) arası uzaklık, sağ ve sol *for. infraorbitalis* (FI) arası uzaklık, *for. magnum*'un (FM) genişliği değerlerine ilişkin elde edilen ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo-4'de belirtilmiştir. İncelenen değişkenler için kumpas yardımıyla ve 3 boyutlu elde edilen ölçüm değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 4. Kumpas ve 3D olarak ölçülen değerler arası karşılaştırma (mm)

Değişken		Kumpas	3D	p-değeri
AP genişlik	Medyan(Min-Max)	24,55(23,50-27,30)	25,05(23,55-27,10)	0,721
	Ortalama±Std.Hata	25,16±0,44	25,43±0,41	
AP yükseklik	Medyan(Min-Max)	35,30(26,90-39,90)	35,47(27,76-41,16)	0,083
	Ortalama±Std.Hata	35,03±1,12	35,10±1,10	
Sağ-Sol FS arası uzaklık	Medyan(Min-Max)	45,00(39,90-59,10)	44,95(40,21-59,01)	0,540
	Ortalama±Std.Hata	46,37±1,80	46,40±1,78	
Sağ-Sol FI arası uzaklık	Medyan(Min-Max)	51,92(47,55-55,90)	51,78(47,45-56,02)	0,074
	Ortalama±Std.Hata	51,45±0,79	51,38±0,81	
FM genişliği	Medyan(Min-Max)	30,20(27,30-35,50)	30,35(27,35-35,65)	0,057
	Ortalama±Std.Hata	30,65±0,89	30,71±0,89	

Kumpas yardımıyla ve 3 boyutlu olarak ölçülen sağ ve sol *for. supraorbitalis* (FS) ile sağ ve sol *for. infraorbitalis*'in (FI) *nasion*'a olan uzaklıkları, sağ *for. supraorbitalis* ile sağ *for. infraorbitalis* arası uzaklık ve sol *for. supraorbitalis* ile sol *for. infraorbitalis* arası uzaklık değerlerine ilişkin elde edilen ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo-5'de belirtilmiştir. İncelenen değişkenler için kumpas yardımıyla ve 3-boyutlu elde edilen ölçüm değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 5. Kumpas ve 3D olarak ölçülen değerler arası karşılaştırma (mm)

Değişken		Kumpas	3D	p-değeri
Sağ FS-Nasion	Medyan(Min-Max)	24,12(20,10-31,10)	24,52(20,55-31,05)	0,575
	Ortalama±Std.Hata	25,02±1,25	25,02±1,23	
Sağ FI-Nasion	Medyan(Min-Max)	44,75(42,20-47,70)	44,85(42,05-47,47)	0,444
	Ortalama±Std.Hata	44,76±0,68	44,94±0,59	
Sağ FS - FI	Medyan(Min-Max)	43,10(38,50-49,10)	43,52(39,08-49,21)	0,262
	Ortalama±Std.Hata	44,04±0,95	44,23±0,91	
Sol -FS-Nasion	Medyan(Min-Max)	24,30(21,40-30,75)	24,35(21,33-30,68)	0,332
	Ortalama±Std.Hata	24,57±0,80	24,61±0,80	
Sol -FI-Nasion	Medyan(Min-Max)	43,80(38,90-47,20)	43,89(39,00-47,48)	0,066
	Ortalama±Std.Hata	43,65±0,81	43,74±0,80	
Sol - FS - FI	Medyan(Min-Max)	43,04(40,10-49,10)	43,18(40,11-49,15)	0,138
	Ortalama±Std.Hata	43,33±0,76	43,40±0,77	

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

3B teknolojisi, gün geçtikçe insan hayatında daha fazla yer almaya başlamış ve hayatımızın pek çok alanına yerleşmiştir. Bu teknolojinin gelişimi ile birlikte 3B yazıcı teknolojisi ile öncelikli olarak gündelik kullanılan eşyalar üretilmiştir. Daha sonra makine sektörü, plastik/saç kalıpcılığı, mobilya sektörü, otomasyon, mekatronik, endüstriyel ürün tasarımı, gemi inşa sektörü, havacılık, deniz araçları, otomotiv sektörü gibi birçok alanda hızlı ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 3B baskı ve modelleme çalışmaları ile ilerleyen tıbbi görselleştirmenin kullanımı da eğitimde, araştırma alanlarında ve sağlık sektöründe hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu hızlı gelişim ile kullanımı her geçen gün artan 3B yazıcılardan kişiye özel protez yapımı, cerrahi cihazlar, cerrahi aletler, yapay organ basımı denemeleri, eksik kemik parçalarının tamamlanması, diş hekimliği alanlarında dental uygulamalar, özel boyutlu ortopedik implantların geliştirilmesi gibi önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Gelecekte, insan sağlığı açısından çığır açan bir teknoloji olarak ilerlemesini sürdüreceği de açıktır (3B teknolojisi, 2021). Erişim adresi: <https://www.3dmedical.com/>

Bununla birlikte Anatomik modellemeler, 3B baskı uygulamalarının tıpta en çok kullanılan alanı olmaya başlamıştır. Tıp bilimleri alanlarında gerek uygun maliyetli 3B yazıcılara ve gerekse CAD/CAM yazılımlarına erişimin artmasıyla daha fazla eğitim kurumunda 3B baskı laboratuvarı kurulmuştur. Bu laboratuvarlarda sağlık profesyonelleri, hem cerrahi planlamaya yardımcı olmak hem de eğitim için yüksek hassasiyetli 3B modeller üretmektedirler. 3B baskılı anatomik modeller cerrahların el becerilerini arttırmaya, daha iyi tedavi kararı verebilmelerine, ameliyatlarını doğru planlamalarına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda 3B baskı teknolojisiyle ameliyat hazırlığının yapılması, hastanın ameliyathanede geçirdiği süreyi de ciddi anlamda azaltabilmektedir (3B teknolojisi, 2021). Erişim adresi: <https://www.3dmedical.com/>

3 boyutlu modellemenin kullanım alanlarından biri de osteolojik materyal ve veriler üzerindedir. Anatomi, antropoloji, adli bilimler ve arkeoloji bilimleri açısından da eski kemik kalıntılarının arşivlenmesi ve korunması bu tür osteolojik

materyaller üzerinde yapılacak çalışmalar açısından en önemli gerekliliklerden biridir.

Tez çalışmamızda, nispeten deforme olmuş kafatasları 3 boyutlu ortama aktarılmış ve seçili örnekler üzerindeki, yapay deformiteler dijital ortamda restore edilerek arşivlenmiştir. Arşivlenen 3 boyutlu modellerin üzerinde dijital ölçümler yapılarak gerçek kemikler üzerinden elde edilecek ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada aynı zamanda restore edilerek prototiplendirilmiş tarihi kafataslarından 3 boyutlu yazıcı ile çıktı alınmış ve sert plastik örnekleri oluşturulmuştur.

Lozano ve ark. çalışmalarında, anatomi öğrencilerinin kullanımına uygun kemik modelleri elde etmek için 3B kemik modelini Faro Arm Scan Platinum tarayıcı kullanmışlar ve STL formatlı model dosyaları elde etmişlerdir. İlgili çalışmada yüzey görüntüsündeki artefaktların ortadan kaldırılması, örtüşen hataların düzeltilmesi, deliklerin kapatılması, yüzeylerin yumuşatılması ve eklemeli üretim için ağın optimizasyonu için de Geomagic Design X programı kullanıldığı belirtilmiştir. Elde edilen STL dosyaları 3D Colido X3045 markalı 3B yazıcı ve Repetier-Host yazılımı ile 3B dosyaları yazdırılan komutlara dönüştürülmüştür. Poli-Laktik Asit (PLA) filament kullanarak elde edilen 3B modelin, anatomi çalışmasına uygun sertlik ve kalitede, düşük maliyetle üretildiği belirtilmiştir (Lozano, Haro, Diaz, Manzoor, Ugidos, & Mendez, 2017).

Fantini ve ark. tarafından, eski dönemlerden kalma hasar görmüş bir kafatasının 3 boyutlu restorasyonu ve prototiplendirilmesi yapılmıştır. İncelenen kafataslarının, 1998-2000 yılları arasında yapılan arkeolojik kazılarda bulunan S. Domenico (Forlì - İtalya) nekropolünden alındığı belirtilmiştir. Çalışmada kalıntının iskelet yapısından dolayı “nokta bulutlarının” elde edilmesi için 3B laser tarayıcı seçilmiştir. Kafatasının, hem dış hem de iç yüzeylerinin taranması için en büyük eksik bölümün seçildiği ifade edilmiştir. Hasarlı kafatası Konica Minolta Vivid 910 marka tarayıcı ile taranmış ve toplanan verileri örgü modeline dönüştürmek için Rapidform 2006, RE yazılımı kullanılmıştır. Kafatasının diğer yarımının yeniden yapılandırması için de orijinal parça üzerinde orta sagittal düzlemine göre aynalama işlemi yapılmış ve bu karmaşık detaylandırmadan sonra, STL formatında tam bir 3B dijital model elde edilmiştir. Catalyst isimli yazılım ile akrilonitril bütadien stiren -

ABS jet (plastik malzeme) kullanıldığı belirtilmiştir. Plastik modelin orijinal iskelet kalıntılarına mükemmel bir şekilde uyması için manuel olarak birleştirilmesinden sonra, prototip elemanın hasarlı kafatası ile son fiziksel montajı test edilerek orijinal şekline döndürülmüştür. Bu işlem, yapıştırıcı veya sıva gibi iki parçayı birbirine sabitlemek için herhangi bir ek bağlantı malzemesine ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilmiştir (Fantini, De Crescenzo, Persiani, Benazzi, & Gruppioni, 2008).

Bartikian ve ark. da çalışmalarında, kafa kemikleri ile ilgili olarak, kafa tabanı, kubbe ve yüzün farklı bileşenlerini ayrı ayrı yazdırmayı hedeflemiştir. Çalışmada görüntüleme için sfenoid, temporal ve oksipital kemikler kullanılmıştır. Her kemik, BT ile sürekli hacimsel çekim ile ayrı ayrı taranmış ve BT tarayıcı modeli olarak Philips Brilliance kullanılmıştır. Anatomik modelleri üretmek için Prusa i3 modeli ve Zortrax M200 markalı iki farklı Fused Deposition Modeling (FDM) 3D yazıcıdan faydalanılmıştır. BT görüntülerinin 3DSlicer programı ile işlenerek her kemik için 3B görüntüler DICOM dosyalarından yeniden oluşturulmuştur. Takiben bir stereolitografi (STL) format dosyası olarak dışa aktarılmıştır. 3B baskı kurulumunda ise STL dosyaları bir dilimleme yazılımına aktarılmıştır. Prusa i3 ile yazdırıldığında “Craft-Ware”, Zortrax M200 ile yazdırıldığında ise “Z-Suite” yazılım kullanıldığı belirtilmiştir. Modellerin basımında ise, Prusa i3 yazıcıda PLA filament, Zortrax M200 yazıcıda ise, ABS polimerine dayalı tescilli bir filament olan Z-ULTRAT kullanılmıştır. İki yazıcıyı karşılaştırırken, Prusa i3’ün daha hızlı ancak daha az güvenilir olduğu ve birçok arıza meydana geldiği belirtilmiştir. Zortrax M200’ün ise çok daha yavaş ama daha güvenilir olduğu ifade edilmiştir (Bartikian ve ark., 2018).

Shen ve ark., anatomi eğitimine yönelik olarak için 3B baskılı kafatası modelleri üzerine olan çalışmalarında yetişkin bir erkeğin kafatasını taramışlar (Siemens SOMATOM Force CT) Tarama verileri bir DICOM dosyasına aktarılmış ve Mimics 17.0 yazılımı ile STL dosyasına dönüştürülmüştür. Eksik, hasarlı ve deforme parçaları onarmak için 3ds MAX (2014) ve Geomagic Studio (13.0) kullanıldığı ifade edilmiştir. Takiben, dosyayı OBJ (OBJECT) formatında dışa aktararak üzerinde düzeltme işlemleri yapma amacı ile Autodesk Mudbox ve baskı işleminden önce Meshmixer yazılımlarını kullanmışlardır. PLA malzemesinden 3B

model elde etmek için de FDM (Fused Deposition Modeling) teknolojisi kullanan bir 3B yazıcı olan Ultimaker 2'den faydalandığı ifade edilmiştir. Öğrencilerin yapıları daha iyi öğrenmelerine yardımcı olabilecek atlasa göre farklı parçaları ayırt etmek için modeli on iki farklı propilen bazlı renk ile boyayarak modelleme işlemini tamamlamışlardır (Shen ve ark., 2017).

Çelebi ve ark., hasarlı bir kafatasında üç boyutlu yazıcı ile tarama işlemi ve implant tasarımı üzerine yaptıkları çalışmalarında BT ile elde edilen görüntüler 3D Mimics ve 3D Slicer programlarıyla STL formatına dönüştürülmüştür. 3D Slicer programı ile temizlenen görüntüler Geomagic Design X (2016) yazılımı ile restore edilmiştir. FDM özellikli bir yazıcı olan Leapfrog Creatr HS ile yazdırma işlemi gerçekleştirilerek PLA malzeme ile baskı aldıklarını ifade etmişlerdir. Takiben çıktısı alınan parçanın (3B mask) üzerine tespit edilecek implantın tasarımı yapılmıştır. İmplant üretimi çalışmasında Geomagic Design X programı kullanılmıştır. Yapılan model “dxf” format uzantılı hale getirilip Ti-6Al-4V tipi sac malzemeden lazerle kestirilerek hazır hale getirilmiştir (Çelebi, Tosun, & Önçağ, 2017).

Tez çalışmamızda Bizans kafataslarından elde edilen dijital 3 boyutlu olarak örneklenmiş modeller arşivlenerek, ileride araştırma ve eğitim amaçlı olarak kullanılmak üzere saklanacaktır. Çalışmada aynı zamanda restore edilerek prototiplendirilmiş tarihi kafataslarından 3 boyutlu yazıcı ile çıktı alınarak sert plastik örneklerinin de arşive ve eğitime kazandırılması hedeflenmiştir. Tüm bu çalışmalarımızın sonucunda elde edilen dijital modeller üzerinde yapılan morfometrik çalışmaların gerçek materyaller üzerinde yapılacak olan niceliksel ve niteliksel yaklaşımlara yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Hem eğitim aracı olarak hem de anatomi temelli araştırmalar açısından dijital modellemeleri yapılmış olan kafataslarının kullanımı kolaylık ve esneklik sağlamanın ötesinde materyallerin korunması için de önemlidir. Literatürdeki diğer çalışmalar da incelendiğinde tez konumuzun alt yapısal olarak, teknolojik anlamda ve kullanım alanları açısından gelişmeye ve ilerlemeye açık bir alan olduğu görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Acsa'di, G., & Nemeske'ri, J. (1970). History of Human Life Span and Mortality, Akade'miai Kiado , Budapest.
- Arıncı, K., & Elhan, A. (2001). *Anatomi*, Cilt 1, 3. baskı, Güneş Kitabevi, Ankara, s: 30-57.
- Ari, İ., Kafa, İ. M., & Bakirci, S. (2009). A Comparative Study of Variation of the Pterion of Human Skulls from 13th and 20th Century Anatolia. *International Journal of Morphology* 27(4), 1291-1298. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022009000400051>
- Arifoğlu, Y. (2019). *Her Yönüyle Anatomi*, 2. Baskı, İstanbul Tıp Kitapevleri, İstanbul, s: 60-84.
- Babacan, S., Yıldız Yılmaz, M., Kafa, I.M., & Coskun, I. (2019). The Surface and Intracranial Location of Asterion. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 30(8), e753-e755. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000005757>
- Bartikian, M., Ferreira, A., Goncalves-Ferreira, A., & Neto, L.L. (2019). 3D printing anatomical models of head bones, *Surgical and Radiologic Anatomy* 41:1205–1209 <https://doi.org/10.1007/s00276-018-2148-4>
- Baskaran, V., Strkalj, G., Strkalj, M., & Di Ieva, A. (2016). Current applications and future perspectives of the use of 3D printing in anatomical training and neurosurgery. *Frontiers in Neuroanatomy*. 10, 2016. <https://doi.org/10.3389/fnana.2016.00069>.
- Biasutto, S. N., Ignacio Causa, L., & Esteban Criado del Rio, L. (2006). Teaching anatomy: Cadavers vs. computers? *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 188:187–190, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2005.07.007>.
- Bilge, O. (2019). *Anatomi Ders Notları*, 1. Baskı, İstanbul Tıp Kitapevleri, İstanbul, s: 36-46.
- Brickley, M. (2006). “Rib fractures in the archaeological record: a useful source of sociocultural information?”, *International Journal of Osteoarchaeology*, Vol. 16, pp. 61-75.
- Buikstra, J.E., & Ubelaker, D.H. (1994). Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains, Research Series, No. 44, Arkansas Archaeological Survey Press, Fayetteville, AZ.
- Catia, (2021, 21 Mart). Erişim adresi: <https://www.3dcatia.com/>
- Chambers J., & Emlyn-Jones, D . (2009). Keeping dissection alive for medical students. *Anatomical Sciences Education* 2: 302–303. <https://doi.org/10.1002/ase.104>

Claire, F. S., Nicholas, T., Derek, C., & Malcolm, J. (2017). *Anatomical Sciences Education* . 2018 Jan;11(1):44-53. <https://doi.org/10.1002/ase.1718>. Epub 2017 Jul 28.

Cornwall, J., & Pollard, M. F. (2012). Evaluation of free i-applications for tertiary level gross anatomy education. *The Australasian Medical Journal* 5: 239–242, 2012. <https://doi.org/10.4066/AMJ.2012.1249>.

Cumhur, M. (2001). *Temel Anatomi*. Editör: Cumhur, M., 1. Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Metu Pess, Ankara, s: 35-39.

Çelebi, A., Tosun, H., & Önçağ, A. Ç. (2017). Hasarlı Bir Kafatasının Üç Boyutlu Yazıcı İle İmalatı Ve İmplant Tasarımı. *International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry* 1: 1 (2017) 27-35.

Çimen, A. (1996). *Anatomi*, 6. baskı, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa, s: 9-36.

Dauber, W. (2007). Pocket Atlas of Human Anatomy by Heinz Feneis (Feneis'in *Sistematik Anatomi Sözlüğü*, Çeviri Editörleri: Yıldırım M, Maruru T, Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, s:20.

Davis, C.R., Bates, A.S., Ellis, H., & Roberts, A.M. (2014). *Human anatomy: Let the students tell us how to teach. Anatomical Sciences Education* 7: 262–272.

Davy, S.L., Gilbert, T., Schofield, D., & Evison, M.P. (2005). Forensic Facial Reconstruction Using Computer Modeling Software. Chapter 10 in: Computer-Graphic Facial Reconstruction. Clement, J.G. and Marks, M.K. Eds. Amsterdam, Elsevier Ltd., pp. 183-196.

Debarre, E., Hivart, P., Baranski, D., & Deprez, P. (2012). Speedy skeletal prototype production to help diagnosis in orthopaedic and trauma surgery. Methodology and examples of clinical applications. *Orthopaedics & Traumatology Surgery & Research Otsr* 98(5): 597. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.03.016>.

Drake, R.L., McBride, J., Lachman, N., & Pawlina W. (2009). Medical education in the anatomical sciences: The winds of change continue to blow. *Anatomical Sciences Education* 2: 253–259.

Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. (2007). *Gray's Anatomy for Students* (Gray's Tıp Fakültesi için Anatomi) Çeviri editörü: Yıldırım, M., Güneş Kitabevi, Ankara, s: 763-767.

Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell A. W. M. (2010). *Gray's Anatomy for Students*. 2. Baskı, Kanada: Elsevier Inc., pp: 812-830. <https://www.elsevier.com/books/graysanatomy-for-students/drake/978-0-323-39304-1>

Drake, R.L., & Pawlina, W. (2014). An addition to the neighborhood: 3D printed anatomy teaching resources. *Anatomical Sciences Education* 7: 419.

Fantini, M., De Crescenzo, F., Persiani, F., Benazzi, S., & Gruppioni, G. (2008). 3D restitution, restoration and prototyping of a medieval damaged skull
Article in *Rapid Prototyping Journal* September 2008
<https://doi.org/10.1108/13552540810907992>

Ferenbach, D., Schwidetzky, I., & Stloukal, M. (1980). “Recommendations for age and sex diagnosis of skeletons”, *Journal of Human Evolution*, Vol. 9, pp. 517-50.

Friedman, T., Michalski, M., Goodman, T.R., & Brown, J.E. (2016). 3D printing from diagnostic images: a radiologist’s primer with an emphasis on musculoskeletal imaging—putting the 3D printing of pathology into the hands of every physician. *Skeletal radiology*. 2016 Mar 1;45(3):307-21.

Gilroy, A. M. (2015). *Anatomy-An Essential Textbook* (Anatomi Temel Ders Kitabı). Çeviri Editörü: Cenk, D., 1. Baskı, Palme Yayınları, Ankara, s: 371-382.

Greene, D.L., Van Gerven, D.P., & Armelagos, G.J. (1986). “Life and death in ancient populations: bones of contention in paleodemography”, *Human Evolution*, Vol. 1, pp. 193-207.

Gryglewski, R.W. (2013). Development of Krakow’s pathological collection in 19th century, *Przegl Lek* 70: 997–1001.

Heetun, M. (2009). Anatomy dissection: a valuable surgical training tool. *British Journal of Hospital Medicine* 70: 540.

Johnston, T. B., & Whillis, J. (1938). *Gray’s Anatomy, Descriptive and Applied*. 27. Baskı, Toronto: Longmans, Green and Co. Ltd., Internet Archive,
<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.208534/page/n3/mode/2up?q=johnston>

Juanes, J. A., Hernandez, D., Ruisoto, P., Garcia, E., Villarrubia, G., & Prats, A. (2014). Augmented reality techniques, using mobile devices, for learning human anatomy. In: *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (s: 7–11). ACM: New York, NY, 2014. <https://doi.org/10.1145/2669711.2669870>.

Kamal R., & Yadav, P. K. (2016). Estimation of stature from different anthropometric measurements in Kori population of North India. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6, 468-477. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090536X16300752>

Kamaşak, B., & Aycan, K. (2019). Sutura frontalis persistens (Sutura metopica). *Sağlık Bilimleri Dergisi. Journal of Health Sciences*, 28, s: 5-8.

Kayalı, H. (1982). *İnsan Embriyolojisi*, 2. Baskı, Güven Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş., s: 78-83.

Khot, Z., Quinlan, K., Norman, G. R., & Wainman, B. (2013). The relative effectiveness of computer-based and traditional resources for education in anatomy. *Anatomical Sciences Education* 6: 211–215, 2013. <https://doi.org/10.1002/ase.1355>.

Kumar S. (2012). Reinforcement of stereolithographic resins for rapid prototyping with cellulose nanocrystals. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2012;4(10):5399–407. <https://doi.org/10.1021/am301321v>.

Lee, S.J., Lee, H.P., Tse, K.M., Cheong, E.C., & Lim, S.P. (2012). Computer-aided design and rapid prototyping-assisted contouring of costal cartilage graft for facial reconstructive surgery. *Craniofacial Trauma & Reconstruction* 5(2): 75-82. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1300964>.

Lockhart, R.D. (1927). The art of learning anatomy, *Lancet* 2: 460–461.

Lozano, M.T.U., Haro, F.B., Diaz, C.M., Manzoor, S., Ugidos, G.F., & Mendez, J.A.J. (2017). 3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of *Human Anatomy J. Med. Syst.* (2017) 41: 83 <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0728-1>

Mackenzie, S. (2007). An evaluation of computer assisted skull re-assembly using hand held and automated laser scanners White, T., Folkens, P.A. 2000, *Human Osteology*. 2nd ed. USA, Academic Press.

Matthew, D.T., Stephen, D., & Duncan, B. (2012). 3-D printout of a DICOM file to aid surgical planning in a 6 year old patient with a large scapular osteochondroma complicating congenital diaphyseal aclasia. *J Radiol Case Rep* 6(1): 31-37. <https://doi.org/10.3941/jrcr.v6i1.889>.

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2017). *Anatomy & Physiology* (Anatomi ve Fizyoloji, Çeviri Editörü: Tatar İ, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, s: 176,177.

Meshmixer, (2021, 20 Mart). Erişim adresi: <https://www.meshmixer.com/>

McGurk, M., Amis, A. A., Potamianos, P., & Goodger, N. M. (1997). Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 79: 169–174, 1997.

McMenamin, P.G., Quayle, M.R., McHenry, C.R., & Adams, J.W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education* 7: 479–486. <https://doi.org/10.1002/ase.1475>

Moore, K. L., & Dalley, A. F. (1999). *Clinically Oriented Anatomy*, 4th Edition, Lippincott Williams & Wilkins, USA, pp: 832-850.

Moscova, M., Bryce, D.A., Sindhusake, D., & Young, N. (2015). Integration of medical imaging including ultrasound into a new clinical anatomy curriculum. *Anatomical Sciences Education* 8: 205–220.

Odar, İ. V. (1984). *Anatomi Ders Kitabı*, Birinci Cilt, Salmanlar Ofset, Ankara, s: 265-266

Ortner, D.J. (2003). Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains, Academic Press, San Diego, CA.

Özbek, M. (1984). ‘‘Roma Açık hava Tiyatrosu’ndan Çıkarılan Bizans İskeletleri’’, 1984, Hacettepe Ü. *Edebiyat Fakültesi Dergisi*, Ankara, cilt: 2, sayı:1 ss: 81-89.

Özbek, Z. & Vural, M. (2017). Kranial Sütürlerin Biyolojisi, Sütür Büyüme, Gelişme ve Kapanmasının Regülasyonu. *Türk Nöroşirürji Dergisi*, 27(3), 245-250.

Özer, S. Kazancı, N. Ö., Karaaslan, E., & Yılmaz, R., (2013). Fontanel Değerlendirmesi. *Pediatric Practice and Research*, 1(1), 4-9.

Patrick, P. (2006). ‘‘Approaches to violent death: a case study from early medieval Cambridge’’, *International Journal of Osteoarchaeology*, Vol. 16, pp. 347-54.

Petorak, İ. (1980). *İnsan Embriyolojisinin Ana Hatları*, Yenilik Basımevi, İstanbul, s: 69-74.

Radoinova, D., Tenekedjiev, K., & Yordanov, Y. (2002). ‘‘Stature estimation from long bone lengths in Bulgarians’’, *Homo*, Vol. 52 No. 3, pp. 221-32.

Raja, D.S., & Sultana, B. (2012). Potential health hazards for students exposed to formaldehyde in the gross anatomy laboratory. *Journal of Environmental Health* 74: 36–40.

Raxter, M.H., Auerbach, B.M., & Ruff, C.B. (2006). ‘‘Revision of the Fully technique for estimating statures’’, *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 130, pp. 374-84.

Riederer, B.M. (2014). Plastination and its importance in teaching anatomy, Critical points for long-term preservation of human tissue. *Journal of Anatomy* 224:309–315.

Sadler, T. W. (1996). *Langman Medikal Embriyoloji Çeviri: Başaklar AC*, 7. Baskıdan çeviri, Palme Yayınları, Ankara, s: 140-147.

Shajari, H., Rashidiranjbar, & N., Ashrafi, M. (2011). Anterior Fontanelle Size in Healthy Iranian Neonates on the First Day of Life. *Acta Medica Iranica*, 49(8), 543-546.

Shen, Z., Yao, Y., Xie, Y., Guo, C., Shang, X., Dong, X., Li, Y., Pan, Z., Chen, S., Pan, H., & Xiong, G. (2017). The process of 3D-printed skull models for the

anatomy education, 2017, Article in Computer Assisted Surgery · November 2017
<https://doi.org/10.1080/24699322.2018.1560101>

Shudong, X. (2006). Reconstruction of Defective Skulls by Non-Rigid Registration with Interpolating Surface

Singh, V. (2014). Textbook of Anatomy Head, Neck and Brain. Cilt 3 (2. Baskı), New Delhi: Elsevier pp: 12-46.https://books.google.com.tr/books/about/Textbook_of_Anatomy_Head_Neck_and_Brain.html?id=bNTgAwAAQBAJ&redir_esc=y

Slotnick, H.B., & Hilton, S.R. (2006). Proto-professionalism and the dissecting laboratory, *Clinical Anatomy* 19: 429–436.

Smith, C.F., & Mathias, H. (2007). An investigation into medical students' approaches to anatomy learning in a systems-based prosection course, *Clinical Anatomy* 20: 843–848.

Smith, C.F., & Mathias, H.S. (2009). Students' perceptions and approaches to learning anatomy in a systems based course using prosection and dissection, *Journal of Anatomy* 214:786.

Smith, C.F., Mathias, H.S. (2010). Medical students' approaches to learning anatomy: Students' experiences and relations to the learning environment, *Clinical Anatomy* 23: 106–114.

Smith, C.F., & Mathias H.S. (2011). What impact does anatomy education have on clinical practice? *Clinical Anatomy* 24:113–120.

So, S., Patel, R.M., & Orebaugh, S.L. (2017). Ultrasound imaging in medical student education: Impact on learning anatomy and physical diagnosis. *Anatomical Sciences Education* 10: 176–189.

Solidworks, (2021, 21 Mart). Erişim adresi: <https://www.solidworks.com/tr>

Soriano, R.M., & Das, J.M. (2020). Anatomy, Head and Neck, Maxilla. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538527/>

Subke, J., Wittke, M. Germany, & Kreative Konzepte. (2005). CAD Enhanced Soft Tissue Reconstruction in Forensics with Phantom 3D Touch – An Electronic Modelling Tool with Haptic Feedback. From: International Conference on Reconstruction of Soft Facial Parts (2nd). Remagen.

Sugand, K., Abrahams, P., & Khurana, A. (2010). The anatomy of anatomy: A review for its modernization. *Anatomical Sciences Education* 3: 83–93.

Şahin, B. (2019). *Sağlık Bilimleri için Resimli Temel Anatomi*, 1. Baskı, İstanbul Tıp Kitapevleri, İstanbul, s: 35-42.

Tillmann, B. N. (2018). *İnsan Anatomi Atlası*, 1. Baskı, Çeviri Editörü: Canan Yurttaş, İstanbul Tıp Kitabevleri, İstanbul, s:21.

Trotter, M., & Gleser, G. (1952). “Estimation of stature from long bones of American whites and Negroes”, *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 10, pp. 469-514.

Turney, B. (2007). Anatomy in a modern medical curriculum. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 89:104–107. <https://doi.org/10.1308/003588407X168244> 2007.

Uzel, İ. (1985). ‘*İznik Roma Açık hava Tiyatrosundan Çıkarılan İlginç Bir Kafatası*’, *Gata Bülteni*, Cilt 27 Sayı 3, s: 649-658

Üç boyutlu Modelleme ve Üç boyutlu Tasarım, (2021, 15 Mart). Erişim adresi: <https://www.autodesk.com.tr/solutions/3d-modeling-software>

Üç boyutlu (3B) Teknoloji, (2021, Mart 23). Erişim adresi: <https://www.3dmedical.com/>

Ventola, C.L. (2014). Medical applications for 3D printing: Current and projected uses. *Pharm Therapeut* 39: 704–711.

Yalman, B. (1985). ‘*İznik Tiyatro Kazısı*’, VII. Kazı Sonuçları Toplantısı, Eski Eserler Genel Müdürlüğü Ankara, 20-24 Mayıs, 1985.

Yammine, K. (2014). The current status of anatomy knowledge: where are we now? Where do we need to go and how do we get there? *Teach Learn Med* 26:184–188. <https://doi.org/10.1080/10401334.2014.883985>

Yammine, K., & Violato, C. (2015). A meta-analysis of the educational effectiveness of three dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anatomical Sciences Education* 8: 525–538, 2015. <https://doi.org/10.1002/ase.1510>.

Yıldırım, M. (2003). *İnsan Anatomisi*, 6. Baskı, Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti, İstanbul, s: 42-52.

Waran, V., Menon, R., Pancharatnam, D., Rathinam, A.K., Balakrishnan, Y.K., & Tung, T.S. (2012). The creation and verification of cranial models using three-dimensional rapid prototyping technology in field of transnasal sphenoid endoscopy. *American Journal of Rhinology & Allergy* 26(5):132-136. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1300964>.

Yu, M., & Wang, S.M. (2020). *Anatomy, Head and Neck, Zygomatic*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544257/>

Zaxe, (2021, Mart 22). Erişim adresi: <https://zaxe.com/>

7. SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene

AP: Apertura piriformis

BT: Bilgisayarlı Tomografi

CAD/CAM: programları (bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli imalat)

CT: Bilgisayarlı Tomografi

FDM: Fused Deposition Modeling- Katmanlı Üretim

FI: Foramen infraorbitalis

FM: Foramen magnum

FPM: Foramen palatinum majus

FS: Foramen supraorbitalis

IF: Foramina incisiva

Inc.: Incisura

N: Nasion

O: Orbita

OBJ: OBJect – dosya formatı

PLA: Polylactic Acid

Proc.: Processus

PM: Processus mastoideus

RE: Tersine mühendislik

STL: Stereolitografi

3B: 3 boyutlu

8. TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini esirgemeyen ve yol gösteren danışman hocam sayın Doç. Dr. İlker Mustafa KAFA'ya, bilgi birikimini ve deneyimlerini paylaşarak eğitimime her konuda katkı sağlayan Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı ailesinde bulunan tüm saygıdeğer hocalarıma, birlikte mesai yaptığım tüm asistan arkadaşlarıma, anabilim dalı çalışanlarına ve hayatımın her anında yanımda olup desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

9. ÖZGEÇMİŞ

..... tarihinde Mersin/Tarsus'ta doğdum. İlk ve orta öğretimimi Tarsus'ta tamamladıktan sonra 2000 yılında başladığım Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Laboratuvar bölümünden 2002 yılında mezun oldum. 2002 Ekim ayı itibariyle Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı'nda Sağlık Teknikeri olarak görev yapmaya başladım. 2004 yılında başladığım Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi / İşletme bölümünden 2007 yılında mezun oldum. 2009 yılında askerliğimi Denizli 11. Tugay Komutanlığına bağlı Akköy-Babadağ'da kısa dönem olarak yaptım. 2015 yılında başladığım İstanbul Üniversitesi Acil Yardım ve Afet Yönetimi (Lisans Tamamlama) bölümünden 2017 yılında mezun oldum. 2018-2019 bahar döneminde Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tıp/Anatomi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimime başladım. 2002 yılında çalışmaya başladığım Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı'nda halen görev yapmaktayım.