



T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

**NÖROANATOMİ EĞİTİMİNDE BİR YENİLİK OLARAK
SANAL LABORATUVAR:
FOTOGRAMETRİK ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME VE
ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİKLE AK MADDE
DİSEKSİYONLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ**

Dr. Hüseyin İkbāl AKDEMİR

TIPTA UZMANLIK TEZİ

**Şubat, 2024
İSTANBUL**



T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

**NÖROANATOMİ EĞİTİMİNDE BİR YENİLİK OLARAK
SANAL LABORATUVAR:
FOTOGRAMETRİK ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME VE
ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİKLE AK MADDE
DİSEKSİYONLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ**

Dr. Hüseyin İkbāl AKDEMİR

TIPTA UZMANLIK TEZİ

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÇALIŞ**

**Şubat, 2024
İSTANBUL**

ONAY SAYFASI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Tıp Fakültesi'nde Tıpta ve Diş Hekimliğinde Uzmanlık Yönetmeliği hükümlerine göre uzmanlık eğitimi gören Dr. Hüseyin İkbâl AKDEMİR'in hazırladığı ve jüri önünde savunduğu "NÖROANATOMİ EĞİTİMİNDE BİR YENİLİK OLARAK SANAL LABORATUVAR: FOTOGRA METRİK ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME VE ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİKLE AK MADDE DİSEKSİYONLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ" başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

İmza

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÇALIŞ
(Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı)
(İstanbul Medeniyet Üniversitesi)

.....

Üyeler:

(Anabilim Dalı)
(Hastanesi)

.....

(Anabilim Dalı)
(Hastanesi)

.....

Tez Savunma Tarihi:/...../2024

YAZAR BİLDİRİMİ

“NÖROANATOMİ EĞİTİMİNDE BİR YENİLİK OLARAK SANAL LABORATUVAR: FOTOGRAMETRİK ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME VE ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİKLE AK MADDE DİSEKSİYONLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ” isimli uzmanlık tezinde Dr. Hüseyin İkbāl AKDEMİR

- Bu tezin kabulünden önce nerede ve ne kadarının yayınlandığını “Bilgilendirme” bölümünde belirtmiştir.
- Tezin hazırlanmasında katkısı olanları “Bilgilendirme” bölümünde eksiksiz olarak belirtmiştir.
- Bu tez ile ilgili çıkar çatışması olup olmadığını “Bilgilendirme” bölümünde belirtmiştir.
- Tez içerisinde başkalarının yayınlanmış veya yayınlanmamış çalışmalarından yapılan alıntılar için gerekli kaynakları açıkça belirtmiştir.
- Tez içerisinde başka kaynaklardan kopyalanmış olan kısımları tırnak içerisinde alarak ve izin alınan kaynağı belirterek kullanmıştır.

Şubat, 2024

Dr. Hüseyin İkbāl AKDEMİR

İmza:

BİLGİLENDİRME

- Bu tez daha önce herhangi bir yerde yayınlanmamıştır.
- Bu tezin hazırlanmasında tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÇALIŞ katkıda bulunmuştur.
- Bu çalışmada adı geçen ilaç, tıbbi cihaz ve laboratuvar malzemelerinin üreticileri ile herhangi bir çıkar ilişkim yoktur.
- Bu çalışmaya ait herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Dr. Hüseyin İkbal AKDEMİR

TEŞEKKÜR

Ömrümün beşinci yılından itibaren beyin cerrahisinin içinde olarak kapısını aralamama vesile olan, hayatımın ilk ve en iyi beyin cerrahı olan, her geçen gün daha çok yanımda olduğunu hissettiğim canım babam **Dr. Öğr. Üyesi İsmail Akdemir'e**;

Ağabeyliği, sıcaklığı ve candan yakınlığıyla cerrahi manada yol göstericim, tez danışmanım **Dr. Öğr. Üyesi Fatih Çalış'a**;

Beyin cerrahisi sanatında nakışla dokumasına tanık olmaktan övünç duyduğum, hem cerrahi hem hekimlik adına bakış açımı genişleten, hırsı ve çalışma disipliniyle örnek olan hocam, değerli ağabeyim, Ana Bilim Dalı Başkanı **Doç. Dr. Mehmet Sabri Gürbüz'e**;

Uzmanlık eğitimimde güveni ile desteğini hissettiğim değerli ablam **Doç. Dr. Başak CANER'e**;

Klinik ve cerrahi anlamda bilgi ve tecrübelerinden çok şey öğrendiğim değerli hocalarım, **Prof. Dr. Mehmet Erşahin, Doç. Dr. Nejat Işık ve Prof. Dr. Ahmet Ferruh Gezen'e**;

Klinik ve cerrahi yaklaşımlarıyla beyin cerrahisi disiplinime katkısı olan uzmanlarım, **Doç. Dr. Semih Naci Balak, Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Talha Şimşek, Op. Dr. Nur Topyalın, Op. Dr. Hidayet Şafak Çine, Op. Dr. Emin Mehmet Eminoğlu, Op. Dr. Baha Eldin Adam, ve Op. Dr. Tamer Tekin'e**;

Kapıdan girdiğim gibi tezimle beni buluşturan, her türlü yetersizliği yeterli hale getiren, çalışmamda her an bana yol gösteren, özeni, ilgisi, çalışma disiplini ile benzersiz, hep bir adım sonrasını hedefleyerek diri kalıp diri tutan ağabeyim ve hocam **Doç. Dr. Abuzer GÜNGÖR'e**;

Çalışmamda Yeditepe Üniversitesi Nöroşirürji Laboratuvarı'nı kullanma izni vererek, değerli önerileriyle çalışmamı geliştiren, bilgisi, ilgisi, cerrahi görüşü ve ileri görüşlülüğü ile tez konuma tam destek sunan Yeditepe Üniversitesi Nöroşirürji Anabilim Dalı Başkanı **Prof. Dr. Uğur TÜRE**'ye,

Birlikte çalışma fırsatına sahip olmaktan büyük mutluluk duyduğum ve çalışma disiplinine hayran olduğum, beyin cerrahisinin akademik prensi **Prof. Sabino Luzzi**'ye (Vorrei ringraziare il professor Sabino Luzzi, principe accademico della neurochirurgia, con cui ho avuto il grande piacere di lavorare e di cui ammiro la disciplina.)

Meslek hayatımdaki en büyük fırsatlardan biri olarak gördüğüm, bir ay boyunca sabahdan geceye omuz omuza çalışarak tez çalışmama en büyük katkısı olan ve nöroanatomisi ve cerrahi bilgisiyle her soruma yorulmadan cevap veren ve pozitif karakteriyle örnek olan, nöroşirürjikal anatomisinin öncüsü, arkadaşım, ağabeyim **Maximiliano Alberto Nuñez MD**'e (Mi amigo y hermano, Maximiliano Alberto Nuñez, el pionero de la anatomía neuroquirúrgica, a quien veo como una de las mayores oportunidades en mi vida profesional, quien hizo el mayor aporte a mi trabajo de tesis trabajando hombro con hombro de la mañana a la noche durante un mes., quien incansablemente respondió a todas mis preguntas con sus conocimientos de neuroanatomía y cirugía, y que nos dio ejemplo a todos con su carácter positivo. Gracias.)

Beyin cerrahisini sevmeme vesile olan, nöroşirürjikal karakterimin oluşmasına büyük katkı sağlayan, ne zaman istesem yanımda olacaklarını bildiğim, kahrımı çeken, arkadaşlarım, abilerim, kıdemlilerim **Op. Dr. Ercan Boşnak, Op. Dr. Fatih Sarıtepe, Op. Dr. Arda Topçam, Op. Dr. Adil Eralp Koçak ve Op. Dr. Muhammed Emin Aksu**'ya

Bir meslek ancak bu kadar güzel sevilir düşüncemle, hekimlik alanındaki uzmanlığını en güzel ve doğru şekilde İsveç'te sergileyen, çalışma azmi ve sabrını saygıyla izlediğim, çömezim, eşkıdemim, kıdemlim, aplan, örneğim **Op. Dr. Çimen Elias**'a,

Huzurla yıllarımı geçirdiğim ve birlikte çalışmış olmaktan her zaman övgüyle bahsedeceğim, iyi ve kötü günde her zaman aynı dilden konuşan, hastanenin en uyumlu, en vicdanlı ve en iyi çalışan doktor grubunun olmasında payı olan kardeşlerim, **Dr. Mahmut Demirkol, Dr. Yunus Emre Özbilgi, Dr. Mohammed O. H. Aladdam, Dr. Deniz Alyanak, Dr. Mehmet Ali Kahraman, Dr. Burak Bayraktar, Dr. İrem Nur Altun, Dr. Gülşen İshakoğlu, Dr. İlke Nur Yıldırım, Dr. Simge Sezgin, Dr. Nadir Emre Herdan, Dr. Enes Avcı, Dr. Kutay Cantasır**'a;

Çalışma disipliniyle ne iş yaparsa iyi yapacağından emin olduğum farklı kulvarda yoluna devam eden kardeşim **Dr. Büşra AKTAŞ'a** ve

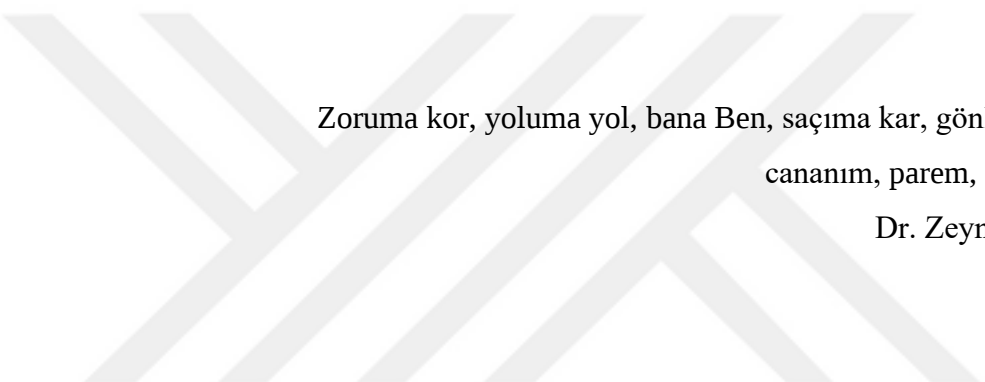
Dr. Şevval Kayacan ve Dr. Nisa Hocaoglu'na;

Tez çalışmam boyunca Yeditepe Üniversitesi Mikronöroşirurji Laboratuvarı'nda beraber çalıştığım ve yardımlarını benden esirgemeyen **Op. Dr. Yücel Doğruel, Ali Adıgüzel, Dr. Serdar Rahmanov, Dr. Neslihan Çavuşoğlu, Dr. Mustafa Şahin,** ve kemik kadro **Dr. Fikret Öztürk, Dr. Barış Kaval, Dr. Mehmet Emin Akdeniz ve Dr. Mehmet Öztürk'e,**

Bir beyin cerrahının eşi olarak üç çocuk yetiştirip bir evladını da beyin cerrahı yapan, her zaman yanımda olan iki üniversite mezunu, üç kez kurucu müdür, hırs genetiğimin sahibi canım annem **Feyza Şule Akdemir** ve canımın içi kardeşlerim **Enes Akdemir, Zeynep Sena Öztürk, Güzide Meryem Akdemir'e,** ve diğer ailem **Hamza Demirhan, Zübeyde Demirhan, Melike Saygılı, Sare Demirhan, Meryem Demirhan, İbrahim Demirhan, Yahya Demirhan,** ve Mine ve Lokum'a

Eğitim sürem boyunca yoluma yoldaş olan ve bugünkü ben olmama yardımcı olan tüm abilerim, ablalarım ve hemşire arkadaşlarıma

Teşekkür ederim.



Zoruma kor, yoluma yol, bana Ben, saçma kar, gönlüme yar olan,
cananım, parem, eşim, daimim,
Dr. Zeynep Akdemir'e

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	i
YAZAR BİLDİRİMİ	ii
BİLGİLENDİRME	iii
TEŞEKKUR	iv
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	ix
RESİM LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. ÜÇ BOYUTLU MODELLEME	3
2.2. FOTOGRAMETRİ VE TARİHÇESİ	4
2.3. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK VE SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARI	8
2.4. NÖROŞİRÜRJİDE FOTOGRAMETRİ VE ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİK	10
3. GEREÇ ve YÖNTEM	12
4. BULGULAR.....	25
4.1. TAM BEYİN MODELLERİ VE DİSEKSİYONU	26
4.2. HEMİSFER MODELLERİ VE DİSEKSİYONU	39
4.3. SEREBELLUM VE BEYİN SAPI MODELLERİ VE DİSEKSİYONU	47
4.4. DİĞER BEYİN MODELİNİN DİSEKSİYONU	57
5. TARTIŞMA	59
6. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	65
EKLER	70
Ek 1: Etik Kurul Onay Formu	70
Ek 2: Orijinallik Beyan Formu.....	72

KISALTMALAR

3B.....	Üç boyutlu
AR.....	Augmented Reality (Artırılmış Gerçeklik)
VR.....	Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
COVID-19	Coronavirus Disease 2019 (Koronavirüs hastalığı 2019)
DSLR	Digital Single-Lens Reflex (dijital tek lensli refleks)
ICA.....	Internal Cerebral Artery (İnternal Serebral Arter)
MCA	Middle Cerebral Artery (Orta Serebral Arter)
ACA.....	Anterior Cerebral Artery (Anterior Serebral Arter)
PCA.....	Posterior Cerebral Artery (Posterior Serebral Arter)
PICA	Superior Cerebellar Artery (Süperior Serebellar Arter)
PICA	Posterior Inferior Cerebellar Artery (Posterior Inferior Serebellar Arter)
AICA.....	Anterior Inferior Cerebellar Artery (Anterior Inferior Serebellar Arter)

RESİM LİSTESİ

- Resim 2.1: Albrecht Dürer'in 1525 yılında yayımladığı "Doğrulara, Düzlemlerde ve Cisimlerde Pusula ve Cetvelle Ölçümün Anlaşılması" adlı kitabında yer alan "Ressam ve Ud" adlı gravür çalışması. The Saxon State and University Library(SLUB) açık kaynak dijital arşivinden alınmıştır. <https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/dlf/17139/1>4
- Resim 2.2: Guido Hauck'un 1883 yılında yayımladığı "Bir Nesnenin İki Perspektiften Üçüncü Bir Perspektifinin Oluşturulması" adlı makalesinde projektif geometri ile fotogrametri arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Bu gelişme analitik fotogrametrideki ilerlemelerin temeli olarak düşünülebilir.5
- Resim 2.3: Laussedat'ın 1861'de Versay şehri yakınlarındaki Buc kasabasına ilişkin harita çalışmasının sekiz farklı yerden çekilen fotoğraf ve hesaplamaları. (a) Araştırma sırasında kullanılan alet. (b) Konturlar da dahil olmak üzere tamamlanmış harita. (c)6
- Resim 2.4: Meydenbauer'in 1898 yılında icat ederek son halini verdiği geniş açılı stabil Meydenbauer Kamerası. İsviçre Ulusal Kütüphanesi Baskı ve Çizimler Departmanında muhafaza edilmektedir. (a) Meißen, Dresden şehrinde yer alan Meißner Katedralinin önünde farklı yerlerden çekilen üç fotoğraf ve ölçümlerle haritasını oluşturmuştur. (1,2,3) (b) 1868 yılında Rotes Rathaus'un tepesinden Berlin şehrinin ilk 360° panoramik fotoğrafı (c).....7
- Resim 2.5: Ivan Sutherland'ın 1968 yılında tasarladığı Damocles'in Kılıcı adını verdiği cihaz. Kullanıcıya ortamın üzerine bindirilmiş gibi görünen basit tel çerçeve görüntülerini stereoskopik merceklerde gösteriyor.⁶⁵9
- Resim 3.1: Spesimenleri görüntülemek için hazırladığımız fotoğraf stüdyosu. Işık kutusu ortasında akıllı döner tabla görülmektedir. Işık stüdyosunun arka duvarına ve akıllı döner tablanın üzerine 10 inç çapında siyah kumaş serilmiştir. İki farklı yükseklikte silindirik platform hazırlanıp etrafları siyah kumaşla sarılmıştır. Işık kutusunun ön tarafında her iki yanda manyetik halo çubukları merkeze bakar biçimde açlandırılmıştır. Işık kutusunun tavanına entegre üçlü LED şerit ve her iki yanında softboxlar izlenmektedir. (Solda) Fotoğraf stüdyosunun içerisinde spesimenin yakın plandan görüntülenmesi gösterilmektedir. (Sağda)13
- Resim 3.2: Soldaki resimde iPad Pro'dan alınan ekran görüntüsünün üst kısmında foldio360 uygulamasında kullanılan kameranın markası ve uzaktan kumanda modu çeşidi "NIKON-1" seçili olduğu görülmektedir. Sol altta "2x" ile döner tablanın dönüş hızı, yanında "48" ile tam bir turda çekim sayısı görülmektedir. Sağdaki DSLR modunda, çekim zamanının döner tablaya göre 2 sn ertelemeli olduğu ifade edilmektedir.....14
- Resim 3.3: Resimde mavi renkte görülen dikdörtgen şeklindeki çerçeveler fotoğrafları ve uzaysal konumlarını temsil ederken, siyah oklar fotoğrafların modele göre açılarını göstermektedir. Merkezde ise 3B model izlenmektedir.15

- Resim 3.4: Sol üstte fotoğrafları hizalandırma ayarları görülmektedir. Sağ üstte örnek model hizalandırıldıktan sonra ayrıntılar izlenmektedir. 471 fotoğraf için örnek modelde 331.408 adet birleşim noktası elde edilmiş ve bu süreç 12 dakika kadar sürmüştür. Altta Metashape çalışma alanı görülmektedir. Solda 471 fotoğrafın tamamının hizalandığı; bulanık, anlamsız veya diğer noktalarla ilişkisiz bir fotoğrafın olmadığı anlaşılmaktadır. Sağda bu birleşim noktalarının modelini temsil eden bir önizlemesi görülmektedir. 17
- Resim 3.5: Yukardaki diyagramda rastgele üç farklı fotoğraftan tahmini bir nokta referans alınarak 3B modeldeki yeri gösterilmektedir. Her açıdan çekilen fotoğrafların örtüşmesiyle elde edilen derinlik haritalarının birleştirilerek nihai nokta bulutu oluşur. 18
- Resim 3.6: Sol üstte nokta bulutu oluşturma ayarları görülmektedir. Sağ üstte örnek modelin nokta bulutu oluşturulduktan sonra ayrıntılar izlenmektedir. Fotoğraflardan elde edilen derinlik haritalarıyla 148.905.316 adet noktadan oluşan nokta bulutu oluşmuştur. Agisoft Metashape'deki en uzun olan bu süreç 64 GB RAM'lık bilgisayarın belleğini 52.98 GB işgal etmiş ve buna rağmen 11 saat kadar sürmüştür. RAM miktarı daha düşük bir bilgisayarda daha uzun süreler öngörülmektedir. Altta Metashape çalışma alanında örnek model için 470 adet derinlik haritası olduğu görülmektedir. Sağda milyonlarca noktadan oluşan nokta bulutu ve çerçeve içerisinde yakınlaştırılmış hali izlenmektedir. Orta resimdeki örnek modelde siyah görülen noktalar iki taraflı fotoğraflama kaynaklı örtüşme artefaktları olup modellenme sonrası artefakt görünümü devam ederse Blender uygulaması yardımıyla düzeltilebilmektedir. 19
- Resim 3.7: Sol üstte poligonal ağ modeli (mesh) oluşturma ayarları görülmektedir. Sağ üstte örnek modelin poligonal ağ modeli (mesh) oluşturulduktan sonra ayrıntılar izlenmektedir. En yüksek ayrıntı düzeyine sahip bir ağ modeli için uygun sayıda üçgen yüzeyler sunar. Kaynak nokta bulutundaki noktaların sayısına göre yüksek ayarlarda sayısal olarak bu oran 1/5'tir.⁸⁴ Yüzeylerin hepsi üçgen yapıda olduğundan bu oran 1/15 olarak ifade edilebilir. Örnek modelde 148.905.316 adet noktadan oluşan nokta bulutundan 8.271.909 adet yüzey (faces) ve 4.183.875 adet köşe (vertices) elde edilmiştir. Bu süreç 76 dakika kadar sürmüştür. Altta örnek modelin poligonal ağ modeli hali izlenmektedir. Modele ait farklı derinlikte ve yükseklikte sulcal ve gyral yapılar gözlemlenebilmektedir. Occipital ve serebellar bölgede gyral yapıların alt kısmında ve sulcularda görülen çift çizgi (*) iki taraflı fotoğraflama kaynaklı örtüşme artefaktlarıdır. Nihai 3B modelde bu görüntüler basit pürüzler olarak görülmekte ve Blender uygulaması üzerinden orijinalliği bozulmadan düzeltilebilmektedir. 20
- Resim 3.8: Sol üstte renk doku haritası (texture) oluşturma ayarları, sağ üstte ise örnek modelin renk doku haritası (texture) oluşturulması sonrası ayrıntılar izlenmektedir. Bu süreç 7 dakika kadar sürmüştür. Sol altta örgü yapısının üzerine doku haritası giydirilmiş şekilde modelin son hali görülmektedir. Sağ altta 8192x8192 rezolüsyonda modelin doku haritası izlenmektedir. Daha sonrasında istenildiği takdirde daha küçük veya büyük rezolüsyonlarda düzenlenebilmektedir. 21

Resim 3.9:	Modeli dışa aktarırken -*.obj- formatı seçilmesi halinde resimdeki pencere bizi karşılamaktadır. Doku haritasını bağımsız olarak dışa aktarırken sunulan seçeneklerden -*.png- seçilmiştir.	22
Resim 3.10:	Rastgele seçtiğimiz üç boyutlu modellerde düzenleme yapılmadan önce artefaktlar örneklerle gösterilmektedir. (Sol üstte) Tam beyin modelinde occipital tabanda ve serebellumda kaymalar görülmektedir. Ayrıca beyin sapı posterior medullar bölgede ters çevirme sonrası beyin sapında kayma nedeniyle doku haritasının oluşamadığı siyah alan izlenmektedir. (Sağ üstte) Hemisfer modelinde frontal uç kısımda örtüşme artefaktı nedeniyle girintili çıkıntılı alanlar görülmektedir. (Sol altta) Dentat nükleusların ve dördüncü ventrikülün izlendiği modelde, döner tablanın dönüş hızını yavaşlatmamıza ve makrolens ile fotoğraflamamıza rağmen modelin küçük ve hafif olması nedeniyle bol sayıda mikroartefakt görülmektedir. (Sağ altta) Araknoidi korunmuş tam beyin modelinde sağ occipital bölgede çift çizgi ve gyral bölgede kabarıklıklar izlenmektedir. Bu dört ayrı örnekte verilen artefakt çeşitleri modellerimizde izlenebilmektedir. Modelleri Blender uygulamasına aktardığımızda orijinal görüntüyü oluşturacak biçimde düzenlemeler yapılabilir.	23
Resim 4.1:	Model 1.1.1'in üstten, alttan, soldan ve arkadan görünümü izlenmektedir....	27
Resim 4.2:	Model 1.2.1'in üstten, alttan, sağdan ve arkadan görünümü izlenmektedir.	28
Resim 4.3:	Model 1.3.1'in üstten, alttan, sağdan ve arkadan görünümü izlenmektedir.	29
Resim 4.4:	Model 1.1.2'nin üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir. ...	30
Resim 4.5:	Model 1.1.3'ün üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.....	31
Resim 4.6:	Model 1.3.3'ün üstten, alttan, sağdan ve arkadan görünümü izlenmektedir.	32
Resim 4.7:	Model 1.1.4'ün üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.....	33
Resim 4.8:	Model 1.1.5'in üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.	34
Resim 4.9:	Model 1.1.6'nın üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir. ...	35
Resim 4.10:	Model 1.1.7'nin üstten, alttan, soldan ve posterolateralinden görünümü izlenmektedir.	36
Resim 4.11:	Model 1.1.8'in üstten, alttan, soldan ve posterolateralinden görünümü izlenmektedir.	37
Resim 4.12:	Model 1.1.9'un üstten, alttan, soldan ve arkadan görünümü izlenmektedir.	38
Resim 4.13:	Model 2.1.1'in üstten, alttan, medialden ve lateralinden görünümü izlenmektedir.	40
Resim 4.14:	Model 2.2.2'nin üstten, inferomedial ve inferolateralinden görünümü izlenmektedir.	41
Resim 4.15:	Model 2.3.2'nin üstten, inferomedial ve inferolateralinden görünümü izlenmektedir.	42

Resim 4.16: Model 2.4.2'nin üstten, inferomedial ve inferolateralinden görünümü izlenmektedir.	43
Resim 4.17: Model 2.2.3'ün alttan, medial ve inferomedial görünümü izlenmektedir.	44
Resim 4.18: Model 2.2.4'ün superoposterior, medial ve inferomedial görünümü izlenmektedir.	45
Resim 4.19: Model 2.2.5'in posteroinferomedial, inferior, posterior ve medial görünümü izlenmektedir.	46
Resim 4.20: Model 2.2.6'nın posterolateral, medial ve posteroinferomedial görünümü izlenmektedir.	47
Resim 4.21: Model 3.1.1'in üstten, alttan, arkadan ve soldan görünümü izlenmektedir....	48
Resim 4.23: Model 3.2.2'nin üstten, alttan, arkadan ve soldan görünümü izlenmektedir.	50
Resim 4.24: Model 3.1.3'ün üstten, alttan, arkadan ve sağdan görünümü izlenmektedir.	51
Resim 4.25: Model 3.1.4'ün sağ superolateral, arkadan ve üstten görünümü izlenmektedir.	52
Resim 4.26: Model 3.1.5'in sağ posterosuperior oblik, sol posterosuperior oblik, posterosuperior ve önden görünümü izlenmektedir.	53
Resim 4.27: Model 3.1.6'nın sağ posterosuperior oblik, sol posterosuperior oblik, sağ anterolateral oblik ve sol anterolateral oblik görünümü izlenmektedir.	54
Resim 4.28: Model 3.1.7'nin posterosuperior, sol anterolateral oblik, sağ posterolateral oblik ve önden görünümü izlenmektedir.	55
Resim 4.29: Model 3.1.8'in posteroinferior, anterior, sağdan ve sol posterolateral oblik görünümü izlenmektedir.	56
Resim 4.30: Model 4'ün sol posterolateral, sağdan ve sol üstten görünümü izlenmektedir.	57
Resim 4.31: (Solda) Google Cardboard benzeri akıllı cihazlara entegre gözlemlenebilen basit VR ile Sketchfab üzerinden modelin incelenmesi görülmektedir. (Sağda) HTC Vive Pro 2 VR gözlüğü ile arayüzde çalıştırılmış modelin incelenmesi görülmektedir.	58
Resim 4.32: Her modelin temsil edildiği resimlerin sağ alt köşesinde yer alan QR kod yardımıyla akıllı telefon veya tabletlerde, modelin Sketchfab web sitesi açıldığında [AR] butonuna tıklandığında modelin laboratuvar ortamında gösterilmesi görülmektedir.	58

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1: Fotogrametrik İşlenme Sürecinin Sayısal Özet Tablosu	25
---	----



ÖZET

NÖROANATOMİ EĞİTİMİNDE BİR YENİLİK OLARAK SANAL LABORATUVAR: FOTOGRAMETRİK ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME VE ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİKLE AK MADDE DİSEKSİYONLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ

Nöroşirürji, karmaşık bir eğitim süreci gerektiren beyin ve sinir sistemine yönelik cerrahi müdahaleleri içeren zorlu bir tıp dalıdır. Geleneksel olarak beyin cerrahları iki boyutlu uzaysal yapıya hakim olsalar da, üç boyutlu anlayış geliştirmek pratik zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı, DSLR kameralarla fotogrametri tekniği kullanılarak elde edilen kadavra üç boyutlu modellerini artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) ile görüntüleyerek beyin cerrahlarının nöroanatomî öğrenimini kolaylaştırmaktır.

Yeditepe Üniversitesi Hastanesi Mikronöroşirürji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen çalışmada, 10 insan beyin kadavrası kullanıldı. Beyin anatomisinin detaylı bir şekilde incelenmesi için kadavralar formaldehit solüsyonunda tutuldu ve çeşitli cerrahi aletler kullanılarak lif diseksiyonu yapıldı. Diseksiyon işlemleri sonrasında özel bir fotoğraf stüdyosu oluşturularak döner tabla kullanılarak spesimenlerin fotoğrafları çekildi ve Agisoft Metashape yazılımı ile üç boyutlu modeller oluşturuldu. 3B modeller Blender uygulamasına aktarıldı, düzenlendi ve Sketchfab platformuna yüklenerek paylaşıldı. Bu platform üzerinden AR ve VR cihazları ile incelenebilir hale getirildi.

29 adet üç boyutlu model beyin kadavralarının aşama aşama diseksiyonuyla elde edildi. Kadavraların tüm açılardan fotoğraflandığı için modelin her bölgesi özgürce incelenebilir hale getirildi. Modeller üzerindeki anatomik bölgeler işaretlenerek nöroanatomî ve nöroşirürji eğitimine alternatif kaynak olması amaçlandı.

Bu çalışma, fotogrametri tabanlı 3B modellerin AR ve VR ile entegrasyonu ile nöroşirürji eğitiminde önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgular. Dijital modeller, dünyanın her yerinden erişilebilir olup, nöroanatomî eğitiminde alternatif bir kaynak sunar.

Web sitesi üzerinden incelenebilen modeller, AR veya VR ile etkileşimli olarak kullanılabilir, bu da nöroanatomî eğitimi kısa, erişilebilir ve etkileşimli hale getirerek beyin cerrahlarının beceri geliştirmelerine ve klinik uygulamalarda daha güvenli hareket etmelerine yardımcı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Fotogrametri, Üç Boyutlu Modelleme, Nöroanatomî, Artırılmış Gerçeklik, Sanal Gerçeklik



ABSTRACT

VIRTUAL LABORATORY AS A INNOVATION IN NEUROANATOMY EDUCATION: PHOTOGRAMMETRIC THREE-DIMENSIONAL IMAGING AND AUGMENTED-VIRTUAL REALITY IMAGING OF WHITE MATTER DISSECTIONS

Neurosurgery is a challenging discipline of medicine that involves surgical interventions on the brain and nervous system requiring a complex training process. Traditionally, neurosurgeons have mastered two-dimensional spatial structure, but developing three-dimensional comprehension is a practical challenge. The aim of this study is to facilitate neurosurgeons' learning of neuroanatomy by visualizing cadaveric three-dimensional models obtained using photogrammetry technique with DSLR cameras with augmented reality (AR) and virtual reality (VR).

Ten human brain cadavers were used in the study conducted at the Microneurosurgery Laboratory of Yeditepe University Hospital. The cadavers were kept in formaldehyde solution for detailed examination of the brain anatomy and fiber dissection was performed using various surgical instruments. After the dissection procedures, a special photo studio was created and photographs of the specimens were taken using a rotary table and three-dimensional models were created with Agisoft Metashape software. The 3D models were imported into the Blender application, edited and uploaded to the Sketchfab platform and published. Through this platform, they were made viewable with AR and VR devices.

29 three-dimensional models were obtained by step-by-step dissection of brain cadavers. Since the cadavers were photographed from all angles, every part of the model could be freely examined. Anatomical regions on the models were marked to serve as an alternative educational resource for neuroanatomy and neurosurgery.

This study emphasizes that photogrammetry-based 3D models have a significant potential in neurosurgical education through integration with AR and VR. Digital models are accessible from anywhere in the world and provide an alternative resource for neuroanatomy education. Models that can be viewed on the website can be used interactively with AR or VR, making neuroanatomy training concise, accessible and interactive, which can improve neurosurgeons' skills and help them proceed more confidently in clinical practice.

Keywords: Photogrammetry, Three Dimensional Modeling, Neuroanatomy, Augmented Reality, Virtual Reality



1. GİRİŞ ve AMAÇ

Nöroşirürji, tıbbın en karmaşık ve zorlu dallarından biridir. Beyin ve sinir sistemine yönelik cerrahi müdahalelerde bulunmak için cerrahların, hem bilgilerini hem de cerrahi becerilerini geliştirmesi gerekmektedir. Beyin cerrahisi operasyonlarında cerrah, çevredeki hayati yapıları koruyarak dar bir koridordan operasyonu gerçekleştirirken el becerisi ve enstrüman kullanımı konusunda maharetini göstermelidir. Ancak, bu becerilerin ötesinde, her bir beyin cerrahının karmaşık beyin anatomisine de tam anlamıyla hakim olması elzemdir. Nöroanatomi, beyin cerrahisi eğitiminde ve mesleğin her evresinde öğrenilmesi ve öğretilmesi en karmaşık ve göz korkutucu konulardan biri olmuştur.

Geleneksel olarak beyin cerrahları, iki boyutlu uzaysal yapıya aşinadır. Klinik olarak da iki boyutlu radyolojik görüntüleri kullanmaktadır. Ancak çevresel yapıların üç boyutlu anlaşılması için zihinsel olarak dönüştürülmesi gerekmektedir, bu da pratik öğrenmeyi zorlaştırmaktadır. (1) Beyin ve ilişkili yapıların cerrahi anatomisinin öğrenimi ve oryantasyonu için 2 boyutlu geleneksel kaynaklardan (illüstrasyonlar, fotoğraflar, kitaplar, atlaslar) uzamsal olarak yararlanılabilir. (2–4) Ancak tam anlamıyla öğrenim için kadavra, fiziksel veya dijital modeller gibi üç boyutlu materyallere ihtiyaç duyulur. (5–7)

Üç boyutlu modelleme çalışmaları, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte tıp eğitiminde önemli teknolojilerden biri haline gelmiştir. Nöroşirürji laboratuvarlarının oluşturulmasındaki maddi zorluklar, kadavra örneklerinin ekonomik, etik ve yasal sebeplerle temin edilmesindeki zorluklar, kadavra sayısının az olması, çalışma bölgesinin tek kullanımlık olması ve zamanla kadvralarda yıpranma ve bozulma gibi etkiler bu kadvraları daha değerli hale getirmektedir. (8)

Son on yılda, özellikle COVID-19 pandemisi sonrası dönemde gelişen yeni teknolojilerle, geleneksel metodlar yerine üç boyutlu (3B) atlaslar, cerrahi operasyon videoları ve beyin ak madde yolaklarının incelendiği diseksiyon videoları gibi materyallerin kullanımı yaygınlaşmıştır. (9,10) Bu sayede, dünyanın dört bir yanındaki beyin cerrahları, nöroşirürjikal açıdan eksiklerini giderebilmek için bu tür alternatif eğitim metodları olan sanal kaynaklardan faydalanma imkanına sahip olmaktadır.

Herofilus ve Galen ile başlayan, Razi, İbni Sina ve Mansur bin Şirazi'yle devam eden nöroanatomi eğitimi süreci, Vesalius'a kadar uzanmış ve son yüzyılda Rhoton JR. gibi birçok usta anatomist ve beyin cerrahının katkılarıyla ayrıntılı kadavra diseksiyon fotoğrafları elde edilmiştir. (11–15) Rhoton Collection gibi yan yana derinlik oluşturulmuş görüntüler (side by side-SBS) ve The Neurosurgical Atlas gibi illüstratif model halinde üç boyutlu görüntülerin oluşturulduğu çalışmalar olsa da, bu görüntüler anatominin tam anlamıyla anlaşılması için gereken geometrik yapıyı tam anlamıyla gösterememektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) görüntüleriyle (16–18), laser tarayıcılarla (19,20) ve mobil cihazlarla (6,21,22) nesneleri üç boyutlu hale getiren modeller kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, bu modalitelerin ortak kısıtlamaları, yüzey dokusu ve renk geçişlerinin sınırlı olması ve ayrıntıları belirleme konusundaki yetersizlikleridir. (23) Bununla birlikte her açıdan çok sayıda fotoğraf çekilmesi olarak tanımlanabilen fotogrametri tekniği kullanılarak dijital tek lens yansımali fotoğraf makinesi (DSLR) kameralarla oluşturulan üç boyutlu modellerde foto-gerçeklik tam olarak sağlanmaktadır.(24) Bu yöntemle artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) ile oluşturulmuş dijital 3B atlaslar, sanal nöroşirürji laboratuvarı deneyimi sunacaktır. Akıllı cihazlarla elde edilen fotogrametrik modellerin AR/VR gibi sanal ortamlarda incelenmesi, nöroşirürjikal eğitimde önemli katkılar sağlamaktadır. Bu teknoloji, cerrahlar tarafından benimsenmiş olup aktif bir şekilde kullanılmaktadır. (25–30)

Bu çalışmanın amacı, DLSR kamerayla fotogrametri tekniği kullanılarak elde edilen kadavra üç boyutlu modellerini AR ve VR ile görüntüleyerek beyin cerrahları için zorlayıcı bir eşik olan nöroanatomi öğrenimini kolaylaştırmaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. ÜÇ BOYUTLU MODELLEME

Üç boyutlu modelleme, üç boyutlu nesnelerin bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları veya 3B modelleme yazılımları kullanılarak dijital olarak oluşturulmasını ifade eder. 3B modeller, gerçek dünyadaki nesnelerin dijital temsilleri olabileceği gibi tamamen hayali tasarımlar da olabilir. Temel olarak, üç boyutlu modelleme, nesnelerin boyut, şekil, renk ve malzeme gibi özelliklerini dijital bir platformda oluşturulma sürecidir. Üç boyutlu uzayda noktalar, üçgenler ve çizgiler yazılım aracılığıyla birleştirilerek bir veri koleksiyonu oluşturulur. (31) Oluşturulan veri koleksiyonu olan 3B modeller, SketchUp, Blender, Maya, Cinema 4D, Unity gibi yazılımlar ile manuel olarak oluşturulabileceği gibi, Agisoft Metashape, Meshroom, 3DF Zephyr, ReCap Pro, RealityCapture gibi yazılımlarla tarama yöntemiyle de oluşturulabilir. (32,33) Bu yazılımlar, farklı endüstrilerde kullanılabilen özel araçlar sunar ve tasarımcılara çeşitli ihtiyaçlarına yönelik esneklik sunar. Üç boyutlu modellemenin kullanım alanları olarak oyun geliştirme, mimari, tıp ve sağlık, eğitim, sanat ve animasyon sayılabilir.

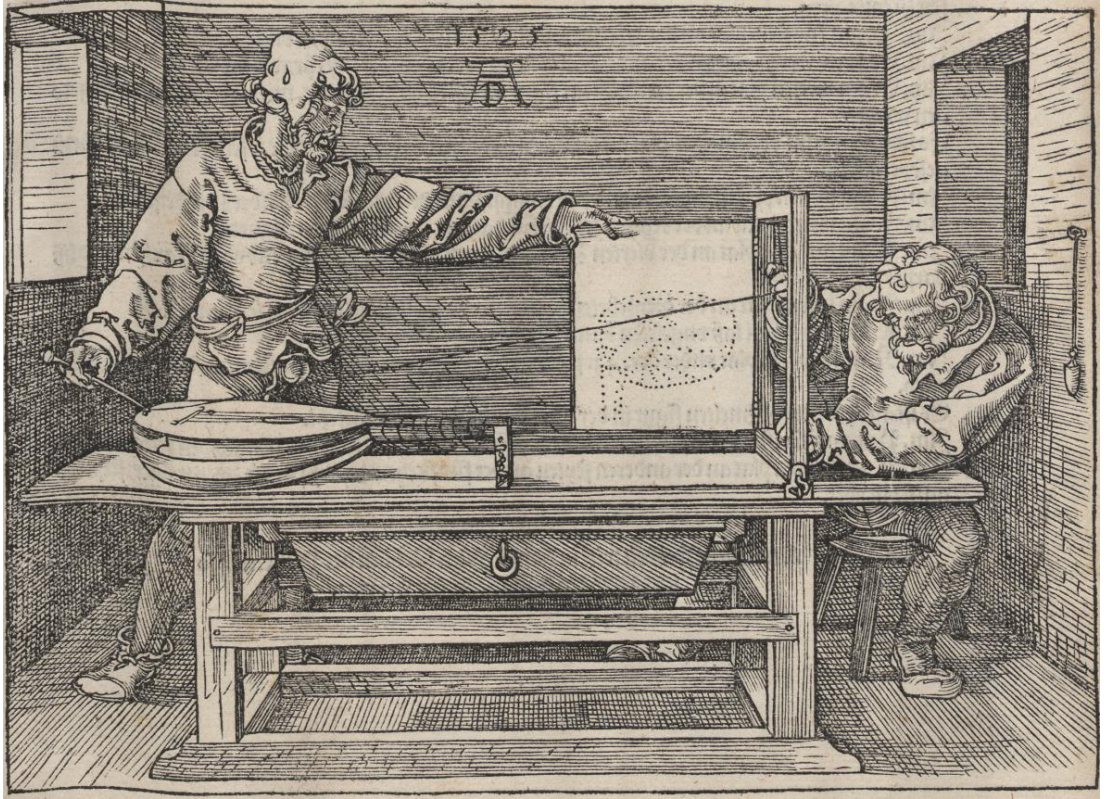
Gerçekçi sanal ortamlar oluşturmak için kullanılan teknolojiler, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle son yıllarda muazzam gelişmeler kaydetmiştir. Bu gelişmeler öncelerde gelişmiş doku haritalama yöntemlerinden (34) 3D motorların kullanımıyla özellikle bilgisayar oyunları (35) piyasasının da katkılarıyla önemli gelişmeler kaydetti. İlk zamanlarda yüzey geometrisi açısından belli bir standardı olmayan 3B modeller, en basit ve temel geometrik yapı olan üçgenlerin kullanılmasıyla birlikte basitlik, uygulanabilirlik ve işleme kolaylığı gibi avantajlarla modellemede belirli bir standart yakalandı. Ayrıca, bilgisayar grafik işlem birimleri (GPU) optimizasyonu ile cebirsel hesaplamalar açısından da kolay ve verimli hale geldi. (36,37)

3B modelleme; oyun geliştirme, animasyon, mimarlık, mühendislik, sağlık, eğitim, sanat dallarında ve yakın gelecekte daha geniş kullanım alanları ile dijital dünyada gerçekliği inşa etmek için en güçlü araç olacaktır.

2.2. FOTOGRAMETRİ VE TARİHÇESİ

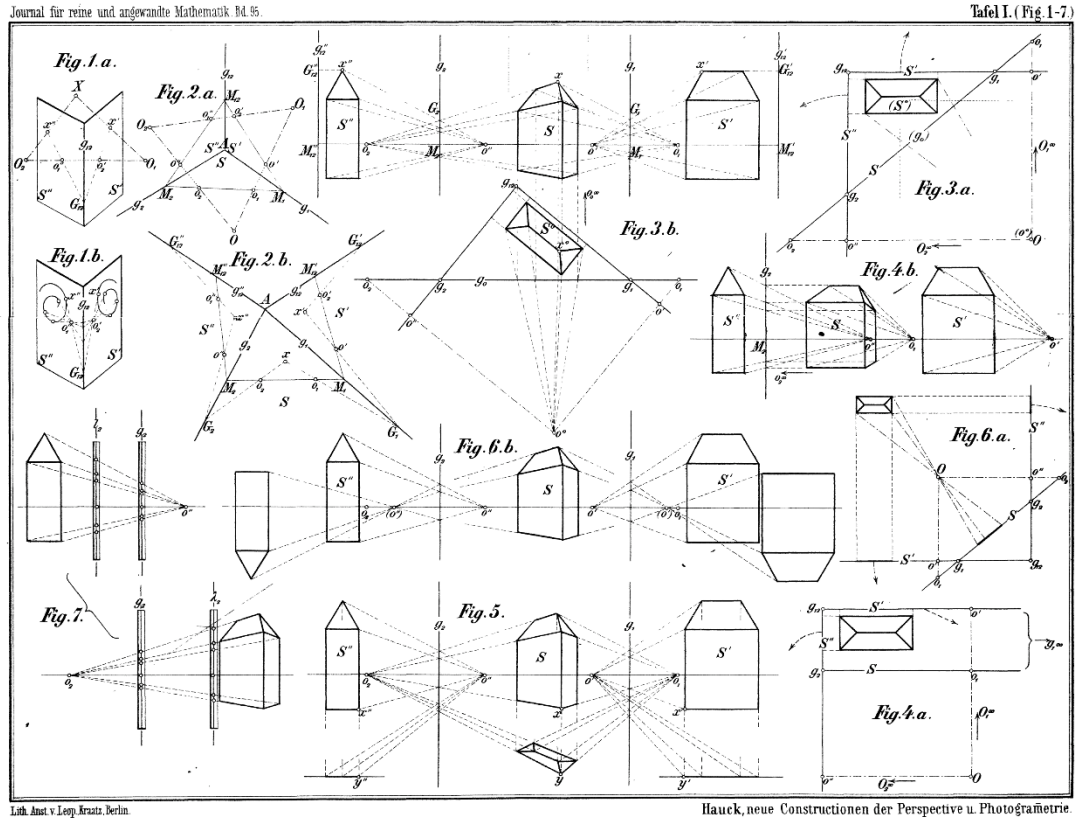
Fotogrametri terimi fotoğraf kelimesinin bir varyasyonudur.(38) Foto (Yunanca ışık) ve grafinin (Yunanca kayıt veya yazma) birleşimi ile sonuna metron (Yunanca'da bir şeyi ölçen cihaz) terimi eklenerek fotogrametri terimi elde edilmektedir. Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (The American Society of Photogrammetry and Remote Sensing- ASPRS) fotogrametriyi, incelenen nesneyle doğrudan temas halinde olmayan bir kayıt cihazı kullanarak bir nesnenin veya belirli bir ortamın yüzey özellikleri hakkında kesin bilgi elde etme tekniği olarak tanımlamaktadır. (39)

Fotogrametrinin arkasındaki fikirler, fotoğrafın icadından çok daha eskilere dayanmaktadır. 1490'larda Leonardo da Vinci, daha sonra fotogrametrinin temel taşları haline gelecek olan perspektif ve projektif geometrinin ilkeleri üzerinde çalışmaya başladı. Alberti ve Francesca grafik perspektifine ilişkin çalışmalar yayınladılar. Dürer, 1525 tarihli “Doğrularla, Düzlemlerde ve Cisimlerde Pusula ve Cetvelle Ölçümün Anlaşılması” adlı kitabında yer alan 'Ressam ve Ud' adlı gravür eserinde perspektif çizim için bir alet tasvir etmiştir.(40) (Resim 2.1)



Resim 2.1: Albrecht Dürer'in 1525 yılında yayımladığı “Doğrularla, Düzlemlerde ve Cisimlerde Pusula ve Cetvelle Ölçümün Anlaşılması” adlı kitabında yer alan “Ressam ve Ud” adlı gravür çalışması. The Saxon State and University Library(SLUB) açık kaynak dijital arşivinden alınmıştır. <https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/dlf/17139/1>

Johan Lambert, 1759 tarihli 'Perspectiva Liber' adlı incelemesinde, bir nesnenin uzaydaki konumunu kontrol noktaları kullanarak belirleme hakkında matematiksel çalışmalar yaptı. Ancak projektif geometri ile fotogrametri arasındaki ilişki ilk kez Hauck tarafından ifade edildi. (41) (Resim 2.2)

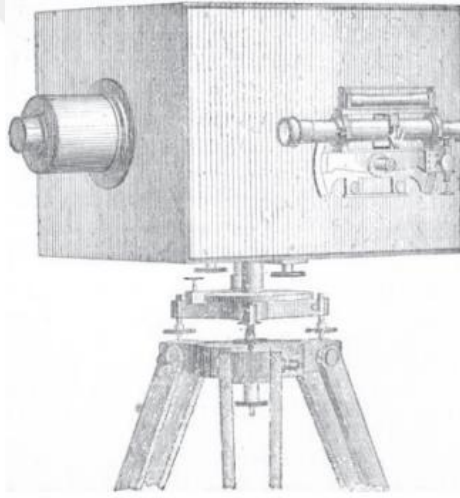


Resim 2.2: Guido Hauck'un 1883 yılında yayımladığı "Bir Nesnenin İki Perspektiften Üçüncü Bir Perspektifinin Oluşturulması" adlı makalesinde projektif geometri ile fotogrametri arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Bu gelişme analitik fotogrametrideki ilerlemelerin temeli olarak düşünülebilir.

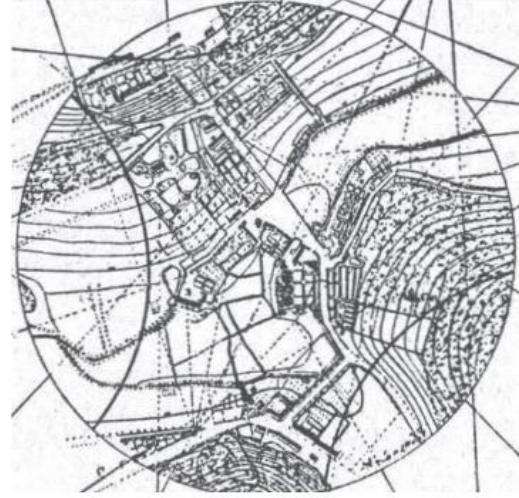
Fransız jeodezist Dominique François Jean Arago, 1840 yılında Louis Daguerre tarafından icat edilen daguerreyotip ile topografik haritalar yapılma fikrini önerdi. Aimé Laussedat 1851 yılında perspektif mimari araştırması için karasal fotoğraflar kullandı. Ayrıca uçurtmalar ve balonlar kullanarak hava fotoğrafçılığıyla ilgili deneyler yaptı. (42) (Resim 2.3)



(a)



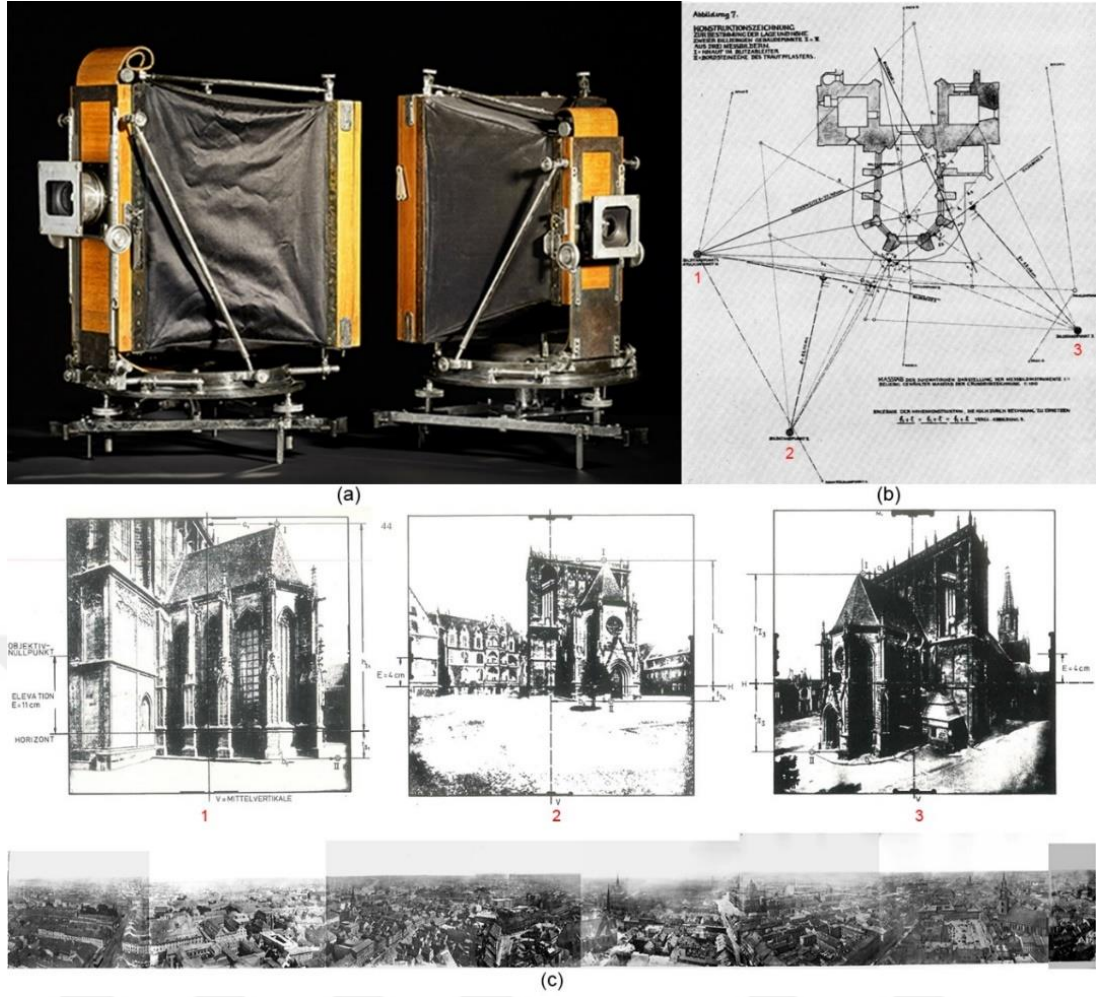
(b)



(c)

Resim 2.3: Laussedat'ın 1861'de Versay şehri yakınlarındaki Buc kasabasına ilişkin harita çalışmasının sekiz farklı yerden çekilen fotoğraf ve hesaplamaları. (a) Araştırma sırasında kullanılan alet. (b) Konturlar da dahil olmak üzere tamamlanmış harita. (c)

Fotogrametrinin isim babası olarak görülen Albrecht Meydenbauer, Laussedat'a paralel olarak fotoğrafların ölçümlerde kullanımını araştırmaya başladı. 1867 yılında Berlin Mimarlar Topluluğu'nun haftalık dergisinde 'Die Photogrammetrie' adlı makalesi yayınladı ve bundan sonra 'fotogrametri' terimi dünya çapında kabul görmeye başladı. Mevcut kameraların fotogrametriye uygun olmadığına inanarak 105 derecelik geniş açılı mercek ile ilk fotogrametrik kamerayı tasarladı. (43) Freiburg'un topografik haritasını çizdi, Berlin'in panoramik fotoğrafını çekti ve St. Mary Kilisesi ve Meißener Dom'un yapısal çizimini yaptı. (Resim 2.4)



Resim 2.4: Meydenbauer'in 1898 yılında icat ederek son halini verdiği geniş açılı stabil Meydenbauer Kamerası. İsviçre Ulusal Kütüphanesi Baskı ve Çizimler Departmanında muhafaza edilmektedir. (a) Meißen, Dresden şehrinde yer alan Meißner Katedralinin önünde farklı yerlerden çekilen üç fotoğraf ve ölçümlerle haritasını oluşturmuştur. (1,2,3) (b) 1868 yılında Rotes Rathaus'un tepesinden Berlin şehrinin ilk 360° panoramik fotoğrafı (c)

Sherman Mills Fairchild, hava kamerası geliştirerek 1923-24'te Newark (New Jersey) ve Manhattan'ın (New York) havadan haritalamasını gerçekleştirdi. 1963 yılında Lawrence Roberts, 2 boyutlu fotoğraflardan 3 boyutlu bilgilerin oluşturulmasını tartışan 'Üç Boyutlu Solid Yapıların Makine Tarafından Tanınması' üzerine MIT'de doktora tezini sundu. Bu tez, bilgisayarlarda görme teknolojilerinin fotogrametri tekniği ile iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu veriler elde etmek için yeni araçlar sağladığını ortaya koymaktadır. (44)

Fotogrametri, topografik haritalama, coğrafi bilgi sistemleri, meteoroloji, klimatoloji, askeri ve istihbarat, çevre bilimleri, şehir planlama, afet yönetimi, ormancılık ve tarım, sualtı araştırmaları, mimarlık, arkeoloji, jeoloji, otonom sürüş ve tıp gibi birçok alanda

kullanılmaktadır. (45–53) Fotogrametri, artan teknolojiyle birlikte daha fazla alanı etkilemeye devam edecektir.

Fiziksel nesnelerin sayısallaştırılabilmesi için nesne üzerindeki her yüzey noktasının uzaysal konumunun ölçülmesi ve her noktanın doku yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Yüzey noktalarının uzaysal konumlarını değerlendirebilmek için farklı açılardan ve uzaklıktan bir dizi anlık görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır. Üç boyutlu fotogrametri uygulamalarındaki algoritmalar, farklı görüntülerdeki akışa göre noktadan noktaya göreceli olarak nesnenin hareketini karşılaştırır. (54) Özetle, algoritmik olarak uzaktaki nesnenin yakındaki nesneye göre daha yavaş hareket ettiğini değerlendirerek derinlik algısı oluşturulur. (55) Bu şekilde her noktanın göreceli olarak konumu ve kamera parametreleri tahmin edilir ve optimize edilir. Bu noktaların birleşmesiyle nokta bulutları oluşur ve nesneye ait her noktanın koordinatları belirlenmiş olur. Görüntülere göre noktalar yoğunlaştırılarak çokgen bir ağ oluşturulur. (56) Ortaya çıkan yoğun nokta bulutu birleştirilerek üç boyutlu model yapısı (mesh) oluşturulur ve üzerine doku işlenerek son model oluşturulur. Nesneden alınan görüntülerin kalitesi, dahil edilen köşelerin sayısı veya kullanılan algoritmalar gibi çeşitli değişkenlere bağlı olarak fiziksel nesnenin tam bir dijital kopyası elde edilmiş olur. (57)

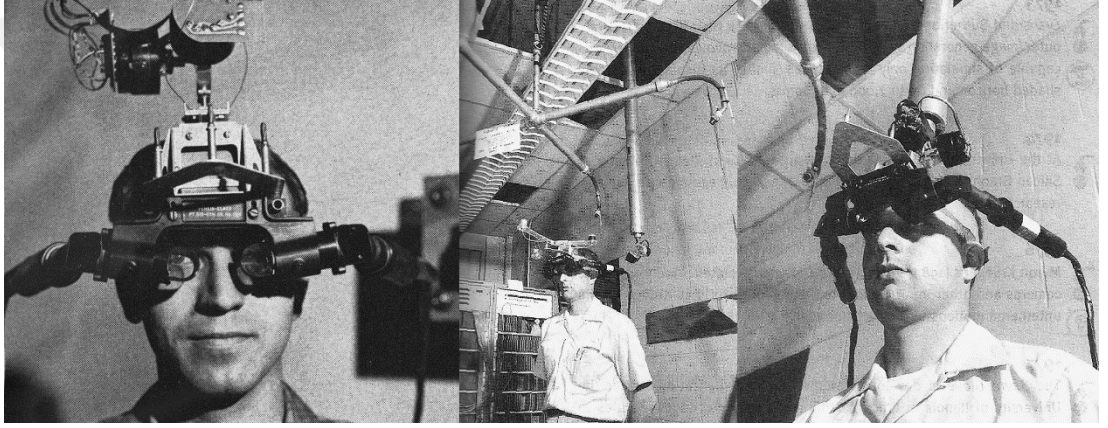
2.3. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK VE SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARI

Artırılmış Gerçeklik (AR); bilgisayar veya akıllı cihaz kamerası aracılığıyla gerçek dünya ile ilgili görüntülerin üzerine metin, grafik, video veya GPS verisi gibi verilerin eklenmesiyle zenginleştirerek, sanal unsurların gerçek dünyaya yansıtılmasına dayanan bir görselleştirme tekniğidir.(58,59) Sanal nesneleri fiziksel dünya ortamlarından gelen bilgilerle üst üste çakıştırarak veya birleştirerek kullanıcıların sanal nesnelerle etkileşime geçmesini ve fiziksel ortamı aynı anda görüntülenmesini sağlar. (60–62)

Ivan Sutherland 1965'te yayınladığı “The Ultimate Display” adlı makalesinde bilgisayar tarafından oluşturulan grafikleri başa takılan görüntüleme sistemiyle gösterebilen sistem tarifledi. (63) 1968 yılında öğrencileriyle birlikte bilgisayara bağlanan ve ağırlığı ve bağlantıları nedeniyle tavana asılan “Damocles’in Kılıcı” adını verdiği cihazı tasarladı. (64,65) (Resim 2.5) Artırılmış gerçeklik terimi 1990'da Boeing araştırmacısı Tom Caudell tarafından kazandırıldı. Boeing ve NASA gibi kuruluşlarda uçak bakım işlemlerini kolaylaştırmak için AR kullanıldı. (66) Öncelerde pahalılık ve zayıf ergonomi gibi

kısıtlamalara sahipken 2000’li yıllarda akıllı cihazların yaygınlaşması ve AR uygulamalarının geliştirilmesiyle artırılmış gerçekliğe ulaşım kolaylaştı. (67,68) 2014’te Google tarafından Google Glass, 2016’da Microsoft tarafından HoloLens (69) piyasaya sürüldü.

Akıllı telefon veya tabletlerin hızlı CPU'ları, ekran ve kamera becerileri, pusula, GPS sensörleri ve jiroskoplarıyla artırılmış gerçeklik deneyimleri, yaygın olarak kullanılabilir hale gelmiş, artık her insan yanında güçlü bir artırılmış gerçeklik donanım platformu taşıyor hale gelmiştir.(70,71) AR teknolojisi, günümüzde geliştirilmiş yazılımlar ve geliştirici araçları ile daha fazla uygulamanın ve deneyimin ortaya çıkmasıyla birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Resim 2.5: Ivan Sutherland’ın 1968 yılında tasarladığı Damocles’in Kılıcı adını verdiği cihaz. Kullanıcıya ortamın üzerine bindirilmiş gibi görünen basit tel çerçeve görüntülerini stereoskopik merceklerde gösteriyor.⁶⁵

Sanal gerçeklik (VR); görme, duyma ve dokunma gibi duyuları taklit ederek gerçekliğe alternatif sanal bir ortamı temsil eden bir deneyim olarak tanımlanabilir. (72) Artırılmış gerçeklik uygulamaları VR' nin bir parçası olarak görülse de bazı farklılıklar içermektedir. AR, sanal nesnelerin gerçek ortamlara yerleştirilmesiyle gerçekleşirken; VR, nesnelerin sanal ortamda deneyimlenmesi olarak ifade edilebilir. (60)

Panoramik tablolar veya duvar resimleri, izleyicinin görüş alanını doldurarak tarihi olayları oradaymış gibi hissetmelerini amaçlıyordu. Leonardo da Vinci'nin ölümünden sonra 1651 yılında yayımlanan 'Resim Üzerine Bir İnceleme' adlı çizim ve notlarının yer aldığı koleksiyon kitabında, stereoskopik derinlik algısı üzerine çalışmış, nesnenin arkasındaki yapıları gizlediğine dair fikirler ortaya atmıştır. Ancak o dönemde, nesnenin kendisinin her

iki gözde farklı görüldüğü konusunu açıklığa kavuşturamamıştır. (73) 1838'de Charles Wheatstone araştırmasında, beynin her gözden gelen farklı iki boyutlu görüntüleri üç boyutlu tek bir nesneye dönüştürdüğünü gösterdi. İki stereoskopik görüntüyü bir stereoskop aracılığıyla yan yana görüntülemek, kullanıcıya derinlik hissi veriyordu. (74) View-Master stereoskopunun daha sonraki gelişimi sanal turizm için kullanıldı. Stereoscope'un tasarım ilkeleri, günümüzde Google Cardboard ve cep telefonlarının entegre olduğu VR ekranlar gibi başa takılan cihazlar için kullanılmaktadır. Görüntü yönetmeni olan Morton Heilig, 1962 yılında “Sensorama” adını verdiği cihaz ile kullanıcılara üç boyutlu görüntü, hareketli koltuk, rüzgâr ve koku gibi duyuşal deneyimler sunmaktaydı. NASA ve askeri kuruluşlar, uzay simülasyonları ve pilot eğitiminde sanal gerçeklik kullandı. “Sanal gerçeklik-VR” terimi ise ilk olarak 1985 yılında Atari şirketinden ayrılarak kendi şirketleri VPL Research Inc. kuran Jaron Lanier ve Thomas Zimmerman tarafından kullanılmış ve başa monte cihaz ile eldiven DataGlove tasarlamışlardır. (75–77) 1993'te Sega VR ve 1995'te Nintendo Virtual Boy, oyun dünyasında bu deneyimi sunan ilk ticari ürünler olarak piyasaya sürüldü ancak başarısız olmasından sonra büyük şirketler bu teknolojiyi desteklemedi. Ancak teknolojinin gelişmesiyle bu yönde ihtiyaç gelişince Oculus Rift (Oculus VR), PlayStation VR (Sony Interactive Entertainment) ve HTC Vive (Valve Corporation) gibi birçok sanal gerçeklik cihazı pazarda yerini aldı ve geliştirildi. Teknolojinin de gelişmesiyle oyun, eğitim, eğlence, tıp ve daha birçok alanda kullanılmaya başlandı.

2.4. NÖROŞİRÜRJİDE FOTOGRAMETRİ VE ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİK

Dünyanın dört bir yanında nöroşirürji kadavra laboratuvarlarının oluşturulmasındaki mali, etik ve yasal zorluklar, oluşturulan laboratuvar sayısının kısıtlılığı nedeniyle cerrahların laboratuvar pratiği için şehir dışına, hatta yurtdışına gitmesini gerektirmektedir. Ayrıca, bu laboratuvarlarda yeterli miktarda kadavra bulunmaması ve kullanılan kadvranın tek kullanımlık olması ve uygulama yapılan bölgenin bir başkası tarafından kullanılamaması gibi nedenlerle kadavra temelli eğitimden yeterli verim alınamamaktadır. (22)

COVID-19 pandemisi nedeniyle uzaktan eğitimin mecbur olduğu ve laboratuvarların az sayıda insanla çalışabildiği hatta bazılarının kapandığı bu dönemde sanal ortamlar yardımıyla eğitimin sürdürülebilmesi ihtiyacı doğmuştur. (78) Özellikle son 4 yılda fotogrametri tabanlı nöroşirürjikal anatomi yayınlarının sayısında ciddi miktarda artış

izlenmiştir. (5,6,21,22,79–81) AR veya VR ile oluşturulan sanal ortamların, eğitim ortamlarında da yararlı olabileceğinden, bu tür incelemeler araştırmacıların dikkatini çekti. (82)

Oluşturduğumuz platform ile diseksiyonu henüz yapılmamış veya diseksiyon aşamasında olan beyin kadvralarını fotogrametri metodu ile fotogerçekçi 3B modellerini AR veya VR ile gözlemleyerek karmaşık beyin anatomisini gerçek dokularla inceleyebilmek bilgi düzeyini artırmak ve nöroanatomi öğrenme eğrisini kısaltmak hedeflenmektedir.

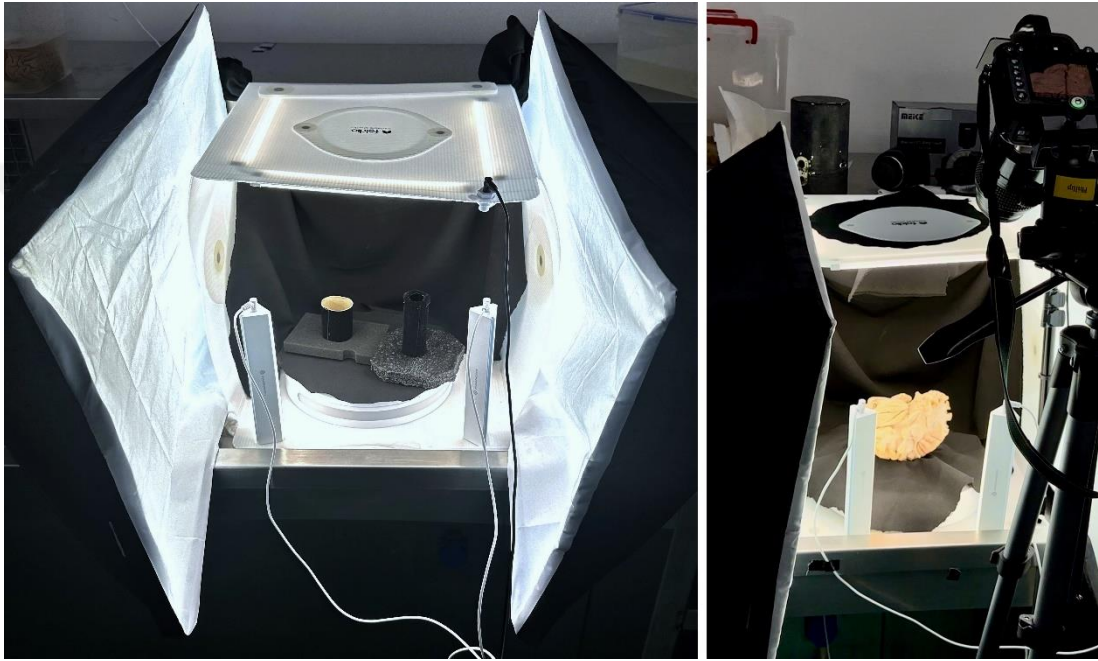


3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma Yeditepe Üniversitesi Hastanesi Mikronöroşirürji Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye'de gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma için ak madde diseksiyonları çalışmalarında kullanılan 10 adet insan beyin kadavrası (spesimen) kullanılmıştır. Klingler'in yaklaşımına uygun olarak lif diseksiyonu için kullanılacak örnekler en az 2 ay %10'luk formaldehit solüsyonunda tutuldu. (83) Diseksiyonlar arasında specimenler %70'lik alkol solüsyonunda -20°C'de saklanmıştır. Çözünmesi ve diseksiyon kolaylığı için oda sıcaklığında akan çeşme suyu içine bırakıldı. Solüsyondan çıkarılan spesimenler üzerlerindeki yansımayı önlemek için kısa bir süre bekletildi. Diseksiyonlar Zeiss OpMI-1 marka cerrahi mikroskop altında x10 ve x40 büyütmede, mikrocerrahi seti (dişsiz pensetler, rhoton dissektörü, çeşitli boyutlarda metal ve tahta spatula, mikro hook) ve aspiratör kullanılarak yapıldı. Diseksiyon yapılmış spesimenlerin dura mater, araknoid mater ve vasküler yapıları çıkarılmıştır. Lif diseksiyonlarının her aşamasında görüntüleme ekipmanı olarak Nikon D7000 16.2 MP APS-C dijital tek lensli refleks (DSLR) kamera gövdesi, Nikon MIKRO-NIKKOR AF 105mm f/2.8D lens ve yansımayı önlemek için Hoya 55mm HD Nano Polarize Dairesel Filtre kullanıldı. Kamera Manfrotto MK Compact Advanced Tripod üzerine monte edildi. Geniş bir alan derinliği sağlamak ve hem nesneye hem de arka plana odaklanmak için kamera f/29 diyafram açıklığıyla Manuel ve uzaktan kumandalı (remote) moda ayarlandı. Deklanşör hızı 2 saniye olarak kaydedildi ve görüntü gürültüsünü en aza indirmek için kameranın ISO değeri ISO 100'e ayarlandı.

Platform olarak Foldio2 Plus 15" Portatif Fotoğraf Stüdyosu ve Foldio360 Akıllı Döner Tabla (ORANGEMONKIE, INC) kullanıldı. Fotoğraf stüdyosunun tavanına entegre üçlü difüzör LED aydınlatma sistemi ve manyetik halo çubuklar, softbox'lar ve 1/64 güce ayarlanmış harici ve dahili kamera flaşı ile diffüz ışıklandırma sağlandı. Spesimen, döner tabla üzerine ve arka plan için uygun boyutta kesilmiş siyah kumaşla kaplı platforma yerleştirildi. 10 cm ve 15 cm yüksekliğinde siyah kumaşla kaplanmış silindir yapıda platformlar oluşturulup her yüzeyi homojen biçimde ışıklandırma amaçlı hemisfer, serebellum ve beyin sapı spesimenleri bu platformların üzerlerine kondu.

Döner tabla ışık kutusunun merkezine yerleştirildikten sonra manyetik halo çubukları önde specimene bakar biçimde oblik açıyla tutturuldu ve tavandaki üçlü LED şerit etkinleştirildi. Softboxların difüzör özelliklerinden yararlanmak için her iki tarafa da yerleştirildi. (Resim 3.1) Bu aydınlatma düzenlemeleri ile nesne üzerindeki her yüzeye homojen aydınlatma sağlandı ve spesimen üzerindeki gölgelerin en aza indirilmesi amaçlandı. Merkeze odaklı diffüz ışıklandırma sistemi, geniş diyafram, 2 sn çekim süresi, harici flaş ve siyah arka plan ile çekilen görüntüleri işlenirken fotogrametri aşamasında manuel yolla maskeleme gereği duyulmadı.



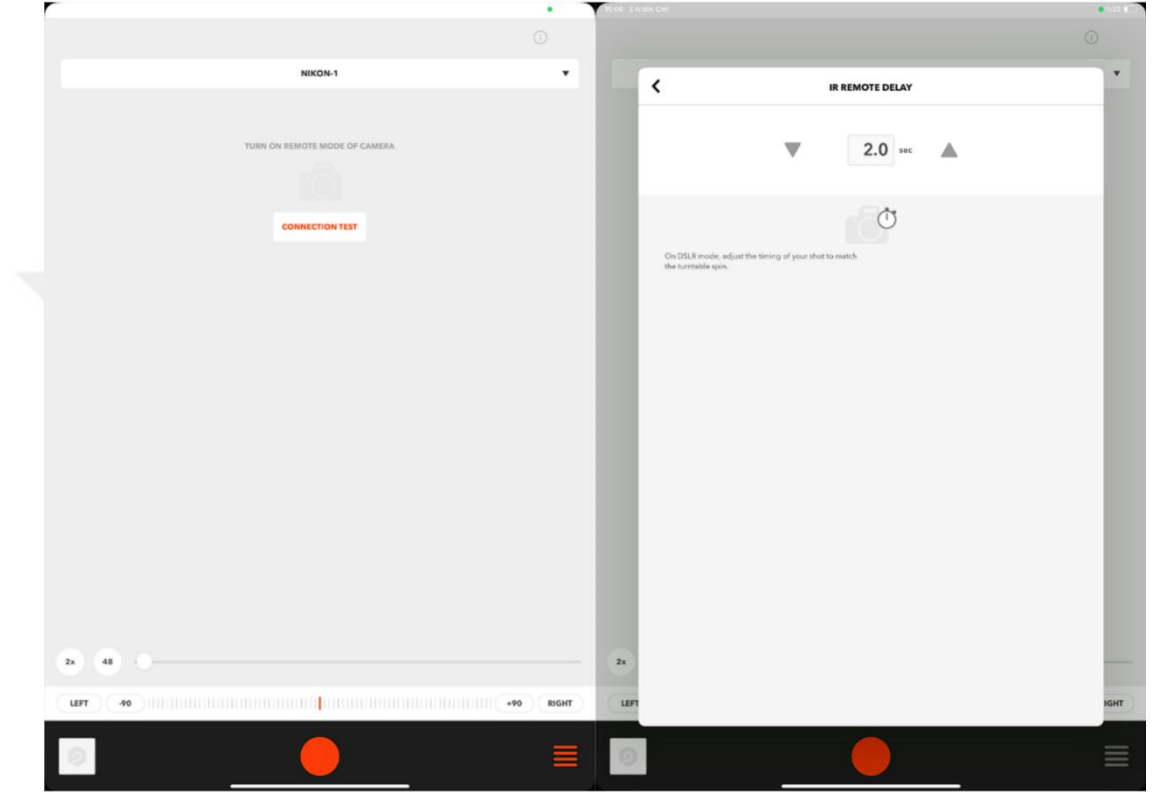
Resim 3.1: Spesimenleri görüntülemek için hazırladığımız fotoğraf stüdyosu. Işık kutusu ortasında akıllı döner tabla görülmektedir. Işık stüdyosunun arka duvarına ve akıllı döner tablanın üzerine 10 inç çapında siyah kumaş serilmiştir. İki farklı yükseklikte silindirik platform hazırlanıp etrafları siyah kumaşla sarılmıştır. Işık kutusunun ön tarafında her iki yanda manyetik halo çubukları merkeze bakar biçimde açlandırılmıştır. Işık kutusunun tavanına entegre üçlü LED şerit ve her iki yanında softboxlar izlenmektedir. (Solda) Fotoğraf stüdyosunun içerisinde spesimenin yakın plandan görüntülenmesi gösterilmektedir. (Sağda)

Fotoğraf çekim süreci videosu:

<https://www.dropbox.com/scl/fi/8azioqsjq9wz137s2h1uy/Photography-process.mov?rlkey=o8tgjsd3cph91t9nv6ce20sm7&dl=0>

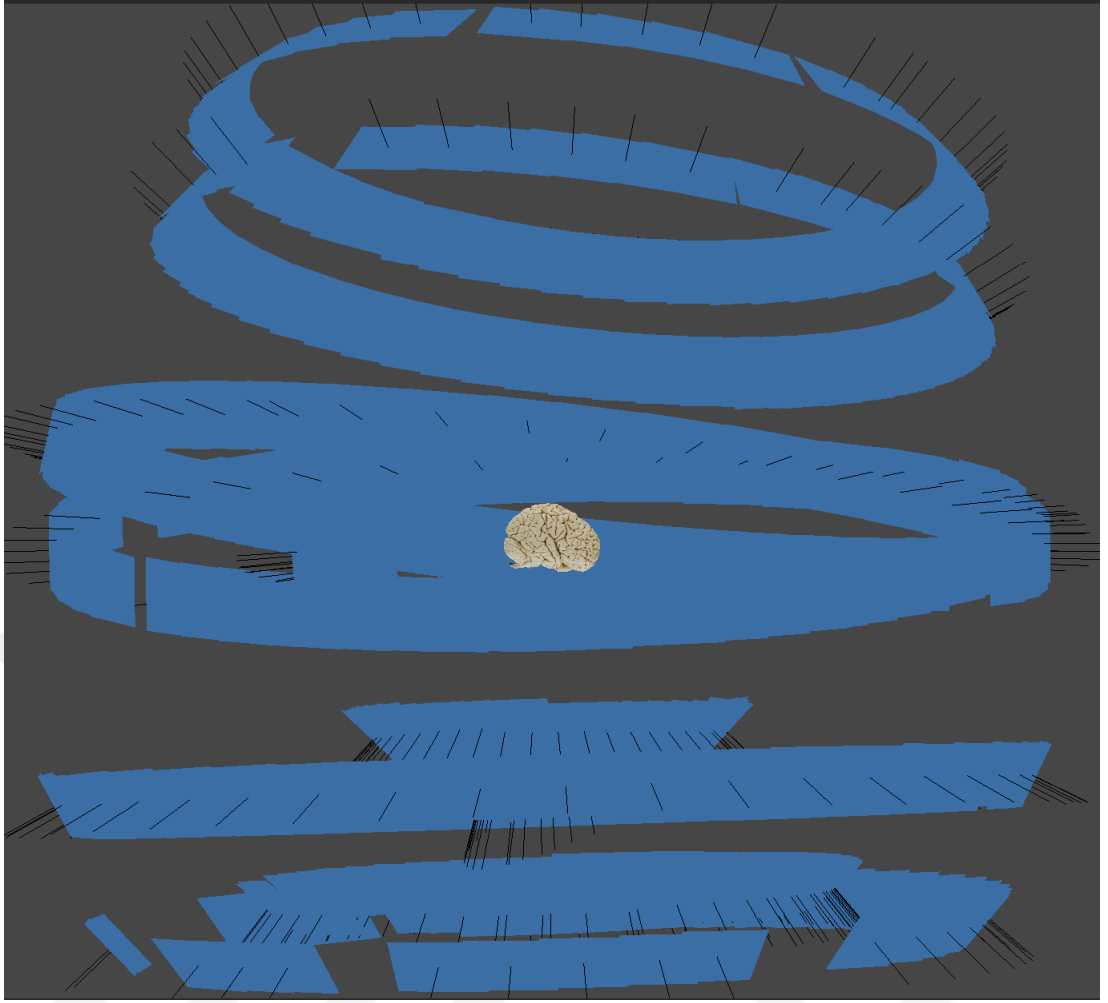
Tripod üzerine güvenli bir şekilde sabitlenen kamera yatay konuma ayarlandı. Görüntü formatı olarak RAW ayarlandı. iPad Pro, 11 inç (3. nesil) (Apple Inc.) kullanılarak foldio360 (ORANGEMONKIE, INC) uygulamasında döner tablanın döngü başına 48 çekim ile 7.5° açıyla saat yönünde dönmesi moduna ayarlandı. DSLR modunda, fotoğraf çekiminin zamanlaması döner tablanın dönüşünden 2 sn ertelemeli olacak şekilde ayarlanarak hem dönüş nedenli fotoğraflarda titreşim izlenmeyerek stabil bir görüntü elde edildi, hem de bu

ertelemeyeyle 1/64 güçte harici kamera flaşına soğuma süresi tanınarak güvenliği sağlandı. (Resim 3.2) Resimde gösterilen ekranda turuncu yuvarlak butona basılarak verilen komutla döner tabla ile uzaktan kumandalı (remote) moda ayarlı kameranın çalıştırılması sağlandı. Kullanılan spesimenin tipine bağlı olarak odak değiştirilmesi gerektiğinde komut durdurularak spesimenin farklı kısımlarına odaklanıldı. Bu şekilde tur başına en az 48 adet olarak planlanan çekim sayısından daha fazla fotoğraf elde edildi.



Resim 3.2: Soldaki resimde iPad Pro’dan alınan ekran görüntüsünün üst kısmında foldio360 uygulamasında kullanılan kameranın markası ve uzaktan kumanda modu çeşidi “NIKON-1” seçili olduğu görülmektedir. Sol altta “2x” ile döner tablanın dönüş hızı, yanında “48” ile tam bir turda çekim sayısı görülmektedir. Sağdaki DSLR modunda, çekim zamanının döner tablaya göre 2 sn ertelemeli olduğu ifade edilmektedir.

Fotoğraflar spesimenin etrafında üç yörünge düzleminde elde edildi: yatay (0°), +30° ve +60°. Gerektiğinde tripod yüksekliği korunarak daha dik açılarla yakın mesafeden daha detaylı ek fotoğraflar çekildi. (Resim 3.3)



Resim 3.3: Resimde mavi renkte görülen dikdörtgen şeklindeki çerçeveler fotoğrafları ve uzaysal konumlarını temsil ederken, siyah oklar fotoğrafların modele göre açılarını göstermektedir. Merkezde ise 3B model izlenmektedir.

Fotoğraf stüdyosunun içerisi çok sayıda ışık kaynağı nedeniyle ısınması, modellerin organik yapısı ve yerçekiminin etkisiyle zaman geçtikçe gözle görülür olmasa da spesimenin mevcut pozisyonunda bozulmalar olabiliyordu. Bu durum da 3B modelleri düzenlerken hem uzun zaman harcamaya hem de gerçekçi anatomik görünümünden uzaklaşmaya yol açabiliyordu. Çekimlerin bu nedenle olabildiğince hızlı olması amaçlandı. Bazen çekime ara verilip modelin üzeri ıslatılarak modelin kararma ve bozulmalara karşı korunması amaçlansa da o anlık geçici çözüm yeterli olmadı. Modelin görünen yüzeyinin çekimi tamamlandıktan sonra spesimen mevcut duruşu korunacak şekilde dikkatli şekilde platformdan alınarak -20° dondurucuya kısa süreliğine konuldu. Bu şekilde görünmeyen yüzeyin fotoğraflanması sonrası nihai 3B modelde oluşabilecek bozulmaların en aza indirgenmesi amaçlandı. Yassı modeller ters çevrilerek, farklı şekilli modeller ise tabanları görünebilecek şekilde çevrilerek aynı çekim sıralaması tekrarlandı. Bu şekilde modelin tabanı da dahil olmak üzere tüm yüzeyleri görüntülenmiş oldu.

MSI MS-B912 (64 GB RAM, Intel® Core™i7-770K CPU @ 4.20 Ghz Windows 10 Pro (64 bit) NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti grafik kartı ile donatılmış bir sistem kullanılmıştır. SD kart yardımıyla bilgisayara aktarılan fotoğraflar için iş akışı aşağıda belirtilmektedir.

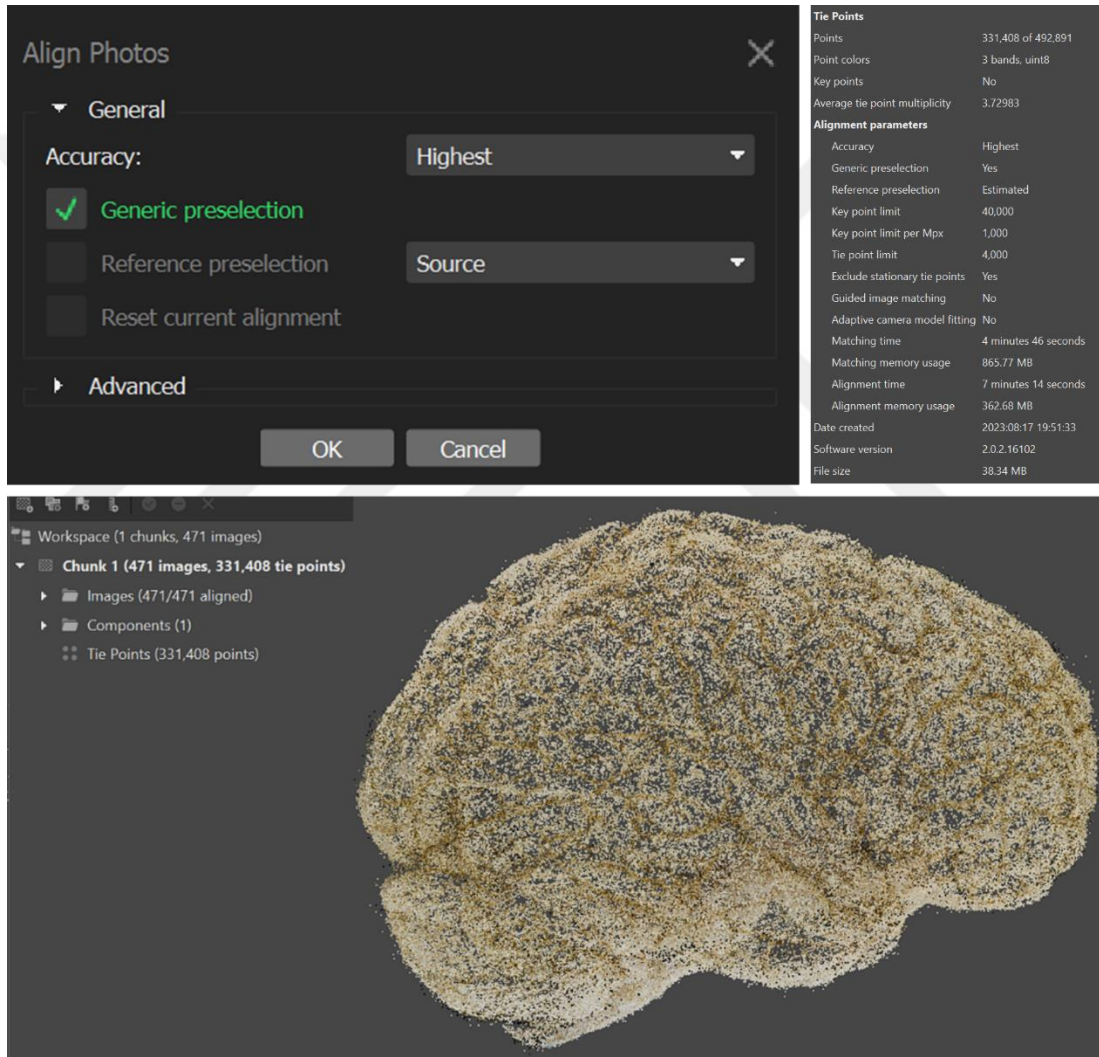
Her bir modelde bilgisayar üzerinden uygulanan prosedür sırayla;

- Modele ait görüntüler RAW formatında çekildikten sonra Adobe Photoshop CC 2021'a aktarılır.
- Her model için çekilen fotoğraflardan bulanık ve bozuk olanlar silindikten sonra Camera Raw uygulamasında pozlama, kontrast, açık tonlar, gölgeler, beyazlar, siyahlar, beyaz dengesi ve doygunluk açısından spesimenin gerçek renk ve dokuları ortaya çıkaracak ve arka planı maskeleyecek şekilde düzenlenir.
- Fotoğrafların “Yüksek Geçiş (High Pass)” filtresiyle netliği düzenlenerek JPEG formatında kaydedilir.
- Agisoft Metashape (Agisoft, Sürüm 2.0.2.16102) uygulamasına fotoğraflar eklenir.
- **“Workflow - Align Photos”** Eklenen fotoğraflar bu komutla hizalandırılır. Daha düşük doğruluk ayarları, kamera konumlarının kaba tahminini daha kısa sürede elde etmek için kullanılabilirken, daha yüksek doğruluk ayarları daha doğru kamera konumu tahminleri elde etmeyi sağlar. Yüksek doğruluk ayarında yazılım orijinal boyuttaki fotoğraflarla çalışırken, düşük doğrulukta kaynak dosyalar 16 kat küçültülerek süreci işletir. (84) En yüksek doğruluk ayarı, ilgili işlemin zaman alıcı olması nedeniyle ilk olarak düşük doğrulukla fotoğraflar hizalandırılıp daha az nokta ile fotoğraflar arasında uyum olup olmadığı değerlendirilir. Uyum saptanırsa eğer en yüksek doğrulukla hizalandırma yapılır.

Modelin bir tarafı fotoğraflandıktan sonra tersini çevirip görünmeyen diğer tarafı fotoğraflarken üst üste örtüşen kısımlar olacaktır. İki taraf için birleşim noktalarını Metashape otomatik olarak bulamazsa eğer manuel yolla denenebilir. Ancak biz bu yolu önermiyoruz. Yüzlerce fotoğrafta birkaç adet referans nokta oluşturup bu referans noktalarına göre tekrardan hizalamayı denemek tekrar fotoğraflamaktan daha uzun sürmektedir. Çünkü bazen seçtiğimiz referans noktalarına göre de hizalanma gerçekleşemeyebilmektedir. Bu nedenle bizce en yüksek ayarlarda hizalandırma gerçekleşmezse daha düşük ayarlarda denenir, ancak yine de olmazsa tekrardan fotoğraflamak gerekmektedir.

Gereklik halinde kamera optimizasyonu yapılmalıdır. Ancak çalışmamızda turntable ve tripod gibi sabit materyallerle çalıştığımızdan dolayı böyle bir ihtiyaç gelişmedi.

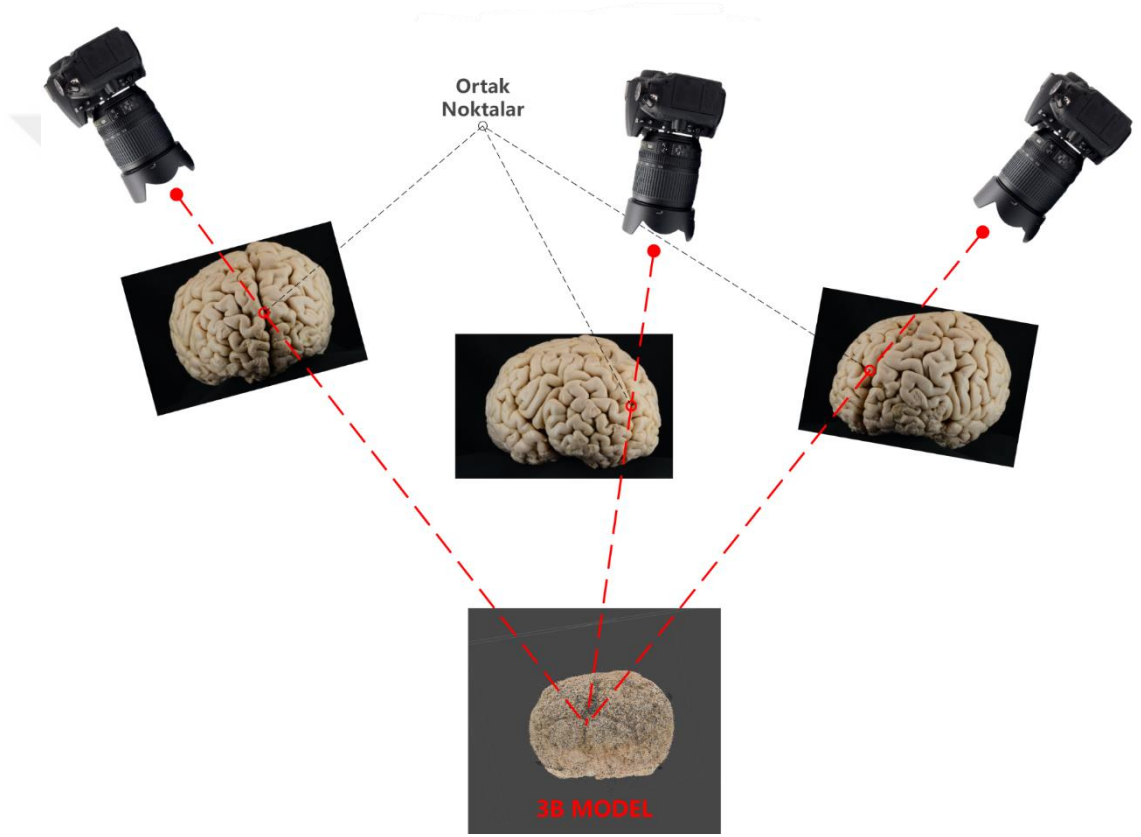
Fotoğraflar arasındaki benzerlik en az %70 oranda olmalıdır. Aksi halde noktaların birleşmesi ve onların üzerine doku giydirilmesine dayanan bu teknikte elde edilen model gerçekçi görünümünden uzak olacaktır. (5) Döner tabla ile görüntülerin en az 7.5° açıyla ardışık biçimde çekilmesiyle fotoğraflar arasındaki benzerlikler mevcuttur. Sonuç olarak fotoğrafların ortak noktalarından oluşan birleşim noktalarını (tie points) içeren seyrek yapıda uzamsal 3B nokta modeli oluşturulur. (85) (Resim 3.4)



Resim 3.4: Sol üstte fotoğrafları hizalandırma ayarları görülmektedir. Sağ üstte örnek model hizalandırıldıktan sonra ayrıntılar izlenmektedir.

471 fotoğraf için örnek modelde 331.408 adet birleşim noktası elde edilmiş ve bu süreç 12 dakika kadar sürmüştür. Altta Metashape çalışma alanı görülmektedir. Solda 471 fotoğrafın tamamının hizalandığı; bulanık, anlamsız veya diğer noktalarla ilişkisiz bir fotoğrafın olmadığı anlaşılmaktadır. Sağda bu birleşim noktalarının modelini temsil eden bir önizlemesi görülmektedir.

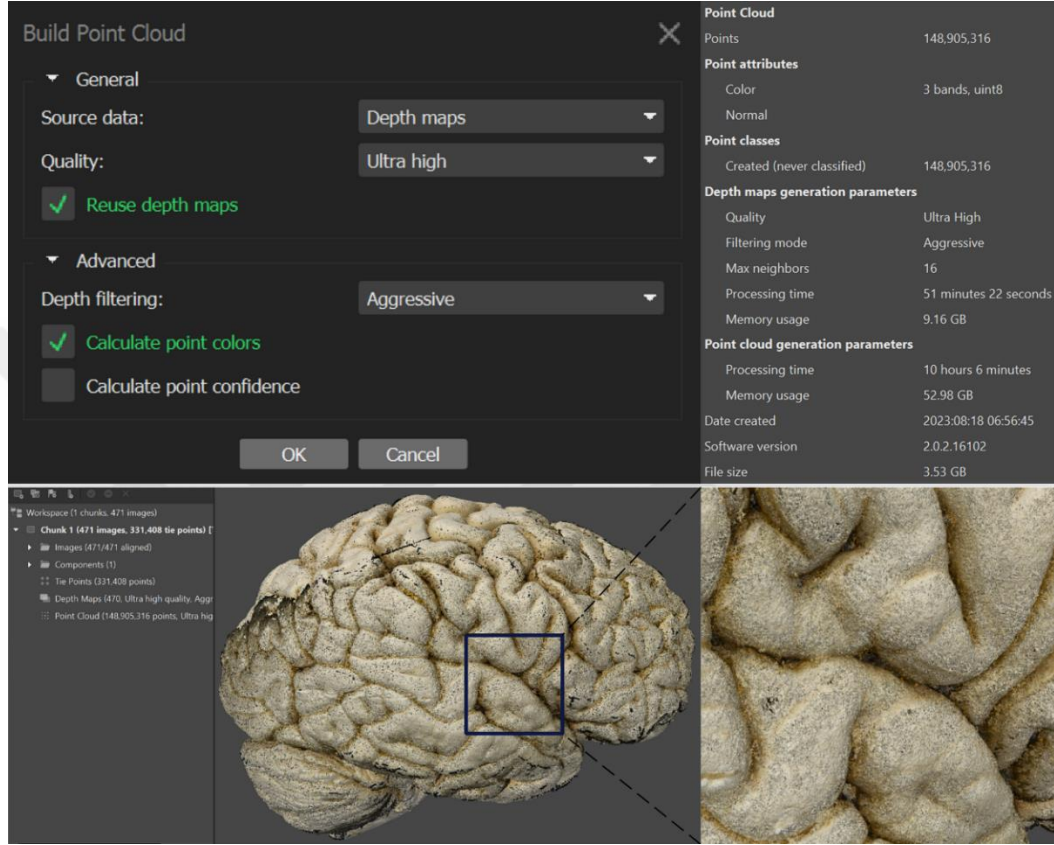
- **“Workflow - Build Point Cloud”** Nokta bulutu, ardışık fotoğraflardan stereo eşleştirmeyele hesaplanan derinlik haritalarına dayanmaktadır. Derinlik haritaları, fotoğraftan fotoğrafa geçerken göreceli dıştan ve içten yönelim parametreleri dikkate alınarak örtüşen görüntü çiftleri ile hesaplanır. Her fotoğraf üzerinden kamera için üretilen çoklu çift derinlik haritaları birleşik derinlik haritasında birleştirilir. Her kamera için üretilen birleşik derinlik haritaları kısmi nokta bulutlarına dönüştürülür ve bunlar daha sonra örtüşen bölgelerde nihai bir nokta bulutunda birleştirilir. Nihai nokta bulutundaki her nokta için koordinatlar (x,y,z) elde edilir.(84) (Resim 3.5)



Resim 3.5: Yukardaki diyagramda rastgele üç farklı fotoğraftan tahmini bir nokta referans alınarak 3B modeldeki yeri gösterilmektedir. Her açıdan çekilen fotoğrafların örtüşmesiyle elde edilen derinlik haritalarının birleştirilerek nihai nokta bulutu oluşur.

Derinlik haritalarının (depth maps) oluşturulmasında ayrıntılı ve doğru geometri elde etmek için en yüksek kalite ayarları kullanılabilir, ancak işleme için daha uzun süre gerektirirler. Buradaki kalite parametrelerinin yorumlanması, Fotoğraf Hizalama bölümünde verilen doğruluk ayarlarına benzer. (84)

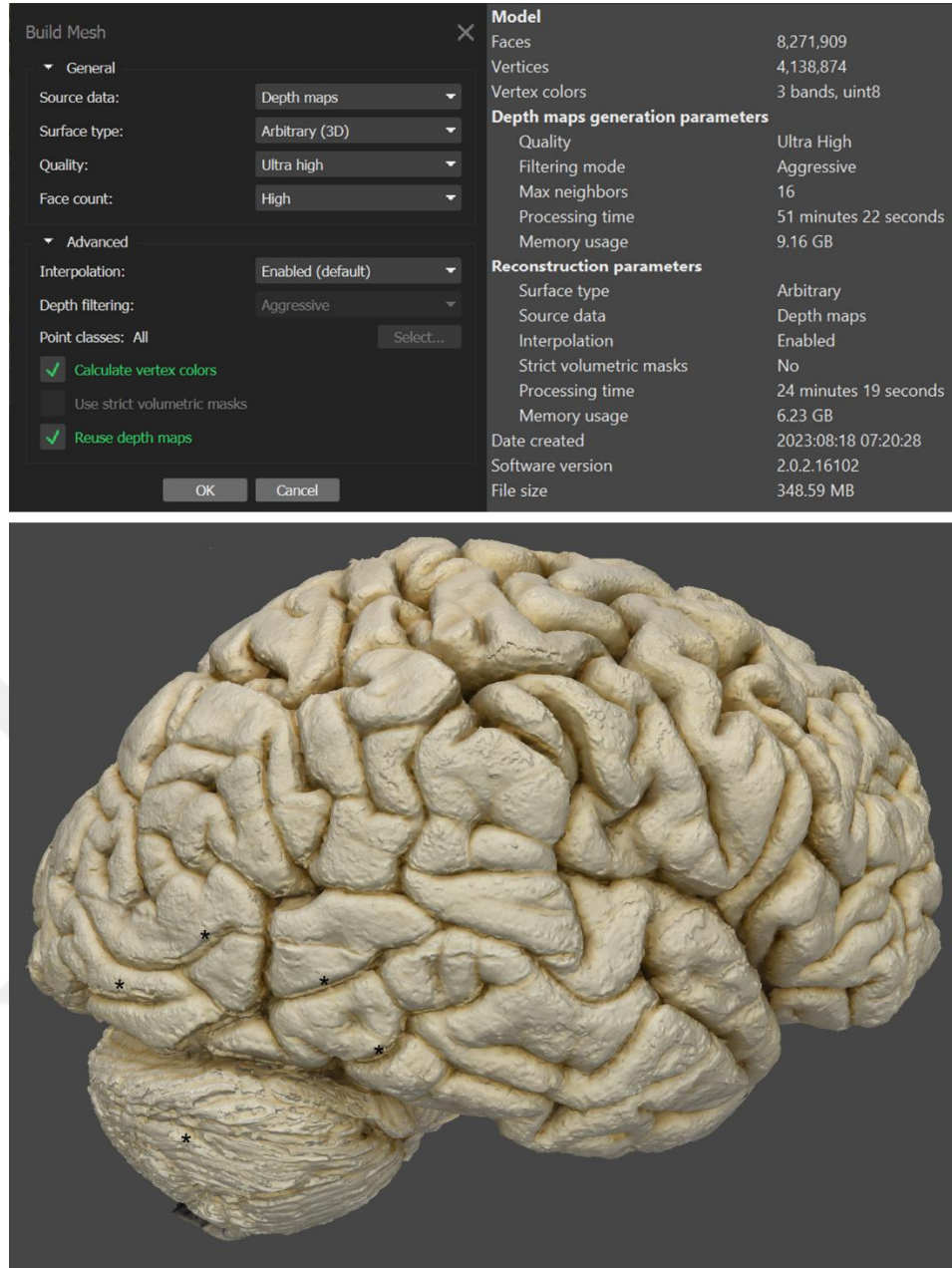
Nokta bulutu oluşturma aşamasında Metashape, her görüntü için derinlik haritaları oluşturur. Gürültülü veya kötü odaklanmış görüntüler gibi faktörler nedeniyle, noktalar arasında bazı aykırı değerler olabilir. Aykırı noktaları ayıklamak için Metashape, yerleşik filtreleme algoritmalarına sahiptir.(84) Biz  alışmamızda aykırı değerlerin çoğunu ayıklamak için Aggressive derinlik filtreleme modunu seçtik. (Resim 3.6)



Resim 3.6: Sol üstte nokta bulutu oluşturma ayarları görülmektedir. Sağ üstte örnek modelin nokta bulutu oluşturulduktan sonra ayrıntılar izlenmektedir.

Fotoğraflardan elde edilen derinlik haritalarıyla 148.905.316 adet noktadan oluşan nokta bulutu oluşmuştur. Agisoft Metashape'deki en uzun olan bu süreç 64 GB RAM'lık bilgisayarın belleğini 52.98 GB işgal etmiş ve buna rağmen 11 saat kadar sürmüştür. RAM miktarı daha düşük bir bilgisayarda daha uzun süreler öngörülmektedir. Altta Metashape  alışma alanında örnek model için 470 adet derinlik haritası oluştuğu görülmektedir. Sağda milyonlarca noktadan oluşan nokta bulutu ve  er eve içerisinin yakınladıştırılmış hali izlenmektedir. Orta resimdeki örnek modelde siyah görülen noktalar iki taraflı fotoğraflama kaynaklı örtüşme artefaktları olup modellenme sonrası artefakt görünümü devam ederse Blender uygulaması yardımıyla düzeltilebilmektedir.

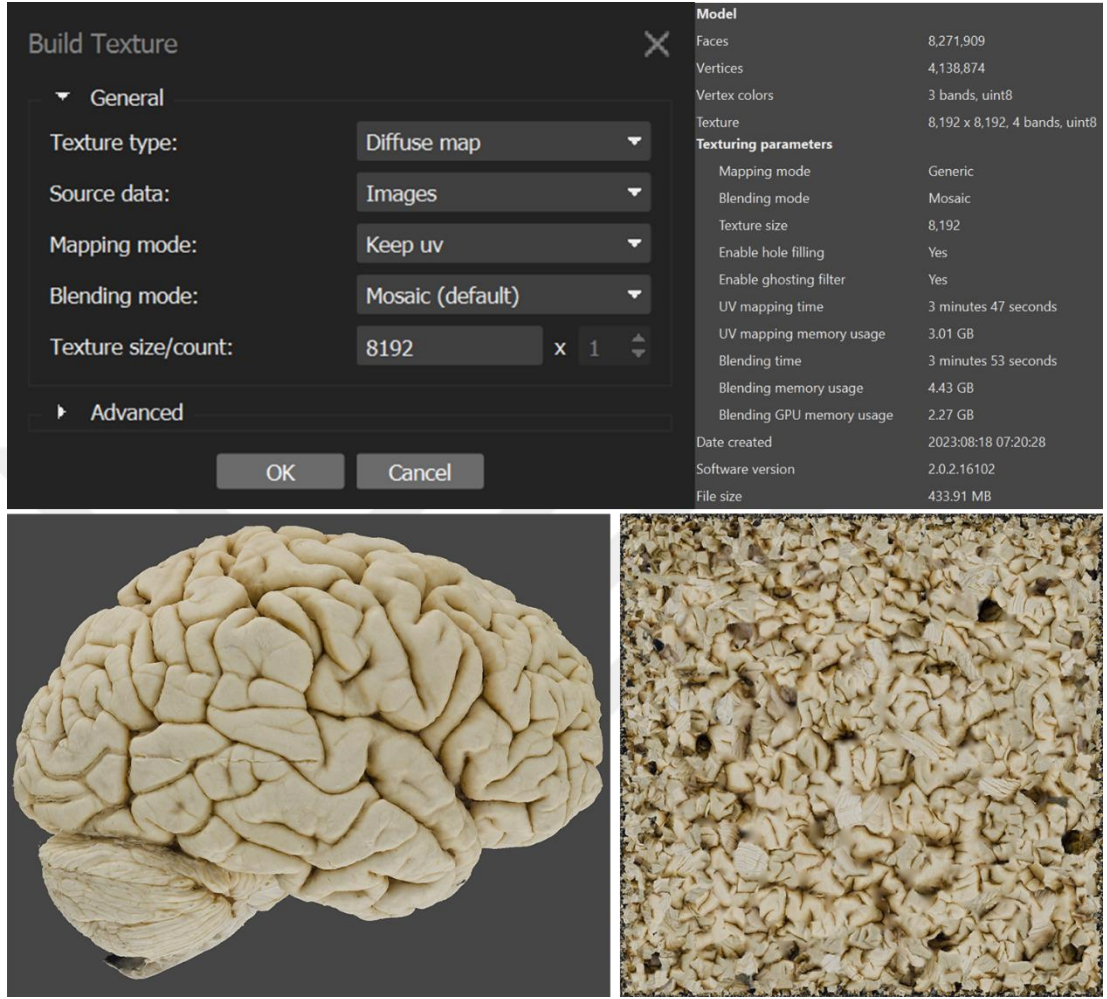
- **“Workflow - Build Mesh”** En yüksek resim kalitesi ve yüksek sayıda yüzey alanı seçilerek verilen komutta mevcut milyonlarca nokta bulutu bilgilerine ve derinlik haritaları verilerine dayalı olarak poligonal ağ modeli (mesh) oluşturulur. Nesne dışında kalan platform veya arka plan yüzeylere ait veriler nokta bulutu veya mesh model üzerinden silinir. (Resim 3.7)



Resim 3.7: Sol üstte poligonal ağ modeli (mesh) oluşturma ayarları görülmektedir. Sağ üstte örnek modelin poligonal ağ modeli (mesh) oluşturulduktan sonra ayrıntılar izlenmektedir.

En yüksek ayrıntı düzeyine sahip bir ağ modeli için uygun sayıda üçgen yüzeyler sunar. Kaynak nokta bulutundaki noktaların sayısına göre yüksek ayarlarda sayısal olarak bu oran $1/5$ 'tir.⁸⁴ Yüzeylerin hepsi üçgen yapıda olduğundan bu oran $1/15$ olarak ifade edilebilir. Örnek modelde 148.905.316 adet noktadan oluşan nokta bulutundan 8.271.909 adet yüzey (faces) ve 4.183.875 adet köşe (vertices) elde edilmiştir. Bu süreç 76 dakika kadar sürmüştür. Altta örnek modelin poligonal ağ modeli hali izlenmektedir. Modele ait farklı derinlikte ve yükseklikte sulcal ve gyral yapılar gözlemlenebilmektedir. Occipital ve serebellar bölgede gyral yapıların alt kısmında ve sulcularda görülen çift çizgi (*) iki taraflı fotoğraflama kaynaklı örtüşme artefaktlarıdır. Nihai 3B modelde bu görüntüler basit pürüzler olarak görülmekte ve Blender uygulaması üzerinden orijinalliği bozulmadan düzeltilebilmektedir.

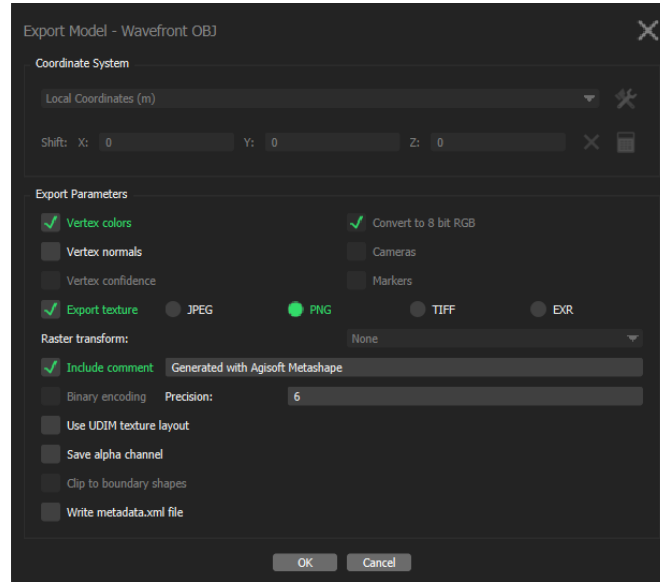
- “**Workflow - Build Texture**” Metashape’teki son aşama olarak 3B modelin hizalanmış görüntülerine dayalı olarak her yüzeyin renginin belirlendiği bir renk doku haritası (texture) oluşturulmasını sağlar. (Resim 3.8)



Resim 3.8: Sol üstte renk doku haritası (texture) oluşturma ayarları, sağ üstte ise örnek modelin renk doku haritası (texture) oluşturulması sonrası ayrıntılar izlenmektedir. Bu süreç 7 dakika kadar sürmüştür. Sol altta örgü yapısının üzerine doku haritası giydirilmiş şekilde modelin son hali görülmektedir. Sağ altta 8192x8192 rezolüsyonda modelin doku haritası izlenmektedir. Daha sonrasında istenildiği takdirde daha küçük veya büyük rezolüsyonlarda düzenlenebilmektedir.

- Metashape’in modeli dışa aktarırken desteklediği sık kullanılan formatlar bunlardır; Wavefront OBJ (*.obj), 3DS file format (*.3ds), STL models (*.stl), Autodesk FBX (*.fbx), Binary glTF (*.glb).

Biz çalışmamızda model kalite kaybının en az olduğu ve material(.mtl) ile doku (texture) dosyalarını ayrı dosya olarak dışa aktarabildiğimiz ***.obj-** formatını seçtik. ***.obj** formatında diğer formatlara göre daha büyük dosya boyutu görülmektedir. Dokuyu dışa aktarırken resim kalitesinden ödün vermeyip kayıpsız veri sıkıştırılmayı desteklediğinden dolayı ***.png-** formatını seçtik. (Resim 3.9)



Resim 3.9: Modeli dışa aktarırken *-.obj-* formatı seçilmesi halinde resimdeki pencere bizi karşılamaktadır. Doku haritasını bağımsız olarak dışa aktarırken sunulan seçeneklerden *-.png-* seçilmiştir.

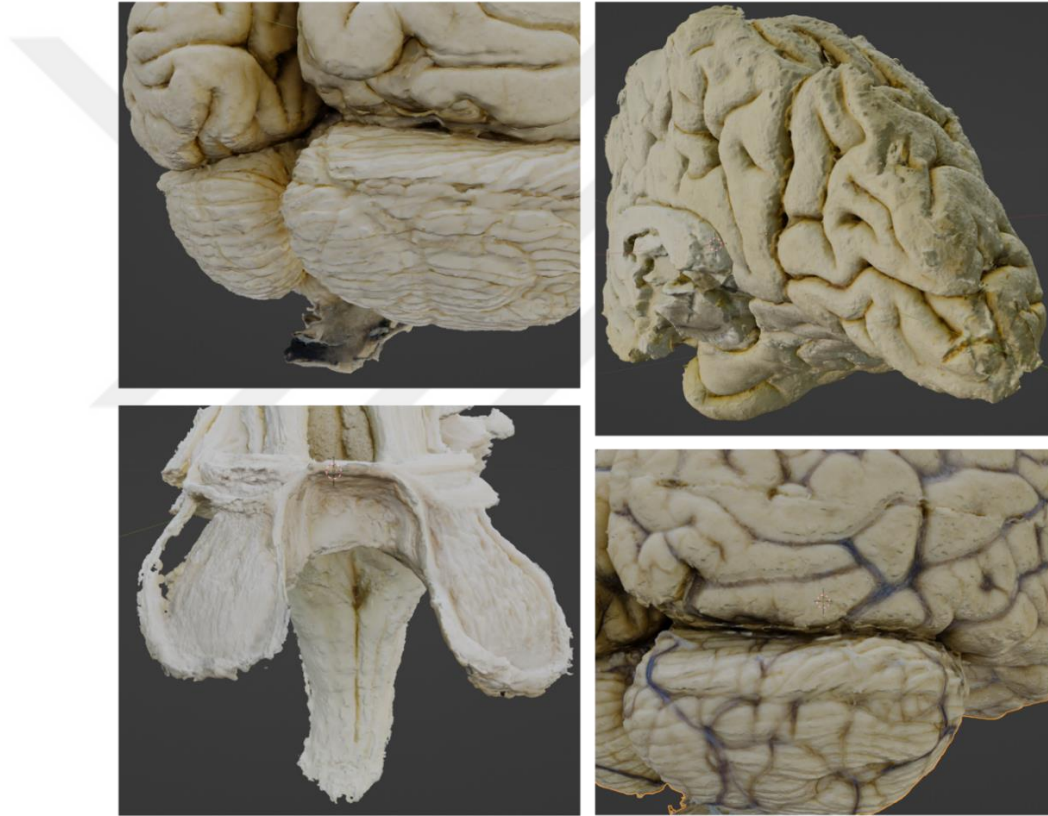
- Blender uygulaması açıldıktan sonra Dosya > İçe Aktar > Wavefront (.obj) komutlarıyla model çalışma alanına yüklenir.
- 3B model çalışma alanının merkezine alınıp çevir komutuyla x,y,z ekseninde anatomik duruşa uygun biçimde pozisyonlanır. “Layout > Nesne Kipi”
- 3B model dışında kalan nokta bulutu veya mesh yapısı varsa kontrol edilir ve silinir. “Layout > Düzenleme Kipi”

Spesimenler organik yapıya sahip olduklarından fotoğrafı alma aşamasında zaman geçtikçe ilk konumları korunamayabilir. Işık kaynakları nedeniyle platformun içerisinde ısıtılması, yerçekimi ve döner tablanın titreşimi gibi dış etmenler pozisyonel kaymalara yol açabilir. Beyin sapı, disseke edilmiş serebrum veya serebellum gibi spesimenler hafif ve küçük yapılar içerdiğinden ısıdan daha erken etkilenmektedir. Bu tip spesimenlerde daha erken pozisyon kaybı izlenmektedir. Hemisfer gibi oval yapıdaki spesimenler, F29 diyafram açıklığında fotoğraflanmasına rağmen makro çekim yaptığımızdan dolayı odak dışında kalan derin alanlarda bulanıklık görülmektedir. Bu nedenle her fotoğrafta ayrı bölgeleri odaklayıp bu durumu en aza indirmeye çalışsak da özellikle frontal pol gibi sivri alanlarda yeterli miktarda nokta bulutu oluşmadığından kaymalar görülmektedir.

Derin diseksiyon yapılmış bölgeler gibi ışık az düşen alanlarda ve küçük veya ince dokuları içeren spesimenlerde nokta bulutu bu bölgelerde diğer bölgelere oranla daha az sayıda oluşmaktadır. Bu durumun akabinde ağ örgüsü oluşurken

üçgenlerin yoğunluğu az sayıda ve aynı bölgede olacağından modelin o alanı üç boyut yapısına daha az benzeyecektir. Bundan dolayı ya düz bir fotoğraf gibi ya da anlamsız girinti çıkıntılar şeklinde izlenecektir. Biz bu tür durumlar için yüksek platform, platform içinden geçen iğneler, aralıklı dondurma, platformun manuel ve daha yavaş çalıştırılması gibi yöntemler denesek de bazı modellere baktığımızda sulcularda veya gyruslarda çift çizgi, bozulma, kayma gibi modelin orijinal görüntüsüne göre bozulmalar izlenebilmektedir.

- Layout > Yontma Kipi bölümünde Draw, Clay, Inflate, Blob, Smooth, Flatten, Fill, Pinch, Grab, Elastic Deform, Snake Hook adlı fırçalar yardımıyla orjinale uygun biçimde düzenlemeler yapılır. (Resim 3.10)



Resim 3.10: Rastgele seçtiğimiz üç boyutlu modellerde düzenleme yapılmadan önce artefaktlar örneklerle gösterilmektedir.

(Sol üstte) Tam beyin modelinde occipital bölge ve serebellumda kaymalar görülmektedir. Ayrıca beyin sapında doku haritasının oluşmadığı siyah alan izlenmektedir. (Sağ üstte) Hemisfer modelinde frontal uç kısımda örtüşme artefaktı nedeniyle girintili çıkıntılı alanlar görülmektedir. (Sol altta) Dentat nükleusların ve dördüncü ventrikülün izlendiği modelde, döner tablanın dönüş hızını yavaşlatmamıza rağmen modelin küçük ve hafif olması nedeniyle çok sayıda artefakt görülmektedir. (Sağ altta) Araknoidi korunmuş tam beyin modelinde sağ occipital bölgede çift çizgi ve gyral bölgede kabarıklıklar izlenmektedir. Bu dört ayrı örnekte verilen artefakt çeşitleri tüm modellerimizde izlenebilmektedir. Modellere Blender uygulamasında orijinal görüntüyü koruyacak biçimde düzenlemeler yapılabilmektedir.

- Dokularda bozulmalar olduğu gibi renkte de bozulmalar görülebilmektedir. Texture Paint > Doku Boyama bölümünde Clone fırçasıyla renkteki bozulmalar düzeltilir.
- Modelin .png formatlı texture dosyası Photoshop uygulamasında netlik, parlaklık, kontrast ve doygunluk düzenlemesi yapıp kaydedilir. Ayrıca Sketchfab platformuna yükleme amaçlı daha küçük boyutta bir dosya formatı olan .jpg formatında da ayrıca kaydedilir.
- Modelin dosya boyutu Sketchfab Premium'a uygun olabilecek şekilde maksimum 500 MB olabileceğinden Add Modifier > Decimate sekmesinden üçgen sayısı azaltılarak dosya boyutunda düşülmeye gidilir. Önceden farklı kaydedilmiş .jpg formatındaki texture dosyası boyutu düşürülmüş model üzerine işlenerek ayrıca kaydedilir. Modelleri tüm dünyadan ve her cihazdan online olarak inceleyebilmek için bu ödünü vermek gerekmektedir.
- Üç modelde taban modellemesi oluşturulmadığından 3D Builder uygulamasında spesimene uygun silindirik taban oluşturularak .obj formatında kaydedildi.
- Sonuç olarak spesimenin gerçek boyutlu geometrik bilgiler içeren ve gerçek doku kalitesine yakın foto-gerçekçi 3B modelleri oluşturulur.
- Son halini alan model, texture ve material dosyaları Sketchfab adlı 3B modellerin paylaşılıp yayınlanabildiği platforma dosya halinde sıkıştırılarak aktarılır. Bu platform aracılığıyla modeller, akıllı cihazlar yardımıyla artırılmış gerçeklik (AR) ve Google Cardboard benzeri cihazlar veya HTC Vive Pro 2 gibi VR gözlükleri yardımıyla sanal gerçeklik (VR) olarak incelenebilme imkanına sahip olmaktadır.

4. BULGULAR

Modelleri ayrı ayrı tanımlayabilmek için kodlama gereği duyduk. Dört gruba ayırdığımız modellerde ilk rakam hangi tür modelin diseke edildiği, ikinci rakam spesimeni, üçüncü rakam ise diseksiyon aşamasını ifade etmektedir. (1.1.1) Diseksiyon açıklamasının sonunda o spesimenin kodu belirtilmektedir. Ayrıca her resmin sağ altında QR kod ile veya her modelin altında yer alan link ile modele online olarak ulaşabilir, modeli ve üzerindeki işaretlenmiş bölgeleri web sitesi üzerinden, AR veya VR ile incelenebilmektedir. Ek olarak, her modelin altında yer alan diğer link ile de modellerin üzerlerindeki işaretli yerlerin belirtildiği videolara ulaşılabilir.

Çalışmada kullanılan 29 adet model, 4 ana gruba ayrılmış ve her model kodlarla belirlenmiştir. Agisoft Metashape ile fotoğrafların taranıp model haline gelme süreci ortalama 15 saat 35 dakika 10 saniye sürmüştür. Bu süreye Photoshop ile fotoğrafların, Blender ile de modellerin düzenleme süresi de eklendiğinde ortalama 24 saat kadar sürmektedir. Modelleri elde etmek ve her açıdan en net görüntüyü elde etmek için ortalama 436 adet fotoğraf kullanıldı. Bu fotoğraflarla oluşturulan fotogrametri sürecinde oluşan nokta bulutundan ortalama 7.650.856 adet üçgen elde edildi. Agisoft Metashape ile elde edilen modellerin ortalama dosya boyutu 951 MB idi. Bu dosyalara 1 kb'lık material dosyası ve ortalama 60 MB'lık *.png formatında texture dosyasını da eklemek gerekmektedir. Bu nedenle biz de modelleri online platforma aktararak rahatlıkla oynatabilmek için kaliteden ödün vermek zorunda kaldık. Tüm texture dosyalarını *.jpg formatında kaydederek boyut küçülttük ve modellerin toplam dosya boyutunu <500 MB olacak biçimde düzenledik.

Tüm modellerin fotogrametrik işleme sürecinin sayısal özeti aşağıdaki Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Fotogrametrik İşlenme Sürecinin Sayısal Özet Tablosu

Spesimen No	Tarama süresi	Fotoğraf Sayısı	Üçgen Sayısı	Dosya boyutu	Küçültülmüş dosya boyutu
1.1.1	18:40:44	551	6.455.714	864 MB	429 MB
1.2.1	11:24:04	347	17.356.661	2287 MB	419 MB
1.3.1	34:10:54	515	12.090.183	1630 MB	482 MB
1.1.2	12:15:11	444	8.286.114	1124 MB	399 MB
1.1.3	11:41:21	471	8.271.909	1131 MB	456 MB
1.3.3	25:42:45	568	8.226.806	1181 MB	387 MB
1.1.4	19:24:59	482	9.523.866	1395 MB	452 MB
1.1.5	20:54:11	440	9.795.207	1325 MB	481 MB
1.1.6	23:44:05	488	10.668.974	1435 MB	395 MB
1.1.7	17:16:23	572	10.171.953	1373 MB	379 MB
1.1.8	24:55:12	402	11.072.652	1486 MB	409 MB
1.1.9	13:48:59	583	9.212.841	1261 MB	458 MB
2.1.1	11:41:34	432	4.738.964	646 MB	407 MB
2.2.2	7:53:19	331	3.799.000	544 MB	375 MB
2.3.2	13:22:48	350	12.400.965	1244 MB	402 MB
2.4.2	17:58:55	309	6.584.027	880 MB	408 MB
2.2.3	13:28:46	369	5.384.443	735 MB	463 MB
2.2.4	29:15:46	518	7.295.277	885 MB	449 MB
2.2.5	21:28:45	491	8.431.955	1133 MB	409 MB
2.2.6	17:28:42	523	7.491.608	977 MB	367 MB
3.1.1	8:51:40	387	4.268.684	877 MB	422 MB
3.2.2	14:22:50	363	4.736.272	652 MB	410 MB
3.1.3	7:30:59	346	4.459.641	578 MB	394 MB
3.1.4	6:24:54	332	6.959.995	841 MB	438 MB
3.1.5	12:54:20	547	5.622.372	765 MB	421 MB
3.1.6	15:31:36	503	4.770.894	656 MB	411 MB
3.1.7	5:00:24	305	2.167.153	331 MB	262 MB
3.1.8	9:22:33	331	3.476.180	452 MB	317 MB
4	5:23:22	343	8.154.513	1108 MB	441 MB
ortalama	15:35:10	436	7.650.856	951 MB	407 MB

4.1. TAM BEYİN MODELLERİ VE DİSEKSİYONU

Tam beyin modellerini ele aldığımızda beynin yüzeyel ve vasküler anatomisinde varyasyonlar mevcut olabildiğinden üç adet tam beyin araknoid diseksiyon yapılmadan önce modellendi. Sonrasında iki spesimen araknoid mater ve vasküler yapıları temizlenmiş biçimde fotoğraflanarak modellendi. Tam beyin modelleme aşamasında üst yüzeyi fotoğraflarken ek bir platforma gerek duyulmamışken, tabanını fotoğraflarken kameranın halka şeklindeki koruyucu kapağı platform amaçlı üzerine oturtularak kullanıldı. Gyralları yapıları ile kranyal sinirleri korunmuş ve dokusal açıdan diseksiyona en uygun olan spesimen seçilerek her aşamada ak madde diseksiyonu yapıldıktan sonra yüzeyel yapıların katılığından emin olunana kadar -20°C'de donduruldu.

Dokuz aşamada sol hemisferde lateralden mediale diseksiyonu yapılan tam beyin modellerini incelediğimizde;

4.1.1. Birinci Aşamada Araknoid Diseksiyonu Yapılmamış Üç Model İzlenmektedir. Araknoid Mater ve Altındaki Yapıların Araknoid Materle Olan İlişkileri İzlenmektedir.

1. modeli incelediğimizde sulcus ve gyruslar, üzerlerindeki vasküler yapılar, serebellar folialar ve vasküler yapıları, baskın yapıdaki sol vertebral arter, baziller arter ve dalları ile posterior dolaşıma girişleri, ön dolaşıma ait serebral arterler, pituitary stalk ve tüm kranyal sinirlerin araknoid mater ile olan ilişkileri izlenebilmektedir. Serebruma baktığımızda ise Trolard ve Labbe venleri ayırt edilebilmektedir. Spesimenin yapısı ve dokusu diseksiyona uygun olarak değerlendirilip bu spesimen üzerinden diseksiyon aşamaları devam edilmiştir. (Model 1.1.1) (Resim 4.1)

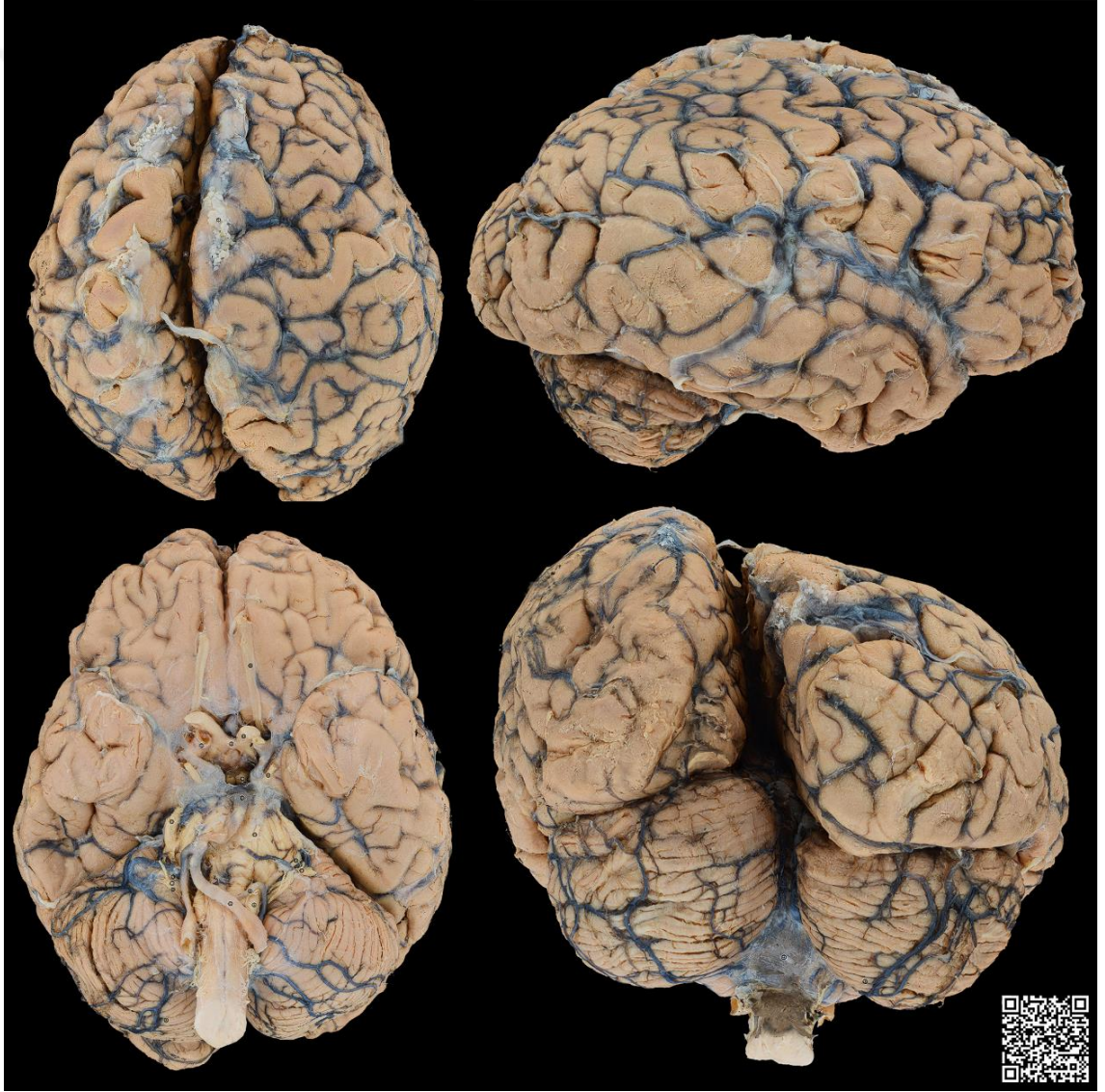


Resim 4.1: Model 1.1.1'in üstten, alttan, soldan ve arkadan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/111-ca5c61413e79483288cec0de30a11f14>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/tzuqcqvpz86cq3e/1.1.1.mp4?dl=0>

2. model alkol solüsyonda uzun süre aynı pozisyonda kaldığından dolayı sağ hemisfer tepe kısmında basıklık olmuştur. Ancak yüzeyel yapılar net biçimde izlenebildiğinden fotoğraflayıp modelledik. Spesimenin yıpranmış yüzeyel yapıları sebebiyle fotogrametri sonrası sol hemisferde bazı bozukluklar izlenmektedir. Spesimenin yamuk yapısı nedeniyle interhemisferik alan soldan net biçimde seçilebilmektedir. Ayrıca modele arkadan bakınca cisterna magnanın araknoid yapısı cerrahi bakış açısına sahip olma amaçlı gösterilmiştir. Vasküler yapılarda ve gyral yapılarda çeşitlilik olduğunu görmek ve varyatif yapılarını incelemek için modeller arasına konmuştur. Ancak bozuk yapısı sebebiyle diseksiyon için uygun bir spesimen olarak düşünülmemiştir. (Model 1.2.1) (Resim 4.2)

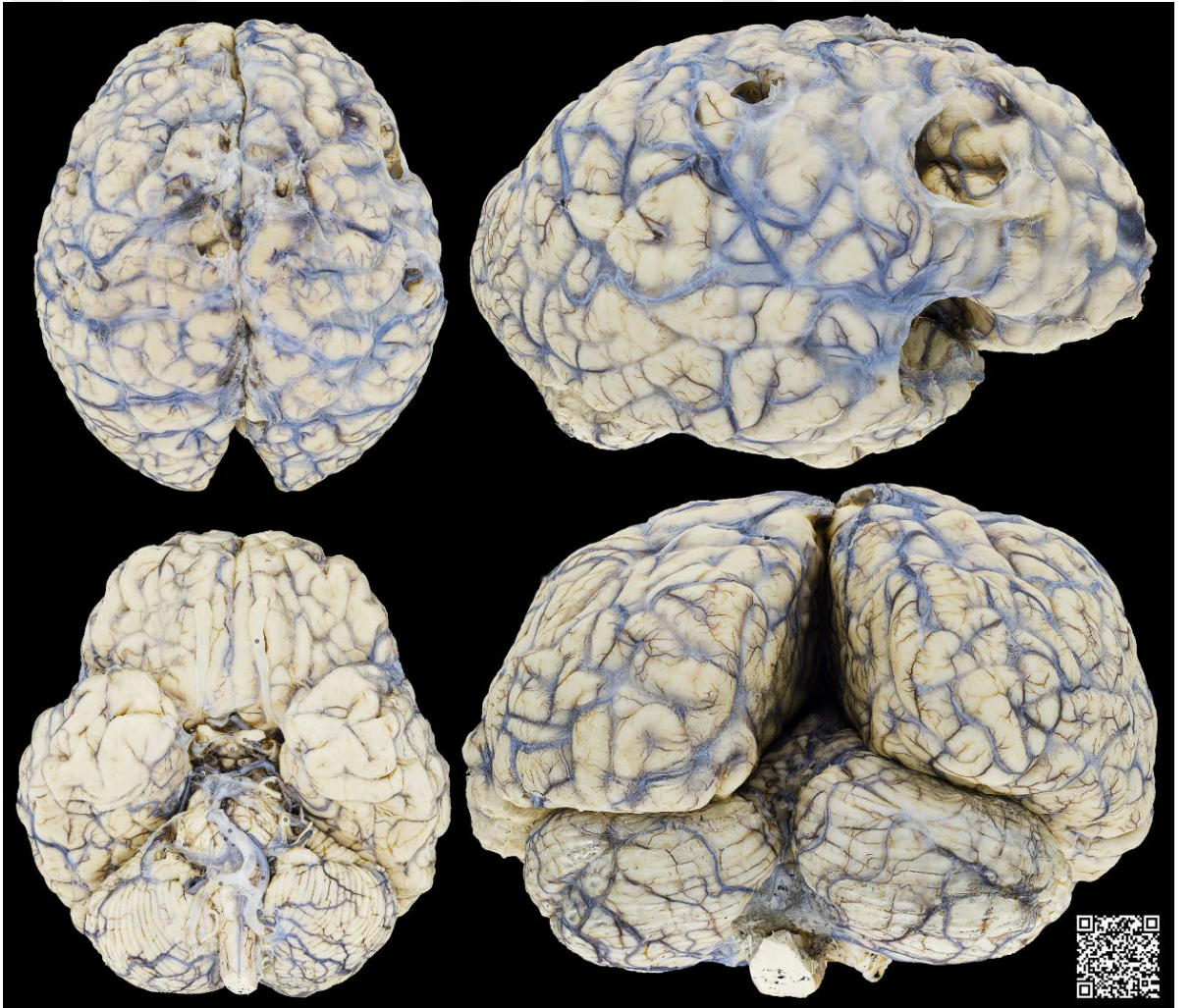


Resim 4.2: Model 1.2.1'in üstten, alttan, sağdan ve arkadan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/121-065af5307ad14372aef8d2ce0bebe469>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/xttvxsa838vkrtq/1.2.1.mp4?dl=0>

3. modelde sağ anterior sylviaanda araknoid kist nedeniyle araknoid mater izlenememektedir. Ek olarak her iki hemisferde çok sayıda ve farklı boyutlarda araknoid kist ve sağ frontalde yırtılmamış araknoid materin altında kist yapısı izlenebilmektedir. Araknoid kist nedeniyle anterior sylvian bölgede genişleme nedeniyle altında insula görölmektedir. Ayrıca multipl araknoid kistler nedeniyle sulcularda genişlemeler görölmektedir. Modeli tabandan incelediğimizde dolikoektazik baziler ve vertebral arterler ve dalları, ön dolaşıma ait internal serebral arter, anterior serebral arter, posterior serebral arter izlenmektedir. Modele arkadan bakınca ise cisterna magnanın araknoid zarı görölmektedir. Patolojik yapısı sebebiyle diseksiyon için uygun bir spesimen olarak düşünölmeyip modeller arasına konmuştur. (Model 1.3.1) (Resim 4.3)



Resim 4.3: Model 1.3.1'in üstten, alttan, sağdan ve arkadan görünüümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/131-a9c556c253a7466b8b040e0b6d9abdb0>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/jusecrbkdo1ssk6/1.3.1.mp4?dl=0>

4.1.2. İkinci aşamada seçilen spesimenin sol yarımının vasküler ve kranyal sinirleri korunarak hassas biçimde araknoid diseksiyonu yapıldı. Bu şekilde her iki hemisfer yarımında kranyal sinirler, vasküler yapılar, girus ve sulkuslar ve beyin sapı, araknoid yapılara göre karşılaştırılarak incelenebilmektedir. (Model 1.1.2) (Resim 4.4)

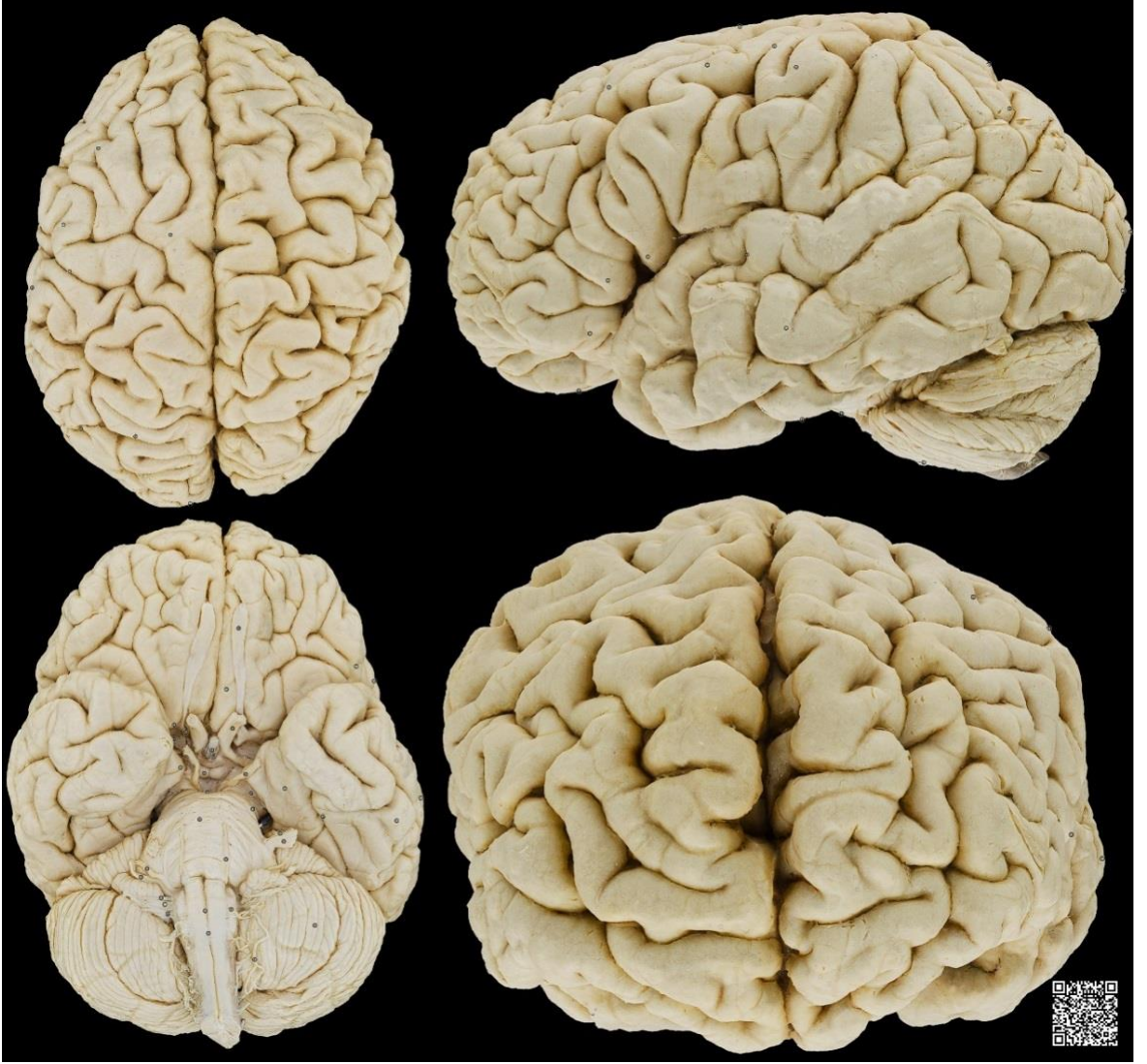


Resim 4.4: Model 1.1.2'nin üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/112-d6f4ced48cb34a528695a3617e18c35b>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/eo2nmz0zvp9zcckr/1.1.2.mp4?dl=0>

4.1.3. Üçüncü aşamada diseksiyona devam ettiğimiz modelde tüm araknoid ve vasküler yapılar diseke edilerek tüm sulcus ve gyrus yapılarının derinlik ve yükseklikleri, kranyal sinirlerin anatomik konumları ve komşulukları incelenebilmektedir. Anterior ve posterior perforating substance, corpus mamillare komşuluklarıyla izlenebilmektedir. Öte yandan ana gyrus ve sulkuslar isimlendirilmiştir. (Model 1.1.3) (Resim 4.5)



Resim 4.5: Model 1.1.3'ün üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/113-c08315862b8e47a280f9c948acfc2d79>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/w9hp5a3hfyfqp0r/1.1.3.mp4?dl=0>

Kistli model ise diseksiyon için uygun bir spesimen olarak düşünülmeyip kistlerin sulkal ve kortikal yapılara etkisini incelemek ve vasküler yapıları görme amaçlı araknoid ve vasküler diseksiyon yapılarak tekrardan modellendirilmiştir. Multipl araknoid kistler nedeniyle sulcularda genişlemeler görülmektedir. Optik kiazmanın önünde lamina terminalis gösterilmiştir. Interhemisferik alan spesimenin tepeden basık olması nedeniyle arası açılmış ve arkadan bakışta cuneus ve lingual gyrus belirtilmiştir. Ayrıca bu modelde cerebellar loblar da isimlendirilmiştir. (Model 1.3.3) (Resim 4.6)



Resim 4.6: Model 1.3.3'ün üstten, alttan, sağdan ve arkadan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/133-97a9495afb848278995e6b35a0a63b2>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/cz90qqf86aynvnk/1.3.3.mp4?dl=0>

4.1.4. Dördüncü aşamada sol hemisferde gyrus frontalis superior, superior parietal lobül, gyrus precentralis ve postcentralis, inferior ve superior occipital gyrus medialis, gyrus orbitalis, gyrus rectus ve gyrus parahippocampalis korunarak diğer yapıların u fiberları kaldırılarak modellendi. Motor kortekse yakın kısa

assosiasyon liflerinin derinliği dikkat çekmektedir. Modelin tabanından bakıldığında gyral ve sulcal yapılar isimlendirilmiştir. (Model 1.1.4) (Resim 4.7)



Resim 4.7: Model 1.1.4'ün üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/114-31cb80fad3bf4e1ea57fb80cbbb7d071>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/9hx50rsrbbor0zz/1.1.4.mp4?dl=0>

4.1.5. Beşinci aşamada gyrus precentralis belirleyici olması amaçlı korundu ve gyrus orbitalisin medialis ve gyrus rectus harici diğer bölgelerin kısa assosiasyon lifleri diseke edildi. Operculumda u fiberların kaldırılmasıyla altında insular korteks izlenmektedir. Gyrus frontalis superior ve superior parietal lobülün kaldırılmasıyla corona radiata lifleri izlenmektedir. Trigeminal sinir ve üstünde motor dalı anterolateralden, fasial ve vestibulocochlear sinir alt alta sulcus

bulbopontinustan terk ettiği gözlemlenebilmektedir. Medulla oblongataya geçince her iki lateralde oliva ve arkasında sulcus retroolivariisten beyin sapını terk eden glossofaringeus, vagus ve accessory siniri izlenmektedir. Spinal Accessory sinirinin sağda medullanın lateralinden yukarı doğru seyri izlenmektedir. Oliva ile pyramis arasında yer alan sulcus anterolateralisten hipoglossal sinirin beyin sapını terk ettiği gözlemlenebilmektedir. Anterior median fissürden aşağı doğru izlerken kortikospinal yolağın çapraz yaptığı yer olan decussatio pyramidum görülmektedir. (Model 1.1.5) (Resim 4.8)

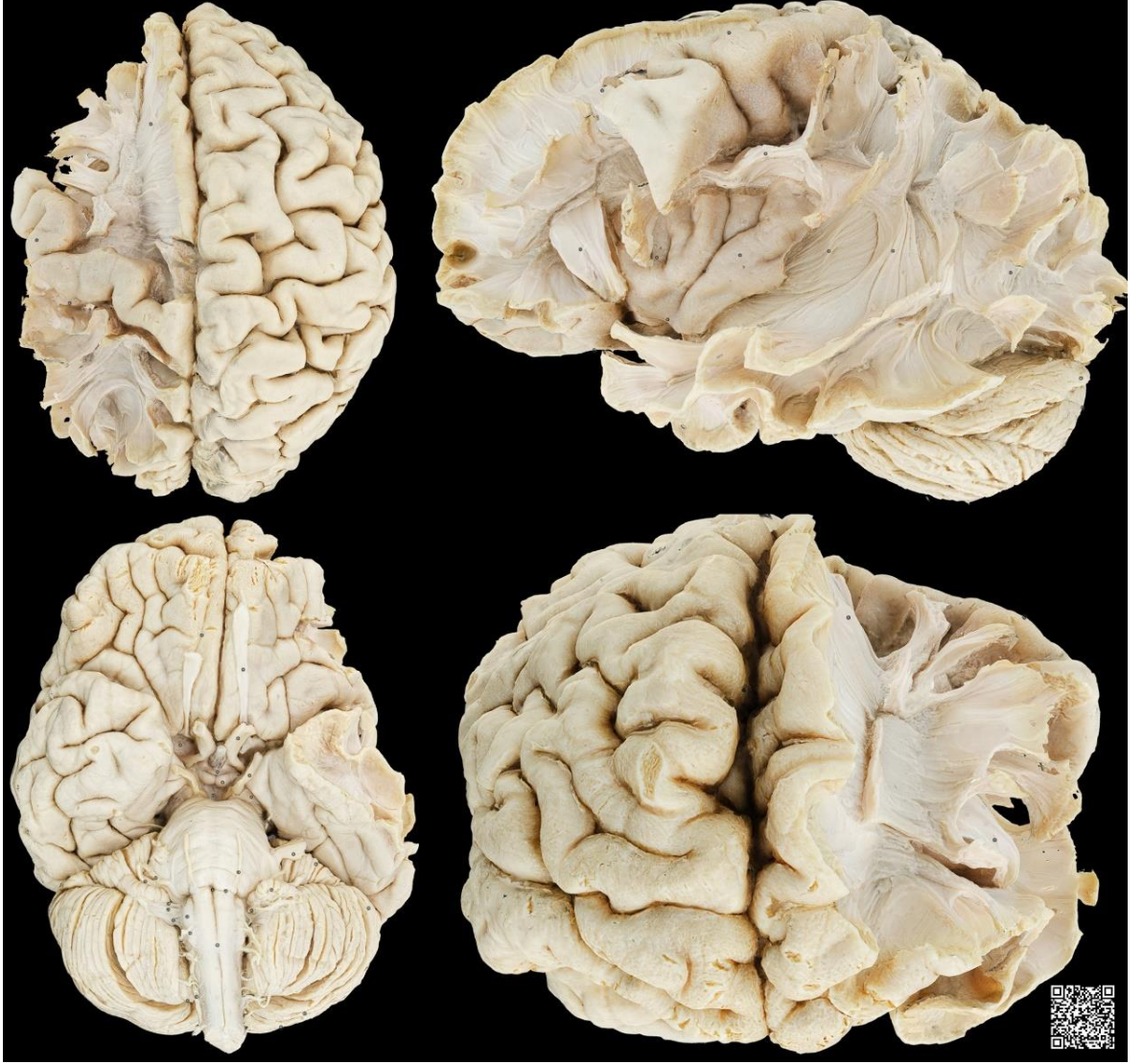


Resim 4.8: Model 1.1.5'in üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/115-3384b117c5e74622957e4acab01c0e22>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/qz99kcd4k2s75y8/1.1.5.mp4?dl=0>

4.1.6. Altıncı aşamada frontal ve parietal bölgede corona radiata lifleri ortaya çıkarılmış ve insulanın arkasında sagittal stratum ve arkuat fasikül izlenmektedir. Temporal bölge tabanına doğru inferior longitudinal fasikülün devamlılığı izlenmektedir. (Model 1.1.6) (Resim 4.9)



Resim 4.9: Model 1.1.6'nın üstten, alttan, soldan ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/116-b74ed01745394fd7873994d341ea7e56>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/wbfkq6vvdq5qot7/1.1.6.mp4?dl=0>

4.1.7. Yedinci aşamada u fiberların tamamıyla kaldırılmasıyla gyrus precentralisin hemen arkasında superior longitudinal fasikül ve devamlılığı arcuate fasikül izlenmektedir. Superior longitudinal fasikülün altında superior limitan sulcus insula ile sınır olarak belirlenmiştir. Altlarından corona radiata ve sagittal

stratum lifleri izlenmektedir. İnsular korteks, diseksiyonla ortaya çıkarılmış, kısa ve uzun gyrusları ve central sulcusu belirtilmiştir. İnsulanın kısa gyrisinin üzerinde frontal aslant tract korunmuş olarak izlenmektedir. (Model 1.1.7) (Resim 4.10)



Resim 4.10: Model 1.1.7'nin üstten, alttan, soldan ve posterolateralinden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/117-9d0de990c60149508ab6001b3bd6453a>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/4uzq3vr1azfh0fx/1.1.7.mp4?dl=0>

4.1.8. Sekizinci aşamada insular korteks, klastrum ve aralıklı olarak external kapsül kaldırılarak diseksiyon derinleştirildi. External kapsül aralıklı olarak izlenmekle birlikte altında putamen, frontooccipital fasikül ve uncinat fasikül seyri incelenebilmektedir. Superior longitudinal fasikül, arcuate fasikül ve inferior longitudinal fasikül izlenmektedir. (Model 1.1.8) (Resim 4.11)



Resim 4.11: Model 1.1.8'in üstten, alttan, soldan ve posterolateralden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/118-d4fae4473df049b392cc2d1bfa2d0a93>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/bv735asrpsfg9oq/1.1.8.mp4?dl=0>

4.1.9. Dokuzuncu aşamada sol hemisferde ak madde yollarının diseksiyonları sonrası ön yarımıyla corpus callosum lifleri, onun altında septum pellucidum ve solunda lateral ventrikül frontal hornu ve içinde koroid pleksus ön ve arka açıklıklardan izlenebilmektedir. Altında talamus, fornixin gövdesi ve ortada üçüncü ventrikül izlenmektedir. Lateral ve medial geniculate body ve pulvinar, altlarında colliculus superior ve inferior gözlemlenebilmektedir. Arkasından pineal bez ve colliculus superior ve inferior gözlemlenebilmektedir. Colliculus inferiorun altından trochlear sinirin çıkış noktası ve serebral pedinkülün

lateralinden öne doğru seyri izlenebilmektedir. Beyin sapı diseksiyonları derinleştirildikçe sağda daha net gözlemlenebilmekle birlikte her iki tarafta kranyal sinirlerin çıkış noktaları net biçimde ayırt edilebilmektedir. Optik sinir, kiazma ve optik trakt seyri izlenmektedir. Sağ hemisferden parahippocampal bölgenin kortikal yapıları isimlendirilmiştir. Anterior quadrangular lob ve vermis önünde colliculus inferiora da temas eden yer kaplayıcı lezyon görülmektedir. (Model 1.1.9) (Resim 4.12)



Resim 4.12: Model 1.1.9'un üstten, alttan, soldan ve arkadan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/119-7d3045fb2abd4e36931a608927501607>

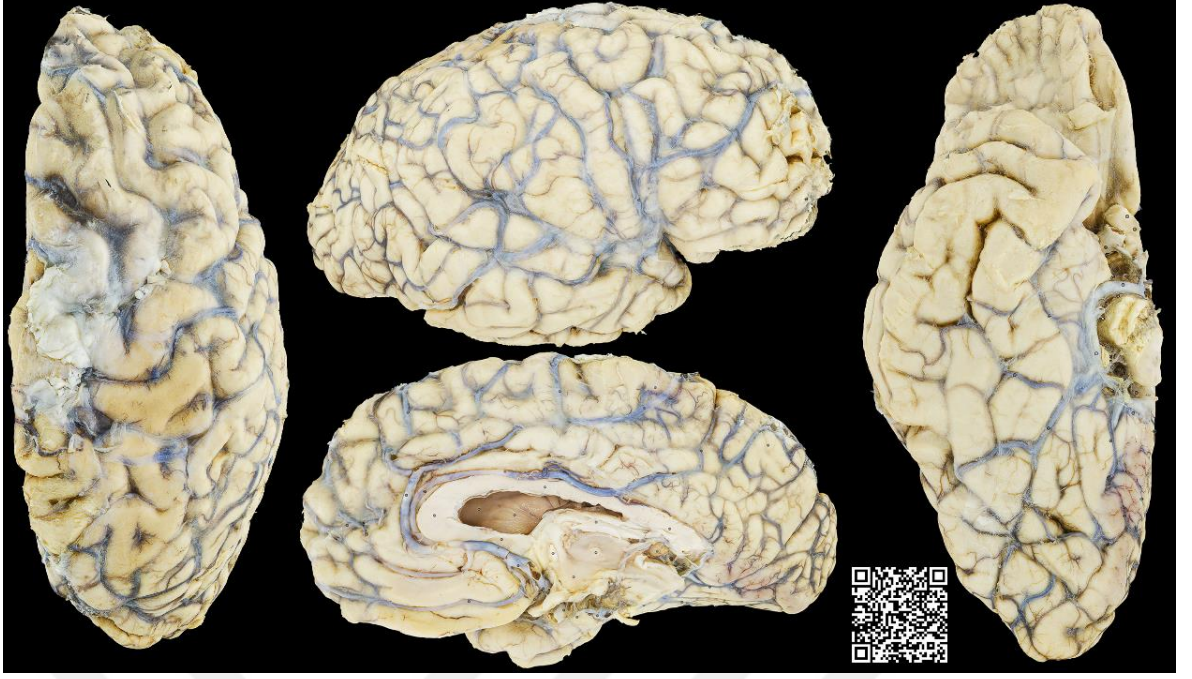
Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/8qe5r5jlt60q1yh/1.1.9.mp4?dl=0>

4.2. HEMİSFER MODELLERİ VE DİSEKSİYONU

Hemisfer modellerini ele aldığımızda beynin yüzeyel anatomisinde varyasyonlar mevcut olabildiğinden midsagittal kesiyle oluşturulmuş dört ayrı spesimenden kullandık. Araknoidli modelimizi sadece ilk aşamada kullandık. Diğer üç modelimizi ise araknoid diseksiyon yapıldıktan sonra modelledik. Diseksiyona devam ettiğimiz modelin araknoidli halinin modellenmemiş olması nedeniyle, ikinci aşamadan sonrasını modellendirilmiş olarak değerlendirdik. Hemisfer spesimenleri 10 cm yüksekliğindeki platform üzerinde iki yüzeyinden fotoğraflanarak modellendi. Tüm spesimenleri de modellerken frontal ve occipital polde yapısal bozulma ve renkte kaymalar görüldüğünden fotoğraflama işlemleri tekrarlanmış ve en iyi durumda olan modeller kullanılmıştır. Bu bölgedeki bozulmaların sebebi olarak, frontal ve occipital pol gibi odak derinliğinin fazla olduğu modellerde kameranın odak alanı göz önüne alındığında oluşturulan nokta bulutunun yetersiz miktarda olduğu düşünülmektedir. Tüm yüzeyleri inceleyebilmek için spesimenler farklı pozisyonlarda fotoğraflandığından, bu bölgelere düşen ışık şiddetinde farklılık izlenmektedir. Bu sebeple, bu bölgeleri fotoğraflarken manuel olarak farklı bölgeleri odaklayan çok sayıda fotoğrafla bu sorunun üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Dokusal açıdan diseksiyona en uygun olan spesimen seçilerek her aşamada ak madde diseksiyonu yapıldıktan sonra yüzeyel yapıların katılığından emin olunana kadar -20°C'de donduruldu.

Altı aşamada sağ hemisferde medialden laterale diseksiyonu yapılan hemisfer modellerini incelediğimizde;

4.2.1. Birinci aşamada araknoid diseksiyonu yapılmamış modelde sağ hemisferde araknoid materin altındaki dokularla ilişkisi incelenmektedir. Orta hat komşuluğundaki araknoid granülasyonlar görülebilmektedir. Lateralden bakışta middle serebral arter dalları ve venöz yapılar, medialden ve inferiordan bakışta sağ internal serebral arter, anterior ve posterior kommunikan arter, anterior ve posterior serebral arter dallarıyla birlikte beynin yüzeyel vasküler beslenmesi her yönüyle gözlemlenebilmektedir. (Model 2.1.1) (Resim 4.13)



Resim 4.13: Model 2.1.1'in üstten, alttan, medialden ve lateralden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/211-a9b701c4b33d44de8ffb21cb2ee931f3>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/2cq4xztyqzyky4w/2.1.1.mp4?dl=0>

4.2.2. İkinci aşamada tüm araknoid ve vasküler yapıları alınmış, diseksiyona devam edeceğimiz modelin tüm sulcus ve gyrus yapılarının derinlik ve yükseklikleri, corpus callosum ve tüm segmentleri, forniks, lateral ventrikül, lamina terminalis, anterior commissure, talamus, olfaktör ve optik sinir, optik kiazma, pineal bez izlenmektedir. Ayrıca colliculus superiordan crus cerebri boyunca çekilen kesiyle, mezensefalonda substantia nigra izlenmektedir. Tüm hemisferde yer alan ana gyrus ve sulcuslar isimlendirilmiştir. Ayrıca ventrikül içinde kaudat nükleusun kabarıklığı görülmektedir. (Model 2.2.2) (Resim 4.14)



Resim 4.14: Model 2.2.2'nin üstten, inferomedial ve inferolateralden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/222-cd2d69ed9a49467d81ab69d9795cba10>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/rf2mkjl5ibj8p8e/2.2.2.mp4?dl=0>

Diğer modelimiz ise araknoid diseksiyonu yapılmış, lateral ventrikülün ependimasi alınarak capsula interna ve caudat nükleus ortaya çıkarılmış; subkallozal alan, singulat ve subkallozal lifleri ortaya çıkarmak için çıkarılmıştır. Tüm kranyal sinirler, dorsal kökler, mamiller gövde ve korpus kallozum segmentleriyle gözlemlenebilmektedir. Aşağıya doğru indiğimizde yarım kesi sebebiyle posterior commissure, colliculus superior ve inferior, önde corpus mamillare ve yukarı doğru mamillotalamik tract, columna fornicis, önde anterior commissure izlenmektedir. Ayrıca arkada serebellumun vermis düzeyinden yarım kesisi nedeniyle içten bakışta lingula, santral lobule, culmen, declive, folium, tuber ve piramid olarak vermisin bölgeleri, altta tonsil, içte arbor vitae izlenmektedir. Bu modeli yarım kalmış bir diseksiyon materyali olduğundan ancak anatomik yapıları çok net biçimde içerdiğinden modelleyerek çalışmamızda bulundurma kararı verdik. (Model 2.3.2) (Resim 4.15)



Resim 4.15: Model 2.3.2'nin üstten, inferomedial ve inferolateralinden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/232-1b741c43e6314dc1811ad92c9ea4430a>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/0hnc3fq3bl0ver2/2.3.2.mp4?dl=0>

Bir diğer modelde ise, tüm sulcal ve gyral yapıların derinlik ve yükseklikleri, corpus callosum ve tüm segmentleri, lateral ventrikül, foramen Monro, lamina terminalis, anterior commissure, talamus, intertalamic adhesion, olfaktör ve optik sinir, optik kiazma ve tract izlenmektedir. Ayrıca tüm ana sulkal yapılar isimlendirilmiştir. Diseksiyona karar verdiğimiz modelin dokusu diseksiyona daha elverişli olarak değerlendirildiğinden ak madde diseksiyonu için diğer modeli kullanmaya karar verdik. Bu modeli de anatomik yapıları değerlendirmek açısından çalışmamızda bulundurma kararı verdik. (Model 2.4.2) (Resim 4.16)



Resim 4.16: Model 2.4.2'nin üstten, inferomedial ve inferolateralden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/242-cc72097314494e2b9c6ad4f679c59013>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/jwqvuo3ddxmcqg/2.4.2.mp4?dl=0>

- 4.2.3. Üçüncü aşamada parasantral lobül ve uncus korunarak u fiberlar kaldırılmıştır. Parasantral lobülün altında superior longitudinal fasikül ve ön kısmında daha derinde tapetum ve forceps major lifleri izlenmektedir. Cingular gyrus ve devamında anterior cingular korteksin diseksiyonu ile cingulum lifleri izlenmektedir. (Model 2.2.3) (Resim 4.17)



Resim 4.17: Model 2.2.3'ün alttan, medial ve posteromedial görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/223-6e1765491cc3413791f348605157a6dc>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/6wdckcehi1qj5b5/2.2.3.mp4?dl=0>

4.2.4. Dördüncü aşamada modele inferiordan baktığımızda ventrikül bölgesindeki ak madde yolları diseke edildiğinde ventrikülün posterior ve temporal hornu, atrium ve koroid pleksusu ortaya çıkarılmıştır. Posterosuperiorda tapetum ve forceps major lifleri, medialde hipokampus ve lateralde calcar avis izlenmektedir. Medial bakışta anterior commissure ve precommissural ve postcommissural fornix ve altta nucleus accumbens belirlemektedir. Altta inferior longitudinal fasikül beyin sapına doğru pulvinar ve fornix izlenmektedir. Lateralden baktığımızda superior longitudinal fasikül ve arcuate fasikül lifleri ve altta sagittal stratum lifleri izlenmektedir. (Model 2.2.4) (Resim 4.18)



Resim 4.18: Model 2.2.4'ün superoposterior, medial ve inferomedial görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/224-ed82697e8c4b48aca8031fe8d9d37d7c>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/8eantxm8jpvfjso/2.2.4.mp4?dl=0>

4.2.5. Beşinci aşamada posterior ve medial orbital gyrus ve gyrus rectusun posterioru kaldırılarak olfactory bulb, olfactor tract, lateral ve medial olfactor strialar izlenmektedir. Lateral olfactory stria takip edildiğinde lateral olfactory tract, anterior commissureun temporal partı ve diagonal band of Broca görülmektedir. Arkada optic kiazma ve optic tract, arkasında substantia nigra gösterilmiştir. Anterior commissurun arkası disseke edilerek precomissural ve postcomissural fornix ortaya çıkarılmıştır. Stria medullaris talami ve arkasında pineal bez görülmektedir. Parahippocampal area disseke edilerek gyral ve sulcal yapıları isimlendirilmiştir. (Model 2.2.5) (Resim 4.19)



Resim 4.19: Model 2.2.5'in posteroinferomedial, inferior, posterior ve medial görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/225-b554cedd8b8945acbf9ecfb62858affb>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/reip3zbibvuloes/2.2.5.mp4?dl=0>

4.2.6. Altıncı aşamada diseksiyon derinleştirilerek önde uncinate fasikülün seyri ve üzerinde nucleus accumbens, arkada anterior commissureun frontal ve temporal dalları ortaya çıkarılmıştır. Lateral ventrikülün atrium, posterior horn ve temporal horn sınırları ve komşuluklarıyla gösterilmektedir. Ventrikül medialinde hippocampus, caudate tail ve fornixin fimbriası izlenmektedir. (Model 2.2.6) (Resim 4.20)



Resim 4.20: Model 2.2.6'nın posterolateral, medial ve posteroinferomedial görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/226-304ca31553ad46a1811e7d8c14ccff40>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/nbbq0u3pidvcd0/2.2.6.mp4?dl=0>

4.3. SEREBELLUM VE BEYİN SAPI MODELLERİ VE DİSEKSİYONU

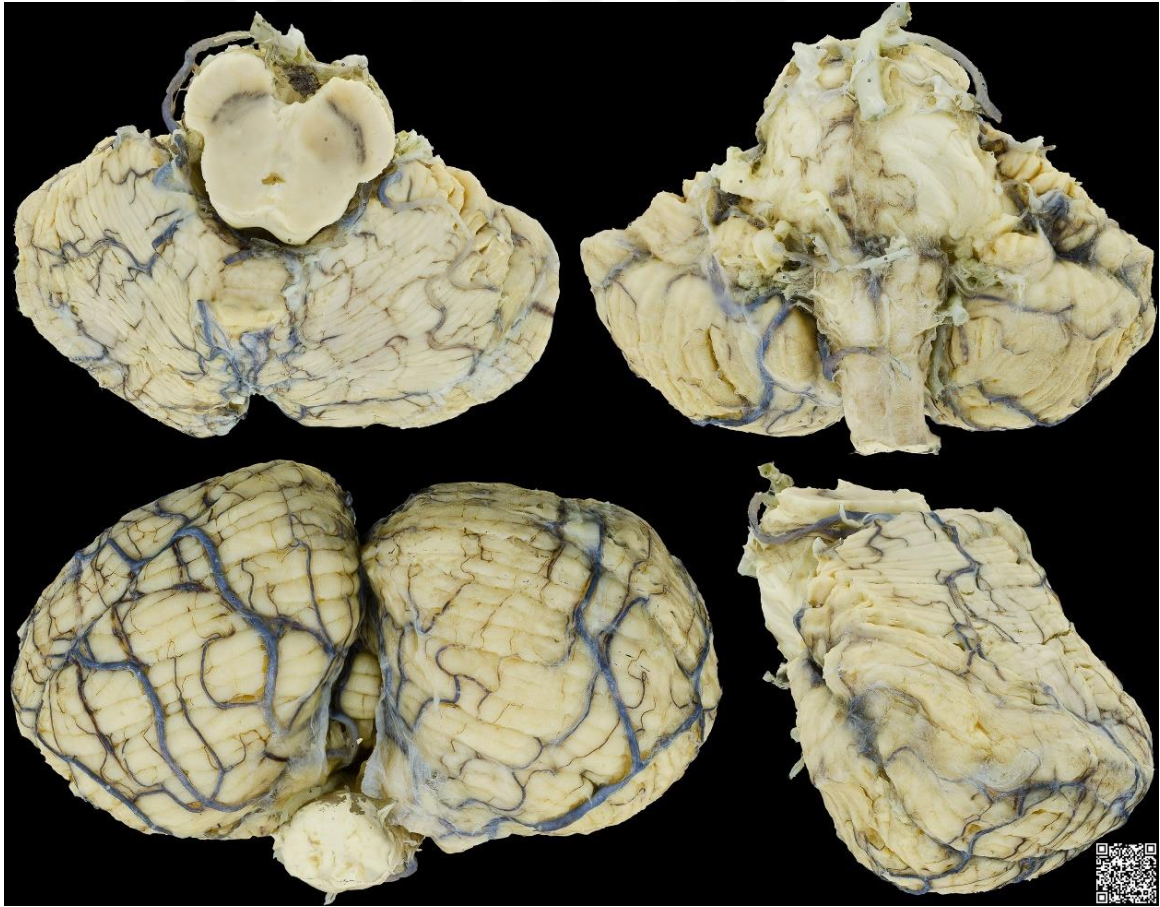
Serebellum ve beyin sapı modellerini ele aldığımızda, iki model de mezensefalon düzeyinden her iki taraflı oblik kesiyle serebrumdan ayrıldı. Modellerin biri sadece araknoid diseksiyonu yapılarak vasküler yapılardan arındırılmış olarak modellendi. Kalan tüm aşamalar diğer model üzerinden gerçekleştirildi. 15 cm yüksekliğindeki platformun içine sünger konulup içinden iğne ile geçirilerek ve üzerine siyah kumaş geçirilerek spesimenler iğne üzerinde fotoğraflandı.

Diseksiyonlar ilerledikçe spesimenin ağırlığı azaldığı için döner tabla üzerinde dengeyi korumak ve mevcut pozisyonu sürdürmek zorlaştı. Ayrıca, spesimenin küçük boyutu nedeniyle farklı bölgeleri odaklayan fotoğraflar çekmek için manuel yolla birçok görüntü alınması gerekti. Spesimenin ters yüzünü fotoğraflarken pozisyonu korumak mümkün olmayabildiğinden dolayı sık aralıklı olarak yüzeyel yapıların katılığından emin

olunana kadar -20°C'de donduruldu. Bu tür durumlar nedeniyle 3.1.3 ve 3.1.4 modellerinde, diseksiyon yapılan bölgenin anatomisine odaklanıldığından henüz suboccipital yüzeyde diseksiyon yapılmamış ve bu bölge fotoğraflanmamıştır. Bu iki model, tabana siyah renkli oval platform eklenerek sergilendi.

Sekiz aşamada serebellum ve beyin sapı diseksiyonu yapılan modelleri incelediğimizde;

4.3.1. Birinci aşamada araknoid diseksiyonu yapılmamış modelde araknoid mater ve vasküler yapıların altındaki ve çevre dokularla ilişkisi incelenmektedir. Vertebral arteri kesilmiş, baziller arter gözlenebilmekte ve her iki taraflı superior serebellar arter (SCA) dallarının dağılımı izlenebilmektedir. Her iki anterior inferior serebellar arter (AICA) middle serebellar pedinkülün lateralinde kesik biçimde seyri izlenmektedir. Posterior inferior serebellar arter (PICA) ve dallarının dağılımı da izlenmektedir. (Model 3.1.1) (Resim 4.21)



Resim 4.21: Model 3.1.1'in üstten, alttan, önden ve soldan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/311-7ccca890437c4dbe86d2dafd3d252510>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/6iraja8rp6t7aqk/3.1.1.mp4?dl=0>

4.3.2. İkinci aşamada bir başka modelin vasküler dokuları alınmış ve araknoid diseksiyonu yapılmış hali izlenmektedir. Tentorial yüzeyden baktığımızda colliculus inferior düzeyinden oblik kesilmiş beyin sapının hemen arkasında serebral aqueduct, primary fissürün ayırdığı anterior ve posterior quadrangular lobul izlenmektedir. Ortada vermisin parçaları olan santral lobül, culmen ve declive izlenmektedir. Suboccipital yüzeyden devam ettiğimizde sırasıyla folium, tuber, pyramid, uvula ve her iki yanda tonsiller izlenmektedir. Horizontal fissürün ayırdığı superior ve inferior semilunar lobul, ve altında biventral lobul izlenmektedir. Serebelluma posteriordan baktığımızda her iki yanda flocculus ve horizontal fissür, medialde Foramen Luschka izlenmektedir. Üstte oblik kesilmiş serebral pedinkül, interpedinküler fossa ve beyin sapını terk eden abducens sinirleri izlenmektedir. Pontomezensefalik sulcusu yanlara doğru takip edince superior serebellar pedinkül ve trochlear sinir izlenmektedir. Ponsun her iki yanında lateralde trigeminal sinir beyin sapını terkeder ve middle serebellar pedinkül izlenmektedir. Ortada basilar sulcus ve yanlara doğru transvers pontin fiberları oluşturan piramidal eminens izlenmektedir. Bulbusu incelediğimizde ortada anterior median sulcusun her iki yanında pyramid ve arkasında oliva yer almaktadır. Anterior ve posterior olivary sulcudan kranyal sinirler beyin sapını terk eder. Ortada en altta ise decussatio pyramidum yer almaktadır.(86) (Model 3.2.2) (Resim 4.22)



Resim 4.23: Model 3.2.2'nin üstten, alttan, önden ve sağdan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/322-2131e4e968c647ddad1c0464725fff85>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/3kbpzbcgvyvadm/3.2.2.mp4?dl=0>

4.3.3. Üçüncü aşamada piramidal eminens aralıklı olarak kaldırılarak superficial transvers pontin fiberlar ortaya çıkarılmıştır. Sol taraflı fiberların medullaya yakın olan son kısmı sağda kaldırılarak pontobulbar bileşkedeki corticospinal tractın geçişi gösterilmektedir. Solda ise tractlar serebral pedinkülden pons boyunca inip her iki taraflı medulla oblongatada decussatio pyramidumda çapraz yapan lifler izlenmektedir. Olivanın etrafı diseke edilerek altında her iki corticospinal tracttan ayrılan aberran ak madde lifleri olan amiculum olivae lifleri, olivanın arkasında anterolateral yolakta olan rubrospinal ve spinotalamic tract ve spinocerebellar tract içeren inferior serebellar pedinkül lifleri ortaya çıkarılmıştır. Sol taraflı 5.7.8. kranyal sinirlerin kökleri ortaya çıkarılmıştır.(87) (Model 3.1.3) (Resim 4.24)



Resim 4.24: Model 3.1.3'ün önden, üstten, soldan ve arkadan görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/313-b4d2b60b6b31405393c4aaba47b95673>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/yqodhmv7so4bsbd/3.1.3.mp4?dl=0>

4.3.4. Dördüncü aşamada sağ quadrangular lobul ve superior semilunar lobul üst yarımı kaldırılarak serebellumda diseksiyon derinleştirildi. Ortada lingula, karşısında beyin sapı tarafında laterale doğru superior medullar velum, superior cerebellar pedinkül izlenmektedir. Lemniscal üçgen kaldırılarak altında lateral lemniscus ortaya çıkarılmıştır. Diseksiyonlarla dentate nucleus ortaya çıkarılarak etrafında cerebellar pedinküllerin seyri gösterilmiştir. Serebellar kortekse doğru yayılan middle serebellar pedinkülün alt lifleri ve lateralde pontocerebellar lifler izlenmektedir. (Model 3.1.4) (Resim 4.25)



Resim 4.25: Model 3.1.4'ün sağ superolateral, arkadan ve üstten görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/314-3e525912cc3645cda516dcb034e0e298>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/adf1usau790ucfn/3.1.4.mp4?dl=0>

4.3.5. Beşinci aşamada sol quadrangular lobul ve superior semilunar lobul kaldırılarak dentate nucleusa kadar önceki aşamadakine benzer diseksiyon uygulanmıştır. Vermiste lingula, central lobule ve culmen üst yarımı korunarak primary fissure altındaki declive ve folium kaldırılarak altında tuber lifleri ortaya çıkarılmıştır. Middle cerebellar pedinkülün liflerinin bir kısmı kortekste sonlanırken, bir kısmı da dentat gyrusun etrafından dolanıp vermise gittiği görülmektedir. (Model 3.1.5) (Resim 4.26)



Resim 4.26: Model 3.1.5'in sağ posteriosuperior oblik, sol posteriosuperior oblik, posteriosuperior ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/315-87d6cd75faf4420ca35b4345b1fce4ad>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/c9eapo4iqslsf2aq/3.1.5.mp4?dl=0>

4.3.6. Altıncı aşamada sol tonsil ve vermiste lingula, central lobule, pyramis, uvula ve nodulus korunarak diğer serebellum tabakaları kaldırılmıştır. Bazı middle veya inferior cerebellar peduncle lifleri direkt yolla, bazı lifler ise amiculum of dentate nucleusu oluşturarak vermise doğru geçmektedir. Sağdan uvula, nodulus ve inferior medullary velum görülmektedir. Ayrıca middle cerebellar peduncülün superior lifleri kaldırılarak medial lemniscus ortaya çıkarılmış ve substantia nigra sınırına lateralden ulaşılmıştır. Vermiste sonlanan ve karşıya geçen middle ve inferior serebellar peduncül dışında kalan lifler kaldırılarak

ventrikül tabanına ve bulbus posterioruna doğru bir bakış elde edilmiştir. Ek olarak superficial transvers pontin fiberlar sadeleştirilmiş, trigeminotalamik tract ve 5. Kranyal sinirin beyin sapını terkettiği bölge ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca colliculus inferior lateralinden ortaya çıkarılmıştır.(86) (Model 3.1.6) (Resim 4.27)



Resim 4.27: Model 3.1.6'nın sağ posterosuperior oblik, sol posterosuperior oblik, sağ anterolateral oblik ve sol anterolateral oblik görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/316-cf1c142494384286b9b5abe484b28d0b>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/eezx3neurje67qc/3.1.6.mp4?dl=0>

4.3.7. Yedinci aşamada sol flocculus ve karşıya geçen cerebellar peduncle lifleri korunarak dördüncü ventrikül ortaya çıkarılmıştır. Tabandan yukarıya gracilis ve cuneatus tüberküller ve yanlarında tuberculum cinereum, 4. Ventrikül tabanında obex ve arkasında area postrema, üzerinde vagal ve hipoglossal trigon izlenmektedir. Üst açıklıktan baktığımızda medial eminence ve sulcus limitans izlenmektedir. Ayrıca derin transvers pontin fiberlar sağdan ve ortadan bakışta izlenebilmektedir.(88) (Model 3.1.7) (Resim 4.28)



Resim 4.28: Model 3.1.7'nin posterosuperior, sol anterolateral oblik, sağ posterolateral oblik ve önden görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/317-d0089b7127614c378deae622ea31aee4>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/8ssov3scahtm0ut/3.1.7.mp4?dl=0>

4.3.8. Sekizinci aşamada karşıya geçen lifler kaldırılarak sağda dentate nucleus sınırlarıyla ortaya çıkarılmış ve dördüncü ventrikül tümüyle incelenebilmektedir. Sağ substantia nigra ve red nucleus etrafı diseke edilerek ortaya çıkarılmıştır. Lateral ve medial lemniscus lifleri ortaya konmuştur. Modele arkadan bakışta altta gracilis ve cuneate tubercle ve fasciculusları ayırt edilebilmektedir. Dördüncü ventriküle alt üçgenden incelediğimizde alttan yukarı obex, area postrema, vagal ve hipoglossal trigon izlenmektedir. Üst üçgenden incelediğimizde colliculus facialis, vestibular area, locus coeruleus area ve sulcus limitans incelenebilmektedir. (Model 3.1.8) (Resim 4.29)



Resim 4.29: Model 3.1.8'in posteroinferior, anterior, sağdan ve sol posterolateral oblik görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/318-989decc7738d46f68add2b86eab7f622>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/zzbq147ttwcl4q/3.1.8.mp4?dl=0>

4.4. DİĞER BEYİN MODELİNİN DİSEKSİYONU

İnsular bölgenin diseksiyona odaklanılmış bu modelde model tabanının diseksiyonu yapılmadığından fotoğraflanmadı. Bu model de 3.1.3 ve 3.1.4 modelleri gibi, tabana siyah renkli oval platform eklenerek sergilendi.

Sol hemisferde insular bölge diseke edilerek bazal çekirdekler ortaya konmuştur. Sağ hemisferde ise insular bölge korunarak ak madde diseksiyonu yapılmıştır. Sol hemisferi incelersek kortikal yapılar ve u fiberlar kaldırıldıktan sonra superior longitudinal fasikül ve arkuat fasikül görülmektedir. İnsular korteks, klastrumun, external kapsül ve putamenin ön kısımları diseksiyonlarla kaldırılarak frontooksipital fasikül, unsinat fasikül, globus pallidus ve capsula interna bazal liflerini ortaya çıkarılmış, external kapsül ve putamenin arka kısımları referans noktaları olarak korunmuştur. External kapsül ve putamen kaldırılarak tekrar modellendiğinde globus pallidus izlenmektedir. İnterhemisferik alan incelendiğinde önde ve arkada corpus callosum lifleri ve her iki lateral ventrikül dış duvarında caudate head kabarıklığı, arkasında talamus, ortada fornix ve üçüncü ventrikül izlenmektedir. (Model 4) (Resim 4.30)

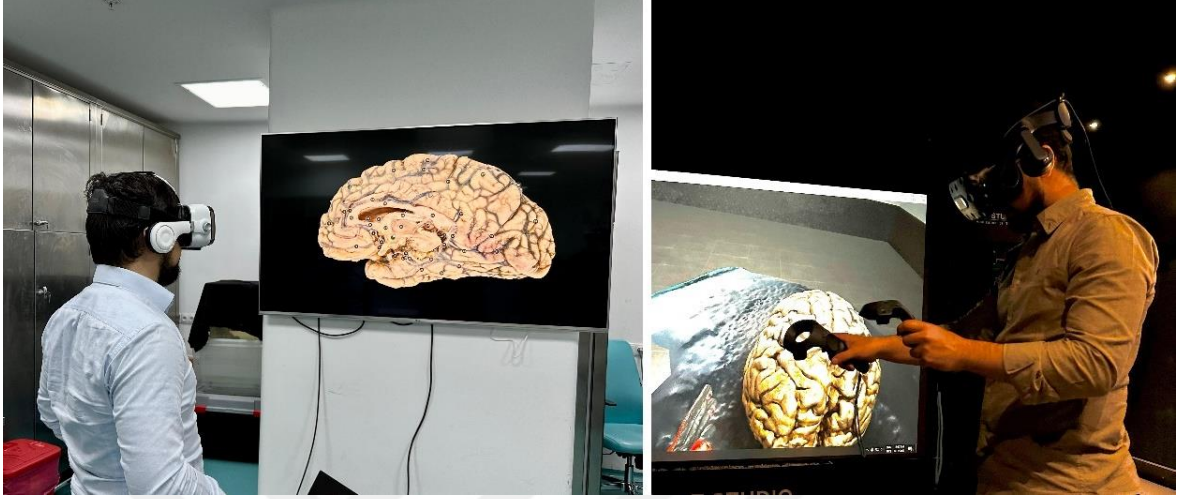


Resim 4.30: Model 4'ün sol posterolateral, sağdan ve sol üstten görünümü izlenmektedir.

QR kod taratılarak web sitesine bağlantı sağlanmaktadır. <https://sketchfab.com/3d-models/4-cc9ee881f764686a0881f768635c842>

Model videosu: <https://www.dropbox.com/s/3l4iaoi8hf0b55y/4.mp4?dl=0>

Sergilenen modeller Sketchfab web sitesi üzerinden online olarak AR ve VR olarak incelenebilmektedir. Ayrıca elimizde yer alan dosyaların orijinal boyuttaki formatlarını istediğimiz VR cihazı ile kendi yazılımına aktararak bilgisayar formatında offline olarak inceleme imkanına sahibiz. (Resim 4.31, 4.32)



Resim 4.31: (Solda) Google Cardboard benzeri akıllı cihazlara entegre gözlemlenebilen basit VR ile Sketchfab üzerinden modelin incelenmesi görülmektedir. (Sağda) HTC Vive Pro 2 VR gözlüğü ile arayüzde çalıştırılmış modelin incelenmesi görülmektedir.



Resim 4.32: Her modelin temsil edildiği resimlerin sağ alt köşesinde yer alan QR kod yardımıyla akıllı telefon veya tabletlerde, modelin Sketchfab web sitesi açıldığında [AR] butonuna tıklandığında modelin laboratuvar ortamında gösterilmesi görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Nöroşirürjide, sadece cerrahi bilgi değil, aynı zamanda temel nöroanatomi ve cerrahi alan anatomisine de hakim olmak gerekmektedir. Nöroanatomiye öğrenmek için fotoğraflar, kitaplar ve atlaslar gibi materyaller sadece o bölgenin iki boyutlu temsillerini sunabilmektedir.(3,4) Kadavra veya bilgisayar destekli materyallerin kullanımı, beyin cerrahları için nöroşirürjikal üç boyutlu yapıyı öğrenmek için kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. 3B modeller, kitaplarda ve atlaslarda bulunan görüntülerden farklı olarak bilgisayarlar, mobil cihazlar ve AR/VR destekli cihazlar aracılığıyla görüntülenebilir ve manipüle edilebilir. (21)

Diseksiyon eğitimi için laboratuvar kurulumu, kadvraların temini ve kadvraların zaman içinde bozulması gibi zorluklar, eğitimi sekteye uğratabilmektedir. (89,90) COVID-19 pandemisi sonrasında uzaktan eğitim ihtiyacının artması, alternatif kaynaklara duyulan gerekliliği ortaya koymuştur. Messerer ve ark, COVID-19 öncesini ve pandemi dönemini karşılaştırarak, nöroanatomi eğitiminin en uygun uygulamasının yüz yüze olması gerektiğini ifade etmişlerdir. (9) Ancak küresel ölçekte kadvra laboratuvarlarına kısıtlı erişim nedeniyle bilgisayar temelli uzaktan öğrenim konsepti dikkat çekici görülmektedir.

Fotogrametri, nesnenin uzaysal konumlarını değerlendirmek için farklı açılardan çekilen fotoğrafları kullanarak üç boyutlu modeller oluşturan bir tekniktir. Bu teknik, geleneksel 2B görüntülerin ötesine geçerek öğrenim materyali olarak daha zengin ve etkileşimli bir deneyim sunabilir. Son on yılda, nöroşirürjide üç boyutlu modellerin kullanımı artmış ve bu alanda birçok çalışma yayınlanmıştır.

Moore ve ark. kol ve omuz BT ve MRI'ları kullanarak anatomik varyasyonları değerlendirmiş ve eğitim materyali olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. (18) Lai ve ark. BT ve MRI yardımıyla antropomorfik fantom model elde ederek nöroşirürji eğitimi, endonasal kafa tabanı cerrahisi ve beyin biyopsisi için cerrahi planlama amaçlı eğitim materyali olarak kullanılabileceğini gösterdi. (16) Smith ve ark. laser tarayıcıdan elde ettikleri kulak modeliyle kadvra kostasından kulak rekonstrüksiyon modeli elde ettiler. (19)

Das ve ark. DSLR kameralarla çalışma prensibine benzer olarak üç boyutlu yüzey tarayıcılarının, büyük paleontolojik spesimenlerde potansiyel bir alternatif olarak düşünüldüğünü belirtmiştir. (91) Rubio ve ark. DLSR kameralar ile laser yazıcıları fotogrametri tekniği açısından karşılaştırdıkları makalelerinde, DSLR kameralarla uygulanan yöntemin, daha düşük maliyetli olması ve daha iyi doku kalitesi sunması nedeniyle daha avantajlı görüldüğünü belirtmişlerdir. (92)

Küçük boyuttaki spesimenlerde BT ve MRI yardımıyla ve laser tarayıcılarla elde edilen modellerin yüzey doku hassasiyeti ve görüntü kalitesi yetersiz olmaktadır. Shao ve ark. kafatası ve fasial sinirlerin kamera ile el tarayıcısından elde edilen görüntüleri karşılaştırmalı olarak değerlendirdikleri çalışmada, kamerayla elde edilen modelin daha uygun maliyetli olduğu, öğrenme sonrası otopsinin daha kolay olduğu ve öğrenmenin daha hızlı gerçekleştiği sonuçlarına ulaşmışlardır. (93) Gürses ve ark. mobil cihazlarla beyin, beyincik ve beyin sapındaki ak madde diseksiyon çalışmalarını fotogrametri tekniğiyle tarayarak 3B modeller oluşturmuşlardır. (22)

Mobil cihazlar yardımıyla elde edilen kadaverik 3B modeller, mobil cihazların fotoğrafçılık becerilerindeki makro çekim yetersizliğinden kaynaklanan derinlik algısını daha etkili bir şekilde oluşturabilmek için daha gelişmiş bir yöntem ihtiyacı duymaktadır.

Geleneksel yöntemlerden olan DSLR kamerayla fotogrametri tekniği kullanılarak elde edilen 3B modeller bu ihtiyaca cevap olabilir. (24) de Oliviera ve ark. kadavralardan fotogrametri tekniğiyle üç boyutlu modeller oluşturabilmeyi sağlayan fotoğraf kabinini teknik çalışma yazısı olarak yayınlamışlardır. (21)

Dünya genelinde kısıtlı sayıda kadavra bulunması ve kadavraların zaman içinde bozulma riskinin bilinciyle gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda, kadavraları arkeolojik keşiflerden elde edilen kültürel miras bilinciyle modellemeye çaba sarf ettik. Benzer endişelerin arkeoloji alanında da var olduğu göz önüne alındığında, Kantaros ve ark. tarafından yürütülen çalışmada, 3B tarama ve 3B baskının kültürel mirasın korunması alanında değerli araçlar olduğu kanıtlanmış ve gelecekte kullanımlarının artmaya devam etmesi beklenmektedir. (94) Ayrıca üç boyutlu baskı kullanılarak bu modellerin eğitim, görüntüleme ve en önemlisi koruma amaçlı olarak dijital kopyalarını oluşturmak mümkündür. Bu yaklaşım, kadavra sayısındaki kısıtlamalara rağmen eğitim ve koruma alanlarında çözüm sunabilir.

AR ve VR teknolojilerinin entegrasyonu, nöroşirürji eğitimini daha da ileri taşımaktadır. Fotogrametri ile oluşturulan 3B modeller, artırılmış ve sanal gerçeklikle entegre edilerek cerrahların fiziksel dünya ile sanal modeller arasında etkileşim kurmalarına olanak tanır ve bu sayede cerrahların öğrenme deneyimini zenginleştirmelerine yardımcı olur. Bu teknolojiler, cerrahların beyin anatomisi üzerinde daha derinlemesine bir anlayış geliştirmelerine ve cerrahi becerilerini artırmalarına yardımcı olabilir. Aydın ve ark. ak madde diseksiyonlarını 3B model halinde AR/VR platformlarında dijital olarak görüntüleyerek mikrocerrahi nöroanatomisi eğitiminde güçlü bir araç olduğunu ifade etmişlerdir. (7) Aridan ve ark. beyin yapılarının göreceli konumlarının eğitiminde, kadavraların 3B modeller ile sanal gerçeklik ortamında daha etkileşimli ve sürükleyici olacağını önermişlerdir. (79) Gürses ve ark. beyin 3B diseksiyon modellerini AR/VR ortamında simüle ederek oluşturduğu kaynağın nöroanatomisi eğitimi değiştirme potansiyeline sahip olduğunu ifade etmiştir. (95) Fotogrametri ve AR/VR teknolojilerinin birleşimi, nöroşirürji eğitimini daha erişilebilir hale getirebilir. Bu sayede cerrahlar, kendi çalışma ortamlarında, laboratuvar sınırlamalarına tabi olmaksızın 3B modellerle etkileşimde bulunabilirler. Ancak teknolojik ilerlemelere rağmen, fotogrametri ve AR/VR'nin klinik uygulamalarda nasıl entegre edileceği, cerrahi beceri gelişimine nasıl katkı sağlayacağı ve uzun vadeli etkileri konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca, bu teknolojilerin maliyeti, altyapı gereksinimleri ve kullanıcı dostu araçlarının geliştirilmesi gibi pratik zorluklar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Tıp Eğitimi de artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanımından yararlanmıştır. Kamphuis ve ark. artırılmış gerçekliğin tıp eğitiminde kullanımını üç alanda araştırdı. Bunlar arasında CT taraması verilerinin yaşayan bir insan üzerine yansıtılması ve bir ameliyathanedeki manken üzerinde bir dizi üç boyutlu akciğerin görselleştirilmesi yer alıyordu. Çalışmanın ana kısmı, anatomik bilgi ve uygulamalı motor becerileri gerektiren bir prosedür olan laparoskopiyi gerçekleştirme konusunda kullanıcıyı eğitmek için dokunsal geri bildirimle sahip bir artırılmış sisteme odaklandı. Çalışma, tıp eğitimi kapsamında henüz artırılmış gerçeklik üzerine yapılmış herhangi bir ampirik çalışmanın olmadığını belirtti. Ancak, öğrencinin çevresinde hissedeceği sürükleyici doğa ve mevcudiyet duygusu nedeniyle, teknolojinin öğrenme sürecine faydalı olabileceğine dikkat çekti. (96)

Analogdan dijital e yıldan yıla fotoğraf teknolojisinin gelişmesiyle elde edilen görüntülerde her geçen yıl netlik ve keskinlikte artış izlenmektedir. Rademacher ve ark. dijital kameralarla çekilen fotoğrafları veya video görüntülerini gözlemleyen kişinin bakış açısından fiziksel benzerlerine göre ayırt edilemez biçimde görünen nesnelerin dijital

modelleri, fotorealistik üç boyutlu model (FR3B model) olarak isimlendirdi. (97) FR3B modellerde her açıdan görüntü elde edildiğinden dolayı gözlemci istediği açıdan olabildiğince net biçimde inceleyebilme yetisine sahiptir. Ancak çalışmamızda oluşturduğumuz modellerin ayrıntılı ve gerçekçi yapısı nedeniyle modellerimizi diğer 3B modellerden ayırarak FR3B modeller olarak ifade edeceğiz.

Çalışmamızın birkaç kısıtlaması bulunmaktadır. Bunları ifade edecek olursak;

1. Fotoğraflama ve modelleme süreci, uygulamayı gerçekleştiren kişinin hem fotoğrafçılık alanında yeterli teknik bilgiye sahip olmasını hem de nöroanatomisi konusunda iyi derecede bilgi sahibi olmasını gerektirir. Biz oluşturduğumuz platform ile ışığın homojen bir şekilde dağıtılması ve tripod ve döner tabla ile titreşimi en aza indirgeyerek fotoğraflama işlemini standardize etmeye çalıştık. Ancak odaklama ve teknik detaylar fotoğraf çeken kişinin becerisine bağlı durumlardır. Ayrıca Blender uygulamasında pürüzleri düzenlerken nöroanatomisi bilgisi, hatalı işlemleri önlemek açısından kritiktir.
2. Çekimler sırasında kullanılan Nikon D7000 DSLR 16.2 megapiksel kameranın uzun süreli ve günlük kullanımı nedeniyle, laboratuvar ortamında ve lens-kamera temizleme alışkanlıklarından kaynaklanan toz tanecikleri, kamera ve lens merceklerini etkilemiştir. Foldio360 uygulamasının sadece bu kamera ile uyumlu olması, denediğimiz diğer kameraların kullanımını sınırlandırmıştır. Oysa uygulamayla uyumlu olan yeni ve temiz full-frame kamerayla çalışılabilseydi, daha da net görüntüler ve 3B modeller elde edilebilirdi.
3. Tek kamera kullanımı nedeniyle, çekim süresi spesimenin tekrar dondurulmasını gerektirdi ve bu da zaman kaybına yol açtı. Ayrıca fotoğraflama sırasında zamanla yer çekimi nedeniyle modelleme sırasında düzeltilemeyecek kadar kaymalar ortaya çıktı ve tekrardan fotoğraflamaya gerek duyuldu. Oysa de Oliviera ve ark. tasarladığı gibi daha fonksiyonel fotoğraf kabini veya daha çok kameralı kompleks bir platform oluşturabilseydik fotoğraflama işlemi daha hızlı olacak ve düzenlemeye ihtiyaç olmayan net modeller elde edecektik.(21)
4. Fotoğraflama ve modelleme süreci, her bir model için ortalama bir gün kadar sürdü. Bu da bilgisayarın performansına göre değişmektedir ki biz 64 GB RAM'lık bilgisayarda işledik. Toplam 29 modelin oluşturulması ve bir kısmının tekrar fotoğraflanması ve modellemesi göz önüne alındığında, süreç oldukça zaman alıcıdır.

5. Modelleme sonucunda oluşturulan nihai modeller yüksek dosya boyutlarına sahiptir. Bu dosyaları online platformlarda veya her türlü bilgisayarda kullanmak için modeldeki üçgen sayısını ve doku dosyasının kalitesini düşürmek zorunda kaldık.



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada fotogrametri tabanlı 3B modellerin artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) ile entegrasyonu, nöroşirürji eğitiminde sanal ortamda beyin anatomisinin etkili bir şekilde öğrenilmesi ve nöroşirürji eğitimindeki potansiyeli vurgulanmaktadır.

Kadavra temininde düşük ve orta gelirli ülkelerde daha belirgin olmak üzere ekonomik, etik ve yasal sebeplerle zorluklar yaşanmaktadır. Bu tür zorluklar sadece kadavra teminiyle sınırlı kalmayıp nöroşirürji laboratuvar altyapısının oluşturulmasında da yetersizlikleri içermektedir.

Kadavra diseksiyonunda her aşama, önceki adımda anatomik yapıların diseke edilmesi nedeniyle, diseksiyonu gerçekleştiren kişi dışındakilerin önceki adımları görmesi veya incelemesi mümkün değil olmamaktadır. Ancak, bu modellerle her anatomik diseksiyon aşaması kaydedilerek, diseksiyonu gerçekleştiren kişinin aşamalara tekrar tekrar dönüp inceleme olanağı sağlanmaktadır. Aynı zamanda, bu diseksiyonu gerçekleştirmemiş olan herhangi bir kişi, dünyanın herhangi bir yerinden tüm aşamaları inceleme imkanına sahip olmaktadır. Bu şekilde nöroanatomi eğitimine alternatif bir kaynak sunmayı amaçlamaktayız.

Sketchfab üzerinden akıllı cihazlar yardımıyla modeller, web sitesi üzerinden, AR veya VR cihazları ile incelenebilmektedir. Laboratuvar olmasa da, ev, sınıf veya ofis ortamında, ekran paylaşımı ile online olarak, VR yardımıyla modeli elinde inceliyormuş gibi veya üç boyutlu yazıcılar ile dünyanın herhangi bir yerinde baskı alınarak nöroanatomi eğitimi ve öğrenimi daha kısa, erişilebilir ve etkileşimli hale getirilebilir. Bu da beyin cerrahlarının daha efektif beceri geliştirmelerine ve klinik uygulamalarda daha güvenli bir şekilde hareket etmelerine yardımcı olabilir. Ancak, gelecekteki araştırmaların, bu teknolojilerin eğitim pratiğindeki rolünü ve avantajlarını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmesi ve teknik kısıtlamaları aşarak üstesinden gelinmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bernardo, A. Virtual Reality and Simulation in Neurosurgical Training. *World Neurosurg* **106**, 1015–1029 (2017).
2. Preim, B. & Saalfeld, P. A survey of virtual human anatomy education systems. *Comput Graph* **71**, 132–153 (2018).
3. Nowinski, W. L., Chua, B. C., Qian, G. Y. & Nowinska, N. G. The human brain in 1700 pieces: Design and development of a three-dimensional, interactive and reference atlas. *J Neurosci Methods* **204**, 44–60 (2012).
4. Pommert, A. *et al.* Computer-Based Anatomy: A Prerequisite for Computer-Assisted Radiology and Surgery1. *Acad Radiol* **13**, 104–112 (2006).
5. Shintaku, H. *et al.* Three-dimensional surface models of autopsied human brains constructed from multiple photographs by photogrammetry. *PLoS One* **14**, e0219619 (2019).
6. Krogager, M. E., Fugleholm, K., Mathiesen, T. I. & Spiriev, T. Simplified Easy-Accessible Smartphone-Based Photogrammetry for 3-Dimensional Anatomy Presentation Exemplified With a Photorealistic Cadaver-Based Model of the Intracranial and Extracranial Course of the Facial Nerve. *Operative Neurosurgery* (2023) doi:10.1227/ons.0000000000000748.
7. Aydin, S. O. *et al.* Use of 3-Dimensional Modeling and Augmented/Virtual Reality Applications in Microsurgical Neuroanatomy Training. *Operative Neurosurgery* **24**, 318–323 (2023).
8. Shaffer, K. Teaching Anatomy in the Digital World. *New England Journal of Medicine* **351**, 1279–1281 (2004).
9. Messerer, D. A. C. *et al.* The gross anatomy course: SARS-CoV-2 pandemic-related effects on students' learning, interest in peer-teaching, and students' perception of its importance. *Anat Sci Educ* **16**, 629–643 (2023).
10. Tóth, D., Petrus, K., Heckmann, V., Simon, G. & Poór, V. S. Application of photogrammetry in forensic pathology education of medical students in response to COVID-19. *J Forensic Sci* **66**, 1533–1537 (2021).
11. Souayah, N. & Greenstein, J. I. Insights into neurologic localization by Rhazes, a medieval Islamic physician. *Neurology* **65**, 125–128 (2005).
12. Matsushima, T., Matsushima, K., Kobayashi, S., Lister, J. R. & Morcos, J. J. The microneurosurgical anatomy legacy of Albert L. Rhoton Jr. MD: An analysis of transition and evolution over 50 years. *J Neurosurg* **129**, 1331–1341 (2018).
13. Harold, E. Harvey Williams Cushing (1869–1939). *J Med Biogr* **2**, 71–77 (1994).
14. Daneshfard, B. *et al.* Mansur ibn Ilyas Shirazi (1380–1422 AD), a pioneer of neuroanatomy. *Neurological Sciences* **43**, 2883–2886 (2022).
15. Mazengenya, P. & Bhika, R. The structure and function of the central nervous system and sense organs in the canon of medicine by Avicenna. *Arch Iran Med* **20**, 67–70 (2017).
16. Lai, M. *et al.* Development of a CT-compatible anthropomorphic skull phantom for surgical planning, training, and simulation. **9** (2021) doi:10.1117/12.2577629.
17. Williams, A., Tillett, C., How Wong, Y., Hong Yeong, C. & Sun, Z. How 3D Printing Software Enhances and Rewards Student Learning of Brain Anatomy. *AMJ* **16**, 552–555 (2023).
18. Moore, C. W., Wilson, T. D. & Rice, C. L. Digital preservation of anatomical variation: 3D-modeling of embalmed and plastinated cadaveric specimens using uCT and MRI. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* **209**, 69–75 (2017).

19. Smith, C., Van Der Woerd, B., Potra, R., Ferreira, L. & Moore, ; Corey. Robot-Automated Cartilage Contouring for Complex Ear Reconstruction: A Cadaveric Study. *Wiley Online Library* **131**, 1002–1007 (2020).
20. Martin Rydmark, Joakim Brodendal, Patrik Folkesson & Torben Kling-Petersen. Laser 3-D Scanning for Surface Rendering in Biomedical Research and Education. in *Medicine Meets Virtual Reality* (eds. James D. Westwood & Helene M. Hoffman) 315–327 (IOS Press, 1999).
21. de Oliveira, A. de S. B. *et al.* Foundations and guidelines for high-quality three-dimensional models using photogrammetry: A technical note on the future of neuroanatomy education. *Anat Sci Educ* (2023) doi:10.1002/ase.2274.
22. Gurses, M. E. *et al.* Qlone®: A Simple Method to Create 360-Degree Photogrammetry-Based 3-Dimensional Model of Cadaveric Specimens. *Operative Neurosurgery* **21**, E488–E493 (2021).
23. Dębski, M., Bajor, G., Lepich, T., Aniszewski, L. & Jędrusik, P. Process of photogrammetry with use of custom made workstation as a method of digital recording of anatomical specimens for scientific and research purposes. *Translational Research in Anatomy* **24**, 100128 (2021).
24. Xu, Y. *et al.* Pursuing perfect 2D and 3D photography in neuroanatomy: a new paradigm for staying up to date with digital technology. *J Neurosurg* 1–7 (2022) doi:10.3171/2022.9.jns221988.
25. Gonzalez-Romo, N. I. *et al.* Virtual neurosurgery anatomy laboratory: A collaborative and remote education experience in the metaverse. *Surg Neurol Int* **14**, 90 (2023).
26. Tomlinson, S. B., Hendricks, B. K. & Cohen-Gadol, A. Immersive Three-Dimensional Modeling and Virtual Reality for Enhanced Visualization of Operative Neurosurgical Anatomy. *World Neurosurg* **131**, 313–320 (2019).
27. Huang, K. T. *et al.* Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* **22**, 105–110 (2019).
28. Azer, S. A. & Azer, S. 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. *Health Professions Education* **2**, 80–98 (2016).
29. Park, S., Kim, Y., Park, S. & Shin, J. A. The impacts of three-dimensional anatomical atlas on learning anatomy. *Anat Cell Biol* **52**, 76–81 (2019).
30. Morone, P. J., Shah, K. J., Hendricks, B. K. & Cohen-Gadol, A. A. Virtual, 3-Dimensional Temporal Bone Model and Its Educational Value for Neurosurgical Trainees. *World Neurosurg* **122**, e1412–e1415 (2019).
31. Nebel, S., Beege, M., Schneider, S. & Rey, G. D. A Review of Photogrammetry and Photorealistic 3D Models in Education From a Psychological Perspective. *Front Educ (Lausanne)* **5**, 530126 (2020).
32. Kuş, A. Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications. *Sensors* 2009, Vol. 9, Pages 1967-1979 **9**, 1967–1979 (2009).
33. Peng, X., Zhang, Z. & Tiziani, H. J. 3-D imaging and modeling - Part I: Acquisition and registration. *Optik (Jena)* **113**, 448–452 (2002).
34. Blinn, J. F. SIMULATION OF WRINKLED SURFACES. *Comput Graph (ACM)* **12**, 286–292 (1978).
35. Hall, T., Romero, J., Carmack, A. & Carmack, J. Wolfenstein 3D. id Software. *Apogee Software* (1992).
36. Sequeira, V., Ng, K., Wolfart, E., Gonçalves, J. G. M. & Hogg, D. *Automated Reconstruction of 3D Models from Real Environments*. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* vol. 54 www.scs.leeds.ac.ukr (1999).
37. Minetto, R., Volpato, N., Stolfi, J., Gregori, R. M. M. H. & da Silva, M. V. G. An optimal algorithm for 3D triangle mesh slicing. *CAD Computer Aided Design* **92**, 1–10 (2017).
38. Reulke, R. & Döring, T. Computer Vision im Kontext von Photographie und Photogrammetrie. *Informatik* 315–328 (2006) doi:10.1007/3-540-32743-6_13.
39. Wolf, P. R., Dewitt, B. A. & Wilkinson, B. E. Chapter 1: Introduction. *Elements of photogrammetry with application in GIS Fourth Edi*, 1–16 (2014).
40. Albrecht Dürer. *Underweysung Der Messung, Mit Dem Zirckel Und Richtscheyt, in Linien, Ebenen Unnd Gantzen Corporen*. *The Journal of Polish Society for Geometry and Engineering Graphics* (1525).

41. Hauck, G. Konstruktion einer Dritten Perspektive einer Objektes aus Zwei Gegebenen Perspektiven. (1883).
42. Granshaw, S. I. Laussedat bicentenary: origins of photogrammetry. *The Photogrammetric Record* **34**, 128–147 (2019).
43. Albertz, J. ALBRECHT MEYDENBAUER - PIONEER OF PHOTOGRAMMETRIC DOCUMENTATION OF THE CULTURAL HERITAGE. (2001).
44. Lawrence Gilman Roberts. Machine Perception of Three-Dimensional Solids. (Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1963).
45. Howland, M., Kuester, F., Archaeology, T. L.-M. & 2014, undefined. Photogrammetry in the field: Documenting, recording, and presenting archaeology. *escholarship.org* MD Howland, F Kuester, TE Levy *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 2014•*escholarship.org* **14**, 101–108 (2014).
46. Drap, P. *et al.* Photogrammetry for virtual exploration of underwater archeological sites. *CiteseerP Drap, J Seinturier, D Scaradozzi, P Gambogi, L Long, F Gauch* *Proceedings of the 21st international symposium, CIPA, 2007*•*Citeseer*.
47. Agnello, F., Avella, F., ... S. A.-A. of the & 2019, undefined. Virtual reality for historical architecture. *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* F Agnello, F Avella, S Agnello *The International Archives of the Photogrammetry ...*, 2019•... *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* (2019) doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-9-2019.
48. Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L. & Carbonneau, P. E. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Wiley Online Library* MA Fonstad, JT Dietrich, BC Courville, JL Jensen, PE Carbonneau *Earth surface processes and Landforms*, 2013•*Wiley Online Library* **38**, 421–430 (2012).
49. Abbaszadeh, S., ... H. R.-A. of the & 2017, undefined. A comparison of close-range photogrammetry using a non-professional camera with field surveying for volume estimation. *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* S Abbaszadeh, H Rastiveis *The International Archives of the Photogrammetry ...*, 2017•... *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* (2017) doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-1-2017.
50. Tuttas, S., Braun, A., ... A. B.-P. G. & 2014, undefined. Konzept zur automatischen Baufortschrittskontrolle durch Integration eines Building Information Models und photogrammetrisch erzeugten Punktwolken. *publications.cms.bgu.tum.de* S Tuttas, A Braun, A Bormann, U Stilla *Proceedings GPF Tagungsband, 2014*•*publications.cms.bgu.tum.de* (2014).
51. Nguyen, U., ... F. R.-... A. of the & 2019, undefined. Confidence-aware pedestrian tracking using a stereo camera. *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* U Nguyen, F Rottensteiner, C Heipke *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing ...*, 2019•... *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* (2019) doi:10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-53-2019.
52. Walter, J., Edwards, J., McDonald, G., Research, H. K.-F. C. & 2018, undefined. Photogrammetry for the estimation of wheat biomass and harvest index. *Field Crops Res* (2018).
53. Wang, T. *et al.* The rise, collapse, and compaction of Mt. Mantap from the 3 September 2017 North Korean nuclear test. *science.org* T Wang, Q Shi, M Nikkhoo, S Wei, S Barbot, D Dreger, R Bürgmann, M Motagh, QF Chen *Science*, 2018•*science.org* **361**, 166–170 (2018).
54. Gherardi, R., Toldo, R., ... V. G.-... A. of the & 2012, undefined. Automatic camera orientation and structure recovery with Samantha. *-remote-sens-spatial-inf-sci.net* R Gherardi, R Toldo, V Garro, A Fusiello *The International Archives of the Photogrammetry ...*, 2012•... *-remote-sens-spatial-inf-sci.net*.
55. Rogers, B. & Graham, M. Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Sage Journals* **8**, 125–134 (1979).
56. Glencross, M. *et al.* A perceptually validated model for surface depth hallucination. *ACM Trans Graph* **27**, (2008).
57. Nebel, S., Beege, M., Schneider, S. & Rey, G. D. A Review of Photogrammetry and Photorealistic 3D Models in Education From a Psychological Perspective. *Frontiers in Education* vol. 5 Preprint at <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.00144> (2020).
58. Handbook of Augmented Reality. *Handbook of Augmented Reality* (2011) doi:10.1007/978-1-4614-0064-6.
59. Burdea, G. & Coiffet, Philippe. Virtual reality technology. 444 (2003).

60. Azuma, R. T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* **6**, 355–385 (1997).
61. Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. <https://doi.org/10.1117/12.197321> **2351**, 282–292 (1995).
62. Jung, T., Chung, N. & Leue, M. C. The determinants of recommendations to use augmented reality technologies: The case of a Korean theme park. *Tour Manag* **49**, 75–86 (2015).
63. Sutherland, I. E. The Ultimate Display. in (ed. Information Processing Techniques Office, A. O.) 506–508 (1965).
64. Paro, M. R., Hersh, D. S. & Bulsara, K. R. History of Virtual Reality and Augmented Reality in Neurosurgical Training. *World Neurosurg* **167**, 37–43 (2022).
65. Sutherland, I. E. A head-mounted three dimensional display*. in *Fall Joint Computer Conference* (Salt Lake City, Utah, 1968).
66. Thomas, P., system, W. D.-H. international conference on & 1992, undefined. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *tweakers.netPC Thomas, WM DavidHawaii international conference on system sciences, 1992•tweakers.net*.
67. Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B. & González-Marrero, A. Virtual Technologies Trends in Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* **13**, 469–486 (2017).
68. Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y. & Liang, J. C. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Comput Educ* **62**, 41–49 (2013).
69. HoloLens 2—Genel Bakış, Özellikler ve Teknik Bilgiler | Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/tr-tr/hololens/hardware>.
70. Azuma, R., Billinghurst, M., Graphics, G. K.-C. & & 2011, undefined. Special section on mobile augmented reality. *ronaldazuma.comR Azuma, M Billinghurst, G KlinkerComputers & Graphics, 2011•ronaldazuma.com* (2011) doi:10.1016/j.cag.2011.04.006.
71. Çiloğlu, T. *et al.* Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Konulu Makalelerin İncelenmesi. *Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi* **3**, 147–158 (2021).
72. Berntsen, K., Palacios, R. C. & Herranz, E. Virtual reality and its uses -A systematic literature review. *ACM International Conference Proceeding Series* **02-04-November-2016**, 435–439 (2016).
73. Peddie, J. Stereoscopic 3D in Computers. *The History of Visual Magic in Computers* 373–427 (2013) doi:10.1007/978-1-4471-4932-3_8.
74. XVIII. Contributions to the physiology of vision. —Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philos Trans R Soc Lond* **128**, 371–394 (1838).
75. American, J. L.-S. & 2001, undefined. Virtually there. *JSTORJ LanierScientific American, 2001•JSTOR*.
76. Lasko-Harvill, A., Blanchard, C., Smithers, W., Harvill, Y. & Coffman, A. FROM DATAGLOVE TO DATASUIT. 536–538 (1988) doi:10.1109/CMPCON.1988.4925.
77. Lanier, J. Virtual Reality: The Promise of the Future. *Interactive Learning International* **8**, 275–79 (1992).
78. Tóth, D., Petrus, K., Heckmann, V., Simon, G. & Poór, V. S. Application of photogrammetry in forensic pathology education of medical students in response to COVID-19. *J Forensic Sci* **66**, 1533–1537 (2021).
79. Aridan, N. *et al.* Neuroanatomy in virtual reality: Development and pedagogical evaluation of photogrammetry-based 3D brain models. *Anat Sci Educ* (2023) doi:10.1002/ASE.2359.
80. Nocerino, E. *et al.* Application of photogrammetry to brain anatomy. *isprs-archives.copernicus.orgE Nocerino, F Menna, F Remondino, S Sarubbo, A De Benedictis, F Chioffi, V PetraliaThe International Archives of the Photogrammetry, Remote ..., 2017•isprs-archives.copernicus.org* doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W4-213-2017.
81. Titmus, M. *et al.* A workflow for the creation of photorealistic 3D cadaveric models using photogrammetry. *J Anat* (2023) doi:10.1111/joa.13872.

82. Nebel, S., Beege, M., Schneider, S. & Rey, G. D. A Review of Photogrammetry and Photorealistic 3D Models in Education From a Psychological Perspective. *Front Educ (Lausanne)* **5**, 530126 (2020).
83. Dziedzic, T. A., Balasa, A., Jeżewski, M. P., Michałowski, Ł. & Marchel, A. White matter dissection with the Klingler technique: a literature review. *Brain Struct Funct* **226**, 13–47 (2021).
84. *Agisoft Metashape User Manual - Standard Edition, Version 2.0.* (2023).
85. Mannen, H. Contribution to the Morphological Study of Dendritic Arborization in the Brain Stem. *Prog Brain Res* **21**, 131–162 (1966).
86. Akakin, A. *et al.* The dentate nucleus and its projection system in the human cerebellum: The dentate nucleus microsurgical anatomical study. *Neurosurgery* **74**, 401–424 (2014).
87. Nuñez, M. A. *et al.* Brain stem anatomy and surgical approaches. in *Comprehensive Overview of Modern Surgical Approaches to Intrinsic Brain Tumors* 53–105 (Elsevier, 2019). doi:10.1016/B978-0-12-811783-5.00004-5.
88. Yagmurlu, K., Rhoton, A. L., Tanriover, N. & Bennett, J. A. Three-dimensional microsurgical anatomy and the safe entry zones of the brainstem. *Clin Neurosurg* **10**, 602–620 (2014).
89. Shaffer, K. Teaching anatomy in the digital world. *N Engl J Med* **351**, 1279–1281 (2004).
90. Ballestriero, R. Anatomical models and wax Venuses: art masterpieces or scientific craft works? *J Anat* **216**, 223 (2010).
91. Das, A. J., Murmann, D. C., Cohn, K. & Raskar, R. A method for rapid 3D scanning and replication of large paleontological specimens. *PLoS One* **12**, (2017).
92. Rubio, R. R. *et al.* Construction of Neuroanatomical Volumetric Models Using 3-Dimensional Scanning Techniques: Technical Note and Applications. *World Neurosurg* **126**, 359–368 (2019).
93. Shao, X., Qiang, D. & Yuan, Q. A new neuroanatomical two-dimensional fitting three-dimensional imaging techniques in neuroanatomy education. *BMC Med Educ* **23**, 333 (2023).
94. Kantaros, A., Ganetsos, T. & Petrescu, F. I. T. Three-Dimensional Printing and 3D Scanning: Emerging Technologies Exhibiting High Potential in the Field of Cultural Heritage. *Applied Sciences* **13**, 4777 (2023).
95. Gurses, M. E. *et al.* Three-Dimensional Modeling and Augmented and Virtual Reality Simulations of the White Matter Anatomy of the Cerebrum. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* **23**, 355–366 (2022).
96. Kamphuis, C., Barsom, E., Schijven, M. & Christoph, N. Augmented reality in medical education? *Perspect Med Educ* **3**, 300–311 (2014).
97. Rademacher, P., Lengyel, J. & Cutrell, E. Measuring the perception of visual realism in images. in *Rendering Techniques 2001* (ed. S. J. Gortler) 235–247 (Springer-Verlag Wien, Eurographics Workshop on Rendering Techniques, 2001).

EKLER

Ek 1: Etik Kurul Onay Formu

S.B. İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ GÖZTEPE EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ KLİNİK ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU (2013-KAEK-64) KARAR FORMU					
SAYI:		Tarih: 23.08.2023			
KONU: Etik Kurulu Kararı					
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		Nöroanatomî Eğitiminde Bir Yenilik Olarak Sanal Laboratuvar: Fotogrametrik Üç Boyutlu Görüntüleme ve Artırılmış-Sanal Gerçeklikle Ak Madde Diseksiyonlarının Görüntülenmesi			
ETİK KURUL BİLGİLERİ	VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu			
	ETİK KURULUN ADI	Araştırmalar Etik Kurulu			
	AÇIK ADRESİ:	Doktor Erkin Cad. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi			
	TELEFON	216 570 91 90			
	FAKS	216 565 55 26			
	E-POSTA	etik@sbgoztepehastanesi.gov.tr			
BAŞVURU BİLGİLERİ	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Dr Öğretim Üyesi Fatih Çalış- Dr Hüseyin İkbâl Akdemir-			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Beyin ve Sinir Cerrahisi			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi			
	VARSA İDARİ SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI				
	DESTEKLEYİCİ				
	PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TÜBİTAK vb. gibi kaynaklardan destek alanlar için)				
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ				
	ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1	☐		
		FAZ 2	☐		
		FAZ 3	☐		
FAZ 4		☐			
Gözlemsel ilaç çalışması		☐			
Tıbbi cihaz klinik araştırması		☐			
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	In vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları	☐			
	İlaç dışı klinik araştırma	☒			
	Retrospektif	☐			
	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐	ULUSAL ☐	ULUSLARARASI ☐	
DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili	
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ			Türkçe ☐ İngilizce ☐ Diğer ☐	
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐	
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe ☐ İngilizce ☐ Diğer ☐	
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ			Türkçe ☐ İngilizce ☐ Diğer ☐	
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama			
	SİGORTA	☐			
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	☐			
	BIYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	☐			
	İLAN	☐			
	YILLIK BİLDİRİM	☐			
	SONUÇ RAPORU	☐			
	GUVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	☐			
KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 2023/0553	Tarih: 23.08.2023			
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir. İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan araştırmalar/çalışmalar için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınması gerekmektedir.				

Dr. Şükrü Sadık ÖNER

S.B. İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ GÖZTEPE EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU (2013-KAEK-64)
KARAR FORMU

SAYI:

KONU: Etik Kurulu Kararı

Tarih: 23.08.2023

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Nöroanatomi Eğitiminde Bir Yenilik Olarak Sanal Laboratuvar: Fotogrametrik Üç Boyutlu Görüntüleme ve Arttırılmış-Sanal Gerçeklikle Ak Madde Diseksiyonlarının Görüntülenmesi
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım *		İmza
Doç. Dr. Şükrü Sadık ÖNER	Tıbbi Farmakoloji	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Aytekin OĞUZ	İç Hastalıkları Anabilim Dalı	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Prof. Dr. Işıl MARAL	Halk Sağlığı Anabilim Dalı	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Prof. Dr. Asif Yıldırım	Üroloji	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Süleyman Daşdağ	Biyofizik	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Derya Büyükkayhan	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	T.C. Sağlık Bakanlığı Zeynep Kamil Kadın ve Çocuk Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Doç. Dr. Asiye KANBAY	Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Doç. Dr. Sıdika Şeyma ÖZKANLI	Tıbbi Patoloji	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Doç. Dr. Hacer Hicran Mutlu	Aile Hekimliği	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Dr Öğretim Üyesi Ergül Demirçivi	Kadın Hastalıkları ve Doğum	S.B. İstanbul Medeniyet Üniversitesi Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Avukat Mahmut ÇELİK	Avukat	Çelik Hukuk Bürosu	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Saliha Şahin	İşçi		E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	

BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:

*:Toplantıda Bulunma

Karar: ☒ Onaylandı ☐ Reddedildi

İYET UNIV.
A.H.
Doç. Dr. Şükrü Sadık ÖNER
Köloji
01/025

Ek 2: Orijinallik Beyan Formu

NÖROANATOMİ EĞİTİMİNDE BİR YENİLİK OLARAK SANAL LABORATUVAR: FOTOGRAMETRİK ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME VE ARTIRILMIŞ-SANAL GERÇEKLİKLE AK MADDE DİSEKSİYONLARININ GÖRÜNTÜLENMESİ

4%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

- | | | |
|---|---|-----------------|
| 1 | Ioannis Kournoutas, Vera Vigo, Ricky Chae, Minghao Wang, Jose Gurrola, Adib A. Abla, Ivan El-Sayed, Roberto Rodriguez Rubio. "Acquisition of Volumetric Models of Skull Base Anatomy Using Endoscopic Endonasal Approaches: 3D Scanning of Deep Corridors Via Photogrammetry", World Neurosurgery, 2019
Crossref | 232 words — 2% |
| 2 | medium.com
Internet | 46 words — < 1% |
| 3 | turkiyeklinikleri.com
Internet | 26 words — < 1% |
| 4 | Tugtekin, Ufuk. "coklu Ortamla ogrenmede Konu Disi Islemleri Azaltma Ilkelerinin Artirilmis Gerceklik ve Sanal Gerceklik Ortamlarinda Bilissel Yuk ve Basariya Etkisi", Anadolu University (Turkey), 2021
ProQuest | 22 words — < 1% |
| 5 | dspace.gazi.edu.tr
Internet | 19 words — < 1% |
| 6 | acikbilim.yok.gov.tr
Internet | 15 words — < 1% |
| 7 | egazete.cumhuriyet.com.tr
Internet | 10 words — < 1% |