SANTRAL (MERKEZİ) VENÖZ KATETERİZASYON (SVK) SİMÜLATÖRÜ TASARIMI

Fatih MESTAN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SANTRAL (MERKEZİ) VENÖZ KATETERİZASYON (SVK) SİMÜLATÖRÜ TASARIMI

Fatih MESTAN
0009-0001-8031-3984

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR
0000-0001-9126-0315
(Danışman)

YÜKSEKLİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Fatih MESTAN tarafından hazırlanan "Santral (Merkezi) Venöz Kateterizasyon (SVK) Simülatörü Tasarımı" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Başkan	**:**	Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR 0000-0001-9126-0315 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Züleyha ALPER 0000-0002-8349-9868 Bursa Uludağ Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Ali ORAL 0000-0002-9144-3821 Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü
08/01/2024

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/01/2024

Fatih MESTAN

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR 08/01/2024	Fatih MESTAN 08/01/2024
İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.	İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SANTRAL (MERKEZİ) VENÖZ KATETERİZASYON (SVK) SİMÜLATÖRÜ TASARIMI

Fatih MESTAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Bu tez, santral venöz kateterizasyon (SVK) becerilerinin eğitimini desteklemek için bir simülasyon cihazının tasarımı ve geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. SVK, hastaların venöz damarlarına uzun süreli erişim sağlamak amacıyla kullanılan bir tıbbi prosedürdür. Bu prosedürün başarıyla uygulanması, sağlık profesyonelleri için kritik bir beceri olup, doğru eğitim gerektirmektedir. Mevcut eğitim yöntemleri yetersiz veya riskli olabilir, bu nedenle daha güvenli ve etkili bir eğitim aracının geliştirilmesi önemlidir.

Tasarım süreci, bileşen seçimi, prototip üretim yöntemleri ve kullanılabilirlik testlerini içeren kapsamlı bir araştırma çalışmadır. Sonuç olarak, geliştirilen SVK simülatörünün sağlık profesyonellerinin eğitimine katkı sağlayabileceği ve SVK becerilerini daha iyi bir şekilde öğrenmelerine yardımcı olabileceği görülmüştür.

Tez çalışmasında, SVK işleminin temel prensiplerini ve tekniklerini öğretmek amacıyla kullanılabilecek ve mevcutlara göre ek özellikleri olan bir simülasyon cihazı geliştirmek amaçlanmıştır. Sonraki bölümlerde, gerçeğe en yakın şekilde süreci simüle etmek amacı ile geliştirilen simülatörün tasarım aşamaları ve ulaşılan sonuçlar açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Santral Venöz Kateterizasyon (SVK), Simülasyon Cihazı, Prototip Üretimi, Eğitim Araçları, Sağlık Profesyonelleri, Ultrason Teknolojisi, Görüntüleme Teknolojileri, Kullanılabilirlik Testleri, Eğitim Etkililiği, Tıbbi Beceriler, Simülasyon Eğitimi, Tıp Eğitimi, Eğitim Simülasyonları, Sağlık Eğitimi.
2024, xiii + 83 sayfa.

ABSTRACT

Master's Thesis

DESIGN OF CENTRAL VENOUS CATHETERIZATION (CVC) SIMULATOR

Fatih MESTAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

This thesis is focused on the design and development of a simulation device to support central venous catheterization (CVC) skills training. CVC is a medical procedure used to provide long-term access to patients' venous vessels. Successful performance of this procedure is a critical skill for healthcare professionals and requires proper training. Current training methods may be inadequate or risky, so it is important to develop a safer and more effective training tool.

It is a comprehensive research study that includes the design process, component selection, prototype production methods and usability tests. As a result, it has been seen that the developed CVC simulator can contribute to the training of healthcare professionals and help them learn CVC skills better.

In this thesis, it is aimed to develop a simulation device that can be used to teach the basic principles and techniques of the CVC process with additional features compared to the existing ones. In the following sections, the design stages of the simulator developed to simulate the process as close to reality as possible and the results obtained are explained.

Key words: Central Venous Catheterization (CVC), Simulation Device, Prototype Manufacturing, Training Tools, Healthcare Professionals, Ultrasound Technology, Imaging Technologies, Usability Testing, Educational Effectiveness, Medical Skills, Simulation Training, Medical Education, Training Simulations, Health Education.
2024, xiii + 83 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürem ve tez çalışmam boyunca destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bilimsel konularda farklı yaklaşımlar geliştirebilmeme katkıda bulunan ve karşılaştığımız zorluklar karşısında yenilikçi bakış açısı ve gösterdiği çözüm odaklı yaklaşım ile hem mesleki hem kişisel anlamda örnek aldığım, tecrübelerinden faydalandığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel ve inceleme çalışmalar için simülatör örneklerini sağlayan ve fikirleri ile tez çalışmamı zenginleştiren Bursa Uludağ Üniversitesi İyi Hekimlik Uygulamaları ve Simülasyon Merkezinden Prof. Dr. Züleyha Alper, Doç. Dr. İlker Mustafa Kafa ve Öğr. Gör. Dr. Mevlüt Okan Aydin'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın tüm aşamalarında beni yalnız bırakmayan ve her daim destekleyen sevgili eşime ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan anne ve babama de sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatih MESTAN
08/01/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
TABLOLAR DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI 3
2.1. Simülatör Teknolojileri ve Eğitim Simülasyonları 3
2.2. Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) 5
2.3. SVK Simülatörleri: Teknik ve Eğitimsel Ayrıntılar 8
2.4. Mevcut Sistemlerin Araştırması 9
2.5. Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) Eğitim Simülatörü Bileşenleri: 18
3. MATERYAL ve YÖNTEM 20
3.1. Sistem Gereksinimlerinin Tespiti 20
3.1.1. Basit Kullanıcı Arayüzü 20
3.1.2. Şırınga Nüfuziyeti Ölçme 20
3.1.3. Kan Dolaşımı 20
3.1.4. Protez Doku Katmanı 20
3.1.5. Ultrason Desteği 21
3.1.6. Taşıma Kolaylığı Sunan Tasarım 22
3.1.7. Gerçekçi İnsan Modeli Tasarımı 22
3.2. Makaleler ve Uzman Görüşleri 23
3.3. Mühendislik Tasarım Faaliyetleri 23
3.3.1. Simülatör Ön Taslak Tasarım Çalışmaları 23
3.3.2. Simülatör Final Tasarım Çalışmaları 35
3.4. Malzeme Seçimi, Üretim Metodolojisi ve Kalıp Tasarım Çalışmaları 58
3.4.1. İnsan Modeli Üretim Yöntemi ve Kalıp Tasarımı 60
3.4.2. Alt Protez Üretim Yöntemi ve Kalıp Tasarımı 63
3.4.3. Üst Doku Deri Üretim Yöntemi ve Kalıp Tasarımı 67
3.4.4. Suni Damar Üretim Yöntemi 69
4. DENEMELER VE KULLANIM ŞEKLİ 74
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 81
KAYNAKLAR 82
ÖZGEÇMİŞ 83

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
V	Kalp Atış Hacmi
R	Nabız
ml	Mililitre
cm^3	Santimetreküp
π	Pi Sayısı

Kısaltmalar	**Açıklama**
SVK	Sentral Venöz Katetarizasyon
Ultrason	Ultrasonografi
IJV	Internal Jugular Ven
CAD	Computer Aided Design
3D	3 Boyutlu
BPM	Nabız
CO	Kardiyak Çıkış
FCL	First Class Replica
r	Damar Yarıçapı
h	Damar Boyu
USİM	Bursa Uludağ Üniversitesi İyi Hekimlik Uygulamaları ve Simülasyon Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	İnsan anatomisinin Afrika ve Orta Asya antik kil modelleri	4
Şekil 2.2.	İnsan anatomisi Roma antik kil modelleri (MÖ 200-MS 200) ...	5
Şekil 2.3.	Santral Venöz Kateterizasyon Bölgeleri ……	6
Şekil 2.4.	Internal Juguler Ven Anatomi ve Ponksiyonu ……	7
Şekil 2.5.	SVK Simülatör Örneği (GTS Simülatör) ……...	8
Şekil 2.6.	Laerdal Medical Firmasının Simulatör Örneği …….....	10
Şekil 2.7.	Laerdal Medical Firmasının Simulatör Örneği ……...	11
Şekil 2.8.	3B Scientific Firmasının Simulatör Örneği ……	12
Şekil 2.9.	Simulab Corporation Firmasının Simulatör Örneği ……...	13
Şekil 2.10.	Mentice Firmasının Simulatör Örneği ……	14
Şekil 2.11.	Limbs & Things Firmasının Simulatör Örneği ……...	15
Şekil 2.12.	GTSimulators Firmasının Simulatör Örneği …….....	16
Şekil 2.13.	Keklikoğlu Firmasının Simulatör Örneği ……...	17
Şekil 2.14.	SVK Simülatör Örneği ……...	18
Şekil 3.1.	Simulaör İçin Uygun Portatif Ultrason Ekipmanı Örneği ….....	21
Şekil 3.2.	Ultrason ile Enjektörün ucunun damar içinde Görülmesi ……..	22
Şekil 3.3.	Tezde Kullanılan İnsan Modeli Örneği …….....	25
Şekil 3.4.	Tezde Kullanılan İnsan Modeli Örneğinin Ölçüleri ……..	26
Şekil 3.5.	İnsan Modelinin Simülatörde Kullanılacak Minimal Sınırları ...	27
Şekil 3.6.	Solidworks ile Modelinin Baş Açısının 45 Derece Sola Çevrilmesi ……..	28
Şekil 3.7.	İnsan Modelinin Baş Açısının 45 Derece Sola Çevrilmiş Hali ..	28
Şekil 3.8.	Modelin Baş Açısının 15 Derece Arkaya Yatırılması ..…….	29
Şekil 3.9.	Modelin Baş Açısının 15 Derece Arkaya Yatırılmış Hali ……..	29
Şekil 3.10.	İnsan Modelinin Üzerinde Protez Doku Taslak Konumu ……..	30
Şekil 3.11.	Protez Doku Taslak Tasarım ……..	30
Şekil 3.12.	Katater Uygulanabilecek Damarlar Görseli ……...	31
Şekil 3.13.	Katater Uygulanmış İnsan Görseli …….	32
Şekil 3.14.	Internal Juguler Ven Damarı Taslak Tasarımı ……	33
Şekil 3.15.	Kan Dolaşım Sisteminde Kullanılacak Akvaryum Pompası …..	34
Şekil 3.16.	Kan Dolaşım Sisteminde Kullanılacak Aç-Kapa Rölesi ……	34
Şekil 3.17.	Kan Dolaşım Sistemi Taslak Çizim ……...	35
Şekil 3.18.	Simülatör İnsan Modelinin Nihai Simülatör Ebatları …….	36
Şekil 3.19.	Simülatör İnsan Modelinin Protez Alt Doku Katmanı Ebatları .	37
Şekil 3.20.	Protez Alt Dokuya Internal Juguler ven Damar Yolunun Açılması …….	37
Şekil 3.21.	SVK Simülatör İnsan Modelinin Protez Alt Doku Konumu …..	38
Şekil 3.22.	SVK Simülatör İnsan Modelinin Protez Üst Doku Deri Katmanı Ebatları ……	39
Şekil 3.23.	Protez Alt Doku ve Protez Üst Doku Deri Katmanlarının Konumlanması ……...	40
Şekil 3.24.	Internal Juguler Ven Damar Final Tasarımı ……..	41
Şekil 3.25.	Internal Juguler Ven Takviye Damar Final Tasarımı ……	41
Şekil 3.26.	Internal Juguler Ven Damarı Simülatör Gövde Konumlaması ..	42
Şekil 3.27	Internal Juguler Ven Damar Protez Doku Konumlaması ……..	43

Şekil 3.28.	Internal Juguler Ven Damar Protez Doku Konumlaması Şeffaf	43
Şekil 3.29.	SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Final Tasarımı ……	44
Şekil 3.30.	SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Pompa Tasarımı …….	46
Şekil 3.31.	SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Devir-Daim Şeması ……	46
Şekil 3.32.	SVK Simülatör Alt Tabla Final Tasarımı ……..	47
Şekil 3.33.	SVK Simülatör Taşıma Kutusu Kapalı Hali ……..	48
Şekil 3.34.	SVK Simülatör Taşıma Kutusu Açık Hali ……..	48
Şekil 3.35.	SVK Simülatör Basit Kullanıcı Arayüzü İzometrik ……..	49
Şekil 3.36.	SVK Simülatör Basit Kullanıcı Arayüzü Ön Görünüş ……..	50
Şekil 3.37.	SVK Simülatör Zemin Paralellik Sağlama Elemanı ……..	51
Şekil 3.38.	SVK Simülatör Suni Kan Takviye Girişi ……...	52
Şekil 3.39	SVK Simülatör Final Komplesi Görünüşleri …….	52
Şekil 3.40.	SVK Simülatör Kırılım Gösterimi …….	53
Şekil 3.41.	SVK Simülatör Katater Şırınga Nüfuziyet Sınırı Gösterimi …...	55
Şekil 3.42.	Simülatör Üzerinde Şırınga Seti Saklama Yeri ……..	55
Şekil 3.43.	Simülatör Üzerinde Şırınga Seti Saklama Yeri Kesit Görüntü ..	56
Şekil 3.44.	SVK Simülatör Mobil Ultrason Cihaz Gösterimi ……..	57
Şekil 3.45.	SVK Simülatör Mobil Ultrason Cihaz Uygulama Gösterimi 1 ..	57
Şekil 3.46.	SVK Simülatör Mobil Ultrason Cihaz Uygulama Gösterimi 2 ..	58
Şekil 3.47.	Uludağ Üniversitesi İyi Hekimlik Uygulamaları ve Simülasyon Merkezi ……..	59
Şekil 3.48.	İnsan Modeli Üretim Kalıp Tasarımı Montaj …….	60
Şekil 3.49.	İnsan Modeli Üretim Kalıp Tasarımı Genel Ölçüler …….	61
Şekil 3.50.	İnsan Modeli Üretim Kalıbı Dişi Form Üretilebilirlik Detayı …	63
Şekil 3.51.	Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı Montaj ve Genel Ölçüler ….	64
Şekil 3.52.	Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı Demontaj …….	65
Şekil 3.53.	Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı Montaj …….	66
Şekil 3.54.	Üst Doku Deri Üretim Kalıp Tasarımı ……..	67
Şekil 3.55.	Üst Doku Deri Üretim Açınım Kalıp Tasarımı …….	68
Şekil 3.56.	Üst Doku Deri Üretim Kalıp Tasarımı Montaj ve Genel Ölçüler	69
Şekil 3.57.	Geleneksel Yöntemle Üretilen Damar Örnekleri-1 ……	70
Şekil 3.58.	Geleneksel Yöntemle Üretilen Damar Örnekleri-2 ……	71
Şekil 3.59.	Geleneksel Yöntemle Üretilen Damar Örnekleri-3 ……	72
Şekil 3.60.	Lateks Kauçuk Suni Damar Görseli ……...	73
Şekil 4.1.	SVK Simülatör Düzlemesellik Ayarlama ……..	74
Şekil 4.2.	SVK Simülatör Suni Kan Takviye Girişi ……...	75
Şekil 4.3.	SVK Simülatör Başlat Düğmesi Kullanıcı Arayüzü ……..	76
Şekil 4.4.	SVK Simülatör Şırınga Seti Muhafaza Yeri ……..	76
Şekil 4.5.	SVK Simülatör Şırınga Giriş Gösterimi …….	77
Şekil 4.6.	SVK Simülatörü Ultrason ile Tespit Çalışması Görüntüsü ……	78
Şekil 4.7.	SVK Simülatörü Ultrason ile Yakından Tespit Çalışması Görüntüsü ……..	79
Şekil 4.8	SVK Simülatör Durdur Düğmesi Kullanıcı Arayüzü …….	79

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	SVK Simülatör BOM listesi…….....	54
Tablo 3.2.	İnsan Modeli Üretim Kalıp Tasarımı BOM listesi……..	62
Tablo 3.3.	Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı BOM Listesi…….....	66

1. GİRİŞ

Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) tıp alanında önemli bir prosedürdür ve hastaların tedavi süreçlerinde sıkça kullanılmaktadır. SVK, uzun süreli intravenöz erişim sağlama amacıyla büyük venöz damarların kateterizasyonunu içeren bir tıbbi işlemdir. Bu prosedür, ilaç uygulaması, beslenme desteği, sıvı replasmanı ve diğer tıbbi gereksinimler için genellikle gereklidir. SVK'nın başarılı bir şekilde uygulanması, sağlık profesyonelleri için kritik bir beceridir, çünkü yanlış uygulanması ciddi komplikasyonlara yol açabilir (Kolikof ve ark., 2023).

Günümüzde, sağlık uzmanlarının SVK becerilerini geliştirmeleri ve sürdürmeleri için farklı eğitim yöntemleri ve araçları mevcuttur. Ancak, gerçek hasta üzerinde SVK uygulamaları riskli olabilir ve daha güvenli bir eğitim ortamı gereklidir. Bu bağlamda, SVK simülasyonu, sağlık uzmanlarının prosedürü güvenli bir şekilde öğrenmelerine ve becerilerini geliştirmelerine yardımcı olabilecek önemli bir öğrenme aracı olarak öne çıkmaktadır (Kar ve Kazan, 2021).

Simülasyon temelli eğitim, gelişen teknolojiyle birlikte, birçok geleneksel eğitim tekniğinin önüne geçmiştir. Gerçeğe yakın ortam/manken/ileri düzey simülatörler; tıbbi bilgi, beceri, tutum ve davranışların öğretilmesi/geliştirilmesinde önemlidir. Tezde, tıp eğitiminde kullanılmak üzere girişimsel ve simülasyon temelli yaklaşım benimsenmiş ve sağlık hizmetlerinde sıklıkla uygulanan santral (merkezi) venöz kateterizasyonun gerçeğe en yakın ortamda öğrenilmesi ve uygulama becerilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Ülkemizde biyomedikal eğitim setleri genel olarak ithal edilmektedir. Yeni gelişen yerli imalat da ithal ürün kalite ve öğretim sistematiğine göre gelişme potansiyeline sahiptir. Tez kapsamında, geniş beceri yelpazesine sahip tıp uzmanlık alanlarının (acil tıp, anesteziyoloji ve reanimasyon, genel cerrahi, göğüs cerrahisi, kalp ve damar cerrahisi, kardiyoloji, dahiliye ve tüm yoğun bakım üniteleri) uyguladığı ve eğitim ihtiyacına sahip olduğu, hastane ortamında uygulanan en yaygın girişimsel prosedürlerden biri olan SVK işlemine yönelik eğitim simülatörü geliştirilmiştir.

Bu tez, SVK simülatörlerinin geliştirilmesi konusunda bir araştırmayı ele almaktadır. SVK simülatörleri, gerçekçi bir çevre sağlayarak sağlık uzmanlarının prosedürü tekrarlayarak öğrenmelerine ve becerilerini geliştirmelerine olanak tanır. Ayrıca, bu simülatörler, yeni teknolojilerin entegrasyonu ile daha da geliştirilebilir, örneğin ultrason ve görüntüleme teknolojileri ve bu teknoloji ile iğne penetrasyon mesafesi vb. kontrolü gibi. Bu tez ile, SVK simülatörlerinin tasarım süreçlerini, bileşen seçimini ve prototip üretim yöntemlerini incelemektedir.

SVK'nin önemini, eğitim gerekliliğini ve SVK simülatörlerinin potansiyel faydalarını genel hatlarıyla açıklanmış olup konu ile ilgili literatür araştırması, SVK simülatörünün tasarımı, geliştirilmesi ve test edilmesi süreçleri takip eden bölümde verilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Simülatör Teknolojileri ve Eğitim Simülasyonları

Simülasyon teknolojileri, farklı sektörlerde ve disiplinlerde kullanılan, gerçek dünya olaylarını taklit eden, öğrenme, eğitim ve beceri geliştirme süreçlerinde etkili bir şekilde kullanılan önemli bir araçtır (Smith ve Peng, 2021). Simülasyon, özellikle sağlık, havacılık, askeri eğitim ve mühendislik gibi alanlarda kritik becerilerin kazanılması ve sürdürülmesi için vazgeçilmez bir öğrenme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, simülasyon teknolojileri, eğitim simülasyonları oluşturmak ve eğitim süreçlerini iyileştirmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Eğitim simülasyonları, öğrencilere veya profesyonellere karmaşık becerileri risk almadan ve gerçek dünyada potansiyel olarak tehlikeli sonuçlar oluşturmadan öğrenme fırsatı sunar. Simülasyon, özellikle tıp eğitiminde ve sağlık uzmanlarının beceri geliştirme süreçlerinde büyük bir öneme sahiptir. Örneğin, cerrahi simülasyonlar, cerrahların cerrahi becerilerini geliştirmelerine ve yeni prosedürleri öğrenmelerine yardımcı olurken, tıbbi simülasyonlar, acil tıp senaryolarını uygulayarak sağlık personelinin kriz yönetimi becerilerini artırır.

SVK (santral venöz / merkezi toplardamar kateteri) ile ilgili tıbbi güvenliği en üst düzeye çıkarmak için, simülasyon temelli SVK erişim eğitimi, stajyerlerin sadece ultrason kılavuzlu teknikleri geliştirmesini sağlamamalı, aynı zamanda mekanik yerleştirme sorunu, aritmi, enfeksiyon, pnömotoraks ve kalp durması gibi çeşitli komplikasyonların nasıl önleneceğini de öğretmelidir. Gelecekteki çalışmalarda, SVK'nin yerleştirilmesi ve çeşitli komplikasyonların önlenmesi için daha gelişmiş yüksek kaliteli / gerçeğe yakın simülatörler geliştirilmelidir (Komasawa ve ark., 2016).

Simülasyon teknolojileri, birçok alanda profesyonel eğitimi daha etkili ve güvenli hale getirme potansiyeline sahiptir. Bu tez, eğitim simülasyonlarının tasarım ve geliştirme süreçlerine odaklanarak, bu teknolojilerin sağlık eğitimi ve diğer alanlardaki uygulamalarını daha fazla incelemektedir.

Simülasyonun tıp eğitiminde uzun bir geçmişi olduğunu düşünmek şaşırtıcı olabilir. Antik döneme ait kil ve taş modeller, dünya genelinde farklı hastalıkların klinik özelliklerini göstermek amacıyla kullanılmıştır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, tıbbi simülasyon daha karmaşık bir hal almıştır. İlk 'modern' simülatör, 1700'ler civarında Paris'te bir baba-oğul olan Gregoire ve Gregoire tarafından bir insan leğen kemiğinden ve ölü bir bebekten geliştirilmiştir. Başlangıçta ebelerin doğum yöntemlerini öğrenmesi için kullanılan bu simülatör, bebek ölümlerinde belirgin bir azalmaya yol açmıştır. Ayrıca, orta çağdan günümüze kadar hayvanlar da cerrahi becerilerin geliştirilmesi ve öğretilmesinde kullanılmıştır (Smith ve Peng, 2021).



Şekil 2.1. İnsan anatomisinin Afrika ve Orta Asya antik kil modelleri
(Smith ve Peng, 2021)

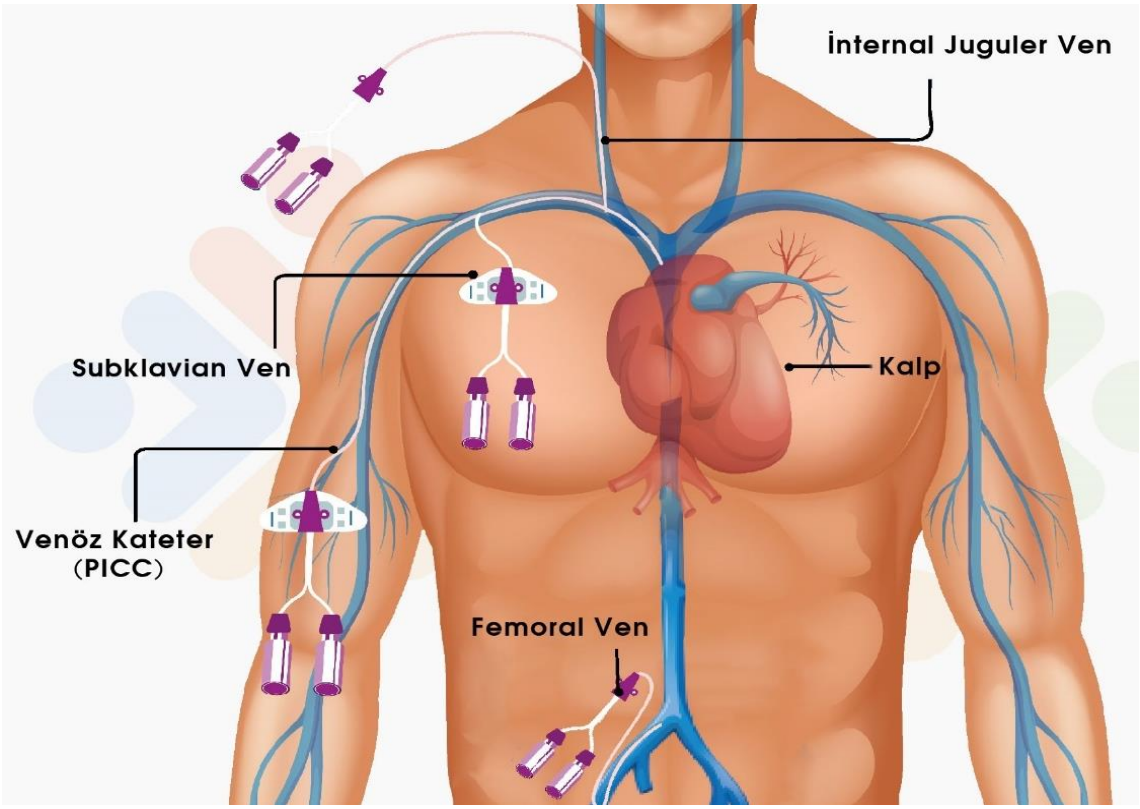
Şekil 2.1'de yer alan ilk tıbbi simülatörler, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Orta Asya bölgelerinden elde edilen antik kil modellerinde insan anatomisinin anatomik adak sunumları görülmektedir. Şekil 2.2'de ise de Roma'dan, MÖ 200-MS 200 tarihleri arasında kullanılan bir adak erkek gövdesi yer almaktadır.



Şekil 2.2. İnsan anatomisi Roma antik kil modelleri (MÖ 200-MS 200)
(Smith ve Peng, 2021)

2.2. Santral Venöz Kateterizasyon (SVK)

Santral Venöz Kateterizasyon (SVK), büyük venöz damarlara yerleştirilen bir kateter kullanılarak merkezi venöz sisteme erişim sağlamak için kullanılan bir tıbbi prosedürdür. Bu prosedür, uzun süreli intravenöz tedaviye ihtiyaç duyan hastalar için yaygın olarak kullanılır ve merkezi venöz sistemin büyük damarlarına yerleştirilen bir kateter aracılığıyla gerçekleştirilir. SVK, hastaların tedavi süreçlerini iyileştirmenin önemli bir yolunu temsil eder ve sağlık profesyonelleri için kritik bir beceri olarak kabul edilir. (Türkyılmaz, 2011)



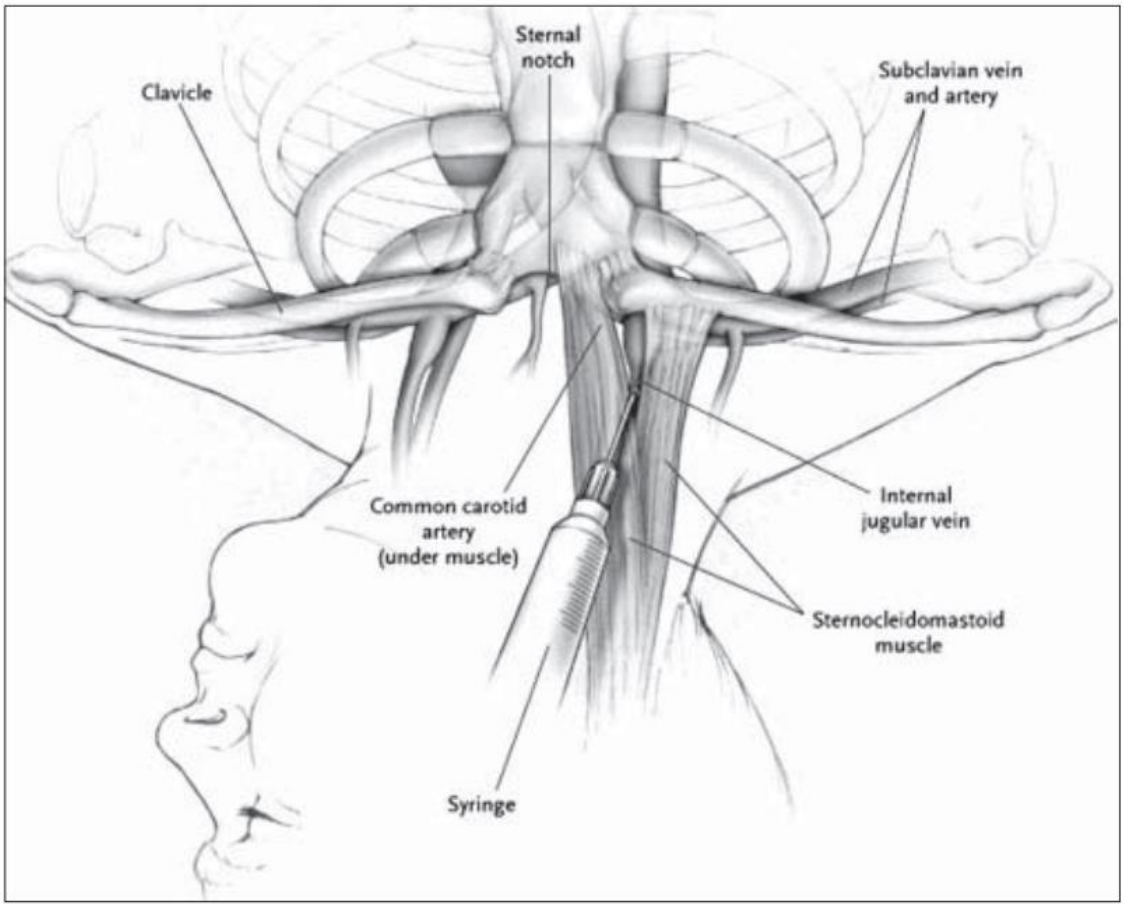
Şekil 2.3. Santral Venöz Kateterizasyon Bölgeleri (https://www.acilcalisanlari.com/santral-venoz-kateterizasyon.html)

Bu prosedürün doğru ve güvenli bir şekilde uygulanması hem hastaların hem de sağlık uzmanlarının güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynar. Ayrıca, uzun süreli intravenöz tedaviye ihtiyaç duyan hastalar için bu prosedürün uygulanabilirliği ve etkinliği göz önüne alındığında, SVK'nin tıbbi pratiklerin ayrılmaz bir parçası olduğunu söyleyebiliriz (Smith ve Peng, 2021). SVK prosedürü, sadece tıp alanında değil, aynı zamanda hemşirelik, acil tıp ve yoğun bakım gibi sağlık hizmetlerinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu prosedürün etkili bir şekilde öğrenilmesi ve uygulanması, sağlık uzmanlarının kariyerlerinin başarısı için önemlidir.

İnternal juguler ven (IJV), kranyal yapılardan kalbe doğru venöz kanın büyük bölümünü taşıyan ana venöz damardır (Kiray ve ark., 2005).

Standart ve gerçek bir SVK operasyonunda aşağıda açıklandığı gibi bir sıralama yapılmaktadır;

İnternal juguler ven (IJV), beyin yapıları boşaltır. Potansiyel olarak büyük bir vendir ve santral venöz kateterizasyonda sık kullanılır. Subklavian ven'e göre daha az komplikasyonludur. Hasta, kolunu yanlara açmış şekilde yatırılmalıdır. Yatak başı aşağı duruma getirilerek hava kabarcığı girişini engellemek ve kanın toplanmasını sağlamak amaçlanır. Baş, girilecek tarafın karşısına hafifçe döndürülmelidir, yani yaklaşık 40-45 derece yükseklikte arkaya doğru yatırılır. Ancak başın çok fazla döndürülmesi damarlara zarar verebilir, bu nedenle dikkatli olunmalıdır (Tercan. 2023; McGee ve Gould, 2003).



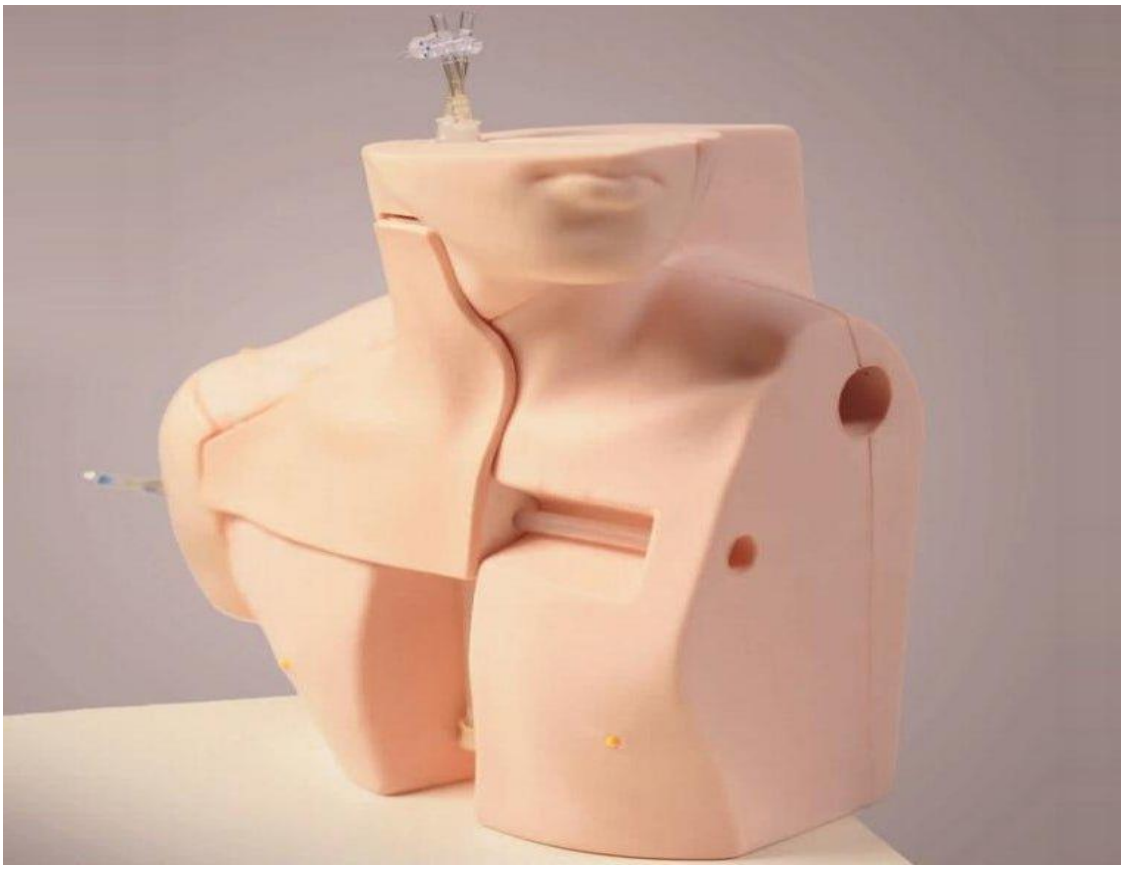
Şekil 2.4. Internal Juguler Ven Anatomi ve Ponksiyonu
(Tercan. 2023; McGee ve Gould, 2003)

Hasta ayakta iken boynun alt kısmında krikoid kıkırdak ve bununla aynı seviyede karotid arter hissedilebilir. Sternokleidomastoid kasın bacaklarının oluşturduğu üçgenin en üst kısmı da iğneleme noktası olarak kullanılabilir. Parmaklarla hafifçe arter hissedilirken, iğne cilde 30-40 derecelik bir açıyla batırılır ve aynı taraftaki meme başına doğru yönlendirilir. Kadınlarda meme başının konumu değişebilir, bu nedenle iğneleme

yapılırken erkeklerde tahmini bir yer belirlenir ve iğne daima parmak altındaki arterden uzak bir yöne doğru hareket ettirilir. Genellikle, iğne cilde batırıldıktan sonra 2-3 cm içeride ven bulunabilir. Eğer ven bulunamazsa, iğne biraz daha dışa doğru yönlendirilebilir (Tercan. 2023; McGee ve Gould, 2003).

2.3. SVK Simülatörleri: Teknik ve Eğitimsel Ayrıntılar

Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) simülatörleri, sağlık uzmanlarının merkezi venöz kateterizasyon becerilerini geliştirmek ve bu kritik tıbbi prosedürü güvenli bir şekilde uygulamak için önemli bir öğrenme aracıdır. SVK, büyük venöz damarlara bir kateterin yerleştirilmesini içeren karmaşık bir işlemdir ve hastaların güvenliği için doğru bir şekilde öğrenilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.5. SVK Simülatör Örneği (GTS Simülatör)
(https://www.gtsimulators.com/products/cvc-insertion-simulator-ii-kk-m93-ub)

Bu simülatörler, gerçekçi bir anatomik model kullanarak öğrencilere venöz erişim becerilerini geliştirme fırsatı sunar. Anatomik modeller, gerçek insan vücudu anatomisini

hassas bir şekilde taklit eder ve öğrencilere venöz damarların yerini ve derinliğini anlama fırsatı verir.

Bazı SVK simülatörleri ultrason görüntüleme yetenekleriyle donatılmıştır. Bu, öğrencilere venöz damarların doğru bir şekilde belirlenmesini ve prosedürün güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini destekler. Ultrason rehberliği, özellikle ince venöz damarların yerini tespit etmede büyük bir avantaj sağlar (Caffery ve ark., 2018).

SVK simülatörleri, öğrencilere farklı senaryoları simüle etme ve potansiyel komplikasyonlarla başa çıkma fırsatı sunar. Bu simülatörler, acil durum senaryolarının pratik yapılmasını sağlar ve sağlık profesyonellerinin beklenmedik durumlarla nasıl başa çıkacaklarını öğrenmelerine yardımcı olur.

Sonuç olarak, SVK simülatörleri, sağlık eğitimi ve klinik pratiğin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu simülatörler, öğrencilerin venöz kateterizasyon becerilerini güvenli bir şekilde geliştirmelerini ve bu karmaşık prosedürü ustalıkla uygulamalarını sağlama konusunda etkili bir rol oynarlar.

2.4. Mevcut Sistemlerin Araştırması

Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) eğitim simülatörleri, dünya genelinde birçok sağlık eğitimi kuruluşu, tıp fakültesi ve hastane tarafından kullanılan önemli öğrenme araçlarıdır. Bazı önde gelen SVK eğitim simülatörü üreticileri ve ürünleri hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir:

Laerdal Medical:

Kuruluş Yılı: 1940

Detaylar: Laerdal Medical, SimMan ve SimBaby gibi ünlü tıbbi simülasyon ürünleri ile tanınır. SVK eğitim simülatörleri de geniş bir ürün yelpazesi içinde sunulmaktadır.

(Kaynak: https://laerdal.com/)



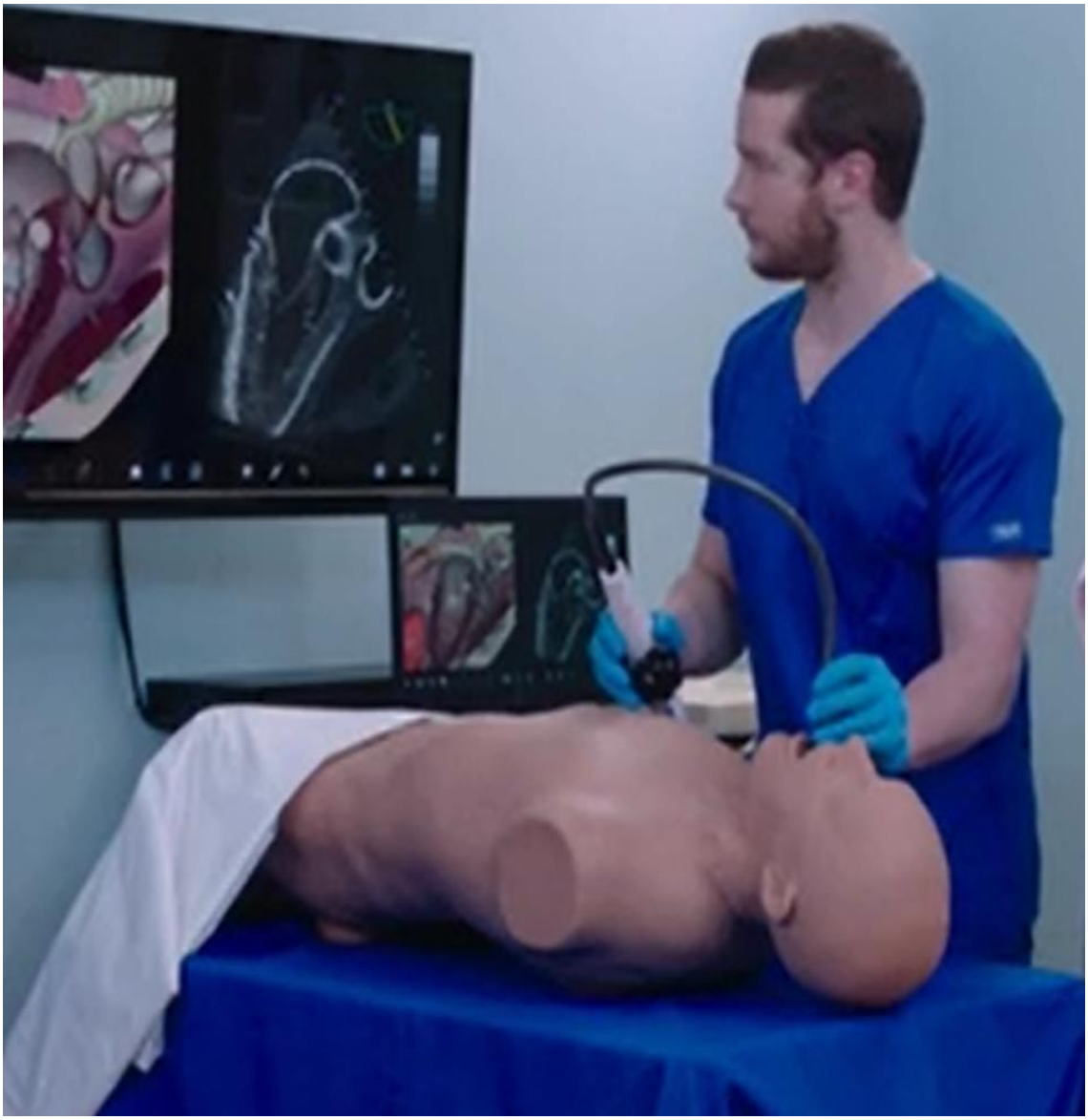
Şekil 2.6. Laerdal Medical Firmasının Simulatör Örneği
(Laerdal Medical Simülatör)

CAE Healthcare:

Kuruluş Yılı: 1947

Detaylar: CAE Healthcare, Apollo ve METIman gibi simülasyon ürünleri sunan bir şirkettir. SVK simülatörleri, anatomik modelleri ve ultrason rehberliği içerebilen yenilikçi özelliklerle dikkat çeker.

(Kaynak: https://www.caehealthcare.com/)



Şekil 2.7. CAE Healthcare Firmasının Simülatör Örneği
(CAE Healthcare Simülatör)

3B Scientific:

Kuruluş Yılı: 1948

Detaylar: 3B Scientific, tıp eğitimi için çeşitli simülasyon ürünleri sunar. SVK eğitimi için özelleştirilebilir ve gerçekçi modeller sunarlar.

(Kaynak: https://www.3bscientific.com/)



Şekil 2.8. 3B Scientific Firmasının Simulatör Örneği
(3B Scientific Simülatör)

Simulab Corporation:

Kuruluş Yılı: 1994

Detaylar: Simulab, SVK eğitim simülatörleri konusunda uzmanlaşmış bir şirkettir. CentraLineMan ve CentraLineMan Pro, özellikle santral venöz kateterizasyon eğitimi için geliştirilmiş ürünleridir.

(Kaynak: https://simulab.com/)



Şekil 2.9. Simulab Corporation Firmasının Simulatör Örneği
(Simulab Simülatör)

Mentice:

Kuruluş Yılı: 1999

Detaylar: Mentice, endovasküler becerileri öğrenmek için kullanılan simülasyon ürünleri sunar. Santral venöz kateterizasyonun yanı sıra anjiyo ve kateterizasyon eğitimlerine odaklanırlar.

(Kaynak: https://www.mentice.com/)



Şekil 2.10. Mentice Firmasının Simulatör Örneği
(Mentice Simülatör)

Limbs & Things:

Kuruluş Yılı: 1990

Detaylar: Limbs & Things, SVK eğitim simülatörleri üretir. Bu ürünler, tıp öğrencilerine ve sağlık profesyonellerine SVK prosedürünü öğrenme fırsatı sunar.

Bu şirketler, dünya genelinde sağlık eğitimi alanında tanınmış ve güvenilir SVK eğitim simülatörleri üreticileridir. SVK eğitimi için hangi ürünün en uygun olduğunu belirlemek için ihtiyaçlarınıza ve bütçenize uygun seçenekleri değerlendirmeniz önemlidir. Ürün seçiminde, ürünlerin gerçekçilik, ultrason rehberliği, yazılım desteği ve özelleştirme seçenekleri gibi faktörleri göz önünde bulundurmalısınız.

(Kaynak: https://limbsandthings.com/global)



Şekil 2.11. Limbs & Things Firmasının Simulatör Örneği
(Limbs & Things Simülatör)

GTSimulators:

Kuruluş Yılı: 1947

Detaylar: GTSimulators tıbbi simülatörler ve anatomik modelleri Eğitim alanı için üreten ABD'nin önde gelen şirketlerinden biridir. Ürün yelpazesi, Anatomik Modeller ve Şemalar, Gerçekçi Tıbbi Simülatörler, Yaşlanma ve Hemipleji Simülasyon Takımları, Biyoloji Modelleri ve Malzemeleri, Botanik Modeller, CPR Mankenleri, Diş Mankenleri, Sağlık Eğitim Ürünleri, Zooloji Modelleri, Enjeksiyon ve IV Eğitim Cihazları, Hayat Destek Eğitim Cihazları, Hasta Bakımı Mankenleri ve Ultrason Fantomları içerir.

(Kaynak: https://www.gtsimulators.com/)



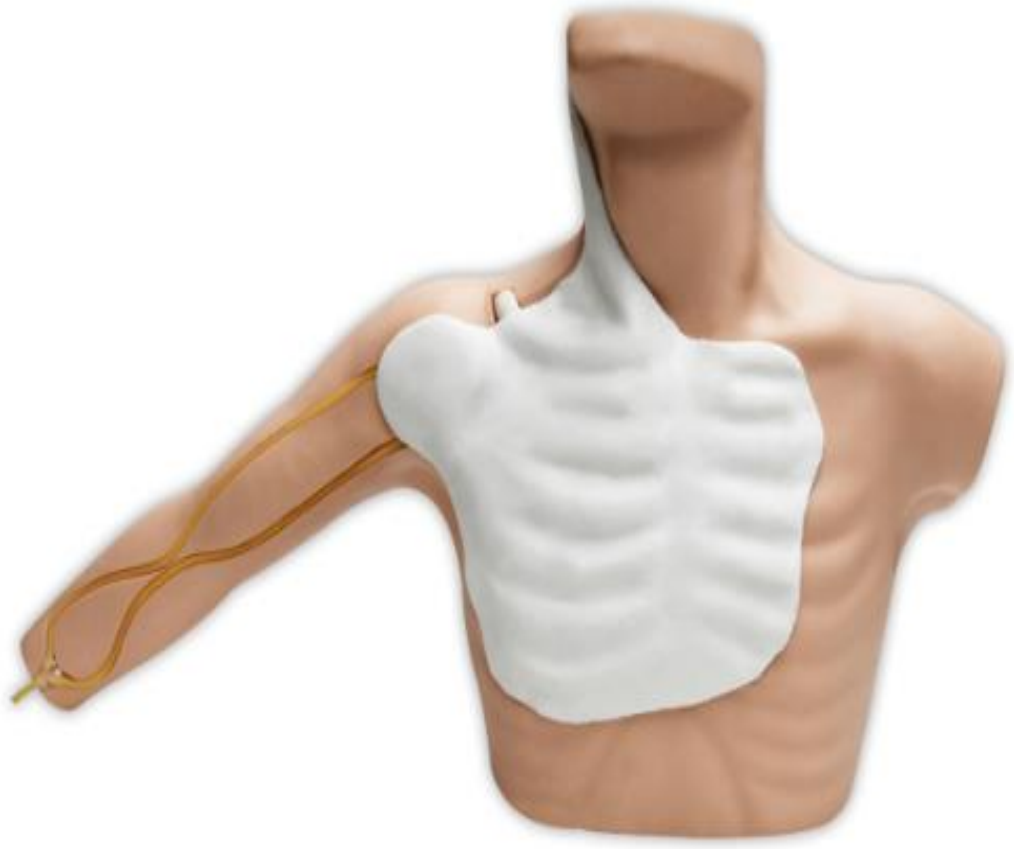
Şekil 2.12. GTSimulators Firmasının Simulatör Örneği
(GT Simülatör)

Keklikoğlu:

Kuruluş Yılı: 1991

Detaylar: Keklikoğlu Plastik firması, 2000 yılında anatomi maketlerinin imalat araştırmalarına başlamış, ilk zamanlarda birkaç demo anatomi model imalatı yapmış sonrasında ise anatomist öğretim üyesi hocaların yönlendirmeleri ve tavsiyeleri doğrultusunda imalat çalışmalarını hızlandırmıştır. Firma; eğitim-öğretimde eksikliği hissedilen Simülasyon modellerini de 2010 yılından itibaren yurt dışından ithal ederek satışlarına başlamıştır.

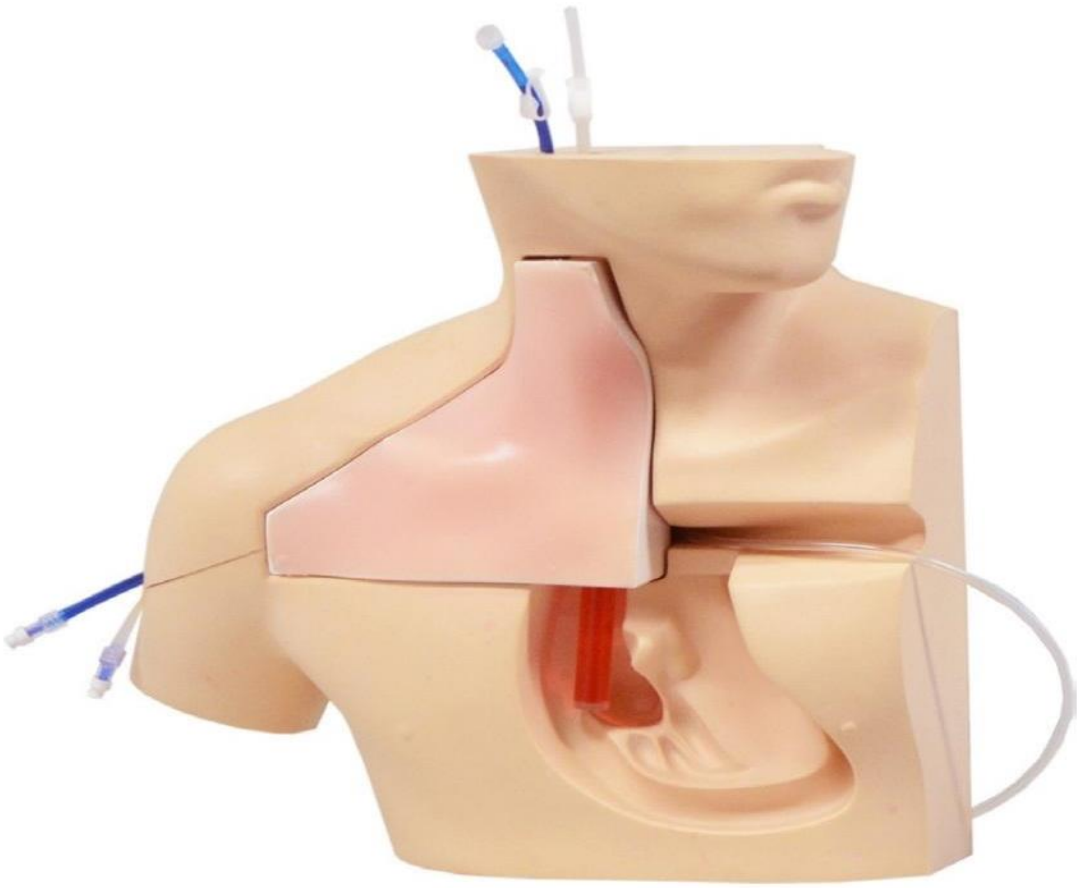
(Kaynak: https://www.keklikoglu.com/)



Şekil 2.13. Keklikoğlu Firmasının Simulatör Örneği
(Keklikoğlu Simülatör)

2.5. Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) Eğitim Simülatörü Bileşenleri:

Yapılan literatür ve kaynak araştırmalarına göre SVK simülatörleri oluşturan bileşenler genel itibari ile aşağıda sıralanmış olup hedeflenen simülatör tasarımına temel teşkil edecektir.



Şekil 2.14. SVK Simülatör Örneği
(https://www.gtsimulators.com/products/cvc-insertion-simulator-ii-kk-m93-ub)

Anatomik Model: SVK simülatörleri, gerçekçi bir insan vücudu modelini içermesi istenir. Böylelikle bu model, öğrencilere venöz damarların doğru bir şekilde yerleşimini ve derinliğini anlama fırsatı sunar. Model ne kadar gerçekçi olursa simülasyon aşamasında öğrenci gerçek ortam ruhuna o kadar yakın olur.

Cilt ve Doku Katmanları: Simülatör, gerçek bir cilt ve doku hissi veren katmanlarla kaplıdır. Bu katmanlar, prosedür sırasında cilt delme pratiği yapmayı sağlar.

Venöz Damarlar: SVK simülatörleri, gerçek venöz damarları taklit eden yapay damarlar içerir. Bu damarlar, kateterin yerleştirilmesi sırasında gerçekçi bir venöz erişim deneyimi sağlar.

Ultrason Rehberliği: Çok az SVK simülatörleri, ultrason görüntüleme yeteneklerini entegre eder. Bu özellik, öğrencilere venöz damarların hassas bir şekilde belirlenmesini öğretir.

Kateterler ve İğneler: Simülatör, gerçekçi kateterler ve iğneler içerir. Öğrenciler, bu malzemeleri kullanarak SVK prosedürünü uygulama pratiği yapabilirler.

Taşıma ve Depolama Ünitesi: Simülatör, taşınabilir bir ünite içinde gelir ve kolayca saklanabilir.

SVK eğitim simülatörleri, tıp ve hemşirelik öğrencilerinin ve sağlık uzmanlarının venöz erişim becerilerini geliştirmeleri ve prosedürü güvenli bir şekilde uygulamaları için etkili bir eğitim aracıdır. Bu simülatörler, klinik uygulama öncesinde pratik deneyim kazanmanıza yardımcı olabilirler.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sistem Gereksinimlerinin Tespiti

Yapılan araştırmalar, incelemeler ve tanımlamaların ışığında teze konu olan SVK eğitim simülatörünün yenilikçi özelliklerde yapılabilmesi için temel sistem gereksinimlerini aşağıdaki gibi listelenmiştir. Takip eden bölümlerde de insan modeli tasarımı, modelin imalatı için kalıp tasarımı, simülatör sistem tasarımı ve üretim metodolojisi açıklanacaktır.

3.1.1. Basit Kullanıcı Arayüzü

Simülatör kullanıcı arayüzünde minimalist bir tasarım yaklaşımı benimsenmeli ve öğrencilere en temel venöz erişim becerilerini geliştirme fırsatı sunulmalıdır. Minimal tasarım, öğrencinin odaklanmasını sağlayarak hızlı öğrenme ve uygulama sürecine olanak tanır. Ara yüzdeki kontrol mekanizmaları, kullanıcının eğitim seansları sırasında etkili bir şekilde etkileşimde bulunmasına ve geribildirim almasına olanak tanımalıdır.

3.1.2. Şırınga Nüfuziyeti Ölçme

Simülatör, şırınga ile damara nüfuziyet miktarını doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayan görsel sistemi içermelidir. Kateter yerleştirme sırasında kullanıcının doğru miktarda girişini sağlayarak prosedürün başarı oranını artırır.

3.1.3. Kan Dolaşımı

Simülatör, bir düşük basınçlı mini akışkan pompası aracılığıyla kapalı devre kan dolaşım sistemini içermelidir. Bu sistem, damar içi kan akışını taklit ederek gerçek bir venöz erişim deneyimi sağlar. Akışkanın açılıp kapanması, kalp atış frekansına göre ayarlandığından, öğrenciye kan dolaşımının dinamiklerini anlamada ve uygulamada bir mükemmellik sağlar.

3.1.4. Protez Doku Katmanı

Simülatör, sürekli enjeksiyon işlemi sırasında kullanılan protez doku katmanını içermelidir. Bu katman, silikon tabanlı bir malzeme kullanılarak üretilmeli ve zamanla tahribata uğrayacağı için belirli periyotlarda değiştirilebilir olmalıdır. Protez doku,

kullanıcının kateter yerleştirme yeteneklerini değerlendirmek ve iyileştirmek amacıyla pratik yapmasına olanak sağlar.

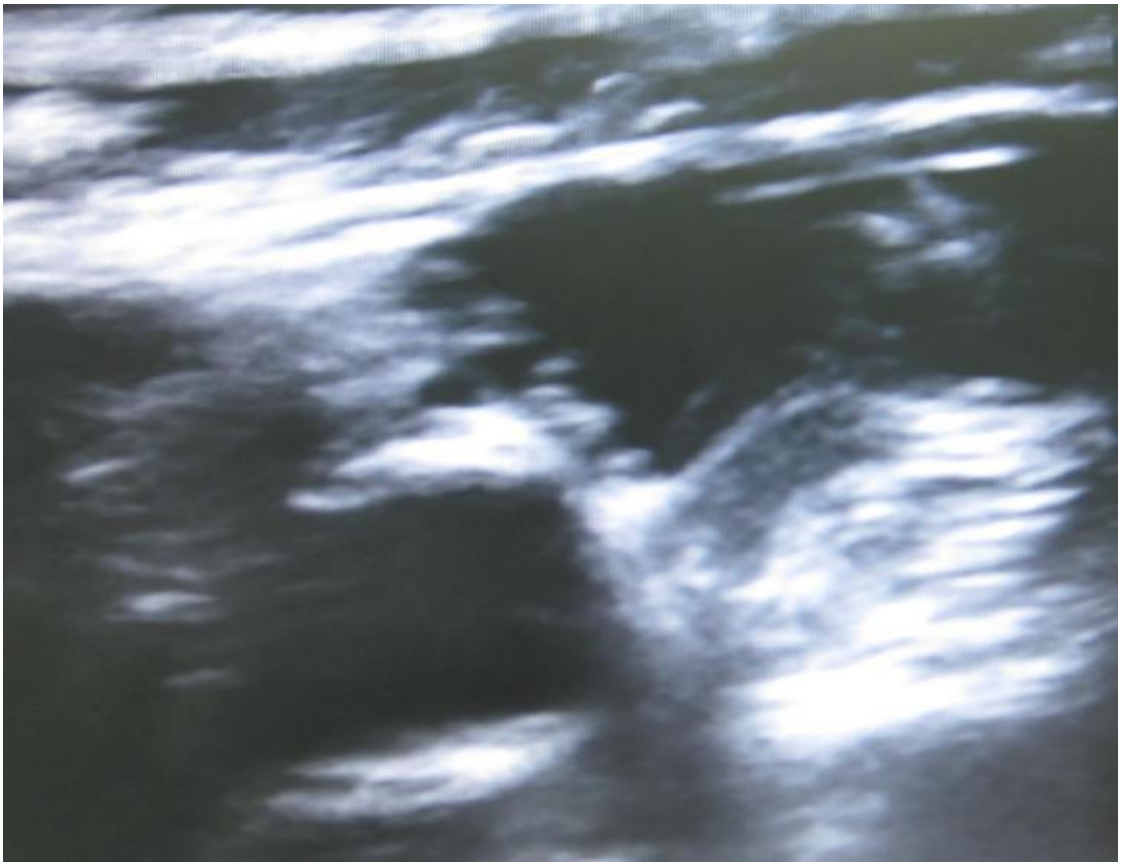
3.1.5. Ultrason Desteği

Simülasyon sistemi, ultrason destekli bir görüntüleme sistemini de içermelidir. Bu sistem, öğrencilere venöz damarların hassas konumunu belirleme yeteneği kazandırırken, ultrason eşliğinde kateter yerleştirme pratiği yapmalarına imkân tanır. Bu, öğrencilere klinik uygulama sırasında karşılaşabilecekleri gerçek senaryolara daha hazırlıklı olma avantajı sunar. (Türkyılmaz, 2011)

Kateterin doğru bir şekilde yerleştirilmesi için özel iğne tekniklerinin simüle edilmesiyle, öğrencilerin bu becerilerini geliştirmesi hedeflenmiştir. Ultrasonun SVK işlemlerindeki önemi vurgulanarak, öğrencilere ultrasonun etkin kullanımı öğretilmiştir.



Şekil 3.1. Simulaör İçin Uygun Portatif Ultrason Ekipmanı Örneği (https://www.unicamed.com.tr/products/portatif-ultrason-cihazi)



Şekil 3.2. Ultrason ile Enjektörün ucunun damar içinde Görülmesi
(Türkyılmaz, 2011)

3.1.6. Taşıma Kolaylığı Sunan Tasarım

Simülasyon sistemi, modüler bir yapıda olup taşıma kolaylığı sağlamalıdır. Modüler tasarım, kullanıcıların simülatörü farklı eğitim ortamlarına taşımasını ve kolayca kurmasını mümkün kılar. Taşıma kolaylığı, simülasyonun geniş bir öğrenici kitlesine ulaşmasını sağlar ve pratik deneyimlerin çeşitlendirilmesine olanak tanır. Böylelikle eğitim için kullanılacağı için sadece laboratuvar değil sınıf, sempozyumlar, fuarlar gibi yerlere rahatlıkla götürülmeli ve kullanılabilmelidir.

3.1.7. Gerçekçi İnsan Modeli Tasarımı

Simülatör, gerçek bir insan vücudu gibi tasarlanmalıdır. Anatomik detaylar, venöz erişim noktalarının yanı sıra çevresel anatomik yapıları içermelidir. Estetik ve dokusal benzerlik, öğrencilere gerçek bir klinik ortamında çalışıyormuş gibi bir deneyim sunmalıdır. Bu, öğrencilerin gerçek dünya senaryolarına daha iyi adapte olmalarını sağlar.

3.2. Makaleler ve Uzman Görüşleri

Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) Simülatörü için İnsan modeli tasarımı ve kalıp yapımı konularında taraması yapılan makalelerde ve Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Tıp Fakültesi'nden Öğretim Üyeleri ile yapılan görüşmelerde 3.1. başlığı ile belirtilen sistem gereksinimleri teyit edilmiştir.

3.3. Mühendislik Tasarım Faaliyetleri

3.3.1. Simülatör Ön Taslak Tasarım Çalışmaları

Bu çalışma, merkezi venöz kateterizasyon (SVK) eğitim simülatörünün geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Literatürde boyun bölgesinden yapılan SVK işleminde, anatomik yapıların detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiğini vurgulanmaktadır. Internal Juguler ven, external, Juguler ven subklavyen ven ve karotis arter gibi ana yapıların, hangi damarın seçileceği ve kateterin nasıl yerleştirileceği konusunda kritik öneme sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, öğrencilere deneyimleme ve becerilerini geliştirme fırsatı sunmak için Internal Juguler ven damar yolu simülasyonları yapılmıştır. Sterilite ve hijyen konuları, SVK işlemlerinde hayati öneme sahip olup, bu standartların simülatörler aracılığıyla öğrencilere aktarılması üzerinde de durulmuştur.

Kateterin doğru bir şekilde yerleştirilmesi için özel iğne tekniklerinin simüle edilmesiyle, öğrencilerin bu becerilerini geliştirmesi hedeflenmiştir. Ultrasonun SVK işlemlerindeki önemi vurgulanarak, öğrencilere ultrasonun etkin kullanımı da öğretilmiş olmaktadır.

Ayrıca, olası komplikasyonların ve acil durumların simüle edilerek öğrencilere beklenmedik durumlarla başa çıkma becerisi kazandırılması amaçlanmıştır.

Bu şekilde, SVK işlemi ve simülasyonlarının öğrencilerin beceri gelişimine nasıl katkı sağladığını belirlemeye yönelik bu çalışma, önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Ön taslak tasarım çalışmasında; insan modeli, protez doku, damar sistemi ve kan dolaşım sisteminin eskiz ve prototip tasarım karakalem çalışmaları Solidworks ve Visi-vero programları kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

İnsan Modelinin Oluşturulması

Simülatör tasarımının temel adımı, gerçekçi bir insan modelinin oluşturulmasıdır. İnsan modelinin oluşturulmasında, anatomik detaylar, doku benzerliği ve estetik özelliklere özel önem verilmiştir. 2.4 başlığında sunulan mevcut simülatörlerde var olan insan modellerinin gerçekçiliğe yakın olmadığı gözlenmektedir.

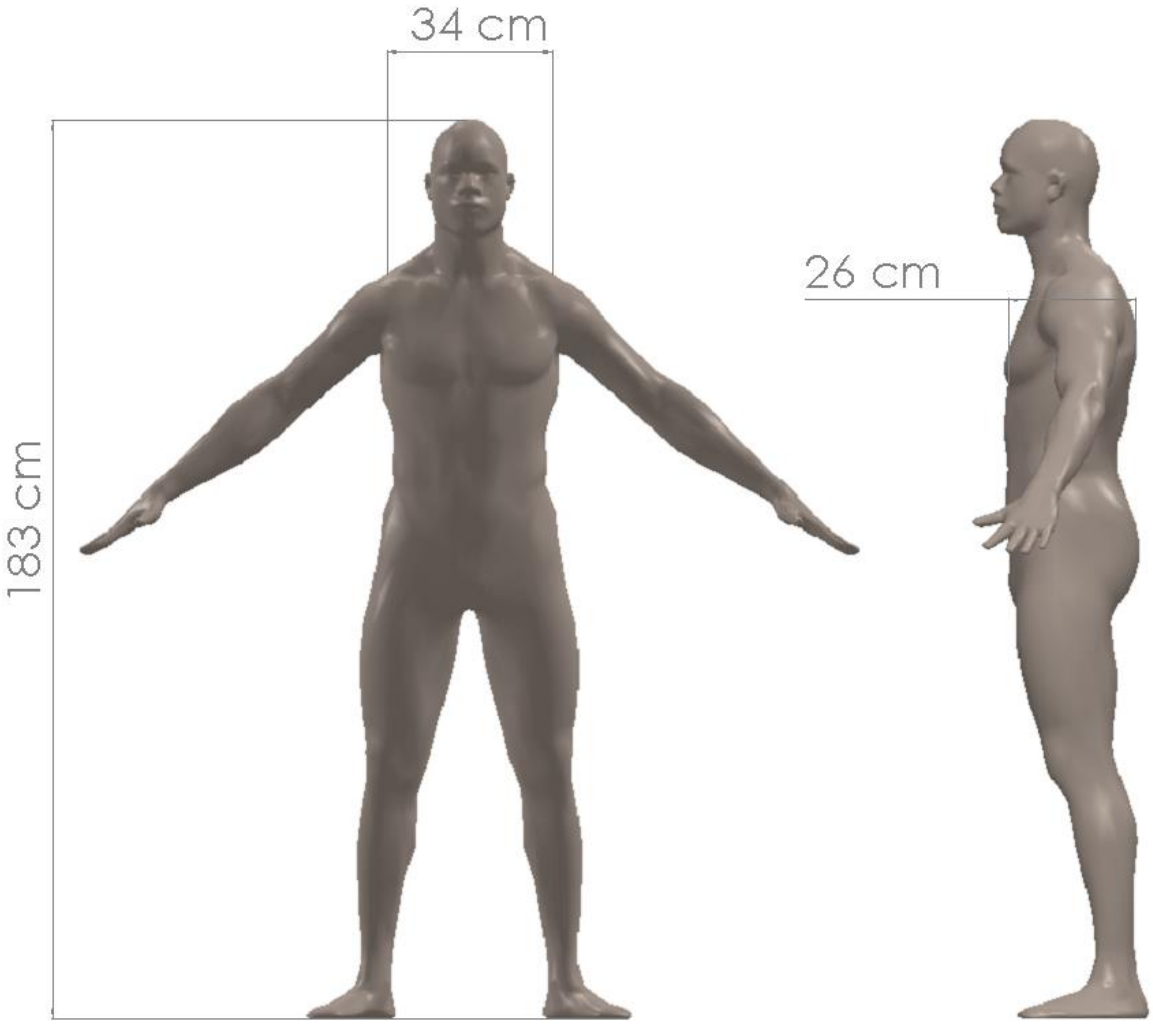
İnsan modelini sıfırdan oluşturmak yerine internette yer alan GRABCAD veri bankasından 3 boyutlu CAD datalardan projemiz için uygun olan datalar araştırılmıştır.

Yapılan araştırmalarda gerçek insan ölçeğinde, anatomik detaylar, doku benzerliği ve estetik özelliklere sahip Şekil 3.3'teki model tercih edilmiştir.



Şekil 3.3. Tezde Kullanılan İnsan Modeli Örneği
(https://grabcad.com/library/generic-human-head-and-body-step-1)

Şekil 3.4'te görülen modelin orijinal boyutları, standart bir erkek bedenine ait ölçülerdir ve SolidWorks programı kullanılarak ölçülmüştür. Bu temel model, SolidWorks ve Visi Vero programları aracılığıyla simülasyonun ihtiyaca uygun hale getirilmesi için modifiye edilecektir. Bu modifikasyonlar, simülasyonun amacına daha uygun ve optimize edilmiş bir yapı elde etmek için yapılacaktır.



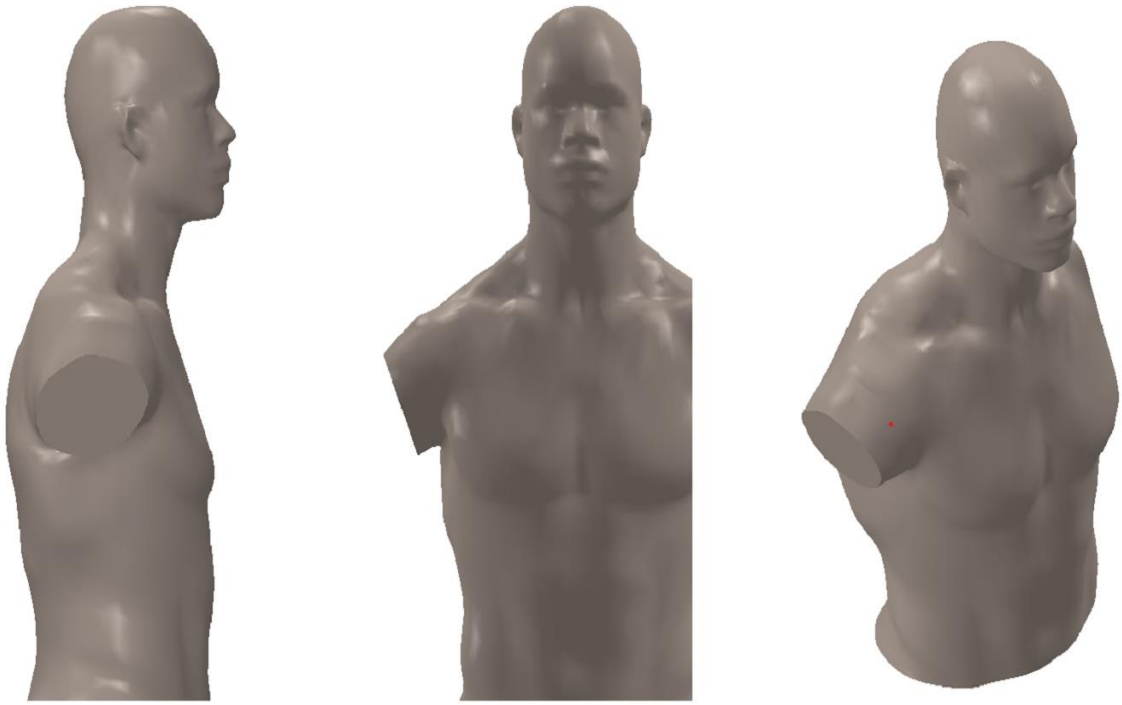
Şekil 3.4. Tezde Kullanılan İnsan Modeli Örneğinin Ölçüleri (https://grabcad.com/library/generic-human-head-and-body-step-1)

Şekil 3.5'te görülen model, SolidWorks programı kullanılarak ihtiyaç duyulan kısımlara özgü olarak kesilmiş ve gereksiz olan kısımları ortadan kaldırılmıştır. Bu aşama, uzman görüşleri alınarak ve mevcut kaynakların detaylı bir şekilde araştırılmasıyla birlikte, simülasyon cihazının ergonomik sınırları içerisinde minimal ihtiyaçları karşılayacak şekilde belirlenmiştir. Simülasyon cihazının final tasarım aşamasında, üretim yöntemleri

göz önünde bulundurularak, ilave budamalar ve optimize edici düzenlemeler gerçekleştirilmiştir.

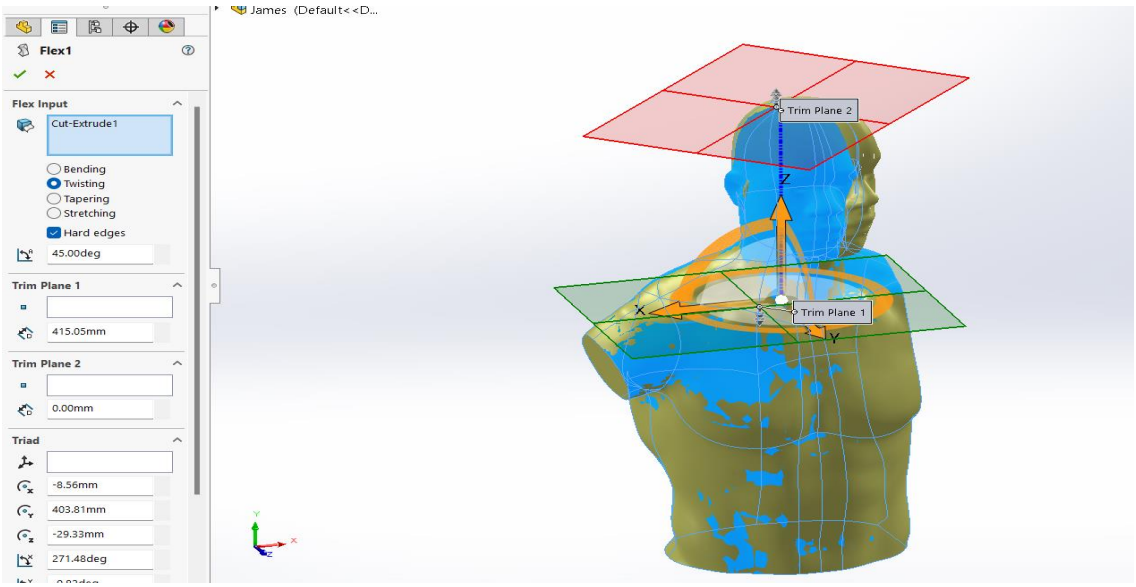
Bu aşamada simülasyonun kullanıcısıyla etkileşimini ve performansını en üst düzeye çıkarmak adına detaylı bir analiz yapılmıştır. Uzmanlar tarafından sağlanan görüşler ve yapılan araştırmalar, simülasyonun tasarımının, kullanıcının konforunu ve beceri gelişimini en iyi şekilde destekleyecek şekilde özelleştirildiğini göstermektedir. Bu çerçevede, simülasyonun işlevselliğini artırmak ve kullanıcı deneyimini optimize etmek amacıyla, ergonomik faktörler ve minimal ihtiyaçlar temel alınarak kesim ve düzenleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon cihazının final tasarım aşamasında, üretim sürecindeki pratik zorluklar ve malzeme seçimi göz önüne alınarak ek modifikasyonlar gerçekleştirilecektir. Bu kapsamlı süreç, simülasyon cihazının, sağlık profesyonellerine etkili bir şekilde eğitim sağlamak ve santral venöz kateterizasyon becerilerini daha iyi öğretmek üzere optimize edilmiş bir formda sonuçlanmasını amaçlamaktadır.

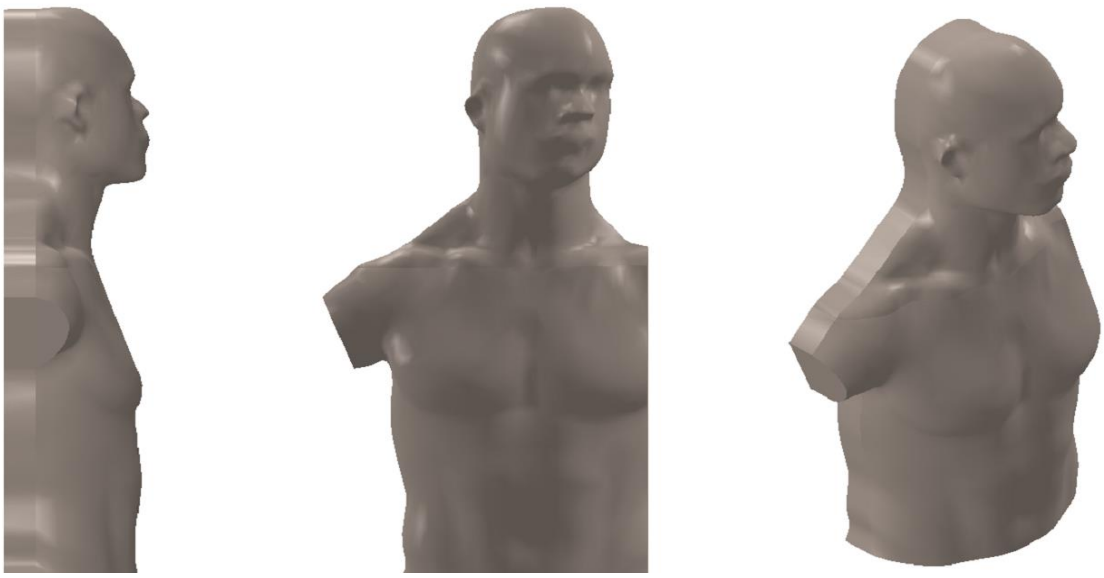


Şekil 3.5. İnsan Modelinin Simülatörde Kullanılacak Minimal Sınırları

Şekil 3.6'da Solidworks programındaki twisting (burulma) komutu kullanılarak seçtiğimiz insan modeli üzerinde simülatörümüzün fonksiyonlarını gerçekleştirmesi için ihtiyaç olan baş kısmının sola doğru 45 derece açılı hale getirme çalışmalarıdır. Buradaki amaç Kateterler ve iğne seti (şırınga) ile Juguler Ven girişim damarına müdahalenin Operasyonel kolaylığı için ön plana çıkarmaktır.

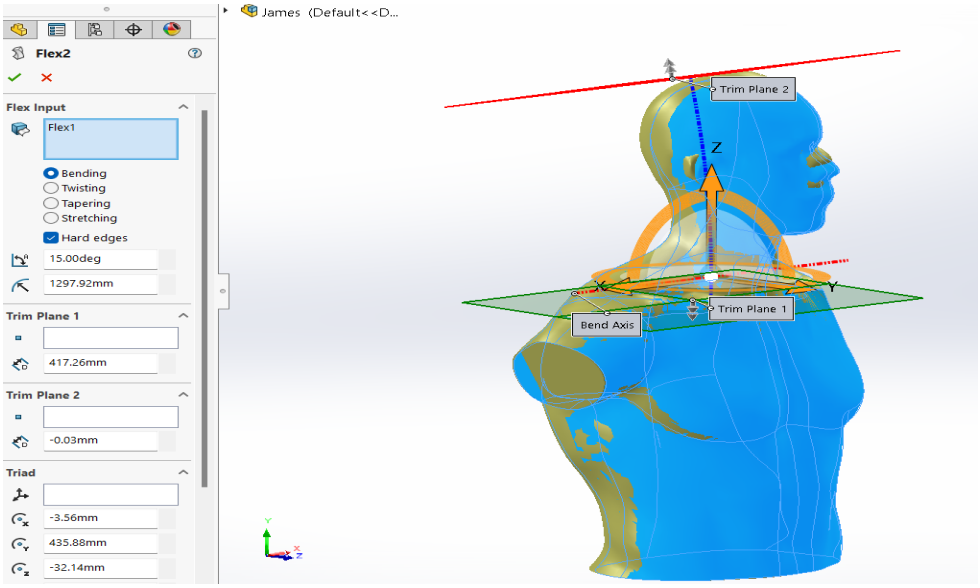


Şekil 3.6. Solidworks ile Modelinin Baş Açısının 45 Derece Sola Çevrilmesi



Şekil 3.7. İnsan Modelinin Baş Açısının 45 Derece Sola Çevrilmiş Hali

Şekil 3.8'de Solidworks programındaki bending (eğme) komutu kullanılarak seçtiğimiz insan modeli üzerinde simülatörümüzün fonksiyonlarını gerçekleştirmesi için ihtiyaç olan baş kısmının arkaya doğru 15 derece açılı hale getirme çalışmalarıdır. Buradaki amaç ta kateterler ve iğne seti (şırınga) ile Juguler Ven girişim damarına müdahalenin operasyonel kolaylığıdır.



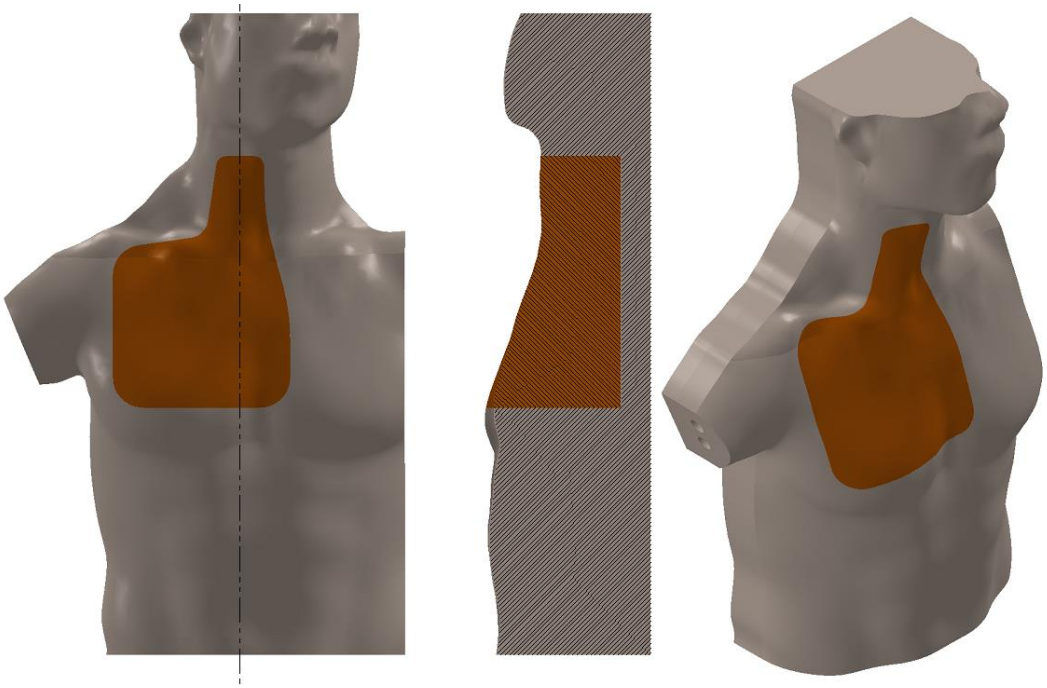
Şekil 3.8. Modelinin Baş Açısının 15 Derece Arkaya Yatırılması



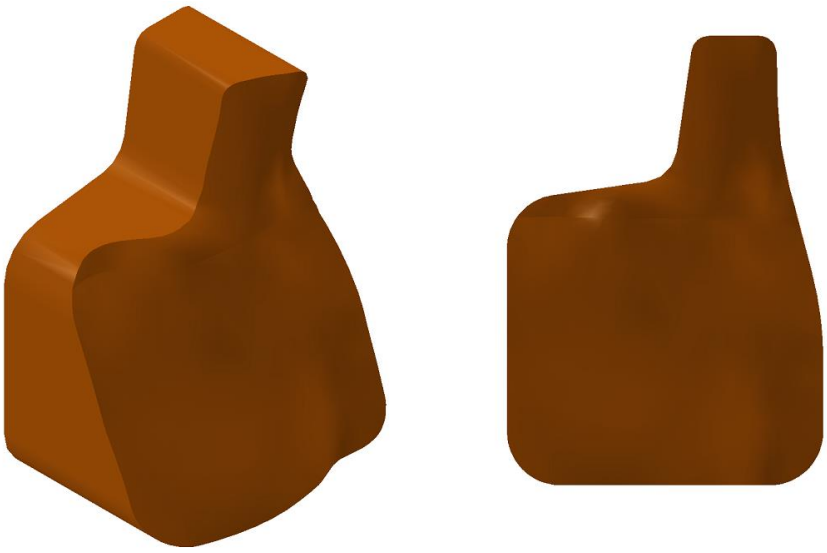
Şekil 3.9. Modelin Baş Açısının 15 Derece Arkaya Yatırılmış Hali

Protez Dokuların Kullanımı

Zaman içinde aşınma ve değişim gerektiren bölgeler için protez dokular tasarlanmıştır. Bu dokular, damar giriş noktalarındaki insan dokusu taklit ederek, simülatörün uzun vadeli kullanımını ve dayanıklılığını artırmayı amaçlamaktadır.



Şekil 3.10. İnsan Modelinin Üzerinde Protez Doku Taslak Konumu



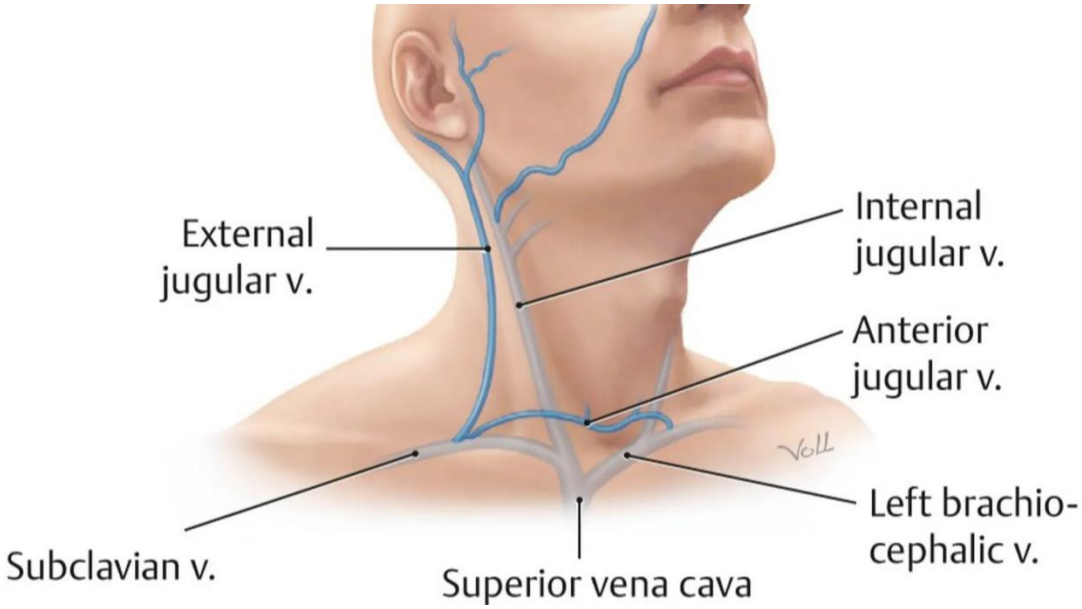
Şekil 3.11. Protez Doku Taslak Tasarım

İnsan modeli üzerinde operasyonun gerçekleştireceği ve seçilen Internal Juguler Ven girişim damarını kapsayan alan lokal olarak kesilmiş ve ayrıca üretilecek ve kolaylıkla değiştirilecektir. Bu protez doku derinin altında kalan kısım olup, bu protezin üzerinde de Internal Juguler Ven girişim damarını kapatacak silikon deri katmanı olacaktır.

Damar Sisteminin Tasarımı

SVK eğitim simülatörü, venöz erişim deneyimini gerçeğe en yakın şekilde sunmalıdır. Bu nedenle tasarım, damarların entegrasyonunu içermektedir. Damarlar, insan modeli içinde belirli bir yol izleyerek, gerçekçi bir venöz erişim deneyimi sunacak şekilde yerleştirilmiştir.

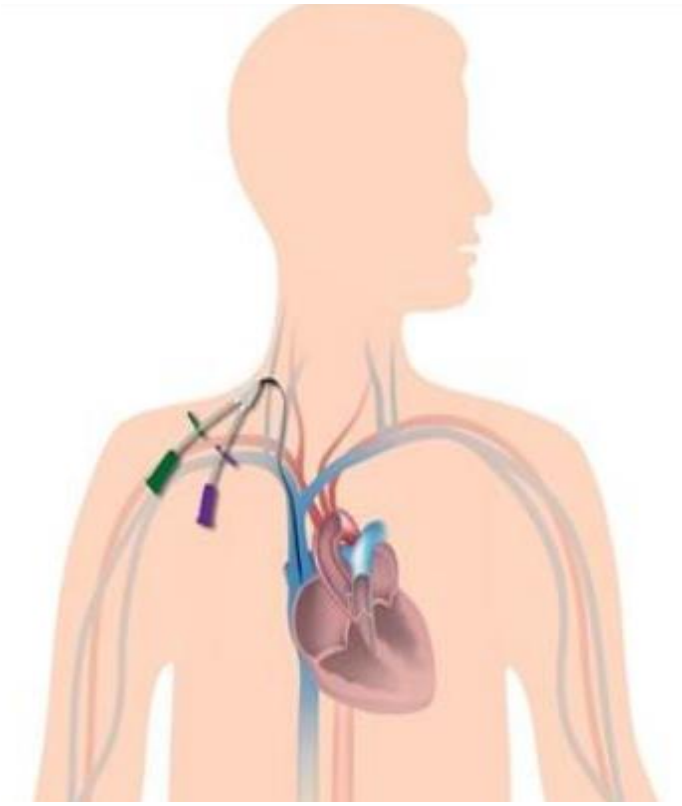
Teze konu olan Santral Venöz Kateterizasyon işlem damarı Internal Juguler ven diye isimlendirilen boyun kısmında olan damardır.



Şekil 3.12. Katater Uygulanabilecek Damarlar Görseli (https://evrimagaci.org/juguler-damarlar-13358)

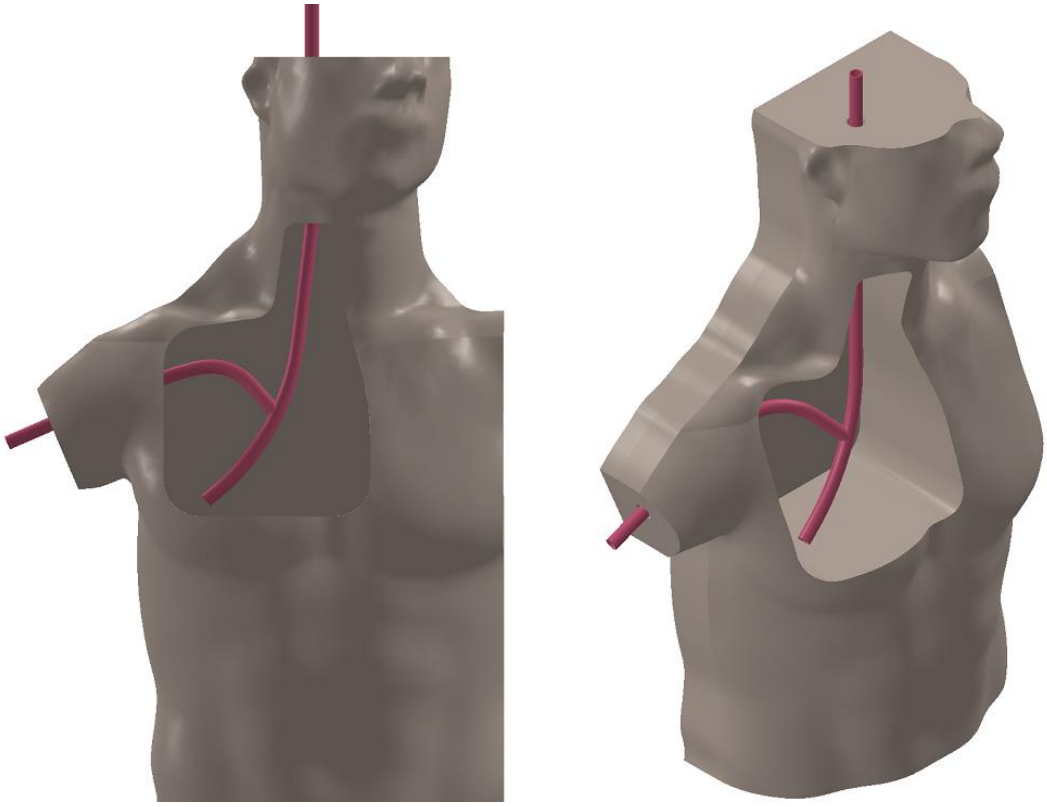
İnternal juguler ven, beyin ve derin fasiyal yapıların venöz kanını taşır. Potansiyel olarak büyük ve yüzeysel bir ven olduğu için santral venöz kateterizasyonda sık kullanılır. Subklavian yola göre akut ve kronik komplikasyonları daha azdır. Aynı zamanda akciğerden uzak olup pnömotoraks riski düşüktür. Kateter kalbe direk olarak yönelir.

Subklavyan yolun aksine İJV kanülasyonunda başarısız olunursa diğer taraftan denenebilir (Türkyılmaz, 2011).



Şekil 3.13. Katater Uygulanmış İnsan Görseli
(Yoğun Bakımda İnvaziv Girişimler Prof. Dr. Mehmet GÜL http://file.atuder.org.tr/_atuder.org/fileUpload/mO5860ekff.pdf)

Internal Juguler ven damarın temsili tasarımı ve kat ettiği yol Solidworks programında 3 boyutlu olarak ve taslak hali Şekil.3.14'te gösterilmiş olup, detay tasarımlarda ana referans olarak kullanılacaktır.



Şekil 3.14. Internal Juguler Ven Damarı Taslak Tasarımı

Kan Dolaşım Sistemi Tasarımı

Mevcut sistemlerin hiçbirinde reel ortam benzerliği adına kan dolaşım sistemi mevcut değildir. Teze konu olan Santral Venöz Kateterizasyon işlem damarı Internal Juguler ven içerisinde kapalı devre sürekli döngüde olan bir kan dolaşım sistemi yerleştirilmiştir. Bu dolaşım sisteminin ana tahriki (pompası) kalp görevini üstlenecek olan mini akvaryum devir daim pompasıdır. Düşük basınç ve düşük hızda reel ortamın replikası olarak kurgulanan bu yapıda aç-kapa devre elemanı ile 80-90 atış/dakika kalp atışı senkronizasyonu ve kullanılacak renkli sıvı ile kan taklit edilecektir.

Simülatör gövde içerisindeki doku protezindeki yolluklara yatırılan suni Internal Juguler ven damar, yapay kalp pompası ve aç-kapa senkronizasyonu ile kalp atış hareketlerini gerçekleştirecek ve ultrason cihazı ile gözlemlenecektir.

Bu sayede simülasyon cihazının, sağlık profesyonellerine etkili bir şekilde eğitim sağlamak ve santral venöz kateterizasyon becerilerini daha iyi öğretmek üzere optimize edilmiş bir formda sonuçlanmasını amaçlamaktadır.

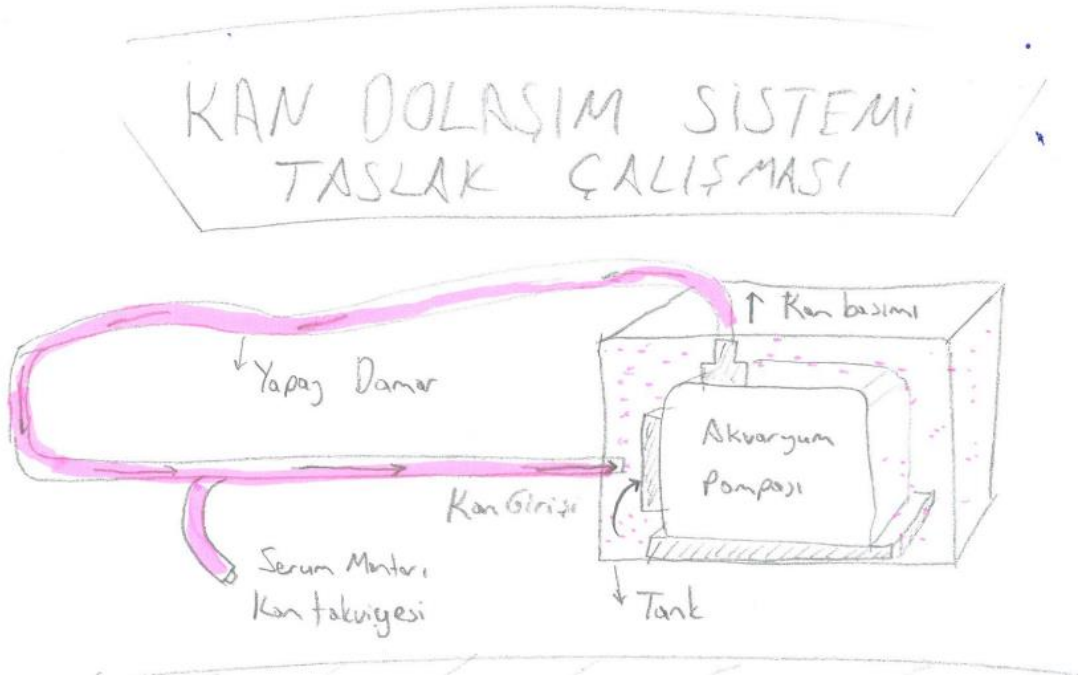


Şekil 3.15. Kan Dolaşım Sisteminde Kullanılacak Akvaryum Pompası

Yapay kalp pompası Şekil 3.16'da yer alan aç-kapa rölesi ile kalp atış hareketlerini gerçekleştirecektir. ENTES M0214 Ef-10-220v Aç Zaman flaşör rölesi ile 0,5 ile 10 saniye arası istenilen zaman senkronizasyonunda kalbi taklit edebilmektedir.



Şekil 3.16. Kan Dolaşım Sisteminde Kullanılacak Aç-Kapa Rölesi



Şekil 3.17. Kan Dolaşım Sistemi Taslak Çizim

3.3.2. Simülatör Final Tasarım Çalışmaları

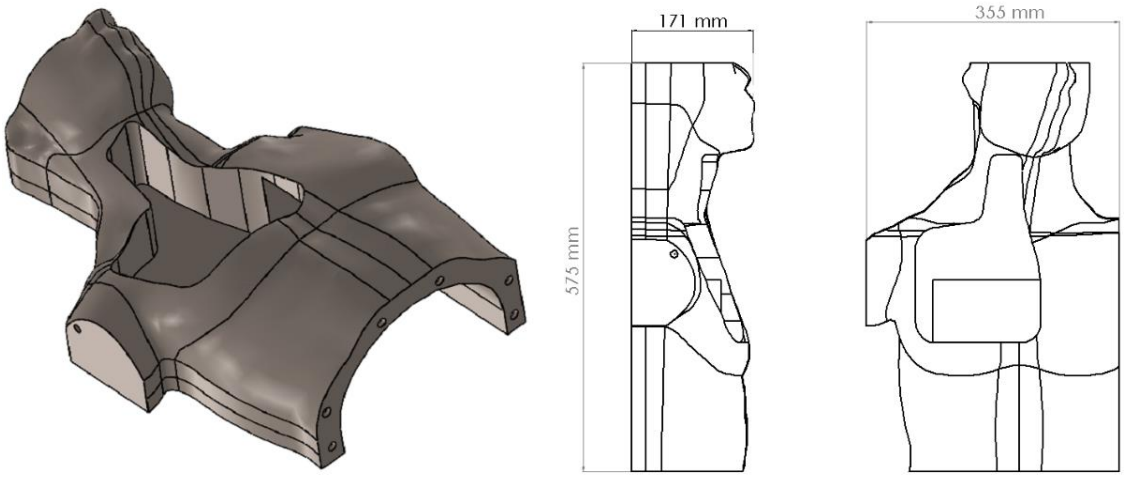
Bu projede ilk adımda, proje ekibi multidisipliner bir yaklaşımla bir araya gelmiştir. Ekip üyelerinde mühendisler, tıp eğitim uzmanları ve anatomi uzmanları yer almıştır. Sağlık eğitimi uzmanları, mühendisler ve tıp eğitimcileri arasında yapılan toplantılarda, simülatörün temel gereksinimleri belirlenmiştir. İnsan modelinin tasarımı, damarların ve protez dokuların entegrasyonu, malzeme seçimi ve geri bildirim süreçleri bu aşamada gerçekleşmiştir. Bu süreç, simülatörün işlevselliğini, kullanılabilirliğini ve estetiğini öne çıkarmak amacıyla kapsamlı bir şekilde planlanmıştır.

Ön tasarım aşamasının tamamlanmasının ardından, simülatörün final tasarım sürecine geçilmiştir. Öncelikle, insan modeli detaylı bir şekilde tasarlanmıştır. Model, gerçekçi anatomik özelliklere ve dokusal benzerliğe sahip olacak şekilde oluşturulmuştur. Damar sistemi ve damar giriş bölgeleri titizlikle entegre edilmiştir. Ayrıca, damar giriş noktalarındaki protez dokular, simülatörün uzun vadeli kullanımını desteklemek amacıyla özel olarak tasarlanmıştır.

Malzeme seçimi, simülatörün sağlık standartlarına uygun olmasını sağlamak için önemli bir adımdır. Tıbbi sınıf malzemeler, simülatörün hijyen ve kullanıcı güvenliği gereksinimlerini karşılamak amacıyla kullanılmalıdır. Son tasarım, tıp eğitimi alanında önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemekte ve sağlık profesyonellerinin becerilerini geliştirmelerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

İnsan Modeli Final Tasarımı

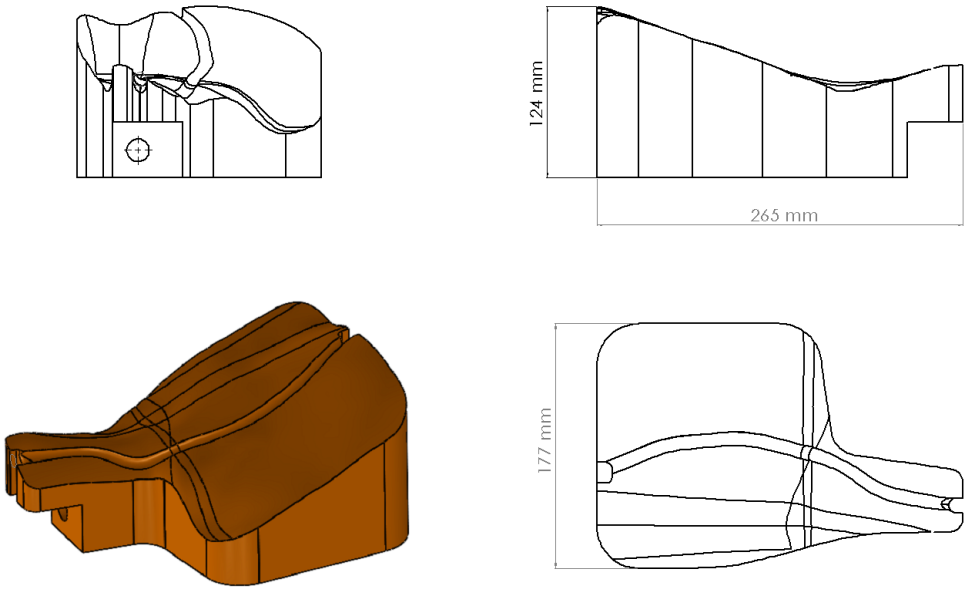
Final tasarım aşamasında anatomik insan modelinin nihai sınırları Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Bu ebatlar ihtiyaç olan minimum ebatlardır. Ana kriter üretile-bilirlik ve sonrasında ihtiyaç duyulacak minimal alanlardır. Solidworks ve Visi-Vero programlarımızı kullanarak model üzerinde ihtiyaç duyulmayan kısımlar budanmıştır.



Şekil 3.18. Simülatör İnsan Modelinin Nihai Simülatör Ebatları

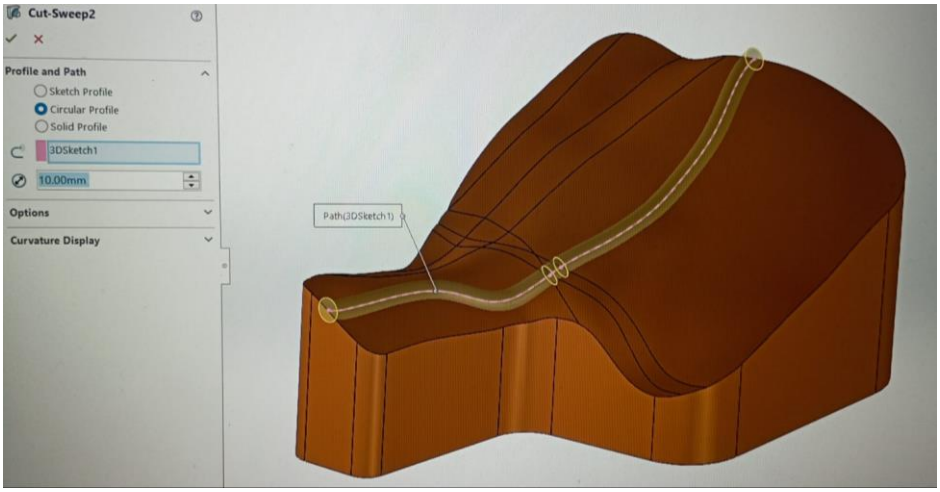
Protez Alt Doku Katmanı Final Tasarımı

Daha sonra Internal Juguler ven damarını içine alan lokal alan Şekil 3.18'de görüldüğü üzere anatomik model üzerinde modellenmiştir. Bu protez anatomik modelin üst seviyesinden yaklaşık 10mm kadar aşağıda oluşturulmuştur. Bu tasarımın nedeni üst kısma Internal Juguler ven damarını örtecek yumuşak yapay deri katmanının gelecek olmasıdır.



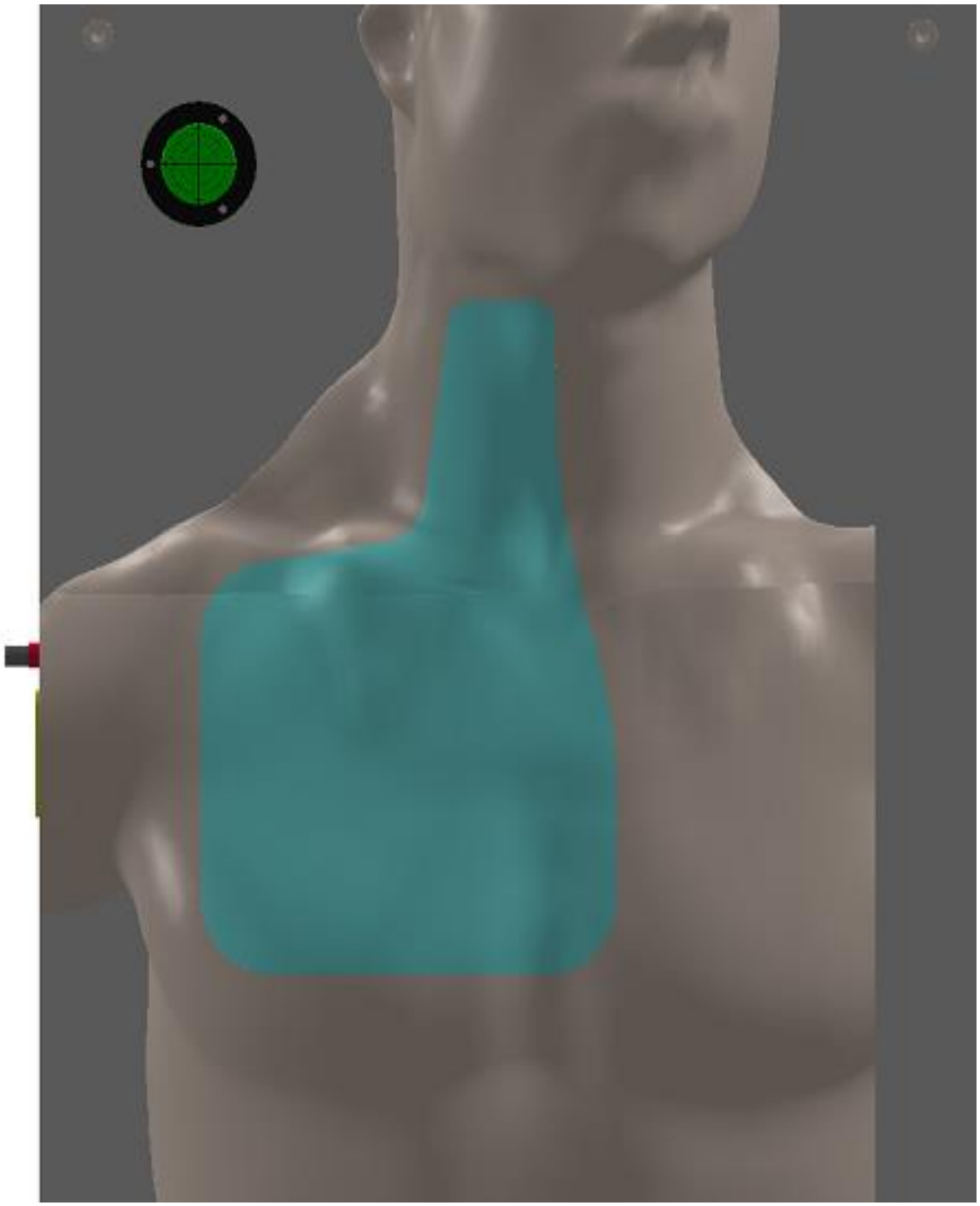
Şekil 3.19. Simülatör İnsan Modelinin Protez Alt Doku Katmanı Ebatları

Şekil 3.19'da Solidworks programının Cut-Sweep Komutu kullanılarak Protez Alt Doku Katmanına Internal Juguler ven Damar Yolunun açılması sağlanmıştır. Bu yol kan dolaşım sisteminden kaynaklanacak kalp atış frekansı ile belli bir hareketlenme serbestisi için suni damarlardan 1mm civarında ofsetli büyük açılmıştır. Bunun sebebi hem rahat montaj, rahat hareket serbestisi hem de bu hareketlenme ile ultrasonla konum belirlemede fark edilebilirlik sağlamaktır.



Şekil 3.20. Protez Alt Dokuya Internal Juguler ven Damar Yolunun Açılması

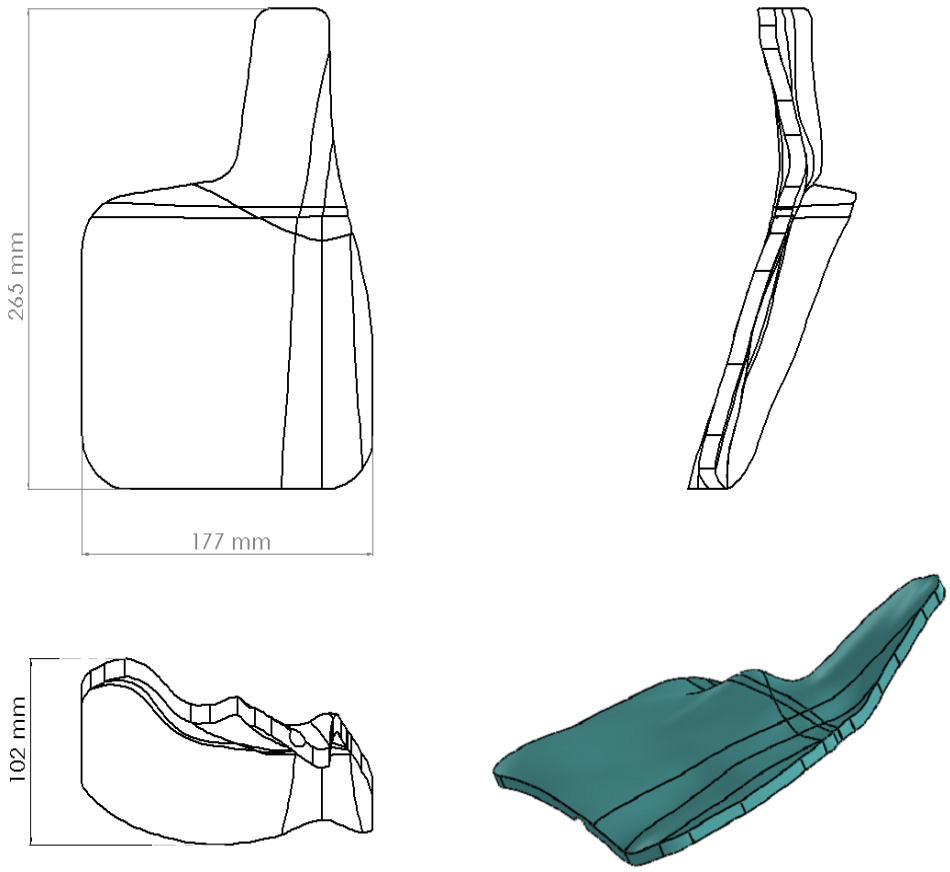
SVK Simülatör İnsan Modelinin Protez Alt Doku Konumu Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Bu katman Şırınga deformasyonuna üst doku deri katmanına nazaran daha az maruz kalacak bir katman olup, değiştirme ihtiyacı neredeyse yoktur.



Şekil 3.21. SVK Simülatör İnsan Modelinin Protez Alt Doku Konumu

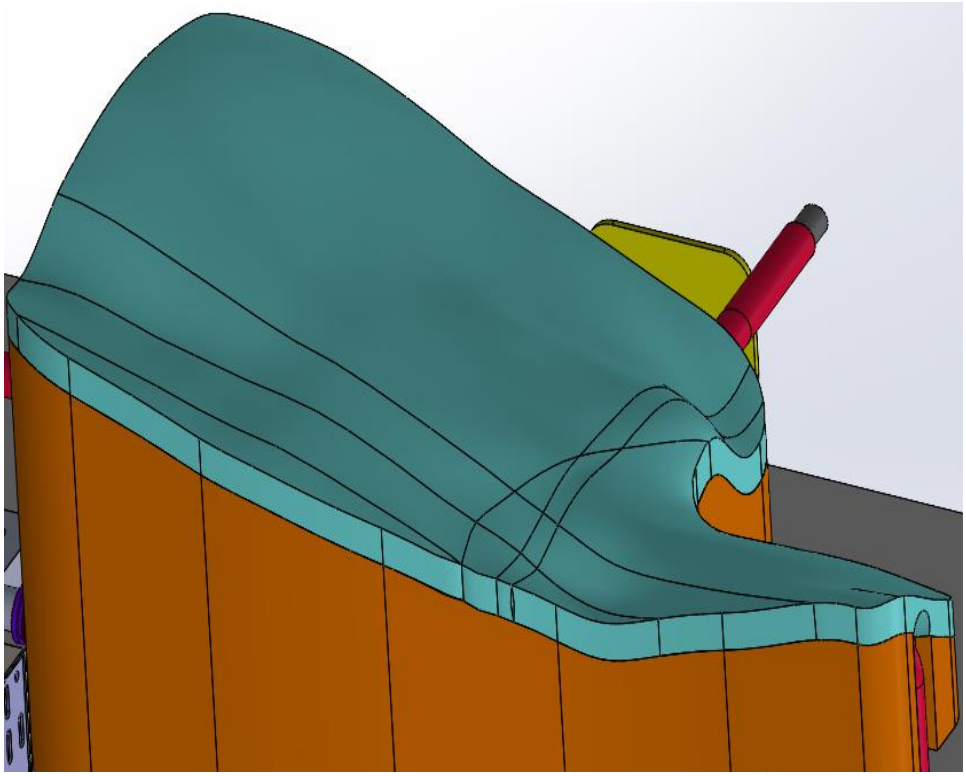
Protez Üst Doku Deri Katmanı Final Tasarımı

Şekil 3.19, 3.20 ve 3.21'de yer alan Protez Alt Doku katmanının üzerine serilecek olan yaklaşık 10mm kalınlığında ve sürekli Internal Juguler ven damarına giriş yaparken tahrip olacak Anatomik İnsan Modelinin Protez Üst Doku Deri Katmanı oluşturuldu.



Şekil 3.22. SVK Simülatör İnsan Modelinin Protez Üst Doku Deri Katmanı Ebatları

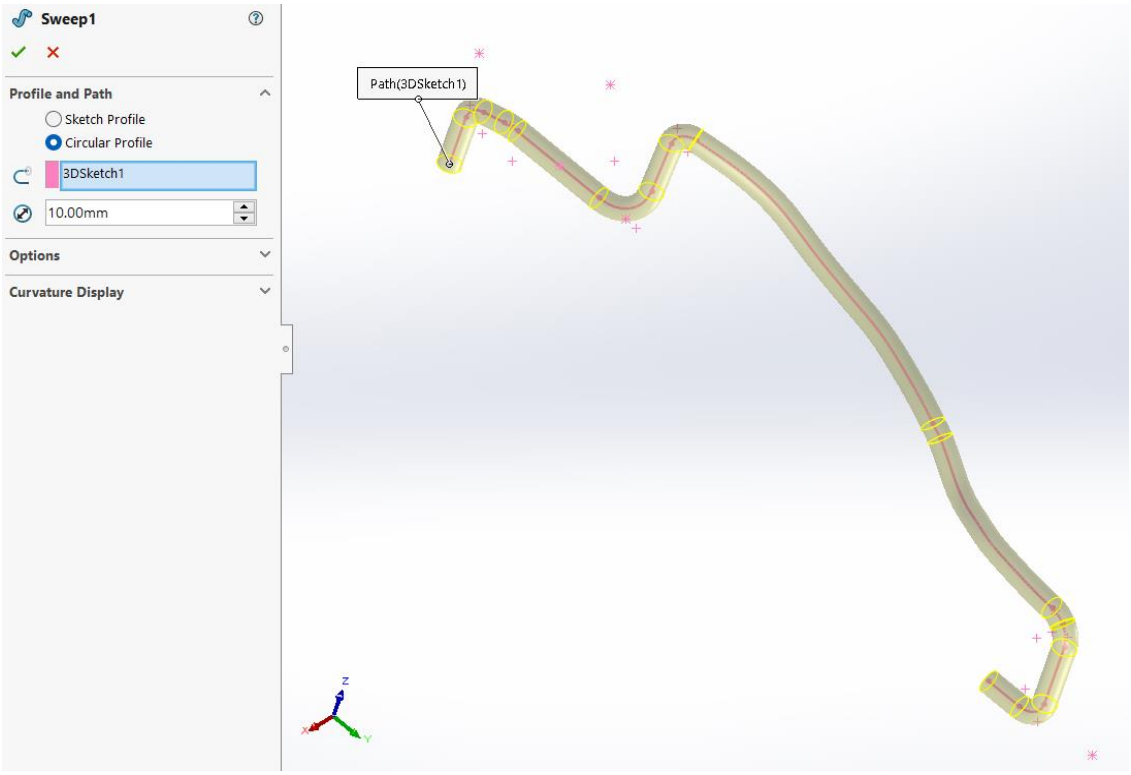
Silikon yapısı sayesinde alt katman protez dokuya serme yapılabilmesi ve iğne girişi tahribatlarından dolayı kolaylıkla değiştirilebilir bir yapı oluşturulmuştur.



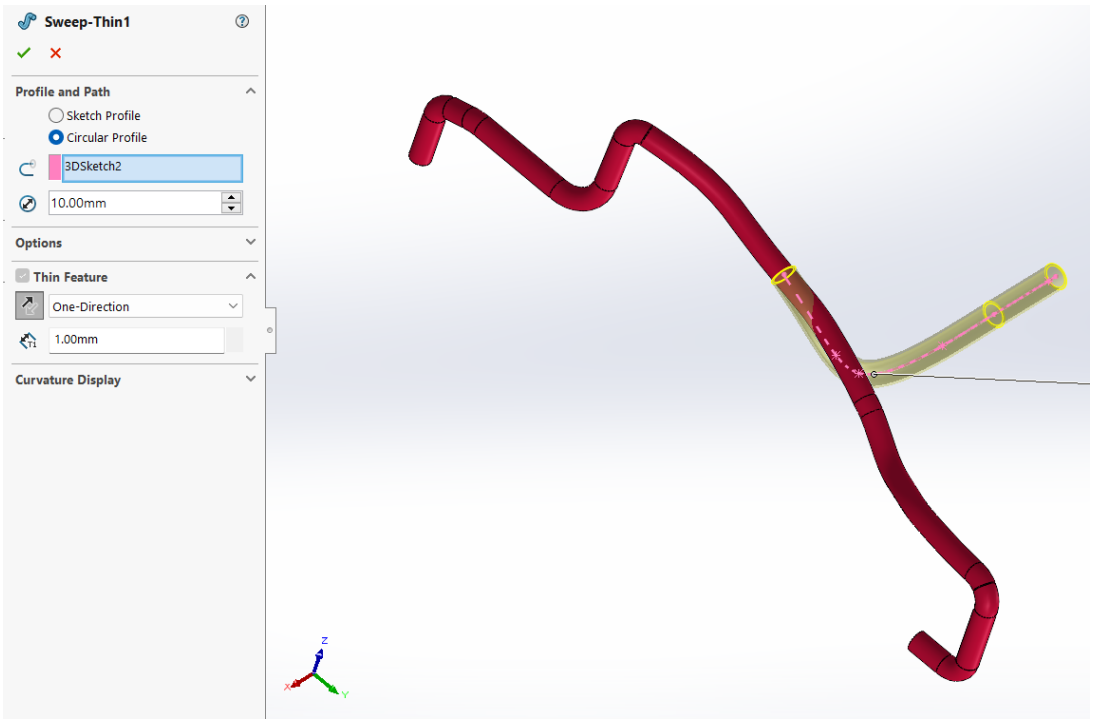
Şekil 3.23. Protez Alt Doku ve Protez Üst Doku Deri Katmanlarının Konumlanması

SVK Simülatör Internal Juguler Ven Damar Final Tasarımı

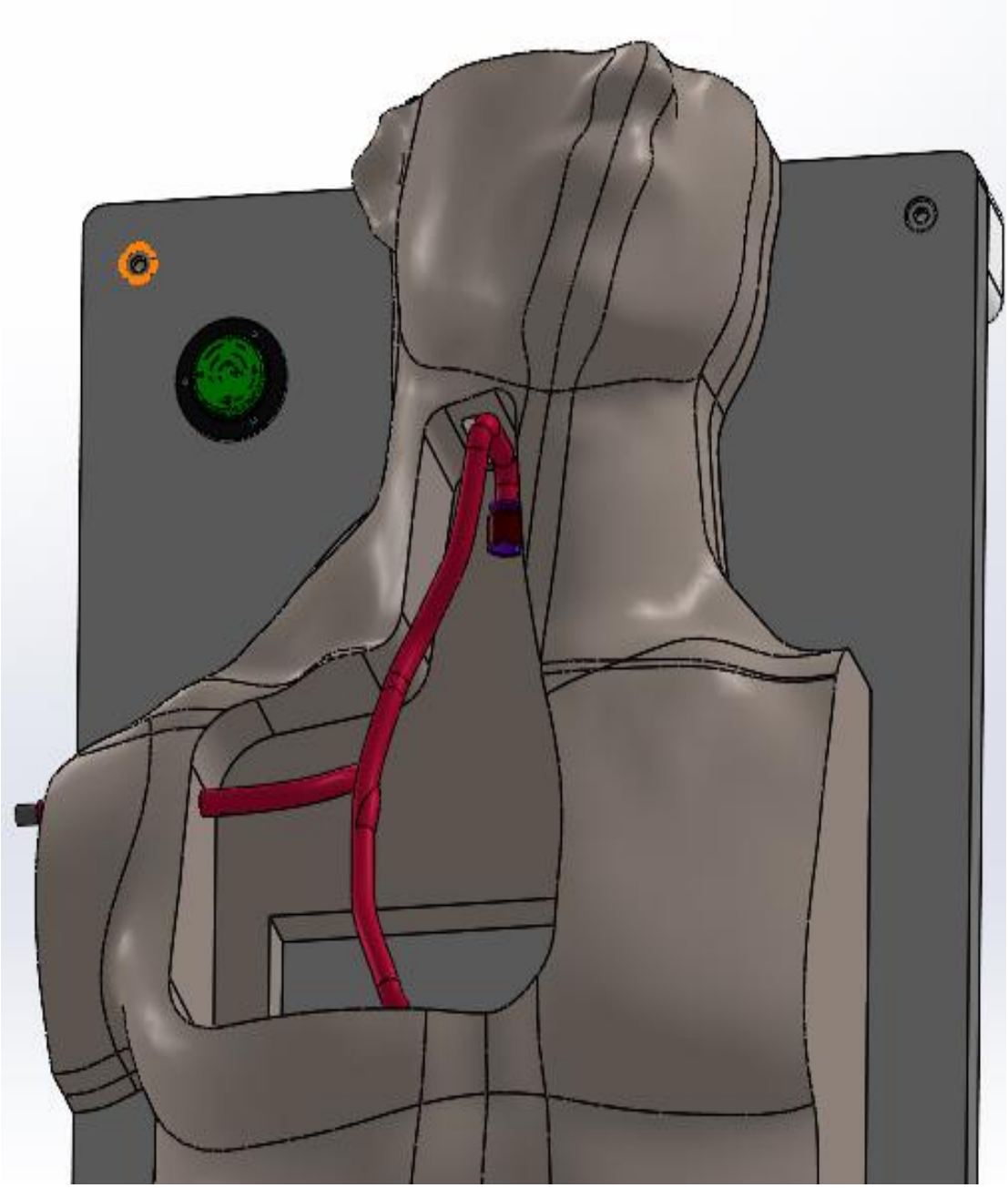
Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te yer alan ve mühendislik faaliyetlerinin 3.3.1. başlığında taslak tasarımı yapılan damar sistemi nihai simülatör gövde ve protezlerine göre tekrardan Solidworks programının sweep1 komutu kullanılarak Internal Juguler Ven Damarı revize edilmiştir.



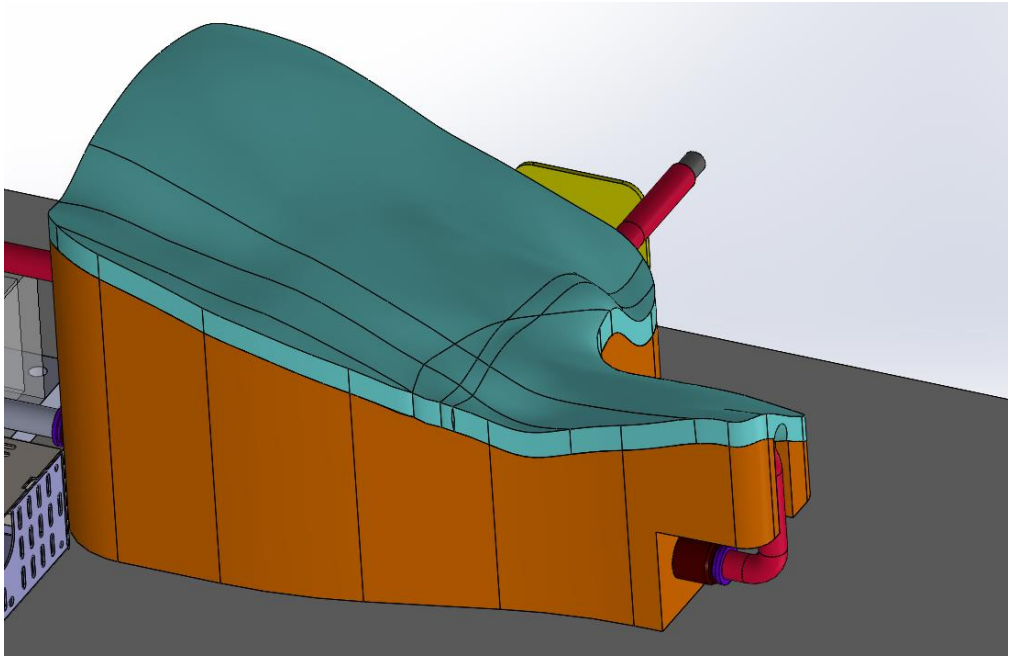
Şekil 3.24. Internal Juguler Ven Damar Final Tasarımı



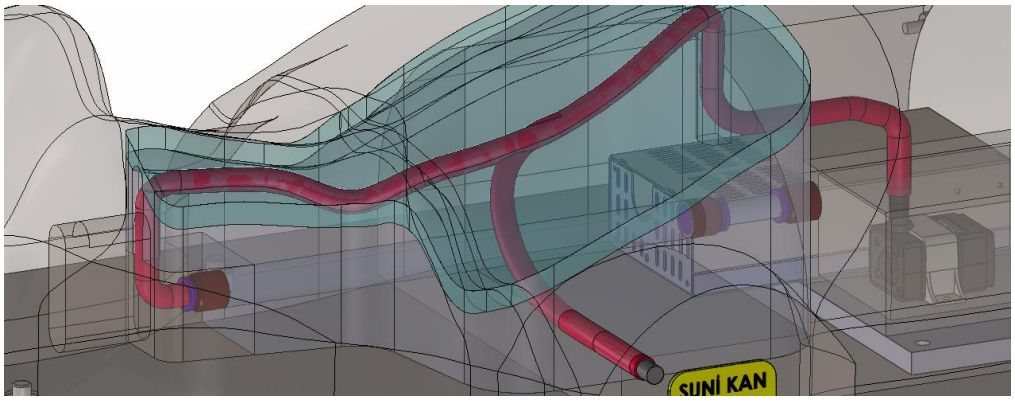
Şekil 3.25. Internal Juguler Ven Takviye Damar Final Tasarımı



Şekil 3.26. Internal Juguler Ven Damarı Simülatör Gövde Konumlaması



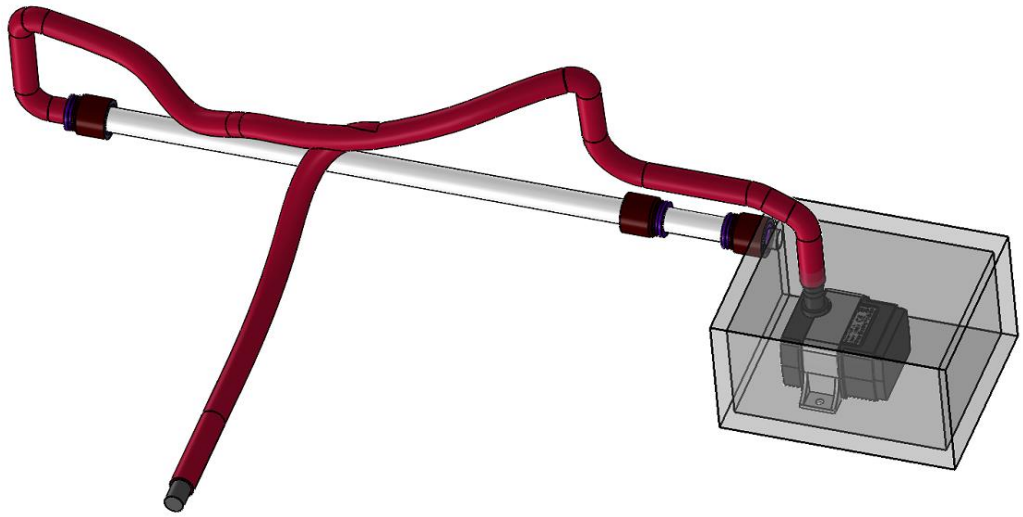
Şekil 3.27. Internal Juguler Ven Damar Protez Doku Konumlaması



Şekil 3.28. Internal Juguler Ven Damar Protez Doku Konumlaması Şeffaf

SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Final Tasarımı

Çalışmanın en fark yaratan özelliklerinden biri olan kan dolaşım sistemi Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Taslak tasarım faaliyetlerinde bahsedilen mini akvaryum pompası ve bu pompayı aç-kapa devre elemanı ile kalbin atış senkronizasyonunu taklit etmesi sağlanarak gerçekçi bir ortam sağlanmıştır.



Şekil 3.29. SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Final Tasarımı

Yetişkin ve sağlıklı insanlarda kalp atış hızı dakikada 60-100 aralığında olması normaldir. Uzun zamandır sporla ilgilenen kişilerde nabız 45-60 seviyelerine kadar düşer (Korkmaz ve Vatansever, 2022)

Kalp Debisi (Kardiyak Çıkış) (CO) kalbin atardamarlara dakikadaki kan pompalama hızını ifade eder ve litre/dakika cinsinden verilir. Yetişkinlerde CO, 3 ile 5 litre/dakika seviyesine kadar ulaşabilir. Kalp vuruş hacmi kalbin tek bir kasılması esnasında karıncıktan pompalanan kan miktarıdır. Bu durumda kalp debisi; CO = V x R formülasyonu ile hesaplanır.

Burada;

CO: kardiyak çıkış (litre/dakika)
V: Kalp atış hacmi (litre/vuruş)
R: Nabız (BPM veya vuruş/dakika)

Örnek bir hesaplama yapar isek, bir hastanın nabzı 86 BPM ve vuruş hacmi 42 ml/vuruş ise kalp debisini (kardiyak çıkış):
CO = V x R CO=42 ml/vuruş x 1l/1000ml x 86 vuruş/dakika =3,61 litre/dakika

(Ankara Gazi Üniversitesi Ders Notları Bölüm 9 https://avesis.gazi.edu.tr/resume/downloadfile/iguler?key=3f02ecb2-4c6e-4674-8d32-db52defe82e9)

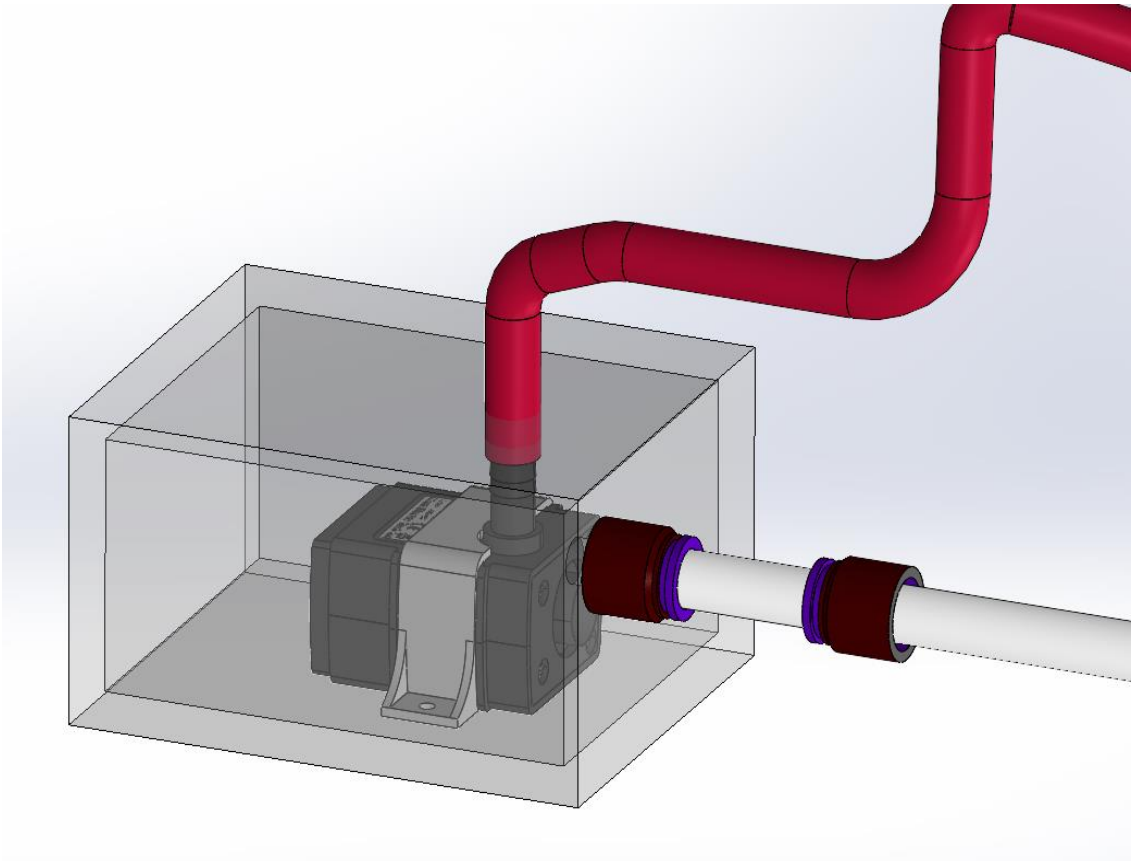
Kullanılan pompa düşük basınçlı mini akvaryum devir daim pompası olduğu için maksimum 4-5 litre/dakika seçilmiştir. Seçilen aç-kapa devre elemanı da 1 saniyelik aç-kapa yapabilmektedir. Buda gerçekçi bir ortamın sağlanması için kafidir.

Şekil 3.30'da gösterilen kan dolaşım sistemi tasarımında şeffaf pleksi glass malzemeden yapıştırma teknolojisi ile üretilecek tankın bürüt kapasitesi 231 cm^3 tür. Tankın içinde kullanılacak pompa ve boruların kapladığı alan 61 cm^3 tür. Tankın içi maksimum net 180 cm^3 sıvı alabilmektedir.

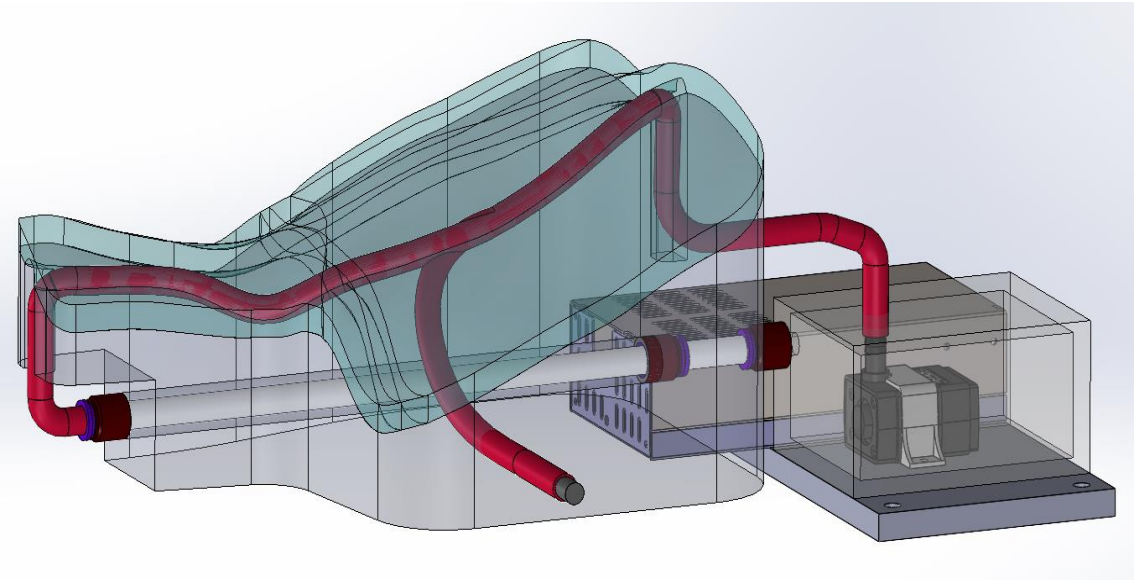
Tüm damarların ve ara geçiş boruların uzunluğu 998mm olduğu ve iç cidar genişliğinin ortalama 7mm olduğu için, kan dolaşım sistemi damarlarında gezen akışkanların toplam hacmi;

Hacim = $\pi r^2 h$ formülünden hesapladığımızda;
Hacim = π x $0{,}35^2$ x 99,8 Hacim =38 cm^3 tür.

Kan Dolaşım Sisteminin alacağı maksimum sıvı 218 cm^3, pompa emiş mesafesi tankın yarı yüksekliğinde olduğu içinde minimum sıvı miktarı da 130 cm^3 olacaktır. Pleksi tankın üzerinde işaretlenen seviye göstergesine bağlı olarak belli periyotlarda suni kan takviye girişinden ilave edilebilmektedir.



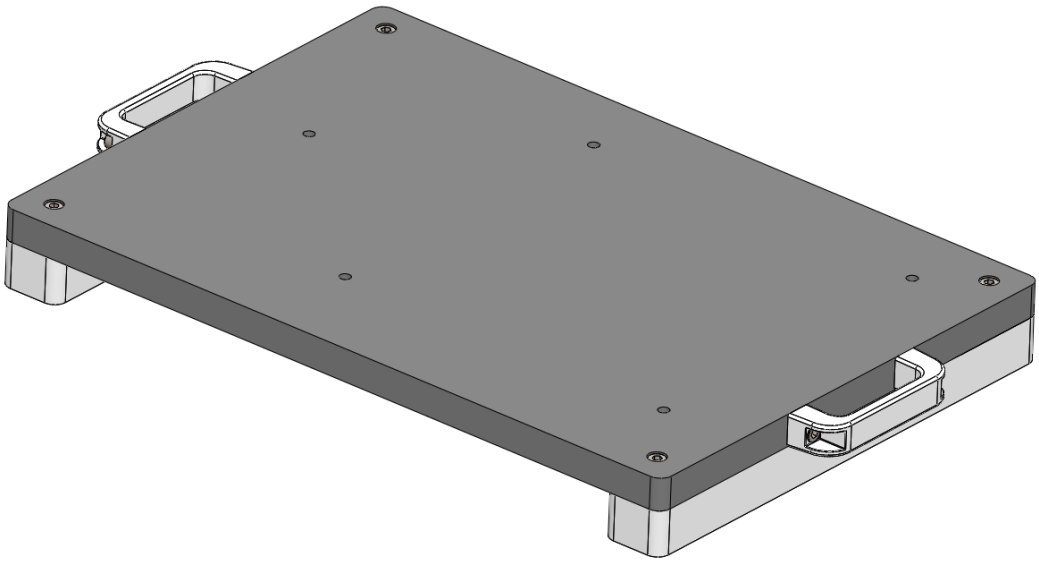
Şekil 3.30. SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Pompa Tasarımı



Şekil 3.31. SVK Simülatör Kan Dolaşım Sistemi Devir-Daim Şeması

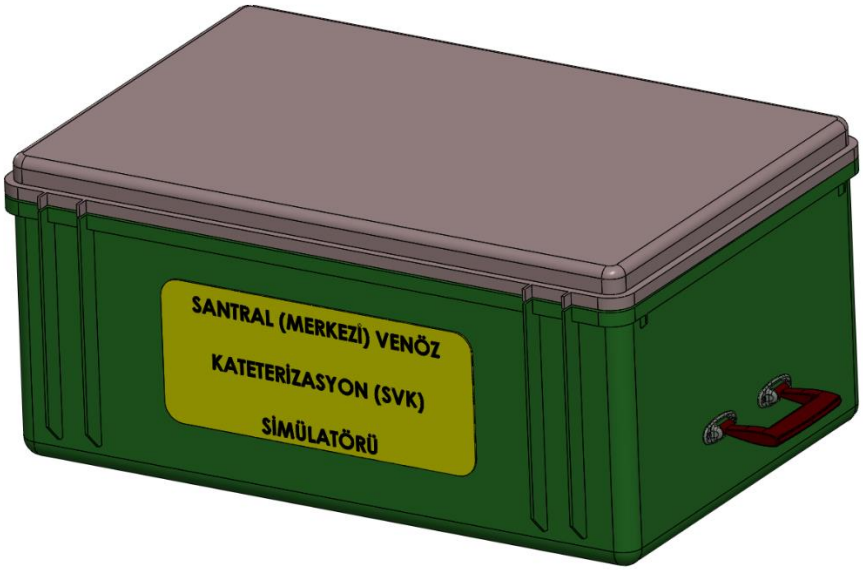
SVK Simülatör Alt Tabla ve Taşıma Kutusu

SVK Simülatöründe tüm bileşenleri taşıyacak polyamid malzemeden yapılan alt tabla ile gövde ve bileşenler rahatlıkla taşınabilecektir. Kütlesi maksimum 4 kg olan bu tabla yanlarında yer alan 2 adet ergonomik özelliklere sahip plastik tutamak ile rahatça kaldırılıp hareket ettirilmek üzere tasarlanmıştır.



Şekil 3.32. SVK Simülatör Alt Tabla Final Tasarımı

Simülasyon sistemini Şekil 3.33'te yer alan taşıma kolaylığı sağlayan ve kullanıcılarının simülatörü farklı eğitim ortamlarına taşımasını ve kolayca kurmasını mümkün kılan, çek çekli ve tekerlekli taşıma kutusuna konularak kullanılacaktır. Böylelikle eğitim için sadece laboratuvar değil sınıf, sempozyumlar, fuarlar gibi yerlere rahatlıkla götürülmeli ve kullanılabilmelidir. Kullanılacak taşıma kutusu piyasada standart olarak satan birçok firmadan rahatlıkla tedarik edilebilmektedir.



Şekil 3.33. SVK Simülatör Taşıma Kutusu Kapalı Hali

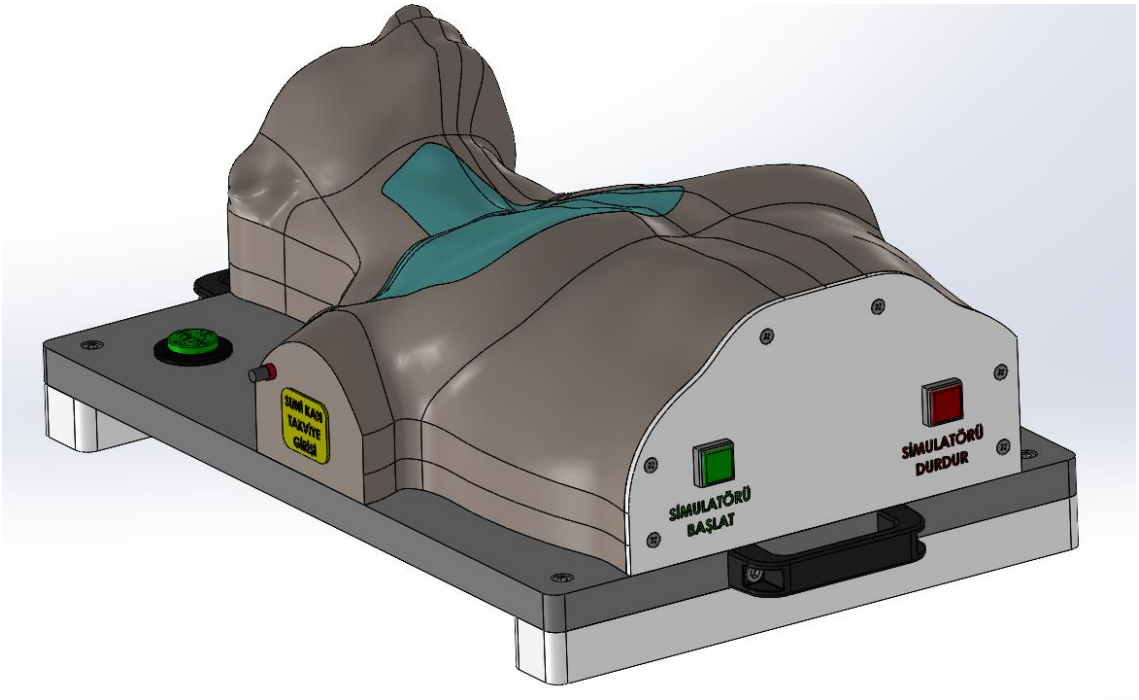


Şekil 3.34. SVK Simülatör Taşıma Kutusu Açık Hali

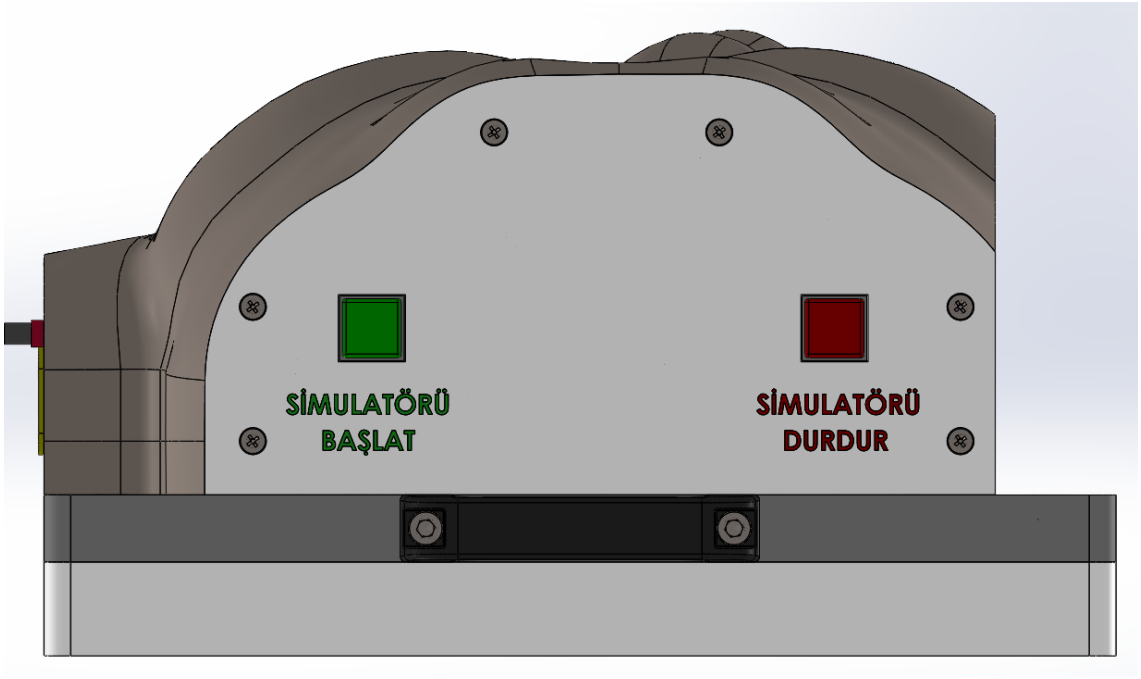
SVK Simülatör Komple Final Tasarım ve BOM Listesi

SVK Simülatörünün tüm bileşenleri yapılan taslak tasarım sınırları içerisinde Solidworks ve Visi-Vero programları kullanılarak 3 boyutlu detaylı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarım çalışmalarında simülatörün elektriksel ekipmanlarının kontrolü için başlatma ve durdurma düğmeleri ergonomi açısından en uygun yer olan Şekil 3.35'te görülen ön kısmına yerleştirilmiştir. Simülatör ile yapılacak eğitim esnasında sadece simülatörü başlat düğmesine basılarak kan dolaşım sisteminin çalışması sağlanacak ve eğitim bittiğinde sadece simülatörü durdur düğmesine basılarak kapatılacaktır.

Bu şekilde sistem gereksinimlerinde de belirtilen basit kullanıcı ara yüzü kriteri de sağlanmış olmaktadır.



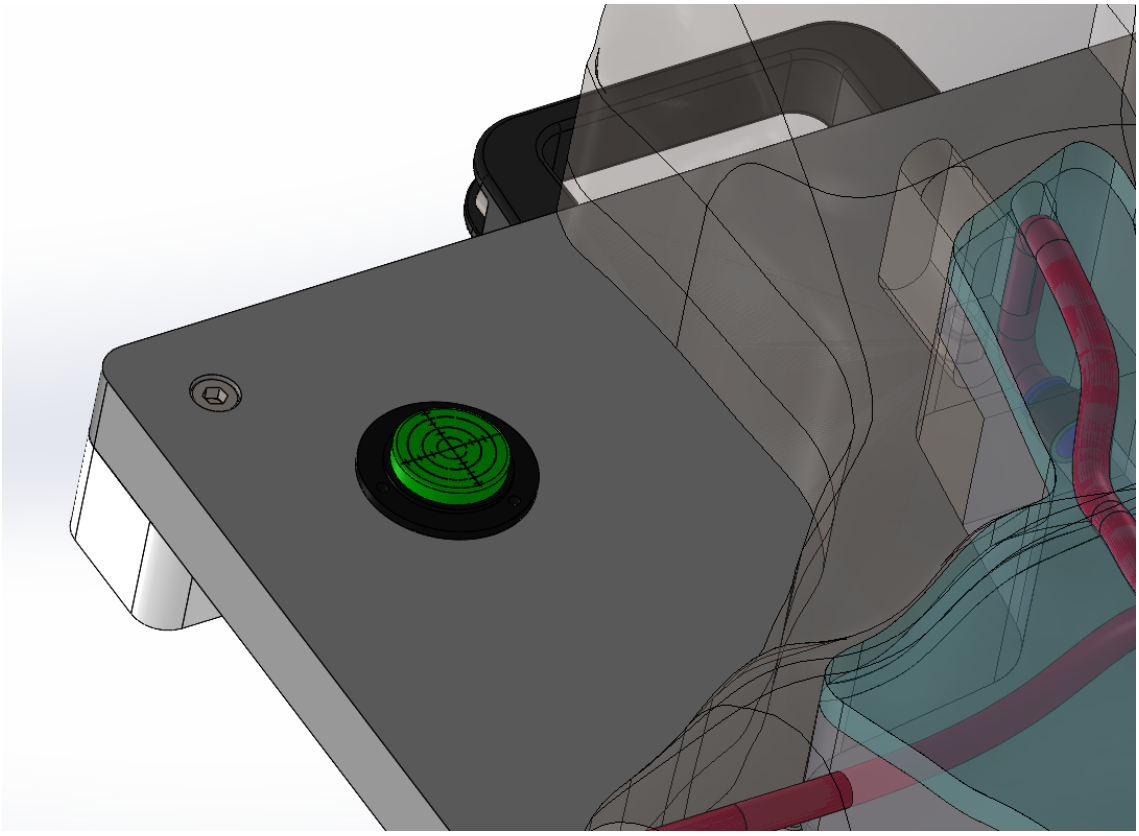
Şekil 3.35. SVK Simülatör Basit Kullanıcı Arayüzü İzometrik



Şekil 3.36. SVK Simülatör Basit Kullanıcı Arayüzü Ön Görünüş

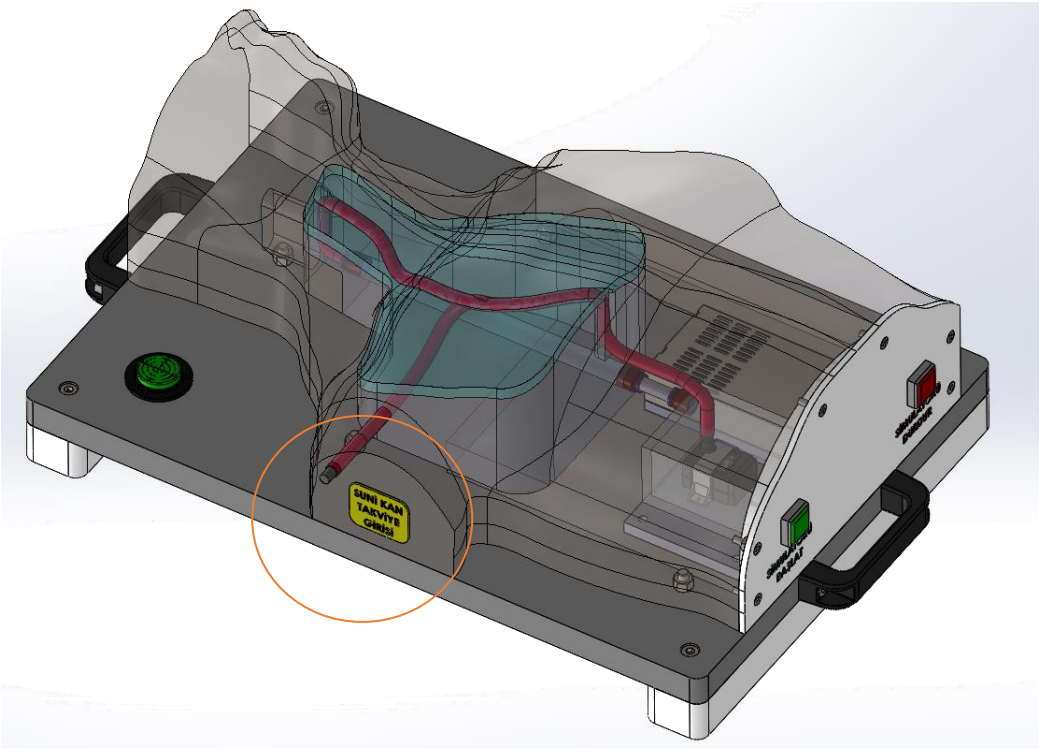
SVK Simülatörünün, şırınga ile damara nüfuziyet esnasında kateterin doğru açılarda girmesi ve her defasında aynı stabilitede olması önem arz etmektedir. Simülatör konumlandırıldığı zeminde hep aynı açılarda olması önemlidir. Belli bir döngüsel eğitim zinciri içinde hep aynı açıda duran Internal Juguler Ven Damarı kullanıcının el alışkanlığını da arttıracak ve yeterli miktarda girişini sağlayarak prosedürün başarı oranını artırır.

Şekil 3.37'de yer alan SVK Simülatörünün tablasına entegre edilen 2 eksenli su terazisi sayesinde, simülatörün her defasında aynı düzlemsellikte konumlandırılması sağlanmıştır.

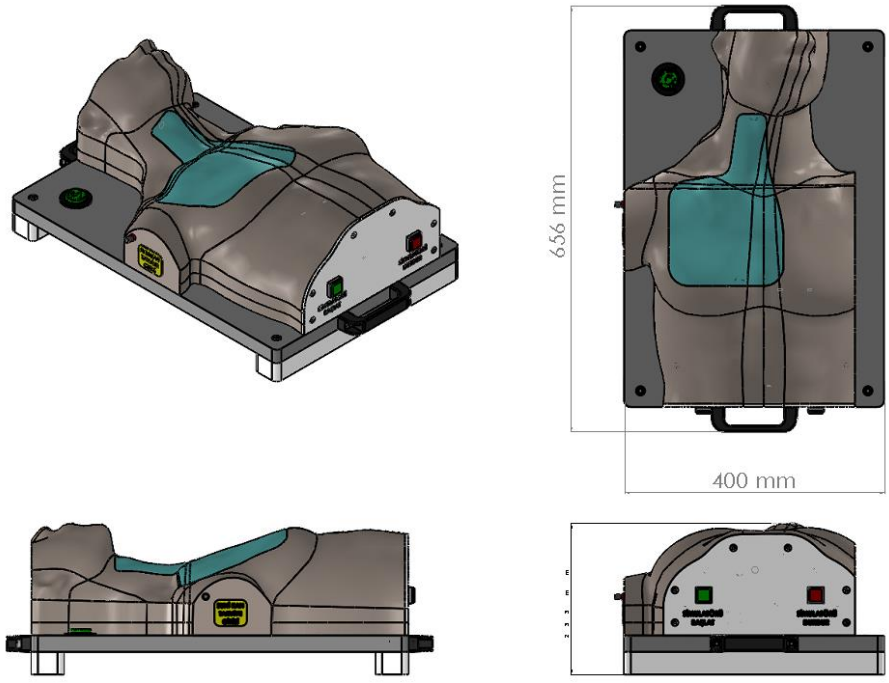


Şekil 3.37. SVK Simülatör Zemin Paralellik Sağlama Elemanı

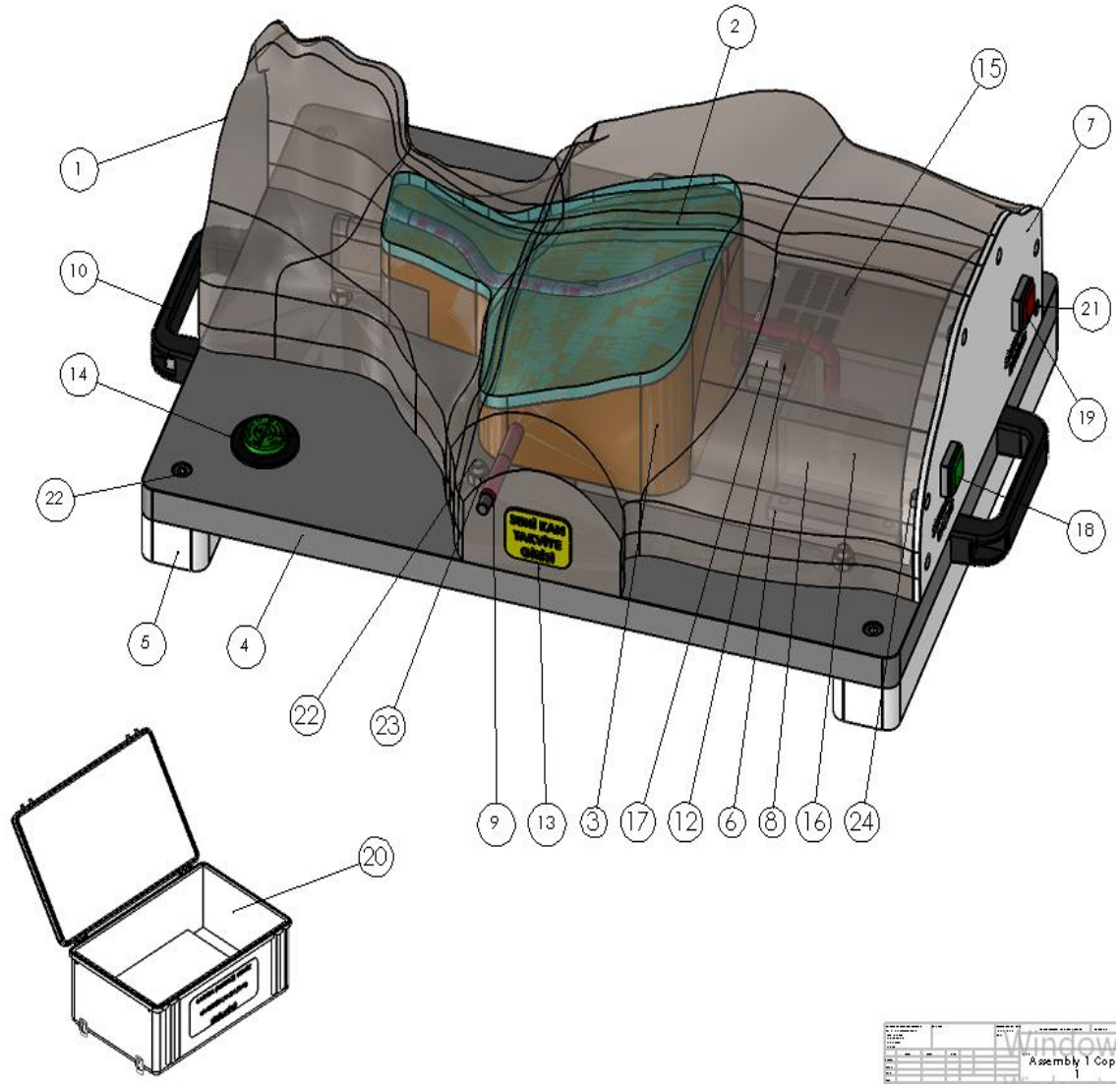
Simülatörde yer alan kapalı devre kan dolaşım sistemli yapay kalp ile damar içi kan akışını taklit ederek gerçek bir venöz erişim deneyimi sağlar. Pompanın aç-kapa röleli devre elemanı ile açılıp kapanması, kalp atış frekansına göre ayarlandığından, öğrenciye kan dolaşımının dinamiklerini anlamada ve uygulamada bir mükemmellik sağlar. Bu aşamada kateter erişimi sağlama aşamasında şırınganın tahribatları neticesinde yapay suni damarlarda bir yıpranma ve bu yıpranmaya müteakip sıvı kayıpları oluşur. Kauçuk damar, fiziksel ve kimyasal yapısı itibari ile şırınga deformasyonları ile oluşan deliklerin ve düşün suni kalp basıncından dolayı sıvı kaybı minimal seviyelerde oluşur. Lakin belli bir tatbikatlardan sonra sıvı takviyesine ihtiyaç duyar. Şekil 3.38'de gösterilen sıvı kan takviye alanından takviye yapılır ve pompanın verimli çalışabilmesi için seviye göstergesindeki optimum limitlere ulaşacak kadar sıvı kan ilave edilir.



Şekil 3.38. SVK Simülatör Suni Kan Takviye Girişi



Şekil 3.39. SVK Simülatör Final Komplesi Görünüşleri



Şekil 3.40. SVK Simülatör Kırılım Gösterimi

ÖĞE NO	PARÇA NUMARASI	MİKTAR
1	FM001 SIM BODY	1
2	FM002 DERİ KATMANI	1
3	FM003 PROTEZ ALT YAPI	1
4	FM004 ALT TABLA	1
5	FM005 ALT TABLA-ALTLIK	2
6	FM006 TANK ALTLIK	1
7	FM007 GÖVDE KAPAK	1
8	FM008 TANK	1
9	FM009 DAMAR	1
10	FM010 TUTAMAK	2
11	FM011 ARA UZUN BORU	1
12	FM012 ÇIKIŞ KISA BORU	1
13	FM013 ETİKET TAKVİYE	1
14	FM014 SU TERAZİSİ XY	1
15	FM015 MKONTROL ÜNİTESİ	1
16	FM016 SU POMPASI	1
17	FM017 BAĞLANTI REKORU	3
18	FM018 IŞIKLI ÇALIŞTIR BUTONU	1
19	FM019 IŞIKLI DURDUR BUTONU	1
20	FM020 TAŞIMA ÇANTASI	1
21	ISO 7046-1-M5 X 20	6
22	ISO 4762 M8 X 30	13
23	ISO 4034 M8	5
24	ISO 4034 M6	6

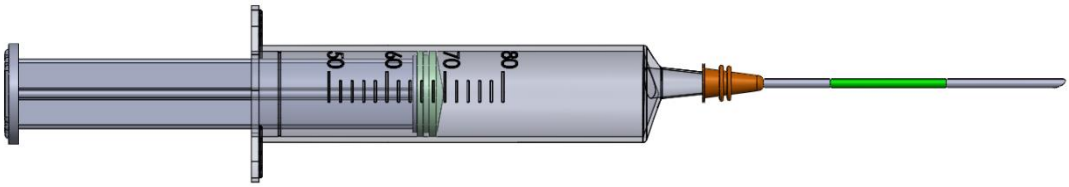
Tablo 3.1. SVK Simülatör BOM listesi

Şırınga Nüfuziyet ve Ultrason Desteği

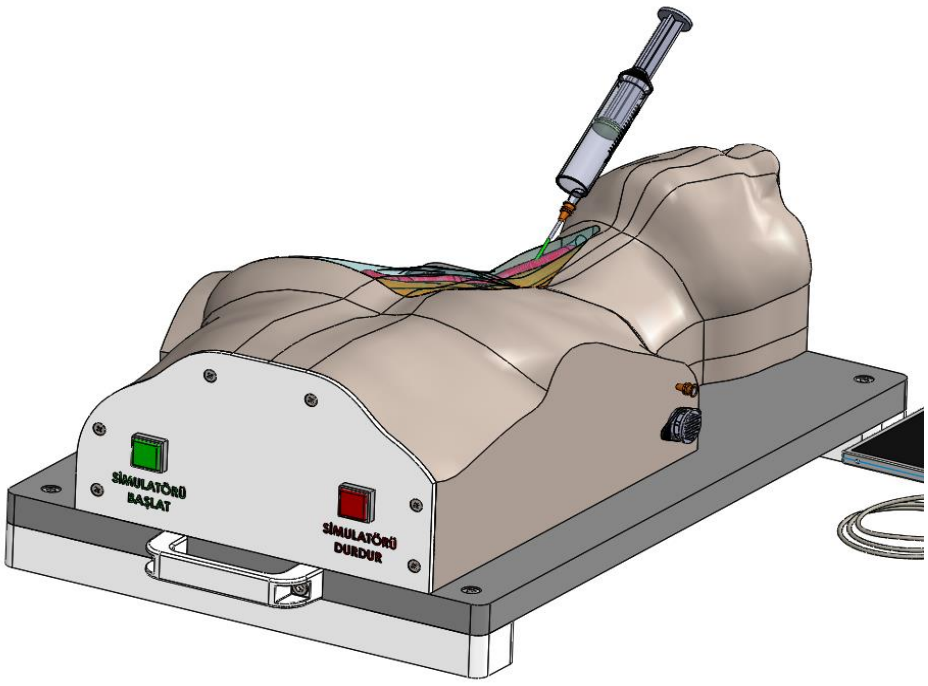
Santral (Merkezi) Venöz Kateterizasyon işleminde en önemli ve en kritik olay şırınganın doğru konuma, doğru açıda ve yeterli miktarda girmesidir. Simülasyonların defalarca

tekrarlanması ile eğitim alacak olan personel hem teknik bilgi hem de tecrübi bilgilerle donatılacaktır.

Tez kapsamında şırınganın nüfuziyetini simülatörün içeriğinde yer alacak olan şırınga seti üzerine maksimum nüfuziyet ve minimum nüfuziyet işaretlemeleri ile öğretilecektir. Şekil 3.41'de gösterilen yeşil alan nüfuziyetin olması gereken emniyetli alandır.

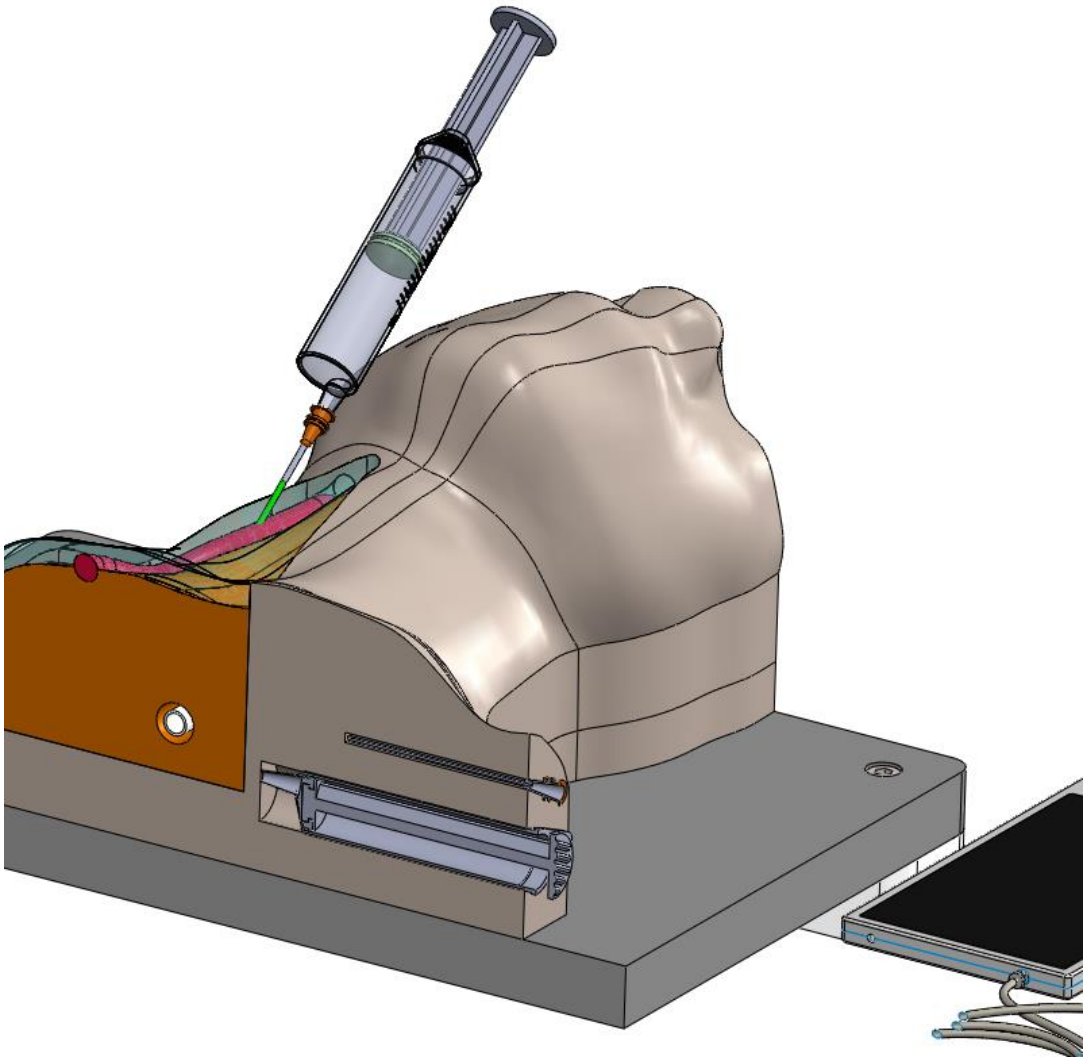


Şekil 3.41. SVK Simülatör Katater Şırınga Nüfuziyet Sınırı Gösterimi



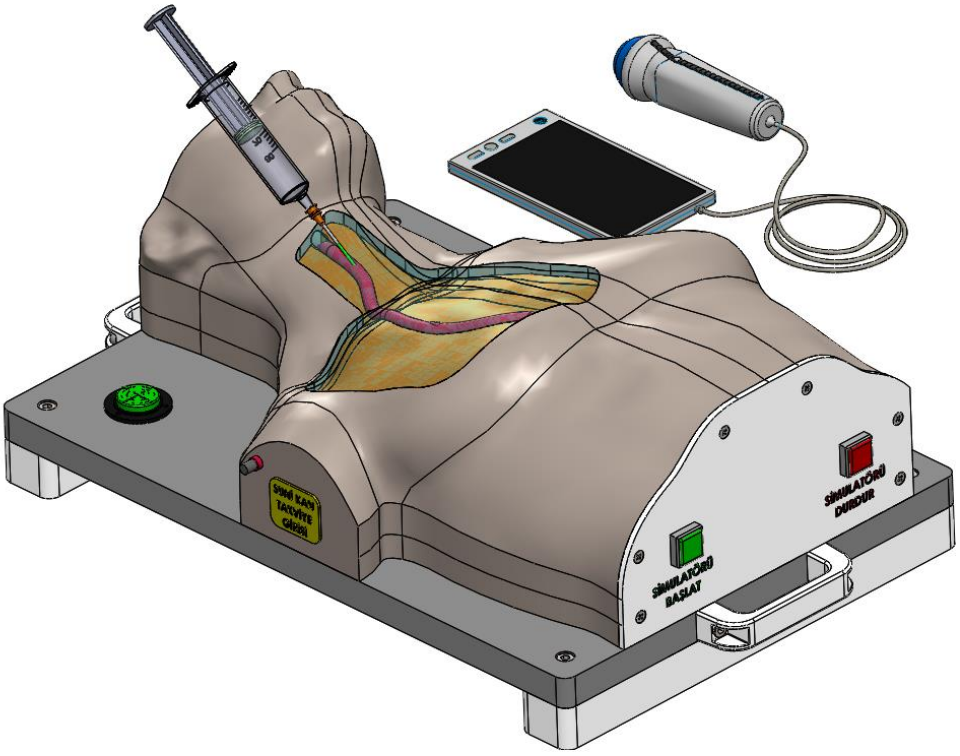
Şekil 3.42. Simülatör Üzerinde Şırınga Seti Saklama Yeri

Şekil 3.42'de şırınga seti anatomik insan gövdesinin sağ yan kısmına açılan cepte muhafaza edilebilir. Bu sayede yer kaplamayan, kaybolmalara karşı alınmış bir önlem olarak ergonomik bir tasarım da ortaya çıkmıştır.

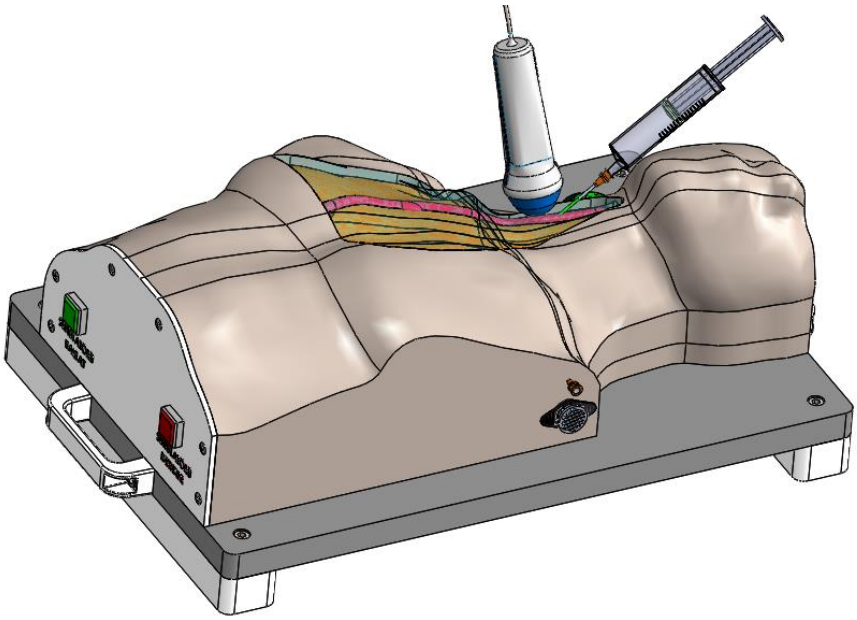


Şekil 3.43. Simülatör Üzerinde Şırınga Seti Saklama Yeri Kesit Görüntü

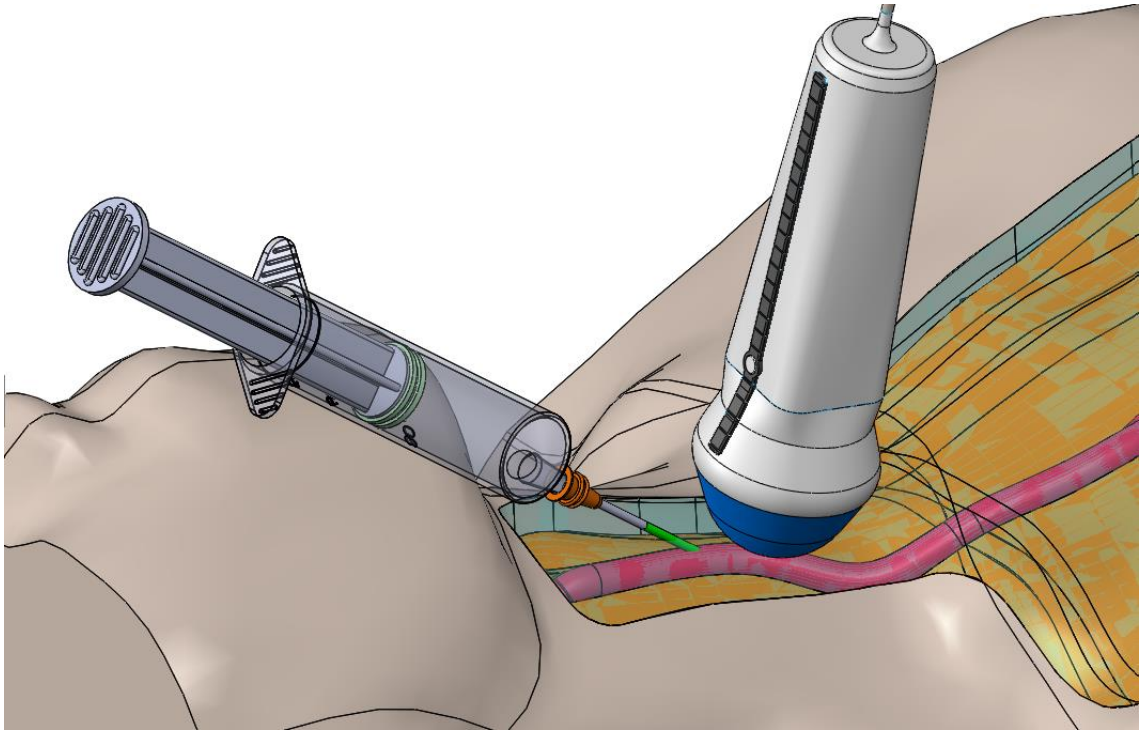
SVK Simülatöründe sistem gereksinimleri tespitinde belirtilen mobil ultrason cihazı olacaktır. Bu mobil cihaz tak çalıştır çeklinde pratik bir cihaz olup, mobil telefona akuple edilebilmektedir. İğne nüfuziyeti tespiti için önemli ve kritik bir ekipmandır.



Şekil 3.44. SVK Simülatör Mobil Ultrason Cihaz Gösterimi



Şekil 3.45. SVK Simülatör Mobil Ultrason Cihaz Uygulama Gösterimi 1



Şekil 3.46. SVK Simülatör Mobil Ultrason Cihaz Uygulama Gösterimi 2

Ultrason ile İğne nüfuziyeti ile ilgili teknik uygulama esasları Madde 4 Denemeler ve Kullanım Şekli kısmında daha detaylı anlatılacaktır.

3.4. Malzeme Seçimi, Üretim Metodolojisi ve Kalıp Tasarım Çalışmaları

Simülatör bileşenlerinin kalıplarının tasarımını yapmadan önce üretim metodolojisi belirlemek en başlıca aşamadır. Üretim yöntemi belirlenmeden üretmek için gerekli ekipmanı tasarlanması imkansızdır. Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) Simülatörü üretimi için kendi içinde ayrılmaktadır. İnsan modeli üretimi, İnsan Modeli üretimi için kalıp üretimi, protez doku üretimi, protez doku üretimi için kalıp üretimi, protez üst doku deri üretimi, protez üst doku deri üretimi için kalıp üretimi damar sistemi üretimi, damar sistemi üretimi aparatı üretimi ve taşıma ekipman üretimi şeklindedir. Her ne kadar üretim yöntemini belirlemek önemli ve ilk sıradaki kriter desek te üretim yönteminden önce üretilecek ürünlerin hangi malzemelerden olması gerektiğini belirlemek üretim yöntemini de etkilemektedir.

İlave olarak simülatör imalatında kullanılacak malzemelerle biyolojik uyumluluğun sağlanması önemli bir kriterdir. Kullanılacak malzemelerle ilgili olarak insan derisine ve dokusuna benzer polimer malzemeler, köpük malzemeler, plastik ve kompozit malzemelerle araştırılmıştır. Proses geliştirme ve 3D yazıcı tekniğine uyumlu malzemelerle ilgili çalışmaların da irdelendiği bu tezde laboratuvar çalışmaları yapılmış ve Bursa Uludağ Üniversitesi İyi Hekimlik Uygulamaları ve Simülasyon Merkezinde (USİM) kullanılmakta olan eğitim amaçlı simülatörlerden insan dokusunu en iyi temsil eden göğüs palpasyonu simülatöründe kullanılan doku kıyaslama için kullanılmıştır. Burada özellikle cilt dokusu ve damar yapılarına yönelik bazı parametrelerin elde edilmesine çalışılmış olup, Elektrospinning tekniğiyle yapay damar geliştirme/üretme çalışmaları da damar parametreleri açısından ayrıca irdelenmiştir.



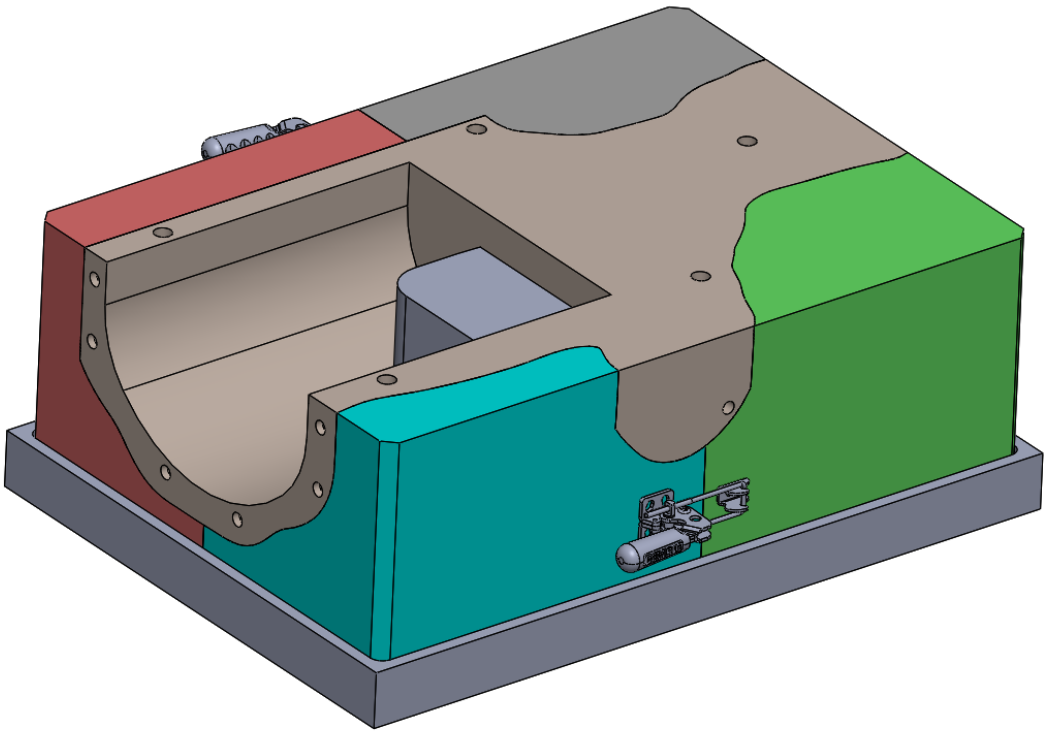
Şekil 3.47. Uludağ Üniversitesi İyi Hekimlik Uygulamaları ve Simülasyon Merkezi https://tip.uludag.edu.tr/usim-iyi-hekimlik-uygulamalari-ve-simulasyon-merkezi

3.4.1. İnsan Modeli Üretim Yöntemi ve Kalıp Tasarımı

Tez kapsamında üretim olmayacağı, sadece üretim için gerekli kalıp ve aparatların tasarımları yapılacağı ışığında malzeme seçimi, üretim yöntemi belirlemesi yapılacaktır.

Bursa Uludağ Üniversitesi İyi Hekimlik Uygulamaları ve Simülasyon Merkezinde (USİM) kullanılmakta olan eğitim amaçlı simülatörlerden insan dokusuna en çok benzeyen simülatörler gözlemlenmiş ve kullanılan malzemenin silikon kauçuk olduğu belirlenmiştir.

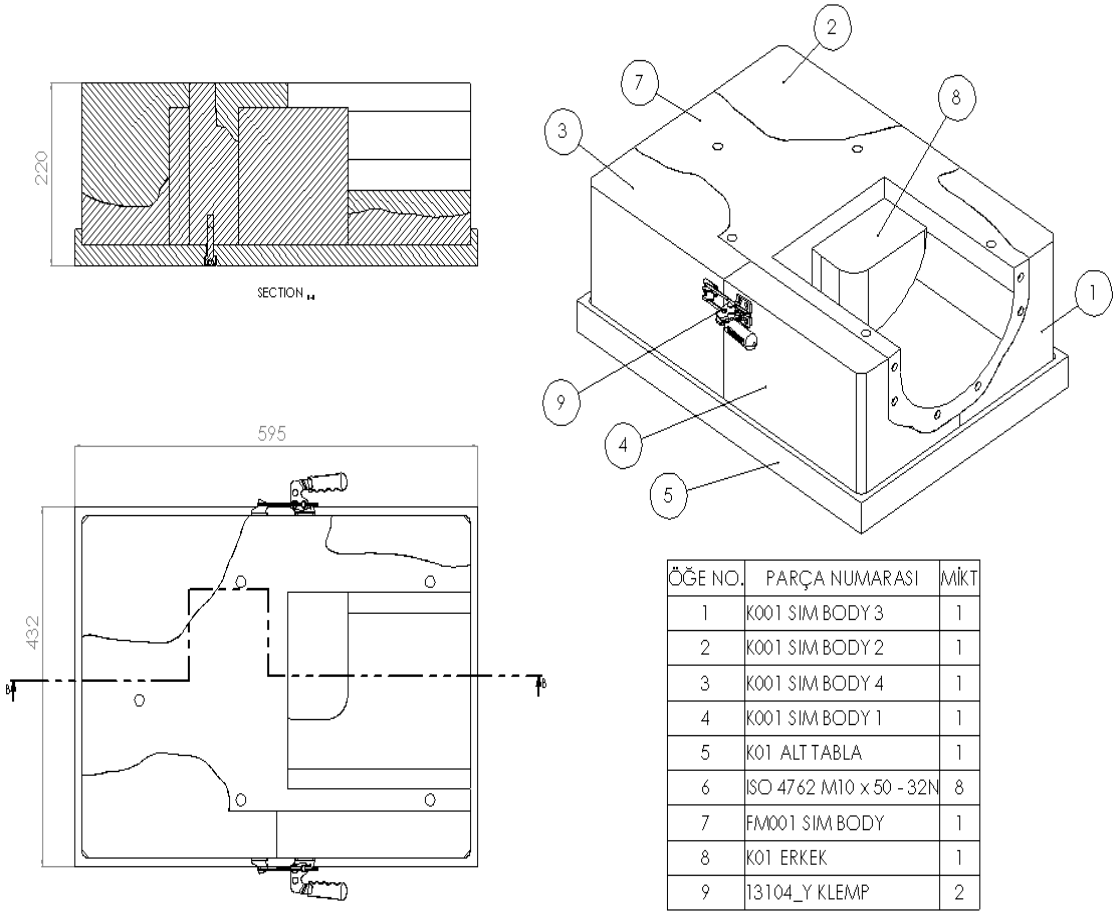
Yapılan literatür araştırması ve makalelerde kullanılan hammaddelerle ilgili net bir bilgi rastlanmadığı için insan modeli üretimi için kauçuk silikon kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu silikon kauçuk malzemenin yatırma kalıbı yöntemi ile silikon kauçuk dökümü yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil 3.48. İnsan Modeli Üretim Kalıp Tasarımı Montaj

İnsan modeli üretimi için İnsan modelinin imalatından önce tasarımı yapılan yatırma kalıbın ilk adım olarak 3D printer kullanarak üretimi yapılması gerekmektedir. Bu yatırma kalıbı, insan modelinin silikon kauçuk ile dökülmesi için temel bir şablondur. Kalıp, insan modelinin anatomik detaylarını ve boyutlarını yüzeyinde taşır. Bu aşama, tasarımın gerçek dünyada fiziksel bir varlık haline getirilmesine olanak tanır.

Silikon yatırma kalıbı, simülatörün insan modelinin silikon kauçuk dökümü için temel bir şablondur. Doğru bir yatırma kalıbı tasarımı, son ürünün anatomik doğruluğunu, dokusal benzerliğini ve estetiğini belirleyecektir



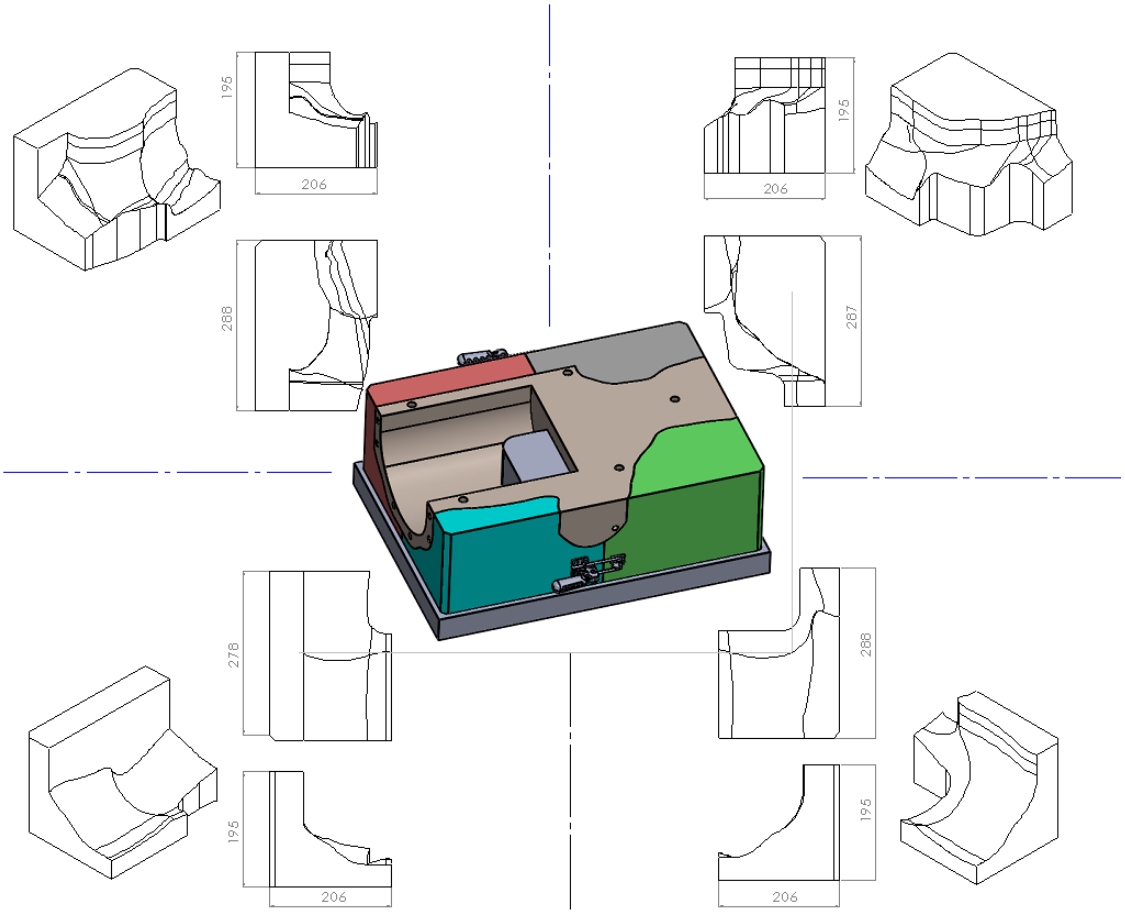
ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	MİKT
1	K001 SIM BODY 3	1
2	K001 SIM BODY 2	1
3	K001 SIM BODY 4	1
4	K001 SIM BODY 1	1
5	K01 ALT TABLA	1
6	ISO 4762 M10 x 50 - 32N	8
7	FM001 SIM BODY	1
8	K01 ERKEK	1
9	13104_Y KLEMP	2

Şekil 3.49. İnsan Modeli Üretim Kalıp Tasarımı Genel Ölçüler

ÖĞE NO	PARÇA NUMARASI	MİKTAR
1	K001 SIM BODY 3	1
2	K001 SIM BODY 2	1
3	K001 SIM BODY 4	1
4	K001 SIM BODY 1	1
5	K01 ALT TABLA	1
6	ISO 4762M10 X 50 -32N	8
7	FM001 SIM BODY	1
8	K01 ERKEK	1
9	13104_Y KLEMP	2

Tablo 3.2. İnsan Modeli Üretim Kalıp Tasarımı BOM listesi

İnsan modeli çıkarmak için tasarlanan yatırma kalıbı Şekil 3.49'daki bütünleşik ölçülerde 3D printer kullanarak üretimi zorlaştıracağı için tasarımı parçalı yapılmıştır. 4 parça olarak tasarlanmış olup, 3D printer kullanarak üretimi yapılacak maksimum parça ebatları Şekil 3.50'de verilmiştir.

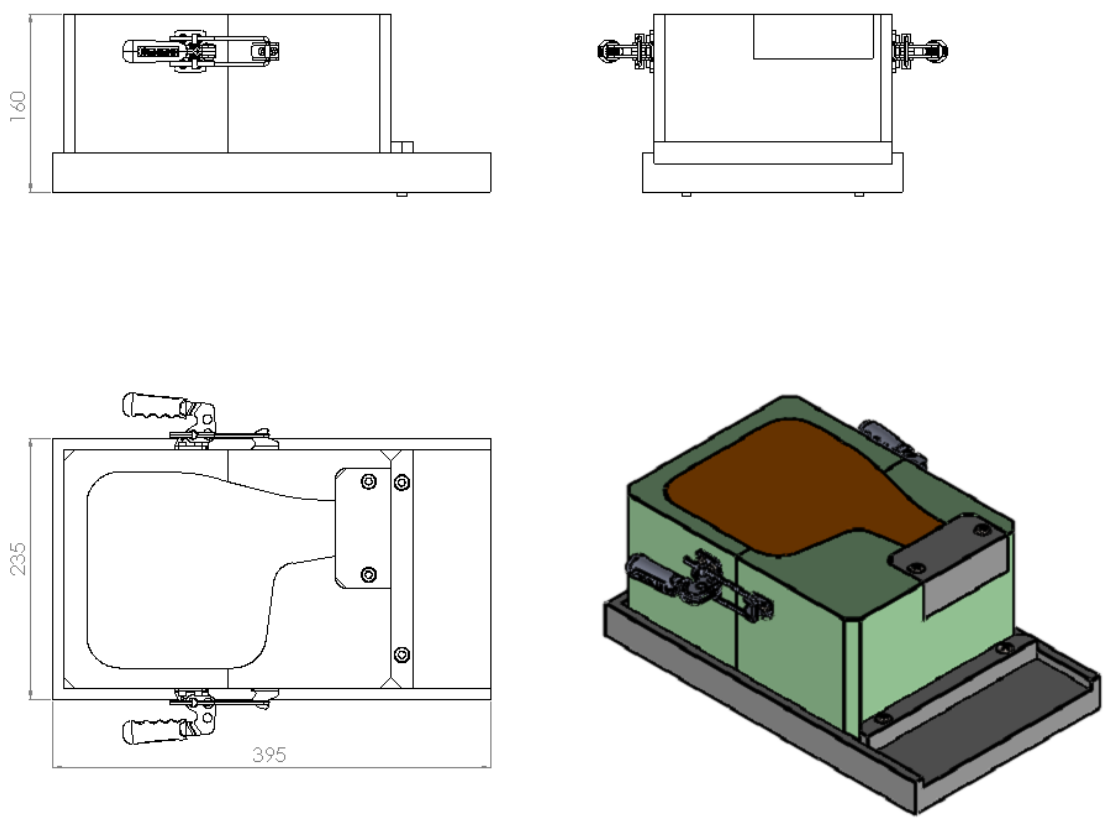


Şekil 3.50. İnsan Modeli Üretim Kalıbı Dişi Form Üretilebilirlik Detayı

Kalıbın tasarımı, imalatın temel aşamasını belirler. Doğru bir kalıp, son ürünün kalitesini ve gerçekçiliğini belirleyen kritik bir faktördür. Bu nedenle tasarımın dikkatli bir şekilde yapılması ve prototip testlerinin yapılması önemlidir. Bu süreç sonunda, simülatörünüzün insan modeli için uygun bir silikon kauçuk yatırma kalıbı tasarımı hazır durumdadır.

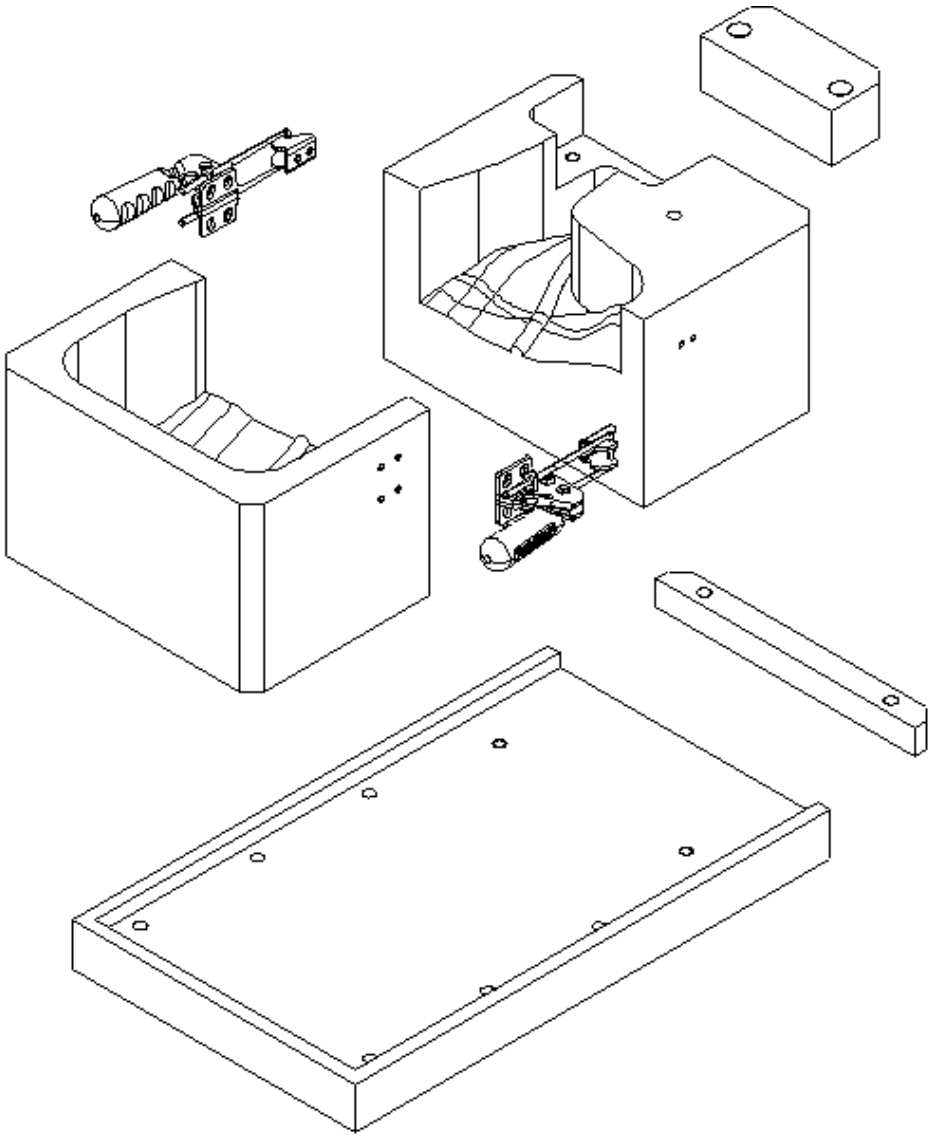
3.4.2. Alt Protez Üretim Yöntemi ve Kalıp Tasarımı

Simülasyonun uzun vadeli kullanımını desteklemek amacıyla, protez dokular modelin damar giriş bölgelerine eklenir. Bu bölgeler zaman içinde aşınabilir veya değiştirilmesi gerekebilir, bu nedenle protez dokuların kolayca değiştirilebilir olması önemlidir.

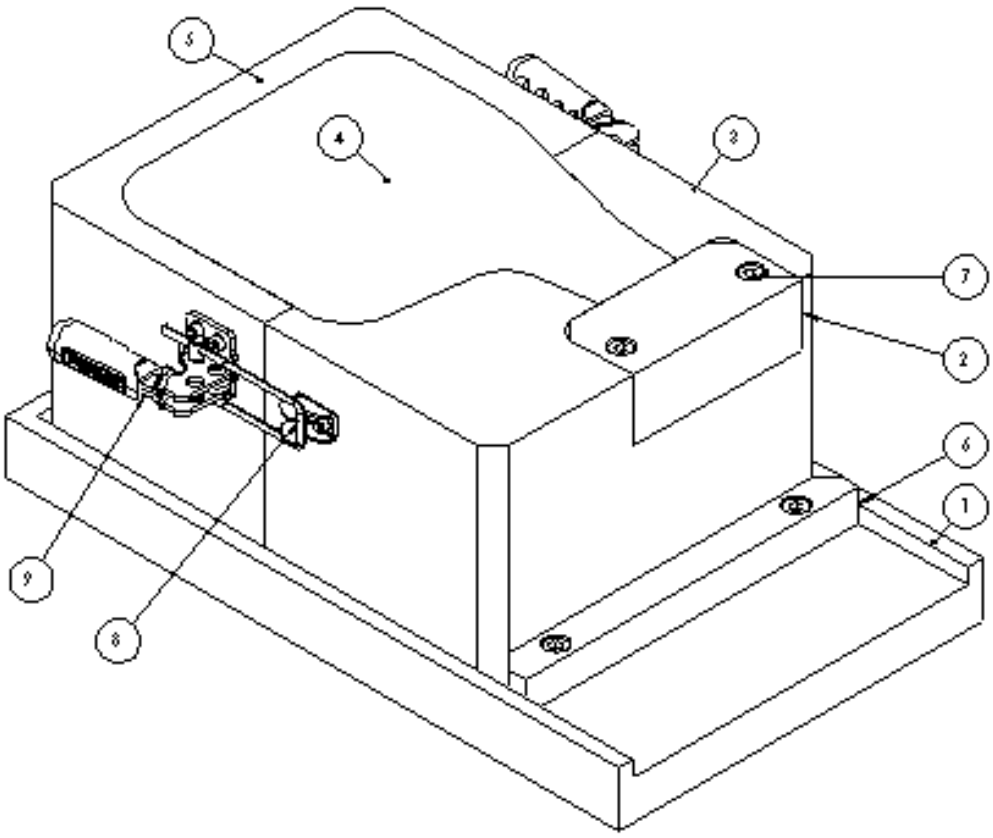


Şekil 3.51. Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı Montaj ve Genel Ölçüler

Alt Protezi çıkarmak için tasarlanan yatırma kalıbı Şekil 3.51 de ki bütünleşik ölçülerde 3D printer kullanarak üretimi zorlaştıracağı için tasarımı parçalı yapılmıştır. 2 parça olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.52. Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı Demontaj



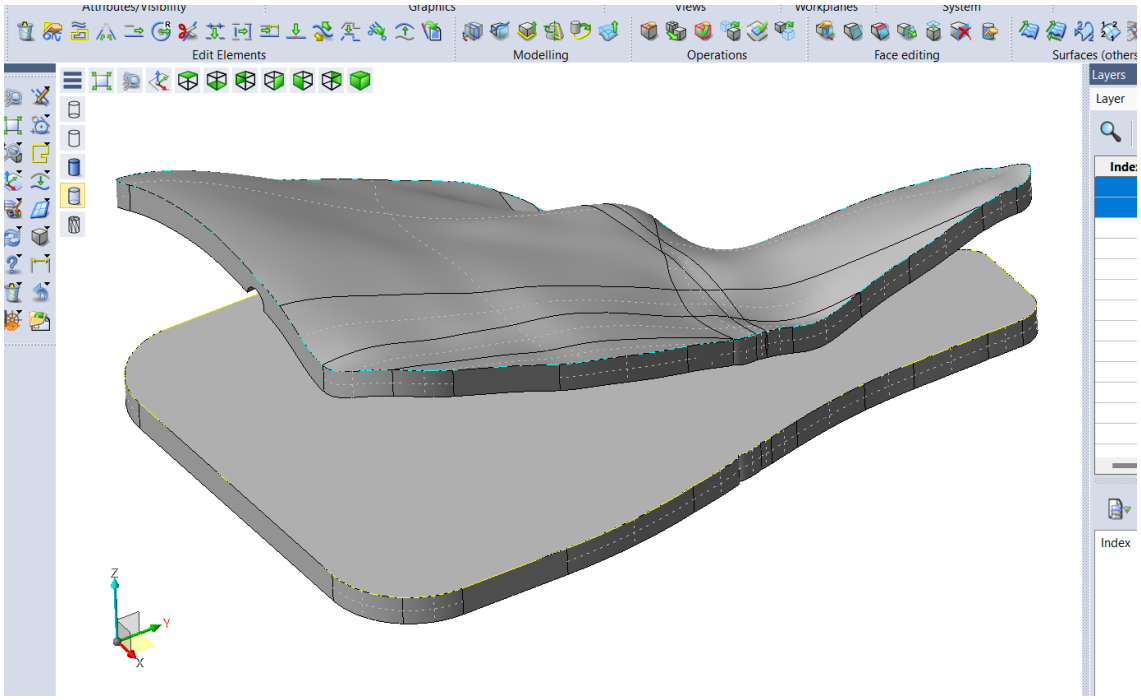
Şekil 3.53. Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı Montaj

ÖĞE NO	PARÇA NUMARASI	MİKTAR
1	K02 PROTEZ ALT TABLA	1
2	K02 PROTEZ DAYAMA	1
3	K02 PROTEZ ALT YAPI KALIP	1
4	K02 PROTEZ ALT YAPI	1
5	K02 PROTEZ ALT YAPI KALIP-2	1
6	K02 PROTEZ DAYAMA-2	1
7	ISO 4762 M8 X 40	4
8	ISO 4762 M4 X 16	12
9	13104_Y KLEMP	2

Tablo 3.3. Alt Protez Üretim Kalıp Tasarımı BOM Listesi

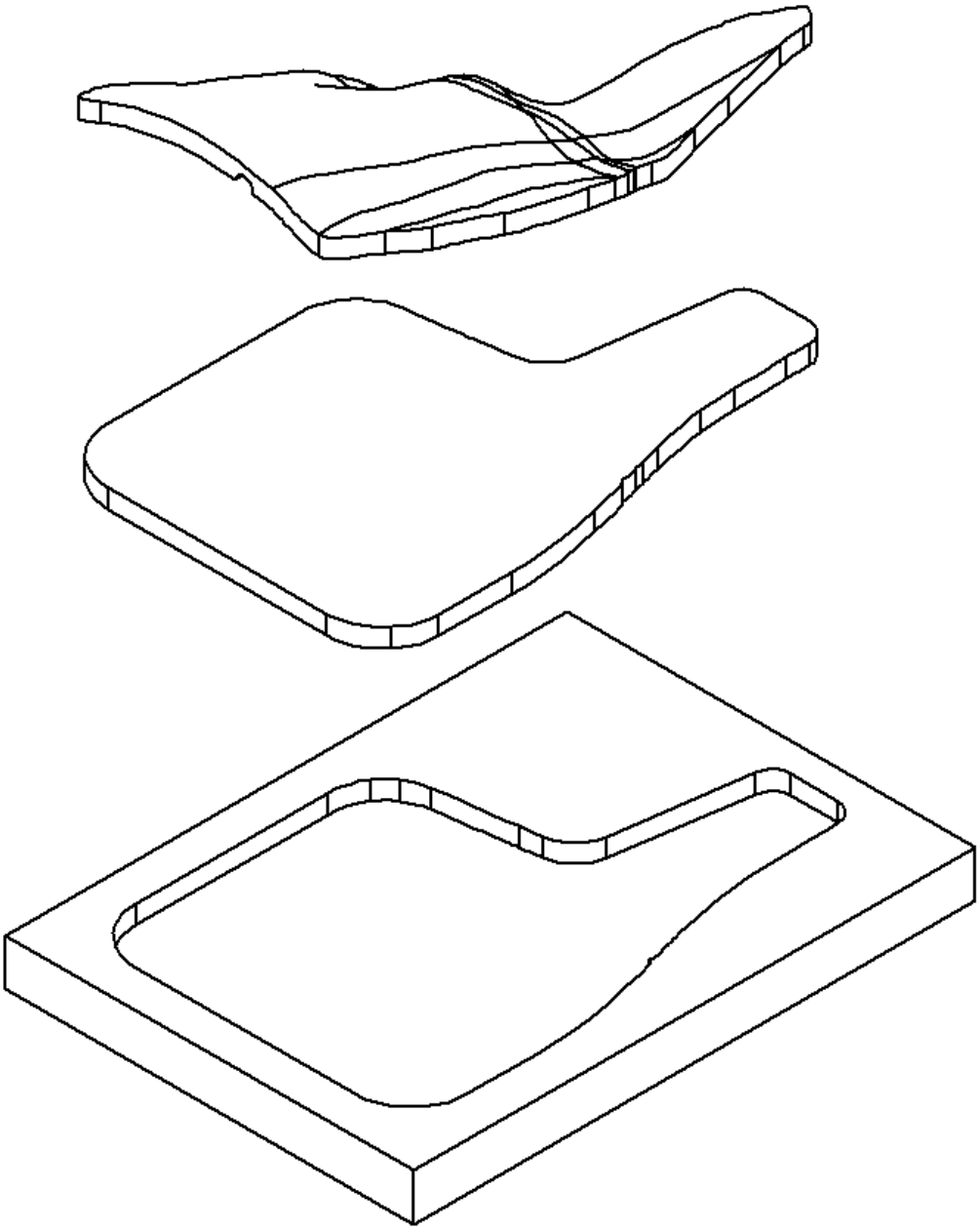
3.4.3. Üst Doku Deri Üretim Yöntemi ve Kalıp Tasarımı

Şekil 3.19, 3.20 ve 3.21'de yer alan protez alt doku katmanının üzerine serilecek olan yaklaşık 10mm kalınlığında ve sürekli Internal Juguler ven damarına giriş yaparken tahrip olacak Şekil 3.22'de ki silikon kauçuk malzemeden üretilmesi uygun olan protez üst doku deri katmanı silikon kalıplama ile üretilmesi uygundur.



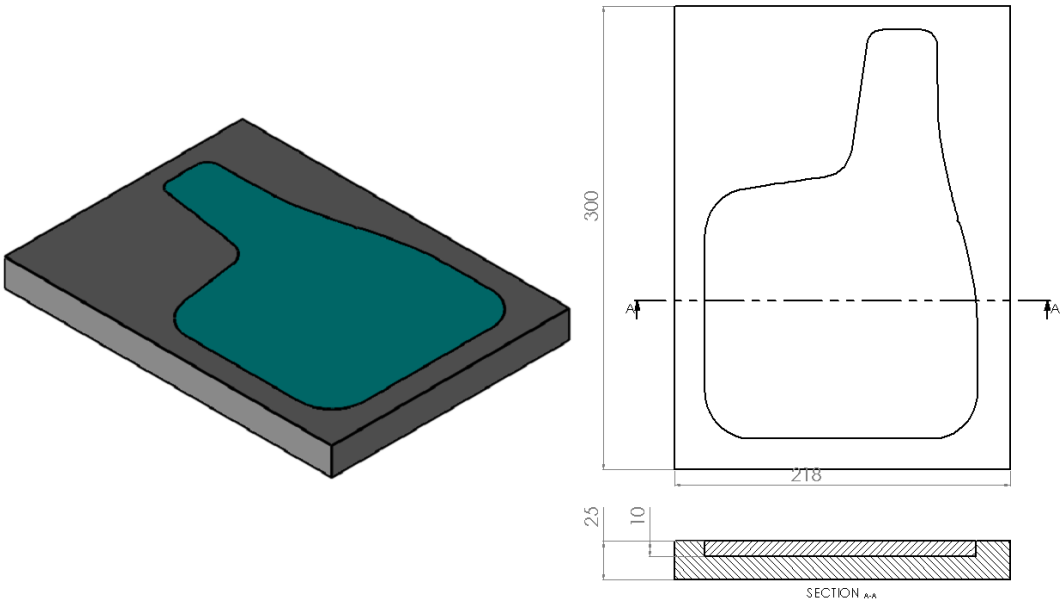
Şekil 3.54. Üst Doku Deri Üretim Kalıp Tasarımı

Üst doku deri katmanı, alt doku katmanı üzerine serme yöntemi ile yerleştirileceği için tasarımla insan modelinin göğüs kısmı formunu birebir alıntı yapılmış olup bu formun 3 boyutlu geometride olduğu için öncelikle Visi-Vero programının Blank modülü ile açınımını hesaplaması yapılmıştır.



Şekil 3.55. Üst Doku Deri Üretim Açınım Kalıp Tasarımı

Şekil 3.54'te açınımı hesaplanan deri katmanını Şekil 3.55'te kalıp tasarımları yapılmıştır. Bu süreç sonunda, simülatörünüzün deri katmanı için uygun bir silikon kauçuk kalıbı tasarımı hazır durumdadır. Kalıp ve kalıp ölçülerini Şekil 3.56'da resmedilmiştir.



Şekil 3.56. Üst Doku Deri Üretim Kalıp Tasarımı Montaj ve Genel Ölçüler

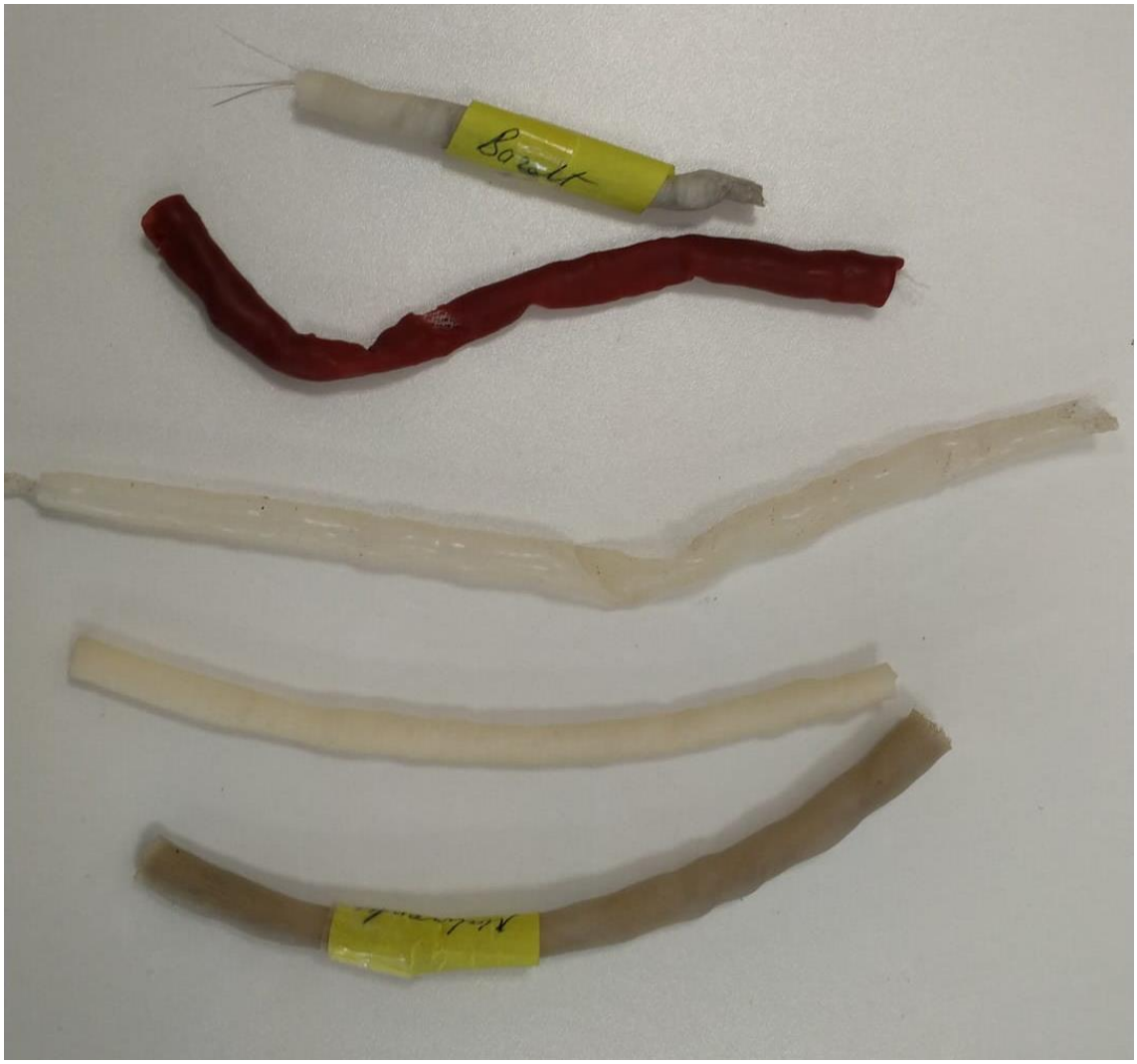
3.4.4. Suni Damar Üretim Yöntemi

Internal Juguler ven damar yolu tasarımının ardından bu damarın üretimi için en doğru yolun belirlenmesine geçildi. Damarlar, gerçekçi bir venöz erişim deneyimi sunacak şekilde olması en önemli kriterdir. Damarı geleneksel yöntemlerle yapılabilir. Geleneksel Yöntemlerle yapılan örnekler Şekil 3.57, Şekil 3.58 ve Şekil 3.59'da görülmektedir.

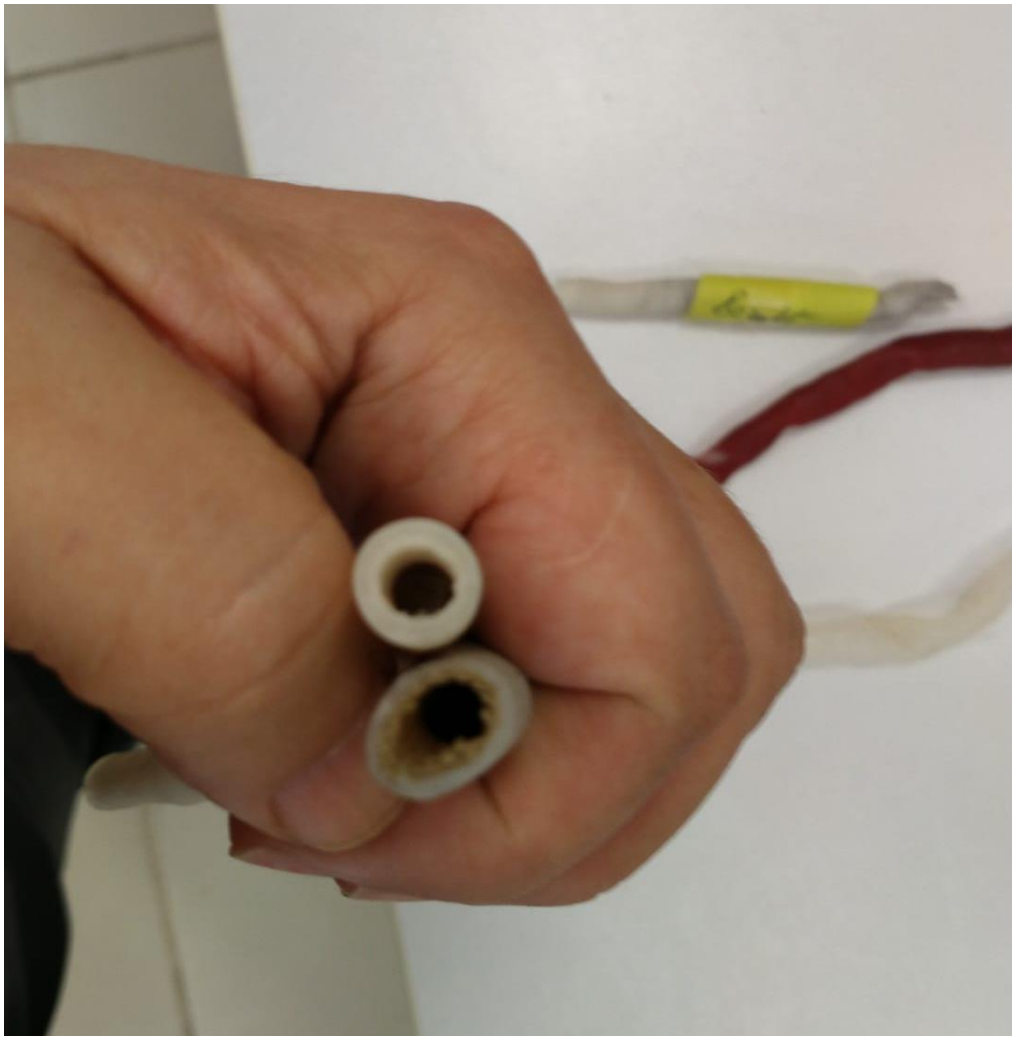


Şekil 3.57. Geleneksel Yöntemle Üretilen Damar Örnekleri-1

Dönen bir motorun ucuna bağlanan iç ölçüsündeki bir mil parçaya dönme esnasında sürülen silikon kauçuk çoklu kes tekrarlanır ve her defasında bir katman oluşur. Et kalınlığının %40 seviyelerine ulaştığında bez dolanır ve tekrar silikon kauçuk dönme eyleminde tekrarlanır ve son katman uygulanmış olur. Bu zor ve meşakkatli bir süreçtir.



Şekil 3.58. Geleneksel Yöntemle Üretilen Damar Örnekleri -2



Şekil 3.59. Geleneksel Yöntemle Üretilen Damar Örnekleri -3

Bunun yerine piyasada kolaylıkla bulunan lateks kauçuk malzemeden lateks serum lastiği diye adlandırılan Şekil 3.60'ta yer alan ürün kullanımı çok daha basit olacaktır. Piyasadan Ø10mm ebatlarında istenilen uzunlukta tedarik edilebilmektedir.



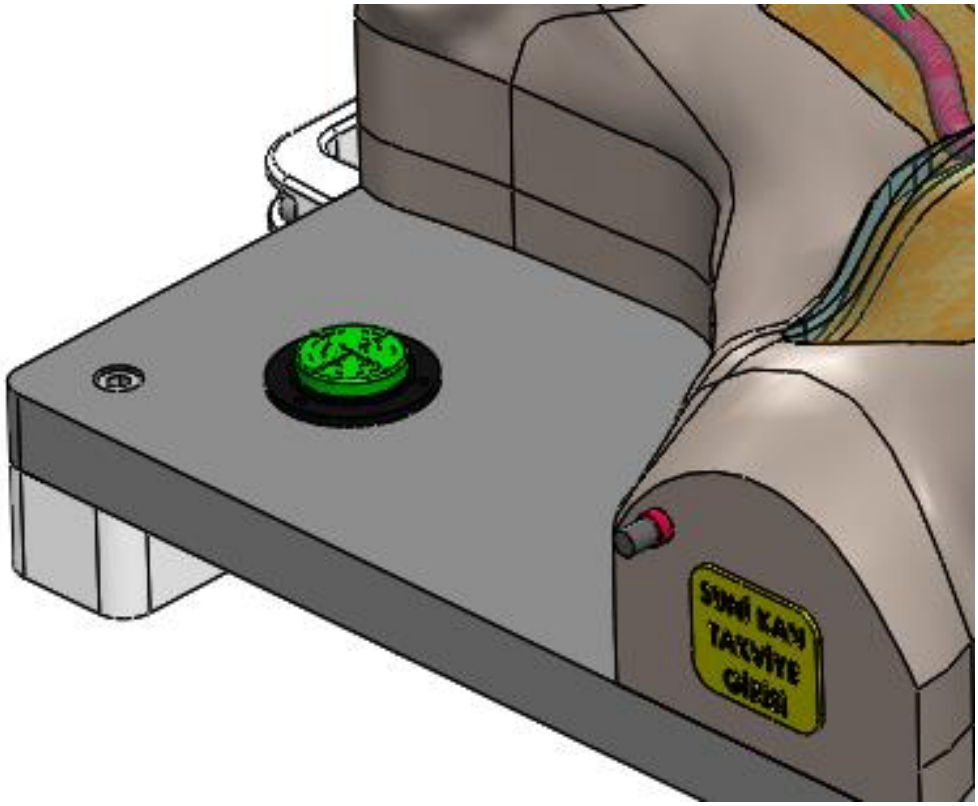
Şekil 3.60. Lateks Kauçuk Suni Damar Görseli
https://www.hepsiburada.com/dunya-magnet-2-metre-serum-lastigi-8-10mm-turnike-dren-lastigi-sapan-lastigi-pm-HBC0000063IEH

4. DENEMELER VE KULLANIM ŞEKLİ

Bu kısımda teze konu olan SVK Simülatörünün çalışma prensibi ve karşılaştırmalı tartışma yer alacaktır. SVK işleminde en önemli ve en kritik olay şırınganın doğru konuma, doğru açıda ve yeterli miktarda girmesidir. Simülasyonların defalarca tekrarlanması ile eğitim alacak olan personel hem teknik bilgi hem de tecrübi bilgilerle donatılacaktır.

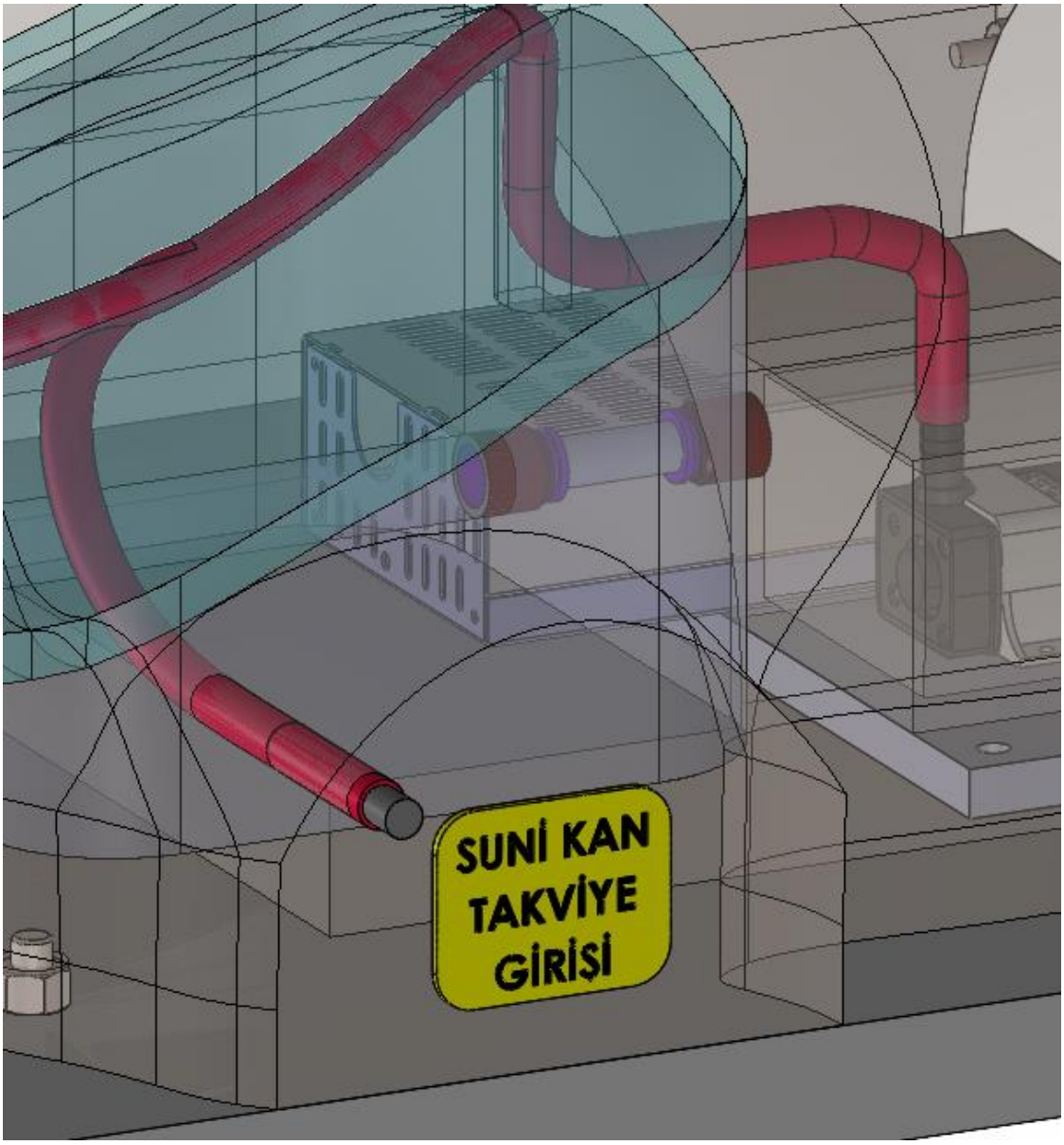
Tasarımı yapılan SVK Simülatörü üzerinde çalışma analizi aşağıda verilmiştir:

SVK Simülatörü sabit bir laboratuvarda değilse kutusunda çıkarılan simülatör ergonomik sınırlar içerisinde olan bir çalışma masası üzerine koyulur. Masanın düzlemselliği ve dolayısı ile simülatörün düzlemselliği simülatörün sol üst köşesinde yer alan 2 eksenli su terazisi ile kontrol edilir. Terazi içinde yer alan hava kabarcığının 2 eksende de tam orta noktada olması sağlanır.



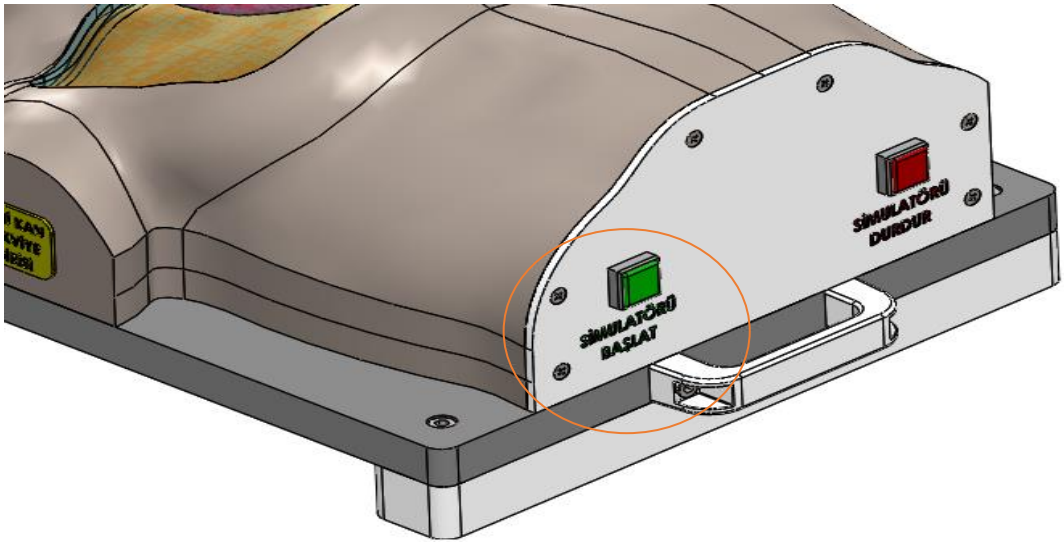
Şekil 4.1. SVK Simülatör Düzlemesellik Ayarlama

Düzlemsellik ayarı yapılan simülatör çalıştırılmadan önce Şekil 3.40'ta görülen 7 nolu gövde şeffaf arka kapak arkasındaki seviye göstergesinden suni kan seviyesi kontrol edilir. Belirlenen çizgiler arasında değil ise Şekil 4.2'de görülen "SUNİ KAN TAKVİYE GİRİŞİNDEN" ilave yapılır.



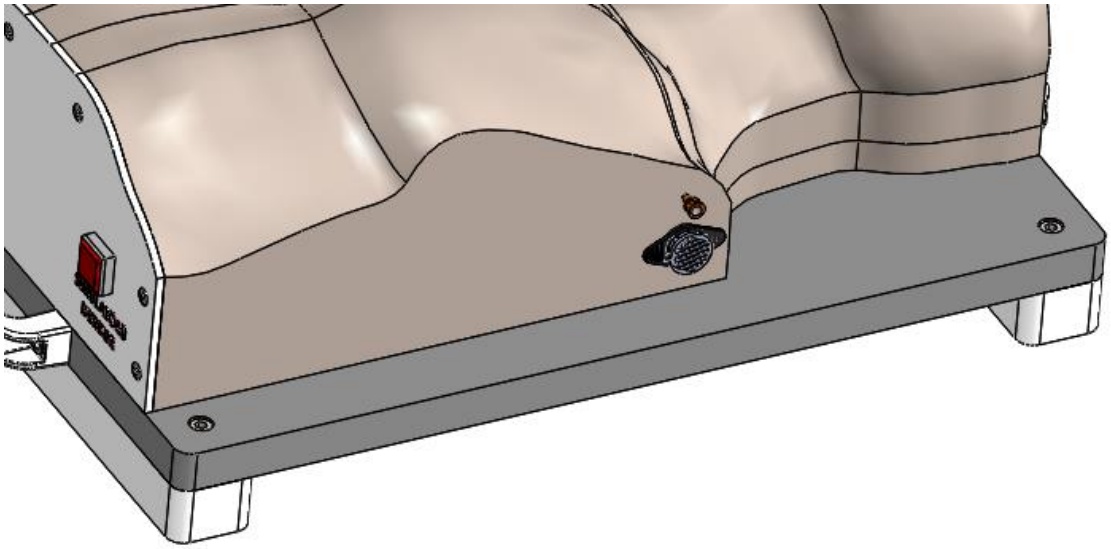
Şekil 4.2. SVK Simülatör Suni Kan Takviye Girişi

Ön hazırlık işlemleri tamamlandıktan sonra Şekil 4.3'te görülen "SİMULATÖRÜ BAŞLAT" düğmesine basarak suni kan devir daim pompası çalıştırılır. Ve simülatör eğitim için hazır olur.



Şekil 4.3. SVK Simülatör Başlat Düğmesi Kullanıcı Arayüzü

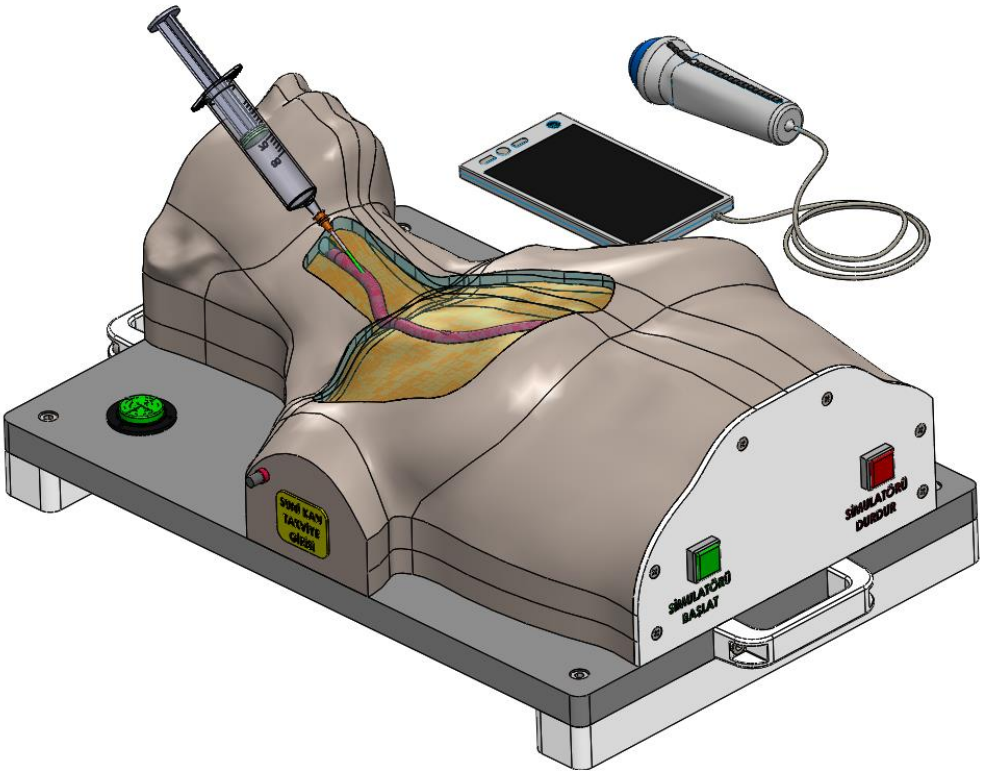
Simülatör gövdesinin sağ yan kısmındaki yuvada yer alan Kateter setlerinden şırınga ve iğnesi alınarak operasyonel eğitime geçilir.



Şekil 4.4. SVK Simülatör Şırınga Seti Muhafaza Yeri

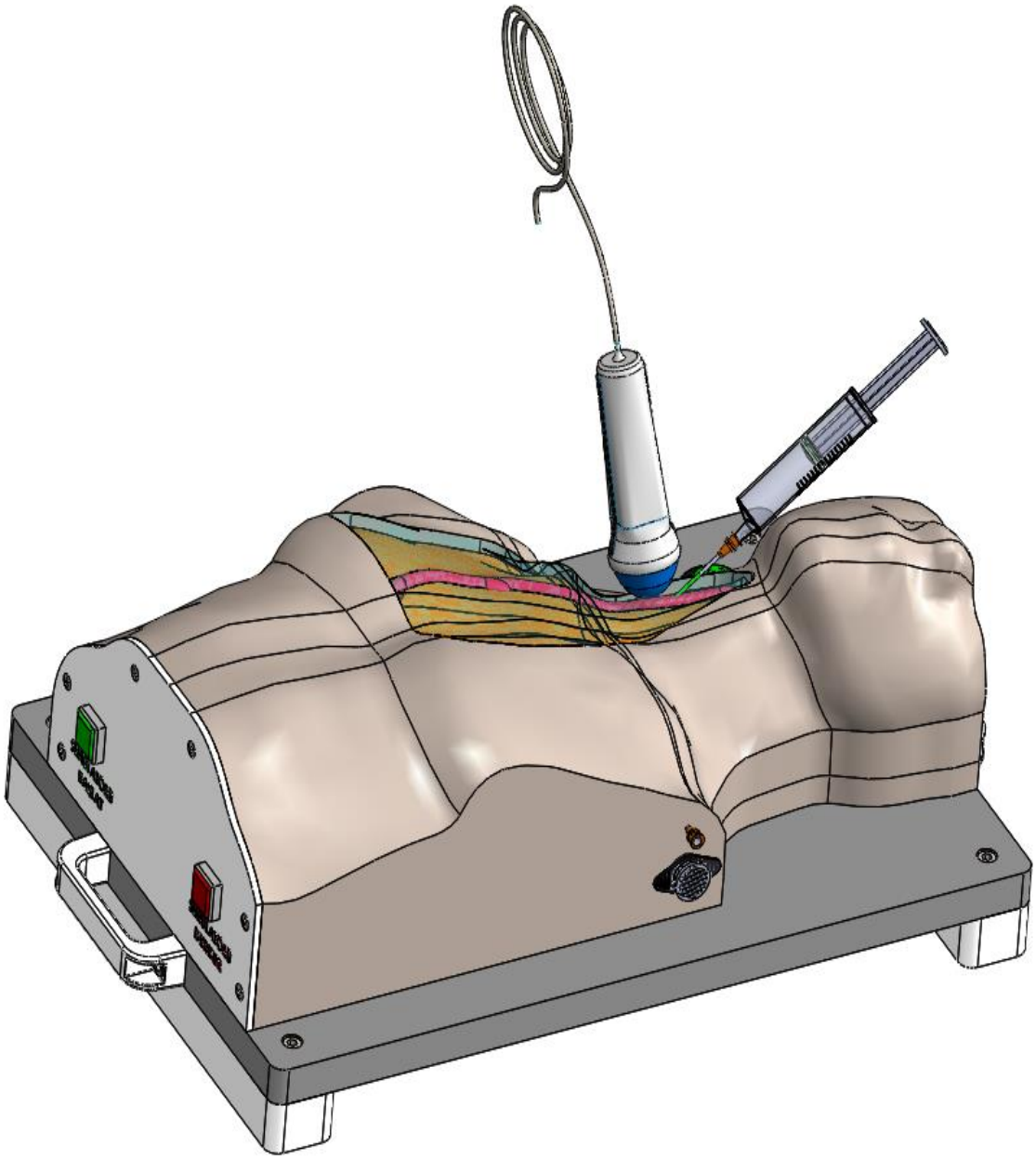
Öğrenci SVK simülatör insan modelinin baş tarafında dururken yapay kan dolaşım sisteminden kaynaklı atış sayesinde parmakları ile hafifçe arteri hissedecek şekilde tutulurken şırınga iğnesi deriye 30-40 derece açıyla nüfuz ettirilir ve aynı taraftaki meme

başına doğru yönlendirilir. İğne daima parmağın altındaki arterden uzağa doğru yönlendirilmelidir.



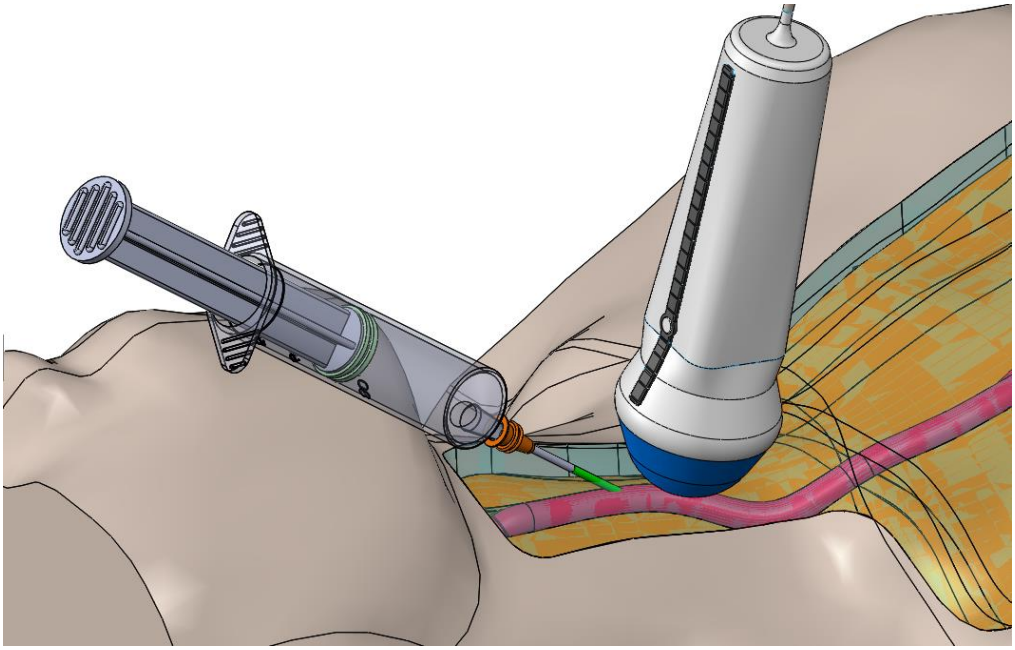
Şekil 4.5. SVK Simülatör Şırınga Giriş Gösterimi

Ven genellikle deriye girdikten sonra 2-3 cm içinde bulunur. Bu esnada yapay kan dolaşım sisteminden kaynaklı atışı parmaklarımızla hissettiğimiz yeri mobil ultrason cihazımız ile yoklayarak telefonun ekranından Ven damarını ve iğne ucunu ararız.



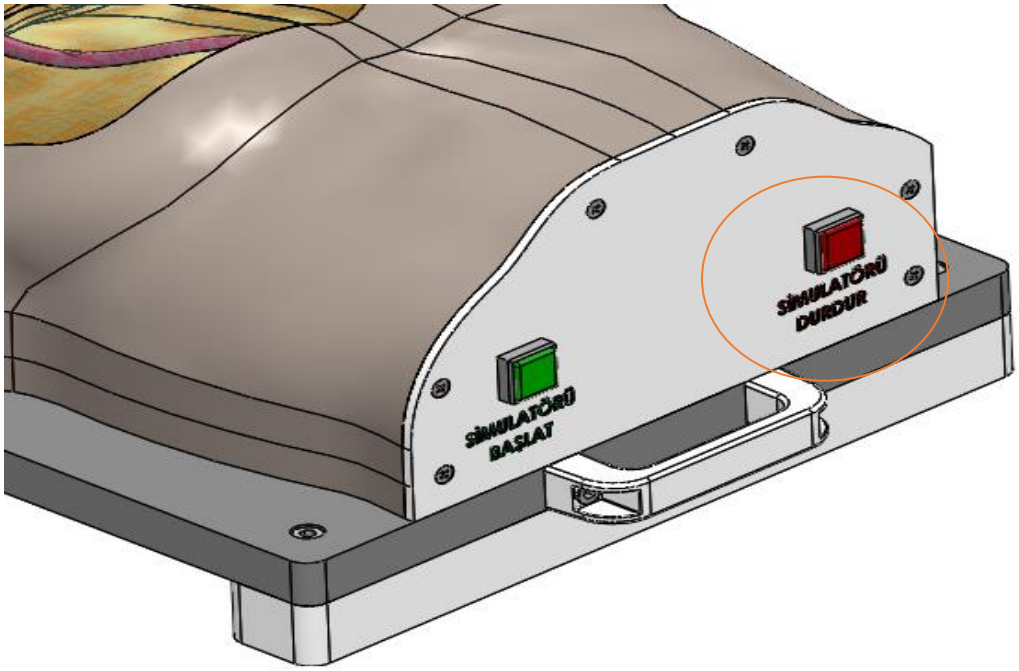
Şekil 4.6. SVK Simülatörü Ultrason ile Tespit Çalışması Görüntüsü

İğnenin damara paralel bir şekilde nüfuz ettirene kadar ilerletiriz. Şekil 4.7'de detaylı ve yakın görünüşünde de görüldüğü üzere ultrason desteği sayesinde Ven'e girişim başarılı bir şekilde tamamlanır.



Şekil 4.7. SVK Simülatörü Ultrason ile Yakından Tespit Çalışması Görüntüsü

Eğitim tamamlandıktan sonra Katater seti toplanır yerine yerleştirilir ve Şekil 4.8'de yer alan "SİMÜLATÖRÜ DURDUR" düğmesine basılarak kapatılır.



Şekil 4.8. SVK Simülatör Durdur Düğmesi Kullanıcı Arayüzü

Yapılan Eğitimlerin sürekli tekrarlanması ile belli bir peryotta yüksek yıpranmadan aza doğru sıralanmış haline göre; suni VEN damarı, üst doku deri ve alt protez doku yıpranacaktır.

Sistemin hedeflenen değiştirme periyotu damarlar için 100, üst doku deri için 300 simülasyon olarak öngörebiliriz. Alt protez doku ise görselde ve fonksiyonel olarak ön planda olmayacağı için değişime gerek yoktur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışmasında hedeflenen Santral Venöz Kateterizasyon (SVK) Eğitim Simülatörünün tasarım aşamaları detaylı şekilde açıklanmıştır. Tez çalışması ile simülasyonun tıp eğitimindeki rolü ve etkisi üzerine derinlemesine bir analiz yapılmıştır. Tezde projelendirilen Simülasyon tabanlı eğitim simülatörünün geleneksel ve mevcut öğrenme yöntemlerine kıyasla avantajları bulunmaktadır. Örneğin geleneksel öğrenme yöntemi yani gerçek insan üzerinde denemede risk insan hayatıdır ki bu en önemli dezavantajdır. Olası planlı operasyonlarda sınırlı tatbikat imkânı bulan öğrenciler tecrübe açısından yetersiz bir seviyede mezun olurlar. Mevcuttaki simülatörler de teze konu olan simülatöre oranla çok daha az özellikler ihtiva eder, gerçeklikten çok uzaktırlar ve bu da eğitimin verimliliğini azaltmaktadır.

Kullanılan malzemelerin biyolojik uyumluluğu ve insan vücuduyla benzerlikleri tez çalışmasında literatür taramaları ve uzman görüşleri ile derinlemesine irdelenmiştir. FCL (First Class Replica) anlayışı ile mühendislik tasarım faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle simülatörde kullanılan modelin anatomik doğruluğu ana hedefler arasında olmuştur. Anatomik doğruluğun eğitim etkinliği üzerindeki etkisi ve eğitim kalitesine katkısı tartışılmaz bir sabittir. Gerçek insan bedeni üzerinde çoklu denemeler imkânı olmayan, yapılan denemelerde de hata payının sıfır olması gerektiği prensibine göre simülasyon tabanlı eğitimin uzun vadeli etkileri ve verimliliği, sağladığı avantajlar ve öğrenme sürecine etkisi baktığımızda uzun dönemde mesleki beceriler ve deneyimin artacağı ek olarak ta simülasyon teknolojisinin geleceği ve geliştirilmesi mümkün oldu gözlemlenmektedir.

Özellikle tez çalışmasında yenilikçi bir SVK simülatörünün ve çevre elemanlarını tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımın etkinliği simülasyon eğitimi uzmanlarla birlikte denenmiş ve kanıtlanmıştır. Tasarım çalışmasının imalatı ile ilgili bilgiler de tez çalışmasında verilmiştir. Sonraki aşamada, simülatörün imalatının gerçekleştirilmesi ve eğitimde etkinliğinin kanıtlanması için çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Kolikof J., Peterson K., Baker A. M. (2023). Central Venous Catheter. StatPearls. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557798/

Kar G., Kazan E. K., (2021). Evaluation of skills of intensive care nurses regarding central venous catheter care: An observational study. Marmara Medical Journal. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2049469

Smith C. R., Peng Y. G. (2021). The Role of Simulations in Medical Education, APSF Newsletter. https://www.apsf.org/article/the-evolution-and-role-of-simulation-in-medical-education/

Komasawa N., Mihara R., Minami T. (2016). Central venous access training simulator that enables dilator or catheter insertion; Acute Medicine & Surgery (2016) 3: 424–425. https://www.researchgate.net/publication/299477476_Central_venous_access_training_simulator_that_enables_dilator_or_catheter_insertion

Türkyılmaz Ş. E., (2011). Acil Serviste Ultrasonografi Eşliğinde Santral Venöz Kateterizasyonun Etkinliği. T.C. Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi, Acil Tıp Anabilim Dalı. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/43085

Kiray A., Güvençer M., Arman C., Korman E., Ergür İ., Karabay Ö., Tetik S., (2005). Vena Jugularis Interna ve Vena Subclavia'nın Kapaklarının Özellikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/53374

Tercan F., Venöz Kateterizasyon İçin Girim Yolları ve Kateter Tipleri. Başkent Üniversitesi Adana Uygulama ve Araştırma Merkezi, Radyoloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye. https://www.thd.org.tr/thdData/userfiles/file/KATATER__KURS_04.pdf

McGee D. C., Gould M. K., (2003). Preventing Complications of Central Venous. The new england journal of medicine https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMra011883?articleTools=true

Caffery T., Jagneaux T., Jones G. N., Stopa E., Freeman N., Quin C. C., Long A. C., Zatarain L., Musso M. W., (2018). Residents' Preferences and Performance of Three Techniques for Ultrasound-Guided Central Venous Cannulation After Simulation Training. https://www.ochsnerjournal.org/content/ochjnl/18/2/146.full.pdf

Korkmaz M., Vatansever S., (2022). Videolardan Kalp Atış Hızı Kestirimi Üzerine Bir İnceleme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 44, S. 65-73, https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2843502

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih MESTAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 28.08.1983
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Yenişehir ErtuğrulGazi Anadolu Lisesi (2001)
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği (2007)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : ERBAB OTOMAT VE YEDEK PARÇA SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

İletişim (e-posta) : fatihmestan83@gmail.com fatih.mestan@erbab.com

Yayınları :

Mestan, F., (2023). COVID-19 salgın sürecinde sürdürülebilir tasarım ile elektronik çöplükler alışkanlığı yerine tüketim ahlakına sahip yeni bir nesil yaratmak tartışması. 5. International Marmara Scientific Research and Innovation Congress, 1029–1035. https://www.isarconference.org/_files/ugd/6dc816_66b8cd11458b4a8fbc214a2b17108f56.pdf

Nehri Y. E., Toktaş A., Mestan F., Çavdar K., Oral A. (2021). AISI 304L çeliği için kesici takım seçimi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. 11. International Congress on Machining, 301–307. https://coms.events/UTIS2021/data/abstracts/en/abstract_0035.html

Mestan, F., Çavdar K., (2020). Plakaların eğilme rijitliklerinin araştırılması. 8. International Scientific Research Congress -Science and Engineering - (UBAK) 189–200.