

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SENTRİFUGAL POMPA BAŞLIĞI
MODELLEMESİ SONRASI ECMO HATLARI
ÜZERİNDE GÜVENLİ GERİ KAÇIRMA
MİKTARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özhan ÖZAY

**PERFÜZYON TEKNİKLERİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İZMİR-2020

TEZ KODU: DEU.HSI.MSc-2017970169

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**SENTRİFUGAL POMPA BAŞLIĞI
MODELLEMESİ SONRASI ECMO HATLARI
ÜZERİNDE GÜVENLİ GERİ KAÇIRMA
MİKTARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**PERFÜZYON TEKNİKLERİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Özhan ÖZAY

DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ: Prof. Dr. Hüseyin Hüdai ÇATALYÜREK

TEZ KODU: DEU.HSI.MSc-2017970169

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
TABLO DİZİNİ.....	iii
ŞEKİL VE GRAFİKLER DİZİNİ.....	iv
SİMGE VE KISALTMALAR.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET.....	1
SUMMARY.....	3
1.GİRİŞ ve AMAÇ.....	5
2.GENEL BİLGİLER.....	7
2.1.ECMO.....	7
2.2 Sentrifugal Pompa.....	9
2.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.....	11
3.GEREÇ VE YÖNTEM.....	14
3.1.Araştırmanın Tipi.....	14
3.2.Araştırmanın Yeri ve Zamanı.....	14
3.3.Araştırmanın Evreni ve Örneklemi.....	14
3.4. Araştırma Materyali.....	14
3.5.Araştırmanın Değişkenleri.....	14
3.6.Veri Toplama Araçları.....	15
3.7.Araştırmanın Planı ve Takvimi.....	15
3.8.Verilerin Değerlendirilmesi.....	16
3.9.Araştırmanın Sınırlılıkları.....	16
3.10.Etik Kurul Onayı.....	17
4.BULGULAR.....	18
4.1. Bilgisayar Destekli Akış Analizleri.....	20
4.1.1.Parçaların SimScale ile Analizi.....	21
5.TARTIŞMA.....	26
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	27
7.KAYNAKLAR.....	29
8.EKLER.....	31

8.1.Etik Kurul Onay Belgesi	31
8.2.Özgeçmiş	35



TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Sentrifugal pompa prototipinin simüle edilmiş boyutları.....	20
--	----



ŞEKİL VE GRAFİKLER DİZİNİ

Şekil 1. Araştırma planı ve takvimi.....	16
Şekil 2. Geri akış girdap kavitasyonu.....	18
Şekil 3. Geri akış bölgeleri	19
Şekil 4. Solidworks yazılımında montajın tamamlanmış hali.....	20
Şekil 5. SimScale k- ω SST türbülans modeli.....	21
Şekil 6. Snappy-Hex-Mesh çizim görüntüsü	22
Şekil 7. Çoklu referans çerçeve modeli çizim bölgesi	22
Şekil 8. Sentrifugal pompa basınç dağılımı.....	23
Şekil 9. Sentrifugal pompa hız vektörleri.....	24
Grafik 1. Akıma göre geri kaçırma miktarları.....	24

SİMGE VE KISALTMALAR

- CFD** : Computational fluid dynamics
- ÇRÇM** : Çoklu referans çerçeve modeli
- ECMO** : Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (Extracorporeal Membrane Oxygenation)
- HAD** : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
- KPB** : Kardiyo pulmoner baypas
- k- ω** : Kinematic omega (Girdap sayısı)
- PTV** : Particle tracking velocimetry
- PVC** : Polivinil klorür
- RPM** : Rate per minute (Dakikadaki devir sayısı)
- SST** : Shear-stress transport

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca deneyimlerinden ve bilgilerinden fayda gördüğüm, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin Hüdai ÇATALYÜREK'e, çalışmamın her aşamasında engin tecrübesi ve konuya hâkimiyeti ile beni destekleyen, müsamahalı yol göstericiliğini benden esirgemeyen aynı zamanda Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Perfüzyon Teknikleri Anabilim Dalı Başkanı olan saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Erdem Erinç SİLİSTRELİ 'ye ve DEÜ Kalp Damar Cerrahisi anabilim dalındaki değerli hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Tezim ve eğitimim süresince çalışmalarımın planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesinde ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, arkamda hep tam desteğini hissettiğim Sayın Perfüzyonist Öğretim Üyesi Nuran AY'a ve Perfüzyonist ablalarım Sayın Demet AKYÜREK, Sayın Demet AKYOL, Sayın Seher ÇİFTÇİ 'ye ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Bu süreçte verdikleri bilgi ve destek için DEÜ SBE Öğrenci İşleri Departmanı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bütün yaşamımda desteklerini ve sevgilerini karşılıksız gösteren başta ilk öğretmenim annem Serpil Özay, babam Hayrettin ÖZAY ve kardeşim Ozan ÖZAY'a, son olarak da bu uzun ve yorucu çalışma sürecimde iyi ve kötü anlarımda yanımda olan arkadaşlarım Esra KÜÇÜK, yazılım uzmanı Hacı COŞKUN, Dr. Mehmet Nural ALTINTAŞ, eğitimimiz süresince birçok şeyi beraberce öğrendiğimiz ve sağlam dostluk kurduğumuz Tuğba Akkoç ve Eylem Emel Ergin'e sonsuz teşekkür ederim.

ÖZHAN ÖZAY

SENTRİFUGAL POMPA BAŞLIĞI MODELLEMESİ SONRASI ECMO HATLARI ÜZERİNDE GÜVENLİ GERİ KAÇIRMA MİKTARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZAY ÖZHAN, DEÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Perfüzyon Teknikleri A.B.D.,
ozhanozay@gmail.com

ÖZET

Ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu (ECMO), uzun yıllar kardiyak cerrahide kullanılan kardiyopulmoner baypas (KPB) sonrasında hastanın pompadan ayrılamaması durumundan yola çıkarak geliştirilmiştir. Güncel standart tedavilerde yanıt alınamayan şiddetli geri dönüşümsüz solunum ya da kalp yetmezliğinde hayat kurtarıcı olmaktadır.

Günümüzde sentrifugal pompa başlığı prototipinin dizaynı sırasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) uygulamaları yaygın olarak yer almaktadır. Sentrifugal pompa geometrisine ait 3 boyutlu akış hacmi için korunum denklemlerinin çözümlenmesi sonucu akış alanı elde edilebilmekte ve performansını tanımlayan fiziksel büyüklükler hesaplanmaktadır.

Tez çalışmamızda kullandığımız SimScale yazılımında akışkan sıvı olarak gliserin-su çözeltisinin kimyasal verileri girilerek oluşturulan tasarımın, belirlenen karakteristik verilerle (H-basma yüksekliği, N-özgül hız, Q-debi), simülasyon ile yapılan sentrifugal pompa prototipinde güvenli geri kaçırma miktar değerlendirmesi hedeflenmiştir.

Çalışmamız Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Depark Z.07 Akış Fiziyojisi Laboratuvarı'nda "2018.KB. SAG.082 No'lu "Kısa Süreli Yaşam Destek Cihazı ve Trombektomide Kullanılmak Üzere Tasarlanacak Sentrifugal Pompa Başlığı Prototipi" adlı BAP Hızlı Destek Projesinin çıktısı olan sentrifugal pompa başlık ölçütleri çalışmamızda kullanılmıştır.

SimScale yazılımıyla simüle ettiğimiz 8 kanatlı prototip sentrifugal pompa başlığımızın 0-3500 rate per minute (rpm) ile 500-5000 ml/dk arasında akımı

sağlanacak şekilde güvenli geri kaçırma (kayıp-kaçak) miktarının değerlendirmesi yapılmıştır.

Gliserin-su çözeltisi ile uygulanan geri kaçırma analizlerinde tasarım sonrasında başlangıç akımı olarak 500 ml akımda 0,019 ve en büyük 5000 ml akımda 0,022 olarak hesaplanmıştır. Simülasyon sonucu ortaya çıkan kaçırma miktarının güvenilir aralıktadır olduğunu ve yerli üretimini yapılabilirleēi saptanmıştır. Bu da hipotezimizi destekler nitelikte olmuştur.

Anahtar Kelimeler: sentrifugal pompa prototipi, ECMO, kaçak akış, HAD



ASSESSMENT OF SAFE LEAK AMOUNT ON ECMO LINES AFTER CENTRIFUGAL PUMP HEAD MODELING

ÖZAY ÖZHAN, DEÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Perfüzyon Teknikleri A.B.D.,
ozhanozay@gmail.com

SUMMARY

Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) was developed on the basis of the patient's inability to disconnect from the pump after cardio pulmonary bypass (KPB), which has been used in cardiac surgery for many years. It is life-saving in severe irreversible breathing or heart failure, which does not respond to current standard treatments.

Today, computational fluid dynamics (CFD) applications are widely used in the design of the centrifugal pump head prototype. By analyzing conservation equations for the 3D flow volume of Centrifugal pump geometry, the flow area can be obtained and the physical sizes that define its performance are calculated.

In the SimScale software that we used our thesis study, we objected to evaluate the safe missed amount in the centrifugal pump prototype made by simulation of the design created by entering the chemical data of glycerin-water solution as fluid fluid with the specified characteristic data (H-discharge height, N-specific speed, Q-flow).

Our study at Dokuz Eylul University Hospital Depark Z.07 Flow Physiology Laboratory said, "2018.KB. Centrifugal pump header criteria, which is the outcome of the SAG.082 No Short Term Life Support Device and the BAP Fast Support Project to be Designed for Thrombectomy, were used in our study.

Our 8-blade prototype centrifugal pump head, which we simulate with SimScale software, has been evaluated for a safe return (loss-leakage) amount to provide flow between 0-3500 rate per minute (rpm) and 500-5000 ml / min.

In the back leakage analysis applied with glycerin-water solution, the initial flow was calculated as 0.019 at 500 ml flow and 0.022 at the largest 5000 ml flow. It has

been determined that the amount of incontinence resulting from the simulation is in a reliable range and domestic production can be made. This supports our hypothesis.

Keywords: centrifugal pump prototype, ECMO, leak flow, CFD



1.GİRİŞ ve AMAC

Kanın toplardamardan alınarak oksijenlendiği bir cihazda toplanması ve ardından bir pompa aracılığı ile tekrar atardamardan dolaşıma girmesi düşüncesi kalp akciğer pompasının temel noktası olarak düşünülmüştür. Kalp akciğer pompası, açık kalp vakalarında, ameliyat işlemi süresince kalbin ve akciğerin işlevini idame ettirme amacıyla kullanılır. Kalp, akciğerlere ve tüm vücuda kan pompalar. Kalp, akciğerlerden aldığı temiz kanı, vücudun diğer bölümlerine taşır. Arteriyelize olmuş kan, kalpten atardamarlar aracılığı ile dağıtılır, kirli kan ise, toplardamarlar ile kalbe geri gönderilir. İnsan kalbinin dört bölümü vardır. Sağ kulakçık ve sağ karıncık, kirli kanı akciğerlere ulaştırır, sol kulakçık ile sol karıncık da, akciğerlerden gelen temiz kanı vücuda pompalar. Bu sebeple kalp ile akciğerin görevleri, birbiriyle bağlantılıdır.

Geleneksel tedavi yöntemine cevap vermeyen şiddetli geri dönüşsüz respiratuvar ve/veya kardiyak yetmezlik sonucu hayat kurtarıcı bir müdahale tekniğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak ilk 1855 yılında Porter ve Bradley tarafından kullanılmış olan roller pompa bugüne kadar kalp cerrahisinde geliştirilerek yerini korumuştur (1). Kalp cerrahisi ameliyatlarında ve yoğun bakımlarda kullanılan ekstra korporeal membran oksijenizasyon tekniği son yıllarda tüm dünyada acil müdahalelerde ve köprülemelerde yaygın kullanımda yer bulmuştur. ECMO sistemleri içinde yer alan pompalar çoğunlukla sentrifugal pompalarla dizayn edilmiştir. Sentrifugal pompaların tercih sebebi diğer pompalara göre daha güvenli olması ile birlikte hava boşluğu (emboli) riski oluşturmamasıdır. Bu pompalar devamlı (nonpulsatil) bir akım sağlar ve negatif basınca bağlı hemoliz görülmez. Kan akışına göre HAD bu hesaplı ölçümleri değerlendirmek ve optimize etmek için güçlü bir yaklaşım olarak yerini almıştır.

Günümüzün önemli problemlerinden biri, giderek artan enerji tüketimine karşılık enerji kaynaklarının kısıtlı seviyede olmasıdır. Kısıtlı kaynaklar sebebiyle enerjinin etkili ve doğru kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Sentrifugal pompalar, elektrik enerjisini akış enerjisi formunda mekanik enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Sentrifugal pompa verimlerinin artırılması için yapılan

analizlerde pompa çarkı içerisindeki akış yapısının bilinmesi ve akış ile ilgili uygun olmayan fiziksel olayların tespit edilerek tasarım aşamasında giderilmesi oldukça faydalı olacaktır. Endüstride kullanımı en fazla olan pompa tipi sentrifugal pompalar, kalp cerrahisi dâhil olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadırlar. Pompalarda verim azalışına neden olan sorunları ortadan kaldırmak ve çevresel etkileri azaltmak için pompa içerisinde meydana gelen akım yapılarını incelemek gerekir. Bu durumda sayısal araştırma dışında deneysel olarak da çalışmaların yapılması ile bulunan sonuçların karşılaştırılması ve doğrulanması açısından fazla öneme sahiptir.

Bizim çalışmamızda büyük çaplı pompaların dizaynında kullanılan konvansiyonel metodla tasarımı yapılan prototip sentrifugal kalp destek pompasının HAD simülasyon yazılımları aracılığı ile yüksek hızlı sentrifugal pompalarda emme bağlantısındaki geri akış girdaplarının akış alanı üzerinde olumsuz etkilerinden yola çıkarak prototip pompamızda farklı akımlarda geri kaçırma miktarlarını değerlendirmeyi hedefledik.

2.GENEL BİLGİLER

2.1.ECMO

Yaklaşık 150 yıldır tıp ve mühendislik camiası kalp ve akciğer hastalıklarının ani ölümlerinden ve uzun süren hastalıkların acılarından kurtulmak için bilimsel ve teknolojik çalışmalar gerçekleştirmektedir.

İlk kalp akciğer pompasının geliştirilmesinden bu yana bu hastalıklardan kaynaklı ani ölümler azaltılmış olmakla beraber meslek profesyonelleri mekanik kalp destekleri, kalp nakilleri ve yapay kalp kullanımlarını günümüzde yaygın olarak dünyanın pek çok yerinde gerçekleştirmektedir. Bu süreç içinde ortaya çıkan sorunlar mekanik kalp akciğer desteklerinde köprüleme cihazlarına ihtiyacı gündeme getirmiştir.

İlk başarılı ECMO uygulaması, 1972 yılında Hill ve ark. ile yaptıkları çalışmada travma sonrasında solunum yetmezliği olan yetişkin hastada gerçekleştirilmiş olmasına rağmen ancak 1990 yılından itibaren dünyada yaygın olarak kullanıma başlamıştır (2,3,4).

ECMO; hastada hasar görmüş olan kalp veya akciğerin yükünü azaltarak iyileşmesi için zaman tanıyan, geri dönüşsüz hasarların varlığında ise daimi bir cihaz yerleştirilmesi ya da organ nakli yapılabilmesi için gereken zamanı sağlayan geçici bir çözüm tekniğidir.

Dünyada yaygın olarak kullanılan sentrifugal pompa başlıklarının sayısı bildiğimiz kadarıyla 6 civarındadır. Pek çok ülkede yüksek maliyetleri sebebiyle rutin kalp cerrahisi ameliyatlarında kullanılamamaktadır. Ekonomik sebepler sentrifugal pompa başlığının kullanımını ECMO setleri ve trombektomi setleri gibi özel setlerle sınırlı kılmıştır.

Günümüzde ECMO endikasyonları; kardiyak cerrahiden sonra kardiyo pulmoner baypastan çıkamama, kardiyojenik şok, kalp ve kalp/akciğer naklinden sonra gelişen erken greft yetmezliği, şiddetli kardiyak depresyonla beraber sepsis tablosu, ilaç doz aşımı/toksisitesi ile beraber şiddetli kardiyak depresyon tablosu, miyokardit, geleneksel metodlara cevapsız kardiyak arrest, kardiyak endikasyonlar, kronik kardiyomiyopati, pulmoner emboli, kardiyak travma, akut anafilaksi, yüksek risk oluşturan perkütan kardiyak girişimlere devam desteği olarak oldukça geniş bir

yelpazeyi kapsamaktadır. Yakın zamana kadar ECMO sistemleri açık veya kapalı sistemler olarak kullanılabilmekteydi. Ancak son yıllardan uzun dönem kalp ve akciğer desteği sağlamak amaçlı ECMO kullanımında kapalı sistem kullanımı ön plana çıkmıştır. Böylece sistemden kanın depolandığı rezervuarlar çıkarılmış ve havaya açık sistemler kaldırılmış ve destek sistemi şeklinde kullanılmaya devam edilmiştir. Kapalı sistem ECMO uygulamalarında hızlı müdahale, kolay taşınabilme, monitörizasyon kolaylığı ve tolere edilebilir geri kaçırma miktarları tercih sebebi olmaktadır.

ECMO uygulanmasında venöz veya arteriyel sistemden hastanın kanı alınarak membran oksijenatör kullanımı ile kan gazları ideal seviyeye getirilir daha sonra sentrifugal ve impeller pompa vasıtasıyla tekrar venöz veya atardamardan hastanın dolaşımına pompalanır.

2009 yılında Nishida ve arkadaşlarının tasarlamış oldukları bir sentrifugal kalp pompasının sebep olduğu kan hücrelerinin bozunma ölçümünü elde edebilmek adına uygulanan detaylı çalışmasında PTV (Particle Tracking Velocimetry) ve HAD yöntemi ile sentrifugal pompa incelenmiş ve hemoliz testiyle karşılaştırması yapılmıştır (5,20). Kalp akciğer pompalarının dizaynı esnasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinden faydalanılarak ön tasarı ve analizler yapılarak, karşılaşılan birçok uyumsuzluklara karşı önlemler alınarak düzenlemeler gerçekleştirilmektedir. Bu sayede kalp destek pompalarının tasarım aşamasında alışılmış yöntemin uygunluğunu değerlendirerek iyileştirme yolları bulunabileceği değerlendirilmektedir (6,22).

ECMO cihazlarının konsolları üzerinde hız, akış, basınç ve ısı görüntülenebilmektedir. Ölçülmüş ve görülen basınç sayısı tercihen en az 2 olmalıdır. Kullanımda olan cihazlarda 4 yollu basınç ölçümleri yapabilmek de mümkündür.

Bu basınç kanallarından birlikte kullanıma göre P1 (pressure 1) sentrifugal pompa başlığı ilk basınç, P2 sentrifugal pompa başlığı ile oksijenatör arasındaki basınç ve P3 de oksijenatör sonrası basınçtır. İsteğe göre, P4 ek basıncı ölçümünde kullanılmaktadır.

P1'in artı değerinde olması (genellikle +10), sentrifugal pompanın efektif çalışması için uygun bir kardiyak önyük (preload) değeridir. P2, oksijenatör öncesinde basınç olduğu için oksijenatörde basınç düşmesi sebebi ile P3'ten 10-15 mmHg daha yüksektir. Bu farkın çoğalması oksijenatör ile ilgili problem olduğunu belirtmektedir (7).

ECMO uygulamalarında hasta için gereken akımın sağlanmasını etkileyen bazı faktörler söz konusudur. Bunlar sentrifugal pompanın çark sayısı, devrelerde kullanılan Polivinil klorür (PVC) 'ün iç ve dış çapı, uzunlukları, içinden geçen kanın viskozitesi, ısı ve emme bağlantısındaki geri akış olarak sıralanabilir. Piyasada kullanılmakta olan ECMO setlerinde küçük farklılıklar olmakla beraber yetişkin ECMO setlerinde yer alan PVC hatların iç çapı 3/8 duvar kalınlığı 1/16, pediyatrik ECMO setlerinde yer alan PVC hatların iç çapı 1/4 duvar kalınlığı 1/16 olarak yaygın kullanımdadır. Setlerin standart üretim uzunlukları yaklaşık 4 metre civarındadır. ECMO genellikle normotermik (kan ısı 37 derece) koşullarda uygulanmaktadır. Kanın vücut dışına çıkmasından kaynaklı olarak oluşabilecek hipoterminin önlenmesi için ise özel ısıtıcılar kullanılmaktadır. Yüksek hızlı sentrifugal pompalar, yüksek hız, yüksek basma yüksekliği ve küçük akış hızı özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte, yüksek hız nedeniyle, küçük akış hızında kararsızdırlar. Bunun başlıca nedeni indüktörün girişindeki geri akış girdapları, çarktaki ikincil akış ve çark kanalındaki jet akışıdır. Geri akış girdapları önemli bir rol oynar, çünkü büyük miktarda enerji tüketir ve pompa verimliliğini azaltır. İkincisi, geri akış girdapları, pompa performans eğrisinde pozitif bir eğim yükselen bölüme ve pompanın küçük akış hızlarında dengesizliğe yol açacaktır. Geri akış girdabı esas olarak dönen bıçaklar üzerindeki sıvı akışının dengesiz kuvvetinden kaynaklanır. Merkezkaç kuvvetinin etkisi altında, dış kenar ile eksenin merkezi arasında, geri akışa yol açan bir basınç farkı meydana gelmektedir (8).

2.2 Sentrifugal Pompa

KPB için sentrifugal pompalar 1976'dan bu yana kullanılmaktadır. Ancak maliyet yüksekliği sebebiyle pek çok ülkede rutin kullanımda yer alamamıştır. Bununla birlikte ECMO setleri içinde vazgeçilmez komponentlerden biridir.

Sentrifugal pompanın temel tasarımı, kanatlı veya plastik bir mahfazanın içindeki düz plastik koni yuvasına yerleştirilmiş kanatlardan oluşur. Kanatlar bir elektrik motoruyla manyetik olarak doğrudan bağlanır. Pompa başlığının içindeki mıknatıs, sürücü konsolundaki başka bir mıknatıs eğirme ile birlikte döner. Bu manyetik bağlantı, konsol içindeki sürücü mıknatısının hızının pompanın dönüş hızına eşit olduğu

anlamına gelir. Sentrifugal pompalar aktive edildiğinde güç etkisiyle başlıklar dönerek girdap oluşturmakta ve oluşan girdap negatif basınçla kan veya sıvıyı içine çekmektedir. Pompa kanatlarının dönüşü sırasında hastada uygulanıyor ise venöz kan basıncına göre pompa otomatik olarak debisini ayarlayabilir. Sentrifugal pompa başlığı merkezkaç kuvveti ile döndükçe kana kinetik enerji sağlamaktadır. Aşırı dönme hızı, pervanelerin veya konilerin sürücü motoru kadar hızlı dönemediğinde ayrılmalara neden olabilir (9).

Sentrifugal pompalarda, basınç-akış ilişkisi, pompa başlığındaki ve kanüllerindeki giriş- çıkış basınç başlığı kaybının bir sonucu olarak idealden sapar. Debi arttıkça, basınç yüksekliği kaybı artar. Bu ilişki aşağıdaki gibi modellenebilir:

$$\Delta P = K_1 \times N^2 - K_2 \times Q^2$$

Burada pompa (N), dönüş hızı (Q), akış hızı (K_1 ve K_2) her bir pompaya uygun sabitleridir. $\Delta P = K_1 \times K^2$ oluşturulan basınç kafası pervane dönme hızının karesi ile orantılı bir durumda olduğu, ideal pompa basıncı olarak tanımlanabilir. Bu denklem, pompa dönme hızı ve akışından pompa kafası basınç düşüşünün tahmin edilmesini sağlar.

Sentrifugal pompalar için elektromanyetik ve ultrasonik akış ölçerler klinik olarak kullanılmaktadır. Elektromanyetik akış problemleri, PVC hatlar içinden akan kanın manyetik alanı sürekli ölçülebilecek bir şekilde değiştirmesine bağlıdır. Elektromanyetik akış problemleri kanla temas eden elektrotlar gerektirir ve geçiş boşluklarına özgü dezavantajlara sahip konnektörler olarak tasarlanmıştır. Ultrasonik akış problemleri ise kana temas etmez, bunun yerine tüpün etrafına sarılır. Doppler sinyalindeki frekans kayması, tüp içindeki kan akışının hızı ile ilgilidir. Standart ultrasonik akış cihazları, maksimum kan hızını ölçer ve akışı basit bir parabolik (laminer) hız dağılımı varsayımı temelinde hesaplar (reel akış profilleri parabolik değildir), buna karşılık elektromanyetik cihazlar ortalama hız dağılımını değerlendirir. Ek olarak, Doppler sinyali düşük hızlarda çok gürültülü olur, bundan dolayı ultrasonik akış problemlerinin birçoğu düşük akışları doğru şekilde ölçmez (10).

2.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

HAD, kapsamlı hesaplamaların yapıldığı, akış bölgesi ve farklı fiziksel ayrıntıların gösterildiği, bilgisayar sistemli bir mühendislik çalışma alanıdır. Analitik metodlarla doğrudan hesaplanamayan karmaşık modellerde, ısı geçişi, basınç eksiklikleri, akış hızları gibi dataların sayısal yöntemlerle, parçanın dizayn evresinde iken belirlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

HAD yazılımları, özel olarak akışkan ve ısı transferi ile alakalı olan ürünlerin analizlerinin yapılmasına ve performansının denenmesinde kullanılmaktadır. Bu tür yazılımlar kullanılarak hız, süreklilik ve enerji denklemleri bilgisayar alanında sayısal olarak çözümlenmekte, sıcaklık ve akış ile ilgili datalara ayrıca diğer parametrelerin dağılımlarının (misal olarak basınç, hız, sıcaklık ve benzeri parametrelerin dağılımlarının) sonuçlanmasına imkân sunmaktadır.

HAD'ın sunduğu en büyük fayda sentrifugal pompa üretilmeden testlerin sanal şekilde seri bir biçimde yapılmasıdır. Bu da hem maliyet hem de zaman bakımından büyük tasarruf sağlamaktadır. Bu yöntemin sağladığı diğer bir avantaj ise, elde edilen sonuçların görsel olarak sanal ortamda sunulmasıdır. Pratikte deneysel yöntemler ile görüntülenemeyen akışlar, hesaplamalı akışkanlar metodu kullanılarak kolaylıkla görülebilir. Sentrifugal pompanın içindeki en tepe noktalarda bile akışı izlemek ve incelemek mümkün kılınmaktadır.

Deneysel metodlar ile elde edilmesi oldukça güç olan çark ve çanak yüzeylerindeki basınç dağılımları ya da pompa içindeki akış düzensizlikleri HAD yardımı ile elde edilmekte ve kesin bir biçimde renkli olarak görüntülenmektedir.

Sentrifugal pompaların verimini etkileyen en önemli unsur, mekanik enerjinin hidrolik enerjiye çevrildiği kısım olan çarklardır. Çarklarda hidrolik verimi etkileyen birçok parametre vardır.

Özellikle de çark kanatları çark performansını belirleyen en önemli etkendir. Kanat sayısı, kanat sarım açısı, kanat giriş/çıkış açıları ve kanat kalınlığı ise kanatlar ile ilgili önemli bazı parametrelerdir. Sentrifugal pompa çarkları içerisine genellikle basınç dengelemesi sağlamak ve yatak üzerine düşen yüklerin azaltılması amacıyla dengeleme delikleri delinebilmektedir. Ancak çark içerisinde dengeleme deliklerinin

bulunduğu bölgelerde akış yapısında meydana gelen değişiklikler ve akışkanın bir miktarının dengeleme deliğinden çark içerisine geçmesi nedeniyle pompa verimlerinde bir miktar düşüş meydana gelmektedir. Ayrıca sentrifugal pompa sistemlerinde çark, difüzör ve diğer sistem elemanları arasındaki küçük boşluklar nedeniyle kayıp-kaçak akış hacimleri oluşmakta ve bu akış da pompa verimini bir miktar düşürmektedir. Özellikle kayıp-kaçak bölgelerinde oluşan akış hacimlerinin çok küçük olması nedeniyle sayısal analizlerde ağ yapı oluşturularak bu bölgelerin incelenmesi çok zor olmaktadır. Bu nedenle kademeli pompa uygulamalarının çoğunda kayıp-kaçak bölgeleri ve dengeleme delikleri ihmal edilmektedir. Bu durum ise sayısal çalışmalarla deneysel çalışmalar arasındaki farklılıkların artmasına neden olmaktadır. Kanat formu pompanın verimliliğinde büyük role sahiptir. Bu form daha çok tasarımcının deneyimine bağılı olup, sayısal yöntemler kullanılarak tasarımı yapılmaktadır. Sentrifugal pompa üretimine geçilmeden önce HAD analizi ile çark kanatlarının çevresinde oluşan akışlar izlenebilir.

Akışın yönü ve formu tasarımcının istediğı şekilde değilse tasarım değişikliğine gidilebilir. Misal olarak, kanadın iki tarafı arasında oluşan basınç farkı sebebi ile meydana gelen geri dönüşler izlenebilir. HAD analizlerinin neticeleri, simülasyon sistemli ürün tasarım zamanında ürünün çalışmasını, tespit edilmiş ise sorunları bilgisayar ortamına uyarlayarak ve ürün performansını uygun hale getirmek önemli yararlar sağlamaktadır.

Çok aşamalı akışlar, newtoniyen ya da non-newtoniyen akışlar, katı ve sıvı etkileşme değerlendirmeleri, ileri türbülans modeli, hareketli ve dönen bölümlerinin analizleri gibi bir çok uygulamada HAD, kabul edilebilir ve hızlı yanıt elde edilmesini sağlar. Su ve gliserin molekülleri polar moleküller olduğu için her oranda birbiri içerisinde homojen şekilde karışmaktadır. Non-newtoniyen bir sıvı olan viskozitesi kana yakın olan gliserin ve su karışımının, sentrifugal pompa modellemesinde kullanımına dair analizlerinin yapılmasında HAD hesaplamaları uygun bir yöntemdir.

Bir pompa tasarımı için akım, devir ve basma yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Sentrifugal pompa modellemelerinin HAD analizleri ya da deneysel sonuç verilerinin daha az parametre ile görselleştirilmesi ve ayrıca genelleştirilebilmesi için, basınç, debi katsayıları ve hidrodinamik performans eğrileri gibi boyut girişi

yapılmadan değerlendirilen parametreler kullanılarak belirtilir. Boyut bilgi girişi olmayan parametreler yardımı ile ifade metodu daha önceki çalışmalarda da kullanıldığı belirtilmektedir (11,12).



3.GEREÇ VE YÖNTEM

3.1.Araştırmanın Tipi

Bilgisayar modellemesi ve deneysel araştırma

3.2.Araştırmanın Yeri ve Zamanı

Tez çalışması Ocak 2020 tarihinde literatür tarama ile başlamış olup; 15.06.2020 tarihli etik kurul onayı ile birlikte Depark Z.07 Akış Fiziyojisi Laboratuvarı' nda Haziran - Temmuz 2020'de tamamlanmıştır ve Ağustos 2020 tez savunması yapılmıştır.

3.3.Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Bilgisayar yazılımı üzerinden ilerleyecek bir çalışmadır. İnsan üzerinde yapılan bir çalışma değildir, bu yüzden araştırmanın evreni ve örnekleme yoktur.

3.4. Araştırma Materyali

Dokuz Eylül Üniversitesi 2018.KB. SAG.082 No'lu "Kısa Süreli Yaşam Destek Cihazı ve Trombektomide Kullanılmak Üzere Tasarlanacak Sentrifugal Pompa Başlığı Prototipi" kullanılarak yapılacak olan simülasyon çalışmasında akışkan olarak; su ve akışkan özellikleri kana benzer özellik gösteren hacimce gliserin - su çözeltisi kullanılacaktır.

3.5.Araştırmanın Değişkenleri

Bağımlı Değişken:

Dokuz Eylül Üniversitesi Depark bünyesinde geliştirilmiş prototip sentrifugal pompa başlığı verilerini simülasyon yazılımında kullanımıdır.

Bağımsız Değişkenler:

3/8 inch ve 4 metre uzunluğunda PVC hat kullanımı,

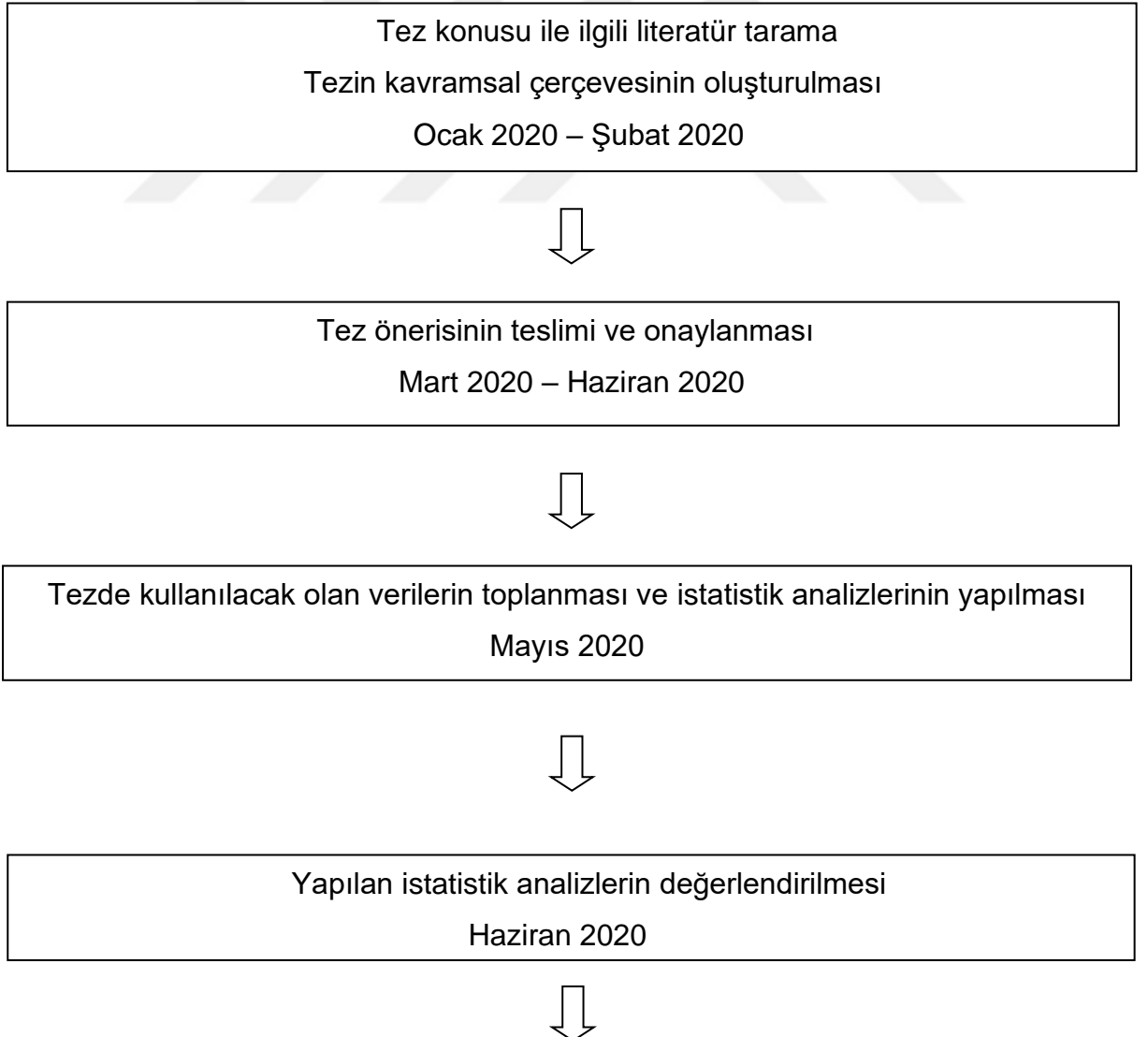
Ozmolaritesi 280 ± 5 olan kan veya kana yakın viskozitede gliserin-su çözelti değeri ile çalışılması,

0-5000 ml/dk akım aralığında kaçak akış ölçümü yapılması bu çalışmanın bağımsız değişkenleridir.

3.6. Veri Toplama Araçları

2018.KB. SAG.082 No'lu "Kısa Süreli Yaşam Destek Cihazı ve Trombektomide Kullanılmak Üzere Tasarlanacak Sentrifugal Pompa Başlığı Prototipi" adlı BAP Hızlı Destek Projesinin çıktısı olan sentrifugal pompa başlığının ölçütleri simülasyon çalışmamızda kullanılacaktır. HAD yazılımı ile 0 - 5.000 ml/dk arasında akım sağlanacak şekilde 0-5000 rpm tur veri girişleri yapılacaktır. Her 500 ml/dk aralığındaki değerleri kayıt edilecektir.

3.7. Araştırmanın Planı ve Takvimi





Şekil 1. Araştırma planı ve takvimi

3.8.Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada geometrik tasarım için Solidworks ve HAD çalışmaları için sayısal analiz yazılımı olan SimScale kullanılmıştır. SimScale yazılımı, kalp pompaları gibi mini pompa parçalarının oluşturulmasına imkan sunmamaktadır ve boyut girişi olmadan girilen parametreler ile simülasyon değerlendirmesi denenmiştir. Bu sebeple, sentrifugal pompa başlığı içerisinde çark ve kanatlar olduğu için, ölçeklendirme durumu benzerlik kuralları ile uygun boyutlara indirgenmiştir. Çarkın geometrik düzenlemeleri, değişiklikleri ve montajı için Solidworks programı kullanılmıştır. SimScale simülasyon programı aracılığıyla yetişkin hastalarda kullanılacak olan ECMO hatları üzerinde sentrifugal pompa prototipinin güvenli geri kaçırma miktarı değerlendirilmiştir. Bulguların sunumunda grafiklerden ve tablolardan yararlanılmıştır.

3.9.Araştırmanın Sınırlılıkları

Kullanılan hatların boyutları etkileyici faktör olabilmektedir ve değişkenlik gösterebilir. Sadece yoğun bakımlarda kullanılması tasarlanan ECMO setleri için 3 metre uzunlukların yeterli olabileceği kanaatindeyiz. Çalışmamızda çocuk ve yetişkin hatları olarak hedeflendi ancak kullandığımız bilgisayar destekli simülasyon programları çocuk hatları için gerekli alt yapıya sahip olmadığı için çalışmamızın bu bölümü gerçekleştirilememiştir.

3.10.Etik Kurul Onayı

“Sentrifugal Pompa Başlığı Modellemesi Sonrası ECMO Hatları Üzerinde Güvenli Geri Kaçırma Miktarının Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmamız, Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 27.04.2020 tarih ve 5364-GOA protokol numaralı 2020/08-25 karar numarası ile etik açıdan çalışmanın gerçekleştirilmesinin uygunluğuna karar verilmiştir.

Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 5364-GOA protokol numaralı 15.06.2020 tarih ve 2020/13-35 karar numarası ile oluşturulan etik kurul onay belgesinde de çalışma süresinin güncellenmesi ile ilgili belgeler incelenerek bilgi edinilmiş ve görüşülerek uygunluğuna karar verilmiştir.

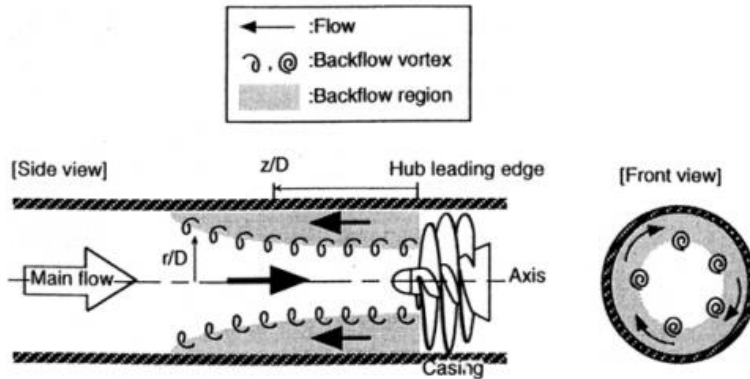
4.BULGULAR

Sentrifugal pompa prototipi ve analizi kapsamında araştırma, hesaplama, tasarım, analiz olmak üzere dört temel kısımdan oluşan bir yol izlenmiştir. Sistem için gerekli araştırmalar yapılarak tasarım değerlerine göre yapılan hesaplar sonucu Solidwork yazılımında bulunan çizim değerlerine uygun olarak SimScale yazılımı kullanılarak benzer örneği seçilmiştir. Çizimler tamamlandıktan ve parçalar kontrol edildikten sonra SimScale yazılımında sistemin akış analizleri yapılmıştır.

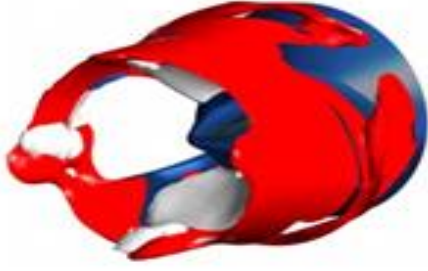
HAD simülasyon testleri sonucunda bulunan, geri akış girdap kaviteasyon bölgesi Şekil-2.'de ve sentrifugal pompa içinde oluşan geri akışın olduğu alanlar kırmızı renkli olarak Şekil-3.'de gösterilmiştir.

Viskoz etkiler, özellikle kanat ucu boşluğu bölgesi içindeki eylemsizlik kuvveti etkileri baskındır. Boşluk azaldıkça (mevcut durumda 100 µm (mikrometre)'den az), viskoz etkiler giderek daha fazla sonuçlanır.

Verimlilik ve kanat ucu boşluğu arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını varsaymak mantıklıdır ve dolayısıyla verimliliği en üst düzeye çıkarmak için uygun değer bir kanat ucu açıklığı bulunmalıdır. Destekleyen yayınlarda da belirtildiği üzere ara boşluk boyutunu prototip sentrifugal pompa başlığında 100 µm olarak belirlediğimizde daha az kayıp-kaçak değeri elde edilmesini sağladı. Bunun yanısıra uyguladığımız 100 µm'de kan travmatizasyonunun minimuma indirdiği güncel yayınlarla desteklenmektedir (13).



Şekil 2. Geri akış girdap kaviteasyonu (21)



Şekil 3. Geri akış bölgeleri (21)

Sentrifugal pompa başlığı prototipinin akış modellemesinde kullanılan kan, 1050 kg/m^3 yoğunluk ve 0.0035 kg/m-s (kilogram/meter-second) viskozitede newtoniyen akışkanlığa sahip olduğu kabul edilen bir araştırmada; $k-\omega$ (kinematic-omega) SST (shear stress transport) türbülans modelini kullanarak sentrifugal kalp ve destek pompası performansı tespit edilmiştir. SST modeli olumsuz basınç durumlarında ve akımın ayrılması durumlarının olduğu akımların simülasyonlarında daha başarılıdır. Farklı çark modelinin incelendiği bir araştırmada kan için newtoniyen akışkanlığa sahip olduğu ve 1059 kg/m^3 yoğunluk ve 0.0036 Pa.s (Pascal-saniye) viskozite uygun görülmüştür (14).

Bir başka sentrifugal kalp pompası araştırmasında ise 1056 kg/m^3 özkütle ve 0.0035 Pa.s viskozite değerine sahip biçimde akışkan hususları belirtilerek sayısal analizlerin sonuçları ile boyutsuz olarak ele alınan deneysel çıktılar arasında uyum gözlenmektedir (15).

Kalp ve destek pompalarının performansına kanat yüksekliği profil etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; su akışkan olarak kullanılarak HAD simülasyonunda 3000 rpm ve 5 lt/dk su debisinde, 46 mm çapa sahip çarkla yaklaşık 130 mmHg toplam basınç farkı elde edilmiştir (16).

Bu alandaki diğer bir deneysel çalışmada, % 40 oranında gliserin-su çözeltisi kullanarak hemen hemen 50 mm disk çapında kanat profilleri benzersiz olan 4 kanat

incelenerek, 2000 rpm ve 5 lt/dk debide 85-110 mmHg aralığında sonuçlara ulaşılmıştır. Aynı çalışmada kayma gerilmeleri hesaplandığında kanat çıkış ucu bölgesinde maksimum 273 Pa değerine sahip kayma gerilmesi gözlemlendiği vurgulanmıştır (17,18). Bizim çalışmamızda ise 3000 rpm ve 4 lt/dk debide 45 mm çapında bir çarkla 125 mmHg toplam basınç farkı ortaya çıkmıştır.

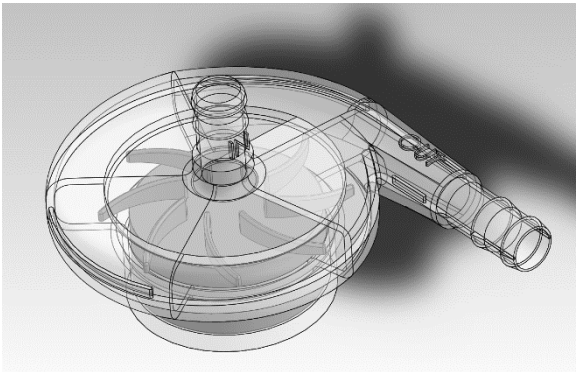
Tablo 1. Sentrifugal pompa prototip ölçütleri

Çark çapı	45 mm
Rotor çapı	35 mm
Kanatçık sayısı	8
Kanatçık genişliği	1 mm
Kanatçık yüksekliği	5 - 2 mm

Tablo 1. Sentrifugal pompa prototipinin simüle edilmiş boyutları

4.1. Bilgisayar Destekli Akış Analizleri

Teorik hesaplamalar sonucu Solidworks programı ile Tablo-1'de gösterilen boyutlar ile Şekil-4.'deki şekilde çizilerek katı model oluşturulmuştur. Yapılan tasarımın değerleri kullanılarak oluşturulan benzer prototip örneği ile SimScale yazılımı kullanılarak akış analizleri yapılmıştır.



Şekil 4. Solidworks yazılımında montajın tamamlanmış hali

4.1.1.Parçaların SimScale ile Analizi

Sentrifugal pompanın performansı; kanat sayısı, kanat profili ve kasa tasarımı, akış hızı ve basıncı şeklinde bir dizi faktöre bağlıdır. HAD yazılımları, bir sentrifugal pompanın tasarımını etkili bir şekilde analiz etmek ve optimize etmek için kullanışlıdır. Pratikte, bu analizi yapmak için kullanılan esas olarak 2 model vardır:

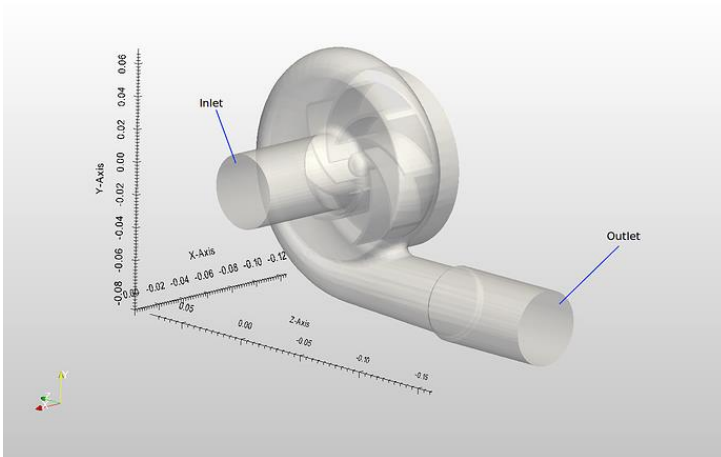
- Çoklu Referans Çerçeve Modeli (ÇRÇM)
- Kayar Mesh Modeli

Çalışmamızda, ÇRÇM modeli kullanıldı. Esasen, ÇRÇM, tek tek hücre bölgelerinin farklı dönme hızlarında hareket ettiği bir yaklaşımdır.

ÇRÇM ve Şekil-5.'deki $k-\omega$ SST türbülans modelini kullanarak sentrifugal pompa başlığı simüle ettik. Geometri, kıvrımlı kasa içine yerleştirilmiş bir tip sentrifugal pompa çarkı içerir.

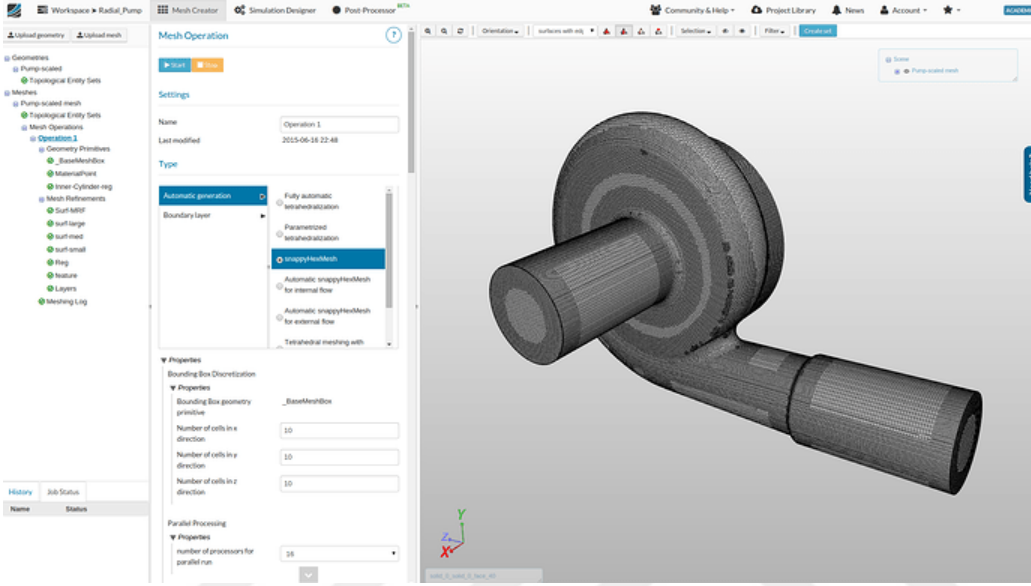
Geometrinin ilk kaynağı olan Solidwork modelinin benzer değerlerine göre bir çizim örneği seçilmiştir. Geometrinin genel boyutları aşağıdaki şekilde verilmiştir. Akış, giriş borusundan aksenal olarak alınır ve gösterilen çıkıştan çıkar.

Çarkın çevresindeki ÇRÇM bölgesini belirtmek için ayrı bir bölge oluşturuldu.

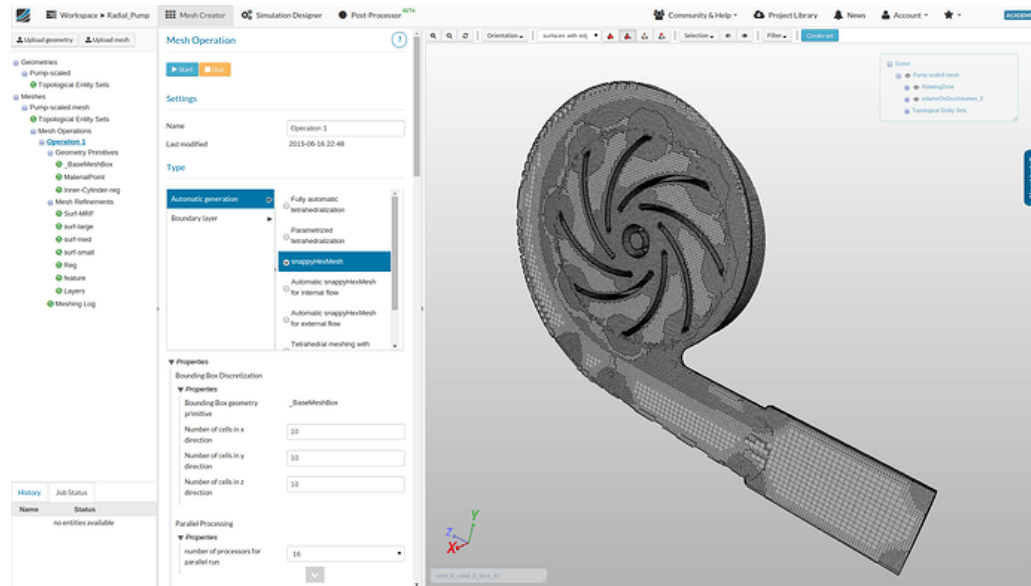


Şekil 5. SimScale $k-\omega$ SST türbülans modeli

Etki alanı geometrinin kendisidir ve SimScale platformunda bulunan Snappy-Hex-Mesh kullanılarak Şekil-6.'da gösterilen şekilde ağ örülmüştür. Elde edilen ağ yaklaşık 3.4 milyon hücreden oluşmuştur ve aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir:



Şekil 6. Snappy-Hex-Mesh çizim görüntüsü



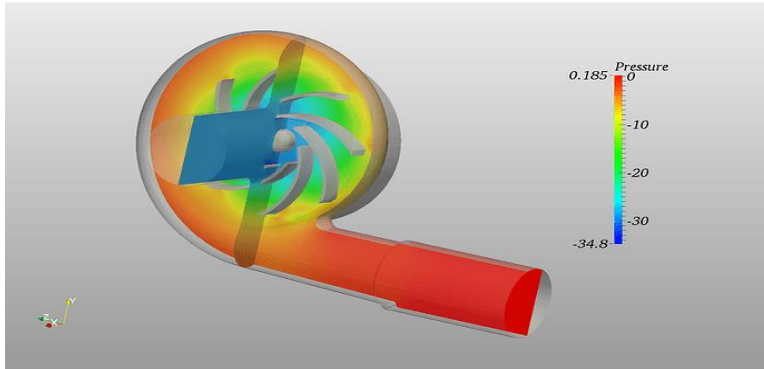
Şekil 7. Çoklu referans çerçeve modeli çizim bölgesi

Ağ oluşturma işleminden sonra Şekil-7.'de gösterilen ÇRÇM ve k- ω SST türbülans modelini kullanarak bir simülasyon gerçekleştirildi. Gereksinimlere bağlı olarak, farklı sınır koşulları seçildi.

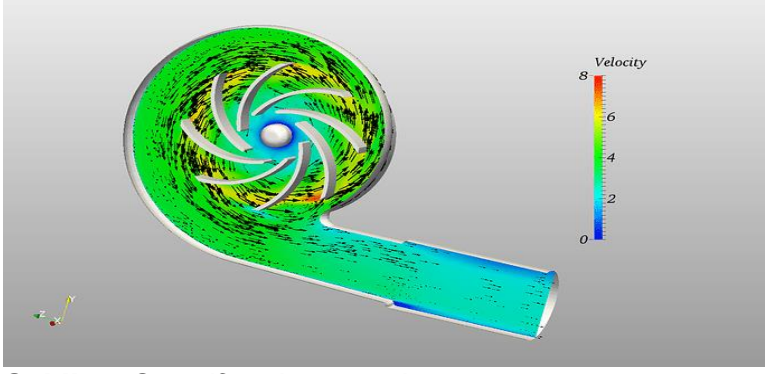
Bu durumda, statik basınç çıkışlı bir kütle akış giriş koşulu kullanıldı. İstenen bir basınç artışı elde etmek için, sentrifugal pompa için akış parametreleri kullanılmıştır.

Bu durumda, işlem örneğini göstermek için rastgele değerler kullanıldı. Girişte ve çıkışta 0 statik basınç değeri varsayılmıştır. Ayrıca, MRF bölgesine 1500 rpm dönüş hızı girilmiştir. Girilen verilerle, simülasyon sentrifugal pompadaki ortalama hız ve basınç alanını analiz etmiştir.

Ortaya çıkarılan sonuçlar, bilimsel bir görselleştirme yazılımı olan ParaView yazılımında işlenmiştir. Sentrifugal pompanın kesilmiş bir bölümü için çıkış vektörlerindeki hız vektörlerini ve basınç artışını doğru bir şekilde tasvir edilmiştir. Simülasyon, Şekil-9.'da gösterildiği üzere belirli bir kütle akış hızı ve dönüş hızı için sentrifugal pompanın yarattığı basınç artışının boyutu hakkında Şekil-8.'de yeterli bir fikir vermiştir.

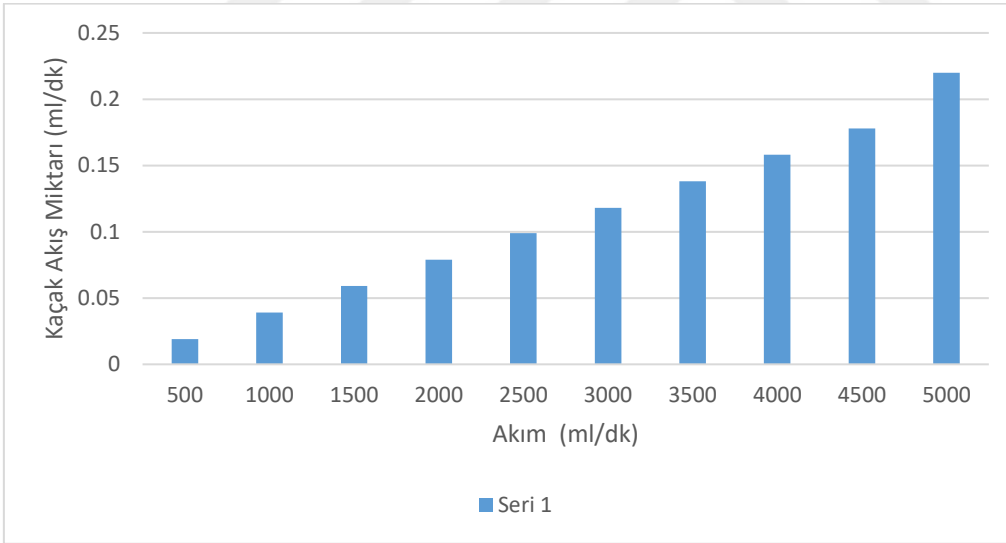


Şekil 8. Sentrifugal pompa basınç dağılımı



Şekil 9. Sentrifugal pompa hız vektörleri

ECMO sistemleri içinde yer almakta olan sentrifugal pompa başlıkları, sahada rutin kullanımda sistem içerisindeki basınçtan etkilenerek iki yönde de çalışabilecek niteliktedir. Sistem üzerinde geri dönüşü engelleyecek bir mekanizma mevcut değildir. Dolayısı ile seçilen rpm sayımız kullanım esnasında gelen volüm miktarı ve akım yönünde oluşabilecek basınçlarla etkilenebilir olmaktadır. Bu sebeple sahada oluşabilecek aksaklıklardan etkilenmemek için akım formunda gerçekleştirdik.



Grafik 1. Akıma göre geri kaçırma miktarları

Simülasyon yapılandırılmamızda giriş debi miktarını 3000 ml/dk şeklinde temel olarak hesaplamalar yapıldı. Grafik 1.'de gösterildiği gibi giriş debisinde geri kaçış miktarı 0,118 olarak hesaplandı,

En yüksek akım değerimiz olan 5000 ml/dk akımda ise 0,22 değeri elde edildi. Hız, basınç, viskozite, volüm miktarı gibi faktörlerden direkt olarak etkilenmekte olan sentrifugal pompa performansı özellikle düşük akım çalışmalarda ve kanat uç açıklıklarından kaçak miktarlarının beklenen değerden daha fazla çıkması mümkün olabilir. Prototip pompamızın simülasyon sonuçlarının deneysel çalışmalarda farklı, hız, basınç, viskozite, volüm miktarları ile doğrulanması cerrahi sahada kullanım güvenliğinin göstergesi olacaktır.



5.TARTIŞMA

Farklı akımlarda sayısal simülasyon sonuçları değerlendirilmeye alınmıştır. Sonuçlarımız benzer çalışmalar doğrultusunda incelendiğinde, makul değerler elde edilmiştir. Bu, simülasyon sonuçlarının güvenilir olduğunu ve sentrifugal pompa kanatlarının geri akış miktarlarının kontrolündeki etkisinin kanıtlandığını gösterir. Ancak sayısal simülasyon sonuçlarımızın yakın gelecekte sentrifugal pompa prototipinin deneysel çalışmalarıyla geliştirilmesi uygundur.

Piyasada bulunan benzer sentrifugal pompa başlıkları ile yakın bulgular elde edilmiş olup sentrifugal pompa başlığı prototipinin cerrahi sahada kullanılabilir olacağının ilk göstergesi olarak kabul edilebilir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Üzerinde çalıştığımız prototip sentrifugal pompa başlığı büyük boyutlu sentrifugal pompaların tasarımında kullanılan Stepanoff yöntemi ile dizayn edilerek tasarım kısmında kullanılan ampirik katsayıların genel kullanım amacına sahip pompalar için düzenlenmiş olduğu varsayılır ise dizayn parametreleri ile tespit edilecek deneylerin sonuçlarında farkların olması bekleniyordu (19). Üretim öncesi bulunan farkların prototip pompa tasarımında düzenlemeler yapılabilmesi için HAD yazılımlarının üretim ücreti ve zaman unsurları göz önünde bulundurulduğunda belirgin bir yararı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Ön tasarımı yapılan sentrifugal pompa başlığı prototipi, yapılacak performans testi ile sentrifugal pompa başlığı beklenen performansı sağlayıp sağlamadığı aşamalı olarak kontrol edilir. Beklenen performans sağlanamıyorsa tasarım değişikliğine gidilerek, üretilen yeni sentrifugal pompa prototipi için testler tekrar gerçekleştirilmektedir.

Bu döngü istenen değerler elde edilene kadar devam eder, masraflıdır ve vakit alır. Ayrıca sentrifugal pompa başlığı teste tabi tutulurken iç akımı görmek oldukça zor olduğundan performans kaybına sebep olan durumu tahmin etmek, dolayısı ile hangi bölgeler üzerinde dizayn değişikliği yapılacağını belirlemek basit değildir.

HAD sonuçlarına baktığımızda; çalışma esnasında sentrifugal pompa başlığı içinde geri kaçırma; kayma gerilmeleri, hareket eden ve hareket etmeyen duvarlar arasında kalan dar bölgelerin ve akışın hızla yön değişikliğine uğradığı alanlarda artış göstermektedir.

Benzer HAD simülasyonu ile yapılan çalışmalarda su ile yapılan kayıp kaçak miktarı ile bizim simülasyon çalışmamızda ortaya çıkardığımız sonuçların arasında mutlak bir uyum saptandı. Gliserin-su çözeltisi ile uygulanan kayıp kaçak analizlerinde ise tasarım noktasındaki verilen akım miktarı ile değerlendirdiğimiz sonuçlarda %10 kadar sapma gözlemlendi. Tez çalışmasında kullandığımız simülasyon programı içerisinde ve literatürdeki su viskozitesinin uygulandığı diğer çalışmalarda ulaşılan sonuç verileri sayesinde, dizayn aşaması boyunca karşılaşılabilecek problemlerin

giderilmesi ve daha iyi performans gösterebilecek kalp ve destek pompalarının geliştirilebilmesi için HAD simülasyon yazılımlarının kullanılabilirliğini söyleyebiliriz.



7.KAYNAKLAR

1. Tayama E, Raskin SA, Nosé Y. Blood pumps. cardiopulmonary bypass, principles and practice. Lippincott Williams & Williams; 2000. p.37-48.
2. Lakloul M. The role of ECMO in ARDS associated with pneumonia: a case report. Mid Yorks Medical Journal, 2014; 5(1):31-6.
3. Hamid IA, Hariharan AS, Shankar NR. The advent of ECMO and pumpless extracorporeal lung assist in ARDS. J Emerg Trauma Shock, 2011;4(2):222-50.
4. Tsuneyoshi H, Rao V. The role of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) therapy in acute heart failure. Int Anesthesiol Clin, 2012; 50(3):114-22.
5. Nishida M, Maruyama O, Kosaka R, Yamane T ve ark. Hemocompatibility evaluation with experimental and computational fluid dynamic analyses for a monopivot circulatory assist pump. Artif organs, 2009; 33(4); s. 378–386.
6. Stepanoff AJ. Centrifugal and axial flow pumps: Theory, design and application, Second Edition. John Wiley&Sons Inc, 1957; 182-203.
7. Haydin S, Ündar A. Updates on extracorporeal life support in the world and challenges in Turkey. Anadolu Kardiyol Derg 2013;13(6):580-8.
8. Wang LQ. Instability control and experimental study of ultra-low specific speed high speed centrifugal pump with an inducer. J Eng Thermophys, 1998; 19: 315–319.
9. Hessel EA. Cardiopulmonary bypass circuitry and cannulation techniques. In: Gravlee GP, Davis RF, Utley JR, eds. cardiopulmonary bypass, principles and practice. Williams & Wilkins, 1993; 55–92.
10. Schima H, Trubel W, Moritz A ve ark. Noninvasive monitoring of rotary blood pumps: necessity, possibility, and limitations. Artif Organs, 1992; 16:195–202.
11. Kafagy D, Dwyer T, McKenna K, Mulles J ve ark. Design of axial blood pumps for patients with dysfunctional fontan physiology: computational studies and performance testing. Artif Organs, 2015; Vol.39(1), pp. 34-42.
12. Wu Z, Gottlieb R, Burgreen G, Holmes J ve ark. Investigation of fluid dynamics within a miniature mixed flow blood pump, experiments in fluids. 2001; Vol. 31(6), pp. 615-629.
13. Wu J, Paden BE, Borovetz HS, Antaki JF. Computational fluid dynamics analysis of blade tip clearances on hemodynamic performance and blood damage in a centrifugal ventricular assist device. Artif Organs, 12 Oct 2009, 34(5):402-411

14. Arvand A, Hahn N, Hormes M, Akdis M ve ark. Comparison of Hydraulic and Hemolytic Properties of Different Impeller Designs of an Implantable Rotary Blood Pump by Computational Fluid Dynamics. *Artif Organs*, 2004; 28(10), s. 892–898.
15. Ogami Y, Matsuoka D, Horie M. Computational Study of Magnetically Suspended Centrifugal Blood Pump (The First Report: Main Flow and Gap Flow). *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 2010; s.102-112.
16. Takiura K, Masuzawa T, Endo S, Wakisaka Y ve ark. “Development of design methods for a centrifugal blood pump with a dynamic approach: results in hemolysis tests”, *Artif Organs*, 1998, 22(5):393-398.
17. Demir O, Biyikli E, Lazoglu I, Kucukaksu S. Design of a centrifugal blood pump: heart turcica centrifugal, *Artif organs*, 2011; Vol:35, no. 7, s.720-725.
18. Yu SCM, Ng BTH, Chan WK, Chua LP. The flow patterns within the impeller passages of a centrifugal blood pump model. *Medical Engineering & Physics*, 2000; No.22, s.381–393
19. Song W, Wei L, Fu J, Shi J ve ark. Analysis and control of flow at suction connection in high-speed centrifugal pump. *Advances in Mechanical Engineering* 2017, Vol. 9(1) 1–12.
20. İncebay Ö, Yapıcı R. Santrifüj bir kalp destek pompası prototipinin sayısal ve deneysel olarak incelenmesi. *J. Eng. Sci. Tech.* 2017; v.5, pp. 472-484.
21. Sedlar M, Sputa O, Komarek M. CFD analysis of cavitation phenomena in mixed-flow pump. *Int Journal Fluid Mach System.* 2012; Vol. 5, 18-29.
22. Çilingir D, Aydanur A. Ekstrakorporeal membran oksijenasyon sistemi ve kullanım alanları. *Türkiye Klinikleri.* 2016;8(2):153-61.

8.EKLER

8.1.Etik Kurul Onay Belgesi

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARARI
Prof.Dr. Hüseyin Hüdai Çatalyürek

Araştırmanız ilişkin Kurulumuz kararı aşağıda sunulmuştur.
Bilgilerinizi ve gereğini rica ederiz.

ETİK KOMİSYONUN ADI	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
AÇIK ADRES	Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2. Kat Inciraltı-İZMİR
TELEFON	0 232 412 22 54-0 232 412 22 58
FAKS	0 232 412 22 43
E-POSTA	etikkurul@deu.edu.tr

BASVURU BİLGİLERİ	DÜŞYA NO:	5364-GOA
	ARAŞTIRMA	UZMANLIK TEZİ <input type="checkbox"/> MÜNFERİT ARAŞTIRMA <input type="checkbox"/> ÖÇM <input type="checkbox"/> YÜKSEKLİSANS <input checked="" type="checkbox"/> DOKTORA <input type="checkbox"/>
	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Sentrifugal Pompa Başlığı Modellemesi Sonrası ECMO Hatları Üzerinde Güvenli Geri Kaçırma Miktarının Değerlendirilmesi
	ARAŞTIRMA PROTOKOL KODU:	
	SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI ve UZMANLIK ALANI	Prof.Dr. Hüseyin Hüdai Çatalyürek Kalp ve Damar Cerrahi A.D
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input type="checkbox"/> ÇOK MERKEZLİ <input checked="" type="checkbox"/>

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili		
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	Mevcut		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
	ARAŞTIRMA İLE İLGİLİ LİTERATÜR	Mevcut		Türkçe <input type="checkbox"/>	İngilizce <input checked="" type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	Mevcut		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU	Mevcut		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>

Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu Karar Formu

KARAR BİLGİLERİ	Karar No:2020/08-25	Tarihi:27.04.2020				
	Prof.Dr. Hüseyin Hüdaî Çatalyürek'in sorumlusu olduğu "Sentrifugal Pompa Başlığı Modellemesi Sonrası ECMO Hatları Üzerinde Güvenli Geri Kaçırma Miktarının Değerlendirilmesi" isimli klinik araştırmaya ait başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekece, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, etik açıdan çalışmanın gerçekleştirilmesinin uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.					
ETİK KURUL BİLGİLERİ						
CALIŞMA ESASI	Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu İşleyiş Yönergesi İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu					
ETİK KURUL ÜYELERİ						
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile İlgili mi?		İmza
Prof.Dr.Sadık Kıvanç METİN (Başkan)	Kalp ve Damar Cerrahisi	DEU Tıp Fakültesi Kalp Damar Cerrahisi Anabilim Dalı	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Sermin ÖZKAL (Başkan Yardımcısı)	Tıbbi Patoloji	DEU Tıp Fakültesi Tıbbi Patoloji A.D	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr.Serkan YENER	Endokrinoloji	DEU Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr.Pınar TUNCEL	Tıbbi Biyokimya	DEU Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr.Arzu GENÇ	Nörolojik Fizyoterapi - Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	DEU Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doc.Dr.Nil Hıncaloğlu AKSAY	Tıbbi Farmakoloji	DEU Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doc.Dr.Murat BEKTAŞ	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği	DEU Hemşirelik Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doc.Dr.Tulay ÇANKAYA	Tıbbi Genetik	Tıbbi Genetik Anabilim Dalı	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doc.Dr.Aylin DAYI	Davranış Fizyolojisi	DEU Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doc.Dr.Kurcan DENEK	Pediyatrik Endokrinoloji	DEU Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doc.Dr.Mahmut Cem ERGON	Tıbbi Mikrobiyoloji	DEU Tıp Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Öğr. Gör. Dr. Kıvanç YÜKSEL	Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Bilişim A.D	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	Katılmadı
Av.Em FIRTINA	Avukat	DEU Rektörlüğü Hukuk Müjaverliği	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Mehmet Erhan ÖZKUL	Sağlık mensubu olmayan üye	D.E.U Tıp Fakültesi İdari Mali İşler	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURUL KARARI

Prof.Dr. Hüseyin Hüdaî Çatalyürek

Araştırmanıza ilişkin Kurulumuz kararı aşağıda sunulmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederiz.

ETİK KOMİSYONUN ADI	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
AÇIK ADRES	Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2. Kat Inciraltı-İZMİR
TELEFON	0 232 412 22 54-0 232 412 22 58
FAKS	0 232 412 22 43
E-POSTA	etikkurul@deu.edu.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ	DOSYA NO:	5364-GOA
	ARAŞTIRMA	UZMANLIK TEZİ <input type="checkbox"/> MÜNFERİT ARAŞTIRMA <input type="checkbox"/> ÖÇM <input type="checkbox"/> YÜKSEKLİSANS <input checked="" type="checkbox"/> DOKTORA <input type="checkbox"/>
	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Sentrifugal Pompa Başlığı Modellemesi Sonrası ECMO Hatları Üzerinde Güvenli Geri Kaçırma Miktarının Değerlendirilmesi
	ARAŞTIRMA PROTOKOL KODU	
	SORUMLU ARAŞTIRMACI ÜNVANI/ADESOYADI ve UZMANLIK ALANI	Prof.Dr. Hüseyin Hüdaî Çatalyürek Kalp ve Damar Cerrahisi A.D.
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input type="checkbox"/> ÇOK MERKEZLİ <input checked="" type="checkbox"/>

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili		
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	Mevcut			Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>
ARAŞTIRMA İLE İLGİLİ LİTERATÜR	Mevcut			Türkçe <input type="checkbox"/>	İngilizce <input checked="" type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	Mevcut			Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
OLGU RAPOR FORMU	Mevcut			Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>

KARAR BİLGİLERİ	Karar No:2020/13-35	Tarih:15.06.2020
	Prof.Dr. Hüseyin Hüdal Çatalyürek'in sorumlusu olduğu "Sentrifugal Pompa Başlığı Modellemesi Sonrası ECMO Hatları Üzerinde Güvenli Geri Kaçırma Miktarının Değerlendirilmesi" isimli klinik araştırmaya ait araştırmacı dilekçesine ilişkin, -Çalışma süresinin Mayıs-Temmuz 2020 olarak güncellenmesi ile ilgili belgeler incelenerek bilgi edinilmiş ve uygun bulunmuştur.	

ETİK KURUL BİLGİLERİ

CALIŞMA ESASI	Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu İşleyiş Yönergesi İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu
---------------	---

ETİK KURUL ÜYELERİ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile İlgili mi?		İmza
				E	H	
Prof.Dr. Sadık Kıvanç METİN (Başkan)	Kalp ve Damar Cerrahisi	DEU Tıp Fakültesi Kalp Damar Cerrahisi Anabilim Dalı	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Sermin ÖZKAL (Başkan Yardımcısı)	Tabii Patoloji	DEU Tıp Fakültesi Tabii Patoloji A.D	Kadın	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Serkan YENER	Endokrinoloji	DEU Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Katılmadı
Prof. Dr. Pınar TUNCEL	Tabii Biyokimya	DEU Tıp Fakültesi Tabii Biyokimya Anabilim Dalı	Kadın	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Arzu GENÇ	Nörolojik Fizyoterapi - Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	DEU Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu	Kadın	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Nil Hocaoğlu AKSAY	Tabii Farmakoloji	DEU Tıp Fakültesi Tabii Farmakoloji Anabilim Dalı	Kadın	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Murat BEKTAS	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği	DEU Hemşirelik Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Katılmadı
Doç. Dr. Fuhun CANKAYA	Tabii Genetik	Tabii Genetik Anabilim Dalı	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Aylin DAYI	Davranış Fiziyojisi	DEU Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı	Kadın	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Karcan DEMİR	Pediyatrik Endokrinoloji	DEU Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Mahmut Cem ERGÖN	Tabii Mikrobiyoloji	DEU Tıp Fakültesi Tabii Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Öğr. Gör. Dr. Kıvanç YÜKSEL	Biyostatistik ve Tabii Bilişim	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Bilişim A.D	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Av. Esra FİRTINA	Avukat	DEU Rektörlüğü Hukuk Müşavirliği	Kadın	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Katılmadı
Mehmet Erhan ÖZKUL	Sağlık mensubu olmayan üye	D.E.Ü. Tıp Fakültesi İdari Mali İşler	Erkek	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

8.2.Özgeçmiş



ÖZHAN ÖZAY

Kişisel Bilgiler

İletişim Bilgileri

Doğum Tarihi	17/01/1992
İletişim Adresi	İnciraltı Mahallesi Mithatpaşa cad. no:1606
Telefon	(507) 746 71 21
E-posta	ozhanozay@gmail.com
Web Adresi	

Öğrenim Bilgileri

29 Ocak 2018 - Şu Anda (2 yıl 6 ay) Yüksek Lisans, Tezli Program, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, PERFÜZYON TEKNİKLERİ (YL) (TEZLİ) Diploma Numarası: - Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 3.7 / 4.0
15 Ekim 2014 - Şu Anda (5 yıl 10 ay) Ön Lisans, Açıköğretim, ANADOLU ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE AÇIKÖĞRETİM FAKÜLTESİ, LABORANT VE VETERİNER SAĞLIK PR. (AÇIKÖĞRETİM) Diploma Numarası: - Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 2.39 / 4.0
01 Eylül 2010 - 18 Temmuz 2017 (6 yıl 11 ay) Lisans, İkinci Öğretim, EGE ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE FEN FAKÜLTESİ, BİYOLOJİ PR. (İÖ) Diploma Numarası: 2016/04/0391 Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 2.39 / 4.0

Yabancı Dil Bilgileri

İNGİLİZCE (Okuma: Orta, Yazma: Orta, Konuşma: Orta)