

Bir Eksenel Akışlı Sol Ventrikül Destek Pompasının (SVDP) Fiziki Performans Testleri İçin Platform Tasarımı

Design of a Platform for Physical Performance Testing of an Axial Flow Left Ventricle Assist Device

İ.B. Aka, S. Dadgar, M.E. Sezer, A.K. Kadipaşaoğlu

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Bahçeşehir Üniversitesi

basaraka@gmail.com, sina.dadgar1990@gmail.com, erol.sezer@bahcesehir.edu.tr, kamuran.kadipasaoglu@gmail.com

Özetçe

Bu makalede, son dönem kalp yetmezliğinde kullanılacak bir mekanik dolaşım destek pompasının, 1) önceki çalışmalarda tasarlanan sanal prototipe uygun olarak fiziksel prototipinin üretimi; 2) fiziki prototipin hemodinamik performansının Parçacık Hızı Görüntüleme (PHG) tekniği ile doğrulanmasında kullanılacak olan Dış Tahrik Mekanizmasının (DTM) tasarımı ve üretimi anlatılmıştır.

Abstract

This paper is about manufacturing of the physical prototype of a mechanical circulatory support system to be used in advanced heart failure. The article includes 1) Manufacturing of the previously designed virtual prototype. 2) Design and construction of the External Drive Mechanism (EDM) for hemodynamic evaluation of the heart pump via Particle Image Velocimetry (PIV)

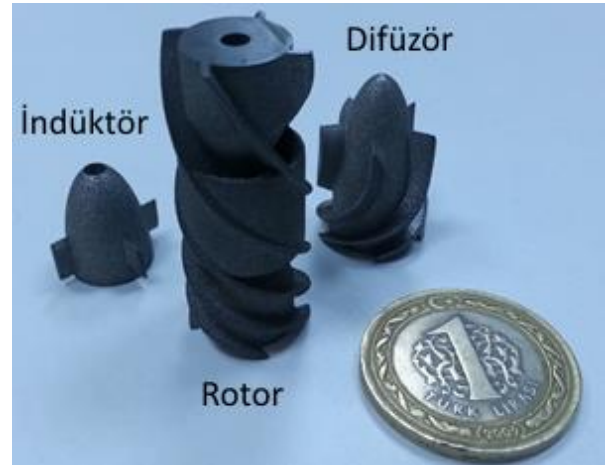
1. Giriş

Son dönem kalp yetmezliği olgularında SVDPler kan dolaşımı için mekanik sirkülasyon sağlayarak yetmezlik durumundaki kalbi transplant yapılana kadar veya yaşamboyu desteklerler. Eksenel akışlı SVDPler üç ana kısımdan oluşur. Pompanın girişinde akışın açılmal komponentlerini doğrultan bir indüktör, akışkana hızı aktaran bir rotor (pervane) ve pompanın çıkışında rotorun kana aktardığı kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye (basınca) çeviren bir difüzör [1]. Bu çalışmada, daha önce sanal en-iyileştirmesi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile yapılan SVDP'nin ilk fiziksel prototipinin üretimi açıklanmış, sanal prototipin hemodinamik validasyonu değerlendirilmesine ve Parçacık Hızı Görüntüleme (PHG) tekniği kullanılarak akışın nitelendirilmesine olanak sağlayan mekanizmanın tasarım ve üretimi açıklanmıştır [2]. Mekanizmanın hassas toleranslarla, su sızdırmayacak şekilde ve minimum titreşimle çalışmasının nasıl gerçekleştiği tarif edilmiştir.

2. Malzemeler ve Metotlar

PHG yüksek hızlı fotoğrafçılık akış görüntüleme metodu sıvı geçişini optik olarak görüntülediği için şeffaf bir gövde kullanılması gereklidir. Bu sebeple SVDP motorsuz olarak üretilmiş ve harici bir motor yardımıyla tahrik edilmiştir. Gerçekçi mekanik veriler elde edilebilmesi için pompa parçaları (indüktör, rotor ve difüzör) Ti6Al4V malzemeden imal edilmiştir. Hemodinamik verileri topladığımız sensörlerle beraber ilk fiziksel prototipin yer aldığı bu sisteme Dış Tahrik Mekanizması adı verilmiştir.

İlk aşamada, cihazın Inducer, Rotor, ve Diffuser kısımları, sanal prototip tasarımında eniyileştirilen geometriye uygun olarak Ti6Al4V malzemeden Lazer Sinterleme tekniği ile EOS M280 (EOS GmbH, Münih, Almanya) cihazı kullanılarak (SDÜ-CAD/CAM Merkezi, Isparta) imal edilmiştir (Şekil 1). Sıvı geçiş alanlarının dışarıdan görüntülenebilmesi için, pompanın gövdesi şeffaf akrilikten dökülmüş ve SVDPlerde bulunan stator sarımları PHG kamerasının görüş alanından kaldırılmıştır. Motorsuz pompayı istenilen hızda döndürebilmek için harici bir 12V DC motor (Keskinler Motor, İstanbul) kullanılmıştır.

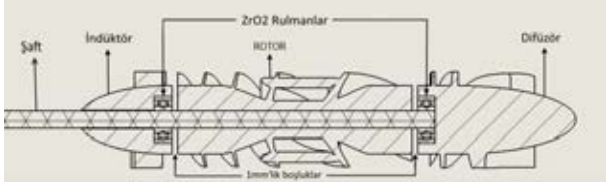


Şekil 1: Lazer Sinterlemeyle Üretilmiş Pompa Parçaları

Donanım ve Yazılım Geliştirme

3. Gün 27 Eylül 2014 Cumartesi (10.45-11.30)

Rulman sistemi SVDP'lerde büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple yüksek hıza dayanıklı ve lubrikansız çalışabilen kan uyumlu minyatür seramik rulmanlar (VXB Bearings, Kaliforniya, ABD) satın alınarak shaftın desteklediği noktalarda, statik indüktör ve difüzör parçalarının içine yerleştirilmiştir. Rotoru döndüren shaftın kalınlığı standart denklemlerle 3mm olarak hesaplanmış ve Tungsten-Karbür malzemeden imal edilmiştir (Şekil 2).

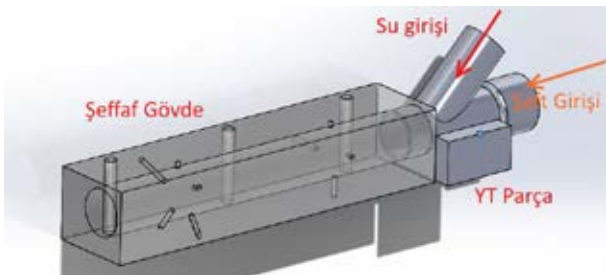


Şekil 2: Pompa kesiti

Sanal modelin doğrulanabilmesi için hidromekanik performansın değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple dinamik tork ve açısal hız ölçen bir sensör (Bruster 8661, Almanya) motor ve pompa arasına özel imalat kaplinler (KTR Coupling, Almanya) yardımıyla bağlanmış ve enkoder verisi kullanılarak hız kontrol edilmiştir. Pompa birer alçak ve yüksek basınç rezervuarı arasında konuşlandırılmış, istenen devirde (rpm) çalıştırılmış; pompa giriş ve çıkışına yerleştirilen basınç transdüserleri (SICK, Almanya) ile basma yüksekliği (ΔP) ve çıkış hortumu dışına yerleştirilen bir ultrasonik akış transdüseriyle (Transonic Systems, Minneapolis, ABD) debi (Q , L/dak) ölçülerek hidrolik verimlilik η hesaplanmıştır.

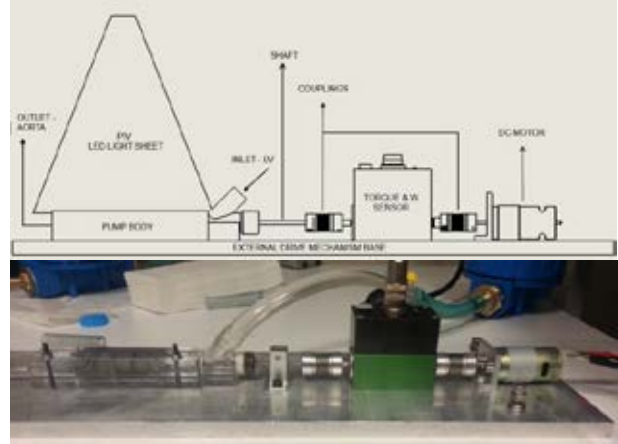
$$\eta = \frac{\Delta P \cdot Q}{T \cdot \omega}$$

Harici shaftın akış yolundan geçerek rotoru döndürebilmesi ve aynı zamanda giriş akışının pompaya aktarılabilmesi için YT bağlantı parçası ve özel yapım bir yağ keçesi (Eteş Teknik, İstanbul) kullanılmıştır. YT parça hassas toleransla üretilmiş (+90 Hızlı İmalat, İzmit) ve gövdeye sızdırmaz şekilde yerleştirilmiştir. Shaftı destekleyen statik parçalar (indüktör ve difüzör) 2mm çapındaki minyatür setskurlar (set-screw) ile gövdeye sabitlenmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3: Pompa gövdesi ve YT parça

Yukarıda bahsedilen bütün elemanların yer aldığı bu fiziksel test düzeneğine Dış Tahrik Mekanizması (DTM) denilmiştir. DTM rotoru 10.000 devire kadar döndürmektedir. Yüksek hızlarda oluşabilecek titreşimlerden korunmak için DTM parçaları birleştirildiklerinde hizalanacak şekilde tasarlanmış, yüksek doğrulukla üretilmiş ve CNC makinada frezelenen (SDÜ-CAD/CAM Merkezi, Isparta) bir platformun üzerinde birleştirilmiştir (Şekil 4).



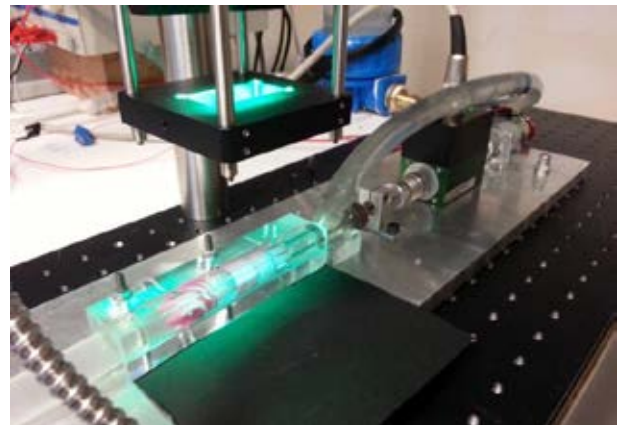
Şekil 4: DTM kesiti (Üstte) ve DTM montajı

Sistemden veri toplanılması ve DC motorun kontrol edilmesi için dSPACE (dSPACE GmbH, Paderborn, Almanya) RTI1103 veri toplama donanımı kullanılmıştır. DC motor hızı yani shaft devri bu donanımın Dalga Genliği Modülasyonu (DGM) modülü ile kontrol edilmiştir. Eşzamanlı olarak, debi, çıkış basıncı, hidromekanik verimlilik, devir izlenerek kaydedilmiş ve sanal prototipin verileriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: dSPACE ekranı (8400 devir, 5 lt/dk debi ve 106 mmHg basınç %31 verimlilikle üretilirken)

PHG tekniği ile pompanın izlenebilmesi için yüksek hızda dönen shaftın devir sayısına göre tetikleme sinyali üretilerek PHG düzeneğine verilmiştir. Bu sayede PHG ve DTM senkronize çalıştırılmıştır. PHG aydınlatma kaynağı yeşil renkte olduğundan, yansımaları engellemek amacıyla pompa yeşilin tümleyen rengi fuşyaya boyanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: PHG testi yapılırken DTM

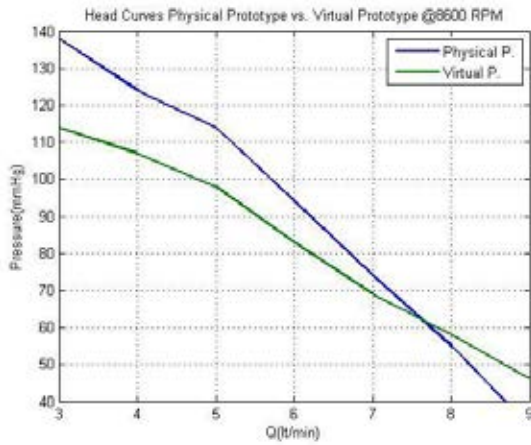


Donanım ve Yazılım Geliştirme

3. Gün 27 Eylül 2014 Cumartesi (10.45-11.30)

3. Sonuçlar

DTM farklı hızlarda sürülerek basınç ve debi verileri toplanmış ve sanal prototipten elde edilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) verileriyle karşılaştırılmıştır. SVDPnin nominal çalışma karakteristiği olarak belirlenen 100mmHg – 5lt/dk değerlerine 8400 devirde ulaşılmıştır. Sanal ve fiziki performans test sonuçlarının uyum gösterdikleri gözlemlenmiştir (Şekil 7). Fiziki sistemin veriminin, bilgisayar ortamında hesaplanan verime göre %6-8 daha düşük olduğu saptanmıştır.



Şekil 7: DTM (mavi) ve sanal prototipin (yeşil) 8600 devirdeki Basınç-Akış grafikleri

4. Tartışma

Sanal ve fiziki verimler arasındaki farkın sızdırmaz keçe direncinden kaynaklanan mekanik kayıplara bağlı olduğu düşünülmektedir. Bunun haricinde, DTM istenilen hızlarda kontrollü ve sızdırmaz bir şekilde çalıştırılarak PHG testlerinin hassasiyetle yapılması sağlanmıştır.

DTM basınç ve debi sanal prototipten elde edilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) verileriyle karşılaştırılarak HAD ile elde edilen hidrolik sonuçlar fiziksel olarak doğrulanmak istenilmektedir. Buna göre istenilen sonuçlar elde edilemezse geometri yeniden tasarlanıp HAD ve DTM ile test edilerek eniyileştirilecektir. Bu sebeple DTM geometri değişimine izin veren modüler bir biçimde tasarlanmıştır.

Daha gerçekçi veriler elde etmek için akma dayanımı (viskozite) kana benzer gliserinli su karışımı kullanmak gerekmektedir. DC motor yerine step motor ve doğrusal kontrolör yerine PID kontrolör kullanarak pompa devri daha hassas kontrol edilebilir ve her ΔP değerinde sabit kalması sağlanabilir.

5. Kaynakça

1. A.Untarou, HG. Wood, PE. Allaire, AL. Throckmorton, S. Day, SM. Patel, P. Ellman, C. Tribble, DB. Olsen, "Computational Design and Experimental Testing of a Novel Axial Flow LVAD", ASAIO, 51th Annual Conference of ASAIO, 702-710
2. K. Toptop, KA. Kadıpaşaoğlu, "Design and Numeric Evaluation of a Novel Axial-Flow Left Ventricular Assist Device", ASAIO, Volume 59 - Issue 3, 230-239

113M242 Numaralı bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.