



İnvazive Mekanik Ventilatörde Hava Miktarını Ölçmek için Hava Ölçme Sensörünün Tasarımı, İmalatı ve Testi

Mahmut Turhan *

*Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7633-483), drmahmutturhan@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 25 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2022)

(DOI:10.31590/ejosat.1108820)

ATIF/REFERENCE: Turhan, M. (2022). İnvazive Mekanik Ventilatörde Hava Miktarını Ölçmek için Hava Ölçme Sensörünün Tasarımı, İmalatı ve Testi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 520-523.

Öz

Çinin Wuan kentinde başlayan korana virüsün yol açtığı Covid-19 Hastalığı, bütün dünyayı etkileyen bir pandemiye dönüştü. Bu hastalık akciğerlerin çalışmasını etkilediği için mekanik ventilatör ihtiyacı dünyada hızlı bir şekilde artmıştı. Bütün dünya ülkelerinin aynı anda cihaza ihtiyaç duyulmaları talebin patlamasına neden olmuştu. Talebin yüksek olup arzın az olması yedek parça ve cihaz ihtiyacının artmasına neden olmuş bu da yerli imkânlarla konunun çözümünün gerekliliğini ortaya koymuştur. Pandemi süresinde daha hassas ve daha ucuz hava ölçme sensörlerini üretmekten ziyade tedarik edebilmek en büyük problem olarak ortaya çıkmıştır. İnvazive mekanik ventilatörde hava miktarının ölçmek için uygun çapta venturi tüpü tasarlanarak tasarlanan sisteme göre yazılım yapıp hava ölçme sensörünün üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnvazive, Mekanik ventilatör, Air measurement sensor, Venturi tüpü, Venturi metre, Bernoulli, Covid-19

Air Measuring Sensor, Design, Manufacture and Test to Measure the Amount of Air in the Invasive Mechanical Ventilator

Abstract

The Covid-19 Disease, caused by the corona virus that started in Wuan, China, has turned into a pandemic that affects the whole world. Since this disease affects the functioning of the lungs, the need for mechanical ventilators has increased rapidly in the world. The need for the device in all the countries of the world at the same time caused the demand to explode. The high demand and low supply led to an increase in the need for spare parts and devices, which revealed the necessity of solving the issue with domestic means. During the pandemic, supplying more sensitive and cheaper air measurement sensors rather than producing them has emerged as the biggest problem. In order to measure the amount of air in the invasive mechanical ventilator, a venturi tube of suitable diameter was designed and the software was made according to the designed system, and the air measurement sensor was produced.

Keywords: Invasive mechanical ventilator, Venturi tube, Venturi meter, Bernoulli, Covid-19

*Sorumlu Yazar: drmahmutturhan@gmail.com

1. Giriş

2019'un sonunda, Şiddetli Akut Solunum Sendromu CoronaVirus (SARS-CoV-2) adı verilen yeni bir koronavirüs, Çin'in Vuhan kentinde akut solunum yolu hastalığı salgınıyla sonuçlandı. Pandemi dünyada entübe edilen hasta sayısını artırdı. Türkiye'de de diğer ülkelere benzer şekilde entübe edilen hasta sayısında önemli ölçüde artış görüldü. Hastaların entübasyonu mekanik invaziv ventilatörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Ventilatör gaz akışını kontrollü bir şekilde hastanın solunum yollarına göndererek solunum oluşturmaya veya solunum sürecini devralmaya yardımcı olan tıbbi cihazdır. Bu cihazlar genellikle önceden ayarlanmış ayarlara göre pozitif basınçlı gaz akışları oluşturarak akciğerlerin aralıklı şişirilmesini sağlayarak bozulan gaz değişimini düzenler. Bu cihazlardaki can alıcı nokta hastaya verilen hava miktarının ölçülmesidir. Solunum cihazlarında hastaya verilen hava miktarının ve hastadan geri dönen hava miktarının ölçülmesi hayati öneme sahiptir. Hastaya giden ve gelen hava miktarı hava ölçüm sensörü vasıtasıyla yapılmaktadır.

Ventüri metre gaz ve sıvı haldeki maddelerin akışkan haldeyken miktarlarını ölçmeye yarayan ölçü aletidir. Hava ölçüm sensörünün üretimini en temel yapı taşı ventüri tüptür. Ventüri tüpünün temel ölçme mantığı Bernoulli prensibinde belirtildiği gibi basınç farkı oluşturmaktır. Bunun için ölçü aletinde akışkanın içerisinde geçtiği boru akış yönüne doğru daralmakta dar alandan geçtikten sonra, daralan alan tekrar giriş yönündeki boru çapına gelene kadar genişlemektedir. Borunun daralarak oluşturduğu dar alanda akışkanın hızı artar ve basıncı düşer bu denden dolayı giriş alanındaki hızı ile dar alandaki hız arasında fark olduğu gibi geniş alandaki basıncı ile dar alandaki basınç arasında da bir fark oluşur. Bu temel mantık kapsamında hava ölçüm sensörü dizayn edilmiştir.

2. Dizayn

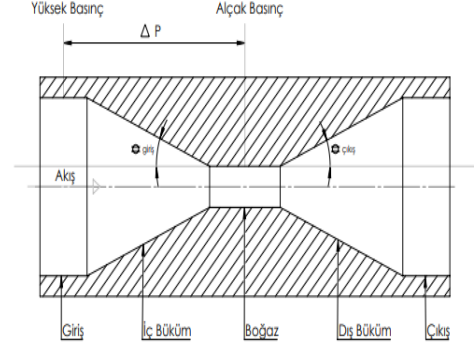
Hastaya giden ve gelen hava miktarı ve hava akış hızı ventilatörden izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken en önemli parametredir. Genel olarak kullanılan invaziv mekanik ventilatörde kullanılan hava akış hızı 50l/dak. ile 60l/dak arasında değişmektedir. (21) Limitler dışındaki hava miktarı hava akış hızı dokuya dolaylı olarak hastaya geri dönülmez zararlar verebilir. (23) Hava akış miktarı ventüri metreler ile basınç farkı yoluyla ölçülebilmektedir.

Bu çalışma ile ithal edilmekte olan hava ölçüm sensörleri yerine yerli imkanlarla invaziv mekanik ventilatörde kullanılmak üzere hava ölçüm sensörü geliştirilmeye çalışılmıştır. Ventilatör için gerekli olan hastaya verilen ve alınan hava basıncı, akış miktarı ve hacmi bu sayede doğru bir şekilde ölçülmeye çalışılmıştır. Bunu için mikro işlemci, 2 adet basınç sensörü, bir adet oksijen sensörü ve bir adette ventüri tüp kullanılmış akciğerin yerini alacak yapay akciğer kullanılmıştır.

Hava ölçme sensöründe ventüri tüpün üzerinde basınç farkı ile çalışan debi metre, oksijen sensörü ve basınç sensörleri mevcut olup anılan sensörlerden gelen değerler bilgisayar yazılımı vasıtasıyla hesaplanarak bilgi ekranına verilmektedir. Hava miktarı ventüri tüpün giriş ve çıkış basınç farkları Bernoulli prensibine dayanarak mikro işlemci tarafından ölçülmektedir. Ventüri tüpün tasarım ve dizayn karakteristiğine bağlı olarak

elde edilen katsayılar hesaplanarak bilgisayar programında kullanılmıştır. Sistemin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Seçilmiş olan sensörler ölçmüş oldukları basınca göre doğrusal ve net bir çıkış voltajı vermektedir. Basıncın artmasına bağlı olarak çıkış voltajı da artmaktadır.

Ventüri tüpün geometrik yapısı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Ventüri metrenin iç yapısı. (Figure 1. Venturimeter internal structure)

Ventüri tüpünün giriş boru çapı 26mm olup 30mm çapındaki alüminyum bloğun içi talaşlı imalat ile işlenerek elde edilmiştir. Ventüri tüpünün giriş kısmına yüksek basınç ölçüm sensörü bağlantı deliği boğaz kısmına düşük basınç ölçme sensörü bağlantı deliği açılmıştır. Ventüri tüpünün girişi 22 derece eğim ile 6mm çapındaki boğaz bölümüne gelmekte tekrar 22 derecelik eğim ile çıkış yapmaktadır. Hesaplama alanı olarak giriş ventüri çapı ile boğaz çapı alınmıştır. Akışkanın daha doğru hesaplanabilmesi için 22 derecelik yumuşatma açısıyla havanın boğaza girişi sağlanmakla beraber hassasiyeti artırmak için boğaz çapı giriş çapının ¼ olarak seçilmiştir.

İçerisinde nemsiz gaz geçen tüplerde basınç farkı ile gaz miktarının ölçülmesi Bernoulli prensibi ile 1 nolu denklemde verilmekte;

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (1)$$

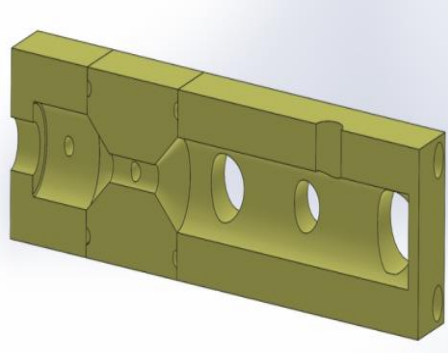
Olarak ölçülmekte teorik hacimsel akış miktarı

$$\dot{V} = A_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (2)$$

2 nolu denklemde hacimsel akış oranı $V[L.s^{-1}]$, giriş boru çapı $A_1[m^2]$, boğumlu boru çapı $A_2[m^2]$, basınç farkı P_a akışkan yoğunluğu $\rho[kg/m^3]$ ile gösterilmiş olup hesaplanan değer ile gerçek değer arasında sapma sabiti vardır. Sapma sabiti C_D 3 nolu denklemde gösterilmiştir.

$$C_D = \left(\frac{\dot{V}_{Actual}}{\dot{V}_{Theoretical}} \right) \quad (3)$$

Ventüri tüpünün 3 boyutlu geometrik boyutu Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2.Ventüri metrenin iç kesiti(Figure 2.Inner section of venturimeter.)

Ventüri tüpünü oluşturan blok içerisinde geçen havayı hesaplamamız için basınç fark sensörü ile çalışan debimetre, akan havadaki oksijen gazı miktarını ölçen oksijen sensörü havanın basıncını ölçen basınç metre bulunmaktadır. Ventüri metrenin yapısını Şekil 2 de fotoğrafı Şekil 3' de sunulmuştur.



Şekil 3.Ventüri metrenin fotoğrafı (Figure 3. Picture of venturimeter)

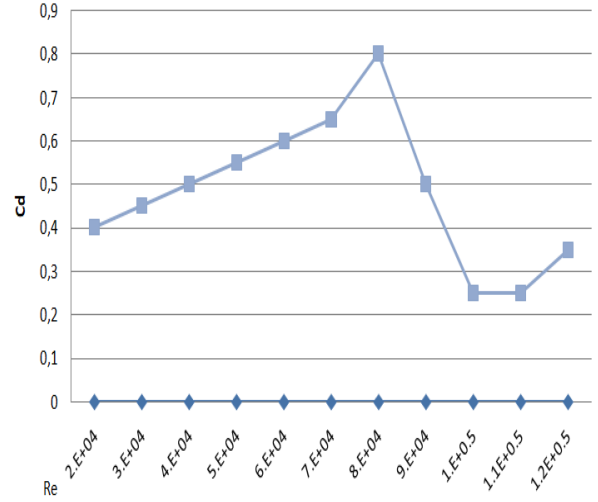
Doğru ventilasyon ölçümü hastanın oksidasyonun düzeyi için dolaylı olarak ta hasta için hayati öneme sahiptir. Tasarımı yapılmış olan ventüri tüp ile üretilmiş olan ventüri tüpünün yapılan ölçümlerinde standart bir fark oluşmaktadır. 4 nolu denklemde volumetric akış oranı Q nun hesaplanması gösterilmiştir.

$$Q = \left[C_d A_2 \left(\frac{2 \Delta p}{\rho (1 - \beta^4)} \right)^{0.5} \right] \cdot F_a \cdot Y \quad (4)$$

$$C_d = a \cdot Re^b \quad (5)$$

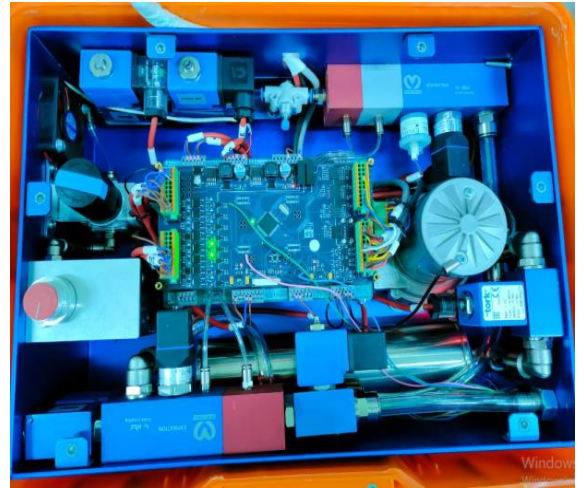
C_d düzeltme faktörü olup F_a testler sonuç elde edilen değer olup ISO5167 belirtilmiştir. Basınçlandırılmayan akış sabiti olan F_a 1 olarak alınabilir gaz ve buhar bulunan durumlarda flowmetrenin geometrisine ve akış durumuna göre $F_a > 1$ olabilir. Yapılan deneysel çalışmalarda F_a ve Y nin birbirine eşit ve bir olarak alınmıştır. Reynold sayısı olan Re 5 nolu denklem ile hesaplanmıştır.

Denklemde bulunan a ve b sayısı ($a=1.5054$ ve $b=-0.0510$) deneysel çalışmalar neticesinde elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucu Şekil 4' de sunulmuştur. Re sayısının nasıl elde edildiği 6 nolu denklemde verilmiştir.



Şekil 4. Re sayısı ile C_d düzeltme faktörü arasındaki fonksiyonun eğrisini gösterimi (Figure 4.Representation of the curve of the function between Re number and C_d correction factor.)

Üretimini ve yazılımını yapmış olduğumuz hava miktarı ölçme sensörünün invaziv mekanik ventilatörde kullanılmıştır. Cihazın resmi Şekil 5' de sunulmuştur.



Şekil 5.Invasive Mekanik Ventilatör Cihazı.
(Medel Mate007 Invasive Mechanical Ventilator Device.)

Invasive Mekanik Ventilatörde kullanılan hava miktarı ölçme sensörünün yapmış olduğu ölçümler uluslar arası sertifikalı Fluke VT650 kalibratör ile yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tablo-1 sunulmuştur. Yapılan ölçümler arasında oluşan farka istinaden cihazdaki yazılımda kalibrasyon yapılarak hava miktarı ölçme sensörünün doğruluğu sabitlenmiştir. Kullanılan Fluke VT650 cihazın şekli Şekil 6' da sunulmuştur.



Şekil 6. Fluke VT650 solunum cihaz kalibratörü.
(Fluke VT650 breathing apparatus calibrator.)

Geliştirtmiş olduğumuz hava miktarı ölçme sensörü uluslararası standart değerlendirme kuruluşu tarafından; EN 60601-1: Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 1: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereklilikler, EN 60601-1-2: 2016 Tıbbi Elektrik Ekipman - Bölüm 1-2: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereksinimler - Yardımcı Standart: Elektromanyetik Uyumluluk - Gereksinimler ve Test, EN 60601-1-6: 2010 Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 1-6: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereksinimler, EN 60601-1-8: 2007 Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 1-8: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereklilikler, ISO 80601-2-12: Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 2-12: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Özel ve EN 62304: 2006 "Tıbbi Cihaz Yazılımı - Yazılım Yaşam Döngüsü İşlemleri" Standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

3. Sonuçlar

Yerel piyasada bulunan malzemeler ile invaziv mekanik ventilatörde kullanılabilen uluslararası standartlara uygun hava miktarı ölçme sensörü dizayn ve imal edilerek kullanılmaya başlanmıştır. Yapmış olduğumuz sensörde kullanılan ventüri metre tüpleri alüminyum esaslı malzemeden talaşlı imalat yöntemiyle üretilmesi nedeniyle ağırlığın azaltılması için sağlık açısından uygun uluslararası standartlar dahilinde daha hafif kompozit malzemeden imal edilebilmesi için daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Kaynakça

WHO Director, 2020. General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 (Available: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19>), [Cited 12 Mar 2020].

Covid-19 Report, 2020. Turkish Health Ministry, 2nd September 2020. <https://dosyamerkez.saglik.gov.tr/Eklenti/38214,covid-19-haftalik-durum-raporu>,

Wang C.S., Shaw D., Jih K.S., 1998. An Intelligent Control System for Ventilators, Medical Engineering & Physics, Vol. 20, 534-542.

Azzopardi BJ, Teixeira SFCF, Pulford CI. "A quasi-one-dimensional model for gas/solids flow in venturis". Powder Technology, 102(3), 281-288, 1999.

Boyer C, Lemonnier H. "Design of a Flow Metering Process for Two-Phase Dispersed Flows". Multiphase Flow, 22(4), 713-732, 1996.

Denghui H, Bofeng B. "Numerical investigation of wet gas flow in Venturimeter". International Journal of Multiphase Flow Measurement and Instrumentation, 34(12), 1119-1129, 2012.

Ghassemi H, Fasih FH. "Application of small size cavitating venturi flow controller and flowmeter". Flow Measurement and Instrumentation, 22(5), 406-412, 2011.

Jinga J, Yuana Y, Duc S, Yina X, Yin R. "A CFD study of wet gas metering over-reading model under high pressure". Flow Measurement and Instrumentation, 22(1), 33-42, 2019.

Kartashev AL, Kartasheva MA, Terekhin AA. "Modeling Operating Regimes in Multiphase Flowmeter Flow Path Using CFD Methods". International Conference on Industrial Engineering, Chelyabinsk, The Russian Federation, 15-18 June 2017.

Lima JM, Yoon BH, Ohc YK, Park AK. "The humidity effect on airflow rates in a critical flow venturi nozzle". Flow Measurement and Instrumentation, 22(2), 402-405, 2011.

Monni G, Salve DM, Panella B. "Two-phase flow measurements at high void fraction by a Venturimeter". Progress in Nuclear Energy, 77, 167-175, 2014.

Titheradge P, Robert R. "Establishing suitable diameters of venturi tubes for use in measuring human airflow and ventilation". Journal of Science and Medicine in Sport, 32-66, 2017.

Yanagihara S, Mochizuki O, Sato K, Saito K. "Variable area venturi-type exhaust gas flowmeter". Technical Notes/JSAE Review, 20, 259-279, 1999.

Wrasse A, Bertoldi D, Dos Santos NE, Morales EMR, Silva J, Da M. "Gas-Liquid Flow Rate Measurement Using a Twin-Plane Capacitive Sensor and a Venturi Meter". IEEE, 7, 135933-135941, USA, 2019.

T. Mathanlal, M. Israel Nazarious, R. Mantas-Nakhai, M. P. Zorzano, and J. Martin-Torres, "ATMO-vent: An adapted breathing atmosphere for COVID-19 patients," HardwareX, vol. 8, p. e00145, 2020, doi: 10.1016/j.ohx.2020.e00145.

A. Protti et al., "Role of Strain Rate in the Pathogenesis of Ventilator-Induced Lung Edema*," Crit. Care Med., vol. 44, no. 9, pp. e838-e845, 2016, doi: 10.1097/CCM.0000000000001718.

J. C. S. Sonja A. Rasmussen, MD, MS et al., "MIT E-VENT | Emergency ventilator design toolbox," Br. J. Anaesth., vol. 7, no. 1, pp. 1-11, 2020, doi: 10.1183/13993003.00846-2020.

R. Szlosarek, R. Teichert, A. Wetzel, A. Fichtner, F. Reuter, and M. Kroger, "Design and instruction of a simplified, gas-driven, pressure-controlled emergency ventilator," African J. Emerg. Med., vol. 11, no. 1, pp. 175-181, 2021, doi: 10.1016/j.afjem.2020.09.018

A. C. Jardim-Neto and C. Perlman, "A low-cost multi-patient pressure-controlled ventilation system with individualized parameter settings," pp. 1-11, 2020, doi: 10.1101/2020.04.17.20069799.