



Biyomedikal Amaçlı Vibrasyonel Viskozimetri Tasarımı

Vibrational Viscosimeter Design for Biomedical Purposes

Cansu AKBAY

İleri Biyomedikal Mühendislik Teknolojileri
Araştırma Merkezi
Ankara, Türkiye
cansu.akbay@hotmail.com

Onur KOÇAK

Biyomedikal Mühendisliği
Başkent Üniversitesi
Ankara, Türkiye
okocak@baskent.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada başta diyaliz sistemleri olmak üzere biyomedikal alanına yönelik vibrasyonel viskozimetre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Mevcut sistemlerden farklı olarak hacimsel olarak daha geniş numune kabına sahiptir. Sıcaklığın viskoziteye etkisi göz önünde bulundurularak daha hassas ölçüm alabilmek için sıcaklığın homojen yayılımı sağlanmış ve sistemin çeşitli noktalarına yerleştirilen sıcaklık sensörleri ile kontrolü sağlanmıştır. Sistem tasarımının tamamlanmasını takiben farklı viskoziteye sahip olan su ve gliserol kullanılarak, farklı sıcaklıklarda ölçümler alınmıştır. Yapılan ölçümlerle elde edilen sonuçlar sıcaklıkla viskozitenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler — viskozimetre, vibrasyonel viskozimetre, sıcaklık-viskozite ilişkisi

Abstract—In this study, a vibrational viscosimeter design used in biomedical applications, especially dialysis systems were performed. Differently from existing systems, it has larger sample container in size. Considering the effect of temperature on viscosity, to obtain more sensitive measurements, homogeneous distribution of the temperature in container was provided and the temperature was controlled via temperature sensors placed in many sides of container. Following the design of system, it was tested by using water and glycerol which has different viscosity. The results obtained with the measurements showed that the viscosity decreased with temperature.

Keywords — viscosimeter; vibrational viscosimeter, temperature-viscosity relation.

I. GİRİŞ

Viskozite, fiziksel olarak homojen yapıya sahip, sıvı formdaki maddelerin akışkanlara karşı gösterdikleri dirençtir. Sıvılarda moleküller arası çekim kuvveti katılara göre daha az, gazlara göre daha çoktur. Viskozite bu çekim kuvvetleriyle açıklanabilir. Sıcaklığın artmasıyla, moleküller arası bağlar zayıflar, buna bağlı olarak viskozite azalır [1].

Viskozitenin ölçülmesinde kullanılan cihazlara viskozimetre denilmektedir. Viskozimetreler kullanım amaçlarına göre farklı çalışma prensibine sahiptirler. Bunlara rotasyonel viskozimetre, kapiler viskozimetre, falling ball viskozimetre, kap tipi

viskozimetre ve vibrasyonel viskozimetre örnek verilebilir [2]. Diğer viskozimetre türleriyle kıyaslandığında vibrasyonel viskozimetre daha geniş ölçüm aralığına sahiptir ve ölçüm süresi kısadır. Kullanımı basit ve temizliği kolaydır [3].

Vibrasyonel viskozimetrenin çalışma prensibi sıvı içerisinde sabit bir frekansta titreşim yaratmak için gereken akım değerinin viskozite değerine dönüştürülmesine dayanmaktadır [4].

Viskozitenin doğru olarak ölçülebilmesi klinik araştırmalar için büyük önem taşımaktadır. Kanın viskozitesine bakılarak çok hastalığın teşhisi konulabilmektedir [5]. Akışkan formda ağız yoluyla vücuda alınan ilaçların sindirim sisteminden geçerek hedef organa ulaşma süresinde viskozitenin etkisi vardır. Viskozitenin ölçülmesinin önemli olduğu bir diğer biyomedikal alan ise diyaliz sistemleridir. Diyaliz solüsyonlarının diyaliz esnasında belirli bir sıcaklık ve viskozitede olması gerekir. Mevcut sistemlerde bu ölçüm literatürde kabul görmüş farklı yöntemler ile gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma vibrasyonel viskozimetre ölçümü için elektronik düzeneğin geliştirilmesi ve sistem haznesinin mekanik tasarımını içermektedir.

II. MATERYAL VE METOT

Vibrasyonel viskozimetri sistemi elektronik ve mekanik gereklilikleri karşılamak üzere iki bileşene sahiptir. Aynı zamanda elektronik aksamda bulunan programlanabilir devre elemanlarının kontrolü için yazılım tabanlıdır.

Mevcut vibrasyonel viskozimetrelerden farklı olarak, akışkanın birden fazla noktadan ısıtılarak sıcaklığın dağılımını hızlandırılması ve böylelikle ölçülen ortalama sıcaklık değeri ile referans değer arasındaki farkı en aza indirmek amaçlanmıştır. Kabin sisteminin Şekil 1'de Render görüntüsü verilen konumlarına 13 adet DALLAS 18B20 sensörü ve sistemin alt yüzeyinde 2500 W seviyesinde ısıtıcı ve her bir yan yüzeyinde 200 W güce sahip XILONG AT 700 Yan ısıtıcı kullanılmıştır.



Şekil 1. Sistem Tasarımının Üstten Render Görüntüsü

A. Elektronik Tasarım

Sistemin elektronik tasarımında, 30 Hz'lik sabit bir frekans elde etmek için iki farklı yöntem öngörülmüştür. Bunlardan birincisi bir osilatör devresi kullanılarak numune sıvısına içerisinde daldırılan piezoelektrik kristalin titreştirilmesi ve diğer bir piezoelektrik sensör tarafından bu titreşimin algılanmasına dayanmaktadır. Piezoelektrik sensör tarafından algılanan titreşimin frekansı f/I dönüştürücü ile akıma çevrilerek PIC ya da Arduino üzerinden Denklem 1'in hesaplanmasıyla viskozite değeri elde edilmiş olur [7]. Elde edilen viskozite değeri ve akışkanın sıcaklık bilgisini görüntülemek üzere LCD ekran tercih edilmiştir. Piezoelektrik sensörden elde edilen titreşim frekans değerinin f/I dönüştürücü olmaksızın doğrudan PIC veya Arduino'ya iletilmesi ve LCD ekranda görüntülenmesi diğer bir tasarım öngörüsüdür.

$$\log \eta \times p = a \log I^2 + \log I + c \quad (1)$$

η : viskozite (Pa*s)
 I : sürücü akımı (A)
 p : yoğunluk
 a, b, c : sabit sayılar

30 Hz'lik sabit bir frekans elde ederek numune içerisinde titreşim yaratmak üzere düşünülen ikinci yöntem ise titreşimli bir motorun numune içine daldırılmasına dayanmaktadır. Motorun çektiği akım içinde bulunduğu sıvının viskozitesine göre farklılık gösterir. Örneğin viskozitesi yüksek olan bir sıvıda motorun 30 Hz'de titreşmesi viskozitesi düşük olan bir sıvıya göre daha kolaydır ve böylelikle motor daha yüksek değerlerde akım çeker. Bu akım değerinin mikroişlemciye aktarılmasıyla Denklem 1'den viskozite değeri hesaplanarak LCD ekran üzerine yazdırılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada mikroişlemci olarak PIC16F877A kullanılmıştır [8]

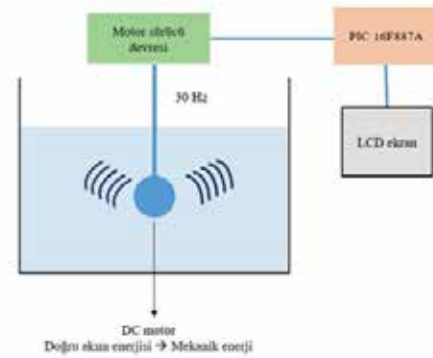
Numune sıvısı üzerinde istenilen titreşimi yaratmak için DC motor kullanılarak 30 Hz'lik sabit frekans elde edilmesi tercih edilmiştir. Denklem 2'ye göre 30 Hz'lik bir titreşim yaratabilmek için 1800 RPM'e sahip bir motor kullanılması gerekmektedir.

$$F(\text{titreşim}) = \text{Motor}(RPM)/60 \quad (2)$$

Yapılan tasarımda 12 V çalışma gerilimine sahip, 2250 RPM, enkoderli yüksek güçlü, 4.4:1 reddüktörlü DC motor tercih

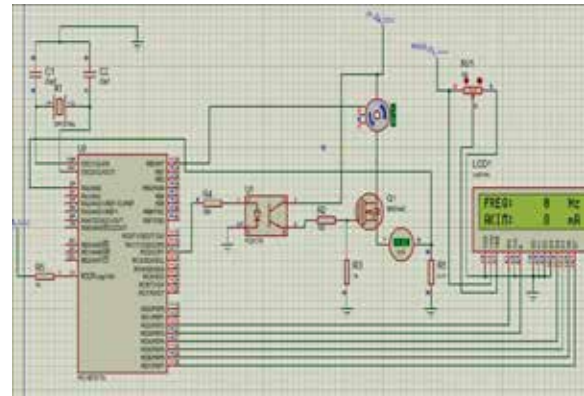
edilmiştir. Motorun enkoder ve reddüktörlü olması sayesinde dakikadaki dönme sayısı 2250 RPM'den 30 Hz'lik titreşim için gerekli olan 1800 RPM'e indirilmiştir. 30 Hz'in sabit tutulması ve motordan çekilen akım değerlerinin değişkenlik göstermemesini sağlamak üzere MSF20 Mosfet Motor Sürücü devresi kullanılmıştır.

Elektronik devre tasarımında LCD ekranın kontrastını ayarlamak üzere potansiyometre kullanılmıştır. LCD'nin mikroişlemci üzerinden programlanmasında MicroC yazılımının hazır kütüphanelerinden LCD kütüphanesi tercih edilmiştir.



Şekil 2. Sistemin Elektronik Tasarım Şeması

Şekil 3'te elektronik devre tasarımına ait Proteus çizimi halini verilmiştir.



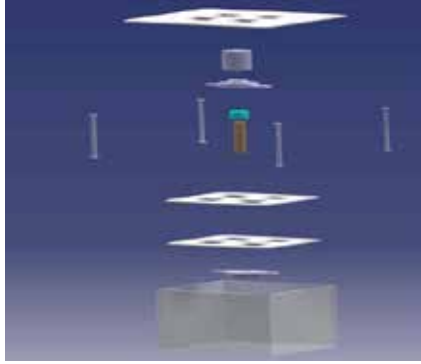
Şekil 3. Elektronik devrenin Proteus çizimi

B. Mekanik Tasarım

Sisteme ait oluşturulmak istenilen mekanik tasarımın Render görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir. Sıvı geçişi ve ısı sensörlerinin yerleştirilmesini sağlamak amacıyla boşlukları olan, iç kabine yerleştirilecek 2 tabla, dış kabine yerleştirilecek tabla, motor sistemi ile iç kabini birleştirmek üzere miller, motorun kasılmasını engellemek için motor ile mil arasında esnek couplingten oluşmaktadır.

Tablaların ısıya dayanıklılık, kolay mekanik işlenebilirlik, düşük maliyet ve kolay ulaşılabilmek özellikleri göz önüne alınarak alüminyum kompozit malzemeden yapılması tercih

edilmiştir. Alüminyum kompozit CNC ile işlenerek tablalar elde edilmiştir.



Şekil 4. Oluşturulmak İstenen Mekanik Tasarım Render Görüntüsü

DC motorun belirli bir sıcaklık değerinden sonra redüksiyona uğrayarak ölçülecek akım değerinin tolere etmesi söz konusudur. Mil sistemi ile sıvı arasındaki direnci arttırmak üzere sisteme bir metal palet eklenmiştir (Şekil 5). Paletle birlikte sıvıya temas eden yüzey artmış ve akımın hassas ölçümü sağlanmıştır.



Şekil 5. Mevcut sisteme metal plaka eklenmiş hali



Şekil 6. Tüm Sistemin Önden Görünümü

III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Viskozimetre sisteminin elektronik ve mekanik kısımlarının birleştirilmesini takiben sıcaklık değişimine bağlı viskozite değişimini en aza indirmek üzere sistem boşken, sırayla su ve gliserol doldurularak 15 dakikalık süre boyunca motorun çektiği maksimum ve minimum akım değerleri gözlemlenmiştir. Suyun ve gliserolun viskozitelerinin farklı olmasından dolayı bu iki ortamda oluşacak akım değerlerinin karşılaştırılmıştır. Motorun çektiği akım değerleriyle birlikte kabin sisteminin altına ve üstüne yerleştirilen PT100 sensörleri ile sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Oluşturulan sistemde sıcaklığın homojen dağılımı önemlidir. Bu nedenle, sıcaklığın kabin her noktasından ölçülerek kontrolünün sağlanması için 13 adet DALLAS 18B20 sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir.

Sistem boşken, su ile doluyken ve gliserol ile doluyken elde edilen akım değerleri Tablo I, II ve III'de gösterilmiştir. Gliserol doluyken ölçülen akım değerlerinin su ile dolu ve boş sisteme kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Akışkanın viskozitesi arttıkça motorun 30 Hz'de titreşimini sürdürebilmesi için daha fazla akım çektiği sonucuna varılmıştır.

TABLO I. Mevcut Sistem Boşken Motorun Çektiği Akım Miktarı

SÜRE(dk)	PT100 YUKARI(°c)	PT 100 AŞAĞI(°c)	MİN AKIM(mA)	MAX AKIM(mA)
1	22	22	414	465
2	22	22	465	559
3	22	22	497	559
4	22	22	497	591
5	22	22	497	580
6	22	22	529	618
7	22	22	580	663
8	22	22	580	685
9	22	22	580	695
10	22	22	623	727
11	22	22	623	727
12	22	22	612	717
13	22	22	602	717
14	22	22	580	674
15	22	22	551	644
			548,6666667	641,4

TABLO II. Sistemin İçine Su Eklendiğinde Motorun Çektiği Akım Değerleri

SÜRE(dk)	PT100 YUKARI(°c)	PT 100 AŞAĞI(°c)	MİN AKIM(mA)	MAX AKIM(mA)
1	21	21	580	623
2	21	21	591	653
3	21	21	591	663
4	21	21	623	695
5	21	21	623	727
6	21	21	644	727
7	21	21	653	757
8	21	21	674	778
9	21	21	706	810
10	21	21	727	810
11	21	21	706	778
12	21	21	695	768
13	21	21	663	757
14	21	21	653	727
15	21	21	634	706
			650,8666667	731,9333333

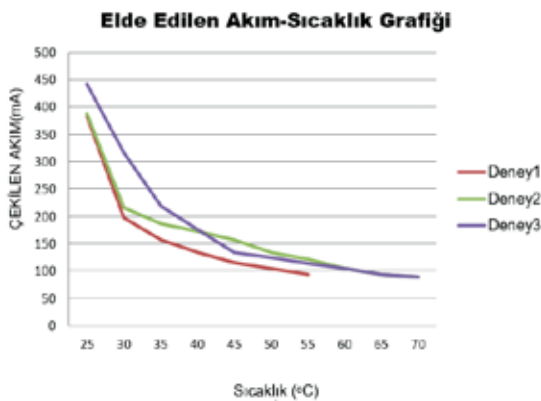


TABLO III. Sistemin İçine Gliserol Eklendiğinde Motorun Çektiği Akım Değerleri

SÜRE(dk)	PT100 YUKARI(°C)	PT 100 AŞAĞI(°C)	MIN AKIM(mA)	MAX AKIM(mA)
1	21	21	800	851
2	21	21	861	914
3	21	21	955	1038
4	21	21	997	1070
5	21	21	1038	1131
6	21	21	1070	1163
7	21	21	1081	1195
8	21	21	1110	1163
9	21	21	1121	1204
10	21	21	1153	1257
11	21	21	1091	1185
12	21	21	1121	1195
13	21	21	1121	1195
14	21	21	1142	1225
15	21	21	1110	1153
			1051,4	1129,266667

Sıvılarda sıcaklığın artmasıyla moleküller arasındaki boşluklar da artacağından akışkanlıkların artması, dolayısıyla viskozitelerinin düşmesi beklenmektedir. Böylelikle sıvı içerisindeki motorun 30 Hz'lik sabit frekansta dönebilmesi için harcadığı güç ve buna bağlı çektiği akım azalacaktır. Sıcaklığa bağlı olarak akım değerinin düştüğünü gözlemlemek amacıyla sistem gliserol ile doldurularak birbirini tekrarlayan 3 deney yapılmıştır. 70°C'den sonra gliserolun viskozitesi çok düşmektedir ve sistemin algılayamayacağı bir seviyeye ulaşmaktadır. Bu nedenle oda sıcaklığından 70 °C 'ye kadar olan sıcaklıklardaki ölçümler kaydedilmiştir. Eş zamanlı olarak her bir sıcaklık sensörünün okuduğu değere bakarak sıcaklığın homojen dağılıma sahip olup olmadığına bakılmıştır. Sıcaklık değerlerinin dış kabinde ayarlanan değerle eşit olduğu anda ölçümler alınmıştır.

Yapılan her 3 deneyde de motorun çektiği akımın sıcaklık arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir ve sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Böylelikle motorun sıvının akışkanlığına bağlı sabit bir frekansta dönmesi için çektiği akım ve sıcaklığın buna etkisi ispatlanmıştır. Elde edilen akım değerleri ile mikroişlemci üzerinde denklem 1 hesaplatılarak viskozite değeri elde edilebilir. Denklemde yer alan a, b, c katsayıları sıvıların türüne göre farklılık gösterir ve deneylerin tekrarlanmasıyla optimal değerleri belirlenebilir.



Şekil 7. Sistem Gliserol ile doluyken elde edilen Akım- Sıcaklık Grafikleri

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma ile mevcut vibrasyonel viskozimetri sistemlerinden farklı olarak, daha düşük maliyetli, sıcaklığın viskoziteye etkisini minimuma indirmek amacıyla birçok noktadan sıcaklık kontrolü sağlayan vibrasyonel viskozimetri tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem elektronik, elektronik yazılım ve mekanik tasarımlardan oluşmaktadır.

Sistem boşken ve farklı viskozitelere sahip olan su ve gliserol ile doluyken motorun 30 Hz'lik sabit frekansta çalışması için çektiği akım değerleri ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Böylelikle viskozite ile çekilen akım değeri arasındaki ilişki ispatlanmıştır. Akım değeri ile viskozite değerinin literatürde yer alan Denklem 1 ile hesaplanabileceği ortaya çıkmıştır. Bu denklemde yer alan a,b,c parametreleri sıvıdan sıvıya değişmektedir.

Gelecek çalışmalarda, farklı akışkanlar için geliştirilen viskozimetre sisteminde ölçümler alınarak optimal a, b, c değerlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Elektronik tasarımda elde edilen akım değerleri mikroişlemciye işlenmekteydi. Mikroişlemci yerine Arduino kullanımıyla IoT vasıtasıyla ölçümlerin uzaktan takibi sağlanabilir.

Sistem başta diyaliz sistemleri olmak üzere biyomedikal uygulamalar için tasarlanmıştır. Gelecek çalışmalarda kullanım alanının genişletilmesi hedeflenmektedir. Bunlara örnek olarak kalp akciğer makinası verilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Viscosity, Wikipedia Free Encyclopedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>, Son erişim tarihi: 10.09.2018
- [2] Viswanath D.S., Ghosh T.K., Prasad D.H., Dutt N.V., Rani K.Y. (2007) VISCOMETERS. In: Viscosity of Liquids. Springer, Dordrecht
- [3] A&D Company Limited Naoto Izumo Physical Quantity Measured by a Vibrational Viscometer R&D Division
- [4] Akpek, A. & Youn, C. & Kagawa, T. (8,2014). A Study on Vibrational Viscometers Considering Temperature Distribution Effect
- [5] Dormandy JA. Clinical significance of blood viscosity. Annals of The Royal College of Surgeons of England. 1970;47(4):211-228.
- [6] What is the medical application of viscosity?, <https://www.quora.com/What-is-the-medical-application-of-viscosity>, Son Erişim Tarihi: 10.09.2018
- [7] A&D Company Limited, SV10 Sine Wave Vibro Viscometer New Viscosity Measurement Instrument
- [8] PIC16F877A Datasheet