

TASARIM VE UYGULAMASI YAPILAN BİR ULTRASONİK AKIŞ ÖLÇERİN KALİBRASYONU

İres İSKENDER, Emre ERTAŞ ve Naci GENÇ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06750, Ankara

iresis@gazi.edu.tr, ertasemre@yahoo.com, nacigenc@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 13.10.2006; Kabul/Accepted: 03.05.2007)

ÖZET

Bu makalede, tasarım ve uygulaması yapılan ultrasonik olarak adlandırılan yüksek frekanslı ses dalgaları teknolojisine dayalı bir akış ölçerin farklı akış değerlerinde deneysel çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlardan yararlanarak bahsi geçen akış ölçerin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Akış ölçümü için geçiş-zamanı yöntemi esas alınmıştır. Akış ölçerin kalibrasyonu için yirmi farklı debi değerinde deneysel çalışma yapılmış ve ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki farklar gözlenmiştir. Daha sonra bu farklılığı gidermek için (akış ölçerin kalibrasyonu) iki farklı kalibrasyon yöntemi olarak “doğru–denklemler” ve “yapay-sinir-ağı” yöntemleri geliştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak bahsi geçen iki yöntem karşılaştırılıp akış ölçerin doğruluk derecesi üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Uygulanan bu iki yöntemden “yapay-sinir-ağı” yönteminin doğruluk derecesi diğer yönteminkine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akış ölçer, kalibrasyon, ölçüm doğruluğu.

CALIBRATION OF A DESIGNED AND IMPLEMENTED ULTRASONIC FLOW METER

ABSTRACT

In this paper, the experimental studies of different flow density values have been carried on a designed and implemented flow meter being known as ultrasound working based on high frequency sound wave technology. The calibration of the flow meter has been realized using the results obtained from the study. The transit-time method has been used as the basis of the flow measure. For calibration of the flow meter, the experimental study has been carried on twenty different flow densities and the differences between the measured and the exact values have been observed. Then, to minimize these differences, two different calibration methods being ‘linear-equation’ and ‘artificial-neural-network’ methods have been developed and the results have been obtained. Using the results, the two mentioned methods have been compared and those effects on the accuracy of the flow meter have been discussed. It has been shown that between these two methods the accuracy of the ‘neural-network’ method is higher than that of the ‘linear-equation’ method.

Keywords: Flow meter, calibration, measurement accuracy.

1. GİRİŞ

Endüstrinin birçok alanında farklı amaçlarda kullanılan ve çeşitli avantajları nedeniyle kullanımı giderek yaygınlaşan ses ötesi akış ölçerler ilk kez 1940’lı yıllarda hacimsel akışı ölçmek için geliştirilmiştir. Basit mekanik yapıları, düşük basınç kayıpları, kolay kurulum, düşük maliyet, içerisinde hareketli mekanik aksam bulundurmamaları ve yüksek doğruluk ses-ötesi akış ölçerlerin başlıca avantajlarıdır. Kurulum etkilerine ve diğer hata

kaynaklarına karşı duyarlı olmaları ise dezavantajlarıdır [1], [2], [7].

Birçok akış ölçer her hangi bir alana monte edildiğinde, kalibre edildiği ve hatalarının telafi edildiği alandaki doğruluklarından farklı davranabilirler [3]. Bu durum ses-ötesi akış ölçerler için de geçerlidir. Çünkü ses-ötesi akış ölçerler kurulum etkilerine karşı çok duyarlıdır. Kurulum etkileri statik ve ya dinamik olabilir [4]. Kompresör, pompa ya da valf gibi akış kaynaklarının yarattığı

vuruntulu akışlar dinamik kurulum etkenleridir. Akış ölçerin monte edildiği borulardaki çap daralmaları, bükümler, boru eklemleri ve özellikle kalorimetrelerde kullanılan ısı-çiftleri (thermocouple) akış profilini etkileyen statik etkenlerdir [4], [5]. Bu etkileri azaltmak için akış-ölçerler genel olarak uzun düz bir borunun ortasına monte edilir veya akış düzenleyici mekanik aksamlar kullanılır.



Şekil 1. Tasarım ve uygulaması yapılan ultrasonik akış ölçer

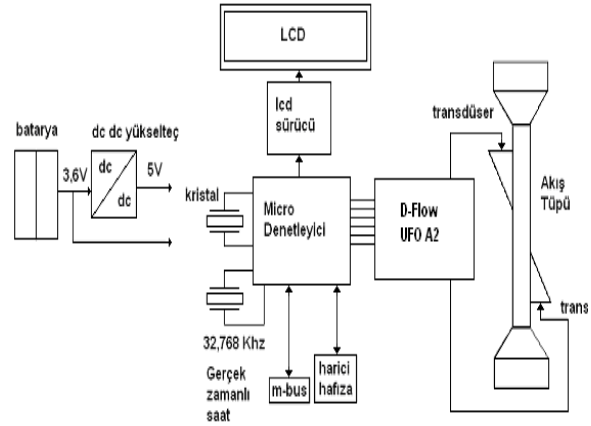
Farklı kaynaklar ses-ötesi akış ölçerde hatalara neden olabilirler. Bunlar, gömülü elektronik deki elektromanyetik bozulmalar, transdüserlerin kirli yada bozuk olması, farklı sıvı özellikleri (sıcaklık, basınç, yoğunluk, viskozite vs.) olarak sıralanabilir.

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, bir akış ölçerin ölçtüğü değer ile gerçek değeri arasında farklılıklar oluşur. Bu nedenle akış ölçerler mutlaka uygun bir yöntem ile kalibre edilmelidirler. Bu çalışmada, yirmi farklı debi değeri için ölçümler alınmış ve kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Elde edilen bu kalibrasyon eğrisine, öncelikle basit oluşu nedeniyle doğru-denkleme yöntemi ve daha sonra ise yapay-sinir-ağı yöntemi uygulanmıştır. Bu iki farklı yöntemin akış ölçer üzerindeki etkileri sonuç kısmında ele alınmıştır.

Ses-ötesi akış ölçerlerde akış ölçümü için birkaç yöntem uygulanabilir. Doppler tekniği, geçiş-zamanı tekniği, çapraz bağlantı, darbe tekrarlanma tekniği, faz kayması tekniği bu yöntemler arasındadır. Bu yöntemler arasında temel olarak geçiş-zamanı, doppler ve çapraz bağlantı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Tipik olarak geçiş-zamanı yönteminin doppler yönteminden daha az hatalı olduğu bilinmektedir [8]. Bu nedenle, çalışmada geçiş-zamanı yöntemi kullanılmıştır.

2. YÖNTEM

Şekil 1’de gösterilen akış ölçerin bileşenlerinin blok şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan akış ölçerin blok diyagramı

3,6 V D boyutlu lityum pil ile beslenen devrede, 5 V gerilim gerektiren kısımlar için ise sürücü transistör ihtiva eden ve düşük güç tüketimli torex 9111c dc/dc çevirici kullanılmıştır. Düşük güç tüketimleri nedeniyle cam LCD ve Holtek HT16220 LCD sürücüsü tercih edilmiştir.

Elektronik bir akış ölçerin önemli bir özelliği çok değişkenli olması ve bu değişkenlerin elektronik ortamda rahatlıkla okunulabilmesidir. M-bus arabirimi otomatik okuma için kullanılmıştır. Tüketim bilgileri, geçmişe ait okuma bilgileri, akış ölçeri tanımlayan bilgiler, kalibrasyon tablosu vs. gibi bilgilerin kalıcı olarak tutulması için 24LC128 seri EEPROM kullanılmıştır.

Hedeflenen pil ömrü için nanowatt teknoloji adı altında üretilen PIC18f4520 kullanılmıştır. Bu Mikrodenetleyici 40 MHz’e kadar çalışma frekansına çıkabilmektedir. Mikrodenetleyici bu çalışma frekansında saniyede 10 milyon talimatı gerçekleştirebilmektedir. PIC18f4520 2-5 V arasında çalışma gerilimine sahip olup 8X8 donanım çarpma modülü içermektedir. Timer1 birimine harici düşük güçlü 32,768 KHz’lik kristal bağlanarak gerçek zamanlı saat olarak çalıştırılabilmektedir.

Sistemde etrafa çınlama döngüsü (sing around loop) yöntemine uygun hazırlanmış piezo tabanlı 4 MHz lik transdüserler kullanılmıştır. 4 MHz gibi yüksek frekansta çalışması, zaman çözünürlüğünü arttırmaktadır[8]. Dış kaplaması termoplastik malzemeden yapılmıştır. Bu sayede her türlü çevre şartlarında çalışma performansını korumaktadır.

Bu çalışmada zaman çeviriciler (TDC) olarak, düşük güçlü ultrasonik akış ölçer prototipinde, seviye, hız ve

$$c = \frac{1}{\sqrt{(\rho\beta_{ad})}} \quad (1)$$

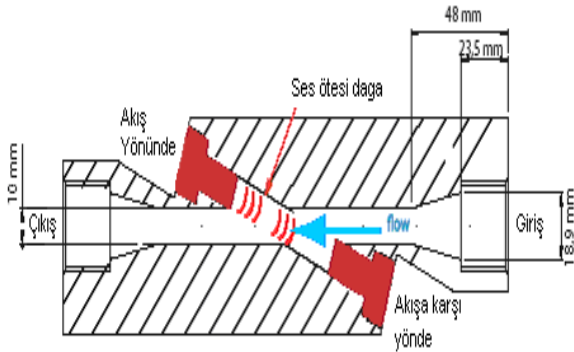
c : Ses ötesi dalganın ortamdaki hızı

ρ : Ortamın yoğunluğu

β_{ad} : Ortamın elastiklik katsayısı

2.2. Geçiş-Zamanı Yöntemi ile Akış Oranının Ölçülmesi

Şekil 6, tasarımı yapılan akış ölçerde kullanılan çapraz biçimli tüp yapısını ve iki adet ses yansıtıcının yerleşimini göstermektedir. Ölçüm, karşılıklı monte edilmiş transdüserler üzerinden sırası ile ses darbelerinin gönderilmesiyle yapılır. Her üreteç hem alıcı hem de verici olarak çalışabilir.



Şekil 6. Çapraz biçimli bir tüp yapısı

Akış ölçümü, akış yönünde gönderilen ses darbelerinin iletim zamanının, akış yönünün tersi yönde gönderilen ses darbelerinden daha kısa zamanda iletilmesi esasına dayanır. Bu, geçiş-zamanı yönteminin temelini oluşturur. Akış yönünde gönderilen ses darbelerinin iletim süresi “akış yönünde geçiş-zamanı”, akış yönünün tersi yönde gönderilen ses darbelerinin iletim süresi ise “ters akış yönünde geçiş-zamanı” olarak adlandırılır. “akış yönünde geçiş-zamanı” ile “ters akış yönünde geçiş-zamanı” arasındaki fark akışkanın debisinin bir göstergesidir. Eğer akışkanın debisi artarsa geçiş zamanları arasındaki fark artar, akışkanın debisi azalır ise aradaki fark azalır. Akışkanın debisinin hesaplanmasında kullanılan parametreler ve ilgili denklemler aşağıda verilmektedir.

t_1 : Akış yönünde geçiş-zamanı

t_2 : Ters akış yönünde geçiş-zamanı

V_m : Akışkan hızı

c : Akışkan içerisindeki ses hızı

L : Üreteçler arası mesafenin yatay eksen bileşeni

A : Akışkanın geçtiği tüpün kesiti

k : Kalibrasyon katsayısı

D : Akışkanın debisi

t_1^0 : Sıfır akış anında ölçülen t_1 değeri

t_2^0 : Sıfır akış anında ölçülen t_2 değeri

Ort_{kal} : Kalibrasyon esnasında t_1 ve t_2 zamanlarının aritmetik ortalaması

skg : Sıfır kalibrasyon gecikmesi

shg : Ses hızının gecikmesi.

$$t_1 = \frac{L}{c + V_m} \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{L}{c - V_m} \quad (3)$$

Denklem 2 ve 3 den, akışkanın debisi,

$$c = \frac{L - t_1 V_m}{t_1} = \frac{L + t_2 V_m}{t_2} \quad (4)$$

$$L t_2 - t_1 t_2 V_m = L t_1 + t_1 t_2 V_m \quad (5)$$

$$L(t_2 - t_1) = 2 t_1 t_2 V_m \quad (6)$$

$$V_m = \frac{L(t_2 - t_1)}{2 t_2 t_1} \quad (7)$$

$$V_m = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (8)$$

$$D = A V_m \quad (9)$$

$$D = A \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (10)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Akış ölçer sayacın üzerinde kullanılan transdüserler ve elektronik bileşenlerin karakteristik farklılıklarından dolayı sıfır akış anında ölçülen t_1 ve t_2 zamanları arasında bir fark vardır. Bu fark, sıfır akış anında akış ölçerin bir akış değeri ölçmemesi için dengelenmelidir. Akış yok iken ölçülen zamanlar arasındaki fark sıfır kalibrasyon gecikmesi olarak adlandırılır.

$$skg = t_1^0 - t_2^0 \quad (11)$$

Elektronik bileşenlerde zaman içinde oluşacak karakteristik değişimleri ve akışkan sıcaklığından kaynaklanan ses-ötesi dalgasının hızının değişiminden oluşacak hataları önlemek için yeni bir parametre (shg) tanımlanmıştır. Bu parametre, ölçüm esnasında t_1 ve t_2 zamanlarının aritmetik ortalaması ile kalibrasyon esnasında alınan aritmetik ortalamanın farkını gösterir. t_1 ve t_2 zamanlarının aritmetik ortalaması akışkanın debisinden bağımsızdır.

$$Ort_{kal} = \frac{t_{1(kal)} + t_{2(kal)}}{2} \quad (12)$$

$$shg = \frac{t_1 + t_2}{2} - Ort_{kal} \quad (13)$$

$$D = A \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1 - shg - skg} - \frac{1}{t_2 - shg} \right) \quad (14)$$

$$k = \frac{D_{gerçek}}{D_{ölçülen}} \quad (15)$$

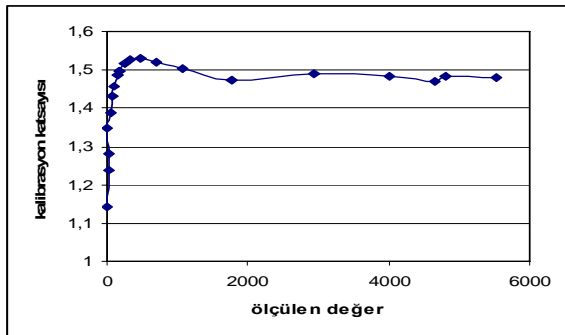
$$D_{gerçek} = kD \quad (16)$$

olarak düzenlenebilir.

Akan suyun debisi teorik olarak yukarıda verilen denklemler vasıtasıyla ölçülmesine rağmen, gerçek değer ile ölçülen değer arasında yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı bir fark vardır. Bu nedenler dikkate alınarak, yukarıdaki denklemler vasıtasıyla ölçülen bu değer kalibre edilmelidir. Bu nedenle, k olarak belirtilen kalibrasyon katsayısı hesaplanarak yukarıdaki denklemlere uygulanmalıdır.

2.3. Kalibrasyon Eğrisinin Oluşturulması

Akış ölçerin kalibrasyon eğrisinin oluşturulması için yirmi farklı değerde ölçümler alınmış ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda, akış ölçerin kalibrasyonsuz ölçülen debi bilgisine karşılık bu noktaların gerçek debi değerleri ve k , kalibrasyon katsayısı verilmiştir.



Şekil 7. Kalibrasyon eğrisi

Şekil 7'de ölçülen kalibrasyonsuz akış oranı değerlerine karşılık kalibrasyon katsayılarının değişimini gösteren eğri verilmektedir.

Tablo 1. Kalibrasyon tablosu

GERÇEK(lt/h)	ÖLÇÜLEN(lt/h)	k
12,1	10,6	1,1415094
30	24,2	1,2396694
41,3	32,2	1,2826087
50,1	37,2	1,3467742
76,8	55,4	1,3862816
100,2	70	1,4314286
150,4	103,2	1,4573643
208,2	140	1,4871429
250,3	167,3	1,4961148
363,3	239,3	1,518178
506,8	331,7	1,5278866
727,3	475	1,5311579
1048,7	689,1	1,5218401
1597	1062,4	1,5032003
2590	1757,9	1,4733489
4384	2937,9	1,4922223
5961	4017	1,4839432
6870	4667	1,4720377
7130	4807	1,4832536
8200	5535	1,4814815

2.3.1. Doğru-denklemler yöntemi ile akış ölçerin kalibrasyonu

Akış ölçerin ölçtüğü değer ile gerçek değer arasındaki farkı gidermek için iki noktadan geçen doğru denklemi yöntemi kullanılarak genel bir kalibrasyon eğrisi elde edilir.

İki noktadan geçen doğru denklemi;

$$y = m(x - x_0) + y_0 \quad (17)$$

$$m = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (18)$$

olarak tanımlanır ve burada m , doğrunun eğimini ifade eder.

Tablo 1 deki kalibrasyon sütununun ilk iki noktası için kalibrasyon eğrisini kullanırsak;

$$k_0 = \frac{\text{ölçülen}_0}{\text{gerçek}_0} = \frac{12,1}{10,6} = 1,141509 \quad (19)$$

$$k_1 = \frac{\text{ölçülen}_1}{\text{gerçek}_1} = \frac{30}{24,2} = 1,239669 \quad (20)$$

ölçülen₀ ve ölçülen₁ aralığı için katsayıyı tanımlayan doğru denklemi aşağıda verilen yöntemle elde edilir;

$$k = \frac{k_1 - k_0}{\text{ölç}_1 - \text{ölç}_0} (\text{ölçülen} - \text{ölçülen}_0) + k_0 \quad (21)$$

$$k = \frac{1,239669 - 1,141509}{24,2 - 10,6} (\text{ölçülen} - 10,6) + 1,141509 \quad (22)$$

$$k = 0,00722 \times \text{ölçülen} + 1,065 \quad (23)$$

Diğer ölçüm noktaları için de kalibrasyon katsayısı aynı şekilde hesaplanır ve genel bir kalibrasyon eğrisi (Şekil 7) elde edilir. Örnek olarak, 15,2 lt/h ölçülen değer için gerçek debi değerini bulmak istersek;

$$k = 0,00722 \times 15,2 + 1,065 = 1,174744$$

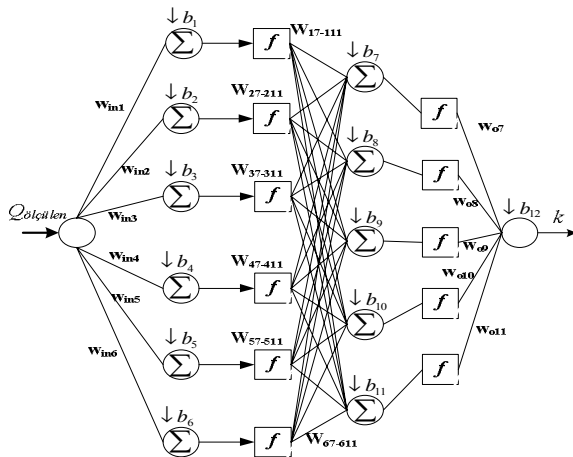
$$D_{\text{gerçek}} = k \times \text{ölçülen} = 1,174744 \times 15,2$$

$$D_{\text{gerçek}} = 17,85 \text{ lt/h}$$

olarak bulunur. Bu yöntem basit olduğu için kullanışlı olabilir fakat ölçülen iki noktayı doğrusal olarak kabul ettiği için sonucu istenilen düzeyde hassas olmayabilir. Ayrıca, denklem (23)'de elde edilen ifade bütün noktalar arası için ayrı ayrı elde edilerek akış ölçerin işlemcisine yüklenmelidir. Bu nedenle, bu yöntem ile akış ölçer için genel bir ifade elde edilemiyor.

2.3.2. Yapay-sinir-ağı yöntemi ile akış ölçerin kalibrasyonu

Çalışmanın bu bölümünde, akış ölçerin ölçülen değeri ile kalibrasyon katsayısı (k) arasında genel bir ifade üretmek için alternatif olarak yapay-sinir-ağı yöntemi kullanılmıştır. Bu nedenle, tek-girişli ve tek-çıkışlı yapay sinir ağı modeli önerilmiştir. Önerilen yapay-sinir-ağı modelinin giriş ve çıkışı sırasıyla, ölçülen değer (kalibre edilmeden elde edilen değer) ve kalibrasyon katsayısı (k) dir. Kalibrasyonda kullanılan



Şekil 8. Yapay-sinir-ağı modeli yapay-sinir-ağı modeli şekil 8'de verilmektedir.

Yapay-sinir-ağı, doğrusal olmayan bir düzenin tanımlanması için kullanılır. Belirli bir sinyale ait bilgi kümesinde, arzu edilen çıkışı elde etmek için yapay-sinir-ağı eğitilir. Bu, giriş ve çıkışın uygun

ağırlıklar seçilerek eşleştirilmesi yöntemi ile yapılır. Başlangıçta, yapay-sinir-ağı eğitilmemiş durumda ve ağırlıklar rast gele atanır. Bu nedenle, başlangıçta istenen çıkış elde edilemez. Gerçek çıkış değerleri ile istenilen çıkış değerleri karşılaştırılarak, eşleştirme için uygun ağırlıklar bir algoritma şeklinde atanabilir. Bu şekilde eşleştirme düzeni oluşturulmuş olur. Bu durumda, gerçek ile istenilen düzen arasındaki hata çok küçük olur. Yapay-sinir-ağı eğitiminin doğruluk derecesi, giriş-çıkış örnek düzeninin sayısına bağlı olduğundan eğitimin geniş bir giriş-çıkış örnek düzeninde devam ettirilmesi gerekir [9], [10].

Yapay-sinir-ağı hem 'on-line' (gerçek zamanda) hem de 'batch-learning' olarak eğitebilir. On-line yöntemde, her bir giriş için bir sonraki giriş gelmeden ağırlıklar güncellenir. İkinci yöntemde ise daha önceden elde edilmiş verilere göre ağırlıklar güncellenir. Bu yöntemde, bütün veri düzenleri toplanır ve ağırlıklar minimize edilmiş toplam hata fonksiyonuna göre güncellenir. On-line veya batch-learning algoritması yönteminin uygulaması problemin yapısına bağlıdır. Bu iki yöntem arasındaki bazı farklılıklar şu şekilde özetlenebilir [9];

1-Yapay sinir ağının eğitimi başlamadan önce gerekli veriler mevcut değilse yada eğitim örnekleri çok geniş ise on-line yöntemi tercih edilir.

2-Yüksek doğruluk gerektiren durumlarda 'Batch-Learning' algoritması yönteminin kullanılması daha uygun olur.

Bu çalışmada, yüksek doğruluk derecesinden dolayı 'Batch-Learning' algoritması yöntemi tercih edilmiştir. Normalde, eğitim bilgisayar programı yardımıyla 'Batch-Learning' olarak yapılır. Eğitimin sonunda, yapay-sinir-ağı eğitilmiş olup çıkış verilerini anımsadığı gibi eğitilmemiş çıkış verilerini de anımsayabilir.

Şekil 8'de önerilen yapay-sinir-ağı modelinde yer alan f fonksiyonu sigmoid sınırlayıcı fonksiyonudur ve matematiksel olarak denklem (24) ile ifade edilir.

$$Y = \tanh(u) \text{ veya } Y = \frac{1 - e^{-2ux}}{1 + e^{-2ux}} \quad (24)$$

burada u , pozitif bir sabittir. Şekil 9 sigmoid bir fonksiyonun eğrisini göstermektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 60 mm yatay eksen ses üreteç mesafesi, 19 mm iç çapı ve 25 mm giriş çapında çapraz biçimli tüp modeline sahip bir akış ölçer tasarlanarak imal edilmiştir. Tasarlanan bu akış ölçer ISO4064-1 standardına uyması gerekmektedir [11]. Bu standarda göre hedeflenen maksimum debi ve hassasiyet sınıfı aşağıdaki gibi dikkate alınır; Örneğin

maksimum debi 7000 lt/h ve hassasiyet sınıfı R=160 olarak hedeflenmiş ise;

$$Q_4 = 7000 \text{ lt/h ;}$$

$$Q_3 = Q_4 / 1.25 = 5600 \text{ lt/h}$$

olarak belirlenir. Hedeflenen minimum debi oranları, Q1 ve Q2 ise;

$$Q_1 = Q_3 / 160 = 35 \text{ lt/h ;}$$

$$Q_2 = Q_1 \times 1,6 = 56 \text{ lt/h}$$

şeklinde hesaplanır. Maksimum izin verilebilir hatalar; Q1-Q2 debileri arasında $\pm 5\%$ ve Q2-Q4 arasında ise $\pm 2\%$ dir.

Yukarıda verilen ve ISO4064-1 standardında yer alan Q değerleri için gerekli kalibrasyon katsayısı, bölüm 3.3.1.'de anlatılan yöntemle bulunmuştur. Çalışmada, öncelikle yukarıda bahsedilen debi değerleri ve bazı ara değerler için ölçümler yapılmıştır. Daha sonra bu ölçümler sonucunda elde edilen kalibrasyon katsayıları yapay-sinir-ağı yöntemi ile eğitilerek sonuçlar tekrar gözlenmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar ilgili tablolarda aktarılmıştır (Tablo 2,3,4).

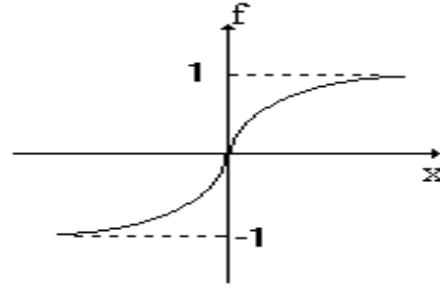
3.1. I. Yöntem (Doğru-denklemler)

Çalışmanın bu bölümünde, akış ölçerin ölçülen değeri ile gerçek değeri arasındaki farkı minimize etmek için kullanılan kalibrasyon katsayısı bölüm 3.3.1.'de aktarılan doğru-denklemler yöntemi ile elde edilmiştir.

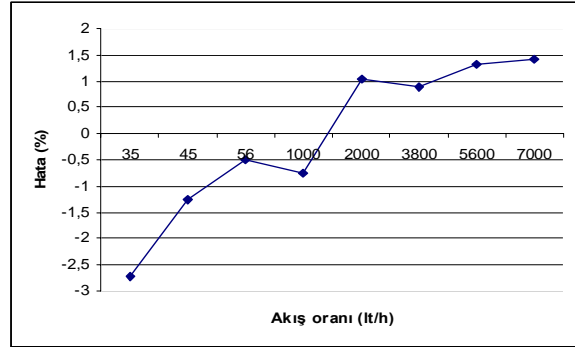
Tablo 2. I. yöntem ile elde edilen ölçüm sonuçları

Q (lt/h) gerçek	Q (lt/h) ölçülen	k	Akış ölçer hatası $E_m(\%)$	En büyük müsaade edilen hata (%)
35	34,04	1,258	-2,72	± 5
45	44,43	1,307	-1,25	± 5
56	55,73	1,358	-0,50	± 2
1000	992,57	1,52	-0,74	± 2
2000	2020,5	1,48	1,03	± 2
3800	3831,6	1,49	0,89	± 2
5600	5669,9	1,485	1,33	± 2
7000	7102,6	1,482	1,43	± 2

Bu yöntem ile elde edilen ve şekil 7'de gösterilen kalibrasyon eğrisine sahip sayacın deneysel çalışmaları 20 °C referans su sıcaklığında yapılmıştır. İlgili sonuçları Tablo 2'de verilen bu yöntemin akış oranı-hata miktarı grafiği Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Sigmoid sınırlayıcı fonksiyonu

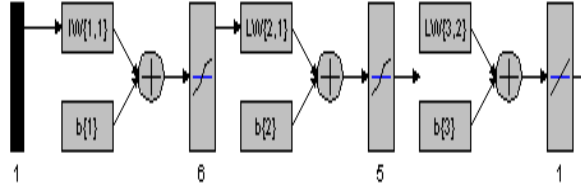


Şekil 10. I. Yönteme ait hata grafiği

3.2. II. Yöntem (Yapay-sinir-ağı)

Bu yöntemde ölçülen değer ve kalibrasyon katsayısı arasındaki ilişki yapay-sinir-ağı kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre birinci katmanda 6 ve ikinci katmanda 5 nöron içeren iki katmanlı bir yapay-sinir-ağının yapısı uygun görülmüştür (Şekil 8). Önerilen modelin girişi kalibrasyondan önce elde edilen ölçüm değeri ve çıkışı ise kalibrasyon katsayısıdır. Modelin eğitilme işlemi Matlab/Simulink programında 'Batch-Learning' algoritması kullanılarak yapılmıştır (Şekil 11).

Modelin eğitiminden elde edilen ve Tablo 3'te verilen ağırlıklar (w) ile b katsayılarının değerleri akış ölçerin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Tablo 3'de verilen değerlere sahip yapay-sinir-ağı modeli ISO4064-1 standartlarında yer alan bazı debi değerlerine uygulanmış ve elde edilen eğitilmiş kalibrasyon katsayısı değerleri ile hata oranları Tablo 4'de verilmiştir. Şekil 12'de yapay-sinir-ağı modeli ile elde edilen kalibrasyon katsayısı ile akış yoğunluğu (debi) arasındaki ve Şekil 13'de ise bu yönteme ait akış oranı ile hata miktarı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



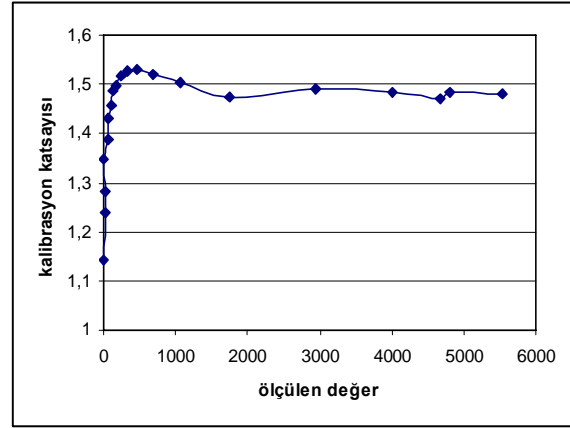
Şekil 11. Önerilen modelin simülasyon blok diyagramı

Tablo 3. Ağırlık ve b katsayı değerleri

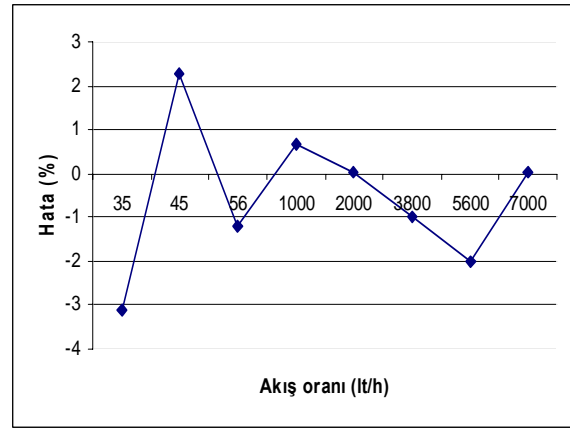
w_{in1}	w_{in2}	w_{in3}	w_{in4}	w_{in5}	w_{in6}
21,22	21,42	-21,4	21,21	20,34	-46,6
w_{1-7}	w_{1-8}	w_{1-9}	w_{1-10}	w_{1-11}	
2,451	-1,06	2,034	0,577	0,431	
w_{2-7}	w_{2-8}	w_{2-9}	w_{2-10}	w_{2-11}	
-3,93	-1,38	-2,73	-0,24	0,324	
w_{3-7}	w_{3-8}	w_{3-9}	w_{3-10}	w_{3-11}	
-0,24	0,794	-0,17	0,277	-0,12	
w_{4-7}	w_{4-8}	w_{4-9}	w_{4-10}	w_{4-11}	
2,783	0,801	1,038	0,954	1,585	
w_{5-7}	w_{5-8}	w_{5-9}	w_{5-10}	w_{5-11}	
-2,44	0,902	3,275	1,414	-2,96	
w_{6-7}	w_{6-8}	w_{6-9}	w_{6-10}	w_{6-11}	
-3,44	-18,1	6,353	16,56	-10,2	
w_{o7}	w_{o8}	w_{o9}	w_{o10}	w_{o11}	
1,849	2,413	-3,07	-1,81	-6,41	
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
-17,0	-14,1	9,753	-1,78	-0,91	0,410
b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}
-5,13	1,494	0,999	0,354	2,087	1,708

Tablo 4. II. yöntem ile elde edilen ölçüm sonuçları

Q (lt/h) gerçek	Q (lt/h) ölçülen	k	Akış ölçer hatası E_m (%)	En büyük müsaade edilen hata (%)
35	33,032	1,156	-3,11	±5
45	45,528	1,359	2,3	±5
56	54,999	1,040	-1,22	±2
1000	999,02	1,532	0,65	±2
2000	2021,37	1,487	0,04	±2
3800	3793,9	1,473	-0,98	±2
5600	5556,3	1,416	-2,00	±2
7000	7105,88	1,482	0,043	±2



Şekil 12. II. Yöntemin kalibrasyon eğrisi



Şekil 13. II. Yönteme ait hata grafiği

5. SONUÇ

Akış ölçerlerde, ölçülen değer ile gerçek değer birbirine çok yakın olması uygulanan kalibrasyona bağlıdır. Bu çalışmada, iki farklı kalibrasyon yöntemi uygulanmış ve sonuçlar ilgili tablo ve grafiklerle aktarılmıştır. Akış ölçerin hata oranlarına bakıldığında, genel olarak her iki yöntemde de tasarlanan akış ölçer ISO4064-1 standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Kalibrasyon için uygulanan yöntemlerden, I. yöntem (doğru-denklemler) II. yöntem (yapay-sinir-ağı) nazaran daha basittir. Fakat I. yöntemde iki nokta arasının lineer kabul edilmesi, bu yöntemin temel dezavantajıdır. I. yöntemin bu dezavantajını azaltmak için örnek ölçüm sayısını arttırmak gerekir. Böylece iki nokta arası küçüleceği için hata oranı da azaltılmış olur. Ayrıca bu yöntem ile elde edilen ifade sadece iki nokta arası için geçerlidir. Bu nedenle, farklı nokta aralıkları için ayrı ayrı uygulanmalıdır. Bu da, genel bir kalibrasyon ifadesinin elde edilmesini engeller.

II. yöntemde kalibrasyon öncesi ölçülen debi değeri ile kalibrasyon katsayısı arasındaki ilişki yapay-sinir-ağı yöntemiyle elde edilir. Bu yöntem nonlineer bir yöntem olduğundan nonlineer bir sistemin ifade edilmesinde birinci yöntem göre daha avantajlıdır.

Ayrıca, bu yöntemde giriş ve çıkış arasındaki ilişki tek bir matematiksel ifade ile açıklandığında da birinci yönteme göre avantajlıdır.

Çalışmalarda elde edilen sonuçlar her iki kalibrasyon yönteminde de akış ölçerin ISO4064-1 standartlarına uyduğu görülmektedir. Yapay-sinir-ağı yönteminin yüksek debi değerlerinde daha hassas olduğu görülmektedir.

Ses-ötesi akış ölçerlerde akış hızının sesin iletim süresine olan etkisi dikkate alınırsa, özellikle düşük akış oranlarında “akış yönünde geçiş zamanı” ile “ters akış yönünde geçiş zamanı” arasındaki fark oldukça küçüktür. Bu nedenle geçiş zamanlarının hassas bir şekilde ölçülmesi çok önemlidir. Kararlı ve doğru ölçüm için gömülü elektronik her türlü elektromanyetik bozulmalara karşı korunmalıdır. Ortam sıcaklığın değişimi kristallerde ve devre elemanlarında da karakteristik değişimlerine neden olabilir. Bu nedenle devrede kullanılacak elemanlarının karakteristikleri sıcaklığa karşı çok dayanıklı olması gerekir.

KAYNAKLAR

- Dick, J., **Measuring process fluid flow: an exacting task**, Control Eng., 59-65, 2005
- Moore, P.I., Piomelli, U., Johnson, A.N., Espina, P.I., “Simulations of Ultrasonic Transit Time in a Fully Developed Turbulent Flow using a Ray-Tracing Method”, **North Sea Flow Measurement Workshop**, 22– 25, 2002
- Berrebi, J., **Self-Diagnostic Techniques and Their Applications to Error Reduction for Ultrasonic Flow Measurement**, **Doktora tezi**, Luleå University of Technology Department of Computer Scnc. and Electrical Eng., Division of EISLAB, Luleå, 2004
- Berrebi, J., Martinson, P.E., Willatzen, M.Delsing, J., “Ultrasonic flow metering errors due to pulsating flow”, **Flow Measurement and Instrumentation**, 179–185, 2004
- Ruppel, C., Perters, F., “Effects of upstream installations on the reading”, **Flow Measurement and Instrumentation** , 167–177, 2004
- Godley, A., “Flow measurement in partially filled closed conduits”, **Flow Measurement and Instrumentation**, 197–201, 2002
- Weber, J.F., **Ultrasonic Beam Propagation in Turbulent Flow**, **Doktora tezi**, Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2003
- Yoder J., “New-technology flowmeters offer performance breakthroughs”, **Control Solutions**, 2002
- A. Cichooki, “**Neural Networks for Optimization and Signal Processing**”, John Willey and Sons, England 1993.
- Simon Haykin, “**Neural Networks**”, Macmillan Collage Publishing Company Inc., 1994.
- International Organization for Standardization (ISO). **Measurement of water flow in fully charged closed conduits -- Meters for cold potable water and hot water -- Part 1: Specifications : ISO 4064-1:2005**