

GEÇİŞ-ZAMANI ESASLI BİR ULTRASONİK AKIŞ ÖLÇERİN TASARIMI VE UYGULAMASI

İres İSKENDER ve Emre ERTAŞ

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

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

(Geliş/Received: 02.08.2006; Kabul/Accepted: 03.09.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, kalori-metrik akış ölçerlerde kullanımı giderek yaygınlaşan ultrasound ile adlandırılan yüksek frekanslı ses dalgaları teknolojisi, alışılmış akış ölçerler üzerinde denenmiştir. Akış ölçümü için geçiş-zamanı yöntemi esas alınmıştır. Çalışmada yüksek doğrulukta zaman ölçümü için sayısal zaman çevirici yongası ve PIC18F4520 mikro-denetleyici birlikte kullanılmıştır. Sistemde ayrıca, 4 MHz frekanslı iki ses-ötesi transdüser kullanılmıştır. Basit yapısı nedeniyle çapraz biçim tüp tercih edilmiştir. Çalışmada söz konusu akış ölçerin maruz kaldığı etkilere ve bu etkilerden dolayı oluşan ölçüm doğruluğu hatalarının deneysel sonuçlarına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akış ölçer, ses ötesi, ölçüm doğruluğu.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TRANSIT TIME BASED ULTRASONIC FLOW METER

ABSTRACT

In this study, the high frequency sound wave technology which is known as ultrasound and is becoming widely used in calorie-metric flow meters was experimented on the ordinary flow meters. The transit-time method has been considered as the basis of the flow measure. Digital time converter and the PIC18F4520 as a microcontroller were used to achieve a high accuracy time measurement in this study. In addition, two 4 MHz ultrasound transducers were used in the system. A diagonal type tube was used due to its simple construction. The effects that the flow meter is exposed to and the experimental results accuracy errors obtained from these effects are studied in this paper.

Keywords: Flow meter, ultrasound, measurement accuracy.

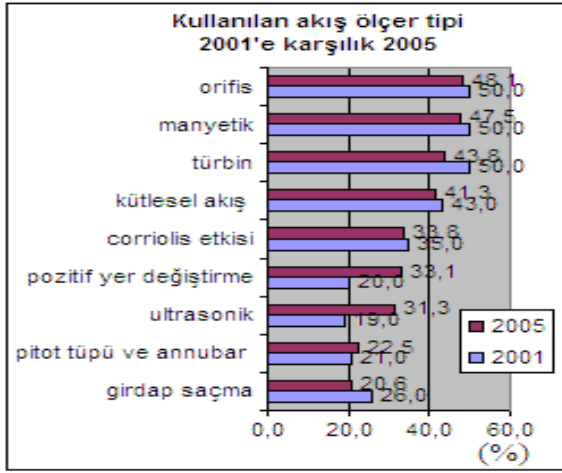
1. GİRİŞ

Günümüzde akış ölçerler, endüstrinin birçok alanında farklı amaçlara hizmet etmektedir. Bu alanda çeşitli avantajları nedeniyle ses-ötesi akış ölçerlerin kullanımı giderek artmakta ve gelişimi devam etmektedir. Ses-ötesi akış ölçerler 1940'lı yıllarda ilk kez hacimsel akışı ölçmek için geliştirilmiştir [1], [2].

Basit mekanik yapıları, düşük basınç kayıpları, kolay kurulum, düşük maliyet, içerisinde hareketli mekanik aksam bulundurmamaları, yaşlanma ve yıpranma etkilerinin az olması, yüksek doğruluk, ses-ötesi akış ölçerlerin avantajlarıdır. Kurulum etkilerine ve diğer

hata kaynaklarına karşı duyarlı olmaları dezavantajlarıdır. Şekil 1, 2001 ve 2005 yılları arasında farklı akış ölçer tiplerinin kullanım yüzdelerindeki değişimleri göstermektedir [3]. Şekilde 1'de görüldüğü gibi ses-ötesi akış ölçerlerdeki artış diğer akış ölçerlere oranla oldukça yüksektir.

Birçok akış ölçer her hangi bir alana monte edildiğinde, kalibre edildiği ve hatalarının telafi edildiği alandaki doğruluklarından farklı davranabilirler [4]. Bu durum ses-ötesi akış ölçerler için de geçerlidir. Çünkü ses-ötesi akış ölçerler kurulum etkilerine karşı çok duyarlıdır.



Şekil 1. 2001 ve 2005 yılları arasında farklı akış ölçer tiplerinin kullanım yüzdeleri [3]

Kurulum etkileri statik veya dinamik olabilir [5]. Kompresör, pompa ya da valf gibi akış kaynaklarının yarattığı vuruntulu akışlar dinamik kurulum etmenleridir. Akış ölçerin monte edildiği borulardaki çap daralmaları, bükümler, boru eklemleri ve özellikle kalorimetrelerde kullanılan ısı-çiftleri (thermocouple) akış profilini etkileyen statik etmenlerdir [5], [6]. Bu etkileri azaltmak için akış-ölçerler genel olarak uzun düz bir borunun ortasına monte edilir veya akış düzenleyici mekanik aksamlar kullanılır. Ses-ötesi akış ölçerlerde alternatif olarak birden çok ses-ötesi transdüser çifti kullanımı (multiple paths) akışkanın hız profilinden bağımsız ölçüm yapma olanağı sunar [4], [7].

Ses-ötesi akış ölçer hatalarının farklı kaynakları da olabilir. Gömülü elektronikteki elektromanyetik bozulmalar, transdüserlerin kirliliğe ya da bozuk olması, farklı sıvı özellikleri (sıcaklık, basınç, yoğunluk, viskozite vs.), sıvı içerisinde hava baloncuklarının olması ve çevre sıcaklığı tasarımı özel ilgi gerektiren, ölçüm hatalarına sebep olabilecek diğer etmenlerdir.

Ses-ötesi akış ölçerlerde akış ölçümü için birkaç yöntem uygulanabilir. Doppler tekniği, geçiş zamanı tekniği, çapraz bağıntı, darbe tekrarlanma tekniği, faz kayması tekniği bu yöntemler arasındadır. Bu yöntemler arasında temel olarak geçiş zamanı, doppler ve çapraz bağıntı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. 1931 yılında Rutten tarafından patenti alınan geçiş zamanı yönteminin doppler yönteminden daha hatasız olduğu bilinmektedir [9]. Bazı kaynaklarda geçiş zamanı esaslı ultrasonik akış ölçerler, uçuş zamanı akış ölçerler şeklinde anılmaktadırlar. Bu çalışma kullanılan geçiş zamanı yöntemi esaslı akış ölçerler genel olarak ses dalgasının sudaki partiküller tarafından kesilmediği veya dalga şiddetinin zayıflamadığı temiz sularda kullanılırlar. Yine de bazı üreticiler kirliliğe daha başarılı olduklarını iddia etmektedirler. Detaylı laboratuvar kalibrasyon bilgileri üreticiler ve bağımsız

laboratuvarlar tarafından geniş çapta paylaşılmamıştır [10].

Konuyla ilgili yapılan literatür araştırmasında geçiş zamanı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş benzer tasarımların mevcut olduğu görülmüştür. Bu tasarımlar arasındaki temel farklılıkların transdüserler tarafından gönderilen/alınan sinyallerin okunarak değerlendirilmesini sağlayan elektronik devresinde olduğu görülmüştür. Örneğin, Vinh Phan 1997 yılında yaptığı çalışmada elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi için PT 868 entegresini kullanmıştır [11]. Benzer bir çalışmada ise elektronik devre tasarımı akıllı sensör konsepti (smart sensor concept) geliştirilerek yapılmıştır [12]. Ayrıca DSP (Digital Signal Processing) kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar da mevcuttur. Bu tasarım çalışmasında ise elde edilen sinyallerin değerlendirilmesi için PIC18F4520 mikroişlemcisi kullanılmıştır. PIC18F4520 mikroişlemcisinin hem piyasada rahat bulunabilmesi hem de ucuz olması uygulama aşamasında avantaj sağlayacağı kanısındayız.

2. YÖNTEM

Ses, ortamda basınç değişimiyle oluşan ve mekaniksel bir hareketle yayılan bir dalgadır [13]. Ses dalgaları bir frekansa sahiptir. İnsan kulağı 20 Hz ile 20 KHz arasındaki ses dalgalarını duyabilir. Ses-ötesi dalgalar 20 kHz den büyük olan ve insan kulağının duyamadığı ses dalgaları şeklinde tanımlanır. Düşük frekanslı sesler de aynı özelliklere sahiptirler. Tıp elektronisinde ölçme ve savunma sanayi gibi alanlarda genellikle transdüserler tarafından piezoelektrik olay ile üretilen 1-20 MHz frekansa sahip dalgalar kullanılır.

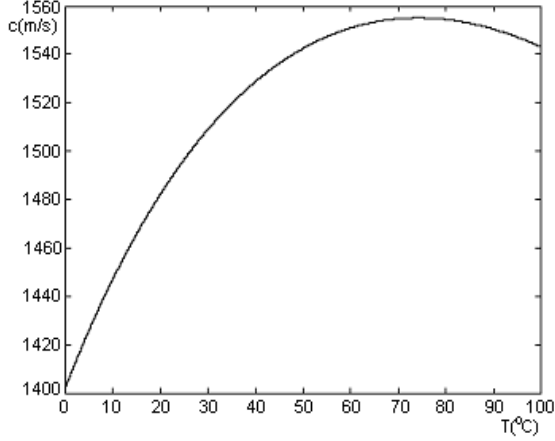
Sıkıştırıldığında, büküldüğünde veya biçimi bozulduğunda elektriksel şarj olan kristallere piezoelektrik kristal denir. Bu kristaller maruz kaldığı mekanik titreşimlerle senkron bir elektriksel titreşim oluşturur. Piezoelektrik kristallere elektriksel bir titreşim uygulanırsa kristalin hacmi değişir tepki olarak mekanik bir vibrasyon sergilerler ve çevresinde bir basınç farkı oluştururlar ki buda yüksek frekanslı ses kaynağıdır [14]. Bu titreşimler kararlı ve değişmezdir. Baryum titanat, kurşun titanat ve kurşun zirkonat piezoelektrik etki gösteren seramik materyallerdir.

Ses ötesi bir dalga ortamındaki yayılma hızı ortamın yoğunluğuna ve elastikiyetliğine bağlıdır. Gazlarda iletim hızı düşük, sıvılarda iletim hızı gazlardakine göre daha büyük, katılarda ise iletim hızı en yüksektir [13]. Ses-ötesi bir dalga ortamındaki hızı denklemin 1'de verilmektedir.

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

c : Ses ötesi dalganın ortamdaki hızı
 ρ : Ortamın yoğunluğu
 β_{ad} : Ortamın elastiklik katsayısı

Şekil 2, su içerisinde ses-ötesi dalganın yayılma hızının sıcaklığa bağlı değişimini göstermektedir. Bu değişimin polinomik biçimi denklem 2’de verilmektedir [14].



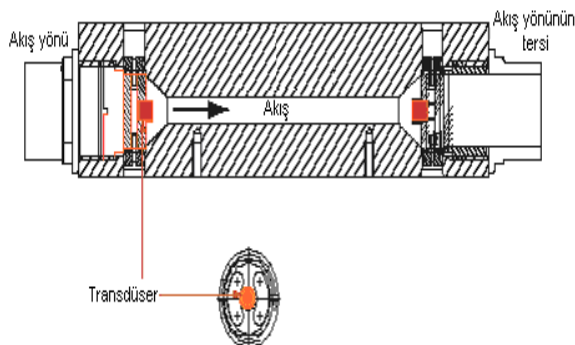
Şekil 2. Su içerisinde ses-ötesi dalganın yayılma hızının sıcaklığa bağlı değişimi.

$$c = 1.4024 \cdot 10^3 + 5.0384T - 5.8115 \cdot 10^{-2} T^2 + 3.3456 \cdot 10^{-4} T^3 - 1.4815 \cdot 10^{-6} T^4 + 3.1608 \cdot 10^{-9} T^5 \quad (2)$$

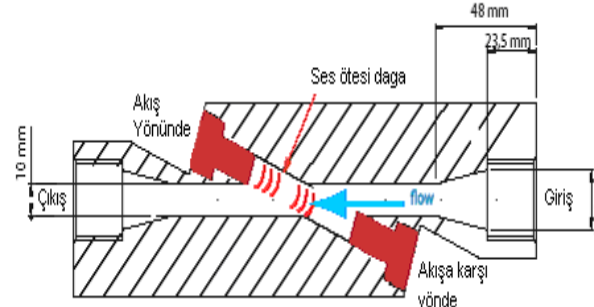
c : Su içerisinde ses-ötesi dalga hızı (m/s)
 T : Sıcaklık (°C)

Ses-ötesi dalganın sudaki maksimum hızı: 74 °C’de 1555 m/s’ dir [13].

Yukarıda özellikleri aktarılan ses-ötesi dalgalar kullanılarak farklı biçimli tüplerden geçen sıvının akış hızı ve debisi ölçülebilir. Şekil 3’de örnek bir boylamsal biçimli tüp yapısı ve kullanılan iki adet ses yansıtıcısının yerleşimi gösterilmektedir. Şekil 4 ise çapraz biçimli tüp yapısını göstermektedir. Ölçüm, karşılıklı monte edilmiş transdüserler üzerinden sırası ile ses darbelerinin gönderilmesiyle yapılır. Her üreteç hem alıcı hem de verici olarak çalışabilir.



Şekil 3. Boylamsal biçimli bir tüp yapısı



Şekil 4. 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 temelidir. 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 [15].

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_{10}^0 : Sıfır akış anında ölçülen t_1 değeri
- t_{20}^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.

$$t_1 = \frac{L}{c + V_m} \quad (3)$$

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

Denklem 3 ve 4 den ;

$$c = \frac{L - t_1 V_m}{t_1} = \frac{L + t_2 V_m}{t_2} \quad (5)$$

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

$$V_m = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (7)$$

$$D = A V_m \quad (8)$$

$$D = A \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (9)$$

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 ölçerinin bir akış değeri ölçmemesi için dengelenmelidir. Akış yok iken ölçülen zamanlar arasındaki fark sıfır kalibrasyon gecikmesi olarak adlandırılır.

$$skg = t_1^0 - t_2^0 \quad (10)$$

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 ortalamasının kalibrasyon esnasında alınan aritmetik ortalamalarından farkını gösterir. t_1 ve t_2 zamanlarının aritmetik ortalaması akışkanın debisinden bağımsızdır.

$$Ort_{kal} = \frac{t_{1(kal)} + t_{2(kal)}}{2} \quad (11)$$

$$shg = \frac{t_1 + t_2}{2} - Ort_{kal} \quad (12)$$

$$D = A \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1 - shg - skg} - \frac{1}{t_2 - shg} \right) \quad (13)$$

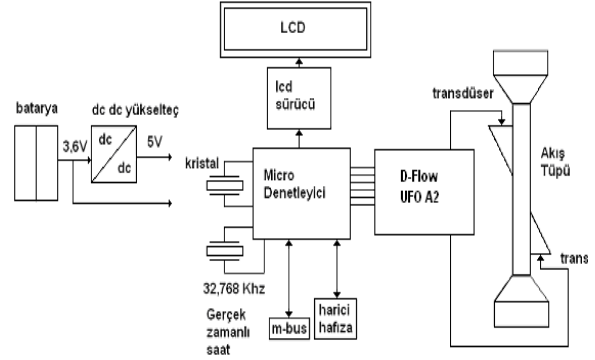
$$k = \frac{D_{gerçek}}{D_{ölçülen}} \quad (14)$$

$$D_{gerçek} = kD \quad (15)$$

olarak düzenlenebilir. Akan sıvının debisi teorik olarak yukarıda verilen denklemler vasıtasıyla ölçülmesine rağmen, gerçek değer ile ölçülen değer arasında yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı bir farklılık vardır. Bu nedenler dikkate alınarak, yukarıdaki denklemler vasıtasıyla ölçülen debi değeri

kalibre edilmelidir. Bu nedenle, k olarak belirtilen kalibrasyon katsayısı hesaplanarak yukarıdaki denklemlere uygulanmalıdır.

3. AKIŞ ÖLÇER BİLEŞENLERİNİN İNCELENMESİ



Şekil 5. Akış ölçer blok diyagramı.

Bu çalışmada, 3,6 V D boyutlu lityum pil ile akış ölçerinin pil ömrünün 10 yıl olması hedeflenmiştir. Bu nedenle devre üzerinde kullanılacak yongalar özellikle düşük güçlü ve çalışma gerilim aralıkları 2,7-3,6V arasında seçilmiştir. Devre 3,6 V luk tek bir bataryadan besleneceğinden 5 V gerilim gerektiren kısımlar için içerisinde sürücü transistör ihtivaeden ve düşük güç tüketimli torex 9111c dc/dc çevirici kullanıldı. Düşük güç tüketimleri nedeniyle cam LCD ve Holtek HT16220 LCD sürücüsü kullanılmıştır.

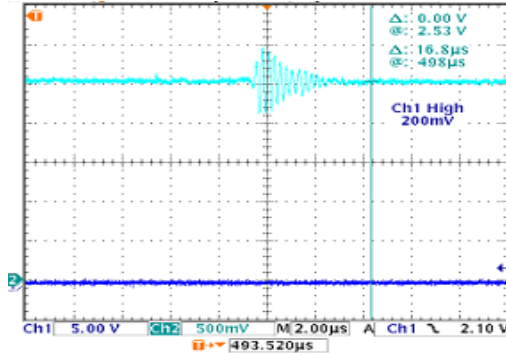
Elektronik bir akış ölçerinin önemli bir özelliği çok değişkenli olması ve bu değişkenlerin elektronik ortamda rahatlıkla okunulabilmesidir. M-bus arabirimi otomatik okuma için kullanılmıştır. Tüketim bilgileri, geçmişe ait okuma bilgileri, akış ölçeri tanımlayan bilgiler, ve kalibrasyon tablosu gibi 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 sahiptir. 8X8 donanım çarpma modülü içermektedir. Timer1 birimine harici düşük güçlü 32,768 KHz kristal bağlanarak gerçek zamanlı saat olarak çalıştırılabilmektedir.

Sistemde etrafa çınlama döngüsü (sing around loop) yöntemine uygun hazırlanmış piezo tabanlı 4 MHz lik transdüserler kullanılmıştır (Şekil 6 ve Şekil 7). Yüksek frekansta çalışması zaman çözünürlüğünü arttırmaktadır [9]. Dış kaplaması termoplastik malzemeden yapılmıştır. Bu sayede her türlü çevre şartlarında çalışma performansını korumaktadır.



Şekil 6. 4 MHz lik bir transdüser



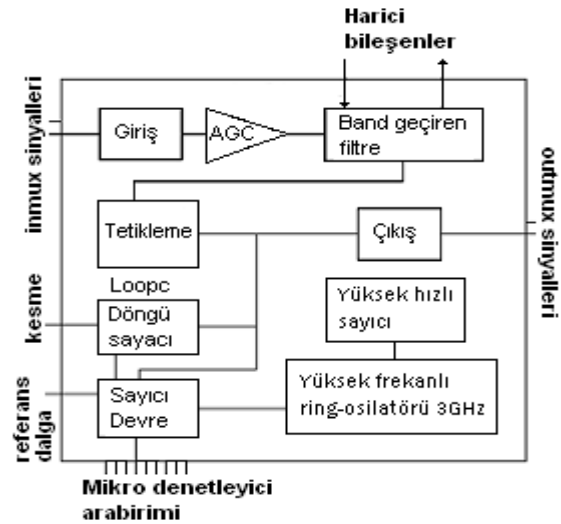
Şekil 7. 4 MHz transdüserin yankı tepkisi

Sayısal zaman çeviriciler (TDC) nükleer araştırmalardan lazer uygulamalarına kadar bir çok alanda kesin zamanlı yüksek çözünürlükte ölçmek için kullanılırlar. Bu çalışma kapsamında tasarlanan düşük güçlü ultrasonik akış ölçer prototipinde, seviye, hız ve sıcaklık ölçümleri için tasarlanmış bir dijital zaman çeviricisi olan D-flow UFO A2 kullanılmıştır (Şekil 8). D-flow UFO A2, etrafa çınlama döngü yöntemine dayanarak gönderilen ve alınan darbeler arasındaki zamanı 5 ps ye kadar çözünürlükte ölçüm almak için tasarlanmıştır. D-flow UFO A2, 8 bit data, 4 bit adres, 1 referans kare dalga girişi, 5 adet kontrol girişi ve bir kesme çıkışıyla mikrodenetleyiciye genel amaçlı I/O birimine bağlanır.

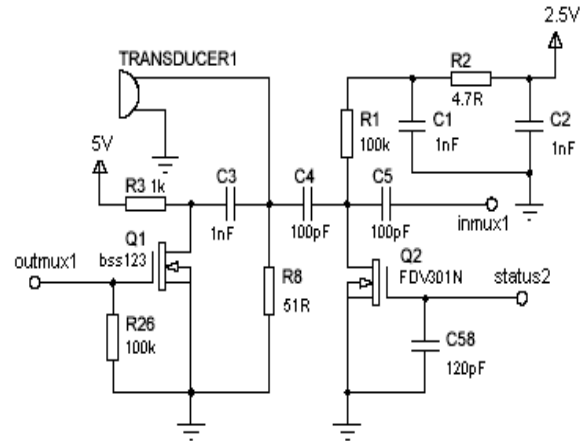


Şekil 8. D-flow UFO A2'nin bağlantı diyagramı

Şekil 9, D-flow UFO A2'nin iç yapısını gösteriyor. D-flow UFO A2 harici bir tetikleyici/alıcı elektronik devreye ihtiyaç duymaktadır.



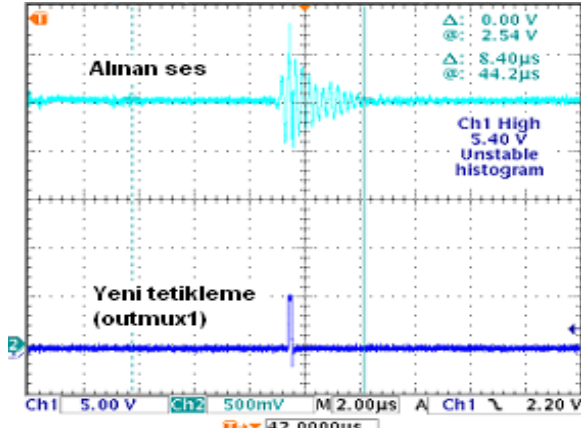
Şekil 9. D-flow UFO A2 nin iç yapısı



Şekil 10. Transdüserin alıcı devresi

D-flow UFO A2'nin ölçüm öncesinde çeşitli zamanlama birimleri, gönderilecek ses darbelerinin adedi gibi gerekli konfigürasyonlarının yapılması gerekir. Seçilen bir yönde süre ölçümü başlatıldığında ilk ses darbesi için gönderici transdüser tetiklenir. Şekil 10'da görülen status2, inmux1 ve outmux1 sinyali D-flow UFO A2 tarafından yönetilir ve transdüserin alıcı yada verici olarak çalışmasını, tetikleme yada alma işlemlerini gerçekleştirirler. Transdüser den gelen ses sinyalleri inmux1 ile D-flow UFO A2 ye alınır. $1V_{pp}$ seviyesine yükseltilmiş ses sinyali kesim noktaları harici elektronik elemanlarla ayarlanabilen bir bant geçiren filtreye iletilir ve daha sonra da tetikleyiciye ulaşır ve tetikleyici/alıcı elektronik vasıtasıyla belirtilen gönderici transdüser yeniden uyarılarak yeni ses darbesi gönderilir. Bu işlem LOOPC kayıtçısına yazılan değer kadar devam eder. LOOPC ye yazılan N değeri için D-flow UFO A2, N adet ses darbesinin toplam iletim süresine ilişkin değerleri sayıcılarında tutar. Ölçme işlemi sonunda D-flow UFO A2 bir harici kesme isteği yaratır. Mikrodenetleyici D-flow UFO A2'nin okunabilir kayıtçılardan süreye ilişkin parametreleri

okur ve toplam süreyi hesaplar. Hesaplanan toplam süreyi N değerine bölerek tek bir ses darbesinin iletim süresini ortalama olarak hassas biçimde bulmuş olur. Şekil 11, ses döngüsünün oluşumunu (alınan sese karşılık yeni bir uyarım darbesinin oluşumunu) gösteriyor.



Şekil 11. Alınan ses sinyali ve tetikleme darbesi

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 60 mm yatay eksen ses üreteç mesafesi, 19 mm iç çapı ve 25 mm giriş çapına sahip bir çapraz biçimli tüp modeline sahip akış ölçer tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan ve Şekil 12’de gösterilen akış ölçeri, farklı akış oranlarında deneyerek ilgili sonuçlar alınmıştır. Daha sonra bu sonuçlar ISO4064-1 standartları ile karşılaştırılarak ilgili tablo ve grafikler çıkarılmıştır (Şekil 13 ve Tablo 1). Akış ölçerin deneysel çalışmalarında, 20° C referans su sıcaklığında ölçümler yapılmıştır. Ayrıca çalışma 5° C ve 35° C referans su sıcaklıklarında da tekrarlanmıştır.



Şekil 12. Tasarımı yapılan ultrasonik akış ölçer

Tasarlanan bu akış ölçer ISO4064-1 standardına uyması gerekmektedir [16]. 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;

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

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

Hedeflenen minimum debi oranları;

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

$$Q_2 = Q_1 * 1.6 = 56 \text{ lt/h}$$

Bu standarda göre, maksimum izin verilebilir hatalar; Q1-Q2 debileri arasında $\pm 5\%$ ve Q3-Q4 arasında ise $\pm 2\%$ dir. Şekil 13, 14 ve 15’de görüldüğü gibi, hata kabul edilebilir doğruluk sınırları içerisinde dir.

Tablo 1. Farklı akış değerlerinde ölçümü alınan akış ölçerin test sonuçları (20° C ve 5 Bar basınçta)

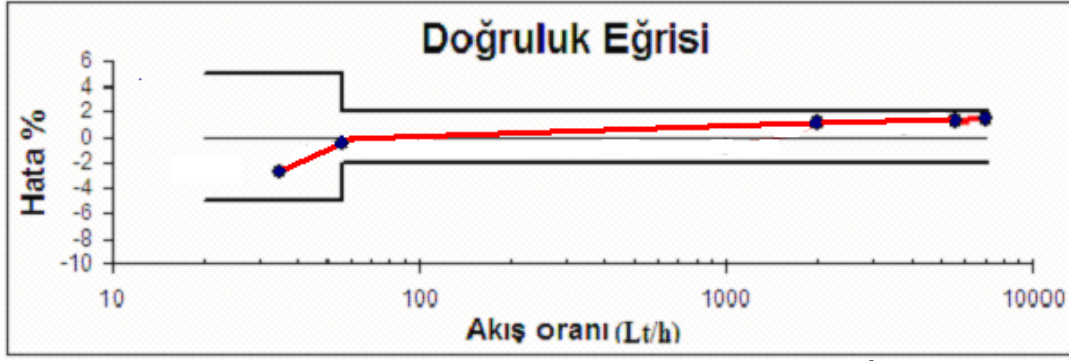
Gerçek Akış oranı Q_0 lt/h	İlk okuma V_i (i) lt	Son okuma V_i (f) lt	Ölçülen miktar V_i lt	Gerçek miktar V_a lt	Akış ölçer hatası E_m %	En büyük müsaade edilen hata %
35	297,24	302,17	4,93	5,06	-2,72	± 5
56	308,15	315,2	7,05	7,08	-0,50	± 2
2000	444,73	657,56	212,83	210,6	1,03	± 2
5600	910,45	1164,6	254,22	250,8	1,33	± 2
7000	1164,67	1419,1	254,51	250,9	1,43	± 2

Tablo 2. 5° C su sıcaklığındaki test sonuçları

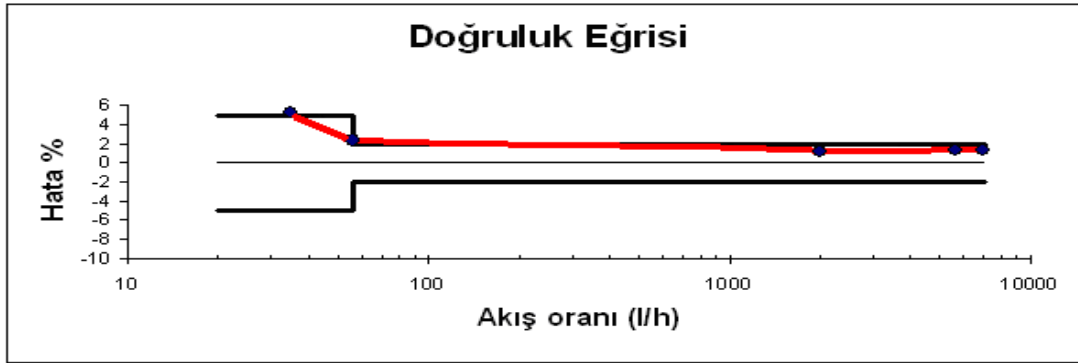
Gerçek Akış oranı Q lt/h	İlk okuma V_i (i) lt	Son okuma V_i (f) lt	Ölçülen miktar V_i lt	Gerçek miktar V_a lt	Akış ölçer hatası E_m %	En büyük müsaade edilen hata %
35	4410,1	4417,7	7,6	7,22	5,26	5
56	4425,4	4433,7	8,31	8,12	2,33	2
2000	4566,2	4778,9	212,6	210,12	1,21	2
5600	5032,4	5286,6	254,2	250,8	1,32	2
7000	5286,6	5541,0	254,3	250,9	1,37	2

Tablo 3. 35° C su sıcaklığındaki test sonuçları

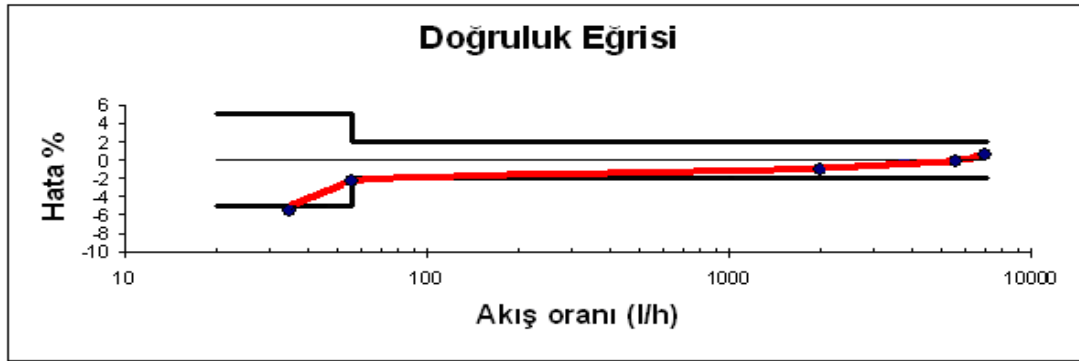
Gerçek Akış oranı Q lt/h	İlk okuma V_i (i) lt	Son okuma V_i (f) lt	Ölçülen miktar V_i lt	Gerçek miktar V_a lt	Akış ölçer hatası E_m %	En büyük müsaade edilen hata %
35	3297,3	3304,0	6,7	7,08	-5,48	5
56	3310,7	3318,7	7,92	8,10	-2,29	2
2000	3447,7	3656,5	208,8	210,9	-1,01	2
5600	3907,1	4157,6	250,5	250,8	-0,13	2
7000	4157,6	4410,1	252,4	250,8	0,62	2



Şekil 13. Farklı akış değerlerinde ölçümü alınan akış ölçerin doğruluk eğrisi (20 °C)



Şekil 14. 5 ° C su sıcaklığında hata eğrisi



Şekil 15. 35 ° C su sıcaklığında hata eğrisi

5. SONUÇ

Ses-ötesi akış ölçerlerde akış hızı, sesin iletim süresini çok az etkilemektedir. 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 ölçüm için gömülü elektronik her türlü elektromanyetik bozulmalara karşı korunmalıdır. Ortam sıcaklığının değişimi, kristallerde ve devre elemanlarında da karakteristik değişimlere neden olabilir. Bu nedenle devrede kullanılacak elemanların sıcaklık karakteristikleri çok iyi olmalıdır. Ayrıca ortamdaki nemin sistem elektronik kısmı üzerindeki etkisi engellenmelidir.

Ses-ötesi akış ölçerler akış profilindeki değişimlere karşı çok duyarlıdır. Bu değişimin kaynağı girişindeki çap daralmaları, borulardaki bükümler, boru eklemleri ve özellikle kalorimetrelerde kullanılan ısı çiftleri, pompa vuruntusu gibi kurulum etkileri olabilir. Uzun düz bir borunun ortasına montaj yapılması yada akış düzenleyici mekanik aksamlar kullanılması bu etkileri engelleyebilir kabul görmüş yöntemlerdir. Ses-ötesi akış ölçerlerde alternatif olarak birden çok ultrasonik transdüser çiftinin kullanılması (multiple paths) akışkanın hız profilinden bağımsız ölçüm yapma olanağı sağlar [3], [9]. Fakat bu yöntem hem maliyeti arttırmakta hem de iç çapı 100 mm den büyük akış ölçerlerde kullanılır.

Deneysel çalışmanın sonuçlarından da anlaşılacağı üzere (ilgili tablo ve şekiller), tasarımı yapılan akış ölçerin 20 °C referans su sıcaklığı için ISO4064-1 standardına uygun olduğu görülmüştür. Fakat, düşük su sıcaklığı (5 °C) ve yüksek su sıcaklığı (35 °C) referans değerlerinde özellikle düşük akış oranında (35 lt/h) ölçüm hatasının %5 in üzerine (%5.2 ve %5.4) çıktığı görülmüştür. Bu hata oranları, ilgili değerler için öngörülen kalibrasyon katsayısının düzeltilmesiyle giderilebilir.

Genel olarak, tasarlanan akış ölçerin standartlara uygun olduğu görülmesine rağmen daha hassas ve doğru ölçümler için kalibrasyon katsayısının çok önemli olduğu gözlenmiştir. Değişik şartlar altında en uygun kalibrasyon katsayısının bulunması için farklı yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmanın bir sonraki aşaması olarak, kalibrasyon yöntemleri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir.

KAYNAKLAR

- 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.
- Weber, J.F., **Ultrasonic Beam Propagation in Turbulent Flow**, Doktora tezi, Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2003
- Dick, J., **Measuring proces fluid flow: an exacting task**, *Control Eng.*, 59-65, 2005.
- Berrebi, J., **Self-Diagnostic Tecniques and Their Applications to Error Reduction for Ultrasonic Flow Measurement**, Doktora tezi, Luleå Unv. of Technology Department of Computer Sc. and Electrical Engineering, Div. 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.
- Moore, P.I., Brown, G.J., Stimpson, B.P., "Ultrasonic transit-time flowmeters modelled with theoretical velocity profiles: methodology", **Measurement Science and Technology**, 1802-1811, 2000.
- Godley, A., "Flow measurement in partially filled closed conduits", **Flow Measurement and Instrumentation**, 197–201, 2002.
- Yoder J., "New-technology flowmeters offer performance breakthroughs", **Control Solutions**, 2002.
- Miller, R. W., "Flow Measurement Engineering Handbook 2nd ed.", **Mc Graw Hill publishing company**, NewYork, 6.1-6.4, 6.5, 6.16-6.17, 6.21-6.23, 1989.
- Vinh Phan, "Ultrasonic Measurement of Velocities in Multiphase Flow", pangea.stanford.edu/ERE/research/suprid/reports, 1997.
- E. Aziz, Z. Kanev, "An Ultrasonic Flowmeter Designed According to Smart Sensor Concept", **Electrotechnical Conference, 1996, MELECON'96**, Volume 3, 13-16 May 1996 Page(s):1371 - 1374 .
- internet: <http://www.cis.rit.edu/research/ultrasound/ultraintro.htm>
- internet: http://venda.uku.fi/opiskelu/kurssit/FLT1/tvoo_hjeet/uswork.pdf
- internet: <http://www.d-flow.com/custom/downloads/technology.pdf>
- 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.**