

Piezoelektrik Yöntemle Verdi Ölçüm Sisteminin Tasarımı

Rahmi KESKIN, Caner KOÇ

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Ankara
rkeskin@agri.ankara.edu.tr

Özet: Bu çalışmada Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde yer alan pompa deneme tesisinde bulunan açık kanaldan geçen suyun yüksekliği ve verdisi piezoelektrik algılayıcılarla algılanarak bilgisayar ekranına aktarılmıştır. Bu amaçla kanalın üzerinde belli mesafeye yerleştirilen bir alıcı ve suyun üzerinde, suyun kaldırma kuvvetiyle aşağı yukarı hareket edebilen bir verici kullanılmıştır. Algılayıcılardan gelen bilgiler bilgisayara aktarılmış, bu amaçla bir uyarlayıcı devre ve alınan bilgilerin görsel olarak istenilen değerlerin okunabilmesine imkan tanıyan Delphi programlama dilinde yazılmış bir program kullanılmıştır. Bu şekilde pompa deneme tesislerinde kullanılan ve zaman alıcı olan savakla verdi ölçüm yöntemleri yerine sürekli olarak verdi okumaya müsait otomasyona uygun bir sistem geliştirilmiştir. Yapılan sistemle ölçülen değerler savakla elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve alınan sonuçlara göre bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Açık kanal, piezoelektrik yöntem, verdi ölçme

Design of Flow Measurement System Using Piezoelectric Method

Abstract: In this study, the height of water and water flow rate in an open irrigation channel, located in the Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Ankara University, were measured using piezoelectric sensors and transferred on a PC monitor. For this purpose, a receiver was placed at a certain height on the channel and a transmitter was placed on a board floating on the water surface up and down. The information from the sensors was transferred to a PC and this was accomplished using a regulator circuit and a computer program written in Delphi language allowed monitoring the required information. The developed system would replace the time-consuming and labor-intensive water level measurement method using weirs in pump test stations and would allow water flow measurements in open irrigation channels suitable for automation. The results were compared with the measurements conducted using the weirs and some recommendations were made based on the results.

Key Words: Open channel, piezoelectric methods, water flow, measurement

GİRİŞ

Belli frekanslar altında bir ortamın (katılar, sıvılar ve gazlar) alternatif sıkışma ve genişmesi ses dalgaları olarak adlandırılır. Ortamın içeriği dalganın yayılma yönünde osilasyon yapar ve bundan dolayı bu dalgalar boyuna mekanik dalgalar olarak adlandırılır. Ses kelimesi yaklaşık 20-20000 Hz arasındaki insan kulağının işitme aralığıyla ilişkilidir. 20 Hz nin altındaki boyuna mekanik dalgalar ses altı (infrasound) ve 20000 Hz' nin üzerindeki dalgalar ise ses ötesi ultrases olarak adlandırılmıştır. Çizelge 1'de bazı ortamlarda boyuna dalgaların yayılma hızları verilmektedir. Hız sıcaklığa bağlı olduğundan pratik amaçlar için sıcaklığın değeri daima dikkate alınmalıdır.

Çizelge 1. Ses dalgalarının farklı ortamlar içindeki hızı (gazlar 1 atm basıncında ve katılar uzun ince çubuk şeklinde).

Ortam	Hız (m/s)
Kuru Hava (20 °C)	331
Buhar (134 °C)	494
Hidrojen (20 °C)	1330
Sıvılarda	1486

Frekans ile dalga boyu çarpımı, sesin ortam içinde birim zamanda aldığı yolu yani ses yayılım hızını vermektedir.

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

Burada;

c: Ses hızı (m/s),

f: Frekans (s^{-1}),

λ : Dalga boyu (m).

Ultrases enerjinin gönderilmesi ve alınması ultrases ölçerler ve hız detektörlerinin temelidir. Ses dalgaları bir cisme geldiği zaman enerjinin bir kısmı geri yansıtılmaktadır. Çoğu pratik durumlardaki ultrases enerji yayılımı bir davranışla geri yansır. Yani enerji geldiği yönden bağımsız olarak, 180° 'ye yaklaşabilen geniş bir açıda hemen hemen düzenli olarak yansıtılır

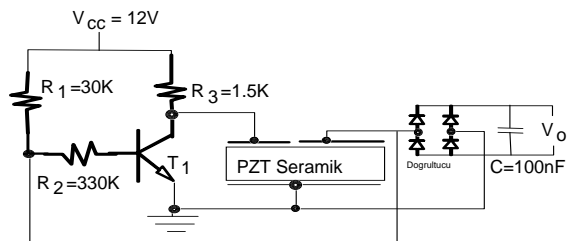
Eğer bir cisim hareket ederse yansıyan dalgaların frekansı gönderilen dalgaların frekansından farklı olacaktır. Bu Doppler etkisi olarak tanımlanmaktadır.

Savak; açık kanal içinde kanal eksenine dik olarak yerleştirilmiş özel yapıdaki bir engel olarak tanımlanabilir. Kanalda akan su bu engel üzerinden geçerken bir yükseklik gösterir. Bu yükseklik ölçülerek verdi özel formüllerle engelin kesitine bağlı olarak (üçgen, dikdörtgen vb.) hesaplanabilmektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

PVC Boru Ucuna Yerleştirilmiş Seramik Algılayıcıyla Ölçme

Piezoseramik malzemeden yapılmış algılayıcıyla yapılan ilk denemede yaklaşık 6.5 cm^2 alana ve 1 mm kalınlığa sahip algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcının çalışabilmesi için gerekli titreşimi üretecek bir adet Şekil 1'de görülen osilatör devresi yapılmıştır.



Şekil 1. Kendiliğinden titreşimli osilatör devresi

Algılayıcıdan elde edilen bilgilerin okunabilmesi için bir adet voltmetre ve 12V'luk güç kaynağı ayrıca Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü pompa deneme tesisi kullanılmıştır. Bu

deneme tesisinde; 110kW gücünde ve devri 2970 d/d olan elektrik motoru, saatte 70 m^3 su basma kapasiteli bir adet dalgıç pompa, su kanalı ve diğer ilgili düzenekler bulunmaktadır.

Bu denemede algılayıcı osilatör devresine bağlanmış ve daha sonra etrafı silikon malzemesiyle suya karşı yalıtılmıştır. Osilatör devresi ve diğer kabloların zarar görmemesi içinde 50 mm çapında ve 600 mm uzunluğunda PVC boru içerisine sabitlenmiştir.

Yapılan denemede su pompası tarafından kanala basılan su seviyesine bağlı olarak algılayıcının üzerine gönderilen suyun basıncının algılanmasına çalışılmıştır. Algılayıcı üzerine su çarptığı anda titreşim halinde bulunan algılayıcının başlangıçta sabit 12V olan gerilim değerinin, osilatör devresinden doğrultulup voltmetre aracılığıyla ölçülmesine çalışılmış ve suyun seviyesine bağlı olarak voltmetrede bir gerilim değişiminin okunması beklenmiştir.

Devrenin çalışması; kendiliğinden titreşime giren osilatör devresinin PZT seramikten elde edilen geri besleme sinyaliyle T1 transistörünün anahtarlanması (açılıp kapanmasına) esasına dayanmaktadır. PZT seramiğin titreşim frekansı ve oluşan çıkış geriliminin genliği, seramiğin bulunduğu ortama bağlı olarak değişmektedir. Eğer seramik su içine konulursa; suyun derinliğine bağlı olarak seramik üzerindeki basınç değişeceğinden titreşim frekansı ve genlik de derinliğe bağlı olarak değişecektir.

Paslanmaz Çelik Üzerine Tutturulmuş Piezoseramik Algılayıcıyla Ölçme

Bu çalışmada da su çıkarma laboratuvarında bulunan 110kW gücünde ve devri 2970 d/d olan elektrik motoru, saatte 70 m^3 su basma kapasiteli bir adet pompa, su kanalı ve diğer ilgili düzenekler kullanılmıştır. Algılayıcı olarak mekanik zorlanmanın etkisinde kaldığında elektriksel şarj elde etmeye yarayan piezoelektrik algılayıcı, bilgisayar ile kart arasında veri alış verişini sağlayan paralel port kablosu, okunan değerlerin görsel ve grafiksel hale getirilmesini sağlayan Delphi programlama dilinde yazılmış program kullanılmıştır.

Ayrıca algılayıcının su kanalı içinde tutunmasını sağlayan üç boyutlu olarak algılayıcının konumunu ayarlamaya uygun halde özel olarak sac malzemeden imal edilmiş düzenek kullanılmıştır. Bu düzenek kanal

duvarlarına uygun olarak oturabilecek ve suyun çarpma hızından etkilenmeyecek şekilde sabitlenmeye uygun imal edilmiştir. Bu düzeneğin ortasına ayrıca 650 mm uzunluğunda ve sudan etkilenmemesi için boyanmış 2 adet çelik çubuk ve aralarında aşağı yukarı kaydırılmaya müsait algılayıcının üzerine sabitlendiği parça bulunmaktadır.

THUNDER adı verilen algılayıcı bir çok uygulamada kullanılabilir. Yapısında alüminyum, PZT ve paslanmaz çelik bulunmaktadır ve ferroelektrik özellik göstermektedir.

Aşağıda algılayıcı tarafından alınan bilgilerin A/D çevirici kullanılarak sayısal olarak çevrilip paralel port aracılığı ile bilgisayara gönderildiği devrenin şeması görülmektedir.

Bu yöntemde piezoelektrik algılayıcı ile suyun uyguladığı basınç algılanmakta ve oluşan basınç sinyalleri A/D çeviriciden bilgisayara aktarılmaktadır. Hassas bir piezoelektrik algılayıcının kullanıldığı bu sistem, suyun algılayıcı üzerine uyguladığı basınç değişimini algılamak için tasarlanmıştır.

Alıcı-Verici Çiftiyle Ölçme

Bu metotta pompa deneme tesisi, birer adet ultrases alıcı(receiver)- verici(sender), +9 ve -9 Volt arasında çalışan güç kaynağı, alıcının okuduğu

bilgileri PC de görmeye yarayan Delphi programlama dilinde yazılmış program, algılayıcı ve vericinin oluşturduğu verileri düzenleyen devre kullanılmıştır. Ayrıca bir önceki deneme yönteminde kullanılan algılayıcının sabitlendiği düzeneğe, algılayıcıların bağlandığı düzeneğin bağlı olduğu çelik çubukların boyu 1m'ye çıkarılmıştır ve kanal içerisinde bulunan vericinin üzerine sabitlenebilmesi ve vericiyi suyun kaldırma kuvvetiyle yukarıya kaldırabilmesi için plastik bir düzenek oluşturulmuştur.

Yöntemde kullanılan alıcı ve vericinin özellikleri şöyledir; çalışma gerilimi DC 3-16 V, çalışma sıcaklığı - 20...+60 °C, çalışma frekansı 3-kHz, verici hassasiyeti 17 dB, alıcı hassasiyeti -63 dB dir (Şekil 2).

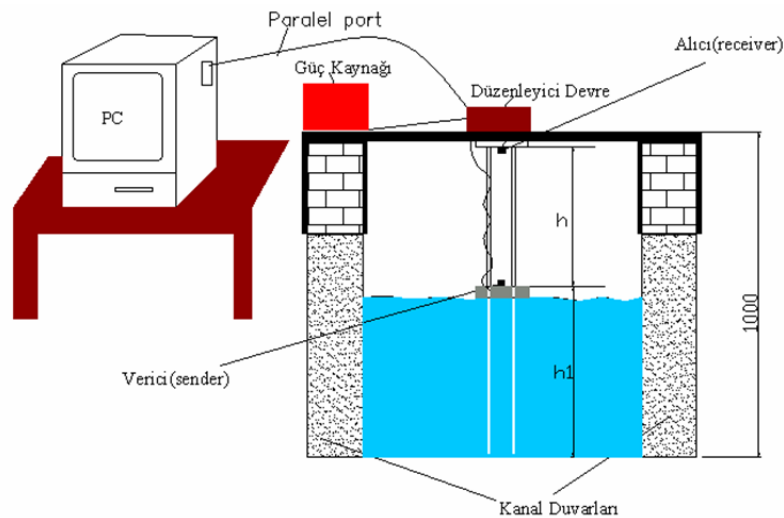
Aşağıda alıcı verici çiftiyle ölçme yönteminin şematik gösterimi gösterilmiştir (Şekil 2).

Bu sistemde yazılan program; bilgisayarın paralel portuna üç adet her bir saniyede genişliği 12.5 mikrosaniye olan darbe üretmektedir. Üretilen bu üç darbe, düzenleyici devre tarafından ultrases vericisinin 40 kHz frekansında sönümlü sinüs dalgası yaymasına sebep olmaktadır. Frekansımızın 40 kHz olması durumunda periyot $25 \cdot 10^{-6}$ s olmaktadır.

Deney koşullarında hava sıcaklığının 20 °C kabul durumunda sesin havadaki hızı;

$$c_{hava} = 331.4 + 0.6T_c = 331.4 + 0.6 \cdot 20 = 343.4 \approx 343 \text{ m/s 'dir. Bu durumda dalga boyu ise;}$$

$$\lambda = c_{hava} \cdot T = \frac{c_{hava}}{f} = \frac{343 \text{ (m/s)}}{40000 \text{ sn}^{-1}} = 0.008575 \text{ m} = 8.575 \text{ mm olur.}$$

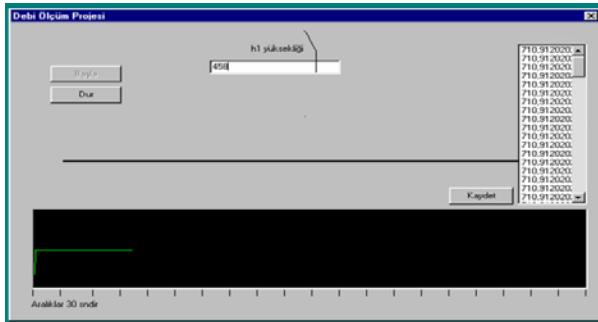


Şekil 2. Alıcı-verici algılayıcı çifti ile ölçme yönteminin şematik gösterimi

Algılayıcının hassaslığı ise programdaki sayıcının değeri 1 mikrosaniye'de bir artış gösterdiği durumda; ultrases havada yaklaşık 343 m/s hızla hareket ettiği kabulüyle; $x \approx 0.000343 \text{ m} \approx 0.343 \text{ mm}$ olmaktadır.

Ultrases alıcıya ulaştığı anda alıcı bilgisayarın paralel portuna düzenleyici devre yardımıyla lojik 1 bilgisini (+5 V) göndermektedir. Oluşturulan bu sönümlü sinüs dalgası gönderildiği anda bilgisayar programıyla içerisinde oluşturulan bir sayıcı, ultrasesin alıcıya ulaşip ulaşmadığını yani paralel porta 1 bilgisinin ulaşip ulaşmadığını her bir mikro saniyede kontrol etmektedir. Eğer port pini 1 değilse yani bilgi ulaşmamışsa, sayıcının değeri bir artmaktadır (zaman olarak bir mikrosaniye artmaktadır). Paralel port pininin 1 olması verici tarafından gönderilen ultrasesin algılayıcı tarafından alındığı anlamına gelmektedir. Sayıcıdaki değer ise alıcı-verici arasındaki mesafeyle doğru orantılıdır.

Sistemin çalışması esnasında birim zamanda geçen su miktarı ve su yüksekliği verileri bilgisayar ekranında hem sayısal hem de grafiksel olarak aşağıdaki gibi görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Program çalıştığı anda verilerin bilgisayar ekranındaki görüntüsü

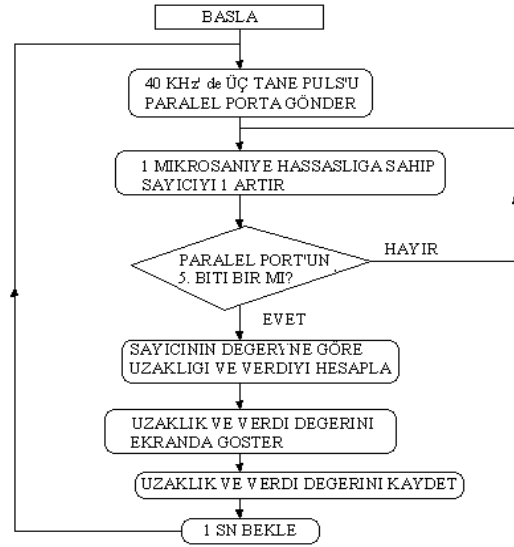
Alıcı ve veri kullanılarak yapılan ölçüm yöntemi için yazılan programın akış diyagramı Şekil 4'de gösterilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin sayısal bir şekilde bilgisayar ekranına yazdırılabilmesi için kullanılan bağıntı algılayıcılar arası mesafe için;

$$h = t * 343 * 3,7 / 1000 \text{ (mm)} \quad (2)$$

Burada mesafe: algılayıcı ile verici algılayıcı arasındaki uzaklıktır (h), 343 değeri ise sesin 20 °C 'de havadaki yayılma hızıdır(m/s). Sayaç ise verici tarafından gönderilen sinüs dalgasının alıcıya ulaştığı

ana kadar geçen sürenin, yazılan program ile her 1µs 'de bir artmak kaydıyla geçen zamandır(t). 3.7 katsayısı da sistemde kullanılan bilgisayarın işlemci hızına bağlı olarak sayaç üzerinde etkili bir katsayıdır.



Şekil 4. Alıcı-verici algılayıcı çiftinin kullanıldığı yöntemin program akış diyagramı

Suyun yüksekliği kanal tabanından olan yüksekliği sabit olan alıcı yüksekliğinden (yaklaşık 1000 mm), alıcı ile verici arasındaki mesafenin çıkarılması ile bulunan değerdir (h1).

Programda elde edilen su yüksekliğinin verdi olarak ifade edilebilmesi için; kullanılan bağıntı yukarıda anlatılan eşitliklere dayanılarak dikdörtgen savaktan 40 mm'den 280 mm ye kadar olan yükseklik değerlerinden elde edilmiş verdi değerleri kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. Bunun için elde yükseklik ve verdi değerlerinin grafiği çizilmiş ve ortaya çıkan eğrinin denklemi bulunmuştur.

ARAŞTIRMA BULGULARI

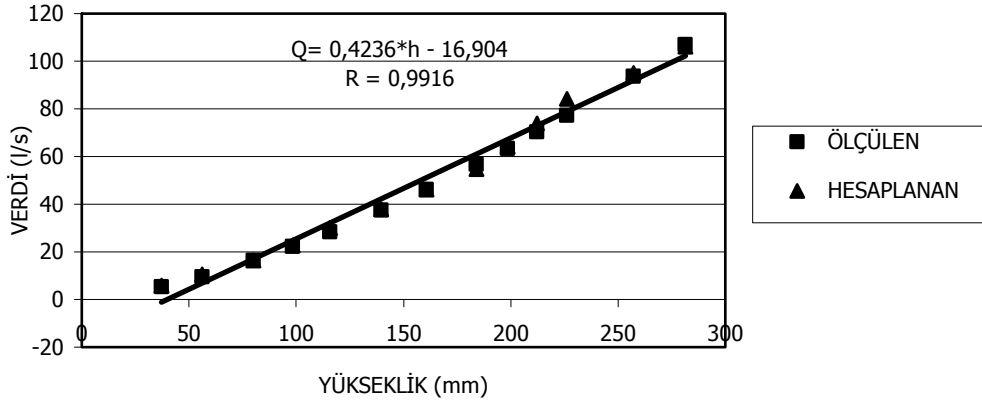
Seramik algılayıcı yöntemi yapılan ölçümler esnasında ilk yapılan birkaç denemeden sonra algılayıcı yüzeyine sürülen silikon malzeme işlevini yitirmiştir. Piezoseramiğin sudan izole edilememesi ve seramiğin hareketsiz noktalarından tutulmaması, devrenin kalibrasyonunu zorlaştırmıştır. Sonuç olarak yöntem ve algılayıcının değiştirilmesine karar verilmiştir.

Dikdörtgen kesitli piezoseramik algılayıcı yöntemde, kanaldaki pompa tarafından basılan suyun verisindeki değişim çok yavaş olduğu için; devredeki tüm elemanların çalışmasına rağmen algılayıcı istenilen sonuçları vermemiştir. Bir diğer önemli nokta ise basınç değişimi ile verdi arasında bir ilişki kurulamamıştır. Sonuç olarak yöntem ve algılayıcının değiştirilmesine karar verilmiştir.

Kullanılan yöntemler içerisinde sadece üçüncü yöntem olan alıcı-verici çiftinin kullanıldığı yöntemle sonuç alınmıştır. Bunun için hesaplama yöntemiyle elde edilen yüksekliğe bağlı olarak verdi miktarına ait regresyon denklemi ve grafik Şekil 5’de gösterilmiştir. Oluşturulan sistem tarafından yapılan ölçümlerin sonucu grafikler halinde gösterilmiştir. Ayrıca alıcı

verici çiftinin kullanıldığı yöntemle elde edilen 40 mm den 280 mm ye kadar, her 20 mm de bir elde edilen ölçüm verileri, 40 mm’den 280 mm ye kadar hesaplama ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve istatistiksel olarak analiz yapılmıştır. Ölçüm değerlerinden elde edilen ortalama değerler ve hesaplama sonucu bulunan değerler arasında istatistiksel % 5 yanılma olasılığına göre “z testi” ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 2’de gösterilmiştir. Yazılan Delphi dilindeki programla verinin yüksekliğe bağlı olarak ekrana yazdırılmasını sağlayan bağlantı;

$$Q = 0.0234 * (1000 - h)^{1.4942} \text{ dir.}$$



Şekil 5. Alıcı verici algılayıcı çifti ile ölçülen ortalama değer ile hesaplamayla bulunan değerlerin grafiksel analizi

Çizelge 2. Ölçülen değerlerin %5 yanılma olasılığına göre istatistiksel analizi

Yükseklik (mm)	Yeni yöntemle Ölçülen Verdi(x)(l/s)	Savaktan Hesaplanan Verdi(l/s)	St. Sapma(s) (mm)	Ölçüm Sayısı(n)	z Değeri	Önemlilik
280	106,92	106,11	16,52	59	0,377	önemsiz
260	93,52	94,99	19,41	58	-0,577	önemsiz
240	77,19	84,28	27,33	68	-2,139	önemli
220	70,17	74,01	33,75	68	-0,938	önemsiz
200	63,46	64,18	23,94	69	-0,250	önemsiz
180	56,71	54,83	11,56	79	1,445	önemsiz
160	46,24	45,98	11,57	80	0,201	önemsiz
140	37,51	37,67	9,01	79	-0,158	önemsiz
120	28,31	29,92	10,44	75	-1,336	önemsiz
100	22,27	22,78	9,47	80	-0,482	önemsiz
80	16,3	16,32	9,61	77	-0,018	önemsiz
60	9,58	10,62	6,96	85	-1,378	önemsiz
40	5,21	5,79	7,91	82	-0,664	önemsiz

$$z_n = \frac{x - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

x: Ölçülen değerlerin ortalaması,

μ : Hesaplama yoluyla bulunan değer (Karşılaştırma yapılan değerler).

s: Ölçülen değerlerin standart sapması,

n: Ölçüm sayısı.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada açık kanalda piezoelektrik yöntemle verdi ölçüm sistemi tasarlanmış, uygun düzenekler oluşturulmuş, verdi miktarı ve su yüksekliği bir kişisel bilgisayar yardımıyla otomatik olarak ölçülebilir hale getirilmiştir. Oluşturulan bu sistemin özellikle sulama alanında uygulama alanı bulacağı düşünülmektedir.

Yapılan denemeler sırasında ölçülen değerler ile hesaplama sonucu elde edilen değerler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. 40 mm den 280 mm ye kadar her 20 mm de bir elde edilen verilere göre, her ölçüm için standart sapma ve ortalama değer %5 yanılma olasılığına göre araştırılmıştır. Yapılan ölçmelerde bazı sapmalar olmuştur. Bunların nedenleri ve karşılaşılan sorunlarla ilgili öneriler aşağıda sıralanmaktadır.

- PVC boru ucuna yerleştirilmiş seramik algılayıcıyla ölçme yönteminde; algılayıcı üzerine sürülen

silikon malzemenin su tarafından sökülmesi nedeniyle yapılan denemelerden sonuç alınamamıştır.

- Paslanmaz çelik üzerine tutturulmuş piezoseramik algılayıcıyla ölçme yönteminde; kanaldaki pompa tarafından basılan suyun verdisindeki değişim çok yavaş olduğu için algılayıcı istenilen sonuçları vermemiştir. Bir diğer önemli nokta ise basınç değişimiyle verdi arasında istatistiksel bir ilişki kurulamamıştır.
- Ölçümler anında alıcı verici çiftinin birbirlerini tam ve açık olarak görmeleri gerekmektedir. Hazırlanan düzenekte sac levha üzerine bir delik açılarak alıcı yerleştirildiği zaman sistem çalışmaz hale gelmektedir. Çünkü; vericinin gönderdiği sinyaller alıcı tarafından tam olarak algılanamamıştır.
- Ölçümlerin hassas olarak yapılabilmesi ve algılayıcının dışarıdan gelebilecek gürültüleri algılamaması için sistemde kullanılan elektronik devrenin filtrelenmesi gerekmektedir.
- Yapılan ölçümlerin fazla bir sapma göstermeden hassas olarak yapılabilmesi için algılayıcıların mümkün olduğunca hareketsiz olması gerekmektedir.
- Algılayıcıların zarar görmemeleri için suya karşı mümkün olduğunca korunmaları gerekmektedir.
- Sistemde gönderilen sinyaller bilgisayar tarafından sayıldığı için bilgisayarların işlemcilerinin hızı da hassas bir ölçüm yapılabilmesi için bilinmeli ve bir katsayı olarak yazılan programdaki sayıcı üzerine etki ettirilmelidir.

LİTERATÜR LİSTESİ

Anonymous,1998. RS Components, United Kingdom.
Anonymous, 2000. Honda Components, Japan.
Atıcı, A. 1994. Ultrasonik ile Malzeme Muayenesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Basımevi,İzmir.
Buğdaycı, İ.,1995. Kristalde Saklı Enerji Piezoelektrik. Bilim ve Teknik Dergisi, TÜBİTAK Yayınları sf:44-47.
Genceli, O. F., 2000. Ölçme Tekniği. Eren Ofset, İstanbul.
Güler,İ., Güler,N.F., 1990. The Electronic Detail of A Pulsed Dopplerblood Flow Measurement System, Meas. Sci.Technol. 1,1087-1092.

Güler,İ., Savaş,Y.,1998. Design Parameters of Pulsed Wave Ultrasonic Doppler Flowmeter,
Gürdal, O.,2000. Algılayıcılar ve Dönüştürücüler. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
Keskin, R., Güner, M. 2002. Sulama Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları:1524 Ders Kitabı 477.Ankara.
Wanders, J.W.,1991. Piezoelectric Ceramics, Philips Components, USA.