



Konferans Bildirisi

Piezo Seramik Sensör ile Kapalı Kaplarda Sıvı ve Gazların Kütle Ölçümünde Yenilikçi Bir Yaklaşım

Merve Nur GÜREL¹, Savaş BARIŞ², İlker DEĞİRMENCİOĞLU³

¹ Asis Otomasyon ve Akaryakıt Sistemleri A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE,
Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0596-1639>, m.saglam@asis.com.tr

² Asis Otomasyon ve Akaryakıt Sistemleri A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE,
Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0006-3135-8293>, sbaris@asis.com.tr,

³ Asis Otomasyon ve Akaryakıt Sistemleri A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE,
Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0007-2756-3910>, ilker@asis.com.tr

* Sorumlu Yazar: m.saglam@asis.com.tr; Tel.: +90-216-2665521

Received 10 October 2024

Received in revised form 15 December 2024

In final form 19 December 2024

4th International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2024)
December 19 - 20, 2024

Reference: Gürel, M. N., Barış, S., & Değirmencioğlu, İ. (2024). Piezo seramik sensör ile kapalı kaplarda sıvı ve gazların kütle ölçümünde yenilikçi bir yaklaşım. Orclever Proceedings of Research and Development, 5(1), 68-83.

Özet

Bu makalede, kapalı kaplarda bulunan sıvı ve basınçlı gazların kütlelerinin yüksek hassasiyet ve doğrulukla ölçülmesine yönelik yenilikçi bir sistem geliştirilmesi ele alınmıştır. Sistem, basınç değişimlerini algılayan piezoelektrik sensörlerin, bu sinyalleri işleyerek sıvı kütlesinin belirlmesine dayanır. Piezoelektrik sensörler tarafından algılanan basınç değişimleri, elektrik sinyallerine dönüştürülmekte ve sinyaller bir yükselteç devresi işlemciye iletilmektedir. İşlemci, geliştirilen algoritmalar aracılığıyla bu elektrik sinyallerini analiz ederek sıvı veya gazın kütlesini belirlemektedir. Kullanılan sensörler, geniş bir frekans bandında çalışarak bazı farklı sıvı türleri ve kap şekillerine uyum sağlar. DeneySEL sonuçlar, geliştirilen sistemin sıvı veya gazın kütlesini yüksek doğrulukla ölçmesi, akışkan maddeye doğrudan temasın gerektirmemesi özellikle endüstriyel uygulamalarda büyük bir avantaj sunduğunu göstermektedir.



Geliştirilen sistem ile elektronik yükselteç devreleri ve dijital filtreleme teknikleri bir arada kullanarak; sinyal gürültüsü en aza indirgenmiştir. Bu sayede akım, gerilim kazançları yükseltilmiş ve ölçüm doğruluğu artırılmıştır.

Bu proje, ölçülen maddenin kütle yoğunluğunun belirlenmesi için ekonomik, temassız ve güvenilir bir çözüm sunarken, özellikle kimya, gıda ve ilaç sektörleri gibi alanlarda önemli bir yenilik getirmektedir.

Anahtar: *Piezoelektrik sensör, yazılım, yükselteç elektronik devre kartı, yüksek geçiren filtre, alçak geçiren filtre, sıvı veya gazların kütle ölçümü*



Conference Article

An Innovative Approach to Mass Measurement of Liquids and Gases in Closed Containers By The Use of Piezo Ceramic Sensor

Abstract

This article focuses on developing an innovative system for the precise and accurate measurement of the masses of liquids and pressurized gases in sealed containers. The system is based on piezoelectric sensors that detect pressure changes and process these signals to determine the mass of the liquid. The pressure changes detected by the piezoelectric sensors are converted into electrical signals, amplified by an amplifier circuit, and transmitted to a processor. The processor analyses these electrical signals utilizing developed algorithms to determine the mass of the liquid. The sensors used operate in a wide frequency band, adapting to different types of liquids and container shapes. Experimental results show that the developed system offers a great advantage, especially in industrial applications as it measures the liquid mass with high accuracy and does not require direct contact with the liquid.

With the developed system, electronic amplifier circuits and digital filtering techniques were used together to minimize signal noise. This way, current voltage gains were increased and measurement accuracy was improved.

This project offers an economical, non-contact, and reliable solution for determining the mass of the measured substance and brings an important innovation, especially in areas such as the chemical, food, and pharmaceutical sectors.

Keywords: *Piezoelectric sensor, software, amplifier electronic circuit board, high-pass filter, low-pass filter, mass measurement of liquids or liquid-gas mixtures.*

1. Giriş

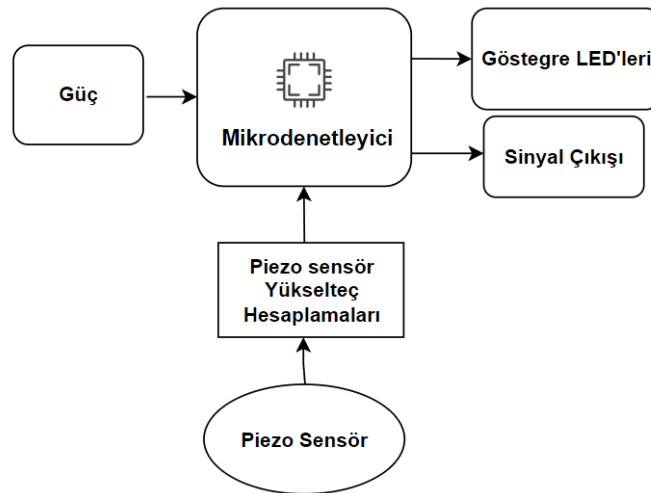
Kapalı kaplarda sıvıların ve gazların kütle yoğunluklarını ölçmek, çeşitli alanlarda kritik önem taşır. Seçilen ölçüm yöntemi, sıvı türüne, kap şekline, istenilen hassasiyete ve uygulamaya göre değişir. Doğru ve hassas ölçümler, üretim verimliliğini, ürün kalitesini, çevresel etkileri ve kullanıcı güvenliğini optimize etmeye yardımcı olur. Gıda ve ilaç üretiminden, su arıtma sistemlerine günlük yaşamımızda kullandığımız içerisinde basınçlı gaz bulunan mutfak tüplerinden damacanalara kadar her alanda sıvı veya basınçlı gazların kütlelerinin doğru ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Sıvı ve basınçlı gazların kütle ölçüm yöntemleri türüne, bulundukları kabın şekline, istenilen hassasiyet ve ölçüm tekniklerine göre değişir. Bu çalışmada piezoelektrik sensörler ve yükselteç elektronik devreler kullanılarak ölçümler gerçekleştirilecektir.

Piezoelektrik sensörler, basınç, ivme veya kuvvetteki değişiklikleri elektrik sinyallerine dönüştürme özelliğine sahip algılayıcı cihazlardır. Bu özellikleri, basınçlı gazlar ile sıvıların yoğunluk ve konsantrasyonlarının yüksek doğrulukla ölçülmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, sıvılar ve basınçlı gazların kütleleri üzerinde temassız ölçüm sağlaması, bu sensörlerin önemli avantajlarından biridir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu makalede, tasarlanan elektronik devre kartı ve piezo sensor kullanılarak kapalı kap içerisindeki sıvı ve basınçlı gazların kütlelerinin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Kütle yüksekliğini ölçülmek için önemli bir parametre olan maddenin yoğunluğu da hesaplanarak geliştirilen yazılıma entegre edilmektedir.



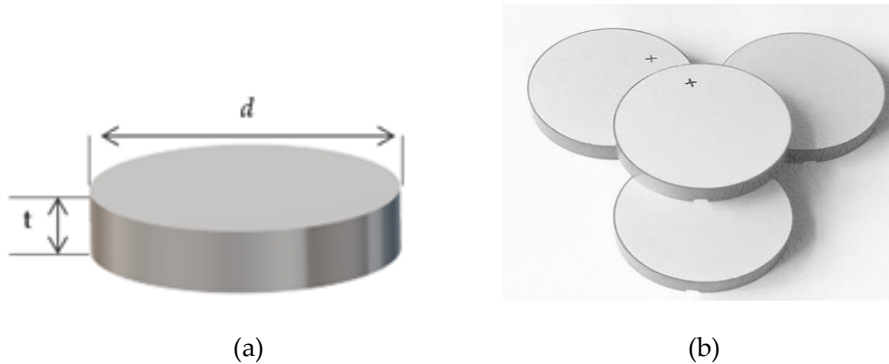
Şekil- 1: Sistem Blok Diagramı

Bir sıvının yoğunluğu, sıvının kütlesinin hacmine oranı olarak hesaplanır. Çeşitli boyutlardaki kapalı kaplar içinde ölçülmek istenen maddenin seviyesi, kütle ve hacim farkları göz önünde bulundurularak, tasarımda fiziksel değişiklikler yapılmadan yazılımsal olarak optimize edilmektedir. Bu sayede, sıvı veya basınçlı gazlar için temasa gerek kalmadan ölçüm işlemi güvenli ve hassas bir şekilde gerçekleştirilir.

Sıvı ve gazların çeşitli boyuttaki kapalı kaplar içerisinde yoğunluk farklarının neden olduğu ölçüm hassasiyeti sınırlamaları, piezoelektrik sensörlerle temassız ölçüm yöntemleri ve yazılım tabanlı iyileştirmelerle, sistemin fiziksel tasarımını değiştirmeden gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen özelleştirilmiş yazılım sayesinde, sıvılar ve basınçlı gazlar için farklı ölçüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmadan, bulundukları kabın hacim ve yoğunluk parametreleri dikkate alınarak doğru biçimde kütle ölçümleri yapılabilmektedir. Bu yaklaşım, kullanılan piezo sensörlerin temas gerektirmeyen kütle ölçümlerinde doğruluğunu artırarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

2.1. Piezo Sensor Malzeme Özelliği ve Önemi

Piezoelektrik sensörler, gerilim altında elektrik sinyali üretme özelliğinden yararlanılarak geliştirilen ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılan yenilikçi algılayıcılardır. Bu sensörlerde kullanılan PZT (Kurşun Zirkonat Titanat) malzemesi ile iletkenlik özelliği, hassas ölçümler gerçekleştirmesi, uzun ömürlü kullanımı ve geniş frekanslarda hızlı tepki vermesi ile çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [1].



Şekil-2: (a) Piezoseramik sensör 2B görüntüsü, (b) Piezoseramik sensör [7]



Şekil-2’de yer alan piezo sensor t kalınlık ve d çapına sahip iki düzlem yüzeyi komple PZT elektrotları ile kaplıdır.

Sıvı veya basınçlı gazların kütle ölçümü için kullanılacak piezo seramik sensörlerin kaplamasında kullanılan PZT malzemesinin kaliteli olması sistemin doğru ve etkin çalışabilmesi için önemlidir. Ayrıca sensörün herhangi bir noktasında meydana gelen aşınma veya kullanılan malzemenin farklı olması frekans aralığını, çalışma sıcaklığını ve çıkış sinyallerini doğrudan etkilemektedir [2].

Piezoelektrik sensörlerin frekans performansını etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak, seramik malzeme kullanımı ve sensörün disk şeklinde tasarlanmış olmasına özellikle dikkat edilmiştir [3].

2.2. Sıvı ve Gazların Kütle ve Yoğunluk Ölçümü

Cisimlerin değişmeyen madde miktarı kütle (m) olarak ifade edilmektedir. Birimi genellikle kilogram veya gramdır. Kütle yoğunluğu (ρ) ise bir maddenin birim hacimdeki kütlesidir. Birimi ise kilogram/metreküp (kg/m^3) veya gram/santimetreküp (g/cm^3)’tür. Bu çalışmada, piezoelektrik sensörlerle gaz ve sıvıların kütle yoğunluğu ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

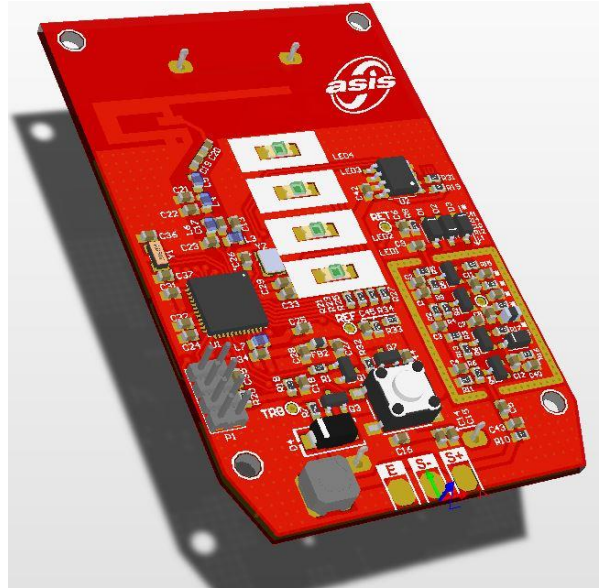
Gazların kütlesi, ideal gaz denklemi kullanılarak teorik olarak hesaplanır. İdeal gaz denklemi $PV=nRT$ şeklinde ifade edilir. Burada, P basınç, V hacim, n mol sayısı, R gaz sabiti ve T sıcaklık olarak tanımlanmaktadır.

Gazların kütlesini ölçmek için piezoelektrik sensörler, gaz basıncını ve kap içerisindeki yoğunluk değişimlerini algılayarak elektrik sinyallerine dönüştürmüştür. Tasarımda, basınç verilerini sıcaklık ile ilişkilendirerek ideal gaz denkleminde dayalı bir algoritma kullanılmış ve kapalı kap içerisinde bulunan gazın yoğunluk kütlesi hesaplanmıştır. Bu süreçte, özellikle gazların genleşme ve sıkışma özelliklerinden kaynaklanabilecek sıcaklık etkileri dikkate alınmıştır. Sıcaklık değişimlerinin kütle ölçümüne etkilerini minimize edebilmek için sıcaklık sensörleri ile kalibrasyon testleri yapılmış ve sinyal işleme teknikleriyle ölçüm hataları azaltılmıştır. Sıvıların kütle ölçümünde de yoğunluk, hacim ve sıcaklık gibi parametreler esas alınmıştır. Piezo sensörle sıvıların kap içindeki seviye değişimleri algılanarak sıvı yoğunluğuna bağlı ölçümler yapılmıştır. Sıvıların kütlesi, kap hacminin doğruluğu ve sıvı yoğunluğundaki değişimler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Gazların kütlesinin ölçülmesi, sıvılardan farklı olarak genellikle daha kapsamlı bir süreçtir. Gazların yoğunluğu, sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir. Bu nedenle, piezoelektrik sensörlerin yerleştirildiği ortamın sıcaklık kontrolü büyük önem taşımaktadır. Sıcaklık arttıkça gazın genleşmesi, basıncın yükselmesine ve kütlesinin daha yüksek ölçülmesine neden olmaktadır. Çünkü gazların yoğunluğu, sıvılara kıyasla daha düşük ve çevresel faktörelere (örneğin sıcaklık, basınç, hacim) duyarlıdır. Bu nedenle gazların kütlesinin doğru şekilde ölçülebilmesi için, gazın davranışını etkileyen parametreler dikkate alınmış ve bu değişkenlere uygun şekilde tasarım yapılmıştır.

2.3. Elektronik Devre Kartı Tasarımı

Tasarlanan elektronik devre kartı (PCB) Şekil-3'deki gibi tamamlanmıştır. PCB üzerinde piezo sensor bağlantı terminali, elektronik devre elamanları, sinyal işleme ve yükseltme devresi (amplifier), kablosuz haberleşme için mikrodenetleyici, sıvı veya basınçlı gazların kütle miktarını gösteren LED (Light Emitting Diode) 'ler yer almaktadır. Tasarımın enerji beslemesi iki adet AA pil üzerinden sağlanmıştır. Enerji tüketimi detaylı olarak analiz edilmiş ve mikroamper (μA) seviyesinde güç tüketimi hedeflenerek tasarım, uzun süreli kullanım için optimize edilmiştir.

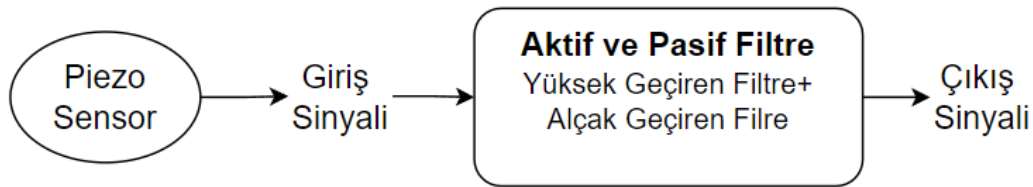


Devre üzerindeki buton, kütle ölçüm sonuçlarını anlık olarak LED'ler aracılığıyla görselleştirmektedir. Kabın hacmi ve içerdiği maddenin (su, gaz vb.) cinsinin bilinmesiyle her bir LED %25 'lik doluluk oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada kablosuz haberleşme için bluetooth haberleşme yeteneğine sahip bir mikrodenetleyici kullanılmış ve aynı zamanda kabın doluluk oranı, ortamın sıcaklık değeri, pillerin kapasite durumu mobil uygulama üzerinden takip edilebilmekte elektronik tasarımdaki butona ihtiyaç duymadan izlenebilmektedir.

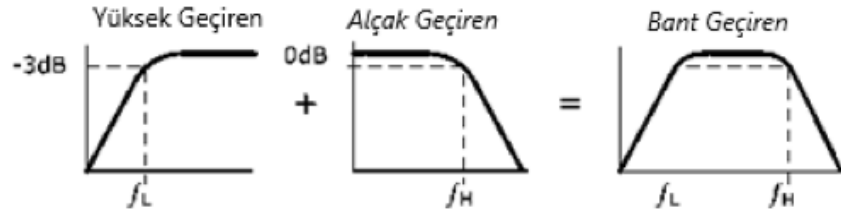
2.4. Sistemin Filtre Modellemesi ve Kazanç Hesaplaması

Şekil-1'de yer alan blok diyagramında ifade edildiği gibi piezo sensörden okunan çıkış değerleri için çeşitli sinyal işleme algoritmaları geliştirilmiş ve bu sinyallerin dalga boyunu yükseltmek için elektronik devre tasarlanmıştır. Dalga boyunu ölçerek işlemciye ileten ve Şekil-2'de yer alan 1 MHz piezoseramik sensör kullanılmıştır. Sistemin tasarımında, içi sıvı veya gaz dolu kapalı kabın altına yerleştirilen piezo sensor sayesinde, sensör üzerine uygulanan basınç ile sensörden elde edilen sinyallerin yükseltilip işlenmesi sayesinde madde ile doğrudan temas gerektirmeyen bir ölçüm sistemi modellenmiştir.

Sensörlerden alınan sinyal genliğinin, sıvı ve gaz kütlelerinin ölçümünde istenen aralıklarda kalmasını sağlamak amacıyla belirli frekans aralıklarının filitrelenmesine yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Bu filitre yöntemi aynı zamanda sinyal üzerindeki gürültüleri azaltarak ölçüm doğruluğunu artırmaktadır.



Şekil-4: Aktif ve pasif filtre



Şekil- 5: Yüksek, alçak ve bant geçiren filtrenin frekans tepkisi [4]

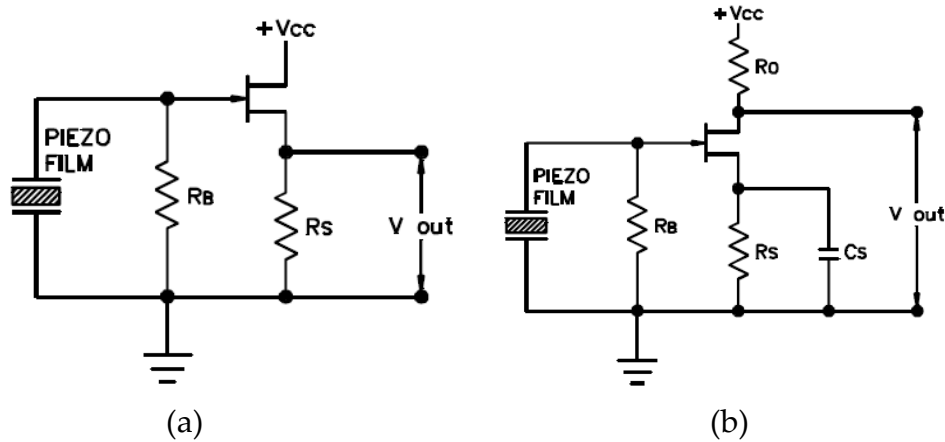
Yapılan bu çalışmada piezo sensörün rezonans frekansına bağlı olarak çıkış sinyali için hem akım kazancı hem de gerilim kazancı elde etmek için aktif ve pasif filtre kullanımı birlikte gerçekleştirilmiştir.

Şekil-4’de gösterildiği gibi sensörden alınan sinüzoidal giriş sinyaline sabit filtreler uygulanarak uygun çıkış sinyallerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Sistemin kesme frekansı ve piezo seramik sensörün bant genişliği hesaplanarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir [5]. Elde edilen kesme frekansı, bant geçiren filtrenin uygun geçiş bandı aralığını belirlemek ve istenilen genişlikte bir frekans bandı elde etmek amacıyla kullanılmıştır.

Şekil-6’da piezo sensörlerden elde edilen sinyal genliklerinin hesaplanabilmesi için kullanılan devre şemalarını göstermektedir. Frekans ve kazanç hesaplamaları için pasif devre elamanlarının değerleri önemlidir. Ayrıca aktif devre elamanı olan MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistör), opamp ve transistör seçimi yaparken anahtarlama frekansı, kaçak akım değeri ve piezo sensörün kapasitans değerlerine dikkat edilmiştir [6].

Şekil- 6 (a)’da yer alan devrede çıkış gerilimin giriş gerilimine oranı olan voltaj kazancı yaklaşık 1’e yakındır.

Şekil-6 (b)’deki devrede kullanılan kapasite, gerilim kazancının gerekli olduğu uygulamalar için kullanılır. Cs kapasite değeri değiştirilerek yüksek kazanç elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil-6:(a) Yüksek frekanslı düşük kazançlı Mosfet,(b) Düşük frekanslı yüksek kazançlı Mosfet[6]

Bu çalışmada, sıvı ve gaz kütlelerini hassas bir şekilde ölçmek amacıyla Mosfet ve transistör gibi aktif elektronik bileşenler ile direnç ve kondansatör gibi pasif bileşenler kullanılarak hibrit bir devre tasarlanmıştır. Şekli-6'da sunulan devre şemaları kullanılarak, elde edilen devre kartı ile hem akım hem de gerilim sinyallerinin güçlendirilmesi üzerine çalışılmıştır.

Piezo sensörden alınan giriş sinyali ve sinüsoidal çıkış sinyali osiloskop üzerinde Şekil-7'de gösterilmiştir. Osiloskop grafiği üzerinde de açıkça belli olduğu gibi mavi dalga piezo sensörden gelen 1 MHz sinyali ifade etmektedir. Sarı dalga ise elektronik devre tarafından yükseltilmiş sinyalin genliğini ifade etmektedir.



Şekil-7: Piezo sensor osiloskop sinyal görüntüsü



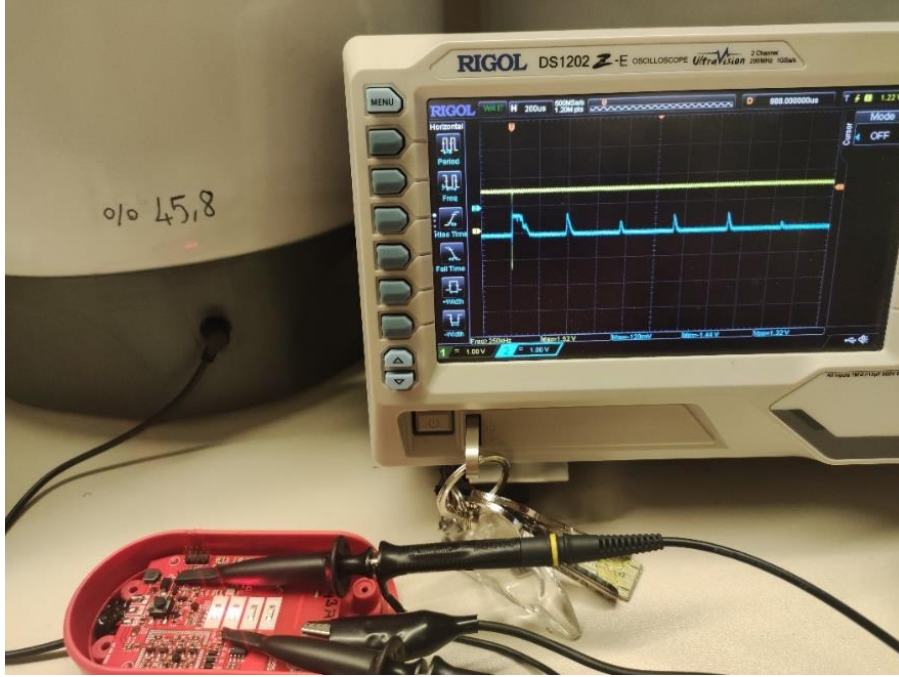
Piezo sensörden okunan giriş voltaj sinyalleri, PCB üzerindeki yükselteç devresi tarafından çıkış sinyallerine dönüştürülür. Elde edilen bu çıkış sinyalleri piezo sensörün terminal bağlantısında topraklama olmamasından, elektronik devre kartı üzerinde harmonik oluşmasından ve diğer parazit etkilerden etkilenebilmektedir. Geliştirilen yazılım ile dijital filtreleme ve ortalama alma gibi farklı analitik hesaplamalar kullanarak bu gürültüleri azaltılır. Ayrıca ısı kalibrasyon verileri ile karşılaştırarak sensörden gelen fiziksel verileri (basınç, kuvvet vb.) hesaplar. Bu veriler, sensör performansını optimize etmek ve çevresel etkilerin ölçüm sonuçları üzerindeki etkisini azaltarak güvenilirliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Mikrodenetleyicinin yazılımı, sensörden gelen sinyalleri işlemek, görsel bilgileri kullanıcıya sunmak ve ölçüm bilgilerini mobil uygulamaya aktarmak için kullanılır. Oluşturulan yazılım mimarisi, sensörden alınan voltaj sinyallerini analiz ederek, gerekli hesaplamaları gerçekleştirir. Elde edilen verileri mobil uygulama aracılığıyla kullanıcı arayüzüne aktarır. Böylece sistemin işlevsel ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

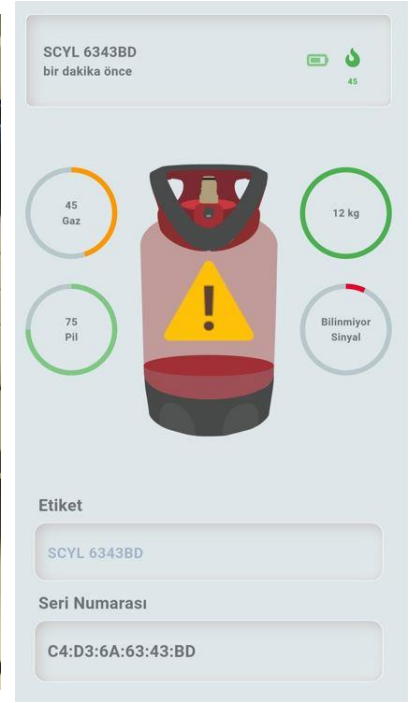


Şekil-8: Piezo sensor çıkış sinyali (Sarı dalga)

Şekil-8'de çalışmanın piezo sensör çıkış sinyali gösterilmektedir. Giriş sinyali olan mavi dalga, akım ve gerilim kazançları sonucunda yükseltilerek sarı dalga olarak elde edilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde sıvı ve basınçlı gaz kütle ölçümünde kullanılabilir nitelikte anlamlı veriler üretilmiştir.



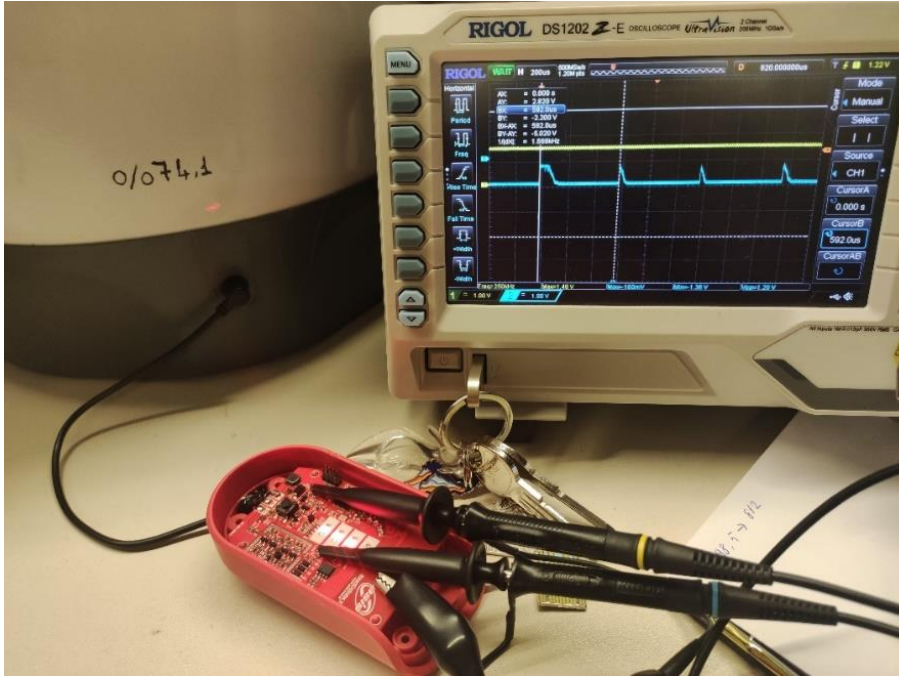
(a)



(b)

Şekil- 9: (a) %45 doluluk oranına sahip basınçlı gaz dolu kabın osiloskop görüntüsü
(b) mobil uygulama görüntüsü

Çalışmanın nihai sonucunda Şekil-9'da görüldüğü gibi kapalı kap içerisinde %45 oranında dolu olan basınçlı gazın osiloskop ölçüm sonuçları yer almaktadır. Tasarlanan elektronik devre kartına ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla sıcaklık sensörü de eklenmiştir. Yapılan ölçümler aynı zamanda ortam sıcaklığına bağlı olarak analiz edilmiştir. Bu yaklaşımın temel nedeni, basınçlı gaz içeren kapalı kapların sıcaklıkla genişlemesi ve bu durumun çıkış darbelerinde (pulse) küçük dalgalanmalara yol açmasıdır. Bu nedenle ortam sıcaklığı göz önünde bulundurularak testler yapılmıştır.



(a)



(b)

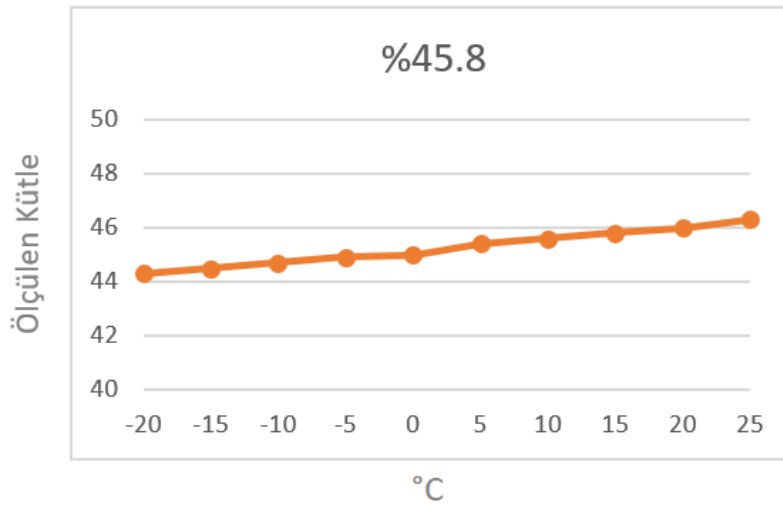
Şekil-10: (a) %74 doluluk oranına sahip basınçlı gaz dolu kabın osiloskop görüntüsü
(b) mobil uygulama görüntüsü

Farklı dolum oranına sahip Şekil-10'da yer alan görseldeki gibi kapalı hazne içerisinde içi gaz dolu olan kapalı kabın doluluk kütlesi %74'dür. Görselde de belli olduğu üzere sistemin kütle ölçümü hem osiloskop hem de devre kartı üzerinde yer alan LED'ler ile gösterilmektedir. Çalışmanın takibi, elektronik devre üzerindeki bluetooth haberleşmesi aracılığıyla mobil uygulama üzerinden gerçekleştirilmiş olup, bu duruma ait görsel Şekil-10'da sunulmuştur. Uygulama, gaz dolu kabın kütle yüksekliğini, açık ortam sıcaklık değerini ve başlangıçta hacmi bilinen kapalı haznenin kilogram cinsinden ağırlığını net bir şekilde takip etme imkanı sağlamaktadır.

2.5. Basınçlı Gazların Sıcaklık Testleri

Basınçlı gaz dolu tüplerde sıcaklık değişimleri, gazın genleşme veya sıkışma davranışını etkileyerek tüp içerisindeki kütle ölçümünü doğrudan değiştirmektedir. Sıcaklık arttığında gazın genleşmesi, tüp içindeki basıncın yükselmesine ve kütlenin olduğundan daha yüksek görünmesine neden olmaktadır.

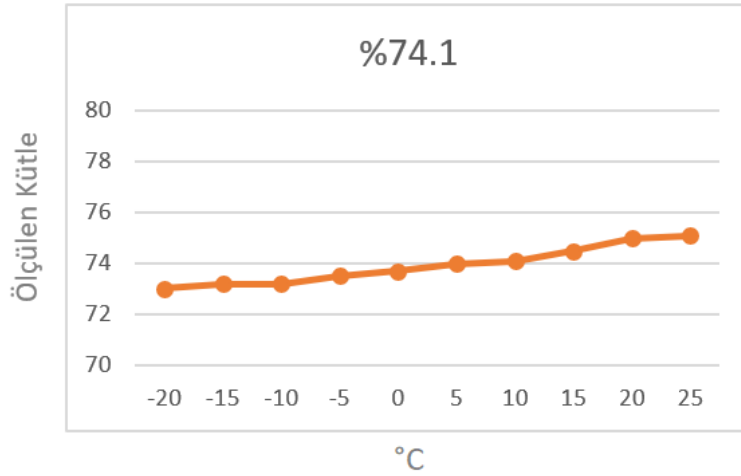
Bunun tam tersi olarak, düşük sıcaklıklarda gazın sıkışması basıncı düşürerek kütlenin daha düşük algılanmasına yol açmaktadır. Bu durum, kütle ölçüm sisteminin sıcaklık değişimlerine karşı hassasiyetini artıran kalibrasyon verileri ile optimize edilmektedir. Sıcaklık etkisinin dikkate alınmadığı ölçüm testlerinde, hata oranları artmakta ve sistem performansı azalmaktadır. Bu nedenle, piezo sensörlerde özellikle basınçlı gazların kütle ölçüm analizlerinde sıcaklık değişimlerini doğru şekilde analiz edebilen ve bu etkileri iyileştiren tasarıma sahip model gerçekleştirilmiştir. Ancak ölçümlerde ortam sıcaklığı baz alınmış olup kapalı hazne içerisindeki sıcaklık değeri tam olarak ölçülemediği için gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil-11: %45 doluluk oranına sahip basınçlı gazın sıcaklık testi sonuçları

Şekil-11 ve Şekil-12 de farklı dolum oranına sahip basınçlı gazların sıcaklık testleri kapalı iklimlendirme dolabı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu testler -20 °C den başlayıp +25 °C'ye kadar 2 saat aralıklarla ölçümler gerçekleştirilerek tamamlanmıştır. Görsel grafiklerinde de açıkça belli olduğu gibi soğuk ortam şartlarında gazın sıkışması daha düşük değerlere sebep olurken, sıcaklığın artmasıyla genleşme meydana gelmekte ve kapalı kap içerisindeki gazın yüksek değerlere çıktığı açıkça belli olmaktadır.

Kütle ölçümünde sıcaklığın önemi göz önünde bulundurularak testlerde elde edilen bu veriler yazılım aşamasında optimize edilmiş ve sistem iyileştirilerek gerçeğe en yakın değerler ile ölçümler tamamlanmıştır.



Şekil-12: %74 doluluk oranına sahip basınçlı gazın sıcaklık testi sonuçları

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, piezoelektrik sensörler ve elektronik bileşenler kullanılarak, farklı yoğunluklardaki sıvıların ve basınçlı gazların kütlelerinin ölçülmesi amacıyla bir sistem tasarlanmış ve elektronik devre kartı geliştirilmiştir. Tasarlanan elektronik kart aracılığıyla sensörden alınan sinyallerin akım ve gerilim kazançları elde edilmiştir.

Sistem, piezo sensörün kapalı kap içerisindeki maddenin hacimsel ve kütleli değişimine bağlı olarak ürettiği voltaj sinyallerini yükselterek ve filtreleyerek osiloskopta görüntülenebilen ve mobil uygulamada da doğruluğu kontrol edilebilen bir forma dönüştürdü. Deneysel veriler, sistemin farklı sıvı türleri ve kütlelerine ilişkin ölçümleri yüksek doğruluk ve hassasiyetle ölçüm yapabildiğini göstermiştir.

Bu çalışma, kapalı kap içerisinde bulunan yoğunlukları farklı sıvı türlerinin kütle ölçümüne yönelik piezo sensörün hem sıvı hem de basınçlı gaz ölçümü (içerisinde su bulunan kapalı bir kap veya mutfak tüpü), literatürdeki mevcut çalışmalardan ayrılan bir yöntem sunmaktadır.

Sistemin en önemli avantajları arasında, geliştirilmiş ölçüm hassasiyeti, farklı yoğunluklara sahip sıvı, gaz veya karışımların kütle ölçümlerinde kullanılabilirliği ve temassız ölçüm özelliği bulunmaktadır.



4. Tartışma

Gelecekteki çalışmalarda, sistemin sıcaklık hassasiyetini ve elektromanyetik parazitlere karşı direncini artırmak için geliştirmeler yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, sistemin birbirinden farklı yoğunluğu olan sıvı türleri ve kap modelleri ile uyumluluğunu artırmak için de çalışmalar yürütülecektir.

Çalışmanın daha hassas ölçüm aralığı, diğer alanlarda kullanım çeşitliliği ve temassız ölçümü en önemli avantajları arasında yer almaktadır. Ancak, sistemin sıcaklık hassasiyeti, farklı şekillerdeki kapların kütleleri için hacimlerinin bilinmesi ve sıvı türüne bağlılığı gibi bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda bu sınırlamaların giderilmesi ve sistemin geniş alanlarda kullanımının artırılması hedeflenmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma kapsamında, araştırmaya katkılarından dolayı ASİS Otomasyon A.Ş. Ar-Ge Merkezi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

- [1] Malgaca, L., Uyar M. (2018). Farklı Karakteristikli Piezoelektrik Algılayıcıların Dinamik Performanslarının Karşılaştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 840-851.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/629317>
- [2] Jiang X. , Zhang X. , Zhang Y. (2021) Electrical admittance-based evaluation of piezoelectric active sensor condition using k-nearest neighbors and least-squares regression, AIP Advances
<https://doi.org/10.1063/5.0059275>
- [3] Dong X., Uchino K.,...,Yuan Y. (2020). Electromechanical Equivalent Circuit Model of a Piezoelectric Disk Considering Three Internal Losses.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9212357>
- [4] http://www.evaldate.in/lab3/pages/2ndOrderBandPassFilter/BandPassFilter_T.html
- [5] <https://www.shahucollegelatur.org.in/Department/Studymaterial/sci/phy/Passive%20Band%20Pass%20RC%20Filter.pdf-converted.pdf>
- [6] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/MSI-techman.pdf>
- [7] https://www.tradewheel.com/co/shenzhen-apple-vista-technology-ltd-1763/products/?s_type=in_site&kw=piezo