

SIVI VE GAZ AKIŞKANLARIN DEBİ ÖLÇÜMÜNDE VENTÜRİMETRE KULLANIMI

Eyüb CANLI*
Selçuk DARICI
Sercan DOĞAN
Muammer ÖZGÖREN

SELCUK ÜNİVERSİTESİ Teknik Eğitim fakültesi
Tel: 0332 223 33 49
E-Mail* : ecanli@selcuk.edu.tr

ÖZET

Debi ölçümü konusunda, özellikle akademik çalışmalarda, sıklıkla yurtdışından ithal edilen debimetreler kullanılmaktadır. Bu cihazlar bilgi maliyeti, navlun, vergiler gibi maliyetlerden dolayı kullanıcı için pahalı bir çözümdür. Ayrıca genellikle stok tutulmadığı için kullanıcının 4 ila 8 hafta gibi uzun süreler beklemesi gerekmektedir. Bununla beraber gelen ürünlerin kullanımında, bir arıza durumunda müdahalede ve kalibrasyon konularında sınırlı teknik destek söz konusudur.

Bu çalışmada ithal debimetrelere alternatif olarak geleneksel ventüri tüpü ve bir elektronik veri toplama düzeneği kullanarak debi ölçümü ve sonuçları incelenmiştir. Biri sıvı diğeri ise gaz olmak üzere iki farklı akışkanın debilerinin ölçülmesi için iki farklı ventüri tüpü hazırlanmıştır ve aynı elektronik veri toplama düzeneğinde ölçümler kaydedilerek hesaplamalar yapılmıştır. Akışkanlardan gaz olan hava, sıvı olan ise ST42 numaralı endüstriyel yağdır. Yağ akışkan, ölçümler sırasında 100 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre ventüri tüpünün dinamik debi ölçümünde dahi etkin biçimde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç, Debi ölçümü, PLC, Sıcaklık, Ventüri.

1. GİRİŞ

Ölçme ve değerlendirme hem reel sektör hem de akademik çalışmalar için çok önemli bir konudur. Özellikle gaz ve sıvı akışının ölçümü düşünüldüğünde konunun önemi daha da ortaya çıkacaktır. Örneğin doğal gaz ölçümündeki %10 luk bir hata olması durumunda veya akışkan fosil yakıtların hacmi düşünüldüğünde birçok ülkenin yıllık gelirlerinden daha fazla bir rakam ortaya çıkacaktır.

Ölçme konusu ele alınırken hem ölçme tekniği hem de ölçüm aletleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ölçme tekniği konusunda yurdumuzda bilgi sahibi teknik eleman bulunmaktadır fakat ölçüm aletlerinin büyük çoğunluğu yurtdışından ithal edilmektedir. İthal edilen ölçüm aletlerinin bir kısmı hesaplı ve çabuk ithal edilebilirken sipariş üzerine üretilen ölçme aletleri, örneğin akış ölçerler, 45 ile 90 gün arasında teslim edilebilmekte ve büyük maliyet tutmaktadır. Dahası bu aygıtların çalıştırılması ve kullanımına yönelik bilgi az olduğu için büyük paralar verilerek alınan cihazlar potansiyellerinin altında kullanılmaktadır. Bu cihazlar ile ilgili bahsedilebilecek diğer bir dezavantajı ise bu aygıtlar bozulduklarında veya sorunlar yaşadıklarında yine bir 45 ile 90 gün arasında beklenmesi gerektiğidir. Bu ürünlerin yurt içerisinde üretilmesi durumunda bahsedilen sorunlar, yurt içerisinde üretilen ürün için birer avantaja dönüşmüş olacaktır. Otomotiv, ulaşım, medikal, silah sanayi, akışkanlarla çalışan sistemleri kullanan makine üreticileri, araştırmacılar, evsel ve endüstriyel tesisatlar ve büyük süreçler içeren fabrikalar (örneğin meyve suyu veya şeker üretimi gibi) gibi birçok alanda akışkanlar kullanılmakta ve bu akışkanların kütle ve hacimsel debilerinin ölçülmesi gerekmektedir. Akış ölçümü, sürecin gözlenebilmesi için şarttır. Her ne kadar çıkan ürün kaliteli olsa da süreç içerisindeki bileşenlerden bir veya birkaçında enerji verimsizlikleri veya sağlığa zararlı atıklar artmaya başlayabilir.

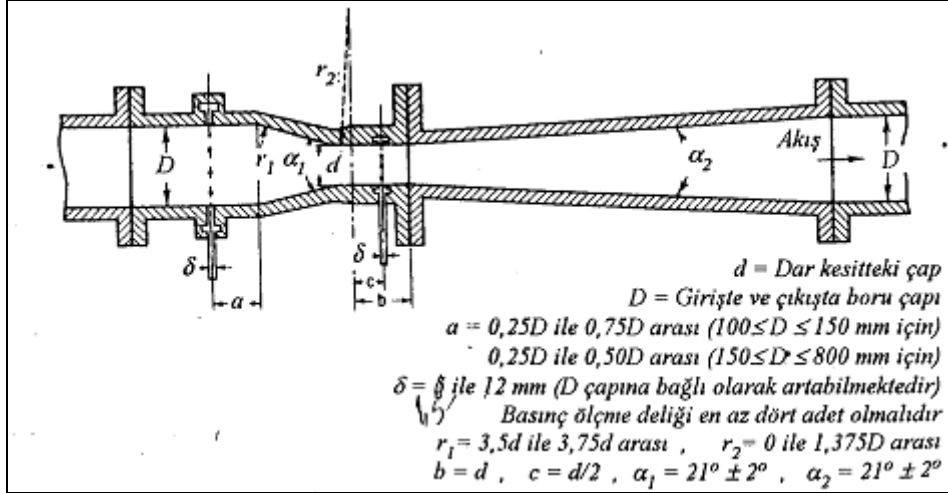
Özellikle doğal gaz gibi ulusal kullanımının değeri milyarlarca dolar tutarındaki değerli yakıtların yanlış debi ölçümünün yaratacağı zarar açıktır. Yine değerli bir ürünün Ar-Ge sürecinde kullanılan ölçüm aletleri çalışırken, izin verilen hata aralığının dışında ölçüm yapması düşünülemez. Ayrıca birçok ölçme yöntemi ve ölçüm hassasiyeti düşünüldüğünde akış ölçümü neredeyse her uygulama için özel tasarlanmakta ve imal edilmektedir. Dolayısıyla çok sayıda hızlı bir şekilde üretilmeleri ve stoklanmaları çok zordur. Bu nedenle talepleri karşılayan debimetreler yüksek fiyatlara ve uzun teslim sürelerine sahip olmaktadır. Ülkemizde kullanılan akış ölçerlerin büyük bir kısmı yurtdışından ithal edildiği için teslim süreleri uzamakta (bazen 3 ay sürmekte) ve gümrük maliyetlerinden dolayı ürün maliyeti artmaktadır. Bütün bu olumsuzlukların yanında teknik bir aksaklıkta yeterli teknik destek çoğu zaman alınmamaktadır. Ürünün değiştirilmesi ya da tamir edilmesi gerektiği hallerde ise kullanıcılar yine çok uzun bekleme süreleriyle ve nakliye maliyetleri ile karşı karşıya gelmektedir. Akış ölçerler için yerel bir bilgi birikimi yetersizdir ve kalibrasyon ve belirsizlik konusunda çoğunlukla yabancı firmaya bağlı kalınmaktadır. Üretici firmanın destek donanımları dışında farklı donanımlar ve program arayüzü ile kullanılmalarında problemler yaşanmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı bu çalışmada geleneksel ventüri tüpü ile debi ölçümünün elektronik ekipmanlarla desteklenmesi araştırılmıştır. Böylece yukarıda sıralanan konularda yerel bir çözüm için bir olasılığın değerlendirilmesi planlanmıştır. Ventüri tüpü kullanımının diğer bir faydası ise özel akışkanlar (korozyif, yanıcı, atık v.b.) ve düşük debiler için özel tasarımların ve özel malzemelerin kullanılabilmesidir.

Gaz veya sıvı akışının ölçülmesi için bazı geleneksel yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler genel olarak akışa bir engel yerleştirilmesi ve akışın basıncının geçici bir süre için düşürülmesi ile basınç farkı elde edilmesine dayanır. Elde edilen basınç farkı ölçülerek akışkanın hızı hesaplanır ve buradan kütle ve hacimsel debiler elde edilebilir. Türk Standartları Enstitüsü'nünde bu yöntemlerle ilgili bazı standartları bulunmaktadır (ör: TS 1423, TS 1424 gibi) [1]. Basınç farkının ölçülmesi içinde "U" tipi manometreler kullanılmaktadır. Fakat günümüz dünyasının hızlı işleyişinde hassasiyet, okuma hızı ve veri kaydı için U manometre kullanımı uygun olmamaktadır. Bu çalışmada geleneksel ventüri tüpü, bir PLC sistemi, sıcaklık ve basınç sondaları kullanılarak debi ölçümü yapılmış ve sonuçlar zamana bağlı dinamik ölçümler olarak sunulmuştur. Biri sıvı diğeri ise gaz olmak üzere iki farklı akışkanın debilerinin ölçülmesi için iki farklı ventüri tüpü hazırlanmıştır ve aynı elektronik veri toplama düzeneğinde ölçümler kaydedilerek hesaplamalar yapılmıştır. Akışkanlardan gaz olan hava ve sıvı olan ise ST42 numaralı endüstriyel yağdır.

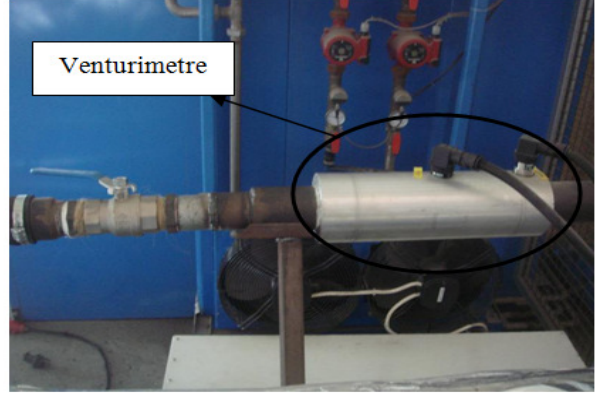
3. DENEYSEL DÜZENEK VE TAKİP EDİLEN YÖNTEM

Debi ölçümünde gaz akışkan olarak hava kullanılmıştır. Havaya ait debilerin bulunabilmesi için kullanılan ventürimetrenin tasarımı için Genceli (2000) [2]'den alınan, TS 1424, ASME ve DIN standartları kullanılarak hazırlanmış ventüri tüpü tasarımı kullanılmıştır [1, 3, 4]. Ventüriye ait oranları gösteren çizim Şekil 1'de verilmiştir. Hava debisi ölçümünde kullanılan ventürimetre, silindirik bir alüminyum kütüğünden talaş kaldırma yöntemi ile imal edilmiştir. Tüm ventürimetre yekparedir. Ventüri eksenine dik doğrultuda basınç ölçümü için açılan delikler üzerinde basınç transmitterlerinin oturacağı yuvalar açılmıştır. Ventüri girişinden önce girişteki hidrolik çapın on katı kadar (10 Dh), çıkışından sonra ise 3 Dh uzunluğunda dikişsiz, iç yüzeyi honlanmış paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Boruların iç çapı ile ventüri giriş ve çıkış çapları eşittir. Böylece ventüri girişinde ve çıkışında akışı rahatsız edecek setler önlenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan ventüri Şekil 2'de, ventüriye ait teknik çizimler ise Şekil 3'te verilmiştir.

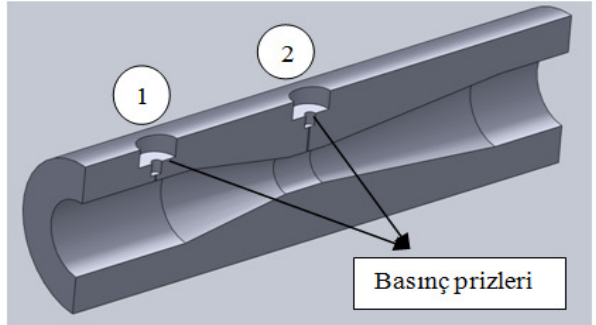
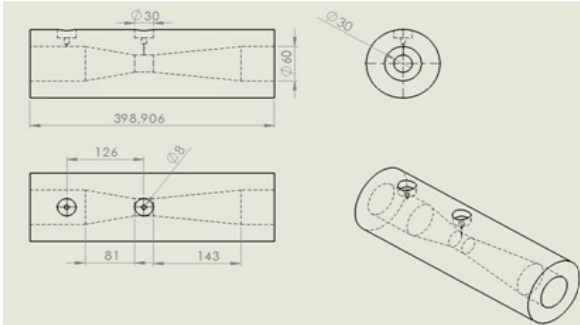
Deney düzeneğinde temelde iki fiziksel özelliğin ölçümü yapılmakta, diğer araştırılan büyüklükler bu iki fiziksel özellikten türetilmektedir. Bu fiziksel özellikler sıcaklık ve basınçtır. Bu nedenle ölçme sisteminde sıcaklık ölçme sondaları ve basınç transmitterleri kullanılmıştır. Daha sonra sıcaklık ve basınç verileri, ventürimetre debi hesabı işlemlerinde kullanılmış ve akışkana ait ortalama hız, hacimsel debi ve kütleli debi gibi veriler elde edilmiştir. Bahsedilen sistem daha önce ısı değiştiricilere yönelik performans ölçümlerinde kullanılmıştır ve kullanım şekli ile ilgili detaylara [5, 6]'dan ulaşılabilir.



Şekil 1. Venturiye ait oranları gösteren çizim [2]



Şekil 2 Hava debisi ölçümünde kullanılan ventürimetre ve yerleşimi

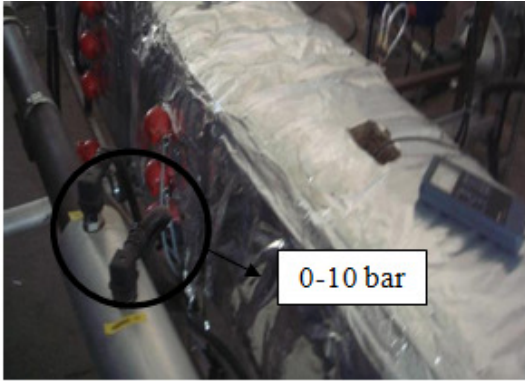


Şekil 3 Ventürimetreye ait teknik resim ve katı model çizimleri

Bilimsel literatürde sıcaklık ölçümü için çeşitli metotlar mevcuttur. Yaygın olarak elektrik direnç termometreleri ve ısı çiftleri (termoelemanlar) kullanılmaktadır. Deneyler sırasında ölçülen hava bir ısı değiştiricisinden geldiği için ve uygulama sırasında hava sıcaklığı 100°C 'tan daha yüksek değerler alabildiği için ventürimetre öncesinde J tipi ısı çifti kullanılmıştır. Ayrıca ölçüm sondalarından çıkan değerlerin elektriksel gürültüden etkilenmemeleri için gürültüyü önleyen yalıtımlara sahip kablolar tercih edilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan ısı çiftleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Sıcaklık ölçümüne nazaran basınç ölçümü daha karmaşık ve maliyetlidir. Sıcaklık ölçümünde farklı elektriksel özelliklere sahip bir ya da daha fazla iletken kullanılırken basınç ölçümünde farklı elektro-fiziksel özelliklere sahip malzemeler elektriksel akım üretecek şekilde düzenlenmişlerdir. Basınç karşısında elektriksel akım üreten birimlere basınç transmitteri adı verilmektedir. Deney düzeneğinde basınç ölçümleri için Trafag'ın Nagano SML-10 kodlu basınç transmitterleri kullanılmıştır. Kullanılan basınç transmitterleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4 Deneysel düzeneğinde sıcaklık ölçümü için kullanılan ısı çiftleri



Şekil 5 Deneysel düzeneğinde kullanılan basınç transducerleri

Deneysel düzeneğinden elde edilen ölçüm verilerinin toplanması, işlenmesi ve kaydedilmesi için endüstriyel tipte bir PLC ve bir bilgisayar kullanılmıştır. Kontrol sistemi akış hatları, ölçme araçları ve kullanıcı ara yüzü olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Deneysel düzeneğinde bulunan motorların çalışma aralıkları, ölçme sisteminden gelen veriler ve kullanıcının sistem ile etkileşimi kontrol sistemi ile sağlanmaktadır. Bütün kontrol sisteminin programlanabilmesi ve işletilmesi için Siemens S7-200 PLC birimi tercih edilmiştir. Deneysel düzeneğinde kullanılan ölçme uçları, elektriksel bağlantılar, elektrik motorlarına ait sürücüler, katı hal röleleri, kullanıcı ara yüzü gibi donanımlar, bir programlanabilir mantıksal kontrol birimi ile yönetilmektedir. Bu iş için endüstriyel uygulamalarda kullanılan Siemens S7-200 seçilmiştir. Deneysel düzeneğindeki farklı elektriksel birimlerin PLC ye bağlantılarının yapılabilmesi için 8 adet dönüştürücü modül kullanılmıştır. Siemens S7-200'e ve kullanılan analog modüllere ait görseller Şekil 6'da gösterilmiştir.



-a-



-b-

Şekil 6. a- Siemens S7-200 PLC, b- Siemens analog modül

Havaya ait yoğunluk değerinin ideal gaz kabulü ile sıcaklığa ve basınca bağlı olarak değişimi;

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1)$$

Havanın ventüri tüpü içerisindeki hızının hesaplanmasında kullanılan çap oranı;

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (2)$$

Ventüri içerisinde ortalama hava hızı;

$$v = \frac{\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

Havanın dinamik viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi için termodinamik tablolardan üretilen eğri denklemi;

$$\mu = (0.4 \times 10^{-7} T) + (0.2 \times 10^{-4}) \quad (\text{kg/ms}) \quad (4)$$

Ventüri içerisinde dolgu havasına ait Reynolds sayısı;

$$\text{Re} = \frac{(\rho v D_h)}{\mu} \quad (5)$$

$\text{Re} < 100000$ için Ventüri boşaltma katsayısı için Genceli [2] den üretilen polinom eğri denklemi;

$$C_d = (3 \times 10^{-29} \text{Re}^5) - (4 \times 10^{-23} \text{Re}^4) + (2 \times 10^{-17} \text{Re}^3) - (7 \times 10^{-12} \text{Re}^2) + (1 \times 10^{-6} \text{Re}) + 0.9294 \quad (6)$$

$\text{Re} > 100000$ için Ventüri boşaltma katsayısı;

$$C_d = 0.984 \quad (7)$$

Boşaltma katsayısına ilişkin çizim Şekil 7'de sunulmuştur. Sıkıştırılabilir akış olmasından dolayı havanın kütleli debisinin ventüri ile ölçümünde kullanılan genişleme katsayısı [2];

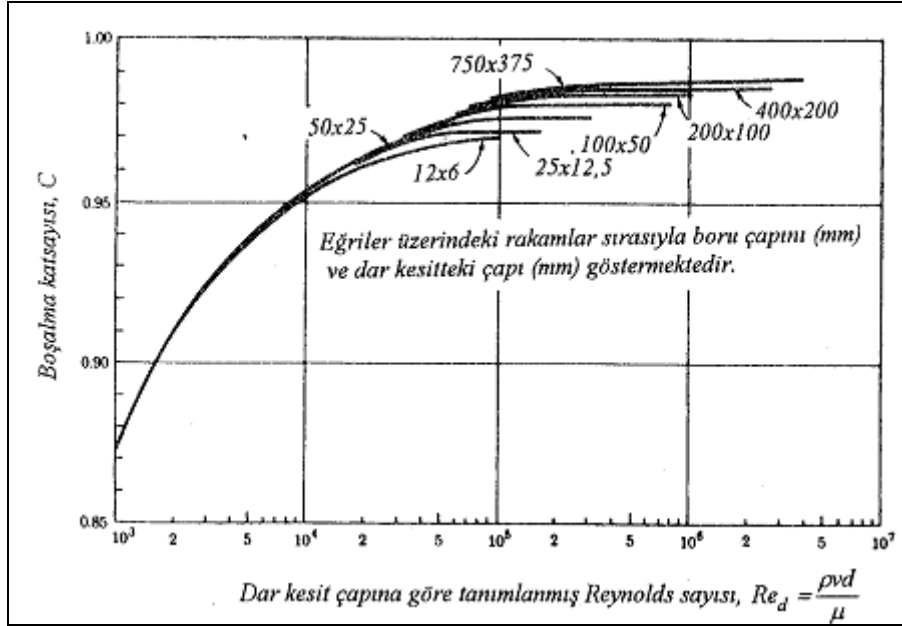
$$Y = \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/\gamma} \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}}} \frac{1 - \beta^4}{1 - \left[\beta^4 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}}\right]}} \quad (8)$$

Havanın hacimsel debisi;

$$\dot{V} = A v \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (9)$$

Havanın kütleli debisi;

$$\dot{m} = \dot{V} \rho C_d Y \quad (\text{kg/s}) \quad (10)$$



Şekil 7. Boşaltma katsayısının dar kesit çapına göre tanımlanan Re ile değişimi

Bu çalışma kapsamında yapılan belirsizlik analizi için Bilen (2011)'den faydalanılmıştır [7]. Deneysel çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. Deneysel çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi deneyi yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımından kaynaklanan hatalar bu grup içinde düşünülebilir. İkinci grup hatalar sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise; deneyi yapan kişilerin değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, ölçme aletlerindeki histerizis olaylarından veya cihazların ısınması nedeniyle elektronik ölçme aletlerinde oluşan salınımlardan kaynaklanabilmektedir [7].

Deneysel sonuçların geçerliliğinin belirlenebilmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekmektedir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan parametrelere ait hata miktarlarının/oranlarının tespiti için pratikte bir kaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde,

akılcı yaklaşım (*commonsense basis*) ve belirsizlik analizi (*uncertainty analysis*) yöntemleri en çok kullanılanlarıdır. Son yıllardaki çalışmalarda hata analizinde; ilk olarak Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan ve diğerlerine göre daha hassas bir yöntem olan belirsizlik analizi yöntemi daha çok tercih edilmektedir [7].

Akılcı yaklaşım hata analiz yönteminde, ölçme sisteminde bulunan bütün ölçüm cihazlarının aynı anda (*pozitif veya negatif yönde*) maksimum hatayı yaptığı kabul edilir. Örnek olarak; bir elektrik devresindeki güç, gerilim ve akım şiddeti çarpımı olan; $P = EI$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmak istensin. Elektrik gerilimi ve akım şiddetini ölçen cihazların sabit hata miktarları (*belirsizlikleri*) sırasıyla, $\pm w_E$ ve $\pm w_I$ şeklinde verilmiş olsun. Bu durumda; ölçme esnasında elektrik gerilimi e olarak ve elektrik akımı da i olarak okunmuş ise, E ve I için şu ifadeler yazılabilir. $E = e \pm w_E$; $I = i \pm w_I$ Böyle bir ölçmede nominal güç (*anma gücü*); $P_N = ei$ değerindedir. Böyle bir deney sonucundan hareketle akılcı yaklaşıma göre elde edilebilecek en hatalı iki değer:

$P_{maks.} = (e + w_E)(i + w_I)$; $P_{min.} = (e - w_E)(i - w_I)$ şeklinde olacaktır. Bu tip bir ölçmede belki hiçbir zaman böyle bir hataya ulaşamayacaktır. Çünkü; tesadüfi olarak, gerilimi ölçen cihaz ile yapılan ölçümde ortaya çıkan hata en büyük değerde iken, akımı ölçmede kullanılan cihaz ile yapılan ölçümde de ortaya çıkan hatanın en büyük değerde olacağı şüphelidir. Bu durum, hata analizinde akılcı yaklaşımı kullanmanın sakıncasını açıkça göstermektedir.

Belirsizlik analizi yönteminde ise herhangi bir deney tesisatı aracılığı ile tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olduğunda; $R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ yazılabilir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata miktarları (*belirsizlikler*); $\pm w_{x_1}, \pm w_{x_2}, \pm w_{x_3}, \dots, \pm w_{x_n}$ ise, R büyüklüğünün sabit hata miktarı (*belirsizliği*) $\pm w_R$ ise;

$$w_R = \frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} + \frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} + \frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3} + \dots + \frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Bu durumda, R büyüklüğüne ilişkin maksimum belirsizlik aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$w_{R_{maks.}} = \left| \frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} \right| + \left| \frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} \right| + \left| \frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3} \right| + \dots + \left| \frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \right|$$

Bu durum, mümkün olabilecek en kötü durum olup, olasılığı en küçüktür. Bu durumu iyileştirebilmek için, Pythagorean Teoremine göre belirsizlik aşağıdaki gibi yazılır.

$$w_R = \pm \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Yukarıdaki bağıntı dikkatle incelendiği zaman, belirsizlik analizi yönteminin diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüklerinden birinin, deneylerde en büyük hataya neden olan değişkenin hemen tespit edilebilmesinin olduğu görülecektir. Böylece hatayı azaltmak için, söz konusu bu değişkenin ölçümünde kullanılan cihaz üzerine yoğunlaşılabilir. Ayrıca, yukarıdaki bağıntıda yer alan terimlerin eş boyutluluk ilkesi açısından uyumlu olduğuna dikkat edilmelidir.

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarında meydana gelebilecek belirsizlikler (*sabit hata miktarları*), bu cihazların kalibrasyonu yapılmak suretiyle belirlenir. Buna göre; bağımsız değişkenlere (*ölçülen parametrelere*) ilişkin belirsizlikler bilindiğinden, yukarıdaki bağıntı kullanılmak suretiyle bağımlı değişkenlere (*hesaplanan parametrelere*) ilişkin belirsizlikler tespit edilebilir.

Belirsizlik analizinde ölçüm yapılan sondalardaki hatalar kullanılarak ilk ölçümlerden en son hesaplanan sonuçlara kadar bu hataların etkileri hesaplanmaktadır. Dolayısıyla yapılan her hesaplama için bir işlem yapılmakta, bulunan belirsizlik değeri hesaplama sonucunun kullanıldığı bir sonraki hesaplamaların belirsizliğinde kullanılmaktadır. Havanın kütleli debisinin ventürimetre ile ölçülmesi işleminin belirsizliğinin hesaplanması gösterilmiştir.

Havanın kütleli debisini veren bağıntı;

$$\dot{m} = A C d Y \rho \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (\text{kg/s}) \quad (11)$$

dır.

(11) eşitliğinde de görüldüğü gibi, havanın kütleli debi eşitliğinde 7 değişken bulunmaktadır. Havanın kütleli debi değerinin belirsizliğinin bulunmasında bütün değişkenler için (11) eşitliğinin türevlerinin alınması gerekmektedir. Bu türevler sonuçları ile değişkenin hata miktarı çarpılır. Böylece değişkenin hata miktarının sonucu hangi oranda etkileyeceği belirlenmiş olur. Hata oranlarıyla çarpılan türev sonuçlarının kareleri alınarak hepsi toplanır ve sonucun karekökü alınır. Sonuçların karelerini alarak toplamanın ve sonra kareköklerini almanın nedeni, toplam belirsizliği belirlemek için yapılacak toplama işleminde negatif ve pozitif sonuçların toplam değerlerinin mutlak değerlerinden küçük olabilmesidir. İşlem sırası şu şekildedir;

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial C d} = A Y \rho \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial A} = C d Y \rho \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial Y} = C d A \rho \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} = 0.5 C d Y A \rho^{-0.5} \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2)}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial P_1} = \frac{C d A \rho^{0.5} Y}{\sqrt{(1 - \beta^4) [2(P_1 - P_2)]}} \quad (16)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial P_2} = - \frac{C d A \rho^{0.5} Y}{\sqrt{(1 - \beta^4) [2(P_1 - P_2)]}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial \beta} = C d A \rho^{0.5} Y \sqrt{2(P_1 - P_2)} \frac{2 \times \beta^3}{(1 - \beta^4) \sqrt{1 - \beta^4}} \quad (18)$$

$$\delta \dot{m}_D = \left[\left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial A} \delta A \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial Y} \delta Y \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} \delta \rho \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial C d} \delta C d \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \beta} \delta \beta \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial P_1} \delta P_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial P_2} \delta P_2 \right)^2 \right]^{0.5} \quad (19)$$

Ventürimetrenin dar kesitindeki hızın hesabı;

$$u_2 = u_y / \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} \right) \quad (23)$$

Ventürimetre dar kesitinde hidrolik yağın Reynolds sayısı;

$$Re = (u \times D_2) / \nu_y \quad (24)$$

Yağ hattındaki ventürimetrenin boşaltma katsayısının hesaplanmasında (25) numaralı eğri denklemi kullanılmıştır. C_d değerini ifade eden korelasyon eşitliği sadece hidrolik yağın test edildiği aralık için Genceli (2000)'den elde edilmiştir [2].

$Re < 100000$ için

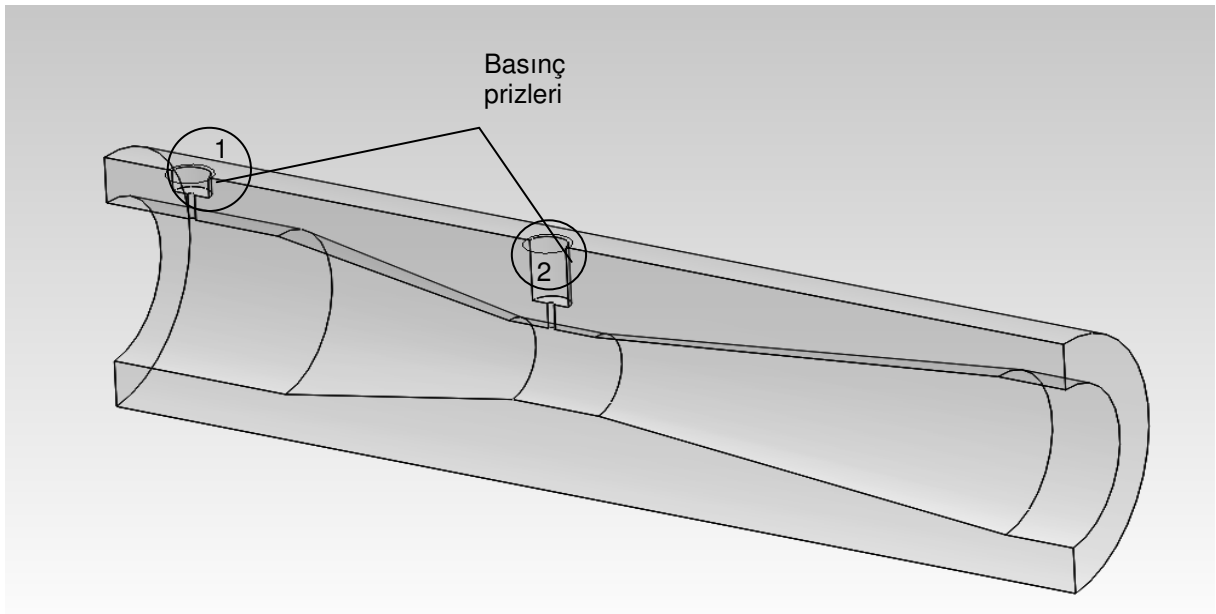
$$C_d = (3 \times 10^{-29} \times Re^5) - (4 \times 10^{-29} \times Re^4) + (0,2 \times 10^{-16} \times Re^3) - (0,7 \times 10^{-11} \times Re^2) + (0,1 \times 10^{-5} \times Re) + 0,9294 \quad (25)$$

Hidrolik yağın hacimsel debisi;

$$\dot{V}_y = \left[\frac{(\pi \times D_2^2)}{4} \right] \times u_y \quad (26)$$

Yağın kütleli debisi;

$$\dot{m}_y = \dot{V}_y \times \rho_y \quad (27)$$



Şekil 9. Kesit görünümü



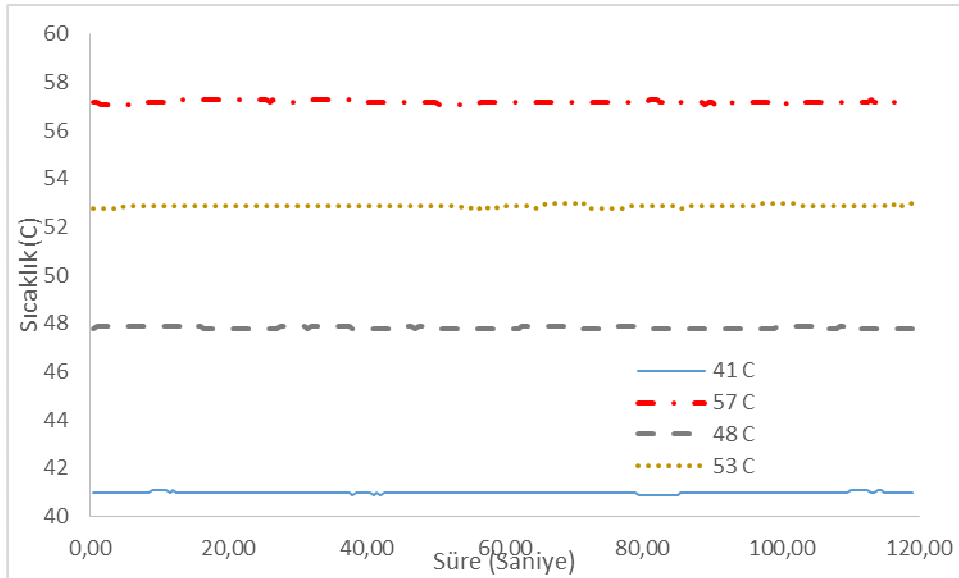
Şekil 10. Ventürimetre bağlantı görünüşü a. Yalıtılmadan önce b. Yalıtıldıktan sonra

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

DeneySEL sonuçlar zamana bağlı basınç ölçümleri, sıcaklık ölçümleri ve bu değerler kullanılarak hazırlanan akışkan hızı ve kütleli debi değerleri şeklindedir. Hava akışı ve yağ akışı ayrı alt başlıklar halinde sunulmuştur.

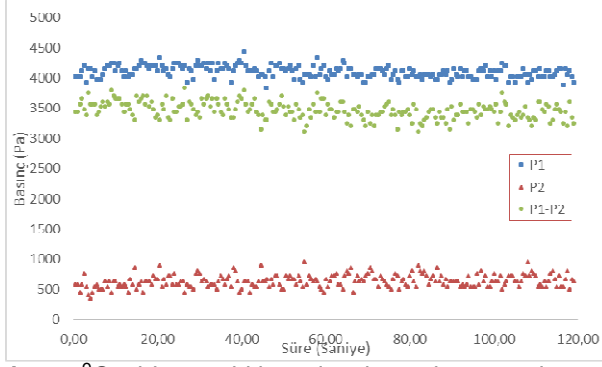
4.1. Hava Ölçümü

Hava debisi ölçülürken hava ventüriye dört farklı giriş sıcaklığında gönderilmiştir. Bu sıcaklıkların 120 saniyelik deney süresince değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Sıcaklık ölçümünün deney boyunca kararlı bir şekilde elde edildiği görülmektedir.

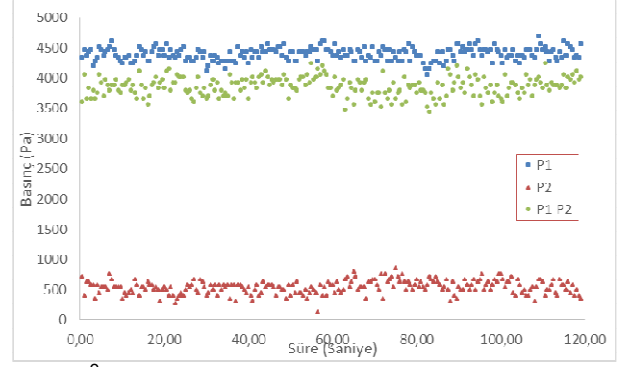


Şekil 11. Havanın ventüri girişindeki sıcaklık değerlerinin deney boyunca değişimi

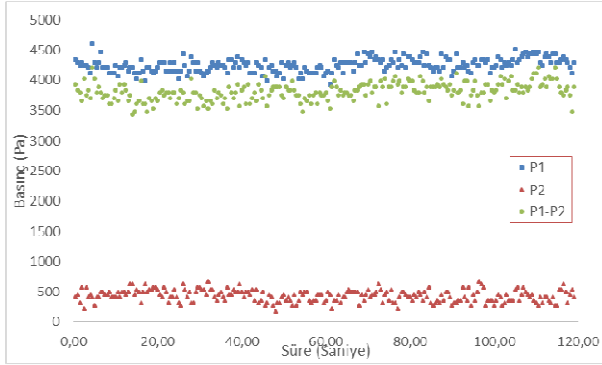
Dört farklı giriş sıcaklığı için ventüri geniş çapında ölçülen basıncın, dar çapta ölçülen basıncın ve aralarındaki farkın değişimi Şekil 12'de verilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere havanın ventüri girişindeki gösterge basıncı yaklaşık 4 kPa'dır. Bununla beraber havanın sıcaklığı arttıkça viskozitesi de arttığı için ventüri içerisindeki basınç düşüşü artan giriş sıcaklığı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla ölçülen hava hızının daha yüksek çıkacağı, bununla beraber artan sıcaklık ile yoğunluk azalacağı için kütleli debi ölçüm değerlerinin hemen hemen aynı kalacağı tahmin edilebilir. Havanın akış hızı ölçümü ve kütleli debi değerleri Şekil 13'te verilmiştir.



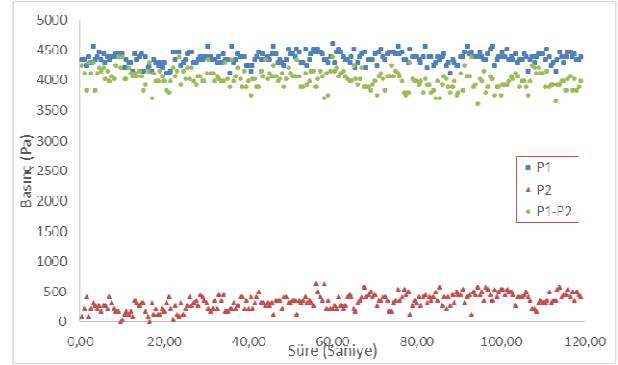
A. 41 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri



B. 48 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri

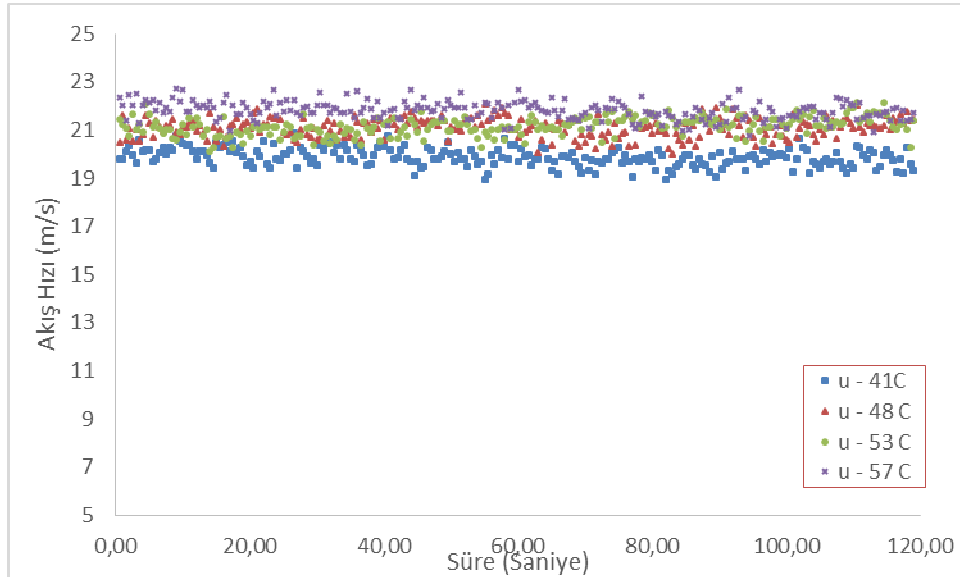


C. 53 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri

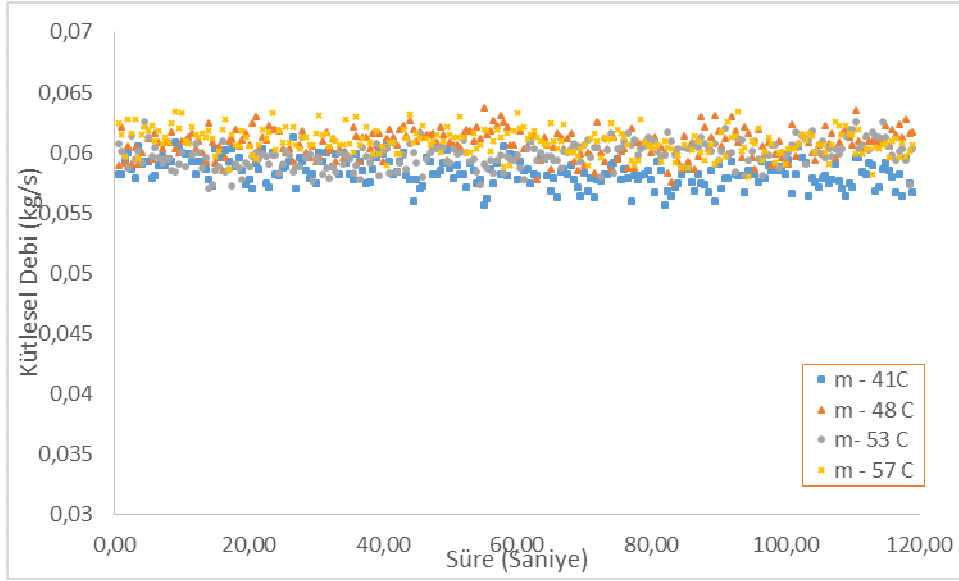


D. 57 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri

Şekil 12. Dört farklı giriş sıcaklığı için ventüri geniş çapında ölçülen basıncın, dar çapta ölçülen basıncın ve aralarındaki basınç farkının zamana bağlı değişimi



A. Akış hızının deney süresince değişimi

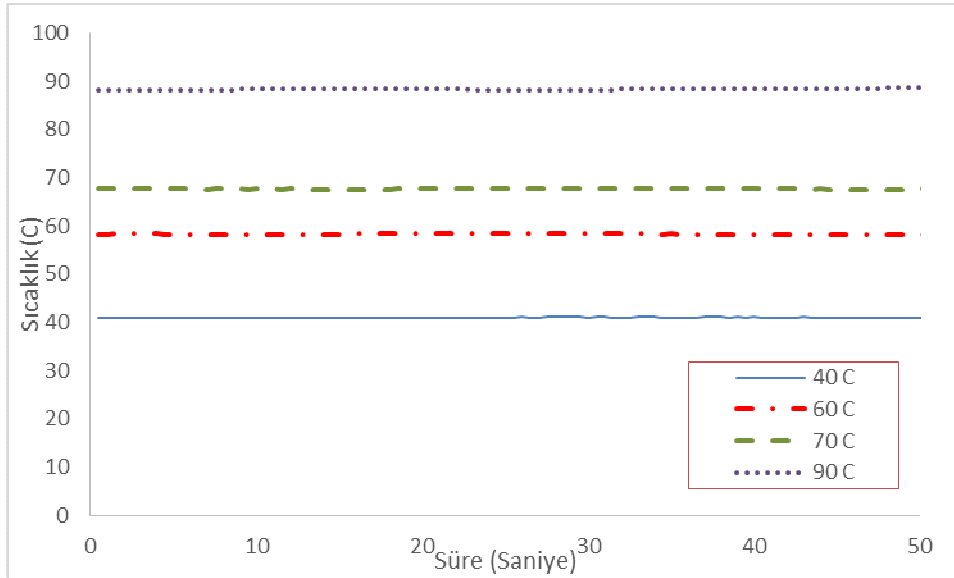


B. Kütleli debi ölçümünün deney boyunca değişimi

Şekil 13. Havanın akış hızı ölçümü ve kütleli debi değerlerinin deney süresince değişimi

4.2. Yağ Ölçümü

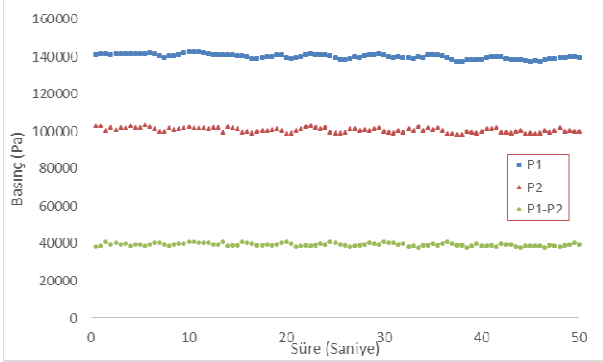
Hava debisi ölçümüne benzer şekilde yağ debisi ölçümünde de aynı frekansta çalıştırılan pompadan çıkan yağ 4 farklı sıcaklığa kadar ısıtılıp ventüriye gönderilmiştir. Yağın ventüriye giriş sıcaklıkları Şekil 14'te verilmiştir.



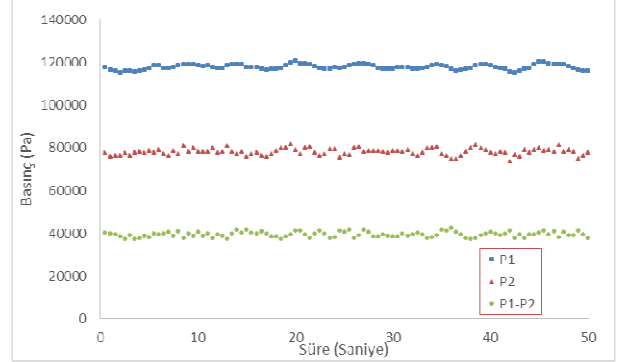
Şekil 14. Yağ debisi ölçümü için kullanılan ventüriye yağın giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi

Yağın viskozitesinin havaya göre çok daha büyük olması ve akış hatları nedeniyle oluşan direnç tesisatta yüksek basınç ve basınç düşüş değerlerine neden olmuştur. Şekil 15'te farklı yağ giriş sıcaklıkları için ventürinin girişinde ve dar kesitinde ölçülen basınç değerleri ile bu iki basınç değerinin arasındaki fark verilmiştir. Şekil incelendiğinde yağ için basınç ölçümündeki çalkantının ve sapmanın daha az olduğu ve daha kararlı ölçüm alınabildiği görülmektedir. Sıcaklık arttıkça yağın viskozitesi azalmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak ventüriden okunan basınç düşüşü de azalmaktadır.

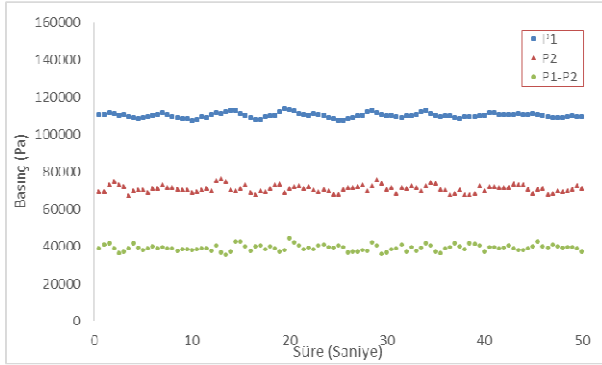
Sıcaklığın debi ölçümüne etkisini gösterebilmek için Şekil 16'da yağ hızının ve kütesel debisinin zamana bağlı değişim grafikleri verilmiştir.



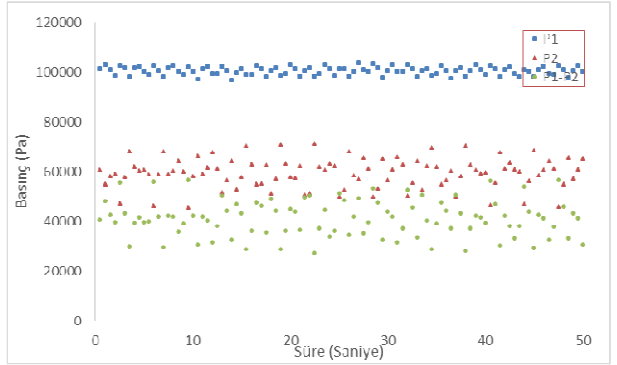
A. 40 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri



B. 60 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri

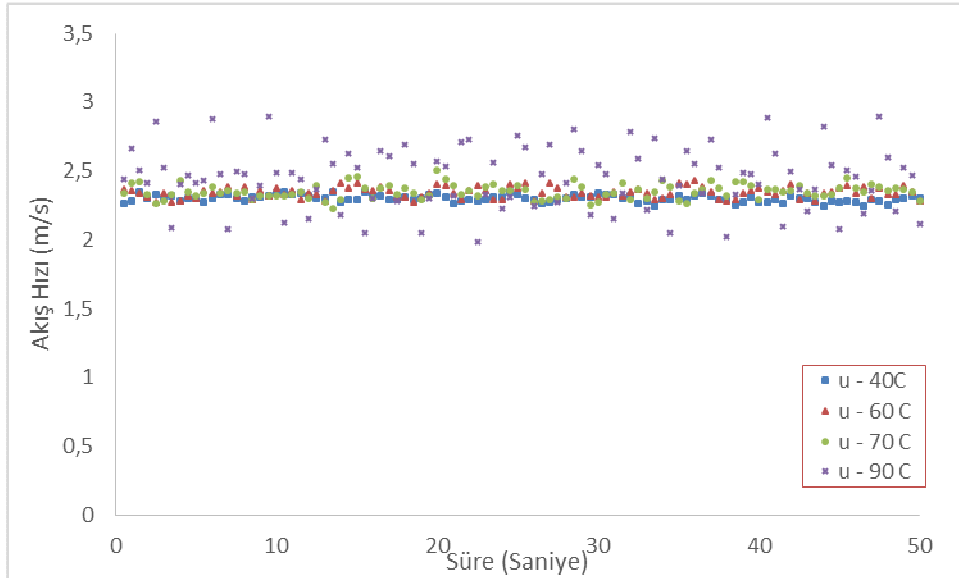


C. 70 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri

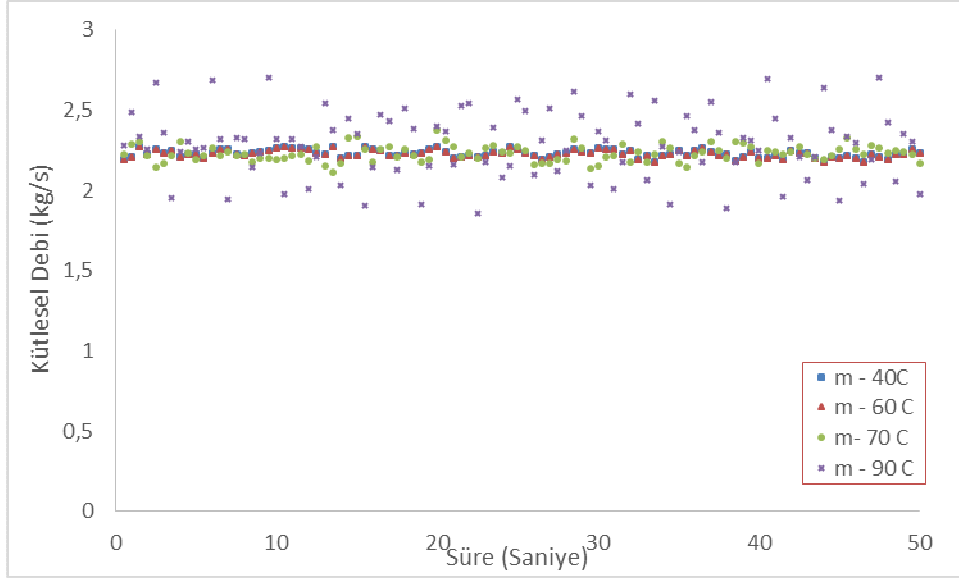


D. 90 °C giriş sıcaklığında alınan basınç ölçümü verileri

Şekil 15. Dört farklı giriş sıcaklığı için ventüri geniş çapında ölçülen basıncın, dar çapta ölçülen basıncın ve aralarındaki basınç farkının zamana bağlı değişimi



A. Akış hızının deney süresince değişimi



B. Kütleli debi ölçümünün deney boyunca değişimi

Şekil 16. Yağın akış hızı ölçümü ve kütleli debi değerlerinin deney süresince değişimi

Şekil 16'dan da açık şekilde görüleceği üzere yağ sıcaklığının artışı hız ve debi ölçümünü olumsuz etkilemektedir. 70 °C a kadar ısıtılan yağda debi ölçümü kabul edilebilir aralıkta sapmalara sahipken 90 °C'ta basınç ölçümünde dalgalanmalar oluşmuştur ve sapma değeri yüksek bir debi ölçümü yapılabilmektedir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışma hakkında şu sonuçlar ve öneriler verilebilir;

- Ventüri ile debi ölçümünde elektronik ölçüm aygıtları kullanılarak zamana bağlı çok sayıda hassas veri alınabilir ve debi ölçümü yapılabilir
- Seçilen basınç ve sıcaklık ölçüm sondalarının çalışma sıcaklığına uygun olarak seçilmeleri önemlidir
- Gelecek çalışmalarda elektronik destekli ventürimetrelerin daha kompakt elektronik donanımla kullanılmaları, basınç transmitterlerinin kesit çevresinde birden fazla noktaya yerleştirilmesi ve ventürinin geniş Re aralıklarında ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilmesi için katsayı araştırmalarının yapılması düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, Nur Toprak Ltd. Şti. bünyesinde Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 10101045 nolu tez araştırma projesi ve TÜBİTAK'ın "Yağ Soğutucu Birimi Tasarımı ve Geliştirilmesi" başlıklı ve 7100227 numaralı TÜBİTAK-TEYDEB projesi ile yapılan çalışmalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bildirinin hazırlanma çalışmaları Sanayi Bakanlığı'nın 0204.TGSD.2013 numaralı, "Gaz Akış Ölçer" isimli Teknogirişim Sermaye Desteği ile desteklenen Eycan Araştırma Geliştirme San. Ve Tic. Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] TS 1424, VENTURİTÜPLERİ İLE AKIŞKAN VERDİSİNİN ÖLÇÜLMESİ, ICS 17.120.10, Nisan 1974
- [2] O. F. Genceli, *Ölçme Tekniği Boyut. basınç. Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri*, 1st ed. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2000, pp. 1–387.
- [3] Anonymous 1961, Flowmeter computation handbook, ASME, New York, USA
- [4] DIN 1952, Ausgabe 7.82/ISO 5167
- [5] E. Canlı, S. Darıcı, S. Doğan ve M. Özgören, *Kompakt Isı Değiştiricilerinde Kararlı Çalışma Halindeki Ekserji Yıkımının Deneysel Olarak Tespiti Ve Aynı Isıl Kapasite Oranı İçin Üç Farklı Isı Değiştiricisinin Ekserji Yıkımlarının Karşılaştırılması*, 11. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ – 17/20 NİSAN 2013/İZMİR, 1149-1175.
- [6] E. Canlı, S. Darıcı, S. Doğan, M. Özgören, Design And Implementation Of An Experimental Setup For Assessment Of Thermal And Hydraulic Performance Of Compact Heat Exchangers", 6th International Ege Energy Symposium & Exhibition, İzmir, 737-750, 2012.
- [7] Bilen, K., 2011, Ölçme Teknikleri Ders Notları, Ders Notu, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale, 11-13 (Yayımlanmamış).

ÖZGEÇMİŞ**Eyüb CANLI**

19.07.1984'te Konya'da doğmuştur. 2008 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2006-2008 yılları arasında Özgüvençler Ltd. Şti. firmasında üretim şefi olarak çalışmıştır. 25 Aralık 2008 tarihinde Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Yüksek lisans tezini taşıtlarda kullanılan ısı değiştiricilerin deneysel analizi üzerine yapmıştır. Ulusal ve uluslararası platformlarda 14 adet bilimsel yazısı bulunmaktadır. Çalışma konuları termodinamik, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve enerji alanlarındadır. Özel olarak ısı değiştiriciler, küt cisimlerin akış karakteristikleri, aerodinamik ve yenilenebilir enerjidir. Halen Selçuk Üniversitesi'nde çalışmakta ve doktorasını yapmaktadır. Evlidir ve bir kızı vardır.

Selçuk DARICI

1974 yılında Konya'da doğdu. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1995 yılında lisans, 1998 yılında Yüksek Lisans diploması aldı. 1996 yılında Selçuk Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Doktora öğrenimini 2004 yılında S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında tamamladı. 2006 yılında S.Ü. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Yrd.Doç. olarak göreve başladı. Halen Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Birleşik ısı transferi problemlerinin sayısal çözümü, kurutma teknolojileri, doğalgaz teknolojisi ve kazanlarda yanma verimliliği konularında çalışmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Sercan DOĞAN

1988 yılı Konya Ereğli doğumludur. 2010 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 2010 yılından itibaren başladığı Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. 2010 yılında NURTOPRAK Ltd. Şti. firmasında proje mühendisi olarak çalışmıştır. 2011 yılı Mart ayında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Yüksek lisans ile ilgili olarak araştırma yapmak üzere 2012 yılında 3 ay İngiltere de bulunan Bath Üniversitesi'nde bulunmuştur. Çalışma konuları akışkanlar mekaniği, enerji, havacılık ve ısı transferi alanlarındadır. Özel çalışma konuları arasında ısı değiştiricileri, küt cisimlerin akış karakteristikleri, aerodinamik ve yenilenebilir enerji vardır. Halen Selçuk Üniversitesi'nde çalışmalarına devam etmektedir.

Muammer ÖZGÖREN

1970 yılında Ereğli-Konya'da doğdu. Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında lisans eğitimini tamamladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 1996 yılında yüksek lisans ve 2000 yılında doktora diplomasını aldı. 1998-2000 yılları arasında Doktora Tez çalışmalarını yapmak üzere ABD'nin Pennsylvania Eyaleti'ndeki Lehigh Üniversitesi'nde proje asistanı olarak çalıştı. 2000-2002 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 2002-2003 yılları arasında doktora sonrası çalışmalar yapmak üzere burslu misafir araştırmacı olarak Lehigh Üniversitesi'nde çalıştı. 2003 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yardımcı doçent olarak göreve başladı. 22 Şubat 2008 de Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Akışkanlar Mekaniği ve Aerodinamik uzmanlık dallarında Doçent oldu. Halen Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Enerji Bilim Dalı'nda Öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Akışkanlar mekaniği, enerji yönetimi, ısı değiştiricileri, HVAC, konvansiyonel ve yenilenebilir enerji sistemleri ve uygulamaları üzerine çalışmakta ve çeşitli uluslararası ve ulusal yayınları bulunmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.