

HELİYUM SIZINTI DETEKTÖRÜ İLE SIZINTI BELİRLEME YÖNTEMLERİ VE SIZINTI STANDARTLARININ KALİBRASYONLARI

Birol ONGUN*
Rıfat KANGI

* birol.ongun@tubitak.gov.tr

TUBITAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze/KOCAELİ
Tel: 0262 679 50 00

ÖZET

Helyum (He) kütle spektrometresi sızıntı detektörleri (Mass Spectrometer Leak Detector) sızıntı oranının 10^{-12} – 10^{-1} mbar·l/s aralığındaki sızıntıların belirlenmesi amacıyla, vakum sistemleri, tehlikeli gazların taşındığı boruların kaynak kontrolleri, mikro elektronik devre elemanlarının üretimlerinin yapıldığı sistemler, soğutucu gazların saklandığı ortamlar gibi ileri teknoloji gerektiren sistemlerin sızdırmazlık kontrollerinde kullanılmaktadırlar. He sızıntı detektörü (MSLD) ile sızıntı belirleme yöntemi tahripsiz, hızlı sonuç alınabilen ve sızıntı oranının 10^{-8} mbar·l/s – 10^{-2} mbar·l/s aralığında metrolojik olarak ifade edilebilmesinden dolayı en çok tercih edilen yöntemdir. MSLD kalibrasyonu genel olarak sızıntı oranı bilinen 2 adet He sızıntı standardının karşılaştırılması yöntemiyle yapılmaktadır. Bu çalışmada He sızıntı detektörü ile sızıntı belirleme yöntemleri ve He sızıntı standartlarının kalibrasyonları anlatılacaktır. Ayrıca yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan örnek belirsizlik tablosu incelenecektir.

Anahtar kelimeler: MSLD, He Sızıntı Standardı, Sızıntı Oranı, He Sızıntı Detektörü.

1. GİRİŞ

Sızıntılar günlük yaşamda, sanayide, laboratuvarlarda kısacası her yerde karşılaşılabileceğimiz fiziksel olaydır ve genelde de istenmezler. Araba kullanırken hayati önem taşıyan lastiklerin hava kaçırmadığından, yakıt deposunda ya da LPG li araçların LPG donanımlarında sızıntı olmadığından emin olmak zorundayız. Buzdolabı, derin dondurucu ve klimalarda kullanılan soğutucu gazların yıllar geçse de sızıntı yapmadan çalışmalarını öngörürüz. Argon (Ar), azot (N_2) Oksijen (O_2) gibi sıvılaştırılmış gazlar çift cidarlı çelik tanklarda taşınırlar ya da saklanırlar. Bu gazların fiziksel özelliklerini korumaları içinde buldukları termosun vakum seviyesinin korunabilmesine bağlıdır.

Vakum ortamında yapılan ileri seviye bilimsel araştırmalarda sızdırmazlığın çok iyi sağlanmış olması gerekmektedir. Açıklamak gerekirse X – ışını tüpleri, kütle spektrometreleri, elektron mikroskopları, uzay simülasyon odaları, insan vücuduna ameliyatla yerleştirilen kalp ritim cihazlarında ve parçacık hızlandırıcılarda sızdırmazlık büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde ulusal metroloji enstitüleri laboratuvar koşullarında saf gazlarla çalışan sızıntı standardı ölçümlerini yapmaktadırlar.

2. SIZINTI

Sızıntı, basınç etkisi veya kapalı bir hacmin malzemesini oluşturan duvarın yapısında konsantrasyon farkı etkisiyle oluşan delik, gözenek, geçirgen eleman veya farklı bir yapı nedeniyle gazların bir cismin duvarından diğer tarafa geçmesi olayıdır [1].

Metrolojik anlamda düşünüldüğünde, sızıntı oranı, kapalı bir kap içerisine belli bir zaman aralığında belli bir miktarda akışkanın girmesi veya çıkmasıdır ve akış q olarak tanımlanır [3].

Gaz moleküllerinin bir sisteme sızıntı kaynağı içerisinden girişi dış basınçla doğru, gazın moleküler ağırlığının karekökü ile ters orantılıdır. Sızıntı miktarı "sızıntı oranı" olarak tanımlanır (Gaz basıncıyla gaz miktarının çarpımı) ve birimi $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ dir [2].

Sızıntılar genel olarak 3 kategoriye ayrılırlar

1. Basit kaba sızıntı: Bu tarz sızıntılar sistemi oluşturan bağlantı elemanlarında (O-ring, teflon, conta vb.) deformasyon oluşması veya bağlantı yapılırken bu elemanları unutulmasıyla oluşur.
2. Kümülatif basit sızıntı: Basit kaba sızıntıya benzer birden fazla sızıntıların bir araya gelmesiyle oluşur.
3. Küçük basit veya küçük çoklu sızıntılar: Bu tür sızıntılar bir sistemin orta, yüksek veya çok yüksek vakum seviyelerine kadar düşürülmesine olanak verirler fakat belli bir noktadan sonra basıncın sabit kalmasına (daha alt basınç seviyelerine düşürülememesine) neden olan sızıntılardır [2].

| | Kabul edilebilir sızdırmazlık değerleri $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ |
|--|--|
| Çok yüksek vakum sistemleri | $10^{-9} - 10^{-8}$ |
| 'Temiz' kaplama yapan işletmeler ve benzer sistemler | $10^{-4} - 10^{-3}$ |
| Endüstriyel kaplama yapan işletmeler ve benzer sistemler | $10^{-3} - 10^{-2}$ |
| Çok yüksek vakum pompaları ve sistem bileşenleri | $10^{-10} - 10^{-7}$ |
| Yüksek vakum pompaları, vanaları ve sistem bileşenleri | $10^{-8} - 10^{-7}$ |
| Diyafram vanalar, diğer destekleyici bileşenler | $10^{-5} - 10^{-4}$ |
| İşletmelerde kullanılan döner hareketli besleyiciler | $10^{-4} - 10^{-3}$ |

Tablo 1. Bazı sistemler için kabul edilebilir sızıntı oranı değerleri

Sızıntılar gerçek sızıntı ve sanal sızıntılar olarak ikiye ayrılır. Gerçek sızıntılar vakum odasının malzemesinin gözenekli veya geçirgen olmasıyla oluşur. Gözenekli yapıda atmosferden gelen gaz moleküllerinin vakum odası duvarlarındaki mekanik hatalardan veya çatlaklardan içeri girmesi ile oluşur. Viskoz (turbulent) akışlarda ortam sıcaklığının artması ile sızıntı oranı azalır, moleküler akışlarda ise sıcaklığın artması ile sızıntı oranı artar.

Geçirgenlikten kaynaklanan sızıntılarda ise katı – gaz etkileşimi söz konusudur. Bu tür akışlar, küçük çaplı gaz moleküllerinin vakum odasının duvarını oluşturan malzemenin molekülleri arasından geçmesi ile oluşur. Ortam sıcaklığının artmasıyla sızıntı oranı da artmaktadır. Helyum gazının camdan geçmesi buna örnek olarak verilebilir. [2]

Vakum odasında belli bir süre sonra basıncın yükselmesi sanal sızıntıların bir göstergesidir. Bu tip sızıntılarda vakum odasını oluşturan malzemeden kaynaklanan mekaniksel hata söz konusu değildir. Sanal sızıntıya en büyük etken vakum odası malzemesinin yüzeyinde bağ oluşturan gaz moleküllerinin ortam sıcaklığının artmasıyla bağlarını kopararak gaz salınımına neden olmasıdır.

3. SIZINTI BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Ne tür sızıntı testi yapılmasına karar vermeden önce şu üç faktörün dikkate alınması gerekmektedir:

- Kabul edilebilir sızıntı limitleri
- Maliyet
- Sızıntı test prosedürünün tekrarlanabilirliği

10^{-2} Pa·m³/s seviyelerinde olan sızıntılar kulakla duyulabilirler. 10^{-5} Pa·m³/s seviyelerinde olan sızıntılar baloncuk testi gibi basit testlerle gözle belirlenebilirler fakat daha düşük seviyelerdeki sızıntıların belirlenmesinde çok daha karmaşık yöntemler kullanılmaktadır [3].

3.1. Baloncuk testi

Uygulaması basit tahripsiz ve maliyet gerektirmeyen bir yöntemdir. Bağlantı elemanlarının kullanıldığı ve içinde atmosfer basıncından farklı basınçta akışkanın kullanıldığı kurulumların bağlantılarının kontrol edilmesinde kullanılır. 10^{-3} Pa·m³/s ile 10^{-5} Pa·m³/s aralığındaki sızıntıları kontrol edilebilirler [1, 3].

3.2. Floresan boyalar

Sistem içerisine floresan boya enjekte edilir ve sistem dışarıdan mor ötesi ışıkla aydınlatılır. Sızıntı kaynaklarında ışımaya gözlenir. Baloncuk testiyle karşılaştırıldığında aynı şekilde ucuz ve tahripsiz bir yöntemdir [1-3]. 10^{-2} Pa·m³/s den biraz daha düşük seviyedeki sızıntı oranları belirlenebilir.

3.3. Basınç düşüş testi

Büyük sistemlerde, sıhhi tesisatların kontrolünde ve sanayide geniş alanlarda kontrol amaçlı uygulanan test yöntemidir. 10^{-5} Pa·m³/s seviyesinin altındaki uygulamalar için uygun bir yöntem değildir [1-3]. Büyük sistemlerde test süresi uzun zaman alabileceğinden dolayı ortam şartlarının kontrol kayıtlarının tutulması ve elde edilen verinin yapılacak olan hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir.

3.4. Akustik test

Vakum odasına sızıntının türbülant akış şeklinde olmasıyla ultrasonik enerji açığa çıkar. Gaz moleküllerinin sızıntının olduğu kaçıktan ayrılırken açığa çıkan ultrasonik frekanstaki titreşimler kaçak sinyalinin kaynağının gösterir. 10^{-4} Pa·m³/s seviyelerindeki sızıntılar belirlenebilir.

3.5. Optik Yöntem

Genelde doğal gaz taşıyan boruların kontrolünde kullanılan bir yöntemdir. Pasif ve aktif olarak adlandırılan 2 yöntem kullanılmaktadır. Aktif yöntemde boru yüzeyleri lazer ile taranarak uygun bir algılayıcı ile belirleme yapılır. Bu yöntemde kaynak tespiti yapılır, gaz sızıntısı olması gerekmemektedir. Pasif yöntemde sızıntı kaynağının gözetlenmesi gerekmemektedir sızıntı halindeki doğal gazların yaymış olduğu radyasyon gözetlenerek belirleme yapılır [3].

3.6. Yeraltı penetrasyon radarı

Yer altında gömülü su borularında oluşan su sızıntılarının belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Toprak altında sızıntıdan dolayı zeminin dielektrik özelliğindeki anormalliklerden kaynaklanarak yüzeye geri dönen radar dalgalarının yardımıyla belirlenirler.

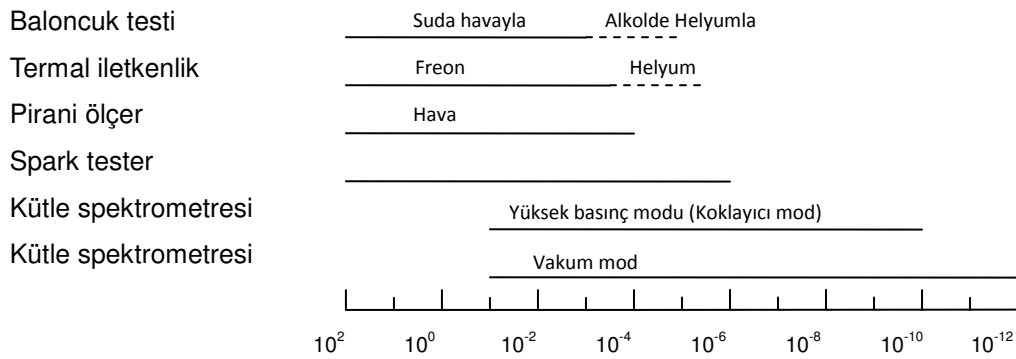
3.7. Basınç dalgaları

Basınçlı akışkan taşıyan borularda sızıntılardan dolayı oluşan basınçlı dalgaların belirlenmesine dayalı bir yöntemdir. Basınçlı boru içerisinde hareket eden basınç dalgaları boru yüzeyinde oluşan bozukluklarla (sızıntı kaynağı) etkileşime girerek geri yansıtılırlar. Bu geri dönen basınç dalgalarının belirlenmesiyle sızıntı belirlenmesi yapılır.

4. KÜTLE SPEKTROMETRESİ SIZINTI DETEKTÖRÜ (MSLD)

İzleyici gaz ve kütle spektrometresi ile yapılan sızıntı belirleme yöntemi güvenilir ve tahripsiz bir yöntemdir. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında milyonlarca kat daha duyarlı ve güvenilirdir.

Helyum (He) gazının atmosferde neredeyse yok denecek kadar az olması (5 PPM), zehirsiz ve en küçük çaplı asal gaz molekülü olması nedeniyle kütle spektrometresiyle sızıntı belirlemelerinde izleyici gaz olarak kullanılırlar [3]. Molekül çapının küçük olduğundan atmosferde bulunan gaz molekülleriyle karşılaştırıldığı zaman mikroskobik seviyelerdeki kılcal çatlaklardan geçebilirler. Basit bir kütle spektrometresi Helyum gazını diğer gazlar ve kirliliklerden kolayca ayırt edebilir ve bu nedenle kütle spektrometresi sızıntı detektörleriyle (MSLD) sızıntı belirlemede Helyum gazı izleyici gaz olarak kullanılır. Hidrojen (H_2) gazı da aynı şekilde küçük çaplı ve hızlı bir gazdır fakat Oksijenle (O_2) kolayca tepkimeye girebilen tehlikeli (yanıcı ve patlayıcı) gazdır. Hidrojen gazının izleyici gaz olarak kullanıldığı kütle spektrometresi sızıntı detektörleriyle çalışırken ileri seviyede güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Helyum sızıntı detektörlerinin, diğer sızıntı belirleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, $10^{-1} Pa \cdot m^3/s$ ile $10^{-12} Pa \cdot m^3/s$ gibi oldukça geniş bir çalışma aralıkları vardır.

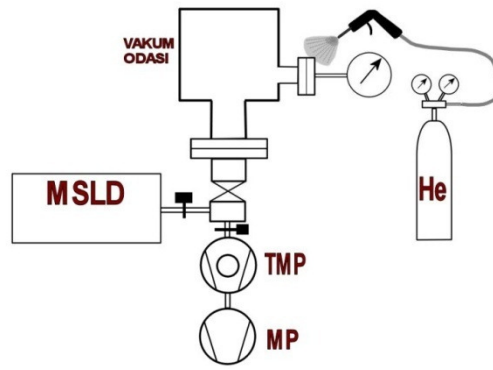


Şekil 1. Bazı sızıntı belirleme yöntemlerinin duyarlılık aralıkları (Sızıntı oranı $Pa \cdot m^3/s$)

Kütle spektrometreleri vakum sistemlerinin bir parçası olarak düşünülebilir ve yüksek ($10^{-1} Pa - 10^{-4} Pa$) ve çok yüksek ($10^{-4} Pa - 10^{-10} Pa$) seviyesinde çalışan vakum sistemlerinin sızdırmazlık testleri MSLD ile yapılır. Kütle spektrometresi sızıntı detektörü ile sızıntı belirlemesi farklı iki yöntemle yapılır; içten belirleme ve dıştan belirleme yöntemi.

4.1. İçten belirleme yöntemi

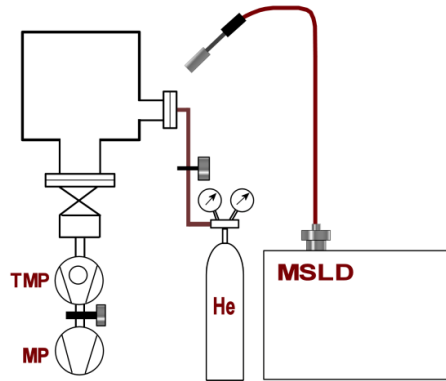
He sızıntı detektörü testi yapılacak olan sisteme herhangi bir porttan bağlanır. Bu şekilde detektör vakum sisteminin bir parçası haline gelmiş olur fakat vakumlama işlemi sistemin kendi pompalarından değil, He sızıntı detektörünün pompalama sistemi tarafından yapılır. Pompalama işleminin yetersiz olduğu durumda sistemin kendi pompaları da aynı anda destek vermek amacıyla çalıştırılabilir. Sistemin taban basıncının $10^{-3} Pa$ (Taban basıncı sistemin büyüklüğüne göre değişiklik gösterebilir) seviyelerine kadar düşerek durağan hale gelmesi beklenir. He tüpüne bağlı gaz tabancasıyla sisteme dışarıdan He gazı püskürtülerek ilk önce He sızıntı detektörünün sistem ile bağlantı noktasının sızdırmazlık testi yapılır daha sonra sızıntı olabileceği düşünülen kısımlarına He gazı püskürtülür. Gaz püskürtme işlemi kısa aralıklarla (yaklaşık 2-3 saniye) yapılmalıdır. Tepki süreleri sistemden sisteme değişiklik gösterebilir. Sistemde kaçak varsa He gazı bu kaçıktan geçerek detektöre ulaşır ve sinyal veya sızıntının gerçek değerini verir. İçten belirleme yöntemiyle $10^{-11} Pa \cdot m^3/s$ ile $1 Pa \cdot m^3/s$ sızıntı oranı aralığındaki ölçümler yapılır.



Şekil 2. Kütle spektrometresi sızıntı detektörü ile içten belirleme

4.2. Dıştan belirleme yöntemi (Koklama Modu)

Testi yapılacak olan sistemin iç kısmı basınç seviyesi atmosfer seviyesinin biraz üstünde olacak şekilde ($p_{mutlak} \approx 1200$ mbar) He gazı ile doldurulur. He sızıntı detektörün girişine bağlı olan koklayıcı cihaz ile sistemin kaçak olabilecek bölümleri kontrol edilir. Kaçağın olduğu yerden sızan He molekülleri koklayıcıdan geçerek detektöre ulaşır ve detektör tarafından algılanır. Koklama modunda cihazın ölçüm aralığı 10^{-6} Pa·m³/s ile 10^{-1} Pa·m³/s seviyelerindedir.



Şekil 3. Kütle spektrometresi sızıntı detektörü ile dıştan belirleme (Koklama Modu)

5. He SIZINTI STANDARTLARI

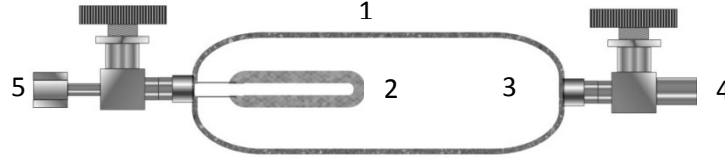
He sızıntı detektörleri, maksimum doğruluğun elde edilebilmesi için He sızıntı standartlarıyla sık aralıklarla iç kalibrasyonu yapılmalıdır. Geçirgen tip sızıntı standardı ve kılcal tip sızıntı standartları en sık kullanılan ikincil seviye standartlardır.

Geçirgen tip sızıntı standartlarıyla 10^{-12} Pa·m³/s ile 10^{-4} Pa·m³/s aralığında sızıntılar oluşturulabilir. Bu tip standartlar paslanmaz çelikten imal edilmiş, kapalı bir hazne içerisinde basınçlı He gazı bulunan ve geçirgen malzemeden (Quartz) izleyici gazın difüze olmasıyla gaz akışı oluştururlar. Geçirgen tip sızıntı standartlarında sızıntı oranı quartz tüpün boyutları ve et kalınlığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Değişik boyutlarda quartz tüpleri kullanılarak değişik sızıntı oranlarında He sızıntı standartları hazırlanır.

Geçirgen tip He sızıntı standartlarında sızıntı oranı kapalı bir tüp içerisinde sıkıştırılmış He gazının boşalmasıyla elde edildiği için tüp basıncı zamana göre düşecektir ve buna bağlı olarak sızıntı oranında da düşüş olacaktır. Bu etkiye 'boşalma oranı' denir ve boşalma oranı değeri üretici firma tarafından verilir. Genel olarak geçirgen tip sızıntı standartlarının boşalma oranı yıllık %1 - %10 arasındadır. Kullanıcı, yapacak olduğu çalışmalarda boşalma oranı değerini yapacağı hesaplamalarında kullanacağından dolayı tüp çıkışındaki vana kapatılmaz, aksi takdirde boşalma oranı değeri değişecektir ve sızıntı standartlarının yeniden kalibre edilmesi gerekir [3].

Tüp içerisinde bulunan sıkıştırılmış He gazının basıncı sıcaklığın etkisiyle değişir ve buna bağlı olarak sızıntı oranı da değişir. Kalibrasyon sırasında ortam sıcaklığındaki sapmanın kabul edilebilir sınırlar içinde olması gerekmektedir. Kalibrasyonu yapılacak olan geçirgen tip sızıntı standardı ve

kalibrasyonda kullanılacak olan referans geçirgen tip sızıntı standartları sisteme bağlanırken elle doğrudan temas edilmemesine özen gösterilmelidir; mümkünse ısıyı yalıtılabilen uygun eldiven giyilmelidir. Sızıntı standartları, sisteme bağlantıları yapıldıktan sonra ortam şartlarına uyum sağlayabilmesi için en az 16 saat bekletildikten sonra kalibrasyonları yapılmalıdır. Ayrıca bu süreç zarfındaki sıcaklık değişimlerinin kayıtlarının tutulup, kalibrasyona başlamadan önce ortam sıcaklığındaki sapmaların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığının kontrolünün yapılması da gerekmektedir.



Şekil 4. Geçirgen tip sızıntı standardı kesiti. 1- Paslanmaz çelik tüp, 2- Geçirgen kuartz, 3- He gazı, 4- He gazı dolum vanası, 5- Sızıntı akış portu

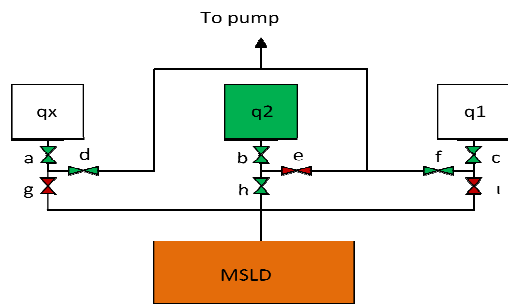
Kullanım harici bekletilme sırasında da ortam sıcaklığında aşırı değişim olmamalıdır. Tüplerin kalibre edildiği sıcaklıktan farklı sıcaklıktaki bir ortamda bekletilmesi boşalma oranının da değişmesine neden olacaktır. Şayet farklı bir sıcaklık ortamında bekletilecekse, bekleme süresi boyunca sıcaklık değişimi de dikkate alınarak o süre zarfındaki ortalama sıcaklık değerindeki sızıntı oranı hesaplanmalıdır. Sıcaklık farkının sızıntı oranı üzerine olan etkisi aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$q_r = q_{cal} \cdot T_c \cdot T_m \quad (1)$$

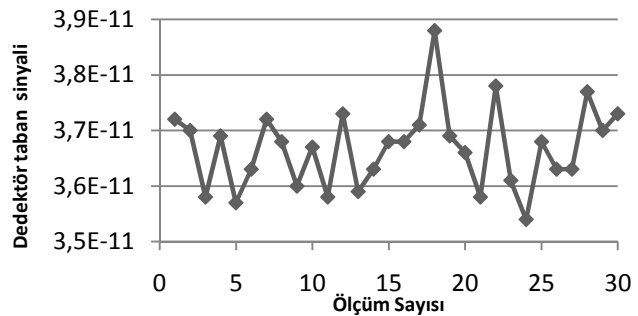
Burada;

- q_r : Hesaplanan sızıntı oranı, mbar·l/s
- q_{cal} : Sertifika değeri, mbar·l/s
- T_c : Sıcaklık düzeltme katsayısı, $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- T_{cal} : Kalibrasyon sıcaklığı (sertifika değeri), $^{\circ}\text{C}$
- T_m : Ölçüm sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

Geçirgen tip sızıntı standartlarının tersine kılcal tip sızıntı standartlarında sıcaklığın sızıntı oranına olan etkisi ihmal edilecek kadar azdır. Kılcal tip standartların çalışma aralığı 10^{-6} Pa·m³/s ile 10^{-4} Pa·m³/s kadar olabilmektedir. Giriş kısmında geçirgen tip standartlardaki gibi basınçlı He tüpü olmadığından standardın giriş kısmındaki gaz basıncı değiştirilerek değişik sızıntı oranları elde etmek mümkündür.



Şekil 5. He sızıntı standardı kalibrasyon düzeneği



Grafik 1. He sızıntı detektörü taban sinyali

TÜBİTAK UME Vakum Laboratuvarı'nda 4 adet geçirgen tip sızıntı standardı ve 3 adet de kılcal tip sızıntı standardı olmak üzere toplam 7 adet sızıntı standart seti oluşturularak laboratuvarında kalibrasyon amaçlı kullanılacak olan He sızıntı detektörünün karakterizasyon belirleme çalışmaları yapılmıştır. 2014 yılı başı itibarıyla kullanıcılardan gelecek olan talepler doğrultusunda "He sızıntı detektörü karakterizasyon belirleme ölçümleri" ve "He sızıntı standardı kalibrasyonu" ölçümleri yapılabilecektir.

TÜBİTAK UME Vakum Laboratuvarı Avrupa Birliği Metroloji Projesi “EMRP IND12 Vacuum Metrology for Production Environment” (Endüstriyel Uygulamalar için Vakum Metrolojisi) başlıklı projede He sızıntı standardı kalibrasyonları ve He sızıntı detektörleri karakterizasyon çalışmalarını da kapsayan ölçümler de dahil olmak üzere aktif katılımcı olarak yer almaktadır ve çalışmalarını diğer katılımcı ülkelerin metroloji enstitüleri, üniversiteler ve firmalar ile birlikte koordineli olarak sürdürmektedir.

6. He SIZINTI STANDARTI KALİBRASYONU

Sızıntı oranı değerleri, kalibrasyonu yapılacak olan test standardının sızıntı oranının altında ve üstünde olan iki adet referans standart ile kalibrasyon gerçekleştirilir. Kalibrasyon sırasında ortam sıcaklığının kararlı olması gerekir. Sırasıyla her referansın taban sinyali (background signal) He sızıntı detektöründen okutulur ve daha sonra sırayla normal sinyal değerleri okutulur. Aşağıdaki formüle göre bilinmeyen sızıntı standardının sızıntı oranı değeri hesaplanır.

$$q_x = q_1 + (q_2 - q_1) \frac{(S_x - S_{0x} - S_1 + S_{01})}{(S_2 - S_{02} - S_1 + S_{01})} \quad (2)$$

Burada:

- q_x : Kalibrasyonu yapılan sızıntı standardının sızıntı oranı değeri
- q_1, q_2 : Kalibrasyonda kullanılan referans sızıntı standartlarının sızıntı oranları
- S_{0x}, S_{01}, S_{02} : Standartların taban sinyal değerleri
- S_x : Kalibrasyonu yapılan standardın sinyal değeri
- S_1, S_2 : Referans standartların sinyal değerleri

6.1. Belirsizlik bütçesi tablosu

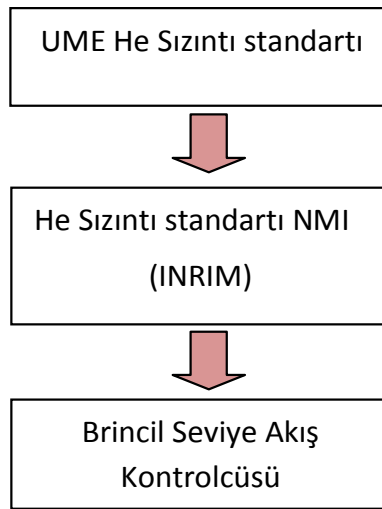
| X_i | Estimated quantity x_i | Unit | Uncertainty component $u(x_i)$ | Source of uncertainty | Standard Uncertainty $u(x_i)$ | Unit | Distrib. | Sens. Coef. $c_i \equiv \partial f / \partial x_i$ | Unit | $u_i(x_i) \equiv c_i u(x_i)$ | Uncertainty variance $u_i^2(x_i)$ |
|---|-----------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------|----------|---|----------|-------------------------------|--------------------------------------|
| S_1 | 1,80E-08 | mbar•L/s | $u(S_1)$ | Repeat. obs. | 1,371E-10 | mbar•L/s | | -1,01E+00 | mbar•L/s | -1,39E-10 | 1,92E-20 |
| | | | | Random eff. | 1,00E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | Resolution | 8,92E-11 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | | 2,89E-11 | mbar•L/s | R | | | | |
| S_2 | 1,53E-07 | mbar•L/s | $u(S_2)$ | Repeat. obs. | 5,010E-10 | mbar•L/s | | -4,47E-01 | mbar•L/s | -2,24E-10 | 5,03E-20 |
| | | | | Random eff. | 3,00E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | Resolution | 2,79E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | | 2,89E-10 | mbar•L/s | R | | | | |
| S_x | 7,78E-08 | mbar•L/s | $u(S_x)$ | Repeat. obs. | 2,979E-10 | mbar•L/s | | 1,01E+00 | mbar•L/s | 3,01E-10 | 9,06E-20 |
| | | | | Random eff. | 2,20E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | Resolution | 1,99E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | | 2,887E-11 | mbar•L/s | R | | | | |
| q_1 | 2,01E-08 | mbar•L/s | $u(q_1)$ | Calibration | 1,25E-09 | mbar•L/s | | 5,57E-01 | mbar•L/s | 6,97E-10 | 4,86E-19 |
| | | | | Temperature | 7,89E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | | 9,72E-10 | mbar•L/s | N | | | | |
| q_2 | 1,57E-07 | mbar•L/s | $u(q_2)$ | Calibration | 7,87E-09 | mbar•L/s | | 4,43E-01 | mbar•L/s | 3,48E-09 | 1,21E-17 |
| | | | | Temperature | 4,91E-09 | mbar•L/s | N | | | | |
| | | | | | 6,14E-09 | mbar•L/s | N | | | | |
| Total variance (mbar•L/s): | | | | | | | | | | 1,28E-17 | |
| Standard unc. u(q) (mbar•L/s): | | | | | | | | | | 3,57E-09 | |
| Expanded unc. U(q) (mbar•L/s): | | | | | | | | | | 7,15E-09 | |
| Relative exp.uncertainty U(q)/q: | | | | | | | | | | 8,87E-02 | |

Tablo 2. TÜBİTAK UME He sızıntı standartları belirsizlik bütçesi tablosu.

| | Tip | Sızıntı oranı (Pa m ³ /s) | Sıcaklık katsayısı (°C ⁻¹) | Yıllık kayıp % |
|-----|----------|---|---|-------------------|
| S1 | Geçirgen | 2,39E-09 | 4 | 0,1 |
| S 2 | Geçirgen | 1,94E-08 | 4 | 0,1 |
| S 3 | Geçirgen | 1,22E-07 | 4 | 0,8 |
| S 4 | Geçirgen | 1,78E-06 | 4 | 3,4 |
| S 5 | Kılcal | 4,14E-6 | - | - |
| S 6 | Kılcal | 5,04E-5 | - | - |
| S 7 | Kılcal | 1,870E-4 | - | - |

Tablo 3. TÜBİTAK UME He sızıntı standartları ve sızıntı oranları.

7. UME HELYUM SIZINTI STANDARDI İZLENEBİLİRLİK ZİNCİRİ

**Şekil 6.** TÜBİTAK UME He sızıntı standartları izlenebilirlik tablosu.

KAYNAKLAR

- [1] EUROPEAN STANDART, EN 1330-8, 1998
- [2] HARRIS, N., "Modern Vacuum Practice", 1989.
- [3] BERGOGLIO, M., MARI, D., "Leak rate metrology for society and industry", Measurement, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Birol ONGUN

1966 Mersin doğumludur. 1991 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden mezun olmuştur. 1994 – 1999 yılları arasında SSS A.Ş. de fizik mühendisi olarak görev yapmıştır. SSS A. Ş. de X – Işını Floresans ve X – Işını Difraktometre Laboratuvarlarının kurulumlarını yapmıştır. 1999 yılında TÜBİTAK UME Vakum Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak göreve başlamıştır. Aynı laboratuvarda 2003 yılına kadar birincil seviye statik genleşme sistemi'nin kurulumu ve devreye alınmasında görev almıştır. 2003 – 2012 yılları arasında TÜBİTAK UME Akışkanlar Laboratuvarı kurulumu ve idamesinde görev almıştır. 2012 yılında tekrar Basınç Laboratuvarı'nda göreve başlamış ve araştırmacı olarak devam etmektedir. Avrupa Birliği Metroloji Projesi “EMRP IND12 Vacuum Metrology for Production Environment” (Endüstriyel Uygulamalar için Vakum Metrolojisi) başlıklı projede görev almış ve çalışmalarını sürdürmektedir.

Rıfat KANGI

1958 Semerkant (Özbekistan) doğumludur. 1980 yılında SDÜ Fizik Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1980 yılında yüksek lisans ve Rusya Bilimler Akademisi İnorganik Kimya Enstitüsünden (Novosibirsk, Rusya) 1992 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1984-1992 yılları arasında adı geçen Enstitüde Araştırmacı/Uzman Araştırmacı olarak görev yapmıştır. 1993-2010 yılları arasında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Basınç ve Vakum Laboratuvarında Araştırmacı/Uzman Araştırmacı olarak görev yapmıştır. 2005-2011 yılları arasında UME Fotonik ve Elektronik Sensörler Laboratuvarında (yarı zamanlı) Uzman Araştırmacı ve 2011 yılından beri UME Basınç ve Vakum Laboratuvarında Uzman Araştırmacı/Başuzman Araştırmacı ve aynı birimin laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır. Vakum metrolojisi ve teknolojisi konularında çalışmaktadır.