

BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN (TRANSDUCER / TRANSMİTTER) KALİBRASYONU ve BELİRSİZLİK HESABI

Abdullah HAMARAT¹, Dr. İlknur KOÇAŞ¹

¹TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, P.K: 54 41470 Gebze-Kocaeli TÜRKİYE
Tel: 262 679 50 00 E-Mail: abdullah.hamarat@ume.tubitak.gov.tr, ilknur.kocas@ume.tubitak.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada basınç ölçümlerinin yapıldığı ortamlardaki basınç değerini ve basınç değişimlerini belirlemek amacıyla sıkça kullanılan basınç dönüştürücülerin kalibrasyonu konusu irdelenmiştir. Söz konusu ortamlardaki basınçların doğru ve güvenilir bir şekilde tespit edilebilmesi için, sistemde kullanılan basınç ölçerlerin belirli aralıklarla kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Basınç dönüştürücüsünden gelen sinyallerin güvenilirliği, basıncın ön plana çıktığı sistemlerde otomasyonun doğru ve etkili bir şekilde yapılabilmesi ve nihai ürün üzerinde etkili olması sebebiyle çok önemlidir. Söz konusu kalibrasyonlardaki belirsizlik hesabının açıklanmasında konuyla ilgili EA dokümanlarından faydalanılmıştır.

Anahtar sözcükler: Basınç Dönüştürücü, Transducer, Transmitter

1. GİRİŞ

Günümüzde mükemmel kalitede ürünlerin hedeflendiği sistemlerin kontrol ve otomasyonlarında nanoteknolojiden bahsedilmektedir. Bu ise üretimin her aşamasında kullanılan ölçüm kontrol cihaz ve sistemlerinin yüksek doğrulukta güvenilirliğini zorunlu kılmaktadır. Otomotiv , gıda, ilaç, sağlık hizmetleri, savunma sanayii ve petrol üretim endüstrisi başta olmak üzere evlerde kullanılan su ve doğalgaz gibi yakıtların kontrol ve tesbitlerinde de çok geniş çalışma aralığına sahip basınç dönüştürücüleri kullanılmaktadır. Basınç dönüştürücüleri geniş çalışma aralığına sahip olup, yüksek doğrulukta basınç değerlerinin elektronik olarak belirlenmesi ve kontrol edilebilmesi mümkündür. Bu yapısı itibarıyla otomasyonu gerekli sistemlerde kullanım kolaylığı sağlamalarından dolayı tercih edilmektedirler. Günümüzde bu sistemler kullanılarak pek çok endüstriyel uygulamada basınç kontrolleri ve denetimi otomatik olarak yapılmaktadır. Bu otomasyonda kullanılan mikroişlemciler karar algoritmaları için elektronik olarak alınan basınç sinyallerine gereksinim duymaktadır. Bu sinyalleri ani olarak duyup elektriksel bir işarete dönüştürmede de basınç dönüştürücüleri kullanılmaktadır.

Yapısal olarak incelendiğinde; bir basınç dönüştürücüsünün basınç odası, akışkanın (gaz veya sıvı) küçük bir basınç kaybıyla içeri girip çıkmasını sağlayacak bir basınç kanalı ve bir zardan meydana gelmektedir. Bu zar üzerine, ölçülmesi istenen basınç uygulandığında, oluşan elastik şekil değişimi ya bir öteleme duyargası (indüktif, kapasitif dönüştürücü) ya da gerinim ölçer (strain gage) yardımıyla elektriksel büyüklüğe dönüştürülür. Üretilen bu elektriksel sinyaller, elektronik devreler yardımıyla kuvvetlendirildikten sonra bir gösterge, denetim elemanı veya bir yazıcıya gönderilerek basınç değeri olarak tesbit edilebilir.

Elektrik elemanlı basınç dönüştürücüleri iki grupta sınıflandırılabilir:

- Aktif elektriksel basınç dönüştürücüleri
- Pasif elektriksel basınç dönüştürücüleri

Aktif dönüştürücüler, mekanik yer değiştirme fonksiyonu olarak kendi elektriksel çıkışlarını oluştururlar, pasif dönüştürücüler ise, mekanik yer değiştirme fonksiyonu olarak elektriksel çıkış oluşturabilmek için dışarıdan bir elektriksel beslemeye ihtiyaç duyarlar. Elastik ve elektrik elemanlı aktif elektriksel dönüştürücülere örnek olarak piezo-elek-

trik kaydediciler verilebilir. Gerinim ölçer, kaygan uçlu potansiyometre, kapasitans kaydedici, lineer fark transformatörü, değişken manyetik dirençli üniteler, elektrik elemanlı pasif basınç dönüştürücülere örnek olarak gösterilebilir.

2. ÖN HAZIRLIKLAR ve KALİBRASYON DÜZENEGİ

Bir basınç dönüştürücünün kalibrasyonuna başlamadan önce ön hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Öncelikle cihazın kirliliği ortamdaki kullanılmış olabileceği ve referans cihaza bir hasar verilebileceği göz önünde bulundurularak, muhtemel yabancı maddelerin uzaklaştırılması için cihazın uygun bir biçimde temizlik işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlem yapılırken üretici firma tarafından tavsiye edilen temizleyici sıvıların kullanılmasına dikkat edilmelidir. Pnömatik basınç dönüştürücülerinde genellikle basınç odasının ve bağlantı portunun kuru hava yada azot gazı gibi gazlar ile temizlenmesi yeterli olmaktadır. Yüzeyle uzaklaştırılmakta güçlük çekilen durumlarda ise çözücü niteliğe sahip sıvılar kullanılmaktadır. Bu sıvıların kullanılması ancak, temas ettiği yüzeylere hasar vermeyecek nitelikte olması durumunda mümkündür ve varsa cihazın elektronik aksamı da sıvıdan korunmalıdır. Hidrolik basınç dönüştürücülerinde de yine aynı şekilde çözücü sıvılar kullanılarak temizlenir. Bu sıvılarla işlem yapıldıktan sonra yüzeye kuru hava yada azot gazı püskürtülür ve cihazın kuruması sağlanır. Cihaz bir negatif basınç ölçer ise ve cihazın düşük basınçlarda çalıştırılması sensör açısından bir problem oluşturmuyor ise, cihaz bir vakum pompasına bağlanarak temizliği yapılabilir.

Kalibrasyonu yapılacak basınç dönüştürücünün özellikleri tam olarak bilinmeli ve bu özelliklere uygun bir referans cihaz kullanılmalıdır. Metrolojik değerleri ve teknik özellikleri uygun, cihazın kullanılış amacı ve kullanım ortamı da göz önüne alınarak bir referans seçilmelidir. Üretici firma tarafından verilen cihaz etiket değerlerine uygun bir çıkış sinyali okuyucusu (gerilim yada akım ölçer) ve eğer gerekirse bir besleme kaynağı kullanılmalıdır.

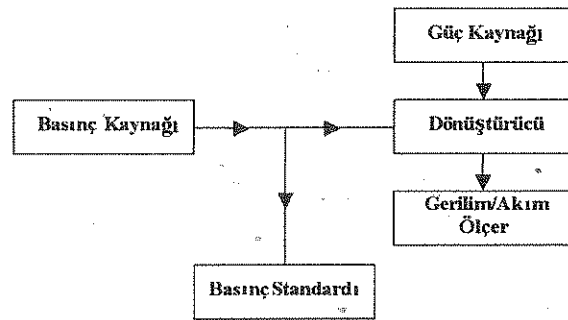
Kalibrasyon işleminin yapılabilmesi için kurulan sistemde sızdırmazlığın iyi bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle basınç dönüştürücüyü referans cihaza bağlarken için uygun bağlantı elemanlarının ve sızdırmazlık parçalarının kullanılması gerekir. Cihaz bağlantı portunun mevcut standart bağlantı elemanlarından farklı olması durumunda cihaza ve standart bağlantı parçalarına uygun bir adaptörün edinilmesi yada imal ettirilmesi gerekmektedir.

Aynı şekilde referans cihazın da kalibrasyondan önce birtakım hazırlık işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Öncelikle referans cihazın uygun prosedüre göre temizliğinin yapılması gerekmektedir. Özellikle pnömatik pistonlu basınç standartlarında piston-silindir ünitesinin temizliği büyük önem arz etmekte ve kirlenmeler kalıcı hasarlara sebebiyet verebilmektedir. Kullanılacak referans cihazın kalibrasyondan önce karakteristikleri kontrol edilmelidir (piston silindir ünitelerinde dönme miktarı, düşme hızı, kalibrasyona engel bir durumun olup olmadığı v.s. kontrolü). Kalibrasyonda kalibre edilecek basınç dönüştürücüsüne en uygun referans cihaz seçilmelidir.

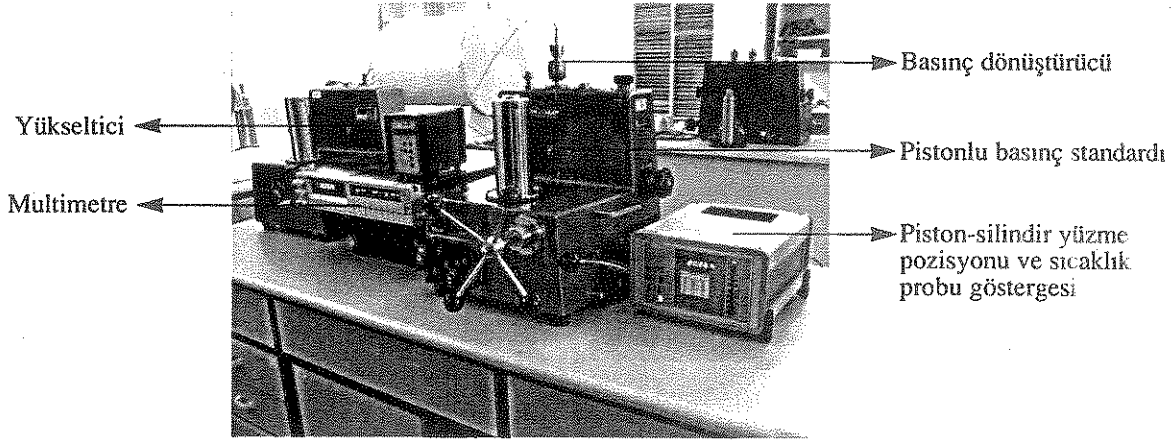
Bir basınç dönüştürücüsü veya transmitter kalibrasyonunda kullanılan cihazlar genel olarak aşağıdaki gibidir:

- Güç kaynağı (Dönüştürücüyü beslemek için)
- Sayısal Gerilim/Akım Göstergesi (Dönüştürücünün çıkış sinyalini okumak için)
- Referans Basınç Cihazı

Şekil 1 ve Şekil 2' de basınç dönüştürücü kalibrasyon şeması ve kalibrasyon düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.1. Basınç dönüştürücü kalibrasyon şeması



Şekil 2.2. Basınç dönüştürücü kalibrasyon düzeneği

3. KALİBRASYON YÖNTEMİ

Basınç dönüştürücülerinin kalibrasyonu için referans basınç cihazı olarak genelde primer basınç standartları olan piston-silindir üniteleri kullanılmaktadır. Kalibrasyon, primer basınç standardındaki referans basınç ile test edilen cihazın karşılaştırılması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Gerekli referans basınç, standart üzerindeki el pompası ve/veya vidalı pompa (screw pump) gibi basınç kaynağı kullanılarak oluşturulur. Oluşturulan bu basıncın dengelenmesi ise piston-silindir ünitesinin pistonu üzerine yerleştirilen disk şeklindeki ağırlıkları bilinen kütleler yardımıyla sağlanmaktadır.

Kalibrasyona başlamadan önce cihaz açık konumda bekletilerek cihazın ortam ile ısı dengeye gelmesi beklenir. Basınç dönüştürücüsü güç kaynağından özelliklerine uygun bir voltaj ile beslenir. Öncelikle basınç dönüştürücüsü, maksimum çalışma basıncına erişinceye kadar yavaşça yüklenir ve bir miktar beklendikten sonra yük yavaşça boşaltılır. Bu işlem birkaç kez tekrarlanarak cihazın mekanik ve elektronik aksamlarının çalışması, dolayısıyla ısınması sağlanmış olur. Sistemde bir sorun yoksa ölçüme geçilir. Yüksek doğrulukta basınç dönüştürücülerini için artan ve azalan basınç yönlerinde en az toplam 15 basınç noktasında ve üç çevrim olacak şekilde ölçüm yapılması uygundur.

Özel durumlar haricinde kalibrasyonlar artan ve azalan yönlerde talimat/prosedüre uygun olarak yapılmaktadır. Kalibrasyon esnasında kalibrasyona etkisi olan tüm veriler kaydedilmelidir. Verilerin alındığı tüm cihazların da sertifikalı olması gerekmektedir.

4. BELİRSİZLİK HESABI

Artan ve azalan basınç noktaları ayrı ayrı analiz edildiğinde, taşınım katsayısının bağlı genişletilmiş belirsizliği ($k=2,0$) aşağıdaki gibi elde edilir:

$$W_{ar/az} = k \sqrt{W_{referans}^2 + W_{gösterge}^2 + W_{yükselteç}^2 + W_{güçkaynağı}^2 + W_{sıfırhatası}^2 + W_{tekrarlanabilirlik}^2} \quad (4.1)$$

Artan ve azalan basınç noktalarının ortalama değeri kullanıldığında ise,

$$W_{ortalama} = k \sqrt{W_{referans}^2 + W_{gösterge}^2 + W_{yükselteç}^2 + W_{güçkaynağı}^2 + W_{sıfırhatası}^2 + W_{tekrarlanabilirlik}^2 + W_{histeresis}^2} \quad (4.2)$$

Ölçüm belirsizliği $W_{ar/az}$ kalibrasyondaki her bir basınç noktasındaki tekrarlanabilirliğin en büyük değeri kullanılarak hesaplanır. Bağlı hata taraması,

$$W'_{ortalama} = W_{ortalama} + \left| \frac{\Delta S}{S} \right| \quad (4.3)$$

buradaki $\Delta S = S - S_0$ şeklindedir.

Tekil taşınım katsayısı (S_0), ölçülen çıkış sinyali değerlerinin tercihen tamamından geçen düz çizginin eğimidir.

Tablo 1. Giriş büyüklükleri hakkında bilgiler

| No | Büyükük X_i | Tahmin x_i | Değişim aralığı $2a$ | Olası Dağılım $p(x_i)$ | Bölen | Ölçümün Standart Belirsizliği $w(x_i)$ | Hissedebilirlik Katsayısı c_i | Belirsizliğe katkısı $w_i(y)$ |
|----|--|--|----------------------------|---------------------------|------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | $V_{gösterge}$ yada $\bar{V}_{gösterge}$ | $V_{i,gösterge}$ yada $\bar{V}_{i,gösterge}$ | | normal | 2 | $w(gösterge$ cihazı) | 1 | $w_{gösterge}$ |
| 2 | G | G | | normal | 2 | $w(yükselteç)$ | -1 | $w_{yükselteç}$ |
| 3 | V_{PS} | V_{PS} | | normal | 2 | $w(güç kaynağı)$ | -1 | $w_{güç kaynağı}$ |
| 4 | Referans | $P_{referans}$ | | normal | 2 | $w(referans)$ | -1 | $w_{referans}$ |
| 5 | $K_{sıfır hatası}$ | 1 | f_0 | dikdörtgen | $\sqrt{3}$ | $w(f_0) = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{f_0}{2}\right)^2}$ | 1 | w_{f_0} |
| 6 | $K_{tekrarlanabilirlik}$ | 1 | b' | dikdörtgen | $\sqrt{3}$ | $w(b') = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{b'}{2}\right)^2}$ | 1 | $w_{b'}$ |
| 7 | $K_{tekrar üretilebilirlik}$ | 1 | b | dikdörtgen | $\sqrt{3}$ | $w(b) = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{b}{2}\right)^2}$ | 1 | w_b |
| 8 | $K_{histerezis}$ | 1 | h | dikdörtgen | $\sqrt{3}$ | $w(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{h}{2}\right)^2}$ | 1 | w_h |
| | Y | S yada S' | | | | | | $w(y)$ |

Tablo incelenirken aşağıda verilen bilgilerin göz önünde bulundurulması yararlı olacaktır;

1. Buradaki f_0 , b' , b ve h karakteristik büyüklükleri bağıl büyüklüklerdir (örneğin ölçüm değerleri (gösterge) ile ilgili büyüklükler).

2. Taşınım faktörünün belirlenmesinde sıfır noktası bir kalibrasyon noktası değildir. Buna rağmen, sıfırdaki değişiklikler çıkış sinyalinin ölçüm değerleri belirsizliğine dahil edilmektedir ve böylece çıkış büyüklüğü S için kalibrasyon sonucunun belirsizliğini etkilemektedir.

4.1. Belirsizlik İçin Anlamlı Karakteristik Değerlerin Belirlenmesi

Belirsizlikteki A tipi dağılım deneysel standart sapmalar şeklinde olmalıdır. Ölçüm cihazları histerezisten etkilenirler. Bu durumda artan ve azalan yönde aynı aynı basınç ölçümleri yapılmalıdır. Herbir basınç noktasında üç çevrim olarak yapılan ve normal dağılıma sahip olduğu kabul edilen verilerin maksimum değeri belirsizlik hesaplarında göz önüne alınır. Bazı basit formüller aşağıda verilmiştir. Standart sapmalarda kullanılan bu formüller istatistiksel kabullerle ve deneyimlerle elde edilmiştir. Uygulamaları değişmektedir.

4.2. Çözünürlük r

Çözünürlük dijital adıma karşılık gelmektedir. Basınç cihazı yüksüz haldeyken göstergedeki değişim bir dijital

adımından daha fazla olmamalıdır. Cihaz yüksüzken eğer göstergedeki değişim daha önce belirlenen çözünürlük değerinden daha fazla ise değişim aralığı $2a=r$ dir ve dikdörtgen dağılım olarak kabul edilir.

4.3. Sıfır Hatası f_0

Sıfır noktası, artan ve azalan basınç ölçümlerinden oluşan her bir ölçüm çevriminin başlangıçtaki (yüksüz haldeki) değeridir. Her bir ölçüm çevriminin başlangıcında ve bitiminde kaydedilmelidir. Okuma yüksüz haldeyken gerçekleştirilmelidir. Sıfır hatası aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$f_0 = \max \left\{ \left| x_{2,0} - x_{1,0} \right|, \left| x_{4,0} - x_{3,0} \right|, \left| x_{6,0} - x_{5,0} \right| \right\} \quad (4.4)$$

İndis numaraları her bir ölçüm çevriminin başlangıç ve bitiminde sıfır noktasında okunan değerleri göstermektedir.

4.4. Tekrarlanabilirlik b'

Tekrarlanabilirlik, ölçüm serilerindeki ölçülen değerler arasındaki farktan belirlenir ve sıfır sinyaliyle düzeltilir (aşağıda formüllerdeki j indisi nominal basınç değerlerini göstermektedir; $j=0$: sıfır noktasını işaret eder):

$$b'_{ar,j} = \max \left\{ \left| (x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right|, \left| (x_{5,j} - x_{5,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right|, \left| (x_{5,j} - x_{5,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0}) \right| \right\} \quad (4.5)$$

$$b'_{az,j} = \max \left\{ \left| (x_{4,j} - x_{4,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0}) \right|, \left| (x_{6,j} - x_{6,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0}) \right|, \left| (x_{6,j} - x_{6,0}) - (x_{4,j} - x_{4,0}) \right| \right\} \quad (4.6)$$

$$b'_{ortalama,j} = \max \{ b'_{ar,j}, b'_{az,j} \}$$

4.5. Yeniden Üretilirlik b

Eğer ölçümün üçüncü serisi tekrar üretilebilirliği kontrol etmek amacıyla cihaz sisteme tekrar monte edildikten sonra yapılırsa, (4.5) ve (4.6)'daki formüllerde yer alan ikinci ve üçüncü terimler ortadan kalkar. Bu durumda:

$$b_{ar,j} = \max \left\{ \left| x_{5,j} - x_{5,0} \right| - \left| x_{1,j} - x_{1,0} \right| \right\} \quad (4.7)$$

$$b_{az,j} = \max \left\{ \left| x_{6,j} - x_{6,0} \right| - \left| x_{2,j} - x_{2,0} \right| \right\} \quad (4.8)$$

$$b_{ortalama,j} = \max \{ b_{ar,j}, b_{az,j} \}$$

4.6. Histerezis h

Histerezis, artan ve azalan basınçlarda ölçülen gösterge/çıkış değerleri arasındaki fark olarak ifade edilir. Aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$h_j = \frac{1}{3} \left(\left| x_{2,j} - x_{1,j} \right| + \left| x_{4,j} - x_{3,j} \right| + \left| x_{6,j} - x_{5,j} \right| \right) \quad (4.9)$$

5. SONUÇ

Günümüzde çeşitli sahalarda kullanılan basınç dönüştürücülerinin çok farklı çeşit ve model bulunmaktadır. Bu nedenle basınç dönüştürücülerini için tek tip bir kalibrasyon yöntemi ve belirsizlik hesabından bahsetmek mümkün değildir. Cihazın özellikleri tespit edilip bu özelliklere uygun bir kalibrasyon yöntemi kullanılmalıdır. Yukarıda bahsi geçen belirsizlik bütçesi, basınç dönüştürücülerini için genel anlamda kullanılmakla birlikte, belirsizlik bütçesine etki eden büyüklükler kalibre edilen cihazın özellikleri ve kalibrasyonda kullanılan elemanlar göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] BAS-I, 'Analog ve Sayısal Göstergeli Basınç Ölçer ve Basınç Dönüştürücüsü Kalibrasyonu' TUBİTAK UME Basınç Standartları Laboratuvarı, 2004, Kocaeli
- [2] EA-10/17, 'EA Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers', 2002
- [3] P.W. Harland, 'Pressure Gauge Handbook' Ametek U.S. Gauge Division, 1985, New York