

# DOĞRUSAL BASINÇ ALGILAYICILARIN KALİBRASYONU

Mustafa ONAT

monat@marun.edu.tr

Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü, İstanbul 81040

## Özet

Basınç ölçümü ve kontrolü endüstride sıkça karşılaşılan uygulamalardır. Basınç kontrolünün başarısı, öncelikle basıncı algılayan elemana bağlıdır.[1] Günümüzde, çok çeşitli basınç ölçüm elemanları mevcuttur. Çoğu algılayıcılarda olduğu gibi, basınç algılayıcılarında da doğruluk, cevap hızı, hata toleransı, tekrarlılık, duyarlılık, kullanılabilirlik ve maliyet kriterleri esastır. Hızlı kum filtresinde çok sayıda basınç algılayıcı eleman kullanımını gereksinimi ile yapılan araştırmada, endüstriyel basınç algılayıcılarının kullanımı çok pahalı bulunmuştur. Tıpta kan basıncını ölçmede kullanılan, tek yongadan (monolitik) ibaret olduğu için çok ucuz olan ve yüksek doğrulukta ve güvenlikte ölçüm yapan bir algılayıcı denenmiştir. Bu algılayıcı gürlütlü işaretlerini filtreleme özelliğine sahiptir; fakat kalibre edilemeyen türdendir.

Basınç algılayıcıların kalibre çalışması, önce bir su sütunu kalibrasyon setinden elde edilen verilerle, sıfır ve eğim ayarı yöntemi kullanılarak Matlab'da gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, hızlı kum filtresi düzeniğinde Delphi programlama dilinde gerçek zamanda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kalibrasyon işlemi otomatik hale getirilerek, bir düğmeye basacak kadar basit hale getirilmiştir. Bu çalışma, basınç algılayıcılarının maliyetlerinin düşürülmesi, daha hassas ve kolayca kalibre edilmesine yöneliktir. Ayrıca, akademik ya da endüstriyel sahada ölçme/kontrol tekniği ve eğitimine katkıda bulunacaktır.

**Anahtar kelimeler :** davranış eğrisi, referans değeri, sıfır ayarı, eğim özdeşlik katsayısı, eğim ayarı,

## 1. Giriş

Bu çalışmada basınç algılayıcı elemanları, su sütunu kalibrasyon setinde ve içme suyu hızlı kum filtresi düzeniğinde, sıfır ve eğim ayarı yöntemlerinin değişik yaklaşımları kullanılarak kalibre edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca eğim ayarının en doğru nasıl uygulanacağı deneylerle açıklığa kavuşturulmuştur.

## 2. Basınç Algılayıcı Elemanlar

Deney çalışmalarında üzerinde işlemcisi (monolitik) bulunan algılayıcı elemanlar kullanılmıştır. Kendinden kalibre edilemeyen türde olan bu elemanların çalışma karakteristikleri Tablo-1'de belirtilmiştir.

Tablo-1 Algılayıcı Elemanların Karakteristikleri[2]

Çalışma aralığı	+/- 300mm Hg
maksimum basınç	4000 mm Hg
Duyarlılık	5 mikroVolts/mmH
Sıcaklık duyarlılığı	0.1<0.1 %/0C
Çalışma Sıcaklık aralığı	15 C-40C
Çıkış Empedansı	300 Ohm +/- %1
Sıfır basınç ,(offset	<25 mm Hg

## 3. Davranış Eğrileri ve Sıfır ve Eğim Ayarı

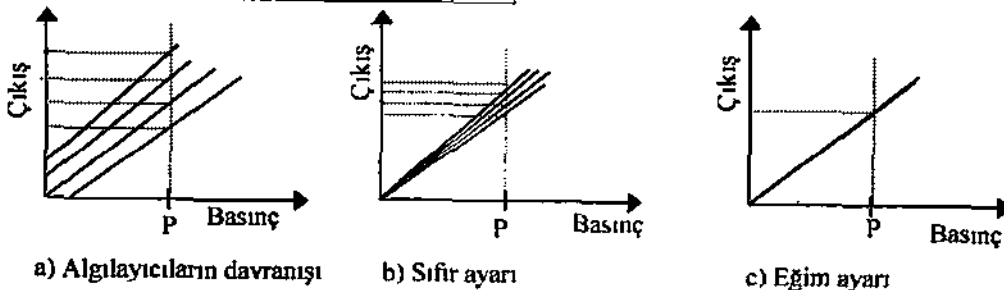
Şekil-1'de kalibrasyon işlem basamakları grafiksel olarak anlatılmıştır. Şekil-1a'de gösterildiği gibi, sıfır ve eğim ayarı işlemleri için ilk aşamada, algılayıcıların davranış eğrileri deneysel olarak bulunur.

Gerilim-basınç ilişkisi doğrusal ise, her bir algılayıcının davranışı (1) denklemi ile ifade edilebilir.

$$V_1 = m_1 \cdot P + n_1, V_2 = m_2 \cdot P + n_2, \dots, V_i = m_i \cdot P + n_i \quad (1)$$

Burada i algılayıcı sayısıdır.

İkinci aşamada, tüm algılayıcıların sıfır basınçtaki çıkış değerleri bulunur ve -1'e çarpılıp her algılayıcının çıkışına eklenir. Her basınç ölçümüne eklenen bu değerlere, sıfırlayan değerler, yapılan işleme de sıfır ayarı (offset ayarı) denir.[3] Bu işlem Şekil-1b'de gösterilmiştir. Aynı işlem (2) denklemi ile de ifade edilebilir.



Şekil-1 Kalibrasyon işlem basamakları

$$V_1 = m_1 \cdot P + n_1 - n_1, V_2 = m_2 \cdot P + n_2 - n_2$$

$$\dots V_i = m_i \cdot P + n_i - n_i \quad (2)$$

Kalibrasyon işleminin üçüncü aşamasında, tüm algılayıcıların aynı davranışa (aynı doğru denklemine) getirilebilmesi için, her algılayıcının eğim ayarı yapılır. Sıfır ayarı yapıldıktan sonra, aynı sabit basınç altında tüm algılayıcıların çıkış değerlerinin ortalaması alınarak algılayıcı referans değeri bulunur. Çıkış değerlerinin ortalamasının alınmasının nedeni 1cm su sütununa karşılık gelen ideal ya da standart bir gerilim değerinin olmayışıdır Aynı basınçta tüm algılayıcıların aynı çıkış değerlerini göstermesi için, her algılayıcı çıkış değeri için eğim özdeşlik (ötlüşme) katsayıları bulunur. Her algılayıcı çıkış değeri katsayısı ile çarpılarak, daha önce belirlenen referans çıkış gerilimine eşitlenir. (Şekil-1c). Bu işlem (3) denklemleri ile ifade edilebilir.

$$i=39$$

$$V_{ref} = \frac{1}{40} \sum V_i \quad (3)$$

$$i=0$$

$$V_{ref} = a_1 \cdot m_1 \cdot P = a_2 \cdot m_2 \cdot P = a_i \cdot m_i \cdot P \quad (4)$$

Burada a değerleri eğim özdeşlik katsayılarıdır. (2) 'deki  $V_1, V_2, \dots, V_i$  değerleri (3)'e yerleştirilirse,

$$V_{ref} = a_1 \cdot V_1 = a_2 \cdot V_2 = \dots = a_i \cdot V_i \quad (5)$$

elde edilir.

#### 4. Su Sütunu Kalibrasyon Setinde Yapılan Çalışmalar

Tüm basınç algılayıcılarının doğruluk testleri ve davranış eğrilerinin çıkarılması, MÜTEF Bilgisayarlı Kontrol Laboratuvarı'nda bulunan bir basınç kalibrasyon setinde gerçekleştirilmiştir. Set üzerinde yer alan 100 cm'lik su sütununda her algılayıcı için, 10 cm aralıklı sütun yüksekliklerinde alınan verilerden elde edilen davranış eğrileri Şekil-2a'da gösterilmiştir.

Elde edilen verilere göre her algılayıcının davranışı doğrusal olmasına rağmen, Şekil-2a'dan görüleceği gibi, her algılayıcı sıfır yükseklikte (12 cm sıfır seviye karşılıktır.) farklı basınç değerleri göstermiştir. Bu nedenle algılayıcıların sıfır ayarı yapılmalıdır.

Tüm algılayıcıların sıfır ayarı yapıldıktan sonra Şekil-2b ilişkisi elde edilmiştir. Buna göre sıfır noktasında bütün algılayıcı çıkış değerleri eşit hale getirilmiştir. Ancak, yükseklik arttıkça algılayıcılar arasındaki basınç farklılıkları doğru orantılı artmaktadır. Bu nedenle, basınç farklılıklarının en aza indirilmesi için eğim ayarı gereklidir.

Su sütunu üst sınırında (100 cm) algılayıcıların çıkış değerlerinin ortalamasından elde edilen  $V_{ref}$  (1.6427mV) değerine bağlı eğim özdeşlik katsayıları

Matlab'da yazılan bir program ile çıkarılmıştır. Ayrıca denklem (5) ile (6).arasında basınç gerilim dönüşümü yapılabilir.

Algılayıcıların su sütunu üst ve alt sınır basınç ortalamaları, alınan verilerden bulunur.

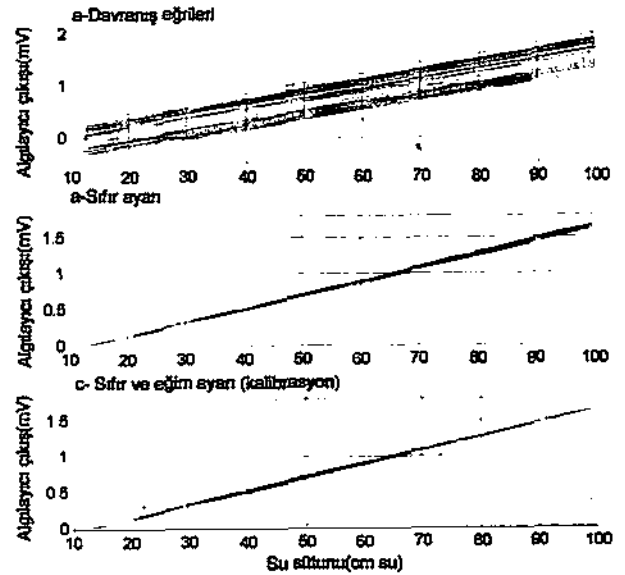
$$V_{ref} = \text{su sütunu üst sınır basıncı} - \text{su sütunu alt sınır basıncı} \quad (3)$$

$$1 \text{ cm su sütunu} = V_{ref} / (\text{su sütunu üst sınırı (cm)} - \text{su sütunu alt sınırı (cm)}) \quad (6)$$

40 algılayıcıya ait eğim özdeşlik katsayıları ( $a_0 \dots a_{39}$ ) Tablo-2'de gösterilmiştir.

Tablo-2 Eğim özdeşlik katsayıları

1.0203	1.0078	1.0140	0.9896	0.9956	0.9956
0.9956	0.9956	0.9956	1.0016	0.9896	0.9896
0.9956	0.9896	0.9896	1.0078	1.0140	1.0078
1.0078	1.0078	0.9896	1.0078	1.0203	0.9896
0.9896	0.9896	0.9836	0.9956	0.9896	0.9956
0.9956	1.0016	0.9956	0.9956		



Şekil-2 Basınç algılayıcılarının a-davranış eğrileri b-sıfır ayarı c-sıfır + eğim ayarı

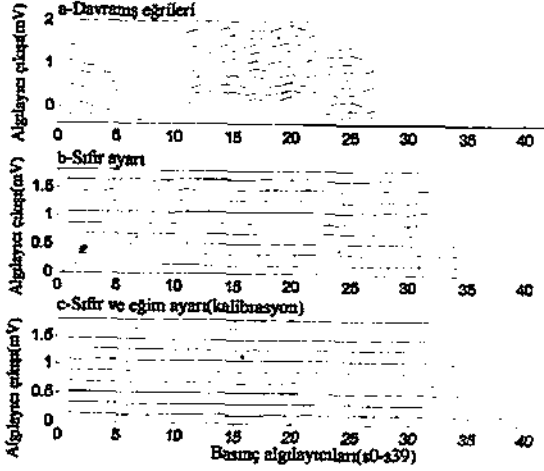
Şekil-2c'de eğim özdeşlik katsayılarına göre kalibre edilmiş algılayıcıların su sütunu yüksekliğine göre davranışı gösterilmiştir.

Elde edilen grafiklere göre, algılayıcıların davranışı açısından sıfır ve eğim ayarları arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

Alternatif olarak, aynı verilerden hareketle, 40 adet basınç algılayıcısına karşı, her 10 cm yükseklikte algılayıcı çıkışı grafikleri Şekil-3'de gösterilmiştir.

Şekil-3a' görüldüğü gibi, her algılayıcı davranışı doğrusal olmasına rağmen, kendi aralarında aynı basınç değerlerinde doğrusal davranmamışlardır. Bunun nedeni, her algılayıcının sıfır basınçta farklı çıkış değerine sahip olmasıdır.

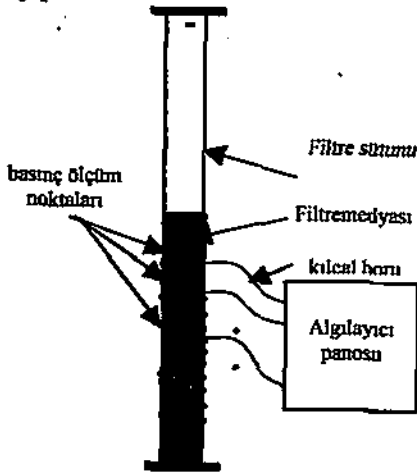
Şekil-3b-c'de sıfır ve sıfır+eğim ayarı grafikleri gösterilmiştir. Yine Şekil 2b-c'de olduğu gibi aralarında belirgin bir fark görülmemiştir.



Şekil-3 Basınç algılayıcılarının a-davranış eğrileri b-sıfır ayarı c-sıfır + eğim ayarı

## 5. Kalibrasyon Yönteminin Filtre Sütunu Basınç Algılayıcılarına Uygulanması

Şekil-4'de hızlı kum filtresi düzeneginin filtre sütunu, algılayıcı panosu ve basınç bağlantıları şematik olarak gösterilmiştir. Hızlı kum filtresi sütunu üzerinde 2cm aralıklı derinliklerde, 40 adet basınç algılama noktası vardır.[5]



Şekil-4 Filtre sütunu, filtre medyası, algılayıcı panosu ve bağlantılar şematik diyagramı

Şekil-4'de görüldüğü gibi, her algılayıcı bağlı olduğu basınç ölçme noktası seviyesinden daha aşağıya gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bunun nedeni, kılcal

boruların her an su ile dolu olup hava almalarını önlemektir.[4] Bu durumda basınç ölçüm noktası ile basınç algılayıcı arasındaki seviye farkından dolayı oluşan ek basınç, doğrudan algılayıcının sıfır basınçtaki (offset) değerine eklenmiş olur.

## 5.1 Sıfır Ayarı

Sıfır ayarı ile, algılayıcıların sıfır basınçtaki değerleri ve basınç ölçüm noktaları ile basınç algılayıcıları arasındaki seviye farkları sıfırlanır. Bu işlem için, kılcal borulardaki hava tamamen alandıktan ve filtre sütunundaki su tamamen boşaltıldıktan sonra kalibre programının sıfır ayarı seçeneği aktif edilerek işlem gerçekleştirilir.

## 5.2 Eğim Ayarı

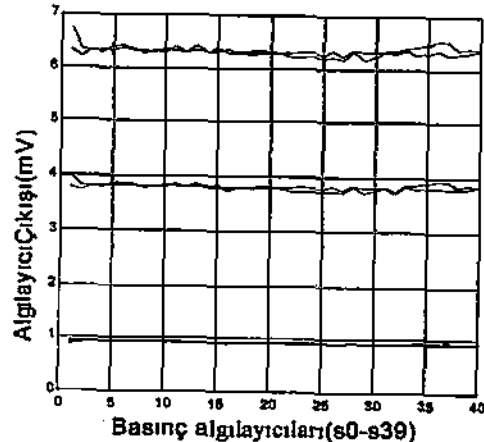
Bu işlem için filtre sütunu tamamen su ile doldurulur. Statik basınç altında kılcal borulara bağlı musluklar açılarak tüm algılayıcıların kılcal borularındaki havaları su ile birlikte boşaltılır. Filtre sütunu medyanın hemen üstüne kadar (95 cm) su ile doldurulur ve sıfır ayarı yapılır. Daha sonra filtre sütununda yapılan işlemler yapılarak eğim özdeşlik katsayıları bulunur.

Eğim özdeşlik katsayıları için yapılan deneysel çalışmalarda, düşük ve yüksek (300 cm su sütunu) basınçta algılayıcı çıkışlarından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Eğim özdeşlik katsayıları bir defalık belirlendikten sonra, gerekmedikçe işlemi tekrarlanmaz.

### 5.2.1 Düşük Basınç Özdeşlik Katsayıları

Filtre sütunu, 130 cm'ye kadar su ile doldurularak. Delphi dilinde yazılmış kalibre programının eğim ayarı aktif edilerek özdeşlik katsayıları kaydedilir. Belirlenen özdeşlik katsayılarına göre düşük ve yüksek basınçlarda 40 adet algılayıcı davranışı Şekil-5'de gösterilmiştir.



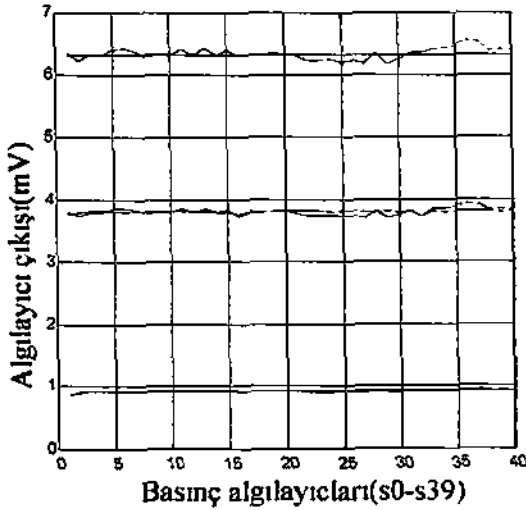
Şekil-5 Düşük basınç özdeşlik katsayılı eğim ayarı

Şekil-5'den görüldüğü gibi, düşük basınçta belirlenen eğim özdeşlik değerleri algılayıcılara, uygulandıktan sonra, basınç arttıkça algılayıcı çıkış değer farklılıkları artmaktadır. Doğrusallık basınç arttıkça bozulmaktadır.

## 5.2.2 Yüksek Basınç Özdeşlik Katsayıları

Filtre sütunu, tamamen su ile doldurulur. Filtre sütununda 300 cm su sütun basıncına ulaşıncaya kadar santrifluj pompası çalıştırılır. Eğim ayarı aktif edilerek özdeşlik katsayıları kaydedilir. Belirlenen özdeşlik katsayılarına göre düşük ve yüksek Şekil. 6. Yüksek basınç özdeşlik katsayılı eğim ayarı basınçlarda 40 adet algılayıcı davranışı Şekil-6'de gösterilmiştir.

Şekil. 6.'de görüldüğü gibi, yüksek basınçta bulunan

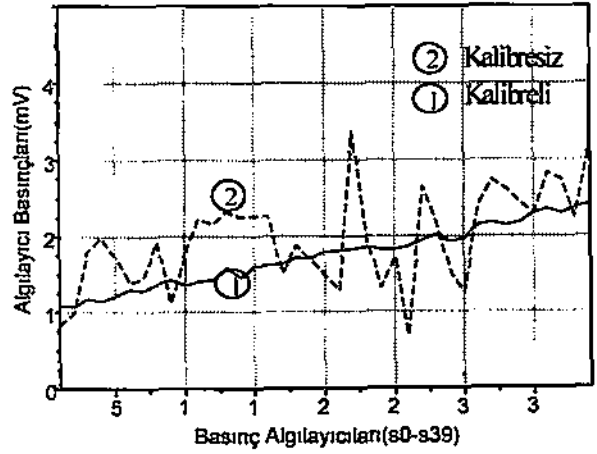


Şekil. 6. Yüksek basınç özdeşlik katsayılı eğim ayarı

Şekil. 6. Yüksek basınç özdeşlik katsayılı eğim ayarı özdeşlik katsayıları, daha düşük basınç noktalarında da yaklaşık aynı doğrusallığı sağlamaktadır.

## 6. Sıfır ve Eğim Ayarı Etkisi

Filtre sütununda kalibrasyon işleminin etkisini açıklayabilmek için, Şekil-7'de aynı algılayıcıların kalibreli ve kalibresiz davranışları karşılaştırılmıştır.



Şekil-7 Kalibreli ve kalibresiz algılayıcı davranışları

## 7. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, özel bir kalibrasyon setine ihtiyaç duyulmadan 40 adet algılayıcının hızlı ve yüksek doğrulukta kalibre edilmesi sağlanmıştır. Aynı anda tüm algılayıcılar kalibre edilebilmektedir. Eğim ayarı algılayıcının çalışma aralığı üst basınç sınırında yapılmalıdır.

Su sütununda yapılan kalibre işleminden elde edilen eğim özdeşlik katsayıları, daha yüksek basınçlarda eğim farklılıklarına neden oldukları için, filtre sütunu kalibrasyonu için geçerli değildir. Yazılımla gerçekleştirilen kalibre işlemleri her tip kalibre edilen ya da edilemeyen doğrusal algılayıcılar için benzer şekilde uygulanabilir.

## 8. Kaynaklar

- [1] Spitzer, David W. Industrial Flow Measurement, ISA, 1990
- [2] pvb Monolithic Sensor Element Catalogue, 1995
- [3] Ronald P. H., Automated Process Control Systems, Prentice-Hall, USA, 1987
- [4] Bateson, R.N., Control System Technology, 1996
- [5] Deep Bed Filter Column Instruction Manual, 1994