Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(5), 929-933, 2018

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Genetik algoritma ile sensör kalibrasyonu

Genetic algorithm based sensor calibration

Ülviye HACIZADE[1*]

[1]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
ulviyehacizade@halic.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 03.06.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 31.01.2018 doi: 10.5505/pajes.2018.37530
* Yazışılan yazar/Corresponding author Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Sensörlerin belirsizliğini azaltma yöntemlerinden biri, onların kalibrasyonunun yapılmasıdır. Bu çalışmada referans standartların kullanımına dayanarak genetik algoritma (GA) ile sensör kalibrasyonunun yapılması için algoritma geliştirilmiştir. Kalibrasyon karakteristiği olarak 2. dereceden polinom ele alınmıştır. Örnek olarak diferansiyel basınç ölçücüsü ele alınmış, standart basınç seti kullanımı ile onun GA tabanlı kalibrasyonu yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ölçme cihazı, Ölçme belirsizliği, Kalibrasyon, Genetik algoritma, Diferansiyel basınç ölçücüsü

Abstract

One way to decrease the sensor uncertainties is to use calibration process. In this study the sensor calibration method using the genetic algorithm (GA) based on the corresponding values obtained by the reference standards is developed. As the calibration characteristic, 2nd order polynomial is used. As an example, GA based calibration of a differential pressure gauge using standard pressure setting devices is examined.

Keywords: Measurement instrument, Measurement uncertainty, Calibration, Genetic algorithm, Differential pressure gauge

1 Giriş

Doğal olarak tüm ölçme cihazları ile yapılmış ölçümlerde belirsizlik bulunmaktadır. Yüksek doğruluğa sahip ölçmelerin yapılması tüm mühendislik uygulamalarının temel problemini oluşturmaktadır. Ölçmelerdeki belirsizliğin azaltılması ve sensör doğruluğunun yükseltilmesi metroloji mühendisliğinin temel amaçlarındandır. Sensörlerin belirsizliğini azaltma yöntemlerinden biri onların kalibrasyonunun yapılmasıdır [1]. Kalibrasyon, cihazın göstergesi ile standart cihazın göstergesinin kıyaslanması anlamına gelir. Kalibrasyonun sonucu genelde çizelge veya grafiklerdir. Aynı değişkeni, ölçüm cihazı ve standart cihaz yardımı ile ölçerek kalibrasyon eğrisi oluşturulur. Ölçme yapıldığında cihazın çıkışına göre, kalibrasyon eğrisi (karakteristiği) kullanılarak standart cihazın ölçüme karşılık gelen değeri saptanır [2].

Sensör kalibrasyonu genel olarak, deneysel verilere göre model oluşturulması problemi olarak ele alınabilir ve problemin çözümü için deney tasarımı teknikleri uygulanabilir. Bu durumda, kalibrasyon tasarımını operatör aşağıdakileri seçmekle gerçekleştirmelidir [3]:

- Deney planlaması (kalibrasyon noktalarının miktarı ve yeri, tekrarlamaların miktarı),
- Ana etki miktarı,
- Regresyon eğrisi,
- Regresyon yöntemi,
- Standart referanslar ve onların belirsizlikleri.

Doğrudan olmayan ölçmeler ve sensör girdileri arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı durum için deney tasarımı yöntemleri kullanımı ile kalibrasyon tasarımı [3]'te sunulmuştur.

Yapay sinir ağları kullanımına dayalı sensör kalibrasyonu [4]'te gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem için önemli olan tasarım parametreleri kalibrasyon modelinin derecesinin ve kalibrasyon noktalarının miktarının seçimidir. Bu çalışmada, kalibrasyon modelinin derecesinin ve kalibrasyon noktalarının sayısının karekök ortalama hatasına etkisi incelenmiştir. Kaynak [5]'te jiroskop kayma hataları Kalman süzgeci yardımı ile kestirilmiştir. Kaynak [6]'de sensör kalibrasyonu 3D-elipsoidine uyum problemine indirgenmiştir. Bu çalışmada yeni değerlendirme yöntemine dayanarak 9DOF sensor kalibrasyonu problemi tartışılmıştır. Kalibrasyon parametrelerinin hesaplanması için [7]'de Gauss-Newton tekrarlayıcı doğrusal olmayan regresyon yöntem kullanılmıştır. Kaynak [8]'de üç eksenli manyetometrenin kalibrasyonu GA yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada GA kalibrasyon modelinin parametrelerinin kestirimini yüksek doğrulukla gerçekleştirmiştir. Ölçüm sensörünün ortamın değişimine adaptasyonu [9]'da GA temelinde sağlanmıştır.

Bu çalışmada referans standartların kullanımına dayanarak genetik algoritma (GA) ile sensör kalibrasyonunun yapılması için algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma temelinde diferansiyel basınç ölçerin kalibrasyon eğrisi bulunmuştur. Kalibrasyon eğrisi, 2. dereceden polinom olarak ele alınmıştır. Polinom modelinin katsayıları belli değildir sadece deneyler sırasında bulunan belirli sayıda giriş ve çıkış değeri vardır. Amaç bu verilere dayanarak GA ile kalibrasyon eğrisini oluşturmak yani kalibrasyon polinomunun katsayılarını belirlemektir.

2 Problemin tanımı

Kalibrasyon, değişkenin ölçüm cihazı ve standart cihaz yardımı ile ölçülmesi ve elde edilen deneysel verilere göre model oluşturulması (tanılaması) problemi olarak ele alınmaktadır. Kalibrasyon karakteristiği olarak çoğu durumda polinom kullanılmaktadır. Ölçme cihazının kalibrasyon karakteristiği aşağıda gösterilen polinom ile ifade edilsin;

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_n x^n = \sum_{j=0}^{n} a_j x^j , \qquad (1)$$

Ölçme denklemi aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$z_Y(k) = a_0 + a_1 x(k) + a_2 x^2(k) + \ldots + a_n x^n(k) + v(k), \quad k = 1, \ldots, l \tag{2}$$

Burada, $v(k)$ sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı rastgele Gauss ölçüm gürültüsüdür. Standart cihaz ile üretilen $p(k), k = 1, \ldots, l$ argümanının değerleri belirli bir hata ile bilinmektedir. Kalibrasyon eğrisi (1)'in katsayılarının Genetik algoritma ile tanılanması için algoritma geliştirilmesi istenmektedir.

3 GA ile model tanılaması

Bizim buradaki amacımız Genetik Algoritma yardımı ile basınç ölçerin kalibrasyon eğrisini bulmaktır. Kalibrasyon eğrisi olarak 2. dereceden polinom ele alınmıştır.

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \tag{3}$$

Bu formül giriş ile çıkış arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Formülde görüldüğü gibi bulmamız gereken parametreler a_0, a_1, a_2 polinom katsayıları olacaktır. Katsayıların bulunması için aşağıdaki aşamalar uygulanmalıdır.

1. Adım: İlk olarak kullanacak GA parametreleri belirlenmelidir. Bunlar [10];

-Popülasyonun kromozom sayısı,
-Popülasyondaki kromozomların bit sayısı,
-Çaprazlama ihtimali,
-Mutasyon ihtimali.

2. Adım: Genetik algoritma parametrelerini belirledikten sonra popülasyonu oluştururuz. Popülasyonun her bir kromozomu a_0, a_1 ve a_2 katsayılarının kodlanmış değerlerini içermektedir. Bu katsayıların bulunabilmesi için kullanıcının gireceği rastgele değer kadar kromozom ve her bir kromozom için de bitler oluşturulmalıdır. Böylece popülasyon oluşturulmuş olur.

Kromozomların her biri m sayıda bit içersin. Buna göre m = $\sum_{i=0}^{2} m_i$ formülünden yola çıkarak; ilk m_0 bitleri a_0 kat sayısının, sonraki bit grubu olan m_1 ise a_1 katsayısının ve son bit grubu olan m_2 ise a_2 katsayısının kodlanması için gerekli olan bit sayıları olduğu görülür.

3. Adım: Popülasyon oluşturulduktan sonra kromozomların dekodlanması gerekmektedir. İkili Tabanlı Kodlama söz konusu ise aşağıdaki dönüşüm formülü kullanılmalıdır. On tabanlı Kodlama söz konusu ise doğrudan 4.adıma geçilmelidir.

$$X_i = a_i + decimal(10001 \ldots 001)_2 * \frac{b_i - a_i}{2^{m_i} - 1} \tag{4}$$

Burada, X_i i katsayısının dekode olunmuş değeridir, a_i, b_i uygun katsayının alabileceği değerlerin alt ve üst sınırlarıdır. Açıktır ki, $X_i \in [a_i, b_i]$.

Bu uygulamada İkili Tabanlı Kodlama tercih edilmiştir. Yani her bir kromozom için m_0, m_1, m_2 bit grupların a dönüşüm formülü uygulanarak dekode işlemi yapılacaktır. Bu yönteme bağlı olarak a_0, a_1, a_2 polinom katsayıları popülasyonun her bir kromozomunun sahip olduğu a_0, a_1 ve a_2 katsayılarının kodlanmış değerlerini içermektedir. Kromozomların her biri m sayıda bit içerir. İlk m_0 bitleri a_0 katsayısının, sonraki bit grubu olan m_1 ise a_1 katsayısının ve son bit grubu olan m_2 ise a_2 katsayısının kodlanması için gerekli olan bit sayısıdır. Bu formül yardımı ile kromozom dekode edildikten sonra katsayıların değerleri bulunmuş olur.

4. Adım: Katsayılar da bulunduktan sonra polinom formülü kullanılarak her bir *X* girişi için bir y çıkış değeri elde edilir.

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \tag{5}$$

Genetik Algoritma ile bulunan çıkışlar ile deney sonucunda ortaya çıkan çıkış değerlerinin hata değerlendirilmesi yapılmalıdır.

$$\sum_{j=i}^{n} (y_j^* - y_j)2 \tag{6}$$

Yukarıdaki hata formülü GA ile elde edilmiş değerlerle, deney sonucunda elde edilmiş ölçüm değerlerinin farklarının karesi şeklinde ifade edilmektedir. Problemi maksimize biçimine geçirmek için bulunan hataların büyük bir sayıdan çıkarılması gerekmektedir. Bu sayıyı 1500 olarak belirlersek sonuç olarak uygunluk fonksiyonumuz 1500-$\sum_{j=i}^{n}(y_j^* - y_j)2$ şeklinde ifade edilebilir. Uygunluk fonksiyonu ile elde edilmiş değerler içerisinde, uygunluk değeri yüksek olan kromozomun optimal çözüme yaklaşma şansı da o kadar yüksektir. Uygunluk değerinin büyük olması çıkışlar arasındaki farkın küçük olduğu anlamına gelir. Bu da o katsayılardan oluşan kromozomun problemin çözümüne yaklaştığı anlamına gelir [11].

Uygunluk fonksiyonu ile elde ettiğimiz değerler içerisinde, çözüme en yakın olduğunu düşündüğümüz herhangi bir uygunluk değeri bulunuyorsa, bu istenilen çözüme yaklaşıldığını ve artık işlemin sonlandırılabileceği anlamına gelir. Aksi takdirde 5.Adımdan devam edilir.

5. Adım: 2. popülasyonu oluşturmak için seçim işlemi uygulanır. Seçim işlemi; uygunluk değeri düşük olan kromozomların elenmesi, uygunluk değeri yüksek olan kromozomların ise bir sonraki popülasyona aktarılmasını sağlar. Seçim işlemi belli yöntemlerle uygulanır. Bu uygulamada Rulet Tekerleği Yöntemi tercih edilmiştir. Yani f değeri büyük olanın seçilme ihtimalinin yüksek, küçük olanın seçilme ihtimalinin ise düşük kabul edileceği yöntem tercih edilmiştir.

6. Adım: Seçim işlemi ile elde edilen popülasyona çaprazlama uygulanmalıdır. 1.Adımda belirtmiş olduğumuz çaprazlama ihtimali ile kromozom sayısı çarpılarak hangi sayıda kromozomun çaprazlamaya uğrayacağı belirlenir. Kaç kromozomun çaprazlamaya gireceği belirlendikten sonra ise rastgele olarak kromozomlar arasından çaprazlamaya girecek olan kromozomlar seçilir. Her hangi bir çaprazlama tekniği burada kullanılabilir.

7. Adım: Çaprazlama işlemi tamamlandıktan sonra mutasyon işlemi gerçekleştirilecektir. Mutasyon işlemini gerçekleştirebilmek için mutasyon ihtimali ile kromozom sayısı çarpılarak Mutasyona uğrayacak toplam bit sayısı bulunmalıdır. Kaç bitin mutasyona uğrayacağı belirtildikten sonra rastgele olarak kromozomlar arasından mutasyona uğrayacak bitler seçilir. İkilik tabanda kodlama söz konusu ise Bit Ters Çevirme Yöntemi, onluk tabanda kodlama söz konusu ise Küçük Bir Sayı Ekleme Yöntemi kullanılmalıdır.

8. Adım: Uygulanan tüm adımlardan sonra popülasyonun son hali elde edilmiş olur ve tekrar yeni katsayı değerleri elde

edebilmek için yeni popülasyonu oluşturmaya yönelik 3.Adıma geri dönülür.

4 GA ile sensör kalibrasyonu

GA ile diferansiyel basınçölçerin kalibrasyonu yapılmıştır. Kullandığımız basınçölçer P15 sınıfına ait basınç ölçer transdüserdir, likit ve gazların dinamik ve statik basınç ölçümleri için uygundur. Cihazın resmi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Diferansiyel basınçölçer transdüser.

Basınçölçer transdüserin çalışma aralığı: $0 \le p_i \le 9\ bar$ olarak ele alınmıştır. Basınçölçerin ölçüm hataları sıfır ortalamalı ve $\sigma_i = 0.03\ bar$ standart sapmalı normal dağılım yasasına tabidir. İncelenen cihazın kalibrasyon karakteristiği 2. dereceden (3) polinomu ile ifade edilmektedir.

Deneylerde standart basınç seti yardımı ile $0 \le p_i \le 9\ bar$ ölçüm aralığında $0.5\ bar$ aralıklarla $p_i, i = \overline{1,19}$ basınç sinyalleri üretilmiştir ve diferansiyel basınç ölçerin çıkış sinyalleri z_i kaydedilmiştir. Deney sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Deney bilgileri tablosu.

Deney Numarası	Giriş Değerleri, X_i (bar)	Çıkış Değerleri, Y_i (V)
1	0	0.07935
2	0.5	0.48096
3	1	0.99671
4	1.5	1.52954
5	2	2.04468
6	2.5	2.55005
7	3	3.01941
8	3.5	3.58521
9	4	4.07837
10	4.5	4.63196
11	5	5.13733
12	5.5	5.66949
13	6	6.17919
14	6.5	6.69861
15	7	7.21924
16	7.5	7.67761
17	8	8.22509
18	8.5	8.74634
19	9	9.19739

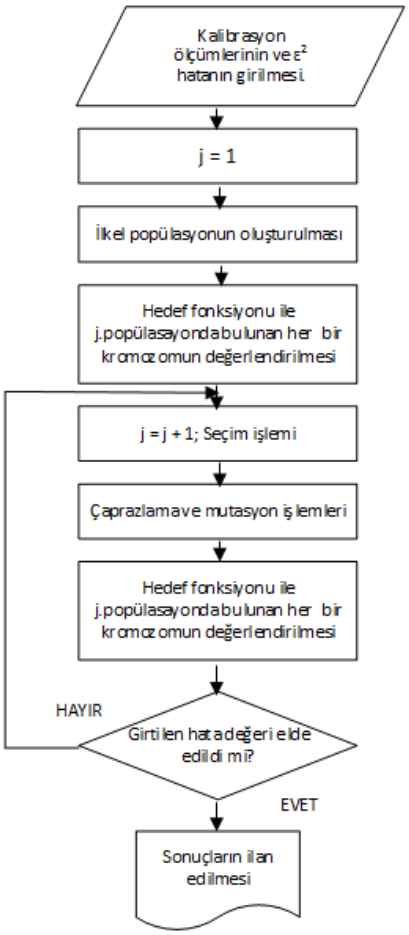
Polinom (3)'ün katsayıları Tablo 1'de verilen deney bilgilerine dayanılarak bulunur. Polinom katsayılarımızın değer aralığı [-1, 2] olarak belirlenmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi belli sayıda X giriş değerleri ve Y çıkış değerleri bulunmaktadır. Tablodaki X değerleri, standart basınçölçerin (piston gage) yardımıyla ölçülen basınç değerleridir. Kullandığımız deney setinde her bir kalibrasyon noktasında basınçölçer transdüserle ardışık olarak 50 ölçüm yapılarak ortalaması bulunmuştur. Y değerleri basınçölçerin yardımıyla ölçülen ortalama basınç değerleridir (V cinsinden).

Kalibrasyon katsayılarını tanılayabilmek için uygulanması gereken temel adımlar sırasıyla [10],[12];

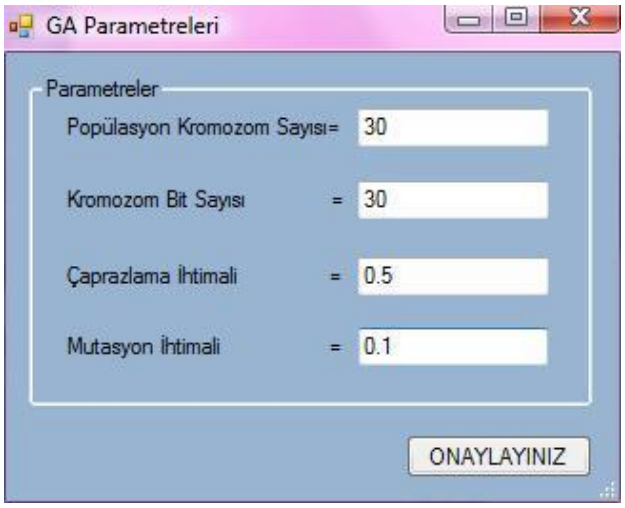
- GA parametreleri belirlenmesi,
- Stokastik olarak belirlenen kromozomlardan ilkel popülasyon oluşturulması (Bu kromozomlar katsayıların kodlanmış halidir),
- Oluşturulan popülasyondaki kromozomların dekodlanması işlemi (İkilik tabanda kodlama için geçerlidir),
- Kromozomların uygunluk değerleri hesaplanması,
- Problemin çözümüne uygun Üreme (Reproduction) işlemi yapılması,
- Çaprazlama (Crossover) işlemi uygulanması,
- Mutasyon (Mutation) işlemi uygulanması,
- Popülasyonun son hali oluşturulması ve popülasyondaki kromozomların dekodlanması işlemine geri dönülmesidir.

GA ile diferansiyel basınçölçerin kalibrasyonunun akış diyagramı Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2: GA ile sensör kalibrasyonunun akış diyagramı.

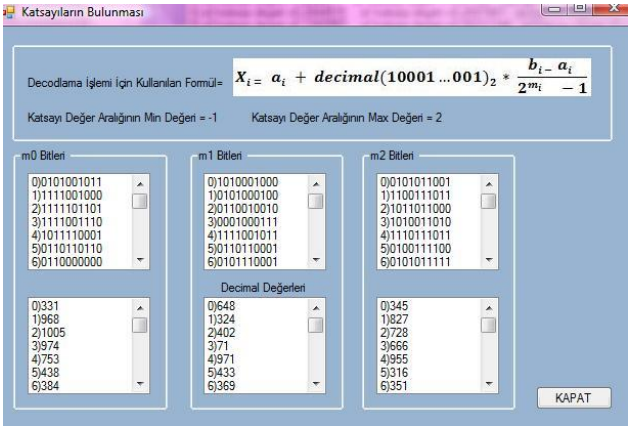
GA'nın parametrelerinin belirlendiği form Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: GA parametreleri.

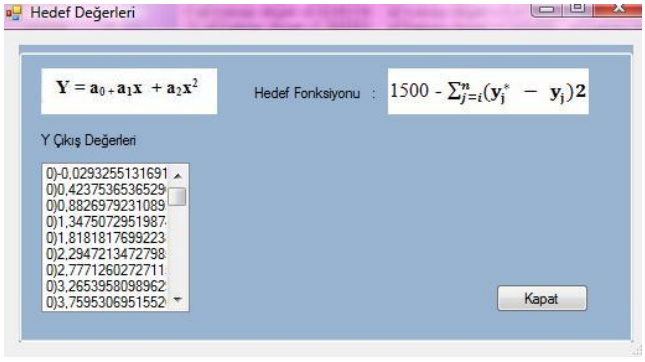
Şekil 4-8'de verilmiş formlar GA'nın çalışması sürecinde bulunmuş ara sonuçları, Şekil 9 ise sonuç bildirim formunu göstermektedir.

Şekil 4'te katsayıların bulunması sırasında yapılan işlemlerin gösterildiği form sunulmuştur.



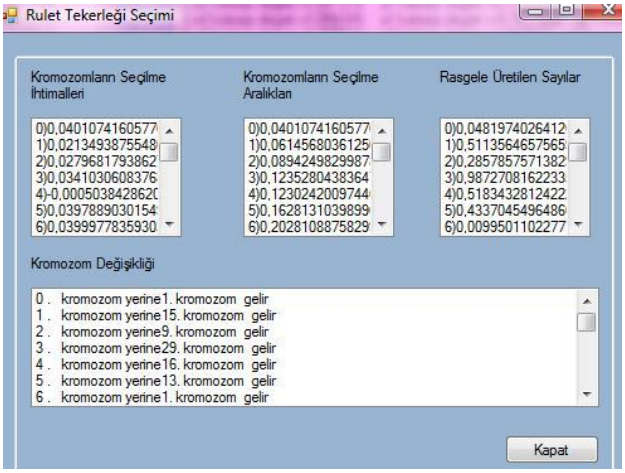
Şekil 4: Katsayılar formu.

Uygunluk (hedef) değerlerinin elde edilmesi sırasında yapılan işlemlerin gösterildiği form Şekil 5'te gösterilmiştir.



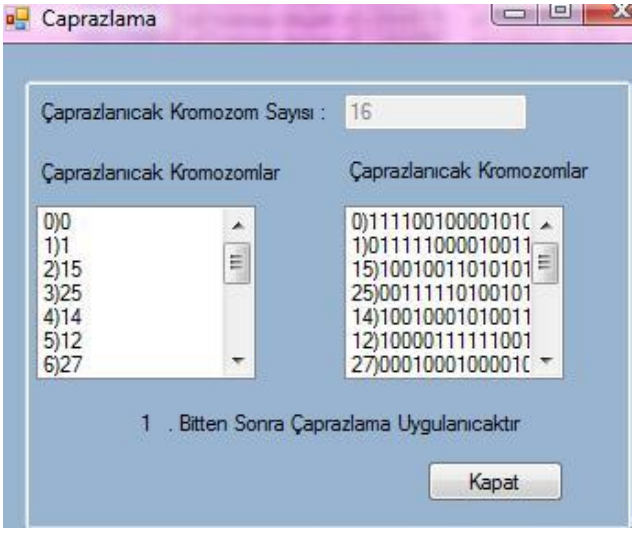
Şekil 5: Uygunluk değeri formu.

Şekil 6' de Rulet Tekerleği seçim türü ile işlemlerin yapıldığı form verilmiştir.



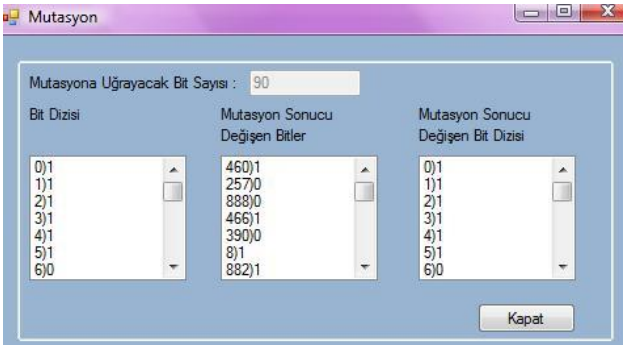
Şekil 6: Seçim formu.

Kromozomlara çaprazlama işleminin uygulandığı form Şekil 7'de sunulmuştur.



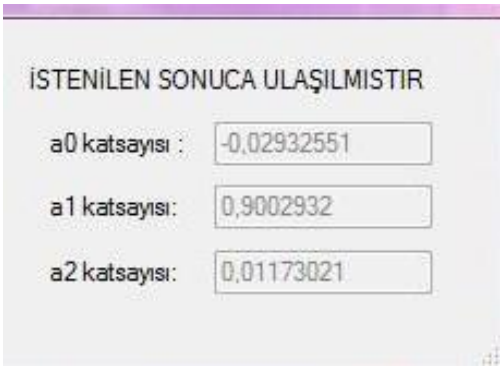
Şekil 7: Çaprazlama formu.

Kromozomlara mutasyon işleminin uygulandığı form Şekil 8'de verilmiştir



Şekil 8: Mutasyon formu.

İşlemler sonucunda elde edilen polinom katsayılarının gösterildiği sonuç bildirim formu Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Sonuç bildirim formu.

Şekil 9'de sunulmuş sonuç bildirim formundan görüldüğü gibi kalibrasyon katsayıları aşağıdaki optimum değerleri almıştır:

$$a_0 = -0,02932551;\ a_1 = 0,9002932;\ a_3 = 0,01173021$$

GA kestirim bilgileri Tablo 2'de verilmiştir. Söz konusu tabloda GA ile sensör kalibrasyonu sonuçları, mutlak ve bağıl hatalar yer almaktadır.

Tablo 2'de sunulmuş hata değerlerinden görüldüğü gibi, bağıl hata sıfıra yakın aralıkta büyük değerler almaktadır, ama bu hata değeri ölçülen basınç değerleri arttıkça küçülmekte ve ölçme aralığının sonuna doğru çok küçük değerlere varmaktadır.

Tablo 2: GA kestirim bilgileri tablosu.

GA ile elde edilmiş Y_i(V)	Mutlak hata (bar)	Bağıl hata %
-0.029325510	0.0293	∞
0.4237536425	0.0762	15.24
0.8826979000	0.1173	11.73
1.3475072625	0.1525	10.17
1.8181817300	0.1818	9.09
2.2947213025	0.2053	8.21
2.7771259800	0.2229	7.43
3.2653957625	0.2346	6.70
3.7595306500	0.2405	6.10
4.2595306425	0.2405	5.34
4.7653957400	0.2346	4.69
5.2771259425	0.2229	4.05
5.7947212500	0.2053	3.42
6.3181816625	0.1818	2.80
6.8475071800	0.1525	2.18
7.3826978025	0.1173	1.56
7.9237535300	0.0762	0.95
8.4706743625	0.0293	0.34
9.0234603000	-0.0235	-0.26

Kalibrasyon sonuçları GA'nın ölçüm aletlerinin kalibrasyonu için etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir.

GA'nın geleneksel kalibrasyon yöntemleri ile kıyaslanmasında zayıf olduğu durumlar aşağıdakilerdir:

- GA'da uygulanan tekrarlanma sayısı, geleneksel yöntemlerde kullanılan tekrarlanma sayısından fazladır. Bu nedenle GA geleneksel yöntemlere göre daha uzun hesaplama zamanı gerektirir,
- Geleneksel yöntemlerde deterministik kurallar uygulandığından parametrelerin değişimi daha kontrollü olur. GA'da uygulanan çaprazlama ihtimali ve mutasyon ihtimalinin büyük olması parametre değişiminin kontrollü olmasını engeller.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada, ölçüm aletlerinin kalibrasyonunun genetik algoritma yardımı ile yapılması önerilmiştir. Kullanılacak olan obje bir diferansiyel basınçölçer olarak belirlenmiştir. Genetik Algoritma kullanılarak bu basınçölçerin kalibrasyon eğrisi bulunmuştur. Çalışmada, kısa sürede kabul edilebilir çözümler sağlandığı gösterilmiştir.

Bu yöntemin esas avantajı, sadece optimizasyonu yapılan fonksiyon hakkında bilgi talep etmesi ve çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar vermesidir.

Yöntemin geleneksel yöntemlerle kıyaslamada esas dezavantajı kalibrasyon için daha çok hesaplama yükü ve zaman gerektirmesidir.

Bu eksikliğe rağmen, bu yaklaşım endüstrinin farklı dallarında ölçme aletlerinin kalibrasyonu problemine geniş olarak uygulanabilir.

Bu çalışmada GA ile basınçölçer transdüserin kalibrasyon katsayılarının belirlenmesinin mümkünlüğü gösterilmiştir. İleriki çalışmalarımızda önerilen yöntemin geleneksel yöntemlerle kıyaslanması planlanmaktadır.

6 Kaynakça

[1] Cooper WD. *Electronic Instrumentation and Measurement* Techniques. NJ, USA, Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc., 1978.

[2] Hacıyev Ç. *Deney Verilerinin İşlenme Yöntemleri ve Mühendislik Uygulamaları.* Ankara, Türkiye, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti. 2010.

[3] Betta G, Dell'Isola M. Frattolillo A. "Experimental design techniques for optimising measurement chain calibration". *Measurement*, 30(2), 115-127, 2001.

[4] Khan SA, Shabani DT, Agarwala AK. "Sensor calibration and compensation using artificial neural network". *ISA Transactions,* 42(3), 337-352, 2003.

[5] Glueck M, Oshinubi Manoli Y. "Automatic real-time offset calibration of gyroscopes". *IEEE Sensor Applications Symposium*, Galveston, USA, 19-21 February 2013.

[6] Sarcevic P, Pletl S, Kincses Z. "Evolutionary algorithm based 9DOF sensor board calibration". *12th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2014)*, Subotica, Serbia, 11-13 September 2014.

[7] Kim MS, Yu SB, Lee KS. "Development of a high-precision calibration method for inertial measurement unit". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15, 567-575, 2014.

[8] Xueliang P, Pei J, Chunsheng L. "The calibration method of three-axis magnetometer based on genetic algorithm". *Applied Mechanics and Materials,* 722, 373-378, 2015.

[9] Yoon J. "ANN-based collaborative sensor calibration and GA-approach to sensor mutation management". *6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, Hamamatsu, Japan, 9-13 July 2017.

[10] Michalewicz Z. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs.* New York, USA, Springer-Verlag, 1992.

[11] Cortes P, Larraneta J, Onieva L. "Genetic algorithm for controllers in elevator groups: Analysis and simulation during lunchpeak traffic". *Applied Soft Computing*, 4(2), 59-174, 2004.

[12] Jacobson L, Kanber B. *Genetic Algorithms in Java Basics*, New York, USA, Apress, 2015.