

KALİBRASYON ÇALIŞMALARINDA ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ İÇİN OPTİMİZASYON FIRSATLARI

Adem CENGİZ

ÖZET

Kalibrasyon faaliyetlerinin sonucu olarak elde edilen ölçüm sonucu ve buna ilişkin ölçüm-belirsizliği değerlerinin iyileştirilmesi önemli bir çalışma konusudur. Bu konudaki iyileştirmeler bazen elde mevcut imkânlarla sağlanabileceği gibi, çoğu zaman ilave yatırımlar da gerektirebilir.

Bu çalışmada, başlıca iyileştirme metotları ele alınmış ve bunlar detaylı olarak açıklanmıştır.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi hiçbir ölçüm, ölçüm belirsizliğinden ayrı düşünülemez. Ölçüm belirsizliği, ölçümün gerçek değerinin içinde bulunmasının olası olduğu bir aralığı tanımlar. Ölçümün kalitesi, ölçüm belirsizliği ile doğrudan ilişkilidir.

Eğer tüm hata kaynakları elimine edilebilseydi, ölçüm sonucunun “bir tane” gerçek değeri söz konusu olurdu. Ne var ki teknik nedenlerle, insan etkisi vb. sebeplerle bu mümkün değildir.

Ancak hata kaynakları ne kadar gerçekçi tespit edilebilirse, ölçüm belirsizliği analizinde de o kadar doğru sonuca ulaşılabilir. Hata kaynakları eğer doğru analiz edilemez ve bunun doğal bir sonucu olarak gereğinden büyük belirsizlik katkıları seçilirse, ölçüm belirsizliği de gerçekte olduğundan daha büyük hesaplanır [1].

Ölçüm belirsizliği tahmininde GUM metodu kullanılmaktadır. Bu metot ayrıntılı olarak EA-4/02 yayınında ele alınmıştır. Metodun önceliği ölçüm belirsizliği analizini gerçekçi bir şekilde yapılmasını sağlamaktır.

2. GUM'A GÖRE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ ANALİZİNDE ADIMLAR

ÇALIŞMA ADIMI	YAPILMASI GEREKEN İŞLEMLER
1. Ölçüme ilişkin matematiksel eşitliğin (model fonksiyon) oluşturulması	Matematiksel ve fiziksel veriler yardımıyla model fonksiyonun oluşturulması
2. Mevcut verinin hazırlanması	Ölçüm sonucunun kaydedilmesi
	Ölçüm sonucu üzerinde önemli etkisi olan ölçüm koşullarının kaydedilmesi (Laboratuvar sıcaklığı, nem vb.)
3. Sonuçların hesaplanması	Ölçüm serilerinin hazırlanması, ortalama değer hesabı, min / max tespiti, standart sapma ve varyans hesabı
	Ölçüm belirsizliği hesaplanması
	Ara hesaplamaların gözden geçirilmesi
4. Ölçüm sonucunun ifade edilmesi	Ölçüm sonucunun ifade edilmesi
	Ölçüm sonucuna ölçüm belirsizliğinin eklenmesi

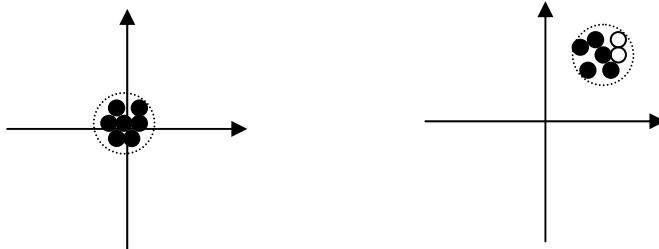
Optimizasyon, GUM'a göre ölçüm belirsizliği analizinde yukarıdaki adımlar dikkate alınarak yapılabilir.

3. OPTİMİZASYON METODLARI

1. Ölçüm sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi sonucu elde edilen veriler yardımıyla iyileştirme
2. Kullanılan ölçüm cihaz ve donanımının geliştirilmesi (ilave yatırım vb.)
3. Ölçüme ilişkin matematiksel modelde yapılabilecek modifikasyonlar
4. Ölçüm metodunun değiştirilmesi
5. Bilimsel gelişmeler sonucunda elde edilen yeni veriler

3.1 Grafik Gösterim

Özellikle çok boyutlu ölçümlerde (Koordinat ölçümü, uydu yardımıyla sayısal harita çizimi vb.) aynı noktaya ilişkin ölçüm serileri oluşturulduğunda bunun grafik üzerinde gösterilmesi sayesinde, sistematik hatalar ile rasgele hatalar birbirinden ayrıştırılabilir. Salt ölçüm sonuçlarına bakılarak sistematik hatayı fark etmek imkansızdır. Aşağıdaki şekilde sistematik hatanın bariz olduğu durum grafik yardımıyla görülmektedir. Sağdaki ölçüm dizisinin oluşturduğu grafikte bariz sistematik hata söz konusudur.



Şekil 1. Ölçüm Dizilerinin Grafiksel Gösterimi İle Sistematik Hatanın Fark Edilmesi

3.2 Kullanılan Ölçüm Cihaz ve Donanımının Geliştirilmesi (İlave Yatırım vb.)

Bu seçenek en son dikkate alınması gereken husustur. Çünkü çoğu zaman ölçüm cihaz ve donanımının geliştirilmesi maliyet engeline takılır. Ancak ölçüm belirsizliği bütçesi yardımıyla maliyet-etkin bir ölçüm belirsizliği analizi yapmak mümkündür. Ölçüm belirsizliği bütçesinde önemli kısmi katkıları olan ölçüm donanımları mümkünse yenileriyle değiştirilebilir.

3.3 Ölçüme İlişkin Matematiksel Modelde Yapılabilecek Modifikasyonlar

Çoğu zaman bir ölçüm çalışması farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bazı durumlarda ölçüme ilişkin model fonksiyonun ve buna bağlı olarak ölçüm yönteminin değiştirilmesi ile daha küçük ölçüm belirsizliği elde edilebilir.

Örneğin bir tüketicinin harcadığı gücün belirlenmesi çalışmasını ele alalım:
Bilindiği gibi;

$$P_{V,I} = V \cdot I \quad (1)$$

formülü ile güç hesaplanabilir. Bu aynı zamanda gücün, bir devrede gerilim ve akımın ayrı ayrı ölçülerek hesaplanmasına ilişkin Model Fonksiyon olarak ta kullanılabilir.

Alternatif olarak;

$$P_{V,R} = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

formülü kullanılarak ta tüketicinin harcadığı güç hesaplanabilir. Ne var ki bu durumda tüketicinin kullandığı sistemin toplam yük direncini ve şebeke gerilimini ölçmek gerekir.

Bir başka ifade ile;

$$P_{R,I} = R \cdot I^2 \quad (3)$$

formülü ile de yol alınabilir. Hatta bu üç formülden yola çıkılarak

$$P = \frac{1}{3} \cdot \frac{V^2}{R} + \frac{1}{3} \cdot V \cdot I + \frac{1}{3} \cdot R \cdot I^2 \quad (4)$$

model fonksiyon olarak kullanılabilir.

Güç ölçümü için yapılabilen bu çalışma örnek olarak aşağıdaki ölçümlerde de uygulanabilir.

- Yansıma ölçümleri: RF hatlar üzerindeki gerilim, empedans ilişkileri yardımıyla
- Uzunluk ölçümü: Fark ölçümü ya da mutlak ölçüm metodu ile
- Basınç ölçümü: Yüzey üzerine etkiyen kuvvet yardımıyla veya kompanzasyon (karşı basınç üretme) metoduyla ya da cıva sütunu yardımıyla

Model fonksiyon değişimi bir şekilde ölçüm metodu değişimi ile ilişkilidir. Bu değişim, yukarıda da olduğu gibi daha çok ölçüm sonucunun dolaylı ölçümlerle elde edildiği çalışmalarda uygulanabilir.

3.4 Ölçüm Metodunun Değiştirilmesi

Ölçüm metodunun değiştirilmesi bazen yararlı olabilir. Ancak bu halde ilişkili model fonksiyon da uygun şekilde değiştirilmelidir. Seçilen bir ölçüm metodu ve buna ilişkin model fonksiyon üzerinde çalışıldığında, eğer bazı belirsizlik katkılarının belirlenmesinde güçlükler varsa, aynı ölçümü farklı yöntemlerle ölçme alternatifleri irdelenmelidir.

Örneğin, bir kompanzasyon terazisi ile kütle ölçümünde:

- Yerel yerçekimi ivmesinin kesin olarak bilinmemesi
- Hava yoğunluğunun tam olarak tespit edilememesi
- Ölçülen nesnenin yoğunluğunun bilinmemesi (Hacim hesabı için)

gibi zorluklar olabilir.

Buna alternatif olarak:

- Ölçümün vakum ortam içinde yapılması (Havanın kaldırma kuvveti bertaraf edilir. Ancak vakum ortam oluşturmanın güçlüğü de dikkate alınmalıdır)
- Yakın ağırlıkta bilinen kütleler kullanılarak karşılaştırma ölçümü metodu (Bu surette, havanın kaldırma kuvveti etkisi karşılaştırılan her iki kütlede de benzer derecede etki edeceğinden, elimine edilmiş olur. Ayrıca terazinin skala, doğrusallık vb. hataları da bertaraf edilmiş olur.)
- Kuvvet kompanzasyonu terazisi yerine başka tipte (Komparatör terazi vb.) teraziler kullanılması.

uygulanabilir.

3.5 Bilgi Birikiminin Artması Sonucunda Elde Edilen Yeni Veriler

Bir kalibrasyon laboratuvarı kurulma aşamasında “En iyi ölçüm belirsizliği” bütçesi oluşturulurken eldeki mevcut veriden yararlanılır. Bu veri örneğin yıllık kayma değeri için üretici toleransları olabilir. Ne var ki laboratuvar faaliyetlerine devam ederken, periyodik olarak yaptırılan referans cihaz kalibrasyon sertifikalarının değerlendirilmesi sonucunda yıllık kayma değeri için daha küçük katkılar elde edebilir. Çünkü üreticiler, cihazların tolerans değerlerini, uzun süreli kararlılık değerlerini en kötü duruma göre verirler. Bu ise daha büyük ölçüm belirsizliği hesaplanmasına yol açar.

Yıllık kayma için bahsedilen analiz yapılarak daha küçük katkılar elde edilmesi sayesinde ise nihai ölçüm belirsizliği değerlerinde daha küçük sonuçlar elde edilebilir.

Bunun gibi ölçüm belirsizliğine katkıda bulunan kimi parametreler, daha zengin bilgi birikiminin ve laboratuvar geçmişinin oluşmasıyla, daha doğru ve çoğu zaman da sayısal olarak daha küçük değerlerde tahmin edilebilir.

Aşağıdaki tabloda RF ölçümlerinde kullanılan 10 dB zayıflatıcının yıllara göre davranışı görülmektedir.

Tablo 1. Zayıflatıcı Kalibrasyon Geçmişi

YILLAR	ÖLÇÜM SONUCU (ZAYIFLATMA)	GENİŞLETİLMİŞ BELİRSİZLİK (k= 2)	BİR ÖNCEKİ KALİBRASYONA GÖRE SAPMA
1995	9,985 dB	0,5 dB	
1996	9,972 dB	0,004 dB	
1998	9,977 dB	0,004 dB	0,005 dB
2000	9,977 dB	0,004 dB	0,000 dB
2002	9,973 dB	0,004 dB	-0,004 dB

Üretici, zayıflatıcının (2 yıllık) tolerans değerini 0,5 dB olarak vermektedir. Bu haliyle bu zayıflatıcının kullanıldığı bir ölçüm düzeneğinde 0,5 dB ölçüm belirsizliği dikkate alınmak durumundadır. Oysa zayıflatıcılar pasif elemanlar olduğundan, uygun laboratuvar koşullarında bu düzeyde kayma değerlerinden daha iyi bir kararlılık sergilerler. Ancak bunun analizini yapabilmek için en az üç yıllık bir cihaz geçmişinin olması gerekir [2].

Tablo bu gözle analiz edilerek zayıflatıcının kalibrasyon sertifikaları incelendiğinde sapma değerlerinin, ölçüm belirsizliği ile aynı sayısal mertebelerde olduğu görülebilir.

Dolayısıyla cihazın kayma değeri olarak üretici toleransı yerine bu yıllık sapmalardan ve kalibrasyon sertifikası belirsizliklerinden yola çıkılarak elde edilen bir verinin kullanılması daha küçük belirsizlik katkısı sağlayabilir. 2 yıllık kalibrasyon periyodu 4'e bölünerek, 0,004 dB olarak saptanan kayma değeri, 6 ay için 0,001 dB olarak indirgenebilir.

Böylece üretici toleransı yerine;

$$U_{95} = 0,004 \text{ dB} + 4 \cdot \frac{0,004 \text{ dB}}{4} = 0,008 \text{ dB} \text{ kullanılabilir.}$$

Görüldüğü gibi ilk başta 0,5 dB olan üretici toleransı değeri yerine ölçüm belirsizlik bütçesine zayıflatıcının 2 yıllık kayma katkısı 0,008 dB alınabilir. Bu da nihai ölçüm belirsizliğinde önemli bir küçülmeye yardımcı olabilir.

SONUÇ

Bu çalışmada da görüldüğü gibi ölçüm belirsizliği bütçesinde çoğu zaman optimizasyon-iyileştirme fırsatları vardır. Bu fırsatlar kimi zaman ilave yatırımlar gerektirebileceği gibi, kimi zaman da yalnızca sayısal analizler, farklı bakış açıları, tekrar gözden geçirmeler ile de mümkün olabilir. Mümkün kılınabilir en iyi ölçüm belirsizliği bütçesi hazırlanırken öncelikle ilave yatırım gerektirmeyen bu iyileştirme adımları da göz önünde bulundurularak daha gerçekçi belirsizlik bütçelerine ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] DAP-TM 18 Ermittlung und Angabe der Messunsicherheit nach Forderungen der ISO IEC 17025
- [2] Bernd Pesch Bestimmung der Messunsicherheit nach GUM, Boks On Demand GmbH ISBN 3-8330-1039-8

ÖZGEÇMİŞ**Adem CENGİZ**

1973 yılı Denizli doğumludur. 1994 yılında İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1996 yılından beri TSE Kalibrasyon Merkezi Başkanlığı bünyesinde TSE Gebze Kalibrasyon Laboratuvarı'nda Mühendis olarak görev yapmaktadır.