

AKUSTİK KALİBRATÖRLERİN KALİBRASYONU

Enver SADIKHOV, Eyüp BİLGİÇ
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)

ÖZET

Günümüzde gürültü ölçümlerinin, gürültü kirliliğinin önlenmesi ve ürün sertifikasyonu açısından önemi son derece artmıştır. Bu ölçümlerin en basiti olan ses imisyonu ölçümleri, çeşitli analog veya sayısal ses düzeyi ölçer olarak adlandırılan cihazlarla yapılmaktadır. Avrupa normları ölçümlerde kullanılan cihazların ölçümden önce ve sonra ölçüm yerinde kontrol edilmesini gerekli kılıyor. Kontroller belirli frekansta sabit seviyeli ses basıncı üreten ses kaynakları, diğer bir deyişle akustik kalibratörler kullanılarak yapılmaktadır. Bu nedenle akustik kalibratörler, gürültü ölçümlerinde kullanılan teçhizatın ayrılmaz parçasını oluşturmaktadır. IEC 942 standardına göre sınıflandırmaya tabii tutulmuş olan akustik kalibratörlerin kalibrasyonları değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Bu bildiri de akustik kalibratörlerin endüstride uygulanabilecek kalibrasyon yöntemleri ve kalibrasyonlardaki belirsizlik hesapları sunulmaktadır.

1. GİRİŞ

Ülkemizin önemli sorunlarından birisi haline gelen gürültü kirliliğinin önlenmesi için öncelikle kirliliğin boyutlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu işlem, gürültü ölçümlerinin yapılması, gürültü haritalarının düzenlenmesi gibi faaliyetler ile yapılır. Gürültü ölçümleri kapsamında en basit olan ses imisyon ölçümleridir ki, bu tür ölçümler tek bir cihazla yapılabilir. İmisyon ölçümlerinde çeşitli analog veya sayısal ses düzeyi ölçer olarak adlandırılan cihazlar kullanılmaktadır. İmisyon ölçümleri, değerlendirme amacına göre farklı standartların şartlarına uygun olarak yapılabilir. Örneğin, çevredeki yapılan ölçümler TS 2606/ Mart 1977 " Toplumsal Yaşam Yönünden Gürültünün Değerlendirilmesi " standardının şartlarına uygun olarak yapılır.

Avrupa norm ve standartlarına göre; her bir ölçümden önce ve sonra kullanılan cihazın ölçüm yerinde kontrolü yapılmalıdır. Gürültü ölçümleri sırasında ölçüm cihazının durumunu kontrol etmek amacıyla çeşitli akustik kalibratörler kullanılmaktadır [1]. Bunlar tek veya birkaç farklı frekansta sabit seviyede ses basıncı üreten cihazlardır[2]. Kalibratörün ürettiği ses basınç düzeyi yüksek doğrulukla belirlenmelidir, çünkü bu aşamada yapılan bir hata gürültü ölçümlerini de doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden akustik kalibratörler düzenli aralıklarla kalibrasyona tabii tutulmalıdır.

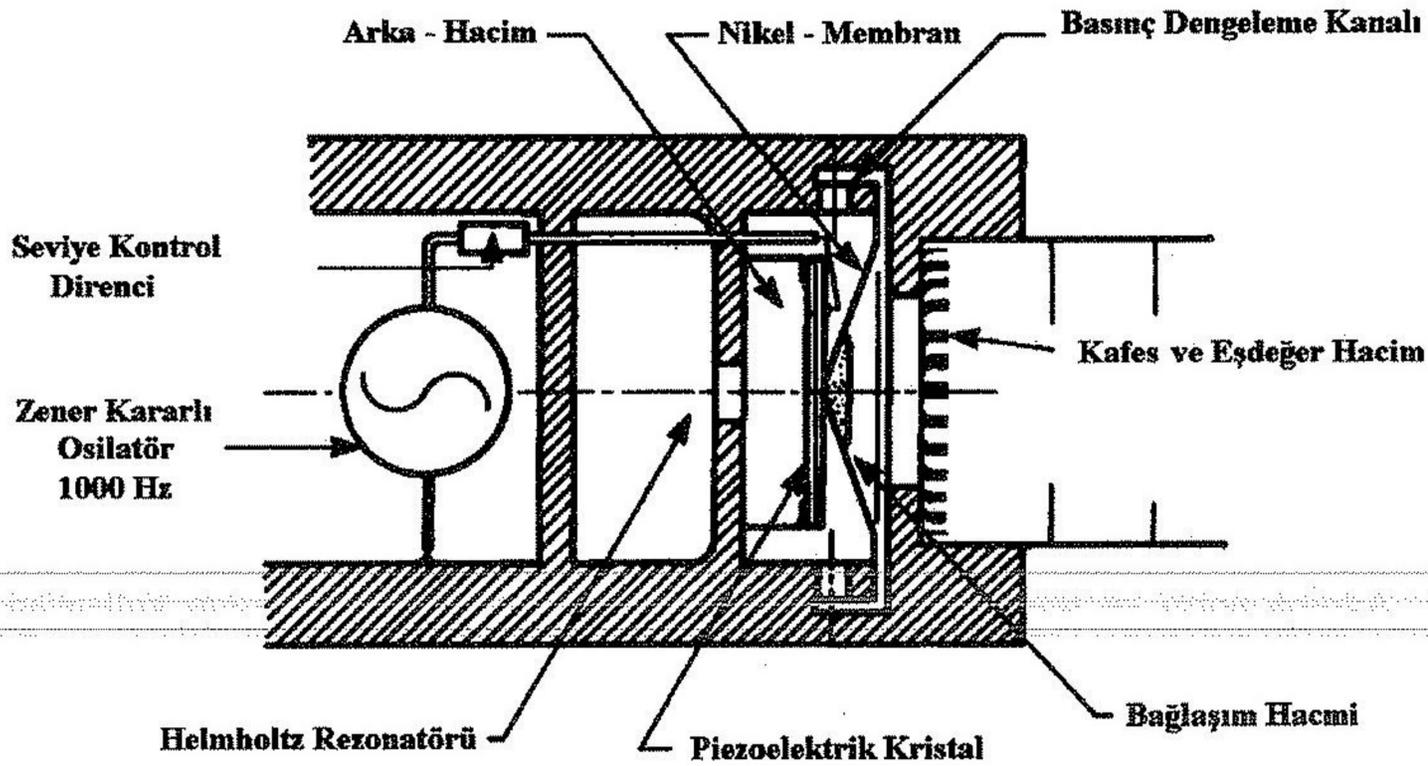
Akustik kalibratörlerin kalibrasyonları farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Günümüzde bu tür kalibratörlerin kalibrasyonları karşılaştırma yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Kalibrasyon sonucunda yapılması gereken belirsizlik hesapları, sonuçların güvenilirliği açısından çok önemli olduğundan, bu işlemin de metroloji de kabul görmüş modellere göre yapılması şarttır. Bu

bildiride, akustik kalibratörlerinin endüstriyel ortamda uygulanabilecek kalibrasyon yöntemleri ve kalibrasyonlardaki belirsizlik hesapları sunulmaktadır

2. AKUSTİK KALİBRATÖRLER

Akustik kalibratörler, gürültü ölçümlerinde kullanılan teçhizatın ayrılmaz parçasını oluşturmaktadır. Akustik kalibratörün diğer bir adı da ses düzeyi kalibratörüdür. Genellikle tek bir frekansta (250 veya 1000 Hz), sabit seviyede (124 veya 94 dB ref. 20 μ Pa) ses basıncı üreten kaynaklar, günümüzde IEC 942 standardının şartlarına uygun olarak üretilmektedir[3]. İki frekanslı ve iki seviyeli ses kaynakları da vardır. IEC 942 standardına göre tüm akustik kalibratörler 0,1,2 olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılır. Farklı sınıflardaki ses düzeyi kalibratörleri için, üretilen ses basıncındaki ve frekanstaki kararlılık ve doğruluk değerleri farklıdır.

Bu gün mevcut olan ses düzeyi kalibratörlerinin çalışma prensibine göre iki tür olduğu görülmektedir. Bunlardan birisinde, kalibratörün içerisindeki pistonun hareketinden dolayı kapalı bir hacim içerisinde ses basıncı üretilir. Bu prensibe göre, 250 Hz'de 124 dB'lik ses basıncı üreten ve pistonfon olarak adlandırılan kalibratör çalışır. Günümüzde en kararlı olan ses düzeyi kalibratörleri pistonfonlardır. Diğer bir tip ses düzeyi kalibratörlerinde ise içerisinde bulunan piezo elemanın (piezo kristal) değişken gerilime maruz kaldığında yerdeğiştirmeden dolayı kapalı bir hacim içerisinde hacim hızı ve dolayısıyla ses basıncı oluşur. Yapısında piezokristal kullanılan ses düzeyi kalibratörünün şematik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir[4].



Şekil 1. Akustik kalibratörün şematik yapısı

Ses düzeyi kalibratörünün genel performansı açısından metrolojik özellikler aşağıda sıralanmıştır.

Ürettiği ses basınç düzeyi

Çalışma frekansı

Seviye kararlılığı

Frekans kararlılığı

Harmonik distorsiyonu

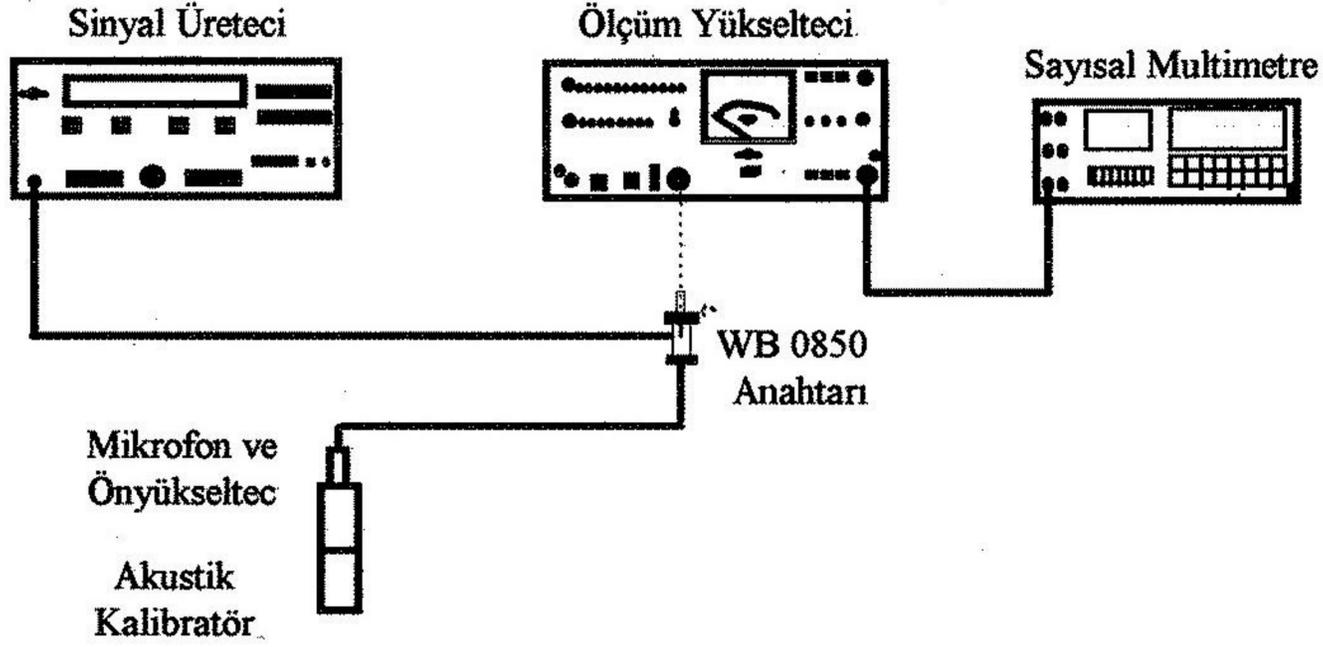
Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir ses düzeyi kalibratörünün (Brüel & Kjaer Tip 4230) tipik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tipik bir ses düzeyi kalibratörünün (Brüel & Kjaer Tip 4230) özellikleri

Parametre	Özellik
Standart	IEC 942
Nominal Ses Basınç Düzeyi	94.0 dB \pm 0.5 dB ref. 20 μ Pa, 0 - 50 °C arasında
Frekans	1000 Hz \pm % 1.5
Kararlılık	> \pm 0.1 dB/yıl, Normal saha kullanımı sırasında
İkinci Harmonik Distorsiyonu	Maksimum % 1.5
Ağırlık	260 g
Besleme	9 V pil (IEC 6LR22 veya 6LR61)
Tavsiye Edilen Kalibrasyon Süresi	1 yıl

3. AKUSTİK KALİBRATÖRLERİNİN KALİBRASYONU

Akustik kalibratörlerin kalibrasyonu sırasında en önemli işlem, ses kaynağı tarafından üretilen ses basınç düzeyinin ölçümesidir. Ses basınç düzeyi, birincil seviyede kalibre edilmiş referans mikrofon ve insert voltaj tekniği kullanılarak ölçülebilir. Bu ölçümlerde Şekil 2'de gösterilen düzenek kullanılır.

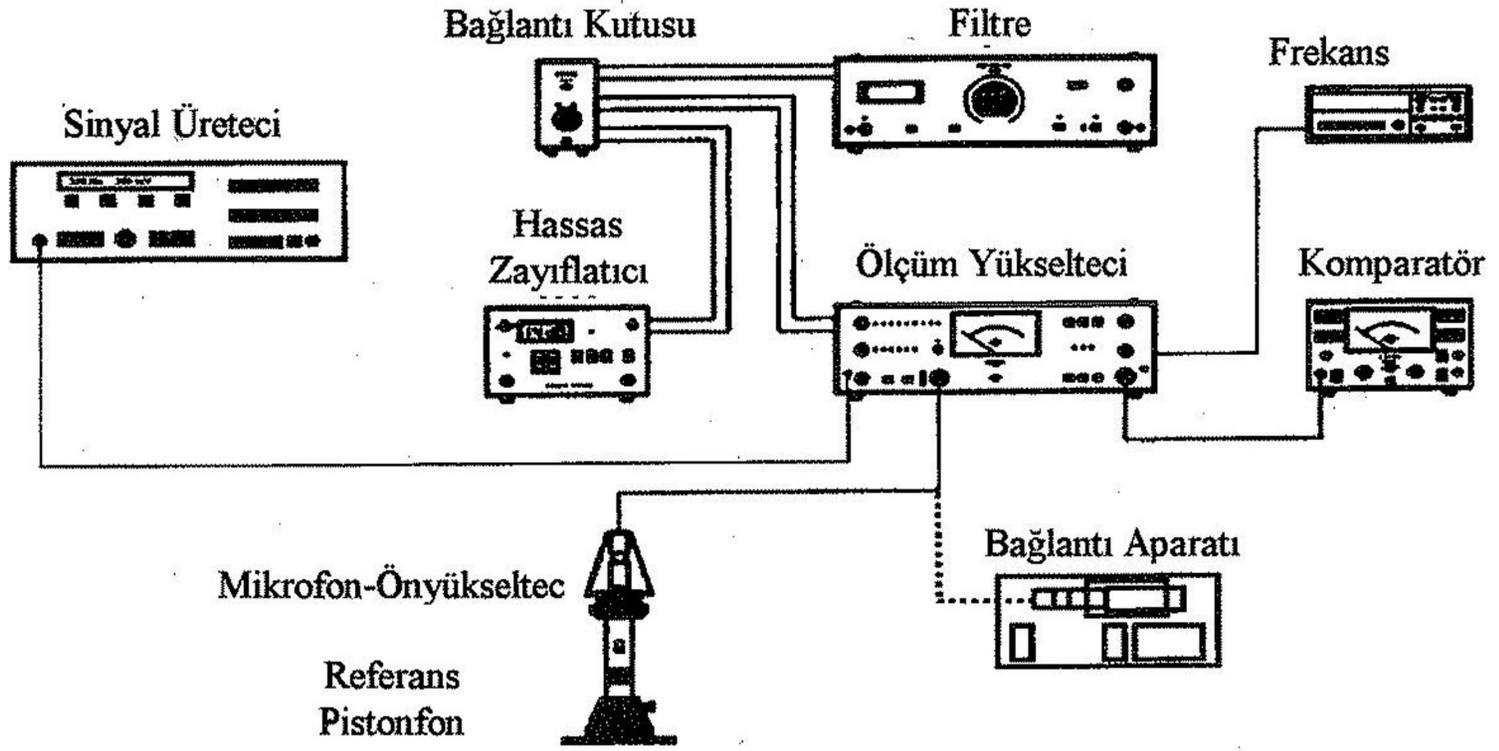


Şekil 2. Akustik kalibratörlerin insert voltaj tekniği ile kalibrasyon düzeneği.

Kalibre edilen ses düzey kalibratörünün ürettiği ses basınç düzeyine karşılık gelen değişken gerilim V_1 , referans niteliğindeki B&K Tip 4180 mikrofon ve Tip 2645 önyükselteç yardımıyla hassas voltmetre kullanılarak ölçülür. Kalibratör kapalıyken ve WB 0850 anahtarının özelliği kullanılarak sinyal üreticiden devreye kalibratörün frekasında değişken gerilim uygulanır, uygulanan sinyal voltmetreden V_1 değeri okunacak şekilde ayarlanır. Bu şartları sağlayan sinyal üreticinin V_2 değeri ölçülür. V_2 değerinin, mikrofonun açık devre hassasiyeti ve referans düzey olan $20 \mu\text{Pa}$ 'ın çarpımına bölünmesiyle kalibratörün ses basınç düzeyi dB cinsinden hesaplanır. İnsert voltaj tekniği düşük belirsizlik değerine göre (0.06-0.08 dB) sadece referans kaynakların kalibrasyonlarında tercih edilen tekniktir.

Günlük ölçümler sırasında kullanılan kalibratörlerin kalibrasyonlarında karşılaştırma yöntemi kullanılır. Bu kalibrasyonlarda akustik kalibratörün ürettiği ses basıncı referans pistonfonun seviyesiyle karşılaştırılır. UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında akustik kalibratörlerin karşılaştırma kalibrasyonlarında kullanılan düzenek Şekil 3'te gösterilmiştir.

Tek bir mikrofon kullanılarak (B&K Tip 4134) pistonfonun ve ses düzeyi kalibratörünün seviyeleri arasındaki fark ölçülür. Bu arada iki ses kaynağının farklı frekanslarda çalıştığı



Şekil 3. Akustik kalibratörlerin karşılaştırma kalibrasyonlarında kullanılan düzenek

dikkate alınmalıdır. Örneğin; akustik kalibratör 1000 Hz'de çalıştığından, ölçüm düzeneğinin 250 Hz ve 1000 Hz'deki tepkileri arasındaki fark ölçülmelidir. Kalibratörün mutlak ses basınç düzeyi :

$$SPL_{Kal} = SPL_{Pist} + d - G_{2610} + G_{9545} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlik (1)'de

SPL_{Kal} : Ses düzeyi kalibratörün ürettiği ses basınç düzeyi,

SPL_{Pist} : Kalibrasyonda kullanılan referans pistonfonun referans şartlara düzeltilmiş ses basınç düzeyi,

d : Pistonfonun ses basınç düzeyi ile kalibre edilen akustik kalibratörün ses basınç düzeyi arasındaki fark

G_{2610} : Kalibrasyonda kullanılan ölçüm yükseltecinin 250 ve 1000 Hz frekanslarındaki tepki farkı

G_{9545} : Kalibrasyonda kullanılan mikrofon ve önyükseltecin hacim yüklemesiyle oluşan düzeltme terimi

Akustik kalibratörlerinin kalibrasyonu sırasında belirlenmesi gereken diğer parametreler kalibratörün frekansı ve harmonik distorsiyonudur. Kalibratörün frekans değeri doğrudan Evrensel Sayıcı HP 5316B ile ölçülür. İkinci harmonik distorsiyonu ise,

$$\Delta = \frac{P_{2f}}{P_{Lin}} \quad (2)$$

ifadesi ile belirlenir. Bu ifadede

P_{2f} : Ses düzeyi kalibratörünün, ikinci harmoniğindeki ses basıncı,

P_{Lin} : Ses düzeyi kalibratörünün toplam ses basıncıdır.

Akustik kalibratörlerin kalibrasyonunda, kalibratörün 20 saniye süresince seviye ve frekans kararlılığı da ölçülür.

4. AKUSTİK KALİBRATÖRLERİN KARŞILAŞTIRMA KALİBRASYONUNDA BELİRSİZLİK HESAPLARI

Akustik kalibratörlerin karşılaştırma yöntemiyle gerçekleştirilen kalibrasyonda belirsizlik hesapları EAL'ın (WECC) 19 nolu dökümanına göre yapılır [5,6]. Kalibratör kalibrasyonundaki belirsizlik bileşenleri ve toplam belirsizlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Akustik kalibratörlerin karşılaştırma kalibrasyonu belirsizlik bütçesi

u_i	Belirsizlik Bileşeni	U_i 'nin Değeri (dB)	Olasılık Dağılımı	k	U_i (SPL) (dB)
u_1	Komparatör cihazının FS hata limiti	0.02	Dikdörtgen	1.73	0.012
u_2	Komparatör cihazının okuma hatası	0.01	Dikdörtgen	1.73	0.006
u_3	Ölçüm yükseltecinin iki frekanstaki tepki farkı hatası	0.01	Dikdörtgen	1.73	0.006
u_4	Hassas zayıflatıcının doğruluğu	0.03	Dikdörtgen	1.73	0.017
u_5	Mikrofon - önyükseltecin yükleme hacmindeki hata	0.02	Dikdörtgen	1.73	0.012
u_6	Mikrofon - önyükseltecin iki frekanstaki tepki farkının hatası	0.02	Dikdörtgen	1.73	0.012
u_7	Referans pistonfonun belirsizliği	0.06	Normal	2.00	0.030
u_8	Pistonfon seviyesinin kısa dönem kararlılığı	0.01	Dikdörtgen	1.73	0.006
u_9	Basınç düzeltmesindeki hata	0.01	Dikdörtgen	1.73	0.006
u_{10}	Ölçüm sisteminin tepkisindeki kalibrasyon sırasında kayma	0.01	Dikdörtgen	1.73	0.006
u_{11}	Kalibratörün statik basınç etkisinden dolayı seviyesindeki değişim	0.01	Dikdörtgen	1.73	0.006
u_{12}	Tekrarlanabilirlik	0.005	Normal	1.00	0.005
u_c	Bileşik belirsizlik	-	Normal	1.00	0.043
U	Genişletilmiş belirsizlik	-	Normal	2.00	0.086

5. SONUÇ

Bu çalışmada, UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarı'nda akustik kalibratörlerin karşılaştırma metodu kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyonları anlatılmıştır. Akustik kalibratörlerin kalibrasyonu sırasında ölçümleri etkileyen tüm parametreler incelenerek belirsizlik bütçesi oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Hassal and K. Zaveri, Acoustic Noise Measurements, Brüel & Kjaer, 1988
2. E. Frederiksen, Low Impedance Microphone Calibrator and its Advantages, Brüel & Kjaer Technical Review, 1977 No:4
3. Sound Calibrators, IEC 942, 1988
4. Instruction Manual, Sound Level Calibrator Type 4230, Brüel & Kjaer, 1992.
5. WECC Doc. No. 19 , Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations, 1990
6. Sadikhov, R. Kangı, S. Uğur, Ölçüm Belirsizliği, Ulusal Metroloji Enstitüsü Döküman No 1995-014