

63 Hz - 10 kHz FREKANS ARALIĞINDA UME ve PTB (ALMANYA) ARASINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN SES BASINÇ STANDARTLARININ KARŞILAŞTIRMASI

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

ÖZET

1996 yılında UME Akustik ve Titreşim laboratuvarı ve PTB arasında akustik alanında karşılaştırma gerçekleştirildi. UME'ye ait referans standart niteliğindeki 1" çapında iki adet mikrofon, karşılıklık (reciprocity) kalibrasyon yöntemi kullanılarak, önce UME'de daha sonra aynı yöntemle PTB (Braunschweig)'de kalibre edildi. 63-10000 Hz aralığındaki 1/3 oktav band merkez frekanslarında mikrofonların hassasiyet değerleri ölçüldü. İki ulusal merkez tarafından belirlenen değerler arasındaki farkın, UME'nin beyan ettiği belirsizlik sınırları içerisinde olduğu tespit edildi. Karşılaştırma sonucunda, UME ve PTB akustik standartları arasında uyum sağlandığı ve UME Akustik ve Titreşim laboratuvarının, akustik alanında birincil seviyeli bir laboratuvar olduğu ispatlandı.

1. GİRİŞ

Akustik ölçümlerinin temel büyüklüğü olan ses basıncının standardı, referans niteliğindeki kapasitif mikrofonların karşılıklık kalibrasyonu yoluyla oluşturulur. Mikrofonların karşılıklık kalibrasyon yöntemi, ikinci dünya savaşı sırasında akustik alanında uygulamaya konulmuş, daha sonraki yıllarda ise farklı araştırmalar sonucunda, bu yöntemin mikrofonların hassasiyet değerinin belirlenmesinde, en düşük belirsizliğe sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle IEC tarafından 1971 yılında, karşılıklık kalibrasyon yöntemi IEC 327 şeklinde, dünyadaki metroloji merkezlerine ses basınç standardını oluşturmak için sunulmuştur. IEC 327 standardı birkaç revizyona uğradıktan sonra, daha gelişmiş şekilde IEC 1094 olarak, dünyadaki metroloji merkezlerinin, birincil seviyedeki akustik laboratuvarlarına tavsiye edilmiştir. Bu standart akustik terimler, mikrofonların basınç kalibrasyonları, mikrofonların serbest alan kalibrasyonları ve çalışma standartları mikrofonların kalibrasyonları olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır.

Günümüzde ses basınç biriminin standardı, tüm metroloji merkezlerde IEC 1094-2 doğrultusunda 1" ve 1/2" çapındaki referans mikrofonların sırasıyla 63-10000 Hz ve 63-25000 Hz frekans aralıklarında karşılıklık kalibrasyonları yapılarak oluşturulur [1,2]. Farklı metroloji merkezlerde oluşturulan standartlar arasındaki uyum ve izlenebilirlik, uluslararası karşılaştırma ile sağlanır. Bu tür karşılaştırmalar, periyodik olarak EUROMET kapsamında düzenlenmektedir [3]. Ancak EUROMET'in dışında iki veya daha fazla ülkenin katılımıyla, karşılaştırmalar gerçekleştirilebilir.

UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında 1" ve 1/2" çapındaki standart referans mikrofonların 63-10000 Hz frekans aralığında karşılıklı kalibrasyonları yapılarak ses basınç biriminin standardı oluşturulmuştur. 1" çapındaki mikrofonların birincil kalibrasyonları 0.05-0.10 dB'lik belirsizlikle gerçekleştirilmiş olup, UME standardının akustik metroloji sistemine entegrasyonunu sağlamak amacıyla 1996 yılında 63-10000 Hz frekans aralığında UME ile PTB arasında ikili karşılaştırma düzenlenmiştir. Bu bildiri de akustik alanında UME ve PTB arasındaki düzenlenmiş olan karşılaştırmanın sonuçları sunulmaktadır.

2. UME'de SES BASINÇ STANDARDININ OLUŞTURULMASI

UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında ses basınç standardı 63-10000 Hz aralığında Brüel & Kjaer (B&K) Tip 4160 mikrofonların 0.05-0.10 dB'lik belirsizlikle, aynı zamanda 1/2" çapındaki B&K mikrofonların ise 63-25000 Hz frekans aralığındaki 0.07-0.12 dB'lik belirsizlikle yapılmış olan karşılıklı kalibrasyonları yoluyla gerçekleştirilmiştir [4].

Karşılıklı kalibrasyonları sırasında M_{p1} ve M_{p2} basınç hassasiyetlerine sahip iki mikrofon, kapalı silindirik bir bağlaşım yardımıyla alıcı-verici kombinasyonu şeklinde akustik olarak birleştirilir. Böyle bir akustik sistem için karşılıklı teoremine uygun olarak [5] iki mikrofonların hassasiyetleri arasında

$$M_{p2} M_{p1} = (Z_{ak})_{12} \frac{U_2}{i_1} \quad (1)$$

ifadesi yazılabilir.

Bu formülde i_1 verici mikrofondan geçen akım olmak üzere U_2 alıcı mikrofonun çıkışında oluşan değişken gerilimdir. U_2/i_1 oranı, 1 ve 2 mikrofonları ve bağlaşımından oluşan sistemin elektriksel transfer empedansı, $(Z_{ak})_{12}$ ise sistemin akustik transfer empedansı olarak adlandırılır. Böylece eşitlik (1)'den görüldüğü gibi iki mikrofonun hassasiyetleri çarpımı, akustik transfer empedans ile elektrik transfer empedansının çarpımına eşittir. Bir başka deyişle, elektrik ve akustik transfer empedanslarının değerleri belirlendiğinde, iki mikrofonun hassasiyetleri çarpımının sonucu bulunur.

Mikrofonların elektrik transfer empedansları çeşitli yöntemlerle doğrudan ölçülebilir [6,7]. UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında elektriksel transfer empedans değeri B&K Tip 4143 Karşılıklı Kalibrasyon Aparatı olarak adlandırılan cihazla ölçülür. İki mikrofon ve bağlaşımından oluşan sistemin akustik transfer empedansı ise sistemin geometrisi dikkate alınarak hesaplanabilir.

$$\frac{1}{(Z_{ak})_{12}} = \frac{1}{(Z_{ak})_1} + \frac{1}{(Z_{ak})_2} + \frac{1}{(Z_{ak})_{cp}} \quad (2)$$

Bu ifadede,

$(Z_{ak})_1$ birinci mikrofonun akustik empedansı,

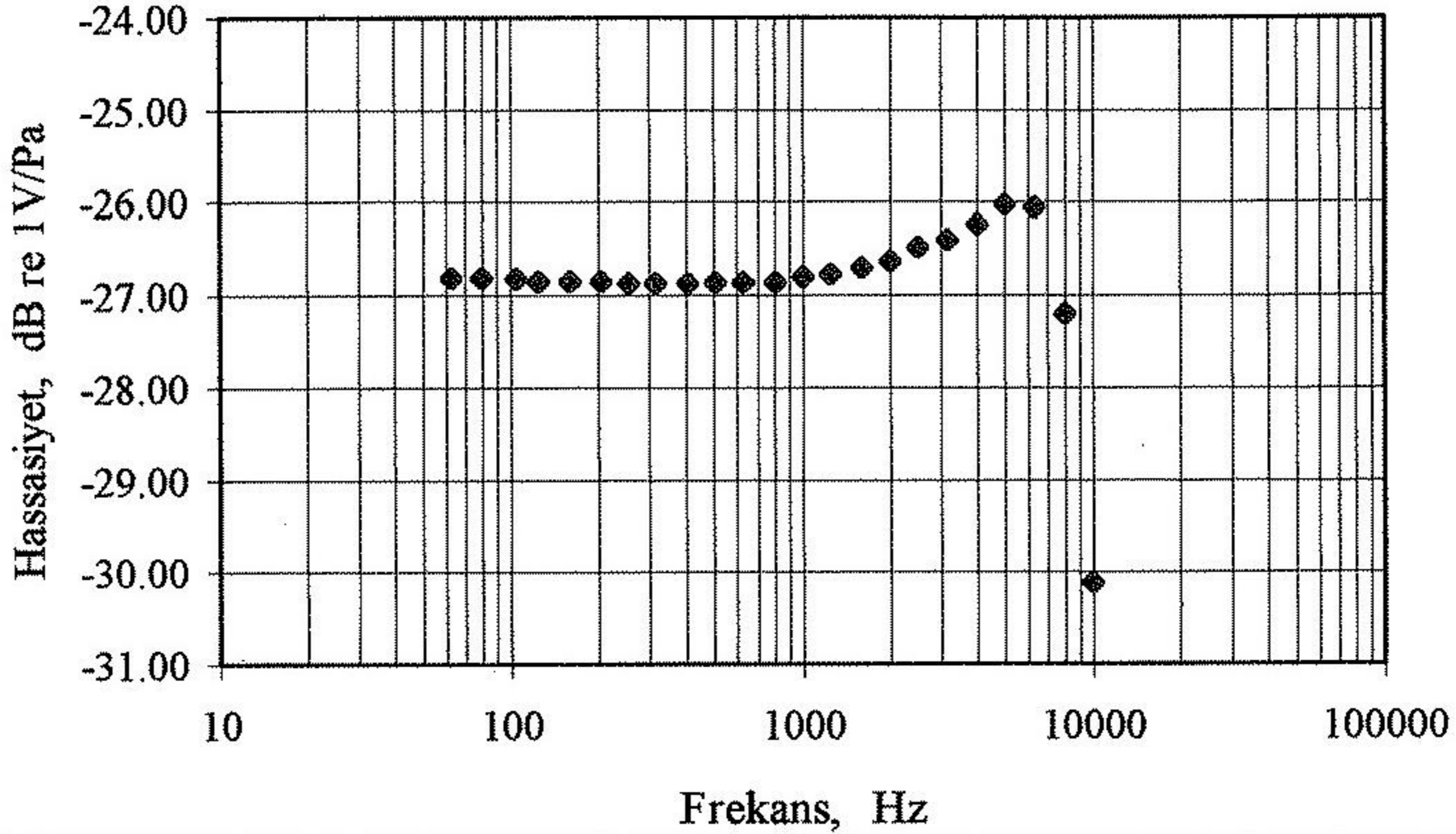
$(Z_{ak})_2$ ikinci mikrofonun akustik empedansı ve

$(Z_{ak})_{cp}$ bağlaşımın akustik empedansıdır.

Karşılıklı kalibrasyonu, üç adet aynı çapta mikrofon kullanılarak yapılmaktadır. Üç mikrofonla değişik alıcı-verici kombinasyonları için, mikrofonların hassasiyet çarpımları ($M_{p1} M_{p2}$, $M_{p1} M_{p3}$ ve $M_{p2} M_{p3}$) elde edilir. Bir başka deyişle, üç bilinmeyenli denklem sistemi oluşmaktadır. Bu sistem çözülerek her bir mikrofonu ait olan hassasiyetin mutlak değeri hesaplanır:

$$M_{p1} = \sqrt{\frac{[M_{p1} M_{p2}] [M_{p1} M_{p3}]}{[M_{p2} M_{p3}]}} = \sqrt{\frac{(U_2 / i_1)(U_3 / i_1)(Z_{ak})_{23}}{(Z_{ak})_{12}(Z_{ak})_{13}(U_1 / i_3)}} \quad (3)$$

Kalibrasyonda kullanılan diğer iki mikrofonun hassasiyet değerleri de benzer bir şekilde bulunur. Eşitlik (3)'e uygun olarak hesaplanan M_{p1} , M_{p2} ve M_{p3} değerlerine, ortam şartları ve diğer fiziksel koşullardan (dalga hareketi, ısı iletimi, kılcal tüp vb.) gelen düzeltme terimleri ilave edilerek, her bir mikrofonu ait düzeltilmiş açık devre hassasiyet değerleri elde edilir. Karşılıklı kalibrasyon sonucunda her bir mikrofon için Şekil 1'de gösterilen farklı frekanslarda hassasiyet değerleri elde edilir. Bu değerler 1698026 seri numaralı B&K Tip 4160 mikrofonuna aittir.

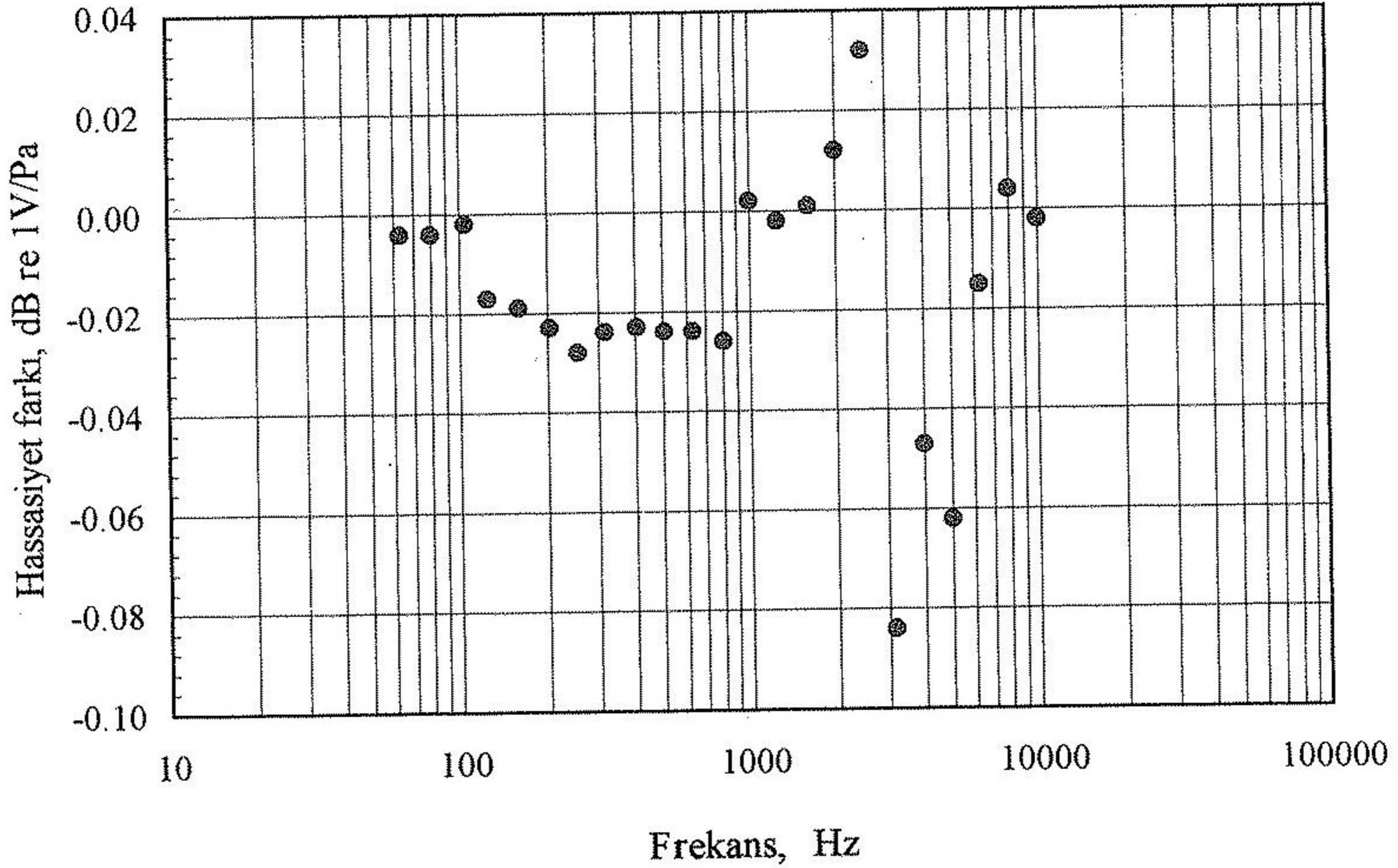


Şekil 1. Tip 4160 mikrofonu için karşılıklı kalibrasyon sonuçları

3. KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARI

UME ve PTB arasında ses basınç standartlarının karşılaştırmasını yapmak amacıyla UME'ye ait iki adet Brüel & Kjaer Tip 4160 mikrofon (Seri No: 1698024 ve 1698026) 63-10000 Hz frekans aralığında kalibre edilerek daha sonra PTB'de aynı yöntemle kalibre edildi. PTB, UME'den farklı olarak mikrofonların elektriksel transfer empedans ölçümleri için standart direnç kullanmaktadır. Bu tür ölçümler için UME düzeneğinde standart kapasitans kullanılır. Ayrıca

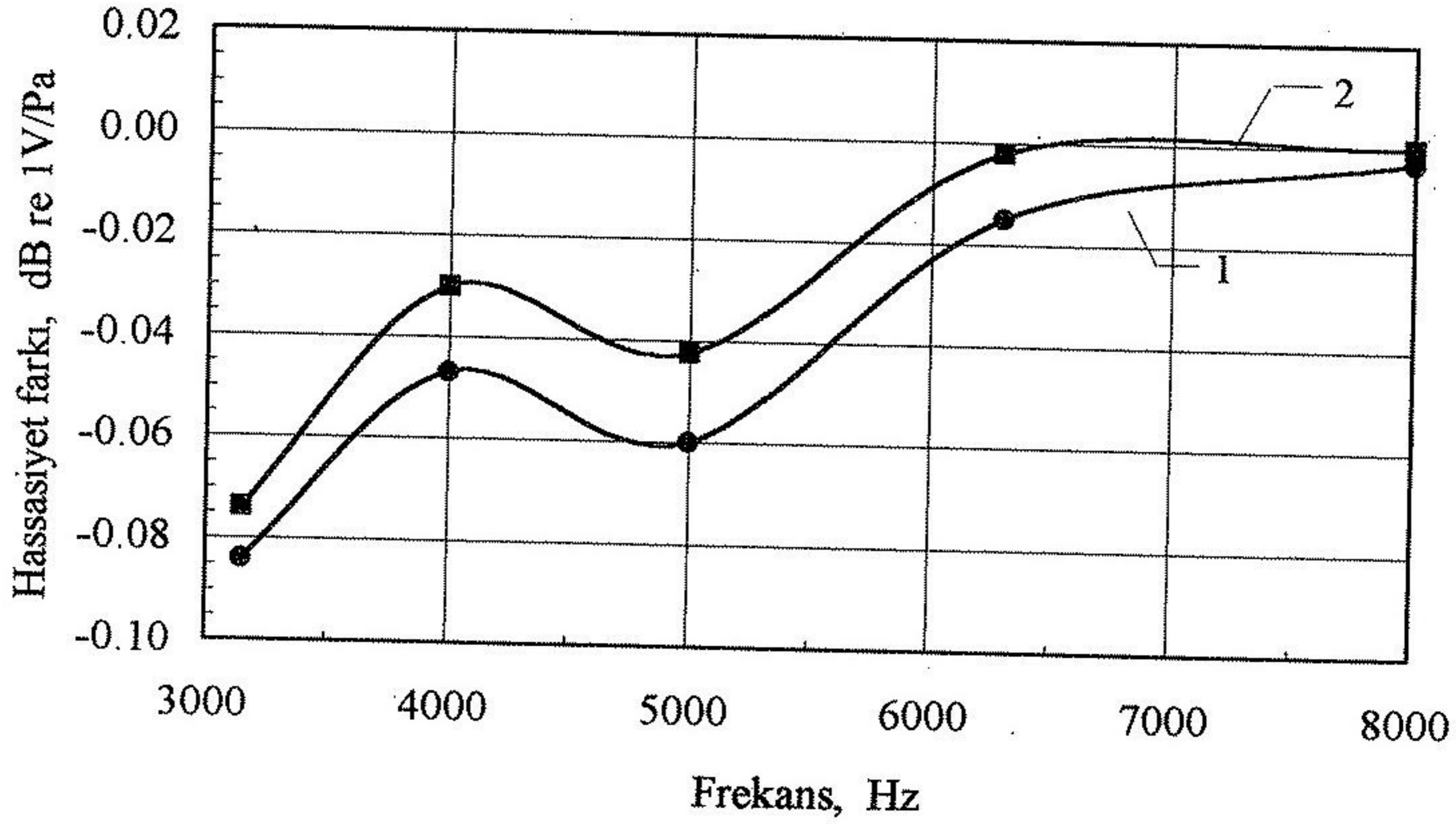
akustik empedans hesaplamalarında kullanılan her bir mikrofonun eşdeğer hacim değeri ayrı bir düzenek kullanılarak ölçülür ve her bir mikrofonun akustik kütle, akustik direnç vb. gibi mikrofonların bireysel parametreleri bağımsız düzenekler yardımıyla belirlenir. Karşılaştırma sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1698024 seri numaralı mikrofon için karşılaştırma sonuçları

UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında 1" çapındaki standart referans mikrofonların karşılıklı kalibrasyonlarının 63-2500 Hz frekans aralığındaki belirsizliğin 0.05 dB, 2500-10000 Hz frekans aralığında ise 0.10 dB olduğu gözönüne alınacak olursa, Şekil 2'den görüldüğü gibi iki metroloji merkezi tarafından belirlenen hassasiyet değerleri arasındaki fark, UME'nin beyan ettiği belirsizlik sınırları içerisindedir. Bu farkın mutlak değeri 63-2500 Hz aralığında 0.02-0.03 dB olduğu halde, yüksek frekans bölgesinde arttığı görülmektedir. Karşılıklı kalibrasyonu iki farklı bağlaşım ile gerçekleştirilir. Bunlardan birisi (20 cm³) 2500 Hz'e kadar frekans bölgesinde kullanılırken, diğeri ise (3 cm³) yüksek frekans bölgesinde kullanılır. Karşılıklı kalibrasyonu sırasında büyük önem taşıyan akustik empedans hesaplamaları, düşük frekans bölgesinde mikrofonların ve bağlaşımın hacim değerleri, yüksek frekans bölgesinde ise mikrofonların bireysel parametrelerinin (kütle, direnç ve uyum) değerleri kullanılarak yapılır. UME'de yapılan kalibrasyonlarda mikrofonların bireysel parametreleri için üretici firma tarafından beyan edilen nominal değerler kullanıldı, PTB'de ise bu değerler her bir mikrofon için ölçüldü. Bu farklılıktan dolayı yüksek frekanslarda UME ve PTB'nin belirlediği mikrofon hassasiyetleri arasında 0.005-0.01 dB'lik fark oluşmaktadır. Yüksek frekanslardaki farkın diğeri bir nedeni de kalibrasyon sonuçlarına uygulanan ortam basıncı, sıcaklık ve nem değerlerine göre farklı düzeltme faktörleridir. Bu düzeltme değerlerinden en etkin olanı ortam basıncına göre düzeltmedir. PTB'nin

kullandığı düzeltme değerleri kullanıldığı takdirde 3150-8000 Hz frekans aralığında hassasiyetler arasındaki fark 0.02 dB kadar azalmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Basınç düzeltmelerine göre karşılaştırma sonuçlarındaki fark
1. UME'nin basınç düzeltme değeri kullanılarak elde edilen sonuçlar
2. PTB'nin basınç düzeltme değeri kullanılarak elde edilen sonuçlar

4. SONUÇ

UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında 1" çapındaki referans standart mikrofonların karşılıklı kalibrasyonu ile oluşturulan ses basınç birimi standardı ile PTB'nin standardı arasında karşılaştırma gerçekleştirildi. Karşılaştırma sonuçlarına göre, iki mikrofon için belirlenen hassasiyet değerleri arasındaki fark UME'nin beyan ettiği belirsizlik sınırları içerisindeydi. Alınan sonuçlarla mevcut olan 0.05-0.10 dB'lik belirsizlikle (iki standart sapma seviyesinde), UME ses basınç standardının akustik metrolojisinde kabul edilebilir düzeyde olduğunu ispatlandı [8]. Ses basınç standardının belirsizliğini düşürmek amacıyla mikrofonların bireysel parametrelerini belirlemek ve akustik empedans değerini yüksek doğrulukla tespit etmek yakın gelecekte planlanan çalışmalar arasındadır.

KAYNAKLAR

1. K.Brinkman, K.Obermayr, G.Lager: Die Bestimmung des Druck-Leerlauf-Übertragungsmabes von 1-Zoll-Kondensatormikrofonen in der Physicalisch-Technischen Bundesanstalt, PTB Bericht AK-26, Braunschweig, 1984
2. M.Delany and E.Bazley: Uncertainty in Realising the Standard of Sound Pressure by the Closed Coupler Reciprocity Technique, NPL Report Ac 99, Teddington, 1980

3. G.Torr and D.Jarvis: A Comparison of National Standards of Sound Pressure, *Metrologia* 26, pp.253-256, 1989
4. E.Sadikhov, B.Karaböce, E.Bilgiç: Akustik Alanında Türkiye'nin Birincil Standardının Oluşturulması, 2. Ulusal Akustik ve Gürültü Kongresi Bildiriler Kitabı, s.1-8, Antalya, 1996
5. L. Beranek: *Acoustic Measurements*, Chapman & Hall, London, 1959
6. G.S.Wong and T.F.Embleton: Arrangement for Precision Reciprocity Calibration of Condenser Microphones, *Journal of Acoustics Society of America*, 66(5), pp.1275-1280, 1979
7. K.O.Balagh, A.C.Corney: Some Developments in Automated Microphone Reciprocity Calibration, *ACUSTICA*, Vol. 71, pp. 200-209, 1990
8. K.Rasmussen: Acoustic transfer standards in EC -Needs and Realization, In: *Metrologie in der Aakustik Einheiten, gesetzliches Meßwesen, Qualitätssicherung*, pp.9-13, PTB-MA-25, Braunschweig, 1992