

RADYASYON (IR) TERMOMETRELERİN KALİBRASYONUNDA ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ

Melda PATAN ALPER
Ahmet T. İNCE
Maria AIORDACHIOAIEI

ÖZET

Radyasyon (IR) termometreleri, son yıllarda yaygın olarak, yüzey sıcaklıklarının temassız ölçümünde kullanılan cihazlardır. Bu tür termometreler hızlı ölçme yetenekleri, makul fiyatları, geniş ölçüm aralıkları ve kullanım kolaylıkları sebebiyle sağlıktan, gıdaya, otomotivden, tarıma, demir-çelikten kimyaya kadar pek çok farklı sektörde tercih edilmektedirler. Yapılan ölçümlerin doğruluğu için ise kalibrasyon gereklidir. Termometrelerin kullanımı esnasında kalibrasyon sonuçları büyük önem taşır, bu sebeple ölçüm belirsizliğinin hesabında ölçüme etki eden tüm parametrelerin hesaba katılması gerekmektedir. Bu çalışmada, $-40^{\circ}\text{C}...+500^{\circ}\text{C}$ ölçüm aralığında radyasyon termometrelerin kalibrasyonunda ölçüm belirsizliğine etkisi olan emisivite, hedef büyüklüğü etkisi, siyah cisim yüzey sıcaklık dağılımı vb. gibi parametrelerin hesabı ve sonuçların nasıl değerlendirileceği açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: IR Termometre, Radyasyon Termometre, Siyah Cisim, Emisivite

ABSTRACT

Radiation (IR) thermometers have been widely used in non-contact measurement of surface temperatures in recent years. These types of thermometers are preferred in many different sectors from health, food, automotive, agriculture, iron and steel to chemistry due to their rapid measurement capabilities, reasonable prices, wide measurement ranges and ease of use. Calibration is required for the accuracy of the measurements. Calibration of these thermometers are of great importance when using thermometers, hence parameters affecting the measurement need to be taken into account in the calculation of measurement uncertainty. In this study, emissivity, target size effect, black body target surface temperature distribution, etc. effect on measurement uncertainty will be investigated for the calibration of radiation thermometers in the measurement range of $-40^{\circ}\text{C}... + 500^{\circ}\text{C}$.

Key Words: IR Thermometer, Radiation Thermometer, Black Body, Emissivity

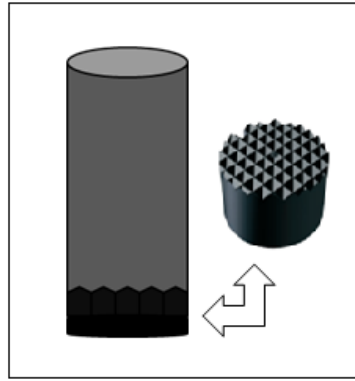
1. GİRİŞ

Radyasyon termometreleri ilaç, gıda saklama, depolama, sağlık fiziği, demir-çelik endüstrisi ve araştırma geliştirme çalışmalarında, düşük maliyeti, güvenilir sonuç vermesi, pratik kullanımı, yüksek sıcaklık ölçme kabiliyetleri gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Temaslı sıcaklık sensörlerinin kullanılmadığı ve/veya hızlı şekilde yüzey sıcaklığının ölçülmesi gereken durumlarda tercih edilirler. Ölçümlerin güvenilirliği açısından radyasyon termometrelerinin kalibrasyonları önemli bir ihtiyaçtır. Radyasyon termometrelerin kalibrasyon sisteminin en önemli parçası siyah cisimlerdir (blackbody). Siyah cisimlerin temel optik özellikleri emisivite ve yansıtıcılıklarıdır. İki tür siyah cisim kaynağı vardır; düz plaka (flat plate) ve kavite (cavity) tipi kaynaklar [1, 2]. Bu çalışmada düşük sıcaklıkta ($-40^{\circ}\text{C}...+150^{\circ}\text{C}$) kavite tipi siyah cisim sıvı banyo içerisinde kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan ölçüm sistemi özel olarak tasarlanmıştır. 4.5 cm çapında ve 30 cm uzunluğunda silindirik bir tüp, iç kısmı siyah emaye boya ile kaplanmış ve Şekil 1'de gösterilen ticari olarak temin edilebilen siyah cisim hedefi bu kavite içine yerleştirilmiştir. Siyah cisim hedefi kavite içerisinde (Hart Scientific marka) sıcaklık kontrollü banyolara (alkol, su ve yağ) daldırılmıştır. Sıvı banyo içerisinde kullanılan siyah cisim

kavitesi, sıvıların termal iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle hızlı kararlılık sağlar. Kavite tipi siyah cisimler özellikle sıvı içerisinde daha kararlıdır ve ışığı absorbe etme durumu düz plaka tipi siyah cisimlere göre etkindir [2-4]. Bu iki parametre, kararlılık ve ışımaya, ölçüm sonucu ve ölçüm belirsizliğini etkileyen faktörlerdir [5]. Radyasyon termometrelerin kalibrasyonunu bu sistemde gerçekleştirebilmek için, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) tarafından öncelikle sistemin emisivite değeri tayin edilmiş, sistem kalibre edilmiş ve izlenebilirliği sağlanmıştır. Emisivite değeri 0.999 olarak tespit edilmiştir.

2. CİHAZLAR

Sıcaklık kalibrasyonlarında ölçüm belirsizliğini etkileyen önemli faktörlerden biri sıcaklık kaynaklarının (sıvı banyoların, fırınların) performansdır. Kaynak performansı homojenlik ve kararlılık değerlerinin uygun yöntemle dikkatlice değerlendirilmesi ile belirlenir [6,7]. Bu araştırmada, Hart Scientific marka 7341 model alkol banyosu, 7037 model su banyosu, 6022 model yağ banyosu kullanılmıştır. Sıvı banyoların sıcaklık dağılımı, kalibrasyondan önce ASTM E644 standardına göre referans platin direnç termometreler yardımıyla yatay ve dikey olarak homojenite ve kararlılık değerlerinin belirlenmesiyle başlamıştır [8]. Banyoların kararlılık ve homojenitesi analiz edildikten sonra, IR termometresinin kalibrasyon işlemi karşılaştırma yöntemiyle gerçekleştirildi. Banyo içerisindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için, Hart Scientific marka standart platin direnç termometreler (SPRT) kullanılmıştır. IR test termometresinin kalibrasyonunda HEITRONICS Transfer Radyasyon Termometresi (TRT II) referans termometre olarak kullanıldı. 0.999 emisivite değerine sahip siyah cisim hedefi ISOTECH'ten temin edildi.



Şekil 1. Özel tasarlanmış tüpün içerisine yerleştirilen ticari olarak temin edilebilen siyah cisim hedefi

3.METOT VE ÖLÇÜMLER

Siyah cisim kavitesi sıvı banyo içerisindeyken, banyo ölçümün yapılacağı sıcaklık değerine set edilmiştir. Sistem dengeye geldiğinde ölçümlere başlanmıştır. Ölçümlerde odak uzaklığı önemlidir, termometrenin odak uzaklığına ilişkin bilgi radyasyon termometresinin üzerinde belirtilen değerdir, bu uzaklık ölçümlerden önce test edilmiştir. IR Test termometresi siyah cisim kaynağına belirtilen oranda yaklaştırıldı. Kalibrasyona başlamadan önce, radyasyon termometresinin (referans ve test) lensi dikkatli bir şekilde temizlendi. IR Test termometresinin emisivite değeri, kullanılan sistem (siyah cisim kavitesiyle) ve referans radyasyon termometresi ile aynı olacak şekilde ayarlandı. Radyasyon termometresi kalibrasyonu karşılaştırma metodu ile gerçekleştirilmiştir. Herbir ölçüm noktasında referans-test, test-referans olacak şekilde en az 10 ölçüm alındı. Tüm kalibrasyon noktalarında ölçümler gerçekleştirildikten sonra herhangi bir sıcaklık değeri tekrarlanabilirlik ölçümü için yeniden ölçüldü.

Ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasında kalibrasyonu etkileyen tüm parametreler analiz edilmiştir [3, 8, 9]. Belirsizlik parametreleri, kalibrasyonda kullanılan yöntem, kullanılan donanıma ve kullanılan termal radyasyon kaynağının türüne bağlı olarak değişebilir. Belirsizlik hesabı Tablo 1'de verilen her bir etki için aşağıda tarif edilen şekilde analiz edildi ve hesaplandı. İlk etki kullanılan referans radyasyon termometresinin (Heitronics radyasyon termometresi) PTB'den kalibrasyon sertifikasından

elde edilen belirsizlik değeridir. Kapsama faktörü de sertifikadan elde edilir ve normal dağılım için % 95 güven aralığı için genellikle $k = 2$ 'dir. Referans radyasyon termometresinin yıllık kayması, son iki kalibrasyon sertifikasından nominal değerleri arasındaki farktan elde edildi, dağılım tipi dikdörtgen dağılımdır. Referans radyasyon termometrenin kararlılığı, kalibrasyon sırasında ard arda alınan ölçümlerin standart sapmasıdır. Her ölçüm noktası için en az 10 ölçüm alınmıştır. Belirsizlik dağılımı normal dağılım olarak kabul edilir.

Emisiviteden kaynaklanan belirsizlik değeri, kavite tipi siyah cisim kaynağı kullanılarak düşürülebilmektedir, çünkü düz plaka tipi siyah cisimlerde ortam ışınımından kaynaklanan ışıma kaybı daha yüksektir [3]. Kaynak emisivite belirsizliğini değerlendirmek için, ölçümler emisivite değerinde % 1 değişim yapılarak tekrarlanır ve iki farklı emisivite ölçümü arasındaki fark dikdörtgen dağılımda olarak hesaba katılır. Örneğin ölçüm yapılan sıcaklıkta 0.99 ve 0.98 emisivitede ölçümler alınır ve aradaki fark sıcaklık olarak belirsizlik bütçesine eklenir. Kaynak boyutu etkisi (Size of Source Effect, SSE), özellikle düşük sıcaklıklarda radyasyon termometresinin çalıştığı dalga boyuna bağlıdır. SSE, doğrudan veya dolaylı yöntemler kullanılarak tanımlanabilir [10, 11]. Bu çalışmada doğrudan yöntem kullanıldı ve hedef büyüklüğü radyasyon termometresinin üretici beyanına göre belirlendi. Kaynak boyutu etkisi, ölçülen sıcaklık değerini etkileyen radyasyonun % 90-98'inin toplandığı belirli bir mesafeden ölçülen dairesel bir alandır [12]. Bu dairesel alandan alınan en büyük ve en küçük sıcaklık değerleri arasındaki fark SSE olarak belirlenmiştir, dağılımı ise dikdörtgen dağılımdır. Banyoların (alkol, su ve yağ) sıcaklık profilleri (kararlılık ve homojenlik) içine konulan siyah cisim kavitesiyle analiz edilmiştir. Banyo içerisindeki kavitenin uzun dönem kararlılığı ve homojenite değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. -40 °C'de alkol banyo içerisine yerleştirilen siyah cisim kavitesinde radyasyon termometre kalibrasyonu ölçüm belirsizliği bütçesi

Belirsizlik Bileşeni	Tip	Dağılım	$U_i / ^\circ\text{C}$ (-40 °C)
Referans IR Termometre Belirsizliği	B	Normal	0.15
Referans IR Termometre Kayma	B	Dikdörtgen	0.0578
Referans IR Termometre Kararlılık	A	Normal	0.11
Emisivite	B	Dikdörtgen	0.0578
Kaynak Boyutu Etkisi	B	Dikdörtgen	0.02312
Kaynak Sıcaklık Dağılımı	B	Dikdörtgen	0.00578
Kaynak Kararlılık (Uzun dönem)	A	Normal	0.01
Test IR Termometre Kararlılık	A	Normal	0.22
Test IR Termometre Tekrarlanabilirlik	B	Dikdörtgen	0.11561
Test IR Termometre Doğrusalsızlık	B	Dikdörtgen	0.0983
Test IR Termometre Çözünürlük	B	Dikdörtgen	0.00578
$U_T = \text{Toplam Belirsizlik} = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2 + \dots)}$			0.34
$U_G = \text{Genişletilmiş Belirsizlik (k=2 güvenlilik 95\%)}$			0.68

Kararlılık ve homojenite belirsizlik bileşenlerinin olasılık dağılımı, kararlılık için normal dağılım ve homojenlik için dikdörtgensel dağılımdır. Test IR termometresi kararlılığı ard arda alınan ölçümlerin standart sapmasından hesaplandı, dağılım tipi normal dağılımdır. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği,

kalibrasyonun başında ve sonunda aynı ölçüm noktasında alınan ölçümler arasındaki farktan hesaplanmıştır, dağılımı dikdörtgenel dağılımdır. Test IR termometrenin çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik katkısı çözünürlüğün yarısı kadar alınmış ve dikdörtgen dağılım olarak hesaba katılmıştır.

Toplam belirsizlik $U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}$ belirsizliğe etki eden tüm parametrelerin varyanslarının toplamının kareköküdür.

Genişletilmiş ölçüm belirsizliği $U_G = k \cdot U_T$, % 95 güvenlilik seviyesinde elde edilmiştir = $U_T \times$ kapsama faktörü ($k = 2$). -40°C'de yapılan ölçümlerde hesaplanan genişletilmiş belirsizlik değeri ± 0.68 °C olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Sıvı banyo içerisine konulan kavitenin kararlılık ve homojenite değerleri

	Kararlılık / °C	Homojenite / °C
Alkol Banyosu	0.01	0.02
Su Banyosu	0.01	0.02
Yağ Banyosu	0.03	0.05

SONUÇ

IR Termometre kalibrasyonunda, ölçüm belirsizliği tahmini ve kalibrasyon işleminde siyah cisim kalibratörler yerine sıvı banyo içerisine yerleştirilmiş kavitenin kullanılmasının avantajları bu çalışmada araştırılmıştır. -40 °C ila +150 °C sıcaklık aralığında sıvı banyo içerisine yerleştirilen siyah cisim kavitesiyle radyasyon termometrelerin kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiş ve ölçüm belirsizliği tahmini yapılmıştır. Kalibrasyonlarda sıvı banyolar içinde tasarlanmış siyah cisim kavitenin kullanılmasının birçok avantajı vardır. Özellikle sıcaklık kaynağının kararlılık ve homojenite değerlerinin düşük olması belirsizliği önemli ölçüde düşürmüştür. Bununla birlikte sıcaklık kaynağının kararlı olması kaynak boyutu etkisini de (SSE) doğrudan etkilemiş ve bu parametreyi de düşürmüştür.

Belirsizliğe etki eden parametreler değerlendirilerek hesaba katılmış, bazı parametreler ise çok düşük olması sebebiyle hesaplara yansıtılmamıştır. Radyasyon termometrelerin kalibrasyonunda ölçüm belirsizliği hesabı ASTM E2847 – 14 ve E1256 – 11a standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Doğru kaynağın seçimiyle de belirsizlik değerleri düşürülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sakuma, F.; Ma, L.; SICE 2003 Annual Conference, IEEE 2004, 37, 5-16.
- [2] Merlone, A.; Iacomini, L.; Tiziani, A.; Marcarino, P.; Measurement 2007, 40, 422–427
- [3] ASTM E2847 – 14 Standard Test Method for Calibration and Accuracy Verification of Wideband Infrared Thermometers
- [4] ASTM E1256 – 11a Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type)
- [5] Vendt, R.; Juurma M.; Jaanson P.; Vabson V.; Kübarsepp T.; Noorma M.; Int J Thermophys 2011, 32:248-257
- [6] Bentley, E.; Uncertainty in Measurement: The ISO Guide (NMI, Lindfield), 2005
- [7] A-04/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999
- [8] ASTM E644–11 Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometer, 2011
- [9] Point, P. Saunders, J. Fischer, M. Sadli, M. Battuello, C. W. Park, Z. Yuan, H. Yoon, W. Li, E. van der Ham, F. Sakuma, J. Ishii, M. Ballico, G. Machin, N. Fox, J. Hollandt, M. Matveyev, P. Bloembergen, S. Ugur, Uncertainty Budgets for Calibration of Radiation Thermometers below the Silver, International Journal of Thermophysics, 2008, Volume 29, Issue 3, pp 1066–1083

- [10] Lowe, D.; Battuello M.; Machin, G.; Girard, F.; in Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, vol. 7, ed. by D.C. Ripple, B.C. Johnson, C.W. Meyer, R.D. Saunders, G.F. Strouse, W.L. Tew, B.K. Tsai, H.W. Yoon (AIP, Melville, New York, 2003), pp. 625–630
- [11] G. Machin, R. Sergienko, in Proceedings of TEMPMEKO 2001, 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, ed. by B. Fellmuth, J. Seidel, G. Scholz (VDE Verlag, Berlin, 2002), pp. 155–160
- [12] Pušnik, I.; Grgić, G.; and Drnovšek, J., System for the determination of the size-of-source effect of radiation thermometers with the direct reading of temperature, Measurement Science and Technology, 2006 IOP Publishing Ltd Volume 17, Number 6

ÖZGEÇMİŞ

Melda PATAN ALPER

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü, 2007 yılında Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yüksek Lisansını, 2019 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2004-2006 yılları arasında Simkal Kalibrasyon Merkezinde Sıcaklık Kalibrasyon Laboratuvarı sorumlusu ve kalite yönetim sistemi vekili olarak görev almıştır. 2006 yılından bu yana Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı kalite sistem yöneticisi, sıcaklık kalibrasyon laboratuvarı sorumlusu, Fizik Bölümü öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2008 yılından buyana TÜRKAK sıcaklık kalibrasyonları alanı denetçisi ve 2014 yılı itibarı ile başdenetçi olarak görevini sürdürmektedir.

Ahmet T. INCE

1962 yılı Zira-Sivas doğumludur. 1992 yılında, İngiltere, Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Enstrümantasyon ve Analitik Bilim bölümünden (DIAS-UMIST) doktorasını almıştır. 1992–1994 yılları arasında doktora sonrası çalışmalarında Londra Üniversitesinde devam etmiştir. 1993 – 1998 yılları arasında TÜBİTAK UME’ de Fizik grup Başkanı ve Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olarak çalışmıştır. 1997 yılında Doçentlik ve 2002 yılında da Profesörlük ünvanını almıştır. 1998 yılında Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı olarak çalışmaya başlamıştır. 2002-2005 yılları arası Yeditepe Üniversitesi Fen–Edebiyat Fakültesi Dekan yardımcılığı görevini yapmıştır. 2005 yılından bu yana ise aynı fakültenin dekanlık görevini sürdürmektedir. 2016-2018 yılları arasında Yeditepe Üniversitesi Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2012 yılından bu yana TÜBİTAK-UME Sıcaklık laboratuvarının danışmanlığını yapmaktadır. Ayrıca, TÜRKAK denetçisi, Baş Denetçisi olarak görev almakta olup, yaklaşık 8 yıl TÜRKAK Sektör Komitesi Başkanlığı yapmıştır.

Maria AIORDACHIOAIEI

1959 yılı Romanya doğumludur. 1985 yılında Romanya Gheorghe Asachi Teknik üniversitesini bitirmiştir. 1985-1992 yılları arasında Romanya Nükleer Santral Kalibrasyon Laboratuvarında çalışmıştır. 2003 yılından itibaren Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarında kalibrasyon uzmanı olarak görev almaktadır.