

TERMAL KAMERA KALİBRASYONU VE VALİDASYONU İÇİN SUYUN ÜÇLÜ NOKTASI TEMELLİ SİYAHÇİSİM

Yasin TOPAL
Ahmet YILANCI
Semih YURTSEVEN
Ali UYTUN
Hümbet NASİBLİ

ÖZET

Günümüzde termal kameraların, çeşitli endüstriyel ve araştırma uygulamalarında sıcaklık dağılımının belirlenmesinin yanı sıra hassas sıcaklık ölçümlerinde de kullanımı önemli ölçüde artış göstermektedir.

Genel olarak, termal kameralar test altındaki sahnenin nitelikli analizi için nispi bir sıcaklık dağılımına ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen termogramlar için yeterli uzaysal çözünürlük ve kabul edilebilir sıcaklık dağılımı özellikleri en önemli parametrelerdir. Fakat son yıllarda, kızılötesi ışınım sensörlerinin gelişmesi ile termal kameralar mutlak sıcaklık ölçümlerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Bu nedenle termal kameraların mutlak ve Uluslararası Sıcaklık Ölçeği'ne (ITS-90) izlenebilir kalibrasyonu söz konusudur. Bu durum özellikle, termal kameraların tıpta kullanımında belirli bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, termal kameraların uzun ve kısa süreli kararlılığını takip etmek için mutlak ve ITS-90'a izlenebilir sıcaklık kalibrasyonu gereklidir.

Bu çalışmada, termal kameraların mutlak ve izlenebilir kalibrasyonları ve validasyonu için geliştirilen geniş alanlı suyun üçlü noktası (SÜN) temelli siyahçisimden bahsedilecektir. Söz konusu siyahçisimin tasarımı ve üretimi tamamen TÜBİTAK UME'ye aittir. Referans ışınım kaynağı olarak emisivite değeri 0,9995'in üzerinde olan bakır kavite kullanılmaktadır. Bu çalışmada, UME referans SÜN hücresi ile SÜN temelli siyahçisim hücresinin karşılaştırması ve karakterizasyonu yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Termal kamera, Termogram, Kalibrasyon, ITS-90, Suyun üçlü noktası.*

ABSTRACT

Nowadays, the use of thermal imagers in absolute temperature measurements along with retrieving of relative temperature distributions in industrial and research applications is significantly increasing.

In general, thermal imagers are used in applications where a relative temperature distribution is required for a qualified analysis of the scene under the test. The main requirement for the thermograms is to show the relative temperature distribution of the scene by revealing the corresponding temperature differences (and/or gradients) at a given spatial resolution.

However, in recent years the developments in infrared and thermal radiation sensors have been matured the use of thermal cameras in absolute temperature measurements. Therefore, absolute and International Temperature Scale (ITS-90) traceable temperature calibrations of the thermal imagers are necessary. On the other hand, such calibrations are useful to trace the long and short time stabilities of the thermal cameras.

In this study, we describe a triple point of water (TPW) based blackbody developed for absolute and traceable calibration and validation of thermal imagers. The design and construction of this blackbody

belong to TÜBİTAK UME. A copper cavity with an emissivity value of above 0,9995 is used as the reference radiation source. In this study, a comparison and characterization of the TPW based blackbody are presented.

Key Words: *Thermal cameras, Thermograms, Calibration, ITS-90, Triple point of water*

1. GİRİŞ

Termal kameralar, hızlı tepki sürelerinin yanı sıra tek ölçümde iki boyutlu alanda (termal kameraların görüş alanı) sıcaklık dağılımının mutlak değerlerini algılayabilme yetenekleri nedeni ile hem endüstriyel uygulamalarda hem de bilimsel araştırmalarda noktasal sıcaklık ölçümlere göre daha karmaşık bir yapıya ve ileri teknolojiye sahiptir. Ayrıca, günümüzde termal kameralara dayalı ölçümlerin çeşitli endüstriyel ve araştırma uygulamalarından, klinik tıpta titiz ölçümlere kadar ciddi anlamda geliştiği açıkça görülmektedir [1].

Önceleri, termal kameraların çıktısı olan termogramlar için yüksek uzaysal çözünürlüğün yanı sıra iyi derecede sıcaklık farkı çözünürlüğü birçok çalışma için yeterli olmaktaydı. Bunun da nedeni termal kameraların yaygın kullanımında test altındaki sahnenin nitelikli analizi için nispi bir sıcaklık dağılımına ihtiyaç duyulmasıydı. Ayrıca, bu çalışmalar, yeterli uzaysal çözünürlüğe ve kabul edilebilir sıcaklık dağılımına sahip termogramları gerektirmektedir. Fakat, günümüzde kızılötesi ışınım sensörlerinin gelişmesi ile birlikte en iyi dinamik sıcaklık algılayıcıları olarak tanımlayabileceğimiz termal kameraların, mutlak ve ITS-90'a izlenebilir sıcaklık kalibrasyonunun yapılması zorunlu hale gelmektedir [2-4]. Ayrıca, termal kameraların uzun ve kısa süreli kararlılığını takip etmek için mutlak ve Uluslararası Sıcaklık Ölçeği'ne (ITS-90) izlenebilir sıcaklık kalibrasyonu gereklidir. Şu anda, (ITS-90), sıcaklık ölçümleri için uluslararası kabul görmüş bir standarttır [5]. Genel olarak, ITS-90'ın dünya çapında yaygınlaştırılması, ulusal metroloji enstitüleri veya onaylı ölçüm kuruluşları tarafından sağlanmaktadır.

Geçtiğimiz yüzyılın ortalarında geliştirilen ilk termal kameralar, çok yüksek maliyetli ve birkaç metrelik büyük boyutlarda (destek düzenekleriyle birlikte) düşük bir çözünürlüğe (hem sıcaklık hem de uzaysal) ve çok sınırlı uygulama alanlarına (genellikle askeri amaçlar için) sahiptiler. Yeni nesil termal kameralara baktığımızda daha düşük maliyetli ve daha küçük boyutlara sahip olduğundan cep telefonlarına bile kolayca entegre edilebilmektedirler. Öte yandan, termal kameraların çıktısı olan termogramlar her piksel için sıcaklık değerini gösterir. Kullanılan dedektöre, tipine (soğutulmuş veya soğutulmamış), dizi büyüklüğüne hatta uygulama alanına vb. bağlı olarak çeşitli termal kameralar mutlak sıcaklık kalibrasyonları için farklı yaklaşımlar gerektirmektedir [1].

Genel olarak, hassasiyeti arttırmak için termal kameraların tam çalışma aralığı dar bant çalışma aralıklarına bölünür. Termal kameraların kullanıldığı alanlarda, test altındaki sahnenin sıcaklığına bağlı olarak çalışma aralığı belirlenir. Çoğu görüntüleyici için, klinik sıcaklık aralığını (25 °C - 40 °C) kapsayan çalışma aralığı, yaklaşık -20 °C ile 120 °C arasındadır. Sonuç olarak, termal kamera kalibrasyonlarının doğruluğunu arttırmak ve ilgili belirsizlikleri azaltmak için, Machin ve diğerlerinin çalışmasında [6] açıklanan referans kaynakları tarafından kapsanan aralığın dışında çalışan, referans kaynaklarına da ihtiyaç vardır. Uytun ve Nasibov'un çalışmasında [7], 273,16 K (0.01 °C) nominal çalışma sıcaklığına sahip geniş alanlı suyun üçlü noktası (GASÜN) hücresi temelli siyahcisim kaynağı geliştirilmiştir ve uygulamalar yapılmıştır.

Bu çalışma, endüstri ve araştırma uygulamalarına yönelik termal kamera kalibrasyonu ve validasyonu için suyun üçlü noktası temelli siyahcisim ile alakalı ölçümleri içermektedir. İlk olarak, GASÜN siyahcisim kaynağının tasarımı ve bakımı sunulmuştur. Ardından, deneysel ölçümlerin sonuçları bölüm 3'te tartışılmıştır. Son olarak, yapılan çalışmaların bulguları sonuç kısmında verilmiştir.

2. SİYAHÇİSİM TEMELLİ GENİŞ ALANLI SUYUN ÜÇLÜ NOKTASI HÜCRESİ

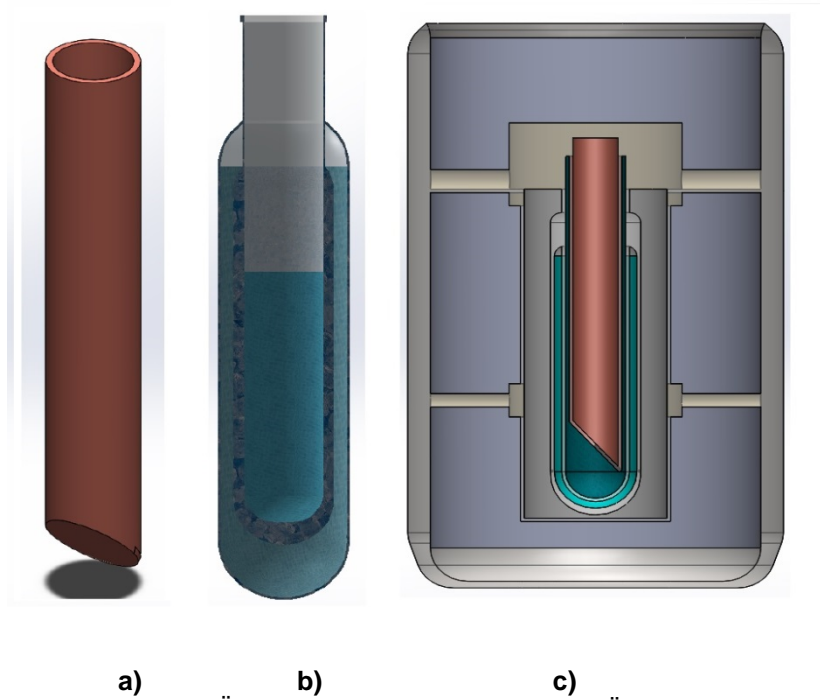
2.1. Tasarım

a. Kavite Tasarımı

GASÜN siyahcisim kavite tasarımı, Şekil 1.a'da görüldüğü gibi, 40 mm çapında ve 40 cm uzunluğunda bir silindir bakır borudan ve 30 ° konik kesikten oluşmaktadır. Kavitenin izotermal koşullar ve boyanmamış iç yüzey salınımı, 8-14 µm dalga boyu aralığında 0,9995 olarak hesaplanmıştır.

b. Hücre Tasarımı

Suyun üçlü noktası (SÜN) hücresi, gösterildiği gibi borosilikat camdan yapılmıştır (Şekil 1 b). 80 mm'lik bir kabuk çapına sahiptir. Kavite'nin yerleştirilmesi için iç oyuğun çapı yaklaşık 48 mm' dir ve kavite ile oyuk duvarları arasındaki boşluk damıtılmış su ile doludur. Kavitenin, hücre içerisindeki suyun yoğuşması ve daha kolay temizlenmesini kolaylaştırması için pürüzsüz yollara sokulduğu ve hücreden çıkarıldığı not edilmelidir. Hücre yüksek saflıkta ve gazsız su (üçlü damıtılmış) ile doldurulmaktadır. GASÜN, Şekil 1.c' de gösterildiği gibi, özel tasarımlı bir ev yapımı termos içerisinde yerleştirilmiştir.

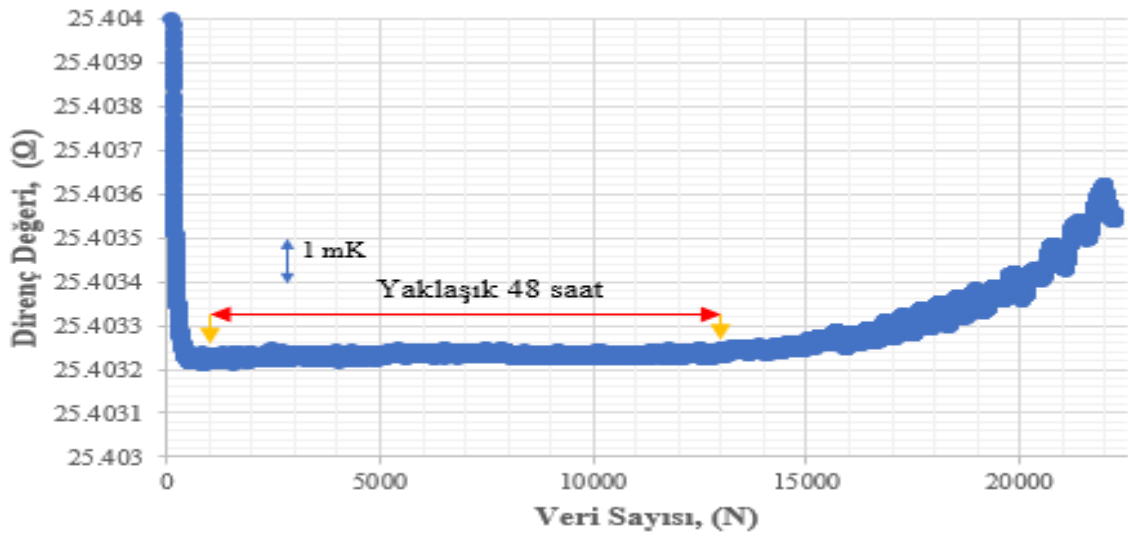


Şekil 1. a) Bakır kavite, b) SÜN hücresi, c) ITS-90 referans SÜN sıcaklığının (yani, 0,15 °C) gerçekleştirilmesi için bir tertibat (termos)

2.2. SÜN Hücresinin Bakımı

Üçlü nokta'nın, belirli maddelerin erime ve donma faz geçişlerine karşılık gelen bir sıcaklık değeri, referans sıcaklık noktaları olarak ITS-90 sıcaklık ölçeğinde belirtilmektedir [5]. Bunlar arasında, SÜN, ITS-90 ölçeğinin gerçekleşmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu durumda, üç saf su fazı, yani katı (buz), sıvı ve buhar fazları termodinamik denge durumunda bir arada bulunmaktadır. ITS-90'daki 273.16 K (0,01 °C) değer bu durumun sıcaklığına atanmıştır. 20 Mayıs 2019 Dünya Metroloji Gününde resmen yürürlüğe giren, sıcaklığın SI (The International System of Units) biriminin yeniden tanımlandığını belirtmekte fayda bulunmaktadır –Kelvin artık, Boltzmann sabiti ($k=1,380649 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$) kullanılarak tanımlanmaktadır [8].

SÜN hücresi genellikle, ölçek gerçekleştirilmede ve standart platin dirençli termometrelerin (SPRT) kalibre edilmesi için; yani, SPRT'nin $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de direncinin belirlenmesi için kullanılır. Bu nedenle, dünyadaki metroloji enstitülerinde yaygın olarak kullanılan SÜN hücresinin iç çapı, SPRT'nin çapına göre tasarlanmıştır. UME Sıcaklık Laboratuvarı 1992 yılından beri kendi SÜN hücrelerini tasarlamaktadır. Halen, UME' nin birincil seviye sıcaklık ölçüğünü oluşturmak için farklı SÜN hücreleri vardır. Mevcut çalışmada, iç çapı 8 mm ve daldırma derinliği 230 mm olan SÜN hücresi kullanıldı. Mevcut çalışmadaki ölçümler çerçevesinde hem UME referans SÜN hücresi hem de GASÜN siyahcismi kuru buz yöntemi ile hazırlanır [9] (Şekil 3.c). Referans hücre bakım banyosunun içine yerleştirilir ve $0.006 \text{ } ^\circ\text{C}$ (± 0.001) sıcaklıkta tutulur. UME referans SÜN hücresi ve GASÜN hücresinin karşılaştırmalı incelemesi, bir SPRT (Hart Scientific, 5681, 1306) ve bir MI6015T DC direnç köprüsü ile gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma, ilgili hücrenin içine yerleştirilerek ve SPRT'nin direnci ölçülerek yapılmıştır. Olası belirsizlikleri ve hataları azaltmak için SPRT'nin direnci, $23 \text{ } ^\circ\text{C}$ (± 0.02) sıcaklıkta tutulan ayrı bir banyoya yerleştirilmiş olan referans direncine (Tinsley 100Ω) orantılı olarak ölçülmüştür. Ölçümlere göre referans SÜN hücresi ve GASÜN hücresi arasındaki sıcaklık farkı $0,37 \text{ mK}$ 'den az bulunmuştur (Şekil 2) (Tablo 1).



Şekil 2. GASÜN Hücresi ile alınan plato ölçümü.



Şekil 3. a) GASÜN Hücresi

b) UME Referans SÜN Hücresi

c) Referans hücre hazırlanması

Tablo1. Referans SÜN Hücresi ve GASÜN Hücresi

SÜN	Ortalama değer/Ohm	Standart Sapma / mK
3.a)	25.403233	0.06
3.b)	25.403196	0.04

3. DENEYSEL SONUÇLAR

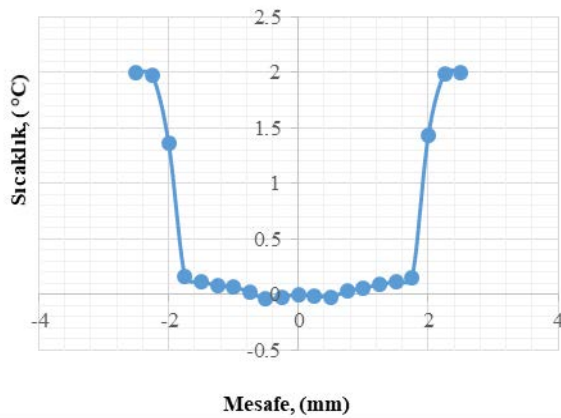
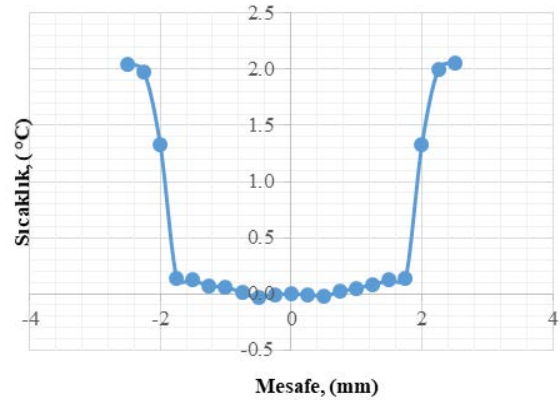
İzlenebilirliği UME tarafından sağlanan transfer standart radyasyon termometresi (TRT), doğrulama ölçümlerinde, gümüş donma noktasının altındaki sıcaklık noktaları için kullanılır. Termometrenin özellikleri Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Transfer Standart Radyasyon Termometresi

Cihaz	HEITRONICS TRT 4.82
Sıcaklık Aralığı	-50°C...1000°C
Bant Genişliği	8µm - 14µm
Odak Uzaklığı	39 cm
Spot Boyutu	6.8mm @ 380mm

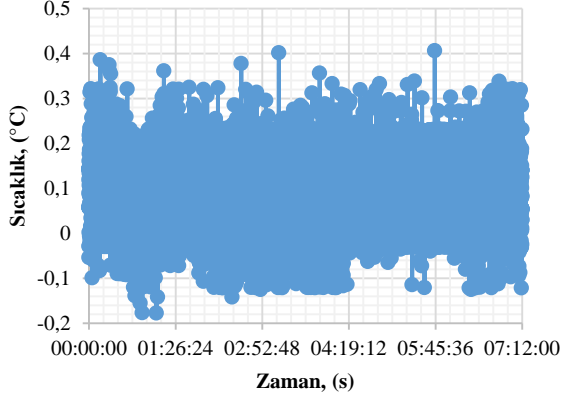
3.1. Yüzey Taraması

GASÜN temelli siyahcisim kavitenin açıklığı boyunca sıcaklık dağılımı TRT tarafından ölçülmüştür. TRT cihazı, 3 boyutlu X-Y-Z hareket düzlemi üzerine sabitlenmiştir. Sonra TRT'yi kavitenin orta noktası baz alınarak soldan sağa yatay yönde ve ters yönde hareket ettirerek açıklık yüzey taraması gerçekleştirilmektedir. Benzer şekilde, dikey açıklık yüzey taraması TRT'yi aşağıdan yukarıya ve tam tersi yönde de hareket ettirerek gerçekleştirilmektedir. Her yönde ölçümler iki kez tekrarlanmaktadır. Şekil 4 ve 5'te, GASÜN boyunca yatay ve dikey olarak taranan kavite'nin açıklığındaki sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. GASÜN radyasyon kaynağının, maksimum sapmasının $\pm 0,1$ °C' yi geçmediği kavite açıklığı boyunca homojen bir sıcaklık dağılımı ve homojen sıcaklık dağılımına sahip alanın çapının da 30 mm'den fazla olduğu görülmektedir. Önceki çalışmamızın sonuçlarına göre, TRT'nin 30 mm' nin üzerindeki kaynak boyutunun etkisi dikkate alınmayacak kadar küçüktür (TRT'nin çözünürlüğünden azdır). Bu nedenle, mevcut deneyler için, GASÜN radyasyon kaynağının kullanılmasıyla elde edilen sıcaklık değerleri, kaynak boyutu etkisinde herhangi bir düzeltme olmadan karşılaştırılabilir. Şekil 6 ve Şekil 7'de, GASÜN' nın "kısa" ve "uzun" süreli kararlılığı gösterilmektedir.

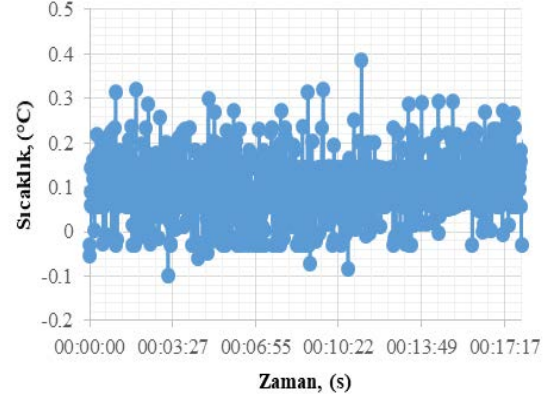
**Şekil 4.** 0 °C sıcaklık noktasında kavitenin açıklığındaki sıcaklık dağılım grafiği, yatay eksen.**Şekil 5.** 0 °C sıcaklık noktasında kavitenin açıklığındaki sıcaklık dağılım grafiği, dikey eksen.

3.2. Kararlılık Ölçümleri

GASÜN' de TRT ile kaydedilen verilerin analizi bir saat içinde gerçekleştirilmiştir. TRT okumasının hesaplanan standart sapma değeri, GASÜN için $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' dir.

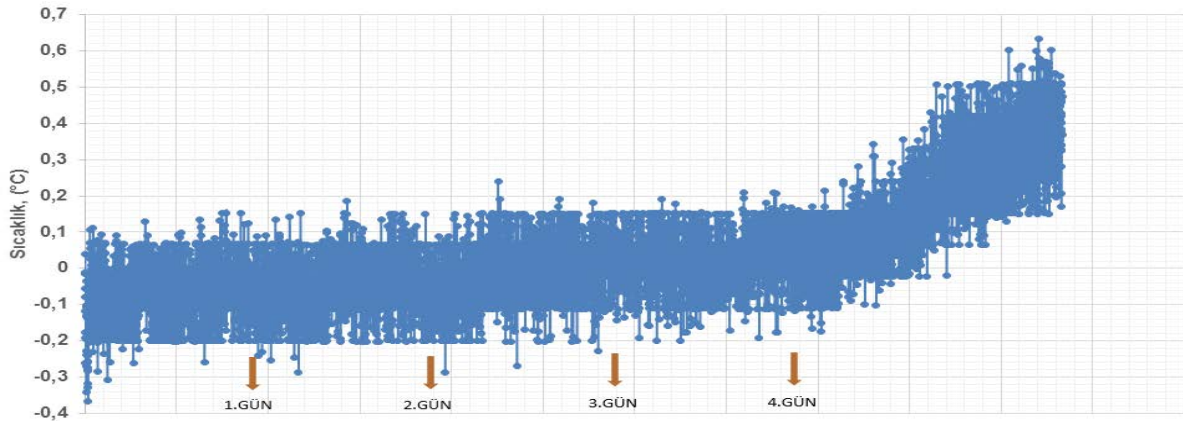


Şekil 6. Plato esnasında TRT tarafından kaydedilen GASÜN' nin uzun süreli kararlılığı (yaklaşık 7 saat).



Şekil 7. Plato esnasında TRT tarafından kaydedilen GASÜN' nin kısa süreli kararlılığı (yaklaşık 15 dakika).

Tüm bu ölçümlerden sonra GASÜN içerisindeki siyahçisim kavite çıkarılarak, GASÜN içerisindeki su seviyesine kadar kesilmiştir. Ardından alınan ölçümlerin bir önceki ölçümlere göre daha kararlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, hücre içerisindeki buz erimeden yaklaşık 5 gün dayanmaktadır. Şekil 8'de görüldüğü gibi 4. gün sonlarında hücre erimeye başlamış ve sıcaklık artmıştır. Bu ölçüm sonucunda standart sapma değeri $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür.

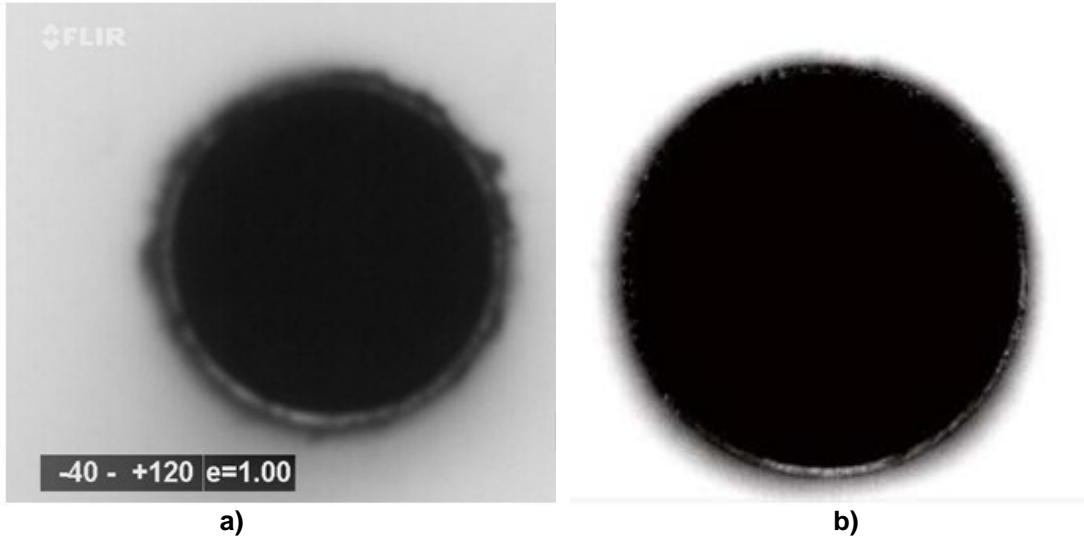
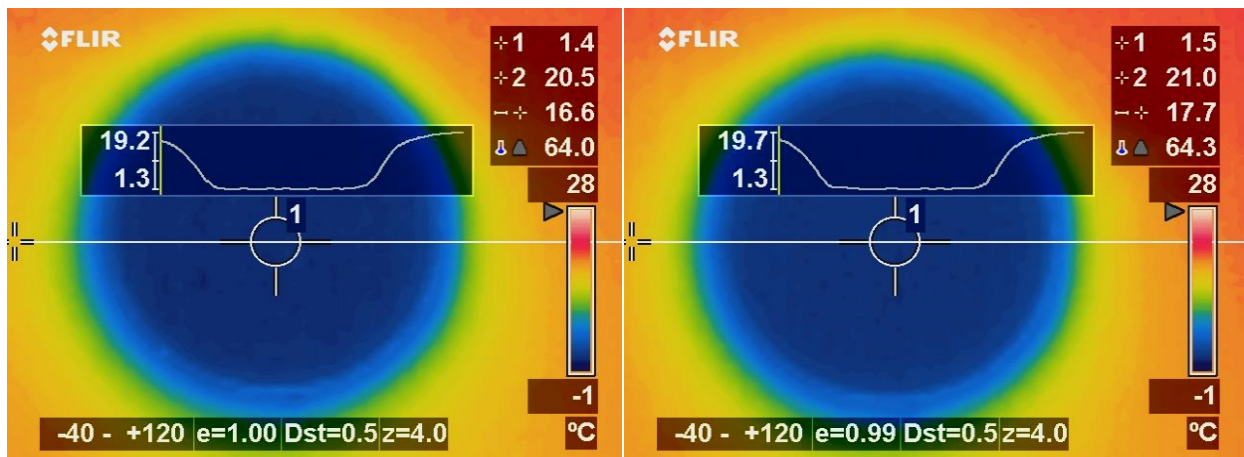


Şekil 8. Kavite kesildikten sonra alınan plato ölçümü.

Tablo 3, mevcut ölçümlerde kullanılan termal kameraların (sırasıyla P25 ve CG640 olarak gösterilen) temel parametrelerini göstermektedir. Her iki kamera da GASÜN ile $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kalibre edildi ve sonra karşılaştırıldı. Tüm ölçümlerde kameraların emisivite değeri 1.00 olarak ayarlanmıştır. Şekil 9, GASÜN siyahçisiminin, FLIR ThermaCAM P25 ve COX CG640 kamera kullanılarak elde edilen termogramları göstermektedir. Aynı şekilde emisivite değerinin azaltıldığında sıcaklık değerinin arttığını gösteren termogramlar Şekil 10'da verilmiştir. Kalibrasyon ölçümlerinde FLIR ThermaCAM P25 kamera $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında kullanılırken, COX CG640, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında kullanılmıştır.

Tablo 3. Kalibrasyon altında termal kameralar

Cihaz	FLIR ThermaCAM P25	COX CG640
Sıcaklık Aralığı	-40°C - +120°C 0°C - +500°C +1000 °C' e kadar, ayarlanabilir	-20°C ~ 120°C Yüksek sıcaklık belirleme modu: 0°C ~500°C
Spektral Aralık	7.5µm-13µm	8µm-14µm
Çözünürlük (Piksel)	320 x 240 piksel	640x480 piksel
Ölçüm Yöntemi	Görüntü merkezinde sabit nokta	Görüntü merkezinde sabit nokta

**Şekil 9.** GASÜN'den alınan örnek kavite termogramları a) FLIR ThermaCAM P25, b) COX CG640**Şekil 10.** FLIR ThermaCAM P25 ile alınan GASÜN termogramları.

SONUÇ

GASÜN termal kameraların (klinik uygulamalarda kullanılanlar dahil) kalibrasyonu için tasarlanmıştır ve geçerliliği incelenerek kabul edilmiştir (doğrulanmıştır). Bu ITS-90' a izlenebilir referans kaynağı, termal kamera kalibrasyonları için [10]' da tarif edilen ek sabit nokta siyahçisim olarak da düşünülebilir. Taşınabilir büyüklük, bakım kolaylığı ve sahada kolay kullanım (sadece distile su ve kuru buz gerekmektedir), bu cihazı termal kameraların kalibrasyonu ve validasyonu için çok cazip kılmaktadır. Tasarlanan bu siyahçisim ile UME referans SÜN hücresi arasında nispeten uzun bir sabit nokta plato süresi (40 saatten fazla) ve -0.37 mK mutlak sıcaklık farkı bulunmaktadır. Öte yandan, transfer standart radyasyon termometresi ile kaydedilen sinyalin standart sapma değeri, bu siyahçisim için yaklaşık 0,07 °C olarak ölçülmüştür. Ardından aynı kavite kesildikten sonra uzun süre içindeki buz erimeden durumunu korumaya devam eden siyahçisim yine aynı standart sapmaya sahipken sıcaklık değeri yaklaşık -0,02 °C olarak ölçülmüştür. Geniş bir kavite alanı (40 mm'den fazla) ve yüksek emisivite değeri (0.995'ten fazla), termal kameraların ve transfer standart radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu ve validasyonu için çok yönlü bir araç durumundadır. Çapı 60 mm' den daha büyük, tabanında konik kesikli bir eğim içeren silindirik kavite ile ileri çalışmalar yapılacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "UME Araştırmalarının Yenilenmesi ve Geliştirilmesi" programı 2017K120940 projesi ve "Nicelikli Termal Görüntüleme Kalibrasyon Sistemi" G1SI-YOG0009 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Topal Y., Yılanç A., Yurtseven S., and et. al., " Triple Point of Water Cell Based Reference Radiation Source for Medical Thermography Applications" MeMeA-2019, İstanbul,Turkey, to be published.
- [2] Bojkovski J., Fischer J., Machin G., Pavese F., Peruzzi A., Renaot E., Tegeler E., "A roadmap for thermal metrology," Int. J. Thermophysics, , pp 30, (1), 1-8. 2009.
- [3] Filtz J.-R., et al, "A European Roadmap for Thermo-physical Properties Metrology", Int. Journal of Thermophysics, vol. 36, pp. 516-528. (2015).
- [4] Lane B., Whinton E. P. "Calibration and Measurement Procedures for a High Magnification Thermal Camera," NISTIR 8098, <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.8098>.
- [5] Preston Thomas H. -, "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)", Metrologia, vol. 27, s. 3-10, Canada 1990.
- [6] Machin G., Simpson R., Broussely M., " Calibration and validation of thermal imagers, " QIRT Journal, vol. 6, No. 2, pp. 133-147, February 2009.
- [7] Uytun A., Nasibov H., "A large-area triple point of water blackbody for thermal camera calibrations, " TEMPMEKO-2019, Chingdu, China, to be published.
- [8] "Implementing the new kelvin 2, " www.vtt.fi/sites/ink2
- [9] Uytun A., Doğan A. K., Uğur S., "Construction and Characterisation of the UME Made Water Triple Point Cells, " XVII IMEKO World Congress, Metrology in the 3rd Millennium, Croatia, June 2003.
- [10] Simpson R. C., McEvoy H. C., Machin G., Howell K., vd. , " In- Field-of-View Thermal Image Calibration System for Medical Thermography Applications, " International Journal of Thermophysics, vol. 29, pp. 1123-1130, June 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Yasin TOPAL

1992 yılı Balıkesir doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Bilimleri Şubesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Misafir Araştırmacı olarak görev yapmaktadır.

Ahmet YILANCI

2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2004 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde Yüksek Mühendis, 2008 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2002-2009 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak ve 2009-2013 yılları arasında Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmıştır. 2013-2018 yılları arasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde Yrd. Doç. Dr. olarak görevine devam etmiştir. 2018 yılından beri Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı'nda Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Enerji ve fotovoltaik sistemler üzerinde çalışmaktadır.

Semih YURTSEVEN

1991 yılı Giresun doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Metroloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Araştırmacı olarak görev yapmaktadır.

Ali UYTUN

1997 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1998 yılında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Araştırmacı olarak göreve başlamıştır. Şu anda Uzman Araştırmacı olarak halen TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında görev yapmaktadır. 2009 yılından beri sıcaklık ve nem ölçümleri konusunda TÜRKAK teknik denetçisi ve baş denetçi olarak görev almaktadır. Sıcaklık sabit noktaları, suyun üçlü noktası, standart platin direnç termometresi, direnç termometreleri, ısılıçift, cam termometreleri ve benzeri cihazların kalibrasyon ve ölçümleri üzerinde çalışmaktadır.

Hümbet NASİBLİ

1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2000 yılında Azerbaycan Bilim Akademisi Fotoelektronik Enstitüsünde Deneysel Fizik Teknikleri ve Bilimsel Cihazlar konusu üzerine çalışmış ve PhD. ünvanını almıştır. 1992-2001 yılları arasında Fotoelektronik Enstitüsünde Lazer Spektroskopisi bölümünde Optik Mühendisi olarak görev almıştır. 2001-2004 yılları arasında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Uzman Araştırmacı olarak görev almıştır. 2004-2016 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE' de Başuzman Araştırmacı olarak görev almıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Başuzman Araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Uygulamalı Lazer Fiziği, kızılötesi teknolojiler, optik ve termal görüntü işleme, sıcaklık ve optik metrolojisi için cihazlar ve sensörler üzerine çalışmaktadır.