

# SICAKLIK KALİBRASYONLARINDA HİSTEREZİS

Aynur DAVUT

## ÖZET

Termometrelerin gösterdiği değerler, maruz kaldıkları sıcaklıklara veya kullanıma bağlıdır. Ölçüm belirsizliği parametresi olarak histerezis, termometrenin ölçüm bölgesi dikkate alınarak artan ve azalan yöndeki sıcaklık okumaları arasındaki en büyük farktır. Yani termometrenin sıcaklık döngüsü dikkate alındığında, yapılan okuma değeri artan ve azalan yönde iki farklı sıcaklığa tekabül eder. Termometre kendi halinde soğumaya bırakılırsa ve kullanılmazsa maruz kaldığı sıcaklığın etkisinden bir miktar kurtulur. Histerezis, esasında termometreyi oluşturan malzemenin sığağa maruz kaldığında kendisini toparlamasının ölçütüdür. Kalibrasyon yapılırken doğruluk, müşteri talebi ve maliyet unsurları göz önünde bulundurulmalıdır. Çok hassas bir çalışma yapılma yapılmadığı sürece, termometrenin artan ve azalan yönde kalibrasyonunun yapılması zaman ve enerji maliyetinin %100 artması demektir. Kalibrasyon yapılırken zaman, maliyet ve doğruluk yönünden optimum durum müşteri talepleri de dikkate alınarak tespit edilmelidir. Bu yazı da; histerezis etkisini ölçüm sonucuna dahil edecek, zaman ve maliyet yönünden optimum şartları sağlayan bir yöntem oluşturulabilir mi? Sorusuna cevap arayacağız.

**Anahtar Kelimeler:** Histerezis, Direnç termometreleri, Sıcaklık Kalibrasyonları

## ABSTRACT

The values shown by the thermometers depend on the temperatures or usage to which they are exposed. Hysteresis is the largest difference between the temperature readout between the ascending and the descending direction as a parameter of measurement uncertainty when it is being taken into account the measuring zone of the thermometer. This means that the temperature readout of the thermometer corresponds to two different temperatures in the increasing and decreasing direction. If the thermometer is not used and let to cool down its own way, it discards somewhat the temperature it is exposed to. Hysteresis is essentially a measure of the material that forms the thermometer to recover itself when exposed to heat. Accuracy, customer demand and cost considerations should be taken into account in calibration process. Calibration of the Calibration of the thermometer in ascending and descending directions means 100% increase in time and energy costs, unless a very precise operation is performed. The optimum condition in terms of time, cost and accuracy should be determined by taking customer demands into consideration while calibration process. In this text; we will try to find out the question that is it possible to create a method to include the hysteresis effect in the measurement result and to provide optimum conditions in terms of time and cost?

**Key Words:** Hysteresis, Resistance Thermometers, Temperature Calibrations.

## 1. GİRİŞ

Sıcaklık kalibrasyonu yapılan termometreleri etkileyen pek çok hata kaynağı vardır. Bu hata kaynakları tasarımdan, üretimden, kullanım şartlarından kaynaklanır. Bu nedenle hata kaynaklarının bilinmesi ve bu yönde cihaz seçimi yapılması önemlidir. Sıcaklık kalibrasyonunda referans olarak kullanılan termometreler sıcaklık aralığına bağlı olarak direnç termometreleri ve ısılıçiftlerdir. Genel olarak hata kaynakları sıralanırsa, yalıtım direnci, karalılık, tekrarlanabilirlik, ısı iletim, histerezis, kalibrasyonlar ve interpolasyonlar, bağlantı telleri, akıma bağlı ısınma etkisi, tepki süresi, ısı emfler vb. sayılabilir. Bunların içinden histerezis etkisini inceleyeceğiz.

## 2. TERMAL GENLEŞME ETKİSİ

Endüstriyel direnç termometrelerinde ısıl işlemler neticesinde oluşan mekanik etkilerin oluşturduğu deformasyon, en büyük belirsizlik kaynaklarından biridir. Platin direnç tel ile onun sarıldığı alt taşın farklı genleşmesi sebebiyle oluşan iki ana etki vardır. İlki elastik deformasyon, histereziste artış ve ikincisi, plastik deformasyon ve fazla çalışma sebebiyle driftteki artıştır.

Bütün malzemeler sıcaklıkla boyutlarını değiştirir. Platin tellerde de sıcaklık başına 9 ppm değişim vardır. Platin direnç termometrelerinde alt taş olarak kullanılan malzemeler cam, seramik veya mika olabilir. Bu malzemelerde platin tel ile birlikte genleşme nedeniyle esneyecek veya büzüşecektir. İdeal olarak tellerin genleşmesi veya büzüşmesi ne oranda ise alttaşında aynı oranda genleşmesi veya büzüşmesi ideal durumdur. Bu platin tellerde gerginlik oluşturmayacaktır. Genel olarak kullanılan alttaşlar cam ve alümina seramiktir.

Platin direnç telleri desteklemek için tasarlanmış cam malzemelerin genleşme katsayıları 1 ppm / °C civarındadır ve pek çok amaç için uygundur.

Seramik alümina alttaşlar ise 8 ppm/°C ile 10 ppm/°C arasında değişen genleşme katsayısına sahiptir. Alumina, cama göre saflık ve elektriksel direnç bakımından daha iyidir ancak gözenekli ve homojen olmayan yapısı nedeniyle beklenmeyen genleşme katsayısına sahip olabilir [1].

## 3. ELASTİK DEFORMASYON

Kalıcı deformasyon oluşturmayan ve tekrar eski haline gelmesi mümkün olan durumdur.

Her iki tip alttaş için genleşme katsayısı tipik olarak 1 ppm/°C veya daha kötü alttaşlar için farklı termal genleşme olacaktır. Tel gerildiğinde telin boyu artacaktır. Boyutsal değişimler, küçük gerilmeler için elastik olduğundan kalıcı deformasyon oluşmayacaktır. Tel gerildiğinde örgü yapısı bozulacağından genleşme katsayısındaki 1 ppm/°C lik değişim sonucunda platinin sıcaklık katsayısında 5 ppm/°C artış veya azalma olacaktır çünkü platin direnç termometresinin sıcaklık katsayısı yaklaşık 4000 ppm/°C dir, karşılaşılan hata genellikle sıcaklık değişiminin  $\pm 0,1\%$  kadardır. Bazı PRT' ler zamanla genleşme gösterir ve periyodu birkaç saat sürer. Genleşme başladığında düzensiz davranışlara sebep olabilir. 250 °C üzerinde PRT'lerin genleşmesi sonucu olan esneme neticesinde gösterdiği gerilim tavlama ile giderilir.

Sıcaklık aralığına ve termometrenin tasarımına bağlı olarak PRT' lerde tipik histerezis değerleri  $\pm 0,02\%$  ve  $\pm 0,05\%$  arasındadır. Alumina seramik kullanılarak desteklenmiş PRT'lerde maksimum gerilme 0,0002% kadar düşüktür. Bazı kalın-film elemanlı termometrelerde platin alttaşa bağlı olduğundan ve serbestçe esneyemeyeceğinden histerezis 0.01% mertebesindedir [1].

## 4. PLASTİK DEFORMASYON

Platin içeren metaller sonsuza kadar gerilemezler. Plastik deformasyon kalıcı yapısal değişikliktir. Bir kere gerilme 0,1% aşarsa plastik deformasyondan söz edilir. Yapısal olarak platin direnç termometreleri tüm uzunluğu boyunca alümina izolatör ile desteklenmezler. Alümina seramiğin yapısından ötürü mikroskopik olarak bakıldığında küçük bir yüzeyin desteklendiğini ve platin telin küçük lokal alanlar halinde gerilmeye maruz kaldığı ve her döngüde plastik deformasyona gittiği görülür.

Plastik deformasyon iki etki ile kendini gösterir ilki tel boyutlarında kalıcı değişim, ikincisi ise deformasyonlar nedeniyle telin örgü yapısında bozukluklar. Her iki etki de telin buz noktası direncinde artışla kendini gösterir ve sıcaklık katsayısının belirlenmesiyle ayırt edilebilir. Eğer buz noktası

direncindeki artış, direncin sıcaklık katsayısının azalışıyla birlikte olursa, dirençteki artış kusurlar nedeniyledir ve tavlama ile giderilebilir ancak tavlama, termometreyi bütünüyle orijinal haline döndürmeyecektir.

Genellikle tavlama işlemine giren direnç termometrelerinde kalıcı değişkenliğe bağlı olarak orijinal direnç değerine dönmez ancak artan veya azalan yöndeki değişimi sınırlandırabilir ve tekrar kullanımı yeni kalibrasyon sertifikasıyla birlikte mümkün olur. Direnç termometreleri dışında ısılıçiftler de maruz kaldığı sıcaklıklar dikkate alındığında yapısal değişimler görülür ve bu termometrelerde de yüzey gerilimini almak için tavlama yapılması driftin etkisini azaltmak için yapılır.

## 5. HİSTEREZİS

Genel olarak, histerezis, farklı bir yoldan yaklaştığında bir madde davranışında fark oluşturan bir olgudur. PRT'lerde, termal histerezis, PRT'nin maruz kaldığı termal geçmişe dayanarak belirli bir sıcaklıkta dirençte farklılığa neden olur. Daha spesifik olarak, PRT'nin direnci, artan sıcaklıklarda veya azalan sıcaklıklarda ölçüldüğünde aynı sıcaklık değeri için farklı sonuçlar oluşturacaktır. Farkın büyüklüğü, sıcaklık aralığına ve PRT'nin tasarımına bağlı olacaktır.

Endüstriyel direnç termometreleri için oluşturulmuş standart IEC 60751 buna "histerezis etkisi" olarak atıfta bulunur ve PRT direncinin orta sıcaklıkta, düşük sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ve en yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ölçüleceğini belirtir. Verilen kabul kriterleri, orta noktadaki direncin, test edilen tolerans sınıfı için test sıcaklığındaki tolerans değerinden daha fazla değişmeyeceği şeklindedir. Her iki ölçümün de direnç toleransını karşılaması gerektiğini belirtmez, bu nedenle histerezis etkisinin sensörün tolerans dışı bir ölçüm üretmesine neden olması mümkündür. ASTM standardı E1137, termal histerezis için herhangi bir şartı içermez, ancak, PRT'nin maksimum derecelendirilmiş aralığından daha az aralıklarda test yapılmasına izin verecek olan ASTM standardı E644'te histerezis testi için bir test metodu bulunur. IEC 60751 standardının gerekliliği oldukça iyi tanımlanmış olsa da, aralık maksimum değerden düşük olduğunda histerezis hakkında herhangi bir bilgi sağlamaz ve bu endüstriyel PRT standartlarının hiçbiri orta nokta dışındaki sıcaklıklarda histerezis performansı hakkında bilgi vermez.

Kullanım aralığı dahilindeki herhangi bir sıcaklıktaki histerezis hatasını tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem, orta nokta sıcaklığı ile ilgilenilen sıcaklık arasında doğrusal bir enterpolasyon yapmaktır. Bu tahmin için bilinen bir denklem bulunmadığından, Zwak-Zenner denklemi olarak adlandırılan aşağıdaki formülasyon kullanılabilir [2]:

$$Histerizis(^{\circ}C) = H \left( \frac{T_{maks} - T_{min}}{100} \right) \left( 1 - \left| \frac{T_{maks} - T_{min} - 2T}{T_{maks} - T_{min}} \right| \right) \quad (1)$$

Burada;

H = termometrenin sıcaklık aralığının% 'si olarak histerezis hata katsayısı

$T_{maks}$  = Maksimum sıcaklığı

$T_{min}$  = Minimum sıcaklığı

T = Histerezisin tespit edildiği sıcaklık

Bu formülasyon kullanılarak hesaplanmış tahmini histerezis hataları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 1.** Direnç termometreleri için tahmini histerezis hataları

	Histerezis özelliği	Sıcaklık bölgesi			Sıcaklık bölgesi			Sıcaklık bölgesi		
		-200 den 600 °C			0 dan 400 °C			0 dan 200 °C		
		0,02% aralık	0,05% aralık	0,10% aralık	0,02% aralık	0,05% aralık	0,10% aralık	0,02% aralık	0,05% aralık	0,10% aralık
Sıcaklık (°C)	-200	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	-100	0,04	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-
	0	0,08	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0
	100	0,12	0,3	0,6	0,04	0,1	0,2	0,04	0,1	0,2
	200	0,16	0,4	0,8	0,08	0,2	0,4	0,4	0	0
	300	0,12	0,3	0,6	0,04	0,1	0,2	-	-	-
	400	0,08	0,2	0,4	0	0	0	-	-	-
	500	0,04	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-
	600	0	0	0	-	-	-	-	-	-

## 6. HİSTEREZİS HATASININ AZALTILMASI

Kalibre edilen termometrenin histerezisini tespit etmek için artan yönde ve azalan yönde aynı sıcaklıkları ölçmek gereklidir. Bu durumda hem termometrenin sıcaklık maruziyeti artacak hem de kalibrasyon maliyeti artacaktır. Kalibrasyon yapılan termometre belirli bir sıcaklık ta uzun süre kalırsa mevcut durumda genişleme neticesinde esneyecek ve yeni durumdaki değere gelecektir. Bu değer bir önceki sıcaklığın etkisinde olmayacaktır. Genellikle histerezis etkisi belirsizlik bütçesinde dikdörtgen dağılım olarak işlem görür. Dikdörtgen dağılımla belirtilenden daha küçük bir belirsizlikle güvenilir bir şekilde ölçmek için, ölçüm ve kalibrasyon prosedürlerinin ölçüm aralığını, tarihçesini ve süresini kontrol etmesi gerekir. Bu prosedürler genel olarak pratik değildir, ancak yük hücreleri gibi bazı cihazlar da anlamlı, yararlı doğruluk elde etmek için prosedürler gereklidir.

Termometrenin her iki yönde kalibre edilmesi ve histerezis döngüsünün genişliğinin doğrudan ölçülmesi, herhangi bir okuma ile ilgili belirsizliğin bir değerlendirmesini sağlayacaktır. Bu, A tipi bir değerlendirme olacaktır, ancak her kalibrasyon noktasını iki kez, bir kez artan sıcaklıkta ve bir kez de azalan sıcaklıkla ölçmeyi içerir. Belirsizlikte bir miktar azalma sağlayan daha ucuz bir prosedür, termometreyi yalnızca oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklar için artan sırada ve oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklar için azalan sırada ölçmek için termometrenin kullanılmasıdır. Bu, sadece histerezisin sıcaklık döngüsüne göre yarı değerine tekabül eder belirsizliği yarıya indirir. Bu durumda, belirsizlik, daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmadan önce ve sonra buz noktası okumasındaki değişiklikten değerlendirilebilir.

En basit yaklaşım iki varsayımda bulunmak ve kalibrasyonu buna göre tasarlamaktır. İlk olarak, kalibrasyon yavaş bir şekilde gerçekleştirilir, termometre kısmen genişler ve bu nedenle okuma dağılımının ortalamasına karşılık gelir (bu nedenle düzeltme yapılmasına gerek yoktur). İkincisi, dikdörtgen dağılımın, kalibrasyon koşulları altında kullanılan histerezis ile kullanım koşulları arasındaki olası farkın uygun bir açıklaması olduğunu varsayalım. Bu nedenle, 0,3 ° C buz noktası değerinde bir değişiklik için, dikdörtgen dağılımın standart sapması için;

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{(X_H - X_L)}{2} \approx 0,29(X_H - X_L) \quad (2)$$

2 denklemini uyguluyoruz ve okumadaki standart belirsizliğin 0,087 ° C olarak tahmin edildiğini gösterir.

Buzlanma noktası, genellikle bir termometre aralığının sonunda olduğu için histerezis döngüsünün genişliğini örneklemek için en iyi sıcaklık olmayabilir. Termometre aralığının ortasında bulunan ayrı bir ölçüm daha iyi olabilir. Ancak bu güne kadar yapılmış olan kalibrasyon çalışmalarında termometrenin artan sıcaklıklarda kalibrasyonu neticesi alınan değer ile azalan sıcaklıklarda kalibrasyonu neticesinde alınan değerler arasındaki fark geriye dönüş değerlerinde olmaktadır. Bu nedenle direnç termometresi kalibrasyonunda; yüksek sıcaklıktan geriye doğru gelmek bu hataları içinde barındırdığından ve en az üç buz noktası ölçümü yapıldığından, buz noktasındaki değişiklikler endüstriyel kalibrasyon yapan laboratuvarlar açısından histerezis hatasından kaynaklanan belirsizliği de içerecektir. Aynı şekilde ısılıft kalibrasyonlarında da yüksek sıcaklıktan geriye doğru gelmek histerezis hatalarını içinde barındıracağından kalibrasyon prosedürünü bu şekilde düzenlemek faydalı olacaktır. Ancak buz noktasında ısılıft teorik olarak 0 mV göstereceğinden hem tekrarlanabilirlik hem de histerezis hatası ve belirsizliği için ısılıftın sıcaklık ölçüm aralığının yarı değerinde ölçüm yapıp sonrasında yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru kalibrasyon yapmak daha doğru olacaktır. Düşük histerezis değerine sahip termometreleri satın almak ve termometrenin maruz kalacağı sıcaklık aralığını minimumda tutmak mümkün olacaktır.

## SONUÇ

Yapılan bu çalışmada çeşitli kaynaklarda yer alan histerezisle ilgili yaklaşımlar ve mevcut uygulamalar dikkate alındı. Laboratuvarın mevcut durumuna bağlı olarak, kalibre edeceği termometrenin sıcaklık aralığına ve müşteri tarafından bildirilmiş tolerans aralığı mevcut ise; zaman, maliyet ve doğruluk kriterlerini dikkate alarak histerezisle ilgili yapacağı çalışmayı ortaya koyması gerekir. Histerezis hatasının anlamlı olduğu uygulamalarda, maksimum ve minimum sıcaklık maruziyetlerinden sonra sıcaklık aralığının orta noktasında alınan ölçümlerin ortalamasının alınması önerilir. Ayrıca sensör tipi vb. tanımlaması olmayan termometreler için histerezise bakılması ve belirsizlik parametresi olarak bütçede yer alması gereklidir.

## KAYNAKLAR

- [1] J. V. Nicholas; D. R. White. "Traceable Temperatures", John Wiley & Sons, Ltd. Second edition 2005.
- [2] Burns Engineering, Inc.2008/2011 "Error Sources That Effect Platinum Resistance Thermometer Accuracy"

## ÖZGEÇMİŞ

### Aynur DAVUT

1961 yılı Kütahya Emet doğumludur. 1985 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğini bitirmiştir.1986 yılında EİEİ Gen. Müd. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Daire Başkanlığı'nda güneş pilleri üzerine çalışmıştır. 1993 yılında TSE Kalibrasyon Daire Başkanlığı bünyesinde sıcaklık kalibrasyon laboratuvarında göreve başlamış ve çalışmasını TSE Kalite Kampusü Gebze'de sıcaklık kalibrasyon Laboratuvarında sürdürmüştür. Bu süre zarfında Kalibrasyon, Laboratuvarlar arası Karşılaştırma ve Yönetim Sistemleri alanında yurt içi ve yurtdışı eğitimler almış ve görevine yönetim temsilcisi ve kalibrasyon müdürü olarak devam etmiştir. 2017 yılı Ağustos ayında Baş Araştırmacı olarak TSE'den emekli olmuştur. 2005 yılından bu yana TÜRKAK' ta Denetçi ve Baş Denetçi olarak akreditasyon çalışmalarında yer almıştır ve halen sürdürmektedir.

TSE'den emekli olduktan sonra da "DACKA Kalibrasyon Danışmanlık Eğitim- GEBZE" firmasında Yönetim temsilcisi ve Sıcaklık-Nem-Elektrik kalibrasyonu alanında çalışmalarını sürdürmektedir.