

KURU FIRIN ÖLÇÜMLERİNDE BELİRSİZLİK HESABI

Narcisa ARİFOVİÇ
Alev DERELİOĞLU

ÖZET

Ölçüme ait en önemli kavram; ölçülmek istenen fiziksel büyüklüğe ait nicelikle birlikte, bu ölçümü hangi belirsizlik aralığı içerisinde gerçekleştirdiğimizi de ortaya koymaktır.

Ölçüm belirsizliği kavramı içerisinde; ölçülen niceliğe ait ölçüm yöntemi, bu niceliği elde etmek için kurulan ölçüm düzeneğinin her bir elemanı, ortam şartları, kullanıcı etkisi ve cihazların yada aynı tip ölçümlerin geçmişe ait nicel değerleri gibi bir çok faktör yer almaktadır.

Bu çalışmada sıcaklık ölçümlerinin kuru fırın kullanımında dikkat edilmesi gereken noktalarla birlikte, bu tip sıcaklık ölçümlerine ait belirsizlik bileşenlerinin neler olabileceği konusu ele alınacaktır.

1. GİRİŞ

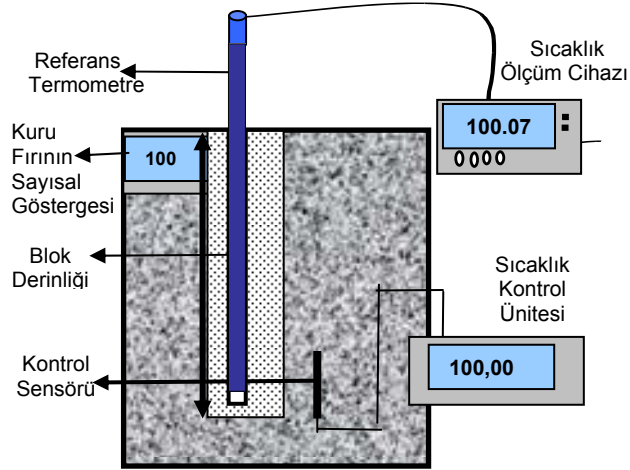
Sıcaklık ölçümlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli kavram, kararlı ve özdeş sıcaklık ortamını oluşturmaktır. Endüstriyel uygulamalarda sıcaklık kaynağı olarak, istenilen sıcaklığa hızlı bir şekilde ulaşabilen ve kolay taşınabilen, ucuz maliyetteki kuru fırınlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ancak kullanımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken bir çok faktör kullanıcılar tarafından göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada kuru fırınların sıcaklık kaynağı olarak kullanımı konusunda kullanıcıya ışık tutacak bilgiler verilecektir.

2. ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Kuru fırınlarda yapılan ölçümlerde çoğu zaman referans sıcaklık değeri, fırına ait sayısal göstergede okunan sıcaklık değeri olarak kullanılır. Sayısal göstergede okunan sıcaklık değerleri, kuru fırın tabanından sabit bir yüksekliğe monte edilen ve kontrol sensörü olarak adlandırılan sıcaklık sensörüne ait değerlerdir (Şekil 1). Ölçüm sonuçları değerlendirilirken; sıcaklığı ölçülmek istenen termometreye ait sensör konumunun ve kontrol sensör konumunun farklılığından kaynaklanan sıcaklık farklılıkları göz önünde bulundurulmalıdır.

Sabit halde blok içerisinde en az iki deliğe sahip tipteki kuru fırınlarda aynı anda hem referans, hem de kalibre edilen termometre daldırılarak ölçüm alınabilmektedir. Ancak burada da referans termometre sensörü ile sıcaklığı ölçülmek istenen termometre sensörünün okuduğu sıcaklığın farklı noktalarda olmasından dolayı karşımıza çıkabilecek hatalara dikkat edilmelidir.



Şekil 1. Termometre Ölçüm Düzeneği

Şekil 1'deki gibi termometre ölçüm düzeneğiyle alınan ölçümler sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

2.1. Gösterge Doğruluğu

Bir çok kuru fırın üreticisinden kalibreli olarak gelmektedir. Yine de zaman içerisinde kontrol sensörünün dışarıdan başka bir referans termometre kullanılarak kalibre edilmesi gerekmektedir.

Kuru fırının gösterge doğruluğu;

- Kontrol sensörünün konumu ile sıcaklığı ölçülmek istenen termometre sensörüne ait konum arasındaki sıcaklık farklılıklarını,
- Sayısal göstergenin çözünürlüğünü

içermektedir.

2.2. Isı Akışları

Sıcaklığı ölçülmek istenen termometre fırın bloğu içerisindeki deliğe sıkı şekilde oturtulmalıdır. Aksi takdirde kuru fırının oda sıcaklığı ile temas halinde bulunan giriş kısmı ve yüksek sıcaklıklara sahip bloğu arasında ısı akışları meydana gelecektir.

Sıcaklığı ölçülecek termometre, kuru fırın sayısal gösterge değerinin kalibrasyonunda kullanılan referans termometre ile yapısal (boy ve çap) özellikleri bakımından aynı olmalıdır. Aksi takdirde termometre ölçümlerinde, kuru fırın göstergesini referans sıcaklık değeri olarak kullanmamız doğru değildir.

Sıcaklığı ölçülmek istenen termometrenin, kuru fırına ait özel bir kılıfa geçirilmesiyle çap ve blok deliğinin çeperleri arasındaki boşluk bir miktar doldurulabilir. Bu tip kılıflar kullanılarak ölçümlerde meydana gelebilecek hatalar azaltılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, termometrenin blok içerisinde kendisiyle aynı çaptaki deliğe konularak ölçümünün alınmasıdır. Eğer termometre blok içindeki deliğe sıkı şekilde oturtulursa, blok içerisindeki sıcaklık daha kısa sürede kararlı hale gelecek ve ortaya çıkabilecek ısı akışları bir miktar engellenmiş olacaktır.

Yapılan çalışmalarda sıcaklığı ölçülmek istenen termometre gövdesinin dış çapı $d \leq 6$ mm ise bu ısı akış etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. $d > 6$ mm olduğu durumda ise burada ortaya çıkacak ısı akışlarının ölçüm sonucuna etkisinin araştırılması gerekmektedir [1].

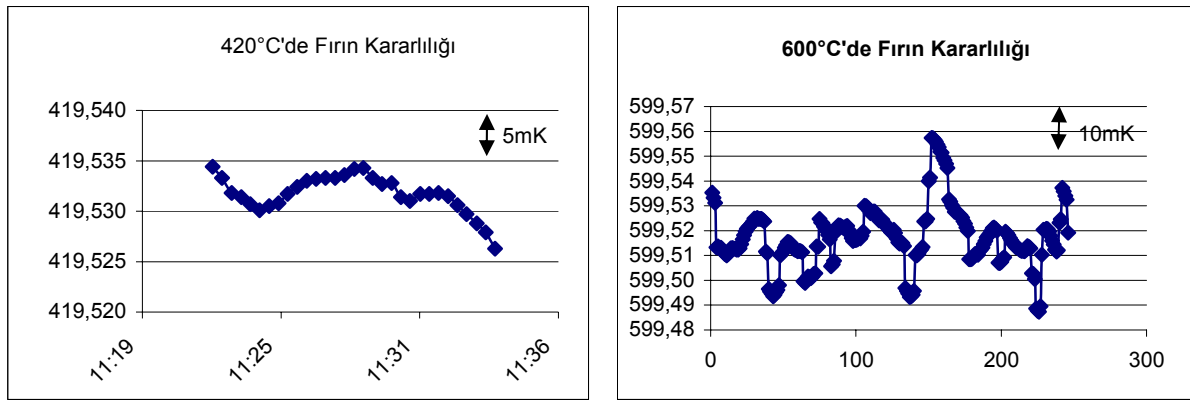
Ayrıca kuru fırın içindeki bloğa birden fazla termometre konulması sonucunda blok içindeki sıcaklığın değişeceği dikkate alınmalıdır. Buradan gelecek olan belirsizlik değeri kuru fırın üreticisi tarafından verilebileceği gibi, kullanıcıların bu faktörü kendi laboratuvarlar şartları altında hesaplamaları daha doğru olur.

2.3. Sıcaklık Kararlılığı

Her türlü sıcaklık ölçümünde ortamın denge halini aldığı noktada sıcaklık ölçümlerini almaya başlanmalıdır. Sıcaklık kaynağının ayarlanan değeri göstermesi, istenilen denge sıcaklığına ulaşıldığı anlamını taşımamaktadır. Bu sebeple kuru fırın göstergesinin ayarlandığı sıcaklık değerine ulaşmasıyla birlikte ölçümlere başlanması arasında belirli bir zaman geçmesini beklemek daha doğru olacaktır. Ayrıca oda sıcaklığında bulunan bir termometrenin denge sıcaklığının olduğu ortama daldırılması halinde, bozulan dengelerin yerine gelmesi amacı ile bir süre daha beklemek gerekmeye dikkat edilmelidir.

Özellikle kuru fırınlarda oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklara doğru çıkıldıkça, blok içerisindeki sıcaklıkla ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farklarının artmasından dolayı, ayarlanan sıcaklığın sabit kalmasında problemler yaşanacaktır (Şekil 2). Yüksek sıcaklıklarda hatalar daha büyük olarak karşımıza çıkacaktır.

Tüm bu faktörler, kuru fırınımızın kararlılığı olarak ölçüm belirsizliğimize yansiyacaktır.



Şekil 2. 420 °C ve 600 °C 'de Kuru Fırın Kararlılığı

2.4. Histerisi

Kuru fırının histeri eğrisi dışarıdan kullanılacak referans bir termometre ile ölçümlerden önce belirlenmelidir. Ancak zaten bir çok faktörle beraber ölçüm belirsizliğine göstergedeki kalibrasyon belirsizliği şeklinde yansiyacağından hesaplama yapılması zorunlu değildir.

2.5. Sıcaklık Dağılımı

Sıcaklık; termometrelerin sensörleri tarafından algılanıp, termometre kafasına gövde içindeki uzatma telleri vasıtasıyla iletilmektedir (Şekil 3). Bu durumda sıcaklık termometrenin tüm gövdesi tarafından da hissedildiği bir durum olarak karşımıza çıkar. Çoğu kuru fırına ait blok deliklerinin derinliği termometrenin tam daldırılmasına imkan vermez. Bu durumda termometre gövdesinin kuru fırın dışında kalan kısmı oda sıcaklığını hissederken, sensör kuru fırının göstermiş olduğu sıcaklığı algılayacaktır. Buradan görülebileceği gibi, gövde boyunca sıcaklık farklılıklarından dolayı hatalar

meydana gelecektir. Bu hata kuru fırında meydana gelen diğer tüm hatalar içinde en büyük ve en önemli olanıdır.



Şekil 3. Termometre Yapısı

Genel bir kurala göre, en iyi laboratuvar uygulamalarında termometre gövdesine ait çapın 15 katındaki bir değer kadar, fırının içine daldırılan termometrenin okuduğu değer doğruluğu %0,0001 olmaktadır [2].

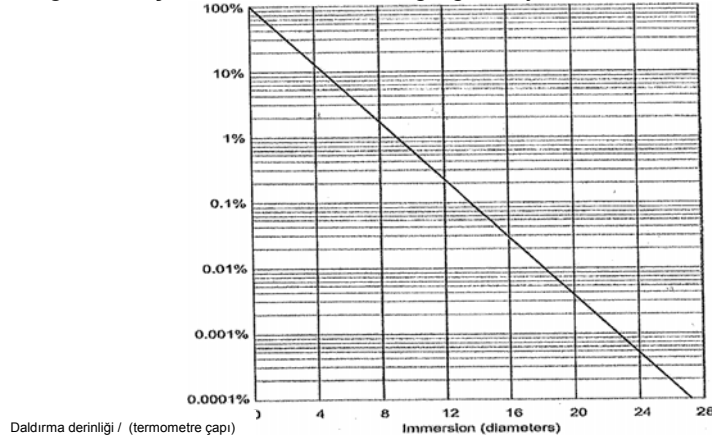
Laboratuvar uygulamalarında termometre gövdesine ait çapın 10 katındaki bir değer kadar, fırının içine daldırılan termometrenin okuduğu değer doğruluğu %0,01 olmaktadır [3].

Endüstriyel uygulamalarda termometre gövdesine ait çapın 5 katındaki bir değer kadar, fırının içine daldırılan termometrenin okuduğu değer doğruluğu %1 olmaktadır [3].

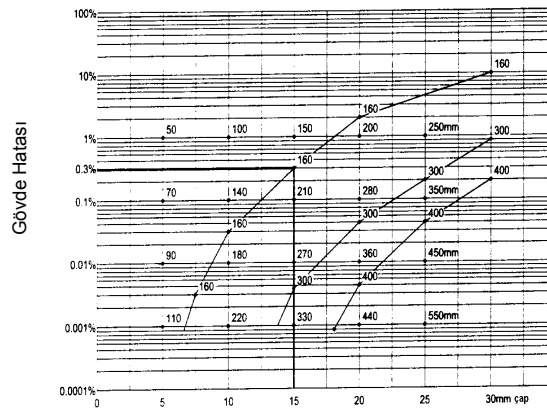
Örneğin: Kuru fırında 120°C'de kalibrasyonu sırasında oda sıcaklığı ile fırın içerisindeki sıcaklık arasındaki fark yaklaşık 100°C civarında olacaktır. Bu durumda %1'lik hata 1°C civarındadır [4].

Şekil 4'de termometrelerin farklı daldırma derinliklerine karşılık, sıcaklık okuma hataları verilmiştir.

Şekil 5'de farklı çaptaki termometrelerin farklı daldırma derinliklerine karşılık, termometre gövdesinde hissedilen sıcaklığın % kaç hatalı olarak okunduğu görülüyor.



Şekil 4. Kuru Fırındaki Farklı Daldırma Derinliği İçin Termometrelerin Hataları[3]



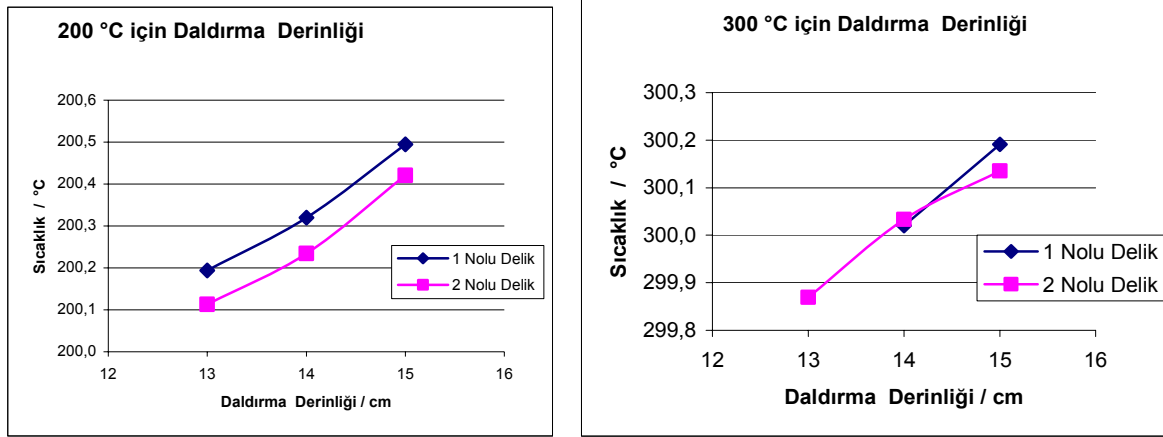
Şekil 5. Farklı Çaplardaki Termometrelerin Kuru Fırındaki Daldırma Derinliği Ölçümleri

Şekil 4 ve Şekil 5 de görüldüğü gibi termometre çapı arttıkça 15 cm den daha fazla daldırma derinliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıvı banyolarda bu imkana sahipken, kuru fırınlarda bu durum belirsizliği büyüten bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.5.1. Dikey Sıcaklık Dağılımı

Termometreyi blok içerisine farklı daldırma derinliklerine batırmak suretiyle, cm başına yapılan okuma hatalarını saptamamız ve ölçüm belirsizliğine eklemek gerekmektedir [3].

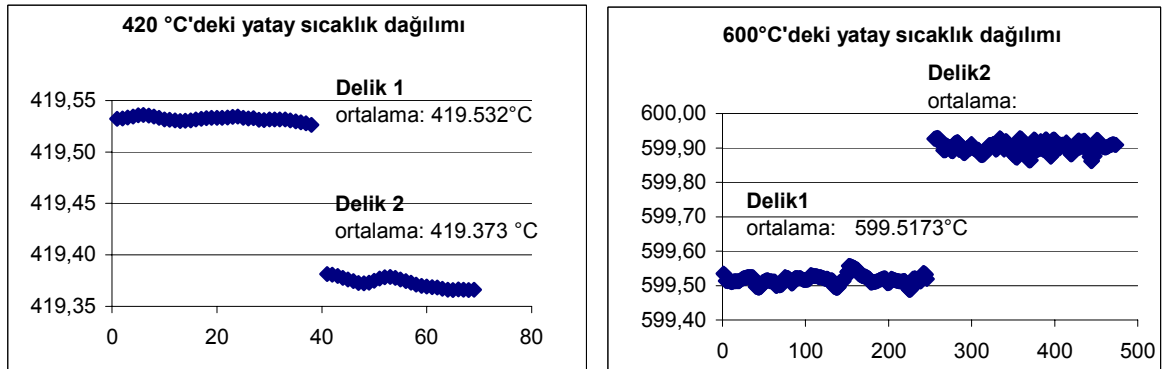
Şekil 6 'daki yer alan grafiklerde bir referans termometrenin fırın içerisindeki farklı iki delikte ve 2 cm boyunca dikey olarak okuduğu sıcaklıklar verilmiştir.



Şekil 6. Dikey Sıcaklık Dağılımı

2.5.2. Yatay Sıcaklık Dağılımı

Şekil 7'de yer alan grafiklerde bir referans termometrenin fırın içerisindeki farklı iki delikte okuduğu sıcaklıklar verilmiştir.



Şekil 7. Yatay Sıcaklık Dağılımı

3. BELİRSİZLİK BİLEŞENLERİ

Ölçüm sonucunun nicel değeri, ölçüm sistemini oluşturan her bir elemanı ve bunlara ait belirsizliklerin etkilerini içermelidir. Bu nedenle sıcaklık ölçümü yapılan termometre için ölçüm sonucu; ölçüm sistemine bağlı olarak aşağıdaki model fonksiyonu ile tanımlanır (Şekil 1).

3.1. Model Fonksiyonu

Sıcaklığı ölçülmek istenen termometre için şekil1'deki gibi kurulan ölçüm sisteminde, oluşturulan referans sıcaklık değeri için model fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır [1].

$$t_x = t_s - \delta t_s + \delta t_{os} + \delta t_D + \delta t_k + \delta t_{ir} + \delta t_{ia} + \delta t_{st} + \delta t_{hys}$$

3.2. Dışarıdan Referans Termometre Kullanıldığı Taktirde Ölçüm Düzenine Ait Belirsizlik Bileşenleri

- t_s : Referans termometreye ait sıcaklık değeri
 δt_s : Referans termometreye ait kalibrasyon sertifika belirsizliği, k=2 kapsam faktörü ve % 95 güvenilirlik düzeyi ile verilmiştir.
 δt_{os} : Referans Ölçüm Sistem Belirsizliği
 δt_d : Referans termometreye ait kayma değeridir.
 δt_k : Kuru Fırın Yükleme Etkisi
 δt_{ir} : Kuru Fırına ait yatay ısı akısından kaynaklanan belirsizlik değeridir.
 δt_{ia} : Kuru Fırına ait dikey ısı akısından kaynaklanan belirsizlik değeridir.
 δt_{st} : Kuru Fırın Kararlılığı
 δt_{hys} : Kuru Fırın Histerisi

Burada yer alan belirsizlik parametrelerinin her biri ölçüm sistemine aittir. Sıcaklığı ölçülmek istenen termometreye ait belirsizlik bileşenlerine yer verilmemiştir.

Tablo1. Dışarıdan Referans Termometre Kullanıldığı Taktirde Ölçüm Düzenine İçin Ölçüm Belirsizlik Bütçesi

| X_i | Belirsizlik Kaynakları | Tahmini değeri | Standart belirsizliği $u(X_i)$ | Dağılım Fonksiyonu | Çarpanı | Kısmi Varyanslar u_i (°C) |
|------------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------|---------|-----------------------------|
| t_s | Referans Termometre Sertifika Değeri | 419,5 | 0,030 | Normal | 0,5 | 0,015 |
| δt_d | Referans Termometre Kayması | 0 | 0,040 | Dikdörtgen | 0,577 | 0,023 |
| δt_{os} | Referans Ölçüm Sistem Belirsizliği | 0 | 0,010 | Normal | 0,5 | 0,005 |
| δt_k | Kuru Fırın Yükleme Etkisi | 0 | 0,050 | Dikdörtgen | 0,577 | 0,029 |
| δt_{ir} | Yatay Sıcaklık Dağılımı | 0 | 0,075 | Dikdörtgen | 0,577 | 0,043 |
| δt_{ia} | Dikey Sıcaklık Dağılımı | 0 | 0,300 | Dikdörtgen | 0,577 | 0,173 |
| δt_{st} | Kuru Fırın Kararlılığı | 0 | 0,030 | Dikdörtgen | 0,577 | 0,017 |
| δt_{hys} | Kuru Fırın Histeresi | 0 | 0,050 | Dikdörtgen | 0,577 | 0,029 |
| | Standard Belirsizlik | | | | | 0,186 |
| | Genişletilmiş Belirsizlik(k=2, %95) | | | | | 0,372 |

SONUÇ

Termometrelerin kuru fırın kullanılarak kalibre edilmesi sırasındaki en büyük hata faktörü, kuru fırının yanlış kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Kuru fırın bloğu içindeki deliklere yüksek belirsizlik ve kötü kalitedeki termometrelerin referans olarak konulması, termometrelerin eksik daldırılması, sıcaklığın kararlı hale gelmesi için yeterince beklenmemesi ve daha bir çok hata, kuru fırınlarda yapılan kalibrasyon belirsizliğini yükseltmektedir.

Bu çalışmada; kuru fırın kullanılarak alınan sıcaklık ölçümlerindeki ölçüm belirsizlik detayları araştırıldı. Kullanılan sıcaklık kaynağının ölçüm sonuçlarına etkisi literatürdeki bilgilerden de yararlanarak verildi.

420 °C sıcaklık değeri için, kuru fırınların sıcaklık kaynağı olarak kullanıldığı en hassas ölçüm düzeneğinde ölçüm belirsizliğinin 0,4 °C olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] EA Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators, EA-10/13, EA Committee 2, February 2007
- [2] Tavener J.P., Temperature Calibration; Depths of Immersion, Test and Measurement Conference, 2006
- [3] Derelioğlu A., Arifoviç N, Sıcaklık Kaynaklarının Karşılaştırılması, MMO, 2008
- [4] White D.R., Technical Guide 11 Thermometer Immersion and dry-block calibrators Measurement Standard Laboratory , June 2006

ÖZGEÇMİŞLER

Narcisa ARİFOVİÇ

1997 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü ve Çukurova Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünü bitirmiştir. 2002 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde "Platin Paladyum Isılçiftlerde Tavlama Sıcaklığının Isılçiftin Safsızlık Ve Homojenliğine Etkisini Araştırılarak Referans Fonksiyon Teklifi" adlı tez çalışması ile Yüksek Fizikçi ünvanını almıştır. 1997 yılı itibarıyla TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Sıcaklık Standartları Laboratuvarında Araştırmacı olarak çalışmaktadır. Özellikle Kontak sıcaklık ölçüm sistemleri ve ölçümlerde kullanılan cihazlar üzerine çalışmaktadır.

Alev DERELİOĞLU

1997 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü ve Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünü bitirmiştir. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Kütle Laboratuvarında, "Kütle Metrolojisine Giriş" konulu tez çalışmasını tamamlamıştır. 1997 – 1999 yılları arasında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Zaman ve Frekans Laboratuvarında Araştırmacı olarak çalışmıştır. 1999 yılı itibarıyla Standartları Laboratuvarında Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Özellikle Kontak sıcaklık ölçüm sistemleri ve ölçümlerde kullanılan cihazlar üzerine çalışmaktadır