

# BAĞIL NEM ÖLÇER KALİBRASYONU VE BELİRSİZLİK HESAPLAMALARI

Seda OĞUZ AYTEKİN

## ÖZET

Ülkemiz genelinde gerçekleştirilen nem ölçümlerindeki uyumlaştırma çalışmaları kapsamında TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı eğitim, danışmanlık, laboratuvarlar arası karşılaştırma ve teknik denetçilik hizmetleri sağlamaktadır. Ancak nem alanındaki doküman ve teknik bilginin eksikliği veya yetersizliği paydaşlarımızca en sık karşılaşılan problem olarak tarafımıza iletilmektedir. Bağıl nem ve hava sıcaklık ölçüm belirsizlik hesaplamalarının tüm laboratuvar ve kurumlar tarafından aynı parametreler kullanılarak hesaplanması ülke genelinde nem ölçümlerindeki uyumun sağlanmasını mümkün kılacaktır.

Bağıl nem ve hava sıcaklık ölçer kalibrasyonu, nem kaynağı kabini veya iklimlendirme kabini referans bağıl nem ve sıcaklık ölçer veya referans çiy-noktası nem ölçer kullanılarak yapılır. Kalibre edilen cihazın kalibrasyonu ulusal standartlara izlenebilirliği olan referans cihazlar kullanılarak karşılaştırmalı ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, bağıl nem ve hava sıcaklık ölçer kalibrasyonları sonucunda gerekli olan belirsizlik hesaplamaları için uygun model fonksiyon tanımlanmış, belirsizlik parametreleri detayları ile anlatılmış ve örnek hesaplamalar verilmiştir. Tüm belirsizlik parametrelerini içeren örnek belirsizlik bütçesi de verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bağıl nem, Belirsizlik, Hava Sıcaklık, Kalibrasyon.

## ABSTRACT

TÜBİTAK UME Humidity Laboratory provides training, consultancy, interlaboratory comparison and technical auditing services within the scope of harmonization studies carried out in our country in terms of humidity and moisture measurements. However, lack of documentation and technical information in the field of humidity and moisture is the most frequently encountered problem emphasized by stakeholders in Turkey. Calculation of relative humidity and air temperature measurement uncertainties using the same parameters by all laboratories and institutions will enable harmonization in humidity and moisture measurements throughout the country.

Calibration of a thermo-hygrometer is performed using a reference thermo-hygrometer or a reference dew-point hygrometer in the chamber of humidity generator or in a climatic chamber. Calibration of the device was carried out by comparison method using reference devices which are traceable to the national standards.

In this study, appropriate model functions are defined for uncertainty calculations required for the thermo-hygrometer calibrations. Besides, uncertainty parameters are explained in detail and sample calculations are given. A sample uncertainty budget including all uncertainty parameters is also presented.

**Key Words:** Air Temperature; Calibration, Relative humidity, Uncertainty.

## 1. GİRİŞ

Nem ölçümleri; ürün kalitesinin artması, maliyetin azaltılması, insan rahatlığı ve sağlığının sağlanması için laboratuvar ve endüstride yapılan çalışmalar ile üretim kontrolünde gün geçtikçe artan bir önem kazanmaktadır.

Bağıl nem, nem ölçümlerinde en sık karşılaşılan terimdir ve farklı şekillerde tanımlanabilir:

- Belirli sıcaklık ve basınç değerindeki hava ya da herhangi bir gaz içinde bulunan su buharı miktarının, aynı şartlardaki havada bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranıdır.
- Belirli sıcaklık ve basınç değerindeki hava ya da herhangi bir gaz içinde bulunan gerçek su buharı mol oranının doyma durumundaki mol oranına oranıdır.
- Belirli sıcaklık ve basınç değerindeki hava ya da herhangi bir gaz içinde bulunan gerçek su buhar basıncının doyma su buhar basıncına oranıdır. Aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$\psi = \frac{e}{e_s} \cdot \frac{f}{f_s} \cdot 100 = \frac{e(t)}{e(t_s)} \cdot \frac{f(P, t)}{f(P_s, t_s)} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada  $\psi$  yüzde bağıl nem,  $e$  kısmi buhar basıncı,  $e_s$  doyma buhar basıncı,  $f$  artma faktörü,  $f_s$  doyma durumundaki artma faktörüdür. [1].

Su buhar basıncı, havanın toplam basıncına su buhar basıncından gelen katkıdır. Artma faktörü ise su buhar basıncının ideal durumdan sapmasını ifade eder.

Bağıl nem değeri havanın sıcaklık ve basınç değerlerine bağlıdır. Sıcaklık değeri değiştiğinde kalibrasyonun yapıldığı kabin içindeki bağıl nem değeri de değişeceği için bağıl nem kalibrasyonu sırasında kabin içindeki hava sıcaklık değeri de mutlaka sabit bir değerde, örneğin 23 °C'de, olmalıdır.

Kalibrasyon sırasında bağıl nem değeri ve hava sıcaklık değeri aynı anda ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Kalibrasyon sertifikasında bağıl nem değeri ile aynı anda ölçülen hava sıcaklık değeri de mutlaka yer almalıdır. Kalibre edilen cihazın hava sıcaklık değerini ölçmediği durumlarda bile referans hava sıcaklık bilgisi mutlaka sertifikada yer almalıdır.

## 2. BAĞIL NEM VE HAVA SICAKLIK ÖLÇER KALİBRASYONU

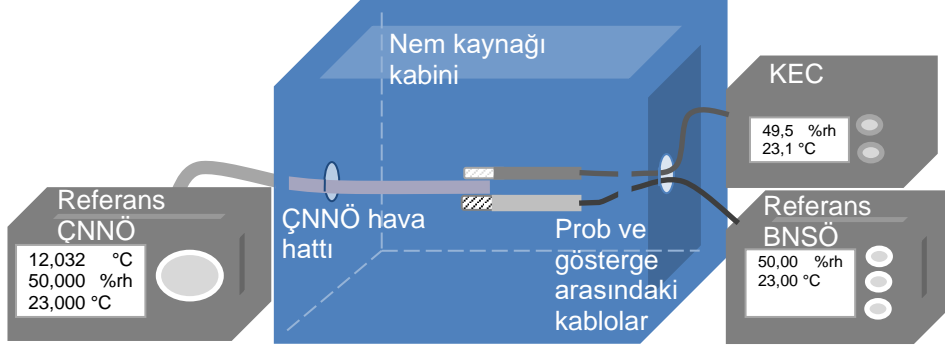
Şekil 1'de nem kabininde referans Bağıl Nem ve Hava Sıcaklık Ölçer (BNHSÖ) veya referans Çiy-Noktası Nem Ölçer (ÇNNÖ) kullanılarak yapılan bağıl nem ve hava sıcaklık ölçer cihazının karşılaştırmalı kalibrasyonu gösterilmiştir. Kalibre edilen cihaz (KEC) bir bağıl nem ve hava sıcaklık ölçerdir. Kalibrasyonlar ulusal standartlara izlenebilirliği olan referans cihazlar kullanılarak karşılaştırmalı ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmelidir.

Bağıl nem ve hava sıcaklık kalibrasyonları öncesinde, nem ve sıcaklık kabininin bağıl nem ve hava sıcaklık karakterizasyonları ilgili standartlar ve kılavuz dokümanlara göre yapılmış olmalıdır. Karakterizasyon sonucunda elde edilen kabin bağıl nem ve hava sıcaklık belirsizlik değerleri belirsizlik bütçesinde yer almalıdır.

Kalibrasyon sırasında dikkate edilecek hususlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Referans cihazın okuma çözünürlüğü KEC okuma çözünürlüğünden 10 kat daha iyi olmalıdır.
2. Kalibrasyona başlamadan önce KEC probu ile referans cihaz probu veya ÇNNÖ hava hattı başlangıcı nem kaynağı kabini orta bölgesine yerleştirilmelidir.

3. Nem kaynağı kabinine yerleştirilecek probun gösterge bağlantı kablosunun 1 metrelik bölümünün nem kaynağı kabini içerisine yerleştirilmesi önerilir. Eğer KEC probunun gösterge ile arasındaki kablonun uzunluğu 1 metreden kısa ise referans cihaz probunun kablosu da aynı uzunlukta olacak şekilde nem kaynağı kabini içerisine yerleştirilmesi gerekir.
4. Her ölçüm değerinde referans ve KEC'den bağıl nem ve hava sıcaklık değerleri dakikada bir ölçüm olmak üzere toplam on (10) ölçüm olarak kaydedilmeli ve sertifikada on ölçüm değerinden hesaplanan ortalama değerler verilmelidir. [2]



**Şekil 1.** Bağıl Nem ve Hava Sıcaklık Ölçer kalibrasyonu ölçüm sistemi.

Bağıl nem kalibrasyonunun sabit bir sıcaklık değerinde ve en az üç (3) bağıl nem değerinde yapılması önerilmektedir. Bağıl nem histeresiz belirsizlik bileşeni hesaplaması [3] için en yüksek bağıl nem değerinden hemen sonra tekrar orta nokta olan 50 %rh bağıl nem değerinde ölçüm alınır. Özet olarak bağıl nem kalibrasyonu için aşağıda verilen sıralama uygulanarak ölçümler tamamlanır:

- 30 %rh - 23 °C'de
- 50 %rh - 23 °C'de
- 70 %rh - 23 °C'de
- 50 %rh - 23 °C'de

Bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığı belirsizlik parametresini hesaplamak için sabit bir bağıl nem değerinde en az üç (3) hava sıcaklık değerinde kalibrasyonun yapılması önerilmektedir. Örnek kalibrasyon değerleri aşağıda verilmiştir:

- 21 °C - 50 %rh'de
- 23 °C - 50 %rh'de
- 25 °C - 50 %rh'de

Kalibrasyon sırasında her değerinde kararlı duruma gelmesi beklenerek aynı sürede ölçümler alınmalıdır.

### 3. BAĞIL NEM VE HAVA SICAKLIK ÖLÇER KALİBRASYONU BELİRSİZLİK BİLEŞENLERİ ve HESAPLAMALARI

Belirsizlik hesaplamalarında tekrarlanabilirlik bileşeni olarak kullanılacak standart sapma değeri sıfır (0) olarak hesaplandığı durumlarda okuma çözünürlüğünden kaynaklı olduğu dikkate alınarak çözünürlük değeri tekrarlanabilirlik bileşeni olarak belirsizlik hesaplamalarına dahil edilmelidir. Tekrarlanabilirlik değeri olarak sıfır (0) alınmamalıdır.

Bağıl nem histeresiz belirsizlik bileşeni hesaplaması için (30-50-70) %rh ölçümlerine ek olarak 70 %rh bağıl nem değerinden hemen sonra tekrar 50 %rh bağıl nem değerinde ölçüm alınır. 50 %rh bağıl nem değeri en yüksek bağıl nem değeri uygulandıktan sonra aynı gün içinde ölçülmelidir. KEC'den ölçülen iki 50 %rh değeri arasındaki fark bağıl nem histeresiz belirsizlik bileşeni olarak hesaplamalara dahil edilir. [4]

### 3.1. Bağlı Nem Model Fonksiyonları

Kullanılan ölçüm metodu dikkate alınarak ölçümün model fonksiyonu Eşitlik 1'de verildiği gibi belirlenir. Ölçümlerde referans ölçüm cihazı olarak Bağlı Nem ve Sıcaklık Ölçer veya Çiy-Noktası Nem Ölçer kullanıldığı durumlarda aşağıda verilen eşitlikte belirtilen belirsizlik bileşenleri ile belirsizlik hesaplaması yapılır.

$$C_{KEC} = \psi_{Ref} - \psi_{KEC} + \delta\psi_{RefSrt} + \delta\psi_{RefKym} + \delta\psi_{RefCzn} + \delta\psi_{RefTkr} + \delta\psi_{KbnDgl} + \delta\psi_{KECTkr} + \delta\psi_{KECCzn} + \delta\psi_{KECHst} + \delta\psi_{KECSck} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de verilen sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

**Tablo 1.** Eşitlik 2'de verilen sembollerin açıklamaları

Sembol	Tanımı
$\psi$	$t \geq 0$ °C sıcaklık değerlerinde ölçülen Bağlı nem değeri
$C_{KEC}$	KEC'e ait bağlı nem düzeltme değeri
$\psi_{Ref}$	Referans cihazdan okunan bağlı nem değeri
$\psi_{KEC}$	KEC'den okunan bağlı nem değeri
$\delta\psi_{RefSrt}$	Referans cihaz sertifikada verilen bağlı nem belirsizlik değeri
$\delta\psi_{RefKym}$	Referans cihaz yıllık bağlı nem kayma değeri
$\delta\psi_{RefCzn}$	Referans cihaz bağlı nem okuma değerine ait çözünürlük
$\delta\psi_{RefTkr}$	Referans cihaz bağlı nem tekrarlanabilirlik (zamansal kararlılık) değeri
$\delta\psi_{KbnDgl}$	Nem kabini bağlı nem dağılımı
$\delta\psi_{KECTkr}$	KEC bağlı nem tekrarlanabilirlik (zamansal kararlılık) değeri
$\delta\psi_{KECCzn}$	KEC bağlı nem okuma değerine ait çözünürlük
$\delta\psi_{KECHst}$	KEC bağlı nem histeresiz değeri
$\delta\psi_{KECSck}$	KEC bağlı nem değerinin sıcaklık bağımlılığı

### 3.2. Bağlı Nem Belirsizlik Bileşenleri

Eşitlik 2'de verilen model fonksiyonda yer alan her bir girdi için belirsizlik bileşenleri aşağıda tanımlanmıştır.

**Tablo 2.** Model fonksiyonda yer alan belirsizlik bileşenleri ve açıklamaları

$$u(\psi_{RefSrt})$$

Referans cihazın kalibrasyon sertifikasında verilen belirsizlik değeridir. Referans cihazın son kalibrasyon sertifikasında ölçüm yapılan değerler için hesaplanan ölçüm belirsizliği  $k=2$  kapsam faktörü ve %95 güvenilirlik seviyesi ile verilmiştir. Normal dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{RefKym})$$

Referans cihazın yıllık kaymasından kaynaklanan belirsizlik değeridir. Referans cihazın ardışık iki kalibrasyon sertifikalarında yer alan değerler arasındaki fark alınarak hesaplanır. Dikdörtgen dağılımdır.

Cihazın yeni alındığı veya önceki sertifikanın olmadığı durumlarda üreticisi tarafından beyan edilen değer kullanılır. Normal dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{RefCzn})$$

Referans cihazın okuma çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik değeridir. Dikdörtgen dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{RefTkr})$$

Referans cihaz ile alınan, tekrarlanmış ölçüm sonuçlarından istatistiksel yöntemlerle belirlenmiş tekrarlanabilirlik değeridir. Normal dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{KbnDgl})$$

Nem kabini nem dağılımından kaynaklanan belirsizlik değeridir. Nem kabini bağıl nem karakterizasyon ölçümlerinin ilgili standartlara ve kılavuz dokümanlara uygun olarak yapılarak elde edilen ölçüm belirsizlik değeridir. Normal dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{KECTkr})$$

Referans cihaz ile alınan, tekrarlanmış ölçüm sonuçlarından istatistiksel yöntemlerle belirlenmiş tekrarlanabilirlik değeridir. Normal dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{KECCzn})$$

KEC okuma çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik değeridir. Dikdörtgen dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{KECHst})$$

KEC'in sabit sıcaklıktaki (30-50-70-50) %rh kalibrasyon işleminde düşük ve yüksek bağıl nem değerinden sonra ölçülen 50 %rh bağıl nem değerleri arasındaki farktan kaynaklanan belirsizlik değeridir. Dikdörtgen dağılımdır.

$$u(\delta\psi_{KECSck})$$

KEC bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığından kaynaklanan belirsizlik değeridir. Sabit bağıl nem değerinde üç (3) farklı sıcaklık değerinde kalibrasyon yapıldığı durumlarda bu bileşen dikkate alınır. Dikdörtgen dağılımdır.

#### □ Referans Cihazın Sertifikada Verilen Bağıl Nem Belirsizlik Değeri ( $\psi_{RefSrt}$ )

Referans cihazın son kalibrasyon sertifikasında 50 %rh bağıl nem değeri için ölçülen değer 50,00 %rh ve ölçüm belirsizliği %95 güvenirlkte (k=2) 0,8 %rh olarak verilmektedir. Bu durumda;

$$\text{Standart belirsizlik} : u(\psi_{Ref}) = 0,8 \%rh \times (1/2) = 0,4 \%rh$$

$$\text{Duyarlılık katsayısı: } c(\psi_{Ref}) = \frac{\partial C_{KEC}}{\partial \psi_{Ref}} = 1$$

#### □ Referans Cihaz Yıllık Bağıl Nem Kayma Değeri ( $\delta\psi_{RefKym}$ )

Kalibrasyon periyodu 1 yıl olarak belirlenen referans cihazın yıllık kayma belirsizliği, ardışık kalibrasyon sertifikalarındaki eş değerler arasındaki fark kullanılarak hesaplanır. Dağılımı dikdörtgen dağılımdır.

$$\text{Standart belirsizlik : } u(\psi_{Ref}) = \frac{\text{Yıllık Kayma}}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{50,0-50,2}{2 \times \sqrt{3}} \%rh = 0,06 \%rh$$

$$\text{Duyarlılık katsayısı: } c(\psi_{Ref}) = 1$$

Cihazın yeni alındığı veya önceki sertifikanın olmadığı durumlarda üreticisi tarafından beyan edilen değer kullanılır. Dağılımı normal dağılımdır.

#### □ Referans Cihaz Bağıl Nem Okuma Değerine Ait Çözünürlük ( $\psi_{RefCzn}$ )

Referans cihazın göstergesinden aşağıdaki biçimlerde okuma yapılabilir. Çözünürlük için sayısal değer en küçük basamağı dikkate alınır. Örnekler aşağıda verilmiştir.

**Tablo 3.** Okuma çözünürlüğü hesaplamasına ait örnekler

Cihazdan okunan değer	Okuma çözünürlüğü	Dağılımı	Standart belirsizlik $u(\delta\psi_{RefCzn})$
21 %rh ise	1 %rh / 2 = 0,5 %rh	Dikdörtgen	0,5 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,3 %rh
21,1 %rh ise	0,1 %rh / 2 = 0,05 %rh	Dikdörtgen	0,05 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,03 %rh
21,10 %rh ise	0,01 %rh / 2 = 0,005 %rh	Dikdörtgen	0,005 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,003 %rh
21,15 %rh ve 21,20 %rh arasında değişiyorsa	0,05 %rh / 2 = 0,025 %rh	Dikdörtgen	0,025 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,014 %rh

Standart belirsizlik :  $u(\delta\psi_{RefCzn}) = (0,01 \%rh / 2) / \sqrt{3} = 0,003 \%rh$

Duyarlılık katsayısı:  $c(\delta\psi_{RefCzn}) = 1$

□ **Referans Cihaz Bağlı Nem Tekrarlanabilirlik Değeri (Zamansal Kararlılık) ( $\psi_{RefTkr}$ )**

Referans cihazın bağıl nem okuma değeri, 10 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenir. Bu durumda tekrarlanan ölçüm sayısı  $n = 10$ 'dur. On (10) ölçüm sonucunun ortalama değeri Eşitlik 4 ile hesaplanır:

$$\overline{\psi_{Ref}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \psi_{Refk} \quad (4)$$

$$\overline{\psi_{Ref}} = 50,00 \%rh$$

Deneysel standart sapma değeri Eşitlik 5 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$s_{\psi_{Ref}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\psi_{Refk} - \overline{\psi_{Ref}})^2} \quad (5)$$

$$s_{\psi_{Ref}} = [(1/9) [(50,00-50,00)^2 + (50,01-50,00)^2 + (49,99-50,00)^2 + (50,01-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (49,99-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2]]^{1/2} \%rh$$

$$s_{\psi_{Ref}} = 0,007 \%rh$$

Eşitlik 6 kullanılarak standart sapma belirsizliği hesaplanır:

$$u(\psi_{Ref}) = \sqrt{\frac{s_{\psi_{Ref}}^2}{n}} \quad (6)$$

Standart belirsizlik :  $u(\psi_{Ref}) = \sqrt{0,007^2 / 10} \%rh = 0,002 \%rh$

Duyarlılık katsayısı:  $c(\psi_{Ref}) = \frac{\partial C_{Ref}}{\partial \psi_{Ref}} = 1$

□ **Nem Kabini Bağlı Nem Dağılımı ( $\psi_{KbnDgl}$ )**

KEC bağıl nem kalibrasyonunun yapıldığı Nem Kabininin, aşağıda verilen standartlar ve kılavuz dokümanlara uygun olarak bağıl nem karakterizasyonu ölçümleri sonucunda elde edilen nem kabin dağılımı belirsizliğidir. Aşağıdaki dokümanların güncel nüshaları kullanılmalıdır.

1. BS EN 60068-3-5:2018, Environmental Testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers
2. BS EN IEC 60068-3-6:2018, Environmental Testing - Part 3-6: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature/ humidity chambers
3. BS EN 60068-3-11:2007, Environmental Testing - Part 3-11: Supporting documentation and guidance - Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers
4. EURAMET Calibration Guide No. 20, Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, Version 5.0 (09/2017)
5. DKD Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers, Edition 07/2004, English translation 02/2009

□ **KEC Bağlı Nem Tekrarlanabilirlik Değeri ( $\psi_{KECTkr}$ )**

KEC'in bağıl nem okuma değeri, 10 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenir. Bu durumda tekrarlanan ölçüm sayısı  $n = 10$ 'dur. On (10) ölçüm sonucunun ortalama değeri Eşitlik 4 ile hesaplanır:

$$\overline{\psi_{KEC}} = 49,5 \%rh$$

Deneysel standart sapma değeri Eşitlik 5 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$s_{\psi_{KEC}} = [(1/9) [(49,5-49,5)^2 + (49,4-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,6-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,4-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,6-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,4-49,5)^2]]^{1/2} \%rh$$

$$s_{\psi_{KEC}} = 0,074 \%rh$$

Eşitlik 6 kullanılarak standart sapma belirsizliği hesaplanır:

$$\text{Standart belirsizlik : } u(\psi_{KEC}) = \sqrt{0,074^2/10} \%rh = 0,024 \%rh$$

$$\text{Duyarlılık katsayısı : } c(\psi_{KEC}) = \frac{\partial C_{KEC}}{\partial \psi_{KEC}} = -1$$

#### □ KEC Bağlı Nem Okuma Değerine Ait Çözünürlük ( $\delta\psi_{KECCzt}$ )

KEC göstergesinden aşağıdaki biçimlerde okuma yapılabilir. Çözünürlük için sayısal değer in en küçük basamağı dikkate alınır. Örnekler Tablo 5'de verilmiştir.

$$\text{Standart belirsizlik : } u(\delta\psi_{KEC}) = \frac{0,1\%rh/2}{\sqrt{3}} = 0,03 \%rh$$

$$\text{Duyarlılık katsayısı : } c(\delta\psi_{KEC}) = -1$$

#### □ KEC Bağlı Nem Histeresiz Değeri ( $\delta\psi_{KECHst}$ )

KEC'in sabit sıcaklıktaki (30-50-70-50) %rh kalibrasyon işleminde düşük ve yüksek bağlı nem değerinden sonra ölçülen 50 %rh bağlı nem değerleri arasındaki fark kullanılarak hesaplanan belirsizlik değeridir.

Dikdörtgen dağılımdır. Bu durumda;

$$\text{Standart belirsizlik : } u(\delta\psi_{KECHst}) = \frac{0,5\%rh}{2 \times \sqrt{3}} = 0,14 \%rh$$

$$\text{Duyarlılık katsayısı : } c(\delta\psi_{KEC}) = -1$$

#### □ KEC Bağlı Nem Değerinin Sıcaklık Bağımlılığı ( $\delta\psi_{KECSct}$ )

KEC'in bağlı nem değerinin sıcaklık bağımlılığından kaynaklanan belirsizlik değeridir.

Sabit bağlı nem ve üç (3) farklı sıcaklık değerinde kalibrasyon yapılırsa bu bileşen dikkate alınır. Örnek ölçüm değerleri aşağıda verilmiştir:

- 21 °C ve 50 % rh
- 23 °C ve 50 % rh
- 25 °C ve 50 % rh

Yukarıda verilen ölçüm değerlerinde KEC'den okunan bağlı nem değerlerinin aynı değerleri göstermesi beklenirken bağlı nemin sıcaklık bağımlılığı dolayısıyla bağlı nem değerleri aşağıdaki gibi ölçülebilmektedir. Aşağıdaki tabloda verilen her değer on (10) ölçümün ortalamasıdır.

**Tablo 4.** KEC sıcaklık kalibrasyonu sonuçları

Referans Bağlı Nem Değeri %rh	KEC Bağlı Nem Değeri %rh	Referans Sıcaklık Değeri °C	KEC Sıcaklık Değeri °C
50,00	48,3	21,00	21,2
50,00	49,5	23,00	23,2
50,00	52,7	25,00	25,2

Dikdörtgen dağılımdır. Bu durumda;

$$\text{Standart belirsizlik : } u(\delta\psi_{KECSck}) = \left( \left( \frac{52,7 \%rh - 48,3 \%rh}{25,2 ^\circ C - 21,2 ^\circ C} \times 1 ^\circ C \right) / 2 \times \sqrt{3} \right) = 0,32 \%rh$$

$$\text{Duyarlılık katsayısı : } c(\delta\psi_{KEC}) = -1$$

### 3.3. Bağlı Nem Belirsizlik Bütçesi

Kalibre edilen Bağlı Nem ve Sıcaklık Ölçer cihazının 50 %rh ve 23 °C'de yapılan kalibrasyonu için belirsizlik bütçesi tablosu Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Bağlı nem ve sıcaklık ölçer 50 %rh ve 23 °C kalibrasyonu için belirsizlik bütçesi

Belirsizlik Bileşeni		Tahmini Değer	Standart Belirsizlik	Olasılık Dağılımı	Duyarlılık Katsayısı	Belirsizlik Katkısı
$X_i$		$x_i$	$u(x_i)$		$c_i$	$u_i(C_x)$
$\psi_{ix}$	KEC okunan değer	49,5 %rh				
$\delta\psi_{RefSrt}$	Referans cihazdan okunan değer	50,00 %rh	0,80 %rh	Normal	1	0,8 %rh
$\delta\psi_{RefKym}$	Referans cihazın kayma değeri	0 %rh	0,06 %rh	Dikdörtgen	1	0,1 %rh
$\delta\psi_{RefCzn}$	Referans cihaz çözünürlük değeri	0 %rh	0,003 %rh	Dikdörtgen	1	0,0 %rh
$\delta\psi_{RefTkr}$	Referans cihaz tekrarlanabilirlik değeri	0 %rh	0,007 %rh	Normal	1	0,0 %rh
$\delta\psi_{KbnDgl}$	Kabin bağlı nem dağılımı	0 %rh	1,4 %rh	Normal	1	1,4 %rh
$\delta\psi_{KECTkr}$	KEC tekrarlanabilirlik değeri	0 %rh	0,074 %rh	Normal	-1	0,1 %rh
$\delta\psi_{KECCzn}$	KEC çözünürlük değeri	0 %rh	0,03 %rh	Dikdörtgen	-1	0,0 %rh
$\delta\psi_{KECHst}$	KEC histeresiz değeri	0 %rh	0,14 %rh	Dikdörtgen	-1	0,2 %rh
$\delta\psi_{KECSck}$	KEC bağlı nem değerinin sıcaklık bağımlılığı	0 %rh	0,32 %rh	Dikdörtgen	-1	0,4 %rh
$C_x$	KEC düzeltme değeri	0,5 %rh				
$u_c(C_x)$	Bileşik Belirsizlik					1,7 %rh
$U(C_x)$	Genişletilmiş Belirsizlik					3,4 %rh

#### □ Bileşik Belirsizlik

Bileşik belirsizlik Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır.

$$u_c(C_x) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)} \quad (7)$$

$$c_i = \frac{\partial C_x}{\partial x_i}$$

$$u_c(C_x) = \sqrt{(0,80)^2 + (0,06)^2 + (0,003)^2 + (0,007)^2 + (1,4)^2 + (0,074)^2 + (0,03)^2 + (0,14)^2 + (0,32)^2}$$

$$u_c(C_x) = 1,7 \%rh$$



### Genişletilmiş Belirsizlik

Genişletilmiş belirsizlik  $k = 2$  kapsam faktörü için Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır.

$$U(C_x) = k \times u_c(C_x) \quad (8)$$

$$U(C_x) = 2 \times 1,7 \%rh = 3,4 \%rh$$

### 3.4. Ölçüm Sonuçlarının Raporlanması

Eşitlik 1'de verilen model fonksiyon kullanılarak hesaplanan ölçüm sonucu ( $C_x$ ), beyan edilen genişletilmiş belirsizliğin çözünürlüğü dikkate alınarak beyan edilmelidir.

Buna göre KEC'in düzeltme değeri, belirsizliğin çözünürlüğünde (0,1 %rh) beyan edilmelidir.

$$C_x = 50,0 \%rh - 49,5 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh + 0 \%rh \\ = 0,5 \%rh$$

KEC'in kalibrasyon sonucu, düzenlenen kalibrasyon sertifikasında tablo içinde örnek verilen Tablo 6 ve Tablo 7'de verilen ifadeler ile raporlanabilir.

**Tablo 6.** KEC'in bağıl nem kalibrasyon sonuçlarının tablo içinde raporlanması için örnek (KEC bağıl nem ölçümü yapıyor, sıcaklık ölçümü yapmıyorsa)

Referans Hava Sıcaklık Değeri	Referans Bağıl Nem Değeri	Ölçülen Bağıl Nem Değeri	Düzeltilme Değeri	Belirsizlik Değeri
°C	%rh	%rh	%rh	%rh
23,00	30,0	28,6	1,4	3,0
23,00	50,0	49,5	0,5	3,4
23,00	70,0	71,1	-1,1	3,6

**Tablo 7.** KEC'in bağıl nem ve sıcaklık kalibrasyon sonuçlarının tablo içinde raporlanması için örnek (KEC bağıl nem ve sıcaklık ölçümü yapıyorsa)

Referans Hava Sıcaklık Değeri	Ölçülen Hava Sıcaklık Değeri	Düzeltilme Değeri	Belirsizlik Değeri	Referans Bağıl Nem Değeri	Ölçülen Bağıl Nem Değeri	Düzeltilme Değeri	Belirsizlik Değeri
°C	°C	°C	°C	%rh	%rh	%rh	%rh
23,0	23,1	-0,1	0,5	30,0	28,6	1,4	3,0
23,0	23,1	-0,1	0,5	50,0	49,5	0,5	3,4
23,0	23,2	-0,2	0,5	70,0	71,1	-1,1	3,6

## SONUÇ

Bağıl nem ölçer kalibrasyonu sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ve belirsizlik bileşenleri açıklanmış, örnek belirsizlik hesaplaması verilmiştir. Ülke genelindeki tüm ikinci seviye akredite laboratuvarların belirsizlik bütçelerinde KEC'e ait makalede verilen belirsizlik bileşenlerinin yer alması gerekmektedir. Bunun sonucunda ülke genelinde yapılan bağıl nem ölçümlerinin harmonizasyonuna doğru şekilde katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bağıl nem ölçümlerine ait belirsizlik parametrelerine, kullanılan cihazlara veya sistemlere özgü diğer belirsizlik bileşenleri de ayrıca ilave edilmelidir. Bu makalede verilen kalibre edilen cihaza ait belirsizlik parametreleri, her belirsizlik bütçesinde mutlaka yer almalıdır. Bazı laboratuvarlarda bu bileşenlerin bütçeye dahil edilmediği ve kapsam belirsizliklerinin olması gereken değerden daha düşük hesaplandığı görülmektedir. Laboratuvarların hazırladığı belirsizlik bütçesindeki KEC'e ait bileşenlerin eksik olması yanlış hesaplamalara yol açmaktadır. Harmonizasyon çalışmalarının diğer bir yöntemi olan laboratuvarlar arası karşılaştırma (LAK) ölçümlerinde de belirsizlik hesaplamalarında kullanılan KEC'e ait belirsizlik bileşenlerinin tüm laboratuvarlar için aynı bileşenlerden oluşmasına dikkat edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] WIEDERHOLD, P. R., "Water Vapor Measurement: Methods and Instrumentation", CRC Press, 1997.
- [2] LOVELL-SMITH J. W., PEARSON H., "On the Concept of Relative Humidity", Metrologia, Vol. 43, 129-134, 2006.
- [3] NPL Good Practice Guide, "A Guide to the Measurement of Humidity", 1996, <https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/a-guide-to-the-measure-of-humidity-gpg103>.
- [4] OĞUZ AYTEKİN, S., "Bağıl Nem Ölçümlerinde Kullanılan Cihazlar, Kalibrasyonları ve Belirsizlik Hesaplamaları", TÜBİTAK UME Eğitim Dokümanı, 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

### Seda OĞUZ AYTEKİN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik ABD'da Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak göreve başlamış, 1999 yılında Nem Laboratuvarında çalışmalarına devam etmiştir. Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı kurulumu çalışmalarının yanı sıra "Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı Eğitim" dokümanı, "Akreditasyon için Teknik Şartlar – Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı", "Kalibrasyon Periyotlarının Belirlenmesi", "Theory of Heat Pipe Blackbody", "Tungsten Şerit Lamba Ölçümü ve Karakterizasyonu", "SÜN Siyah Cisim (SÜNBB) Yapımı ve Karakterizasyonu" v.b. konularda iç ve dış yayınlar hazırlamıştır. Kontak Sıcaklık Laboratuvarı'nda da SÜN yapımı, ısılıçift üretimi ve kalibrasyonu, "Sabit Nokta Dolum Sistemi Kurulumu" v.b. projelerde çalışmıştır. "Isılıçift Referans EMK Tabloları" v.b. yayınlar hazırlamıştır. Nem Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak çalışmalarına devam etmektedir, EURAMET TC-T Nem Alt Grubu ve BIPM CCT-WG-Hu Nem Çalışma Grubu UME temsilcisidir. "Nem Laboratuvarı Eğitim" dokümanı, "Nem Kaynağı Karakterizasyonu ve Kalibrasyonu", "Bağıl Nem Ölçer Karakterizasyonu", "Kağıt ve Toz Malzemelerde Rutubet Ölçümleri, Örnekleme (Sampling) ve Belirsizlik Hesaplamaları" v.b. konularda iç ve dış yayınları bulunmaktadır. 2014 yılında Yeditepe Üniversitesinden Doktor unvanını "Nanosilisyum Nem Algılayıcılarının Üretimi ile Elektriksel ve Spektroskopik Karakterizasyonları" başlıklı tez çalışmasını tamamlayarak almıştır. TÜRKAK akreditasyon denetimlerinde ISO/IEC 17025 standardına göre sıcaklık ve nem alanlarında denetçi olarak görev yapmaktadır. Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanında çeşitli makaleleri ve EURAMET kapsamında katılım sağladığı uluslararası projeleri bulunmaktadır. Ayrıca Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanlarında ulusal ve uluslar arası Danışmanlık ve Eğitim hizmetleri vermektedir.