

**T.C.**

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA**

**ADLİ TIP VE ADLİ BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**Danışman**

**Doç. Dr. Emel Hülya Yükseloğlu**

**ISO/IEC 17025:2017 STANDARDINA GÖRE KALİBRASYON LABORATUVARI  
MODELLENMESİ VE ADLİ BİLİMLER LABORATUVARLARINDA  
KULLANILAN SICAKLIK CİHAZLARININ UYGUNLUĞU**

**FEN BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAKAN ARPACIK**

**İSTANBUL, 2019**

## TEŐEKKÜR

*Tez danışman hocam Doç. Dr. Emel Hülya Yükseloğlu'na ve Dr. Fatma Çavuş Yonar'a*

*Anneme, babama, ablama, Neslişah'a*

Desteklerinden dolayı çok teőekkür ederim.

Hakan ARPACIK

Haziran, 2019



## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
TABLolar.....	v
ŞEKİLLER.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Akreditasyon.....	3
2.2. Ölçüm Bilimi.....	3
2.2.1. Ölçüm.....	3
2.2.2. Uluslararası Birimler Sistemi (SI).....	4
2.2.3. İzlenebilirlik.....	5
2.2.4. Kalibrasyon tanımı.....	5
2.2.5. Ölçüm sapması tanımı.....	6
2.2.6. Gösterge düzeltmesi tanımı.....	6
2.2.7. Ölçüm belirsizliği tanımı.....	6
2.2.8. Tolerans tanımı.....	6
2.3. Akreditasyon ve Ölçüm Bilimi İle İlgili Kurum ve Kuruluşlar.....	7
2.4. ISO/IEC 17025:2017 Standardı.....	11
2.5. Adli Bilimler Laboratuvarlarında ISO/IEC 17025 ve Kalibrasyonun Önemi.....	13
2.6. Sıcaklık Ölçümü.....	14
2.6.1. Sıcaklık.....	14
2.6.2. Sıcaklık ölçümünün önemi.....	15
2.6.3. Sıcaklık ölçümlerinde metrolojik izlenebilirlik.....	15
2.6.4. ITS-90 sabit nokta sıcaklıkları.....	16
2.6.5. Termometre çeşitleri ve özellikleri.....	18
2.6.6. Termal kaynaklar.....	20
2.7. Sıcaklık Kalibrasyon Yöntemi.....	21
2.8. Ölçüm Belirsizliği.....	22
2.8.1. Olasılık dağılımlar.....	24
2.8.2. A tipi standart belirsizlik.....	25
2.8.3. B tipi standart belirsizlik.....	26
2.8.4. Birleşik standart belirsizlik hesabı.....	26

2.8.5.	Kapsam faktörü ve genişletilmiş belirsizlik .....	27
2.9.	Uygunluk Değerlendirmesi.....	27
2.10.	Sıcaklık Cihazlarının Kalibrasyon Gerekliliği .....	29
2.11.	Adli Bilimler Laboratuvarlarındaki Sıcaklık Cihazlarının Kalibrasyonun Önemi	29
2.12.	Sıcaklık Cihazlarının Kalibrasyon Aralığı .....	30
3.	GEREÇ VE YÖNTEM .....	32
3.1.	ISO/IEC 17025'e Göre Kalibrasyon Laboratuvarı Modellenmesi .....	32
3.1.1.	Kapsam.....	32
3.1.2.	Bağlayıcı atıflar .....	33
3.1.3.	Terimler ve tanımlar .....	33
3.1.4.	Genel gereklilikler .....	33
3.1.4.1.	<i>Tarafsızlık</i> .....	33
3.1.4.2.	<i>Gizlilik</i> .....	34
3.1.5.	Yapısal gereklilikler .....	34
3.1.5.1.	<i>Laboratuvarın verdiği hizmetler</i> .....	34
3.1.5.2.	<i>Laboratuvar yapısı</i> .....	35
3.1.5.3.	<i>Laboratuvar kadrosunun görevleri</i> .....	35
3.1.5.3.1.	<i>Müdür</i> .....	35
3.1.5.3.2.	<i>Laboratuvar sorumlusu</i> .....	36
3.1.5.3.3.	<i>Kalite yöneticisi</i> .....	36
3.1.5.3.4.	<i>Mali ve idari işler sorumlusu</i> .....	36
3.1.5.3.5.	<i>Kalibrasyon sorumlusu</i> .....	36
3.1.5.3.6.	<i>Müşteri temsilcisi</i> .....	37
3.1.6.	Kaynak gereklilikleri .....	37
3.1.6.1.	<i>Genel</i> .....	37
3.1.6.2.	<i>Personel</i> .....	37
3.1.6.3.	<i>Yerleşim ve çevresel koşulları</i> .....	38
3.1.6.4.	<i>Donanım</i> .....	38
3.1.6.5.	<i>Metrolojik izlenebilirlik</i> .....	38
3.1.6.6.	<i>Dışarıdan tedarik edilen ürün ve hizmetler</i> .....	38
3.1.7.	Proses gereklilikleri .....	39
3.1.7.1.	<i>Taleplerin, tekliflerin ve sözleşmelerin gözden geçirilmesi</i> .....	39
3.1.7.2.	<i>Yöntemlerin seçilmesi, doğrulanması ve geçerli kılınması</i> .....	39
3.1.7.2.1.	<i>Yöntemlerin seçilmesi ve doğrulanması</i> .....	39
3.1.7.2.2.	<i>Yöntemlerin geçerli kılınması</i> .....	40

3.1.7.3.	<i>Numune alma</i> .....	40
3.1.7.4.	<i>Deney veya kalibrasyon ögelerinin taşınması ve muhafaza edilmesi</i> .....	40
3.1.7.5.	<i>Teknik kayıtlar</i> .....	40
3.1.7.6.	<i>Ölçüm belirsizliğinin değerlendirilmesi</i> .....	41
3.1.7.7.	<i>Sonuçların geçerliliğinin güvence altına alınması</i> .....	41
3.1.7.8.	<i>Sonuçların raporlaması</i> .....	42
3.1.7.8.1.	<i>Raporlar ile ilgili genel bilgiler</i> .....	42
3.1.7.8.2.	<i>Raporlar için ortak gereklilikler</i> .....	42
3.1.7.8.3.	<i>Deney raporları için özel gereklilikler</i> .....	43
3.1.7.8.4.	<i>Kalibrasyon sertifikaları için özel gereklilikler</i> .....	43
3.1.7.8.5.	<i>Numune almanın raporlanması – özel gereklilikler</i> .....	43
3.1.7.8.6.	<i>Uygunluk beyanlarının raporlanması</i> .....	43
3.1.7.8.7.	<i>Görüş ve yorumların raporlanması</i> .....	43
3.1.7.8.8.	<i>Raporlardaki tadilatlar</i> .....	44
3.1.7.9.	<i>Şikâyetler</i> .....	44
3.1.7.10.	<i>Uygun olmayan iş</i> .....	44
3.1.7.11.	<i>Verilerin kontrolü ve bilgi yönetimi</i> .....	45
3.1.8.	<i>Yönetim sistemi gereklilikleri</i> .....	45
3.1.8.1.	<i>Seçenekler</i> .....	45
3.1.8.2.	<i>Yönetim sistemi dokümantasyonu</i> .....	45
3.1.8.3.	<i>Yönetim sistemi dokümanlarının kontrolü</i> .....	45
3.1.8.4.	<i>Kayıtların kontrolü</i> .....	46
3.1.8.5.	<i>Risk ve fırsatların ele alınmasına yönelik faaliyetler</i> .....	47
3.1.8.6.	<i>İyileştirme</i> .....	49
3.1.8.7.	<i>Düzeltilici faaliyetler</i> .....	49
3.1.8.8.	<i>İç tetkikler</i> .....	50
3.1.8.9.	<i>Yönetimin gözden geçirmeleri</i> .....	50
3.2.	<i>Adli Bilimler Laboratuvarlarında Kullanılan Sıcaklık Cihazlarının Uygunluk Değerlendirmesi</i> .....	51
3.2.1.	<i>Sayısal termometre kalibrasyonu ve uygunluk değerlendirilmesi</i> .....	51
3.2.1.1.	<i>Sayısal termometre</i> .....	51
3.2.1.2.	<i>Kalibrasyon talebi ve uygunluk değerlendirilmesi</i> .....	51
3.2.1.3.	<i>Kalibrasyon yöntemi</i> .....	51
3.2.1.4.	<i>Çevre koşulları</i> .....	51
3.2.1.5.	<i>Kalibrasyonda kullanılan referans cihaz</i> .....	51

3.2.1.6.	<i>Kalibrasyonda kullanılan termal kaynak</i> .....	52
3.2.1.7.	<i>Ölçümlerin alınması</i> .....	52
3.2.1.8.	<i>Ölçüm modeli</i> .....	52
3.2.1.9.	<i>Sayısal termometre uygunluk değerlendirmesi</i> .....	53
3.2.2.	<i>Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonu ve uygunluk değerlendirmesi</i> .....	54
3.2.2.1.	<i>Sıcaklık kontrollü hacim</i> .....	54
3.2.2.2.	<i>Kalibrasyon talebi ve uygunluk değerlendirmesi</i> .....	54
3.2.2.3.	<i>Kalibrasyon yöntemi</i> .....	54
3.2.2.4.	<i>Çevre koşulları</i> .....	54
3.2.2.5.	<i>Kalibrasyonda kullanılan referans cihaz</i> .....	55
3.2.2.6.	<i>Ölçümlerin alınması</i> .....	55
3.2.2.7.	<i>Ölçüm modeli</i> .....	55
3.2.2.8.	<i>Sıcaklık kontrollü hacim uygunluk değerlendirmesi</i> .....	56
4.	<b>BULGULAR</b> .....	58
4.1.	<b>Sayısal Termometre Kalibrasyonu ve Uygunluk Değerlendirmesi</b> .....	58
4.2.	<b>Sıcaklık Kontrollü Hacim Kalibrasyonu ve Uygunluk Değerlendirmesi</b> .....	68
5.	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	82
6.	<b>KAYNAKÇA</b> .....	85
7.	<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	91

**TABLolar**

Tablo I: Risk değerlendirme örneği .....	49
Tablo II: Referans sıcaklık değerleri .....	59
Tablo III: Kalibre edilen termometreden okunan sıcaklık değerleri .....	62
Tablo IV : Sayısal termometre kalibrasyonu belirsizlik bütçesi .....	66
Tablo V: Referans ısılıçiftlerden okunan sıcaklık değerleri .....	69
Tablo VI: Kalibre edilen cihazın göstergesinden okunan değerler .....	72
Tablo VII: Sıcaklık homojensizlik etkisi .....	74
Tablo VIII: Sıcaklık kararsızlık etkisi .....	75
Tablo IX: Radyasyon etkisi .....	77
Tablo X: Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonu belirsizlik bütçesi.....	79

## ŞEKİLLER

Şekil 1: ITS-90 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği .....	17
Şekil 2: Normal dağılım grafiği .....	24
Şekil 3: Dikdörtensel (tekdüze) dağılım .....	25
Şekil 4: Uygunluk değerlendirme kriterleri.....	28
Şekil 5: Organizasyon Şeması.....	35
Şekil 6: Olasılık-Etki matrisi .....	48





## KISALTMALAR

ISO: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu)

IEC: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)

BIPM: Bureau International Des Poids Et Mesures (Uluslararası Ağırlıklar Ve Ölçüler Bürosu)

CIPM: Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi (Comité international des poids et mesures)

CGPM: Conférence Générale Des Poids Et Mesures (Uluslararası Ağırlıklar Ve Ölçüler Genel Konferansı)

SI: Uluslararası Birimler Sistemi

ILAC: International Laboratory Accreditation Cooperation (Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği)

IAF: International Accreditation Forum (Uluslararası Akreditasyon Kurumu)

EA: European Co-Operation for Accreditation (Akrupa Akreditasyon Birliği)

TÜRKAK: Türk Akreditasyon Kurumu

TSE: Türk Standardları Enstitüsü

ITS-90: Uluslararası Sıcaklık Ölçeği, 1990

GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometer (Standart Platin Direnç Termometresi)

PRT: Platinum Resistance Thermometer (Platin Direnç Termometresi)

K: Kelvin

°C: Derece Celcius

$t_r$  = Referansın Okuduğu Sıcaklık Değeri

$t_c$  = Kalibre Edilen Cihazın Sıcaklık Değeri

$\delta t_{kal}$  = Referansın Kalibrasyon Sertifika Katkısı

$\delta t_{drift}$  = Referansın Uzun Dönem Performans Katkısı

$\delta t_{\text{öz}, r}$  = Referansın Çözünürlük Katkısı

$\delta t_{\text{öz}, c}$  = Kalibre Edilen Cihazın Çözünürlük Katkısı

$\delta t_{dağılım}$  = Termal Kaynak Dağılım Katkısı

$\delta t_{stabilite}$  = Termal Kaynak Stabilite Katkısı

$\delta t_{buz}$  = Buz Noktası Ölçümlerinin Katkısı

$\delta t_{hom}$  = Sıcaklık Homojensizlik Katkısı

$\delta t_{karar}$  = Sıcaklık Kararsızlık Katkısı

$\delta t_{rad}$  = Radyasyon Etkisi

$\delta t_{yükleme}$  = Yükleme Etkisi

$\Delta t$  = Gösterge Düzeltme Değeri

$\bar{q}$  = Aritmetik Ortalama

$s$  = Standart Sapma

$u_c$  = Birleşik Ölçüm Belirsizliği

$k$  = Kapsam Faktörü

$U$  = Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği

$H_0$  = Sıfır Hipotezi

$T_L$  = Alt Tolerans Limit

$T_U$  = Üst Tolerans Limit

$1 - \alpha$  = Güven Seviyesi

$Y$  = Ölçülen Büyüklük

$y$  = Ölçüm Sonucu

$P_C$  = Uygunluk Olasılığı



## ÖZET

Adli bir olayın çözümü için delillerin adli bilimler laboratuvarında hassas bir şekilde incelenmesi gerekir. Bunun için adli bilimler laboratuvarı çeşitli cihazlara ihtiyaç duyar. Bu tez çalışmasında adli bilimler laboratuvarında kullanılan sıcaklık cihazlarının bazıları incelenmiştir.

Sıcaklık cihazları ile yapılan ölçümlerin güvenilir olup olmadığının tespit edilmesi gerekir. Bu açıdan cihazların belirli aralıklarla akreditasyona sahip kalibrasyon laboratuvarları tarafından kalibrasyon işlemlerinin yaptırılması gerekir. Aksi takdirde adli raporların güvenilirliği tehlikeye girebilir.

Bu tez çalışmasında ISO/IEC 17025:2017 standardına göre bir kalibrasyon laboratuvarı modellenmesi yapılarak, laboratuvarın hangi şartları esas alarak nasıl yönetilmesi gerektiği incelenmiştir. Adli bilimler laboratuvarında kullanılan bazı sıcaklık cihazları seçilerek referans ile karşılaştırmalı kalibrasyon yöntemiyle kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm belirsizlik parametreleri tek tek hesaplanarak belirsizlik bütçeleri hazırlanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre uygunluk değerlendirilmesi yapılarak cihazların kullanım için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kalibrasyon, sıcaklık, ISO/IEC, 17025, uygunluk değerlendirilmesi

## ABSTRACT

Evidences must be precisely studied to solve criminal investigation. To do that, forensic science laboratories need devices. In this thesis, some of temperature devices used in these laboratories are investigated.

Performance of temperature devices used in laboratories must be known to understand reliability of measurements. So, these devices are calibrated at regular intervals in accredited calibration laboratories. If not, reliability of forensic reports may be a problem.

In this thesis, a calibration laboratory is constructed according to ISO/IEC 17025:2017 standard and some of temperature devices used in forensic science laboratories are calibrated by comparing method with reference devices. Uncertainty measurement parameters are calculated. Conformity assessments are applied to these devices to understand if this devices are acceptable or not acceptable to use.

**Keywords:** Calibration, temperature, ISO/IEC, 17025, conformity of assessment

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ölçüm, bilinmeyen bir büyüklüğün bilinen bir büyüklükle kıyaslanması esasına dayanır ve ölçüm için sayı ve birim gerekmektedir [1]. Kalibrasyon, ölçüm aletinin güvenilirliği ile alakalı bir işlemdir ve ölçüm aletinin gerçek değerden ne kadar saptığını bize söyler. Ölçüm hatasının yanında ölçüm belirsizliği de mutlaka belirtilmek zorundadır. Kalibrasyon, cihaza ayar yapıp cihazın hatasını sıfıra indirmek anlamına gelmemekle birlikte kalibrasyon işlemi sonrasında cihazın sapması olmadığını düşünmek yanlıştır. Kalibrasyon, cihazın gerçek değerle olan ilişkisini belli bir ölçüm belirsizliğiyle beraber belli bir güven aralığında belirtmektir. Bir başka ifadeyle, cihazın metrolojik performansını belirlemektir. Ölçüm sonuçlarına göre cihazın kullanım için uygun olup olmadığını belirtmek kullanıcının belirlediği toleransa göre değişmektedir.

Ölçüm belirsizliği, ölçümün şüphesi ile ilgili bir durumdur [1]. Bir cihaz çok pahalı olabilir, çok güvenilir bir marka olabilir ve ölçüm sonucu hatasız da çıkabilir ancak böyle bir durumda bile ölçüm esnasında mutlaka bir şüphe vardır. Ölçüm belirsizliği; kullanılan referans cihazın izlenebilirliği, referans cihazın uzun süreli performansı, kalibrasyonu yapılacak ölçüm aletinin kalibrasyon esnasındaki ölçüm salınımı gibi bir çok parametreye bağlıdır. Her kalibrasyon işleminin kendine özgü oluşabilecek belirsizlik parametreleri vardır ve bunların toplamı sonucunda ölçüm sonucu hatasız bile olsa mutlaka bir ölçüm belirsizliği mevcuttur [2].

Kalibrasyon laboratuvarlarının işletilebilmesi için belirli şartları sağlaması gerekmektedir. Dünya Ticaret Örgütü kendisine üye olan ülkelerden uygunluk değerlendirmesinin güvence altına alınmasını ve teknik yeterliliği sağlamasını beklemektedir. Bundan dolayı akreditasyon ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Akredite olmak isteyen bir kalibrasyon laboratuvarının uyması gereken standart ISO/IEC 17025 deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yetkinliği için genel

gereklilikler standardıdır. Deney ve kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren tüm akredite laboratuvarlar bu standarda uygun olarak hareket etmek durumundadır [3].

ISO/IEC 17025 standardı, bir laboratuvarın doğru sonuçlar üretmesini ve güvenilirliğini garanti altına alır ve akredite bir laboratuvarın hazırladığı kalibrasyon sertifikası uluslararası geçerliliği olan bir sertifikadır. 17025 standardına göre teknik yeterliliğini sağlaması gereken laboratuvarın kuruluş, kalite sistemi, cihaz donanımı, cihazların izlenebilirliği, personel eğitim ve tecrübesi, metotların uygunluğu gibi birçok konuyu eksiksiz sağlaması gerekmektedir [4, 5].

Adli bilimler laboratuvarlarında kullanılan sıcaklık cihazları da kalibrasyon işlemine tabidir ve laboratuvarın belirlemiş olduğu belli aralıklarla kalibrasyon yaptırılır [5]. Kalibrasyon sonuçlarına göre cihazlar laboratuvarda kullanıma devam eder ya da cihazların kullanım için uygunluğu tartışmaya açılır.

Bu tez çalışmasında ISO/IEC 17025:2017 standardının maddeleri tek tek ele alınarak bir kalibrasyon laboratuvarı modellenecektir. Kapsam, bağlayıcı atıflar, terimler ve tanımlar, genel, yapısal, kaynak, proses ve yönetim sistemi gerekliliklerine göre laboratuvarın nasıl yönetilmesi gerektiği incelenecektir. Sıcaklık cihazlarının kalibrasyon işlemleri için rehber dokümanlar kullanılarak referans ile karşılaştırmalı kalibrasyon yöntemi uygulanacaktır. Ölçüm belirsizlik parametreleri tek tek hesaplanarak belirsizlik bütçeleri hazırlanacaktır ve cihazların kullanım için uygun olup olmadığı değerlendirilecektir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1.Akreditasyon

Akreditasyon; uygunluk değerlendirme kuruluşlarının, uluslararası kabul görmüş standartlara göre yaptıkları işin doğruluğunu sağlayan işlemlerin bütünüdür [4-8]. Akreditasyon bir ihtiyaç olup, felsefesi insandır. Örneğin; bir gıda fabrikası akredite olmuş kuruluşlar tarafından denetlenmez ise üretilen gıdaların insan sağlığı açısından ciddi zararları olabilir. Asansörler ya da araçlar, akredite olmuş kuruluşlar tarafından denetlenmez ise ölümlü ya da ağır yaralı asansör ve araç kazaları yaşanabilir. İçme suyu, akredite olmuş kuruluşlar tarafından denetlenmez ise kısa sürede ya da uzun sürede insan sağlığını etkileyen zararları olabilir. Bir ilaç fabrikasında kullanılan cihazlar, akredite kuruluşlar tarafından bir işlem görmez ise üretilen ilaçların faydası olmayabileceği gibi ciddi zararları da olabilir. Adli vakaların çözümünde en önemli ayaklardan biri olan adli bilimler laboratuvarlarında kullanılan cihazlar, akredite kuruluşlar tarafından bir işleme tabi tutulmaz ise verilen adli raporların doğruluğu sorgulanır ve davanın yanlış şekilde sonuçlanmasına yol açabilir. Bu örneklerden anlaşıldığı gibi akreditasyon ve uyulması gereken ilgili standartlar gerekliliktir ve firmaların akreditasyona sahip uygunluk değerlendirme kuruluşları tarafından denetlenmeleri gerekmektedir.

### 2.2.Ölçüm Bilimi

#### 2.2.1. Ölçüm

Ölçüm, bilinmeyen bir büyüklüğün bilinen bir büyüklükle kıyaslanması esasına dayanır ve ölçüm için sayı ve birim gerekmektedir [1]. Etrafımızda gördüğümüz, algıladığımız her şeyin bir büyüklükle belirtmeye ihtiyacı vardır. Örneğin insan kilosunu belirtirken 80 kg dediğimiz şey bilinen bir büyüklükle kıyaslamaktır. Ya da “bugün hava sıcaklığı 25 °C” dediğimiz şey, derecesi bilinen bir büyüklüğe göre kıyaslamaktır.



Ölçüm birimleri Dünya'nın her yerinde aynı olmalıdır. 2 metrelik bir kablo satın aldığımızda bu kablonun Dünya'nın neresinde üretilirse üretilsin aynı olması gerekmektedir. Ancak bu kablonun ne kadar hassasiyetle 2 metre olarak üretildiğini bilmek istersek, burada da kalibrasyon işlemi devreye girer.

### 2.2.2. Uluslararası Birimler Sistemi (SI)

Uluslararası birimler sistemi 1960 yılında Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM) tanımlandı [9]. Uzunluk, kütle, termodinamik sıcaklık, madde miktarı, zaman, elektrik akımı, ışık şiddeti olmak üzere 7 temel birimden ve bu birimlerden türetilmiş alt birimlerden oluşmaktadır.

Kasım 2018'te gerçekleştirilen Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM) kilogram, amper, kelvin ve mol temel birimleri değiştirilmiştir. Yeni şeklini alan temel birimler tanımlarına göre artık fiziksel nesnelerin kullanımı sona ermiş oldu. Örneğin kilogram üzerinden gidersek, orijinali Paris'te bulunan ve referans kütle ile izlenebilirliği sağlanan 54 numaralı kütle prototipi Türkiye'de izlenebilirlik zincirini oluşturuyordu. Ancak kütle yeni tanımına göre kütle izlenebilirliği fiziksel nesneler üzerinden değil fiziksel nicelikler üzerinden sağlanacaktır [9, 10].

**Saniye**, zamanın SI birimidir ve s sembolüyle gösterilir. En düşük enerji seviyesindeki sezyum-133 atomunun iki süper-ince seviye arasındaki geçiş ışınımının 9 192 631 770 periyoduna karşılık gelen süredir [9].

**Metre**, uzunluğun SI birimidir ve m sembolüyle gösterilir. Işığın, vakum ortamında 1/299 792 458 saniyede katettiği mesafe olarak tanımlanmaktadır [9].

**Kilogram**, kütlenin SI birimidir ve kg sembolüyle gösterilir. Planck sabiti  $h = 6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$  J.s alınarak tanımlanmaktadır ( $J.s = kg.m^2.s^{-1}$ ) [9].

**Amper**, elektrik akımının birimidir ve A sembolüyle gösterilir. Birim elektron yükü  $e=1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$  C olarak tanımlanmaktadır.  $C=A.s$  değerine eşittir [9].

**Kelvin**, termodinamik sıcaklığın SI birimidir ve K sembolüyle gösterilir. Boltzman sabiti  $k=1.380\ 649 \times 10^{-23}$  J / K alınarak tanımlanmaktadır ( $J/K= kg.m^2.s^2.K^{-1}$ ) [9].

**Mol**, madde miktarının SI birimidir ve mol sembolüyle gösterilir. Avagadro sayısı  $N_A=6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  kadar bileşen (atom, molekül, elektron vb.) içeren maddeye 1 mol denir [9].

**Kandela**, ışık şiddetinin SI birimidir ve cd sembolüyle gösterilir.  $540 \times 10^{12}$  Hz frekansında tek renk ışınım yayan ve  $1/683$  watt/steradyan ışımaya şiddetine sahip bir kaynağın belirli bir doğrultudaki ışık şiddetidir [9].

### 2.2.3. İzlenebilirlik

Bilinen bir ölçüm büyüklüğünün, ölçüm büyüklüğünü zincir şeklinde devam ettirmesidir. Örneğin a cihazını referans, b cihazını da kalibrasyonu yapılacak cihaz olarak düşünürsek, b cihazı izlenebilirliğini a cihazından alır. Bir başka c cihazının kalibrasyonunda da referans olarak b cihazı kullanılacaksa, c cihazı da izlenebilirlik zincirini b cihazından alır ve izlenebilirlik zinciri  $a \rightarrow b \rightarrow c$  şeklinde aktarılmış olur [11].

### 2.2.4. Kalibrasyon tanımı

Belirli ortam şartlarında, SI birim sistemlerine izlenebilirliği sağlanmış bir ölçü aleti ya da düzeneğin, belirli bir güven aralığında ve belirli bir ölçüm belirsizliği eşliğinde başka bir ölçü aleti ya da düzeneği ile karşılaştırılması işlemidir [12]. Kullanılan her ölçü aletinin

izlenebilirliği bilinen bir cihaz ile karşılaştırılması gerekmektedir. Aksi halde son kullanıcı tarafından alınan hiçbir ölçümün doğruluğunun garantisi olmaz. Kalibrasyon işlemleri, cihaz performansını ölçmeye yönelik bir işlemdir ve cihazın gerçek değere ne kadar yakın ya da ne kadar uzak olduğunu belirli bir güven aralığında bize söyler. Kalibrasyon işlemleri sonunda kullanılacak cihazın hatasız ölçüm yapacağını sanmak ise yaygın bir yanlış düşüncedir.

#### **2.2.5. Ölçüm sapması tanımı**

Ölçülen büyüklüğün, referans olarak kabul edilen büyüklükten çıkarılması ile edilen sonuçtur [12]. Örneğin iyi hazırlanmış bir buz 0 °C olmalıdır ve bu buza daldırılan sıcaklık ölçer cihazımız ekranda 0,5 °C olarak bir değer gösteriyor ise ölçüm sapmamız + yönde 0,5 °C'dir.

#### **2.2.6. Gösterge düzeltmesi tanımı**

Referans olarak kabul edilen büyüklükten, göstergede okunan büyüklüğün çıkarılması ile elde edilen sonuçtur [12]. Bir önceki başlıktaki örnekten gidersek, iyi hazırlanmış bir buza daldırılan sıcaklık ölçer cihazımız ekranda 0,5 °C olarak bir değer gösteriyor ise bu noktadaki düzeltme değerimiz - yönde 0,5 °C olmalıdır.

#### **2.2.7. Ölçüm belirsizliği tanımı**

Ölçüm belirsizliği, elde edilen bilgiye dayanılarak ölçülen değere atfedilen büyüklük değerinin dağılımını niteleyen negatif olmayan bir parametredir [2]. Yapılan ölçümün güvenilirliğini, kalitesini, hassasiyetini gösteren bir parametredir. Ölçülen bir büyüklüğün gerçek değerden ne kadar saptığını söylerken mutlaka belirtilmesi gereken bir işlemdir. Aksi halde hangi güven aralığında gerçek değerden saptığını bilmemiz mümkün olamamaktadır.

#### **2.2.8. Tolerans tanımı**

Tanımlanması için ölçüm sonucu ve ölçüm belirsizliğine ihtiyaç duyan, kabul edilebilir alt ve üst limitlerdir [1]. Bir cihazın kullanım için uygun olup olmadığının tespiti için gerekmektedir.

Örneğin ilaç üretiminde kullanılan bir cihazın 150 °C'de 0,2 °C toleransı olduğunu varsayalım. Bunun anlamı şudur: Ölçüm sapması (mutlak değerde) ve ölçüm belirsizliğinin toplamı 0,2 °C'yi geçmemelidir.

### **2.3.Akreditasyon ve Ölçüm Bilimi İle İlgili Kurum ve Kuruluşlar**

- **BIPM (Bureau international des poids et mesures), CIPM (Comité international des poids et mesures), CGPM (Conférence générale des poids et mesures)**

Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (BIPM), 20 Mayıs 1875'te imzalanan Metre Antlaşması ile Paris'te kurulmuştur. Ölçüm bilimi ile ilgili en yetkili kurumdur [13]. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi (CIPM), metroloji alanında Dünya'da en yetkili kişilerin olduğu 18 üyeden oluşan ve her sene toplanan teknik komitedir [14]. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Konferansı'nda (CGPM), katılımcı üye ülkelerin temsilcileriyle metroloji alanındaki konular görüşülür. CGPM 4 senede bir toplanır [15].

- **ISO (International Organization for Standardization)**

Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu, 23 Şubat 1947'de Cenevre, İsviçre'de kurulmuştur. Temel amacı, Dünya genelinde kullanılan standartları oluşturarak küresel sorunlara çözüm sunmaktır [16].

ISO, herhangi bir devlete bağlı değildir ve her ülkeden bir üyesi bulunan (Türkiye'den TSE) küresel bir ağa sahiptir. ISO, kar amacı gütmeyen bir kuruluştur ve elde ettiği gelirleri, mevcut standartları geliştirmek ve yeni standartlar oluşturmak için kullanmaktadır [17]. 2018 yıllık raporuna göre 120 tam üye olmakla beraber toplam 162 üyesi vardır ve kuruluşundan bugüne kadar toplam 22467 standart yayımlamıştır [18].

- **IEC (International Electrotechnical Commission)**

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu, 26 Ocak 1906'da Cenevre, İsviçre'de kurulmuştur. Elektroteknoloji (elektrik, elektronik ve buna bağlı teknolojiler) ile alakalı konularda standartları oluşturmaktadır ve kar amacı gütmeyen bir kuruluştur. IEC; uluslararası standartların geliştirilmesi ve tartışılması için şirketlere, endüstrilere ve devletlere bir platform oluşturmaktadır [19].

IEC'nin 2018 yıllık raporuna göre 86 tam üye olmakla beraber toplam 171 üyesi vardır. IEC, 31 Aralık 2018'e kadar toplam 10771 doküman yayımlamıştır. Bunlardan 6755 tanesi uluslararası standartlar, 3046 tanesi ISO tarafından yayımlanan ISO/IEC standartlarıdır. 970 tanesi ise rehberler, teknik raporlar ve teknik spesifikasyonlardan oluşmaktadır [20].

- **ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation)**

Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği, ticareti kolaylaştırmak ve ülkeler arasındaki işbirliğini geliştirme amaçlı kurulmuştur. Kalibrasyon, deney, tıbbi test laboratuvarları ve muayene laboratuvarları gibi uygunluk değerlendirme kuruluşlarının oluşturduğu uluslararası birliktir. ILAC, akredite laboratuvarlardan elde edilen sonuçların uluslararası alanda kabulü için çalışmaktadır [7, 21].

ILAC MRA, akreditasyon kuruluşları için uluslararası çok taraflı karşılıklı tanınma anlaşmasıdır. Bu anlaşmaya göre katılımcı akreditasyon kuruluşları, raporların uluslararası eşdeğerliliğini kabul etmektedir [22]. 2017 yıllık ILAC MRA raporuna göre Asya-Pasifik Laboratuvar Akreditasyon Birliği (APLAC), Arap Akreditasyon Birliği (ARAC), Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Amerika Akreditasyon Birliği (IAAC), ILAC karşılıklı tanınma anlaşmasına göre tanınan bölgesel kuruluşlardır ve toplam 97 ülke bu anlaşmayı imzalamıştır [21].

- **IAF (International Accreditation Forum)**

Uluslararası Akreditasyon Forumu; yönetim sistemleri, ürünler, hizmetler, personel ve diğer benzer uygunluk değerlendirmesi alanlarındaki kuruluşların oluşturduğu uluslararası birliktir. IAF, belgelendirme kuruluşları tarafından düzenlenen uygunluk belgelerinin uluslararası kabulü için çalışmaktadır. Temel amacı, iş hayatındaki riskleri azaltmak için dünyada geçerli bir program oluşturmaktır [7, 23].

IAF MLA, uluslararası karşılıklı tanınma anlaşmasıdır ve imzalayan ülkeler arasındaki sertifikaların tanınması anlamına gelmektedir [24]. 2017 yıllık IAF MLA raporuna göre Avrupa Akreditasyon Birliği (EA), Pasifik Laboratuvar Akreditasyon Birliği (PAC), Amerika Akreditasyon Birliği (IAAC) ve Arap Akreditasyon Birliği (ARAC), IAF karşılıklı tanınma anlaşmasına göre tanınan bölgesel kuruluşlardır ve toplam 67 ülke bu anlaşmayı imzalamıştır [23].

- **EA (European co-operation for Accreditation)**

Avrupa Akreditasyon Birliği; kalibrasyon laboratuvarları, deney laboratuvarları, tıbbi test laboratuvarları, muayene kuruluşları, yönetim sistemleri belgelendirme kuruluşları, ürün belgelendirme kuruluşları, personel belgelendirme kuruluşları ve diğer benzer uygunluk değerlendirmesi alanlarındaki kuruluşların oluşturduğu Avrupa'daki birliktir. Kar amacı gütmeyen bu birliğin temel amacı; ticaretteki teknik engelleri aşip ticareti kolaylaştırmak, ürün ve hizmet kalitesini sağlamak, sağlık, güvenlik ve çevreyi korumaktır [25, 26].

EA MLA, Avrupa Akreditasyonu Birliği'nin üye ülkeleri arasında imzalanan ve imzalayan ülkeler arasındaki sertifikaların tanınması sağlayan karşılıklı anlaşmadır [26]. IAF ve ILAC tarafından tanınan EA'ya Aralık 2018 raporuna göre toplam 34 ülke üyedir [26].

- **TÜRKAK**

Türk Akreditasyon Kurumu, uygunluk değerlendirme kuruluşlarının görevlerini uluslararası standartlara göre yerine getirip getirmediğini denetleyen kurumdur. 3 Kasım 2017 30229 sayılı resmi gazetede yayımlanan yönetmeliğe göre uygunluk değerlendirme kuruluşları TÜRKAK tarafından akredite edilmektedir [27].

TÜRKAK'ın denetim gerçekleştirdiği alanlar; deney laboratuvarları, kalibrasyon laboratuvarları, muayene kuruluşları, ürün belgelendirme kuruluşları, personel belgelendirme kuruluşları, tıbbi laboratuvarlar, yeterlilik deneyi sağlayıcıları, referans malzeme üreticileri, sera gazları doğrulayıcı kuruluşları, yönetim sistemleri belgelendirme kuruluşlarıdır [28].

TÜRKAK; ILAC, IAF ve EA'ya tam üyedir ve karşılıklı tanınma anlaşmaları imzalayarak akreditasyon kuruluşları arasında güven sağlamaktadır [6].

- **Türk Standardları Enstitüsü**

Türk Standardları Enstitüsü, ISO ve IEC'ye tam üyeliği bulunan, 18 Kasım 1960 yılında kurulan, temel amacı standart oluşturmak olan bir kuruluştur [29]. TSE'nin misyonu, ülkemizin rekabet gücünü artırmak, ulusal ve uluslararası düzeyde ticaretini kolaylaştırmak ve toplumun yaşam düzeyini yükseltmek için; standardizasyon, uygunluk değerlendirme, deney ve kalibrasyon faaliyetlerini tarafsız, bağımsız, etkin ve güvenilir olarak sağlamaktır [30].

- **Ulusal Metroloji Enstitüsü**

Ulusal Metroloji Enstitüsü, birincil seviye laboratuvar olup, çalışmalarını Tübitak çatısı altında yürütmektedir. Enstitü kendi amacını şöyle tanımlamaktadır:

“Enstitü'nün amacı, Türkiye'de yapılan tüm ölçümleri güvence altına almak, bu ölçümlerin uluslararası sisteme entegrasyonunu sağlamak, mevcut ve yeni ölçme teknolojilerini

geliştirmek, böylece ticari ve endüstriyel ortamda kullanılan ölçümlerin doğruluğunu temin etmek için gerekli Ulusal Metroloji Sistemi'ni oluşturarak ulusal ve uluslararası ticarete eşitliğin sağlanmasına ve Türk endüstriyel ürünlerinin kalitesinin artırılmasına ve Türkiye'nin bilimsel ve teknolojik gelişmesine katkıda bulunmaktır” [31].

#### **2.4.ISO/IEC 17025:2017 Standardı**

ISO, Dünya genelinde kullanılan ISO standartlarını oluşturmaktadır. ISO standartları, bir şeyi en iyi şekilde yapmanın yöntemlerini açıklayan ya da bir probleme çözüm bulan standartlardır. ISO standartları; ürünlerin birbirleriyle uyum içinde çalışmasını sağlamaktadır, güvenlik meselelerini tanımlamaktadır ve bir şeyin nasıl yapılacağı ile ilgili fikirler ve çözümler sunmaktadır. Örneğin A4 kâğıt boyutunun bir standart tarafından belirlenmesi, kâğıtların yazıcılarla uyum içinde çalışmasını sağlamaktadır. Ya da kredi kartı boyutlarının belirlenmesi, kredi kartlarının atm ve post cihazlarıyla uyum içinde çalışmasını sağlamaktadır [17].

IEC, Dünya genelinde kullanılan elektroteknoloji ile ilgili konularda standartlar oluşturmaktadır. IEC standartlarının temel amacı; elektrik, elektronik ve bilgi teknolojileri ile ilgili konularda güvenlik, güvenilirlik ve verimi sağlayarak uluslararası ticaretin gelişmesini sağlamaktır [32].

ISO/IEC 17025 deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yetkinliği için genel gereklilikler standardı, güvenilir sonuçlar üretmek isteyen deney ve kalibrasyon laboratuvarları için uluslararası referanstır. ISO/IEC 17025 standardına uygun olarak çalışan laboratuvarlar, geçerli ve güvenilir sonuçlar üretmektedir. Bu laboratuvarlar tarafından verilen raporların uluslararası geçerliliğe sahip olması, uluslararası ticareti kolaylaştırmaya yardımcı olmaktadır.



ISO/IEC 17025 standardı ilk kez 1999 yılında yayımlanmıştır ve 2005 yılında revizyon olmuştur. 2005 yılından bu yana teknolojiye yaşanan gelişmeler ve piyasa şartlarından dolayı standartta değişim ve güncelleme ihtiyacı ortaya çıkmıştır [33].

2005 yılındaki 17025 standardında genel yapılandırma şöyle iken; [34].

- Kapsam
- Atıf yapılan dokümanlar
- Terimler ve tanımlar
- Yönetim şartları
- Teknik şartlar

2017 yılında revizyon olan yeni standarttaki yapılandırma şöyledir: [4].

- Kapsam
- Atıf yapılan dokümanlar
- Terimler ve tanımlar
- Genel gereklilikler
- Yapısal gereklilikler
- Kaynak gereklilikleri
- Proses gereklilikleri
- Yönetim sistemi gereklilikleri

ISO/IEC 17025:2017 standardında anlatılan karar kuralı, ISO/IEC 17025:2005 standardına göre yapılan en önemli değişikliklerdendir [4, 35]. Yapılan bu değişikliğe göre laboratuvar, ölçüm belirsizliğini hesaba katarak karar kuralı uygulamalı ve uygunluk değerlendirmesi yapmalıdır. Müşteri ile hangi karar kuralını uyguladığı konusunda mutabık kalarak bu karar kuralını verilen raporlarda belirtmelidir [4, 36].

Risk temelli düşünce yöntemi, 2017 yılındaki standartta anlatılan bir diğer önemli değişikliklerdendir [4, 34]. Laboratuvarlardan, riskleri ve fırsatları ele alması için gereken işlemleri planlaması ve faaliyete geçirmesi beklenmektedir. Hangi risklerin ve fırsatların ele alınması ve bunları hangi yöntemle uygulaması gerektiği laboratuvarların tercihine bırakılmıştır [33, 35].

2017 yılında yayımlanan 17025 standardındaki diğer değişikliklerden bazıları şunlardır: [33, 35].

- Yeni standartta “deney ve kalibrasyon laboratuvarı” ifadesi “laboratuvar faaliyetleri” ifadesi ile yer değiştirmiştir. Laboratuvar faaliyetleri ifadesi; “deney”, “kalibrasyon” ve “ilgili deney ve kalibrasyonu ile ilişkisi olması durumunda numune alma” faaliyetini kapsamaktadır [33, 35].
- Uluslararası Metroloji Sözlüğü’ne (VIM) göre terminoloji güncellenmiştir.
- Teknolojinin gelişmesi sebebiyle bilgi teknolojileri kullanımına odaklanılmıştır. Elektronik kayıtlar, yazılım gibi ifadeler daha çok kullanılmaya başlanmıştır.

### **2.5.Adli Bilimler Laboratuvarlarında ISO/IEC 17025 ve Kalibrasyonun Önemi**

Suç unsuru sayılabilecek delillerin zarar görmeden en iyi şekilde inceleme yapılacak adli bilimler laboratuvarına taşınması gerekmektedir. Laboratuvara taşınan delillerin incelenmesinde yaşanabilecek bir hata ya da hatalar zinciri, hâkimlerin yanlış karar vermesine sebep olabilir. Dolayısıyla bu da adaletin yerini bulmamasına sebep olabilir. Olası bir hatayı engellemek için suç delillerinin akredite laboratuvarlarda incelenmesi gerekmektedir [5, 37].

Adli bilimler laboratuvarları deney laboratuvarlarıdır ve bundan dolayı ISO/IEC 17025 standardına göre yönetilmektedir. Adli bilimler laboratuvarlarının akreditasyona sahip olması, teknik olarak güvenilir sonuçlar ürettiğini göstermektedir. ISO/IEC 17025 standardına göre

akredite olan bir adli bilimler laboratuvarının vermiş olduğu bilirkişilik hizmetleri, laboratuvarında alınan ölçümler, inceleme ve analizlerin güvenilirliği, ulusal ve uluslararası olarak belgelenmektedir [37].

ISO/IEC 17025 standardına göre çalışan bir adli bilimler laboratuvarı, belirli aralıklarla kullanmış olduğu cihazların kalibrasyonlarını yaptırmak zorundadır. Standart gereği yapması zorunlu olan bu işlemi, ISO/IEC 17025 standardına göre akredite olan kalibrasyon laboratuvarları tarafından yaptırması gerekmektedir. Böylece kullanmış olduğu cihazların performansı ile ilgili bilgi sahibi olup, kalibrasyon sonrası gereken işlemleri başlatmaktadır.

Bazı cihazların kalibrasyonu için ya da bazı cihazların bazı parametrelerinin kalibrasyonu için bu alanda Türkiye’de hizmet veren akredite kalibrasyon laboratuvarı bulunmayabilir. Bu gibi özel durumlarda adli bilimler laboratuvarları, varsa yurtdışından akredite laboratuvarlardan hizmet satın alabilir ya da Türkiye’deki güvenilir kalibrasyon laboratuvarlarıyla iletişime geçerek yapılan bu kalibrasyon işleminin güvenilirliğini ve gerekçelerini TÜRKAK’a sunmalıdır [11].

## **2.6.Sıcaklık Ölçümü**

### **2.6.1. Sıcaklık**

Bir nesnenin sıcaklığı dediğimizde, ona dokunulduğunda hissedilen sıcaklık ve soğukluk derecesini belirtiriz [38]. Sıcaklık kavramının anlaşılabilmesi için ısı temas ve ısı denge kavramlarının anlaşılması gerekir. Sadece birbirleri ile etkileşen fakat dünyanın geri kalan kısmı ile etkileşmeyen yalıtılmış kabın içinde iki cisim düşünelim. Birbirleri ile temasta bulunmasalar bile aralarında enerji alışverişi olur. Isı, farklı sıcaklıktaki iki cisim arasındaki enerji transferidir. Yalıtılmış kabın içindeki bu iki cisim arasında enerji alışverişi

gerçekleşiyorsa bu iki cisim ısı temastadır. Isıl denge ise birbirleri ile ısı temasta olan iki cismin artık enerji alışverişinin olmaması durumudur [38, 39].

Sıcaklıkları farklı iki cisim birbirleri ile temas ederlerse sıcaklıkları belli bir süre sonra eşit olur. Örneğin bir buz küpünü sıcak bir kahve fincanına döktüğümüzde erir ve kahvenin sıcaklığını azaltır [39].

### **2.6.2. Sıcaklık ölçümünün önemi**

Sıcaklık ölçümü; bilim, teknoloji ve endüstride en önemli parametrelerden biridir. Hayatımızın hemen hemen her alanında farkında olsak ya da olmasak sıcaklık ölçümü temel bir işlemdir [38]. Sağlık alanını düşünürsek; ilaçların belirli bir sıcaklıkta çalışan cihazlar yardımıyla üretilmesi gerekir. İlaçların üretimi kadar üretildikten sonra depolanması da önemli bir konudur. İlaçların etkisini kaybetmemesi için belirli bir sıcaklıkta depolanması gerekir. Üretim ve depolamada sağlanması gereken sıcaklıklar, sıcaklık ölçen cihazlar yardımıyla ölçülür. Gıda alanını düşünürsek; yiyecek ve içeceklerin belirli bir sıcaklıkta muhafaza edilmesi gerekir. Buzdolabının ya da derin dondurucuların belirli bir sıcaklıkta çalışması gerekir. Marketlerin belirli bir sıcaklıktaki ortamı sağlaması gerekir. Gıda firmalarının kendi belirlemiş olduğu kaliteli ürünü sağlaması için üretim aşamasında belirli sıcaklıktaki fırınlar kullanılır. Yine aynı şekilde buralardaki sistemi izlemek için de sıcaklık ölçen cihazlar gerekir. Otomotiv, metal, plastik, cam sektörü gibi birçok farklı endüstride de kullanılan sıcaklık ölçen cihazlar üretimin en önemli araçlarından.

### **2.6.3. Sıcaklık ölçümlerinde metrolojik izlenebilirlik**

Sıcaklık ölçümlerinin dünyanın her yerinde doğru, güvenilir ve denk olmasını sağlamak için bir ölçek oluşturulmuştur. Sabit nokta sıcaklıklarının tanımlandığı bu ölçek, Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ya da ITS-90 olarak bilinmektedir. Farklı senelerde düzenlemeleri yapılan bu

ölçek en son 1990 yılında düzenlenmiştir ve yapılan tüm sıcaklık ölçümleri ITS-90'a göre izlenebilir yapılmalıdır [38, 40].

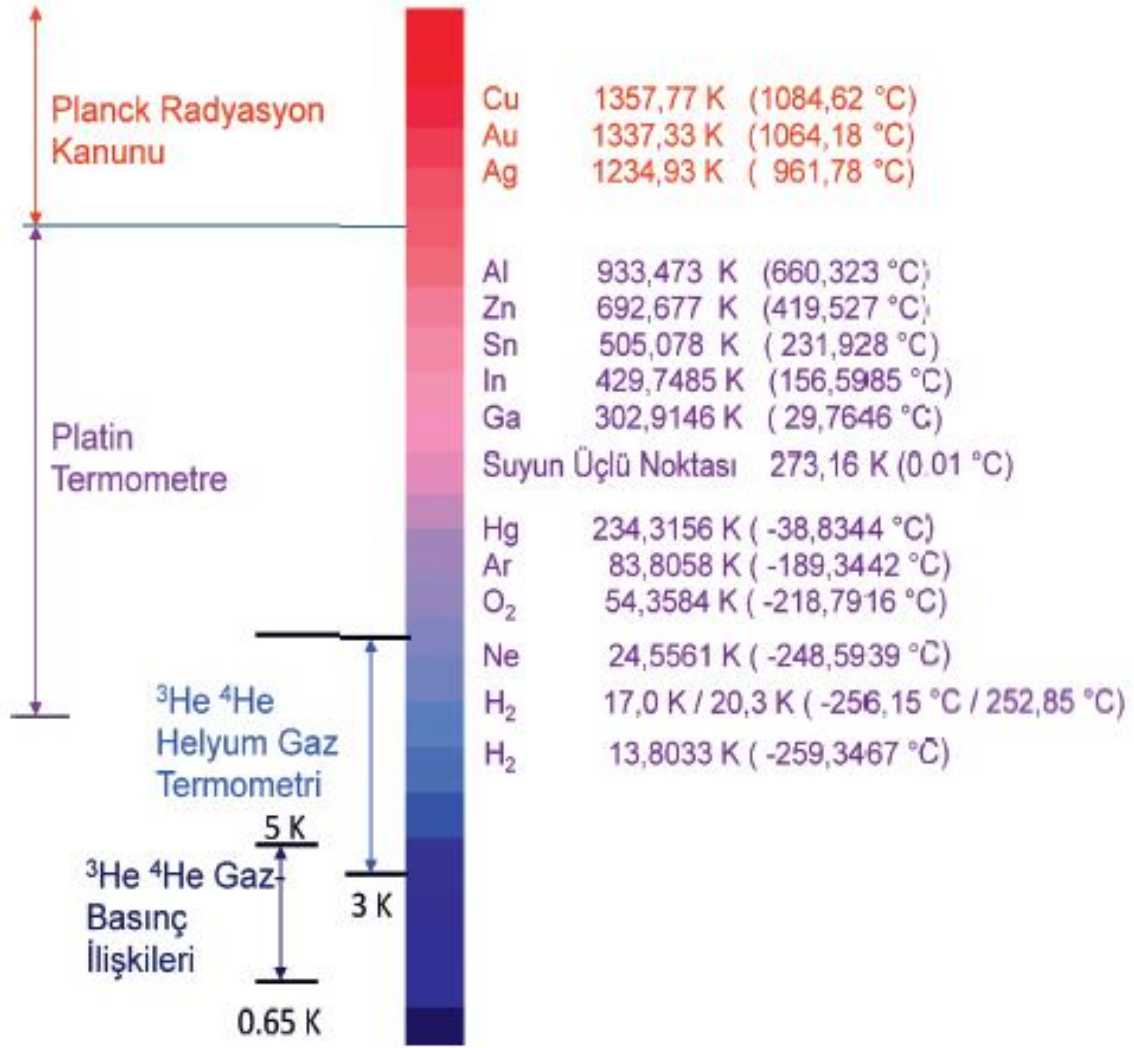
Termodinamik sıcaklığın SI birimi Kelvin'dir ve K sembolüyle gösterilir. 2019 yılında tanımı değişen Kelvin, Boltzman sabiti  $k=1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ J / K}$  alınarak tanımlanmaktadır. ( $J/K= \text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ) [9, 10, 41]. Pratikte kullandığımız sıcaklık Celcius sıcaklığı olarak ifade edilir ve t ile gösterilir. Termodinamik sıcaklık, T, Kelvin birimini kullanır ve t ile T dönüşümü şöyledir: [9, 40].

$$t / ^\circ\text{C} = T / \text{K} - 273,15$$

#### 2.6.4. ITS-90 sabit nokta sıcaklıkları

Şekil 1'de gösterilen Uluslararası Sıcaklık Ölçeği farklı sıcaklık aralıklarından oluşmaktadır: [40].

- 0,65K ile 5K arasında  $^3\text{He}$  ve  $^4\text{He}$  gaz-basınç ilişkileri
- 3K ile 24,5561K arasında gaz termometresi
- 13,8033K ile 1234,93K arasında platin direnç termometresi
- 1234,93K üzerinde Planck ışınım kanunu interpolasyon cihaz ve eşitlikleri



Şekil 1: ITS-90 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği [40].

ITS-90 sabit nokta sıcaklıkları şöyledir: [42, 43].

- Helyumun kaynama noktası: -268,15 °C
- Hidrojenin üçlü noktası: -259,3467 °C
- 33,36 kPa basınçta hidrojenin kaynama noktası: -256,15 °C
- Hidrojenin kaynama noktası: -252,85 °C
- Neonun üçlü noktası: -248,5939 °C

- Oksijenin üçlü noktası: -218,7916 °C
- Argonun üçlü noktası: -189,3442 °C
- Civanın üçlü noktası: -38,8344 °C
- Suyun üçlü noktası: 0,01 °C
- Galyumun erime noktası: 29,7646 °C
- İndiyum donma noktası: 156,5985 °C
- Kalayın donma noktası: 231,928 °C
- Çinkonun donma noktası: 419,527 °C
- Alüminyum donma noktası: 660,323 °C
- Gümüşün donma noktası: 961,78 °C
- Altının donma noktası: 1064,18 °C
- Bakırın donma noktası: 1084,62 °C

### **2.6.5. Termometre çeşitleri ve özellikleri**

Karşılaştırma yöntemi ile gerçekleştirilen sıcaklık kalibrasyonu faaliyetlerinde sıcaklık ortamını oluşturmak için sıcaklık kaynağı kullanılır. Ancak oluşturulan bu ortam, karşılaştırma yapmak için yeterli olmadığından karşılaştırmalı kalibrasyon faaliyetinde izlenebilirliği sağlanmış referans termometre kullanılmalıdır [2, 44]. Referans termometre, tek bir model olmayıp yapılacak kalibrasyon faaliyetine göre değişkenlik göstermektedir. Referans olarak kullanılan termometreler genellikle platin bazlı olup bunlar standart platin direnç termometreleri, platin direnç termometreleri ve platin kökenli ısılıçiftlerdir.

İzlenebilirliği sağlanmış herhangi bir termometrenin kalibrasyonunda kullanılmasına bir engel yoktur. Ancak kullanılacak kötü bir termometre direkt olarak belirsizliğe etki ederek laboratuvarın kalitesinin düşük olmasına sebep olmaktadır [2].

- ***Standart platin direnç termometreleri***

Standart platin direnç termometreleri, ya da bilinen adıyla SPRT'ler,  $-259,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında çalışır. Bu aralıkta çalışan tek bir SPRT olmamakla birlikte üç tip SPRT mevcuttur [45, 46].

- Uzun saplı termometre olarak bilinen SPRT, en çok kullanılan SPRT olup  $-189,352\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $419,527\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında çalışır.
- Kapsül SPRT;  $-189,352\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında çalışır.
- HTSPRT olarak bilinen yüksek sıcaklık standart platin direnç termometreleri,  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında çalışır.

SPRT'ler çok hassastır ve kullanırken çok dikkat etmek gerekir. Zarar gördüğü zaman geri dönüşü yoktur. SPRT kalibrasyon belirsizlikleri genellikle çok düşük geldiği için hizmet, kalite, güvenilirlik açısından bakılırsa kalibrasyon laboratuvarları tarafından ilk sırada tercih edilen bir termometre çeşididir.

- ***Platin direnç termometreleri***

Platin direnç termometreleri, ya da bilinen adıyla PRT'ler,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki direnç değeri  $100\Omega$  (Pt-100) ya da  $1000\Omega$  (Pt-1000) olan ve genellikle  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında çalışan termometrelerdir. 2, 3 ya da 4 telli bağlantı ile gösteregeye bağlanarak  $\Omega$  olarak elektriksel bir değer okunur ve daha sonra Calendar Van Dusen denklemi ya da polinom eğrisi kullanılarak  $^{\circ}\text{C}$ 'ye çevrilir [40]. Sıcaklık aralığı, hassasiyet, dayanıklılık sebebi ile kalite ve fiyatı aynı anda



değerlendirildiğinde kalibrasyon laboratuvarları tarafından tercih edilen bir termometre çeşididir.

- **Isılçiftler**

SPRT ve Pt-100 tipi termometrelerin çalışma aralığının yetmediği sıcaklıklarda kalibrasyon laboratuvarları tarafından tercih edilen termometre çeşididir. Sadece kalibrasyon laboratuvarları açısından değil endüstride de en çok kullanılan termometre çeşididir. SPRT ya da Pt-100'ler gibi hassas ölçüm iddiası olmasa bile çoğu zaman çoğu sektör tarafından yeterli bulunduğu için tercih edilmektedir. -200 °C ile 1600 °C çalışma aralığına sahip ısılıçiftler, iki farklı alaşımın uçlarının birleşmesiyle elde edilir ve kullanılan malzemeye göre sınıflandırma yapılır. K, J, N, E, T tipi olarak sınıflandırılan endüstriyel ısılıçiftler ve R, S, B tipi olarak sınıflandırılan platin-rodyum bazlı ısılıçiftler olarak iki sınıfa ayrılabilir [44, 47].

#### **2.6.6. Termal kaynaklar**

Uluslararası sıcaklık ölçeğine (ITS-90) göre belirlenen sabit noktalar en güvenilir sıcaklık kaynaklarıdır. Bu sıcaklık kaynakları birincil seviye olup genellikle ulusal metroloji enstitülerinde bulunur [40, 44]. İkincil seviye kalibrasyon laboratuvarları ITS-90 sabit nokta sıcaklıklarından genellikle hazırlaması kolay ve fiyatı diğer sabit noktalara göre uygun olduğundan dolayı 0,01 °C sıcaklık değerine sahip suyun üçlü noktasını tercih eder.

Buz noktası, her ne kadar ITS-90 sabit nokta sıcaklıklarından biri olarak kabul edilmese de kalibrasyon laboratuvarları tarafından çok sık kullanılan bir sıcaklık kaynağıdır. Buz noktasının avantajı basit, etkili ve uygun fiyatlı olmasıdır. Buz noktasında; buz ve su termal dengededir ve iyi hazırlanmış bir buz 0,0 °C'dir. Suyun üçlü noktası hücreleri geliştirilene kadar birçok sıcaklık ölçeklerinde kullanılmıştır [48, 49].

İkincil seviye kalibrasyon laboratuvarları genellikle  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar kalibrasyon hizmeti vermektedir ve bu çalışma aralıklarını sağlamak için genellikle alkol banyoları, su banyoları, yağ banyoları, tuz banyoları ve kuru blok kalibratörleri tercih etmektedir. Her bir kaynağın farklı kullanım aralıkları vardır ve kalibrasyon laboratuvarları bu termal kaynakları kullanarak kalibrasyon faaliyetlerini gerçekleştirmektedirler.

Termal kaynaklar, genellikle şu sıcaklık aralıklarında kullanılır: [40].

- Alkol banyoları;  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Su banyoları;  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Yağ banyoları;  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Tuz banyoları;  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Kuru blok kalibratörler;  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$

## **2.7.Sıcaklık Kalibrasyon Yöntemi**

Sıcaklık kalibrasyonlarında sabit nokta sıcaklıkları ile karşılaştırma yöntemi ve referans cihazlar ile karşılaştırma yöntemleri kullanılır. Sabit nokta sıcaklıkları ile karşılaştırma yöntemi genellikle birincil seviye laboratuvarların yaptığı iştir [40]. Sabit nokta sıcaklık sistemlerini kurmak pahalı bir işlem olduğu için genellikle ikincil seviye laboratuvarları mali açıdan zorlar. Hem de bu sistemi kurmak için özel yetişmiş personellere ihtiyaç vardır. Ulusal metroloji laboratuvarları hem sabit nokta sıcaklık ile karşılaştırma yöntemi hem de referans cihaz ile karşılaştırma yöntemini kullanır. Endüstride en çok tercih edilen kalibrasyon yöntemi referans cihazlar ile karşılaştırma yöntemidir.

Termometreler, sıcaklığı sabit kabul edilen bazı cisimlerle ısı dengeye getirilerek kalibre edilirler [39]. Sıcaklık kalibrasyonu termodinamiğin sıfırıncı yasası esas alınarak yapılır ve termodinamiğin sıfırıncı yasası şöyledir:

- *Eğer A ile B termal dengede ise ve B ile C termal dengede ise A ile C termal dengededir* [39].

Termodinamiğin sıfırıncı yasasından hareket edersek A'yı referans cihaz, B'yi sıcaklık kaynağı ve C'yi de kalibre edilen cihaz olarak düşünersek; A cihazı, B sıcaklık kaynağının içinde stabil hale gelmiş ise (termal denge) ve C cihazı da B sıcaklık kaynağının içinde stabil hale gelmiş ise A cihazının sıcaklığının C cihazının sıcaklığına eşit olması gerekir.

Çoğu zaman A ile C cihazı; aynı üretici tarafından üretilmemesi, kalitesi farklı malzemelere sahip olması, gösterge hatası gibi birçok etkiden dolayı aynı sıcaklık değerini göstermeyebilir. Çok sayıda değişken olmasına rağmen genel olarak ifade etmek gerekirse cihazın kalitesi ve ölçüm esnasında oluşan hatalar sebebi ile A ile C cihazının göstergede okuduğu sıcaklık değeri farklıdır.

## **2.8.Ölçüm Belirsizliği**

Eğer bir şey ölçülüyorsa, orada mutlaka ölçüm sonucunun geçerliliği ile ilgili bir şüphe yani belirsiz bir durum vardır [50]. Bu belirsiz durum, ölçümün yanlış yapıldığı ya da ölçüm sonucunun yanlış olduğu anlamına gelmez. Bahsedilen bu belirsiz durum, yapılan ölçümün ne kadar güvenilir olup olmamasıyla ilgilidir. Belirsizlik, şüphe ile eşdeğer bir ifadedir. Bu durumda ölçüm belirsizliği, ölçüm sonucunun geçerliliği hakkındaki şüpheyi ifade etmektedir. BIPM, 1980 yılında belirsizliklerle ilgili olarak CIPM tarafından talep edilen bir toplantı düzenlemiştir. Bu toplantıda Recommendation INC-1 1980 Guide to experimental uncertainties adında bir çalışma yapılmıştır ve CIPM tarafından 1981 ve 1986 yıllarında onaylanmıştır. Bu

çalışma, bugünkü ölçüm belirsizlikleri hesaplamalarının temelini oluşturmuştur [50]. Yapılan bu çalışmaya göre belirsizlikler ile ilgili olarak şunlar önerilmiştir: [50, 51].

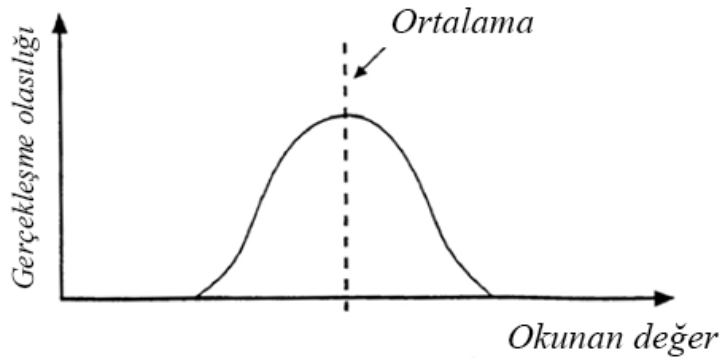
- 1- Bir ölçüm sonucundaki belirsizlik çok sayıda bileşenden oluşur ve iki kategoriye ayrılabilir.
  - A. İstatistiksel metotlar kullanılarak elde edilenler
  - B. Diğer yöntemler kullanılarak elde edilenler
- 2- A kategorisindeki belirsizlik bileşenleri, tahmini varyans  $s_i^2$  ve serbestlik derecesi  $\nu_i$  olarak karakterize edilir.
- 3- B kategorisindeki belirsizlik bileşenleri, varlığı kabul edilen ilgili varyanslara yaklaşımlar olarak kabul edilen  $u_j^2$  ile gösterilen niceliklerle karakterize edilmelidir.  $u_j^2$  varyans,  $u_j$  standart sapma olarak düşünülebilir.
- 4- Birleşik belirsizlik, varyansların birleştirilmesi için klasik yöntemler kullanarak elde edilen rakamsal değer olarak karakterize edilmelidir. Birleşik belirsizlik ve bileşenleri, standart sapma olarak belirtilmelidir.
- 5- Belli bir uygulama için ulaşılan belirsizlik, birleşik belirsizliğin belli bir faktörle çarpımı ile elde ediliyorsa, kullanılan çarpım faktörü her zaman belirtilmelidir.

Bir kalibrasyon laboratuvarı, ölçüm belirsizliği hesaplarken belirli dokümanları referans olarak kabul etmelidir. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) dokümanı, Recommendation INC-1'i baz alarak ölçüm belirsizliği hesaplamada ana doküman olma özelliği taşıyıp EA-4 02 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration dokümanı ise özellikle kalibrasyondaki ölçüm belirsizlikleri ile ilgilenmektedir [2].

### 2.8.1. Olasılık dağılımlar

Olasılık dağılımı, bir olayın gerçekleşmesi mümkün değerlerini ifade eder ve olasılıkların toplamı 1'e ya da diğer bir ifadeyle %100'e eşit olmalıdır [50]. Kalibrasyon laboratuvarlarında pratikte en çok kullanılan olasılık dağılımları normal dağılım ve dikdörtgenel dağılımdır.

Normal dağılım ya da Gauss dağılımı olarak ifade edilen bu dağılım en çok kullanılan dağılımdır ve istatistiksel yorumlamada önemli bir yer tutar [1, 50]. Örnek üzerinden gidersek; bir marketten havuç satın almak istediğimizde alacağımız havucun uzunluğu genellikle 20 cm civarındadır. 5 cm ya da 50 cm uzunluğa sahip bir havuç görme olasılığı çok çok düşüktür. İçlerinde elbette 14 cm, 18 cm, 22 cm uzunluğa sahip havuçlar da vardır ancak büyük bir kısmı 20 cm civarındadır. Her havucun uzunluğu tam anlamıyla da 20 cm olmayacağından dolayı uzunluk dağılımı, ortalamanın etrafında toplanacaktır ve Şekil 2'de gösterildiği gibi bir salınım olacaktır.



Şekil 2: Normal dağılım grafiği [1].

Değişken değerimize  $x$  dersek ve  $-\infty$  ile  $+\infty$  arasında kabul edersek olasılık fonksiyonumuz aşağıdaki gibidir;

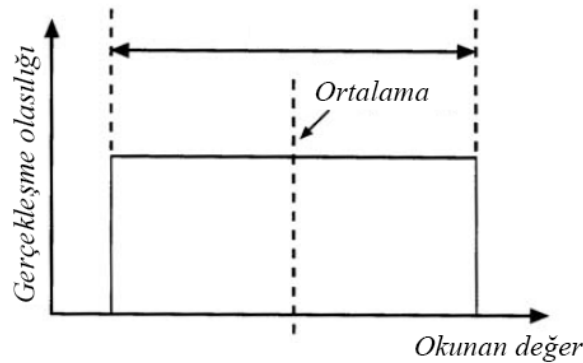
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

$\mu$ , ortalama değere karşılık gelirken  $\sigma$  ise normal dağılımın standart sapmasıdır.

Olasılık eğrisinin altında kalan alanı bulmak istersek integralden yararlanırız ve bu alan 1'e eşittir.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$$

İstatistiksel yorumlamada ve kalibrasyon laboratuvarları tarafından çok kullanılan dağılımlardan biri de dikdörtgensel dağılımdır [2, 50]. Şekil 3'te görüldüğü üzere bu tip dağılımda sınır değerler bellidir. Değişken değerimizin alt ve üst limitleri olup sadece buralarda bulunma olasılığı vardır. Olasılık dağılım grafiği şöyledir:



**Şekil 3: Dikdörtensel (tekdüze) dağılım [1].**

### 2.8.2. A tipi standart belirsizlik

A tipi standart belirsizliği, istatistiksel analizleri esas alan, tekrarlanan ölçümler ile elde edilen belirsizlik tipidir. Tekrarlanan ölçümler söz konusu olduğunda, ölçümlerin hangi aralıklarla yayıldığı önemlidir. Ölçümlerin dağılımı, ölçümlerin kalitesi ile ilgili fikir edinmemizi sağlar ve ölçüm güvenilirliği açısından en az 10 ölçüm alınır [1, 50, 52].

Gözlemlenen değere  $q_j$  dersek ve  $n$  sayıda ölçüm alırsak aritmetik ortalama aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j$$

n sayıda alınan ölçümün deneysel standart sapması, s, şöyle ifade edilir:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n-1}}$$

### 2.8.3. B tipi standart belirsizlik

B tipi standart belirsizliği, istatistiksel analizler dışındaki yöntemlerle belirlenen belirsizlik tipidir ve B tipi standart belirsizliğine aşağıdaki durumlar gösterilebilir: [1, 50, 52].

- Daha önceki ölçüm verileri
- Üretici spesifikasyonları
- Kalibrasyon sertifikasındaki değerler
- Cihazın uzun süreli davranışına ait bilgiler
- Cihazın kullanma kılavuzundan alınan bilgiler

Bu bilgiler esas alınarak hesaplanan standart belirsizlik şöyledir:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

a: üst ve alt limit arasındaki yarı aralık

### 2.8.4. Birleşik standart belirsizlik hesabı

A tipi ve B tipi standart belirsizlik hesaplamaları kareköklerin toplamı kuralıyla birleştirilebilir ve birleşik standart belirsizlik olarak isimlendirilir [1].

$$\text{Birleşik standart belirsizlik} = u_c = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

### 2.8.5. Kapsam faktörü ve genişletilmiş belirsizlik

Elde edilen birleşik standart belirsizliğini genişletmek için kapsam faktörü kullanılır. Birleşik standart belirsizliği ‘bir standart sapma’ olarak düşünülebilir. Kapsam faktörü, k, elde edilen ölçüm belirsizliğinin güven aralığını belirler [1].

Kalibrasyon laboratuvarları genellikle kapsam faktörü k’yı 2 olarak almaktadır ve bu yaklaşık olarak %95 güven düzeyindedir. Yani sunulan ölçüm belirsizliğinin %95 güvenle olduğu belirtilmiş olur.

- Kapsam faktörünü 1 alırsak; yaklaşık %68 güven düzeyi
- Kapsam faktörünü 2 alırsak; yaklaşık %95 güven düzeyi
- Kapsam faktörünü 3 alırsak; yaklaşık %99,7 güven düzeyi

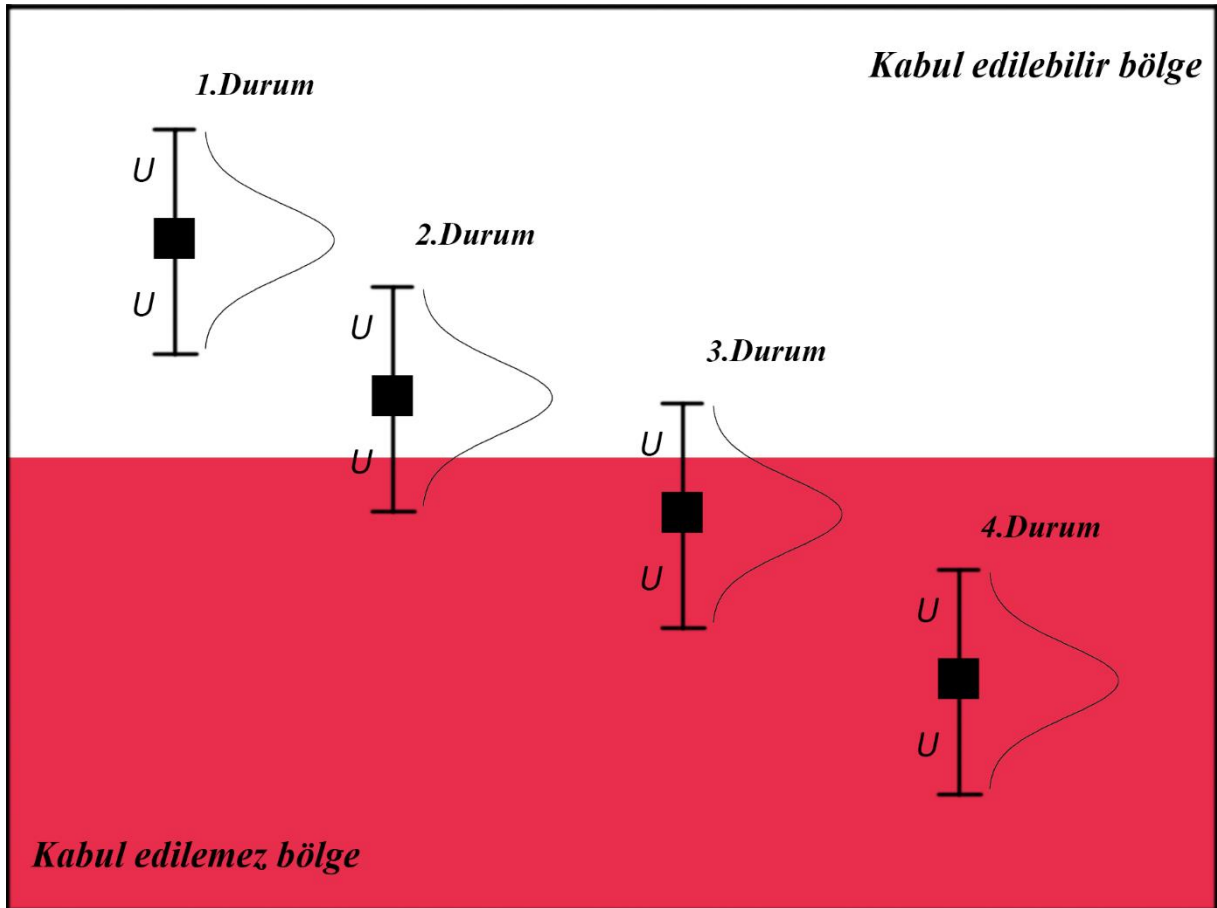
Birleşik standart belirsizliğini ( $u_c$ ) kapsam faktörü (k) ile genişlettiğimizde elde edilen genişletilmiş belirsizlik olarak isimlendirilir ve U ile gösterilir.

- $U = k \cdot u_c$

### 2.9.Uygunluk Değerlendirmesi

Ölçüm sonucu ve ölçüm belirsizliği hesaplanan cihazın uygunluğunu değerlendirmek istersek temelde 4 çeşit olası durumu göz önünde bulundurmalıyız [36, 53-57].





**Şekil 4: Uygunluk değerlendirme kriterleri**

Şekil 4'te gösterilen ölçüm sonucunun mutlaka bir ölçüm belirsizliği ile verilmesi gerektiği gerçeğinden hareketle;

- 1. durumda genişletilmiş ölçüm belirsizliği ile beraber cihazın uygunluğundan bahsedebiliriz.
- 4. durumda genişletilmiş ölçüm belirsizliği ile beraber cihazın uygun olmadığından bahsedebiliriz.
- 2. ve 3. durumda cihazın uygun olduğuna ya da uygun olmadığına karar vermek için matematiksel modellerden yararlanarak karar kuralı uygulamalıyız.

## **2.10. Sıcaklık Cihazlarının Kalibrasyon Gerekliği**

Bilim, teknoloji ve endüstride kullanılan sıcaklık ölçen cihazların güvenilir olması gerekmektedir. Bir cihazın güvenilir olması; doğruluk ve kesinlik ilkelerine uygun çalışması demektir. Yani belirli bir kabul aralığında doğru ölçmesi (doğruluk) ve her defasında aynı sonuca yakın değerler göstermesi (kesinlik) demektir. Sıcaklık ölçen cihazlar bu kriterlere uymuyorsa yapılan tüm işlerin güvenilirliği sarsılmaktadır [58].

Cihazın doğruluk ve kesinlik ilkelerine uygun hareket edip etmediğini görmek için ya da bu ilkelere nasıl cevap verdiğini görmek için cihazın performansını değerlendirmek gerekir. Kalibrasyon işlemi de tam olarak cihazın performansını değerlendirmektir.

## **2.11. Adli Bilimler Laboratuvarlarındaki Sıcaklık Cihazlarının Kalibrasyonun Önemi**

Adli bir olayın çözümü için delillerin adli bilimler laboratuvarında hassas bir şekilde incelenmesi gerekir. Bunun için adli bilimler laboratuvarı çeşitli cihazlara ihtiyaç duyar. Örneğin; ilaç, gıda, uyuşturucu analizi gibi organik analizde kullanılan sıcaklık cihazlarından bazıları şunlardır:

- Sayısal termometre
- Etüv
- Su banyosu
- Buzdolabı
- Derin dondurucu

Bu cihazlarla yapılan ölçümlerin güvenilirliği tespit edilmelidir. Bu yüzden belirli aralıklarla akreditasyona sahip kalibrasyon laboratuvarı tarafından ölçümleri yaptırılmalıdır [11, 59].

Böylece cihazların hangi güven aralığında nasıl sonuçlar ürettiği bilinmiş olur. İstenilen

tolerans aralıklarının dışında sonuçlar çıkarsa gerekli önlemler alınmalıdır. Aksi takdirde adli bilimler laboratuvarlarındaki deneysel sürecin güvenilirliği tehlikeye girebilir.

### **2.12. Sıcaklık Cihazlarının Kalibrasyon Aralığı**

Termodinamiğin 2. yasasına göre doğadaki olaylar her zaman tek yönlü ilerler ve tersinmez süreçler olarak tanımlanır. Örneğin sıcaklığı farklı iki cisim temas ederse ısı akışı her zaman sıcaktan soğuğa doğru akar. Doğal süreçlerde ısı akışı hiçbir zaman soğuktan sığağa doğru olmaz [39].

Entropi, termodinamiğin 2.yasasının temel kavramıdır. Doğadaki olayların sürekli olarak düzensizliğe doğru eğilim gösterdiğinden bahseder ve entropi, sürekli bir artış gösterir. Her şeyin yıpranması gerektiğini söyleyen termodinamiğin 2.yasasından hareketle, kullanılan tüm sıcaklık ölçen cihazların sürekli aynı performansı vermesi beklenemez. Kullanılan cihazların da bir ömrü vardır. Cihazın malzemesi, mühendisliği, fiyatı, genel olarak cihazın kalitesi direkt olarak ömrüne etki eder [4, 59].

Kalibrasyon, belirli aralıklarla yapılması gereken bir iştir. Cihazlar, hangi zaman aralıklarıyla kalibrasyona gönderilir sorusunun cevabı biraz karmaşıktır. Cihazın kalibrasyon aralığını belirlemede cihazların kullanım sıklığı ve ölçümlerdeki şüphe etkili olabilir [59].

Cihazların kullanım sıklığı kalibrasyon aralıklarını belirlemede en önemli kriterdir. Cihazlar çok sık kullanılıyorsa kalibrasyon aralıklarını kısa tutmak mantıklı olabilir ancak kalibrasyon aralıklarını belirlemek için belli bir zaman gerekebilir. Örneğin yeni satın alınan bir cihazı senede bir kalibrasyona göndereceğimizi planlayalım. Cihaz satın alındıktan sonra kalibrasyona gönderilir ve kullanıma girer. Bir sene sonra tekrar kalibrasyona gönderilir. İki kalibrasyon verileri arasında istenilen değerin aşıldığı görülüyorsa cihazın kalibrasyon aralığı 6 aya çekilebilir. Ya da iki kalibrasyon verisi arasında çok fazla bir değişme olmamışsa kalibrasyon

süresi bir yıl olarak kalabilir ve sonraki sene tekrar kalibrasyona gönderilir. 2.sene kalibrasyon verisi, 1.sene kalibrasyon verisi ve satın alındıktan sonraki kalibrasyon verisi kendi aralarında değerlendirilip kayda değer bir değişme olmadığı görülmüşse isteğe göre kalibrasyon aralığı 2 senede bir olabilir. Ancak genel kabul görmüş anlayışa göre kalibrasyonun senede bir yaptırılması uygundur.

Cihazı kullanan kişinin tecrübesi dikkate alınarak cihazla ilgili şüphesi de kalibrasyona göndermek için sebep olabilir. Örneğin, kişi cihazı sürekli kullanıyordur ve aldığı önceki ölçümlere kıyasla bir fark görmüştür. Tecrübesinden elde ettiği bu ölçüm şüphesini kalibrasyona göndererek giderilebilir ve cihazın metrolojik performansını tekrar değerlendirebilir [59].

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında ISO/IEC 17025:2017 standardının maddeleri tek tek ele alınarak bir kalibrasyon laboratuvarı modellenmiştir. Kapsam, bağlayıcı atıflar, terimler ve tanımlar, genel, yapısal, kaynak, proses ve yönetim sistemi gerekliliklerine göre laboratuvarın nasıl yönetilmesi gerektiği incelenmiştir.

Sıcaklık cihazlarının kalibrasyon işlemleri için rehber dokümanlar kullanılarak referans ile karşılaştırmalı kalibrasyon yöntemi uygulanmıştır. Örnek olarak iki farklı özellikte cihaz seçilmiştir. 1.örnekte k tipi ısılıçiftin bağlı olduğu derece celsius göstergeye sahip sayısal termometre kullanılmıştır. 2.örnekte etüv, buzdolabı, derin dondurucu gibi sıcaklık kontrollü hacimin kalibrasyonu ile ilgili çalışılmıştır. Bu çalışmada, sıcaklık kontrollü hacim 120 °C'ye set edilmiştir. Ölçümler sonrasında ölçüm belirsizlik parametreleri tek tek hesaplanarak belirsizlik bütçeleri hazırlanmıştır ve cihazların kullanım için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir.

#### 3.1.ISO/IEC 17025'e Göre Kalibrasyon Laboratuvarı Modellenmesi

Bu bölümde bahsedilen örnek laboratuvar 'XYZ laboratuvarı' olarak adlandırılacaktır. Tezin bu kısmında ISO/IEC 17025:2017 standardı esas alınacaktır [4, 8, 60].

##### 3.1.1. Kapsam

XYZ laboratuvarına ait bu Kalite El Kitabı, laboratuvarın kalite sistemini anlatmaktadır. XYZ laboratuvarı, ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler Standardını esas alan ve sıcaklık kalibrasyon faaliyeti yapan bir uygunluk değerlendirme kuruluşudur.

### 3.1.2. Bağlayıcı atıflar

XYZ laboratuvarı, ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler Standardına uygun olarak yönetilmektedir.

### 3.1.3. Terimler ve tanımlar

Laboratuvar: Kalibrasyon faaliyeti gerçekleştiren uygunluk değerlendirme kuruluşu

KEK: Kalite el kitabı

KY: Kalite yöneticisi

LS: Laboratuvar sorumlusu

KS: Kalibrasyon sorumlusu

MT: Müşteri temsilcisi

TÜRKAK: Türk Akreditasyon Kurumu

YGG: Yönetimin gözden geçirmesi

### 3.1.4. Genel gereklilikler

#### 3.1.4.1. Tarafsızlık

Laboratuvar, her türlü baskıdan uzak çalışarak ISO/IEC 17025 standardının gerekliliklerini yerine getirmekle sorumludur. Laboratuvar alışanları, tüm müşterilere eşit davranmakla yükümlü olup hiçbir müşterinin menfaati uğruna çalışmamaktadır.

Laboratuvar, tarafsızlık için risk değerlendirmesi yapmaktadır. Tarafsızlık ile ilgili oluşabilecek tehlikelerle alakalı ve riskin gerçekleşmesi durumunda nelerin yapılacağı, risk yönetim prosedüründe anlatılmaktadır.

### **3.1.4.2.Gizlilik**

Laboratuvar, çalıştığı özel ya da tüzel kişilerin firma bilgilerinin ve verilen hizmetle ilgili bilgilerin, adli bir davaya intikal etmediği sürece üçüncü şahıslarla paylaşılmayacağını garantisini vermektedir.

### **3.1.5. Yapısal gereklilikler**

Laboratuvar, 2019 yılında resmi gazetede yayınlanan karar ile 'XYZ Laboratuvarı' olarak kurulmuştur. Laboratuvar iletişim bilgileri şöyledir:

Unvan: XYZ Laboratuvarı

Adres: xxx, İstanbul

Telefon: xxx xxx xx xx

Fax: xxx xxx xx xx

E-Mail Adresi: **info@xyz.com**

#### **3.1.5.1.Laboratuvarın verdiği hizmetler**

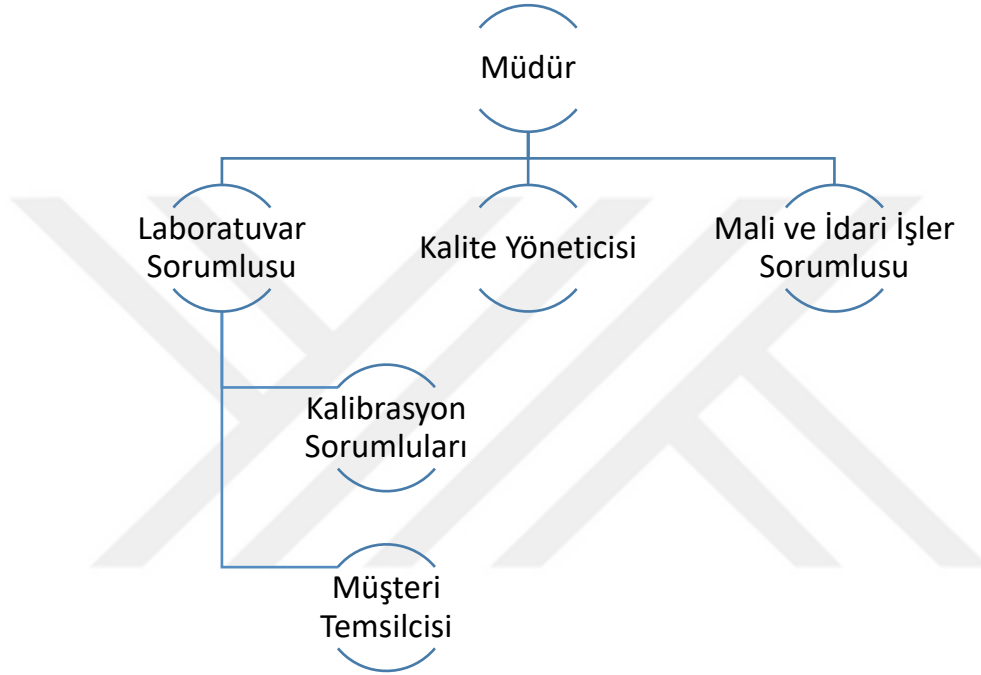
XYZ laboratuvarı, sıcaklık kalibrasyonu üzerine çalışan bir laboratuvardır ve verilen hizmetler şu şekildedir: [61].

- Sayısal/analog sıcaklık ölçer
- Ortam sıcaklık ve bağıl nem ölçer kalibrasyonu
- Etüv kalibrasyonu
- İnkübatör kalibrasyonu
- Otoklav kalibrasyonu
- Su banyosu kalibrasyonu

- Derin dondurucu kalibrasyonu
- Kül fırını kalibrasyonu

### 3.1.5.2.Laboratuvar yapısı

Laboratuvar hiyerarşisi Şekil 5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5: Organizasyon Şeması

### 3.1.5.3.Laboratuvar kadrosunun görevleri

#### 3.1.5.3.1. Müdür

Laboratuvar yönetiminden sorumlu en yetkili kişidir. Laboratuvar yönetimi ile ilgili alınması gereken kararlarda, satın alma işlerinde, talep ve teklifler ile ilgili konularda, personel alım-çıkış işlerinde son karar kendisindedir.



### **3.1.5.3.2. Laboratuvar sorumlusu**

Laboratuvarın ISO/IEC 17025:2017 standardı çerçevesinde teknik olarak doğru sonuçlar üretmesini sağlamak temel görevidir. Ölçümlerin güvenliği, ölçümlerle ilgili teknik dokümanların hazırlanması kendisinin sorumluluğundadır. Kalibrasyon sorumlularının ölçümlerini belli aralıklarla takip etmek, personelin iç ya da dış eğitim almasını sağlamak, kalibrasyon zamanı gelen cihazları kalibrasyona göndermek, gerektiğinde müşteri temsilcisi ile talepleri değerlendirerek teklif vermek başlıca görevlerindedir.

### **3.1.5.3.3. Kalite yöneticisi**

Laboratuvarın ISO/IEC 17025:2017 standardına uygun olarak yönetilmesini sağlamak temel görevidir. Kalite yönetimi ile ilgili dokümanları hazırlar ve bu dokümanların laboratuvar içi uygulanmasından sorumludur. Müşteri tarafından gelen geri dönüşlerle ilgili değerlendirmeyi yapar ve gerektiğinde konuyu ilgili kişilerle paylaşarak çözüme kavuşturur.

### **3.1.5.3.4. Mali ve idari işler sorumlusu**

Laboratuvarın finansal konularda bütçe yönetimini sağlamak temel görevidir. Yapılan tüm harcamalar, maaş, sigorta, laboratuvar için gerekli cihaz ve malzemeler gibi finansal konularda müdüre bilgi vermek koşulu ile sorumluluk kendisindedir. Aylık ve yıllık olarak gelir-gider raporu hazırlayarak müdüre bilgi verir.

### **3.1.5.3.5. Kalibrasyon sorumlusu**

ISO/IEC 17025:2017 standardı ve ilgili kalibrasyon talimatlarına uygun olarak ölçümlerin doğru alınmasını sağlamak temel görevidir. Kalibrasyonlarda kullanılan cihazlar, cihazların kontrolü ve bakımı, laboratuvar temizlik ve düzeni kendisinin sorumluluğundadır.

### **3.1.5.3.6. Müşteri temsilcisi**

ISO/IEC 17025:2017 standardına uygun olarak, gelen talepleri değerlendirip teklif hazırlamak ve müşteri ile iletişim halinde olmak temel görevidir. Müşteri geri dönüşlerini, konusuna göre ilgili birimlere aktararak konunun çözülmesine öncülük eder.

## **3.1.6. Kaynak gereklilikleri**

### **3.1.6.1.Genel**

XYZ laboratuvarı, kalibrasyon hizmetini gerçekleştirmek için gereken referans ve kaynak cihazlara, gereken çevre koşullarının sağlandığı bir ortama, teknik yeterliliğe sahip personellere, laboratuvar yönetimi için gerekli donanım ve sisteme sahiptir.

### **3.1.6.2.Personel**

XYZ laboratuvarı, çalışanları ile 4857 sayılı İş Kanunu hükümlerini esas alarak iş sözleşmesi ve tarafsızlık, gizlilik sözleşmesi imzalamaktadır.

Laboratuvar çalışanları, her şeyden önce tarafsızdır ve laboratuvarın kalite sistemine tam uyum sağlamakla yükümlüdür. Laboratuvar çalışanları, görevlerine göre belirli alanlarda eğitim-öğretim görmüş kişilerden oluşmaktadır ve teknik yeterliliğe sahiptir. Görev, sorumluluk ve yetkileri ilgili prosedürlerde tanımlanmıştır.

Laboratuvar çalışanlarının, hiyerarşiye göre belirli aralıklarla yetkinliği değerlendirilmektedir. Performans incelemesi yapılan bu faaliyet, laboratuvar yönetimi tarafından değerlendirilmektedir.

XYZ laboratuvarı, laboratuvar çalışanlarının yetkinliklerin kalitesini arttırmaya yönelik personellerin eğitim almasını sağlamaktadır. Çalışanlar, yıllık olarak planı yapılan eğitim faaliyetlerine katılım sağlamakla yükümlüdür.

### **3.1.6.3.Yerleşim ve çevresel koşulları**

XYZ laboratuvarının yerleşim ve çevre koşulları kalibrasyon işlemini geçersiz kılmayacak şekilde kurulmuştur ve sürekli olarak sıcaklık-bağıl nem ölçen cihazlarla takip edilmektedir. Laboratuvar, personel tarafından düzenli olarak temizlenmektedir.

### **3.1.6.4.Donanım**

XYZ laboratuvarı, kalibrasyon faaliyetini gerçekleştirmek için gerekli cihazlara sahiptir ve bu cihazlar, laboratuvar tarafından verilmiş kodlarla tanımlanmaktadır.

Cihazların nasıl kullanılması gerektiği, hangi aralıklarla kalibrasyonlarının yapılacağı, kalibrasyon sonrası uygulanacak düzeltme değerlerinin nasıl uygulanacağı, cihazların bakımının ve kontrollerinin nasıl ve hangi zaman aralıkları ile yapılacağı, nasıl muhafaza edileceği, cihazların laboratuvar dışına çıktığı durumlarda ne yapılması gerektiği, cihazların arızalanması durumunda nasıl bir yol izleneceği gibi cihazlarla ilgili her türlü bilgiler cihaz yönetim prosedüründe belirtilmektedir. XYZ laboratuvarı; kullanılan cihazların marka, model, seri numarası bilgilerini, nerede kullanıldığını, kalibrasyon, bakım, kontrol periyotlarını kayıtlı olarak saklamaktadır. Cihaz künye bilgileri her bir cihazın görünür bölgesinde asılı bulunmaktadır.

### **3.1.6.5.Metrolojik izlenebilirlik**

XYZ laboratuvarında kullanılan referans cihazlar, akreditasyonu bulunan kalibrasyon laboratuvarlarından hizmet satın alınarak SI birimlerine metrolojik izlenebilirlik sağlamaktadır.

### **3.1.6.6.Dışarıdan tedarik edilen ürün ve hizmetler**

Laboratuvar için gerekli malzemeler, kalibrasyonda kullanılacak referans ya da kaynak cihazlar, uluslararası standartlar gibi satın alınması gerekenler, laboratuvarın satın alma prosedürüne göre gerçekleştirilmektedir. Bu prosedür kapsamında laboratuvar, hizmet satın

aldığı tedarikçileri değerlendirerek tekrar aynı tedarikçi ile çalışıp çalışmayacağına karar vermektedir ve akredite olduğu bir parametre ile ilgili dışarıdan kalibrasyon hizmeti satın almamaktadır.

### **3.1.7. Proses gereklilikleri**

#### ***3.1.7.1. Taleplerin, tekliflerin ve sözleşmelerin gözden geçirilmesi***

XYZ laboratuvarı müşteriden gelen kalibrasyon taleplerini değerlendirerek teklif hazırlayacak sisteme sahiptir ve bunu taleplerin, tekliflerin, sözleşmelerin gözden geçirilmesi prosedürüne göre uygulamaktadır. Sözleşmeler, kayıt altında tutulmaktadır. Kalibrasyon teklifinde laboratuvarın hizmet yapabilecek gerekli kapsama sahip olduğu ve kullanılacak metot belirtilmektedir.

Müşteri tarafından laboratuvarın uygunluk beyanı yapması isteniyorsa, müşteriden şartname ya da sözleşme ile birlikte karar kuralını açıkça belirtmesi beklenmektedir. Seçilen karar kuralı şartname ya da standartta yer almıyorsa, laboratuvar bu konuyu müşteri ile konuşup anlaşmaya varmaktadır. Kalibrasyon işlemine başlamadan önce müşteri tarafından talep edilen, laboratuvar tarafından oluşturulan teklif ve sözleşmede karşılıklı olarak mutabık kalınmaktadır. Herhangi bir eksiklik olduğu fark edilirse sözleşme yenilenmektedir ve etkilenen tüm personele konu ile ilgili bilgilendirme yapılmaktadır. XYZ laboratuvarı kalibrasyon hizmeti için dış tedarikçi kullanmamaktadır.

#### ***3.1.7.2. Yöntemlerin seçilmesi, doğrulanması ve geçerli kılınması***

##### ***3.1.7.2.1. Yöntemlerin seçilmesi ve doğrulanması***

Laboratuvar, teknik yeterliliğe sahip personeller tarafından hazırlanan ölçüm prosedürlerini kullanmaktadır. Bu prosedürlerde uluslararası kabul görmüş metotlar tanımlanmaktadır. Ölçüm

prosedürleri güncel tutulmaktadır ve teknik yeterliliğe sahip personeller tarafından gerekli görüldüğü durumlarda revizyon yapılmaktadır.

#### **3.1.7.2.2. Yöntemlerin geçerli kılınması**

Laboratuvar, yöntemin geçerli kılınmasını referans cihazları kalibrasyon işlemine tabi tutarak ve laboratuvarlar-personeller arası karşılaştırma yaparak güvence altında tutmaktadır. Cihazlarla beraber bir yazılım kullanılmadığından dolayı yazılım validasyonu yapılmamaktadır.

#### **3.1.7.3. Numune alma**

XYZ laboratuvarı kalibrasyon laboratuvarı olarak hizmet vermektedir ve numune alma işlemini uygulamamaktadır.

#### **3.1.7.4. Deney veya kalibrasyon öğelerinin taşınması ve muhafaza edilmesi**

Kalibrasyonu yapılacak cihazlar ile ilgili laboratuvarın ve müşterinin hakları korunmaktadır. Cihazların laboratuvara geliş ve gidişinden müşteri sorumludur ancak cihazlar laboratuvara girdikten sonra ve işlemleri bitene kadar XYZ laboratuvarının güvencesi altındadır.

Cihazların laboratuvara giriş kaydı yapılırken laboratuvar tarafından cihazlara kod verilmektedir. Böylece laboratuvarda bulunduğu durumlarda başka müşterilerin cihazlarıyla karışıklık olmamasını garanti altına almaktadır. Müşteri cihazları laboratuvar kaynaklı hatalardan dolayı zarar görmüş ise sorumluluk XYZ laboratuvarındadır ve müşteri ile konuşularak anlaşmaya varılmaktadır.

#### **3.1.7.5. Teknik kayıtlar**

XYZ laboratuvarı, kalibrasyon esnasında ölçüm alırken verileri elektronik ortamda kayıt altına almaktadır. Ölçüm sırasında kalibrasyonu yapan sorumlu personelin kimlik bilgisi ve

kalibrasyonun yapıldığı tarih belirtilmektedir. Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra elektronik ortamda kayıt altına alınan veride ölçüm sonuçları dışında bir değişiklik yapıldığında; kalibrasyon sorumlusunun kimlik bilgisi, tarihi belirtilmektedir ve önceki veri kaydı da dosyada tutulmaktadır.

### ***3.1.7.6.Ölçüm belirsizliğinin değerlendirilmesi***

Ölçüm belirsizliği hesaplanırken ölçüm sonucunu etkileyebilecek her türlü etmen düşünülerek hesaplamalara katılmaktadır. XYZ laboratuvarı, ölçüm belirsizliğine etki eden parametreleri ölçüm prosedürlerinde detaylı şekilde anlatmaktadır.

### ***3.1.7.7.Sonuçların geçerliliğinin güvence altına alınması***

Laboratuvar, uluslararası kabul görmüş metotlar kullanmaktadır ve belirli aralıklarla laboratuvar faaliyetleri izleme altına alınmaktadır. Laboratuvar faaliyetleri incelenirken şu konulara dikkat edilmektedir:

- Referans cihazların kullanımı
- Referans ve kaynak cihazların işlevsel kontrolleri
- Referans cihazların ara kontrolleri
- Kaynak cihazların analizleri
- Aynı metotları kullanarak kalibrasyon işlemini tekrarlamak
- Kalibrasyon sertifikalarının gözden geçirilmesi
- Laboratuvarlar arası karşılaştırmalar
- Personeller arası karşılaştırmalar

### **3.1.7.8.Sonuçların raporlaması**

#### **3.1.7.8.1. Raporlar ile ilgili genel bilgiler**

Kalibrasyon sertifikaları yazıldıktan sonra kalibrasyonu yapan sorumlu tarafından kontrol edilip imzalanmaktadır. Daha sonra sertifika laboratuvar sorumlusuna yönlendirilmektedir ve laboratuvar sorumlusunun da gözden geçirip imzalamasıyla beraber sertifika yayımlanmaktadır. Kalibrasyon sertifikaları elektronik ortamda saklı tutulmaktadır.

#### **3.1.7.8.2. Raporlar için ortak gereklilikler**

Laboratuvarın hazırlamış olduğu kalibrasyon sertifikaları aşağıdaki bilgileri içermektedir.

- Kalibrasyon sertifikası başlığı
- XYZ laboratuvarı unvan ve adresi
- Kullanılan kalibrasyon metodu
- Müşteri bilgileri (unvan ve adres)
- Kalibre edilen cihaza ait bilgiler (marka, model vs.)
- Kalibre edilen cihazın laboratuvara geliş tarihi
- Kalibrasyon tarihi
- Kalibrasyon sertifikası yayım tarihi
- Ölçülen büyüklüğün birimi
- Ölçüm sonuçları
- Ölçüm belirsizliği
- Uygunluk beyanı
- Kalibrasyonu gerçekleştiren sorumlu ve onaylayan kişi bilgileri

### **3.1.7.8.3. Deney raporları için özel gereklilikler**

XYZ laboratuvarı deney raporu vermemektedir.

### **3.1.7.8.4. Kalibrasyon sertifikaları için özel gereklilikler**

XYZ laboratuvarının hazırladığı kalibrasyon sertifikası, ölçülen büyüklükle aynı birimde olacak şekilde ölçüm belirsizliğini de içermektedir. Kalibrasyon sertifikasında çevresel koşullar da belirtilmektedir. Ayrıca cihaza herhangi bir ayar işlemi yapılmış ise ayar öncesi ve ayar sonrası ölçüm sonuçları da sertifikalarda belirtilmektedir.

### **3.1.7.8.5. Numune almanın raporlanması – özel gereklilikler**

XYZ laboratuvarı numune almamaktadır.

### **3.1.7.8.6. Uygunluk beyanlarının raporlanması**

Müşteri tarafından laboratuvarın uygunluk beyanı yapması isteniyorsa, XYZ laboratuvarı hangi karar kuralını uyguladığını ve bunun yanında istatistiksel varsayım yaparak ilgili karar kuralının risk seviyesini de belirtmektedir.

Uygunluk beyanı müşteri tarafından gönderilen bir şartnameye göre ya da bir standarda göre yapılmakta olup bu beyan her kalibrasyon noktası için uygulanmaktadır.

### **3.1.7.8.7. Görüş ve yorumların raporlanması**

Kalibrasyonu yapan sorumlunun müşteri cihazıyla ilgili görüş ve yorum yapma yetkisi bulunmaktadır. Görüş ve yorumlar kısmında cihazla ilgili görsel ya da fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler veya ayar yapılmışsa bununla ilgili bilgiler bulunmaktadır.



### **3.1.7.8.8. Raporlardaki tadilatlar**

Laboratuvar, yayımlanmış kalibrasyon sertifikalarında herhangi bir değişiklik yaptığında değişiklik sebebini açıklarak yeniden sertifika yayımlamaktadır ve önceki sertifikanın iptal olduğunu belirtmektedir. Değişikliğe uğramış sertifika ve önceki sertifikanın kayıtları saklı tutulmaktadır.

### **3.1.7.9.Şikâyetler**

XYZ laboratuvarı, telefonla ya da mail yoluyla gelen her türlü şikâyeti şikâyetlerin değerlendirilmesi prosedürüne göre işler. Gelen şikâyetlerin değerlendirilmesi kalite yöneticisinin sorumluluğundadır. Kalite yöneticisi şikâyetin türüne göre konuyu ilgili yerlerle görüşerek çözümünü sağlar. Laboratuvar kendi içinde değerlendirmeyi tamamladıktan sonra müşteriye mail ya da telefon yoluyla geri dönüş sağlar.

### **3.1.7.10. Uygun olmayan iş**

Laboratuvar, kalibrasyon hizmetinin bir kısmının veya sonuçlarının kendi prosedürüne uymadığı ya da müşteriyle anlaşılan sözleşmenin şartlarına uymadığı durumlarda uygun olmayan iş prosedürünü uygulamaktadır. Bu prosedür; uygun olmayan iş yönetimi için sorumluluk ve görevlerin tanımlanmasını, yapılacak düzenlemelerin risk seviyelerinin belirlenmesini, daha önce gerçekleştirilmiş kalibrasyonlara bir etkisi olup olmadığının araştırılmasını, eğer şart ise müşteriyle iletişime geçilerek sertifikaların geri çağırılmasını, uygun olmayan işin bitirilip yeniden işe başlanmasının tanımlanmasını içermektedir. Laboratuvar, uygun olmayan işin değerlendirmesini yaparak gerekirse düzeltici faaliyet uygulamaktadır.

### **3.1.7.11. Verilerin kontrolü ve bilgi yönetimi**

XYZ laboratuvarı, verilerin depolanması için lisanslı programların kurulu olduğu bilgisayarlar kullanmaktadır. Tüm kalite dokümanları, kalibrasyon sertifikaları gibi veriler bilgisayarlarda saklı tutulmaktadır. Her personelin bilgisayarı vardır ve şifrelerini sadece kendileri bilmektedir. Böylece bilgisayarlara yetkisiz erişim engellenmektedir. Her bilgisayarda lisanslı bir antivirüs yazılımı bulunmaktadır. Bu sayede verilerin kaybolmasının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bilgisayarların yazılımının güncel tutulmasına dikkat edilir.

### **3.1.8. Yönetim sistemi gereklilikleri**

#### **3.1.8.1. Seçenekler**

XYZ laboratuvarı, ISO/IEC 17025:2017 standardının şartlarını yerine getirmesini destekleyen ve laboratuvar sonuçlarının kalitesine güvence veren bir yönetim sistemine sahiptir. Madde 4 ve 7'deki şartların karşılanmasına ek olarak, laboratuvar yönetim sistemini Seçenek A'ya uygun olarak uygulamaktadır.

#### **3.1.8.2. Yönetim sistemi dokümantasyonu**

XYZ laboratuvarı, şirket politikası ve hedefleri doğrultusunda hizmet vermektedir ve tüm personelin bunlara uymasını güvence altına almaktadır. Laboratuvar politikası; yetkinlik, tarafsızlık ve laboratuvar faaliyetlerinin tutarlılığını esas alır ve sürekli olarak sistemin iyileştirilmesi üzerine çalışmaktadır.

#### **3.1.8.3. Yönetim sistemi dokümanlarının kontrolü**

XYZ laboratuvarı kalite dokümanlarının kontrolünü yönetim sistemi dokümanlarının kontrolü prosedürüne göre uygulamaktadır. Buna göre laboratuvarın kalite sistemi işleyişinde aşağıdaki şartlar sağlanmaktadır:

- Prosedür, form gibi her türlü kalite dokümanı yetkili personel tarafından hazırlandıktan sonra yine yetkili bir personel tarafından kontrol edilip onaylanmaktadır.
- Tüm dokümanlar laboratuvar tarafından belirlenen sıklıkla kontrol edilir. Gerekirse güncellenir.
- Tüm dokümanların güncel halleri personelin her an ulaşabileceği elektronik ortamda saklı tutulmaktadır. Ancak güncelliğini yitirmiş dokümanlar laboratuvar çalışanlarının görebileceği yerde değildir. Böylece güncel olmayan dokümanların istem dışı kullanımı engellenmektedir.
- Tüm dokümanlar, yönetim sistemi doküman listesinde tanımlanmaktadır. Böylece dokümanların son halinin hangisi olduğu anlaşılmaktadır.

#### **3.1.8.4.Kayıtların kontrolü**

XYZ laboratuvarı, kâğıt israfını engellemek amacıyla tüm dokümanları olabildiğince elektronik ortamda yayınlamayı, işletmeyi ve saklı tutmayı hedeflemektedir. Elektronik imza kullanmakta olan XYZ laboratuvarı, tüm kalite ve teknik prosedürleri, kalibrasyon sırasında doldurulması gereken kalibrasyon kayıt formlarını ve kalibrasyon sertifikalarını elektronik olarak kayıt edip saklamaktadır. Ancak müşteri isteği üzerine kalibrasyon sertifikalarının çıktısı alınabilmektedir.

Elektronik olarak saklı tutulan tüm dokümanlar ayda bir kalite yöneticisinin odasında bulunan harici harddiske yedeklenmektedir. Böylece herhangi bir aksaklıkta verilerin kaybı önlenmeye çalışılmaktadır.

### **3.1.8.5.Risk ve fırsatların ele alınmasına yönelik faaliyetler**

Laboratuvar, kalibrasyon faaliyetleri sırasında oluşabilecek riskleri olabildiğince en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bunu yaparken oluşabilecek fırsatları da değerlendirmektedir. Bu amaçla risk ve fırsatların ele alınmasına yönelik faaliyet prosedürünü uygulamaktadır.

XYZ laboratuvarı, risk değerlendirmesini laboratuvar işleyişinin tüm kademelerinde düşünmektedir. Teklif aşamasından kalibrasyon faaliyetinin son işlemine kadar tüm riskleri değerlendirerek riskleri önlemektedir. Risk değerlendirmesi, sürekli olarak üzerinde düşünülmesi ve yapılması gereken bir işidir.

Laboratuvar, risk belirlemede şu yöntemleri temel kabul eder: [62-64].

- Neler olabileceğini düşünerek riskin tanımını yapılır.
- Riskin oluşması durumunda sonuçlarının ne olacağıyla ilgilenir.
- Risk, hangi sıklıkla ya da ilerde tekrar oluşabilir mi sorularıyla ilgilenir.
- Riskin sonuçlarının azalmasını sağlayan etkenlerin ya da riskin gerçeğe dönüşme olasılığını azaltan etkenlerin olup olmadığıyla ilgilenir.

Laboratuvar, risk değerlendirmesini birkaç aşamada uygular. Riskler; düşük etki, orta etki ve yüksek etki olarak üçe ayrılmaktadır [62].

- Düşük etkiye sahip risk, düzeltilmesi kolaydır ve henüz kayıp yoktur.
- Orta etkiye sahip riskte hatalar oluşmaya başlamıştır ve tedbir alınmaya bir an önce başlanmalıdır.
- Yüksek etkiye sahip risklerde ise ciddi hatalar olabilir ve acilen çözülmesi gerekir.

Riskin oluşma olasılığı nadiren, bazen ve sık sık olarak üç kademedede değerlendirildiğinde aşağıdaki matris yöntemi ile risk değerlendirmesi yapılabilmektedir [62].

<i>etki</i>	3			
	2			
	1			
		1	2	3
		<i>olasılık</i>		

**şekil 6: Olasılık-Etki matrisi [62].**

şekil 6'da;

- Yeşil renk, kabul edilebilir risk olarak tanımlanır.
- Sarı, turuncu ve kahverengi renkler incelenmesi gereken riskler olarak tanımlanır.
- Kırmızı renk, acilen çözümlmesi gereken kabul edilemez riskler olarak tanımlanır.

şekil 6'da anlatılan durumlara örnek olarak Tablo I'deki risk değerlendirme örneği verilebilir.

**Tablo I:** Risk değerlendirme rneği

<b>Risk tanımı</b>	Ara kontrol cihazlarının pillerinin akması
<b>Riskin kaynağı</b>	Kalibrasyon sorumlusu, laboratuvar sorumlusu
<b>Riskin etki kademesi</b>	Orta
<b>Riskin gerçekleşme olasılık kademesi</b>	Nadiren
<b>Riskin değerlendirilmesi</b>	İncelenmesi gereken risk
<b>Riske karşı alınacak önlemler</b>	Ara kontrol periyodu 3 aydan fazla olan cihazların pillerinin cihaz içinde tutulmaması
<b>Riskin takibi</b>	3 ayda bir yapılan cihaz bakım kontrolleri

### **3.1.8.6.İyileştirme**

Sürekli olarak iyileştirme yapmak laboratuvarın temel prensiplerindedir. Bu anlayışla oluşabilecek riskler önlenmektedir ve bu riskleri düzeltirken oluşabilecek fırsatlar üzerinde çalışılmaktadır. XYZ laboratuvarı, kalibrasyon faaliyetlerinin değerlendirilmesi için müşterilerden geri bildirimler almaktadır. Bu geri dönüşlere göre ilgili yerlerde iyileştirme yapmak laboratuvarın politikalarından biridir.

### **3.1.8.7.Düzeltilici faaliyetler**

Laboratuvar işleyişinde bir yerde bir uygunsuzluk tespit edildiğinde XYZ laboratuvarı bunu acil olarak çözmeyi politika haline getirmiştir. Uygunsuzluğun nedenleri araştırılarak ve ilgili personellerle konu görüşülerek çözüm sağlanmaktadır. Tespit edilen uygunsuzluğun tekrarının olma olasılığı ve laboratuvarın başka alanlarına sıçrama olasılığı değerlendirilmektedir. Böyle bir durum varsa bunlar da giderilmektedir. Tespit edilen uygunsuzluk değerlendirilirken risk ve fırsatlar da gözden geçirilmektedir. XYZ laboratuvarı uygunsuzluklar ile ilgili nedenler ve sonuçlarını raporlamaktadır ve bunları elektronik ortamda saklı tutmaktadır.

### **3.1.8.8.İç tetkikler**

XYZ laboratuvarı belirli aralıklarla iç tetkik faaliyeti gerçekleştirmektedir. Bunun yapılmasının amacı laboratuvarın ISO/IEC 17025:2017 Deneysel ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler Standardına uygun davranıp davranmadığını kontrol etmektir. Kalibrasyon faaliyetlerinin başından sonuna kadar işleyiş ile ilgili prosedürler, teknik dokümanlar gibi her türlü sorumluluk alanı iç tetkik faaliyetine tabidir.

İç tetkik faaliyeti, laboratuvar dışından iç tetkikçi ile sağlanmaktadır. Gelen iç tetkikçi tarafsızlık ve gizlilik anlaşmasına uymayı beyan eden sözleşme imzalamaktadır. Böylece laboratuvar içindeki tüm bilgilerin gizliliği sağlanmaya devam etmektedir. İç tetkik sonrası yapılan faaliyetle ilgili rapor hazırlanmaktadır ve varsa uygunsuzluklar kayıt edilmektedir. Düzeltici faaliyetler başlatılarak uygunsuzluklar kapatılmaktadır.

### **3.1.8.9.Yönetimin gözden geçirmeleri**

Laboratuvar yönetimi, şirketin politika ve hedefler doğrultusunda ilerleyip ilerlemediğini görmek amacıyla belirli aralıklarla toplanmaktadır. Yapılan YGG toplantılarında; laboratuvarın hedeflerini yerine getirmesi, şirket politikasına uyulması, iç tetkiklerin sonuçları, tespit edilen uygunsuzluklar ve düzeltici faaliyetler, müşteri geri dönüşleri, laboratuvar içi personel ve müşteri şikayetleri, laboratuvarın kaynakları, risk ve fırsatlara yönelik yapılan faaliyetler, kalibrasyon sonuçlarının geçerliliği, personellerin performansı gibi temel konular ele alınmaktadır.

YGG faaliyetlerindeki kararlar kayıt altına alınmaktadır ve kısa süre içinde bu kararlar uygulanmaktadır.

## **3.2.Adli Bilimler Laboratuvarlarında Kullanılan Sıcaklık Cihazlarının Uygunluk Değerlendirmesi**

### **3.2.1. Sayısal termometre kalibrasyonu ve uygunluk değerlendirme**

#### **3.2.1.1. Sayısal termometre**

Platin direnç termometrelerinin sıcaklık tepkileri direnç olarak, ısılıçiftlerin ise gerilim olarak ortaya çıkar. Bu çıkışları belli bir işlemciden geçirdikten sonra sıcaklık olarak gösteren sisteme sahip cihazlar sayısal termometre olarak adlandırılır. Sayısal termometreler; platin direnç termometresi ya da ısılıçift kökenli olabilir [40].

#### **3.2.1.2. Kalibrasyon talebi ve uygunluk değerlendirme**

Kalibre edilecek sayısal termometrenin sıcaklık ölçüm aralığı  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  olup kalibrasyon işlemi  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de yapılacaktır. Cihazın kabul aralığı (tolerans)  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

#### **3.2.1.3. Kalibrasyon yöntemi**

Sayısal termometre kalibrasyonunda karşılaştırmalı yöntem kullanılır. İzlenebilirlik zinciri sağlanmış termometre kullanılarak ve termal kaynakta istenilen sıcaklık ortamı yaratılarak referans ile karşılaştırma yapılır.

#### **3.2.1.4. Çevre koşulları**

Kalibrasyon yapılırken çevre koşullarının  $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $50\text{ \%rh}\pm 20\text{ \%rh}$  arasında olması gerekmektedir.

#### **3.2.1.5. Kalibrasyonda kullanılan referans cihaz**

Referans termometre olarak izlenebilirliği sağlanmış platin direnç termometresi ve buna bağlı derece celsius okuması yapan göstere kullanılmaktadır.



### 3.2.1.6. *Kalibrasyonda kullanılan termal kaynak*

Kaynak olarak kullanılan alkol banyosunun set edilen sıcaklık değeri için, normalde beklenen banyonun her kısmında aynı sıcaklık değerinin olmasıdır. Ancak pratikte bu böyle değildir. Banyonun alt ve üst köşelerinde ya da sağ ve sol taraflarında sıcaklık değişiklikleri olabilir. Banyonun farklı kısımlarında oluşabilecek bu hatanın belirli aralıklarla (önerilen iki senede bir) takip edilmesi gerekmektedir [65, 66].

Alkol banyosunun iç hacminde belirlenen bir alanda uzun süreli olarak aynı sıcaklık değerinde olması, kaynağın stabilitesi olarak tanımlanır. Kaynağın aynı noktasında en az yarım saat boyunca ölçümler alınır ve standart sapması hesaplanır. Bu analizin, banyonun en az birkaç sıcaklık değerinde yapılması ve belirli aralıklara (önerilen iki senede bir) takip edilmesi gerekir [65].

Termal kaynağın analizi olarak özetleyebileceğimiz bu iki çalışma her kalibrasyon işleminde tekrarlanmaz. Tercihe göre bir ya da iki senede bir yapılan bu çalışmaya göre kullanılan kaynakların belirsizlik katkıları elde edilir [65-67].

### 3.2.1.7. *Ölçümlerin alınması*

Referans termometre ve kalibrasyonu yapılacak cihaz alkol banyosuna yerleştirilir. Cihazların yükseklikleri, banyonun alt kademesinden olabildiğince aynı yerde tutulur. Alkol banyosu -20 °C'ye set edilerek çalıştırılır ve banyonun stabil hale gelmesi beklenir. Referans termometre ve kalibrasyonu yapılacak cihazdan dakikada bir ölçüm olacak şekilde 30 ölçüm alınır. Ölçümler alındıktan sonra ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanır.

### 3.2.1.8. *Ölçüm modeli*

Kalibre edilen sayısal termometrenin düzeltme değeri  $\Delta t$  şöyle tanımlanır:

$$\Delta t = t_r - t_c + \delta t_{kal} + \delta t_{drift} + \delta t_{\text{çöz, r}} + \delta t_{\text{çöz, c}} + \delta t_{dağılım} + \delta t_{stabilite} + \delta t_{buz}$$

$t_r$  = Referans termometrenin okuduğu sıcaklık değeri

$t_c$  = Kalibre edilen termometrenin okuduğu sıcaklık değeri

$\delta t_{kal}$  = Referans termometrenin kalibrasyon sertifika katkısı

$\delta t_{drift}$  = Referans termometrenin uzun dönem performans katkısı

$\delta t_{\zeta\ddot{o}z, r}$  = Referans termometrenin çözünürlük katkısı

$\delta t_{\zeta\ddot{o}z, c}$  = Kalibre edilen termometrenin çözünürlük katkısı

$\delta t_{dağılım}$  = Termal kaynak dağılım katkısı

$\delta t_{stabilite}$  = Termal kaynak stabilite katkısı

$\delta t_{buz}$  = Buz noktası ölçümlerinin katkısı

### 3.2.1.9. Sayısal termometre uygunluk değerlendirme

Kalibrasyon işlemi sonrası elde edilen ölçüm sonucu, ölçüm belirsizliği ve kullanıcı tarafından sağlanan tolerans verilerinden yol çıkarak şu hipotezler test edilmektedir:

Hipotez,  $H_0$ :  $P(T_L \leq Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$  doğru ise kabul.

Hipotez,  $H_0$  yanlış ise red  $\rightarrow P(T_L \leq Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$

$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$

Bu hipoteze göre test edilen cihazların kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmektedir.  $P_C$  formülünün bulunmasında Microsoft Excel 2016 programından yararlanılmaktadır ve programda şu formüller uygulanmaktadır: [54].

$\Phi((T_U - y) / u)$  eşitliğinin bulunması için;

=NORM.DAĞ(üst tolerans limit ( $T_U$ ); ölçüm ortalaması ( $y$ ); birleşik standart belirsizlik ( $u$ ,  $k=1$ ); DOĞRU)

$\Phi ((T_L - y) / u)$  eşitliğinin bulunması için;

=NORM.DAĞ(alt tolerans limit ( $T_L$ );ölçüm ortalaması ( $y$ );birleşik standart belirsizlik ( $u$ ,  $k=1$ );DOĞRU)

### 3.2.2. Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonu ve uygunluk değerlendirmesi

#### 3.2.2.1. Sıcaklık kontrollü hacim

Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyon işlemi; etüv, fırın, buzdolabı, soğuk oda gibi kapalı bir hacimin sıcaklık dağılım analizini kapsar [68-70].

Bu çalışmada yapılan işlemlerin hepsi etüv, fırın, buzdolabı ve soğuk odaya aynı şekilde uygulanabilmektedir.

#### 3.2.2.2. Kalibrasyon talebi ve uygunluk değerlendirmesi

Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonu için tercih edilen cihazın sıcaklığı maksimum 150 °C'ye kadar olup kalibrasyon 120 °C'de yapılacaktır. Cihazın kabul aralığı (tolerans)  $\pm 2$  °C'dir. Kabul aralığı; her bir ısı çifti için ayrı ayrı değerlendirilmeyecek, 9 ısı çiftinin ortalama sıcaklığı üzerinden değerlendirilecektir.

#### 3.2.2.3. Kalibrasyon yöntemi

Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonunda karşılaştırmalı yöntem kullanılır. İzlenebilirlik zinciri sağlanmış ısı çiftleri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılır.

#### 3.2.2.4. Çevre koşulları

Kalibrasyon yapılırken çevre koşullarınının 23 °C $\pm$ 3 °C ve 50 %rh  $\pm$  20 %rh arasında olması gerekmektedir.

### 3.2.2.5. Kalibrasyonda kullanılan referans cihaz

Referans olarak izlenebilirlik zinciri sağlanmış 9 adet k tipi ısılcıft, 1 adet radyasyon etkisinde kullanılacak ısılcıft ve ısılcıftların bağılı olduğu derece celcius (°C) okuması yapan gösterge kullanılır.

### 3.2.2.6. Ölçümlerin alınması

- Sıcaklık kontrollü hacimin içinin boş olmasına ve k tipi ısılcıftların cihazın içine eşit dağılacak şekilde yerleştirilmesine özen gösterilir.
- Cihazın üst bölgesinde köşelere 5 cm olacak şekilde 4 adet, alt bölgesinde köşelere 5 cm olacak şekilde 4 adet, ortasına bir adet ve ortadaki ısılcıftta 10 cm uzak mesafede olacak şekilde 1 adet emisivitesi yüksek ısılcıft (diğer 9 adet ısılcıftın emisivitesi düşük) yüzeyle temas etmeyecek şekilde yerleştirilir.
- Cihaz 120 °C'ye set edilerek çalıştırılır ve cihazın istenilen sıcaklığa gelmesi beklenir (Cihaza göre değişmekle beraber yaklaşık 1 saat civarında).
- Cihaz 120 °C'ye geldikten sonra sistemin kararlı hale gelmesi için 30 dakika daha beklenir.
- Kararlı durum oluştuktan sonra 30 dakika boyunca 30 ölçüm alınır. Ölçümler, dakikada bir olacak şekilde alınır.
- Ölçümler alındıktan sonra ortalamalar ve standart sapmaları hesaplanır.

### 3.2.2.7. Ölçüm modeli

Kalibre edilen cihazın düzeltme değeri  $\Delta t$  şöyle tanımlanır:

$$\Delta t = t_r - t_c + \delta t_{kal} + \delta t_{drift} + \delta t_{\text{öz, r}} + \delta t_{\text{öz, c}} + \delta t_{hom} + \delta t_{karar} + \delta t_{rad} + \delta t_{yükleme}$$

$t_r$  = Referans sıcaklık değeri

$t_c$  = Kalibre edilen cihazın sıcaklık değeri

$\delta t_{kal}$  = Referansın kalibrasyon sertifika katkısı

$\delta t_{drift}$  = Referansın uzun dönem performans katkısı

$\delta t_{\zeta\ddot{o}z, r}$  = Referansın çözünürlük katkısı

$\delta t_{\zeta\ddot{o}z, c}$  = Kalibre edilen cihazın çözünürlük katkısı

$\delta t_{hom}$  = Sıcaklık homojensizlik katkısı

$\delta t_{karar}$  = Sıcaklık kararsızlık katkısı

$\delta t_{rad}$  = Radyasyon etkisi

$\delta t_{y\u00fckleme}$  = Y\u00fckleme etkisi

### 3.2.2.8. Sıcaklık kontroll\u00fc hacim uygunluk de\u011ferlendirmesi

Kalibrasyon i\u015flemi sonrası elde edilen \u00f6l\u00e7\u00fcm sonucu, \u00f6l\u00e7\u00fcm belirsizli\u011fi ve kullanıcı tarafından sa\u011flan tolerans verilerinden yol \u00e7ıkarak \u015fu hipotezler test edilmektedir:

Hipotez,  $H_0$ :  $P(T_L \leq Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$  do\u011fru ise kabul.

Hipotez,  $H_0$  yanlış ise red  $\rightarrow P(T_L \leq Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$

$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$

Bu hipoteze g\u00f6re test edilen cihazların kullanım i\u00e7in uygun olup olmadı\u011fına karar verilmektedir.  $P_C$  form\u00fcl\u00fcn\u00fcn bulunmasında Microsoft Excel 2016 programından yararlanılmaktadır ve programda \u015fu form\u00fcller uygulanmaktadır: [54].

$\Phi ((T_U - y) / u)$  eşitliğinin bulunması için;

=NORM.DAĞ(üst tolerans limit ( $T_U$ );ölçüm ortalaması ( $y$ );birleşik standart belirsizlik ( $u$ ,  
 $k=1$ );DOĞRU)

$\Phi ((T_L - y) / u)$  eşitliğinin bulunması için;

=NORM.DAĞ(alt tolerans limit ( $T_L$ );ölçüm ortalaması ( $y$ );birleşik standart belirsizlik ( $u$ ,  
 $k=1$ );DOĞRU)



## 4. BULGULAR

### 4.1. Sayısal Termometre Kalibrasyonu ve Uygunluk Değerlendirmesi

- Referans sıcaklık değeri

Referans ve kalibre edilen cihaz derece celsius okuması yapan göstergeye bağlıdır. Cihazlar alkol banyosunun içinde iken alkol banyosu -20  C'ye set edilmiştir ve istenilen sıcaklığa inmesi için beklenilmiştir. Sıcaklık kaynağı -20  C'ye indikten sonra sistemin kararlı hale gelmesi için 30 dakika daha beklenilmiştir. Kararlı durum oluştuktan sonra referans termometreden dakikada bir ölçüm olacak şekilde 30 dakika boyunca 30 ölçüm alınmıştır. Ölçümler, İstanbul'da özel bir kalibrasyon laboratuvarında gerçekleştirilmiştir ve ölçüm sonuçları Tablo II'de verilmiştir.

**Tablo II:** Referans sıcaklık değerleri (°C)

1. ölçüm	-20,15
2. ölçüm	-20,14
3. ölçüm	-20,17
4. ölçüm	-20,16
5. ölçüm	-20,18
6. ölçüm	-20,18
7. ölçüm	-20,16
8. ölçüm	-20,17
9. ölçüm	-20,15
10. ölçüm	-20,15
11. ölçüm	-20,15
12. ölçüm	-20,17
13. ölçüm	-20,16
14. ölçüm	-20,15
15. ölçüm	-20,15
16. ölçüm	-20,18
17. ölçüm	-20,16
18. ölçüm	-20,15
19. ölçüm	-20,15
20. ölçüm	-20,14
21. ölçüm	-20,16
22. ölçüm	-20,18
23. ölçüm	-20,17
24. ölçüm	-20,17
25. ölçüm	-20,17
26. ölçüm	-20,12
27. ölçüm	-20,13
28. ölçüm	-20,14
29. ölçüm	-20,13
30. ölçüm	-20,13
Ortalama sıcaklık	-20,16
Standart sapma	0,017

Referanstan alınan ölçümlerin ortalaması -20,16 °C'dir.

$$\bar{q} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} q_j$$

$$\bar{q} = -20,16 \text{ °C}$$

Referanstan alınan ölçümlere göre standart sapma hesaplanarak standart ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.



$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{30} (q_j - (-20,16^\circ\text{C}))^2}{30-1}}$$

$$s = 0,017^\circ\text{C}$$

Buna göre referans termometrenin ölçüm tekrarlanabilirliğinden gelen standart belirsizlik katkısı  $0,017^\circ\text{C}$ 'dir.

- Referans termometrenin kalibrasyon sertifikası ( $\delta t_{kal}$ )

Referans termometrenin izlenebilirliğini sağlaması için akredite kalibrasyon laboratuvarından kalibrasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu kalibrasyon işleminden gelen düzeltme ve ölçüm belirsizliği, belirsizlik bütçesine katılmaktadır. Kalibrasyon sertifikasına göre düzeltme değeri + yönde  $0,1^\circ\text{C}$ 'dir.  $-20^\circ\text{C}$  için kalibrasyon sertifikasından gelen genişletilmiş ölçüm belirsizliği (kapsam faktörü  $k=2$ )  $0,04^\circ\text{C}$ 'dir. Buna göre referans termometrenin kalibrasyon sertifikasından gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{kal}) = \frac{0,04^\circ\text{C}}{2} = 0,02^\circ\text{C}$$

- Referans termometrenin uzun dönem performansı ( $\delta t_{drift}$ )

Referans termometrenin kalibrasyon tarihçesi incelenerek senelere göre performansına bakılmıştır ve buradan hareketle sene içinde nasıl davranacağı hakkında varsayımda bulunarak cihazın ne kadar kayabileceği tespit edilmiştir.  $-20^\circ\text{C}$  için incelenen kalibrasyon sertifikalarına bakılarak bu belirsizlik katkısı  $0,03^\circ\text{C}$ 'dir. Buna göre referans termometrenin uzun dönem performansından gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{drift}) = \frac{0,03^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,0173^\circ\text{C}$$

- Referans termometrenin çözünürlüğü ( $\delta t_{\text{öz}, r}$ )

Çözünürlük, gösterge değerindeki algılanan en küçük değişim olarak tanımlanmaktadır. Referans termometre 0,01 °C'lik değişimlerle tepki vermektedir. Buna göre referans termometrenin çözünürlüğünden gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{\text{öz}, r}) = \frac{0,01 \text{ } ^\circ\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0,0029 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Kalibre edilen termometrenin sıcaklık değeri

Kalibre edilen termometreden 30 dk boyunca 30 ölçüm alınmıştır. Ölçümler, dakikada bir ölçüm olacak şekilde ve referans termometre ile eş zamanlı olacak şekilde alınmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo III'te verilmiştir.

**Tablo III:** Kalibre edilen termometreden okunan sıcaklık değerleri (°C)

1. ölçüm	-19,2
2. ölçüm	-19,7
3. ölçüm	-19,8
4. ölçüm	-19,8
5. ölçüm	-18,9
6. ölçüm	-19,6
7. ölçüm	-19,7
8. ölçüm	-19,1
9. ölçüm	-20,3
10. ölçüm	-19,6
11. ölçüm	-19,8
12. ölçüm	-20,1
13. ölçüm	-20
14. ölçüm	-19,1
15. ölçüm	-18,8
16. ölçüm	-19,7
17. ölçüm	-18,8
18. ölçüm	-19,9
19. ölçüm	-20
20. ölçüm	-19,4
21. ölçüm	-19,5
22. ölçüm	-19,8
23. ölçüm	-19,6
24. ölçüm	-19
25. ölçüm	-19,7
26. ölçüm	-19,6
27. ölçüm	-20,1
28. ölçüm	-20
29. ölçüm	-19,7
30. ölçüm	-19,9
Ortalama sıcaklık	-19,61
Standart sapma	0,403

Kalibre edilen sayısal termometreden alınan ölçümlerin ortalaması -19,61 °C'dir.

$$\bar{q} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} q_j$$

$$\bar{q} = -19,61 \text{ °C}$$

Kalibre edilen cihazdan alınan ölçümlere göre standart sapma hesaplanarak standart ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{30} (q_j - (-19,61^\circ\text{C}))^2}{30-1}}$$

$$s = 0,403^\circ\text{C}$$

Buna göre kalibre edilen termometrenin ölçüm tekrarlanabilirliğinden gelen standart belirsizlik katkısı  $0,403^\circ\text{C}$ 'dir.

- Kalibre edilen termometrenin çözünürlüğü ( $\delta t_{\text{öz. c}}$ )

Kalibre edilen termometre  $0,1^\circ\text{C}$ 'lik değişimlerle tepki vermektedir. Buna göre kalibre edilen termometrenin çözünürlüğünden gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{\text{öz. c}}) = \frac{0,1^\circ\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0,0289^\circ\text{C}$$

- Termal kaynak dağılımı ( $\delta t_{\text{dağılım}}$ )

Kaynak olarak kullanılan alkol banyosu  $-20^\circ\text{C}$ 'ye set edilmiştir. Normalde beklenen alkol banyosunun iç hacminin her kısmında  $-20^\circ\text{C}$ 'de sabitlenmesidir. Ancak pratikte her yerde  $-20^\circ\text{C}$ 'de değildir. Banyonun alt, üst köşelerinde ya da sağ, sol taraflarında sıcaklık değişiklikleri olabilir [44, 65]. Termal kaynak dağılımı olarak ifade edilen bu parametreden kaynaklanan belirsizlik katkısı  $0,15^\circ\text{C}$ 'dir. Buna göre termal kaynak dağılımından kaynaklanan standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{\text{dağılım}}) = \frac{0,15^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,0866^\circ\text{C}$$

- Termal kaynak stabilitesi ( $\delta t_{stabilite}$ )

Alkol banyosunun iç hacminde belirlenen bir alanda uzun süreli olarak aynı sıcaklık değerinde olması, termal kaynağın stabilitesi olarak tanımlanmaktadır ve bu parametreden kaynaklanan belirsizlik katkısı 0,025 °C'dir. Buna göre termal kaynak stabilitesinden kaynaklanan standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{stabilite}) = 0,025 \text{ °C}$$

- Buz noktası ölçümleri ( $\delta t_{buz}$ )

Kalibrasyondan önce ve kalibrasyondan sonra buz noktası ölçümleri alınarak termometrenin karakteristiği hakkında bilgi edinilmeye çalışılarak belirsizlik katkısı elde edilmiştir.

*Kalibrasyona başlarken alınan buz noktası ölçümü;*

$$t_{buz, ref} = 0,00 \text{ °C ve } t_{buz, ölçülen} = 0,2 \text{ °C}$$

*Kalibrasyondan sonra alınan buz noktası ölçümü;*

$$t_{buz, ref} = 0,00 \text{ °C ve } t_{buz, ölçülen} = 0,3 \text{ °C}$$

Kalibrasyondan önce ve kalibrasyondan sonra yapılan ölçümlere göre iki ölçüm arasındaki fark alınmıştır ve bu katkı 0,1 °C'dir.

Buna göre buz noktasından gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{buz}) = \frac{0,1 \text{ °C}}{\sqrt{3}} = 0,058 \text{ °C}$$

- Birleşik standart belirsizlik ( $u_c$ )

Elden edilen standart belirsizlikler ( $u(x_i)$ ) ve duyarlılık katsayısı ile çarpımlarından elde edilen belirsizlik katkılarından ( $u_i(y)$ ) yola çıkılarak birleşik ölçüm belirsizliği hesaplanmıştır.

$$u_c = \sqrt{(0,017)^2 + (0,02)^2 + (0,0173)^2 + (0,0029)^2 + (0,403)^2 + (0,0289)^2 + (0,0866)^2 + (0,025)^2 + (0,058)^2}$$

$$u_c = 0,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Genişletilmiş ölçüm belirsizliği (U)

Elde edilen birleşik standart belirsizliğini genişletmek için kapsam faktörü kullanılır. Kapsam faktörü 2 olarak alınmaktadır ve bu yaklaşık olarak %95 güven düzeyindedir. Yani elde edilen ölçüm belirsizliği %95 güven aralığındadır.

$$U = k \cdot u_c$$

$$U = 2 \times 0,42 \text{ } ^\circ\text{C} = 0,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Sayısal termometre kalibrasyonu belirsizlik bütçesi

Belirsizlik bütçesi; ölçüm belirsizliğini, bileşenlerini, bunların hesaplanmasını ve kombinasyonlarını içeren beyandır. Ölçülen büyüklük, tahmini değer, olasılık dağılımı, standart belirsizlik tipi, standart belirsizlik hesabı, duyarlılık katsayısı ve genişletilmiş belirsizlik değerini içermektedir [12]. Tablo IV'te sayısal termometrenin belirsizlik bütçesi verilmektedir.

**Tablo IV : Sayısal termometre kalibrasyonu belirsizlik bütçesi**

büyüklik $X_i$	tanım	tahmini değer $x_i$	standart belirsizlik $u(x_i)$	standart belirsizlik tipi	olasılık dağılımı	duyarlılık katsayısı $c_i$	belirsizlik katkısı $u_i(y)$
$t_{ref}$	Referans sıcaklık değeri	-20,16 °C	0,0170 °C	A	normal	1	0,0170 °C
$\delta t_{kal}$	Referans termometrenin kalibrasyon sertifikası	0,10 °C	0,0200 °C	B	normal	1	0,0200 °C
$\delta t_{drift}$	Referans termometrenin uzun dönem performansı	0,0 °C	0,0173 °C	B	dikdörtgen	1	0,0173 °C
$\delta t_{\text{çöz, r}}$	Referans termometrenin çözünürlüğü	0,0 °C	0,0029 °C	B	dikdörtgen	1	0,0029 °C
$t_c$	Kalibre edilen termometrenin sıcaklık değeri	-19,61 °C	0,4030 °C	A	normal	1	0,4030 °C
$\delta t_{\text{çöz, c}}$	Kalibre edilen termometrenin çözünürlüğü	0,0 °C	0,0289 °C	B	dikdörtgen	1	0,0289 °C
$\delta t_{dağılım}$	Termal kaynak dağılımı	0,0 °C	0,0866 °C	B	dikdörtgen	1	0,0866 °C
$\delta t_{stabilite}$	Termal kaynak stabilitesi	0,0 °C	0,0250 °C	B	dikdörtgen	1	0,0250 °C
$\delta t_{buz}$	Buz noktası ölçümleri	0,0 °C	0,0577 °C	B	dikdörtgen	1	0,0577 °C
$\Delta t$	<i>Düzeltilme değeri</i>	<i>-0,45 °C</i>					<i>0,42 °C</i>

- Sayısal termometre uygunluk değerlendirmesi

Referans sıcaklık ortalama değeri -20,16 °C'dir ancak referans termometrenin kalibrasyon sertifikası sonucuna göre düzeltme yapılması gerekir. Bu yüzden ölçüm esnasında okunan değere düzeltme değeri eklenerek düzeltilmiş referans sıcaklık elde edilir. Kalibrasyon sertifikasına göre bu düzeltme değeri + yönde 0,1 °C olmalıdır. Buna göre referans sıcaklık değeri -20,06 °C iken kalibre edilen termometre %95 güven aralığında -19,61 °C  $\pm$  0,84 °C değerini göstermektedir.

Raporlanan genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart ölçüm belirsizliğinin normal dağılım için yaklaşık % 95 kapsama olasılığını sağlayan kapsam faktörü  $k = 2$  ile çarpımının sonucu olarak ifade edilmiştir [2, 71].

Kalibre edilen sayısal termometrenin düzeltme değeri; referans sıcaklık değerinden kalibre edilen termometrenin okuduğu sıcaklık değerinin çıkartılmasıyla elde edilmektedir. Buna göre kalibre edilen sayısal termometreye ait düzeltme değeri şöyledir:

$$(-20,06 \text{ }^{\circ}\text{C}) - (-19,61 \text{ }^{\circ}\text{C}) = -0,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Cihaz kullanıcısı tarafından verilen toleransa göre karar kuralını uygulayıp cihaz için uygunluk değerlendirmesi yapmak istersek ölçüm sonuçlarına göre  $H_0$  hipotezini test etmemiz gerekir [54, 55].

Hipotez,  $H_0$ :  $P(T_L \leq Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$  doğru ise kabul.

Hipotez,  $H_0$  yanlış ise red  $\rightarrow P(T_L \leq Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$

$$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$$

Ölçülen değer  $-19,61 \text{ }^{\circ}\text{C}$  olup kullanıcı tarafından sağlanan tolerans  $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Referans sıcaklık değerinin de  $-20,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu göz önünde bulundurulursa karar kuralı aşağıdaki hipoteze göre test edilmelidir.

Hipotez,  $H_0$ :  $P(-21,06 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq -19,61 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq -19,06 \text{ }^{\circ}\text{C}) \geq 0,95$  doğru ise kabul.

$$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$$

$$P_C = \Phi((-19,06 \text{ }^{\circ}\text{C} - (-19,61 \text{ }^{\circ}\text{C})) / 0,42 \text{ }^{\circ}\text{C}) - \Phi((-21,06 \text{ }^{\circ}\text{C} - (-19,61 \text{ }^{\circ}\text{C})) / 0,42 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$P_C = 0,90482 - 0,00028 = 0,90454 < 0,95$$

Hipotez  $H_0$  yanlış olduğundan dolayı cihaz belirtilen bu tolerans değerine göre kullanım için uygun değildir.



Cihazın  $\pm 1,5$  °C tolerans aralığında kullanıldığında adli bilimler laboratuvarının verdiği raporlarda dikkate değer etki etmediğini varsayalım. Buna göre  $H_0$  hipotezini  $\pm 1,5$  °C tolerans değerinde test edersek;

Hipotez,  $H_0$ :  $P(-18,56 \text{ °C} \leq -19,61 \text{ °C} \leq -21,56 \text{ °C}) \geq 0,95$  doğru ise kabul.

$$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$$

$$P_C = \Phi((-18,56 \text{ °C} - (-19,61 \text{ °C})) / 0,42 \text{ °C}) - \Phi((-21,56 \text{ °C} - (-19,61 \text{ °C})) / 0,42 \text{ °C})$$

$$P_C = 0,993790 - 0,000002 = 0,993789 > 0,95$$

Hipotez  $H_0$  doğru olduğundan dolayı cihaz belirtilen bu tolerans değerine göre kullanım için uygundur.

#### 4.2.Sıcaklık Kontrollü Hacim Kalibrasyonu ve Uygunluk Değerlendirmesi

- Referans sıcaklık değeri

Referans ısılıçiftlerden dakikada bir ölçüm alınması sonucu tüm ısılıçiftlerin (10.ısılıçift dahil değil) ortalama sıcaklık değeri  $120,71$  °C olarak elde edilmiştir. Isılıçiftler, derece celsius okuması yapan gösteregeye bağlıdır. Ölçümler, İstanbul'da özel bir kalibrasyon laboratuvarında gerçekleştirilmiştir ve ölçüm sonuçları Tablo V'te verilmiştir.

**Tablo V:** Referans ısılcıftlerden okunan sıcaklık değerleri (°C)

	1. ısılcıft (°C)	2. ısılcıft (°C)	3. ısılcıft (°C)	4. ısılcıft (°C)	5. ısılcıft (°C)	6. ısılcıft (°C)	7. ısılcıft (°C)	8. ısılcıft (°C)	9. ısılcıft (°C)
1. ölçüm	121	121,1	120,7	120,6	120,6	121	120,7	120,8	120,8
2. ölçüm	121	121,1	120,5	120,5	120,7	121,1	120,7	120,8	120,8
3. ölçüm	120,9	121,1	120,7	120,6	120,7	121,1	120,6	121	120,9
4. ölçüm	121	121,1	120,7	120,7	120,7	121,1	120,6	120,8	121
5. ölçüm	121,1	121,1	120,7	120,5	120,7	121,1	120,7	121	120,8
6. ölçüm	121,1	121,1	120,6	120,5	120,7	121,1	120,6	120,9	120,8
7. ölçüm	121	121	120,7	120,6	120,7	121	120,6	120,8	120,8
8. ölçüm	121	121,1	120,6	120,4	120,7	121,1	120,5	120,9	121
9. ölçüm	121	121,1	120,7	120,5	120,7	121,1	120,7	120,9	121
10. ölçüm	121,1	121,1	120,7	120,5	120,7	121,1	120,7	120,9	121
11. ölçüm	121	121,1	120,7	120,7	120,7	121,1	120,7	120,8	120,9
12. ölçüm	121,1	121,1	120,7	120,5	120,7	121,1	120,7	120,9	120,8
13. ölçüm	121,1	121,1	120,7	120,5	120,6	121,1	120,5	120,8	120,9
14. ölçüm	120,9	121	120,5	120,4	120,5	121,1	120,5	120,8	120,7
15. ölçüm	120,9	120,9	120,5	120,4	120,5	121,1	120,4	120,7	120,8
16. ölçüm	121	121	120,6	120,5	120,6	121,1	120,5	120,8	120,8
17. ölçüm	121	121,1	120,6	120,6	120,7	121,1	120,5	120,8	120,8
18. ölçüm	121	121,2	120,7	120,5	120,7	121,1	120,7	121	120,9
19. ölçüm	121	121,2	120,8	120,5	120,7	121,1	120,7	121	121
20. ölçüm	121	121,1	120,7	120,5	120,7	121,1	120,6	121	121
21. ölçüm	121	121,1	120,7	120,5	120,7	121,1	120,7	120,8	120,8
22. ölçüm	121	121,1	120,5	120,5	120,6	121,1	120,6	120,8	120,9
23. ölçüm	120,9	121,1	120,7	120,5	120,5	121	120,5	120,8	120,9
24. ölçüm	121	121,1	120,5	120,4	120,7	121	120,6	120,9	120,8
25. ölçüm	121	121,1	120,7	120,5	120,7	121	120,6	120,9	120,8
26. ölçüm	121,1	121,2	120,6	120,6	120,6	121,1	120,6	120,9	120,8
27. ölçüm	121	121,2	120,7	120,5	120,7	121,1	120,6	120,8	120,9
28. ölçüm	121	121,1	120,7	120,5	120,7	121,2	120,6	120,8	120,8
29. ölçüm	121	121	120,7	120,5	120,6	121,1	120,6	121	120,8
30. ölçüm	121,1	121,1	120,7	120,5	120,6	121	120,7	120,9	120,9
Ortalama sıcaklık	121,01	121,09	120,65	120,52	120,66	121,08	120,61	120,87	120,86
Düzeltilmiş ortalama sıcaklık	120,91	120,89	120,55	120,62	120,46	121,18	120,31	120,67	120,76

9 ısılcıfta için de ayrı ayrı standart sapma hesaplanmıştır. Standart sapmanın en büyük olanı alınarak standart ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{30} (q_j - (120,71 \text{ } ^\circ\text{C}))^2}{30-1}}$$

$$\text{max standart sapma} = 0,085 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Buna göre referans ısılcıftların ölçüm tekrarlanabilirliğinden gelen standart belirsizlik katkısı 0,085 °C'dir.

- Referansın kalibrasyon sertifikası ( $\delta t_{kal}$ )

Referans ısılcıftların izlenebilirliğinin sağlanması için akreditasyona sahip laboratuvarlardan kalibrasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu kalibrasyon işleminden gelen ölçüm belirsizliği belirsizlik bütçesine katılmaktadır. Her ısılcıftın ayrı ayrı kalibrasyon sertifikası incelenmiştir ve kalibrasyon sertifikasına göre her ısılcıft için ayrı ayrı düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bundan dolayı belirsizlik bütçesinde düzeltme değeri sıfır olarak alınmaktadır. Ölçüm belirsizliği için ısılcıftlar arasından belirsizliği en büyük olanınki hesaba katılmıştır. 120 °C için kalibrasyon sertifikasından gelen en büyük genişletilmiş ölçüm belirsizliği (kapsam faktörü k=2) 0,8 °C'dir. Buna göre referansın kalibrasyon sertifikasından gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{kal}) = \frac{0,8 \text{ } ^\circ\text{C}}{2} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Referansın uzun dönem performansı ( $\delta t_{drift}$ )

Referans ısıçiftlerin kalibrasyon tarihçesi incelenerek senelere göre performansına bakılmıştır ve buradan hareketle sene içinde nasıl davranacağı hakkında varsayımda bulunarak cihazın ne kadar kayabileceği tespit edilmiştir.

Isıçiftler yeni olduğu için ve yeterli kalibrasyon tarihçesi bulunmadığından dolayı kullanma kılavuzundan yararlanarak senelik kayma tahmininde bulunulmuştur. Bu katkının  $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu varsayılmaktadır. Buna göre referansın uzun dönem performansından gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{drift}) = \frac{0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,115 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Referansın çözünürlüğü ( $\delta t_{\text{öz. r}}$ )

Çözünürlük, gösterge değerindeki algılanan en küçük değişim olarak tanımlanır. Referans  $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik değişimlerle tepki vermektedir. Buna göre referansın çözünürlüğünden gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{\text{öz. r}}) = \frac{0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0,087 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Kalibre edilen cihazın gösterge değeri

Cihazın göstergesinden dakikada bir ölçüm alınması sonucu ortalama sıcaklık değeri  $120,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo VI'da verilmiştir.

**Tablo VI:** Kalibre edilen cihazın göstergesinden okunan değerler (°C)

1. ölçüm	120,0
2. ölçüm	120,0
3. ölçüm	120,0
4. ölçüm	120,0
5. ölçüm	120,1
6. ölçüm	120,1
7. ölçüm	120,1
8. ölçüm	120,1
9. ölçüm	120,0
10. ölçüm	120,0
11. ölçüm	120,0
12. ölçüm	120,0
13. ölçüm	119,9
14. ölçüm	119,9
15. ölçüm	120,0
16. ölçüm	120,0
17. ölçüm	120,0
18. ölçüm	120,1
19. ölçüm	120,0
20. ölçüm	120,0
21. ölçüm	120,0
22. ölçüm	120,1
23. ölçüm	120,0
24. ölçüm	120,0
25. ölçüm	120,0
26. ölçüm	120,1
27. ölçüm	120,1
28. ölçüm	120,1
29. ölçüm	120,0
30. ölçüm	120,1
Ortalama	120,0
Standart sapma	0,058

Kalibre edilen cihazın göstergesinden alınan ölçümlere göre standart sapma hesaplanarak standart ölçüm belirsizliği elde edilmiştir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{30} (q_j - (120,0 \text{ } ^\circ\text{C}))^2}{30-1}}$$

$$s = 0,058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Buna göre kalibre edilen cihazın ölçüm tekrarlanabilirliğinden gelen standart belirsizlik katkısı 0,058 °C'dir.

- Kalibre edilen cihazın çözünürlüğü ( $\delta t_{\text{öz, c}}$ )

Kalibre edilen cihaz 0,1 °C'lik değişimlerle tepki vermektedir. Buna göre kalibre edilen cihazın çözünürlüğünden gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{\text{öz, c}}) = \frac{0,1 \text{ } ^\circ\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0,087 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Sıcaklık homojensizliği ( $\delta t_{\text{hom}}$ )

Referans ölçüm noktasındaki (Ortada 9.ısılcıftın olduğu ölçüm noktası) ortalama sıcaklık ile tüm köşelerdeki ısılcıftların ortalama sıcaklıkları arasındaki farklar incelenmiştir ve en büyük fark belirsizlik katkısı olarak elde edilmiştir.

Ölçüm noktalarındaki ısılcıftlardan alınan ortalama değerler  $t_i$  ( $i=1\dots 10$ ) ve kalibrasyon sertifikalarına göre düzeltmeleri yapıldıktan sonraki gerçek değerler  $t_{i,d}$  şöyledir:

$$t_1 = 121,01 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{1,d} = 120,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 121,09 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{2,d} = 120,89 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 120,65 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{3,d} = 120,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 120,52 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{4,d} = 120,62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = 120,66 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{5,d} = 120,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_6 = 121,08 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{6,d} = 121,18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_7 = 120,61 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{7,d} = 120,31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_8 = 120,87 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{8,d} = 120,67 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_9 = 120,86 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{9,d} = 120,76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Referans ölçüm noktasındaki düzeltilmiş ortalama sıcaklık ile tüm köşelerdeki ısılıçiftlerin düzeltilmiş ortalama sıcaklıkları arasındaki farklar Tablo VII'de verilmiştir.

**Tablo VII:** Sıcaklık homojensizlik etkisi

$t_{9,d} - t_{1,d}$	$t_{9,d} - t_{2,d}$	$t_{9,d} - t_{3,d}$	$t_{9,d} - t_{4,d}$	$t_{9,d} - t_{5,d}$	$t_{9,d} - t_{6,d}$	$t_{9,d} - t_{7,d}$	$t_{9,d} - t_{8,d}$
0,15 °C	0,13 °C	0,21 °C	0,15 °C	0,31 °C	0,42 °C	0,45 °C	0,10 °C

Tablo VII incelendiğinde en büyük farkın 7.ısılıçift ile olduğu görülmektedir.

$$\delta t_{hom} = |t_{9,d} - t_{7,d}| = |120,76 \text{ } ^\circ\text{C} - 120,31 \text{ } ^\circ\text{C}| = 0,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Buna göre homojensizlikten gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{hom}) = \frac{0,45 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,26 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

- Sıcaklık kararsızlığı ( $\delta t_{karar}$ )

Referans ölçüm noktasında (Ortada bulunan 9.ısılıçiftin olduğu ölçüm noktası) 30 dk boyunca veri alınmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo VIII'de verilmiştir.

**Tablo VIII:** Sıcaklık kararsızlık etkisi (°C)

	<i>9.ısılcıft (°C)</i>	<i>Düzeltilmiş değerler (°C)</i>
1. ölçüm	120,8	120,70
2. ölçüm	120,8	120,70
3. ölçüm	120,9	120,80
4. ölçüm	121	120,90
5. ölçüm	120,8	120,70
6. ölçüm	120,8	120,70
7. ölçüm	120,8	120,70
8. ölçüm	121	120,90
9. ölçüm	121	120,90
10. ölçüm	121	120,90
11. ölçüm	120,9	120,80
12. ölçüm	120,8	120,70
13. ölçüm	120,9	120,80
14. ölçüm	120,7	120,60
15. ölçüm	120,8	120,70
16. ölçüm	120,8	120,70
17. ölçüm	120,8	120,70
18. ölçüm	120,9	120,80
19. ölçüm	121	120,90
20. ölçüm	121	120,90
21. ölçüm	120,8	120,70
22. ölçüm	120,9	120,80
23. ölçüm	120,9	120,80
24. ölçüm	120,8	120,70
25. ölçüm	120,8	120,70
26. ölçüm	120,8	120,70
27. ölçüm	120,9	120,80
28. ölçüm	120,8	120,70
29. ölçüm	120,8	120,70
30. ölçüm	120,9	120,80

Alınan verilere göre bu noktadaki ortalama sıcaklık ile maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık arasındaki farklar incelenmiştir. Oluşan en büyük fark, belirsizlik katkısı olarak elde edilmiştir.



$$\delta t_{karar, max} = |120,76 \text{ }^{\circ}\text{C} - 120,90 \text{ }^{\circ}\text{C}| = 0,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\delta t_{karar, min} = |120,76 \text{ }^{\circ}\text{C} - 120,60 \text{ }^{\circ}\text{C}| = 0,16 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Buna göre kararsızlıktan gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{karar}) = \frac{0,16 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,092 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Radyasyon etkisi ( $\delta t_{rad}$ )

Sıcaklık kontrollü hacimde iç duvarlar, her zaman cihaz içindeki hava sıcaklığından farklıdır. Sıcaklık değişimi nedeniyle hem cihaz içindeki objeler hem de referans termometreler, ortam sıcaklığıyla aynı sıcaklıkta olamaz. Referans termometre ve hava sıcaklığı arasında oluşan sıcaklık farkı; termometre yüzeyinin emisivitesine ( $\epsilon$ ), boyutuna, sensörün pozisyonuna, içerdeki havanın hızına ve hava ile iç duvar arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Radyasyon etkisi sıcaklık arttıkça artar [68, 69].

Radyasyon etkisinin tespiti için yüksek emisivite ( $\epsilon > 0,6$ ) ve düşük emisivite ( $\epsilon < 0,15$ ) yüzeyli termometreler kullanılır [68]. Düşük emisiviteli malzemeye sahip termometrenin okuduğu sıcaklık değeri cihazın hava sıcaklığına hemen hemen eşittir (emisivite sıfıra ne kadar yakınsa o kadar doğru). Düşük emisivite ve yüksek emisivite değerine sahip iki ısılıftan alınan ölçümlerden yola çıkarak ikisi arasındaki farkın %20'si kadar belirsizlik katkısı olarak elde edilir [68].

Radyasyon etkisine ait ölçüm sonuçları Tablo IX'da verilmiştir.

**Tablo IX: Radyasyon etkisi (°C)***10. ısıçift (°C)*

1. ölçüm	121,6
2. ölçüm	121,6
3. ölçüm	121,7
4. ölçüm	121,6
5. ölçüm	121,8
6. ölçüm	121,7
7. ölçüm	121,8
8. ölçüm	121,6
9. ölçüm	121,8
10. ölçüm	121,8
11. ölçüm	121,8
12. ölçüm	121,8
13. ölçüm	121,8
14. ölçüm	121,7
15. ölçüm	121,7
16. ölçüm	121,5
17. ölçüm	121,6
18. ölçüm	121,8
19. ölçüm	121,8
20. ölçüm	121,7
21. ölçüm	121,8
22. ölçüm	121,7
23. ölçüm	121,8
24. ölçüm	121,8
25. ölçüm	121,7
26. ölçüm	121,8
27. ölçüm	121,8
28. ölçüm	121,7
29. ölçüm	121,7
30. ölçüm	121,8
Ortalama sıcaklık	121,73
Düzeltilmiş ortalama sıcaklık	121,56

Elde edilen verilerden 120 °C set değerindeki radyasyon etkisi;

$$\delta t_{rad} = | \delta t_9 - \delta t_{rad} | \times (\%20)$$

$$\delta t_{rad} = | 120,76 \text{ °C} - 121,56 \text{ °C} | \times 0,2 = 0,16 \text{ °C} \text{ olarak tespit edilmiştir.}$$

Buna göre radyasyon etkisinden gelen standart belirsizlik katkısı şöyledir:

$$u(\delta t_{rad}) = \frac{0,16 \text{ °C}}{\sqrt{3}} = 0,092 \text{ °C}$$

- Yükleme etkisi ( $\delta t_{yükleme}$ )

Kalibre edilen cihazın içinin dolu olması durumunda alınan ölçümlerde farklılıklar olabilir.

Kalibrasyon işlemi cihazın içi boş iken gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden bu etki ihmal edilmiştir.

- Birleşik standart belirsizlik ( $u_c$ )

Elden edilen standart belirsizlikler ( $u(x_i)$ ) ve duyarlılık katsayısı ile çarpımlarından elde edilen belirsizlik katkılarından ( $u_i(y)$ ) yola çıkılarak birleşik ölçüm belirsizliği ( $u_c$ ) hesaplanmıştır

$$u_c = \sqrt{(0,085 \text{ °C})^2 + (0,4 \text{ °C})^2 + (0,115 \text{ °C})^2 + (0,087 \text{ °C})^2 + (0,058 \text{ °C})^2 + (0,087 \text{ °C})^2 + (0,26 \text{ °C})^2 + (0,092 \text{ °C})^2 + (0,092 \text{ °C})^2}$$

$$u_c = 0,53 \text{ °C}$$

- Genişletilmiş ölçüm belirsizliği ( $U$ )

Elde edilen birleşik standart belirsizliğini genişletmek için kapsam faktörü kullanılır. Kapsam faktörü 2 olarak alınmaktadır ve bu yaklaşık olarak %95 güven düzeyindedir. Yani elde edilen ölçüm belirsizliği %95 güven aralığındadır.

$$U = k \cdot u_c$$

$$U = 2 \times 0,53 \text{ °C} = 1,06 \text{ °C}$$

- Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonu belirsizlik bütçesi

Belirsizlik bütçesi; ölçüm belirsizliğini, bileşenlerini, bunların hesaplanmasını ve kombinasyonlarını içeren beyandır. Ölçülen büyüklük, tahmini değer, olasılık dağılımı, standart belirsizlik tipi, standart belirsizlik hesabı, duyarlılık katsayısı ve genişletilmiş belirsizlik değerini içermektedir [12]. Tablo X’da sıcaklık kontrollü hacime ait belirsizlik bütçesi verilmektedir.

**Tablo X:** Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonu belirsizlik bütçesi

büyüklik $X_i$	tanım	tahmini değer $x_i$	standart belirsizlik $u(x_i)$	standart belirsizlik tipi	olasılık dağılımı	duyarlılık katsayısı $c_i$	belirsizlik katkısı $u_i(y)$
$t_{ref}$	Referans sıcaklık değeri	120,71 °C	0,085 °C	A	normal	1	0,085 °C
$\delta t_{kal}$	Referansın kalibrasyon sertifikası	0,0 °C	0,400 °C	B	normal	1	0,400 °C
$\delta t_{drift}$	Referansın uzun dönem performansı	0,0 °C	0,115 °C	B	dikdörtgen	1	0,115 °C
$\delta t_{\text{çöz, r}}$	Referansın çözünürlüğü	0,0 °C	0,087 °C	B	dikdörtgen	1	0,087 °C
$t_c$	Kalibre edilen cihazın göstergesi	120,0 °C	0,058 °C	A	normal	1	0,058 °C
$\delta t_{\text{çöz, c}}$	Kalibre edilen cihazın çözünürlüğü	0,0 °C	0,087 °C	B	dikdörtgen	1	0,087 °C
$\delta t_{hom}$	Sıcaklık homojensizliği	0,0 °C	0,260 °C	B	dikdörtgen	1	0,260 °C
$\delta t_{karar}$	Sıcaklık kararsızlığı	0,0 °C	0,092 °C	B	dikdörtgen	1	0,092 °C
$\delta t_{rad}$	Radyasyon etkisi	0,0 °C	0,092 °C	B	dikdörtgen	1	0,092 °C
$\delta t_{yükleme}$	Yükleme etkisi	0,0 °C	0,000 °C	B	dikdörtgen	1	0,000 °C
$\Delta t$	<b>Düzeltilme değeri</b>	<b>0,71 °C</b>					<b>0,53 °C</b>

- Sıcaklık kontrollü hacim uygunluk değerlendirmesi

Referans ısıçiftlerden okunan ortalama sıcaklık değeri 120,71 °C’dir. Buna göre cihaz 120 °C’de iken referans sıcaklık değeri %95 güven aralığında 120,71 °C  $\pm$  1,06 °C değerini göstermektedir.

Raporlanan genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart ölçüm belirsizliğinin normal dağılım için yaklaşık % 95 kapsama olasılığını sağlayan kapsam faktörü  $k = 2$  ile çarpımının sonucu olarak ifade edilmiştir. [2, 71].

Sıcaklık kontrollü hacimin düzeltme değeri; referans ısıçiftlerin sıcaklık değerinden cihazın okuduğu sıcaklık değerinin çıkartılmasıyla elde edilmektedir. Buna göre cihaza ait düzeltme değeri şöyledir:

$$(120,71 \text{ } ^\circ\text{C}) - (120 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0,71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cihaz kullanıcısı tarafından verilen toleransa göre karar kuralını uygulayıp cihaz için uygunluk değerlendirmesi yapmak istersek ölçüm sonuçlarına göre  $H_0$  hipotezini test etmemiz gerekir [54, 55].

Hipotez,  $H_0$ :  $P(T_L \leq Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$  doğru ise kabul.

Hipotez,  $H_0$  yanlış ise red  $\rightarrow P(T_L \leq Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$

$$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$$

Sıcaklık kontrollü hacim içindeki referans ısıçiftler ile ölçülen ortalama sıcaklık  $120,71 \text{ } ^\circ\text{C}$  olup kullanıcı tarafından sağlanan tolerans  $\pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'dir. Buna göre karar kuralı aşağıdaki hipoteze göre test edilmelidir.

Hipotez,  $H_0$ :  $P(118 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 120,71 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 122 \text{ } ^\circ\text{C}) \geq 0,95$  doğru ise kabul.

$$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi((T_U - y) / u) - \Phi((T_L - y) / u)$$

$$P_C = \Phi((122 \text{ } ^\circ\text{C} - 120,71 \text{ } ^\circ\text{C}) / 0,53 \text{ } ^\circ\text{C}) - \Phi((118 \text{ } ^\circ\text{C} - 120,71 \text{ } ^\circ\text{C}) / 0,53 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$P_C = 0,99253 - 0 = 0,99253 > 0,95$$

Hipotez  $H_0$  doğru olduğundan dolayı cihaz belirtilen bu tolerans değerine göre kullanım için uygundur.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Adli bilimler laboratuvarlarında kullanılan sıcaklık cihazlarının kullanım için uygun olup olmadığının tespiti, verilen adli raporlar açısından önemlidir. Adli bilimler laboratuvarlarının, kullandıkları cihazı hangi kabul aralığında kullanması gerektiğini belirlemesi gerekir ve belirlenen bu kabul aralığına göre kullanım için uygun ya da kullanım dışı olabileceğinin farkında olmaları gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle bir kalibrasyon laboratuvarının hangi şartları esas alarak akredite olduğu incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada ISO/IEC 17025 standardının 2017 yılında güncellenmiş hali esas alınmıştır. Bu standarda göre çalışan bir kalibrasyon laboratuvarının üretmiş olduğu sonuçlar uluslararası geçerliliğe sahiptir. Buradan hareketle ISO/IEC 17025:2017 standardı esaslarının bir kısmını dahi olsa yerine getirmeyen kalibrasyon laboratuvarının güvenilirliği ve akreditasyonu sorgulanır.

Adli bilimler laboratuvarlarının kalibrasyon işlemi yaptırmadan önce hizmet satın alacağı kalibrasyon laboratuvarını iyi seçmiş olması gerekmektedir. Hizmet alacağı kalibrasyon laboratuvarlarının en iyi ölçüm belirsizliklerini dikkatle incelemelidir. Örneğin toleransı  $\pm 0,5$  °C olan cihaz için en iyi genişletilmiş ölçüm belirsizliği 0,5 °C olan bir kalibrasyon laboratuvarından hizmet satın alınırsa cihazın ölçüm sonucu 0,1 °C bile hatalı çıksa ölçüm belirsizliğinden dolayı cihaza uygunluk verilemeyecektir.

Kalibrasyon sonuçlarına göre uygunsuz çıkan cihazları kullanım dışı bırakmak yerine kullanıcı tarafından sağlanan 'tolerans' üzerinde tekrar düşünülebilir. Adli bilimler laboratuvarları, vereceği deney raporlarını da göz önünde bulundurarak cihazların toleransı arttırabilir. Kalibrasyon sonrası kullanım için uygunsuz çıkan cihazlarla ilgili başka bir yöntem olarak şu da yapılabilir. Eğer mümkünse cihazlara ayar işlemi ya da tamir yapılır ve kalibrasyon işlemi

tekrar gerçekleştirilir. Kalibrasyon sonrası sonuçlar tekrar değerlendirilir. Tolerans, ayar, tamir gibi işlemler sonunda kullanım için uygunluk sonucu çıkmıyor ise cihaz artık kullanım dışıdır ve yeni bir cihaz satın alınır. Kalibrasyon işlemi tekrar yaptırılarak kalibrasyon sonrası sonuçlar tekrar değerlendirilir.

Bu tez çalışmasında adli bilimler laboratuvarlarında kullanılan sıcaklık cihazlarından bazıları için, uluslararası geçerliliği olan “ISO/IEC 17025 Deney Ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler Standardı” gereğince kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiş olup daha sonra cihazların kullanım için uygun olup olmadığını belirten uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Kalibrasyon işlemlerinde sayısal termometre ve sıcaklık kontrollü hacim kullanılmıştır. Sayısal termometre kalibrasyonunda referans olarak Pt100 ve Pt100’ün bağlı olduğu derece celsius okuması yapan gösterge kullanılmıştır. Sıcaklık kaynağı olarak alkol banyosu kullanılmıştır. Sıcaklık kontrollü hacim kalibrasyonunda ise k tipi ısı çiftler ve bunların bağlı olduğu derece celsius okuması yapan gösterge kullanılmıştır.

“EA-4/02 Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration”, “EURAMET Calibration Guide – 8, Calibration of Thermocouples”, “DKD-R 5-7 Calibration of Climatic Chambers”, “EURAMET Guidelines on The Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures” dokümanları sıcaklık kalibrasyonlarında rehber olarak alınmaktadır ve bu tezde “ISO/IEC 17025 Deney Ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler Standardı” temel alınarak bu dokümanlardan yararlanılmıştır. Bahsedilen bu dokümanlar kalibrasyon işlemiyle ilgilenmektedir. Kalibrasyon sonrasında cihazın kullanım için uygun ya da kullanım dışı olabileceği ile ilgilenmemektedirler. Kalibrasyon sonuçlarını ve değerlendirmesini kullanıcıya bırakmaktadırlar. Ancak ISO/IEC 17025:2017 standardına göre kalibrasyon laboratuvarı müşteri ile anlaşım karar kuralı uygulamalı ve cihaza ait uygunluk değerlendirmesi yapmalıdır.



Kalibrasyon sonuçlarına göre cihazların kullanım için uygun olup olmadığına karar vermek için karar kuralı uygulanarak uygunluk değerlendirmesi yapılmalıdır. “*EUROLAB Technical Report No.01/2017 Decision Rules Applied To Conformity Assessment*”, “*ILAC-G8:03/2009 Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification*”, “*EUROLAB Cook Book Doc No.8, Determination of Conformance With Specifications Using Measurement Uncertainties – Possible Strategies*” dokümanları uygunluk değerlendirmesinde kullanılan rehber dokümanlardır. Ancak bu dokümanlarda da genel bir uygunluk değerlendirmesi yaklaşımı mevcut olup özellikle sıcaklık kalibrasyon sonrası uygunluk değerlendirmesi ile ilgilenilmemektedir.

Bu çalışma, sıcaklık kalibrasyonu ve uygunluk değerlendirmesi dokümanlarına ek çalışma niteliğindedir. Sıcaklık cihazlarının kalibrasyon sonrası kullanılıp kullanılmayacağı sorusuyla ilgilenilmektedir ve “*ISO/IEC 17025 Deney Ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler Standardı*” esas alınmıştır. Bundan sonra buna benzer çalışmalara yol gösterici olması hedeflenmiştir.

## 6. KAYNAKÇA

1. Bell Stephanie, *Good Practice Guide No.11 The Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement*, National Physics Laboratory, Issue 2 with amendments, March 2001
2. European Accreditation, *EA-4/02, Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, Rev 01, September 2013
3. [http://www.turkak.org.tr/turkaksite/kurumsalbirimlerlabakrdbskligi\\_1.aspx](http://www.turkak.org.tr/turkaksite/kurumsalbirimlerlabakrdbskligi_1.aspx) (Erişim tarihi: 20.05.2019)
4. Türk Standardları Enstitüsü, *TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği İçin Genel Gereklilikler*, 2017
5. Salkım İşlek, Dilek ve Yükseloğlu, Emel Hülya, *Accreditation of Forensic Science Laboratories in Turkey in the Scope of TS EN ISO/IEC 17025:2017 Standard*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Medicine Science International Medical Journal, December 2018
6. <http://www.turkak.org.tr/TURKAKSITE/AkreditasyonAkreditasyonNedir.aspx> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
7. International Laboratory Accreditation Cooperation, International Accreditation Forum, *IAF/ILAC Brochure, Accreditation: Facilitating World Trade*, 2018
8. Türk Akreditasyon Kurumu, *R20.43, Laboratuvarların Akreditasyonuna Dair Rehber, Revizyon No:1*, 31.01.2019
9. Bureau International des Poids et Mesure, *The International System of Units (SI), 9th Edition*, 6 February 2019
10. 26th Meeting of the CGPM, *Draft Resolution A*, 13-16 November 2018
11. Türk Akreditasyon Kurumu, *R10.12 Metrolojik İzlenebilirlik Rehberi, Revizyon No.4*, 25.09.2018

12. Joint Committee for Guides in Metrology, *JCGM 200:2012, International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms*, (VIM), 3rd Edition, 2008 Version With Minor Corrections, 2012
13. <https://www.bipm.org/en/about-us/role.html> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
14. <https://www.bipm.org/en/committees/cipm/members-cipm.html> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
15. <https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/cgpm/> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
16. <https://www.iso.org/about-us.html> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
17. International Organization for Standardization, *ISO Brochure, ISO in Brief*, July 2018
18. International Organization for Standardization, *ISO Annual Report*, 2018
19. <https://www.iec.ch/about/> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
20. International Electrotechnical Commission, *IEC Annual Report*, 2018
21. International Laboratory Accreditation Cooperation, *ILAC MRA Annual Report*, 2017
22. International Laboratory Accreditation Cooperation, *ILAC Brochure, The ILAC Mutual Recognition Arrangement*, 10/2015
23. International Accreditation Forum, *IAF MLA Annual Report*, 2017
24. International Accreditation Forum, *IAF Brochure, The IAF Multilateral Recognition Arrangement (MLA)*, 01/2012
25. <https://european-accreditation.org/about-ea/who-are-we/> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
26. European Co-Operation for Accreditation, *EA Brochure, Who We Are*, 01.12.2018
27. Resmi Gazete, Sayı:30229, *Uygunluk Değerlendirme Kuruluşlarının Akreditasyonu Hakkında Yönetmelik*, 3 Kasım 2017
28. <https://secure.turkak.org.tr/kapsam/search> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
29. <https://www.tse.org.tr/Hakkimizda?ID=4&ParentID=1> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
30. <https://www.tse.org.tr/Hakkimizda?ID=4&ParentID=3> (Erişim tarihi: 20.05.2019)

31. <http://www.ume.tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/biz-kimiz-0> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
32. <https://www.iec.ch/about/values/vision.htm> (Erişim tarihi: 20.05.2019)
33. International Organization for Standardization, *ISO Revision Brochure, ISO/IEC 17025 Testing and Calibration Laboratories, October 2017*
34. Türk Standardları Enstitüsü, *TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar*, Aralık 2005
35. Türk Akreditasyon Kurumu, *ISO/IEC 17025 Standart Revizyonu Bilgilendirme Kılavuzu, Temel Değişiklikler*, 2018
36. Türk Akreditasyon Kurumu, *ISO/IEC 17025 Standart Revizyonu Bilgilendirme Kılavuzu, Karar Kuralı*, 2018
37. Bayram, Levent, *Adli Bilimler Laboratuvarlarında TS EN ISO/IEC 17025 Standardı Teknik Gereklilikleri, Polis Bilimleri Dergisi, PDB, 14(1), ss.81-99*, 2012
38. Rusby Richard, *Good Practice Guide No.125 Introduction to Temperature Measurement, Version 2.0*, National Physics Laboratory, 2016
39. Raymond A. Serway, Robert J. Beichner, *Physics for Scientist and Engineers*, Serway 1, 5th Edition, 2014
40. Ulusal Metroloji Enstitüsü, *Metroloji*, 1. Basım, Şubat 2013
41. Aydemir Bülent, Ulusal Metroloji Enstitüsü, *SI Birimlerindeki Değişiklikler ve Etkileri*, Yeditepe Üniversitesi Metroloji Seminerleri, 24 Ocak 2019
42. H.Preston-Thomas, *The International Temperature Scale of 1990*, Metrologia, 27, 1990
43. Bureau International des Poids et Mesure, *Guide to the Realization of ITS-90, Introduction*, 1 January 2018
44. European Association of National Metrology Institutes, *Calibration Guide – 8, Calibration of Thermocouples*, Version 2.1, 10/2011

45. Bureau International des Poids et Mesure, *Guide to the Realization of the ITS 90, Platinum Resistance Thermometry*, 12 July 2016
46. Sostmann Henry E, Isotech, *Fundamentals of Thermometry Part III, The Standard Platinum Resistance Thermometer*
47. Measurement Standards Laboratory of New Zealand, *MSL Technical Guide 14, Making Sense of Thermocouples*, Version 2, December 2017
48. Measurement Standards Laboratory of New Zealand, *MSL Technical Guide 1, The Ice Point*, June 2002
49. Bureau International des Poids et Mesure, *Guide to the Realization of the ITS 90, Triple Point of Water*, 29 June 2017+
50. Joint Committee for Guides in Metrology, *JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, First Edition, September 2008
51. Sadikhov Enver, Kangı Rıfat, Uğur Sevilay, *Ölçüm Belirsizliği, UME-95-014*, Ulusal Metroloji Enstitüsü, Kasım 1995
52. Joint Committee for Guides in Metrology, *JCGM 104:2009, Evaluation of Measurement Data - An Introduction to the "Guide to the expression of Uncertainty in Measurement" and Related Documents*, First Edition, July 2009
53. European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories, *Cook Book Doc No.8, Determination of Conformance With Specifications Using Measurement Uncertainties – Possible Strategies*, Rev 2017
54. European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories, *Technical Report No.01/2017, Decision Rules Applied to Conformity Assesment*, January 2017

55. Joint Committee for Guides in Metrology, *JCGM 106:2012, Evaluation of Measurement Data - The Role of Measurement uncertainty in Conformity Assessment*, October 2012
56. International Laboratory Accreditation Cooperation, *ILAC-G8:03/2009 Spesifikasyona Uygunluk Bildirimi ile İlgili Rehber*, Türk Akreditasyon Kurumu Türkçe çeviri, 2009
57. EURACHEM/CITAC Guide, *Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment*, First Edition, 2007
58. National Physics Laboratory, *Good Practice Guide No. 118 A Beginner's Guide to Measurement*, Version 3, 2010
59. International Laboratory Accreditation Cooperation, Organisation Internationale De Metrologie Legale. *ILAC-G24/OIML D 10, Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyon Aralıklarını Belirlemeye Yönelik Rehber*, 2007
60. Türk Kalibrasyon ve Deney Laboratuvarları Derneği, *ISO/IEC 17025:2017 Revizyon Rehberi*
61. Türk Akreditasyon Kurumu, *R20.06, Kalibrasyon Laboratuvarları İçin Akreditasyon Başvurusunda Bildirilecek Çalışma Alanları, Rev.02, 04.08.2014*
62. European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories, *Cook Book Doc No.18, An Introduction to Risk Consideration*, Rev.2018
63. Türk Akreditasyon Kurumu, *ISO/IEC 17025 Standart Revizyonu Bilgilendirme Kılavuzu, Risk Temelli Düşünce*, 2018
64. Eğilmez Fatih, Türk Akreditasyon Kurumu, *TS EN ISO/IEC 17025:2017 Revizyonu ve Temel Değişiklikler*, Yeditepe Üniversitesi Metroloji Seminerleri, 24 Ocak 2019

65. European Association of National Metrology Institutes, *Calibration Guide No.13, Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators*, Version 4.0, 09/2017
66. Arifoviç Narcisa, Derelioğlu Alev, *Kuru Fırın Ölçümlerin Belirsizlik Hesabı*, TMMOB Makine Mühendisler Odası, VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, İzmir, 30 Ekim-1 Kasım 2008
67. Arifoviç Narcisa, Derelioğlu Alev, *Sıcaklık Kaynaklarının Karşılaştırılması*, TMMOB Makine Mühendisler Odası, VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, İzmir, 30 Ekim-1 Kasım 2008
68. Deutscher Kalibrierdienst, *Guideline DKD-R 5-7 Calibration of Climatic Chambers*, Edition 07/2004, English translation 02/2009
69. European Association of National Metrology Institutes, *Calibration Guide No.20, Guidelines on The Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures*, Version 5.0, 09/2017
70. Davut Aynur, *Sıcaklık Kontrollü Hacimlerde Sıcaklık Dağılımın Tespiti*, TMMOB Makine Mühendisler Odası, VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, İzmir, 30 Ekim-1 Kasım 2008
71. International Laboratory Accreditation Cooperation, *ILAC-P14:01/2013 Kalibrasyon Belirsizliğine İlişkin ILAC Politikası*, Türk Akreditasyon Kurumu Türkçe çeviri, 2013

## 7. ÖZGEÇMİŞ

***Hakan ARPACIK***

### **Kişisel Bilgiler**

**Uyruk:** Türkiye Cumhuriyeti

**Doğum Tarihi:** 06.03.1990

**Doğum Yeri:** Şişli, İstanbul

### **Eğitim Bilgileri**

**Yüksek Lisans:** İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri

**Lisans:** Marmara Üniversitesi, Fizik Bölümü

**Lise:** Şişli Kurtuluş Lisesi (YDA)

### **Yabancı Dil**

İngilizce

### **İletişim Bilgileri**

**e-mail:** hakanarpacik@gmail.com