

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SICAKLIK ÖLÇÜM TEKNİKLERİNİN KALİBRASYON
METODLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Emre BAYRAKLILAR

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı ve Proses Tekniği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan HEPERKAN

İstanbul - 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Metroloji.....	2
1.2 Kalibrasyon.....	2
1.3 İzlenebilirlik ve Belirsizlik.....	3
2. ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ.....	5
2.1 Belirsizliğe Etki Eden Faktörler.....	7
2.2 Güven Aralığı.....	9
2.3 Ölçüm Belirsizliklerinin Hesaplanması.....	10
2.4 Belirsizlik Faktörlerinin Sınıflandırılması.....	10
2.5 Ortalamanın Standart Sapması.....	11
2.6 Toplam Belirsizliğin Hesaplanması.....	12
2.7 Genişletilmiş Belirsizlik.....	12
3. BİRİM SİTEMLERİ.....	12
4. SICAKLIK SKALASI (ITS 90).....	14
4.1. Sıcaklık Birimleri.....	14
4.2. Sıcaklığın Direnç Üzerine Etkisi.....	14
4.3. Platin Resistans Termometreler.....	14
5. SUYUN ÜÇLÜ (SIFIR) NOKTASI (TRIPLE POINT OF WATER).....	16
6. TERMOCOUPLE TERMOMETRESİ.....	17
6.1. Termoelektrik etki.....	18
6.2. Termokupl Tipleri.....	18
6.3. Termokupl termometrelerin kalibrasyonu.....	19

7.	SICAKLIK BANYOLARI.....	19
7.1.	Metal Block Bath(Metal Banyolar).....	19
7.2.	Liquid Bath(Sıvı Banyolar).....	20
7.3.	Ice/Water Bath (Buz/Su Banyolar).....	21
7.4.	Black Body Source(Siyah Cisim Kaynağı).....	21
7.5.	Surface Sensor Calibrator(Yüzey Probu Kalibratörü)	22
7.6.	ITS-90 Fixed Point Apparatus.....	23
8.	PRT KALİBRASYONU ANALİZ PROGRAMI.....	23
9.	SONUÇ	26
	KAYNAKLAR.....	27
	EKLER.....	28
	Ek 1 PRT Kalibrasyon Programı	
	Ek 2 Örnek PRT Kalibrasyonu Sıcaklık Diren İlişkisi Hesabı	
	Ek 3 Programın Yazılım Kodları	
	Ek 4 Ulusak Metroloji Enstitüsü PRT Sertifikası	
	ÖZGEÇMİŞ.....	29

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
cd	Kandela
I	Akım
K	Kelvin
kg	Kilogram
m	Metre
Mol	Mol
R	Direnç
S	Standart Sapma
s	Saniye
T	Sıcaklık
U	Belirsizlik
V	Voltaj

KISALTMA LİSTESİ

CGPM	Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı
ITS 90	The International Temperature Scale of 1990
PRT	Platin Resistans Termometre

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1. Suyun Üçlü Noktası Deney Düzenegi.....	16
Şekil 5.2 Karşılaştırmalı Sıcaklık Kalibrasyonu Deney Düzenegi.....	17
Şekil 5.3 A ve B farklı iki teli kapsayan temel termoelektrik devre.....	18
Şekil 7.1. Kuru Tip Metal Block Banyo.....	19
Şekil 7.2. Kuru Tip Banyolarda yer alan inserterin yapısı	20
Şekil 7.3. Kuru Tip Banyoların Ortalama Isınma ve Soğuma Zamanları.....	20
Şekil 7.3. Bir Sıvı Banyonun İç Yapısı.....	21
Şekil 7.4. Siyah Cisim Kaynağı Dış Görünüşü.....	22
Şekil 7.5. Siyah Cisim Kaynağı İç Görünüşü.....	22
Şekil 7.6. Yüzey Tipi Probların Kalibrasyonunda kullanılan Aparatlar.....	23

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 6.1. Termocouple cinsine bağlı çalışma sıcaklığı aralıkları.....	19
Çizelge 8.1. Akım Şeması	25

ÖNSÖZ

Bu tezin amacı sanayide kullanılan sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonunun incelenmesidir. Bilindiği üzere sıcaklık ölçümü zor bir prosesdir. Doğruluğundan emin olmak için ise sürekli olarak karşılaştırma gerektiren bir prosesdir. Yapılan her ölçüm sonucunun kalitesi ve doğruluğu yapılan imalatın veya prosesin güvenilirliğini arttırmak içindir. Bu nedenle ise ısı proseslerinde kalibrasyonlu sensörler kullanılmalıdır.

Bu tezde sıcaklık ölçüm teknikleri kalibrasyon metodları açısından incelenmiştir.

Bu tez Yıldız Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği'nin 12. ve 24. maddeleri gereğince hazırlanmıştır.

ÖZET

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte araştırma – geliştirme ve üretimde kullanılan ölçü ve kontrol cihazları kaliteyi yükselten ana unsurlardan biri haline gelmiştir.

Bilim ve teknolojinin gelişmesi ve endüstriyel uygulamaların başarıya ulaşması, hassas, doğruluğu yüksek ve güvenilir ölçümlerin gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu gün teknolojik ilerleme olarak nitelendirilen birçok çalışma, üretilen ürünlerin kaliteli, hassas, dayanıklı ve güvenilir olmasında en büyük etkidir.

Geleneksel kalite kontrolün, üretim sonucunda ve her ürün için ayrı ayrı yapılmasının zaman ve kaynak açısından büyük kayıplara sebep olması, ara ve son kontrol yerine prosesin kontrolünü ön plana çıkarmış, ürün yerine proses için kabul edilen alt ve üst sınırlar belirlenerek son ürünün belirlenen kalite özelliğinde olması amaçlanmıştır.

Kalite Sistemleri, amaçlanan kalite seviyesine ulaşılması açısından üretime katkıda bulunan tüm unsurların planlamadan satın almaya, üretim satış sonrası hizmetlere kadar bir bütün olarak ele alınmasını ve kontrol altında tutulmasını gerekli kılar. Bu gereklilik için ihtiyaç duyulan işgücü ve mali kaynağın bizi kalite ve maliyetlere müdahale imkanının en geniş olduğu aşamaya yöneltmiştir.

Bu çalışmada sıcaklık ölçüm teknikleri kalibrasyon metodları açısından incelenmiştir. Sıcaklık ölçümünde referansların belirlenmesi ve hassas sıcaklık ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiği hakkında bilgi verilmiştir. Sıcaklık ölçüm ekipmanları, sıcaklık sensörleri hakkında genel bilgi, sıcaklık sıklasının tanımı ve Platin Resistance Termometrelerin kalibrasyonunun nasıl yapılması gerektiği anlatılmış, bu kalibrasyon için bir simülasyon programı yazılmış ve veri alımı ve analizi kolay hale getirilmiştir.

Anahtar kelimeler: sıcaklık, kalibrasyon, platin resistans termometre, sıcaklık kalibratörü, sıcaklık sensörleri, sıcaklık ölçüm teknikleri

ABSTRACT

With the developing technology, the measuring and test devices used in research, development and manufacturing have become important aspect which increases quality .

The development of science and technology and the success of industrial application are related with the sensitive and reliable measurements. Nowadays, a lot of work named as technological improvements have the output of quality, sensitive and reliable products.

Traditional quality control techniques caused time and resource losses due to performing tests the stage of production and for all products. Instead of in-process and final controls; process controls brought lower and upper specification limits for better quality end-products.

Quality Systems, requires all the aspects of management systems from purchasing to after-sales service to be taken into consideration and controlled as a whole. Human power and fiscal resources needed for this requirement give us a wide opportunity of intervention to quality and costs.

The temperature control techniques' calibration methodologies have been reviewed in this study. Information is given related to the determination of references and how to perform precise temperature measurements. General information on temperature measurement equipments and temperature sensors, temperature scales definition, performance of Platinum Resistance Thermometer calibration have been explained. A simulation program for calibration written and the data input and analysis facilitated.

Key word: Temperature, calibration, platinum resistance thermometer, temperature calibrator, temperature sensors, temperature measurement techniques.

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte araştırma – geliştirme ve üretimde kullanılan ölçü ve kontrol cihazları kaliteyi yükselten ana unsurlardan biri haline gelmiştir.

Bilim ve teknolojinin gelişmesi ve endüstriyel uygulamaların başarıya ulaşması, hassas, doğruluğu yüksek ve güvenilir ölçümlerin gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu gün teknolojik ilerleme olarak nitelendirilen birçok çalışma, üretilen ürünlerin kaliteli, hassas, dayanıklı ve güvenilir olmasında en büyük etkidir.

Geleneksel kalite kontrolün, üretim sonucunda ve her ürün için ayrı ayrı yapılmasının zaman ve kaynak açısından büyük kayıplara sebep olması, ara ve son kontrol yerine prosesin kontrolünü ön plana çıkarmış, ürün yerine proses için kabul edilen alt ve üst sınırlar belirlenerek son ürünün belirlenen kalite özelliğinde olması amaçlanmıştır.

Kalite Sistemleri, amaçlanan kalite seviyesine ulaşılması açısından üretime katkıda bulunan tüm unsurların planlamadan satın almaya, üretim satış sonrası hizmetlere kadar bir bütün olarak ele alınmasını ve kontrol altında tutulmasını gerekli kılar. Bu gereklilik için ihtiyaç duyulan işgücü ve mali kaynağın bizi kalite ve maliyetlere müdahale imkanının en geniş olduğu aşamaya yöneltmiştir.

Kalite ve maliyetlere müdahalelere imkanının en geniş olduğu aşama proses aşamasıdır.

Proses öncesi aşamalarından biri olan hammadde temini, tedarikçilerimizden aldığımız malzemeler ürün kalitesini doğrudan etkileyen üretim girdilerindedir. Bu yüzden satın alma işlemi planlı ve kontrollü olmak zorundadır.

Kalite hedeflerimiz temel alınarak gerçekleştirilmesi gereken satın alma işlemi ucuz hammadde alımına değil ihtiyaca uygun özelliklerde hammadde alımına endekslenmelidir.

Proses girdilerinin kontrol altında tutulması ile birlikte son ürüne yönelik niteliği doğrudan üretim aşamasında kontrol edilir.

Ürünün kalitesine üretim aşamasındaki kontrol ve müdahale, üretim parametrelerinin son ürünün kalitesine nasıl ve ne oranda etki ettiğinin bilinmesini mutlak surette gerekli kılar. Bu çalışmalar sonunda edinilen bilgiler aynı zamanda söz konusu ürünün kalitesini belirleyen parametrelerin nasıl, hangi hassasiyette ve ne sıklıkta ölçülmesi, kontrol edilmesi gerektiği konusunda metodlar ve sistemler geliştirmek için de kullanılırlar.

Genel bir bakış açısı ile özetlersek; giriş kontrol, üretim ve son ürün kontrolünde kullanılan ölçüm metodlarının uygun metodlar olması ve ölçüm ekipmanlarının doğru değerleri göstermesinin güvence altına alınması gerekmektedir.

Kaliteye etki eden noktalarda kullanılan ölçü aletleri bu sebeple uygun aralıklar ile kalibre edilmeli ve parametrelerin ölçüldüğü cihazların bir sonraki kalibrasyon tarihine kadar kalibrasyon ile tespit edilen ve onaylanan sınırlar içinde çalışmaya devam ettiği güvence altına alınmalıdır.

1.1 Metroloji

Metroloji (Metrology) kelime anlamı ile ‘Ölçüm Bilimi’ demektir. Günümüzde hedeflenen kalitenin elde edilebilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem belirli standartlara dayanan kalite güvence sisteminin kullanılmasıdır.

Bu durum sistemin bir bütün olarak ele alınmasını, değişik yerlerde üretilen parçaların belirli standartlara uymasını ve dolayısı ile bir ölçü birliği içinde üretimin gerçekleştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu zorunluluk ölçümlerde kullanılan sistemlerin belirli referans sistemlere bağlanması şeklinde ortaya çıkmış ve bu fikir modern metrolojinin temelini oluşturmuştur.

(www.ume.tubitak.gov.tr)

1.2 Kalibrasyon

Belirlenmiş koşullar altında, ölçme sisteminin veya ölçme cihazının gösterdiği değerler veya maddi ölçüt ile gösterilen büyüklüğün değerlerle ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisine kalibrasyon adı verilir.

Bu Kalibrasyon Sertifikası, TS EN 17025 (Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar) standardında belirtilen yükümlülükler çerçevesinde tanzim edilir.

Kalibrasyon sertifikası Uluslararası Birimler Sistemine (SI) uygun olarak gerçekleştirilmiş olan Ulusal Ölçü Standartlarına izlenebilirliği belgeler.

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları kalibrasyon sertifikasında belirtilir.

Kalibrasyon ayar işlemi içermez.

Kalite güvencesinin sistematik bir şekilde sağlanmasında kullanılan uluslar arası ISO 9000 serisi ve eş değeri EN 29000 serisi standartlar, kalite teminatının en önemli unsurlarından olan ölçme ve kontrol ekipmanlarının kontrolünü içermektedir.

Ölçme ve test ekipmanlarının kontrolü ve kalibrasyonu sayesinde üretim ve kontrol esnasında yapılan ölçümlerin uygunluğu güvence altına alınmış olur. Kalibrasyon ile sağlanan bu güvencenin sürekliliği ise kalibrasyondan sonra doğru değeri gösteren cihaz haline gelmediğini bilmek gerekmektedir.

Kalibrasyonda amaç kullanılan cihaz veya ekipmanın gerçek değere oranla ne kadar hata yaptığıının belirlenmesi ve belgelendirilmesidir.

Sonuçta bulunan hata miktarı göz önünde bulundurulacak doğru değere ulaşılır. Yada bulunan hata miktarı kalibrasyonu yapılan cihaz / ekipmanın kullanıldığı prosese yönelik kabul kriterleri ile karşılaştırılarak uygunluğu veya uygunsuzluğu konusunda karar verir.

Doğru bir başlangıç için öncelikle doğru bir kalibrasyon tanımı yapmak gerekir.

ISO 1012 de tanımlanmış şekli ile kalibrasyon ;

“Belirlenmiş şartlar altında, bir ölçüm cihazı veya ölçü sisteminin gösterdiği değerler veya bir malzeme ölçümü veya bir referans malzemenin gösterdiği değerler malzemenin gösterdiği

değerler ile ilgili bir referans standardın ortaya koyduğu değerler arasındaki ilişkinin kurulduğu operasyonlar serisidir.”

ISO 9000’de kalibrasyona ilişkin bir tanıma rastlamamakla birlikte standardın şart ve esasları dikkate alarak aşağıdaki kapsamda bir tanım yapmamız mümkün olabilir.

Kalibrasyon, belirlenmiş şartlar altında, kalibre edilen ekipmanın gösterdiği değer ile doğru değer arasındaki hatanın bir ulusal veya uluslar arası standart ile belgeli ilişki içinde ve bilinen bir belirsizlik ile belirlenmesi anlamına gelir.

Tanımlardan da anlaşılacağı gibi kalibrasyon aslında bir karşılaştırma işlemidir. Karşılaştırma sırasında doğruluğundan emin olduğumuz bir referansa ihtiyaç duyarız. Bu referans ile tespit edilen gerçek değerler karşısında, kalibre edilen cihazın söz konusu referans değerler ne kadar fazla yada az gösterdiğine bakılarak bu fark belgelendirilir.

Bu işlemin ISO 9000 açısından geçerli olabilmesi için standardın ilgili maddesindeki ölçüm ve test ekipmanlarının kontrolü, kalibrasyonu konusunda söz edilen gereklilik ve esaslarda da doğrudan ve dolaylı olarak değinildiği gibi üç temel koşulun sağlanması gerekmektedir. Tanımda da sözü edilen bu koşullar; **kalibrasyonun belirlenmiş şartlar altında yapılması, izlenebilir olması ve kalibrasyon işleminin bilinen bir belirsizlik ile yapılmasına** ilişkin şartlardır. (www.ume.tubitak.gov.tr)

1.3 İzlenebilirlik ve Belirsizlik

Primer Laboratuvarlar tarafından oluşturulan SI birimleri, söz konusu primer laboratuvarın bulunduğu ülkenin ulusal standartları olarak adlandırılır. Ulusal standartların tanımlanmadığı yada bir kısmının tanımlandığı durumlarda ulusal ölçüm sistemi, söz konusu alanda başka bir primer laboratuvarın tanımladığı referans birimlere, yani uluslar arası standartlara izlenebilir olarak oluşturulur.

Giderek artan ulusal ve uluslar arası iş bölümü ve buna bağlı olarak yarı mamüllerin, son ürünü oluşturacak şekilde farklı yerlerde üretilip bir merkezde bütünleştirilmesi ve giderek büyüyen yan sanayi kullanımı endüstrinin her dalında ihtiyaç duyulan doğruluğu önem teşkil eden ölçüm ve kalibrasyonların ulusal veya uluslararası standartlara izlenebilirliklerinin sağlanması şartını ortaya koymuştur.

Yapılan ölçümler sonunda ulaşılan sonuçlar kalibrasyon esnasında referansımız baz alınarak tespit edilmiştir. Başka bir deyişle kalibrasyonun güvenilirliği gerekli tüm diğer şartlar sağlandığında referansımızın güvenilirliği ile güvence altına alınır.

Doğruluğundan emin olduğumuz cihaz olarak da adlandırdığımız referans bu anlamda mutlaka kalibre edilmiş bir cihaz / ekipman olmak zorundadır.

Farklı seviyedeki laboratuvarlarda ihtiyaç duyulan belirsizliklerde kalibre edilen referansımız, ya kalibre edildiği referanslar üzerinden yada doğrudan (primer seviye bir laboratuvar da kalibre edilmiş ise) ilgili SI birimi ile ilişkilidir. Bu ilişki kalibrasyonun izlenebilirliği olarak tanımlanır.

Bu anlamda izlenebilirliği ulusal yada uluslar arası bir ölçüm standardına kadar uzanan referanslar kullanılarak yapılan kalibrasyonlar, kullanılan referans üzerinden yeni sonuçta ulusal yada uluslar arası planda kullanılabilir olmasıdır.

Bu ilişkinin dokümanite bir ilişki olarak şart koşulmasındaki neden ise somut olarak ispatı ve değerlendirilmesi ile ilgilidir.

Hemen anlaşılacağı gibi izlenebilirlikte amaç herkesin aynı birimden aynı değeri anlamasını sağlamak yani bir ölçüm disiplini ve birliği içinde ölçüm ve kalibrasyonların yapılarak sonuçların uluslar ve uluslar arası planda kullanılabilir olmasını sağlamaktır.

Periyodik olarak tekrarlanan kalibrasyonlar ile sağlanan bu birliğin sürekliliği ve güncelliği güvence altına alınmış olur.

ISO 9000'de (versiyon 1994) izlenebilirlik şöyle şartlar koşulmuştur.

4.11.2 b) Firma ürün kalitesini etkileyen muayene, ölçme ve deney teçhizatının tümünü tanımlamalı, belirli aralıklarla yada kullanımdan önce ulusal yada uluslar arası kabul edilmiş aralıklarda baz alınarak sertifikalandırılmış ekipman veya cihazlar kullanılarak kalibre etmeli, ayrılanmalıdır.

Kalibrasyonlarda kullanılan referans cihazların ve alınan gerçek değerlerin yada kalibre edilmiş cihazlar kullanılarak yapılan ölçümlerin doğruluğu ve doğruluk derecesi söz konusu cihazların kalibrasyonunda kullanılan referansın doğruluğuna ve doğruluk derecesine bağlıdır.

Doğruluğu ulusal veya uluslar arası standartlara izlenebilir kalibrasyonlarının yapılmış olması ile güvence altına alınmış olması ile güvence altına alınmış olan bu cihaz ve ekipmanların izlenebilirliği belgelendirildiğinde cihaz ve zincirinin uluslar arası karşılaştırma ile doğrulan ulusal yada uluslar arası referanslara kadar uzandığı görülecektir.

Sözü edilen bu zincir yani izlenebilirlik, doğruluk derecesi yüksek ve hassasiyetler, birbirine oranla daha iyi referanslar yardımı ile yapılan karşılaştırmaların oluşturduğu kesintisiz bir zincirdir.

İzlenebilirlik yapılan ölçümlerin dünyanın neresinde yapılırsa yapılsın belirli bir belirsizlik sınırı içinde kaybı sonucu vermesini güvence altına alır. İzlenebilirlik, ürünün kalitesini belirlemek için gerekli prosesi ve buna bağlı olarak kaliteye bağlı taleplerin yerine getirilmesinin sağlanması açısından bir anlamda uluslar arası güvence demektir.

İzlenebilirliğin kesintisiz zinciri olmadan ölçülen bir değerin büyüklüğu ülkeden ülkeye fabrikadan fabrikaya ve hatta tezgahdan tezgaha değişecektir. Böyle bir ölçüm sistemi içinde üretim yapmaya çalışmak ancak ortak dilleri olmayan insanların yaptıkları bir toplantıya benzetilebilir. Kimse bir diğerinin ne dediğini anlayamaz.

Geçerli bir kalibrasyonun şartı olan izlenebilirliğin sağlanması için, ölçüm cihazları yada referans olarak kullanılan cihazların mutlaka doğrudan primer standartlarla karşılaştırılması şart değildir. İzlenebilirliğin hiyerarşik zincirinde yer alan ve belirsizlikleri söz konusu olan belirsizlikten daha iyi bir belirsizliğe sahip referanslar ile yapılacak olan bir kalibrasyon da ulusal yada uluslar arası referanslara kadar uzanan bir izlenebilirliğe sahip olacaktır.

Kalibrasyonun amaçlı kullanılan herbir ölçüm cihazının mutlaka bir kalibrasyon sertifikası olmalı ve bu sertifikada izlenebilirliğin ne şekilde sağlandığı belirtilmelidir.

Ayrıca ölçüm sonuçlarının doğruluğunun sürekliliğinin sağlanması açısından uygun periyodlar ile tekrarlanması gereken izlenebilir kalibrasyonlar açısından referansın kalibrasyon sertifikasının sertifikanın tarih itibarı ile de kuşku duyulmayacak uygunlukta bir yenilikte olması, kullanım alanını kapsayacak bir ölçüm alanı veya kalibrasyon aralığını içermesi ve ihtiyaç duyulan ölçüm belirsizliğini sağlamaya elverişli büyüklükte bir ölçüm belirsizliğine sahip olması gerekecektir.

Kalibrasyonun tanımına dönecek olursak yapılan karşılaştırma işleminin bilinen bir belirsizlik ile yapılması gerekliliğinden söz edildiğini hatırlarız. Kalibrasyon işleminin diğer temel taşı belirsizlik konusudur.

Ölçüm tekniğinde bir büyüklük ölçüldüğünde mutlak bir değerden söz edilemez. Bütün ölçümler yapılış şekline, ölçüm sırasında kullanılan cihaza ve cihaz özelliklerine, ölçümün yapıldığı ortam şartlarına ve ölçümü yapan operatör gibi bir dizi faktöre bağlı olarak belirli bir belirsizlik içerir. Bu etken yani ölçüm sonucunda elde edilen değeri belirli tolerans içinde değerlendirmemiz anlamına gelir. Bu sebeple ölçümler sonunda ifade edilen değer mutlaka inanılabilir yada belirsizlik miktarı ile birlikte ifade edilmelidir.

Yine aynı sebepten kalibrasyon sonuçlarını da ifade edilirken ölçüme etki eden tüm faktörler teker teker değerlendirilerek söz konusu ölçümü ne boyutta etkiledikleri tespit edilip kalibrasyon sonuçları ile birlikte ifade edilmelidir.

Kalibrasyon sertifikalarında söz edilen toplam belirsizlik, kalibrasyonu etkileyen faktörlerin herbirinin hesaplanarak bir tek değer olarak, “**toplam belirsizlik**” olarak ifade edilmiş şeklidir.

Belirsizliklerin boyutu kullanılan ölçüm sistemi, ölçüm yöntemi, kullanılan referans, okuma biçimi, çevresel etkiler ve kalibre edilen cihazın özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Sözü edilen bu faktörler ölçüm yada kalibrasyon sonunda ulaşılan değerlerin inanılabilirlik seviyesini belirler.

İstatistiksel olarak hesaplanan toplam belirsizlik kabaca belirsizlik faktörlerin karelerinin toplamının kareköküne eşittir. Başka bir deyişle belirsizlik faktörleri geometrik olarak toplanır.

Belirsizlikler ölçümlerin kalitesini gösteren bir unsur olarak da değerlendirilebilirler.

Unutmayalım ki kalibrasyon sonuçları yalnızca hatanın boyutları açısından değil hata miktarının toplam belirsizlikle birlikte ele alınması ile ulaşılan **toplam ölçüm hatası**'na dayalı olarak değerlendirilirler. (www.ume.tubitak.gov.tr)

2. ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

Belirsizliklerin boyutu kullanılan ölçüm sistemi, ölçüm yöntemi, kullanılan referans, okuma biçimi, çevresel etkiler ve kalibre edilen cihazın özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Sözü edilen bu faktörler ölçüm yada kalibrasyon sonunda ulaşılan değerlerin inanılabilirlik seviyesini belirler.

İstatistiksel olarak hesaplanan toplam belirsizlik kabaca belirsizlik faktörlerin karelerinin toplamının kareköküne eşittir. Başka bir deyişle belirsizlik faktörleri geometrik olarak toplanır.

Belirsizlikler ölçümlerin kalitesini gösteren bir unsur olarak da değerlendirilebilirler.

Örneğin;

30 mm'lik bir boyutu ölçerken kullanılan iki farklı ölçüm cihazı diğer belirsizlik faktörleri göz ardı edilse de yalnızca kullanılan ölçüm cihazlarının farklılığı açısından birbirinden çok farklı sonuçları beraberinde getirecektir.

Ölçülen Boyut : Blok 30 mm
 Ölçüm Cihazı : Mekanik Kumpas (0 – 150 mm)
 En küçük ölçme aralığı : 0.05 mm

Yukarıda sözü edilen özelliklerde bir kumpas ile bloğumuzu ölçtüğümüzde sonucu kumpasın ölçüm yeteneğine bağlı olarak 0,00 mm mertebesinde ifade ederiz. Bloğumuzun gerçek değerde olduğunu kabul edersek ölçüm sonucunu; “30.00 mm” değerine ilişkin belirsizlik (yada inanılabilirlik seviyesi) belirtilmediği için bu şekilde ifade edilen değeri pratikte herhangi bir uygulama için kullanabilmemiz mümkün olmaz.

Kumpasın ölçüm yeteneğinin 0.05 mm olduğunu biliyoruz. Sonucu yalnızca bu açıdan ele aldığımızda, bulunan değer in inanılabilirliği en iyi ihtimalle kumpasın ölçüm yeteneği kadar olacaktır. Yani + - 0.05 mm. Bu bakış açısı ile sonuç “30.00 mm + - “30.00 mm + - 0.05 mm” şeklinde ifade edilmek durumundadır.

Bu durum sonucun 29.95 mm ile 30.05 mm arasında bir değerde olduğunu garanti edildiği anlamına gelir. Bu ifade, yapılan ölçümün yada ulaşılan sonucun değerlendirilmesi sırasında ele alınması gereken aralığı, inanılabilirlik seviyesini ve ayı zamanda ölçümün kalitesini gösterir. Buna ölçümün belirsizliği denir.

Aynı blok bir cetvel ile ölçüldüğünde ise sonuç, cetvelin ölçüm yeteneği kadar inanılabilir olacaktır. Kullanılan cetvel skalası 0,5 mm' lik aralıklarla bölümlleştirilmiştir. 0.5 mm'lik bölümlenmeyi gözümüz ile yaklaşık olarak 2'ye bölebileceğimiz kabulünden hareketle cetvelin 0.25 mm'lik bir ölçüm yeteneği olduğunu kabul etmiş oluruz.

Bu durumda sonucu; “30.00 + - 0.25 mm” olarak ifade edebiliriz. Bu ifade, sonucun 29.75 mm ile 30.25 mm arasında bir genişlikte garanti edildiği anlamına gelecektir.

İki ölçüm sonucu karşılaştırıldığında, her ikisinde de ölçüm sonucunun 30.00 mm olarak ifade edilmiş olmasına rağmen ölçümlerin belirsizliğine bağlı olarak ifade edilen genişlik göz önüne alındığında, sonuçların yalnızca 30.00 mm olarak kabul edilemeyeceğini görürüz.

Olasılıkları değerlendirip ölçüm sonuçlarını aynı yöndeki belirsizlikler ile birlikte ele alıp ifade ettiğimizde bir sonuç 30,25 mm diğeri 30,05 mm olarak ortaya çıkacaktır.

Ölçülen blok yeni olduğu halde sonuçlar birbirlerinde ayrı iki değere işaret etmektedir.

Bu durumda ölçülen parçanın kabul toleranslarımız içinde olup olmadığını değerlendirmeye kalktığımızda ölçüm belirsizliğinin ölçüm sonucunu ve kararımızı doğrudan etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıktığını göreceğiz. Ölçüm belirsizliği ele alınmadan yapılan değerlendirmelerde reddedilmesi gereken bir parçayı kabul edebilir yada edilebilir bir parçayı reddetmek zorunda kalabiliriz.

İşte belirsizlikler bu örnekte de görüldüğü gibi sonuçları önemli boyutlarda etkileyen unsurlar olarak karşımıza çıkarlar ve bu yüzden kesinlikle göz ardı edilmemelidirler.

Unutmayalım ki kalibrasyon sonuçları yalnızca hatanın boyutları açısından değil hata miktarının toplam belirsizlikle birlikte ele alınması ile ulaşılan **toplam ölçüm hatası**'na dayalı olarak değerlendirilirler. (www.ume.tubitak.gov.tr)

2.1 Belirsizliğe Etki Eden Faktörler

Ölçüm tekniğinde mutlak bir değerden söz edilemeyeceğini, ifade edilen değerlerin mutlaka inanılabilirlik yada doğruluk derecesini gösteren başka bir değer (belirsizlik) ile ifade edilmeleri gerektiğini belirtmiştik.

Kalibrasyon belirsizliklerini ifade edebilir ve kullanılabilir değerler haline getirebilmek için ölçümlerimizi etkileyen bütün faktörleri teker teker ele alıp belirlememiz gerekmektedir.

Söz konusu olabilecek belirsizlik faktörlerinin bir bölümü ölçümden ölçüme değişmeyen, sabit faktörler olarak devreye girerken (referanstan gelen belirsizlik) bazı belirsizlikleri de faktörleri de her ölçümde yeniden hesaplanması gereken faktörler (tekrarlanabilirlikten gelen belirsizlik) olarak karşımıza çıkar.

Yine aynı şekilde belirli bir parametre için ölçümde etkili olabilecek bir belirsizlik faktörü başka bir parametrenin ölçümde ölçümleri etkileyen bir faktör olarak rol oynamayabilir. Örneğin bir dijital termometre kalibrasyonunda ortam sıcaklığı belirsizlikler açısından önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmazken boyutsal kalibrasyonlar sonrasında ölçümlere etkisi sebebi ile kontrol altında tutulmalı ya da sonuçlara olan etkisi kadar bir belirsizlik faktörü olarak hesaba katılmalıdır.

Sözü edilen faktörlerden ölçümlerimizi etkileyebilecek olanları bir arada ölçüm sonuçlarımızın inanılabilirlik seviyesi / belirsizliğini oluştururlar.

Genel olarak hemen her kalibrasyonda söz konusu olabilecek belirsizlik faktörlerinden başlıcalarını aşağıda olduğu gibi sıralayabiliriz.

- **Kullanılan referans cihaz / ekipmandan gelen belirsizlik**

Karşılaştırmalı kalibrasyonların yapıldığı ikinci seviye ve tersiyer seviye laboratuvarlarda tanımdan da hatırlayabileceğimiz gibi karşılaştırma işleminde doğruluğundan emin olduğumuz bir cihaz / ekipman referans olarak kullanılır.

Kalibrasyon sertifikası olan her cihaz gibi referans olarak kullanılan cihaz / ekipmanın da kalibrasyon sertifikasında sonuçlar bir kalibrasyon belirsizliği ile ifade edilmiş olacaktır.

Gerçek değerlerin tespit edildiği referans cihaz / ekipman kalibrasyonda kullanılması ile birlikte doğrudan kalibrasyona aktarılacak olan referans cihazın kalibrasyon sertifikasındaki toplam belirsizlik karşılaştırmalı kalibrasyonlarda değiştiremeyeceğimiz sabit belirsizlikler kapsamına girer ve referans dan gelen belirsizlik olarak adlandırılır.

- **Okuma Belirsizliği**

Kalibre edilecek olan cihazlardaki en küçük okuma aralığı yada bölümlenmiş olan en küçük aralığın göz ile bölünebilen ve okunabilen en küçük aralığı olarak da adlandırılabilir olan okuma belirsizliği Analog cihazlarda kalibrasyon ve okumalar esnasında yapılabilecek muhtemel okuma hatalarını hesaba katmak amacı ile belirsizlik faktörleri içine dahil edilirler.

Okuma belirsizliği en küçük okuma aralığının göz ile bölünmesinin mümkün olmadığı durumlarda örnekim kumpaslarda cihazın ölçüm kabiliyeti kadardır.

- **Homojenden Gelen Belirsizlik**

Özellikle sıcaklık kalibrasyonlarında söz konusu olabilecek homojeniteden gelen belirsizlik, kalibratör olarak kullanılan kuru yada sıvı banyoların özelliklerine ve tiplerine bağla olarak değişebileceği gibi kullanıldığı sıcaklık seviyelerine bağlı olarak da değişiklikler gösterir.

Sıcaklığın yatay ve düşey olarak her bölgeye homojen olarak ne oranda yayıldığına bir göstergesi olan homojeniteden gelen belirsizlik faktörü genellikle cihaz üreticilerinin yapmış oldukları testler ile cihaz özelliklerinden biri olarak belirtilir.

Böylesi bir bilginin olmadığı durumlarda kullanıcının yapacağı testler ile belirlenmesi gereken homojenite belirsizliği önemli bir belirsizlik faktörü olarak karşımıza çıkar.

- **Stabilizasyondan Gelen Belirsizlik**

Hiçbir değer mutlak olmadığı gibi kalibrasyon sistemlerinde kullanılan kaynaklar da mutlak stabil değildir.

Kalibrasyon esnasında kullanılan sistem veya kalibratörün herhangi bir kalibrasyon noktasında stabilizasyon şartının sağlanmasından sonra gösterdiği salınımın boyutları kullanılan sistem veya kalibratörün stabilizasyondan gelen belirsizliğini oluşturur.

- **Tekrarlanabilirlikten Gelen Belirsizlik**

Kalibrasyonlar sırasında tekrar etme yeteneğini gözlediğimiz cihaz / ekipman, kalibre edilen ekipmandır.

Kalibrasyonlar sırasında, belirli bir stabilizasyon şartı içinde kalibrasyonun yapıldığı değerlerde ve belirli bir süre içinde, kalibre edilen cihazın gösterdiği değeri tekrarlayabilme kabiliyeti belirlenir.

Kullanım sırasında aynı cihazdan okunacak tesadüfî tek değer cihazın tekrar edebilme kabiliyeti kadar doğru olacaktır.

Dolayısı ile cihazdan okunan değer / değerler ifade edilirken cihazın tekrarlanabilirliği kadar bir belirsizlik de hesaba katılmak zorundadır.

- **Hizterez den kaynaklanan belirsizlik**

Hizterez, manometre, ölçü saatleri, terazi ve hassas cam termometrelerin kalibrasyonlarında ve kullanımlarında söz konusu olabilecek ya da ölçüm ve okumalara belirli bir hafta ile sonuca etki edebilecek olan faktörlerden biridir.

Sözü edilen cihazlar hizterezden ortaya çıkabilecek farkı tespit etmek amacı ile – cam termometreler hariç – artan ve azalan değerlerde olmak üzere iki aşamada kalibre edilirler.

Mekanik yapıları gereği söz konusu cihazlarda skala başlangıcından tam skala değerine doğru giden adımlarda alınan /okunan değerler ile tam skala değerinden geriye skala başlangıcına doğru inen adımlarda alınan değerler genellikle birbirleri ile aynı değerdir. Bu farka Hizterez adı verilir.

Kullanım esnasında okunan değer in çıkışta yada inişte sabitlenen bir değer olduğunun tespit edilmemesi olasılığı, kalibrasyon sırasında cihaza ait Hizterez belirsizliğinin tespit edilerek toplam belirsizliğe dolayısı ile ölçüm sonucuna dahil edilmesini gerekli kılar.

- **Operatörden kaynaklanan belirsizlik**

Özellikle ölçüm sisteminin operatörden kaynaklanabilecek hatalara açık olduğu kalibrasyonlar için gerekli olabilecek bu faktör kumpas, mikrometre, manometre, tek eksenli hassas ölçüm cihazları vb. ile yapılan kalibrasyonlarda karşılaşılabilecek muhtemel bir belirsizlik unsurudur.

- **Çevre şartlarından gelen belirsizlik**

Çevre şartları ölçümlerin bir çoğunda etkisi en açık görülen faktörlerden biridir. Boyutsal kalibrasyonlar, basınç, hacim terazi, kütle ve elektriksel kalibrasyonlarda çevre koşulları ölçümleri doğrudan etkileyen ve buna bağlı olarak kontrol altında tutulması gereken faktörleri olarak karşımıza çıkar. Birçok kalibrasyonun kontrollü ortamlarda yapılması gerekliliği çevre koşullarının ölçümlere olan etkisi sebebiyledir.

Kontrol edilemeyen çevre şartlarını ölçümlere etkisi, etki boyutları kadar belirsizlik hesaplarına dahil edilerek ulaşılan sonuçların doğruluk derecelerine olan etkisi göz önüne alınır.

2.2 Güven Aralığı

Uluslar arası kabullere bağlı olarak kalibrasyon sonuçları %95 inanılabilirlik seviyesinde ifade edilirler.

Ölçüm sonuçlarının sözü edilen güven aralığında ifade edilebilmesi için istatistiksel güven aralığı hesaplamaları esas alınır.

Güven aralığı hesaplamaları normal dağılım eğrisi (çan eğrisi) üzerinde ortalama yada standart sapmanın büyüklüğü ne olursa olsun sola ve sağa eşit uzaklıklarda gidildiğinde aynı gerçekleşme olasılığının elde ediliyor olması ve sonsuza doğru gidildikçe gerçekleşme güven aralığı olasılığının artması, gerçekleşme olasılığının azalması esasına dayanır

Buna göre % 95 güven aralığı 2 sigma sabit katsayısının kullanılması ile sağlanmış olur.

2.3 Ölçüm Belirsizliklerinin Hesaplanması

Test Belirsizlikleri, dört önemli etkenin bir bileşkesi olarak karşımıza çıkar:

- Yöntem (Ölçüm Sistemi)
- Çevre koşulları
- İnsan
- Ölçüm cihazı performansı

Bu dört etkenin, herbir test işlemi için ayrı ayrı analiz edilmesi ile test belirsizliklerinin en iyi tahmini yapılabilir.

- **Test yönteminden kaynaklanan belirsizlik faktörleri**

Uygulanan test yöntemi, belirsizlik hesaplarının önemli bir unsurudur. Bu gruba dahil olan belirsizlik faktörleri şunlardır.

Test Sistemi Belirsizliği (Kalibrasyon Sistemi, Referans Sensör, Gösterge Sistemi, Kanal seçici, Ölçüm metodu vb.)

- **Çevre faktörlerinin etkisi**

Sıcaklık, nem, titreşim, atmosferik basınç, yer çekimi ivmesi vb. çevre faktörlerindeki değişimin ölçümler üzerine etkisi.

- **İnsan faktörü**

Test yapan çalışanların deneyimi, okuma hataları vb. unsurların ölçüm üzerindeki etkileri

- **Ölçüm cihazından kaynaklanan belirsizlik faktörleri**

Ölçüm cihazının çeşitli özellikleri, test ve ölçüm belirsizliğini doğrudan etkiler:

Tekrarlanabilirlik (Ölçüm cihazı üzerinde yapılan okumaların standart sapması)

Ölçüm Cihazının Performansı (Kısa ve orta vadeli stabilize, linearite hatası, histerez vb.)

Okuma Belirsizliği (Ölçüm cihazının en küçük skala bölümlenmesi üzerinden hesaplanır)

2.4 Belirsizlik Faktörlerinin Sınıflandırılması

Test belirsizlikleri, iki ayrı değerlendirme ile saptanmaktadır. A - Tipi değerlendirme ile istatistiksel yöntemler kullanılarak rastgele belirsizlik bileşenleri tespit edilir. Sistematik belirsizlik bileşenleri ise B tipi değerlendirme ile saptanır. Önceden yapılmış ölçümlerle belirlenmiş belirsizlik değerleri, kalibrasyon sertifikalarından veya cihazların el kitaplarında belirtilen doğruluk tablolarından alınan değerler, bu bileşenlere birkaç örnektir.

A-Tipi Belirsizlikler :

Tekrarlanabilirlik

Histerez

B-Tipi Belirsizlikler :

Test Sisteminin Belirsizliği
 Ölçüm Cihazının Performansı (uzun vadeli)
 Çevre Şartlarının Etkisi
 Okuma Belirsizliği
 Operatör Okuma Hataları

Tüm belirsizlik faktörleri, % 68 güvenirlilik seviyesinde (1s) ifade edilmelidir.

Değişkenlik aralığı bilinen veya verilmiş olan belirsizlik değerlerinden standart sapma değerlerine ulaşabilmek için, belirsizlik faktörünün dağılım türünün verilmiş olması veya tahmin edilmesi gerekir. İki türlü dağılım söz konusudur:

- Normal Dağılım,
- Dikdörtgen Dağılım.

Dağılım türünün bilinmediği durumlarda, dikdörtgen dağılım esas olarak alınır. Standart sapma değerleri her iki dağılım türünde aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\text{Normal dağılım: } s = \frac{(\text{Değişkenlik Aralığı})}{\sqrt{3}} \quad (2.1)$$

$$\text{Dikdörtgen dağılım: } s = \frac{(\text{Değişkenlik Aralığı})}{2} \quad (2.2)$$

2.5 Ortalamanın Standart Sapması

İstatiksel yöntemlerden faydalanılarak elde edilen belirsizlik faktörlerinin (tekrarlanabilirlik, histerez, linearite (doğruluk) sapması vb. hesaplanmasında, bulunan değer ifade ettiği anlama bakılmalıdır:

Ardışık ölçümler sonunda elde edilen değer, kalibre edilen cihazın performansına (test cihazının tekrarlanabilirliği, histerez karakteristiği vb.) ilişkin bilgi veriyorsa, hesaplanan deneysel standart sapma değeri, belirsizlik değeri olarak alınır.

Ancak ardışık ölçümler sonunda elde edilen değer, yapılan ölçümün tekrarlanabilirliğini ifade ediyor ise (örn. boyutsal ölçümler), ölçüm belirsizliğinin verilmesinde yapılan ölçüm sayısı dikkate alınmak zorundadır. Yani bir ölçümün değişmeyen şartlar (aynı nesne, kısa zaman dilimi içinde, aynı ölçüm cihazı ve operatör ile) altında tekrarlanması, yaptığımız ölçümlere duyacağımız güveni artırır ve bulunan ortalama değer o denli "gerçek değer"e yakın olur. Bu durumda ölçümlere ait olarak bulunan deneysel standart sapma değerinin, yapılan ölçüm (gözlem) sayısının kare köküne bölünmesi gerekir. Böylece, ortalamanın standart sapmasına ulaşılır

$$s' = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

n: Ölçüm sayısı

s': Ortalamanın standart sapması

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

2.6 Toplam Belirsizliğin Hesaplanması

Toplam Belirsizlik, tek tek hesaplanan belirsizlik faktörlerinin geometrik toplamı üzerinden hesaplanır.

$$U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2 + s'^2} \quad (2.5)$$

Yukarıdaki formül, belirsizlik faktörlerinin arasında herhangi bir fonksiyonel ilişkinin olmaması durumunda geçerlidir. Belirsizlik faktörlerinin birbirlerinin fonksiyonu olması durumunda, toplam belirsizlik aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$c_i = \frac{\partial f(x_i, \dots)}{\partial x_i} \quad (2.6)$$

$$U_T = \sqrt{c_1^2 U_1^2 + c_2^2 U_2^2 + \dots + c_k^2 U_k^2 + s'^2} \quad (2.7)$$

2.7 Genişletilmiş Belirsizlik

Bulunan Toplam Belirsizlik Değeri üzerinden, "**Genişletilmiş Belirsizlik**", % 95 Güven Aralığı (k=2) için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$U = k \cdot u_T \quad (2.8)$$

(%95 : k=2) için

$$U = 2 \cdot u_T \quad (2.9)$$

(www.ume.tubitak.gov.tr)

3. BİRİM SİSTEMLERİ

Fiziksel ölçümlerin dünya çapındaki uyum ve birliğini sağlamak amacıyla kurulmuş bulunan BIPM'in görevleri arasında en üst seviyedeki fiziksel standartların geliştirilmesi ve muhafaza edilmesi, ülke standartlarının sağlanması ve ölçme teknikleri ile temel fiziksel sabitlerin belirlenmesine yönelik faaliyetlerin koordine edilmesi sayılabilir.

SI birimler sistemi, 1960 yılında BIPM'in önerisi üzerine uluslararası ölçme birimleri olarak kabul edilen metre, kilogram, saniye, amper, kelvin, mol ve kandela'dan oluşmaktadır.

m	Metre
kg	Kilogram
s	Saniye
A	Amper
K	Kelvin
Mol	Mol
cd	Kandela

Metre (m), Uzunluğa ait temel ölçüm birimidir. Metre, Vakum içerisindeki monokromatik ışığın saniyenin $1/299\,792\,458$ 'i kadar sürede kat ettiği mesafenin uzunluğudur. (17. CGPM, 1983)

Kilogram (kg), kütleyle ait temel ölçüm birimidir. Bir kilogram uluslar arası kilogram prototipinin kütlesidir. (1. CGPM, 1889 ve 3. CGPM, 1901) Uluslar arası kilogram prototipi, yoğunluğu 21.5 kg/m^3 olan % 90 Platin % 10 İridyum alaşımından yapılmış 39 mm yüksekliğinde, 39mm çapında bir silindirdir.

Saniye (s), zamana ait temel ölçü birimidir. Bir Saniye, Sezyum ^{133}Cs atomunun temel enerji durumunda iki süper ince düzeyi arasındaki geçişe karşılık gelen ışımının 9 192 631 770 periyotluk süresidir. (13. CGPM, 1967)

Amper (A), elektriksel akım şiddetine ait temel ölçüm birimidir. Amper, boşlukta birbirlerinden bir metre uzaklıkta bulunan ihmal edilebilir dairesel kesitli sonsuz uzunluktaki paralel iki doğrusal iletkenlerden geçirildiğinde, bu iletkenler arasında metre başına 2×10^{-7} Newtonluk bir kuvvet oluşturan, zamanla değişmez elektrik akımı şiddetidir. (CIPM, 1946 ve CGPM, 1948)

Kelvin (K), termodinamik sıcaklığa ait temel ölçüm birimidir. Bir Kelvin, suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının 273.16 'da biridir. (13. CGPM, 1967)

Mol (mol), madde miktarına ait temel ölçüm birimidir. Bir mol, 0.012 kilogram karbon ^{12}C elementinin içerdiği atomların sayısı kadar madde yapısı ögeleri bulunduran bir sistemin madde miktarına eşittir. Mol'ün kullanılmasında, sisteme ait madde yapısı ögeleri tanımlanmalıdır ve bunlara atomlar, moleküller, iyonlar elektronlar ve diğer ögeler veya bunların tam olarak verilmiş bileşimlerinin belli kümeleri olabilir. (14. CGPM, 1971)

Kandela (cd), ışık şiddetine ait temel ölçüm birimidir. Bir kandela, belirli bir doğrultuda 540×10^{12} Hz frekanslı monokromatik ışınım yayan ve o doğrultudaki ışınım yoğunluğu 1683 Wsr^{-1} olan kaynağın ışık şiddetidir. (16CGPM, 1979)

Bilinen diğer birimler bu ana birimlerden türetilmiş birimlerdir.

4. SICAKLIK SKALASI (ITS 90)

Milletlerarası sıcaklık skalası, ilk olarak Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansının yedinci toplantısında kabul edilmiş ve " ITS- 27" olarak gösterilmiştir. Daha sonra bu skala 1948'deki dokuzuncu toplantı ile " ITS- 48" olarak değiştirilmiştir. Bu değişiklikleri "IPTS-48", " IPTS-68" izlemiştir.

En son olarak 1990 yılında Milletlerarası Sıcaklık Skalası " ITS 90" (The International Temperature Scale of 1990) kabul edilmiştir.

4.1. Sıcaklık Birimleri

Termodinamik sıcaklığın sembolü T'dir. Suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının 1/273.16'da biri Kelvindir ve sembolü K'dir.

Buz noktası 273,15 K'dir ve celsius sıcaklığı t sembolü ile gösterilmektedir. Buradan;

$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$ tanımlanmıştır. Celsius sıcaklığının birimi degree Celsius ve sembolü $^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Milletlerarası sıcaklık skalası 1990 (ITS-90) Milletlerarası Kelvin sıcaklıkları T90 ve Milletlerarası Celcius Sıcaklıklarında t90 olarak tanımlanmıştır. T90 ve t90 arasındaki ilişki T ve t arasındaki ilişki ile aynıdır.

4.2. Sıcaklığın Direnç Üzerine Etkisi

Herhangi bir materyalin sıcaklığı elektron ve atomların hareket enerjisinin bir ölçümüdür. Atomun kristal yapısı içindeki hareketi çok sınırlıdır. Bunlar çerçeve içinde pozisyonlarını kolaylıkla değiştiremezler.

Tüm metaller için Voltaj (V) ve Akım (I) arasındaki ilişkidir.

$$I = V/R \quad (4.1)$$

Burada direnç bilindiği için R sabittir. Bu bağlantı bilinen Ohm yasasıdır. Sıcaklık- direnç ilişkisi genelde Celcius sıcaklığının terimlerinde yazılmıştır.

$$R(t) = R(0^{\circ}\text{C})(1 + \alpha \Delta t) \quad (4.2)$$

burada α direncin sıcaklık sabiti ve yaklaşık $1/273,15 = 3,66 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ 'e eşittir.

4.3. Platin Direnç Termometreleri

Platinum thermometry'nin ilk günlerinde Callendar tarafından bulunan platin direncin oldukça doğru olarak tarif edilen ikinci dereceden basit bir denklemi vardır.

$$R(t) = R(0^{\circ}\text{C})(1 + At + Bt^2) \quad (4.3)$$

Burada A ve B sabitlerdir.

Tarihi olarak bu alternatif formda şu şekilde yazılmıştır.

$$R(t) = R(0^{\circ}C)(1 + \alpha.t + \alpha.\delta(\frac{t}{100})(1 - \frac{t}{100})) \quad (4.4)$$

$R(0^{\circ})$: $0^{\circ}C$ 'de direnç termometresinden ölçülen direnç değeri.

$$\alpha = \frac{R(100^{\circ}C) - R(0^{\circ}C)}{100R(0^{\circ}C)} \quad (4.5)$$

$R(100^{\circ}C)$: $100^{\circ}C$ 'de direnç termometresinden ölçülen direnç değeri.

α değerinin ölçümü bugün platinin saflık derecesinin tayini ve platin termometresinin

sınırlanılın belirlenmesinde hala kullanılmaktadır, α değeri saflığın alternatif ölçümü olan

ρ ile yer değiştirmiştir. Çünkü buhar noktası ITS 90 tanımında kullanılmamıştır. Şöyleki;

$$\rho = \frac{R(29,7646^{\circ}C)}{R(0^{\circ}C)} \quad (4.6)$$

Burada 29, 7646 $^{\circ}C$ Galyum'un erime noktasıdır.

Daha sonra Van Dusen tarafından bu denkleme $0^{\circ}C$ değerinin aşağı bölgesi için gerekli olan sıcaklık- direnç ilişkisini tarifeden düzeltme terimi ilave edilmiştir.

$$R(t) = (0^{\circ}C)(1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)) \quad (4.7)$$

Burada C, $0^{\circ}C$ 'den daha yukarı bölgeler için sıfırdır.

Bu denklem, bilinen Callendar Van Dusen denklemdir ve Endüstriyel Direnç Termometreleri için direnç - sıcaklık ilişkisinin tanımında sürekli kullanılmıştır. Ayrıca bu denklem 1927, 1948 ve 1968 sıcaklık skalası için temel denklem olmuştur.

Standart PRT için tipik değerler şunlardır:

$$\begin{aligned} A &= 3.985 \times 10^{-3} / ^{\circ}C \\ B &= -5.85 \times 10^{-7} / ^{\circ}C^2 \end{aligned}$$

$$C = 4.27 \times 10^{-12} / ^\circ\text{C}^4$$

$$\alpha = 3.927 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

Endüstriyel PRT'ler için tipik değerler ise şunlardır.

$$A = 3.908 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

$$B = -5.80 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$$

$$C = 4.27 \times 10^{-12} / ^\circ\text{C}^4$$

$$\alpha = 3.85 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

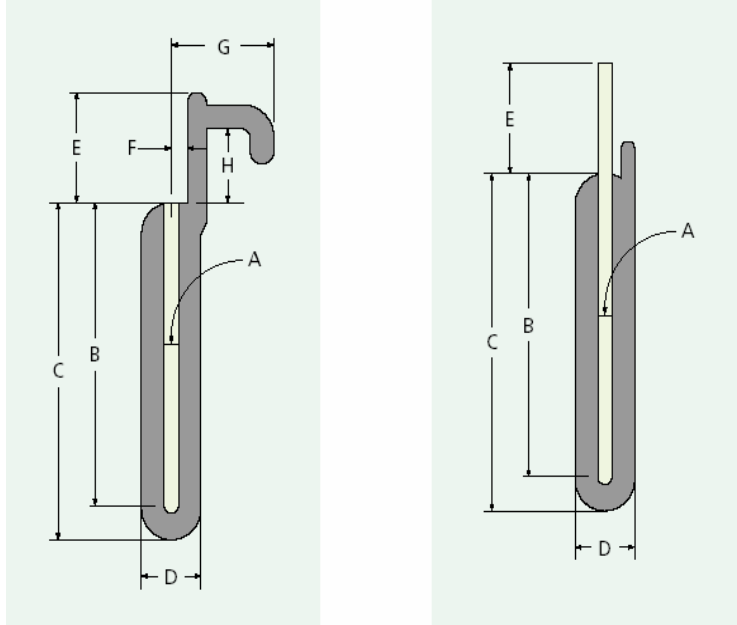
$$\rho = 1,1158$$

(<http://www.sensingdevices.com/prtd4.htm>)

Yukarıda verilen iki değeri arasındaki değişme, farklı sınıf platinler için birbirine yakındır, α değeri aynı zamanda birkaç farklı şekilde tarif edilmiş olabilir.

Buradaki tüm değerler birbirine eşittir. Biz rezistans termometrede hataların büyüklüğünü hesaplanmada değerini yaklaşık olarak $\alpha = 4 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ kullanıyoruz.

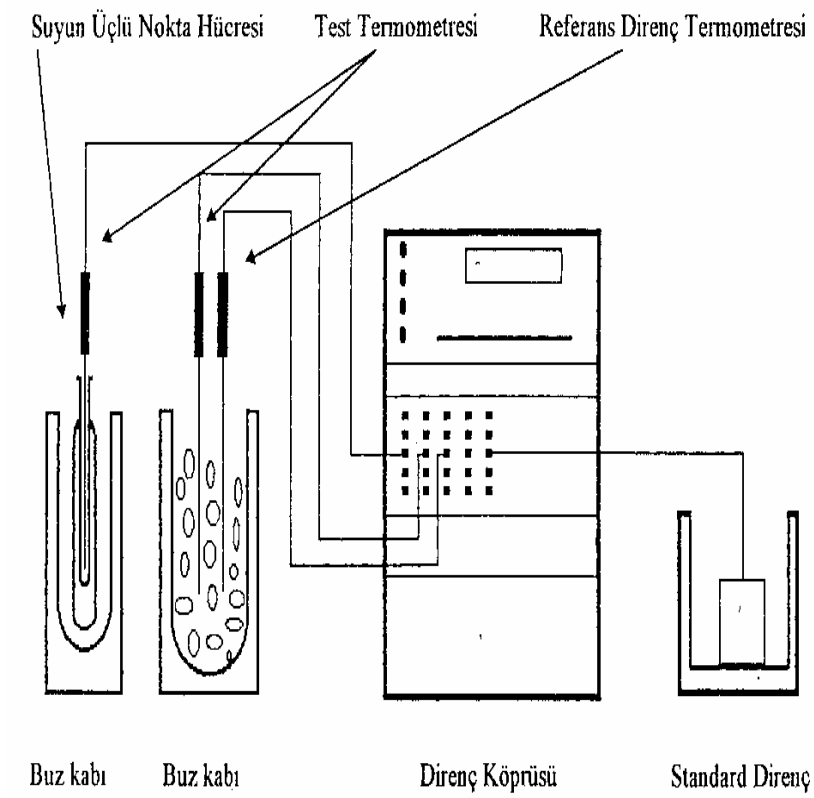
5. SUYUN ÜÇLÜ (SIFIR) NOKTASI (TRIPLE POINT OF WATER)



Şekil 5.1. Suyun Üçlü Noktası Deney Düzenegi

Dış kısmında saf su ve 760 mmHg basıncında hava bulunan kapalı sistem vardır. Bu sistem bir banyoda soğutulur. Belli bir noktada iç cidara yerleştirilen termometre değerinin sabit kaldığı gözlenir. Bu sıcaklık 0,01 derece olarak kabul edilir. Katı, sıvı ve gaz fazlarının her üçüde bulunduğu için 'Suyun Üçlü Noktası' adı verilir.

Sıcaklık kalibrasyonu 2 şekilde yapılır. Yukarıdaki gibi Gallium, Civa gibi elementlerin sabit noktalarının kullanılmasının yanında karşılaştırmalı sistemde kullanılır.



Şekil 5.2 Karşılaştırmalı Sıcaklık Kalibrasyonu Deney Düzenegi

Platin rezistans termometrenin kalibrasyon prosedürü aşağıda anlatılmıştır.

- Direnç termometresinin izolasyon direnci ölçülür. Bu termometrenin kılıfı ile kendisi arasındaki direnç olup $> 10M\Omega$ olmalıdır.
- Termometrenin suyun üçlü noktasında (veya sıfır noktasında) direnç değeri ölçülür.
- Termometre $450^{\circ}C$ ' den büyük sıcaklıkta 4 ile 12 saat arasında bir zamanda tavlanır.
- Termometrenin suyun üçlü noktasında (veya sıfır noktasında) direnç değeri tekrar ölçülür.
- Kalibre edilmesi istenen sıcaklıklarda ölçümler yapılır.
 - $> 0^{\circ}C$ için yüksek sıcaklıklarda ölçümler yapılır.
 - $< 0^{\circ}C$ için düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara doğru ölçümler alınır.

(www.ume.tubitak.gov.tr)

6. TERMOCOUPLE TERMOMETRESİ

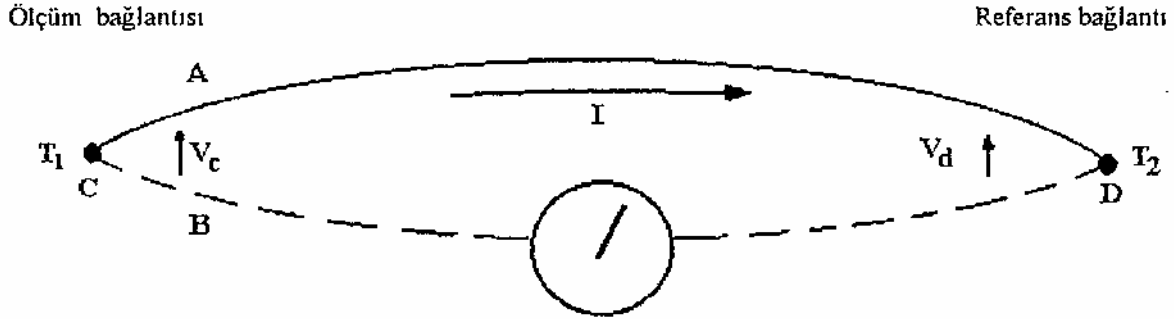
Termokupllar genelde en çok kullanılan sıcaklık sensörleridir. Endüstriyel uygulamalarda basit ve güvenilir olarak kullanıldığı görülür. Ancak doğruluk sınırları endüstrinin talebini karşılayamadığında kullanımdaki kolaylığı ortadan kalkar.

Örnek olarak, K tipi termokupl üreticileri termokupl'un bir kere yüksek sıcaklıkta kullanıldıktan sonra daha düşük sıcaklıklarda kullanılmasının iyi bir deneme olmadığını önerirler.

Termokupllar birbirine benzemeyen farklı iki telin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır

6.1. Termoelektrik etki

Şekil 'de görüldüğü üzere, iki farklı metalin uçları birleştirilmiştir. Bu durumda iken eğer uçlardan birisi T_1 sıcaklığına çıkarılır ve diğer uç da daha düşük bir T_2 sıcaklığında bırakılırsa, devre çevresinde bir akım oluşur. Bu akım metallerin cinsi ile T_1 ve T_2 sıcaklıklarına bağlıdır. Seebeck tarafından keşfedilen bu olay termoelektrik etkisi (veya Seebeck effect) olarak bilinmekte ve sıcaklığın hassas' bir biçimde ölçülmesinde kullanılabilir. kullanılabilmektedir.



Şekil 5.3 A ve B farklı iki teli kapsayan temel termoelektrik devre

Bu etki, iki farklı metalin birleşim noktasında bir elektriksel gerilim meydana gelmesinden ötürü oluşur. Bu elektriksel gerilim, birleşim noktasının sıcaklığına bağlı olup, metallerin farklı elektriksel ve termik özelliklerinden ileri gelir. Biraz basite indirgenmiş olarak, daha yüksek sıcaklıkta olan T_1 de elektronlar daha az sıcak olan uça bulunan her iki metaldeki elektronlara kıyasla daha yüksek termik (ısı) enerji içermekte ve bu elektronlar T_2 sıcaklığa sahip uca doğru hareket etmektedir. Gerilimi bu iki metal arasındaki elektron hareketi arasındaki farklılık doğurur. Ancak, bu gerilim çok düşük olup, tipik olarak birkaç onluk milivolt değerindedir. Ölçüm bağlantı noktasında T_1 'in bir fonksiyonu olan bir V_c gerilimi mevcuttur. Aynı şekilde, referans bağlantı noktasında da T_2 'nin bir fonksiyonu olan V_d gerilimi bulunmaktadır. V_c gerilimi V_d geriliminden farklı olduğundan, bir akım meydana gelir. Burada $T_1 = T_2$ ise, bir akımın oluşamayacağı açıktır. Bu sebeple yapısal olarak, termokupl bir fark sıcaklık ölçme cihazıdır.

6.2. Termokupl Tipleri

Farklı her metal çifti bir termokuplun imalinde kullanılabilir olmakla birlikte, yıllar boyunca çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Aşağıda IEC 584' te belirtilen termokupl tipleri ve sıcaklık bölgeleri sıralanmıştır.

Çizelge 6.1. Termocouple cinsine bağlı çalışma sıcaklığı aralıkları

Termocouple Cinsi	Çalıştığı Sıcaklık Aralığı(°C)
B	0-1820
E	-270-1000

J	-210-1200
K	-270-1372
N	-270-1300
R	-50-1768
S	-50-1768
T	-270-400

6.3. Termokupl termometrelerin kalibrasyonu

Termokupl termometreler sabit noktalar metodu veya karşılaştırmalı metod ile kalibre edilebilir. Bu dokümanda karşılaştırma metodu ile kalibrasyon anlatılacaktır.

Kalibre edilecek termokupl ve referans termometre kalibrasyon fırınının içerisine birlikte yerleştirilir. Fırın termokupl'un kalibre edileceği sıcaklığa set edildikten sonra, sıcaklık stabil hale gelinceye kadar beklenir. Burada her iki termometrenin mümkün olduğunca aynı sıcaklık ortamında bulundurulduğundan emin olmak gerekir. Bunu sağlamanın bir yolu, fırın içerisine metal yada seramik silindir yerleştirip termokuplları bu silindir içerisinde kalibre etmek olabilir. Bunun yanında ölçüm devresi için gerekli ekipmanlar hazırlanmış olmalıdır. Bütün hazırlıklar tamamlandıktan sonra ölçümler yapılarak test termometresi değerlendirmeye alınır.

Test termometresinin kalibre edilen sıcaklık değerinde ürettiği mV değerleri IEC 584'te belirtilen tablo değerlerine göre değerlendirilir.

7. SICAKLIK BANYOLARI

Genel olarak sıcaklık banyoları 6 ana grupta incelenir. Bunlar;

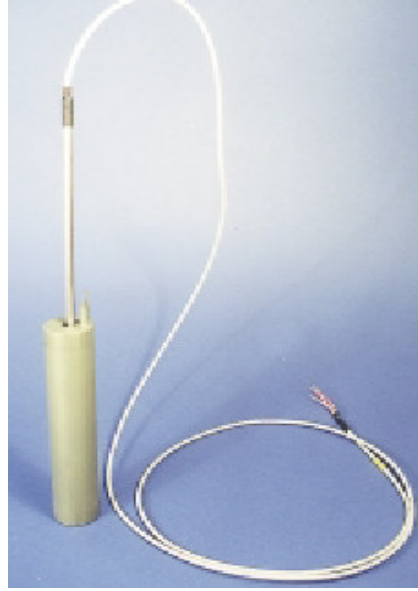
7.1. Metal Block Bath(Metal Banyolar)

Bu banyolar ısı transferi metal-metal teması ile meydana gelir. Kalibratörün iç kısmında referans sıcaklığın PRT veya termokupl'a iletiği inserter adında metal prob yuvaları vardır. Bu inserter delik çapları değişken olabilmektedir. Burada çok dikkat edilmesi gereken husus prob ile inserter arasında hava boşluğu olmamasıdır. Bu banyolar Low – Medium – High temperature değerlerine göre sınıflandırılır. (www.isotech.co.uk)

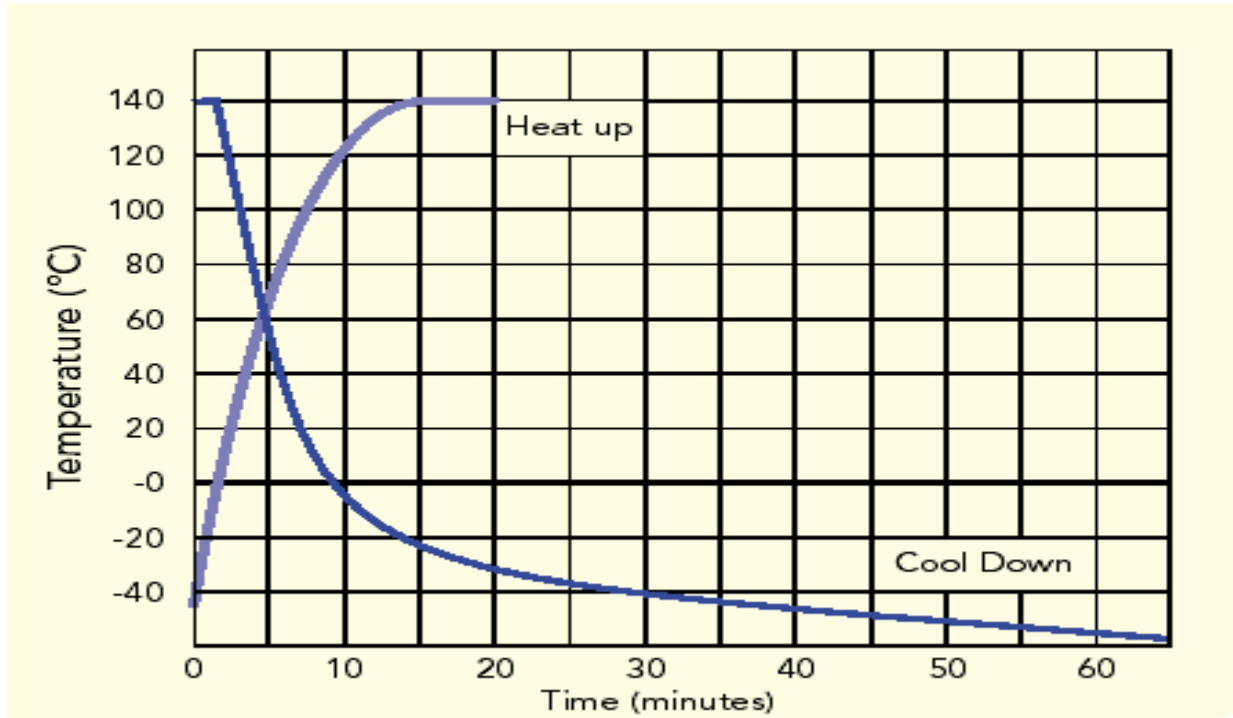
Inserter malzeme olarak ısıyı iyi ileten bir malzeme seçilmelidir.



Şekil 7.1. Kuru Tip Metal Block Banyo



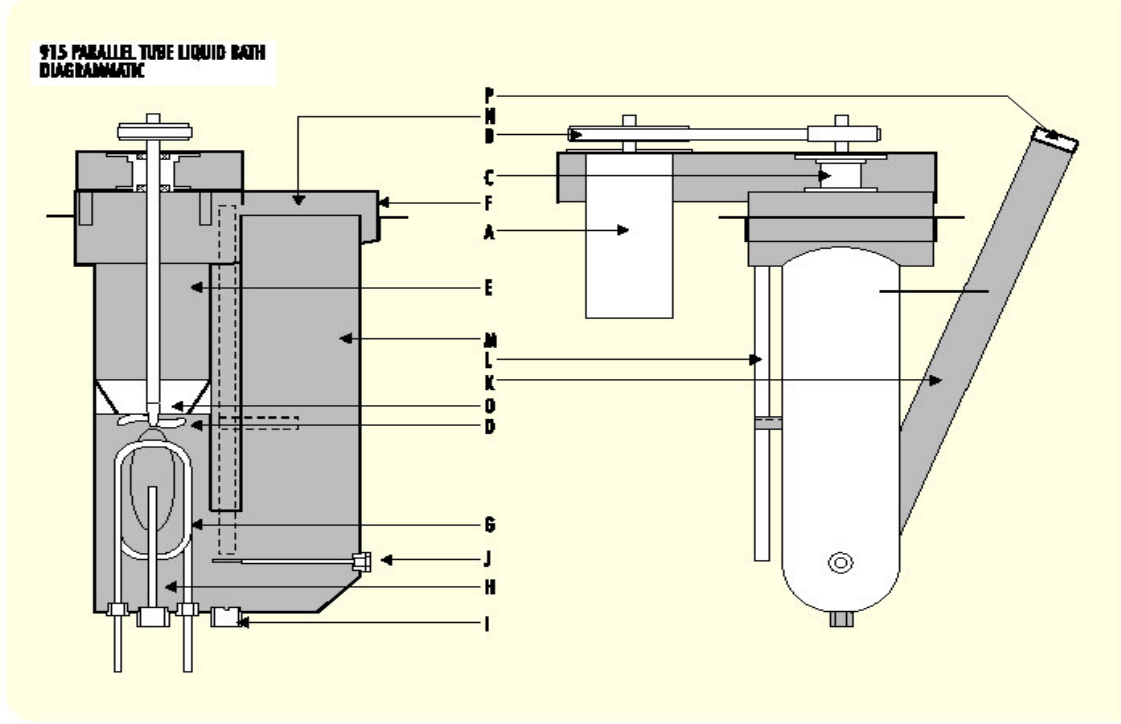
Şekil 7.2. Kuru Tip Banyolarda yer alan inserterin yapısı



Şekil 7.3. Kuru Tip Banyoların Ortalama Isınma ve Soğuma Zamanları

7.2. Liquid Bath(Sıvı Banyolar):

Daha düşük sıcaklıklarda kullanılır. Pahalı sistemlerdir. Isı transferi sistemde kullanılan akışkan tarafından gerçekleştirilir. Prob ile akışkan temas halindedir. Burada çok stabil sıcaklık elde edilir ve daha hassas bir salınımla sıcaklık değerleri alınır. Dolayısı ile bu banyolara kullanılması durumunda tekrarlanabilirlik faktörü azalacağına ölçüm belirsizliği azalır. Ölçüm kalitesi yüksek cihazlardır. (www.isotech.co.uk)

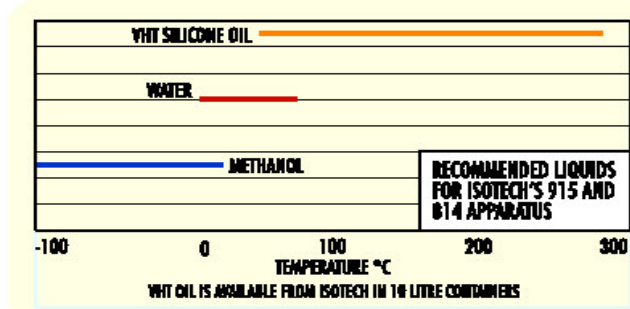


915 CALIBRATION ASSEMBLY DEVELOPMENT, INFORMATION REFERENCE

- A Motor (Low Voltage) Variable Speed Controlled.
- B Drive Belt
- C Bearing Housing
- D Propeller
- E Circular Mixing, Cooling and Heating Chamber. Circular Profile to prevent uncirculated pockets of liquid
- F Large Volume Liquid Tray, which caters for the expansion of the liquid when heated
- G Mineral Insulated Heater
- H Over-Temperature Sensor
- I Large Capacity Drain
- J Control Sensor
- K Cooling Probe Entry Tube, allowing total probe immersion. Intended for use with an external chiller unit

- L Overflow Pipe
- M Calibration Area
- N Liquid Weir. An extension is available to enable the calibration of Mercury and Glass Thermometers

- O Orifice Plate, increases the differential height of the liquid between front and rear tubes
- P Screw Cap. Fitted when cooling Probe is removed



Note: Methanol has serious health & safety problems. Consult safety documentation before use.

Şekil 7.3. Bir Sıvı Banyonun İç Yapısı

7.3. Ice/Water Bath (Buz/Su Banyolar)

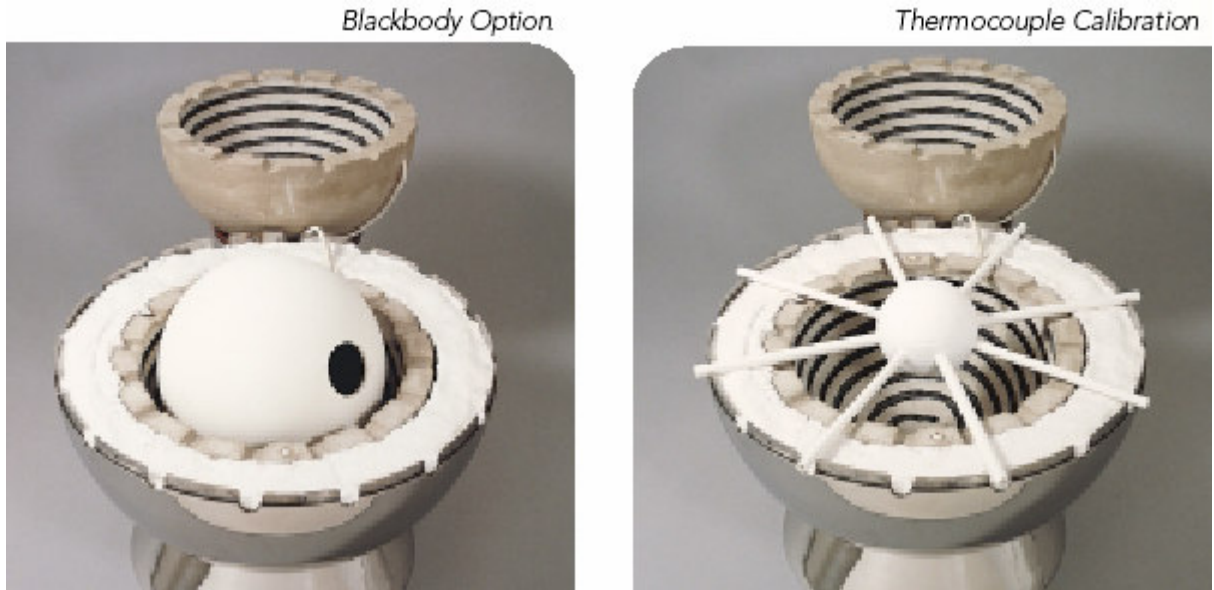
Çalışma noktası 0°C'dır. Yani bir değeri sağlayan akışkan için su kullanılan ve 0°C'de su buz karışımı olarak kullanılan bir kalibratördür. Suyun üçlü noktasında elde edilen sistemin kullanımı daha kolay olarak dizayn edilmiş bir sistemdir. (www.isotech.co.uk)

7.4. Black Body Source(Siyah Cisim Kaynağı)

Küre şeklindedir.Amaç siyah cisim gibi davranan sistem oluşturmaktır.Çok pahalı bir sistemdir.Genelde primer seviyede laboratuvarında bulunur.Çok sayıda termocouple kolaylıkla kalibre edilir.Sistem atmosfere tamamen kapalı olduğundan çok iyi derecede sıcaklık stabilitesi elde edilir.Ayrıca siyah cisim kaynağı İnfrared Termometrelerin kalibrasyonunda da kullanılır.En pahalı sıcaklık kalibratörüdür. (www.isotech.co.uk)



Şekil 7.4. Siyah Cisim Kaynağı Dış Görünüşü



Şekil 7.5. Siyah Cisim Kaynağı İç Görünüşü

7.5. Surface Sensor Calibrator(Yüzey Probu Kalibratörü)

Bilindiği üzere sıcaklık ölçümünü 2 sistemde yapmaktayız. Bunlar analog ve elektriksel termometreler olmak üzere 2'ye ayrılır. Analog göstergeler civalı ve skalalı olmak üzere kendi arasında ikiye ayrılır. (www.isotech.co.uk)

Elektriksel ölçümde önceki bölümlerde PRT ve ısı çiplerin (Termokupl) kullanıldığını belirttik. Termocouple'ler kendi aralarında malzeme cinsinin yanında şekilsel olarak da gruplara ayrılır.

- a) Basit Termokupl
- b) Saplama Tip Termokupl
- c) Daldırma Tip Termokupl
- d) Yüzey Tip Termokupl

Basit, saplama ve daldırma tip termocouple'ler metal ve sıvı kalibratörlerde kalibre edilmesine rağmen yüzey tip termocouple'ler bu sistemlerde kalibre edilemezler. Bunlar için özel kalibrasyon metodları mevcuttur.



Şekil 7.6. Yüzey Tipi Probların Kalibrasyonunda kullanılan Aparatlar

7.6. ITS-90 Fixed Point Apparatus

Bu sistemler ise başta bahsettiğimiz su yada herhangi bir elementin üçlü noktasının oluşturulmasıdır.

8. PRT KALİBRASYONU ANALİZ PROGRAMI

PRT kalibrasyonun nasıl yapılması gerektiğini yukarıda anlatmıştık. Bu bağlamda gerekli ölçüm sonuçlarını aldıktan sonra bu ölçüm sonuçlarını istatistiksel olarak analiz eden bir program yazılmıştır.

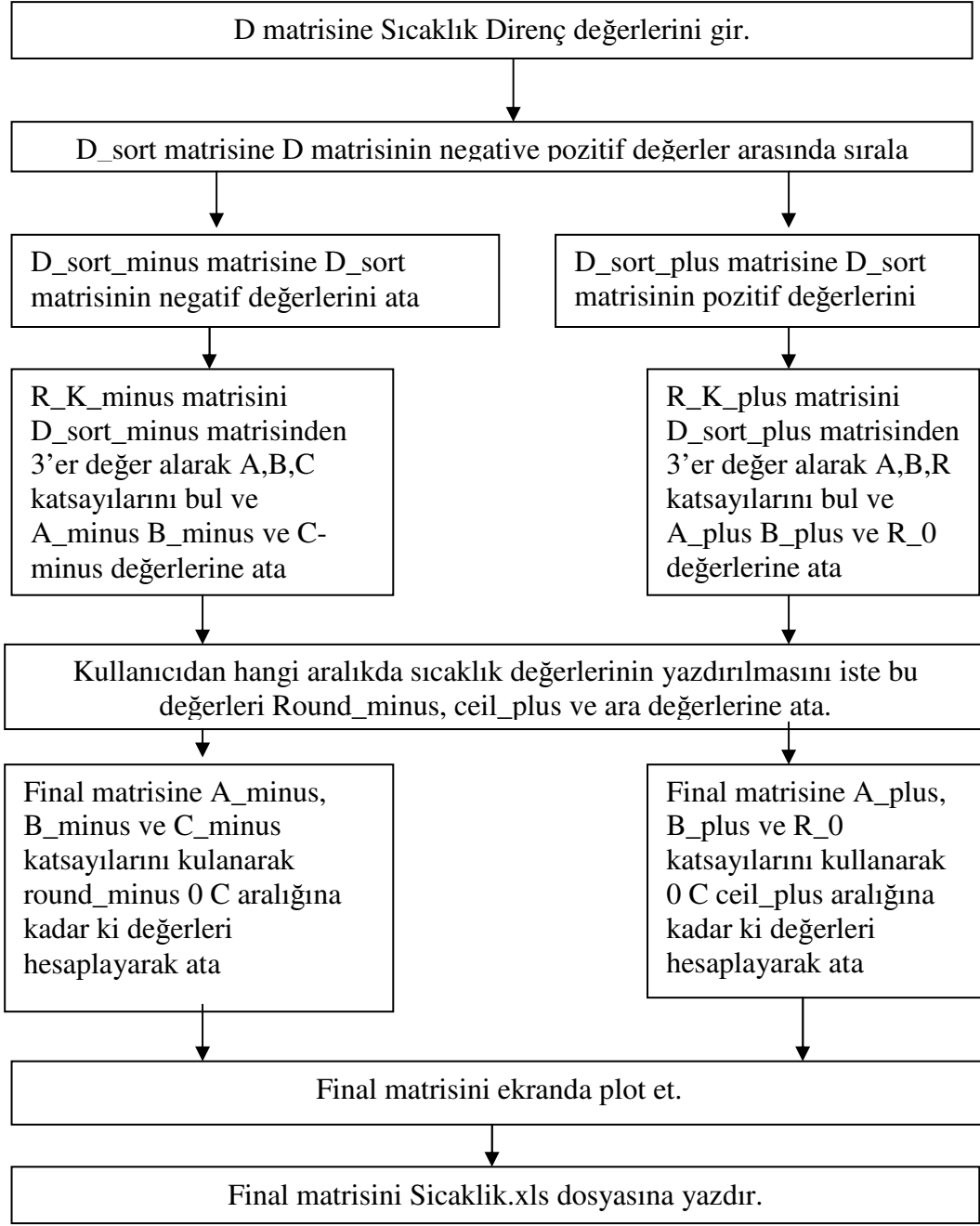
Callendar Van Dusen Denklem sistemi ile Bir PRT'nin A,B,C katsayılarının bulunması ve PRT nin karakteristik grafiğinin elde edilmesi için MATLAB 6.5.1. programı kullanılarak bir

similasyon programı yazılmıştır.Bu program tezin arkasında 3½ Floppy diskette verilmektedir.

Referans PRT ile kalibrasyonu yapılacak PRT Şekil 5.2 Karşılaştırmalı Sıcaklık Kalibrasyonu Deney Düzenegindeki gibi hazırlanır.Burda kalibrasyonu yapılacak PRT Ohmmetre'ye bağlanır. Referans PRT'den okunan her Referans sıcaklık değerine karşılık gelen test termometresi direnç değerleri kaydedilir.Daha sonra bu veriler verilen programdaki emre_manuel dosyasına kaydedilir.Programın görevi buradaki Callendar Van dusen sabitlerini hesaplamaktadır.Burda matematiksel olarak En Küçük Kareler Yönteminden yararlanılır.

Hesaplanana A,B,C katsayıları ile istenilen her sıcaklık değerine karşılık istenilen aralıkta sıcaklık – direnç sayıları elde edilir.Ayrıca program bu karakteristik değerleri grafik halinde de sunar.Ayrıca bu değerleri de EXCEL'e atar.

Proramın akım şeması ve kodları aşağıda verilmiştir.



Çizelge 8.1. Akım Şeması

Ek 2 de PRT Kalibrasyonu Sıcaklık ve Direnç İlişkisinin hesabı; Ek 3 de ise Programın yazılım kodları sunulmuştur.

9. SONUÇ

Ek 2 ve Ek 4 Karşılaştırıldığı taktirde aynı sıcaklık değerlerine karşılık gelen direnç değerleri programın doğrusallığı açısından karşılaştırılmıştır.

Mesela 340°C da UME'nin vermiş olduğu direnç 227,818 ohm, bizim yazdığımız programda aldığımız değer 227,8377 ohmdur. Burada ki bağıl hata hesaplandığında % 0,01 dir.Gerekli yuvarların yapılmasıyla bu farkın çok da büyük olmadığı genelde % 0,01 olduğu tasbit edilmiştir.Bu hesaplamadan çıkan sonuç gayet uygundur. Bu sonuç Ölçüm Belirsizliğine yansıtılarak yaptığımız hata belirsizlik değerleri içinde sunulabilir. Sonuç olarak yazdığımız Program doğru çalışmaktadır diyebiliriz. Bazı değerler için aşağıda tablo yapılmıştır

Sıcaklık Değeri (°C)	UME Direnç Değerleri	Program sonuçları	Bağıl Hata (%)
50	119,339	119,3664	0,022
100	138,754	138,7712	0,012
150	157,869	157,8832	0,009
200	176,688	176,7023	0,008
250	195,212	195,2285	0,008
300	213,443	213,4619	0,009
350	231,382	231,4024	0,009
400	249,031	249,0500	0,007
450	266,389	266,4048	0,006

Bilindiği üzere ısı prosesinde en önemli şey ölçülen sıcaklık değerinin en doğru ölçülmesini sağlamaktır. Sıcaklık ölçümü, bir basınç, bir kütle ya da bir boyutsal birim ölçümü gibi statik değildir. Çevre faktörlerinden izole edilmesi ve ölçümün doğru yapılması çok önemlidir. Bu sanayide sık karşılaşılan bir sorundur.

Dolayısı ile sıcaklık kalibrasyonlu ölçüm aletleri ile ölçülmeli ve bunun sürekli izlenebilirliği sağlanmalıdır.Bunun için de doğru kalibrasyonu yapılmalı ve doğru teknikler kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

www.fbe.yildiz.edu.tr

www.omega.co.uk

www.isotech.co.uk

www.hartscientific.com

www.ume.tubitak.gov.tr

http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/temperature/technical/c15_136.pdf

<http://www.sensingdevices.com/prtd4.htm>

EKLER

Ek 1 PRT Kalibrasyon Programı

Ek 2 Örnek PRT Kalibrasyonu Sıcaklık Diren İlişkisi Hesabı

Ek 3 Programın Yazılım Kodları

Ek 4 Ulusak Metroloji Enstitüsü PRT Sertifikası

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 15.03.1980

Doğum Yeri Kadıköy

Lise 1994-1997 Özel Üsküdar Fen Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2002-2004 Netes Mühendislik Ltd. Şti.
Kalibrasyon Mühendisi

2004-2005 Ata Kalibrasyon San. Ve. Tic. Ltd. Şti.
Kalibrasyon Mühendisi
Kalite Yönetim Müdürü

2005-..... MEYER Yönetim ve Belgelendirme Ltd. Şti.
Kalite Yönetim Müdürü

EK - 2

Örnek PRT Kalibrasyonu Sıcaklık – Direnç İlişkisi Hesabı

> emre_manuel (**Programı çalıştırmak için gerekli dosya adıdır.**)

Lütfen Sıcaklık değerlerini önce sıcaklık değeri sonra direnç değeri olarak giriniz.

Örnek [-40.95 88.6874]

Lütfen sayıdan sonraki bölüm için nokta kullanınız.

**DIKKAT MINIMUM OLARAK 3 ER TANE NEGATIF POZITIF DEĞER
GIRILMELİDİR**

[-40.117 83.582

-30.090 87.582

-20.053 91.634

-9.842 95.706

0 99.622

49.892 119.290

100.739 139.041

199.933 176.671

299.587 213.283

399.397 248.825

499.351 283.237

599.372 316.519] (**Bu veriler tarafımızdan girilir.Sayı tam ve kesir kısımları
arasında nokta işareti kullanılmalıdır.**)

A_plus =

0.0040

B_plus =

-5.8768e-007

R_0 =

99.6687

A_minus =

0.0040

B_minus =

5.8465e-007

C_minus =

-2.3038e-010

(Program hem 0°C'ın yukarısındaki değerler için A ve B değerleri hesaplar.Bu değerler A_plus ve B_Plus değerleridir.Hemde 0°C'ın altındaki değerler için A, B,C değerleri hesaplar.Bunlar ise A_minus, B_minus ve C_minus değerleridir.)

Lutfen almak istediniz sıcaklık değerlerinin minimum değerini giriniz

Ornek -60

-100

Lutfen almak istediginiz sıcaklık değerinin makisimum değerini giriniz

Ornek 250

700

Lutfen sıcaklık değerlerinin kaçar kaçar artması gerektiğini girin

Ornek 5

5

(Böylece istediğimiz sıcaklık aralıklarında istediğimiz aralıkla aldığımız ölçüm sonuçlarını Callendar Van Dusen Denklemine göre elde ederiz.)

Final =

Sıcaklık	Direnç
-100.0000	55.5856
-95.0000	58.2859
-90.0000	60.8941
-85.0000	63.4185
-80.0000	65.8667
-75.0000	68.2462
-70.0000	70.5639
-65.0000	72.8267
-60.0000	75.0409
-55.0000	77.2124
-50.0000	79.3471
-45.0000	81.4503
-40.0000	83.5268
-35.0000	85.5815
-30.0000	87.6185
-25.0000	89.6419
-20.0000	91.6553
-15.0000	93.6619
-10.0000	95.6647
-5.0000	97.6662
0	99.6687

5.0000	101.6517
10.0000	103.6317
15.0000	105.6088
20.0000	107.5830
25.0000	109.5542
30.0000	111.5225
35.0000	113.4879
40.0000	115.4503
45.0000	117.4098
50.0000	119.3664
55.0000	121.3201
60.0000	123.2708
65.0000	125.2186
70.0000	127.1635
75.0000	129.1054
80.0000	131.0445
85.0000	132.9806
90.0000	134.9137
95.0000	136.8439
100.0000	138.7712
105.0000	140.6956
110.0000	142.6171
115.0000	144.5356
120.0000	146.4512
125.0000	148.3638
130.0000	150.2736
135.0000	152.1804
140.0000	154.0842
145.0000	155.9852
150.0000	157.8832
155.0000	159.7783
160.0000	161.6705
165.0000	163.5597
170.0000	165.4460
175.0000	167.3294
180.0000	169.2098
185.0000	171.0873
190.0000	172.9619
195.0000	174.8336
200.0000	176.7023
205.0000	178.5681
210.0000	180.4310
215.0000	182.2909
220.0000	184.1479
225.0000	186.0020
230.0000	187.8532

235.0000	189.7014
240.0000	191.5467
245.0000	193.3891
250.0000	195.2285
255.0000	197.0651
260.0000	198.8986
265.0000	200.7293
270.0000	202.5570
275.0000	204.3818
280.0000	206.2037
285.0000	208.0226
290.0000	209.8387
295.0000	211.6517
300.0000	213.4619
305.0000	215.2691
310.0000	217.0734
315.0000	218.8748
320.0000	220.6732
325.0000	222.4688
330.0000	224.2613
335.0000	226.0510
340.0000	227.8377
345.0000	229.6215
350.0000	231.4024
355.0000	233.1803
360.0000	234.9554
365.0000	236.7274
370.0000	238.4966
375.0000	240.2628
380.0000	242.0261
385.0000	243.7865
390.0000	245.5439
395.0000	247.2985
400.0000	249.0500
405.0000	250.7987
410.0000	252.5444
415.0000	254.2872
420.0000	256.0271
425.0000	257.7640
430.0000	259.4980
435.0000	261.2291
440.0000	262.9573
445.0000	264.6825
450.0000	266.4048
455.0000	268.1242
460.0000	269.8406

465.0000	271.5541
470.0000	273.2647
475.0000	274.9724
480.0000	276.6771
485.0000	278.3789
490.0000	280.0778
495.0000	281.7737
500.0000	283.4667
505.0000	285.1568
510.0000	286.8440
515.0000	288.5282
520.0000	290.2095
525.0000	291.8878
530.0000	293.5633
535.0000	295.2358
540.0000	296.9054
545.0000	298.5720
550.0000	300.2358
555.0000	301.8966
560.0000	303.5544
565.0000	305.2094
570.0000	306.8614
575.0000	308.5105
580.0000	310.1566
585.0000	311.7998
590.0000	313.4401
595.0000	315.0775
600.0000	316.7119
605.0000	318.3435
610.0000	319.9720
615.0000	321.5977
620.0000	323.2204
625.0000	324.8402
630.0000	326.4571
635.0000	328.0710
640.0000	329.6820
645.0000	331.2901
650.0000	332.8953
655.0000	334.4975
660.0000	336.0968
665.0000	337.6931
670.0000	339.2866
675.0000	340.8771
680.0000	342.4647
685.0000	344.0493
690.0000	345.6310

695.0000 347.2098
700.0000 348.7857

Programın kullanılması çok basittir.Önce sizlere verilen floppy deki dosyalarını bilgisayarınızın c:\matlab\6p5p1\work directory'sinin içine kopyalayıp yapıştırmanız gerekmektedir.

Daha sonra Programı çalıştırıp emre_manuel yazıp enter tuşuna bastığınızda program çalışmaya başlayacaktır.Geri kalan kısımda program size neler yapmanız gerektiğini adım adım belirtecektir.

Bu programı kullanabilmek için bilgisayarınızda MATLAB programı kurulu olmalıdır.

EK -3

Programın Yazılım Kodları

Aşağıda programın yazılım kodları verilmiştir.

```
clear all
close all
D=input('Lutfen Sıcaklık degerlerini önce sıcaklık degeri sonra direnc degeri olarak
giriniz.\nOrnek [-40.95 88.6874]\nLutfen sayıdan sonraki bolum icin nokta
kullanınız.\nDIKKAT MINIMUM OLARAK 3 ER TANE NEGATIF POZITIF DEGER
GIRILMELIDIR\n');
% D=[-28.54 88.5560
% -20.022 91.9727
% -10.029 95.9749
% 0.046 99.9657
% 20.111 107.9082
% 40.020 115.7072
% 60.051 123.4935
% 80.097 131.2560
% 100.009 138.9316
% 120.055 146.6114
% 139.980 154.2001
% 160.025 161.7909
% 180.087 169.3376
% 200.020 176.8030
% 220.051 184.2557];
[m n]=size(D);
D_sort=zeros(m,n);
D_sort(:,1)=sort(D(:,1));
for i=1:1:m
    D_sort(i,2)=D(find(D(:,1)==D_sort(i,1)),2);
end
E=zeros(m,1);
E=D_sort(:,1)>=0;
mina=0;
for i=1:1:m
    if E(i)==0
        mina=mina+1;
    else
        mina=mina+0;
    end
end
mina=mina+1;
% for i=1:1:m
```

```

% E(i,1)=D(i,1)*D(i,1);
% end
% mina=find(E==min(E));
D_sort_minus=zeros((mina-1),n);
D_sort_plus=zeros((m-mina+1),n);
%
% ceil_plus=ceil(D_sort(m,1));
% round_minus=round(D_sort(1,1));
%
for i=1:1:(mina-1)
    for j=1:1:n
        D_sort_minus(i,j)=D_sort(i,j);
    end
end
for i=1:1:(m-mina+1)
    for j=1:1:n
        D_sort_plus(i,j)=D_sort((i+mina-1),j);
    end
end
% Matrisin - sıcaklıkları ile + sıcaklıkları ayrıldı.
K_plus=zeros(m-mina+1,3);
for i=1:1:(m-mina+1)
    K_plus(i,,:)= [D_sort_plus(i,1)*D_sort_plus(i,1) D_sort_plus(i,1) 1];
end
R_K_plus=zeros(m-mina-1,3);
for i=1:1:(m-mina-1)
    G=[K_plus(i,,:)
        K_plus(i+1,,:)
        K_plus(i+2,,:)];
    G_=[D_sort_plus(i,2)
        D_sort_plus(i+1,2)
        D_sort_plus(i+2,2)];
    R_K_plus(i,,:)=inv(G)*G_;
end
t_plus=mean(R_K_plus,1);
%t_plus(1,1) = A*R_O t_plus(1,2) = B*R_O t_plus(1,3) = R_0
A_plus=t_plus(1,2)/t_plus(1,3)
B_plus=t_plus(1,1)/t_plus(1,3)
R_0=t_plus(1,3)

R_plus_O=t_plus(1,3);

K_minus=zeros(mina-1,3);
for i=1:1:(mina-1)
    K_minus(i,,:)= [D_sort_minus(i,1)
                    D_sort_minus(i,1)^2
                    D_sort_minus(i,1)^3*(D_sort_minus(i,1)-100)];

```

```

end
R_K_minus=zeros(mina-3,3);
for i=1:1:(mina-3)
    H=[K_minus(i,,:)
        K_minus(i+1,,:)
        K_minus(i+2,,:)];
    H_=[D_sort_minus(i,2)
        D_sort_minus(i+1,2)
        D_sort_minus(i+2,2)];
    H__=H_/R_0-1;
    R_K_minus(i,,:)=inv(H)*H__;
end
t_minus=mean(R_K_minus,1);
%t_minus(1,1)= A t_minus(1,2)= B t_minus(1,3)= C
A_minus=t_minus(1,1)
B_minus=t_minus(1,2)
C_minus=t_minus(1,3)
%

round_minus=input('Lutfen almak istediniz sıcaklık degerlerinin minimum degerini
giriniz\nOrnek -60\n');
ceil_plus=input('Lutfen almak istediginiz sıcaklık degerinin makisimum degerini
giriniz\nOrnek 250\n');
ara=input('Lutfen sıcaklık değerlerinin kaçır kaçır artması gerektiğini girin\nOrnek 5\n');
%
p=ceil(abs(ceil_plus/ara))+ceil(abs(round_minus)/ara);
Final=zeros(p,2);

for i=round_minus:ara:-1
    Final((i-round_minus)/ara+1,:)=i
(R_0+R_0*A_minus*i+R_0*B_minus*i*i+R_0*C_minus*i*i*i*(i-100));
end

e=ceil(abs(-round_minus/ara));
for i=1:ara:(ceil_plus+1)
    Final(e+(i-1)/ara+1,:)=[(i-1) (R_0+A_plus*R_0*(i-1)+R_0*(i-1)*(i-1)*B_plus)];
end
Final
plot(Final(:,1),Final(:,2),'.');

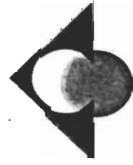
fid=fopen('Sıcaklık.xls','r+', 'n');
fprintf(fid,'Sıcaklık ve Direnç Değerleri\n\n');
fprintf(fid,'Lütfen Excel de işlem yaparken CTRL F yapın sonra değiştir bölümüne "." yı
"," olarak Tümünü değiştirin\n\n');
for i=1:1:p
    fprintf(fid,'%6.2ft',Final(i,1));

```

```
fprintf(fid,'%3.2f\n',Final(i,2));
end
fclose(fid);

% fid2=fopen('Sıcaklık.xls');
%
% if fid2==3
%   fid=fopen('Sıcaklık.xls','r+', 'n');
%   fclose(fid2);
% else
%   fid=fopen('Sıcaklık.xls','w','n');
% end
% % fid=fopen('Sıcaklık.xls','r+', 'n');
% fprintf(fid,'Sıcaklık ve Direnç Değerleri\n\n');
% fprintf(fid,'Lütfen Excel de işlem yaparken CTRL F yapın sonra değiştir bölümüne "."
y1 "," olarak değiştirin\n\n');
% for i=1:1:p
%   fprintf(fid,'%6.2f\t',Final(i,1));
%   fprintf(fid,'%3.2f\n',Final(i,2));
% end
% fclose(fid);
```

```
%Copyright by Emre Bayraklılar
%emrebayraklılar1@hotmail.com
```



ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ



TÜBİTAK

KALİBRASYON SERTİFİKASI CERTIFICATE OF CALIBRATION

Sertifika No : 2003.F:SI.193
Certificate Number

Sayfa No : 1 / 6
Page Number

Konu : Termometre Kalibrasyonu
Referring to : Calibration of Thermometer

Cihaz / Ekipman : 100 Ohm Platin Direnç Termometre
Device / Equipment : 100 Ohm Platinum Resistance Thermometer

Üretici Firma : Hart Scientific
Manufactured by

Model / Sınıf : 5626-12
Model / Class

Seri No : 0111
Serial no

Cihaz Kodu : NET130-F:SI-001
Device Code

Talep Eden : NETES Mühendislik ve Dış Tic.Ltd.Şti.
Issued for : Koşuyolu Cad. No:124 Koşuyolu
Kadıköy İSTANBUL

Kalibrasyon Tarihi : 03.12.2003
Date of Calibration

Tarih
Date of Issue

15.12.2003



UME Müdürü
Director, UME
Doç. Dr. Hüseyin ÜŞÜR

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilen diğer bir ülkenin metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeleri ve ancak bütünlüğü bozulmamak kaydıyla çoğaltılabilir. UME'nin yazılı izni olmaksızın sertifikanın bütünlüğünde veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılmaz ve kısmen çoğaltılmaz. Danışsız kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards redised at the UME, or other recognised national metrology institute or international standards redised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.FS1.193

Sayfa No : 2 /6

Certificate Number

Page No

1-KALİBRASYONDA KULLANILAN REFERANS REFERANÇ VE İSİDİN KALİBRASYON

Çihaz : Standart Platin Direnç Termometresi
Üretici Firma : Rosemount, Hart Scientific
Seri No : 2704, 11-41
İzlenebilirlik : UME Sabit Noktaları Sertifika No: 2003.FS1.024, 2003.FS1.037

2.-KALİBRE EDİLEN ÇİHAZ DEĞERLEME KALİBRASYON

Sıcaklık Aralığı : -40°C – 600°C
Daldırma derinliği: 18 cm

3. ORTAM ŞARTLARI ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Sıcaklık : (23.0 ± 1.0) °C
Basınç : (1001.0 ± 10.0) mbar
Bağıl Nem : % (47.0 ± 10.0)

4. KALİBRASYON YÖNTEMİ VE PROSEDÜRÜ CALIBRATION METHOD and PROCEDURE

100 Ohm'luk platin direnç test termometresi -40 °C ile 600 °C arasında Uluslararası Sıcaklık Ölçeği 1990 (ITS-90)'a göre, laboratuvar referans termometreleri kullanılarak karşılaştırma metodu ile kalibre edilmiştir.

Ölçümlerde, -40 °C ile +4 °C arasında alkol banyosu, +4 °C ile 80 °C arasında su banyosu, 100 °C ile 250 °C arasında yağ banyosu ve 250 °C ile 600 °C arasında kuru fırın kullanılarak laboratuvar referans termometrelerinin gösterdiği sıcaklık değerlerine karşılık 100 Ohm'luk platin direnç test termometresinin okuduğu direnç değerleri karşılaştırılmıştır.

Kalibrasyona başlamadan önce Pt-100 test termometresi 670°C'de toplam 2 saat tavlama işlemine tabi tutulmuştur.

Kalibrasyona başlamadan önce Pt-100 test termometresinin buz noktasında gösterdiği direnç değeri 99.624 Ω iken kalibrasyon bitiminden sonra gösterdiği değer 99.622 Ω'dur. Bu fark toplam belirsizliğe yansıtılmıştır.

Ölçüm sonuçları 650°C'ye kadar ekstrapole edilmiştir.

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilen diğer diğer bir diğer metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeler ve ancak bütünlüğü korunarak kaydedilebilir. UME'nin yazılı izni olmaksızın sertifikanın bütünlüğü veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen değiştirilemez. Danışman ve inşaat kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UME, or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than on full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

5. KALİBRASYON SONUÇLARI RESULTS OF CALIBRATION

Pt-100 test termometresinin referans sıcaklık değerlerine karşılık gösterdiği direnç değeri ve ölçüm belirsizliği tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo1. Kalibrasyon ölçüm sonuçları ve belirsizliği

Referans Sıcaklık Değeri /°C	Test Termometresinden Okunan Direnç Değeri /Ω	Belirsizlik /°C
-40,117	83,582	0,030
-30,090	87,620	0,030
-20,053	91,634	0,030
-9,843	95,706	0,030
0,000	99,622	0,030
49,892	119,290	0,030
100,739	139,041	0,030
199,933	176,671	0,030
299,587	213,283	0,050
399,397	248,825	0,050
499,351	283,237	0,060
599,372	316,519	0,060

Tablo 1'deki referans sıcaklık değerlerine karşılık, Pt-100 test termometresinin gösterdiği direnç değerleri kullanılarak aşağıdaki interpolasyon denklemi ve katsayıları elde edilmiştir. Bu denklem ve katsayılar sertifikamın arkasındaki tablomun çıkarımında kullanılmıştır. Tablodan gelen belirsizlik toplam belirsizliğine yansıtılmıştır.

$$R(t) = a + b(t - t_0) + c(t - t_0)^2$$

$$\begin{aligned} a &= -0,18917512^\circ\text{C} \\ b &= 0,998180229^\circ\text{C}^{-1} \\ c &= 3,84156571\text{E-}5^\circ\text{C}^{-2} \\ d &= -2,0175046\text{E-}7^\circ\text{C}^{-3} \\ e &= 6,8404808\text{E-}11^\circ\text{C}^{-4} \end{aligned}$$

RQ: Pt-100 test termometresinin 1 sıcaklığında gösterdiği direnç değeri
1 : Pt-100 test termometresinin içinde bulunduğu sıcaklık değeri

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilmiş diğer bir ulusal metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeleyen ve ancak belirlenmiş kısımlarla kaydedilebilir UME'nin yazılı izni olmaksızın sertifikamın bütününe veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılmaz ve kısmen uygulanmaz. Damsız ve imzasız kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UME or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.FSI.193

Certificate Number

Sayfa No : 4 / 6

Page No

6. KALİBRASYON BELİRSİZLİĞİ

UNCERTAINTY OF CALIBRATION

Kalibrasyondaki belirsizlik "Çinide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM, ISO 1993)" dökümanına uygun olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyonun toplam belirsizliği genişletilmiş belirsizlik olup, bileşik belirsizlikten kapsam faktörü $k=2.0$ kullanılarak elde edilmiştir. Güvenlilik düzeyi % 95'tir.

7. UYGUNLUK BEYANI

STATEMENT OF COMPLIANCE

8. AÇIKLAMALAR

REMARKS

Kalibrasyon sonuçları sadece 0111 seri numaralı ve NETT0-FSI-001 kodlu cihaza ait olup, kalibrasyon tarihinden itibaren ve cihaz için öngörülen ortam şartları altında geçerlidir. Gelecek kalibrasyon tarihinin belirlenmesinden kullanıcı sorumludur.

9. KALİBRASYON ETİKETİNİN YERİ

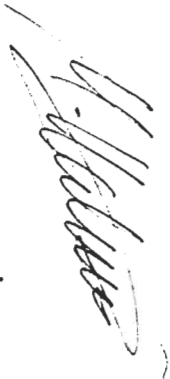
PLACEMENT OF THE CALIBRATION LABEL

Kalibrasyon etiketi sertifika ile beraber gönderilmiştir.


10. KALİBRASYONU YAPANLAR

PERFORMED BY

Laboratuvar Sorumlusu



Murat KALEMCI



Doç. Dr. Sevilay UĞUR

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilen diğer bir ulusal metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeler ve ancak bitirilmiş ve onaylanmış kayıtlarla doğrulanabilir. UME'nin yazılı izni olmaksızın sertifikanın bitirilmeye veya bu kısımda herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen çoğaltılamaz. Danışman ve muvazir kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, certified at the UME or other recognised national metrology institute or international standards certified at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.F-SI.193
Certificate Number

Sayfa No : 5 /10
Page No

t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR
-40	83,633	0,080	1	100,021	0,079	42	116,205	0,078
-39	84,035	0,080	2	100,419	0,079	43	116,597	0,078
-38	84,437	0,080	3	100,816	0,079	44	116,990	0,078
-37	84,839	0,080	4	101,212	0,079	45	117,381	0,078
-36	85,241	0,080	5	101,609	0,079	46	117,773	0,078
-35	85,643	0,080	6	102,006	0,079	47	118,165	0,078
-34	86,044	0,080	7	102,402	0,079	48	118,557	0,078
-33	86,446	0,080	8	102,799	0,079	49	118,948	0,078
-32	86,847	0,080	9	103,195	0,079	50	119,339	0,078
-31	87,248	0,080	10	103,591	0,079	51	119,731	0,078
-30	87,649	0,080	11	103,987	0,079	52	120,122	0,078
-29	88,050	0,080	12	104,383	0,079	53	120,513	0,078
-28	88,451	0,080	13	104,779	0,079	54	120,904	0,078
-27	88,852	0,080	14	105,175	0,079	55	121,294	0,078
-26	89,252	0,080	15	105,570	0,079	56	121,685	0,078
-25	89,653	0,080	16	105,966	0,079	57	122,075	0,078
-24	90,053	0,080	17	106,361	0,079	58	122,466	0,078
-23	90,453	0,080	18	106,756	0,079	59	122,856	0,078
-22	90,853	0,080	19	107,152	0,079	60	123,246	0,078
-21	91,253	0,080	20	107,547	0,079	61	123,636	0,078
-20	91,653	0,080	21	107,941	0,079	62	124,026	0,078
-19	92,053	0,080	22	108,336	0,079	63	124,416	0,078
-18	92,452	0,080	23	108,731	0,079	64	124,806	0,078
-17	92,852	0,080	24	109,125	0,079	65	125,195	0,078
-16	93,251	0,080	25	109,520	0,079	66	125,585	0,078
-15	93,650	0,080	26	109,914	0,079	67	125,974	0,078
-14	94,049	0,080	27	110,308	0,079	68	126,363	0,078
-13	94,448	0,080	28	110,702	0,079	69	126,752	0,078
-12	94,847	0,080	29	111,096	0,079	70	127,141	0,078
-11	95,246	0,080	30	111,490	0,079	71	127,530	0,078
-10	95,645	0,080	31	111,883	0,079	72	127,919	0,078
-9	96,043	0,080	32	112,277	0,079	73	128,307	0,078
-8	96,442	0,080	33	112,670	0,079	74	128,696	0,078
-7	96,840	0,080	34	113,063	0,079	75	129,084	0,078
-6	97,238	0,080	35	113,457	0,079	76	129,472	0,078
-5	97,636	0,080	36	113,850	0,079	77	129,860	0,078
-4	98,034	0,080	37	114,242	0,079	78	130,248	0,078
-3	98,432	0,080	38	114,635	0,079	79	130,636	0,078
-2	98,829	0,080	39	115,028	0,079	80	131,024	0,078
-1	99,227	0,079	40	115,421	0,078	81	131,411	0,078
0	99,624	0,079	41	115,813	0,078	82	131,799	0,077

Bu kalibrasyon sertifikası, UMI'deki ulusal standartlara veya UMI tarafından kabul edilen diğer bir ölkenin metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeler ve ancak bütünlüğe bozulmamak kaydıyla çoğaltılabilir. UMI'nin yazılı izni olmaksızın sertifikamı bütünlüğünde veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen uygulanamaz. Daimiyetsiz ve imzaysız kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UMI, or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UMI. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No

: 2003.F.SI.193

Sayfa No : 6 /10

Certificate Number

Page No

t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR
83	132,186	0,077	124	147,966	0,076	165	163,546	0,075
84	132,574	0,077	125	148,348	0,076	166	163,923	0,075
85	132,961	0,077	126	148,731	0,076	167	164,301	0,075
86	133,348	0,077	127	149,113	0,076	168	164,678	0,075
87	133,735	0,077	128	149,495	0,076	169	165,055	0,075
88	134,121	0,077	129	149,877	0,076	170	165,432	0,075
89	134,508	0,077	130	150,258	0,076	171	165,809	0,075
90	134,895	0,077	131	150,640	0,076	172	166,186	0,075
91	135,281	0,077	132	151,022	0,076	173	166,562	0,075
92	135,667	0,077	133	151,403	0,076	174	166,939	0,075
93	136,054	0,077	134	151,784	0,076	175	167,315	0,075
94	136,440	0,077	135	152,166	0,076	176	167,692	0,075
95	136,826	0,077	136	152,547	0,076	177	168,068	0,075
96	137,211	0,077	137	152,928	0,076	178	168,444	0,075
97	137,597	0,077	138	153,308	0,076	179	168,820	0,075
98	137,983	0,077	139	153,689	0,076	180	169,196	0,075
99	138,368	0,077	140	154,070	0,076	181	169,571	0,075
100	138,754	0,077	141	154,450	0,076	182	169,947	0,075
101	139,139	0,077	142	154,830	0,076	183	170,323	0,075
102	139,524	0,077	143	155,211	0,076	184	170,698	0,075
103	139,909	0,077	144	155,591	0,076	185	171,073	0,075
104	140,294	0,077	145	155,971	0,076	186	171,448	0,075
105	140,678	0,077	146	156,351	0,076	187	171,823	0,075
106	141,063	0,077	147	156,730	0,076	188	172,198	0,075
107	141,448	0,077	148	157,110	0,076	189	172,573	0,075
108	141,832	0,077	149	157,490	0,076	190	172,948	0,075
109	142,216	0,077	150	157,869	0,076	191	173,322	0,075
110	142,600	0,077	151	158,248	0,076	192	173,697	0,075
111	142,984	0,077	152	158,627	0,076	193	174,071	0,075
112	143,368	0,077	153	159,006	0,076	194	174,445	0,075
113	143,752	0,077	154	159,385	0,076	195	174,819	0,075
114	144,136	0,077	155	159,764	0,076	196	175,193	0,075
115	144,519	0,077	156	160,143	0,076	197	175,567	0,075
116	144,903	0,077	157	160,521	0,076	198	175,941	0,075
117	145,286	0,077	158	160,900	0,076	199	176,314	0,075
118	145,669	0,077	159	161,278	0,076	200	176,688	0,075
119	146,052	0,077	160	161,656	0,076	201	177,061	0,075
120	146,435	0,077	161	162,034	0,076	202	177,434	0,075
121	146,818	0,077	162	162,412	0,076	203	177,808	0,075
122	147,201	0,077	163	162,790	0,076	204	178,181	0,075
123	147,584	0,076	164	163,168	0,076	205	178,553	0,075

Bu kalibrasyon sertifikası, UMIÉ'deki ulusal standartlara veya UMIÉ tarafından kabul edilen diğer bir ülkenin metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeler ve ancak bitirilmiş durumda kaydedilebilir. UMIÉ'nin yazılı izni olmaksızın sertifikamın bitirilmiş veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen çoğaltılamaz. Dağıtımsız ve imzasız kalibrasyon sertifikaları geçersizdir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UMIÉ or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UMIÉ. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.FSL.193

Certificate Number

Sayfa No : 7 / 10
Page No

t/°C	R/ ohm	dVdR	t/°C	R/ ohm	dVdR	t/°C	R/ ohm	dVdR
206	178,926	0,075	247	194,109	0,074	288	209,094	0,073
207	179,299	0,075	248	194,477	0,074	289	209,457	0,073
208	179,671	0,074	249	194,844	0,074	290	209,820	0,073
209	180,044	0,074	250	195,212	0,073	291	210,183	0,073
210	180,416	0,074	251	195,580	0,073	292	210,546	0,073
211	180,788	0,074	252	195,947	0,073	293	210,908	0,072
212	181,160	0,074	253	196,314	0,073	294	211,271	0,072
213	181,532	0,074	254	196,681	0,073	295	211,633	0,072
214	181,904	0,074	255	197,048	0,073	296	211,995	0,072
215	182,276	0,074	256	197,415	0,073	297	212,358	0,072
216	182,648	0,074	257	197,782	0,073	298	212,720	0,072
217	183,019	0,074	258	198,149	0,073	299	213,081	0,072
218	183,390	0,074	259	198,515	0,073	300	213,443	0,072
219	183,762	0,074	260	198,882	0,073	301	213,805	0,072
220	184,133	0,074	261	199,248	0,073	302	214,166	0,072
221	184,504	0,074	262	199,614	0,073	303	214,528	0,072
222	184,875	0,074	263	199,980	0,073	304	214,889	0,072
223	185,245	0,074	264	200,346	0,073	305	215,250	0,072
224	185,616	0,074	265	200,712	0,073	306	215,611	0,072
225	185,987	0,074	266	201,078	0,073	307	215,972	0,072
226	186,357	0,074	267	201,443	0,073	308	216,333	0,072
227	186,727	0,074	268	201,809	0,073	309	216,694	0,072
228	187,098	0,074	269	202,174	0,073	310	217,054	0,072
229	187,468	0,074	270	202,540	0,073	311	217,415	0,072
230	187,838	0,074	271	202,905	0,073	312	217,775	0,072
231	188,207	0,074	272	203,270	0,073	313	218,135	0,072
232	188,577	0,074	273	203,635	0,073	314	218,496	0,072
233	188,947	0,074	274	203,999	0,073	315	218,856	0,072
234	189,316	0,074	275	204,364	0,073	316	219,215	0,072
235	189,686	0,074	276	204,729	0,073	317	219,575	0,072
236	190,055	0,074	277	205,093	0,073	318	219,935	0,072
237	190,424	0,074	278	205,457	0,073	319	220,294	0,072
238	190,793	0,074	279	205,822	0,073	320	220,654	0,072
239	191,162	0,074	280	206,186	0,073	321	221,013	0,072
240	191,531	0,074	281	206,550	0,073	322	221,372	0,072
241	191,899	0,074	282	206,914	0,073	323	221,731	0,072
242	192,268	0,074	283	207,277	0,073	324	222,090	0,072
243	192,636	0,074	284	207,641	0,073	325	222,449	0,072
244	193,005	0,074	285	208,005	0,073	326	222,808	0,072
245	193,373	0,074	286	208,368	0,073	327	223,167	0,072
246	193,741	0,074	287	208,731	0,073	328	223,525	0,072

Bu kalibrasyon sertifikası, UIMF'deki ulusal standartlara veya UIMF tarafından kabul edilen diğer bir ulkemin metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara eşlenebilirliği hedefler ve ancak bütünlüğü bozulanamak kaydıyla geçerlidir. UIMF'ün yazılı izni olmaksızın sertifikanın bütünlüğü veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen çöphalamaz. Daimiyet ve imzasız kalibrasyon sertifikaları geçelli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards realised at the UIMF, or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UIMF. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.FSL.193
Certificate Number

Sayfa No : 8 / 10
Page No

t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR
329	223,883	0,072	370	238,477	0,071	411	252,874	0,070
330	224,242	0,072	371	238,830	0,071	412	253,223	0,070
331	224,600	0,072	372	239,183	0,071	413	253,572	0,070
332	224,958	0,072	373	239,537	0,071	414	253,920	0,070
333	225,316	0,072	374	239,890	0,071	415	254,269	0,070
334	225,674	0,072	375	240,243	0,071	416	254,617	0,070
335	226,031	0,072	376	240,596	0,071	417	254,965	0,070
336	226,389	0,071	377	240,949	0,071	418	255,313	0,070
337	226,746	0,071	378	241,301	0,071	419	255,661	0,070
338	227,104	0,071	379	241,654	0,070	420	256,009	0,070
339	227,461	0,071	380	242,006	0,070	421	256,357	0,070
340	227,818	0,071	381	242,359	0,070	422	256,704	0,069
341	228,175	0,071	382	242,711	0,070	423	257,052	0,069
342	228,532	0,071	383	243,063	0,070	424	257,399	0,069
343	228,888	0,071	384	243,415	0,070	425	257,746	0,069
344	229,245	0,071	385	243,767	0,070	426	258,093	0,069
345	229,602	0,071	386	244,119	0,070	427	258,440	0,069
346	229,958	0,071	387	244,470	0,070	428	258,787	0,069
347	230,314	0,071	388	244,822	0,070	429	259,134	0,069
348	230,670	0,071	389	245,173	0,070	430	259,481	0,069
349	231,026	0,071	390	245,524	0,070	431	259,827	0,069
350	231,382	0,071	391	245,876	0,070	432	260,173	0,069
351	231,738	0,071	392	246,227	0,070	433	260,520	0,069
352	232,094	0,071	393	246,578	0,070	434	260,866	0,069
353	232,450	0,071	394	246,928	0,070	435	261,212	0,069
354	232,805	0,071	395	247,279	0,070	436	261,558	0,069
355	233,160	0,071	396	247,630	0,070	437	261,904	0,069
356	233,516	0,071	397	247,980	0,070	438	262,249	0,069
357	233,871	0,071	398	248,330	0,070	439	262,595	0,069
358	234,226	0,071	399	248,681	0,070	440	262,941	0,069
359	234,581	0,071	400	249,031	0,070	441	263,286	0,069
360	234,935	0,071	401	249,381	0,070	442	263,631	0,069
361	235,290	0,071	402	249,731	0,070	443	263,976	0,069
362	235,645	0,071	403	250,080	0,070	444	264,321	0,069
363	235,999	0,071	404	250,430	0,070	445	264,666	0,069
364	236,353	0,071	405	250,780	0,070	446	265,011	0,069
365	236,707	0,071	406	251,129	0,070	447	265,356	0,069
366	237,062	0,071	407	251,478	0,070	448	265,700	0,069
367	237,415	0,071	408	251,828	0,070	449	266,045	0,069
368	237,769	0,071	409	252,177	0,070	450	266,389	0,069
369	238,123	0,071	410	252,526	0,070	451	266,733	0,069

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilen diğer bir ölçekim metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara tabiiyetliliği belgeleyerek ve ancak belirlenmiş boyutunamuk kayıtlarla doğrulanabilir. UME'nin yazılı izni olmaksızın sertifikasyon belgelerinde veya bir kısımda herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısımları değiştirilemez. Dönüştürme ve inversiyon kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UME, or other recognised national metrology institutes or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.FS1.193
Certificate Number

Sayfa No : 9 / 10
Page No

t/°C	R/ ohm	dVdR	t/°C	R/ ohm	dVdR	t/°C	R/ ohm	dVdR
452	267,077	0,069	493	281,085	0,068	534	294,898	0,067
453	267,421	0,069	494	281,424	0,068	535	295,233	0,067
454	267,765	0,069	495	281,764	0,068	536	295,567	0,067
455	268,109	0,069	496	282,103	0,068	537	295,901	0,067
456	268,452	0,069	497	282,441	0,068	538	296,235	0,067
457	268,796	0,069	498	282,780	0,068	539	296,569	0,067
458	269,139	0,069	499	283,119	0,068	540	296,903	0,067
459	269,483	0,069	500	283,457	0,068	541	297,237	0,067
460	269,826	0,069	501	283,796	0,068	542	297,571	0,067
461	270,169	0,069	502	284,134	0,068	543	297,904	0,067
462	270,512	0,069	503	284,472	0,068	544	298,238	0,067
463	270,855	0,069	504	284,810	0,068	545	298,571	0,067
464	271,197	0,069	505	285,148	0,068	546	298,904	0,067
465	271,540	0,068	506	285,486	0,068	547	299,237	0,067
466	271,882	0,068	507	285,824	0,068	548	299,570	0,067
467	272,225	0,068	508	286,161	0,067	549	299,903	0,067
468	272,567	0,068	509	286,499	0,067	550	300,236	0,067
469	272,909	0,068	510	286,836	0,067	551	300,569	0,066
470	273,251	0,068	511	287,173	0,067	552	300,901	0,066
471	273,593	0,068	512	287,511	0,067	553	301,233	0,066
472	273,935	0,068	513	287,848	0,067	554	301,566	0,066
473	274,276	0,068	514	288,185	0,067	555	301,898	0,066
474	274,618	0,068	515	288,521	0,067	556	302,230	0,066
475	274,959	0,068	516	288,858	0,067	557	302,562	0,066
476	275,301	0,068	517	289,195	0,067	558	302,894	0,066
477	275,642	0,068	518	289,531	0,067	559	303,225	0,066
478	275,983	0,068	519	289,867	0,067	560	303,557	0,066
479	276,324	0,068	520	290,204	0,067	561	303,888	0,066
480	276,665	0,068	521	290,540	0,067	562	304,220	0,066
481	277,005	0,068	522	290,876	0,067	563	304,551	0,066
482	277,346	0,068	523	291,211	0,067	564	304,882	0,066
483	277,687	0,068	524	291,547	0,067	565	305,213	0,066
484	278,027	0,068	525	291,883	0,067	566	305,544	0,066
485	278,367	0,068	526	292,218	0,067	567	305,875	0,066
486	278,707	0,068	527	292,554	0,067	568	306,205	0,066
487	279,047	0,068	528	292,889	0,067	569	306,536	0,066
488	279,387	0,068	529	293,224	0,067	570	306,866	0,066
489	279,727	0,068	530	293,559	0,067	571	307,196	0,066
490	280,067	0,068	531	293,894	0,067	572	307,527	0,066
491	280,406	0,068	532	294,229	0,067	573	307,857	0,066
492	280,746	0,068	533	294,564	0,067	574	308,187	0,066

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilen diğer bir ölçüm metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği belgeler ve ancak bütünlüğü bozulmamak kaydıyla kullanılabilir. UME'nin yazılı izni olmaksızın sertifikamın bütünlüğünde veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen gerçekleştirilemez. Tam pansız ve imzasız kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UME, or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ulusal Metroloji Enstitüsü

Sertifika No : 2003.FSI.193

Certificate Number

Sayfa No : 10 /10
Page No

t/°C	R/ ohm	dV/dR	t/°C	R/ ohm	dV/dR
575	308,516	0,066	616	321,939	0,065
576	308,846	0,066	617	322,264	0,065
577	309,176	0,066	618	322,589	0,065
578	309,505	0,066	619	322,914	0,065
579	309,835	0,066	620	323,239	0,065
580	310,164	0,066	621	323,563	0,065
581	310,493	0,066	622	323,887	0,065
582	310,822	0,066	623	324,212	0,065
583	311,151	0,066	624	324,536	0,065
584	311,480	0,066	625	324,860	0,065
585	311,808	0,066	626	325,184	0,065
586	312,137	0,066	627	325,508	0,065
587	312,465	0,066	628	325,831	0,065
588	312,794	0,066	629	326,155	0,065
589	313,122	0,066	630	326,478	0,065
590	313,450	0,066	631	326,802	0,065
591	313,778	0,066	632	327,125	0,065
592	314,106	0,066	633	327,448	0,065
593	314,434	0,066	634	327,771	0,065
594	314,761	0,066	635	328,094	0,065
595	315,089	0,065	636	328,416	0,065
596	315,416	0,065	637	328,739	0,065
597	315,743	0,065	638	329,061	0,064
598	316,070	0,065	639	329,384	0,064
599	316,398	0,065	640	329,706	0,064
600	316,724	0,065	641	330,028	0,064
601	317,051	0,065	642	330,350	0,064
602	317,378	0,065	643	330,672	0,064
603	317,705	0,065	644	330,994	0,064
604	318,031	0,065	645	331,316	0,064
605	318,357	0,065	646	331,637	0,064
606	318,684	0,065	647	331,959	0,064
607	319,010	0,065	648	332,280	0,064
608	319,336	0,065	649	332,601	0,064
609	319,662	0,065	650	332,922	
610	319,987	0,065			
611	320,313	0,065			
612	320,639	0,065			
613	320,964	0,065			
614	321,289	0,065			
615	321,614	0,065			

Bu kalibrasyon sertifikası, UME'deki ulusal standartlara veya UME tarafından kabul edilmiş diğer bir ulkelerin metroloji enstitüsündeki ulusal standartlara ya da BIPM'deki uluslararası standartlara izlenebilirliği hedefler ve ancak bilimsel olarak doğrulanmış kayıtlarla doğrulanabilir. UME'nin yazılı izin alınmaksızın sertifikasının bütünlüğünde veya bir kısmında herhangi bir değişiklik yapılamaz ve kısmen çözümlenemez. Dönüştürme ve inversiyon kalibrasyon sertifikaları geçerli değildir.

This certificate provides traceability to recognised national standards, realised at the UME, or other recognised national metrology institute or international standards realised at the BIPM, and may not be reproduced other than in full except with the permission of UME. Calibration certificates without signature and seal are not valid.