

# ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR İÇİN YÜKSEK SICAKLIK (1000+ °C) METROLOJİSİ

**Ahmet DİRİL\***  
**Narcisa ARİFOVİÇ**  
**Özlem PEHLİVAN**

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, P.K: 54 41470 Gebze-Kocaeli TÜRKİYE  
Tel: 262 679 50 00  
E-Mail: [ahmet.diril@tubitak.gov.tr](mailto:ahmet.diril@tubitak.gov.tr)

## ÖZET

Avrupa Birliği ve EURAMET içindeki EMRP üyesi ülkeler tarafından desteklenen Endüstriyel Uygulamalar için Yüksek Sıcaklık (1000+ °C) Metrolojisi (HiTeMS) projesinin ana hedefi, endüstrideki yüksek sıcaklık (1000+ °C) ölçümlerini iyileştirmek için gerekli sıcaklık ölçüm yöntemlerinin tutarlı ve kapsamlı bir şekilde geliştirilmesidir.

Bu bildiri, TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarı'nın da katkı sağladığı bu proje ve çalışma paketleri hakkında bilgilendirme yapılarak sıcaklık ölçümbilimi ilgililerinin dikkatine sunulacaktır. Böylece gelecekteki EMRP projelerinde özellikle endüstriyel sektörden daha yoğun katılım hedeflenmektedir.

Anahtar sözcükler: EMRP projesi, HiTeMS, yüksek sıcaklık, ısılıft testleri, kararlılık, kullanım ömrü, ötetik nokta

## 1. Proje Genel Tanıtımı

Endüstride temassız sıcaklık (radyasyon sıcaklığı) ölçümlerinin güvenilirliğini artırma konular İP-1, 4 ve 5'te ele alınacaktır.

İP-1'de temassız yüzey sıcaklık ölçümleri alanında aşağıdaki konular ele alınacaktır:

- (Emisivite sorununa bir çözüm olarak sıkça önerilen bir teknik olan) bir mor ötesi çok dalgaboylu pirometre geliştirilmesi ve daha basit endüstriyel tip dalgaboyu cihazları için bir karşılaştırmalı performans çalışması gerçekleştirmek.
- Altın kupa pirometri yöntemine izlenebilirlik kazandırmak ve
- Yansıtmalara ve emisiviteye bağışık olma potansiyelini taşıyan aktif iki-renk pirometri yönteminin validasyonu.

İp-4'te 2000 °C'nin üzerinde radyasyon sıcaklığı ölçümlerinde değışken pencere geçirgenliğı için düzeltmelerin güvenilir bir şekilde belirlenmesi amacıyla yerinde, bilinen, kaymasız sıcaklık referansları temel alınarak yeni validasyon yöntemleri geliştirilmesi üzerinde odaklanacaktır. İP-5 özel olarak yüksek değere sahip ve iddialı bir endüstriyel yüksek sıcaklık prosesi olan lazerle malzeme prosesine (işlemesine) izlenebilir sıcaklık ölçüm yöntemleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Birlikte bu İş Paketleri endüstriyel ortamlarda temassız sıcaklık ölçümü gerçekleştirmeye ilgili tüm temel sorunları ve konuları ele alacaktır.

Kontakt sıcaklığıyla (temaslı sıcaklık ölçümü) ilgili konular İP-2, İP-3 ve İP-6'da ele alınmaktadır. İP-2'de ilk kez, baz ve soy metal ısı çiftlerindeki kayma karakterizasyonu UME'ler arasında tutarlı bir metrolojik temele oturtulacaktır. Endüstride çok yaygın olarak kullanılan bu sensörlerin kayma

karakteristiğini anlamak hayati önem taşır ve bu alandaki her türlü iyileştirme endüstriyel tesislerde değerlendirilecektir. İP-3, 1000 °C ve 2000 °C arasında hatta üzerinde sıcaklık ölçümünde self-validasyon ve yerinde validasyon yöntemleri ihtiyaçlarını ele alacaktır. Mevcut durumda endüstride sadece çok yetersiz sıcaklık sensörleri (W/Re ısılıçiftler) kullanılabildiğinden bu konunun ne kadar önemli olduğu açıktır. Algılama yöntemlerinde, özellikle de yerinde validasyondaki iyileştirmeler sıcaklık ölçümü uygulamalarında ve dolayısıyla da endüstriyel süreç kontrolünde çok önemli bir adım olacaktır. Son olarak kalifiye edilmiş (sıcaklığa karşı ısılıçift gerilim çıkışı) referans fonksiyonlar bulunmadığından yüksek sıcaklık için yeni ısılıçiftlerin kullanımı çok sınırlı kalmıştır. İP-6 bu sorunu ele almak amacıyla bu tip referans fonksiyonların doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi için Avrupa içerisinde bir dağıtılmış kapabilite geliştirecektir. Bu sayede mevcut ölçüm sorunlarına çözüm olabilecek yeni ısılıçift tiplerine erişim sağlanacaktır. Örn: referans fonksiyonu daha iyi karakterize edilebilirse W/Re'nin yerini daha iyi bir sensör alabilir.

Özet olarak bu kapsamlı araştırma paketi öne çıkan endüstriyel yüksek sıcaklık ölçüm sorunlarının büyük bir kısmını ele alacaktır. JRP'deki (finansal destekli ve desteksiz) katılımcıların kendine özgü yeteneklerinin karışımıyla bu zorlu ve önemli sorunların çözümüne doğru önemli adımlar atılacaktır.

Projenin altı amacı aynı zamanda yukarıda detaylı açıklanan altı iş paketini de oluşturmuştur:

1. 1000 °C'nin yukarısındaki yerinde yüzey (yüksek) sıcaklığı ölçümleri için izlenebilir ve doğru ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi.
2. 1000 °C'nin yukarısında sıcaklık sensörlerinin kullanım ömrü testleri ve kararlılıklarının belirlenmesi için doğru ve izlenebilir yöntemlerin geliştirilmesi.
3. 2000 °C yukarısı için kendiliğinden-doğrulmalı kontak sıcaklığı sensörleri geliştirilmesi.
4. 2500 °C yukarısında radyasyon sıcaklığı için yerinde doğrulama yöntemleri ve yeni düzeltme tekniklerinin geliştirilmesi.
6. Standart olmayan ısılıçiftler için referans fonksiyonların belirlenmesi

**TÜBİTAK-UME yukarıdaki 2 ve 4 nolu iş paketlerinde yer almaktadır.**

Proje web sitesi: <http://projects.npl.co.uk/hitems/>

## 2. İşbirliği Yapılan Kurum/Kuruluşlar

NPL Management Limited, İngiltere	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Fransa	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Fransa
Centro Español de Metrología, İspanya	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Almanya	Endress + Hauser Wetzler GmbH + Co. KG, Almanya
Conservatoire national des arts et métiers, Fransa	Slovenský Metrologický Ústav, Slovakya	GDF Suez, Fransa
Cesky Metrologický Institut Brno, Çek Cumhuriyeti	<b>TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Türkiye</b>	Meggitt Sensing System, İngiltere

Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, İtalya	VSL B.V., Hollanda	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Almanya
---	--------------------	---

### Proje Destekçileri [HiTeMS]

CEA, Fransa GDF-Suez, Fransa Thermocoax, Fransa Areva NP, Almanya ALOtec, Almanya Laserline, Almanya Endress + Hauser, Almanya Roessel, Almanya Elettrostamperie Poppi, İtalya GE Oil and Gas, İtalya Rona Glassworks, Slovakya Železiarne Podbrezová a.s., Slovakya Slovglass, Slovakya	EADS CASA, İspanya Spanish Glass and Ceramic Society, İspanya Plataforma Solar de Almeria, İspanya Útiles y Máquinas Industriales, İspanya Erdemir, Türkiye Şişecam, Türkiye Rolls Royce, İngiltere Bodycote, İngiltere Meggitt, İngiltere Johnson Matthey, İngiltere Land Instruments, İngiltere CCPI, İngiltere Omega, İngiltere
--	--

### 3. Proje Çıktılarının Ekonomik Katma Değeri ve Sosyal Kazanımlar

Bu proje ile tüm AB katılımcıları için yüksek sıcaklık ölçüm ve işlemlerinin önemli olduğu (örn: cam ve seramik, demir-çelik, uzay ve havacılık, özel ve kıymetli metaller, malzemelerin ısı işleme, lazerli kaynak ve diğer malzeme işleme yöntemleri, karbon-karbon kompozit üretimi, nükleer yakıt üretimi ve kritik nükleer güvenlik testleri vb.) alanlarda önemli iyileştirmeler yapılması hedeflenmektedir. Bu nedenle AB ekonomisi içindeki bu önemli bölümlerde (ve diğer başka alanlarda) önemli ve kalıcı etkisi olacaktır. Projenin öngörülen etkileri üç kısımda toplanabilir: çevresel, toplumsal ve endüstriyel.

**Çevresel etkisi:** Endüstriyel yüksek sıcaklık prosesleri büyük miktarda enerji tüketir ve zorunlu olarak yüksek oranda CO2 emisyonuna neden olur. Proses kontrolünde kullanılan sensörlerin zaman içerisinde kayması ile enerji israfı ve emisyon artışı görülür. Sıcaklık ölçümündeki iyileştirmelerle enerji israfı azalacak ve CO2 emisyonunda önemli oranda düşüş elde edilecektir. Yine başka bir örnek verilecek olursa hava ulaşımında kullanılan türbin motorlarının sıcaklık ölçümleri iyileştirildiğinde daha yüksek sıcaklıkta daha güvenli olarak çalıştırılarak yakıtın daha verimli kullanılması sağlanacaktır.

**Toplumsal etkisi:** Emisyonda azalma ve enerjinin optimal kullanılması pozitif bir toplumsal etki doğuracak, insanlar gelişen teknolojiden yararlanırken küresel ısınmaya daha az katkıda bulunacaktır. Şirketlerinin küresel pazarda rekabetçi konumunun devam ettirilmesi sağlanarak, üretimin daha az düzenlenmiş ekonomilere kaydırılması için baskı azalacaktır. Yine bu proje kapsamında geliştirilen yeni sensörler ve algılama yöntemleri dünya çapında ölçüm cihazları haline getirilecek ve sıcaklık sensörü piyasasının gelişmesine katkıda bulunacaktır.

**Endüstriyel etkisi:** Enerji yoğun ülkeler doğal olarak karbon ayak izlerinin farkındadır ve bunu azaltmayı hedefler. Bu endüstrilerin karbon ayak izleri enerji kullanımına bağlıdır, bu da doğrudan sıcaklık ölçümü ve kontrolü ile bağlantılıdır. Daha hassas ve doğru sıcaklık kontrolü ile enerji optimizasyonu ve emisyonun düşürülmesini sağlayan şirketler, ürünlerinin kalite olarak daha tutarlı olmasını da gerçekleştirecek ve rekabetçiliklerini yükselterek hatalı ürün oranını minimize edecek, geri dönüşüm ihtiyacını azaltacak ve "sıfır-atık" kurumları haline gelebilecektir.

#### 4. İşpaketlerine Göre Detaylı Çalışma Planları

**İP-1: 1000 °C'nin yukarıdaki yerinde yüzey (yüksek) sıcaklığı ölçümleri için izlenebilir ve doğru ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi.  
(VSL, CMI, INRIM, SMU)**

##### Çalışmanın Tanımı:

Temassız bir sıcaklık ölçme yöntemi olan radyasyon sıcaklığı, robust, hızlı bir yöntemdir ve prensipte yüksek sıcaklıkları (örn >2500 °C) kolaylıkla ölçülebilir. Bu tip yüksek sıcaklıklar karbon/karbon kompoziti üretimi gibi malzeme işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Hareketli ürünleri içeren üretim hatlarında kullanım için idealdir, bu hatlarda ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle kontak (temaslı) termometrelerin kullanımı uygun değildir veya kontak termometrelerdeki kirlenmeler kalite sorunu doğurur.

Bu iş paketinin amaçları:

- a. Temassız sıcaklık ölçümlerinde yerinde (yani endüstriyel uygulamada) izlenebilirliğin sağlanması, ve
- b. endüstrideki temassız sıcaklık ölçümü uygulamasında belirsizliği büyük oranda düşürmek

Klasik radyasyon termometrelerinin laboratuvarında yüksek sıcaklıkta kalibrasyonları nispeten kolay olsa da endüstrideki uygulamaları için aynı şey geçerli değildir. Bunun nedeni radyasyon termometrelerinin kullanıldığı ölçüm ortamları nedeniyle belirsizliğin yükselmesidir. Bazı endüstriyel süreçlerde kabul edilemeyecek kadar etkili olan tipik belirsizlik kaynakları arasında, ölçülen yüzeyin ışınma özelliklerindeki hatalar ve değişimler (emisivite), optik sinyalde gazlar ve buharlar tarafından yapılan bilinmeyen soğurmalar, ve dış ısı kaynaklarından gelen yansıma ışınmasının varlığı nedeniyle ölçülen ışımanın bozulması sayılabilir. Bu tip durumlarda 100 °C'yi aşan sıcaklık belirsizlikleriyle karşılaşılabilir. Yıllar boyunca bu sorunları çözmek için çok sayıda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlar genellikle fiziksel varsayımları içermektedir ve sadece özel veya iyi-anlaşılmış ölçüm durumlarında uygulanabilmektedir. Endüstride geleneksel radyasyon sıcaklığı ölçümü için genel olarak uygulanabilecek bir düzeltme yöntemi oluşturulamamıştır.

Bu işpaketinde (yerinde) temassız yüzey sıcaklığı ölçüm belirsizlikleri büyük oranda düşürülürken izlenebilirlik de korunacaktır. İki özel sorun ele alınacaktır: yansıyan ışımanın etkisi ve bilinmeyen emisivite. Mutlak referans noktaları (yani yüksek sıcaklıklarda bilinen noktalar) kullanılarak son teknoloji bir yaklaşım uygulanacaktır. Bilinen referans noktaların doğru olarak belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılacak, bu noktalar kullanılarak (uygun ölçüm modeli ile) emisivite ve arkaplan yansımalarının güvenilir düzeltmeleri belirlenecektir.

Ölçüm düzeneğine mutlak referans noktalarının eklenmesi, geniş arkaplan ışınmalarına, emisiviteye ve arkaplan ışınmasının yansımalarına daha az duyarlı ölçüm yöntemleri kullanılarak sağlanacaktır. Bu referans noktaların elde edilmesinde kullanılacak üç ölçüm yöntemi şunlardır:

- Morötesi çok dalgaboylu radyasyon sıcaklığı ölçümü
- İzlenebilir altın kupa radyasyon sıcaklığı ölçümü, ve
- Aktif iki-renkli radyasyon sıcaklığı ölçümü.

İlave bir problem de bir radyasyon termometresinin çıkışının (okuduğu sinyalin veya sıcaklığın) hedef büyüklüğüyle değişmesidir ki bu Kaynak Büyüklüğü Etkisi (KBE) olarak da bilinir. Geniş ışınma kaynaklarını endüstriyel radyasyon termometreleriyle ölçerken bu önemli bir belirsizlik kaynağı olabilir ve genellikle de düzeltilmesi yapılmamaktadır. KBE'yi belirlemek ve ilk kez olarak bir düzeltme yapmak için iki yöntem geliştirilecektir:

- Radyasyon termometreleri ve hat tarayıcılarında geniş arkaplan KBE'yi belirlemek için bir yöntem
- Termal görüntüleyicilerde (termal/IR kameralar) KBE dahil uzaysal gürültüye denk sıcaklık farkını belirlemek için bir yöntem

**İP2: 1000 °C'nin yukarısında sıcaklık sensörlerinin kullanım ömrü testleri ve kararlılıklarının belirlenmesi için doğru ve izlenebilir yöntemlerin geliştirilmesi**  
(CMI, CNAM, LNE, NPL, SMU, TUBITAK UME, MSS)

**Çalışmanın Tanımı:**

Bu iş paketinde baz metal ısıçiftlerin kullanım ömrü karakteristiklerinin ve baz ve soy metal ısıçiftlerin (kullanım nedeniyle) kayma karakteristiklerinin belirlenmesi için SI'a (yani ITS-90'a) izlenebilir temelleri olan hassas bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmektedir. İş paketi laboratuvarlardaki kullanım ömrü ve kayma test yeteneklerinin belirlenmesi ile başlayacaktır. Bu bağlamda bu yeteneklerin sensör üreticilerinden tedarik edilen ısıçiftlerle validasyonu da gerçekleştirilecektir. Isıçiftlerin kullanım ömrü ve kaymalarının belirlenmesi için standart bir prosedür oluşturmak amacıyla endüstriyel JRP-Katılımcıları ve/ya işbirliği yapılan tesislerde ısıçiftlerin yerinde testleri gerçekleştirilerek iş paketi sonuçlandırılacaktır. Farklı ısıçift tiplerinin testlerinden alınan sonuçlar kaymalara neden olan (kimyasal, fiziksel vb) süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Bu araştırmaların sonuçlarının endüstriyel kuruluşlara aktarılması önemlidir ve bu amaçla "Metrologie 2013" gibi bir konferansta veya uygun bir toplantıda bir çalıştay gerçekleştirilecektir. İlave olarak ısıçiftlerin kullanım ömrü ve kaymalarının belirlenmesi konulu bir EURAMET rehber dokümanının oluşturulması da AB Ulusal Metroloji Enstitülerindeki sıcaklık metroloji topluluğunun faydasına olacaktır.

Bu iş paketinin başarıyla tamamlanması sayesinde pek çok ısıçift tipinin uzun dönem karakteristiklerinin doğrulanması için Avrupa çapında bir yetenek kazanılacaktır. Bu da özellikle demir döküm ve metalürji gibi bazı sektörler için faydalı olacaktır.

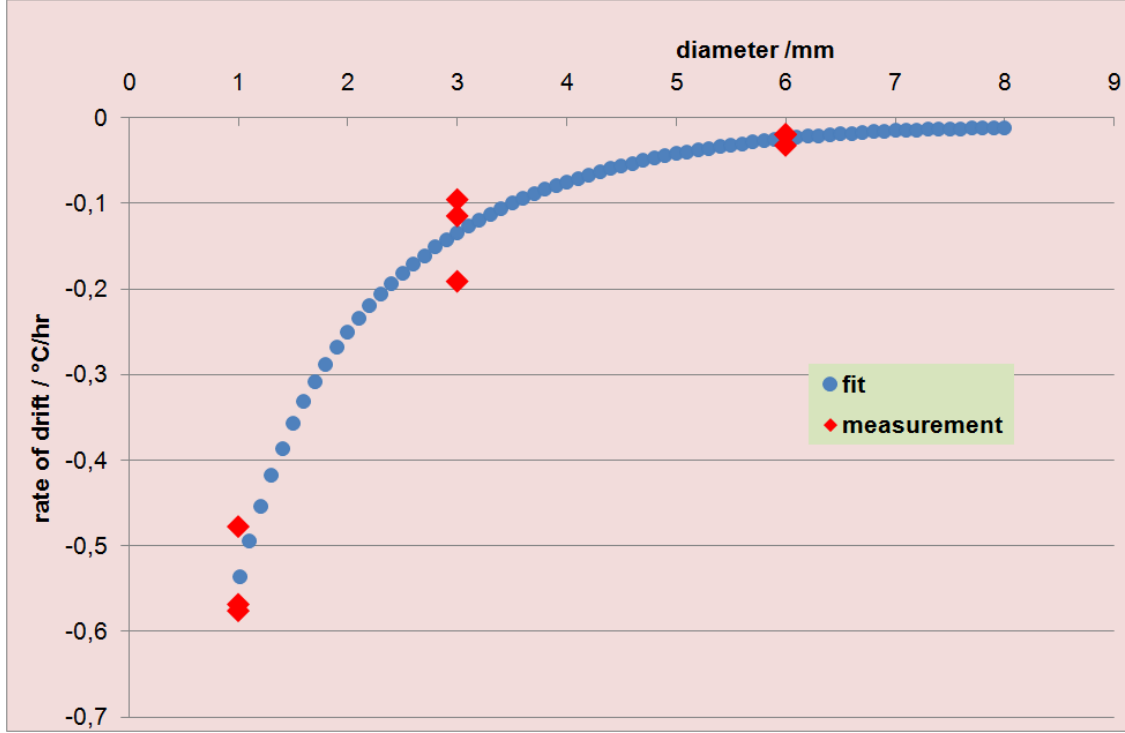
**İŞ.2.1: Baz metal ısıçiftlerin kullanım ömrü değerlendirmesi için test yöntemleri: (CMI, NPL, SMU, TUBITAK UME)**

Bu çalışmada yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan baz metal ısıçiftler için kullanım ömrü belirleme yöntemleri değerlendirilmesi ve geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut yöntemler genellikle doğaçlama geliştirilmiştir ve sensör üreticileri arasında farklılık göstermekte ve kullanıcı tarafından yanlış anlaşılmalara neden olmaktadır. Bu çalışma sonucunda 1300 °C'ye kadar çıkan sıcaklıklarda kullanılan ısıçiftlerin kullanım ömrü performansının belirlenmesi için standart bir düzenek ve prosedür belirlenecektir.

**İŞ.2.2: Bazı ısıçiftler için kayma/kararlılık testinin araştırılması: (CMI, CNAM, LNE, NPL, SMU, TUBITAK UME, MSS)**

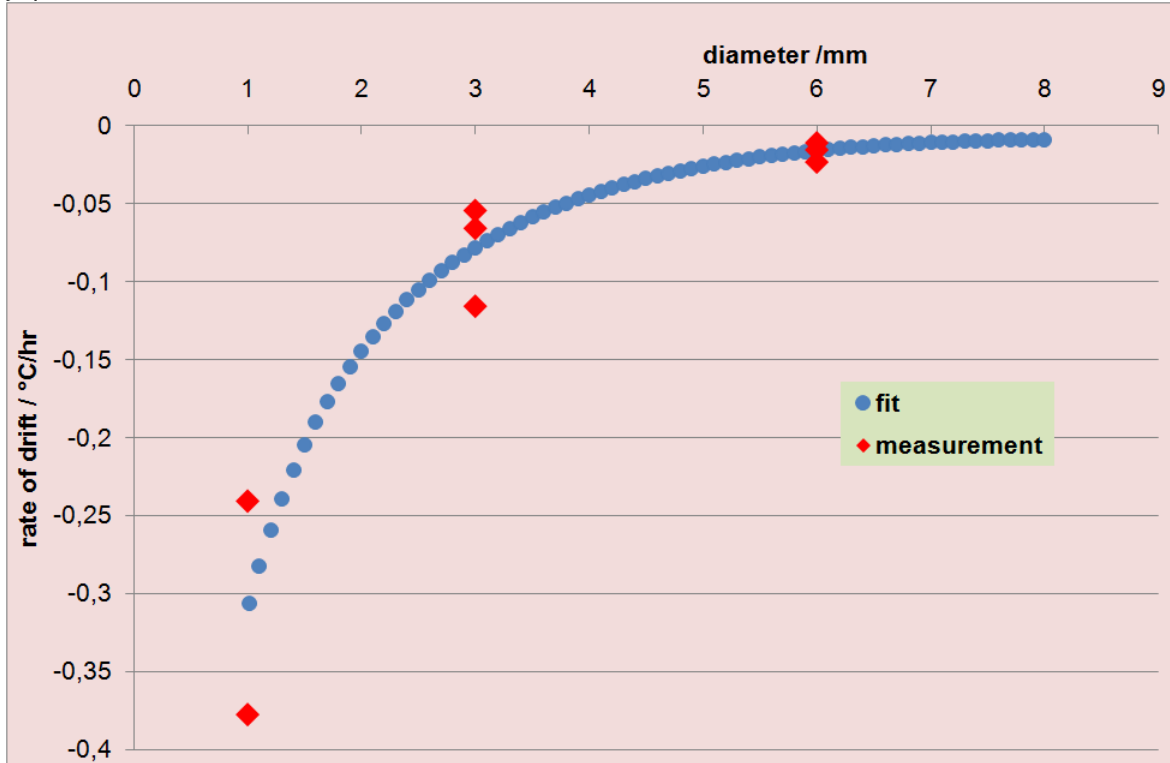
Bu çalışmada baz metal (K ve N tipi) ve soy metal (R, S ve B tipi) ısıçiftlerin kayma(kararlılık) ölçümleri için hassas ve izlenebilir bir yöntem geliştirilecektir. Isıçiftlerde kayma testi yöntemleri çok farklılık göstermekte ve sonuçlar da nadiren yayınlanmaktadır. Sonuçlar verildiğinde dahi kullanılan kayma ölçüm prosedürlerinin farklılığından dolayı diğer sonuçlarla karşılaştırmak nadiren mümkün olmaktadır. Gerçekleştirilecek testleri belirlerken sensör kayma performansı hakkındaki sensör üreticilerinin tahminlerinin yanı sıra literatürdeki kaynaklardan da yararlanılacaktır.

İngiltere menşeli 3 farklı ısıçift firmasından temin edilen farklı çaplardaki N tipi ısıçiftler üzerinde TUBİTAK UME'de gerçekleştirilen 1300 °C koşullandırması sonrası 960 °C'de kayma ölçümlerinde Şekil 1'deki sonuçlar alınmıştır. Şekilde ısıçiftler kalınlaştıkça kayma miktarının azaldığı ve tahmini olarak 8 mm çapta ideal kayma değerlerine ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 1. N tipi ısılıçiftler için 960 °C'de kayma hızı (1300 °C'de yaşlandırma)

Aynı koşullandırmada 1300 °C'deki kayma sonuçları Şekil 2'de verilmiştir ve benzeri bir çıkarım yapılabilir.



Şekil 2. N tipi ısılıçiftler için 1300 °C'de kayma hızı (1300 °C'de yaşlandırma)

**İŞ.2.3: Isılçiftlerin yerinde kullanım ömrü ve kayma testleri için yöntemler geliştirilmesi:** (CMI, TUBITAK UME, MSS)

Bu çalışmada yüksek sıcaklık ısılciftlerin endüstriyel ortamlarda kullanım ömrü ve kayma ölçümleri için yöntem geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

**İP-3. 2000 °C yukarısı için kendiliğinden-doğrulmalı kontak sıcaklığı sensörleri geliştirilmesi.** (PTB, CNAM, E+H, LNE, NPL)**Çalışmanın Tanımı:**

Bu iş paketinin amacı 2000 °C'nin üzerinde vakum veya soygaz atmosferleri için ve 1800 °C'ye kadar oksitleyici atmosferlerde sıcaklıkların ölçümü için güvenilir kendiliğinden-validasyonlu kontak sıcaklığı sensörleri ve izlenebilir ölçüm yöntemleri geliştirmektir.

**İş 3.1:** Kontak termometreleri için kullanılabilir malzeme uyumluluğu çalışmaları ve 2000 °C civarında kendiliğinden validasyon çalışmaları için minyatür yüksek sıcaklık sabit noktaları (YSSN'ler) yapımı (NPL, CNAM, LNE, PTB)

**İş 3.2:** Kendiğinden doğrulamalı MIMS ısılciftlerinin tümleşik minyatür YSSN potalarıyla 2000 °C civarında uyumluluk testleri (NPL, CNAM, LNE, PTB)

**İş 3.3:** Oksitleyici atmosferlerde kullanılabilir, tümleşik minyatür sabit nokta potasıyla birlikte Pt30%Rh/Pt6%Rh ısılciftinin (B tipi) geliştirilmesi ve uzun dönem kararlılığının incelenmesi (PTB, CNAM, LNE)

**İP-4. 2500 °C yukarisında temassız sıcaklık ölçümleri için doğrulanmış yöntemler ve yeni düzeltme tekniklerinin geliştirilmesi.**

(CNAM, NPL, TUBITAK UME, CEA, GDF)

**Çalışmanın Tanımı:**

Bu iş paketi 1500 °C'den başlayarak 2500 °C'nin yukarisına kadar çıkan aralıkta yüksek sıcaklıkta radyasyon sıcaklığı ölçümleri için yeni yerinde doğrulama yöntemleri geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu sıcaklıklarda ve üzerinde kararlı veya kendiliğinden doğrulamaları ısılciftler bulunmadığında sıcaklığın belirlenmesi ve kontrolü için yegane güvenilir yöntem radyasyon sıcaklığı ölçümüdür. Ancak bu koşullarda radyasyon termometrelerinin doğruluğunu pek çok faktör etkilemektedir: örn yüzey emisivitesi hakkında yetersiz bilgi, sürekli kirlenen pencereler arkasından ölçüm yapmak, değişken gazlı ortamlar (optik yolun iletiminin bilinmemesi), ve ortam etkileri nedeniyle radyasyon termometresi kayma oluşması vb.

Bu zorlukların çoğu İP-1 ve İP-5 tarafından ele alınacaksa da geriye bir konu kalmıştır: endüstriyel süreçlerde kullanılan cihazların kararlılığının sağlanması. Bu iş paketinde yeni yüksek sıcaklık sabit noktalarını temel alan ve 2800 °C'ye kadar sıcaklıklarda yerinde uygulanabilecek kendiliğinden doğrulama yöntemleri ve düzeltme teknikleri geliştirilmesine odaklanacaktır.

Henüz radyasyon sıcaklığı için bu kadar yüksek sıcaklıklarda bir çözüm bulunamadığından bu çalışma çok önemli bir ilerleme sağlayacaktır. Bu iş paketinde öok yüksek sıcaklıklarda uluslar arası sıcaklık ölçeğine izlenebilirliği sağlamak için yüksek sıcaklık metrolojisine yakın zamanda eklenmiş olan yüksek sıcaklık sabit noktalarda değişiklikler yaparak endüstriye uygulayacaktır. Amacı desteklemek için endüstriden iki JRP-ortağı yeni yöntemleri yüksek sıcaklık tesislerinde test edecektir.

**ÇALIŞMA.4.1: Yerinde kendiliğinden doğrulama için yüksek sıcaklık sabit (ötetik) noktalarının üretimi ve karakterizasyonu: (CNAM, NPL, TUBITAK UME)**

Bu çalışmada yerinde sıcaklık kontrolü ve kayma düzeltmesi için kullanılacak en az üç adet küçük yüksek sıcaklık sabit nokta hücresi belirlenecek ve üretilecektir. Pota malzemesinin çalışma koşullarıyla malzeme uyumluluğu İş 4.3'teki uygulamalara uyarlanacaktır.

Sabit noktalar öncelikle soy gaz veya vakum ortamındaki endüstriyel uygulamalar için uygun olan grafit potalarda geliştirilecektir.

Yüksek sıcaklık sabit noktaları, [WC-C (2748 °C), Re-C (2474 °C), Ir-C (2292 °C), Ru-C (1953 °C), Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-C (1826 °C) ve Pt-C (1738 °C)] arasından seçilecektir.

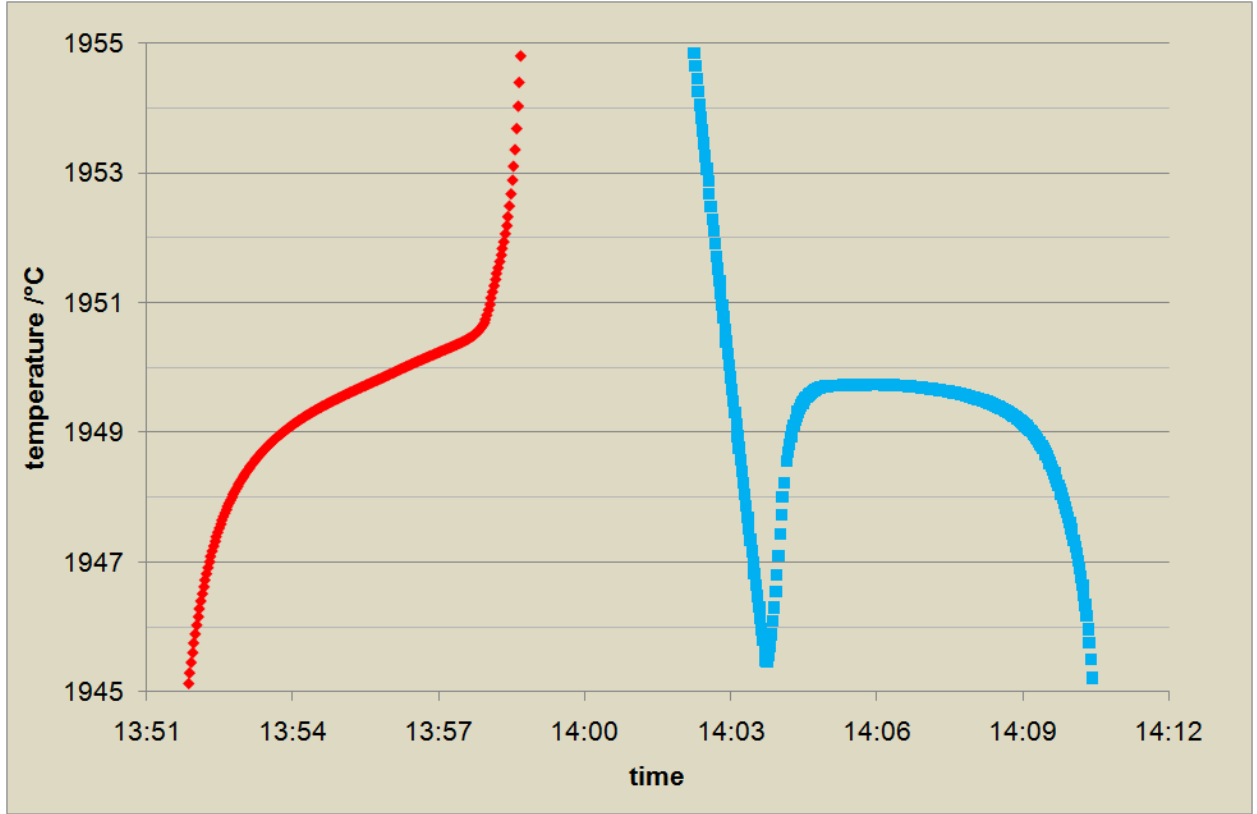
Tübitak UME'de üretilen 5 adet Ru-C hücresi Şekil 3'te görülmektedir.



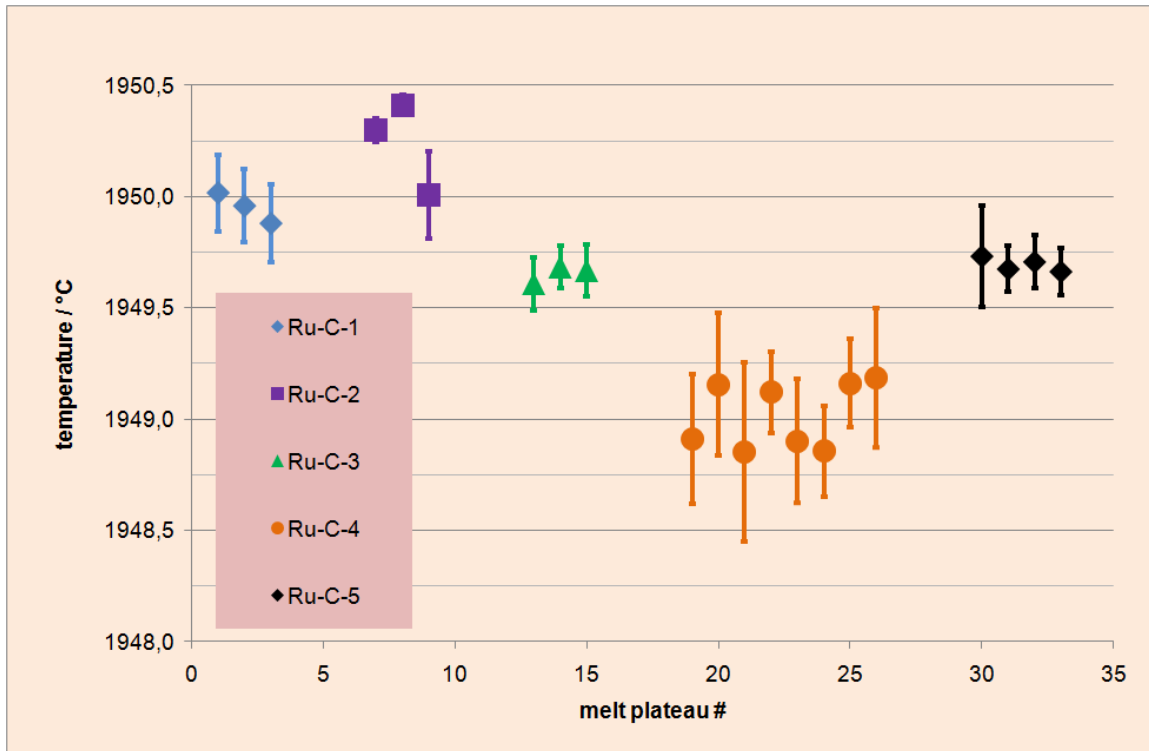
Şekil 3. Rutenyum-Karbon (Ru-C) Ötetik Hücreleri

Bu hücrelerde elde edilen tipik bir ergime donma platosu Şekil 4'te, ergime-donma platolarının tekrarlanabilirliği ise Şekil 5-6'da verilmiştir.

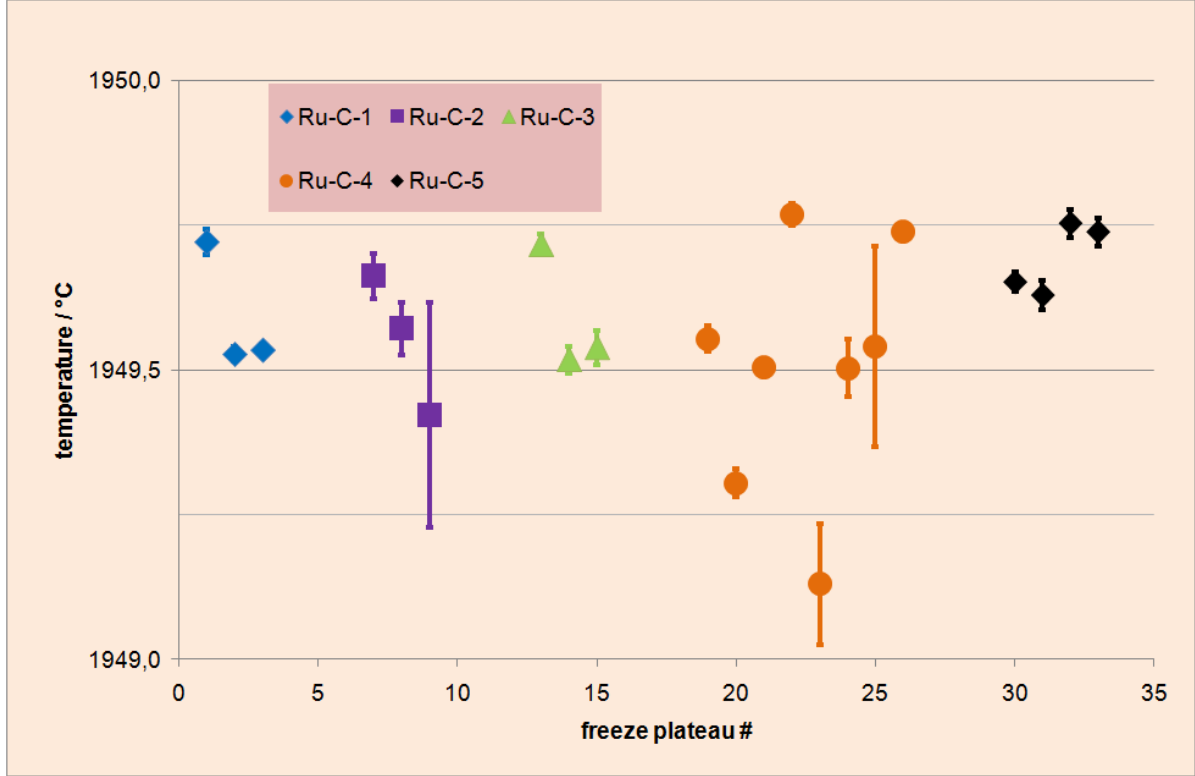




Şekil 4. Ru-C ötetik hücre ergime ve donma platoları



Şekil 5. Ru-C ötetik hücre ergime plato tekrarlanabilirliği



Şekil 6. Ru-C ötetik hücre donma plato tekrarlanabilirliği

#### ÇALIŞMA.4.2: Pencere arkasından endüstriyel ölçümler için düzeltme tekniği geliştirilmesi: (NPL, CNAM)

Endüstriyel süreçlerde radyasyon sıcaklığı yöntemiyle sıcaklık ölçümündeki önemli bir zorluk da optik yol üzerinde bulunan bir penceredeki iletimin, toz ve kimyasal ürünlerin birikmesiyle sürekli olarak değişmesidir. Bu durumda iletimdeki bu değişim radyasyon termometresi tarafından bir sıcaklık kayması gibi algılanır ve hatalı veriler üretilir. Özellikle radyasyon termometresinin sürecin sıcaklık kontrolünde kullanılması durumunda, bu yanlış algılama aşırı ısınmaya ve ısıtıcının bozulmasına veya üretilen malzemede hasara neden olabilir.

Bu çalışmada bir radyasyon termometresi ile yüksek sıcaklık sabit noktası ölçülürken pencere iletimindeki değişim araştırılacaktır. Alınan verilerle pencere iletimindeki değişimler için bir düzeltme algoritmasının yerinde geliştirilmesi sağlanacaktır. Endüstride kullanılan radyasyon termometrelerinin farklı tayf aralıklarını ve farklı sıcaklık aralıklarını dikkate almak için iki farklı tipte radyasyon termometresi kullanılacak ve Çalışma 4.1'de geliştirilen iki yüksek sıcaklık sabit noktası katılımcı iki laboratuvarında (NPL ve CNAM) ölçülecektir.

#### ÇALIŞMA 4.3: Yerinde kendiliğinden doğrulama yöntemlerinin test edilmesi: (CNAM, CEA, GDF)

Bu çalışmada, Çalışma 4.1'de geliştirilen yüksek sıcaklık sabit noktaların, radyasyon termometresi (temassız termometre) ve ısı çifti (Rh/Ir veya W/Re telli) (temaslı termometre) ölçümleri için adapte edilmesi amaçlanmaktadır.

Geliştirilen yüksek sıcaklık sabit noktası hücreleri, CEA ve GDF-Suez tesislerinde test edilecektir. Bu nedenle hücreler, bu iki JRP-Ortağının tesislerindeki ortamların malzeme kısıtlamaları ile uyumlu olmalıdır.

CEA ayrıca bir adet aynı metal-karbon ötetiden (muhtemelen 2292 °C'deki Ir-C) doğrulama hücresi üretecek ve bu hücre performansı diğer hücrelerle yerinde (tesiste) karşılaştırılacaktır.

### **İP-5. Farklı ısıtım yöntemleri için izlenebilir sıcaklık ölçümleri geliştirilmesi.** (PTB, SMU, REG(ThG))

#### **Çalışma Tanımı**

Bu iş paketinde ısıtım yöntemlerinde, özellikle de lazerle sertleştirmede yerinde sıcaklık ölçümlerinin iyileştirilmesi için güvenilir ve izlenebilir radyasyon sıcaklığı yöntemleri geliştirilmesi hedeflenmektedir. Yerinde izlenebilirliğin sağlanabilmesi için iki teknik zorluğu aşılması gerekmektedir:

- Endüstriyel ortam için uygun bir yüksek sıcaklık sabit nokta birimi (yani sabit nokta ve fırını) geliştirilecektir. Bu fırında endüksiyon ısıtması kullanılacaktır. Bu sayede, yerinde kalibrasyon, radyasyon termometresinin kararlılığının gözlenmesi (yani spot pirometre veya termografi) ve ısıtım kafasındaki optik yolun iletiminin gözlenmesi sağlanacaktır.
- Lazerle sertleştirme sırasında ulaşılan sıcaklıklarda, lazerle sertleştirmenin tayfsal emisivite üzerindeki etkisi araştırılacak ve raporlanacaktır. Tayfsal emisivitenin yüzey kalitesiyle değiştiği ve yüzeyin de atmosferik koşullardan etkilendiği bilinmektedir.

1000 °C'yi aşan yüksek sıcaklıklarda laboratuvar ortamında tayfsal emisivite ölçümü, JRP ENG06 projesi kapsamında iki Avrupa Metroloji Enstitüsü'nde geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Bu JRP kapsamında lazerle sertleştirme işleminin emisivite üzerindeki etkisini incelemek için bu deneysel düzenekler modifiye edilebilir.

#### **Çalışma 5.1: 1000 °C üzeri için kompakt endüksiyon ısıtmalı sabit nokta cihazı geliştirilmesi** (PTB, REG(FhG))

Bu çalışmanın amacı, yüksek sıcaklık siyah cisim sabit noktalarının endüstriyel ortamda kararlı referanslar olarak kullanılabilmesi için pratik bir çözüm üretmektir. Bu amaçla çalışılan parçanın emisivitesinden ve cihazın çalışma dalgaboyundan bağımsız olarak radyasyon termometresinin kararlılığını belirlemek için bir referans nokta geliştirilecektir. Bu birimler kompakt bir muhafaza içine yerleştirilip endüksiyon ile ısıtılırsa atmosfer kontrol edilebilir ve endüstriyel sürece eşlenebilir. Bu şekilde radyasyon termometresini işlem alanından çıkarmadan ve dolayısıyla kurulum koşullarını değiştirmeden, yerinde kalibrasyonu/kararlılık testi sağlanabilir. İlgili endüstriyel tesislerde uygun HF üreteçleri ve deneyim mevcut olduğundan endüksiyonla ısıtma ekonomik olarak sağlanabilir.

#### **Çalışma 5.2 kompakt endüksiyon ısıtmalı yüksek sıcaklık sabit nokta cihazının yerinde testi** (PTB, REG(FhG))

Bu çalışmada, Çalışma 5.2'de PTB tarafından geliştirilen endüksiyon ısıtmalı yüksek sıcaklık sabit nokta cihazının test edilmesi ve doğrulanması amaçlanmaktadır. (Spot pirometreleri ve termal görüntüleyiciler dahil) farklı tiplerdeki radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu için uygunluğu araştırılacak ve raporlanacaktır.

#### **Çalışma 5.3: Sertleştirme işleminin ve yüzeyin gerçek kalitesinin malzeme emisivitesi üzerindeki etkisinin araştırılması** (PTB, SMU, REG(FhG))

Sıklıkla kullanılan çalışma parçası malzemelerinin genel olarak tayfsal emisivite hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. 1000 °C yukarıdaki sıcaklıklarda ve 400 nm – 1100 nm dalgaboyu aralığı için, lazerli sertleştirmenin (ve benzeri yüzey işlemlerinin) emisivite üzerindeki etkisi hakkındaki bilgiler daha da azdır. JRP ENG06'nın (yüksek sıcaklıklarda yüzey emisivitesinin laboratuvar ortamında ölçümü) çıktılarına dayanarak çeşitli yüzey koşullarında ve oksidasyon düzeylerinde tipik endüstriyel malzemeler incelenecektir.

## **İP-6. Standart olmayan ısı çiftler için referans fonksiyonların belirlenmesi** (NPL, CEM, CNAM, LNE, SMU)

### **Çalışma tanımı:**

Bu iş paketinin amacı standart olmayan yüksek sıcaklık ısı çiftlerinin metrolojik düzeyde düşük belirsizlikte belirsizlikte referans fonksiyonlarını belirleyecek yeteneği geliştirmektir. Bu özelleşmiş endüstrilerde faydalı olacaktır.

Referans fonksiyonların ölçüm topluluğu tarafından kabul edilmesi için ölçümler birden fazla enstitü tarafından ve tercihen birden fazla yöntemle gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle bu iş paketinde çok sayıda yetenekler ve yöntemler geliştirilecek, bu amaçla Yüksek Sıcaklık Sabit Noktalar (YSSN) gibi yeni yaklaşımlar yanı sıra radyasyon sıcaklığından izlenebilirlik almak gibi klasik yöntemler de kullanılacaktır.

### **Çalışma 6.1: Gereken YSSN'lerin yapımı ve ölçümü (NPL, CNAM, LNE)**

Bu çalışmada yüksek sıcaklık ısı çifti ölçümleri için dört robust YSSN tasarımı, yapımı ve testlerini içerir. Belirlenen YSSNlar (bir Pt-C (1738 °C), bir Cr3C2-C (1826 °C) ve iki Ru-C (1953 °C)) üzerinde ısı çiftleriyle şu ana kadar çok az ölçüm gerçekleştirilmiştir, bu nedenle bu sabit noktalar, yüksek sıcaklık ısı çiftlerinin referans fonksiyonlarının belirlenmesi ve kalibrasyonunda büyük yenilikler getirecektir.

### **Çalışma 6.2: Bazı standart dışı ısı çiftlerinin referans fonksiyonun belirlenmesi (NPL, CEM, CNAM, LNE, SMU)**

Bu çalışma kapsamında üretilecek yüksek sıcaklık ısı çiftleri her bir kurumda değerlendirilecek ve bir referans fonksiyon verilecektir. Homojenlik ve kayma gibi bazı ilave bilgiler de birleştirilerek raporlanacaktır. Bu sayede 2000 °C yukarısında standart olmayan yüksek sıcaklık ısı çiftlerinin referans fonksiyonlarının belirlenmesi için tutarlı bir yöntem ve düzenekler geliştirilecektir.

### **Çalışma 6.3: Referans fonksiyonun kararlılığının belirlenmesi (NPL, CEM, CNAM, LNE, SMU)**

Bu çalışmada JRP ortakları tarafından taslak referans fonksiyonun güvenilirliği, referans fonksiyonun kalitesi ve referans fonksiyon belirlenmesinin kalitesi incelenecektir.

## **5.REFERANSLAR**

- [1] H. Preston-Thomas, "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)", *Metrologia*, vol.27,pp.3-10, 1990
- [2] M. Astrua, M. Battuello and F Girard, Facility for the calibration of Pt/Pd thermocouples in the temperature range from 960 °C to 1500 °C" *Meas. Sci. Technol.* 17, pp. 2186–2190, 2006
- [3] F. Edler and A.C. Baratto, A cobalt-carbon fixed point for the calibration of contact thermometers at temperature above 1100 °C, *Metrologia*, 2005, 42:201-207
- [4] Daniel D. Pollock, "Thermocouples Theory and Properties", *CRC press*, pp 137-139

## ÖZGEÇMİŞ

### Dr. Ahmet DİRİL

Bilkent Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1998 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü'nde 2002 yılında tamamlamış, aynı bölümden 2010 yılında doktora derecesini almıştır.

1998-1999 yılları arasında Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde asistanlık yapmış 1999 yılında TÜBİTAK UME Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda göreve başlamıştır. Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Radyasyon Sıcaklığı Ölçeğinin ITS-90 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği'ne uygun olarak oluşturulması kapsamındaki referans düzeydeki tüm ölçümlerin gerçekleştirilmesi, radyasyon sıcaklığı ölçümleri, tayfsal tepki ölçümleri, doğrusallık ölçümleri, kaynak büyüklüğü etkisi ölçümleri, sabit nokta ölçümleri, radyasyon termometresi kalibrasyonu, belirsizlik hesaplamaları, termal kameraların sıcaklık kalibrasyonları, siyah cisim kalibrasyonları, yüksek sıcaklık ötetik sabit nokta yapımı ve ısı çift ölçümlerine uygun ötetik sabit nokta yapımı konularında çalışmalar yapmaktadır. Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nın uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen uluslar arası karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katılmıştır. Radyasyon sıcaklığı laboratuvarının çalışma alanlarında endüstrinin ihtiyaç duyduğu eğitim ve danışmanlık hizmetleri vermiştir.

### Narcisa ARİFOVİÇ

Çukurova Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1997 yılında mezun olmuştur. 2002 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde "Platin Paladyum Isılçiftlerde Tavlama Sıcaklığının Isılçiftin Safsızlık Ve Homojenliğine Etkisini Araştırılarak Referans Fonksiyon Teklifi" adlı tez çalışması ile Yüksek Fizikçi ünvanını almıştır. 1997 yılı itibarıyla TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Sıcaklık Standartları Laboratuvarında Kontak sıcaklık ölçüm sistemleri ve ölçümlerde kullanılan cihazlar üzerine çalışmaktadır. Her türlü sıcaklık ölçüm cihazları: referans standart ve endüstriyel platin direnç termometreleri, referans ısı çift (R,S,Platin / Paladyum, Altın / Platin tipi) ve nikel-bazlı endüstriyel ısı çiftler (K,J,T,E,N tipi), sayısal göstergeli termometreler, sıvı cam termometreleri ve termistörleri ve sıcaklık kaynak (sıvı banyolar, kabinleri, kuru fırınları, etüv) karakterizasyon, kalibrasyon, elektriksel ölçüm düzeneği ve belirsizlik hesaplamaları konularında çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca bu konularda Uluslararası ve Ulusal Sıcaklık Eğitimleri vermektedir.

Birincil seviye sıcaklık ölçümlerinde kullanılmak üzere sıcaklık sabit nokta hücre tasarımı, yapımı, geliştirilmesi, karakterizasyonu ve belirsizlik hesaplamaları ve Referans ısı çift (R,S,Platin / Paladyum, Altın / Platin tipi) tasarımı, yapımı, geliştirilmesi, eğitim verilmesi, karakterizasyonu ve belirsizlik hesaplamaları konularında çalışmalar yapmaktadır. BIPM anahtar karşılaştırma veritabanı (KCDB) Ek C yayımlanmış olan Sıcaklık Laboratuvarı kalibrasyon ve ölçüm yetenekleri (CMC) hazırlanmaktadır. İzlenebilir Yüksek Sıcaklık Isılçift Ölçüm Sisteminin kurulması konusunda çalışmalar yapmaktadır. Bu konularda uluslar arası projelerde de katılmaktadır.

Isılçift Laboratuvarlarıarası karşılaştırmaların TS/EN ISO 17025 ve ISO 17043 Standardlarına uygun olarak düzenlenmesi, denetlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda çalışmaktadır.

### Dr. Özlem PEHLİVAN

Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1998 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 2001 yılında "Vakumda Büyütülmüş InSe İnce Filmlerin ve Schottky Diyotların Karakterizasyonu" konu başlıklı tez çalışması ile, doktora öğrenimini Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 2013 yılında "a-Si:H/c-Si Heteroeklem Güneş Pillerinde Katkısız Hidrojenlendirilmiş Amorf Silisyum İnce Filmlerin Büyütülmesi Ve Morfolojik Karakterizasyonu" konu başlıklı tez çalışması ile tamamlamıştır.

1998-2002 yılları arasında Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Grubu'nda Araştırma görevlisi olarak çalışmış, fizik laboratuvarının kurulması ve deneylerin yaptırılmasında görev almıştır. 2002 yılında TÜBİTAK UME, Sıcaklık Grubu Laboratuvarı'nda Radyasyon Sıcaklığı alanında göreve başlamıştır. Radyasyon Sıcaklığı Ölçeğinin ITS-90 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği'ne uygun olarak oluşturulması kapsamındaki referans düzeydeki tüm ölçümlerin gerçekleştirilmesi için Tayfsal tepki ölçümleri; Doğrusallık ölçümleri; Hedef çapı etkisi ölçümleri; Sabit nokta ölçümleri ve Belirsizlik

hesaplamaları konularında görev almaktadır. İkinci seviye Radyasyon termometre kalibrasyonu; Termal kamera sıcaklık kalibrasyonları; Siyah cisim kalibrasyonları; Sabit nokta ve ötetik nokta hücresi yapımı konularında çalışmakta olup aynı zamanda bu ölçümler için, ölçme sistemlerinin kurulması, karakterize edilmesi ve belirsizlik hesaplamalarının yapılması konusunda çalışmalar yapmaktadır. Radyasyon sıcaklık ölçüğünün uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalarda TÜBİTAK UME adına görev almıştır. Radyasyon sıcaklığı laboratuvarının çalışma alanlarında endüstrinin ihtiyaç duyduğu eğitim ve danışmanlık hizmetleri vermiştir.