

# TÜBİTAK UME'DE (SÜPER) YALITIM MALZEMELERİNİN TERMAL İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ

**Mücahit KORKMAZ**  
**Semih YURTSEVEN**  
**Hümbet NASİBLİ**

## ÖZET

Günümüzde, bilim insanları arasında, geçen son on yılda Dünya'nın atmosferinin (ve okyanusların) ısınmasının temelinde fosil yakıtların yakılması ve ormanların tahrip edilmesinin büyük rol oynadığı insan faaliyetlerinden kaynaklandığına dair yaygın bir mutabakat vardır [1]. Çok sayıda çalışma, konut ve ticari binaların enerji tüketiminin toplam karbon salınımının önemli bir kısmını oluşturduğunu göstermektedir [2-3]. Şu anda, bu fikir birliğine dayanarak, ülkemiz de dahil olmak üzere birçok gelişmiş ülke, yenilenebilir enerji teknolojilerine ve atmosfere sera gazı salınımlarının en aza indirilmesine yönelik araştırmalara güçlü şekilde teşvik sağlamıştır. Enerji tasarruflu termal dirençli yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi ve tanıtılması, yerleşim alanlarında enerji verimliliğini artırmak için kilit önlemlerden biridir. Öte yandan, günümüzde neredeyse sıfır enerji bina konsepti çerçevesinde, geleneksel insan yapımı veya doğal yalıtım malzemeleriyle birlikte, süper yalıtım malzemeleri (SYM), aerogeller gibi, vakum yalıtım panelleri, gaz dolu paneller, faz değişimi malzemeleri vb. inşaat sektörüne yoğun bir şekilde yayılmaktadır. Bu bağlamda, yalıtım ve SYM materyallerinin doğru ve izlenebilir ölçümleri akredite olmuş laboratuvar ve birçok Ulusal Metroloji Enstitüsü için sıcak bir konudur.

Bu makalenin, UME'deki yalıtım ve SYM ısı iletkenlik ölçümleri alanındaki son etkinliklerini vurgulaması amaçlanmıştır. Halen, yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik ölçümleri, ASTM C177 ve ISO 8032: 1991 standartlarına uygun mutlak bir ölçüm metodu ile yapılmaktadır. Bu amaçla, tek numune muhafazalı sıcak plaka yöntemine dayalı cihaz kullanılır. Sistem, ısı iletkenlik ölçümlerinin oda sıcaklığından 250 °C'ye kadar 0,0015 W/m<sup>2</sup>\*K ile 0,35 W/m<sup>2</sup>\*K aralığında yapılmasına izin verir.

Ayrıca, bu çalışmada iki farklı referans malzemesinin kurum içi termal iletkenlik ölçümlerinin sonuçlarını aktarıyoruz. İlk referans malzemenin ısı iletkenliği 80 °C'nin altında ölçülmüş ve bu referans malzeme için NIST sertifikasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İkinci malzeme, 60 °C ile 250 °C sıcaklık aralığında ölçülmüştür. Son olarak, makale UME'deki yalıtım ve SYM malzemelerinin izlenebilir ölçümlerinin gelecek planları ile sona ermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Muhafazalı sıcak plaka yöntemi, Yalıtım malzemeleri, Süper yalıtım malzemeleri, Isıl iletkenlik.

## ABSTRACT

In our days, there is a common agreement among the scientist that warming of the Earth's atmosphere (and oceans) over the past few decades is primarily caused by human activities, where the burning of fossil fuels and deforestation play major roles [1]. A huge number of works demonstrate that energy consumptions of residential and commercial buildings accounts for a significant portion of the total carbon emissions [2-3]. Currently, based on this consensus many developed countries including the Turkish government have been introduced a strong stimulation of research into renewable energy technologies and minimization greenhouse gas emission into the atmosphere. Development and introduction of energy-efficient thermal resistance insulation materials are one of key measures for improving the energy efficiency of built environments. On the other hand, nowadays,

in the frame of the nearly zero energy building concept, along with the traditional man-made or natural insulation materials, super insulation materials (SIM) such as aerogels, vacuum insulation panels, gas filled panels, phase change materials etc. have been extensively penetrating to the building sector. In this regard, accurate and traceable measurements of the insulating and SIM materials are the hot subject for many NMIs and accredited laboratories.

This paper is intended to highlight the recent activities at UME in the field of the thermal conductivity measurements of insulating and SIM materials. Currently, the thermal conductivity measurements of insulating materials are performed by means of an absolute measurement method in accordance with the ASTM C177 and ISO 8032:1991 standards. For this purpose a single specimen guarded hot plate method based apparatus is employed. The system allows performing the thermal conductivity measurements in the range from 0.0015W/m\*K to 0.35W/m\*K from the room temperature up to 250°C. Besides, in this work we communicate the results of the in house thermal conductivity measurements of two different reference materials. The thermal conductivity of the first material was measured below 80 °C and compared with the results obtained from the NIST certificate for this material. The second material is characterized in the temperature range from 60°C to 250 °C. Finally, the paper concludes with the future plans in the traceable measurements of the insulating and SIM materials at UME.

**Key Words:** Guarded hot plate method, Insulation materials, Thermal conductivity, Super insulation materials.

## 1. GİRİŞ

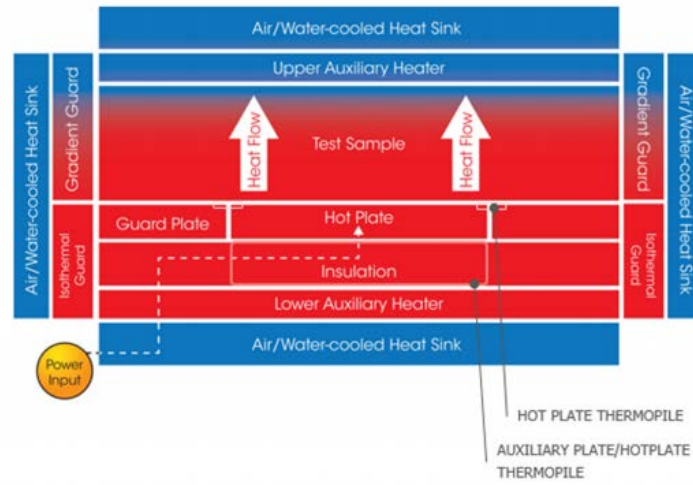
Çeşitli alanlarda enerjinin korunması için yalıtım malzemelerinin kullanımı en efektif yöntem olarak bilinmektedir. Bu amaçla oldukça çeşitli yalıtım malzeme türleri geliştirilmiştir ve günümüzde de yaygın olarak geliştirilmektedir. Bu malzemeler ısı ışınımı, ısı iletimi ve ısı taşınımı yolu ile ısı akışının azaltılmasında kullanılmaktadırlar. Son yıllarda her üç ısı akışını önleyebilen yalıtım malzemeleri özellikle de süper yalıtım malzemeleri üreilmeye başlanmıştır. Bunların arasında aerojeller vakum yalıtım panelleri ve çeşitli kompozit çok fonksiyonel katmanlı materyaller yer almaktadır. Bu tür malzemelerin en önemli özelliği efektif ısı iletkenlikleridir. Bu ısı iletkenliğinin belirlenmesi için çeşitli ölçüm metotları mevcuttur. Bu iki metot, sürekli hal (steady-state method) ve sürekli olmayan hal (non-steady-state or transient method) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. İkinci metotta ölçümler numunenin ısıtıldığı ısıtılma zamanında gerçekleştirilir ve çok hızlı sonuç elde edilmesini sağlar. Birinci metot ise numune ısıtıldıktan sonra tüm sistemin ısıl dengeye gelmesini talep etmektedir. Denge halinde numune ve tüm ölçüm alanının her bir noktasında zamana karşı sıcaklık değişmemektedir. Sıcaklığın dengeye gelmesi uzun zaman almaktadır. Bu da bu metoden en büyük dezavantajlarından birisidir. Fakat sürekli hal metodu mutlak ölçüm metodu olduğundan süper yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerini ölçmek için ulusal metroloji enstitülerinde en yaygın kullanılan metot haline gelmiştir. Muhafazalı Sıcak Plaka (MSP) yani İngilizce adıyla Guarded Hot Plate (GHP) metodu daha komplike ölçüm sistemine dayalı olmasına rağmen termal iletkenliği 0.02 W/m\*K'nin altında olan süper yalıtım malzemelerini termal iletkenliğinin ölçümünde kullanılabilen en hassas ölçüm metodu olarak bilinir. Bu çalışmada TÜBİTAK UME'de, MSP metodu ile çalışan sistemde referans ölçüm sonuçları yer almaktadır.

## 2. MUHAFAZALI SICAK PLAKA ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Isı akışını önlemek için kullanılan (süper) yalıtım malzemenin en karakteristik özelliği, birimi [W/mK] olan ve o malzemenin ısıyı iletme özelliğini tanımlayan ısıl iletkenliğidir. Muhafazalı Sıcak Plaka ölçüm yöntemi oldukça düşük değerli ısıl iletkenliğe sahip malzemelerin iletkenlik karakterizasyonunda kullanılan tek mutlak metottur. Özellikle, cam, seramik, polimer ve yalıtkan malzemeler gibi metal olmayan malzemelerin transfer özelliklerini belirlemek için kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu

metot doğru kullandığında ışınım, iletim (katı ve gaz fazı) ve taşınım yoluyla ısı transferini göz önünde bulundurarak yüksek doğrulukla ölçümler gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır.

MSP metodunda sadece nesnenin kalınlığına, ölçümlerin gerçekleştirildiği sıcaklıklara ve numuneye uygulanan elektrik güç ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde MSP ile çalışan sistemler elektrikli ısıtıcı, düz metal yüzey plakaları ve sıcaklık ölçüm bölümünde oluşan cihaz konfigürasyonuna sahiptirler. Tek veya çift numune kompartımanına sahip olmalarına göre iki farklı yaklaşımla MSP ölçüm cihazları yaygınlaşmaktadır. Çift kompartıman sistemler, ölçüm için iki adet aynı numune hazırlanmasını talep etmektedir. Bunun karşılığı ise tek ölçümde yerçekiminden kaynaklanan düzeltmelerin ölçüm sonuçlarına otomatik olarak eklenebilmesidir. Tek numunelik sistemde ise aynı numune gerektiğinde iki defa farklı yönlerden ölçülmektedir. Bu sistemde numune, Şekil 1'de görüldüğü üzere, ısıtma ünitesi ile yalıtımlı koruma plakaları arasına yerleştirilerek ölçümler yapılmaktadır. Sistem ayrıca numunenin kalınlığını otomatik olarak belirleme yeteneğine de sahiptir.



**Şekil 1.** Tek numune muhafazalı sıcak plaka cihazı.

Kararlı durumda, ölçüm alanındaki termal denge kurulduğunda, ısı akış hızı eşitlik (1) ile hesaplanır.

$$\theta = U * I \quad (W) \quad (1)$$

Burada (U, V) ve (I, A) sırasıyla voltaj ve akımdır. Numunenin termal direncini temsil eden R, ısı akış hızı  $\theta[W]$ , ölçüm alanı  $A[m^2]$  ve plakaların içindeki ısı çiftleriyle ölçülen sıcaklık farkı ( $\Delta t$ , K) bilgileriyle hesaplanır.

$$\Delta t = t_{sıcak} - t_{soğuk} \quad (K) \quad (2)$$

Daha sonra, numunenin ortalama termal iletkenliği, termal dirençten hesaplanır:

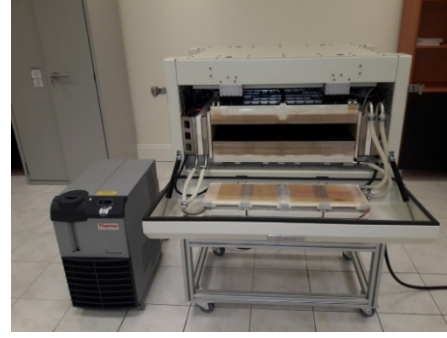
$$\lambda = \frac{L}{R} = \frac{\theta * L}{(t_{sıcak} - t_{soğuk}) A_m} \quad (W/mK) \quad (3)$$

### 3. FOX600 GHP SİSTEMİ

TÜBİTAK UME'deki sistem tek numunelik kompartımanına sahip FOX600 GHP cihazıdır (Şekil 2.).



(a)



(b)

Şekil 2. (a) ve (b) FOX 600 GHP'nin görüntüleri

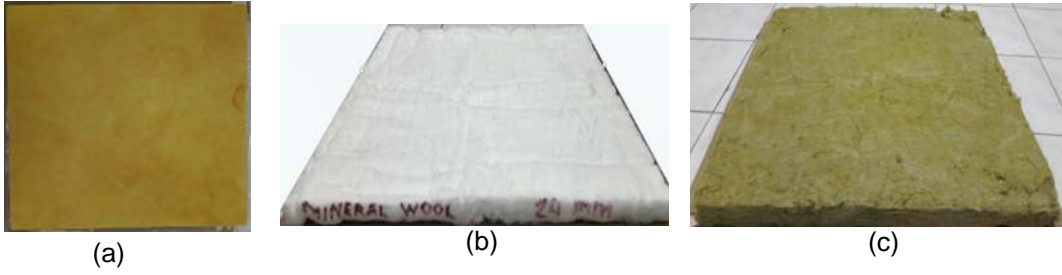
Aşağıdaki tabloda FOX 600 GHP sistemine ait özellikler verilmiştir.

**Tablo 1.** FOX600 Muhafazalı Sıcak Plaka cihazı özellikleri

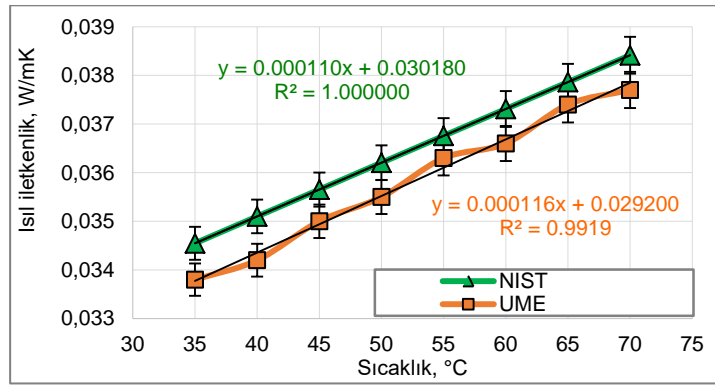
Tanım	Özellikler
Sıcaklık aralığı	Ortam sıcaklığından 250 °C kadar
Termal iletkenlik aralığı	0.0015 W/mK – 0.35 W/mK
İletkenlik	12 W/m <sup>2</sup> .°C üzerinde
Kalınlık çözünürlüğü	0.025 mm
Numune genişliği	610 mm <sup>2</sup>
Numune kalınlığı	0-75 mm
Test yapılandırması	Tek numune
Sıcaklık kararlılığı	± 0.02 °C
Mutlak doğruluk	%1'den iyi
Tekrar üretilebilirlik	± %0.5
Tekrarlanabilirlik	± %0.2

### 4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

MSP cihazı ile oda sıcaklığından 240 °C sıcaklığa kadar bir dizi ısı iletkenlik ölçümleri yapıldı. MSP sisteminin ölçüm aralığı, düşük sıcaklık( oda sıcaklığı ile +80 °C ) ve yüksek sıcaklık( +80 °C ile +240 °C ) olmak üzere iki farklı opsiyondan oluşmaktadır. Sistemi düşük sıcaklık aralığının doğrulamak için izlenebilirliği NIST'e olan cam elyaf ("SRM1450d") kullanıldı. Bu elyafın (Şekil 3 (a)) hacimsel yoğunluğu  $117 \pm \%1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ve kalınlığı 25 mm'dir. Isıl iletkenlik değeri  $\lambda = (1,10489 \cdot 10^{-4}) \cdot T \pm \%1,0$  (k=2) W/m\*K olarak ölçülmüş ve sertifikalandırılmıştır.

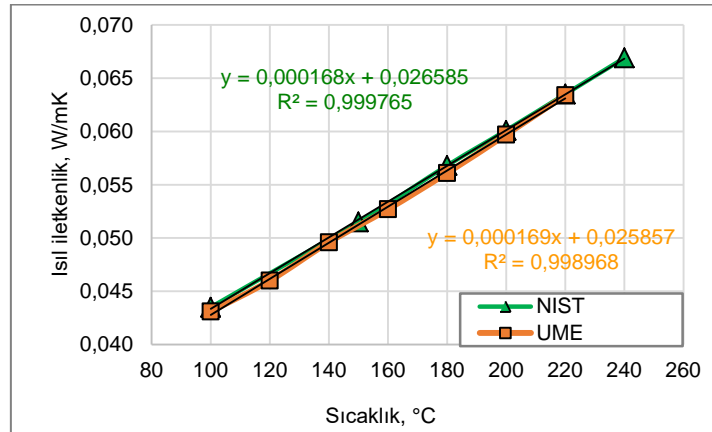


**Şekil 3.** Yalıtım malzemelerinin görüntüleri (a) Fiber cam elyaf SRM1450d, (b) Mineral Yün ve (c) Taş yünü.



**Şekil 4.** SRM1450d ölçümleri.

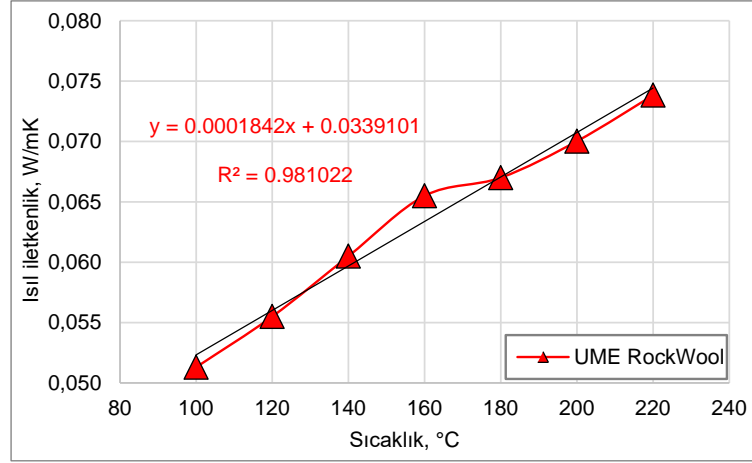
Sistemin yüksek sıcaklık aralığını doğrulamak için izlenebilirliği NIST'e olan mineral yün (minwool05272018) kullanıldı. Bu mineral yünün (Şekil 3 (b)) kalınlığı 24 mm'dir. Isıl iletkenlik değeri  $\lambda = (1,68 \cdot 10^{-4}) \cdot T \pm \%1,0$  ( $k=2$ ) W/m\*K olarak ölçülmüş ve sertifikalandırılmıştır.



**Şekil 5.** Mineral yün ölçümleri.

Şekil 5'ten görülebileceği gibi, yüksek sıcaklık aralığında elde edilen UME ve NIST verileri arasında uyum (ölçülen değerlerin arasındaki farkın ölçüm belirsizliğinden düşük olması) vardır.

Sistemde yüksek sıcaklık aralığında değerleri daha önce hiç ölçülmemiş bir numune olan taş yünü (UME RockWool) kullanıldı. Bu mineral yünün (Şekil 3 (c)) kalınlığı 65 mm'dir. Isıl iletkenlik değeri ilk defa  $\lambda = (1,842 \cdot 10^{-4}) \cdot T \pm \%1,0$  ( $k=2$ ) W/m\*K olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. UME RockWool(taş yün) numunesi yüksek sıcaklık ölçümü

## SONUÇ

Bu çalışmada, TÜBİTAK-UME'de Termofizik laboratuvarında (süper) yalıtım malzemelerin ısı iletkenlik ölçüm sisteminin performansı yer almaktadır. Sistem oda sıcaklığı ile 80 °C ve 80° C ile 240 °C aralıklarında ölçüm kapasitesine sahiptir. Sistemin doğrulanması için izlenebilirliği NIST'e (ABD) olan iki adet farklı referans malzeme kullanılmış ve elde edilen sonuçlar arasındaki farkın ölçüm belirsizliğinin altında olduğu gözlemlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "UME Araştırmalarının Yenilenmesi ve Geliştirilmesi" programı, 2017K120940 proje kapsamında yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Cuce E. and et all, "Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: a comprehensive review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 34, 273-299.
- [2] Alotabi S.S. and Riffat S., "Vacuum insulating panels for sustainable buildings: a review of research and applications," Int. J. of Energy Research, 2014, 38, 1-19.
- [3] Lorenzati A., "Super Insulating Materials for energy efficient buildings: thermal performance and experimental uncertainty," Doctoral dissertation, Politecnico di Torino and INRiM, Torino, 2018.

## ÖZGEÇMİŞ

### Mücahit KORKMAZ

1994 yılı Manisa doğumludur. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Bölümünden 2014 yılında mezun olmuştur. 2017 yılı Ocak ayından itibaren UME Sıcaklık Laboratuvarında teknisyen olarak görev yapmaktadır.

**Semih YURTSEVEN**

1991 yılı Giresun doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Metroloji Programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2018 yılından beri TÜBİTAK-UME' de Sıcaklık Laboratuvarlarında çalışmaktadır.

**Hümbet NASİBLİ**

1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2000 yılında Azerbaycan Bilimler Akademisi, Fotoelektronik Enstitüsünde Deneysel Fizik Teknikleri ve Bilimsel Cihazlar konusu üzerine çalışmış ve PhD. unvanını almıştır. 1992-2001 yılları arasında Fotoelektronik Enstitüsünde Lazer Spektroskopisi bölümünde Optik Mühendisi olarak görev almıştır. 2001-2004 yılları arasında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Uzman Araştırmacı olarak görev almıştır. 2004-2016 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE' de Başuzman Araştırmacı olarak görev almıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Başuzman Araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Uygulamalı Lazer Fiziği, kızılötesi teknolojiler, optik ve termal görüntü işleme, sıcaklık ve optik metrolojisi için cihazlar ve sensörler üzerine çalışmaktadır.