

# ISI AKIŞ ÖLÇER VE GEÇİCİ DÜZLEM KAYNAK TEKNİĞİ İLE KLASİK YALITIM MALZEMELERİNİN ISIL İLETKENLİK KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Murat KORU\*, Ceren KAYA

Geliş Tarihi/ Received: 11.10.2017, Kabul tarihi/Accepted: 21.05.2018

## Özet

Günümüzde evsel ve endüstriyel binaların yalıtımı, enerji tasarrufu, verimlilik, konfor şartları ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından son derece önemlidir. Ülkemizde yıl boyunca değişen iklim şartlarına bağlı bina ısı yüklerinin belirlenmesi ve gerekli ısı yalıtımının yapılması enerjinin etkin kullanımı açısından gereklidir. Bu durum enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmaların yapılmasını sağlamaktadır. Özellikle düşük enerji tüketen yapılar için yoğun araştırma faaliyetleri başlatılmış ve ısı yalıtımı standartlar ile zorunlu hale getirilmiştir. Bina duvar ve çatılarının tasarımında kullanılan ısı direnç (R) değerlerinin hesabı güçlü bir şekilde yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayısına k (W/mK) bağlıdır. Bununla birlikte yalıtım malzemesinin diğer ısı özelliklerinin (ısı yayılımı, özgül ısı) belirlenmesi de son derece gereklidir. Bu çalışmada klasik yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları, iki farklı yöntem ile belirlenmiştir. Öncelikle ISO 8301 standardına uygun ölçüm yapabilen ısı akış ölçer cihazıyla ısı iletkenlikler belirlenmiştir. Daha sonra ise aynı numuneler için geçici düzlem kaynak tekniği kullanılarak ölçümler tekrar edilmiştir. Tüm ölçümler 20°C'de yapılmış ve iki farklı yöntem sonuçları irdelenmiştir. Elde edilen ısı iletkenlik (k), ısı yayılımı ( $\alpha$ ), özgül ısı ( $c_p$ ) ve yoğunluk ( $\rho$ ) değerleri bir sistematik içerisinde sunulmuştur.

Sonuç olarak geçici düzlem kaynak tekniği ile ölçülen değerlerin, ısı akış ölçer yöntemi ile ölçülen değerlerle aynı eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Böylece, geçici düzlem kaynak yönteminde değişken parametrelerinin (ısı güç ve zaman) ısı özelliklere ne yönde etki ettiği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isı Akış Ölçer, Geçici Düzlem Kaynak Tekniği, ısı iletkenlik katsayısı, yalıtım malzemeleri.

## DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF CLASSICAL INSULATION MATERIALS BY HEAT FLOW METER AND TRANSIENT PLANE SOURCE TECHNIQUE

### Abstract

At the present time, insulation of residential and industrial buildings is extremely important in terms of energy saving, efficiency, comfort conditions and reduction of greenhouse gas emissions. Determination of the building thermal loads due to the changing climate conditions throughout the year in our country and necessary thermal insulation is necessary in terms of effective use of energy. This situation makes it possible to work on the efficient use of energy. In particular, intensive research activities have been initiated for low energy buildings and heat insulation has become compulsory with standards. The calculation of the thermal resistance (R) values

\*Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Böl., 32260, Isparta.  
E-posta: muratkoru@sdu.edu.tr

used in the design of building walls and roofs strongly depends on the thermal conductivity coefficient  $k$  (W/mK) of the insulation materials. Besides, it is also extremely necessary to determine the other thermal properties of the insulation material (thermal diffusivity, specific heat). In this study, the thermal properties of classical insulation materials were determined by two different methods. Firstly, the thermal conductivities were determined by means of the Heat Flow Meter which can measure according to the ISO 8301 protocol. The measurements were then repeated for the same samples using the Transient Plane Source technique. All measurements were made at 20 °C and the results of two different methods were examined. The obtained thermal conductivity ( $k$ ), thermal diffusivity ( $\alpha$ ), specific heat ( $c_p$ ) and density ( $\rho$ ) are presented in a systematic way.

The results showed that the values measured by TPS method had the same tendency as the values measured by HFM method. Thus, it has been determined how the variable parameters (thermal power and time) of the TPS method affect the thermal properties.

**Key Words:** Heat Flow Meter, Transient Plane Source, Thermal Conductivity, Insulation Materials.

## 1. Giriş

Son yıllarda dünyada yaşanan ekonomik krizler ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması, enerjinin ekonomik kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Tüm ülkeler ekonomik ve sosyal hayatlarının can damarı olan enerji konusunda yoğun araştırmalar yapmaktadır. Bir taraftan yeni enerji kaynakları üzerine araştırmalar yapılırken diğer taraftan mevcut kaynaklar yüksek verimle kullanılmaya çalışılmaktadır. Bu konuda en yoğun çalışmaların yapıldığı alan ise konut ısıtmasıdır. Yalnız ülkemizde enerji tüketiminin % 40' ı yapılarda konut ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Yıl boyunca değişen iklim şartlarında ısı yalıtımı uygulamak önemli ölçüde bina ısı yüklerini ve sonuç olarak enerji tüketimini azaltmaktadır. Bu durum enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmaların yapılmasını sağlamaktadır. Özellikle düşük enerji tüketen yapılar (Low Energy Building) için yoğun araştırma faaliyetleri başlatılmış ve ısı yalıtımı standartları ile zorunlu hale getirilmiştir. Bina duvar ve çatılarının tasarımında kullanılan ısı direnç ( $R$ ) değerlerinin hesabı güçlü bir şekilde yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayısına  $k$  (W/mk) bağlıdır. Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesi için standart ölçüm metotları, mahfazalı sıcak plaka (GHP), Mahfazalı Sıcak kutu (Hot Box) ısı akış ölçer (HFM) vb. (ISO 8301, ISO 8302, TS EN ISO 8990, TS EN12667, TS EN 12664, ASTM C518) ve geçici düzlem kaynak tekniği (GDK), Sıcak tel metodu gibi pek çok yöntem kullanılmaktadır.  $k$ -değeri malzemenin yoğunluğuna, gözenek yapısına, lif boyutuna nem içeriğine ve sıcaklık farkına bağlıdır (Koru, 2016). Literatürde yalıtım malzemelerinin termal özelliklerini gösteren standart tablolar mevcuttur. Fakat yalıtkan malzemeler dinamik koşullar altında (çoğu pratik uygulamalarda olduğu gibi), zaman gecikmesi ve maksimum geçiş yükleri gibi termal karakteristikleri etkilemede önemli bir rolü vardır.

Literatür incelendiğinde geçici düzlem kaynak (GDK) ve ısı akış ölçer (IAÖ) cihazlarıyla ısı iletkenlik katsayısı ile ilgili önemli çalışmalar yapılmıştır. Choi vd. (2006), bu çalışmada ısı akış yöntemi ile kompozit yalıtım malzemelerinin termal özelliklerini belirlemiş ve kompozit malzemelerin ölçüm sonuçlarının kesinliği ve belirsizliği üzerine nicel değerlendirme yapılmıştır. Abdou vd. (2005), tarafından, 32 yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı, 35 °C ortalama sıcaklık farkı için, ısı akış ölçer yöntemi ile ASTM C518 standardına ve ISO 8301 protokolüne uygun olarak belirlenmiştir. Ölçümler 4-43 °C aralığında 5 farklı (4, 10, 24, 38, 43°C) sıcaklık değerinde ve farklı yoğunluklardaki yalıtım malzemeleri için yapılmıştır. Genellikle, yüksek yoğunluklu yalıtım malzemesi, düşük ısı iletkenlik değerini göstermiş ve

tüm hallerde sıcaklığın artması ile  $k$  değeri artış göstermiştir. Düşük malzeme yoğunluklarında,  $k$  değerlerinin sıcaklıkla değişimi daha belirgin olmuştur. Wakili vd. (2003), tarafından yapılan çalışmada 6 farklı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayıları ve özgül ısı kapasiteleri IAÖ yöntemi ile belirlenmiştir. Child (1992), tarafından yapılan ısı akış ölçer yöntemi ile çatı test sistemi geliştirerek cam elyafın ısı performansı incelenmiştir. Gnip vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada IAÖ yöntemine uygun olarak 0-50 °C sıcaklık aralığında farklı yoğunluk ve kalınlıklara sahip yalıtım malzemesinin  $k$  değeri belirlenmiştir. Sonuç olarak EPS için yoğunluğun artması ile iletkenlik değerinin düştüğü ve bununla birlikte sıcaklığın artması ile iletkenlik değerinin arttığı gözlenmiştir. Lakatos ve Kalmar (2013), tarafından yapılan çalışma, IAÖ yöntemiyle ve farklı yoğunluklardaki geliştirilmiş polistiren straforun (EPS)  $k$  değerlerini belirlemeye yöneliktir. Isıl iletkenlik değerinin artan yoğunluk ile düştüğü tespit edilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısından faydalanılarak ısı yayılım katsayıları da ( $\alpha$ ) hesaplanmıştır. Isıl iletkenlik katsayısı değişimlerinden hareketle yoğunluğa bağlı değişimlerin tahmini için deneysel bir model türetilmiştir. Kalınlığa bağlı incelemelerde ısı iletkenlik katsayılarında önemli bir sapma gözlemlenmemiştir. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları kalınlığa bağlı değildir, fakat  $R$  değerlerini kuvvetli bir şekilde etkilediği belirtilmiştir. Günümüzde, binaların termal yalıtımına mali tasarrufun yanında enerji açısından da ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. Lakatos (2014), tarafından yapılan çalışmada binalar için en çok kullanılan geliştirilmiş polistiren strafor, ekstrüde polistiren strafor ve cam elyaf gibi (EPS, XPS ve CE) 6 farklı malzemeden yapılan yalıtım levhası, termal özellikleri açısından incelenmiştir. Bu amaçla 2 farklı deneysel bina yapısı oluşturulmuş ve 0.01 – 0.3 m kalınlığa kadar yukarıda anılan malzemeler ile yalıtılmıştır. Hesaplamalar için her bir numunenin ısı iletkenlik katsayısı, IAÖ kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç olarak bu malzemelerin ısı transfer katsayıları ( $U$ ,  $W/m^2K$ ), sönümlenme kabiliyeti, enerji tutma kapasiteleri ve ısı difüzyon katsayıları karşılaştırılmıştır.

Saleh (2006), rapor Suudi Arabistan'da yerel üreticiler tarafından üretilen ve yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinin ölçülmüş termal özellikleri ve ölçüm teknikleri hakkında bilgi verilmiş ve ölçümler geçici düzlem kaynak tekniği (GDK) ile yapılmıştır. Bazı yalıtım malzemelerinin oda sıcaklığı seviyesinde ve sıcak iklimlerde, binalarda havalandırmalarda kullanılarak ulaşılabilecek sıcaklık seviyelerinde ısı iletkenliği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı yoğunluk değerlerindeki numuneler için aynı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Genel olarak yüksek yoğunluklu yalıtım malzemelerinin binalarda duvarlara göre çatılarda daha çok kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç ısı iletkenliğinin mevcut araştırmada kullanılan sıcaklık ve yoğunluk aralığında artan sıcaklıkla beraber arttığını ve artan yoğunlukla beraber düştüğünü göstermektedir.

V. Bohac vd. (2000), tarafından yapılan çalışmada hot disk yöntemi (GDK) ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan teorik çalışmalara ek olarak, iki farklı malzeme poli (metilmetakrilat) ve paslanmaz çelik A 310'nun ısı iletkenliği GDK yöntemi ile analiz edilmiştir, değerler sırasıyla 0.2 ve 14  $W/mK$  olarak bulunmuştur. V. Bohac vd. (2005), tarafından yapılan çalışmada, geçici yöntemler (transient method) ile gözenekli yapı malzemelerinin (gazbeton, kalsiyum silikat panolar, selüloz lifleri gibi) termofiziksel özellikleri GDK yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntem ile tek ölçümde üç termal parametre -ısı iletkenlik, ısı yayılım ve özgül ısı- belirlenebilmektedir. Dixon (2000), çeşitli dolgu malzemeleri ile çok sayıda silikon malzeme elektronik ortamlarda değerlendirilmiştir. Bu malzemeler otomotiv elektroniği, genel elektronik ve çip ölçekli paketlemede kullanılanların tipik bir kesitini temsil etmektedir.

Çalışmada GDK yöntem ve tekniklerini uygulayarak silikon malzemenin ısı analizi yapılmıştır. Sonuçlar GDK tekniğinin yeni geliştirilen elektronik ambalaj ve bağlantı malzemelerinin hem makro hem de mikro elektronik uygulamaları için hızlı, tahribatsız bir yöntem olduğunu doğrulamaktadır. Johansson vd. (2011), geçici düzlem kaynak (GDK) tekniği kullanılarak vakum izolasyon panellerinin (VIP) ısı özellikleri belirlenmiştir. Metodun VIP ölçmek ve araştırmak için uygun olup olmadığını, kaydedilen sıcaklık artışıyla GDK sensörü tarafından sağlanan ısı akışı ile sayısal analizi yapılmıştır. Johansson vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada GDK yöntemi kullanılarak ölçülen alüminyum film ve polistiren malzemelerin sayısal simülasyon sonuçları analitik olarak karşılaştırılmıştır. Kurulum sayısını arttırmak için VIP yerine polistiren ve alüminyum kullanılmıştır. Sayısal simülasyon modeli polistiren numunesi için analitik sonuçları sıcaklık artışına bağlı olarak doğrulanmıştır. 40 s sonra polistiren numunesinde simüle edilen sıcaklık artışı, GDK ölçümlerinden %7.8 daha yüksek çıkmıştır alüminyum filmlili polistiren için sapma %5.7 olmuştur. GDK sensörünün kablolarındaki kayıplar, malzeme parametreleri ve yüzey maddeleri ile ilgili belirsizlikler sapmaları açıklamıştır. Almanza vd. (2003), çapraz bağlı, kapalı hücreli polietilen köpüklerden oluşan bir koleksiyonun sabit basınçtaki termal iletkenliği, geçici düzlem kaynak tekniği ile oda sıcaklığında ölçülmüştür. Deney sonuçları standart olarak belirlenen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, GDK yöntemi ile ölçülen değerlerin, bir ısı-akış sayacı ile ölçülen değerlerle aynı eğilimi izlediğini göstermiştir. Bu nedenle, GDK tekniği ile köpüklerde hücre büyüklüğü, siyah karbon içeriği, yoğunluk gibi yapısal özelliklerin ısı iletkenlik üzerindeki etkisini gözlemlemek mümkün olmuştur. Bununla birlikte, GDK tekniği ile elde edilen değerler standart verilerden yaklaşık %20 daha yüksek çıkmıştır. Bu varyasyonların olası sebepleri tartışılmıştır.

Bouguerra vd. (2001), ahşap kompozit malzemelerin ısı iletkenlik, ısı yayılım katsayısı ve özgül ısı değerlerinin değerlendirilmesine ilişkin hem deneysel hem de kuramsal çalışmaları sunmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın amacı, geçici düzlem kaynak tekniğini (GDK) altında izotropik malzemelerin ve çok gözenekli malzemelerin ölçümüne uygunluğunu göstermektir. Rodríguez-Pérez vd. (2008), tamamı toz metalürji yöntemi ile üretilmiş gözeneklilikleri 0,5 ila 0,8 olan AlSi7 köpüklerinin ısı iletkenliği, geçici düzlem kaynak tekniği (GDK) kullanılarak belirlenmiştir. Köpük bloklarının farklı yüzeyleri üzerinde çeşitli ölçümler yapılmıştır. Elde edilen değerler, etkin ısı iletkenliğinde yoğunluk artışı ve deneylerin yapıldığı köpüğün yüzeyi ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bilgisayarlı tomografiden çıkan görüntülerdeki lokal yoğunluk aralığı, GDK tekniğinin köpürme işleminden türetilen homojenliklere duyarlı olduğunu göstermiştir. Son olarak, ısı iletkenlik için çeşitli teorik modeller, bu tür malzemeler için uygun basitleştirmeler yapıldıktan sonra deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Literatür incelemelerinden anlaşılacağı üzere, farklı yapılarıdaki malzemelerin ısı akış ölçer yöntemi ile farklı sıcaklıkta ve yoğunluklarda ölçüm sonuçları standart verilerle kıyaslanmış ve sonuçların uygun olduğu gözlemlenmiştir. Geçici düzlem kaynak tekniği ile farklı yapılarıdaki malzemeler için yapılan çalışmalarda standart verilere göre nispeten bazı sapmalar gözlemlenmiştir. Bu durumun GDK sensörünün kablolarındaki kayıplar ve numune yüzeyinin belirsizliğinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

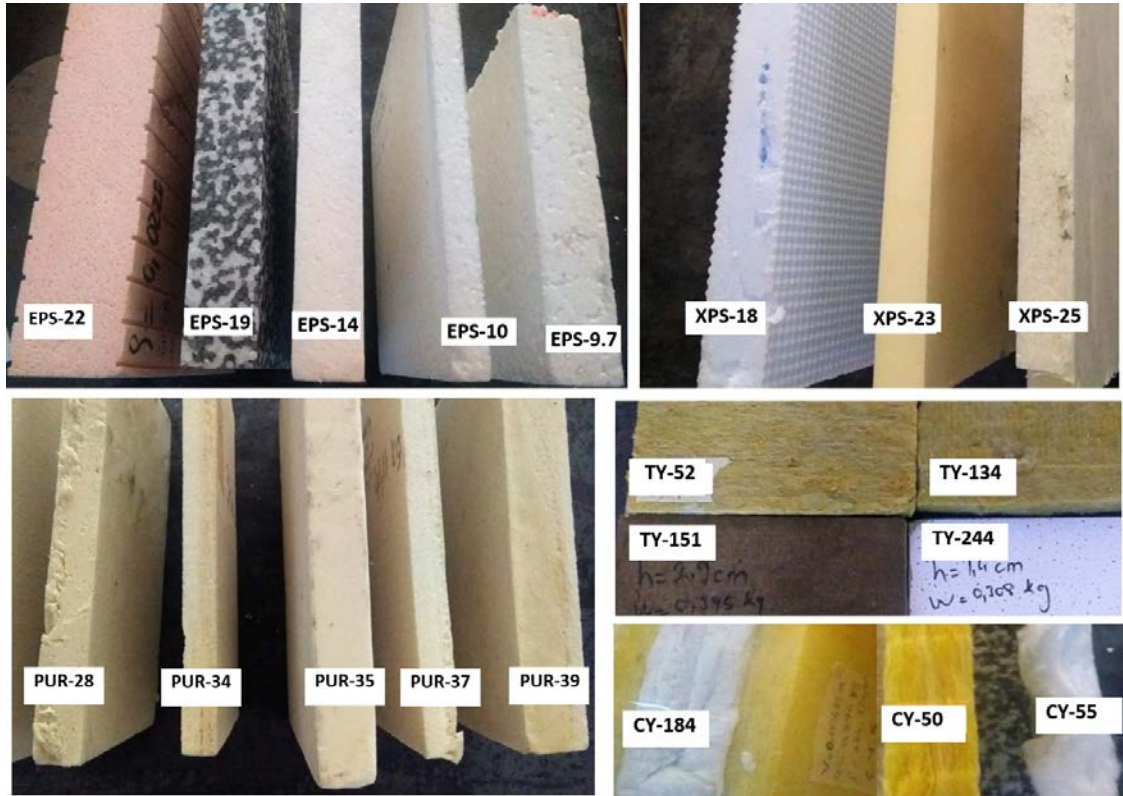
Bu çalışmada; geçici düzlem kaynak tekniği ile klasik yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu yöntem ile ısı iletkenlik katsayıları %1.65 doğrulukla belirlenebilmektedir. Yöntemin hassasiyetini arttırmak ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırabilmek için ölçümler IAÖ yöntemi ile de yapılmıştır. Ölçümler önce IAÖ yöntemi

ile kararlı hal için uzun süreli olarak yapılmıştır. Bu sonuçlarda dikkate alınarak çok kısa süreli ölçme imkânı sunan GDK yöntemi ile de tüm ölçümler tekrar edilmiştir. GDK yöntemi ile ölçüm yapılırken cihazın yazılımı üzerinden ısı gücü ve ölçüm süresi ayarlanmıştır. Ölçümler esnasında çevre şartlarının kararlı olmasına dikkat edilmiştir. Ölçümler 20 °C sıcaklıktaki farklı yoğunluk değerlerine sahip yalıtım malzemeleri (Taş yünü, camyünü, cam elyaf, EPS, XPS ve poliüretan) için tekrar edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzemeler

Bu çalışmada hem kapalı hem de açık hücreli yalıtım malzemelerinin 20 °C sıcaklıkta ilk olarak IAÖ cihazıyla ısı iletkenliği belirlenmiştir. Daha sonra GDK yöntemi ile yapılan ölçümlerdeki sapmaları minimuma indirmek için belirlenen “ısı gücü ve zaman” parametreleri için ısı iletim katsayı değerleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler literatür çalışmaları dikkate alınarak ulusal üreticilerden farklı tip, kalınlık ve yoğunluklarda 300x 300 mm standart boyutlarında temin edilmiştir (Şekil-1).



Temin edilen 21 farklı numunelerin (Şekil-1) her biri için belirlenen parametrelerde IAÖ cihazında ve GDK cihazında ısı iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toplam 84 deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan açık ve kapalı hücreli malzemelerin teknik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Açık hücreli yalıtım malzemelerinin özellikleri

Malzeme Özellikleri	TY-Taş yünü	CY-Camyünü	CE-Cam Elyaf
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	50-250	50	55
Yangın Direnci	Mükemmel	İyi	İyi
Buhar difüzyon direnci	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Mak. Çal. Sıcaklığı (°C)	-240~800°C	-50 / +250°C	-4~350°C
Durabilite	R-değeri sıkıştırma ve nem ile azalır		
Ses Yutma Yeteneği (%)	Yüksek	Yüksek	Yüksek
R-değ. Bağlı maliyet	Az	Az	Az
Tipik uygulama alanları	Duvarlar, çatılar ve zeminlerde yangına kararlı direnç istenilen alanlar		

**Tablo 1.** Kapalı hücreli yalıtım malzemelerinin özellikleri

Malzeme özellikleri	Genleştirilmiş Polistiren (EPS)	Ekstrude Polistiren (XPS)	Poliüretan PUR
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	10-22	18-25	28-39
Yangın Direnci	Yetersiz	Yetersiz	Yeteriz
Buhar difüzyon direnci	Değişebilir	Yüksek	Yüksek
Mak. Çal. Sıcaklığı (°C)	80°C~100°C	-60~+75°C	110~ 120 °C
Durabilite	-	HCFC'lerle şişirilmiş olan ürünlerinde R-değeri azalır	-
Ses Yutma Yeteneği (%)	Düşük	Düşük	Düşük
R-değ. Bağlı maliyet	Az	Az	Az
Tipik uygulama alanları	Duvarların iç-dış kısımları, çatılarda	Duvarların iç yalıtımı	Duvar ve çatılarda

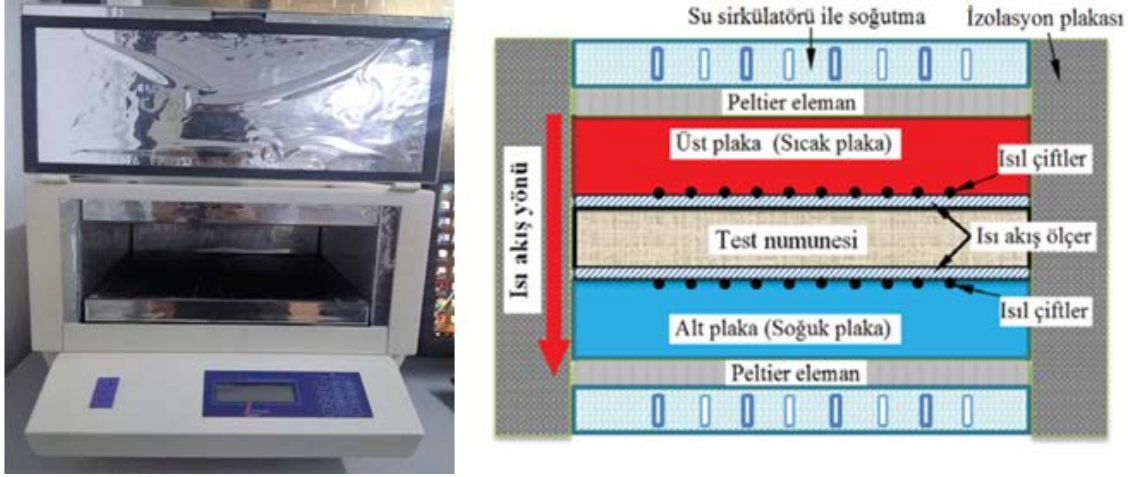
## 2.2. Ölçüm Yöntemleri

Yoğunluk ve sıcaklığa bağlı ısıl iletkenlik katsayıları ASTM C518, EN 12664, EN 12667 ve ISO 8301'de belirtilen şartlara uygun olarak ölçüm yapan Lasercomp marka IAÖ Fox-314, model heat flow meter (ısı akış ölçer) ve Hot Disk TPS 500 modeli ile gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1. Isı akış ölçer yöntemi (IAÖ)

Şekil 2'de IAÖ cihazı ve cihazın çalışma prensibi gösterilmiştir. Isı Akış Ölçüm Cihazları, bir bilgisayar yardımıyla ısıl iletkenlik katsayısının, deney parametrelerini ayarlamak, gerçek zamanlı test sonuçlarını görüntülemek, verileri depolamak ve analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. IAÖ cihazı ile ölçüm yapılırken, 300x300 mm boyutundaki numune farklı sıcaklıklara sahip iki plaka arasına yerleştirilir. Bu plakalar peltier etki ile sabit bir sıcaklık değerinde tutulurlar. Bu esnada cihaz alt ve üst plakalarında bulunan ısı akış ölçer ile ısı akışı

ve ısı çiftleri ile numune sıcaklıkları ölçülür. IAÖ ısıl dengeye ulaştığında ve numune üzerinde üniform sıcaklık gradyanı oluştuğunda ısıl iletkenlik katsayısı belirlenmiş olacaktır.



**Şekil 2.** Isı akış ölçer cihazı ve çalışma prensibi

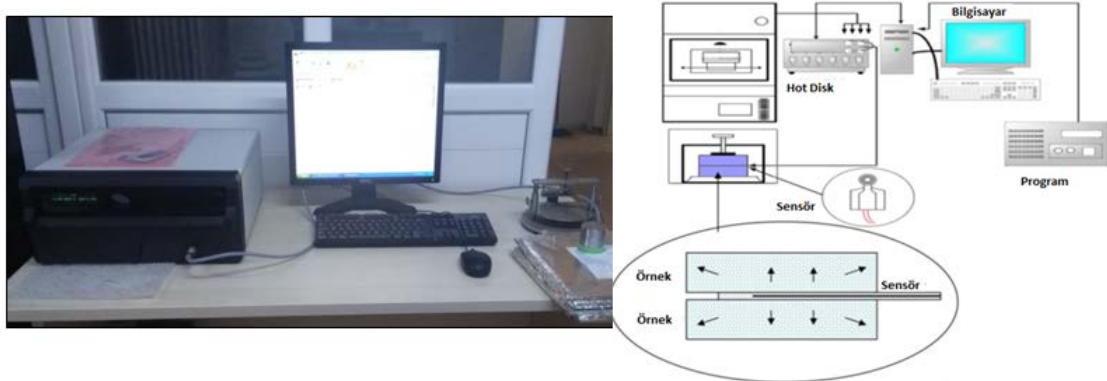
IAÖ cihazı ile ısıl iletkenlik katsayısı Fourier ısıl iletim denklemi kullanılarak belirlenmektedir.

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Bu denklemde,  $q$  ( $W/m^2$ ) ısı akısı,  $k$  ( $W/mK$ ) ısıl iletkenlik katsayısı,  $A$  ( $m^2$ ) alan,  $\Delta T$  (K) sıcaklık farkı,  $\Delta x$  (m) numune kalınlığını ifade etmektedir. IAÖ bu denklemi ve kalibre edilmiş bilgisayar yazılımını kullanarak ölçüm, kayıt, yazdırma işlemini gerçekleştirmektedir.

### 2.2.2. Geçici düzlem kaynak yöntemi (GDK)

Şekil 3’de GDK ölçüm cihazı ve ölçüm sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Geçici düzlem kaynak tekniği ölçüm cihazı (Saleh 2006)



GDK cihazı, numunenin ısı iletim özelliklerini ölçmek için, yani ısı iletkenlik, ısı yayılım ve özgül ısı için tasarlanmış bir sistemdir. GDK sensörü, temel olarak yalıtılmış çift sarmal yapıda nikel kullanılarak yapılmıştır. Görevi hem numuneye güç aktarmak hem de oluşan tepkiyi okumaktır. Spiral metal nikel kullanımı termal iletkenlik ölçümlerini çok hassas bir şekilde ölçmeye yardımcı eder. GDK sensörü test edilecek olan iki numune parçasının arasına yerleştirilir. Böylece yalıtım malzemesi, sensörü mekanik olarak stabil ve dayanıklı hale getirir. Sensöre verilen akım ile numunenin bir bölgesi ısıtılmaya çalışılır. Bu ısıtma işlemi hiçbir zaman numune malzemesinin yanal veya dış yüzeylerine ulaşmadığı varsayılarak zamanla ısı temas derinliği denklem 2 ile tanımlanır.

$$d_p = 2\sqrt{at} \quad (2)$$

Sensörün ortalama sıcaklık tepkisi denklem 3'de verilen şekilde modellenilebilir.

$$\Delta T = A + \left[ \frac{P_0}{\frac{\pi}{4} r^2 k} \right] D(\tau) \quad (3)$$

Burada  $\tau = \sqrt{\frac{t-t_c}{\Theta}}$  boyutsuz zaman,  $\Theta = \frac{r^2}{\alpha}$  deneyin karakteristik zamanı,  $t_c$  belirlenen zaman,  $P_0$  sensördeki güç çıktısı,  $r$  sensör çapı,  $k$  ısı iletkenlik ve  $\alpha$  numune ısı yayılım katsayısıdır. A parametresi ise, analiz işlemi sırasında herhangi bir termal temas etkisinin ortadan kaldırılmasını mümkün kılan bir katsayıdır. Böylece, numune yüzeyi ile temasta olan sensör gerilim düşüşünü belirlenen süre boyunca kaydeder 200 nokta için direnç değerleri alınarak, sıcaklık artışı  $\Delta T$  ile  $D(\tau)$  arasında oluşan eğim bir yazılım vasıtasıyla ısı iletkenlik katsayısı  $k$ 'nın belirlenmişliği sağlanır.

### 3. Araştırma Bulguları

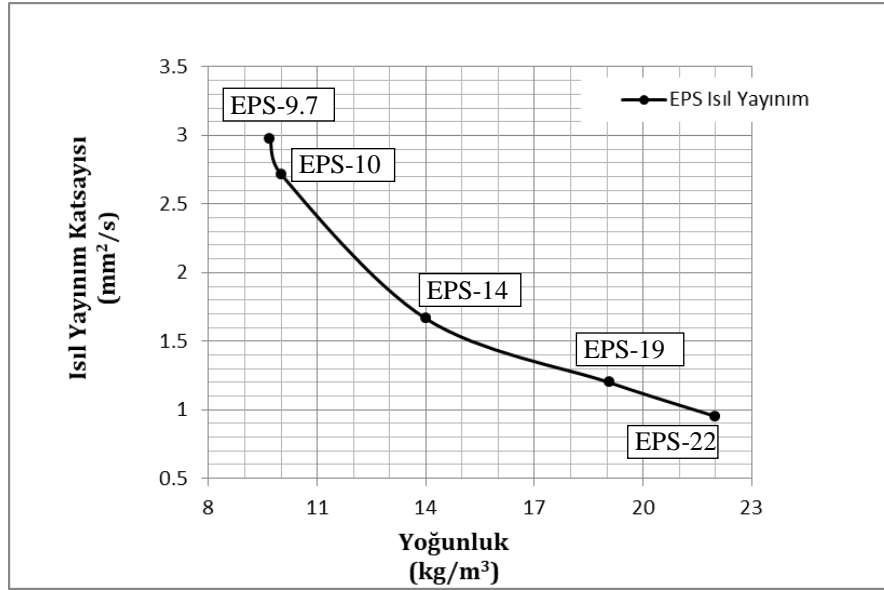
Bina yalıtım malzemelerinin yoğunlukları TS EN 678 standardına uygun olarak öncelikle boyutları 0.01 mm hassasiyetli kumpas ile ölçülmüş, daha sonra kütleleri 0.01 gr hassasiyetteki terazi ile tartılmıştır ve yoğunlukları hesaplanmıştır. Açık ve kapalı hücreli yalıtım malzemelerinin (TY, CY, CE, EPS, XPS, PUR) ısı iletkenlikleri 20 °C sıcaklıkta ilk olarak ısı akış ölçer (IAÖ) daha sonra ise geçici düzlem kaynak (GDK) cihazıyla ölçülmüştür. Numunelerin Tablo 3'te iki ölçüm yöntemi ile ölçülen ısı iletkenlik değerleri, özgül ısıları verilmiştir. Ayrıca IAÖ yöntemi için korelasyon katsayıları verilmiştir.



Tablo 2. Numunelerin IAÖ ve GDK ile hesaplanan ısıl iletkenlikleri, özgül ısıları ve korelasyon katsayıları.

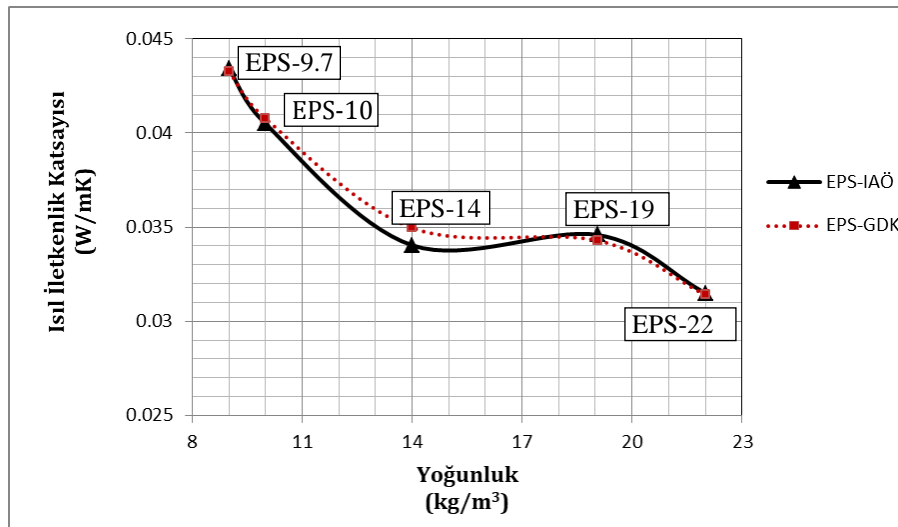
Malzemeler	IAÖ Isıl iletkenlikleri (W/mK)	GDK Isıl iletkenlikleri (W/mK)	Korelasyon katsayısı (R <sup>2</sup> )	Özgül Isı Cp (j/kgK)
EPS-9.7	0.04341	0.04327		1500
EPS-10	0.04049	0.04076		1500
EPS-14	0.03404	0.03496	0.9951	1500
EPS-19	0.03459	0.03429		1500
EPS-22	0.03149	0.0314		1500
XPS-18	0.03593	0.03678		1200
XPS-23	0.02901	0.02941	0.9884	1200
XPS-25	0.02789	0.02646		1200
PUR-28	0.02735	0.02683		1400
PUR-34	0.02753	0.02728		1400
PUR-35	0.02628	0.0267	0.9949	1400
PUR-37	0.03566	0.03579		1400
PUR-39	0.0343	0.03514		1400
TY-52	0.03494	0.03402		840
TY-134	0.03697	0.03669	0.9991	840
TY-151	0.0335	0.03254		840
TY-244	0.04843	0.04784		840
CY-50	0.03069	0.02912		1030
CY-55	0.0338	0.0323	0.8932	1030
CY-184	0.03294	0.03312		1030

Şekil 4'de Geçici düzlem kaynak tekniği ile EPS'nin yoğunluğa bağlı ısıl yayılım katsayısı ( $\alpha$ -mm<sup>2</sup>/s) ölçüm sonuçları sunulmuştur. Grafiğe göre yoğunluk arttıkça  $\alpha$  değerinin azaldığı görülmüştür.



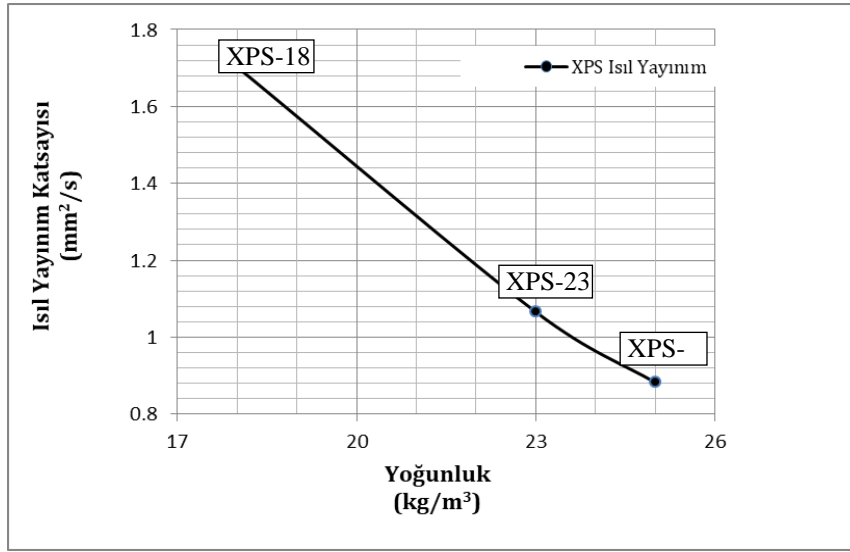
Şekil 4. EPS'nin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısı

Şekil 5'de ise farklı yoğunluk değerlerine sahip EPS'nin IAÖ ve GDK tekniği ile ölçülen ısı iletkenlik ( $k$ -W/mK) değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde iki ölçüm yöntemi için benzer eğri elde edilmiştir. Oluşan küçük sapmaların sebebi ise GDK sensörünün hassas ölçümünden ve numune yüzeyi farklılıklarından kaynaklanmaktadır.



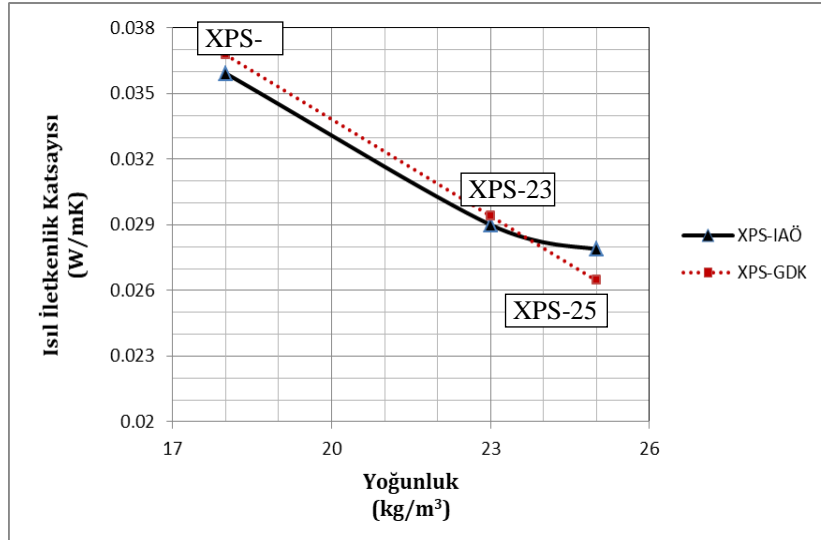
Şekil 5. EPS IAÖ ve GDK yöntemleriyle ölçülen ısı iletkenlik katsayılarının yoğunluğa bağlı değişimi ve karşılaştırılması

$k$  değeri yoğunlukla ters orantılı olarak değişim göstermiştir, yoğunluk arttıkça ısı iletkenlik azalmıştır. Fakat EPS-14 içeriğindeki grafit ısı reflektörleri sayesinde, daha yüksek yoğunluktaki beyaz renkli EPS-19 ile çok yakın ısı iletkenlik değerleri vermiştir. Bunun nedeni içeriğindeki grafitin opaklaştırıcı etkisi ile radyasyonla olan ısı transferini azaltması ile açıklanmaktadır. Bu yüzden düşük yoğunluklarda ısı iletkenliği azaltmanın etkili bir yolu olarak grafit kullanmak ısı yalıtımına olumlu etki sağlamaktadır.



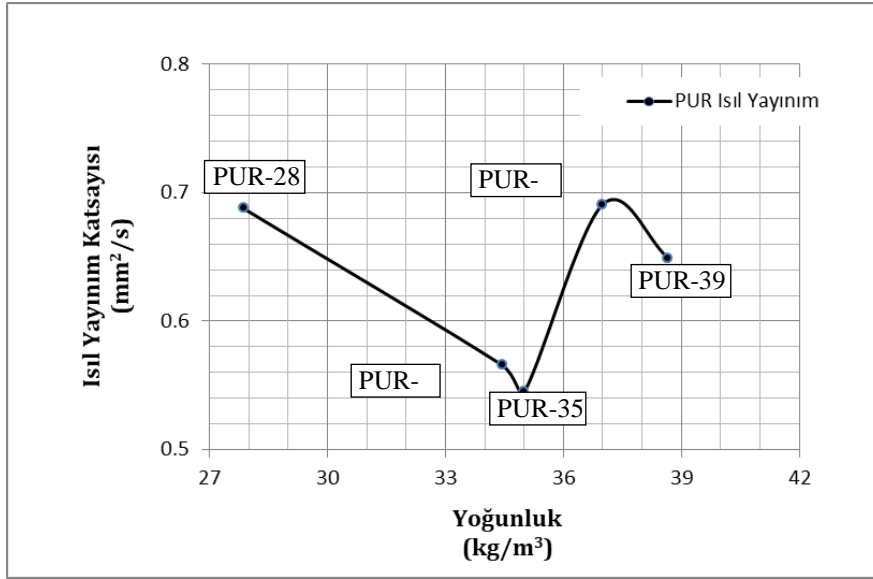
Şekil 6. XPS'nin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısı

Şekil 6' de XPS numunesinin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısının ( $\alpha$ -mm<sup>2</sup>/s) değişimi verilmiştir. Grafığe göre yoğunluk arttıkça  $\alpha$  değeri azalmıştır.

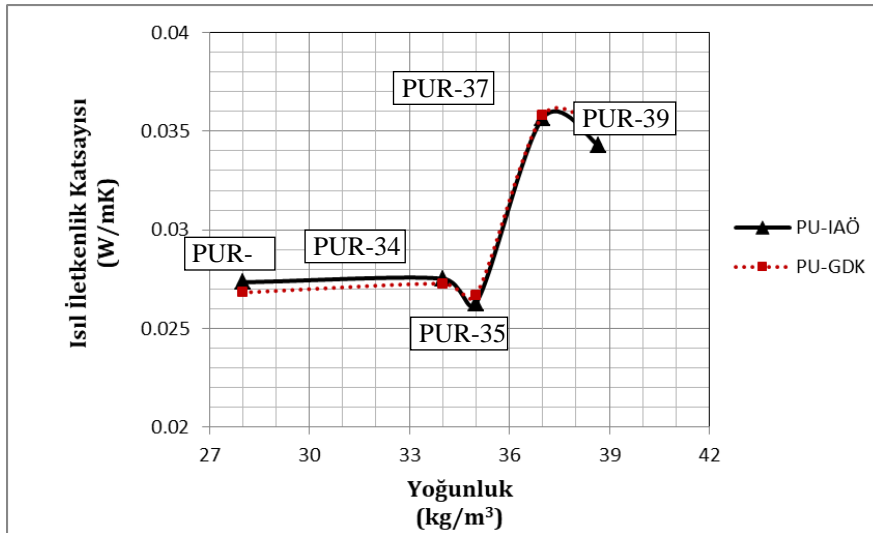


Şekil 7. XPS IAÖ ve GDK yöntemleriyle ölçülen ısı iletkenlik katsayılarının yoğunluğa bağlı değişimi ve karşılaştırılması.

Şekil 7'te ise XPS'in yoğunluğa bağlı IAÖ ve GDK kaynak ile ölçülen ısı iletkenliklerinin ( $k$ -W/mK) değişimi verilmiştir. Grafığe göre iki ölçüm yönteminde benzer eğri oluşturmuştur ve değerler birbirine oldukça yakındır. Yoğunluk arttıkça  $k$  değeri azalmıştır.



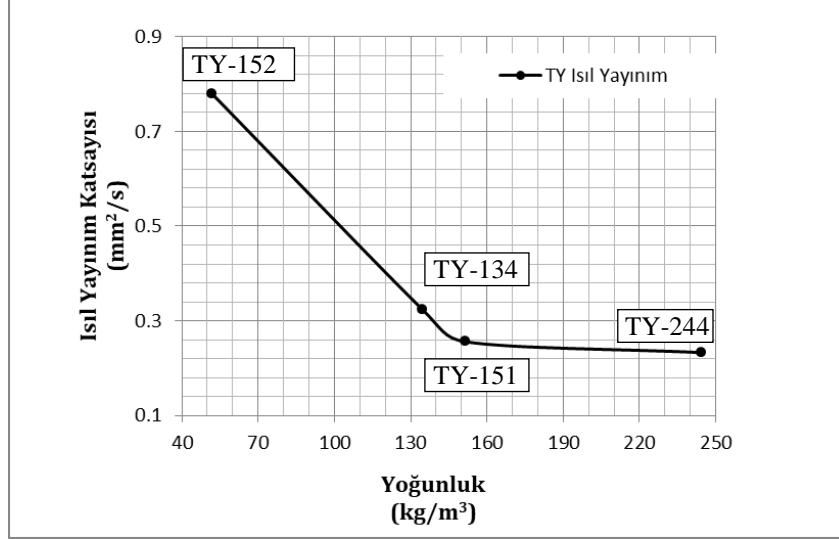
Şekil 8. PUR' un yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısı



Şekil 9. PUR için IAÖ ve GDK yöntemleriyle ölçülen ısı iletkenlik katsayılarının yoğunluğa bağlı değişimi ve karşılaştırılması.

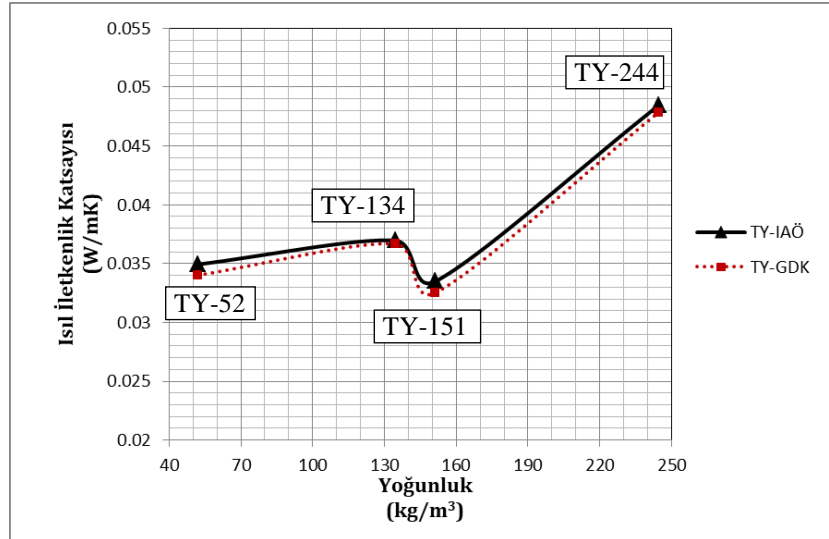
Şekil 8'de PUR numunesinin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısı ( $\alpha$ -mm<sup>2</sup>/s), Şekil 9'da ise yoğunluğa bağlı GDK ve IAÖ yöntemi ile ölçülen ısı iletkenliklerinin ( $k$ -W/mK) değişimi verilmiştir. Grafikler incelendiğinde  $\alpha$  ve  $k$  değerleri düzgün bir eğri oluşturmamıştır. Çünkü poliüretanda ısı özellikleri yoğunluk dışında diğer faktörlere de bağlıdır; kapalı hücre yüzdesi, numune kalınlığı, hücre boyutu, köpürme malzemesinin tipidir. Poliüretanın kullanım amacına göre farklı üretim şekilleri şöyledir: Levha döküm yöntemi, reaksiyon karışımı hareketli bir döküm kafası ile üzeri köpüğün rahat çıkarılması için kâğıt kaplanmış konveyör üzerine dökülür. Köpürme esnasında kenarlar dikey konveyörler vasıtasıyla desteklenir. Kalıplama yönteminde, bu uygulama için, kauçuk gibi elastik malzemelerden yapılmış kalıplar kullanılır. Kalıplanmış parçadan ayırıcı malzeme çıkarılır. Bu operasyon fazla işçilik gerektirdiği için bariyer kaplama metodu kullanılmaya başlanmıştır. Bariyer kaplama vernik esaslıdır ve sadece silikon lastik kalıplarında kullanılabilir. Köpürme esnasında önceden kaba

püskürtülmüş olan kaplama köpürmüş parça üzerine geçer. Köpük sistemi su veya R-11 ile köpürtme yapılabilir (Aydın ve Ekmekçi, 2002). PUR-28 ve PUR-34 levha döküm olarak kabartılmıştır, PUR-35 su ile köpürtülmüştür, PUR-37 ve PUR-39 ise kalıptan çekilmiştir.



Şekil 10. TY' nin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısı

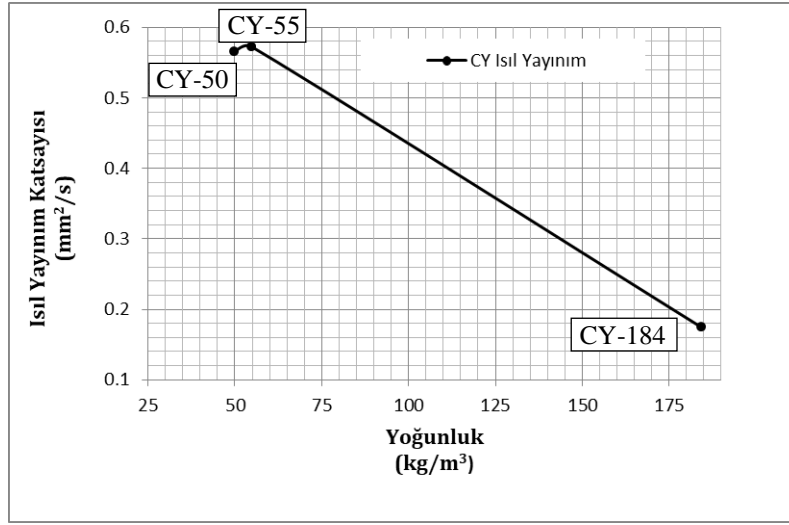
Şekil 10'da TY'nin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısının ( $\alpha$ -mm<sup>2</sup>/s) değişimi verilmiştir. Grafiğe göre yoğunluk arttıkça  $\alpha$  değeri azalmıştır.



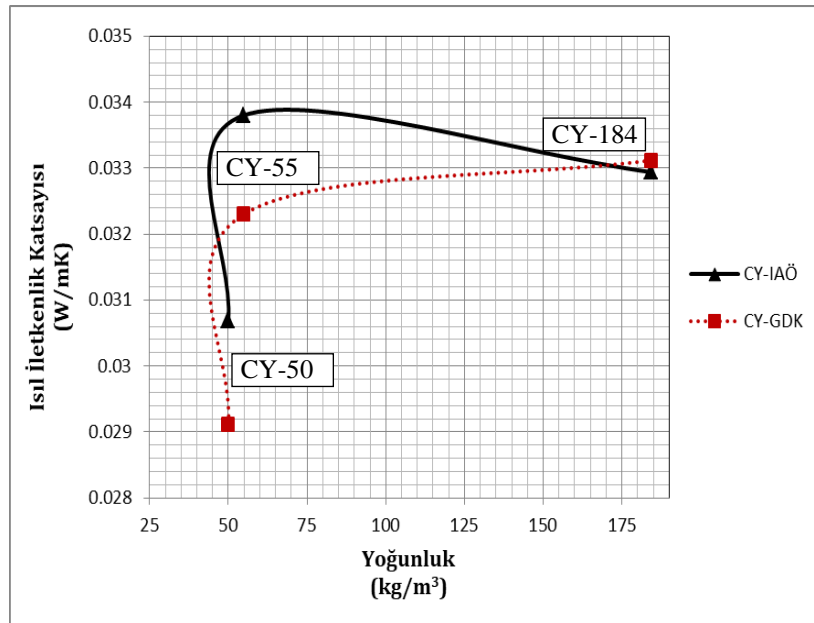
Şekil 11. TY için IAÖ ve GDK yöntemleriyle ölçülen ısı iletkenlik katsayılarının yoğunluğa bağlı değişimi ve karşılaştırılması.

Şekil 11'de ise TY'nin yoğunluğa bağlı IAÖ ve GDK kaynak ile ölçülen ısı iletkenliklerinin ( $k$ -W/mK) değişimi verilmiştir. Grafiğe göre iki ölçüm yönteminde benzer eğriyi oluşturmuştur ve değerler birbirine yakındır. Yoğunluk arttıkça  $k$  artmıştır. Grafiğe göre  $k$

değeri en düşük değerini  $151 \text{ kg/m}^3$  yoğunluk değerinde almaktadır. Bunun dışında yoğunluk değerindeki değişme ısı iletim katsayısını düşürmemektedir.



Şekil 12. CY'nin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısı



Şekil 13. CY için IAÖ ve GDK yöntemleriyle ölçülen ısı iletkenlik katsayılarının yoğunluğa bağlı değişimi ve karşılaştırılması.

Şekil 12'de CY numunesinin yoğunluğa bağlı ısı yayılım katsayısının ( $\alpha$ -mm<sup>2</sup>/s) değişimi verilmiştir. Şekil 13'de ise CY'nin yoğunluğa bağlı IAÖ ve GDK kaynak ile ölçülen ısı iletkenliklerinin (k-W/mK) değişimi verilmiştir. Grafiklerde  $50 \text{ kg/m}^3$  yoğunluktaki cam yünü,  $55 \text{ kg/m}^3$  cam elyaf ve  $184 \text{ kg/m}^3$  ise dış yüzeylerde cam yünü ve ortada cam elyaftan oluşan bir numunedir (Şekil 1). Yoğunluk farkları az olan cam elyaf ve cam yünün neredeyse aynı ısı özellikleri göstermiştir.

Genel olarak açık hücreli yalıtım malzemelerinde yüksek yoğunluklu olanların yüksek ısı iletkenlik gösterdiği ve kapalı hücreli yalıtım malzemelerinde ise tam tersi durumun söz konusu olduğu ifade edilebilir. Ancak bazı durumlarda yüksek yoğunluğa sahip numunelerin daha düşük yoğunluğa sahip numunelere nazaran ısıl iletkenlik değerlerinin düştüğü ya da aynı yoğunluktaki numunelerin ısıl iletkenliklerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu durum birkaç nedene bağlı olabilmektedir. Birincisi aynı kategorideki malzemeler arasında dahi üretim süreçlerindeki farklılıklar dolayısıyla farklı k değerleri elde edilebilir. İkinci bir neden ise liflerin şekli ve boyutundaki değişikliklerdir. Bir başka deyişle mikro yapıdaki farklılıklar ısıl iletkenlik katsayısını belirlemektedir. Dolayısıyla ısıl iletkenlik katsayısının belirlenmesinde yoğunluk ve sıcaklık dışında etkili olan parametrelerin araştırılması gerekmektedir.

Isıl iletkenlikleri IAÖ cihazıyla 20 °C’de ölçülen yalıtım malzemelerinin, GDK yöntemiyle Tablo 4’te verilen değişkenlere bağlı olarak (ısı güç ve zaman) ölçümleri tekrar yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Tablo 4 incelendiğinde aynı tür numuneler için parametreler benzer değerleri vermiştir. EPS numuneleri 400 mW ısı güçte 10 ve 80s arasındaki sürelerde doğru ısıl iletkenlikleri ölçtüğü tespit edilmiştir. Bazı numunelerde değişen güçlerin sebebi numune yüzeyinin farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3. Bina yalıtım malzemelerinin Geçici Düzlem Kaynak cihazıyla belirlenen ölçüm parametreleri

Malzemeler Parametreler	Isıl Güç (mW)	Ölçüm Süresi (s)
<b>EPS-9.7</b>	400	10
<b>EPS-10</b>		20
<b>EPS-14</b>		40
<b>EPS-19-22</b>		80
<b>XPS-18</b>	8	10
<b>XPS-23-25</b>	6	20
<b>PUR-28</b>	400	20
<b>PUR-34-35</b>	300	20
<b>PUR-37-39</b>	600	10
<b>TY-52</b>	1	5
<b>TY-134-151</b>		10
<b>TY-244</b>		2.5
<b>CY-50</b>	2	20
<b>CY-55</b>		10
<b>CY-184</b>		10

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Yalıtım kalınlığı tarafından sunulan termal direnç, artan yalıtım kalınlığıyla ve azalan ısıl iletkenlik katsayısı (k-W/mK) ile beraber artar. Yalıtkan malzemelerin zaman gecikmesi ve



maksimum geçiş yükleri gibi dinamik koşullar (oğu pratik uygulamalarda olduğu gibi), altında göstereceği tepkiler termal karakteristiklerin belirlenmesinde önemlidir. Binalar için kullanılan R-değerleri, büyük lde yalıtım malzemelerinin termal iletkenliğine ( $k-W/mK$ ) bağlıdır. Ayrıca, bina elemanlarının veya binanın bir bütün olarak termal analiz prosedüründe, laboratuvar ve prototip durumlarında ısı transferi ölümlerine alternatifler sağlayan, hesaplamalara girdi olarak termal özellik değerleri gereklidir. Literatürde yalıtım malzemelerinin termal özelliklerini gösteren standart tablolar mevcuttur. Bu değer bilgilerinin doğruluğu bazen bazı önemli bilgilerin eksikliği durumunda tartışmaya açıktır. nkn literatürde yapılan çalışmalarda genellikle ya sıcaklığın ya da yoğunluğun ısı iletkenliğe etkisi araştırılmıştır. Bir yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği sadece yoğunluğu, sıcaklık ve nem içeriğine bağlı olarak değil, aynı zamanda malzemenin, atomik ve moleküler yapısı, gözenekli durumu, anizotropik yapı hataları ve kusurlarına bağlı olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada klasik yalıtım malzemelerinin ısı zellikleri, Geçici Düzlem Kaynak (GDK) tekniği ile 20 °C’ de deneysel olarak belirlenmiştir. Numunelerin, ISO 8301 protokolüne uygun ölüm yapabilen Isı Akış ler (IA) cihazıyla ısı iletkenlikleri llmştr. Deney sonuçları, dikkate alınarak lmler GDK cihazıyla da tekrar edilmiştir ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Isı iletkenlik ( $k-W/mK$ ), ısı yayılım katsayıları ( $\alpha-mm^2/s$ ), özgül ısı ( $C_p-J/KgK$ ) ve yoğunluk ( $\rho-Kg/m^3$ ) bir sistematik içerisinde sunulmuştur. Sonuçlar, GDK yöntemi ile llen değerlerin, IA yöntemi ile llen değerlerle aynı eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Böylece, GDK yönteminin değişken parametrelerinin (Isı güç ve zaman) ısı özelliklere ne yönde etki ettiği saptanmıştır.

## Kaynaklar

Koru, M., (2016). Determination of Temperature Based on Thermal Conductivities of Open Cell Insulation Materials by Heat Flow Meter Method, 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe niversite, Türkiye, 21-22 April 2016.

Choi, G.S., Kanga, J.S., Jeong, Y.S., Lee, S.E., Sohn, J.Y., (2006). An Experimental Study on Thermal Properties of Composite Insulation. *Thermochimica Acta* 455 75–79, Republic of Korea.

Abdou, A., A., Budaiwi, I.M., Al-Homoud, M., (2005). Comparasion of thermal conductivity measurement of building insulation materials under various operating temperatures, *Journal of building physics*, 29, pp. 171-184.

Wakili, K., G., Binder, B., Vonbank, R., (2003). A simple method to determine the specific heat capacity of thermal insulations used in building construction, *Energy and Buildings* 35, pp. 413-415.

Child, P., W., Wilkes, K.,E., (1992). Thermal performance of fiberglass and cellulose attic insulation, in: thermal performance of the exterior envelopes of buildings V, ASHRAE/DOE/BTECC/CIBSEConference, Clear water beach, Florida, December 7–10, pp. 357–367.

Gnip, I., Vejelis, S., Vaitkus, S., (2012). Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C, *Energy and Buildings*, 52, 107–111.

Lakatos, A., Kalmar, F., (2013), Investigation of thickness and density dependence of thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials, *Materials and structures*, 46 1101-1105.

Lakatos, A., (2014). Comparison of the thermal properties of different insulating materials, *Advance materials research* vol. 899 pp. 381-386.

Saleh, A., (2006). Measurements of Thermal Properties of Insulation Materials by Using Transient Plane Source Technique, Energy Research Institute, Conventional Energy Division, King Abdulaziz City for Science and Technology, P.O. Box 6086, Riyadh 11442, Saudi Arabia, pp. 2184–2191.

Bohac, V., Gustavsson, M.K., Kubicar, L., Gustafsson S.E., (2000). Parameter Estimations for Measurements of Thermal Transport Properties with The Hot Disk Thermal Constants Analyzer, Institute of Physics, Slovak Academy of Science, Instruments Bratislava, Slovak Republic, *Review of Scientific* 71 (6), pp. 2452–2455.

Bohac, V., Gustavsson, M., Kubičár, Ľ., Vretenár V., (2005). Measurements of Building Materials by Transient Methods, Institute of Physics SAS, Dubravská cesta 9, Bratislava, Slovakia.

Dixon, C., (2000). Transient Plane Source Technique for Measuring Thermal Properties of Silicone Materials Used in Electronic Assemblies, *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging*, Volume 23, Number 4, Fourth Quarter, (ISSN 1063-1674).

Johansson, P. Hagentoft, C.E., Adl-Zarrabi, B., (2011). Measurements of Thermal Properties of Vacuum Insulation Panels by using Transient Plane Source Sensor, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Johansson, P. Hagentoft, C.E., Adl-Zarrabi, B., (2012). Using Transient Plane Source Sensor for Determination of Thermal Properties of Vacuum Insulation Panels. *Frontiers of Architectural Research* 1, 334–340, Sweden.

Almanza, O., Rodríguez-Pérez, M.A., Saja J.A., (2003). Applicability of the Transient Plane Source Method To Measure the Thermal Conductivity of Low-Density Polyethylene Foams. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, Vol. 42, 1226–1234, Spain.

Bouguerra A., (2001), Measurement of Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity and Heat Capacity of Highly Porous Building Materials Using Transient Plane Source Technique, *Int. Comm Heat Mass Transfer*: vol. 28, NO. 8, pp. 1065-1078.

Rodríguez-Pérez, M.A., Solórzano, E., Reglero, J.A, Lehmhus, D., Wichmann, M., Saja J.A., (2008). An Experimental Study on The Thermal Conductivity of Aluminium Foams by Using The Transient Plane Source Method. *Cellular Materials Group (CELLMAT), Condensed*

Matter Physics Department, Faculty of Science, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain.

Aydın, H. ve Ekmekçi, İ, (2002). Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Üretimi ve İncelenmesi, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6.Cilt, 1. Sayı.

EN 12667: Thermal Performance of Building Materials and Products–Determination of Thermal Resistance by Means of Guarded Hot Plate and Heat Flow Meter Methods-Dry and Moist Product of High and Medium Thermal Resistance. European committee for standardization, Brussels (2001)

TS EN 12664 (2009), Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Dry and moist products of medium and low thermal resistance, Turkish Standards Institution, Ankara.

ASTM C518: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 15 p (2003)

TS ISO 8301 (2002) Thermal insulation - Determination of steady - State thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus, Turkish Standards Institution, Ankara.

TS 825 (2008), Thermal insulation requirements for buildings, Turkish Standards Institution, Ankara.