

# LAZER FLAŞ YÖNTEMİNİ KULLANARAK MALZEMELERİN ISI İLETİM KATSAYISININ DENEYSEL OLARAK TAYİN EDİLMESİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Özge ALTUN

## ÖZET

Malzemelerin en önemli karakteristik özelliklerinden biri olan ısı iletim katsayısının deneysel olarak tayin edilmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ölçüm yapılabilmesi, hassasiyetin yüksek olması, ölçüm süresinin kısalığı ve numune hazırlamadaki kolaylıklar gibi avantajları nedeniyle lazer flaş yöntemi tercih edilen başlıca yöntemlerden biridir. Bu yöntemde ısıl yayılım katsayısının sıcaklığa göre değişimi ölçülmektedir. Malzemenin yoğunluğunun, özgül ısının ve ısıl yayılım katsayısının çarpımıyla ısı iletim katsayısı elde edilmektedir.

Bu çalışmada lazer flaş yöntemi ile ısı iletim katsayısının elde edilmesinde izlenen işlem adımları ve yöntemin avantajları üzerinde durulmuş, ayrıca 321 paslanmaz çelik malzeme için örnek bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada deneyler LFA 457 test cihazında, oda sıcaklığı ile 900 °C arasında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile kıyaslanmış deney hassasiyetini etkileyen faktörler irdelenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel ve teknolojik alandaki gelişmeler, malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak ilerlemektedir. Yeni nesil endüstriyel tasarımlarda özellikle havacılık, otomobil ve enerji üretimi alanında tasarlanan parçaların işletim şartlarına dayanabilmesi, bu tasarımların kullanılabilmesi ve geliştirilebilmesi için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle özellikle yalıtım için kullanılan malzemelerde ısı iletim katsayısının doğru bir şekilde karakterize edilmesi büyük önem kazanmaktadır.

Isı iletim katsayısını belirlemede kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Ölçüm yöntemleri sürekli rejim ve geçici rejim olmak üzere iki ayrı sınıfta toplanabilir.

Sürekli rejim metodu gerçek metot ve karşılaştırmalı metot olarak iki kategoride sınıflandırılmıştır. Bu iki kategoriye ait bilinen en genel ölçüm metodları muhafazalı levha metodu [1, 2] ve kıyaslama metodudur [3].

Muhafazalı levha metodunda [1,2], iki farklı nokta arasındaki sıcaklık gradyanı ve ısı akısının gerçek değeri ölçülmektedir. Kıyaslama metodunda [3] sıcaklık değişimi hem numuneden hem de ısı iletim katsayısını bildiğimiz referans malzemesinden ölçülmektedir. Bu yöntemde ısı akısının gerçek değerini ölçmeye gerek yoktur.

Geçici rejimde bilinen en genel yöntemler ise kızgın tel, lazer flaş, fotoakustik etki metodu ve 3ω metodudur. Kızgın tel metodu [4, 5] akışkan ve katıların ısı iletim katsayısını doğrudan ölçen tipik bir temaslı geçici rejim metodu, lazer flaş metodu ise [6] tipik bir temassız geçici rejim metodudur.

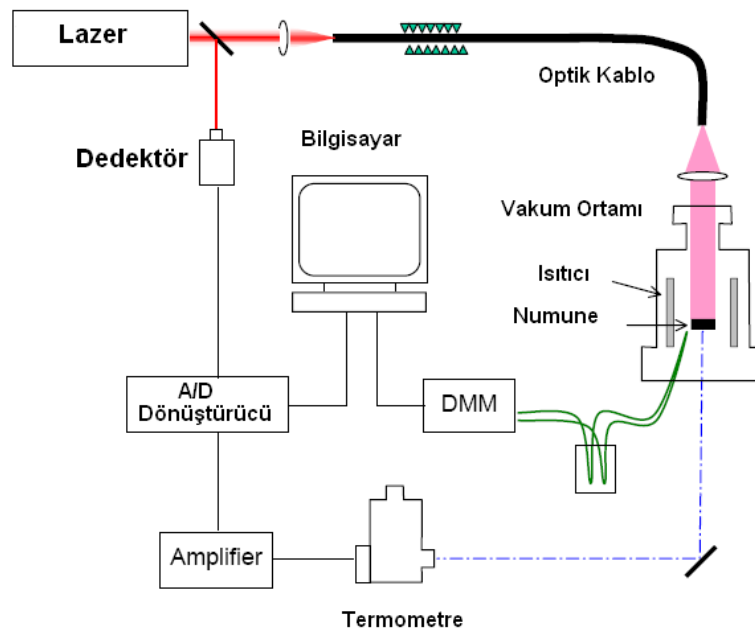
Bu metodlar arasında lazer flaş yöntemi yüksek sıcaklıklarda ölçüm yapabilmesi, basit geometrilere sahip, boyutsal olarak küçük numune kullanılması ve hızlı sonuç alınması nedeniyle gittikçe yaygınlaşan bir ölçüm yöntemidir.

Lazer flaş yöntemi ile malzemelerin ısı iletim katsayısının deneysel olarak ölçülmesi Taylor [7] tarafından geniş bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca lazer flaş yöntemi konusunda nümerik çalışmalar Hohenauer ve Vozar [8], Schmitz ve diğerleri [9], McMasters ve diğerleri [10] tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada lazer flaş yönteminde ölçüm adımları ele alınmış ve örnek bir uygulama olarak 321 paslanmaz çeliğin ısı iletim katsayısı oda sıcaklığı ile 900 °C arasında ölçülmüştür.

## 2. LAZER FLAŞ METODU

Lazer flaş metodunda ani ısı sinyalleri lazer tarafından üretilmekte ve numunenin ön yüzeyinden emilmektedir. Bu ısı sinyali numunenin diğer yüzeyine iletilmekte ve sıcaklık artışı bir sensör ile izlenmektedir. Lazer flaş yöntemi ile ölçüm yapan test düzeneği şematik olarak Şekil.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Lazer Flaş Deney Düzeneği Şematik Gösterimi [11]

Lazer kaynağı vasıtasıyla ısıtılan numunenin arka yüzeyindeki sıcaklık değişimi cihaz tarafından zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Numune arka yüzeyindeki sıcaklık değişimi,

$$\Delta T(d, t) = \frac{Q}{\rho C_p d \pi r^2} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 \alpha t}{d^2}\right) \right] \quad (1)$$

ile ifade edilir. Burada Q numunenin ön yüzeyinden emilen enerji, d ve r sırasıyla numunenin kalınlığı ve yarıçapıdır. Sistemde, ölçüm yapılacak sıcaklık değerlerine ulaşıncaya kadar numunenin sıcaklık değerleri bilgisayar sistemi tarafından sürekli analiz edilir ve veri tabanındaki standart eğri ile karşılaştırılarak ısı yayılım katsayısı değerleri elde edilir. Isıl yayılım katsayısı numune kalınlığı (d) ve ısı transfer yarı süresi ( $t_{1/2}$ ) kullanılarak Denklem 2'deki ifade ile hesaplanır [12].

$$\alpha = \frac{1,37d^2}{\pi^2 t_{1/2}} \quad (2)$$

Bu teknikte yüksek sıcaklık ölçümleri için numunede radyasyona bağlı hasara neden olmamak için önlem alınmalıdır. Yarı geçirgen bir numune için yüzeyde siyah bir kaplamaya ihtiyaç duyulmakta olup, ince bir numune için sıcaklık artışı dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

### 3. PASLANMAZ ÇELİĞE AİT ISI İLETİM KATSAYISININ LAZER FLAŞ METODU İLE TAYİNİ

Lazer flaş yönteminde ölçüm yapılan malzemenin ısı iletim katsayısının hesaplanabilmesi için, malzemenin yoğunluğunun ve özgül ısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Buna göre ısı iletim katsayısı;

$$k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p \quad (3)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir.

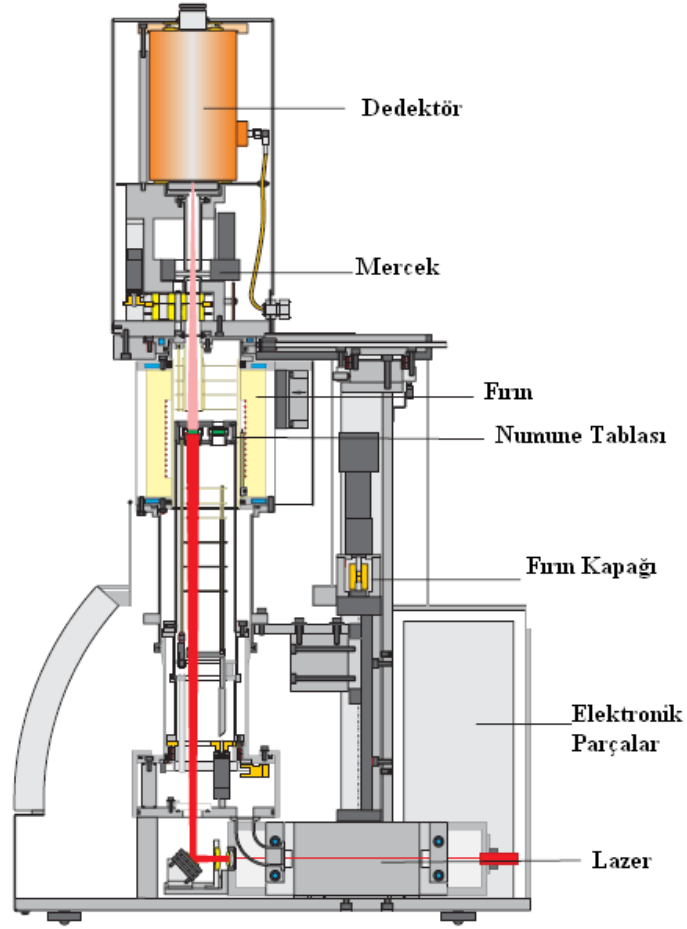
Sistemde kısa lazer dalgaları numunenin alt yüzeyine uygulanarak lazer enerjisi sayesinde sıcaklık artırılırken, numunenin diğer yüzeyinde meydana gelen sıcaklık artışı, InSb (İndiyum-Antimuan) dedektör ile kaydedilmektedir. Soğutma amacıyla genellikle sıvı azot kullanılmaktadır. Dedektör sisteminin sıcaklığı ise ısı çifti kullanılarak kontrol edilmektedir.

Lazer flaş cihazı yüksek sıcaklıklarda ısı yayılım katsayısını ölçebilme imkânına sahiptir. 321 paslanmaz çeliğin ısı yayılım katsayısının ölçülmesinde 12.7 mm çapında ve 4.21 mm kalınlığında küçük disk şeklinde üç adet numune hazırlanmıştır. Çeliğin yoğunluğu Arşimed prensibi kullanılarak 7.97 gr/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüş, özgül ısı değeri literatürden elde edilmiştir. Deneyler Netzsch marka, LFA 457 lazer flaş cihazı ile yapılmıştır. Cihazın şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.

Deney öncesinde numuneler, ön yüzeylerinde absorpsiyonu, arka yüzeylerinde ise emisiviteyi artırmak için karbonla kaplanmaktadır. Karbon kaplama, malzemenin ısı yayılım katsayısının ölçülmesinde sonucu etkileyecek herhangi bir etkide bulunmamaktadır. Deneyde kullanılan numune özellikleri Tablo 1. de verilmiştir.

**Tablo 1.** Deneyde Kullanılan Numunelerin Kalınlık Ve Yoğunluk Değerleri.

Numune	Numune Kalınlığı (mm)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
SMPL1	4.29	7.970
SMPL2	4.35	7.970
SMPL3	4.21	7.970



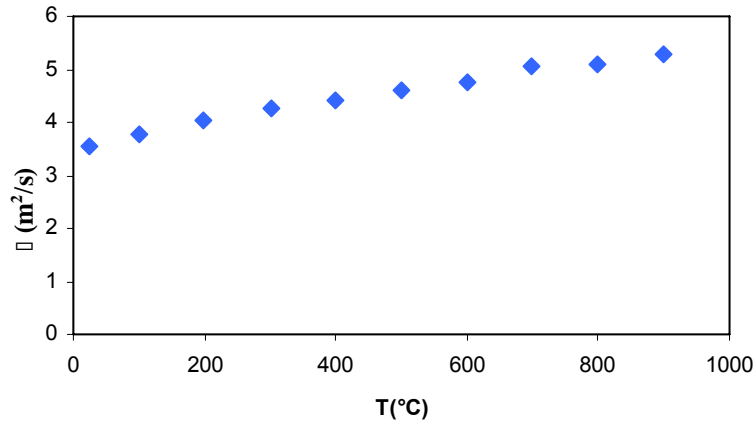
**Şekil 2.** LFA-457 Lazer Flaş Test Düzeneği

Isıl yayılım katsayısı ( $\alpha$ ) değerleri için ölçümler oda sıcaklığı ile 900°C aralığında ve  $N_2$  ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de cihazın fırını ve fırına yerleştirilen numuneler görülmektedir.



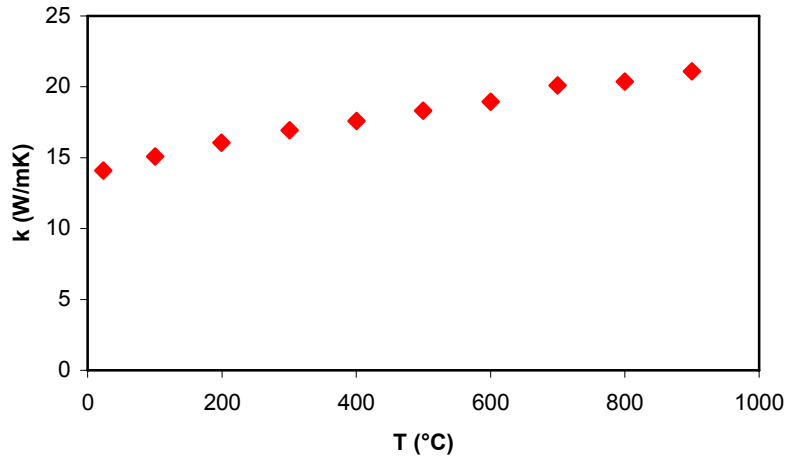
**Şekil 3.** Netzsch LFA 457 Test Cihazı ve Numuneler

Çelik için ısı yayılım katsayısına ait deneysel sonuçlar Şekil .4'de verilmiştir.



**Şekil 4.** Çelik Numunelerin Sıcaklığa Göre Isıl Yayılım Katsayısı Değerleri.

Isı iletim katsayısı, ısı yayılım katsayısı, yoğunluk ve özgül ısı değerlerinden yararlanılarak Denklem 3 esas alınarak cihaz tarafından hesaplanmıştır. Elde edilen, 321 paslanmaz çeliğe ait sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı değerleri Şekil.5'te verilmiştir.



**Şekil 5.** Çelik Numunelerin Sıcaklığa Göre Isı İletim Katsayısı Değerleri.

Yapılan ölçümlerde deney hassasiyetini artırmak amacıyla aynı fiziksel özelliklerde hazırlanmış olan her üç numunenin ısı yayılım ve ısı iletim katsayısı değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Lazer flaş metodu ile çeliğin ısı iletim katsayısı 100 °C'de yaklaşık 15.2 W/mK ve 500 °C' de 18.3 W/mK olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklıklar için literatürdeki değerler ise bu sıcaklıklarda sırasıyla 16.1 W/mK ve 21.4 W/mK bulunmuştur [13].

## SONUÇ

Günümüzde ileri teknolojik mühendislik uygulamalarında malzemelerin ısı iletim katsayısı tasarım aşamalarında dikkat edilen önemli bir parametredir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan parçalar için bu sıcaklıklardaki ısı iletim katsayısının hassas olarak ölçülmesi zor bir işlemdir.

Bu çalışmada incelenen lazer flaş yöntemi; ölçüm hassasiyeti, küçük boyutlu numune kullanımı ve deney süresinin kısalığı nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca ölçüm esnasında ortam şartları kontrollü olduğundan dış etkenlere göre deney sonuçlarının etkilenmesi mümkün değildir. Yüksek sıcaklıklarda kolaylıkla ölçüm imkânı sağlamaktadır. Bunun yanında ısı iletim katsayısının doğrudan ölçülememesi, malzemenin yoğunluğuna ve özgül ısı değerine bağlı olarak ölçülmesi deneylerde hata oranını yükseltmektedir. Bu nedenle malzemenin yoğunluğu ve özgül ısı değerlerinin hassas bir şekilde tespit edilmesi deney hatasını azaltmada önemli rol oynamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] ASTM C177, 1990, Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot Plate, ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Phi.
- [2] TSE EN 674, 1998, Cam - Yapılarda Kullanılan - Isıl Geçirgenlik (U Değeri) Tayini Mahfazalı Sıcak Levha Metodu, Türk Standartları Enstitüsü.
- [3] ASTM E1225, 2004, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique, ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Phi.
- [4] ASTM C1113, 2004, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire, ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Phi.
- [5] TSE EN 993, 2000, Kızgın Tel Metodu ile Termal İletkenlik Tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- [6] ASTM E1461, 2002, Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method, ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Phi.
- [7] TAYLOR, R., "Construction of Apparatus for The Heat Pulse Thermal Diffusivity Measurements from 300 to 3000 K", Journal of Physics, E: Sci. Instrum, 13, 1193-1199, 1980.
- [8] HOHENAUER, W., VOZÁR, L., 2001, An Estimation of Thermophysical Properties of Layered Materials by The Laser-Flash Method, High Temperatures-High Pressures, 33, 17-25.
- [9] SCHMITZ, F., HEHN, D., MAIER, H.R., 1999, Evaluation of Lazer-Flash Measurements By Means of Numerical Solution of The Heat Conduction Equation, High Temperatures – High Pressures, 31, 203-211.
- [10] McMASTERS R.L., DINWIDDIE R.B., HAJI-SHEIKH A., 2007, Estimating the Thermal Conductivity of a Film on a Known Substrate, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 21, 4, 681-687.
- [11] www.nist.gov.tr
- [12] SORAI, M., 2004, Comprehensive Handbook of Calorimetry and Thermal Analysis, John Wiley&Sons, 518.
- [13] ASM Handbook, Properties and selection: irons, steels and high performance alloys 1 (1986).

## ÖZGEÇMİŞ

### Özge ALTUN

1977 Eskişehir doğumludur. 1998 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis ve 2007 yılında Doktor ünvanı almıştır. 1998 yılından itibaren Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Gözenekli ortam, sonlu elemanlar metodu ve ısı iletimi konularında çalışmaktadır.