

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SERAMİK MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK DEĞERİ
BULUNMASINDA KULLANILACAK PRATİK TEST YÖNTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

Ash ŞİMŞEKLİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2018**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SERAMİK MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK DEĞERİ
BULUNMASINDA KULLANILACAK PRATİK TEST YÖNTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

Ash ŞİMŞEKLİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2018**

Doç. Dr. Paki TURĞUT danışmanlığında, Aslı ŞİMŞEKLİ 'nin hazırladığı “Seramik Malzemelerin Isıl İletkenlik Değeri Bulunmasında Kullanılacak Pratik Test Yöntemi Geliştirilmesi” konulu bu çalışma 28/02/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Paki TURĞUT

Üye : Prof. Dr. Arif GÜREL

Üye : Doç. Dr. Kazım TÜRK

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarifından Desteklenmiştir.
Proje No: 16199

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Mevcut Isıl İletkenlik Ölçüm Yöntemleri	3
2.2. Sürekli Rejim Metotları	3
2.2.1. Paralel plak yöntemi	4
2.2.2. Aksenal akış yöntemi	4
2.2.3. Silindir yöntemi	5
2.2.4. Isı akışı ölçme yöntemi	6
2.3. Geçici Rejim Metotları	7
2.3.1. Sıcak tel yöntemi	7
2.3.2. İğne sondası yöntemi	8
2.3.3. Geçici düzlem kaynağı yöntemi	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM	10
3.1. Geliştirilen Isıl İletkenlik Ölçme Düzenegi	10
3.2. Isıl İletkenlik Değerleri Ölçülen Numunelerin Hazırlanması	12
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	13
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	25
KAYNAKÇA	26
ÖZGEÇMİŞ	28

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİK MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK DEĞERİ BULUNMASINDA KULLANILACAK PRATİK TEST YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Aslı ŞİMŞEKLİ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Paki TURĞUT
Yıl:2018, Sayfa:28

Binalar veya yapılardaki yalıtım malzemelerinin seçimindeki en önemli ve belirleyici parametrelerden birisi malzemenin ısı iletkenlik katsayısıdır. Isı geçişine karşı gösterilen yüksek direnç, ısı iletkenlik katsayısının küçüklük değerine bağlıdır. Bir binanın ısıtılması veya soğutulmasındaki gerekli olan enerji ihtiyacı, yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayısına göre değişmektedir. Bu nedenle, binalarda kullanılan malzemenin ısı iletkenlik değeri ile binanın enerji sarfiyatı arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Piyasadaki mevcut ısı iletkenlik ölçme cihazlarının bazıları pahalı veya ölçüm süreleri uzundur. Dolayısıyla, küçük işletmelerde üretilen yapı malzemelerinin belirli periyotlarda ısı iletkenlik değerlerinin kontrol edilmesi zordur. Bu çalışmada, mevcut ısı iletkenliklerin ölçüm yöntemlerinin çalışma prensipleri yanında yararlı ve mahsurlu tarafları verilmiştir. Daha sonra, boşluklu seramik türü yapı malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerini belirlemek için, ucuz ve pratik bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem sürekli rejim ölçümlerine benzer olmuştur. Önerilen yöntemde, malzemelerin soğuma sıcaklığı eğrileri ve ısı iletkenlik değerleri arasında bir ilişki kurulmuştur. Geliştirilen yöntemin, seramik türü malzemelerin ısı iletkenlik değerinin bulunması ya da kontrolünde kullanılabileceği gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Isı iletkenlik, Seramik, Test yöntemleri

ABSTRACT

MSc Thesis

THE DEVELOPMENT OF A PRACTICAL TEST METHOD FOR DETERMINING OF THERMAL CONDUCTIVITY VALUES IN THE CERAMIC MATERIALS

Asli ŞİMŞEKLİ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Paki TURGUT
Year:2018, Page:28**

In the building or structures, the thermal conductivity of material is the most important and characteristic parameter in the selection of insulation materials. The resistance against heat flowing depends on the low thermal conductivity value. The energy requirement for heating or cooling in a building changes with the thermal conductivity of building materials. Therefore, there is a strong relationship between the thermal conductivity of materials used and energy consumption in the buildings. Some of the commercially available thermal conductivity test equipment is expensive or the tests are time consuming. Thus, the control of the thermal conductivity of construction materials produced in the small businesses is hard in the determined periods. The current methods of the thermal conductivity measurements and their working principle are given in this study, as well as sides of their advantages and disadvantages. Then, a low cost and practical method was developed to determine the thermal conductivity values of the ceramic construction materials with porous. The developed method was similar to steady-state methods. In the suggested method, the relationship between the cooling temperature curves and the thermal conductivity values of materials was constructed. It was shown that the developed method could be used in the determination or control of thermal conductivity value of ceramic material.

KEY WORDS: Thermal conductivity, Ceramic, Test methods.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, çalışma konusunu belirleyen, deney düzeneğini tasarlayan ve çalıőmanın her aőamasında katkı sağlayan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Paki TURĐUT'a teşekkür ederim. Ayrıca, deneylerin yapılması sırasında veri alma düzeneğinin oluőturulmasında yardımlarını esirgemeyen Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Sayın Yusuf IŐIKER'e de (Doktor adayı) teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.Sıcak plaka yöntemi, a) İki numuneli cihaz b) Tek numuneli cihaz	4
Şekil 2.2.Silindir yöntemi.....	5
Şekil 2.3.Isı akışı ölçüm yöntemi	6
Şekil 2.4.Sıcak tel yöntemi.....	8
Şekil 2.5.Geçici düzlem kaynağı yönteminde kullanılan ısıtıcı/sensör elemanı.....	9
Şekil 3.1.İsil iletkenlik ölçme düzeneği ve kısımları.....	11
Şekil 4.1.S1 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	14
Şekil 4.2.S2 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	14
Şekil 4.3.S3 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	15
Şekil 4.4.S4 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	15
Şekil 4.5.S5 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	16
Şekil 4.6.S6 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	16
Şekil 4.7.S7 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	17
Şekil 4.8.S8 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	17
Şekil 4.9.S9 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri	18
Şekil 4.10.S10 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri.....	18
Şekil 4.11.S1 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	19
Şekil 4.12.S2 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	19
Şekil 4.13.S3 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	20
Şekil 4.14.S4 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	20
Şekil 4.15.S5 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	21
Şekil 4.16.S6 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	21
Şekil 4.17.S7 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	22
Şekil 4.18.S8 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	22
Şekil 4.19.S9 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	23
Şekil 4.20.S10 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi.....	23
Şekil 4.21. Numunelerin ısıl iletkenlik değerleri ile eğriler altındaki alanların ilişkisi	24

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1.Kullanılan numunelerin özellikleri.....	11
Çizelge 4.1.Numunelerin normalize edilmiş eğrileri altında kalan alan ve ısı iletkenlik değerleri	24



SİMGELER DİZİNİ

EN-12667	Avrupa standardı
ISO 8302	Uluslararası standardı
°K	Kelvin
R ²	Korelasyon katsayısı
<i>T</i>	Sıcaklık
TSP	Geçici düzlem kaynağı yöntemi
W	Watt
λ	Isıl iletkenlik değeri
<i>Q</i>	Isı akısı
$\partial T/\partial x$	Isı Farkı



1.GİRİŞ

Ülkemizde enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizlerine ilave olarak, 1991 yılında başlayan körfez savaşının sonuçları dikkate alındığında ülkemiz ve dünya için eldeki enerji rezervlerinin israf edilmeden kullanılması önem kazanmıştır. Ayrıca, eldeki mevcut enerji kaynaklarının israf edilmeden kullanılmasının çevre kirliliğinin önlenmesine de katkısı büyük olacaktır. Ülkemizde, sanayi ve konut sektörlerinde enerji tüketimleri nüfusun artması ve köyden şehirlere göçle her gün artmaktadır. Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanılmasının yollarından birisi ısı yalıtımıdır.

Binaların ısı performanslarının iyileştirilmesi, konutlardaki enerji tüketiminin azaltılması ve buna bağlı olarak enerji harcamalarının azaltılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bir binanın kabuğu, dış iklim koşullarıyla direkt irtibatlı olduğundan enerji etkin tasarımlarda en önemli parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Hiç yalıtımı olmayan ya da eksik veya yanlış yalıtımlı yapılarda ısı konfor sağlanamadığından, ısıtma sistemlerinin yakıt harcaması artmaktadır. Yapılan doğru ısı yalıtımı ile yapılardaki ısıtma sisteminin yakıt harcamasının azalması yanında, yazın yapılan soğutma giderleri de azalmaktadır.

Isı yalıtımı yapılmamış ya da eksik veya yanlış ısı yalıtımı yapılmış mekânlarda yüzey sıcaklıkları düşüktür. Sıcak havanın soğuk yüzeylere ya da pencerelere doğru hareket etmesiyle hava akımı oluşmaktadır. Böylece, oluşan hava akımı ısı konforunun oluşmasını engellemektedir. Belirtilen kurallara uygun yapılmış bir yalıtım, ısıtma sisteminin çalışma süresini kısaltmakta ve kış mevsimindeki yakıt sarfiyatını düşürmektedir. Bir enerji çeşidi olan ısı, sıcaklıkların farklı olduğu ortamlarda yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa geçme eğilimi göstermektedir. Isı geçişini azaltan dirence ısı yalıtımı ismi verilir. Bu ısı geçişi direnci, yapıda kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlıdır.

Yapılarda kullanılan malzemelerin yalıtım kalınlığına ve ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak, meydana gelecek ısı kaybı % 30 ile % 60 oranlarında azalabilmekte, yoğuşma durumundan kaynaklanan küflenme olayı azaltılabilmektedir. Isıl iletkenlik değeri uygun seçilmiş olan dış duvar malzemelerinin ısıl gerilmeleri azalmakta, böylece sıcaklık farklarından kaynaklanan çatlaklar engellenebilmektedir. Isıl iletkenliği uygun seçilmiş duvarların kalınlıklarında azalma meydana gelir ve kullanılabilir alanın artması yanında bina yükü de azaltılmış olur. Isıl iletkenlik katsayısı, bir malzemenin birbirine paralel olan iki yüzey arasındaki sıcaklık farkının 1 °K olduğu durumda, bu malzemenin 1 m²'sinden 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Sembolü λ 'dır ve birimi de W/m²K'dir. Yalıtım malzemelerinin seçiminde önemli ve belirleyici olan parametre ısı iletkenlik katsayısıdır. Isı geçişine karşı gösterilen yüksek direnç, ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasına bağlıdır (Evcil, 2000).

Bir binanın ısıtılması için gerekli olan enerji ihtiyacında, yapı elemanlarının ısı iletkenlik katsayısı en önemli bir parametredir (Aksoy, 2008). Bu tez çalışmasında, seramik malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin bulunmasında kullanılacak pratik, hızlı ve ucuz bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntem oldukça basit olup, yalıtım malzemesi üreten firmaların malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerini bulması veya kontrolü işlemlerinde pahalı cihaz yatırımları gerektirmemektedir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1.Mevcut Isıl İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

Isıl iletkenlik değeri olan bir malzemenin ısıyı iletme kabiliyetidir. İletim ile birim zamanda transfer edilen ısı miktarını hesaplamak için Fourier Denklemi (2.1) kullanılmaktadır.

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.1)$$

Isı akışı ismi verilen Q , birim alandaki ısı transferidir ve birimi W/m^2 'dir. $\partial T/\partial x$ ise, sıcaklık farkıdır ve birimi W/m 'dir. Malzemenin ısı iletkenlik değeri olup, birimi $W/m^{\circ}K$ 'dir. Isı transferi azalan sıcaklık yönünde yani yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olduğundan, eşitliğin önüne eksi işareti konulmuştur (Incropera, 2011). Isıl iletkenlik ölçüm metotları iki farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar sürekli ve geçici rejim yöntemleridir. Sürekli rejimler durumunda, numunenin her bir noktasındaki sabit sıcaklık verilir, yani zamanın bir fonksiyonu değildir. Geçici rejim yöntemleri ise, malzemenin ısıtılması ve soğutulması işlemi esnasındaki ölçümleri kaydetmek için kullanılır. Geçici rejimlerin avantajlı tarafı daha hızlı olmasıdır.

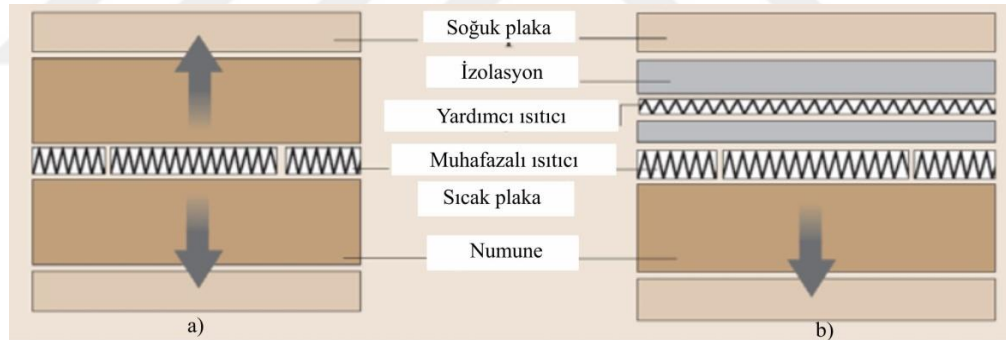
2.2.Sürekli Rejim Metotları

Pratik olarak, sürekli rejim sistemindeki sıcaklık içerideki bir ısı kaynağı, yani elektrikli ısıtıcı ile sağlanır. Test numunesinin içinde aralarında x mesafesi bulunan iki nokta arasındaki sıcaklık farkı bulunur. Yöntemler ısı transferine ulaşılan hücre geometrisi ile sınıflandırılır. Çoğunlukla aksel ve radyal sistemler kullanılır. Aksel akış yöntemleri oldukça doğru sonuçlar vermektedir. Aksel sistemde en yaygın kullanılan paralel plaka yöntemidir. Radyal sistemlerde ise, eşmerkezli silindir sıklıkla kullanılmaktadır. Sürekli rejimde ölçüm metotları doğru ve güvenilir sonuçlar verir. Bununla birlikte, mahsurlu bir tarafı ölçümlerin zaman alıcı olmasıdır.

2.2.1.Paralel plak yöntemi

Paralel plak yöntemi çok yönlüdür ve genellikle cam, seramik, polimer ve izolasyon malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerinin bulunmasında kullanılır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, tek ve çift numuneli olmak üzere iki çeşidi vardır. 80 ile 800 °K arasında çalışabilmektedir. Isıl iletkenlik ölçümlerinde hata payı % 2 civarındadır (Buck ve Rudtsch, 2006). Paralel plak yönteminde kullanılan cihazın bir ya da iki adet soğuk, bir adet sıcak plağı bulunmaktadır. Cihazın ayrıca ısıtıcısı ve yalıtım sistemi mevcuttur. Sıcak plaka ısıtıcı ve izolasyon ile çevrilmiştir ve sıcak plakadaki ısı sadece test numunesinin içerisinden geçmektedir. İki numuneli cihaz kullanılmasının amacı, simetrik numune düzenlemesiyle ısı kayıplarının efektif bir kontrolünün yapılabilmesidir.

Bu yöntemin detayları Avrupa Standardı EN-12667, ISO 8302 uluslararası standardı ve ASTM C177’de detaylı bir şekilde verilmektedir.



Şekil 2.1. Sıcak plaka yöntemi, a) İki numuneli cihaz b) Tek numuneli cihaz

2.2.2.Eksenel akış yöntemi

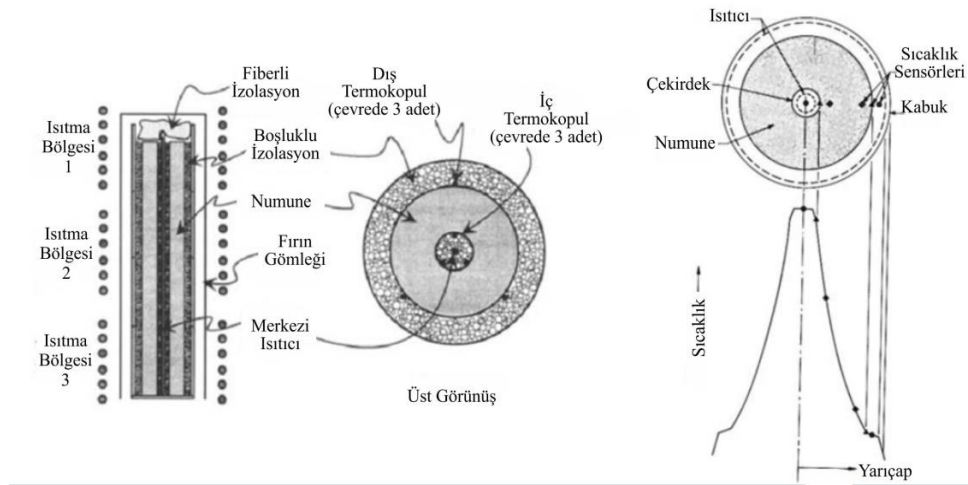
Eksenel akış metodu uzun zamandan beri kullanılmakta olup çok uygun ve yüksek doğruluğa sahiptir. Bu yöntemde ısı iletkenlik ölçümleri 100 °K’nin altındaki sıcaklıklarda yapıldığından ısı kayıpları çok fazla değildir ve çok geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Eksenel akış yöntemi ısı iletkenlik değeri 1 W/m°K olan küçük boyutlu numuneler için oldukça uygundur (Maglic ve Peletsky, 1984).

Hata payı % 0.5 ile 2 arasındadır. Eksenel akış yöntemiyle ilgili detaylı bilgiler ASTM E 1225 ve ASTM C335’te detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.2.3.Silindir yöntemi

Silindirik yöntem, radyal ısı akış yöntemi olarak da isimlendirilmektedir. Isıl iletkenlik değerlerinin ölçümünde oldukça başarılıdır. Bu ölçüm yönteminde, merkezi bir ısıtıcıdan radyal olarak akan ısı, numunenin iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru hareket etmektedir. İç ve dış yüzeylerdeki sıcaklıklar termokopullar yardımıyla ölçülmektedir. Kararlı hal sıcaklıkları konumuna ulaşıldığında, termokopulların sıcaklık ölçümleri kaydedilmektedir. Bu yöntemde, numunenin alt ve üst kısımlarındaki ısı kayıpları, sıcaklık farklarını etkilemektedir. Silindir yönteminin ana avantajları, çok basit ölçüm yöntemi olmasının yanında düşük ve yüksek ısıl iletkenliğe sahip numuneleri ölçebilmesidir. En büyük mahsuru ise, ölçülecek numune boyutlarının çok büyük olmasıdır. Bu durumda maliyet yüksektir ve sıcaklıkların kararlı hale gelmesinin uzun zaman almasından dolayı ölçüm süresi oldukça uzundur (Maglic ve Peletsky, 1984). Silindir metodu 4 ile 1000 °K arasındaki sıcaklıklarda kullanılır ve hata payı % 2’dir.

Silindir yöntemiyle ilgili bir standart bulunmamaktadır. Bununla birlikte, ISO 8497 uluslararası standardı kısmen silindir yöntemi için kullanılmaktadır.

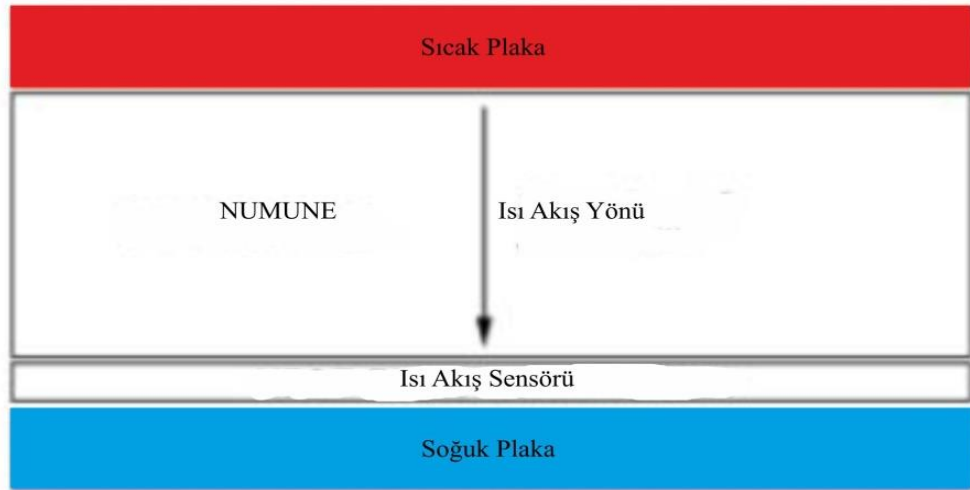


Şekil 2.2.Silindir yöntemi

2.2.4. Isı akışı ölçme yöntemi

Isı akışı ölçme yönteminin temeli, kararlı hal durumu esnasında sıcaklık farklarını kullanarak ısı akışını belirlemektir. Bu yöntemdeki cihaz tasarımı, tek numuneli sıcak plaka cihazıyla oldukça benzerdir. Bu yöntemde, ana ısıtıcı ile ısı akış sensörü yer değiştirmiştir. Isı akış sensörleri bir seri termokopullardan oluşan ısı dirençlerdir. Bazı durumlarda, ölçümler esnasındaki süreyi kısaltmak ve radyal kayıpları belirlemek için soğuk plakalar üzerine ısı akış sensörü yerleştirilir. Bu yöntem çoğunlukla ısı iletkenlik değeri $0.3 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ 'den daha küçük olan polimer ve yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerinin ölçümünde kullanılır. Hata payı % 3 civarındadır. Bu yöntemde, ısı iletkenlik değeri büyük olan malzemelerde daha kalın numune boyutlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle, anizotrop malzemelerin bir doğrultudaki ısı iletkenlik değerlerinin ölçümünde oldukça hassas sonuçlar vermektedir (Mahanta ve Abramson, 2010).

Bu yöntemle ilgili test prosedürleri ve tasarımları Avrupa Standardı EN 12667, ASTM E 1530 ve ASTM C518'de verilmektedir.



Şekil 2.3. Isı akışı ölçüm yöntemi

2.3.Geçici Rejim Metotları

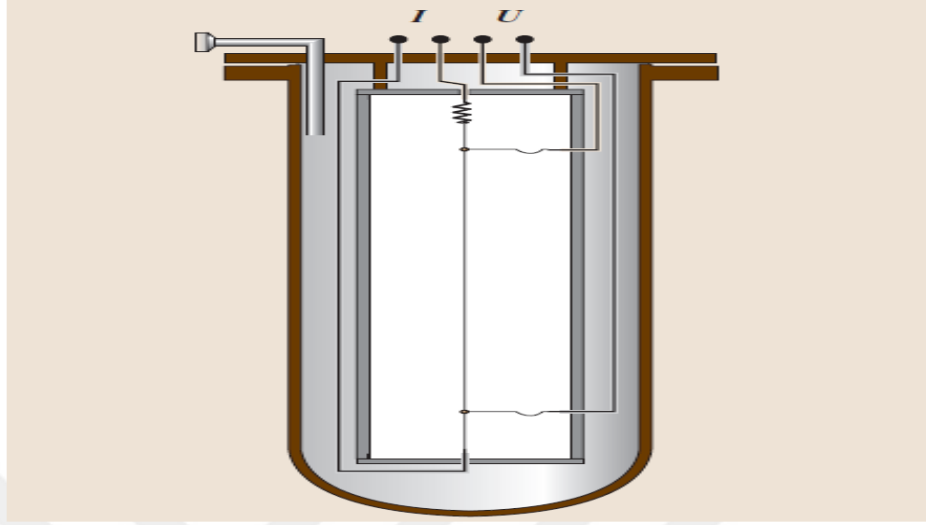
Modern bilgisayar ve veri analizi gereçlerinin gelişimiyle birlikte, ısı iletkenlik ölçümünde geçici rejim metotları oldukça popüler olmuştur. Bu metotlarda, test numunesinin içinde ısı oluşturmak için sinyaller gönderilir. Başlangıçta, numune etrafını çeviren atmosfer ile dengededir. Daha sonra, numuneye kısa bir ısıtma sinyali verilir. Ölçüm esnasındaki sıcaklıktaki değişim kaydedilir ve daha sonra test numunesinin ısı iletkenlik değerini bulmak için kullanılır (Alessandro, 2007).

Bu yöntemlerin avantajı, ölçüm süresinin sürekli rejim metotlarına kıyasla daha kısa olmasıdır. Örneğin, sürekli rejim yönteminde ısı iletkenlik ölçümünde bir saate ihtiyaç duyulmasına rağmen bu yöntemde sadece birkaç dakikaya ihtiyaç duyulur. Denge hali gerekli olan sürekli rejim sıcaklık ölçümlerinde, numunenin iki yüzeyine ihtiyaç duyulmasına rağmen, geçici rejim metotlarında sadece bir pozisyonda zamanın fonksiyonu olarak sıcaklık ölçümü yapılır. Bu nedenle, ısı iletkenlik değerleri daha doğru bir şekilde bulunur. Bununla birlikte, geçici rejimdeki ısı iletkenlik ölçüm cihazları çok karmaşık ve pahalıdır.

2.3.1.Sıcak tel yöntemi

Sıcak tel yöntemi, bir geçici rejim metodudur. Radyal ısı akışlı denge hali silindirik metodunun bir modifikasyonudur. Bu yöntem, bir saniyeden daha kısa bir sürede yüksek doğrulukla geçiş direnci değişimlerini ölçebilmektedir. Sıcak tel yöntemi, malzeme içerisine gömülen sonlu uzunlukta ve çapta doğrusal bir ısı kaynağı ve esasına dayanmaktadır. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, sabit çıktılı güç kaynağına bağlanan sıcak tel hem ısı kaynağı hem de sıcaklık sensörüdür. Telde sabit yoğunluklu bir elektrik akımı oluşturulur. Ölçümlerden elde edilen zamanın bir fonksiyonu olarak, doğrusal sıcaklık profilinin eğiminden ısı iletkenlik değeri elde edilir (William ve Marc, 1999). Basit bir yöntemdir ve ince malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin bulunmasında idealdir ve hata payı % 5 civarındadır. Mahsurlu taraflarından birisi, ticari testlerde pek nadir kullanılmasıdır. Çünkü çok ince olan tel sıvılar ve katılarla temas ettiğinde kopabilir.

Bu yöntemin detayları, ISO 8894-1, ISO 8894-2 ve ASTM C1113'te detaylı bir şekilde verilmektedir.



Şekil 2.4.Sıcak tel yöntemi

2.3.2.İğne sondası yöntemi

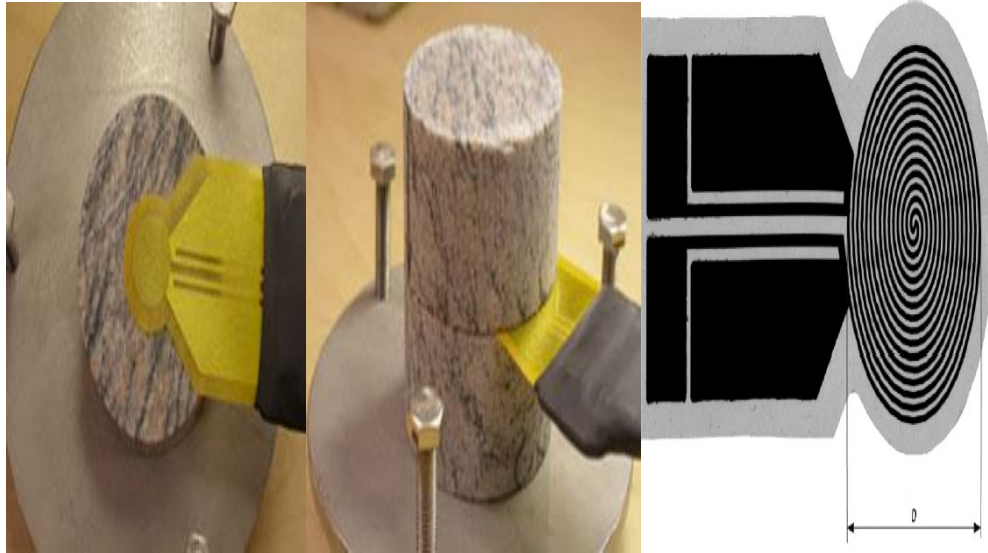
İğne sondası yöntemi, sıcak tel yönteminin bir değişik türüdür. Çok hızlı ısı iletkenlik ölçme kabiliyetine sahiptir. Sıvı ve katıların ısı iletkenlik değerlerinin ölçümü için uygundur. Bununla birlikte, anizotrop malzemelerde yönlendirilmiş katıl hal özelliği ölçümlerinde uygun değildir (ISO 22007-1, 2009). Bir iğne sondası, test numunesinin orta kısmına yerleştirilir ve başlangıç sıcaklığı sabit tutulur. Deney devam ederken, daha önce belirlenmiş miktardaki ısı iğnede üretilir ve ısı dalgası yayarak numunenin içerisinde radyal olarak ilerler.

Sondadaki sıcaklık ilerlemesi, zamanın logaritmasıyla doğrusal olarak ilerler. Bu ilişki, ısı iletkenlik değerinin bulunmasında direkt olarak kullanılır. Küçük numunelerde uygundur. Bu yöntem, 233 ile 673 °K sıcaklıklar arasında çalışabilir. Ölçülebilen ısı iletkenlik değerlerinin aralığı 0.08 ile 2 W/m²K'dir. Bununla birlikte, ASTM D 5930'da doğruluk derecesi ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemiştir. Bu nedenle, ihtilafli durumlarda referans olarak kabul edilmemelidir.

2.3.3. Geçici düzlem kaynağı yöntemi

Geçici düzlem kaynağı yöntemi (TSP), hem sıvıların hem de katıların ısı iletkenlik değerlerinin bulunmasında kullanılır. Isıl iletkenlik değeri ölçüm aralığı 0.01 ile 500 W/m²K aralığındadır. Ayrıca, plaka ve ince film şeklindeki malzemelerin de ısı iletkenliklerini de ölçebilmektedir. Bu yöntemde, ince, düzlem ve elektrik olarak yalıtılmış direnç elemanı kullanır. Genellikle, Şekil 2.5'te gösterilen spiral şekilli eleman tercih edilir. Hem ısı kaynağı hem de sıcaklık sensörüdür.

Aynı malzemedeki yapılmış olan iki test numunesi arasında ısıtıcı eleman yerleştirilerek ölçümler yapılmaktadır. Isıtıcı elemanın temas edeceği numune yüzeyleri düz ve pürüzsüz olmalıdır. Isıtıcı elemandaki direnç artışı, zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilerek tek bir ölçümle ısı iletkenlik değeri bulunabilir. Isıtıcı eleman sabit bir elektrik kaynağıyla beslenmektedir. Oda sıcaklığındaki hata payı % 2 ile %5 arasında değişmektedir. Yüksek sıcaklıklardaki ölçümlerde, bu hata payı % 5 ile % 7'ye yükselmektedir (ISO 22007-2, 2008).



Şekil 2.5. Geçici düzlem kaynağı yönteminde kullanılan ısıtıcı/sensör elemanı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

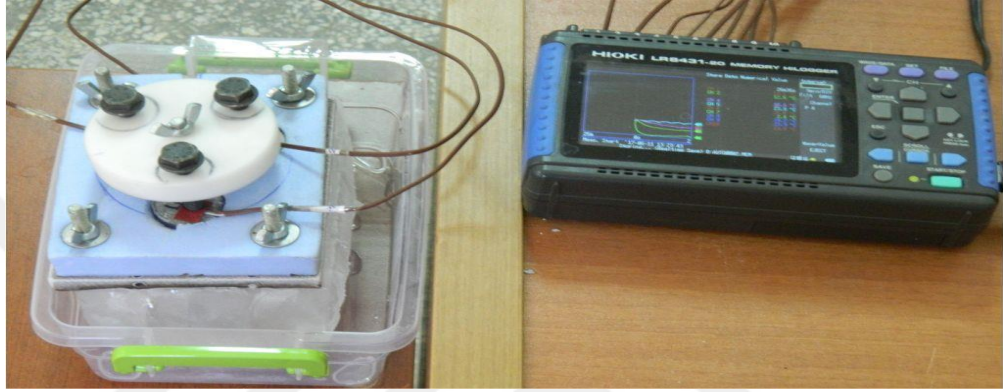
3.1.Geliştirilen Isıl İletkenlik Ölçme Düzenegi

Bu tez çalışmasında geliştirilen ısı iletkenlik ölçme düzeneginin çalışma şekli, sürekli rejim metotlarına benzerdir. Şekil 3.1a'da, geliştirilen ısı iletkenlik ölçme düzenegi gösterilmektedir. Geliştirilen düzenek üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, numunede soğumayı sağlayacak normal buz bulunmaktadır. Bilindiği gibi, buzun sıcaklığı 0 °C'dir. İkinci kısım, numune veya numunelerin yerleştirildiği kısımdır. Şekil 3.1b'de gösterildiği gibi, bu kısımda en altta bakır bir plaka bulunmaktadır. Bu bakır plakanın kalınlığı 10 mm'dir. Numunenin buz ile direkt temas etmesi durumunda, numunede meydana gelecek rutubetlenme ya da su emme olayını önlemek için, numuneler bu bakır plaka üzerine yerleştirilmiştir. Bakır malzeme kullanılmasının nedeni, bakırın ısı iletkenlik katsayısının yüksek olmasıdır (401 W/°mK).

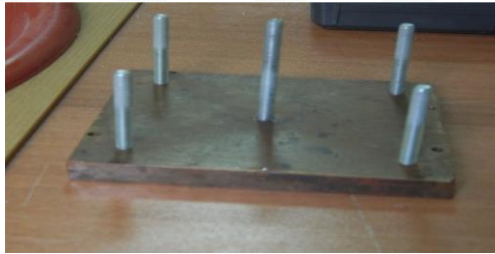
Böylece, buzdan numuneye doğru ısı akışı hızlandırılmıştır. Şekil 3.1c'de, numuneler bir strafor içerisine yerleştirilerek, yan yüzeyleri yalıtılmıştır. Böylece, yan yüzeylerdeki ısı kaybı ihmal edilirse, tek doğrultuda ısı akışı sağlanmıştır. Daha sonra, Şekil 3.1d'de gösterildiği gibi, numunelerin üst yüzeylerine termokopullar özel yalıtımlı bir bant yardımıyla yapıştırılmıştır. Daha büyük boyutlu bakır plaka ve buz kullanılarak, test edilecek numune sayısını artırılabilir ve böylece, zamandan tasarruf sağlanabilir.

Düzenegin en üst kısmında, numuneleri bakır plakaya bastırmak için vidalar kullanılmıştır. Vidaların geçtiği kısım, plastik fiberden yapılmıştır. Orta kısımda bulunan vida direkt olarak bakır plakaya bağlandığından, bu vida içinden de ısı akışı meydana gelecektir. Bu ısının, numuneleri bastıran diğer tespit vidalarına ulaşımını kısıtlamak için, metallere kıyasla ısı iletkenlik değeri daha küçük olan plastik fiber tercih edilmiştir.

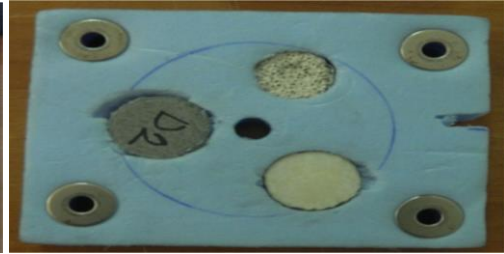
Bu tez çalışmasında, çapları 20 ile 25 mm ve yükseklikleri de 20 mm olan silindirik numuneler tercih edilmiştir. Tek doğrultuda ısı akışı sağlandığı için, numunelerin geometrisi önemli değildir. Silindirik numuneler yerine, prizmatik numunelerde kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, ısı akışının olduğu doğrultuda tüm numunelerin yüksekliğinin aynı olmasıdır. Numune üzerine yapıştırılan termokopullar, HIOKI LR8431-80 marka sıcaklık verisi alma cihazına bağlanmıştır. Bu cihaz vasıtasıyla, sıcaklık değerleri kaydedilmektedir.



a)Şekil Isıl iletkenlik ölçme düzeneği



b) Bakır plaka



c) Numune yuvaları



d) Thermokopulların yapıştırılması



e) Numunelerin bakır plakaya bastırılması

Şekil 3.1. Isıl iletkenlik ölçme düzeneği ve kısımları

3.2. Isıl İletkenlik Değerleri Ölçülen Numunelerin Hazırlanması

Bu tez çalışmasının başlığında da belirtildiği gibi, seramik türü malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Bu nedenle, laboratuvarında üretilen yapı malzemeleri ya da doğal kayalar kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin çapları 20 ile 25 mm ve yükseklikleri de 20 mm'dir. Numunelerin özellikleri Çizelge 3,1'de verilmektedir. Çalışmada toplam 10 adet numune kullanılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen ısı iletkenlik ölçme düzeneğinin verisi ile mevcut ısı iletkenlik ölçme cihazından elde edilen ısı iletkenlik değerleri arasında bir ilişki bulunması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle, numunelerin ısı iletkenlik değerleri, geçici düzlem kaynağı yöntemi (TSP) ile bulunmuştur. Numunelerin tümü 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş ve ortam sıcaklığında bekletilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan numunelerin özellikleri

Numune Adı	Numune Özellikleri	Isıl İletkenlik W/m ² K
S1	Ağırlıkça % 20 uçucu kül içeren Portland çimentolu sertleşmiş harç numunesi.	1.409
S2	Ağırlıkça 10/1/4 oranlarında, uçucu kül, hidrate kireç ve cam tozlu briket numunesi.	0.544
S3	Ağırlıkça % 5 silis dumanı, % 35 uçucu kül içeren Portland çimentolu sertleşmiş harç numunesi.	1.169
S4	Ağırlıkça 10/2/3 oranlarında, uçucu kül, hidrate kireç ve cam tozlu briket numunesi.	0.614
S5	Ağırlıkça 10/2/3 oranlarında, uçucu kül, hidrate kireç ve cam tozlu briket numunesi.	0.589
S6	Doğal granit taşı numunesi.	2.340
S7	Ağırlıkça % 10 silis dumanı, % 40 uçucu kül içeren Portland çimentolu sertleşmiş harç numunesi.	0.996
S8	Ağırlıkça % 5 silis dumanı Portland çimentolu sertleşmiş harç numunesi.	1.309
S9	Ağırlıkça % 20 silis dumanı, % 25 uçucu kül içeren Portland çimentolu sertleşmiş harç numunesi.	0.990
S10	Ağırlıkça 3/1 oranlarında, normal uçucu kül ve hidrate uçucu küllü briket numunesi.	0.363

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

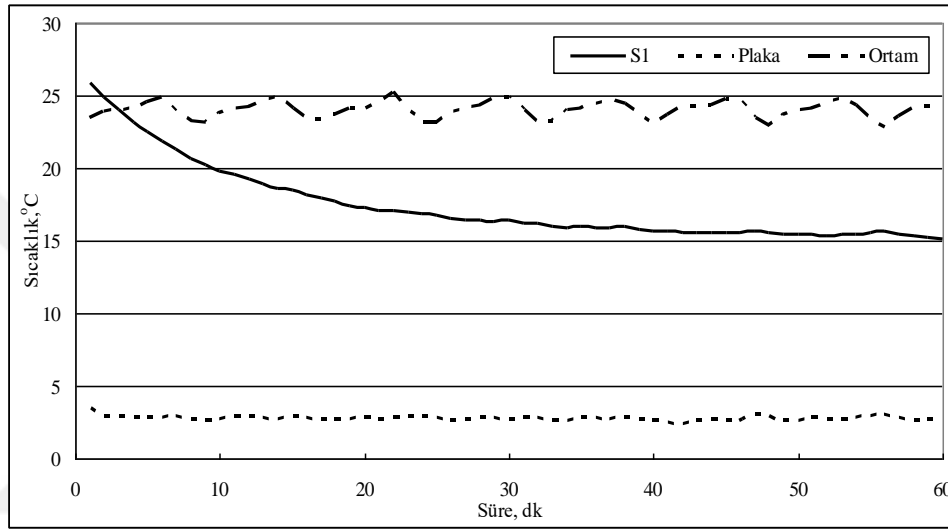
Hazırlanan düzeneğe numuneler yerleştirildikten sonra, sıcaklık verisi alma cihazı çalıştırılmış ve bakır plaka buz üzerine yerleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı bir klima ile sağlanmıştır. Numunelerin üst yüzeyindeki, bakır plaka üst yüzeyindeki ve ortamın sıcaklığı 1 saat boyunca kaydedilmiş ve Şekil 4.1 ile 4.10 arasında verilmiştir. Bu eğrilerdeki düşey eksen sıcaklık, yatay eksen ise süre değerlerini göstermiştir. Bu süre içerisinde, numunelerin üst yüzeyindeki sıcaklıklar kararlı hal konumuna ulaşmıştır. Kullanılan plaka malzemesi bakır olduğundan ilk zamanlarda plaka yüzeyinde hızlı bir sıcaklık azalması meydana gelmiştir. Aşağıda gösterilen, numunelerin sıcaklık değişimi-zaman eğrilerinin genellikle 30'uncu dakikasında kararlı halin olduğu, yani sıcaklığın bu süreden sonra çok fazla değişmediği gözlenmiştir.

Bu nedenle, hesaplamalarda 30'uncu dakikaya kadar olan kısım üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. 30'uncu dakikaya kadar olan numune üst yüzey sıcaklığı, başlangıçtaki en büyük sıcaklığa oranlanarak (T/T_{mak}) boyutsuz sayılar elde edilmiş ve yeni eğriler oluşturulmuştur. Böyle bir işlemin yapılmasının nedeni, geliştirilen ısı iletkenlik ölçme düzeneğinin işletilmesini ortam sıcaklığından bağımsız duruma getirmektir. Bu eğriler Şekil 4.11 ile Şekil 4.20 arasında verilmiştir. Geliştirilen bir Excel programı yardımıyla, Şekil 4.11 ile Şekil 4.20 arasındaki tüm eğrilerin altında kalan alanlar hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de br^2 olarak verilmiştir.

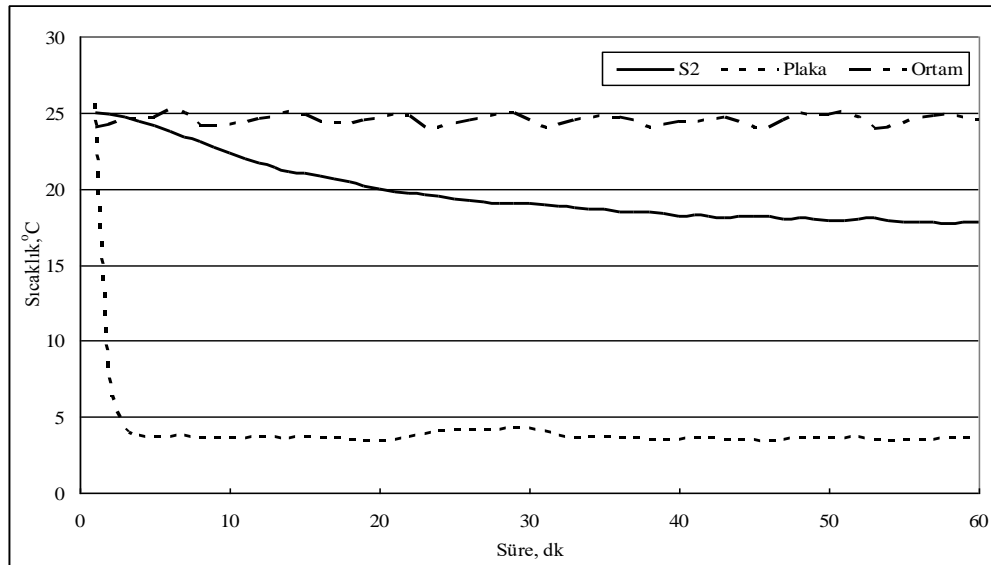
Bu çizelgenin ikinci satırında ise, geçici düzlem kaynağı yöntemi (TSP) ile bulunan ısı iletkenlik değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.21'de, numunelerin ölçülen ısı iletkenlik değerleri ile bu numunelerin eğrileri altında kalan alanlar arasında bir regresyon analizi yapılmıştır. Korelasyon katsayısı değeri R^2 , 0.9636 olarak bulunmuştur. R^2 değerinin 1'e yakın olması, numunelerin ölçülen ısı iletkenlik değerleri ile bu numunelerin eğrileri altında kalan alanlar arasındaki ilişkinin anlamlı olduğunu göstermiştir.

Böylece, aşağıda verilen bağıntı kullanılarak (2) geliştirilen düzeneğin yardımıyla elde edilen herhangi bir numuneye ait eğri altında kalan alan yardımıyla numunenin ısı iletkenlik değeri yaklaşık olarak bulunabilir. Ancak söz konusu bağıntı 0.363 ile 2.340 W/m²K değerleri arasındaki değerleri vermektedir.

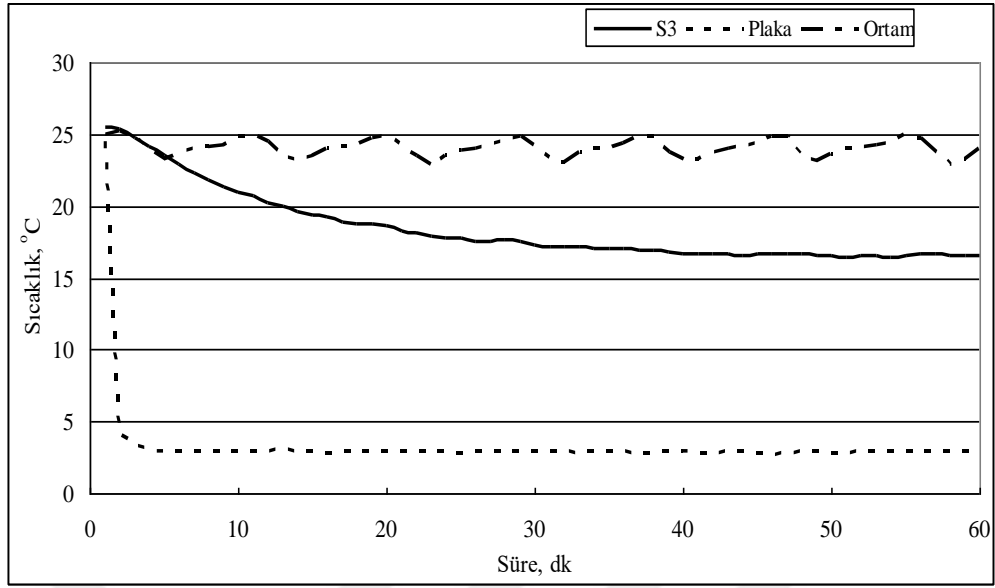
$$\lambda = -0.2838A - 7.7607 \quad (4.1)$$



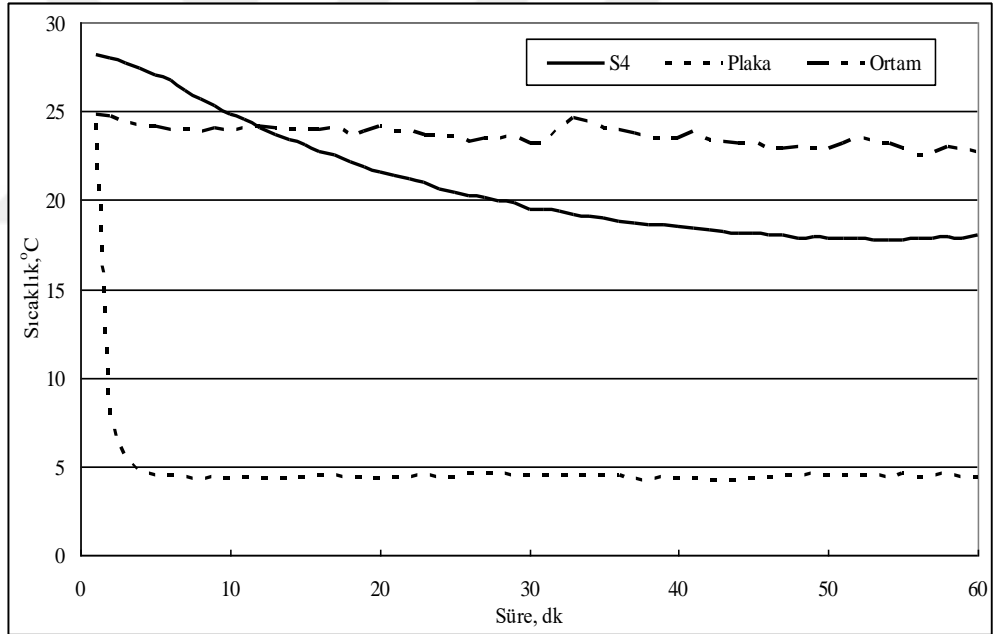
Şekil 4.1.S1 numunesi için sıcaklık değışimi-süre eğrileri



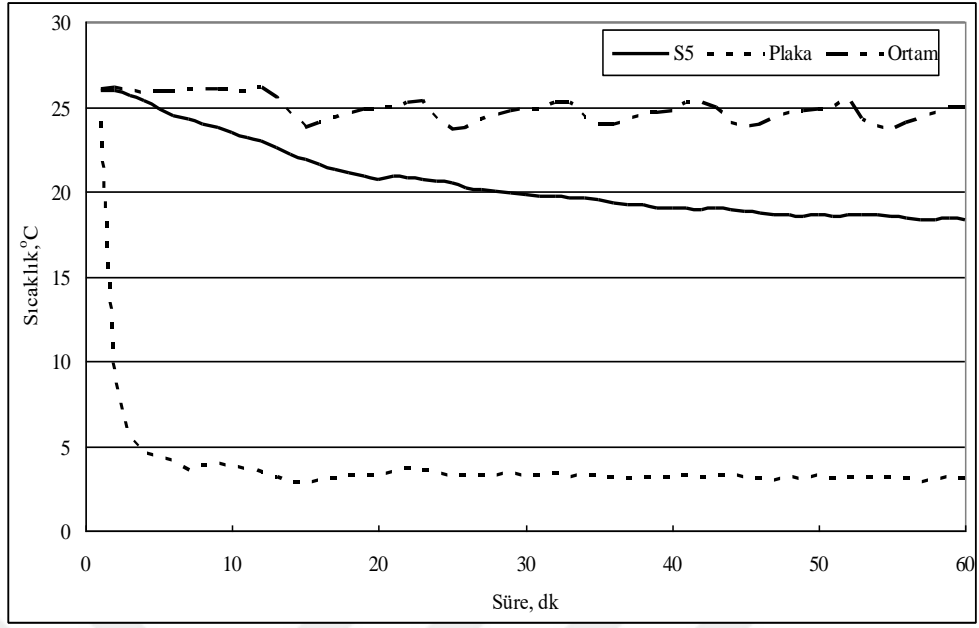
Şekil 4.2.S2 numunesi için sıcaklık değışimi-süre eğrileri



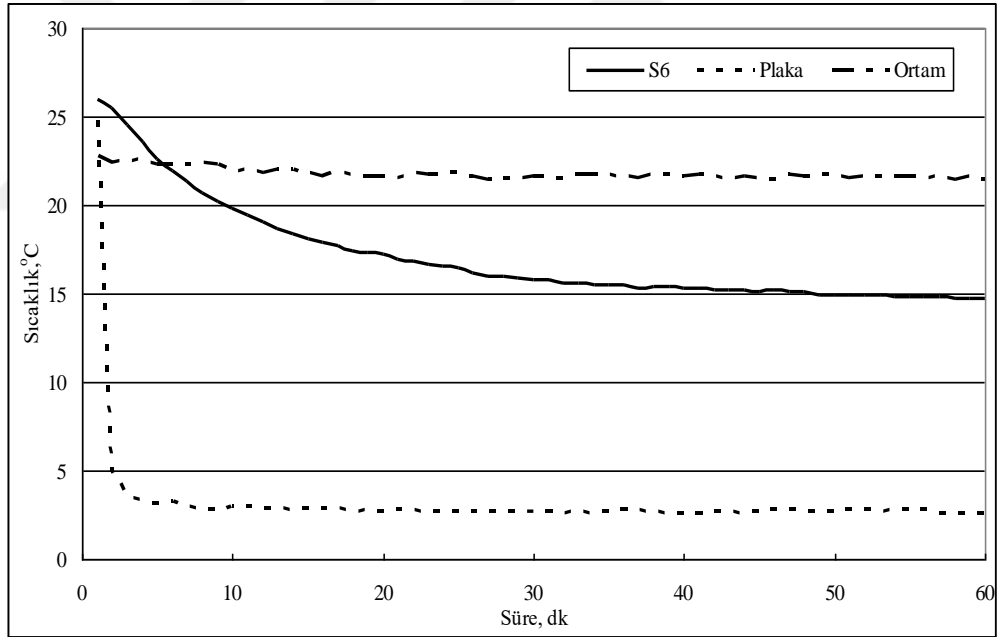
Şekil 4.3. S3 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



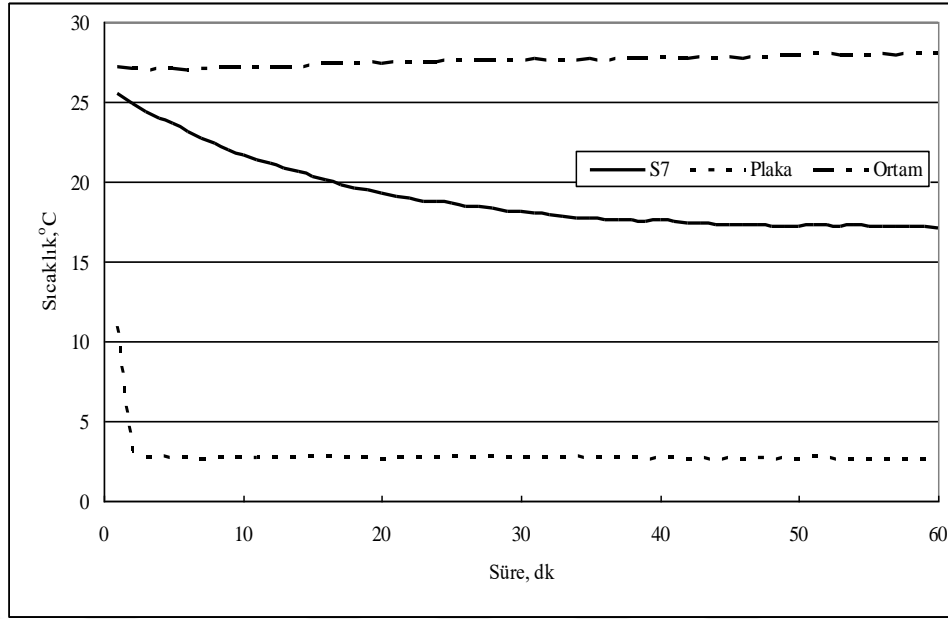
Şekil 4.4. S4 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



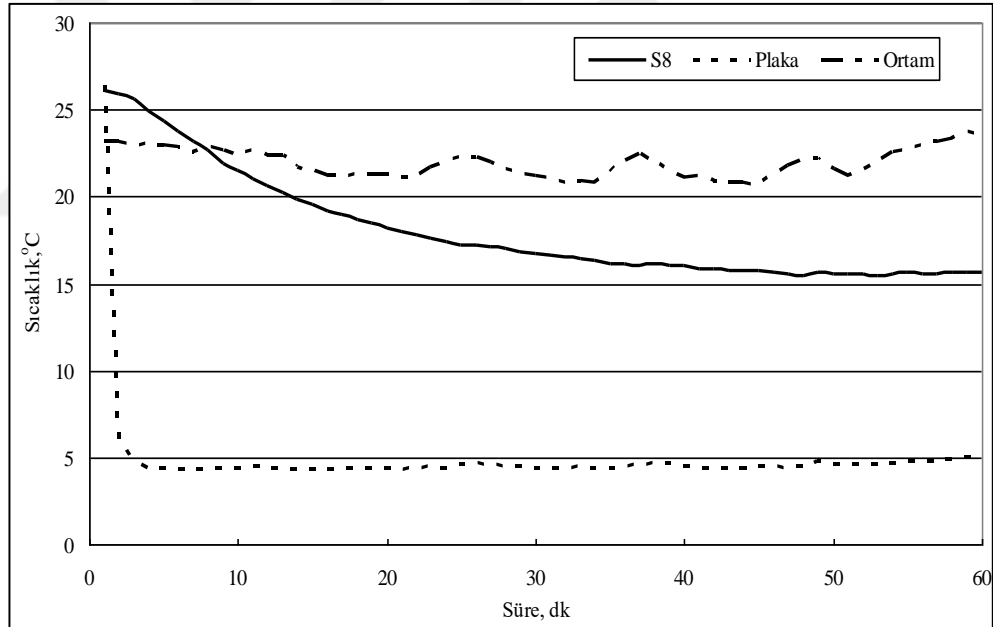
Şekil 4.5. S5 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



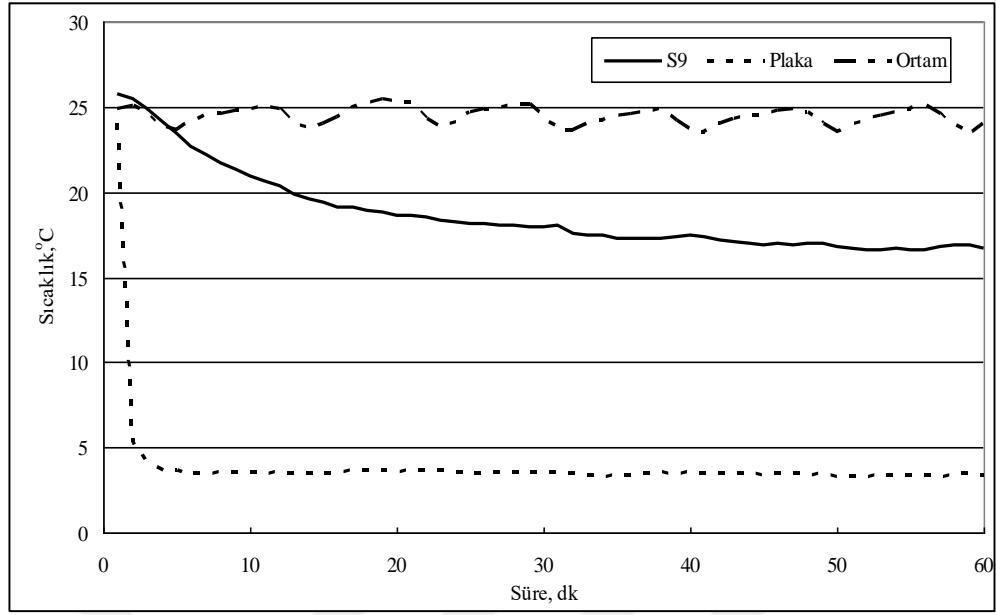
Şekil 4.6. S6 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



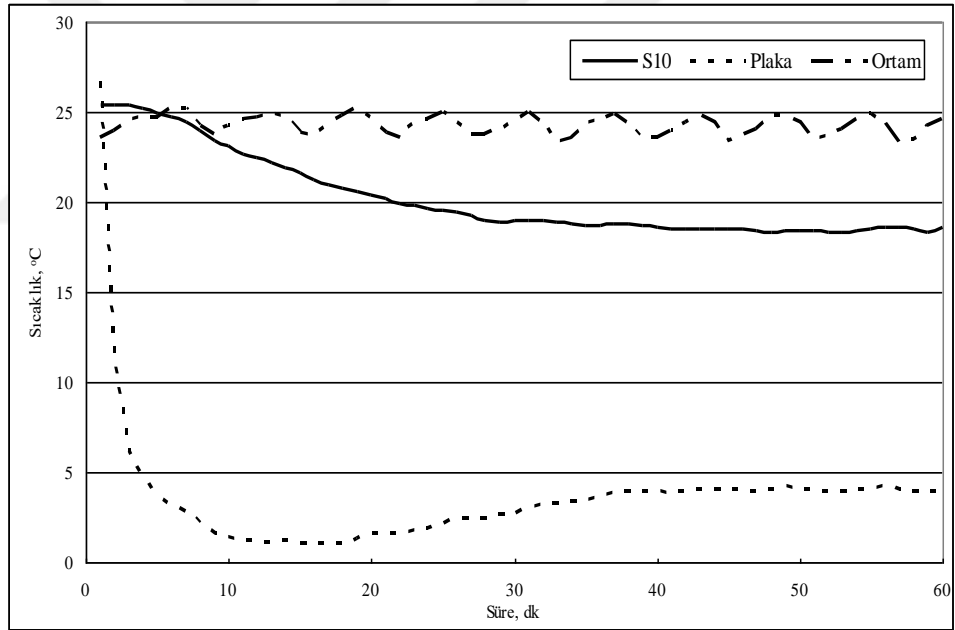
Şekil 4.7. S7 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



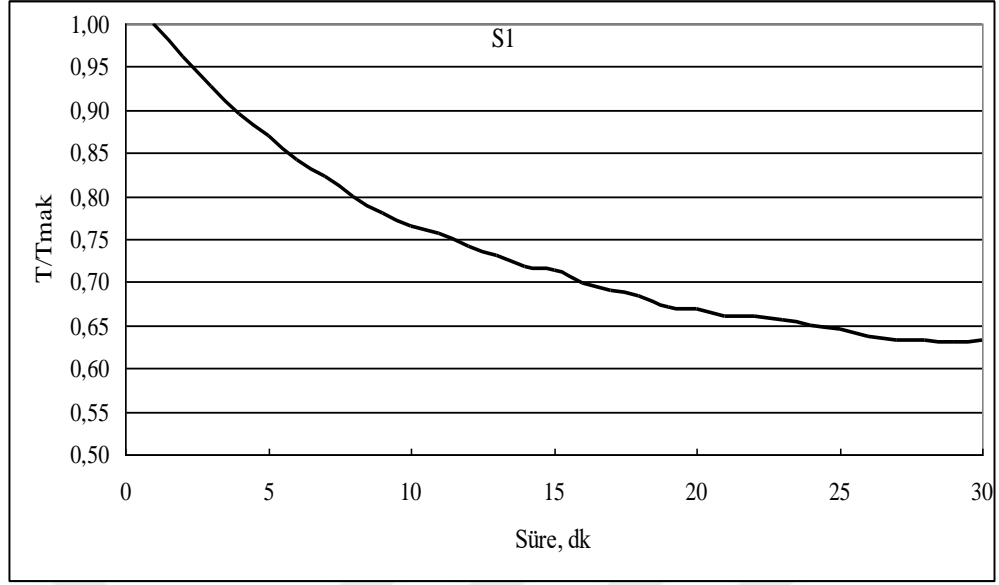
Şekil 4.8. S8 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



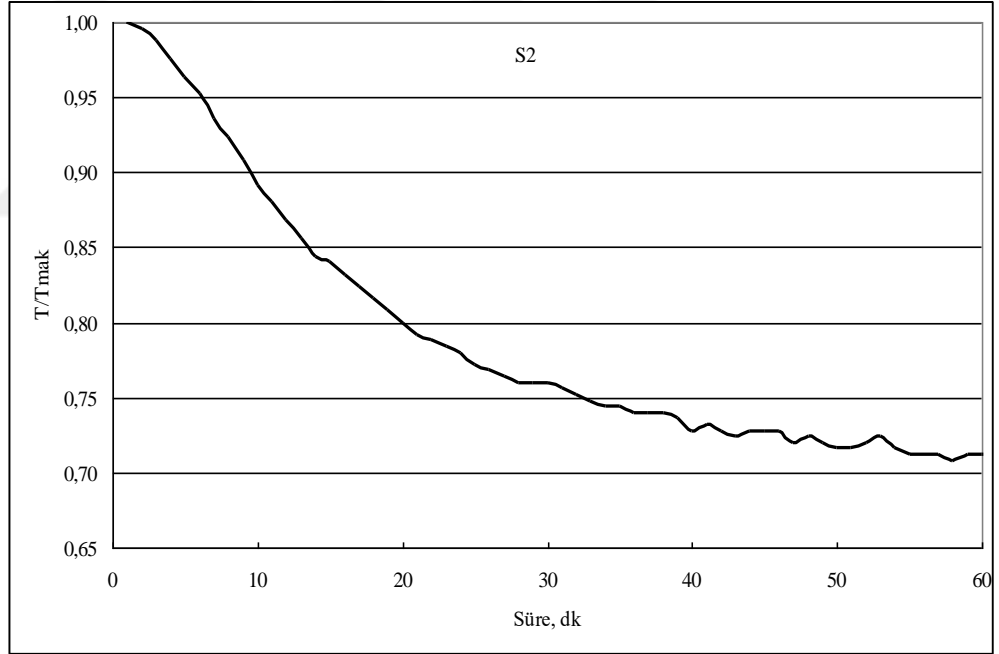
Şekil 4.9. S9 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



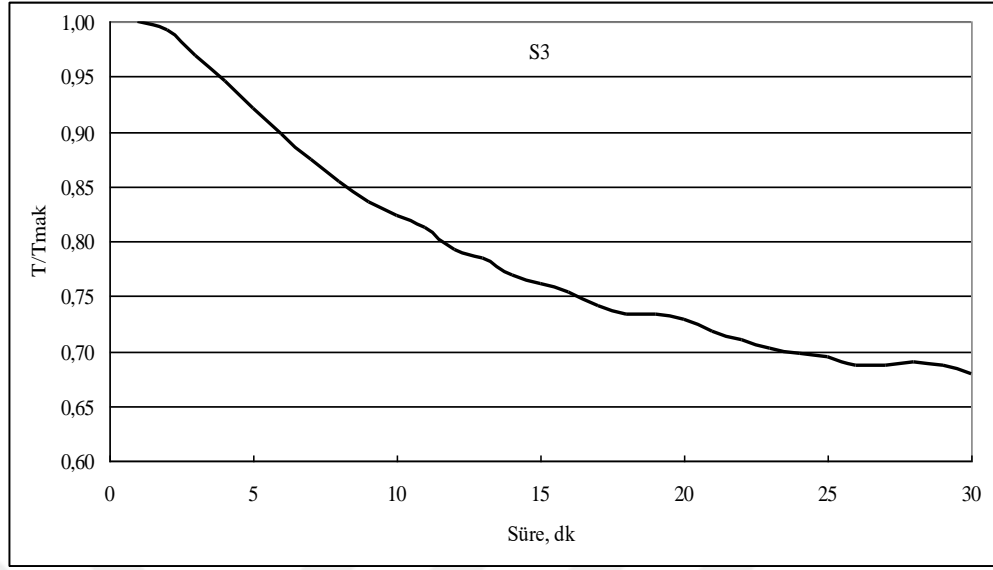
Şekil 4.10. S10 numunesi için sıcaklık değişimi-süre eğrileri



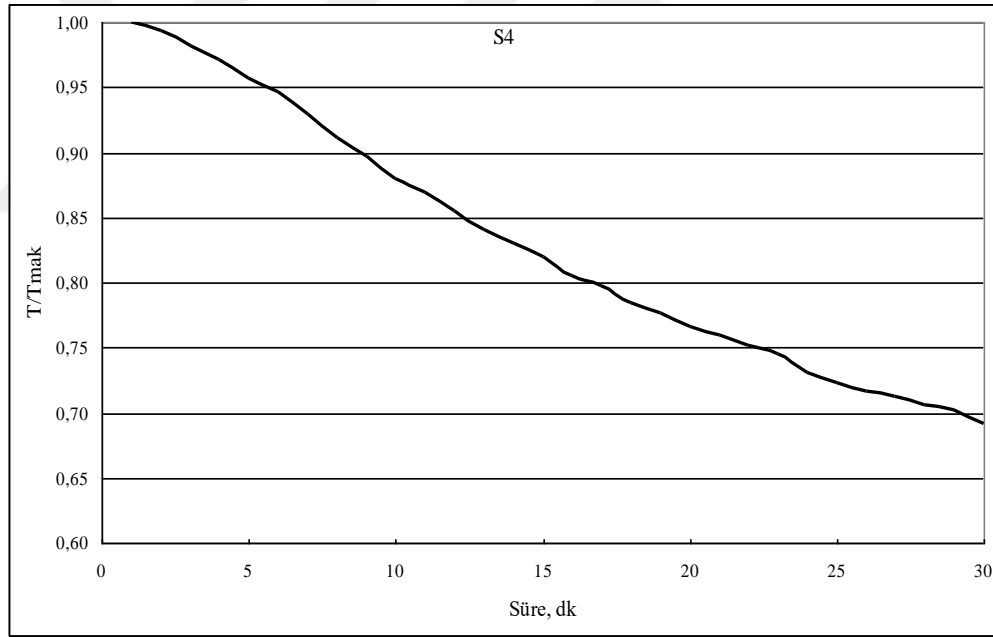
Şekil 4.11. S1 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



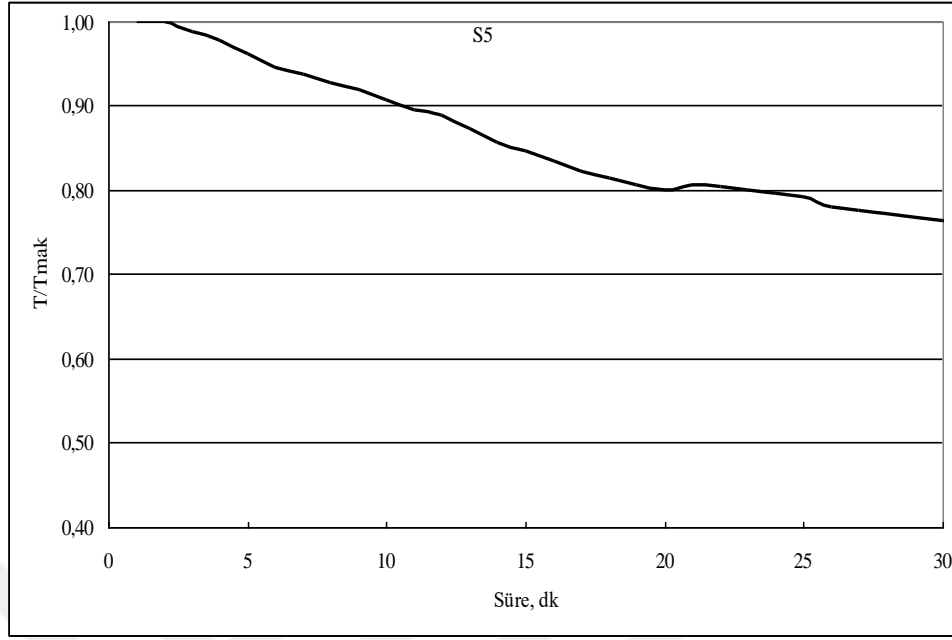
Şekil 4.12. S2 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



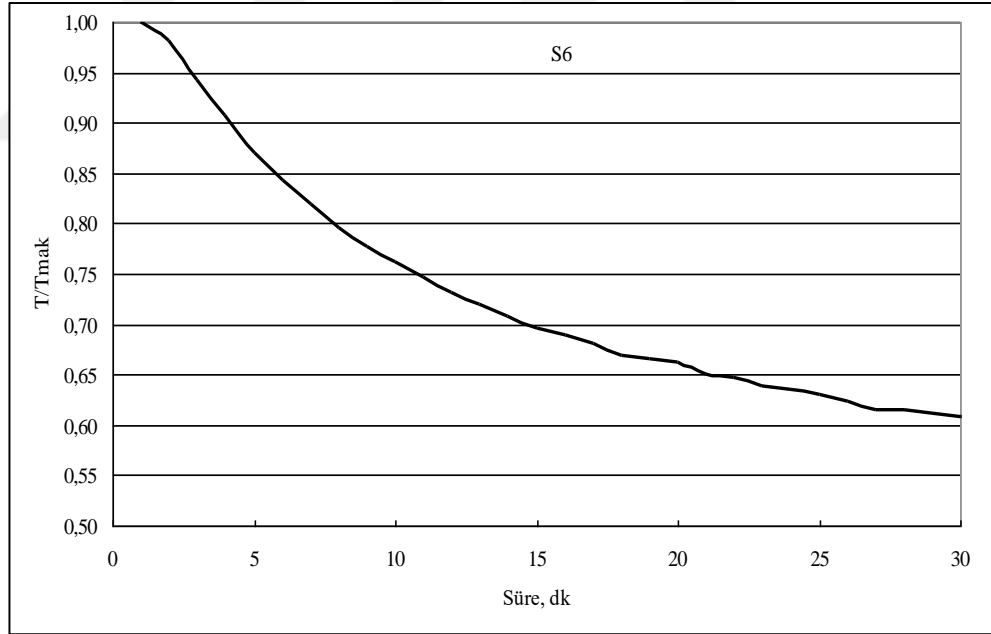
Şekil 4.13. S3 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



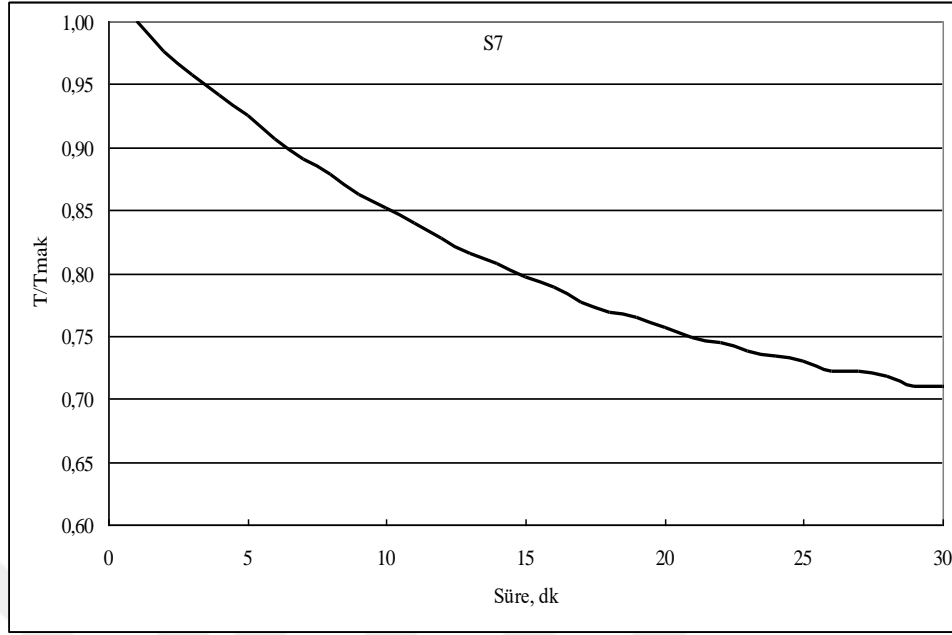
Şekil 4.14. S4 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



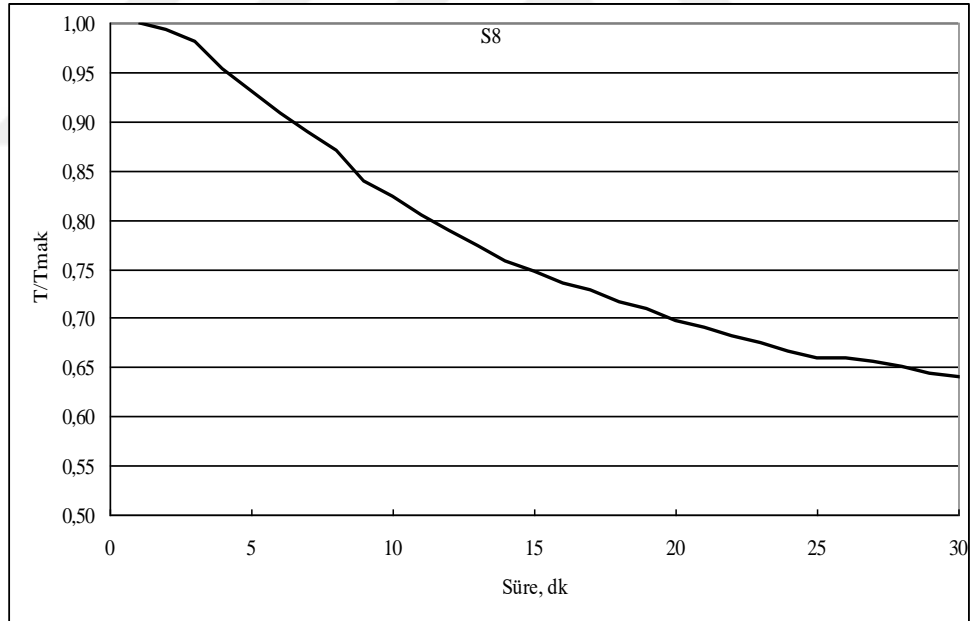
Şekil 4.15.S5 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



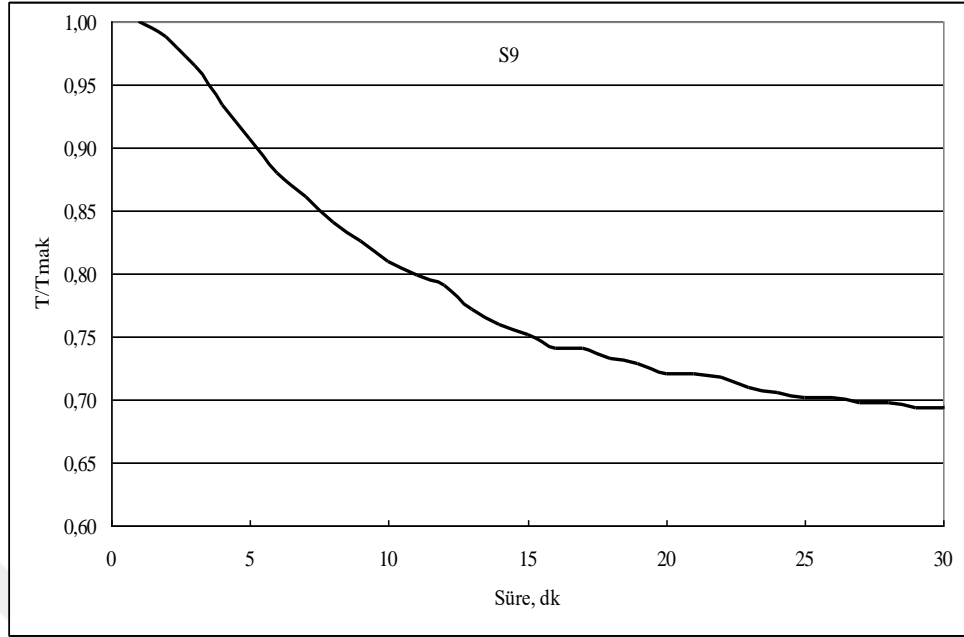
Şekil 4.16. S6 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



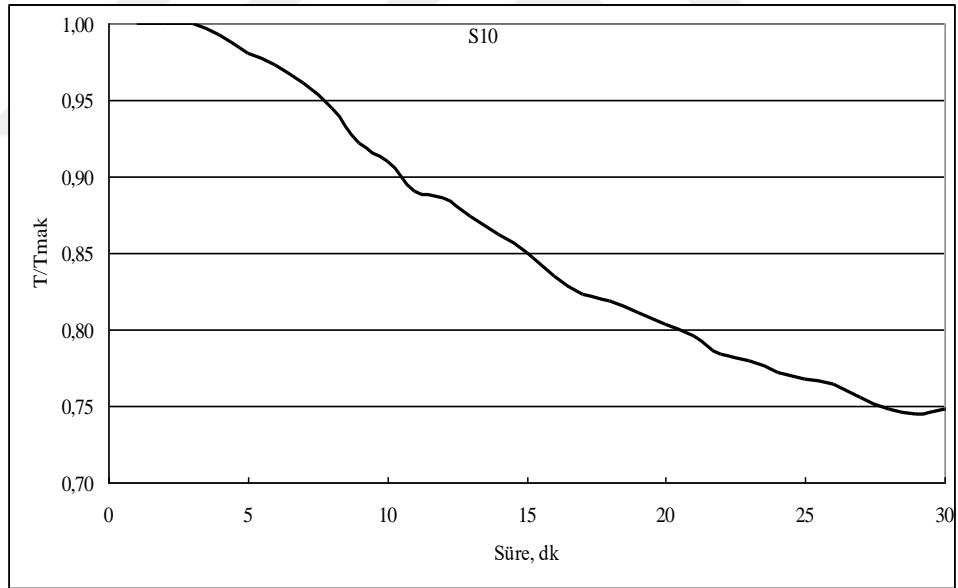
Şekil 4.17. S7 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



Şekil 4.18. S8 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



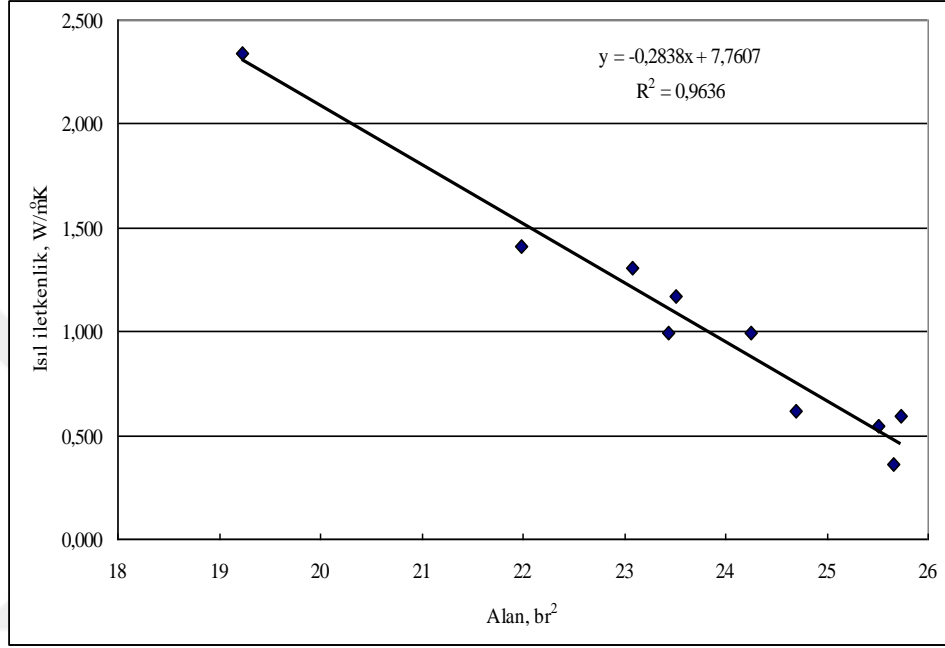
Şekil 4.19. S9 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi



Şekil 4.20. S10 numunesi için normalize edilmiş sıcaklık değişimi-süre eğrisi

Çizelge 4.1. Numunelerin normalize edilmiş eğrileri altında kalan alan ve ısı iletkenlik değerleri

Numune Adı	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Eğri Altındaki Alan, br ²	21.98	25.51	23.51	24.69	25.74	19.23	24.26	23.09	23.43	25.67
Isıl İletkenlik W/m ^o K	1.409	0.544	1.169	0.614	0.589	2.340	0.996	1.309	0.990	0.363



Şekil 4.21. Numunelerin ısı iletkenlik değerleri ile eğriler altındaki alanların ilişkisi

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Geliştirilen düzenek kullanılarak, seramik türü malzemelerin ısı iletkenlik değerleri numunelerin soğuma eğrilerinin altında kalan alanları kullanarak geliştirilen bağıntı yardımıyla yaklaşık olarak bulunabilir. Önerilen bağıntının korelasyon katsayısı 1'e yakındır. Önerilen bağıntı, 0.363 ile 2.340 W/m²K ısı iletkenlik değerleri arasındaki değerleri vermektedir. Daha küçük ya da daha büyük ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinde geçerliliğine, daha küçük veya daha büyük ısı iletkenlik değerine sahip malzemeler test edilerek karar verilmelidir.
- Önerilen yöntem, pratik olmasının yanında ucuzdur. Yapı malzemesi üreten küçük işletmeler, pahalı cihaz yatırımlarına ihtiyaç duymadan ürünlerinin ısı iletkenlik değerlerini kontrol etmede bu yöntemi kullanabilir.
- Aynı anda, çok sayıda farklı özelliğe sahip numunelerin ısı iletkenlik değerleri ölçülebilir.
- Bu ölçüm yönteminde, ısı akışı doğrultusunda yani numunenin yüksekliği hariç diğer boyutları önemli değildir. Ayrıca prizmatik veya silindirik numuneler kullanılabilir.
- Önerilen yöntemin, polimer türü malzemelerde kullanılabilirliği, çok daha küçük ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemeler kullanılarak ve gerekli korelasyonlar yapılarak araştırılabilir. Bu konu ileri çalışmalar olarak kalacaktır

KAYNAKLAR

- ALESSANDRO, F., 2007. An apparatus for the routine measurement of thermal conductivity of materials for building application based on a transient hot-wire method. *Applied Thermal Engineering*, 27(14–15): 2495-2504.
- ASTM C177, American Society for Testing and Materials: Standard Test Method for Steady State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Mean of the Guarded Hot Plate Apparatus.
- ASTM C335/C335M, American Society for Testing and Materials : Standard Test Method for Steady-State Heat Transfer Properties of Pipe Insulation.
- ASTM C518, American Society for Testing and Materials : Standard Test Method for Steady State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- ASTM C1113/C1113M – 09, American Society for Testing and Materials : Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique).
- ASTM D 5930-01, American Society for Testing and Materials : Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line Source Technique.
- ASTM E1530-11, American Society for Testing and Materials : Standard Test Method for Evaluating the Resistance of Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique.
- BUCK, W. and S. RUDTSCH., 2006. 8. Thermal Properties Springer Handbook of Materials Measurement Methods, H. Czichos, T. Saito, and L. Smith, Editors. Springer Berlin Heidelberg. p. 399-429.
- EUROPEAN STANDARD, EN 12667: Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Products of high and medium thermal resistance.
- EVCİL, N., 2000. Isı İzolasyon ve Dış Duvarların Enerji Etkin Yenilenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- INCROPERA , F.P., 2011. Fundamentals of heat and mass transfer, p.225.
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 8302: Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Guarded hot plate apparatus.
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 8894-1: Refractory materials – Determination of thermal conductivity – Part 1: Hot-wire methods (cross-array and resistance thermometer).
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 8894-2: Refractory materials – Determination for thermal conductivity – Part 2: Hot-wire method (parallel).
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 22007-2: Plastics – Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity – Part 2: Transient plane heat source (hot disk) method.
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 22007-1 Plastics - Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity - Part 1: General Principles, 2009.

- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 22007-2, 2008. Plastics -Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity - Part 2: Transient plane heat source (hot disk) method.
- MAGLIC, A.C., V.E. PELETSKY., 1984. Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods, Survey of Measurement Techniques New York: Plenum Press. p.789
- MAHANTA, N.K. and A.R. ABRAMSON., 2010. The dual-mode heat flow meter technique: A versatile method for characterizing thermal conductivity. International Journal of Heat and Mass Transfer, 53(23–24): 5581-5586.
- WILLIAM, W. and A. MARC., 1999. Thermal Conductivity Measurement, in The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM, CRC Press.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aslı ŞİMŞEKLİ
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : SURUÇ- 28.11.1990
Telefon : 0543 802 66 37
E-mail : asimsekli@outlook.com.tr

EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe,	İl,	BitirmeYılı
Lise	: Suruç Anadolu Lisesi-		Suruç/Şanlıurfa	2008
Üniversite	: Balıkesir Üniversitesi-		Balıkesir	2015
Üniversite	: Anadolu Üniversitesi-		Eskişehir	2017
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi-		Şanlıurfa	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	Ferzan Yapı Denetim	Stajyer Mühendis
2014	Özbal Yapı Denetim	Yardımcı Kontrol Mühendisi
2015	Lal Gayrimenkul Değerleme	Gayrimenkul Değerleme Uzmanı
2017	Töre İnşaat	İnşaat Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Yapı Malzemesi