

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOMPOZİT YAPI MALZEMELERİNDE ISIL ÖZELLİK ÖLÇÜMÜ

Ramazan KALKAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2008**

Doç. Dr. Bülent YEŞİLATA danışmanlığında, Ramazan KALKAN'ın hazırladığı "Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü" konulu bu çalışma 26/11/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Bülent YEŞİLATA

Üye : Doç. Dr. Hüsamettin BULUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT

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

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

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
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1. Kuramsal Materyal.....	9
3.1.1. Sürekli rejim ölçüm yöntemleri ve özellikleri.....	9
3.1.1.1. Muhafazalı ısı akış metodu.....	11
3.1.1.2. Sıcak levha metodu.....	16
3.1.1.3. Isıl kutu metodu ile ısı özellik ölçümü.....	23
3.1.2. Geçici rejim ölçüm yöntemleri ve özellikleri.....	31
3.2. Deneysel Materyal.....	36
3.3. Yöntem.....	39
3.3.1. Split klimalı soğuk oda deneyleri.....	39
3.3.1.1. Soğuk oda içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi.....	39
3.3.1.2. Yüksek yoğunluklu polistiren köpük(XPS) ve tahta malzemenin ısı geçirgenliklerinin kıyaslanması.....	40
3.3.1.3. Hurda lastik katılmış betonlarda test numunesi kenarının yalıtılarak, ısı geçirgenlik deneylerinin yapılması.....	40
3.3.2. Evaporatörlü soğuk oda deneyleri.....	41
3.3.2.1. Şerit tipi hurda lastik katılmış test numunesinin farklı bölgelerindeki sıcaklıkların ve ısı köprülerinin araştırılması.....	42
3.3.2.2. Küçük boyutlarda test numunesi ve adyabatik kutu kullanılarak bölgesel urfa taşı malzemesinin ısı geçirgenlik deneyleri.....	42
3.3.3. Buz kütlesi üzerinde küçük boyutlu test numunesi deneyleri.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	45
4.1. Split Klimalı Soğuk Oda Deneyleri.....	45
4.1.1. Soğuk oda içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi.....	45
4.1.2. Yüksek yoğunluklu polistiren köpük (XPS) ve tahta malzemenin ısı geçirgenliklerinin kıyaslanması.....	46
4.1.3. Hurda lastik katılmış betonlarda test numunesi kenarının yalıtılarak, ısı geçirgenlik deneylerinin yapılması.....	50
4.2. Evaporatörlü Soğuk Oda Deneyleri.....	55
4.2.1. Şerit tipi hurda lastik katılmış test numunesinin farklı bölgelerindeki sıcaklıkların ve ısı köprülerinin araştırılması.....	55
4.2.1.1. N4 nolu numune ile yapılan deneyler.....	55
4.2.1.2. N5 nolu numune ile yapılan deneyler.....	57
4.2.2. Küçük boyutlarda test numunesi ve adyabatik kutu kullanılarak bölgesel urfa taşı malzemesinin ısı geçirgenlik deneyleri.....	59
4.3. Buz Kütlesi Üzerinde Küçük Boyutlu Test Numunesi Deneyleri.....	61
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	64
5.1. Sonuçlar.....	64
5.2. Öneriler.....	66
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71
ÖZET.....	72
SUMMARY.....	74

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT YAPI MALZEMELERİNDE ISIL ÖZELLİK ÖLÇÜMÜ

Ramazan KALKAN

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Doç. Dr. Bülent YEŞİLATA
Yıl : 2008, Sayfa : 75**

Bu tez çalışmasında; kompozit yapı elemanlarının ısı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, pratik ve ekonomik bir ısı test düzeneği geliştirmeye yönelik çok aşamalı bir çalışma yöntemi izlenmiştir. Birinci aşamada, ileri mühendislik malzemelerinin ısı özellik ölçümünde kullanılan yaygın teknikler ile ilgili bir irdeleme yapılmıştır. Bu kapsamda; önce sürekli rejim teknikleri, daha sonra ise geçici rejim teknikleri olmak üzere, mevcut ısı test yöntemleri detaylı olarak araştırılmıştır. Bir sonraki aşamada, adyabatik kutu tekniği olarak bilinen bir teknik kullanılarak, kapsamlı ısı test deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler süresince, adyabatik kutu tekniği ile ölçüm sırasında etkili parametreler araştırılmıştır. Doğruluk derecesinin artırılmasına yönelik koşullar belirlenmiştir. Son aşamada ise, küçük boyutlu yapı malzemelerinin ısı testine yönelik, farklı düzenekler oluşturulmuştur. Bu düzeneklerden bir tanesi olan, buz kütleli soğuk plaka tekniği ile aynı anda çok sayıda test numunesinin ısı testi bir saatten daha az bir sürede tamamlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Isı test, ısı iletkenlik, ısı geçirgenlik, yapı malzemesi, kompozit.

ABSTRACT

Master Thesis

THERMAL PROPERTY MEASUREMENT IN COMPOSITE CONSTRUCTION MATERIALS

Ramazan KALKAN

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

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA
Year : 2008, Page : 75**

In this thesis, a multi-step research methodology is followed for development of a practical and inexpensive thermal testing technique for composite construction materials. In the first step, common thermal testing methods for advanced engineering materials including the composite building materials are briefly reviewed. Under this heading, first steady state and then transient thermal testing techniques, which presently exist, are examined in detail. In the next step, comprehensive thermal test experiments are performed by using a ready technique, known as the adiabatic box technique. During these experiments, effective parameters in measurements by this technique are investigated and necessary conditions to improve accuracy of the technique are determined. In the final step, various apparatuses are developed for thermal testing of construction materials in small sizes. Simultaneous thermal testing of several test samples are accomplished in less than an hour with one of these apparatus, in which there is a cold plate sitting on large ice mass.

Keywords : Thermal test, thermal conductivity, thermal transmittance, composite, construction material,

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasının tÖm aŐamalarında benden zamanını, bilgisini ve desteğini esirgemeyen danıŐmanım Doç. Dr. BÖlent YEŞİLATA'ya, özellikle test çalıŐmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT ve birçok farklı noktadaki katkılarından dolayı Doç. Dr. HÖsamettin BULUT'a ve çalışmanın baŐından sonuna kadar maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ArŐ. Gör. Yusuf IŞIKER'e Őukranlarımı sunuyorum. Ayrıca bu projeye destek veren Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu (HÖBAK)'na teşekkür ediyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Fourier ısı iletim yasasının plaka tipi numuneler için şematik gösterimi.....	10
Şekil 3.2. Silindirik test numunelerinde ısı iletim katsayısı ölçümü.....	11
Şekil 3.3. Isı akış yönteminin şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.4. Muhafazalı ısı akış ölçer veri analizi.....	14
Şekil 3.5. Isı akış metodu ile ısı özellik ölçüm cihazı.....	15
Şekil 3.6. Sıcak levha metodu çalışma prensibi şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.7. Sıcak plaka cihazı.....	19
Şekil 3.8. Isıl kutu yönteminin şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.9. Kalibrasyon ve çevreleme paneli şematik gösterimi.....	26
Şekil 3.10. Isıl kutu yönteminde hesaplamada etkili ısı parametrelerin gösterimi.....	31
Şekil 3.11. Temaslı geçici rejim tekniğinde kullanılan a) Test numunesi tasarımı, b) Sinyal-veri kontrol sistemi blok diyagramı.....	33
Şekil 3.12. Lazer aydınlatma tekniğinin şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.13. Adyabatik kutu/hazne tekniğinin şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.14. Adyabatik hazneye ait geometrik boyutlar.....	37
Şekil 3.15. Split klimalı soğuk oda test düzeneği ve bileşenleri.....	38
Şekil 3.16. Deneylede kullanılan tek kanallı ve çok kanallı sıcaklık ölçme cihazları.....	39
Şekil 3.17. Soğuk odanın boş konumda görüntüsü.....	40
Şekil 3.18. Deney numunesinin köpük ile kenar yalıtımının	40
Şekil 3.19. Evaporatörlü soğuk odanın şematik çizimi ve önden çekilmiş görüntüsü.....	41
Şekil 3.20. 4x2 sıralı şerit lastikli numueye ait sıcaklık ölçüm noktalarının ve ısı çift bağlantılarının gösterilmesi.....	42
Şekil 3.21. Urfa taşından hazırlanmış test numuneleri.....	43
Şekil 3.22. Buz kütlesi üzerine yerleştirilmiş test numuneleri ve deneyler sırasında sıcaklık ölçüm aparatının görünümü.....	44
Şekil 4.1. Soğuk oda içi sıcaklık dağılımı.....	46
Şekil 4.2. XPS köpük ve tahta numunelere ait boyutsuz sıcaklık değişimleri.....	47
Şekil 4.3. XPS köpük ve tahta numunelere ait boyutsuz sıcaklık değişimleri.....	48
Şekil 4.4. Deneylede kullanılan şerit biçiminde hurda lastik katkılı beton numunelere ait geometrik boyutlar.....	50
Şekil 4.5. 4x2 sıralı (N4) numunenin kenar kısımları yalıtılmış ve yalıtılmamış konumdaki boyutsuz sıcaklık değişimleri.....	51
Şekil 4.6. Numunelerin üst yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri.....	52
Şekil 4.7. Deneyler sırasında dış ortam sıcaklık değişimleri.....	53
Şekil 4.8. Deneyler sırasında soğuk hacim içerisinde farklı noktalarda sıcaklık değişimi..	54
Şekil 4.9. N4 numaralı numune sıcaklık değerleri.....	55
Şekil 4.10. N4 numaralı numune için sıcaklık değişimleri.....	56
Şekil 4.11. N5 numaralı numune için sıcaklık değişimleri.....	57
Şekil 4.12. N5 numaralı numune için sıcaklık değişimleri.....	59
Şekil 4.13. Urfa taşından oluşan küçük boyutlu numune ve soğuk oda yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri.....	60
Şekil 4.14. Test numuneleri ile plaka ve ortam sıcaklık değişimleri.....	62
Şekil 4.15. Test numunelerine ait sıcaklık değişimlerinin kararlı bölgede gösterimi.....	63
Şekil 5.1. a) Şerit lastikli numunelerde ısı akış yönü tahmini b) Homojen yüzey sıcaklığı sağlamak için alternatif numune önerileri.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Kullanımı yaygın ‘Sürekli rejim teknikleri’ ve ölçüm aralıkları.....	11
Çizelge 3.2. Geçici rejim yöntemleri ve ölçüm aralıkları.....	32
Çizelge 3.3. Temas yüzeyli geçici rejim teknikleri.....	34
Çizelge 4.1. Isıl testi yapılan numunelerin yalıtım performanslarının karşılaştırılması.....	49
Çizelge 4.2. Isıl test uygulanan numuneler.....	61

SİMGELER DİZİNİ

Q	Isı gücü
k	Isı iletim katsayısı
A	Alan
T	Sıcaklık
d	Kalınlık
θ	Boyutsuz sıcaklık
c_p	Suyun özgül ısısı
R _{int}	Arayüzey ısı direnci
R _s	Isıl direnç
F	Isı kalibrasyon faktörü
L	Numune boyu
q	Isı akısı
Φ	Isı akış hızı
m	kütle
τ	zaman

1. GİRİŞ

Enerji talebi son yıllarda çok hızlı bir artış göstermektedir. Mevcut kullanılan enerji kaynaklarının hızla tükenme noktasına gelmesine bağlı olarak yeni enerji kaynakları arayışları devam etmekle birlikte, mevcut enerjinin en verimli şekilde kullanılmasına yönelik çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Üretilen enerjinin önemli bir kısmı binalarda ısıtma ve soğutmada kullanılmaktadır. Yapılar ısı hesapları yapılmadan ve ısı kayıpları dikkate alınmadan inşa edildiğinden binaların yıl içerisindeki enerji harcaması artmaktadır. Son yıllarda kullanılan enerji talebinin artmasına paralel olarak, enerji maliyetlerinin de artması sonucu enerjinin nasıl verimli kullanılacağına yönelik araştırmalarda artışlar olmuştur.

Yapılarda ısı iletimini azaltmak için yapı elemanları ile birlikte ısı iletkenliği çok düşük olan yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, cam yünü, bims, straforlu bims, v.s) geliştirilmiş olup günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yalıtım malzemeleri iki duvar arasında, duvar dışında veya bina içerisinde kullanılabilir. Sonradan yalıtım yapılan binalarda yalıtım malzemeleri, bina içerisinden (alçıpan altına) veya bina dışından (mantolama) yapılırken; inşaat aşamasında ise bina içerisinden ve bina dışından yapılabildiği gibi iki duvar arasından da yapılabilir. Binalarda uygulanan yalıtım sistemlerinin maliyeti yüksek olduğundan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmasına ilave olarak yapı malzemelerinin ısı iletim özelliklerini değiştirmek amacıyla çalışmalar da yapılmaktadır. Bu amaçla, ısı iletim katsayısı yüksek yapı elemanlarına ısı iletim katsayısı düşük malzemeler ilave edilerek oluşan kompozit yapı elemanın ısı iletkenliği değiştirilmektedir (betopan, bims, gazbeton, v.s). Isı iletim katsayısı düşük olan katkı malzemelerinden birisi de, çevremizde bolca bulunan hurda araç lastikleridir. Lastik yapımında kullanılan kauçuk maddesinin uzama katsayısı yüksek, ısı iletkenliği düşük olduğundan yapı malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Katkı malzemelerinin ısı özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi, malzemenin kullanıldığı uygulamada arzu edilen optimum performansa ulaşmak açısından oldukça önemlidir. Uzun yıllardır bu amaçla geliştirilen birçok ölçüm tekniği bulunmaktadır. Mevcut tekniklerle homojen ve izotropik katı bir malzemenin ısı özelliklerini oluşturan parametrelerden (ısı iletkenlik katsayısı, ısı yayılma katsayısı, özgül ısı ve ısı geçirgenlik) biri ya da birden fazlası ölçülebilmektedir. Ancak mühendislik malzemelerinde özellikle son çeyrek asırda sağlanan gelişmelerle, malzemelerin mikro ve makro seviyedeki iç yapısında homojen ve izotropik koşuluna uymayan karmaşıklıklar bulunmaktadır (örneğin seramikler, kompozitler). Bu durumda mevcut tekniklerin birçoğu ile doğru ölçüm yapabilmek zorlaşmaktadır. Isı özellik ölçümü için mevcut tekniklere uygulanan ek düzeneklerin maliyeti yüksektir. Karmaşık içyapıdaki malzemenin ısı özelliklerinin belirlenmesi için, literatürde verilen hazır tablolardan yararlanma olanağı da yoktur. Çünkü malzemenin bileşenlerinde, imalat şeklinde ve kullanım alanında oluşacak küçük farklar bile, ısı özelliklerde önemli sayılabilecek oranda değişim yaratmaktadır. Bu nedenle, karmaşık yapıya sahip malzemelerde ısı özelliklerin ölçümünün doğrudan kullanılacak malzemeyle yapılması gereklidir.

Kompozit yapı malzemelerinin ısı özellik ölçümünde yukarıda bahsedilen zorluklara ek olarak; ısı iletim katsayılarının düşüklüğü sebebiyle, büyük boyutlarda test numunesi kullanımı gereklidir. Bu nedenle yapı malzemeleri için, uygulama esnasında karşılaşılan sıcaklık aralıklarındaki ısı iletim katsayısı değerinden ziyade, termal geçirgenlik (yada toplam ısı transfer katsayısı) değerinin ölçülmesi daha fazla tercih edilebilmektedir.

Yukarıda kısaca özetlenen açıklamalardan anlaşılacağı üzere; ısı özelliklerin ölçümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerle ilgili detaylı bir literatür çalışmasına ve kompozit yapı malzemelerinin ısı özelliklerinin direkt ya da dolaylı ölçümü için basit ve ekonomik bir yöntem gereksinim vardır. Bu nedenle mevcut tez çalışmasında; ileri mühendislik malzemelerinin ısı özellik ölçümü için kullanılan yaygın tekniklerin tümü detaylı olarak irdelenmiş ve yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik değerinin kendi aralarında kıyaslanmasına olanak sağlayan basit ve ekonomik deneysel bir yöntem geliştirilmesine yönelik çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yürütülmesi sırasında takip edilen sistematik aşamalar aşağıda belirtilmiştir:

- a) ‘Sürekli Rejimde Isıl Özellik Ölçüm Teknikleri’ kapsamında bulunan ve yaygın olarak kullanılan aparatlara yönelik teorik ve deneysel esaslar detaylı olarak irdelenmiştir.
- b) ‘Geçici Rejimde Isıl Özellik Ölçüm Teknikleri’ kapsamında bulunan aparatlar irdelenmiştir. Ancak, detaylı irdeleme sadece ‘Temas Elemanlı Geçici Rejim Teknikleri’ kapsamında yapılmıştır.
- c) Madde (a) ve (b)’ de belirtilen irdemeler doğrultusunda, farklı kompozisyona sahip iki kompozit yapı malzemesinin ısı geçirgenlik değerleri arasında kıyaslama yapılabilmesine olanak sağlayan farklı düzenekler tasarlanmıştır.
- d) Madde (c)’de belirtilen düzenekler kullanılarak, deneme ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kompozit yapı malzemelerinin en önemli ve güncel uygulaması, içerisinde ısı iletim katsayısı düşük ekonomik katkı malzemelerinin bulunduğu entegre ürünlerdir. Bu tür entegre ürünlerde, katkı maddesi olarak genellikle atık malzemelerin (hurda lastik, atık kağıt ürünleri, pet şişe vb) kullanımı tercih edilmektedir. Ancak bu tür kompozit ürünlerde ısı yalıtım performansının belirlenmesinde bazı önemli teknik zorluklar yanında, standart cihazların ekonomik bedellerinin yüksekliği de söz konusudur. Binalarda enerji verimliliğini yükseltmek amacıyla kullanılma potansiyeli bulunan atık malzeme katkı, entegre ya da kompozit yapı elemanlarının ısı performans ölçümlerine yönelik ekonomik bir yöntem geliştirilmesi bu nedenle önemlidir (Yeşilata ve ark., 2008).

Gelişmiş ülkelerde uygulanan sistematik ve istikrarlı enerji politikalarının katkısıyla daha ekonomik şartlarda elde edilebilen ısı konforu, Türkiye’de halen çok yüksek bedel ile temin edilebilmektedir. Merkezi ısıtma sistemlerinin kullanıldığı binalarda, ısı yalıtım standartlarının yetersizliği sonucu, bir m² alanın ısıtılması amacıyla yılda ortalama 250-350 kWh enerji harcanmaktadır (Işıkkel, 1999). Isıtma amacıyla binalarda birim m² başına harcanan enerji gelişmiş ülkelerde 50-100 kWh arasında değişmektedir. Ülkemizde ısıtma ihtiyacı için harcanan enerjinin yaklaşık % 85’lik kısmı birincil yakıtlar olup, bu yakıtların tükenmeye yüz tutuyor olması ve atmosfere bıraktığı zararlı emisyonlar dolayısıyla, ülkemizde enerji tasarrufuna yönelik uygulamaların kaçınılmaz olduğu gerçeği ortadadır.

Bu doğrultuda, 1992 yılında Rio De Janeiro’daki çevre kalkınma konferansında ve 1997 yılında da Kyoto’daki iklim değişikliği sözleşmesinde, enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının düşürülmesi için alınan ortak kararlara, Türkiye de uyacağını taahhüt etmiştir. Bu kararlarda, sera gazı emisyonunun artmasından kaynaklanan küresel ısınmanın dünya için bir tehdit oluşturduğu kabul edilerek, acil tedbirlerin alınması gereği ifade edilmektedir. Buna göre, enerji tasarrufunun artırılması ve özellikle bina ısıtma-soğutma

uygulamalarındaki enerji tüketiminin azaltılması için gerekli teknolojilerin uygulanarak, yaygınlaştırılması öngörülmektedir (Çimen, 1999).

Ülkemizde bu konuda atılmış en önemli adım olarak, 1985 yılından beri uygulanan “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardının (TS 825, 1985) revize edilerek Nisan 1998’de yürürlüğe girmesi (TS 825, 1998) ve 14 Haziran 1999 tarihli Resmi Gazete’de, bir yıl içerisinde zorunlu olarak uygulanmaya başlanması kaydıyla, yayınlanması gösterilebilir. Söz konusu standart doğrultusunda, ısıtma için bir m² başına harcanan enerjinin; 4. iklim bölgesi hariç olmak üzere, 64-120 kWh seviyelerine indirilmesi amaçlanmış olmakla birlikte, uygulamaya zorunlu olarak geçirilmesi aradan geçen uzun süreye karşın mümkün olamamıştır. Bu sonucun ortaya çıkmasının temel nedeni; yalıtım amaçlı malzemelerin, inşaat bedelini arttırması olarak gösterilebilir. İşletme masrafındaki azalmanın, uzun yıllar bazında bu maliyeti telafi edeceği konusu, ısrarla ikinci plana atılmaktadır. Bu nedenle, yalıtım malzemesi seçiminde ekonomiklik en önemli etken olma özelliğini sürdürmektedir (Aktacir ve ark., 2000).

Özellikle son çeyrek asırda, atık ya da ucuz malzemeler kullanılarak betonun bazı özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde çalışmalar büyük hız kazanmıştır. Bu tür araştırmalar, ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler açısından büyük önem arz etmektedir. Çünkü, yapı malzemesi ve nakliye maliyetindeki düşüş, ülke ekonomisini ve konut piyasasını canlandırmaktadır. Bu tür araştırmaların yürütüldüğü laboratuvarların önemli çoğunluğunda, ısı özelliklerinin ölçümüne yönelik bir standart test düzeneği bulunmamaktadır. Ayrıca, atık malzeme katkısıyla elde edilen kompozit yapı malzemelerin ısı özelliklerinin belirlenmesinde çeşitli zorluklar söz konusudur. Örneğin, uluslararası (ASTM) standartlara uygun dökülen betonlarda dahi karışımı oluşturan maddelerin dağılımı, boşluk oranı arasında farkların bulunması bu zorluklardan biridir. Bu tür malzemelerdeki ısı iletim katsayısının düşüklüğü, hassas ölçümler için büyük numune boyutları ve uzun test süresi gerektirmektedir (Yeşilata ve ark., 2007).

Yapı malzemelerinde ısı özelliklerinin ölçümü için geliştirilen yöntemlerin en eskileri genellikle ‘Sürekli Rejim Yöntemleri’ kapsamındadır. Söz konusu yöntemlerin önemli bir kısmı standartlaştırılmış olup, halen yaygın olarak kullanılmaktadır (ASTM 2000a ve 2000b). Sürekli Rejim Yöntemleri’nin temeli bir boyutlu Fourier ısı iletim denkleminde dayanmaktadır. Belirli kalınlıkta test numunesinin her iki yüzeyinde arzu edilen sıcaklık farkının yaratılması sonucu, numuneden geçen ısı akısının kontrol ve ölçümü sonucu, test numunesinin ısı iletim katsayısı belirlenebilmektedir. Sürekli Rejim esasına göre ölçüm yapan aparatların en yaygın kullanılanları arasında ‘Sıcak Plaka’, ‘Isı Akış Metre’ ve ‘Sıcak Kutu’ aparatlarını saymak mümkündür. Her bir aparat kendi içerisinde kontrol ve kalibrasyon şekline göre farklı bileşenler içerebilmekte ve ek özelliklerine göre fiyatlandırılmaktadır (Mumaw, 1974; Mumav, 1980).

Sürekli Rejim Yöntemleri’nin, kompozit yapıya sahip numuneler için bazı dezavantajları söz konusudur. Örneğin, katı hacim içerisinde ısı çiftle sıcaklık ölçümü için referans nokta seçiminin etkisi ve ısı temas direnci etkisi gibi ölçüm doğruluğunu tehdit eden sorunlar mevcuttur. Ayrıca sürekli rejime ulaşma süresi, özellikle yapı malzemeleri gibi düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler için çok uzundur (Assael ve ark., 2002; Abdou ve Budaiwi, 2005).

Daha yüksek sıcaklık ve ısı iletim katsayısı aralığında, daha hızlı ölçüm yapabilmek için geliştirilen tekniklerin büyük çoğunluğu ‘Geçici Rejim Yöntemleri’ kapsamına girmektedir. Söz konusu yöntemlerin temelinde dinamik (zamana göre değişen) ölçüm yaklaşımı bulunmaktadır. Ölçüm sonucunda genellikle malzemelerin ısı yayılım katsayısı direkt olarak bulunabilmekte ve eğer malzeme yoğunluğu ile özgül ısı değeri biliniyorsa, ısı iletim katsayısı dolaylı olarak tespit edilmektedir. Bu durum homojen olmayan kompozit yapıları numunelerin testinde önemli bir dezavantaj yaratmaktadır. Ölçüm; katı hacim içerisinde ısı üretimi oluşturmak için gönderilen elektriksel sinyal ile, malzeme içerisinde belirlenen bir noktadaki sıcaklık-zaman davranışının karşılaştırılması esasına göre yapılmaktadır (Gustafsson ve ark., 1984; Gustafsson, 1991).

Bu kapsamda kullanılan tekniklerin önemli bir kısmı son dönemlerde geliştirilmiştir. Özellikle, mühendislik malzeme teknolojisindeki hızlı gelişmeye paralel olarak, aynı hızla gelişmeyi sürdüren ‘Temas Elemanlı Geçici Rejim Yöntemleri’ konusunda yoğun çalışmalar söz konusudur. Söz konusu yöntemlerle kompozitler, seramikler, süper iletkenler gibi homojen ve izotropik olmayan yapıdaki malzemelerin ısı özellikleri belirlenebilmektedir. Ölçüm hızı çok yüksek olmakla birlikte, bu kapsamda kullanılan aparatların maliyeti de çok yüksektir. Ayrıca, düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler için kullanımında ek tedbirlerin alınması gereklidir (Gustaffson ve Long, 1995; Kubicar ve Bohac, 2000).

Geçici Rejim Yöntemleri kapsamına giren diğer yaygın tekniklerin geneli optik esasa dayalı düzenekler içermektedir. Bu düzenekler hassas ölçümler yapabilmekle birlikte, çok pahalı bileşenler içermektedir. Test malzemesinin, hacim içerisinde oluşturulan periyodik enerji ya da ısı dalgaya karşı verdiği tepkiyi ölçümün esasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılan teknik ‘Lazer Aydınlatma Tekniği’ olup, çok geniş sıcaklık aralığında (170 K and 2900 K) ölçümler yapılabilmektedir. Ancak söz konusu teknik, aşırı pahalı olması nedeniyle, yapı malzemelerinden ziyade, çok ileri düzey uygulamalarda kullanılan malzemelerin (elmas, seramik ve çok katmanlı uçak türbini malzemeleri) ölçümünde kullanılmaktadır (Brauer ve ark., 1992).

Sözü edilen bu standart ya da standartlaşma aşamasındaki tekniklere ek olarak çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen laboratuvar cihazı konumundaki teknikler de söz konusudur. Örneğin, Zawilskia ve Tritt (2001), ısı iletkenliği yüksek metallerin ölçümü için, test numunesini sıcaklık kontrollü düzlemsel bir alt yüzey ile ısı kontrollü yine bir düzlemsel bir üst yüzey arasına monte ederek, üst yüzey içerisindeki sıcaklık farkından yararlanan, basit bir düzenek geliştirmişlerdir.

Vahanyan (2006), yarı-iletken test numunelerinin ölçümü için vakum odası içerisine yerleştirilmiş ve test numunesinin bir ısı kaynağı ile ısı alıcısı arasına yerleştirildiği bir düzenek kurmuştur. Isı iletkenliği bilinen referans malzemelerle yapılan ölçümlerde %3-5 seviyesinde hata ile ısı iletkenlik tespiti yapmıştır.

Thong-On ve Zang (2002), bina dış duvarlarında kullanılmak amacıyla, beton içerisine partikül haline getirdikleri lastik parçalarını eklemiş ve basit bir yöntemle ısı performanslarını araştırmışlardır. Test numunelerini buz kalıpları üzerine yerleştirerek, oda sıcaklığındaki numunelerin üst yüzeylerindeki anlık sıcaklık değerlerini ölçmüşlerdir. Numunelerin sıcaklıklarındaki azalma ile ısı performans değerleri arasındaki ilişkiyi yorumlamışlardır.

Yeşilata ve Turgut (2005) ile Yeşilata ve ark. (2006) tarafından ise, kompozit yapı elemanlarının ısı geçirgenlik değerlerini belirlemek amacıyla yeni bir teknik geliştirilmiştir. Adyabatik-kutu tekniği olarak isimlendirilen teknik; basit ve ekonomik olması yanında, hassasiyeti de yüksek bir tekniktir. Yeşilata ve Turgut (2007), söz konusu teknik ile, karmaşık yapıya sahip kompozit beton numunelerin ısı yalıtım performanslarının kıyaslamalı olarak belirlenebileceğini, göstermişlerdir. Ancak belirtilen teknik ile ilgili kapsamlı iyileştirmelere gereksinim bulunmaktadır.

Sonuç olarak, kompozit yapı elemanlarının ısı özelliklerinin belirlenmesinde, homojen olmayan bileşen dağılımı ve düşük ısı iletim katsayına sahip olmaları nedeniyle, yeni yöntem arayışları güncel konular arasındadır. Bu tez çalışmasında; ileri mühendislik malzemelerinin ısı özellik ölçümünde kullanılan yaygın teknikler ile ilgili bir irdeleme yapılmakta ve kompozit yapı elemanlarının ısı testleri için geliştirilen ‘adyabatik-kutu tekniği’ esas alınarak tasarlanan farklı ısı test ölçüm düzenekleri tanıtılmaktadır. Ayrıca belirtilen düzenekler ile yapılan deneylerin sonuçları sunulmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu materyal bölümde; kompozit yapı malzemeleri dahil, ileri mühendislik malzemelerinin ısı özelliklerinin ölçümünde yaygın olarak kullanılan tekniklerin irdelenmesinden oluşmaktadır. Yöntem bölümünde ise, irdelenen bu bilgiler ışığında laboratuarda geliştirilen basit ve ekonomik ısı ölçüm düzenekleri tanıtılmakta ve ölçüm uygulamasının detayları açıklanmaktadır.

3.1. Kuramsal Materyal

Bu tez çalışmasında, kompozit yapı malzemelerinin ısı özelliklerinin ölçümünde kullanılan teknikler ‘Sürekli Rejim Yöntemleri’ ve ‘Geçici Rejim Yöntemleri’ temel olarak iki ayrı başlık altında irdelenmiştir ve her bir başlığa ait detaylar aşağıda verilmiştir.

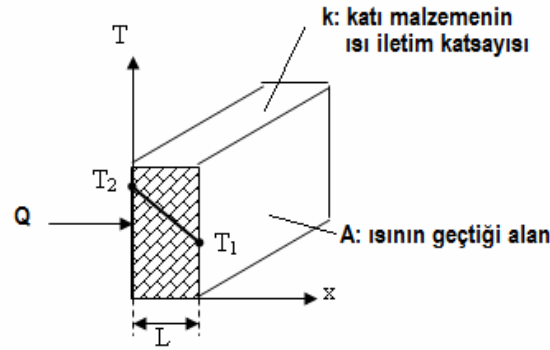
3.1.1. Sürekli rejim ölçüm yöntemleri ve özellikleri

Isı özelliklerin ölçümü için geliştirilen yöntemlerin en eskileri genellikle ‘Sürekli Rejim Yöntemleri’ kapsamındadır. Söz konusu yöntemlerin önemli bir kısmı standartlaştırılmış olup, halen yaygın olarak kullanılmaktadır (ASTM 2000a ve 2000b). Sürekli Rejim Yöntemleri’nin temeli bir boyutlu Fourier ısı iletim denkleminde dayanmaktadır. Şekil 3.1’de gösterilen belirli kalınlıkta test numunesinin her iki yüzeyinde arzu edilen sıcaklık farkının yaratılması sonucu, numuneden geçen ısı akısının kontrol ve ölçümü sonucu, test numunesinin ısı iletim katsayısı belirlenebilmektedir. Şekildeki ‘L’ kalınlığında, ‘A’ alanına sahip katı malzemenin T_1 sıcaklığındaki yüzeyinden T_2 sıcaklığındaki yüzeyine iletimle aktarılan ısı miktarı,

$$Q = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (3.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu tarzda düzgün geometriye sahip katı bir malzemenin ısı iletim katsayısı ölçümlerinde uygulanan temel prensip şudur:

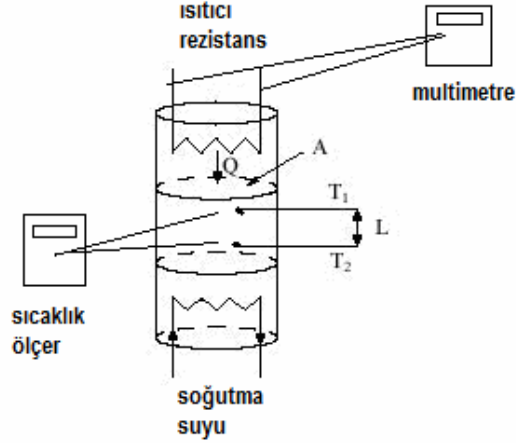
- Geometrik ölçüleri (A ve L) belli malzemenin iki yüzeyi arasında değeri bilinen sıcaklık farkı ($\Delta T = T_2 - T_1$) yaratılır.
- Malzemeden geçen ısı enerjisi değeri (Q) ölçülür.
- $k = QL / A\Delta T$ eşitliği uyarınca 'k' katsayısının değeri belirlenir.



Şekil 3.1. Fourier ısı iletim yasasının plaka tipi numuneler için şematik gösterimi

Sürekli rejim yöntemlerinin bir kısmında ise, test malzemesinin her iki yüzeyindeki sıcaklık farkı yerine, kompozit duvar sisteminin üst ve alt yüzeylerine temas eden sıcak-soğuk havanın sıcaklık farkı ölçülür. Bu durumda, toplam ısı transfer katsayısı ya da toplam ısıl geçirgenlik değeri bulunur. Ayrıca bazı düzeneklerde prensip aynı kalmak kaydıyla farklı ölçüm konfigürasyonları da söz konusudur. Örneğin Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, silindirik geometriye sahip test malzemesinin taban yüzeyinde soğutma suyu dolaştırılırken, üst yüzeyine bir elektriksel direnç vasıtasıyla ısıtma uygulanır. Dirence verilen güç (P), uçlar arasında bağlanan bir multimetrenin ölçtüğü akım (I) ve gerilim (V) değerlerinin çarpımıyla bulunur. Bu güç değeri malzemeden geçen ısı enerjisine eşittir. Yani, $Q=P= I.V$ eşitliği geçerlidir. T_1 ve T_2 sıcaklıkları ısıl çift kabloları ve bir sıcaklık ölçer kullanılarak ölçülür. Malzemenin geometrik boyutları da (A ve L) bilindiğinden, 'k' katsayısı, yukarıda verilen eşitlik uyarınca bulunur.

Sürekli Rejim esasına göre ölçüm yapan tekniklerin en yaygın kullanılanları 'Isı Akısı Ölçme', 'Sıcak Levha' ve 'Sıcak Kutu' teknikleridir (Mumaw, 1974; Mumav, 1980). Bu tekniklere ait kısa bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiş olup, her bir teknik aşağıda detaylı olarak tanıtılmıştır.



Şekil 3.2. Silindirik test numunelerinde ısı iletim katsayısı ölçümü

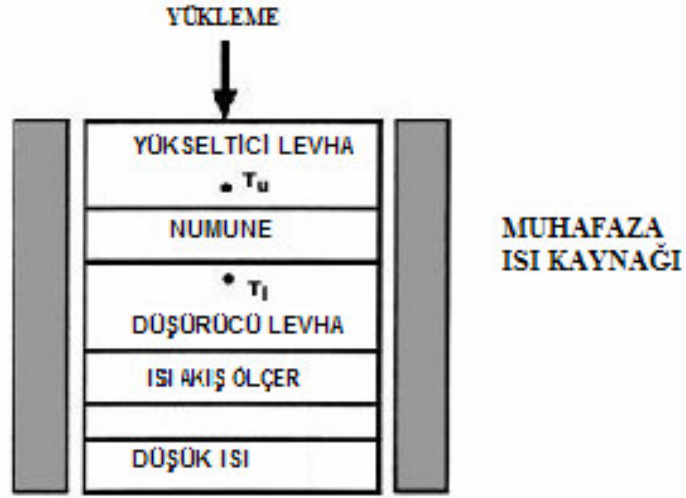
Çizelge 3.1. Kullanımı yaygın 'sürekli rejim teknikleri' ve ölçüm aralıkları

Ölçüm tekniği	Malzeme cinsi	Sıcaklık aralığı (°C)	Isıl iletkenlik aralığı (W/m.K)
1. Isı akış ölçme (klasik veya kalibreli)	Yalıtım malzemeleri	-100 / 200	0.007 / 1.0
2. Sıcak levha (düz veya silindirik)	Katı, opak, homojen kompozitler, yalıtım malzemeleri	-180 / 1000	0.0001 / 2
3. Sıcak kutu (kalibreli veya izoleli)	Yalıtım, mermer, cam ve diğer katkı malzemesi içeren yapı kabuğu elemanları	-20 / 40	Isıl direnç oranı 0.2 ile 5 (m ² K)/W arasında

3.1.1.1. Muhafazalı ısı akış metodu

Isı akış ölçme tekniğinin ölçüm prensibi Şekil 3.3'de gösterildiği gibi; karesel ya da silindirik geometriye sahip, düşük kalınlıkta ve farklı sıcaklıktaki iki levha (sıcak ve soğuk) arasına yerleştirilmiş test numunesinden geçen eksenel ısı akısının ölçümüne dayanır. Isı akısının ölçümü, test numunesinin alt yüzeyi ile temasta olan ince bir plakaya üniform yerleştirilmiş kalibreli ısı akısı sensörleri vasıtasıyla

gerçekleştirilir. Isı iletim katsayısı, test numunesinin kalınlığı, sıcaklık gradyanı ve ölçülen ısı akısı vasıtasıyla belirlenir. Daha büyük boyutlu numuneler veya daha yüksek ısı iletim katsayısı ve sıcaklık aralıklarında ölçüm için, aynı aparatın yanal yüzeyleri, sıcaklık kontrollü bir muhafaza ile kapatılarak yöntem aynen uygulanır.



Şekil 3.3. Isı akış metodu yönteminin şematik gösterimi

Bu yöntem, ince levha malzemelerin ölçümlerinde kullanılır. Termal direnci 0.001- 0.050 m² K/W aralığında olan yapı malzemelerinde, sert katılarda, çapı ya da genişliği 30 mm ile 50 mm arasında olan küçük test numunelerinde ve kalınlığı 1mm ile 30 mm arasında olan iletkenliği yüksek numuneler için de kullanılabilir. Ölçümler için, numune düzgün bir yükte ısıtılmış iki yüzey arasına sıkıştırılır. Isıtılmış yüzeylere sabitlenen sensörler vasıtası ile yüzeylerdeki sıcaklık farklılıkları kontrol edilmektedir. Test parçalarının ve plakaların ortalama sıcaklıklarını korumak amacıyla, dış yüzeyler bir muhafaza kutusu ile kapatılmaktadır. Numuneye doğru ısı akışı dengeye ulaştığı zaman, kontrollü plaka üzerine monte edilen ısı dönüştürücü ile ölçüm yapılır. Numune yüzeylerine, ara yüzeylerdeki ısıl direnci azaltmak için ince bir tabaka halinde gres sürülür. Sıcaklığın işletme sıcaklığının üzerine çıkması durumunda ise, aparatın kalibrasyonu tekrar yapılır. Bu işlem, farklı kalınlıkta bir veya birden fazla referans malzeme kullanılarak, termal direncin istenen aralığa getirilmesi suretiyle yapılır.

Düzenekte bulunan alt yüzey kalibrasyonlu ısı akış dönüştürücüsünün parçasıdır. Isı üst yüzeyden alt yüzeye numuneden geçerken aksel bir sıcaklık dağılımı da olmaktadır. Isı akış dönüştürücüsü çıkışından, numuneye kadar olan sıcaklık farkı ile numune kalınlık değeri kullanılarak, ısı iletkenlik değeri bulunur. Numune boyunca kenarlara olan ısı transferini azaltmak için yerleştirilen test aparatının etrafındaki muhafaza kutusu ölçümlerde bazen hataya sebebiyet verebileceğinden, oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılan testlerde muhafaza kutusu genellikle kullanılmamaktadır. Cihaz ve ölçümlerle ilgili diğer önemli hususlar şunlardır:

- Numune yüzeyinin düzlüğü ve paralelliği 0.01 mm den daha az olmalıdır.
- Kalibrasyon tüm numuneler için aynı sıcaklıkta ve basınçta yapılmalıdır.
- Test aparatının yüksekliği muhafaza kutusunun yüksekliğini aşmamalıdır.
- Plaka yüzeylerindeki sıcaklık kontrolünün 0.1°C seviyesinden iyi olması gereklidir.

Isı iletim katsayısı hesabı : Düzenekte termal dengeye ulaşıldıktan sonra ölçülen sıcaklık ve ısı akışı değerleri ve Fourier ısı iletim denklemi kullanılarak,

$$R_s = F [(T_u - T_a) / Q] - R_{int} \quad (3.2)$$

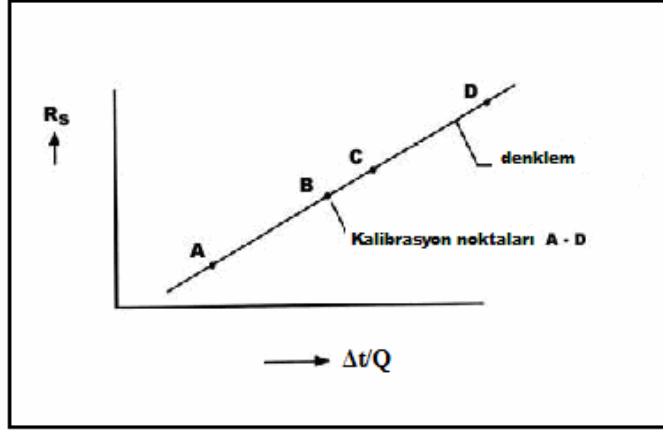
bağıntısı ile önce numunenin ısı direnci, daha sonra da

$$k = d / R_s \quad (3.3)$$

eşitliği ile ısı iletim katsayısı bulunur. Denklemlerde; R_s : numunenin ısı direnci, F : ısı kalibrasyon faktörü, T_u : üst plaka yüzey sıcaklığı, T_a : alt plaka yüzey sıcaklığı, Q : ısı transfer miktarı, R_{int} : arayüzey ısı direnci ve d : numune kalınlığı değerlerini temsil etmektedir. F ve R_{int} değerleri cihazın kalibrasyonu sırasında bulunan teknik değerlerdir. R_s ve $\Delta T / Q$ arasında doğrusal ilişkiyi veren ve Şekil 3.4’de gösterilen tarzda bir grafik oluşturularak, doğru eğimi ile F değeri, $\Delta T / Q = 0$ değerine karşılık gelen R_s değeri ile de R_{int} bulunur.

Denklem (2)’de verilen F ve R_{int} değerleri düşük oranda da olsa, sıcaklıkla değişebilmektedir. Ancak cihaz sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara çıkılmadıkça, hata oranı yüksek değildir. Kalibrasyonun yapıldığı sıcaklık aralıklarında olduğu

sürece, lineer interpolasyonla F ve R_{int} değerlerinin sıcaklıkla değişimini hassas bir şekilde belirlemek mümkündür. Bu işlem yapılırken data analizini kolaylaştırmak için hesaplamaların bilgisayar kontrollü olarak yapılması daha uygundur.



Şekil 3.4. Muhafazalı ısı akış ölçer veri analizi

Isı Akış Ölçer cihazlarının özellikleri : Isı akış ölçer yöntemi ile ölçüm yapan kompakt bir cihaz Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Cihaz, polimer, seramik, komposit, cam, kauçuk ve bazı metallerin ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Küçük boyutlarda test numunesi gerektirmektedir. Katı olmayan ve macun kıvamındaki numuneler, özel kaplar kullanılarak test edilebilmektedir. Ayrıca, çoklu tabaka tekniği kullanılarak ince filmler de test edilebilmektedir.

Ölçüm için, test numunesi her biri farklı sıcaklıklarda kontrol edilebilen parlak iki yüzey arasında üniform olarak sıkıştırılır. Alt yüzey ayarlanabilen ısı akış üreticinin bir parçasıdır. Numuneden geçerek alt yüzeye doğru akan ısı, aksel sıcaklık eğimi tesbit edildikten sonra bulunur. Termal dengeye ulaştıktan sonra numune üzerindeki ve ısı üretici çıkışındaki sıcaklık farkları ölçülür. Bu değerler ve numune kalınlığı ısı iletkenliğinin hesaplanmasında kullanılır. Sıcaklık düşüşü numunenin diğer tarafındaki yüksek iletkenliğe sahip metal yüzey tabakasındaki sensörler ile ölçülür.

Numune kenarlarından ısı transferini engellemek için, bir muhafaza ısı odası oluşturulmuştur. Düşük çevre sıcaklıklarında test için, aygıt hava geçirmez bir bölüm oluşturmaktadır. Polimerler özel eritme odaları bulunan kaplar kullanılarak test edilebilmektedir. Ayrıca bu özel bölümler; sıvılar, lapa şeklindeki malzemeler ve toz malzemeler içinde kullanılabilir. Genellikle tek bir sıcaklıktaki test, 45 ile 60 dakika arasında tamamlanmaktadır. Tamamen otomasyon olan sistem, veri analizini yapan yazılım programı ile çalışmaktadır. Kullanıcı test parametrelerini, numune ölçülerini, istenen sıcaklık değerini, yazılım menüsünden direkt olarak girerek, bu parametrelere bağlı ısı iletkenlik ölçümü sonuçlarını bir dosyada saklayabilmektedir.

Her bir cihaz, ısı iletkenliği bilinen malzemeler kullanılarak fabrikada kalibre edilmektedir. Laboratuvar şartlarında kalibrasyon gerektiğinde, kullanıcı tarafından bu işlemin dikkatle yapılması gereklidir. Örneğin, kalibrasyon için numune seçimi yapılırken iletkenliği birbirine en yakın malzemeler test edilmelidir. Test numunesinin kalınlığı ise, cihaz teknik sınırlarında belirtilen değer ve süreler göz önüne alınarak seçilmelidir.

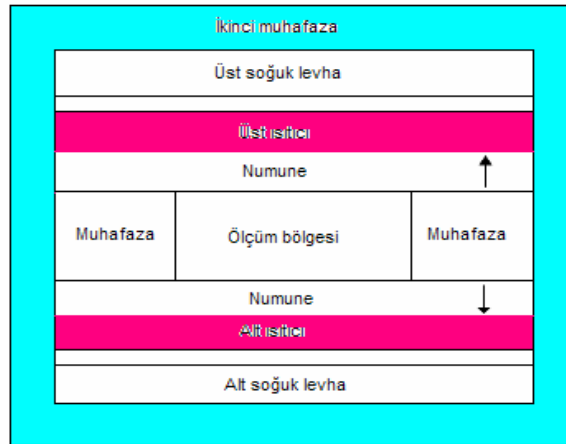


Şekil 3.5. Isı akış metodu ile ısı iletkenlik ölçüm cihazı

3.1.1.2. Sıcak levha metodu

Sıcak plaka metodu cam, seramik ve yalıtım plakaları gibi bina yapım malzemelerinin, ısı iletkenliklerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Şekil 3.6'da şematik olarak gösterildiği üzere, test numunesi düzgün yüzeyli plaka şeklindedir. Düzgün yüzeyli olmayan ya da karmaşık geometriye sahip olan numunelerin ölçümü bu yöntemle yapılamamaktadır. Yöntem, genellikle muhafazalı tip aparatlarla kullanılmakta olup, çift deney parçalı (bir merkezi ısıtma ünitesi) ve tek deney parçalı tiplerin her ikisi de kullanılabilir.

Sıcak levha tekniğinde; çeşitli noktalara monte edilmiş ısı çiftleri vasıtasıyla sıcaklık gradyanları ölçülür. Kullanılan aparat, merkezde bulunan ısıtıcı eksenine göre alt ve üst kısımda bir simetri oluşturacak şekilde dizayn edilir. Aparat içine yerleştirilmiş test numunelerinin her iki yüzeyinde istenen sıcaklık farkı merkezde ısıtıcıya uygulanan DC güç vasıtasıyla sağlanır. Yan yüzeylere yerleştirilmiş kalibreli plakalar, yanal yüzeylerden ısı transferine engel olacak şekilde bir sıcaklık dağılımına sahiptir. Yöntemde temel prensip; düz, paralel yüzeylere sahip tek parça levhalar halindeki deney parçalarında, tek yönlü ısı akısı değerini kararlı hal şartlarında tayin etmektir. Bu nedenle test numuneleri; düz, paralel ve izotermal iki yüzey arasında, sonsuz bir levha konumunda bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Sıcak levha metodu çalışma prensibi şematik gösterimi

Sıcak levha metodunda kullanılan aparat; kalınlıkları ve sıklıkları uygun ölçülandırılmış, özdeş iki veya tek bir numunenin, sıcak ve yüksek yayıcı yüzeyleri karartılmış ve izole edilmiş soğuk plakalar arasına sıkıştırılmasından oluşmaktadır. Korumalı sıcak plaka merkezde düzgün olarak dağılmış ısıtıcılardan oluşmaktadır. Aynı düzlemde yalıtılmış ölçüm sayacı da bulunmaktadır. Sıcaklık sensörleri, merkezde ve yalıtılmış olan koruyucu tabaka üzerinde olmak üzere tüm yüzeylere sızdırmazlığı sağlanarak sıkıştırılmışlardır. Standart değerlere göre termal denge oluşuktan sonra ısı gücü ve sıcaklık değerleri ekrandan alınarak numune kalınlığına göre numunenin iletkenliği hesaplanır. Uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- Numune parçalarının düzlüğü ve paralelliği ISO standart 8302 limitleri içinde olmalıdır.
- Numune kalınlığı plaka ölçülerine uygun olmalıdır.
- Numune kalınlığı malzemenin karakteristik özelliklerine uygun olmalıdır.

Cihazın çalışma prensibi: Çift deney parçalı cihazlarda, ısıtma ünitesi olarak adlandırılan bir ısıtıcı, iki deney parçası arasına sandviç formunda monte edilmiştir. Isı akışı deney parçalarının içinden soğutma ünitesi olarak adlandırılan yuvarlak veya kare şeklindeki, izotermal tertibata doğru gerçekleştirilir. Tek deney parçalı cihazlarda, ikinci deney parçası yerine yalıtım parçası ve koruma plakası konulmuştur. Böylece yalıtım parçası ve koruma plakasının oluşturduğu birleşimin bir yüzeyi ile diğer yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı sıfır olur.

Tek yönlü yeknesak ve sabit ısı akış hızı yoğunluğunun tayin edildiği ısıtma ünitesi, dar bir boşlukta ayrılan mahfaza kısmı ile çevrilmiştir. Soğutma ünitesi sürekli düz bir plaka tertibatından oluşur. Fakat bunların ısıtma ünitesi ile benzer şekilde olmaları tercih edilir. Özellikle oda sıcaklığının altında veya üzerinde herhangi bir sıcaklıkta çalışıldığı zaman ilave kenar yalıtımı ve/veya yardımcı mahfazalı kısımlar gereklidir. Ölçme bölgesinde kararlı halin tesis edilmesiyle, ısı akışı (q), ısı akış hızı (Φ) ve ölçme alanı (A) verileri kullanılarak sonuca gidilir.

Deney parçasının iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı, ΔT , metal plakaların yüzeyine ve/veya mümkün olduğu takdirde deney parçasının yüzeyine monte edilen sıcaklık algılayıcıları ile ölçülür.

Sıcak plaka cihazlarının özellikleri: Sıcak plaka cihazları, yalıtım maddelerinin ısı iletkenlik ölçümlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Düz, elektrikle ısıtılmış ölçülen kısmın yan tarafları, farklı termokupl ile kontrolü sağlanan kenar ısıtıcıları ile çevrelenmiştir. Düzlemsel dizilmiş ısı kaynağı, numunenin sıcak yüzeylerini ısıtır. Sıradan pek çok ortak ölçüm düzeni, iki numune arasına sıkıştırılan plaka arasına ısıtıcı yerleştirilerek yapılmıştır. Bu metot ölçümler için çok uygun bir metottur. Sayaç yerleştirilen bölgedeki dolaylı ısı akış ölçümü, sıcak ve soğuk yüzeylerdeki sıcaklıklar, numunenin kalınlığı ve diğer parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Ölçüm sistemi üç farklı kategoriye ayrılabilir: Sistemin oda sıcaklığında çalışması, sistemin oda sıcaklığının altında çalışması (-180°C civarı) ve sistemin yüksek sıcaklıkta çalışması (600°C ve yukarısı).

Şekil 3.7'de bir örneği gösterilen muhafazalı sıcak plaka cihazları genellikle ısı iletkenliği düşük (2 W/mK ve daha altı) olan yapı malzemelerinin -10°C ile 80°C arası sıcaklık değerleri arasında ısı iletkenlik ölçümlerinin yüksek doğrulukta yapılmasını sağlayan komple bir sistemdir. Sistem bir muhafaza içinde bir adet çevre sıcaklığı kontrol edilebilen numune, sıcak plaka ve karşı pozisyonda soğuk plakadan oluşmaktadır. Isıtma/soğutma hava sirkülasyon devresi numunenin sıcaklık ayarını sağlamaktadır. Sistem gerekli tüm dataları ve elektronik kontrol sonuçlarını alan kontrol kısmıyla tamamlanmaktadır. PC kontrolü bilgisayar yazılımı ile kullanıcının tüm ölçüm kontrolünü görüntülemesini ve kontrol etmesini sağlamaktadır.

- Tekli numune konfigürasyonunda direnci yaklaşık $0.33 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ seviyesinde olan numuneler için plakaların her ikisine de ısı iletkenliği düşük, aksi halde numune yüzeylerindeki ısı direncin azaltılması gereklidir.
- Isı akışı soğuk plaka içerisindeki ısı dönüştürücüden numunenin soğuk yüzeylerinden monitöre doğrudur. Bu sayede sürekli rejim şartı sağlanıncaya kadar daha az ölçüm sapmaları sağlanmış olur, ayrıca kenar ısı kayıpları değerlendirilmiş olur.

- Sıcaklığı kontrol edilen bölgenin temel görevi, ortam havasını ortalama numune sıcaklığında muhafaza etmek içindir. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda nem oluşmasını engellemek için, kuru hava sirkülasyonunu temin eder.
- Bir muhafazalı sıcak plaka cihazının tam boyutu normal olarak 0.2 m-1 m olan daire veya kare şeklindeki deney parçası boyutlarıyla belirlenir. 0.3 m'den daha küçük deney parçaları yığın malzemesini temsil edemeyebilirler, 0.5 m'den daha büyük deney parçaları ise deney parçalarının veya plakaların düzlemselliğinin, sıcaklık yeknesaklığının, dengeye ulaşma süresinin ve toplam maliyetinin makul sınırlar içinde kalmasını sağlamak bakımından ciddi sorunlar yaratabilir.



Şekil 3.7. Sıcak plaka cihazı

Deney parçasının özellikleri: Deney parçasında aranan temel niteliklerden biri; homojen veya homojen gözenekli olmasıdır. Homojen gözenekli deney parçalarında, homojenliği bozan kısımların boyutları, deney parçasının kalınlığının onda birinden daha küçük olmalıdır. Homojenliği bozan kısımların fazla olduğu deney parçalarında ısı direnç veya ısı iletkenlik ölçmeleri yapıldığında, ölçme alanı yüzeyinde ve deney parçası içindeki ısı akısı ne tek yönlü, ne de yeknesak olmayabilir. Bu durumda deney parçası içinde ısı alan bozulmaları meydana gelecek ve ciddi hatalara sebebiyet verecektir. Ölçme alanına bitişik deney parçası bölgesi ve özellikle bu alanın kenarlarına yakın yerler, ölçümlerde kritik öneme sahiptir. En önemli risklerden biri, deney parçası içindeki düzensizlikler farklı konum aldıklarında, ısı

dengelesizlik hatalarının, kenar ısı kaybı hatalarının tahminini olanaksız hale gelmesidir.

Bir maddenin ısıl direncinin, uygulanan ısı aktarım sürecinin bağıl büyüklüğüne bağılı olduğu bilinmektedir. Isı aktarımının ana mekanizmaları, kondüksiyon, radyasyon ve konveksiyondur. Ancak esas mekanizmalar çok iyi araştırılmış ve anlaşılmiş olsalar bile, bu mekanizmalar bir araya geldiklerinde, analizi ve ölçülmesi çok zor, doğrusal olmayan etkiler meydana getirebilirler. Bütün ısı aktarım süreçlerinin büyüklüğü, deney parçasının yüzeyleri arasında meydana gelen sıcaklık farkına bağılıdır. Birçok malzeme, mamul ve sistemler için kullanımı tipik olan sıcaklık farklarında karmaşık bir bağımlılık meydana gelebilir. Böyle durumlarda, kullanımı tipik olan bir sıcaklık farkının alınması ve daha sonra sıcaklık farkı aralığı için bir yaklaşık bağıntının tespiti tercih edilir. Bu bağımlılığın ölçümün yapıldığı sıcaklık farkı aralıklarında doğrusal olması gereklidir.

Söz konusu ısı iletim süreçleri içinde, sadece kondüksiyon, deney parçası kalınlığı ile doğrudan orantılı bir ısıl direnç yaratır. Diğer mekanizmaların kalınlığa bağılılığı daha karmaşıktır. Malzeme inceldikçe ve yoğunluğu düştükçe ısı aktarımının kondüksiyon dışında diğer süreçlere bağılılığı daha da artar. Sonuçta, iletim faktörü malzeme kalınlığına bağılı olduğundan, her ikisi de malzemeye has özellikler olan ısıl iletkenlik ve ısıl direnç için tanım kriterlerinin yerine getirilmediği bir durum ortaya çıkar. Böyle malzemeler için ısıl direncin bu malzemelerin kullanıldığı şartlarda tayini arzu edilir. Bütün malzemeler için, daha düşük bir sınırlayıcı kalınlığın olduğu ve bu kalınlığın altında ise bu tür bir bağımlılığın olduğu kabul edilir. Bu nedenle yapılacak ölçmelerde söz konusu asgari kalınlığın tesbiti gereklidir.

Bir sıcaklık değişimine tabi tutulduğunda aşırı derecede büzüşme gösteren, ısıl genleşme katsayıları çok büyük olan deney parçaları ile deney yapılırken özel dikkat gösterilmesi gerekir. Büzüşme, cihaza zarar verebilir veya ölçmelerde ciddi hatalara neden olabilir. Böyle malzemelerle deney yapmak için özel tasarlanmış cihaz gereklidir.

Isıtma ünitesi: Isıtma ünitesi bir merkezi ölçme kısmından ve mahfaza kısmından ibarettir. Ölçme kısmı bir ölçme kısmı ısıtıcısı ve ölçme kısmı yüzey plakalarından oluşur. Mahfaza kısmı ise bir veya daha fazla mahfaza ısıtıcılarından ve mahfaza yüzey plakalarından oluşur. Yüzey plakaları genellikle yüksek ısıl iletkenliğe sahip metallere yapılır. Isıtma ve soğutma ünitesi plakalarının çalışma yüzeyleri, deney parçası ve çevresiyle kimyasal reaksiyona girmemeli, gerçek bir düzleme uyacak şekilde pürüzsüz olarak perdahlanmalı ve periyodik olarak kontrol edilmelidir.

Isıtma ünitesinin yapımında kullanılan malzemeler, ısıtma ünitesinin çalıştırılacağı sıcaklıklarda yeterli performans gösterip göstermediği dikkate alınarak seçilmelidir. Isıtma ünitesi, tasarlanan kullanım amaçları için uygun özellik ve uygun bir ısı akısı yoğunluğu sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Isıtma ünitesi, çalışma esnasında, her yüzey için sıcaklık yeknesaklığındaki sapmalar, deney parçasının yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının % 2'sinden daha fazla olmayacak şekilde tasarlanmalı ve yapılmalıdır.

Çift deney parçalı cihazlarda, muhafaza kısmının ve ölçme alanının iki yüzeyinin sıcaklığı, $0.1 \text{ m}^2\text{K/W}$ den büyük bir ısıl dirence sahip deney parçaları için, ortalama sıcaklığın 0.2 K sınırları içinde olmalı ve oda sıcaklığına yakın bir ortalama sıcaklıkta deneye tabi tutulmalıdır. Isıtma ünitesi, aynı zamanda, çalışma sıcaklığında iki yüzeyde çarpılma olmayacak ve düzlemsellikten sapmayacak şekilde tasarlanmalı ve yapılmalıdır. Isıtma ünitesinin ölçme ve mahfaza kısımlarının yüzey plakaları arasında belirli bir açıklık veya boşluk bulunmalıdır. Yüzey plakası düzlemindeki boşluk alanı ölçme alanının % 5'inden daha fazla olmamalıdır.

Soğutma Ünitesi: Soğutma ünitelerinin boyutları, mahfaza ısıtıcıları dahil olmak üzere en az ısıtma ünitesinin yüzeyinin boyutları kadar olmalıdır. Üniteler, deney parçaları yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının % 2 sınırları içinde ve ısıtma ünitesinin sıcaklığından daha düşük olmak üzere, sabit ve yeknesak bir sıcaklıkta tutulabilen metal plakalardan oluşur.

Sıvı soğutmalı metal plakalar, sıcaklık yeknesaklığını elde etmek için tasarımları yönünden özellikle dikkat gerektirir. Giriş ve çıkış sıvısı arasındaki

sıcaklık farkı, sıvının verilen bir akış hızı ile ilişkili en yüksek ısı yük durumu için değerlendirilir. Çoğu sıvı akış yolu tasarımlarında bu sıcaklık farkı plakanın yüzeyi üzerinde farklı noktadaki sıcaklık farkından daha büyüktür. En iyi sonuçlar, sıvı için, sarmal ters akım tasarımıyla elde edilir.

Kenar yalıtımı: Deneysel parçasındaki tek boyutlu ısı akışındaki sapma, ısıtma ünitesinin ve deneysel parçasının kenarlarındaki adyabatik olmayan şartlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, ısıtma ünitesinin ve deneysel parçasının kenarlarından ısı kayıpları, mahfaza kısmının yüzey plakalarının yüzeylerinde yanal sıcaklık gradyanına neden olur ve böylece tasarlanan ideal tek boyutlu ısı kalıbından sapmalar yaratılmış olur. Deneysel parçası kenarlarında meydana gelen ısı kayıpları, basitleştirilmiş sınır şartlarında yalnızca homojen, izotropik opak deneysel parçaları için hesaplanabilen kenar ısı kaybı hatalarına neden olur. Çevre sıcaklığı, deneysel parçasının ortalama sıcaklığı ile aynı ise bu hatalar en az düzeydedir. Isı kaybının en az düzeye indirilmesi, kenar yalıtımıyla, çevre sıcaklığını kontrol etmekle, ilave bir dış mahfaza kullanmakla, doğrusal gradyan mahfaza kullanmakla veya bütün bu sayılan yolların bir kombinasyonu ile mümkün olabilir.

Isıtma ünitesinin kenarlarından oldukça önemli sayılabilecek bir ısı akış yolu, ısıtıcının telleri ve sıcaklık algılayıcıları boyunca olmaktadır. Bu nedenle ısıtma ünitesine yakın bir izotermal yüzey sağlamak gereklidir. Tellerin hepsi emniyetli bir şekilde yüzeye sıkıca bağlanmalıdır. Bu izotermal yüzey, yardımcı bir mahfaza veya diğer uygun herhangi bir yüzey olabilir. Isıl dengesizlik durumu, tellerden geçen ısı akış hızı, tek yönlü ideal şartlarda, deneysel parçası yüzeyinden geçen ısı akış hızının % 10'unu aşmayacak şekilde sınırlı olmalıdır.

Sıcaklık ölçerler: Sıcaklık dengesizlik algılayıcıları münferit olarak okunabilir ve sıcaklık farkı hesaplanabilir veya daha iyisi, böyle bir sıcaklık farkını doğrudan göstermek üzere bu algılayıcılar farklı şekilde bağlanabilirler. Bu amaçla, genellikle bir termik pil olarak bağlanan ve çapı 0,3 mm'den fazla olmayan küçük çaplı termočiftler kullanılabilir. Ölçme sistemi, boşluk sıcaklık dengesizlikleri nedeniyle ölçülen özellikler deneysel ve analitik olarak değerlendirildiğinde % 5 ile sınırlı

kalmasını sağlayacak ölçüde duyarlı olmalıdır. Birçok sıcaklık algılayıcılarının hassasiyeti, sıcaklık düştükçe önemli ölçüde azalır. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda çalışacak termopil ölçme ve kontrol sistemlerinin tasarımlarında özel bir dikkat gösterilmelidir.

Cihazın sıcaklık ölçmelerinde, ısıtma ve soğutma yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını % 1 doğrulukla ölçebilecek onaylanmış herhangi bir metot kullanılabilir. Yüzey sıcaklıkları, genellikle yüzey plakalarındaki olukların içine, veya deney parçalarıyla temas halindeki yüzeyin hemen altına yerleştirilen, termoçiftler gibi, sürekli ölçme sistemleri vasıtasıyla ölçülür. İnce levhalara gömülmüş termoçiftler gibi diğer çözümler, özellikle düşük dirence sahip deney parçaları söz konusu olduğunda, yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde hataların azaltılması için özel dikkat gerektirirler. Termoçift ölçmeleriyle ilgili sistematik hatalar, genellikle bunların tellerinin mükemmel homojen olmamasından ve dolayısıyla teller boyunca söz konusu sıcaklık farklarının küçük bir elektromotor kuvvet yaratmasından kaynaklanır. Bu etki genellikle, alaşımlarda saf metallerde olduğundan, daha büyüktür.

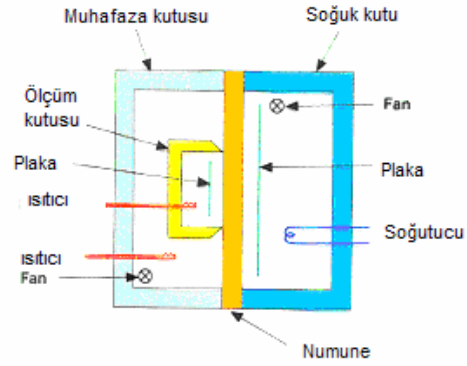
3.1.1.3. Isıl kutu metodu ile ısı özellik ölçümü

Günümüzde homojen yapıda olmayan yapı malzemelerinin ve elemanlarının (pencere, kapı paneli, çatı penceresi, çerçeveler, karmaşık yapıdaki izolasyon malzemeleri ve dış cephe giydirme cam blokları vb.) ısı geçirgenlik ölçümleri ısı kutu yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntemde; ısı iletim katsayısı yerine, toplam ısı transfer katsayısı belirlenir. Büyük boyutlu homojen olmayan test numunesi; istenen sıcaklık, nem ve hava hızlarının sağlandığı sıcak ve soğuk bölmeler arasına yerleştirilir. Test numunesine ait yüzey ve yakınındaki hava sıcaklıklarının ölçümü için ısı çiftleri kullanılır. Hava ve numune arasındaki sıcaklık farkı DC güç uygulanarak istenen seviyeye getirilerek, ölçülen bu değerler vasıtasıyla toplam ısı transfer katsayısı hesaplanır.

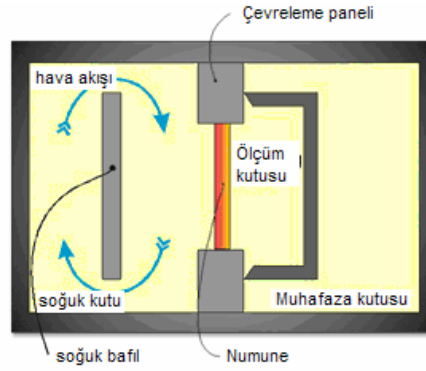
İki tip ısı kutu tipi vardır. Bunlardan birincisi kapalı ve ısı muhafazalı ısı kutu yöntemidir. Diğerisi ise kalibre edilmiş ısı kutu (birinci yöntemine benzer, fakat

kalibre için ısıl iletkenliği bilinen malzeme veya panel kullanılmaktadır) yöntemidir. Her iki yöntem Şematik olarak Şekil 3.8' de gösterilmiştir.

(a)



(b)



Şekil 3.8. ısıl kutu yönteminin Şematik gösterimi; a) muhafazalı kutu, b) kalibreli kutu

a) Muhafazalı ısı kutu yönteminin uygulanması: Geniş bir numune panel, genellikle imalat formunda 1.5x2.5m ölçülerinde, tüm yüzeylerine panel yüzeyindeki ortalama sıcaklığı tespit etmek için sıcaklık sensörleri bağlanmıştır. Numune panel sabit sıcaklık ve nem şartlarında çalışan özel olarak tasarlanmış soğuk ve sıcak odalar arasına konulmuştur. Sıcaklık sensörleri numune üzerinde karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. DC güç kaynağının ortamdaki değişikliklere karşı sıcaklık farkını koruması gerekmektedir.

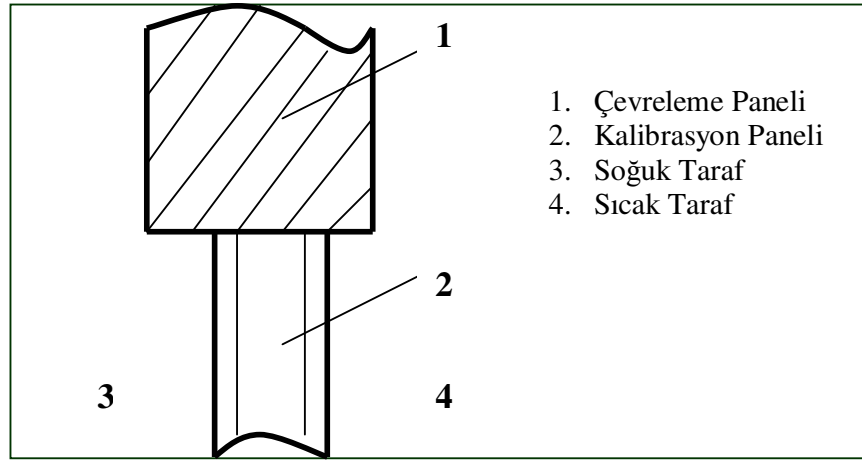
Sıcak taraf muhafazalı kutu içine alınmıştır. Soğuk tarafta ise, numune yüzeyinde düzenli bir hava akışı oluşturmak için vantilatör (fan) sistemi kurulmuştur. Sıcak oda içinde numuneye karşı bir ölçüm kutusu yerleştirilmiştir. Sıcak kutuya enerji verilerek, sıcak kutudaki sıcaklık kontrol edilebilmektedir (bir elektrik ısıtıcısı ve sıcak bölge katmanlaşmasını engellemek için fan kullanılmaktadır). Ölçüm kutusu ve muhafaza kutusu arasındaki enerji akışı ölçülmektedir. Ölçüm kutusu içerisindeki sıcaklık, ölçüm kutusu ile muhafaza kutusu arasındaki enerji akışı sıfıra eşit olacak şekilde sabit tutulmaktadır. Bu durumda, zaman ölçüm kutusuna giren enerjinin tamamı, numuneye ve numunenin bağlandığı bölümün küçük bir parçasına doğru akmaktadır. Dolayısıyla numune etrafındaki ısı akışı, kalibrasyon yapılarak tespit edilebilir.

Ölçüm standardı gereği, numunenin ölçümünde ve çevresindeki etkileşim sonucu oluşan yan kayıpların belirlenmesinde kullanılan bir metottur. Bu yol ile numuneye enerji akışı tam olarak belirlenmiş olmaktadır. Isıl kutu tekniğine ait temel özellikler aşağıda özetlenmiştir:

- Numunenin her iki tarafındaki radyant sıcaklık ve hava sıcaklığı tespit edilebilmektedir.
- Sıcak oda havası, yüzey sıcaklık ve giren güç ölçümleri sürekli rejimde yapılmaktadır.
- Numunenin her iki tarafındaki radyant hava sıcaklıkları standart değerlere kıyasla önemsiz derecede farklılık göstermektedir.

Muhafazalı ısı kutu, kapağı numune panel olan merkezi ölçüm kutusunun etrafı muhafazalı diğer bir kutudur. Muhafazalı kutu içindeki sıcaklık ve hava akım şartları duvarlardan ısı transferini en az seviyede tutacak şekilde yapılmıştır. Kalibreli ısı kutu içerisinde iç ölçüm kutusu yoktur. Sıcak bölmenin dış duvarları ısı kayıpları minimize etmek için çok kalın yalıtım yapılmıştır.

b) Kalibreli ısı kutu yönteminin uygulanması: Isıl kutu yöntemi, büyük ve homojen olmayan tüm ısı transferlerinin ölçümünde genellikle sürekli rejim şartlarında kullanılan bir yöntem olmakla birlikte; kalibreli ısı-kutu ile dinamik ısı performans ölçümleri de yapılabilir. Isıl geçirgenlik tayini, iki aşamadan oluşur. İlk aşamada, ısı özellikleri tam olarak bilinen iki veya daha fazla kalibrasyon paneli üzerinde ölçmeler yapılır. Bu ölçümlerden, Şekil 3.9'da şematik olarak gösterilen kalibrasyon panelinin her iki tarafındaki yüzey ısı aktarım katsayısı (ışınım ve konvektif bileşenleri) ve çevreleme panelindeki ısı direnç tayin edilir. İkinci aşamada ise, hücre boşluğuna yerleştirilen pencere veya kapı numuneleri ile ölçmeler yapılır. Sıcak hücre cihazı, kalibrasyon işlemi esnasında soğuk yüzeyde uygulanan aynı fan ayarları ile kullanılır.



Şekil 3.9. Kalibrasyon ve çevreleme paneli şematik gösterimi

Ölçme sonuçları, standart yüzey ısı transfer katsayılarını elde etmek amacıyla, kalibrasyon ölçmelerinden yararlanılarak interpolasyon veya analitik öteleme işlemleri yardımıyla düzeltilir. Deney numunesinin hava geçirgenliğinin

ölçmeleri etkilememesi amacıyla, gerekli tedbirlerin (mesela soğuk ve sıcak yüzeyler arasındaki basınç dengesi veya iç taraftaki bağıntılarda sızdırmazlığın sağlanması gibi) alınması önemlidir.

Genel amaçlı tayinler için, numune boyutları olarak uygulamadaki büyüklükler alınabilir. Uyumlu ölçmelerin yapılabilmesi için numunenin sıcak taraftaki yüzeyi mümkün olduğu kadar çevreleme panelinin sıcak taraftaki yüzeyine yakın olmalıdır. Pencere veya kapı sistemi, çevreleme paneli açıklığına tam olarak oturmalıdır. Kulplar raylar ve bağlantı elemanları gibi normalde dışarıya çıkıntı yapan elemanlar hariç, kapı veya pencere sisteminin herhangi bir kısmı, çevreleme panelinin soğuk veya sıcak taraftaki yüzeyinden dışarı çıkıntı yapmamalıdır.

Çevreleme paneli ile ilgili önemli hususlar: Çevreleme paneli açıklığının, numuneler veya kalibrasyon paneli ile çevreleme paneli birleşim yerlerinden ısı akışı sebebiyle düzeltme yapılmasına gerek kalmamasını veya ısı akışının asgari düzeyde kalmasını sağlamak amacıyla, çevreleme panelinin ortasında ve çevreleme panelinin dış kenarlarından en az 200 mm mesafede olacak şekilde tasarlanması tavsiye edilir. Gerek genel, gerekse standart tayinlerde, ölçme doğruluğu açısından numune veya kalibrasyon panelinin yerleştirileceği açıklığın alanı en az 0.8 m² olmalıdır. Çevreleme paneli ve numune arasındaki boşluklar, her iki taraftan bant, tıkaç veya mastik bir malzeme ile sızdırmaz hale getirilmelidir. Numunede ısı transfer ölçmelerini yapabilmek için numune uygun bir çevreleme paneline monte edilir ve numuneden ısı akışı, toplam ısı girdisinden, çevreleme paneli vasıtasıyla iletilen ısının çıkarılmasıyla hesaplanır. Deney numunesi ve çevreleme paneli genellikle farklı kalınlıklarda olacağından, her iki malzeme arasındaki sınır bölgesindeki sıcaklık ve ısı akış yolları etkilenir. Bu sebeple, deney, kenar etkisi düzeltmeleri yapılacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

Çevreleme paneli numuneyi belirtilen konumda tutmak için kullanılır ve numuneyi yerleştirmek için uygun bir boşluğa sahip olacak şekilde sıcak hücre düzeneğine uygun dış boyutlarda yapılmıştır. Çevreleme paneli yüksek ısı dirence sahip ideal bir duvar görevi görür, numuneyi doğru konumda tutar ve sıcak hücreyi soğuk hücreden ayırır. Çevreleme paneli, muhafazalı sıcak hücre cihazının

kullanılması durumunda muhafazalı hücrenin açık yüzeyini, kalibre edilmiş sıcak hücrenin kullanılması durumunda ise, sıcak hücrenin açık yüzeyini kapatacak büyüklükte olmalıdır.

Çevreleme panelinin kalınlığı, en az 100 mm veya numunenin azami kalınlığı kadar (hangisi büyükse) olmalıdır. Çevreleme paneli 0.04 W/(m.K)'den büyük olmayan kararlı ısıl iletkenliğe sahip bir malzemeden yapılmalıdır. Çevreleme paneli, kalibrasyon panelinin veya deney numunesinin yerleştirilmesini sağlamak üzere uygun bir açıklığa sahip olmalıdır. Çevreleme panelinin her iki yüzeyine, panele mukavemet kazandırmak amacıyla sızdırmaz kontrplak veya plastik levha yerleştirilebilir. Çevreleme panelleri arasında ısıl iletkenliği 0.04 W/(m.K)'den büyük herhangi bir malzeme kullanılmamalıdır. Çevreleme paneli ve engelleme plakalarının yüzeyleri yüksek ısıl yayınlılık katsayısına(≥ 0.8) sahip olmalıdır.

Kalibrasyon paneli ile ilgili önemli hususlar: Kalibrasyon panellerinin boyutları, deney numunesinin boyutlarına benzer boyutlarda (numune yüksekliğinin veya genişliğinin % 40'ı dahilinde) olmalıdır. Kalibrasyon panelleri, belirli deney şartlarının elde edilmesi, yüzey ısı transfer katsayısının tayini ve çevreleme panelinin ısıl direncini hesaplanması için kullanılır. Kalibrasyon paneli malzemesi olarak, ısıl iletkenliği veya ısıl direnci bilinen homojen bir malzeme kullanılmalıdır. Kalibrasyon paneli yüzeyinin yapısı, deney numunesi yüzeyinin yapısı ile benzer olmalıdır. Yüzeyin ısıl yayınlılık katsayısı bilinmeli (mesela, normal float cam). Kalibrasyon panellerinin ısı akış aralığı, deney numunesinin muhtemel ısı akış aralığını kapsamalıdır. Bu amaçla, toplam kalınlıkları farklı olan (20-60 mm aralığında) iki ayrı kalibrasyon panelinin kullanılması tavsiye edilir.

Kalibrasyon ölçmeleri için soğuk ve sıcak taraf yüzey sıcaklıkları ölçülmeli veya hesaplanmalıdır. Sıcaklık ölçmeleri, kalibrasyon panelinde eşit alanlardan oluşan dikdörtgen ızgaraların merkezinde en az 9 konumda, çevreleme panelinde ise en az 8 konumda yapılmalıdır. Hiçbir sıcaklık algılayıcısı kalibrasyon panelinin kenarına 100 mm'den daha yakın olmamalıdır. Sıcaklık algılayıcıları ve kayıt sistemleri doğru olarak kalibre edilmelidir. Yüzey sıcaklığının ölçülmesinde, sıcaklık algılayıcı tel çapı 0,5 mm'den büyük olmayan T tipi bakır/konstan ısıl çiftlerin

kullanılması tavsiye edilir. Isıl çiftler, dış yüzeyi yüksek ısıl yayınlılık katsayısına ($\geq 0,8$) sahip yapışkan bir bant, ya da yapıştırıcı kullanılarak kalibrasyon paneli yüzeyine sabitlenmelidir.

Kalibrasyon ölçmeleri, uygun deney şartlarının elde edildiğinden emin olmak ve çevreleme paneli ısı akışı ve yüzey ısı transfer katsayılarının tam olarak hesaplanması için gereklidir. Kalibrasyon ölçmeleri, deney numuneleri ile yapılacak ölçme aralığını da kapsayacak şekilde, en az 6 farklı ısı akış hızında gerçekleştirilmelidir. Kalibrasyon ölçmelerinin, soğuk tarafta hava akış şartları, sıcak tarafta doğal konveksiyon ve hava sıcaklığı sabit tutulurken, soğuk taraf sıcaklığı, 5 K'lik adımlarla değiştirilerek 3 farklı ortalama hava sıcaklığında gerçekleştirilmesi tavsiye edilir. Bu şekilde, yüzey dirençleri ve ısı transfer katsayıları, kalibrasyon paneli boyunca, toplam ısı akış hızı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak tayin edilebilir.

Hava akışı ile ilgili önemli hususlar: Hava sıcaklığı ve engelleme panellerindeki ölçmeler için kalibrasyon panelinde yüzey sıcaklıklarını ölçmede kullanılan aynı ızgara düzeninin (en az 9 adet) kullanılması tavsiye edilir. Sıcak tarafa doğal konveksiyon sağlayabilmek amacıyla, ortam hava hızına bağlı olarak (ilk kalibrasyon deneyi esnasında en az 1,5 m/s), çevreleme panelinin sıcak taraftaki yüzeyi ile engelleme paneli arasındaki mesafe 150 mm'den, soğuk taraftaki yüzeyi ile engelleme paneli arasındaki mesafe ise 50 mm den az olmamalıdır. Hava sıcaklıkları, hem sıcak hem de soğuk tarafta, engelleme panelleri ile çevreleme paneli ve numune (veya kalibrasyon paneli) yüzeylerinde ölçülmelidir.

Soğuk taraf hava hızı, serbest hava akış şartlarını temsil eden bir konumda ölçülmelidir. Hem düşey, hemde yatay yönde düzgün akış kalıplarını (modellerini) oluşturmak açısından, sıcaklık algılayıcının, deney numunesi yüzeyinin hemen üzerinde veya dışarı taşan herhengi bir bağlantının yakınında yer almaması gerekir. Sıcak tarafta küçük bir fan kullanılırsa, hava hızının doğal konveksiyonu (0,3 m/s'den küçük) temsil ettiğini doğrulamak için bir hava hızı algılayıcı kullanılmalıdır. Ölçme hücresi, sınır hatları üzerinde yer alan temas noktalarının açıklık kenarlarına 200 mm'den daha yakın olmasına sebep olacak boyutlarda ise,

çevreleme paneli sıcak yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi uygun değildir. Böyle hallerde, kalibrasyon değerini tayin etmek için çevreleme paneli ortalama yüzey sıcaklığı yerine, sıcak taraf ortalama hava sıcaklıkları kullanılabilir. Bu durumda, daha sonraki ölçmelerde çevreleme panelinden kaynaklanan etkileri düzeltmek için aynı işlem gerçekleştirilmelidir.

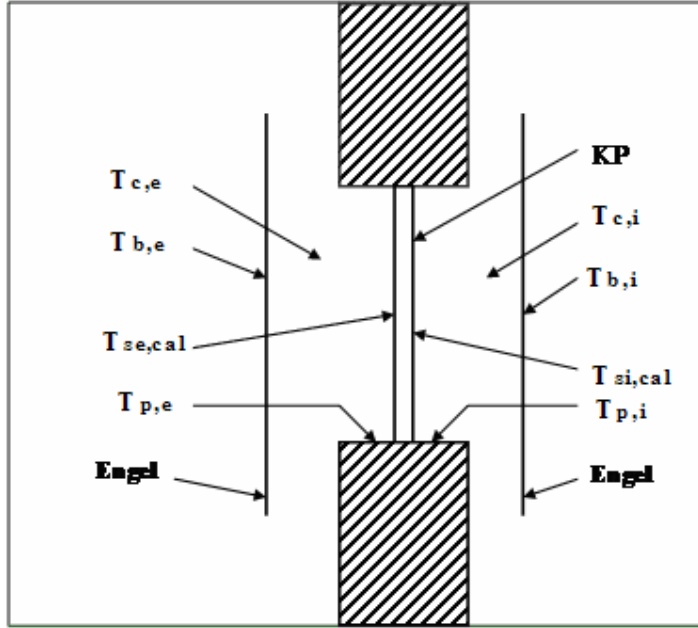
Hesaplamalar: Kalibrasyon paneli (ölçüm anında ise test numunesi), ortam sıcaklığı ölçülebilen ve kontrol edilebilen sıcak ve soğuk odalar arasına yerleştirilmiştir. Şekil 3.10' da gösterilen $T_{s,cal}$, T_p , T_b ve T_c sembolleri, sırasıyla (°C olarak); kalibrasyon panelinin ortalama yüzey sıcaklığı, çevreleme panelinin numunelerin oturtulduğu yüzeylerin (üst,alt,yan) ortalama sıcaklığı, engelin ortalama yüzey sıcaklığı ve ortalama hava sıcaklığını göstermektedir. Bu durumda, ışıma sıcaklığı ' T_r ', ışınım ve taşınım ortalama ısı transfer katsayıları ' hr ve hc ' olmak üzere; sıcak (veya soğuk) taraftaki ortam sıcaklığı ' T_n ' ve toplam ısıl direnç ' R_t ',

$$T_n = \frac{(hc \cdot T_c + hr \cdot T_r)}{(hc + Tr)} \quad (3.4)$$

$$R_t = (\Delta T_{n,cal} - \Delta T_{s,cal}) / Q_{cal} \quad (3.5)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilir. Son bağıntıda, $\Delta T_{n,cal}$, kalibrasyon panelinin her bir tarafındaki ortam sıcaklıkları arasındaki farkı, $\Delta T_{s,cal}$, kalibrasyon panelinin yüzey sıcaklıkları arasındaki farkı, Q_{cal} ise kalibrasyon panelinin ısı akısını göstermektedir. Kalibrasyon panelinin ortalama panel sıcaklığındaki ısıl direnci R_{cal} , bilinen bir değerdir ve yüzey sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı ($\Delta T_{s,cal}$) kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır:

$$Q_{cal} = \Delta T_{s,cal} / R_{cal}. \quad (3.6)$$



Şekil 3.10. Isıl kutu yönteminde hesaplamada etkili ısıl parametrelerin gösterimi

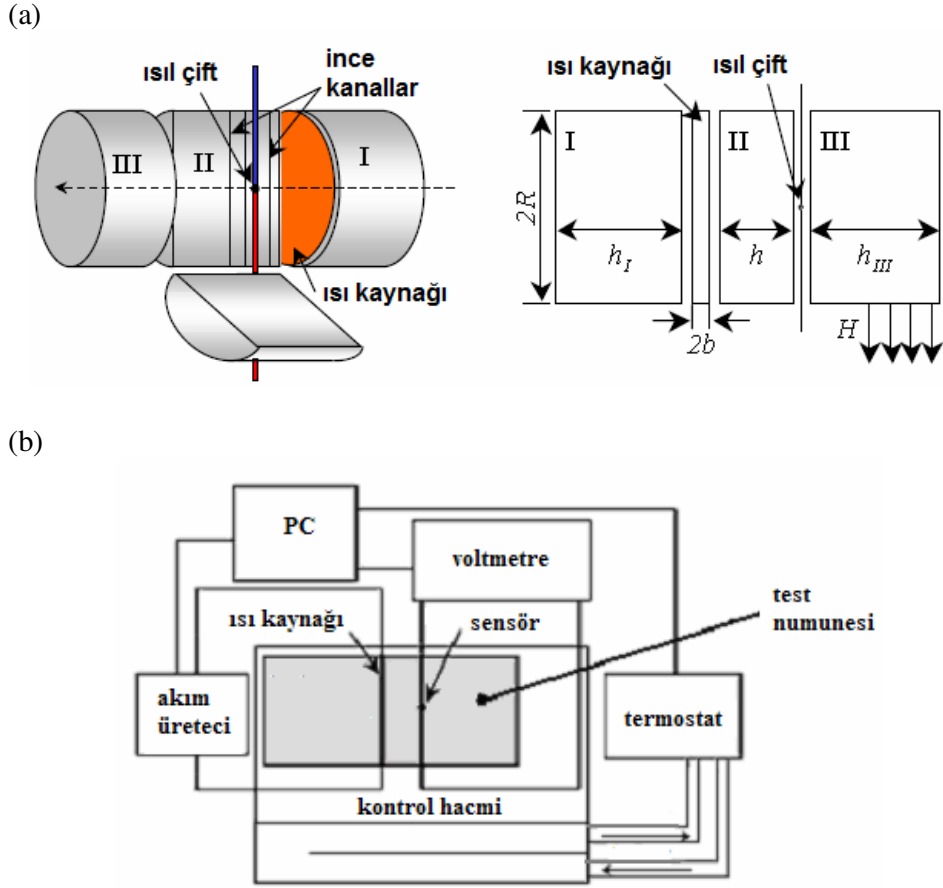
3.1.2. Geçici rejim ölçüm yöntemleri ve özellikleri

Geçici Rejim Yöntemleri' nin temelinde dinamik (zamana göre değişen) ölçüm yaklaşımı bulunmaktadır. Ölçüm sonucunda genellikle malzemelerin ısı yayılım katsayısı direkt olarak bulunabilmekte ve eğer malzeme yoğunluğu ile özgül ısı değeri biliniyorsa, ısı iletim katsayısı dolaylı olarak tespit edilmektedir. Ölçüm; katı hacim içerisinde ısı üretimi oluşturmak için gönderilen elektriksel ya da optik sinyal ile, malzeme içerisinde belirlenen bir noktadaki sıcaklık-zaman davranışının karşılaştırılması esasına göre yapılmaktadır (Gustafsson ve ark., 1984; Gustafsson, 1991). Uygulamada yaygın kullanılan Geçici Rejim Yöntemleri ait kısa bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiş olup, bu tekniklere ait detaylı bilgiler ileriki sayfalarda sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Geçici rejim yöntemleri ve ölçüm aralıkları

Ölçüm tekniği	Malzeme cinsi	Sıcaklık aralığı (°C)	Isıl iletkenlik aralığı (W/m.K)
1. TEMAS YÜZEYLİ			
Sıcak şerit	Cam, gıda maddesi, seramik	-50 / 500	0.1 / 5
Sıcak tel	Fırın malzemeleri; mineral, cam, plastik, granül ve partikül içeren katı, sıvı ve gazlar	-40 / 1600	0.001 / 20
Dalgalı sinyal	Polimer, taş ve kaya, seramik, bazı alaşımlar, ısı yalıtkanlar, su ve yağ numuneleri, toprak, mineral, lastik, partikül, toz, bazı yapı malzemeleri, erimiş gıda maddesi ve erimiş polimerler	-40 / 400	0.05 / 50
Gustafsson sensörü	Metaller, alaşımlar, seramikler, cam ve polimerler, fırın malzemeleri, kompozitler ve toz metalurji ürünleri	-70 / 700	0.05 / 200
2. OPTİK ESASLI			
Lazer aydınlatma tekniği	Elmas, süper metaller, polimerler ve seramikler	-100 / 3000	0.1 / 1500
Angstrom tekniği (klasik ve geliştirilmiş)	Metal ve alaşımlar, elmas, yarı-iletkenler, çok tabakalı polimer ve seramik kompozitler	-100 / 1300	0.5 ve üzeri
Ayarlı ışın tekniği	metaller, polimerler ve seramikler	300 / 2000	1 / 500
Fototermal teknikler	Katı malzemelerden oluşan küçük numuneler	-50 / 500	0.1 / 200

Çizelge 3.2'den anlaşılacağı üzere Geçici Rejim Yöntemleri; Temas Elemanlı ve Optik Esaslı olmak üzere iki temel başlık altında incelenebilmektedir. Geçici Rejim Yöntemleri ile, kompozitler, seramikler, süper iletkenler gibi homojen ve izotropik olmayan yapıdaki malzemelerin ısıl özellikleri belirlenebilmektedir. Ölçüm hızı çok yüksek olmakla birlikte, kullanılan aparatların maliyeti çok yüksektir. Ayrıca, düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler için kullanımında ek tedbirlerin alınması gereklidir (Gustaffson ve Long, 1995; Kubicar ve Bohac, 2000). Temaslı geçici rejim tekniklerine ait temel ölçüm prensibi ve sinyal - veri kontrolünde kullanılan blok diyagramı şematik olarak Şekil 3.11(a) ve (b)'de gösterilmektedir.



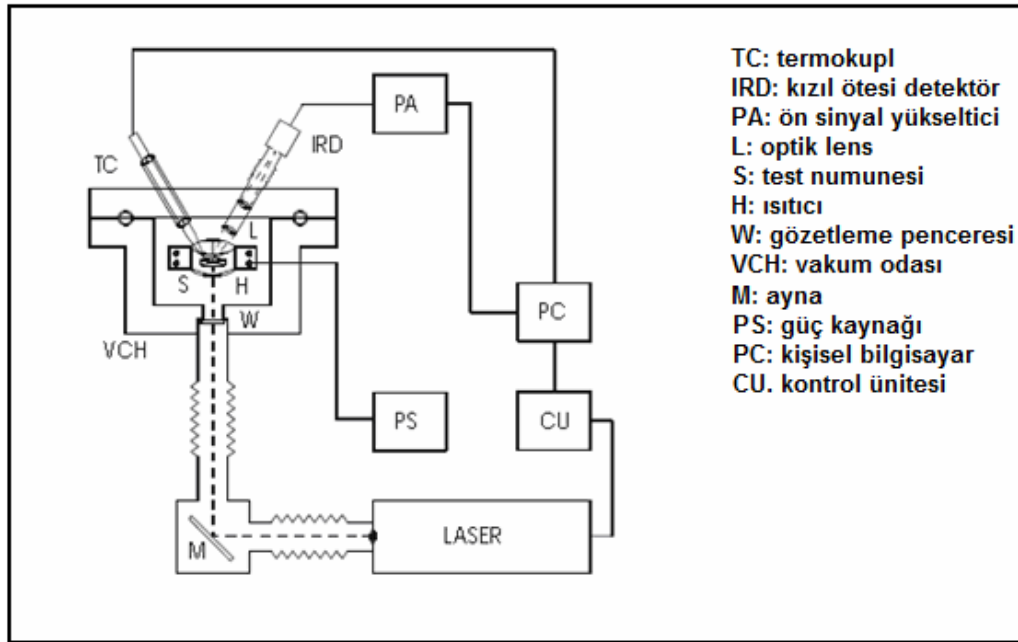
Şekil 3.11. Temaslı geçici rejim tekniğinde kullanılan; a) test numunesi tasarımı, (b) sinyal-veri kontrol sistemi blok diyagramı

Ölçüm için, uygun boyutlara sahip dikdörtgen ya da silindirik test numunesi içerisine, düşük kapasiteli ısı kaynağı ve sıcaklık sensörü (veya sensörleri) yerleştirilerek, sıcaklık değişimleri izlenir. Test numunesi içerisindeki ısı kaynağına periyodik ya da doğrusal elektrik akımı uygulanarak, sıcaklık sensöründen elde edilen dinamik (geçici) rejimdeki sıcaklık değerleri kaydedilir. Isı üretimi için uygulanan akım sinyali ile beklenen dinamik sıcaklık değişimi arasındaki ilişkiden yararlanılarak, test numunesine ait ısı yayılım katsayısı değeri belirlenir. Yerleştirilen ısı kaynağının geometrisine bağlı olarak, numune içerisinde çizgisel, düzlemsel ya da dairesel (disk) ısı üretimi gerçekleştirilir. ‘Temas Elemanlı Geçici Rejim Yöntemleri’ kapsamında kullanılan farklı geometriye ya da farklı giriş sinyalli düzenekler, Çizelge 3.3’de özet halinde ve şematik çizimleri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 3.3. Temas yüzeyli geçici rejim teknikleri

Yöntem	Test numunesi ve ısı kaynağı konumu	Deneysel ölçüm düzeneği
Sıcak tel		
Sıcak şerit		
Sıcak plaka		
Dalgalı sinyal		
Sıcak disk (Gustafsson yöntemi)		

Geçici Rejim Yöntemleri kapsamına giren diğer yaygın teknikler, optik esasa dayalı düzenekler içermektedir. Bu tür teknikler, hassas ölçümler yapabilmekle birlikte, çok pahalı bileşenler içermektedir. Test malzemesinin, hacim içerisinde oluşturulan periyodik enerji ya da ısıl dalgaya karşı verdiği tepki ölçümünün esasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılan teknik, Şekil 3.12’de gösterilen ‘Lazer Aydınlatma Tekniği’ olup, çok geniş sıcaklık aralığında (170 K and 2900 K) ölçümler yapılabilmektedir. Ölçüm için, test numunesi bir fırın içerisinde yerleştirilerek üniform bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve numunenin bir yüzeyine kısa süreli (1ms veya daha az) bir aydınlatma sinyali lazer ile gönderilmektedir. Numunenin diğer yüzeyinde bu sinyalden dolayı oluşan dinamik sıcaklık artışı bir kızıl ötesi detektör ile belirlenerek, ısıl yayılım katsayısı hesaplanabilmektedir. Söz konusu teknik, aşırı pahalı olması nedeniyle, çok ileri düzey uygulamalarda kullanılan malzemelerin (elmas, seramik ve çok katmanlı uçak türbini malzemeleri) ölçümünde kullanılmaktadır (Brauer ve ark., 1992).

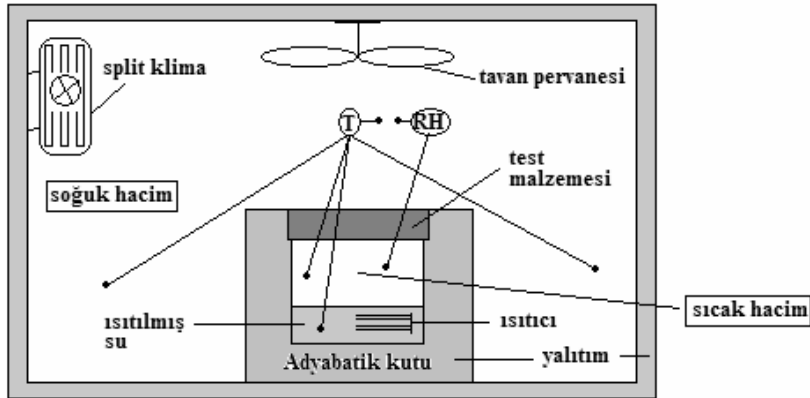


Şekil 3.12. Lazer aydınlatma tekniğinin şematik gösterimi

3.2. Deneysel Materyal

Bu tez çalışmasında, farklı numunelerin ısıl geçirgenlik katsayılarının kıyaslanması amacıyla, Yeşilata ve ark., (2007a) tarafından geliştirilen ve detayları (Yeşilata ve ark., TUBİTAK 105M021 nolu proje raporunda) anlatılan adyabatik-kutu yöntemi esas alınmıştır. Şekil 3.13’de prensip şeması verilen düzeneğin temel elemanı, içinde elektrikli ısıtıcı bulunan ve üst yüzeyi dışında diğer tüm (yan ve taban) yüzeyleri çok iyi izole edilmiş adyabatik bir kutu ya da haznedir. Hazne, bir split klima sistemiyle soğutulan küçük bir hacim içerisine yerleştirilmektedir. Soğuk oda görevi yapan bu hacimde, hava sıcaklık ve neminin homojen dağılımı için klima fanına ek olarak bir de tavan pervanesi bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, plaka numunelerin testi için kullanılan adyabatik kutuya ait görüntüler, Şekil 3.14’te gösterilmektedir. Adyabatik kutuların cidarları, 0.4 mm kalınlığında paslanmaz çelik saclar arasına, 15 cm kalınlığında poliüretan malzeme yerleştirilerek oluşturulmuş ve mükemmel bir ısı yalıtımı sağlanmıştır. Açık olan üst (tavan) yüzeye termal geçirgenliği belirleme amacıyla test malzemesi yerleştirilmektedir. Test numunelerinin etrafında, yan yüzeylere olası ısı kaybını engellemek amacıyla 13 cm kalınlığında yalıtım malzemesi bulunan bir çerçeve bulunmaktadır. Çerçeve yüksekliği, 8 cm kalınlığa kadar olan malzemelerin testine elverişli konumdadır.

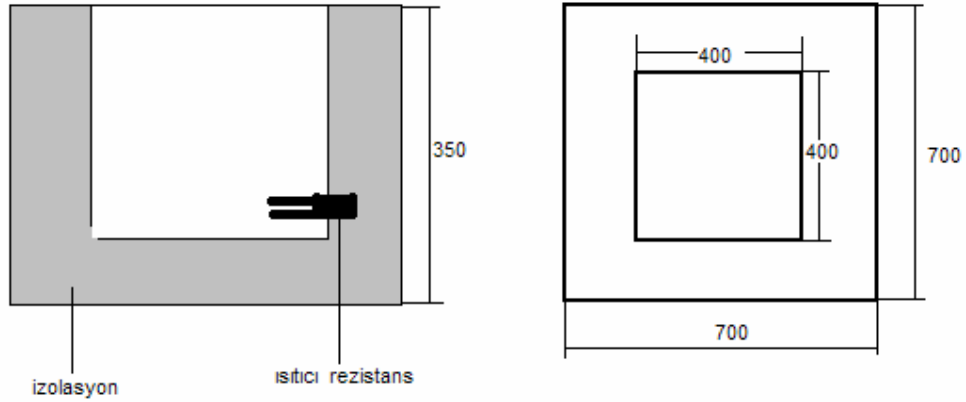


Şekil 3.13. Adyabatik kutu/hazne tekniğinin şematik gösterimi (T: sıcaklık sensörü, RH: nem sensörü)



Ön görünüş

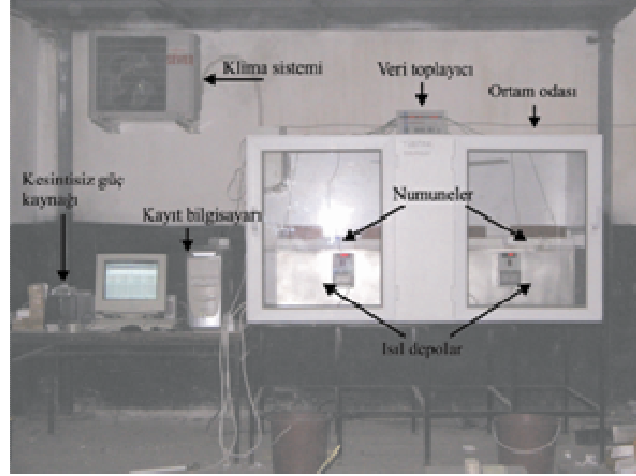
Üst görünüş



Şekil 3.14. Adyabatik hazneye ait geometrik boyutlar

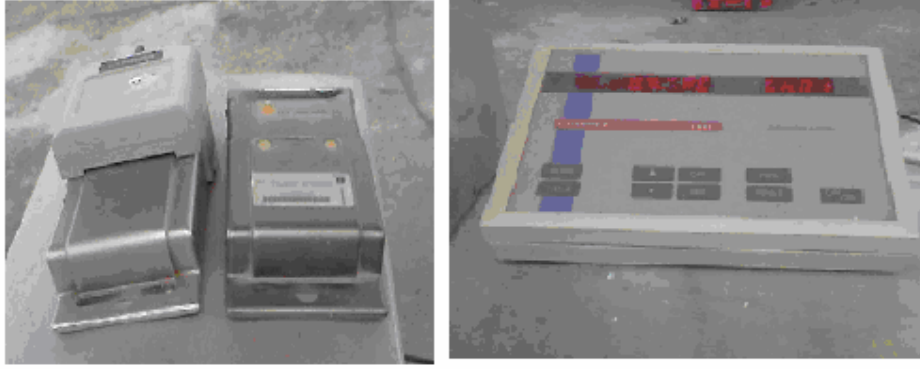
Deneyle sırasında adyabatik haznenin yerleştirildiği split klimalı soğuk odanın resmi, Şekil 3.15’de verilmiştir. Adyabatik hazne içerisinde bulunan sabit seviyedeki su, belirlenmiş bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra enerji kesilmekte ve üst yüzeyi anizotropik test malzemesi ile kapatılarak hacim içerisinde zamana bağlı sıcaklık değişimi ölçülmektedir. Bu şekilde bir tasarım, depo içerisinde ısıtılan suyun, soğuk hacme doğru sadece test malzemesinin bulunduğu yüzeyden ısı transfer ederek soğumasına sebep olmaktadır. Aynı kalınlığa sahip farklı test malzemeleri kullanarak, suyun soğuma sürelerinin kıyaslanması, test malzemelerinin toplam ısıt

geçirgenliklerinin kıyaslanmasına olanak tanımaktadır. Adyabatik depo içerisindeki su miktarı, hazne hacminin yaklaşık ¼'lük kısmını oluşturmaktadır. Su kullanılmasının temel nedeni; ısıtıcı yüzey sıcaklığının sadece hava bulunan ortamlarda çok çabuk yükselmesi ve hava içerisinde homojen sıcaklık dağılımını sağlamadaki zorluklardır.



Şekil 3.15. Split klimalı soğuk oda test düzeneği ve bileşenleri

Deney süresince, soğuk hacim içerisinde üç farklı noktadan ve sıcak hacim içerisinde bir noktadan, ısı çift sensörleri ve çok kanallı bir sıcaklık ölçme cihazı vasıtasıyla anlık sıcaklık değerleri $\pm 1^{\circ}\text{C}$ doğrulukla belirlenebilmektedir. Adyabatik kutu içerisindeki su sıcaklığı için, istenilen zaman aralıklarında sıcaklık değerlerini kaydeden ve RS 132 bağlantısıyla bilgisayar ortamına aktaran çok hassas ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) bir sıcaklık ölçer (Testo 171-1) kullanılmaktadır. Sıcak ve soğuk hacimdeki hava nemi çift kanallı bir nem ölçer (Testo 175-2) vasıtasıyla belirlenmektedir. Su sıcaklığı istenilen değere ulaştığı anda ısıtıcı kapatılmakta ve data ölçüm-kayıt işlemleri bu andan ($t=0$) itibaren geçerli hale gelmektedir. Soğuk hacim içerisinde farklı noktalardaki sıcaklık dalgalanmalarının seviyesi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ sınırları içerisinde tutulabilmektedir. Deney sırasında tüm sıcaklıklar, Şekil 3.16'da gösterilen sıcaklık ölçerler vasıtasıyla, 10 dakika aralıkla ve yaklaşık 20 saat boyunca ölçülerek, bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 3.16. Deneylerde kullanılan tek kanallı (sağdaki resim) ve çok kanallı (soldaki resim) sıcaklık ölçme cihazları

3.3. Yöntem

Bu tez çalışmasında; Kısım 3.1’de açıklanan kuramsal materyal ile ve Kısım 3.2’de tanıtilen hazır deneysel materyaller kullanılarak, farklı yapıdaki kompozit yapı malzemeleri ile farklı ısıl test koşulları ve düzenekleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneyler ve uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1. Split klimalı soğuk oda deneyleri

3.3.1.1. Soğuk oda içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi

Adyabatik hazne tekniği ile anizotropik malzemelerinin toplam ısıl geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, testlere başlamadan önce, soğuk odanın boş olarak ısıl davranışının belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla iç ortam sıcaklığı 20°C sıcaklığa ayarlanarak, Şekil 3.17’de gösterildiği üzere, odada bulunan hazneye test numunesi yerleştirilmeden, oda içindeki sıcaklık dağılımı araştırılmıştır. Hazne içerisinde homojen hava dağılımını sağlamak için oda içerisindeki fan test boyunca çalıştırılmıştır. 36 saat süren test süresinde haznenin 7 farklı noktasından sıcaklık değerleri alınmıştır.



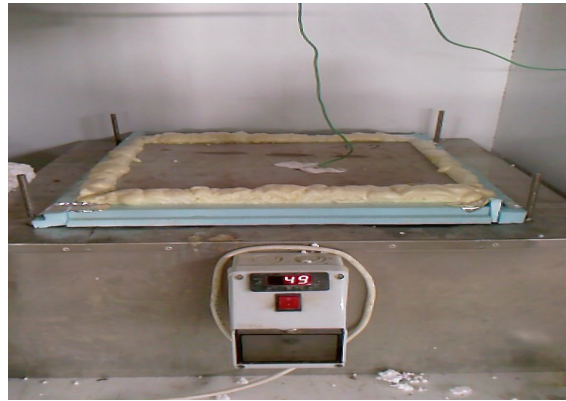
Şekil 3.17. Soğuk odanın boş konumda görüntüsü.

3.3.1.2. Yüksek yoğunluklu polistiren köpük (XPS) ve tahta malzemenin ısı geçirgenliklerinin kıyaslanması

XPS ve tahta malzeme kullanılmasının nedeni ısı geçirgenliklerinin küçük olması ve iç yapılarının homojen olmasıdır. Ayrıca bu malzemelerin ısı geçirgenlik katsayılarının biliniyor olması, yöntemin doğruluğunu görmek açısından önemlidir. 43 cm x 43 cm boyutlarında düzgün olarak kesilen XPS ve tahta numuneler adyabatik hazne üzerine yerleştirilerek, deneyler yapılmıştır.

3.3.1.3. Hurda lastik katılmış betonlarda test numunesi kenarının yalıtılarak, ısı geçirgenlik deneylerinin yapılması

Test numunesinin etrafından olası ısı kayıplarının etkisini belirlemek amacıyla, hurda lastik katılı beton numuneler, Şekil 3.18’ de gösterildiği gibi ısı iletim katsayısı oldukça düşük olan köpük kullanılarak, deneyler yapılmıştır.

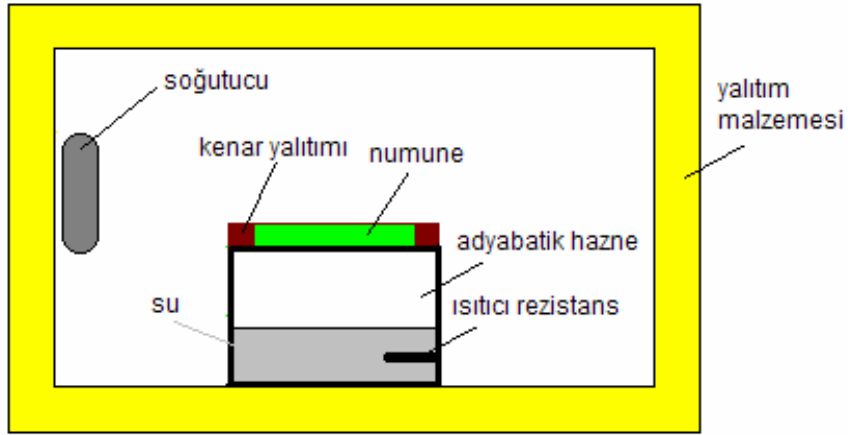


Şekil 3.18. Deney numunesinin köpük ile kenar yalıtımının yapılması

3.3.2. Evaporatörlü soğuk oda deneyleri

Split klimalı soğuk odada, sıcaklık 20°C sıcaklıktan aşağıya düşürülemediğinden, evaporatörlü bir oda kullanılarak farklı koşullarda ısı geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.19'da gösterilen evaporatörlü soğuk oda, $1200 \times 1000 \times 800$ ölçülerinde dört bir yüzeyi 50 mm kalınlığında strafor (EPS) ile yalıtılmış, içerisinde soğutucu evaporatör bulunan, dış yüzeyi ve iç yüzeyi 1 mm sacdan yapılmış odadır. Evaporatörlü soğuk odada, sıcaklık 0°C dereceye kadar düşürülebilmektedir.

(a)



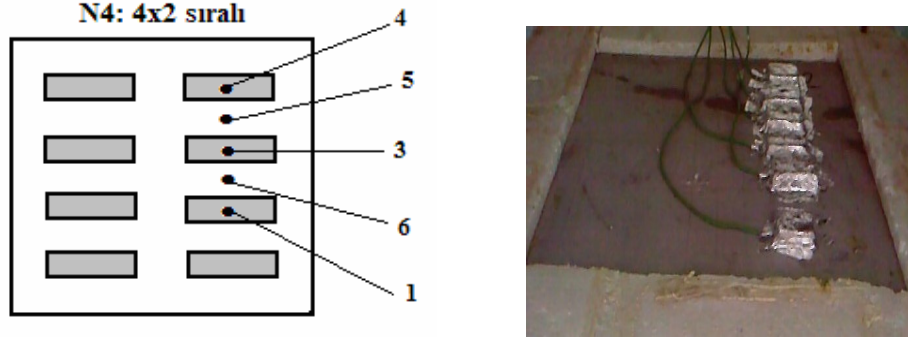
(b)



Şekil 3.19 Evaporatörlü soğuk odanın ; a) şematik çizimi, b) önden çekilmiş görüntüsü

3.3.2.1. Şerit tipi hurda lastik katılmış test numunesinin farklı bölgelerindeki sıcaklıkların ve ısı köprülerinin araştırılması

Şerit biçimli hurda lastik katkısı içeren test numunelerinin üzerinde, lastik katkısı olan ve olmayan bölgelerde sıcaklık değişimleri ve olası ısı köprüleri araştırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde Şekil 3.20’de gösterildiği üzere, sıcaklık ölçümleri sırası ile, hurda lastik katkısı yapılmış 3 noktadan, hurda lastik kullanılmayan 2 noktadan olmak üzere 5 noktadan yapılmıştır. Deneyde soğuk oda sıcaklığı 0 °C derecede sabit tutulmuştur. Su sıcaklığı ise 50 °C dereceye kadar ısıtıldıktan sonra teste başlanmıştır.

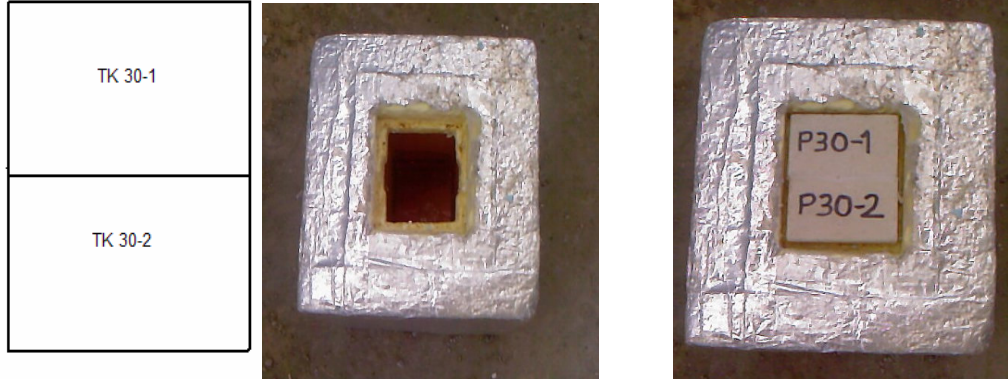


Şekil 3.20. 4x2 sıralı şerit lastikli numuneye ait sıcaklık ölçüm noktalarının (sağ şekil) ve ısı çift bağlantılarının (soldaki resim) gösterilmesi

3.3.2.2. Küçük boyutlarda test numunesi ve adyabatik kutu kullanılarak bölgesel urfa taşı malzemesinin ısı geçirgenlik deneyleri

Küçük boyuttaki test numunelerinin ısı testi için, adyabatik kutu boyutları küçültülerek, evaporatörlü soğuk oda içerisinde ısı testleri gerçekleştirilmiştir.

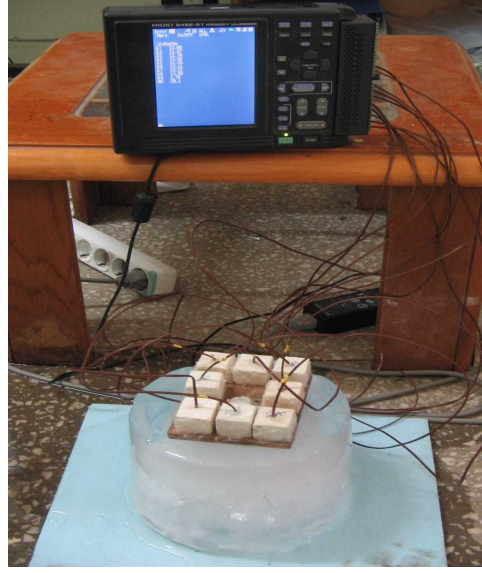
Kullanılan numune boyutları ve adyabatik hazne görüntüsü Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Urfa taşından hazırlanmış test numuneleri (sağ şekil) ve küçük boyutlardaki adyabatik kutunun üstten görünümü (soldaki resim)

3.3.3. Buz kütlesi üzerinde küçük boyutlu test numunesi deneyleri

Küçük boyuttaki test numunelerinin ısı testi için, numuneler Şekil 3.22’de gösterilen buz kalıbı üzerindeki bakır levha üzerine yerleştirilerek, oda sıcaklığındaki numunelerin üst yüzeylerindeki anlık sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Numunelerin yan yüzeyleri çevre etkisini minimize etmek amacıyla silikon ile kaplanmaktadır. Deney öncesinde bakır plakanın, buz kalıbın tüm yüzeylerine teması sağlanmakta ve numunelerin sıcaklıklarındaki azalma ile ısı performans değerleri arasındaki ilişki kurulmaktadır.



Şekil 3.22. Buz kütlesi üzerine yerleştirilmiş test numuneleri (sağ resim) ve deneyler sırasında sıcaklık ölçüm aparatının görünümü (soldaki resim)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Split klimalı soğuk oda deneyleri

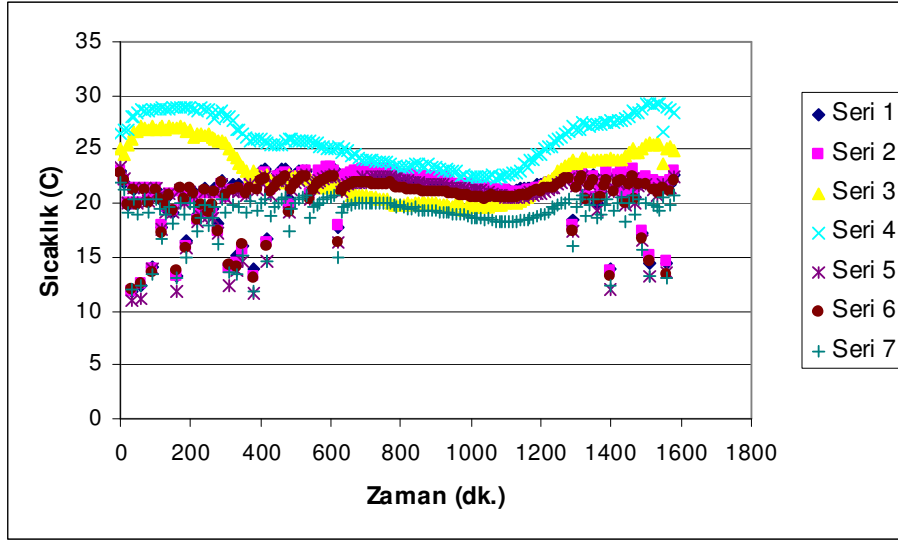
4.1.1. Soğuk oda içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi

Adyabatik hazne tekniği ile anizotropik malzemelerinin toplam ısı geçirgenlik özelliklerinin doğruluk seviyesinin artışı, soğuk hacim içerisinde sıcaklık dalgalanmalarının en aza indirilmesiyle mümkündür. Sıcaklık dalgalanmalarının karakterinin anlaşılması amacıyla, soğuk hacimde farklı noktalarda sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu ölçümler sırasında adyabatik hazneye test numunesi yerleştirilmemiş ve iç ortam ilk sıcaklığının yaklaşık 20°C olduğu konumda, soğuk oda kapıları kapatılarak split klima çalıştırılmıştır. Hazne içerisinde homojen hava dağılımını sağlamak için oda içerisindeki fan test boyunca çalıştırılmıştır.

Ölçüm sonuçları Şekil 4.1' de gösterilmektedir. Çizilen grafikten de anlaşılacağı gibi 0 – 600 dk ve 1300 – 1600 dk aralığında sıcaklık değerleri arasında bir miktar sapmalar görülmektedir. Deneyin başlangıç saati 12 :46 olduğundan 0-600 dk aralığı 12:46 – 22:46 saat aralığına denk gelmektedir. Bu saat aralıklarında dış ortam sıcaklığı yüksek olduğundan soğutucu klimanın devreye girip çıkması fazla olmaktadır.

Klimanın devreye girip çıkması esnasında, split klimaya yakın noktalarda kısa süreli sıcaklık düşüşleri görülmektedir. Bunun nedeni soğuk odanın boyutlarının klimanın soğutma kapasitesine göre nispeten düşük olmasıdır. Bu fark test sırasında ortaya çıkan ek ısı yükünü karşılamak açısından gereklidir. Dış ortam sıcaklığı yüksek olduğundan, klima devreye girdikten sonra oda sıcaklığı hızlı bir şekilde düşmekte, klima devreden çıkıncaya kadar sıcaklıklarda sapmalar meydana gelmektedir. Özellikle klimadan çıkan hava akımına yakın olan bölgelerde sıcaklık sapmaları daha fazla görülmektedir. Odada bulunan aksel fan, her ne kadar

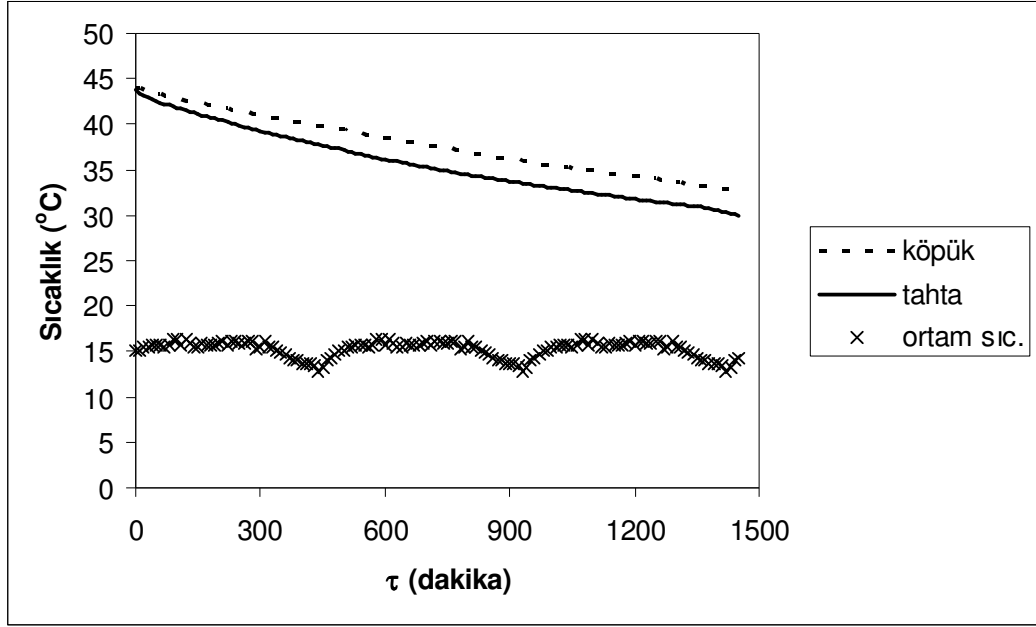
havanın homojen dağılımına yardım etse de, hava akımının kuvvetli olmasından dolayı istenen izotermal koşullar sağlanamamaktadır. Bu sıcaklık sapmalarını istenen seviyeye yaklaştırmak, hava debisinin uygun bir şekilde ayarlanmasıyla mümkün olabilmektedir. Mevcut grafik incelendiğinde, sıcaklıktaki dalgalanmaların ısı deneylerin doğruluğunu etkilemeyecek seviyede olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.1. Soğuk oda içi sıcaklık dağılımı

4.1.2. Yüksek yoğunluklu polistiren köpük (XPS) ve tahta malzemenin ısı geçirgenliklerinin kıyaslanması

Tahta ve yüksek yoğunluklu polistiren köpük (XPS) ile yapılan ısı deney sonucu Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Deney süresince hazne içerisindeki su 44 °C ’ye kadar ısıtılmakta, sonra test numuneleri hazne üzerine yerleştirildikten sonra ısıtıcıya verilen enerji kesilmektedir. Enerji kesildikten sonra hazne içerisindeki su soğumaya bırakılmaktadır. Soğuk oda ortalama sıcaklığının ortalama değeri, 15.2°C olarak ölçülmüştür. Şekildeki grafikte de görüldüğü gibi hazne içerisindeki su sıcaklığı başlangıçta hızla düşerken, daha sonra sıcaklık değişim eğrisi yaklaşık sabit kalacak şekilde bu düşüş hızı azalmaktadır.



Şekil 4.2. XPS köpük ve tahtanın hazne içi sıcaklık değişimleri

Numunelerin ısı transfer hızlarına bakıldığında polisitren köpük malzemenin tahta malzemeye göre ısıyı daha yavaş iletmediği görülecektir. Grafik dikkatle incelendiğinde, gerek soğuma periyoduna başlangıç anı, gerekse başlangıç sıcaklık değeri için numuneler arasında küçük miktarda da olsa bir fark söz konusudur. Benzer şekilde, numunelerin aynı anda test edilmemesinden dolayı T_0 değerinde de küçük farklar oluşabilmektedir. Numuneler arası objektif bir kıyaslanmanın yapılması açısından, bu farkları ortadan kaldıran bir yaklaşım, boyutsuz sıcaklık değerinin kullanımıdır (Yeşilata ve Turgut, 2005). Boyutsuz sıcaklık,

$$\theta^* = \frac{t(\tau) - t_o}{T(\tau=0) - t_o} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (4.1)$$

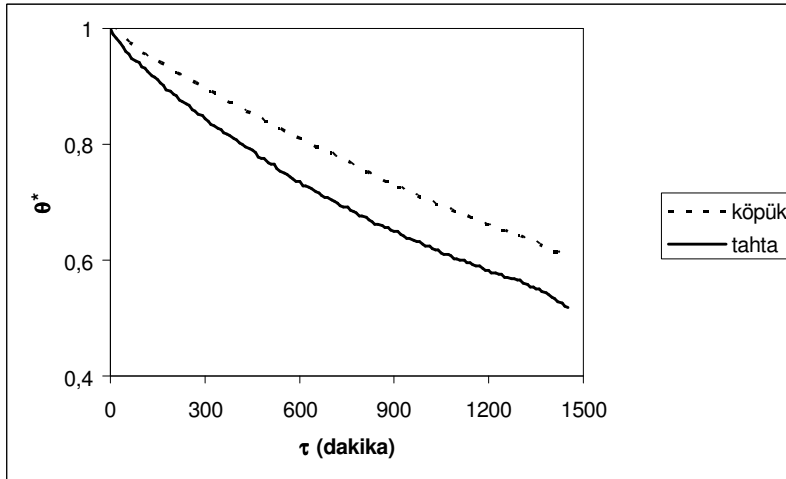
denklemleri ile tanımlanmakta olup, denklemlerdeki $T(t)$ ve $T(t=0)=T_i$, sırasıyla deney başlangıcındaki ve herhangi bir 't' anındaki (anlık) hazne içi su sıcaklığını, T_o ise çevre sıcaklığını temsil etmektedir. Bu parametre, farklı başlangıç koşullarında

denenen numuneler arasında kıyaslama yapma olanağı sağlaması açısından oldukça kullanışlıdır.

Boyutsuz sıcaklık parametresinin fiziksel anlamı; hazne içerisindeki suyun herhangi bir anda çevreye kıyasla sahip olduğu enerji (diğer bir ifadeyle, ekserji) potansiyelinin, $t=0$ anındaki ekserji potansiyeline oranıdır. Kütlesi (m) ve özgül ısı (c_p) bilinen suyun, belli bir anda çevre havasına kıyasla sahip olduğu ısı tutumlarının oranı yazıldığında (Yeşilata ve ark., 2007),

$$\theta^* = \frac{Q}{Q_i} = \frac{mc_p(t - t_o)}{mc_p(t_i - t_o)} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (4.2)$$

denklemini elde edilir. Bu nedenle, farklı numunelerin, deney süresi boyunca θ^* değerleri arasında oluşan fark, yalıtım özelliklerinin kıyaslanmasına olanak tanımaktadır. Test yapılan iki farklı numuneye ait boyutsuz sıcaklık değerleri Şekil 4.3’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. XPS köpük ve tahta numunelere ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Şekil 4.3’deki grafik dikkatli incelendiğinde deney sonuna doğru numunelere ait eğriler arası mesafenin sabit bir seyir izlediği görülmektedir. ‘Dinamik denge’

koşulunun sağlandığı bu bölgede, numuneler arası sanki-sürekli bir sıcaklık farkı söz konusudur. Deney süresi her iki numune için aynı olduğundan, deney sonuna karşılık gelen $\tau = \tau_d$ anı için θ^* değerlerinin kıyaslanmasıyla, numunelerin dinamik denge anındaki yalıtım özellikleri arasında yüzdesel farklar belirlenebilecektir. Denge anına ait yüzdesel farkın hesabı için Yeşilata ve Turgut (2005) tarafından aşağıdaki denklem önerilmektedir:

$$X_{denge}(\%) = \left(\frac{(\theta_{t=\tau_d}^*)_1}{(\theta_{t=\tau_d}^*)_2} - 1 \right) \times 100 \quad (4.3)$$

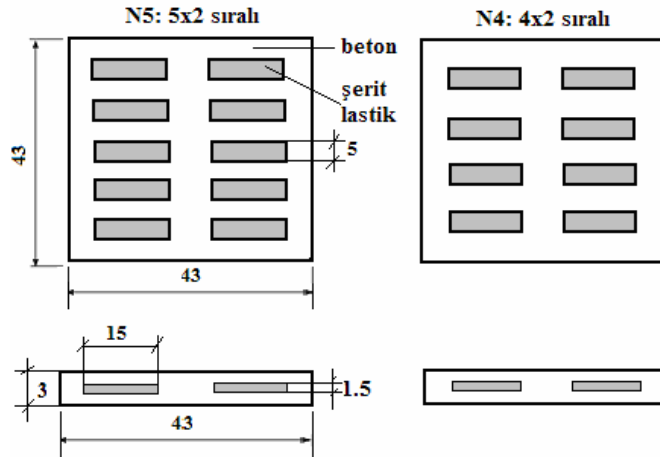
Denklemden; τ_d toplam deney süresini, (1) ve (2) indisleri kıyaslaması yapılan iki farklı numuneyi temsil etmektedir. Denklemde etkin kullanımı açısından (2) indisinin referans malzeme için uygulanması daha uygundur. Şekil 4.3'te sunulan ısı test için; (2) indisi tahta numuneye uygulandığında, Tablo 4.1'de verilen sonuçlar elde edilir. Bu sonuç, köpük numunenin ısı geçirgenlik değerinin %16.4 oranında daha düşük olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Isıl testi yapılan numunelerin yalıtım performanslarının karşılaştırılması

Numuneler	$\theta_{\tau=\tau_d}^*$	$X_{denge}(\%)$
Tahta	0.518	-
XPS Köpük	0.613	16.4

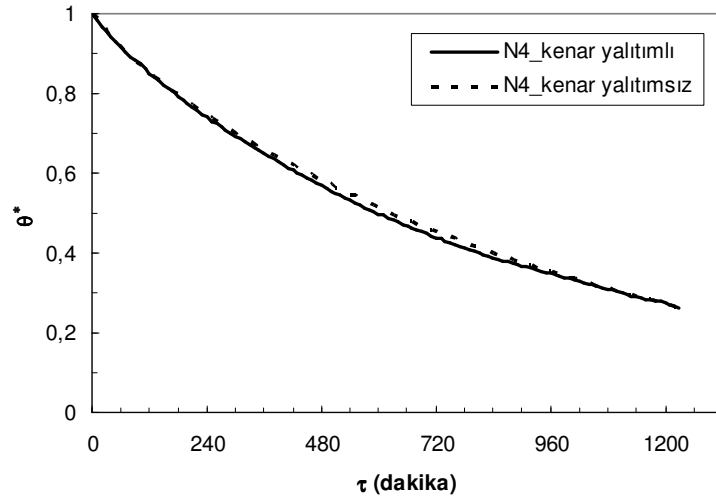
4.1.3. Hurda lastik katılmış betonlarda test numunesi kenarının yalıtılarak, ısıl geçirgenlik deneylerinin yapılması

Bu deney kenar kayıplarının ısıl test sonuçları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deneylerde kullanılan şerit biçiminde hurda lastik katkılı beton numunelere ait geometrik boyutlar Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan şerit biçiminde hurda lastik katkılı beton numunelere ait geometrik boyutlar (N5: 5x2 sıralı; N4: 4x2 sıralı).

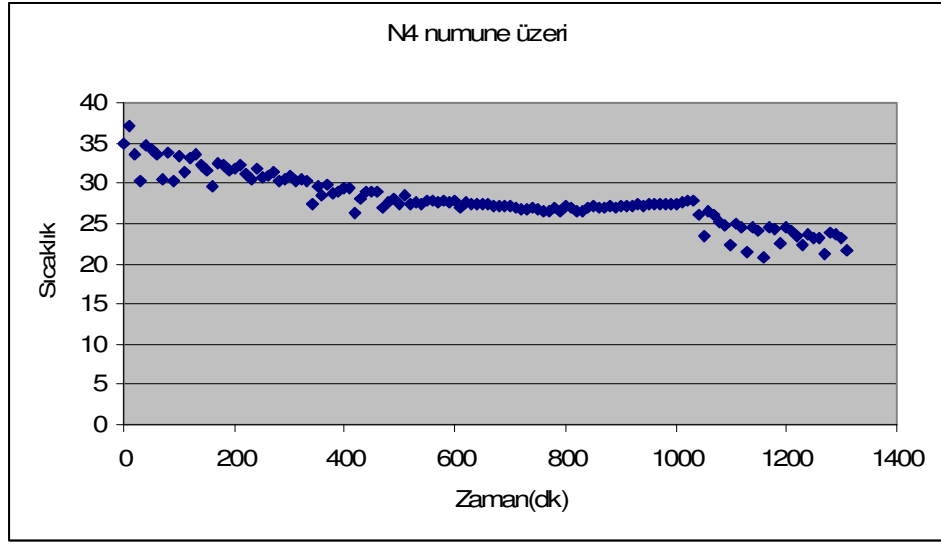
4x2 sıralı (N4 nolu) numune için, ısı iletim katsayısı oldukça düşük olan köpük kullanılarak numune kenarları yalıtımlı ve yalıtımsız durumda ısıl testler yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen sıcaklık değişimleri boyutsuz forma dönüştürülerek, oluşan grafik Şekil 4.5’ de verilmiştir.



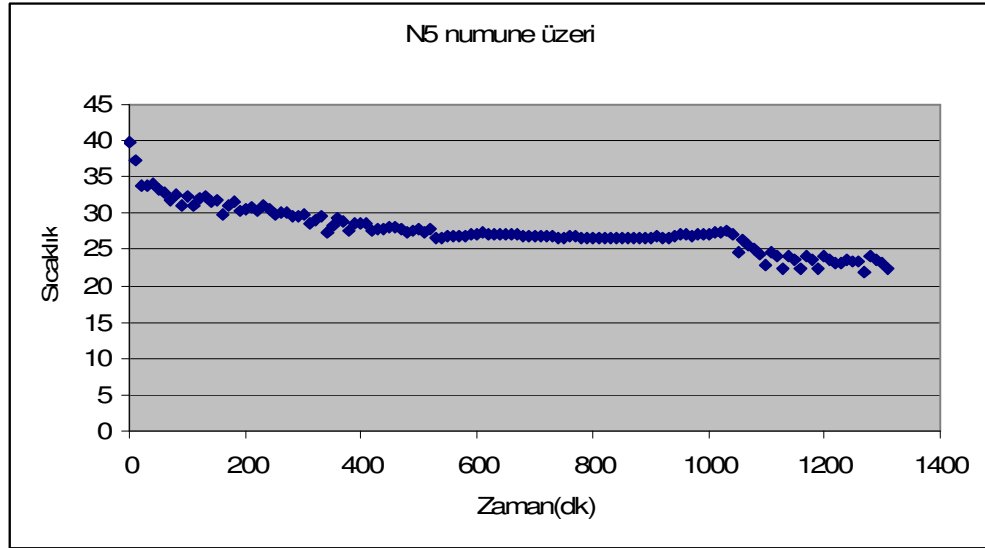
Şekil 4.5. 4x2 sıralı (N4) numunenin kenar kısımları yalıtılmış ve yalıtılmamış konumdaki boyutsuz sıcaklık değişimleri

Şekil 4.5' de gösterilen grafikten de anlaşılacağı üzere zaman-boyutsuz sıcaklık eğrileri her iki durum için aynı paralelde değişmiştir. N5 nolu numunede de benzer durum elde edilmiştir. Dolayısıyla, deney sırasında test numunesi kenarlarından olası ısı kayıpları, deney sonucunu etkileyecek düzeyde değildir. Bu kapsamdaki deneyler sırasında ayrıca; sıcaklık sensörleri N4 ve N5 numaralı numunelerin üzerine, yüzeye tam temas edecek şekilde tespit edilerek, sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Amaç, numunelerden ısı iletiminin hangi hızlarda gerçekleştiğini tespit etmektedir. Her iki numune yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

(a)



(b)

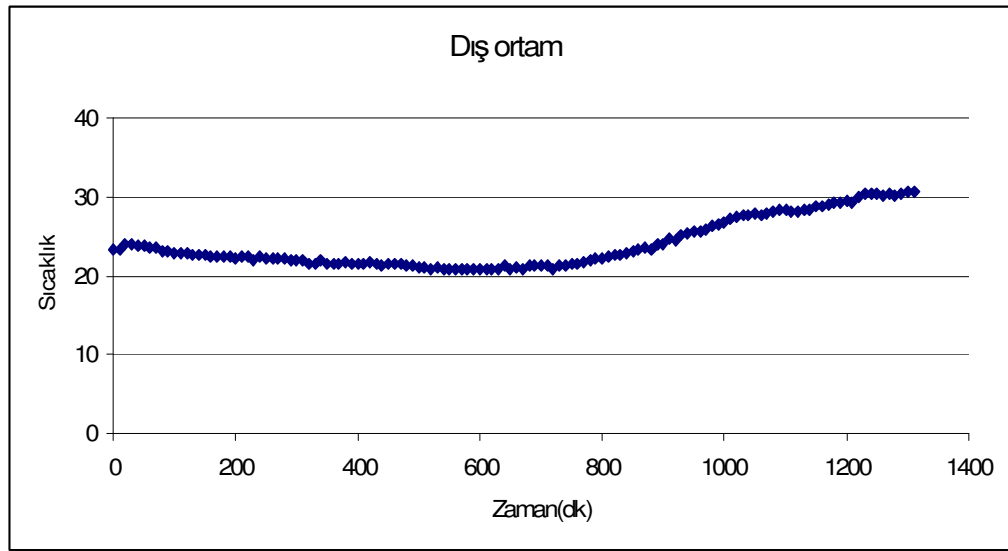


Şekil 4.6. Numunelerin üst yüzelerindeki sıcaklık değişimleri; a) N4 ve b) N5 nolu

Şekil 4.6'da gösterilen her bir grafiği üç eşit dilime bölersek 1. bölümde ve 3. bölümde sıcaklık değerlerinde aşağı yukarı biraz dalgalanmaların olduğu, 2. bölümde ise dalgalanma olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni 1. ve 3. bölgelerde klimanın daha sık devreye girip çıkmasıdır. Fakat dikkatlice incelenirse 1. bölgede numuneler

üzerindeki sıcaklık; sıcaklık farklarının yüksek olmasından dolayı 10°C kadar düşmekte 2. ve 3. bölgelerde sıcaklık eğrisinin yatay bir seyir izlediği gözlemlenmektedir. Isı aktarımı, 2. ve 3. bölgede düzgün bir rejim halini almaktadır.

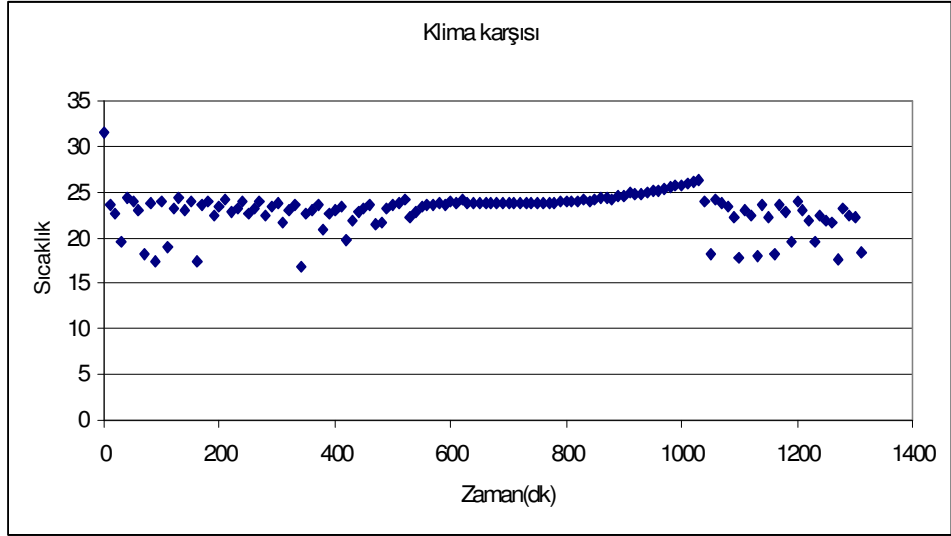
Bu durumu netleştirmek amacıyla, dış ortam sıcaklığı, soğuk hacim içerisinde split klima karşısındaki bir nokta ile tavan pervanesi üzerindeki bir noktada ölçülen sıcaklık değerleri ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir.



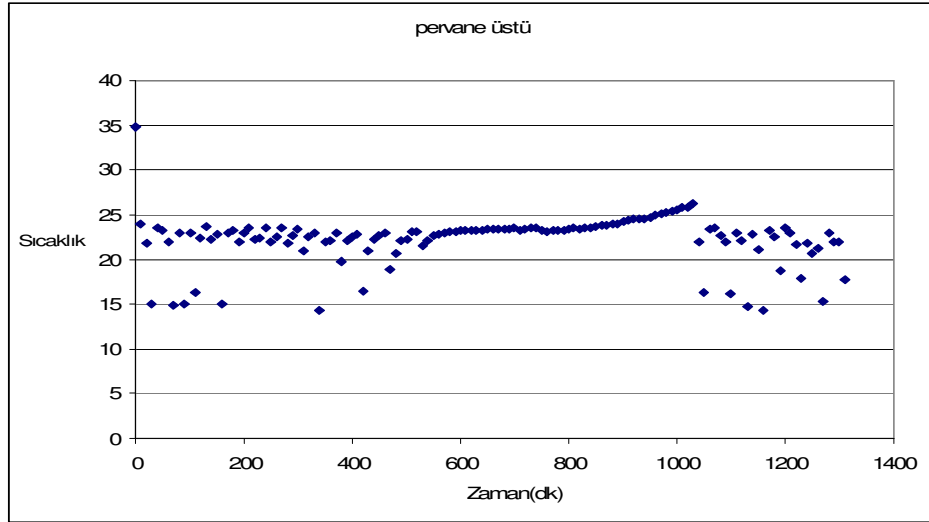
Şekil 4.7. Deneyler sırasında dış ortam sıcaklığında değişim

Dış ortam sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak split klimanın devreye giriş çıkış zaman aralıkları değişmektedir. Dış ortam sıcaklığının yükselmeğe başladığı aralıkta, soğuk hacim içerisindeki dalgalanmaların sıklığı ve seviyesi artmaktadır. Ancak ortalama sıcaklıklarda değişim çok düşük seviyelerde kalmaktadır.

(a)



(b)



Şekil 4.8. Deneyler sırasında soğuk hacim içerisinde farklı noktalarda sıcaklık değişimi; a) klima karşısı, b) pervane üstü

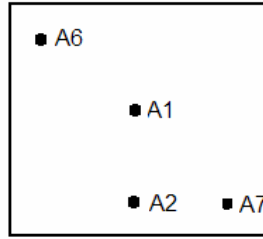
4.2. Evaporatörlü soğuk oda deneyleri

4.2.1. Şerit tipi hurda lastik katılmış test numunesinin farklı bölgelerindeki sıcaklıkların ve ısıl köprülerin araştırılması

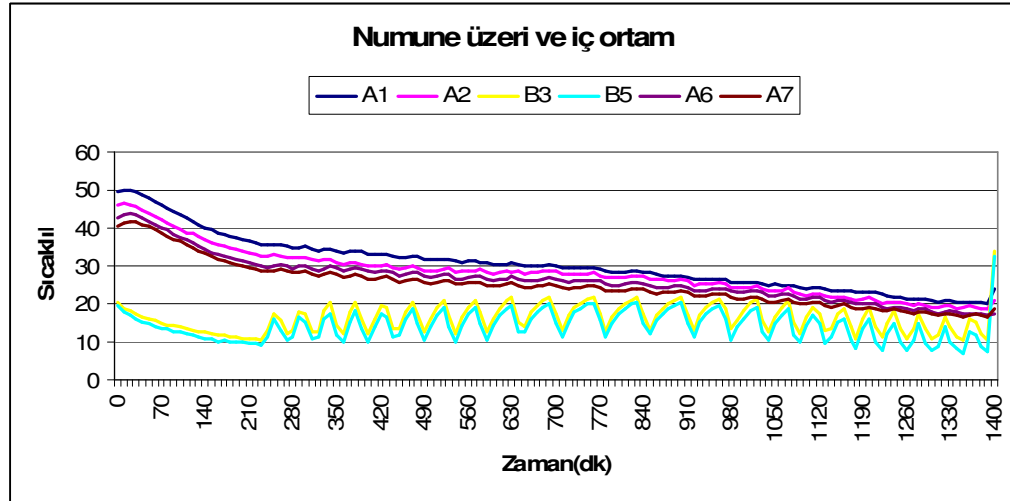
4.2.1.1. N4 nolu numune ile yapılan deneyler

Şerit biçimli hurda lastik katkısı içeren test numunelerinin üzerinde, lastik katkısı olan ve olmayan bölgelerde sıcaklık değişimleri ve olası ısıl köprüleri araştırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan ilk deney için, numune üzerinde belirlenen dört sıcaklık ölçüm noktasının konumu ve ölçüm sonuçları Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Grafikte gösterilen B3 ve B5 noktaları, soğuk oda içerisindeki farklı iki noktanın sıcaklık değerlerini göstermektedir.

(a)



(b)

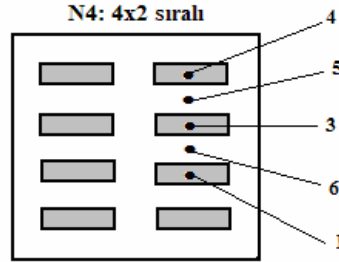


Şekil 4.9. N4 numaralı numune için; a) numune yüzeyindeki sıcaklık ölçüm noktaları, b) numune ve soğuk oda içi sıcaklık değişimleri

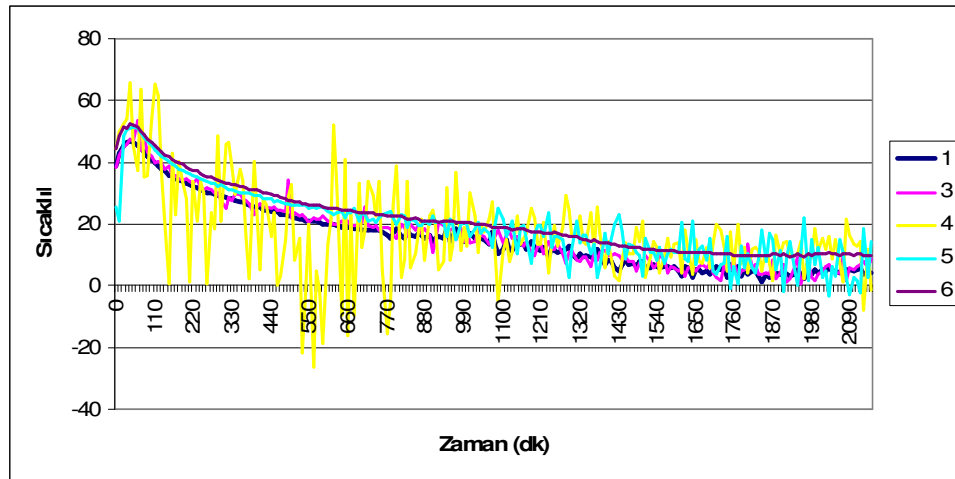
Grafikten anlaşılacağı gibi, numune üzerinde farklı noktalar üzerinde alınan sıcaklık değerleri birbirine yakın değerlerdir. Bu sonuç adyabatik hazne içerisindeki sıcaklık dağılımının düzgün olduğunu göstermektedir. Soğuk oda içi sıcaklıklar her iki noktada da 10 °C ile 20 °C arasında düzgün olarak değişmektedir. A1 ve A2 noktalarında atık lastik parçası olmadığından test süresince bu noktadaki sıcaklık değerleri yüksek olmaktadır.

N4 numunesi ile yapılan ikinci deneyde sıcaklık ölçüm noktalarının konumu ve sayısı değiştirilmiştir. Ayrıca bu deneyde soğuk oda sıcaklığı 0°C derecede sabit tutulmuştur, hazne içi su ilk sıcaklığı ise 50 °C dereceye ayarlanmıştır. İkinci deney için, numune üzerinde belirlenen beş sıcaklık ölçüm noktasının konumu ve ölçüm sonuçları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

(a)



(b)



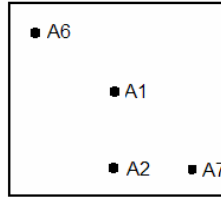
Şekil 4.10. N4 numaralı numune için; a) numune yüzeyindeki sıcaklık ölçüm noktaları, b) numune sıcaklık değişimleri

Deney sonucunda, hurda lastik katkıli bölgelerde ölçülen sıcaklıkların (1, 3 ve 4 noktaları), hurda lastik katkısı bulunmayan bölgelerden alınan sıcaklık değerlerine (5 ve 6 noktaları) göre, daha düşük ve daha kararlı olduğu görülmektedir.

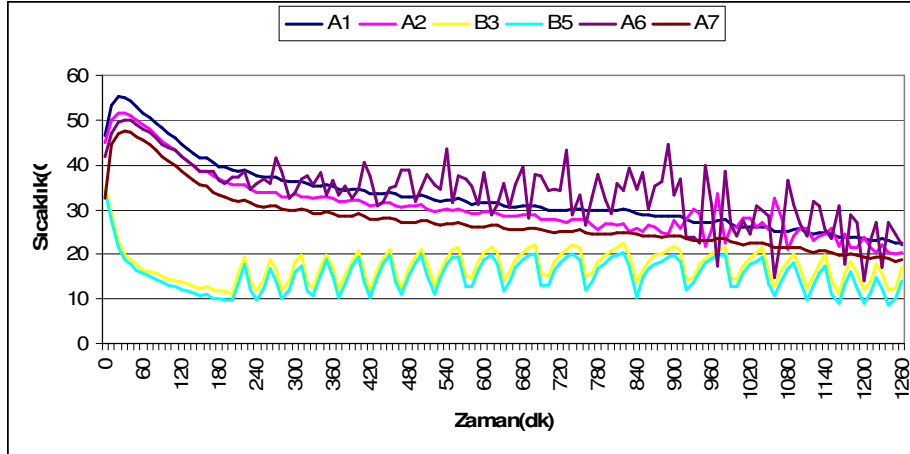
4.2.1.2. N5 no'lu numune ile yapılan deneyler

5x2 sıralı şerit biçimli hurda lastik katkısı içeren N5 nolu test numunesi üzerinde de, lastik katkısı olan ve olmayan bölgelerde sıcaklık değişimleri ve olası ısıl köprüleri araştırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. N5 nolu test numunesi ile yapılan ilk deney için, numune üzerinde belirlenen dört sıcaklık ölçüm noktasının konumu ve ölçüm sonuçları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Grafikte gösterilen B3 ve B5 noktaları, soğuk oda içerisindeki farklı iki noktanın sıcaklık değerlerini göstermektedir.

(a)



(b)

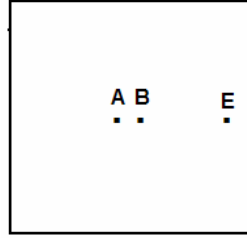


Şekil 4.11. N5 numaralı numune için; a) numune yüzeyindeki sıcaklık ölçüm noktaları, b) numune ve soğuk oda içi sıcaklık değişimleri

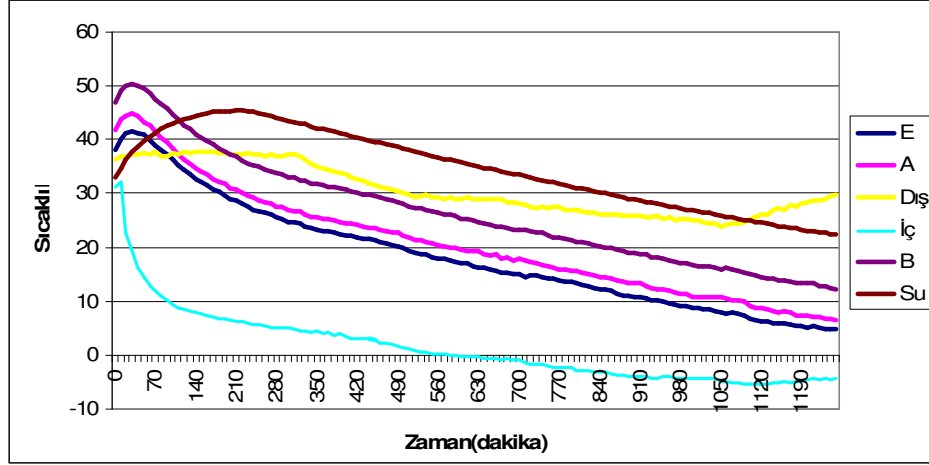
Grafikten de anlaşılacağı üzere, soğuk oda sıcaklığı 10 °C' ye düşene kadar numuneden ısı iletimi çok hızlı olmaktadır. Grafik doğrusala yakın bir şekil almaktadır. Soğuk oda içi sıcaklık 10 °C' ye düştükten sonra soğutucu durmakta, belirli bir periyod sonra tekrar çalışarak soğuk oda içi sıcaklığı 10 °C – 20 °C arasında sabit kalmaktadır. Buna paralel olarak numune üzerindeki sıcaklık değerlerinde de artış ve azalmalar olmaktadır. Kısaca grafikteki doğrusallık azalmakta ve ortam sıcaklığındaki en küçük sıcaklık değişimleri numune üzerindeki sıcaklık noktalarına hemen yansımaktadır. Bu sonuçlar, soğuk oda iç sıcaklığı istenilen oranda kontrol edildiğinde, adyabatik hazne tekniği ile alınan sonuçların doğruluk oranının yükseleceği anlamını taşımaktadır.

N5 numunesi ile yapılan ikinci deneyde; sıcaklık ölçüm noktalarının konumu ve sayısı değiştirilmiştir. Numune yüzeyinde aynı doğru üzerinde bulunan üç noktada sıcaklık ölçülmüştür. Ayrıca bu deneyde, soğuk oda sıcaklığı ile hazne içi su sıcaklığı da değişken parametre olarak ölçülmüştür. İkinci deney için, numune üzerinde belirlenen üç sıcaklık ölçüm noktasının konumu ve ölçüm sonuçları Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

(a)



(b)



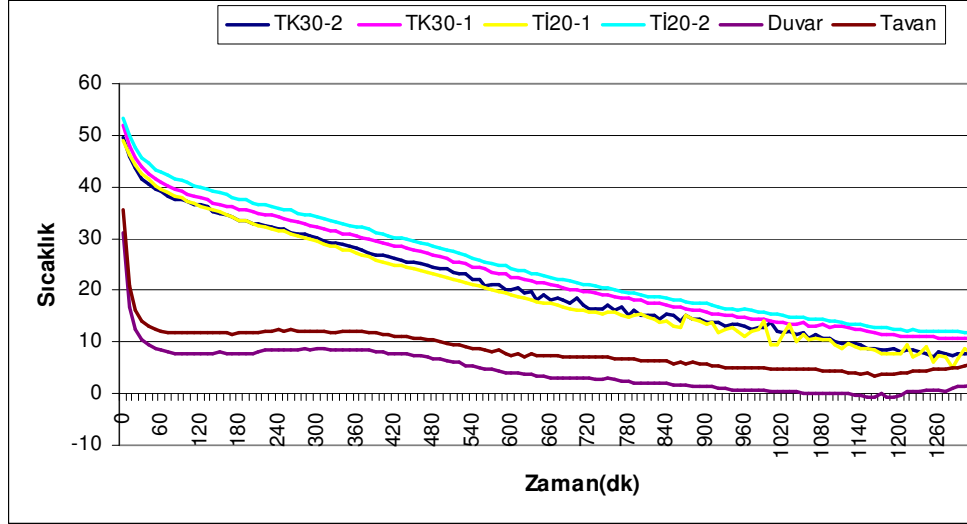
Şekil 4.12. N5 numaralı numune için; a) numune yüzeyindeki sıcaklık ölçüm noktaları, b) numune sıcaklık değişimleri

Grafikteki sonuçlar incelendiğinde; A noktası ve B noktası birbirine çok yakın olmalarına rağmen yüzey sıcaklıkları arasında büyük fark oluşmaktadır. Bunun nedeni A noktası hurda lastik kesitin üzerine gelmektedir. A noktası ile E noktası sıcaklıkları arasında ise daha küçük sıcaklık farkı vardır. E noktası kenara yakın olduğundan ısı kaybı biraz daha fazla olmaktadır. Deney süresince söz konusu bu noktalarda ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalaması; A noktası için 20.76 °C, B noktası için 26.64 °C ve E noktası için 18.43 °C olarak hesaplanmıştır.

4.2.2. Küçük boyutlarda test numunesi ve adyabatik hazne kullanılarak bölgesel urfa taşı malzemesinin ısıl geçirgenlik deneyleri

Küçük boyuttaki numunelerin ısı testi için, adyabatik kutu boyutları küçültülerek, evaporatörlü soğuk oda içerisinde ısı testleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan numune ve adyabatik hazne boyutları, önceki bölümde Şekil 3.20'de verildiği gibidir. Bu kısımdaki testler için, yerel bir malzeme olan Urfa Taşı

kullanılmıştır. Farklı özellikte, iki ayrı tip numuneden (Tİ20 ve Tİ30 nolu), ikişer adet numune kullanılarak testler yapılmıştır. Ölçümler sırasında soğuk oda tavan ve duvar üzerindeki birer noktadan da sıcaklık ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Urfa Taşından oluşan küçük boyutlu numune ve soğuk oda yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri

Grafikten görüleceği üzere; soğuk oda içerisinde tavan ve duvar sıcaklık değerleri arasında dikkate değer sıcaklık farkları oluşmuştur. Bu nedenle soğuk oda içerisindeki hava dağılımını homojen hale getirmek için pervane gerekmektedir. Deney başlangıcı ile ilk 8 saat arasında, dış ortam sıcaklıkları yüksek olduğundan soğuk oda içi sıcaklıkları 10 °C derecenin altına düşmemektedir. Bu tür durumlarda sıcaklığı istenen seviyenin altına düşürmek için soğuk oda yalıtımının iyileştirilmesi gerekmektedir. Numune yüzeyleri arasındaki sıcaklık dereceleri de ihmal edilmeyecek derecede yüksek çıkmaktadır. Tİ20-1 ile Tİ20-2 yüzey sıcaklıkları arasındaki fark çok yüksektir. Bu sıcaklık farkı deney süresince aynı kalmaktadır. Tİ20-1 numaralı numunenin Tİ20-2 numaralı numuneye göre ısı iletim hızının düşük olduğu açık şekilde görülmektedir.

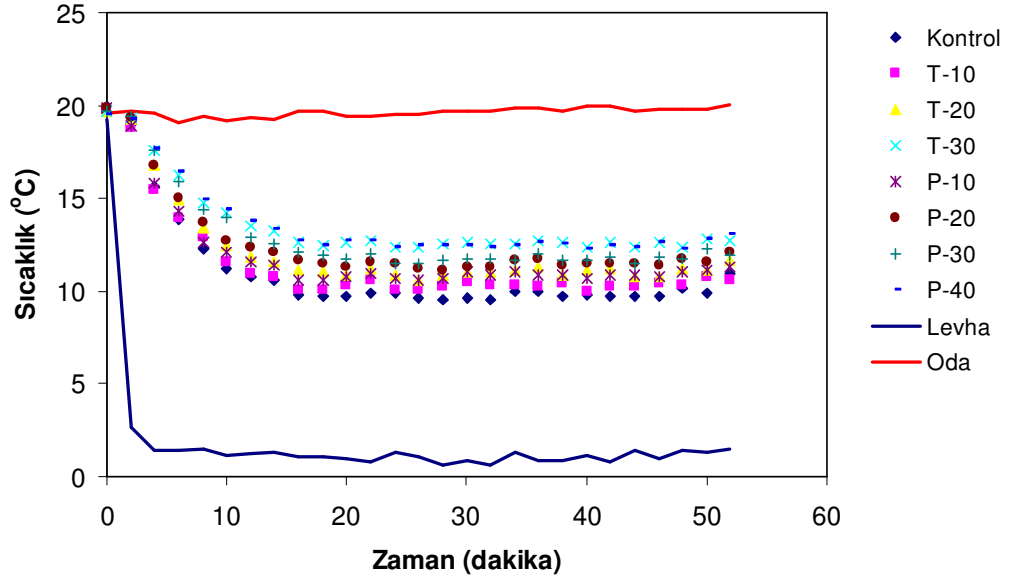
4.3. Buz Kütlesi Üzerinde Küçük Boyutlu Test Numunesi Deneyleri

Küçük boyuttaki numunelerin ısı testi için geliştirilen bir başka teknik, Thong-On ve Zhang (2002) tarafından uygulanan tekniğe benzer şekildedir. Ancak Turgut (2008) tarafından önerilen ve bu tez çalışmasında uygulanan tekniğin en önemli avantajı; çok sayıda numunenin testinin, aynı anda ve kısa süre sonunda gerçekleştirilebilmesidir. Uygulanma yöntemi önceki bölümde, Şekil 3.21’de gösterilen teknik uygulanarak Çizelge 4.2’de verilen numunelerin ısı testi aynı anda gerçekleştirilmiştir:

Çizelge 4.2. Isıl test uygulanan numuneler

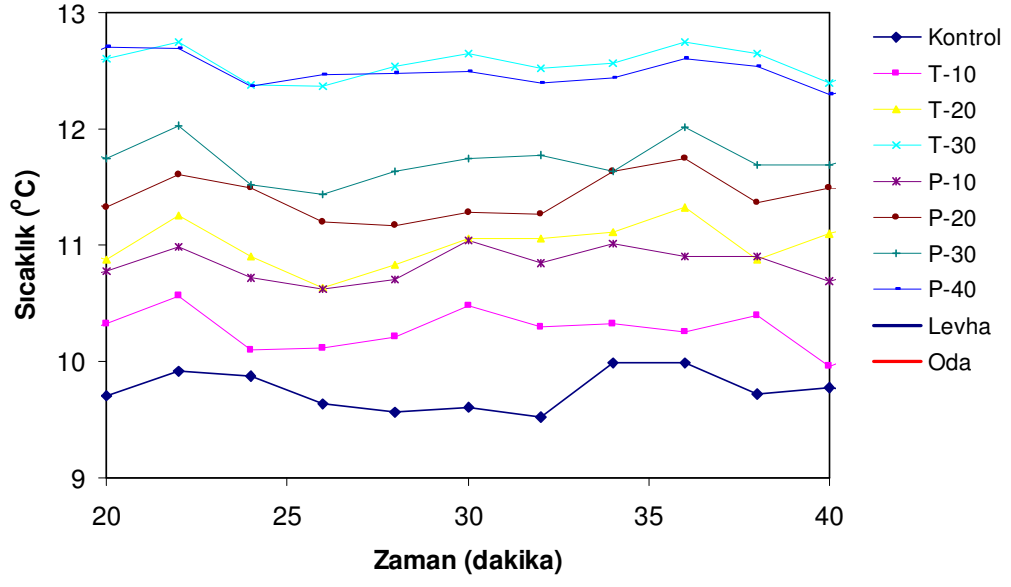
Kontrol	Sadece kireçtaşı tozu kullanılan numune
T-10	Hacimce %10 talaş içeren numune
T-20	Hacimce %20 talaş içeren numune
T-30	Hacimce %30 talaş içeren numune
P-10	Hacimce %10 pamuk içeren numune
P-20	Hacimce %20 pamuk içeren numune
P-30	Hacimce %30 pamuk içeren numune
P-40	Hacimce %30 pamuk içeren numune

Deneylere ait sonuçlar Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Test numunelerinin ısı iletim katsayıları çok yakın olduğundan, grafik üzerinde sıcaklık eğrilerini ayırt edilmesi güçtür. Bu nedenle, deney açısından yaklaşık kararlı koşulların sağlandığı bölgeye ait sıcaklık ölçeği kullanılarak grafik yeniden oluşturulmuş ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Bu şartlarda, numuneler arasındaki sıcaklık davranışlarını ayırt etmek mümkün olmuştur.



Şekil 4.14. Test numuneleri ile plaka ve ortam sıcaklık değişimleri

Bu son grafikten görüleceği üzere; en yüksek ısı iletim katsayısı, kontrol numunesine aittir. En düşük ısı iletim katsayıları ise T-30 ve P-40 nolu numunelere karşılık gelmektedir. Elde edilen bu sonuç, Turgut (2008) tarafından verilen ısı iletkenlik değerleriyle direkt uyumludur ve dolayısıyla uygulanan bu teknik, oldukça kullanışlıdır.



Şekil 4.15. Test numunelerine ait sıcaklık değişimlerinin kararlı bölgede gösterimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde, atık ya da ucuz malzemeler kullanılarak yapı malzemelerinin bazı özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde çalışmalar büyük hız kazanmıştır. Bu tür araştırmalar, ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler açısından büyük önem arz etmektedir. Çünkü, yapı malzemesi ve nakliye maliyetindeki düşüş, ülke ekonomisini ve konut piyasasını canlandırmaktadır. Bu tür araştırmaların yürütüldüğü laboratuvarların önemli çoğunluğunda, ısı özelliklerinin ölçümüne yönelik bir standart test düzeneği bulunmamaktadır ve yeni geliştirilen atık malzeme katkılı yapı malzemelerinin ısı özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilememektedir.

Dolayısıyla; kompozit yapı malzemelerinin ısı özelliklerinin direkt ya da dolaylı ölçümü için basit ve ekonomik bir yöntemin geliştirilmesi konusunda yoğun çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Mevcut tez çalışmasında; bu amaca yönelik olarak, ileri mühendislik malzemelerinin ısı özellik ölçümü için kullanılan yaygın tekniklerin tümü detaylı olarak irdelenmiş ve yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik değerinin kendi aralarında kıyaslanmasına olanak sağlayan basit ve ekonomik deneysel bir yöntem geliştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu doğrultuda yapılan öneriler aşağıdaki kısımlarda özetlenmiştir:

5.1. Sonuçlar

Sürekli rejim teknikleri kapsamında yoğun olarak kullanılan yöntemler; sıcak levha tekniği, ısı akışı ölçme tekniği ve ısı kutu yöntemidir. Bu kapsamda kullanılan bazı diğer tekniklerde söz konusudur, ancak standartlaşamamaları sebebi ile yaygın olarak kullanılmamaktadır. Sıcak levha tekniği, ısı akışı ölçme tekniği ve ısı kutu yöntemi ile ısı performans ölçümlerinde en önemli dezavantajlardan biri, bu tekniği kullanan cihazların satın alma maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca, tek boyutlu

ısı iletimini temin etmek için yanal yüzeylerin çok iyi yalıtılması yanında, numune boyutlarının da büyük tutulması gerekmektedir. Bu durum kararlı rejime ulaşana kadar çok uzun süre cihazın çalışmasını gerektirmekte ve işletme masrafı dışında, test sonucunu alma süresi de uzamaktadır. Son olarak, sıcaklık ölçümlerinde kullanılan sensörle, numune yüzeyi arasında oluşan temas direnci, özellikle yüksek sıcaklıklarda ölçüm hatalarına yol açmaktadır.

Geçici rejim teknikleri kapsamında kullanılan yöntemlerden en uygunu ‘temas elemanlı’ ısı test teknikleridir. Diğer temassız ısı test teknikleri (lazer flaş, Angstrom vs) gelişmiş laboratuvarlar da çok yüksek maliyetlerle kurulan düzenekler gerektirmekte ve ısı iletkenlik katsayısı yüksek numunelerde kullanılmaktadır. Temas elemanlı tekniklerde, kullanılacak ısı kaynağı geometrisine karar verildikten sonra, montaj sırasında temas direnci oluşmayacak şekilde malzeme içerisine gömülmesi gerektirmektedir. Ayrıca zamana bağlı bir boyutlu matematiksel modellemelerinin yapılması esnasında kullanılacak varsayımların, gerçek test koşullarına uygun olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Günümüzde özellikle kompozit ve anizotropik yapı malzemeleri için en yaygın kullanılan tekniklerden biri olma özelliğine sahiptir.

Bu tez çalışması kapsamında; adyabatik hazne tekniği kullanılarak çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir. Söz konusu teknik ile split klimalı soğuk oda deneyleri kapsamında; soğuk oda içi sıcaklık dağılımı belirlenmiş, yüksek yoğunluklu polistiren köpük (XPS) ve tahta malzemenin ısı geçirgenlikleri kıyaslanmış, hurda lastik katılmış betonlarda test numunesi kenarının yalıtılarak, ısı geçirgenlik deneyleri yapılmıştır. Evaporatörlü soğuk oda deneyleri kapsamında ise; şerit tipi hurda lastik katılmış test numunelerinin (N4 ve N5 nolu numuneler) farklı bölgelerindeki sıcaklıklar ve ısı köprüleri araştırılmış, küçük boyutlarda test numunesi ve adyabatik kutu kullanılarak bölgesel Urfa taşı malzemesinin ısı geçirgenlik deneyleri belirlenmiştir. Deneylerde elde edilen grafikler beraber incelendiğinde; numunelerin her iki odadaki ısı transfer davranışları aynı gözükmektedir. Bu gözlem, adyabatik hazne duvarlarından farklı sıcaklıklardaki bu

odalara kaybedilen ısı miktarının test doğruluğunu etkilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Adyabatik hazne tekniği ile gerçekleştirilen kapsamlı deneyler; tekniğin basit ve ekonomik olması yanında, çok karmaşık iç yapıya sahip düzlemsel yapı elemanlarının yalıtım özelliklerinin kıyaslanmasına olanak sağladığını göstermektedir. Ancak bu tekniğin en önemli dezavantajlarından biri; test malzemesinin ısı iletim katsayısının (k) ya da pratik uygulamalar açısından büyük önem arz eden toplam ısı geçirgenlik katsayısının (U veya R) mutlak değer olarak bulunamamasıdır. Teknik hali hazırda iki farklı numunelerin ısı geçirgenlik değerlerini kıyaslamalı olarak ölçmektedir.

Bu tez çalışmasında yeni bir teknik olarak uygulanan, buz kütleli soğuk plaka tekniği ile küçük boyutlu çok sayıda test numunesinin ısı testi aynı anda ve kısa sürede yapılabilmektedir. Teknik kıyaslamalı olarak numunelerin ısı geçirgenlik değerlerinin sıralamasını doğru vermektedir. Tekniğin en önemli avantajı; her yapı malzeme laboratuvarında kolaylıkla uygulanabilir ekonomik bir düzenek gerektirmesidir. Hali hazırda en önemli eksikliği ise; zamana bağlı bir boyutlu ısı transfer modelinin henüz oluşturulamamasıdır.

5.2. Öneriler

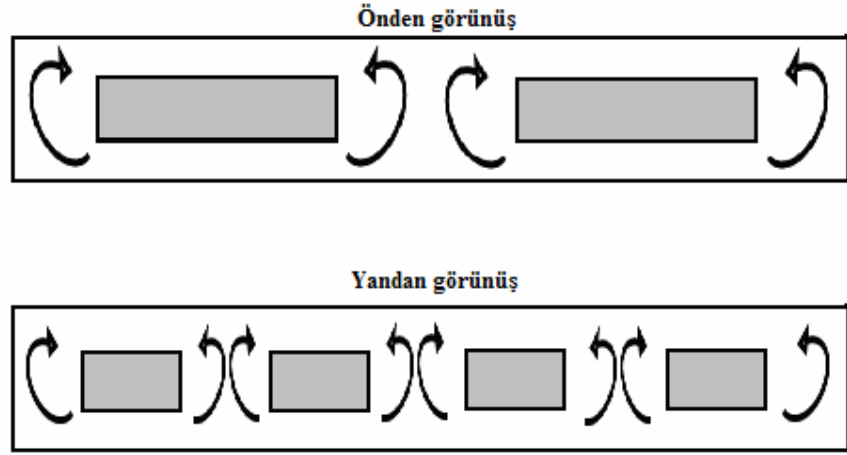
Evaporatörlü soğuk oda içerisinde yapılan deneyler sırasında; tavan ve duvar sıcaklık değerleri arasında dikkate değer sıcaklık farkları oluşmuştur. Bu nedenle soğuk oda içerisindeki hava dağılımını homejen hale getirmek için uygun büyüklükte bir fan ya da pervane gerekmektedir. Deney başlangıcı ile ilk 8 saat arasında, dış ortam sıcaklıkları yüksek olduğundan soğuk oda içi sıcaklıkları 10°C derecenin altına düşmemektedir. Bu tür durumlarda sıcaklığı istenen seviyenin altına düşürmek için soğuk oda yalıtımının iyileştirilmesi gerekmektedir.

Testlerde kullanılan şerit biçiminde hurda lastik katkılı numunelerde, lastik şeritler arasında ısı köprüsü oluşmaktadır. Bu ısı köprüsünün yönü yukarı doğrudur.

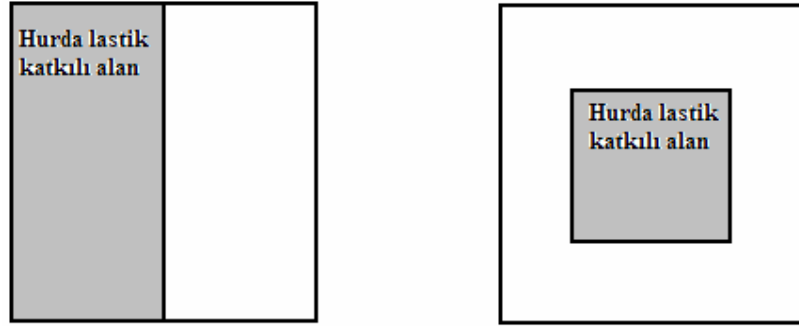
Bu nedenle; hurda lastik katkısı olan bölgenin merkezi ile hurda lastik katkısı olmayan bir bölgenin merkez sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması, hurda şerit lastik takviyesinin amacına ulaştığının bir göstergesidir. Hurda lastik kesitin bitiminde ısı köprüsü; Şekil 5.1(a)'da gösterildiği gibi yön değiştirmekte ve ısı akışı yukarı ile birlikte sağa ve sola doğru olmaktadır. Bu nedenle, söz konusu noktalar arasında bir sıcaklık farkı ortaya çıkmaktadır. Bu sıcaklık farkını en aza indirmek için, hurda lastik kesitlerinin Şekil 5.1(b)'de gösterildiği gibi geniş olması veya hurda lastik kesitleri arasındaki mesafelerin küçük tutulması ısıl davranış açısından faydalı olacaktır. İdeal geometrik yerleştirme için, farklı deney numuneleri ile test sayısının artırılması gereklidir.

Buz kütleli soğuk plaka tekniği ile küçük boyutlu çok sayıda test numunesinin ısı testi aynı anda ve kısa sürede yapılabildiğinden, bu tekniğin geliştirilmesi yönünde araştırmalar sürdürülmelidir. İlk önemli aşamalardan biri; zamana bağlı bir boyutlu ısı transferi teorik modellemesinin yapılmasıdır. Bu esnada, numuneler arasındaki ideal mesafenin ne olması gerektiği konusunun, hassasiyetle ele alınmalıdır.

(a)



(b)



Şekil 5.1. a) Şerit lastikli numunelerde ısı akış yönü tahmini, b) Homojen yüzey sıcaklığı sağlamak için alternatif numune önerileri.

KAYNAKLAR

- ABDOU, A.A., BUDAİWİ, I.M., 2005. Comparison of Thermal Conductivity Measurements of Building Insulation Materials Under Various Operating Temperatures, *Journal of Building Physics*, 29: 171-184.
- AKTACİR, A., YEŞİLATA, B., AÇIKER, Ş.M., 2000. Binalarda Yalıtım Kullanımının Ekonomik Analizi Üzerine Bir Çalışma, 3.GAP Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa-TR pp. 65-70.
- ASSAEL, M.J., DİX, M., GİALOU, K., VOZAR, L., WAKEHAM, W.A., 2002. Application of The Transient Hot - Wire Technique To The Measurement Of The Thermal Conductivity Of Solids, *Int. J. Thermophys*, 23: 615-633.
- ASTM. 2000a. Standard Test Method For Steadystate Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of The Guarded- Hot- Plate Apparatus, Annual Book of ASTM Standards (04.06), C 177-197.
- ASTM. 2000b. Standard Test Method for Steadystate Thermal Performance of building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box, Annual Book of ASTM Standards (04.06), C 236-289.
- BRAUER, G., DUSZA, L., and SCHULZ, B., 1992. New Laser Flash Equipment LFA 427, *Interceram*, 41: 489-492.
- BS 874. 1986. Determining Thermal Insulating Properties; Part 2. Tests for Thermal Conductivity and Related Properties, Section 2.1 Guarded Hot - Plate, Method, British Standards Institution,
- ÇINAR, A., İYNEN, U., 2002. Hazır Beton Harçlarında Lastik Malzeme Takviyesiyle Yalıtım İyileştirilmesinin Deneysel Analizi, (Bitirme Tezi), Harran Üniv.Makina Müh. Böl.
- ÇİMEN, F., 1999. 21. Yüzyılın Enerji Teknolojileri, Enerji Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasında Teknolojinin Rolü, TÜBİTAK BTP 99/01.
- GUSTAFSSON, S.E., CHOCHAN, M.A., AHMET, K., MAQSOOD, A., 1984. Thermal Properties of Thin Insulating Layers Using Pulse Transient Hot Measurements, *J. Appl. Phys.* 55: 3348-3353.
- GUSTAFSSON, S.E., 1991. Transient Plane Source Technique For Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity Measurements of Solid Materials, *Rev. Sci. Instrum.* 62: 797-804.
- GUSTAFSSON, S.E., Long, T., 1995. Transient Plane Source (TPS) Technique for Measuring Thermal Properties of Building Materials, *Fire and Material*, 19: 43-49.
- İŞIKEL, K., 1999. Yeni TS 825 ve Enerjiyi Verimli Kullanan Binalar, *İzolasyon Dünyası*, 18: 15-18 .
- İŞIKER Y., 2003. Atık Polimerik Malzeme Takviyesiyle Beton Harçlarında Yalıtım İyileştirilmesi, (Bitirme Tezi), Harran Üniv. Makina Müh. Böl.
- KUBİKAR, L., BOHAC, C., 2000. A Step – Wise Method for Measuring Thermophysical Parameters of Materials, *Meas. Sci. Tech.* 11: 252-258.
- MUMAW, J.R., 1974. Heat Transmission Measurements in Thermal Insulations, ASTM STP 544, Ed. R P Tye, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp.193-211.

- MUMAW, J R., 1980. Thermal Insulation Performance, ASTM STP 718, Eds D L McElroy and R P Tye, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 195-207.
- THONG-ON, N., ZHANG, X., 2002. Adding Crumb Rubber Into Exterior Wall Materials, Waste Management & Research, 20:407–413.
- TURGUT, P., 2008. Buz Kütlesi ile Soğuk Plaka Isıl Test Tekniği Konusunda Kişisel Görüşme Notları.
- TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, TS 825. Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları, Ankara, (1985).
- TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, TS 825. Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları, Ankara, (1998).
- TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, TS 388. Plaka Metodu ile Isı İletkenliğinin Tayini, Ankara, (1977).
- VAHANYAN, A.I., 2006. A Method for The Thermal Conductivity Measurement of Semiconductors, Measurement, 39: 447–450.
- YEŞİLATA, B., TURGUT, P., 2007. A Simple Dynamic Measurement Technique for Comparing Thermal Insulation Performances of Anisotropic Building Material , Energy and Buildings, 39:1027-1034.
- YEŞİLATA, B., TURGUT, P., 2005. Atık Lastik Katılmış Harçların Isı Yalıtım Özelliği, Politeknik, 8: 173-177.
- YEŞİLATA, B., TURGUT, P., IŞIKER, Y., 2006. Atık Polimerik Malzeme Katkılı Betonun Yalıtım Özelliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 26: 15-20.
- ZAWILSKIA, B. M., and TRITT, T.M., 2001. Dynamic Measurement Access, a New Technique for Fast Thermal Conductivity Measurement, Rev. Sci. Instrum., 72 (10): 3937 – 3939.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Aksaray da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Aksaray da tamamladı. 1988 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde eğitime başladı. Mühendislik eğitimini 1993 yılında tamamladı. 2002 yılına kadar özel sektörde ısıtma ve havalandırma, metal kalıp ve presli üretim konularında çalıştı. 2002 yılında Şanlıurfa İl Özel İdaresinde Makine Mühendisi olarak devlet memurluğuna başladı. Halen İl Özel İdaresi Yatırım ve İnşaat Müdürlüğünde görevine devam etmektedir.

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kompozit yapı elemanlarının ısı özelliklerinin belirlenmesine yönelik çok aşamalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, ileri mühendislik malzemelerinin ısı özellik ölçümünde kullanılan yaygın teknikler ile ilgili bir irdeleme yapılmıştır. Bu kapsamda; önce sürekli rejim teknikleri, daha sonra ise geçici rejim teknikleri olmak üzere, mevcut ısı test yöntemleri detaylı olarak araştırılmıştır.

Sürekli rejim teknikleri kapsamında yoğun olarak kullanılan yöntemlerin; sıcak levha tekniği, ısı akışı ölçme tekniği ve ısı kutu yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda kullanılan bazı diğer tekniklerin ise, standartlaşamaları sebebi ile yaygın kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Geçici rejim teknikleri kapsamında kullanılan yöntemlerden en uygunun ‘temas elemanlı’ ısı test teknikleri olduğu tespiti yapılmıştır. Temassız ısı test tekniklerinin, yüksek maliyet gerektirmeleri ve kompozit yapı malzemeleri gibi düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip ortamlarda düşük doğruluk derecesine sahip olmaları nedeniyle, kullanımlarının uygun olamayacağı kanaatine varılmıştır.

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında; adyabatik hazne tekniği olarak bilinen bir teknik kullanılarak çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler süresince, adyabatik kutu tekniği ile ölçüm sırasında etkili parametreler araştırılmıştır. Söz konusu teknik ile split klimalı soğuk oda deneyleri kapsamında; (i) soğuk oda içi sıcaklık dağılımı belirlenmiş, (ii) yüksek yoğunluklu polistiren köpük (XPS) ve tahta malzemenin ısı geçirgenlikleri kıyaslanmış, (iii) hurda lastik katılmış betonlarda test numunesi kenarının yalıtılarak, ısı geçirgenlik deneylerinin yapılmıştır. Evaporatörlü soğuk oda deneyleri kapsamında ise; (i) şerit tipi hurda lastik katılmış test numunelerinin farklı bölgelerindeki sıcaklıklar ve ısı köprüleri araştırılmış, (ii) küçük boyutlarda test numunesi ve adyabatik kutu kullanılarak bölgesel urfa taşı malzemesinin ısı geçirgenlik deneyleri belirlenmiştir. Deneylerde elde edilen grafikler beraber incelendiğinde; numunelerin her iki odadaki ısı transfer davranışları aynı gözükmektedir. Bu gözlem, adyabatik hazne duvarlarından farklı sıcaklıklardaki

bu odalara kaybedilen ısı miktarının test doğruluğunu etkilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Bu tez çalışmasının son aşamasında ise, küçük boyutlu yapı malzemelerinin ısı testine yönelik, farklı düzenekler oluşturulmuştur. Bu kapsamda yeni bir teknik olarak uygulanan, buz kütleli soğuk plaka tekniği ile, küçük boyutlu çok sayıda test numunesinin ısı testi aynı anda ve kısa sürede gerçekleştirilmiştir. Belirtilen teknik uygulanarak, numunelerin ısıl geçirgenlik değerleri kıyaslanmış ve niteliksel olarak doğru sonuca ulaşılmıştır.

SUMMARY

In this thesis, a multi-step research methodology is followed towards determination of thermal properties of composite construction materials. In the first step, common thermal testing methods used for advanced engineering materials are briefly reviewed. Under this heading, first steady state and then transient thermal testing techniques, which presently exist, are examined in detail. It is determined that most commonly used steady-state measurement techniques are hot plate, heat-flow meter and hot-box techniques. Some other techniques under this heading are not widely used because of their non-standardization. Contact transient methods are observed to be most appropriate ones under transient or dynamic measurements heading. Non-contact or optical transient techniques are relatively more expensive and less accurate in testing of composite construction materials having low thermal conductivity; thus, their uses are not suitable for this purpose.

In next step of this thesis study, comprehensive thermal test experiments are performed by using a ready technique, known as the adiabatic box technique. During these experiments, effective parameters in measurements by this technique are investigated and necessary conditions to improve accuracy of the technique are determined. Cold room experiments using split airconditioner include; (i) determination of interior temperature distributions of the room, (ii) comparison of thermal transmittances of high density polystyrene foam (XPS) and wood materials, and (iii) thermal transmittance measurement of scrap-tire added concrete samples with side-insulation. Cold room experiments using evaporator include; (i) investigation of local temperatures and heat-bridges in different regions of test samples, in which with scrap tire pieces in strip-form are added, and (ii) thermal transmittance measurements of smaller test samples made from regional 'Urfa Stone' material by using an adiabatic-box. It is observed from all plots that heat transfer behaviors of test samples in these two cold rooms are quite similar. These observations imply that heat losses from walls of the adiabatic box do not significantly alter test accuracy.

In the final step of present thesis, various apparatuses are developed for thermal testing of construction materials in smaller sizes. Simultaneous thermal testing of several test samples is accomplished in short time with a new technique of cold plate sitting on large ice mass. Comparative thermal test results obtained from this technique are found to be qualitatively accurate.