

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GAZBETON YAPI MALZEMESİNİN ISIL ÖZELLİKLERİNİN  
MEVCUT STANDARTLARA GÖRE  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YUSUF KUDRET KARAASLAN

MAYIS 2009

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GAZBETON YAPI MALZEMESİNİN ISIL ÖZELLİKLERİNİN  
MEVCUT STANDARTLARA GÖRE  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YUSUF KUDRET KARAASLAN

MAYIS 2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü' nün onayı.

18 /05 /2009

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

\_\_\_\_\_  
Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Makine Ana Bilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN

\_\_\_\_\_  
Ana Bilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Prof. Dr. İbrahim UZUN

\_\_\_\_\_  
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali ERİŞEN

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. İbrahim UZUN

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

\_\_\_\_\_

## ÖZET

### GAZBETON YAPI MALZEMESİNİN ISIL ÖZELLİKLERİNİN, MEVCUT STANDARTLARA GÖRE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

KARAASLAN, Yusuf Kudret

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim UZUN

Mayıs 2009, 84 sayfa

Bu çalışmanın temel amacı, gazbeton yapı elemanının, yürürlükteki Türk standartlarına göre ısı aktarım özelliklerinin ölçümü prosedürünün detaylarıyla ortaya konmasıdır. Bu bağlamda gazbeton yapı elemanının temel nitelikleri, ısı aktarım özelliklerinin ölçümlerine dair metotlar ve konu ile ilgili standartlar kısaca tanıtılmıştır. Standartların incelenmesinden elde edilen ortak veriden gazbetonun, ısı akış sayacı ile ısı aktarım özelliklerinin ısı akış sayacı ile ölçülmesine dair gerekli prosedür aşamaları özetlenmiştir. Temel referansı, TS ISO 8301 standardı teşkil etmektedir. Deney çalışması kapsamında, belirli bir yoğunluktaki gazbeton numunesinden çıkarılacak, ısı aktarım özelliklerini temsil eden, en küçük deney parçası kalınlığı, standart yönergelerine uygun olarak araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gazbeton, Isı İletkenlik Katsayısı Ölçümü, Isı Akış Metre Cihazı, Türk Standartları

## ABSTRACT

EXPERIMENTAL EXAMINATION OF GAZBETON BUILDING MATERIAL'S  
THERMAL PROPERTIES, CONFORMING WITH CURRENT STANDARDS

KARAASLAN, Yusuf Kudret

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanics, M. Sc. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. İbrahim UZUN

May 2009, 84 pages

The basic issue of this study is, to explain the thermal transfer properties measurement procedure of aerated concrete with heat flow meter apparatus conforming with current Turkish standards. In this context, basic specification of aerated concrete building material, thermal transfer properties measurement methods and related Turkish standards has been introduced briefly. Procedure steps for measuring aerated concrete's thermal transfer properties with heat flow meter introduced with data obtained by standards. The basic reference is TS ISO 8301. The minimum thickness which is suitable for determining thermal transfer properties of a known density aerated concrete, has been investigated with the experimental works, by following instructions of the standard.

**Key Words:** Aerated Concrete, Thermal Conductivity Measurement, Heat Flow Meter, Turkish Standards

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımda destek ve yönlendirmelerde bulunan, tez danıőmanım Prof.Dr. İbrahim UZUN' a, tecrübe aktarımı ve yardımlarıyla yanımda olan Arő. Gör. Zühtü PEHLİVANLI' ya, Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim dalının saygıdeğer öğretim elemanlarına ve aileme teőekkürü bir borç bilirim.

## SİMGELER DİZİNİ

$\phi$	Isı Akış Hızı	W
$q$	Isı Akış Hızı Yoğunluğu	W/m <sup>2</sup>
$\lambda$	Isıl Öz İletkenlik	W/m.K
$r$	Isıl Öz Direnç	m.K/W
$R$	Isıl Direnç	m <sup>2</sup> .K/W
$\Lambda$	Isıl İletkenlik	W/m <sup>2</sup> .K
$C$	Isı Kapasitesi	J/K
$c$	Özgül Isı Kapasitesi	J/kg.K
$\lambda_t$	Isıl Öz Geçirgenlik	W/m.K
$\rho_d$	Kuru Malzemenin Deney Anında Yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Malzemenin Şartlandırma Sonrası Yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>
$M_1$	Malzemenin Teslim Alındığı Şartlardaki Kütlesi	kg
$M_2$	Malzemenin Kurutma Sonrası Kütlesi	kg
$M_3$	Malzemenin Şartlandırma Sonrası Kütlesi	kg
$V$	Malzemenin Şartlandırma Sonrası Hacmi	m <sup>3</sup>
$d$	Deney Parçasının Kalınlığı	m
$f$	Isı Akış Sayacının Kalibrasyon Faktörü	W/mV.m <sup>2</sup>
$e$	Isı Akış Sayacının Çıktısı	mV
$M_4$	Deneyden Hemen Sonra Deney Parçasının Kütlesi	kg
$M_5$	Deneyden Hemen Önce Deney Parçasının Kütlesi	kg
$q_L$	Telde Birim Uzunluğa Verilen Güç Miktarı	W/m

$T_1$	Akım Sonrası $t_1$ anındaki (dk) Tel Sıcaklığı	K
$T_2$	Akım Sonrası $t_2$ anındaki (dk) Tel Sıcaklığı	K
$m_r$	Kurutma/Şartlandırma Esnasında Bağlı Kütle Değişimi	-
$m_w$	Deney Sırasında Bağlı Kütle Artışı	-



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

1. 1. Tek Boyutlu Isı İletimi.....	16
1. 2. Karşılaştırmalı Kesit Çubuk Yöntemi.....	20
1. 3. Sıcak Tel Metodu.....	21
1. 4. Çift Deney Parçalı Tip Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı.....	23
1. 5. Tek Deney Parçalı Simetrik Konfigürasyonlu Isı Akış Sayacı Cihazı.....	24
1.6. Tek Deney Parçalı Asimetrik Konfigürasyonlu Isı Akış Sayacı Cihazı.....	25
1.7. Çift Deney Parçalı Simetrik Konfigürasyonlu Isı Akış Sayacı Cihazı.....	25
1. 8. Isıl Prob'da Sıcaklık Zaman Eğrisi.....	27
1. 9. Isıl Prob Kesit Görünümü .....	28
2. 1. Gazbeton Duvar Bloğu.....	38
2. 2. Gazbeton Deney Numunesi.....	38
2. 3. Tek Deney Parçalı Asimetrik Konfigürasyon.....	43
2. 4.ü Tek Deney Parçalı Simetrik Konfigürasyon.....	43
2. 5. Çift Deney Parçalı Simetrik Konfigürasyon.....	43
2. 6. İkili Cihaz (Tip 1).....	43
2. 7. İkili Cihaz (Tip 2).....	44
2. 8. Deney Parçasında Homojen Olmayan Bölgeler.....	51
2. 9. Plakalara Temas eden Yüzeyleri Yeterli Düzlemsellikte	

Olmayan Deney Parçası.....	52
2. 10. Yüzey Düzlemselliği Uygun Fakat Yüzeyler Arası Paralelliği Yeterli Olmayan Deney Parçası.....	52
3. 1. $s_1, s_3, s_5$ Kodlu Deney Parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği.....	66
3. 2. $s_1, s_3, s_5$ Kodlu deney parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği için Regresyon Doğrusu.....	67
3. 3. $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ kodlu Deney Parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği.....	68
3. 4 . $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ Kodlu Deney Parçalarına Ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği için Regresyon Doğrusu.....	69
3. 5. $s_2, s_3, s_4, s_5$ kodlu Deney Parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği için Regresyon Doğrusu.....	70
3. 6. $c_{1,2,3}$ ve $s_{1,2,3,4,5}$ 'e ait Isıl Direnç-Kalınlık Grafiği.....	73
3. 7. $c_{1,2,3}$ ve $s_{1,2,3,4,5}$ 'e ait Isıl Direnç-Kalınlık Regresyon Doğrusu.....	74
3.8. Isıl Köprü Oluşmayan $t_2$ Kalınlıklı Deney Parçası.....	75
3.9. Isıl Köprü Oluşumu.....	75
3.10. $t_2$ Kalınlıklı Parçada Temas Direnci Oluşumu.....	77
3.11 . $t_1$ kalınlıklı Deney Parçasında Temas Direnci Oluşumu.....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

1. 1. Basınç Dayanımlarına Göre Gazbeton Sınıflandırması.....	10
1. 2. Çatı Plakaları , Döşeme Plakaları, Duvar Elemanları ve Bölme Panolarının Boyutları.....	12
3. 1. Minimum Deney Parçası Kalınlığı Tespitinde Kullanılan Deney Parçaları.....	64
3. 2 . Farklı Kalınlıklarda Gazbeton Deney Parçalarına Ait Isıl Aktarım Özelliği Ölçüm Sonuçları .....	65
3. 3. Dairesel Deney Parçaları.....	72
3. 4. Dairesel Deney Parçaları Ölçüm Sonuçları.....	72

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1. 1. Kaynak Özetleri.....	3
1. 2. Gazbetonun Tanımı.....	8
1. 3. Gazbetonun Üretimi.....	8
1. 4. Gazbetonun Kullanım Alanları.....	9
1. 5. Gazbeton Mamullerinin Sınıfları.....	9
1. 6. Gazbeton Mamullerinin Tipleri.....	11
1. 7. Gazbeton Mamullerinin Nitelikleri.....	11
1. 8. Standartlara Göre Bazı Isı İletimi Tanımları.....	13
1. 9. Isıl Öz İletkenlik Ölçüm Yöntemleri.....	16
1. 9. 1. Teori.....	16
1. 9. 2. Mutlak Eksenel Isı Akışı Yöntemi.....	19
1. 9. 3. Karşılaştırmalı Kesit Çubuk Yöntemi (Astm E 1225).....	19
1. 9. 4. Sıcak Tel (ASTM C1113, ISO 8894) Metodu.....	20

1. 9. 5. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı Metodu .....	22
1. 9. 6. Isı Akış Sayacı Cihazı Metodu.....	23
1. 9. 7. Isıl Prob Metodu.....	26
1. 10. Çalışmanın Amacı.....	28
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
2.1. Materyal.....	30
2. 1. 1. Türk Standartları.....	30
2. 1. 2. Isı Akış Sayacı.....	37
2. 1. 3. Gazbeton Duvar Bloklarından Elde Edilen Deney Numuneleri.....	37
2. 2. Yöntem.....	39
2. 2. 1. Yöntem Aşamalarının Detayları.....	41
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	63
3.1. Isıl Aktarım Özelliği Tayini Yapılabilecek Minimum Deney Parçası Kalınlığının Tespiti Deneyleri.....	63
3.2. Düşük Kalınlıklı Deney Parçalarında Isıl Köprü Oluşumu.....	74
3.3. Temas Direnci-Deney Parçası Kalınlığı İlişkisi.....	76
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	79
KAYNAKLAR.....	81
EK-1.....	83
EK-2.....	84

## 1.GİRİŞ

Günümüzde enerji ekonomisinin önemi giderek daha da iyi anlaşılmaktadır. Enerjinin israf edilerek kullanılması beraberinde çevresel ve ekonomik problemleri de getirmektedir. Küresel ısınma ise çevre ile ilgili kaygıları en üst boyutlara çıkarmıştır. Enerji verimliliğindeki artış enerji tasarrufunu da beraberinde getirecek, zaten kısıtlı olan enerji kaynaklarının tüketimi en azından yavaşlatılabilecektir. Ülkemizde enerji harcamalarının önemli bir kısmı ısıtma ile ilgilidir. Bu yüzden bu alanda sağlanacak verimlilik önemli faydaları beraberinde taşıyacaktır. Yapılarda enerji tasarrufunu sağlamanın etkin bir yolu yalıtım özelliği iyi yani ısı geçirgenliği düşük olan duvar malzemesi kullanmaktır. İlk kez 1920'lerin sonlarında İsveç'te geliştirilmiş, hafif, kullanıma hazır bloklar şeklinde üretilen bir yapı malzemesi olan "Gazbeton" çoğunluğu hava gözeneklerinden oluşan yapısından kaynaklanan üstün bir yalıtım özelliğine sahiptir.

Gazbeton, dünya üzerinde çeşitli isimler altında tanınmaktadır. Bunlar "Otoklavlanmış Hava Katıştırılmış Beton (AAC)", "Otoklavlanmış Hücreli Beton (ACC) "Otoklavlanmış Beton", "Hücreli Beton", "Gözenekli Beton", "Thermalite(İngiltere)" şeklinde sıralanabilir. Gazbeton çimento, ince öğütülmüş silisli kum, alçıtaşı ve kireç gibi doğal hammaddelerden oluşan karışıma gözenek oluşturucu alüminyum eklenerek özel koşullarda elde edilen hafif bir betondur. Gazbetonu diğer hafif beton ürünlerinden farklı kılan üretimi esnasında içerisinde oluşturulan milyonlarca küçük büyüklü hava hücresidir. Gazbeton gözenekli yapısı yardımıyla ısı yalıtımı, hafifliği

sayesinde deprem esnasında yapı güvenliği, yanmazlığı ile yangın güvenliği sağlayan dayanıklı bir yapı malzemesidir. Gazbeton nakliyede, işçilikte, demir ve çimento kullanımında önemli tasarruf sağlar. Bu gibi avantajları sayesinde gazbeton kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Gazbetonun önemli özelliklerinden biri de çevreci bir yapı ürünü olmasıdır. Gazbeton dünyada en bol bulunan doğal malzemelerden olan kum ve çakıldan üretilmektedir. Üretim prosesi esnasında doğaya herhangi bir kirletici veya toksik madde salınımı da yoktur. Gazbetonun üretiminde kullanılan enerji diğer duvar malzemelerine oranla oldukça azdır. Betondan yaklaşık 4 kat daha hafif yapısı sayesinde nakliyesi aşamasında yakıt tasarrufu sağlar. Bu da küresel bir sorun olan CO<sub>2</sub> salınımı bakımından azalma anlamına gelir. Gazbetonun üstün yalıtım özelliği yapıların hem ısıtma hem soğutma sarfiyatlarında azalma sağlamaktadır ki bu da yine yakıt tasarrufu anlamına gelmektedir. Gazbetonun kolay işlenebilirliği artık madde üretimini de azaltmaktadır. Gazbeton diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında yalıtım ürünleriyle beraber kulanma zorunluluğunu da ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede bu yalıtım malzemelerin üretimi ve çevreye olan etkileri de azaltılmış olmaktadır. Dikkat çeken bir özelliği de kömürle çalışan santrallerin artık ve atmosfere salınması çevreye zararlı olan “Uçucu Kül”ün gazbeton üretim aşamasında silisli bileşen(kum) yerine kullanılabilmesidir. Gazbeton doğada kendiliğinden parçalanabilir veya geri dönüştürülebilir.

Gazbeton malzemesini diğer yapı malzemelerinden farklılaştıran içerisinde hapsedilmiş olduğu hava kabarcıklarıdır. Üretim esnasında oluşturulan kabarcıklı yapı sayesinde, son ürün hacmi, hammadde hacminin

5 katına kadar erişebilmektedir. %70 ile %80 arasında değişim gösteren bu hava miktarı malzemenin üstün yalıtım özelliğinde en önemli etkidir. Çünkü hava yüksek bir ısı taşınımı özelliği sunmasına rağmen, düşük bir ısı iletim katsayısına (25 °C 'de 0,024 W/m.K) sahiptir.

### 1. 1. Kaynak Özetleri

Jozsa ve Varfalvi, çalışmalarında gazbeton bir duvarda ısı iletkenlik ile nem oranı arasındaki bağlantıyı tespit etmişlerdir. Homojen bir yapı malzemesi olarak görülmesine rağmen gazbeton bir duvarda, kesit boyunca farklı ısı iletkenlik değerleri ile karşılaşmışlardır. <sup>(1)</sup>

Stuckes ve Simpson çalışmalarında yoğunlukları 390 ile 900 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen 5 gazbeton deney numunesinin ısı iletkenlikleri, %0, 2 ile % 7 arasında değişen hacimsel nem oranlarında deneysel olarak ölçülmüştür. Isıl Öz iletkenliğin artan nem oranı ile arttığı görülmüştür. <sup>(2)</sup>

Batty ve ark. çalışmalarında değişik nem oranı ve dağılımlarındaki gazbeton bloklarının ısı iletkenlik değerlerini ısı prob yöntemiyle belirlemişlerdir. Sonuçların, başka verilerle de uyumlu olduğunu görmüşlerdir. <sup>(3)</sup>

Goual ve ark., çalışmalarında temel amaç Kuru haldeki Killi Gazbetonun(AAC) efektif ısı iletkenlik değerinin tespitidir. Bunun için değişik gözeneklilik değerlerinde 6 karışım kullanılmıştır. Ölçüm için kararsız halde ölçüm yapılan "line source" metodu kullanılmıştır. Bunun yanı sıra öz iletkenlik tespitinde teorik modeller olan "Asaad", "Veerendra" ve "Pandy" modelleri de incelenmiş, sonuçların birbiriyle ve deneysel sonuçlarla



karşılaştırması bir tablo halinde verilmiştir. <sup>(4)</sup>

Laurent, çalışmasında makro gözeneklilik oranı ile ısı öz iletkenlik arasındaki ilişkiye ait bir model sunmuştur. Bu modelde gözeneklilik mikro ve makro olarak ayrılmış, gazbetonun içyapısı katı bir iskelet içerisine dağılmış hava kabarcıkları olarak kabul edilmiştir. Gözeneklilik oranı, resim analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Modelin geçerliliği yoğunluğu 0,25 ile 0,65 arasında numunelerle, ısı prob yöntemiyle yapılan deneylerle doğrulanmıştır. Bu model sayesinde gazbeton için makro gözeneklilik oranı değişiklikleri, katı iskeletin ısı öz iletkenlik değişiklikleri simüle edilebilmektedir. <sup>(5)</sup>

Laurent ve Frendo-Rosso. çalışmalarında, siyah epoksi reçine emdirilmiş gazbeton kesitine ait fotoğraftan yola çıkarak ısı öz iletkenlik tahmini yapmaya yarayan bir yaklaşım tanımlamışlardır. Epoksi boya emdirilmiş kesitin yüzeyi taşlanmış, siyah beyaz çekim yapan CCD kameranın bağlandığı optik mikroskopla çekim yapılmıştır. Hava gözeneklerinin siyah renkte, katı matrisin ise beyaz renkte oluşunun sağladığı kontrast sayesinde iki fazın ayrımı sağlanabilmiştir. Bu ayırım sayesinde, piksel sayma yöntemi ile makro gözeneklilik oranı tayin edilmiştir. Bunu müteakiben gözenek büyüklüğünün, nicelik olarak dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca resim üzerinde ikinci bir işlem yapılarak katı matris bir elektrik ağı şekline benzetilmiştir. Ohm yasası ile Fourier yasası arasındaki benzerlikten de hareket edilerek Y-bus matrisi oluşturulmuştur. Bu matris çözülerek Isıl Öz İletkenlik tespiti yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel metotlarla elde edilen sonuçlarla da uyum sağlamıştır. <sup>(6)</sup>

Albayrak ve ark., araştırmalarında zeolitin gazbetondaki silika ögeleri

yerine kullanılabilirliği üzerine durmuşlardır. Zeolit içeren numuneler mukavemet ve ısı öz iletkenlik açısından incelenmiştir. Zeolit kullanılmış bir gazbeton numunesinin, aynı yoğunlukta ticari bir gazbeton numunesiyle yaklaşık aynı mukavemet ve ısı öz iletkenlik değerinde olduğu görülmüştür.<sup>(7)</sup>

Laukaitis ve Fiks çalışmalarında gazbetonun akustik kalitesini irdelemişlerdir. Gazbetonun akustik kalitesi geçirgenlik ve porozitesine göre değişir. Bu bağlamda akustik girişimölçer ile ölçümler yapılmıştır. Yüzeylerine silindirik tipte çentik(Helmoltz rezonatör) uygulanmış bloklarda ses absorpsiyon katsayısının yükseldiği gözlenmiştir. Çeşitli gazbeton tipleri ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile, hava geçirgenliğinin fonksiyonu şeklinde ses absorpsiyon katsayısı regresyon denklemleri elde edilmiştir.<sup>(8)</sup>

Kuş ve Carlsson çalışmalarında gazbetonda kimyasal bozunmalar sonucu gerçekleşen mikroyapı değişikliklerini incelemişlerdir. Kalsiyum öğeler ile CO<sub>2</sub> 'nin tepkimeye girmesi sonucunda meydana gelen karbonasyon bozunmasının gazbetondaki etkileri spektrografik ve mikroskopik analizlerle incelenmiştir.<sup>(9)</sup>

Mostafa, çalışmasında gazbeton üretiminde kullanılan kireç ve kumun yerine hava ile soğutulmuş cüruf kullanılabilirliğini irdelemiştir. İncelemelerinde X-Ray ve SEM(Scanner Electron Microscopy) kullanmıştır. Cüruf kullanılan durumda, 2 ve 6 saatlik kür sürelerinde % 50 'ye varan mukavemet artışına ulaşılabileceği görülmüştür. Kür sürelerinde rastlanan azalma üretimde enerji maliyetlerini düşürecek bir etkidir. Cüruf, kireç, Portland çimentosu karışımlarının farklı kombinasyonları arasında optimum

mukavemetin %50 cüruf -% 10 kireç ve % 30 cüruf -% 25 kireç durumlarında elde edildiği görülmüştür.<sup>(10)</sup>

Kuş ve ark. , araştırmalarında kullanım alanındaki gazbeton duvarların, yağmur gibi çevresel etkenlere karşı davranışlarını incelemişlerdir. Çeşitli inorganik, organik tipte sıvalar, silikon bazlı su iticiyle modifiye edilmiş kaplamaların nemlenmeyi engelleme ve kurumayı hızlandırma gibi katkıları araştırılmıştır. Deney 1999 ve 2003 yılları boyunca bir test kabiniinde devam etmiştir. Silikon bazlı su iticilerle modifiye edilmiş sıvaların iyi bir yağmur koruması sağladığı ve kullanım ömrünü artırdığı gözlenmiştir.<sup>(11)</sup>

Kadashevich ve ark. çalışmalarında, gazbetondaki yapay hava gözenek sisteminin geometrik yapısını incelemişlerdir. Bağlantısız gözenekler küre olarak kabul edilerek, kütledeki gözenek yarıçapı dağılımı incelenmiştir. Dağılım, düzlemsel kesitlere ilişkin görüntülerin analizi yoluyla elde edilmiştir. Analizlerde yoğunlukları 0,35 ile 0,81 g/cm<sup>3</sup> arasında değişen dört farklı gazbeton bloğundan alınan kesitler kullanılmıştır. Gözeneklerin konuma göre dağılımı “cherry pit” (dıştan içeri doğru kısmen nüfuz edilebilirlik) modeli ile açıklanmaya çalışılmıştır.<sup>(12)</sup>

Houst ve Wittmann çalışmalarında, gazbeton donatılarında karbonasyona yol açan CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> difüzyonu ele alınmıştır. Bu iki gazın difüzyon katsayısını, havanın bağıl neminin bir fonksiyonu olarak hesaplayan bir test düzeneği geliştirilmiştir. Düzenekte dairesel bir gazbeton numunesi iki bölmeden oluşan kapalı bir hücrede, bölmeleri ayıran perde görevi görmüştür. Üst bölmeden giren, nem oranı ayarlanabilen hava içerisindeki CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> 'nin, alt bölmeye geçişi zamana bağlı olarak analiz edilmiştir. Bağıl

nemin oksijenin difüzyon katsayısında etkisi olmadığı, % 60 'ı aşan bağıl nem durumunda CO<sub>2</sub> difüzyon katsayısının azalma gösterdiği tespit edilmiştir. <sup>(13)</sup>

Kurama ve ark. araştırmalarında, Tunçbilek termal enerji santralinden çıkan külün, gazbetonda agrega ikamesi olarak kullanımı konusunu incelemişlerdir. Kül, değişik oranlarda eklenerek çeşitli fiziksel, kimyasal, mekanik, termal analizler gerçekleştirilmiş; mikroyapı fotoğrafları incelenmiştir. Sonuçlarda, bütün kül ekleme oranları için, son üründe birim hacimde azalma tespit edilmiştir. Kül ekleme oranındaki artışın ısı iletkenlikte azalmayla neticelendiği görülmüştür. %100 ikame oranında ısı iletkenlikte referans gazbetona göre % 36 'ya varan azalma tespit edilmiştir. Fakat mukavemet değeri kullanılabilirlik dışına çıkmıştır. % 50 ikame oranında ısı iletkenlik değeri, ticari gazbetona göre % 15 fazla olmakla beraber kabul edilebilirdir. Isı iletkenlik ölçümleri, sıcak tel metoduyla gerçekleştirilmiştir. <sup>(14)</sup>

## 1.2. Gazbetonun Tanımı

**TS 453** (20.07.2006 revizyonu) “Önyapımlı (Prefabrike)

Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları “ standartına göre Gazbeton, “İnce öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde(kireç veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif beton” şeklinde tanımlanmıştır.

### 1.3. Gazbetonun Üretimi

Gazbeton üretiminde farklı formüller uygulanmasına rağmen temel hammaddeler Portland çimentosu, kireçtaşı, alüminyum tozu ve büyük bir oran işgal eden silika bakımından zengin malzeme-genellikle kum veya çakıltaşı- olarak belirtilebilir. Portland çimentosu farklı bir üretim prosesinden gelen, kalsiyum silikon, alüminyum, demir cevheri ve küçük oranlarda başka materyallerden üretilen ve betonun temel hammaddesi olan bir üründür. Yukarıda gazbeton için sayılan temel hammaddeler ilk aşamada sulu bir karışım haline getirilerek cidarları yağ ile kaplanmış kalıplara dökülür. Alüminyum tozu, hidrojen gazı kabarcıkları oluşturmak üzere kimyasal reaksiyon gerçekleştirir. Oluşan bu mikroskobik, birbirlerinden bağımsız hücreler malzemenin hacimce iki katına ulaşmasını sağlayarak, hücreli hafif beton niteliğini ortaya çıkarır. 30 dakika ile 4 saat arasında değişen bir sertleşme bekleme süresi sonunda köpük benzeri malzeme, kesim sertliğine ulaşmış olur. Bloklar halinde kesilen malzeme buhar kürüne tabi tutulmak üzere otoklavlara yerleştirilir.

Otoklav, betonun hidrasyon sürecini hızlandırmak için 180°C civarındaki yüksek basınçlı buharı kullanarak gazbetona mukavemetini, rijitliğini, ölçüsel kararlılığını veren ikinci bir kimyasal reaksiyonu tetikler. Normal bir betonun 28 gün boyunca 21 ° C 'da ıslak küre maruz kalarak erişebileceği bir sertliğe, otoklavlama sayesinde 8 ila 14 saat arasında ulaşılabilir. Son ürün genellikle plastik ambalajlama yapılarak kullanım alanına iletilir.

#### **1.4. Gazbetonun Kullanım Alanları**

Gazbeton yapı malzeme ve elemanları; tek ve çok katlı konutlarda, sosyal ve turistik tesislerde, ticaret ve sanayi yapılarında duvar bloğu (düz, geçmeli, U), asmolen bloğu, yalıtım plakası, çelik donatılı duvar paneli, çelik donatılı duvar panosu, çelik donatılı çatı paneli, çelik donatılı döşeme paneli, lento ve söve olarak kullanılır. Ayrıca yangına dayanıklılığı ve zehirli gaz çıkarmaması nedeniyle, yangına karşı emniyetli yapılar inşasında, yangın duvarı ve yangın güvenlik holü yapımında kullanılmaktadır.

#### **1 . 5. Gazbeton Mamullerinin Sınıfları**

TS 453 (20.07.2006 revizyonu) “Önyapımlı (Prefabrike) Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları “ standardı Madde 4.1.1.’ de gazbeton yapı elemanları Basınç dayanımlarına göre, Çizelge 1.1 ‘deki gibi dört sınıfa,

**Çizelge 1. 1.** Basınç Dayanımlarına Göre Gazbeton Sınıflandırması <sup>(15)</sup>

<b>Sınıf Kodlaması</b>	<b>Basınç Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
G 2	2, 5
G 3	3, 5
G 4	5, 0
G 6	7, 5

Kuru yoğunluklarına göre sınıflandırıldığında ise ,

- 0, 4 kg/dm<sup>3</sup>

- 0, 5 kg/dm<sup>3</sup>

- 0, 6 kg/dm<sup>3</sup>

- 0, 7 kg/dm<sup>3</sup>

- 0, 8 kg/dm<sup>3</sup>

şeklinde beş sınıfa ayrılmıştır.

## 1. 6. Gazbeton Mamullerinin Tipleri

TS 453 (20 Temmuz 2006 revizyonu) “Önyapımlı (Prefabrike) Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları “ standardı Madde 4.1.2. 'de gazbeton yapı elemanları,

- Kapı ve Pencere Lentoları (L)
- Döşeme Plakları (D)
- Çatı Plakları (Ç)
- Düşey Duvar Elemanları (DD)
- Yatay Duvar Elemanları (YD)
- Bölme Panoları (BP)

adları altında altı tipe ayrılmıştır.

## 1. 7. Gazbeton Mamullerinin Nitelikleri

TSE 453 madde 4.2.1' e göre gazbeton yapı elemanları genel görünüş bakımından, dikdörtgenler prizması şeklinde olmalıdır. Ancak yatay ve düşey duvar elemanları ile çatı plakları, diğer özellikleri TSE 453 standardında belirtilenlere uygun olmak şartı ile en kesitleri yamuk biçiminde olacak şekilde yapılabilir.

Gazbeton yapı elemanlarının dik açılı olması gereken köşelerine gönye uygulanarak yapılacak muayenede, 500 mm' lik bir uzunluk sonunda ölçülecek gönyeden sapma miktarları 3 mm' den fazla olmamalıdır.



Gazbeton yapı elemanlarının bileşim alınları küt olabileceği gibi, lamba zivana, kırılmaçkuyruğu profilli veya şerbet kanallı olabilir. TSE 453 Madde 4. 2. 2 'ye göre boyutlar ile ilgili ölçüler Çizelge 1,2.' deki gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 1. 2.** Çatı Plakaları, Döşeme Plakaları, Duvar Elemanları ve Bölme Panolarının Boyutları <sup>(15)</sup>

Yapı Elemanının Tipi	Uzunluk(mm)	Genişlik(mm)	Kalınlık (mm)
Çatı Plakaları	1000-6000	300, 500, 600	75, 100, 120, 125, 150, 175, 200, 225, 240, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400
Döşeme Plakaları			
Düşey Duvar Elemanları			
Yatay Duvar Elemanları			
Bölme Panoları			

TSE 453 madde 4.2.8 'e göre gazbeton yapı elemanlarında rutubet miktarı kütlece %10 ile % 30 arasında olmalıdır.

## 1. 8. Standartlara Göre Bazı Isı İletimi Tanımları

- **Isı Akış Hızı**

Bir sisteme veya sistemden dışarı birim zamanda transfer edilen ısı miktarıdır. Formülasyon

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$

olarak verilir. <sup>(16)</sup>

- **Isı Akış Hızı Yoğunluğu**

Isı akış hızı yoğunluğunun alana bölünmesiyle elde edilir. Formülasyonu ise

$$q = \frac{d\phi}{dA}$$

ile verilir. <sup>(16)</sup>

- **Isıl Öz İletkenlik**

$$\vec{q} = \lambda \text{ grad } T$$

olarak yazılan Fourier eşitliğindeki “ $\lambda$ ” katsayısıdır. <sup>(16)</sup>

- **Isıl Öz Direnç**

$$\text{grad } T = -r \vec{q} \text{ eşitliğindeki "r" katsayısıdır. }^{(16)}$$

- **Isıl Direnç**

Kararlı halde, sıcaklık farkının ısı akış hızı yoğunluğuna bölünmesiyle elde edilir.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{q}$$

denklemleri ile formüle edilir. <sup>(16)</sup>

- **Isıl İletkenlik**

Üniform ısı akış hızı yoğunluğu şartları altında yüzeyden yüzeye ısı direncinin tersinin alınmasıdır.

$$A = \frac{1}{R}$$

denklemleri ile verilir. <sup>(16)</sup>

- **Isı Kapasitesi**

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

denklemleriyle tanımlenir. <sup>(16)</sup>

- **Özgül Isı Kapasitesi**

Isı Kapasitesinin (C) kütleyle bölünmesidir. <sup>(16)</sup>

- **Isıl Öz Geçirgenlik**

Malzemenin radyasyon ve kondüksiyon yoluyla ısı aktarım özelliklerini birlikte ifade eder.  $d$  kalınlık olmak üzere aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R}$$

Bu tanım ( $\Delta d / \Delta R$ ) değeri kalınlıktan ( $d$ ) bağımsız ise geçerlidir. Eşdeğer, görünür ya da etkin ısıl öz iletkenlik olarak da adlandırılır. Isıl Öz Geçirgenlik, kondüksiyon ve radyasyon ile ısı aktarımının meydana geldiği kalın tabakalarda aktarım faktörüyle ulaşılan sınır olarak görülebilir. <sup>(17)</sup>

- **Kararlı Hal Isı Aktarım Özelliği**

Isıl direnç, Aktarım faktörü, Isıl Öz İletkenlik, Isıl Öz Direnç, Isıl Öz Geçirgenlik, Isıl İletkenlik, Ortalama Isıl Öz İletkenlik özelliklerinden herhangi birini tanımlamak için kullanılan terimdir. <sup>(17)</sup>

- **Hücreli Gözenekli Ortam**

Hücreli gözenekli ortam, yaklaşık küresel olduğu varsayılan boşluklarının gaz ihtiva ettiği, kalan kısımları sürekli katı fazdan meydana gelen ortamdır. <sup>(18)</sup>

- **Birbirine Bağlanmış Gözenekli Ortam**

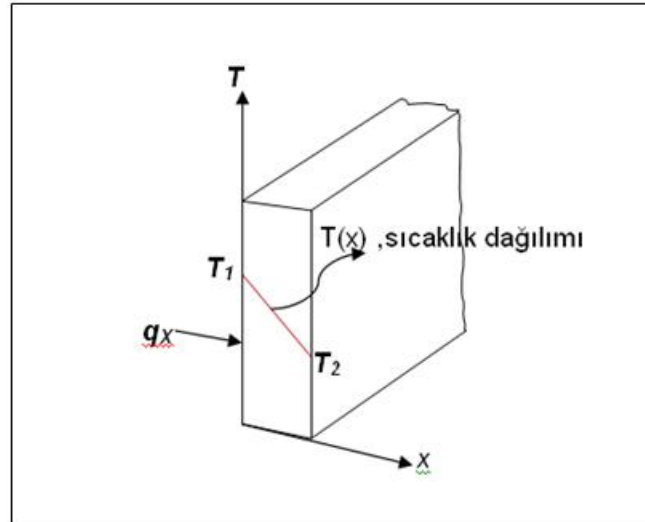
Birbirine bağlanmış gözenekli ortam, gaz fazının da sürekli olacak şekilde birbirine bağlandığı boşluklar ihtiva eden, sürekli katı fazdan meydana gelen ortamdır. <sup>(18)</sup>

- **Homojen Gözenekli Ortam**

Homojen gözenekli ortam, gözenekliliğin (boşlukların hacminin toplam hacme oranı) tayin edildiği noktaya bağlı olmadığı ortamdır. <sup>(18)</sup>

## 1. 9. Isıl Öz İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

### 1. 9. 1. Teori



**Şekil 1. 1.** Tek Boyutlu Isı İletimi

Isıl Öz İletkenlik Fourier Yasası'ndan hareketle formüle edilebilir. Şekil 1' de bir boyutlu düz bir duvardaki ısı geçişi ve  $T(x)$  sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Bu şekildeki bir ısı geçişi olayı Fourier Denklemi ile şöyle ifade edilir:

$$q_x = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}$$

Burada  $q_x$  , Isı Akış Hızı Yoğunluğunu,  $\lambda$  ise Isıl Öz İletkenlik katsayısını temsil eder.  $q_x$  (Isı Akış Hızı Yoğunluğu) , ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda  $x$  doğrultusunda geçen ısıdır. Bu doğrultudaki gradyanı,  $dT/dx$ , ile doğru orantılıdır.  $\lambda$  (Isıl Öz İletkenlik) ise aktarım özelliğini temsil eden bir orantı katsayısıdır. Şekil 1.1 'deki gibi sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde, Fourier denklemindeki sıcaklık gradyanı,  $dT/dx$ , aşağıdaki halde yazılabilir:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Böylece **Fourier Denklemi**,

$$q_x = -\lambda \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

$\lambda$  (Isıl Öz İletkenlik Katsayısı) , yukarıdaki formülden

$$\lambda = \frac{q_x \cdot L}{\Delta T}$$

olarak elde edilir.

Buradan şu sonuca varılabilir: Sürekli rejimde bir boyutlu Isı geçişinin ( $q_x$ ) gerçekleştiği, bir boyutlu-düz duvar şeklinde- bir malzemenin Isıl Öz İletkenlik Katsayısını belirleyebilmek için, dış yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) , Isı geçişinin gerçekleştiği kesitin kalınlığı ( $L$ ) ve Isı Akış Hızı Yoğunluğu ( $q_x$ ) bilinmelidir.

Sıcaklık farkı termoelemanlar vasıtasıyla ölçülebilir. Kesitin kalınlığı da uygun mekanik veya elektronik boyut ölçüm aletleriyle tespit edilebilir. Güçlük oluşturan kısım ise diğer bilinmeyen olan Isı Akış Hızı Yoğunluğu değeridir. Isı akış hızı yoğunluğu ısıtıcıya giden elektriksel gücün ölçümü ile tespit edilebilir. Bu şekilde ölçüme “Mutlak Metod” ya da “Birincil Metod” denir. Isı akış hızı yoğunluğu “Isı Akış Metre” kullanılarak da ölçülebilir. Bu tür ölçüme ise “Bağıl Metod “ ya da “İkincil Metod “ denir. Bu temel esaslara dayanan çeşitli ısı öz iletkenlik belirleme yöntemleri mevcuttur.

### 1. 9. 2. Mutlak Eksenel Isı Akışı Yöntemi

Bu sistemde ısıtıcıyı besleyen elektriksel gücün hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede numuneye olan ısı geçişi tespit edilir ve ısı öz iletkenlik hesaplanır. Aynı zamanda ısıtıcı yüzeyinden kayıplar da önemli bir rol oynamaktadır.

### 1. 9. 3. Karşılaştırmalı Kesit Çubuk Yöntemi (ASTM E 1225)

Bu sistemin spesifik özelliği Isıl Öz İletkenlik değeri bilinen bir numune ile bu değer bilinmediği numuneyi bir araya getirerek aynı ısı akışına maruz bırakmaktır. Şekil 1.2 ' de numune yerleşimi gösterilmektedir. Aynı ısı akışına maruz kalınacağından,

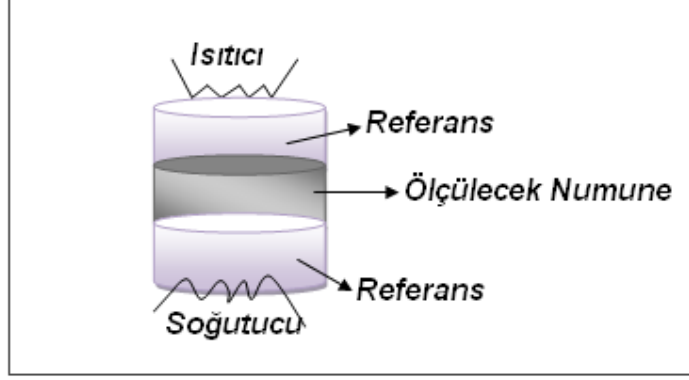
$$q = \frac{\lambda_{num} \cdot \Delta T_{num}}{L_{num}} = \frac{\lambda_{ref} \cdot \Delta T_{ref}}{L_{ref}}$$

denklemini yazılabilir. Buradan da

$$\frac{\lambda_{num}}{\lambda_{ref}} = \frac{\Delta T_{ref} / L_{ref}}{\Delta T_{num} / L_{num}}$$

yazılır.





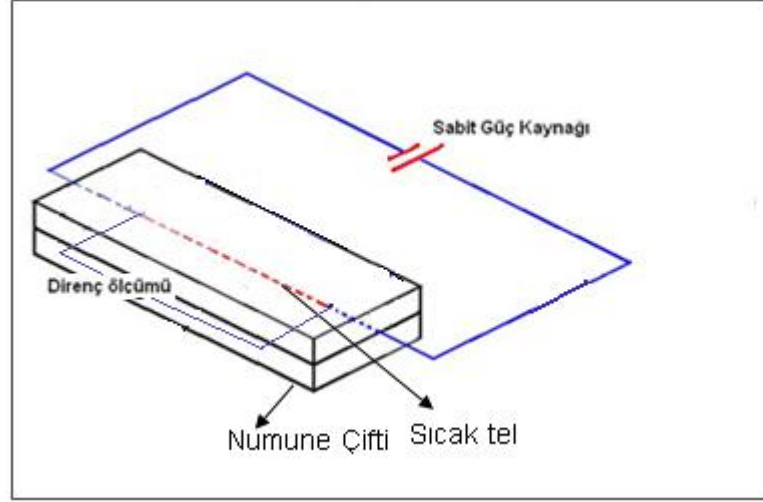
**Şekil 1. 2.** Karşılaştırmalı Kesit Çubuk Yöntem

Sonuç olarak referans deney parçası ile ölçülecek numunenin  $\lambda$  değerleri sıcaklık gradyanlarıyla ters orantılı olduğu anlaşılır. Termoeleman çiftleri yardımıyla  $\Delta T$  sıcaklık farkları bulunup, aksenal L mesafeleri de ölçüldüğünde ölçüm numunesinin ısı iletkenliği tespit edilir.

#### **1. 9. 4. Sıcak Tel (ASTM C1113, ISO 8894) Metodu**

Tipik bir Sıcak Tel metodunda, ölçüm çapı 0,5 mm' yi aşmayan bir tel ölçüm yapılacak numunenin içinde kalacak şekilde yerleştirilir. Katı fazdaki numunelerin ölçümünde, ölçüm Şekil 1.3 ' deki gibi 2 deney parçalı olarak yapılır ve tel numuneler arasına yerleştirilir. Deney esnasında tel, elektriksel sabit güç kaynağıyla ısıtılır. Böylece numuneye gömülü haldeki tel etrafını çevreleyen numunenin ısı iletkenlik değerine bağlı olarak ısınmaya başlar. Telin sıcaklığı, tel direncindeki değişimin ölçümü ile tespit

edilir. Numunenin ısı iletkenliği, telin sıcaklığındaki artışın değerlendirilmeye tabi tutulmasıyla tespit edilir.



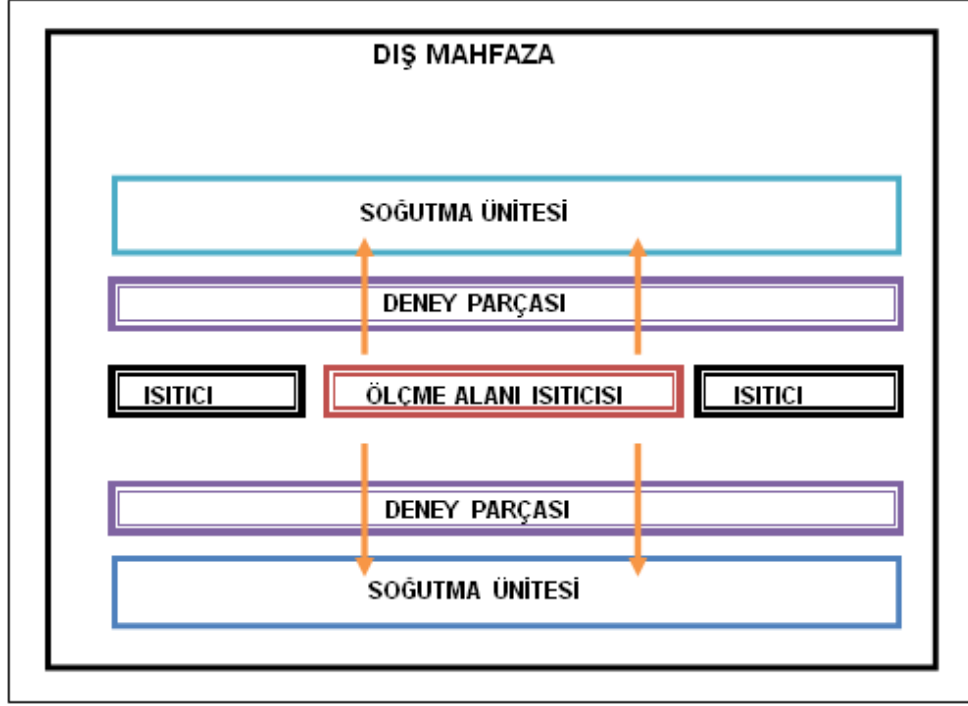
**Şekil 1. 3.** Sıcak Tel Metodu

Bu durum aşığıdaki teorik denklemlle ifade edilebilir:

$$\lambda = \frac{q_L}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1}$$

### 1. 9. 5. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı Metodu (ASTM C 177, ISO 8302)

Geniş kullanım alanı olan, bir mutlak ölçüm metodudur. Bu metot iki deney parçalı ya da tek deney parçalı olarak uygulanabilir. İki deney parçalı yöntemde (bkz. Şekil 1.4) iki deney parçasının ortasında bir " Ölçme Alanı Isıtıcısı" bulunur. Bu ısıtıcının her iki yanında bulunan "Mahfaza Kısmı Isıtıcısı", "Ölçme Alanı Isıtıcısı"nın yan taraflarında kalan boşlukların sıcaklık gradyanını kontrol altında tutarak yanıl yönlerde ısı kaybını engeller. Böylece "Ölçme Alanı Isıtıcısı"ndan beslenen ısının, sadece soğutma ünitelerine doğru akışını sağlar. Deney parçası üzerinden geçerek Soğutma ünitesine doğru olan ısı akışı kararlı hale eriştiğinde, Ölçme Alanı Isıtıcısı'nın çektiği elektrik gücü ölçülerek, ısı akışı tespit edilebilir. Bunun yanı sıra kalınlık ve sıcaklık farkı da tespit edilerek Fourier Denklemi'ne göre "Isıl Öz İletkenlik" katsayısına ulaşılır. Tek Deney Parçalı konfigürasyonda ise Ölçme Alanı Isıtıcısının alt kısmı adyabatik özellikli bir mahfaza görevi görür. Bu sayede ısı tek yöne doğru akarak deney parçası üzerinden geçer.



**Şekil 1. 4 . Çift Deneysel Parçalı Tip Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı**

#### **1. 9. 6. Isı Akış Sayacı Cihazı Metodu (ASTM C 518, ISO 8301)**

Isı Akış Sayacı Cihazı Metodunda ısı, kararlı durumda iken, Isı Akış Sayacı (HFM) adı verilen bir transdüser ile ölçülür. Transdüser her iki yüzeyinde çok sayıda termoeleman çifti bulunan mantar, epoksi, silikon dolgululu cam elyaf gibi malzemelerden yapılmış bir levhadır. Bu sayede sistemde ısı akışı sağlandığında transdüser yüzeyleri arasında sıcaklık gradyanı oluşacağından, termoelemanlar üzerinde elektromotor kuvveti (Thomson etkisi) oluşur. Isı akışı sayesinde yüzeyler arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı bir elektrik sinyali (e) üretilmiş olur. Isıl Öz İletkenlik değeri

bilinen bir sertifikalı bir numuneyle yapılmış kalibrasyon testleri sayesinde elektrik sinyalinden ısı akışının hesabını sağlayacak olan kalibrasyon faktörü(f) tespit edilir.

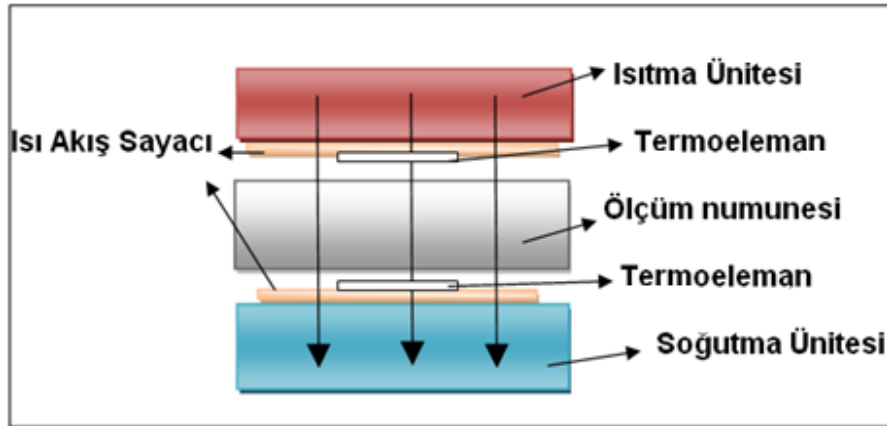
$$q = f \cdot e$$

ve Fourier denkleminde

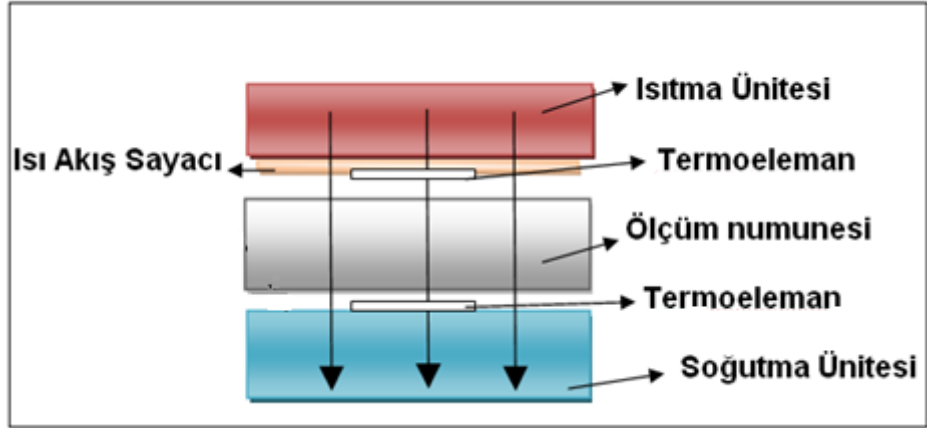
$$q = \lambda \cdot (\Delta T / d)$$

yazılır. Yüzeyler arası sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) ve numune kalınlığı (d) değerleri de ölçülerek denklemden ,  $\lambda$  tespit edilir.

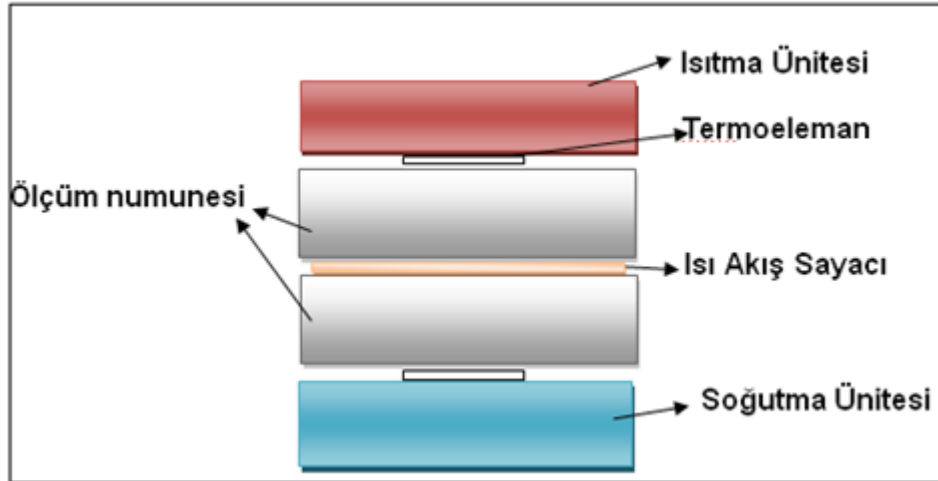
Kalibrasyon numunesinin değişik sıcaklıklara ilişkin ölçüm değerleri cihazın belleğinde bulunur. Kalibrasyon numunesinin Isıl Öz İletkenliği burada temel teşkil ettiğinden Isı Akış Sayacı metodu “Bağıl” veya “İkincil” bir metottur. Şekil 1.5, 1.6 ve 1.7’ de tek ve çift deney parçalı konfigürasyonlardaki ısı akış sayaçları şematik olarak gösterilmektedir.



**Şekil 1.5.** Tek Deney Parçalı Simetrik Konfigürasyonlu Isı Akış Sayacı Cihazı



**Şekil 1. 6.** Tek Deney Parçalı Asimetrik Konfigürasyonlu Isı Akış Sayacı Cihazı



**Şekil 1. 7.** Çift Deney Parçalı Simetrik Konfigürasyonlu Isı Akış Sayacı Cihazı

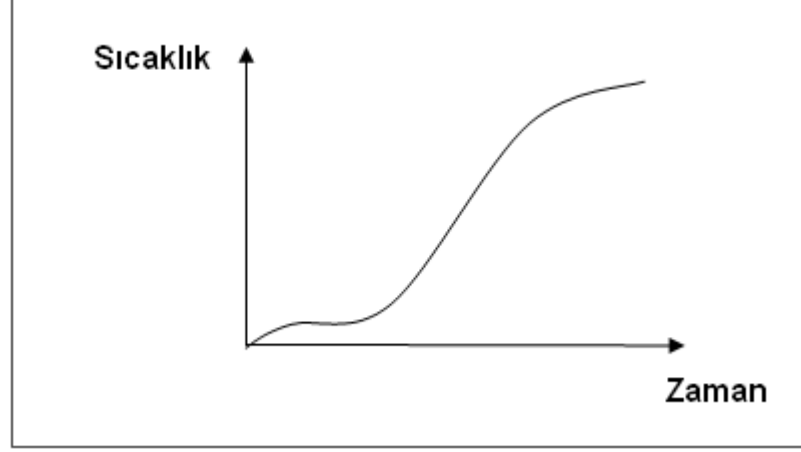
Isı Akış Sayacının gövdesi sıkıştırılabilirliği düşük ve sert bir malzemedendir yapılmalıdır. Mantar kompozisyonları, sert kauçuk plâstikler, seramikler ve fenolik lâminatlar, epoksi veya silikon dolgulu cam elyaf örgü gibi malzemeler Isı Akış Sayacı İmalatında kullanılabilir. <sup>(17)</sup>

Pek çok ısı akış sayacı tipi mevcut olmakla beraber sıcaklık farkı (gradyen) esasına göre çalışan ısı akış sayacıları iki türde imal edilir. Yüksek ısı dirençli gövdeye sahip(örneğin mantar) sayacılar, kalın bir levha ve levha etrafında yüzeyler arası sıcaklık farkını elektrik sinyaline dönüştüren bir termoelemanndan oluşur. Düşük dirençli sayacılar ise epoksi veya silikon dolgulu cam elyaf gibi kısmen düşük ısı dirençli bir malzemedendir yapılmış ince bir levha ve bu levhanın çevresinde sarılmış halde bulunan, küçük sıcaklık farkını ölçmeye uygun, çok hassas bir termoeleman ihtiva eder. <sup>(17)</sup>

### **1.9.7. Isıl Prob Metodu**

Bu yöntemde ısı öz iletkenlik numune içerisine yerleştirilen ısıtıcı tel ve termoeleman içeren, iğne biçimli probun ısı cevabının değerlendirilmesi yoluyla hesaplanır. Toz halindeki düşük yoğunluklu numunelerde efektif sonuçlar alınır. Belirli miktarda güç ısıtıcıya kısa süreli olarak verildiğinde ısıtıcı yüzeyinin sıcaklığının zamanla değişimi karakteristik bir form alır. İlk aşamada sıcaklık hızla yükselir. Isı, numuneye geçmeye başladıkça sıcaklık artışı sabit bir hal alır. Isı, numunenin dış sınırlarına erişip çevre ortama ısı kaybı başladığında ise sıcaklık yükselişi ya azalır ya da durur. Sıcaklık-

Zaman eğrisinden (bkz. Şekil 1.8) hareketle Isıl Öz İletkenlik hesaplanır.Şekil 1.9' da ısı prob kesiti şematik olarak verilmektedir.



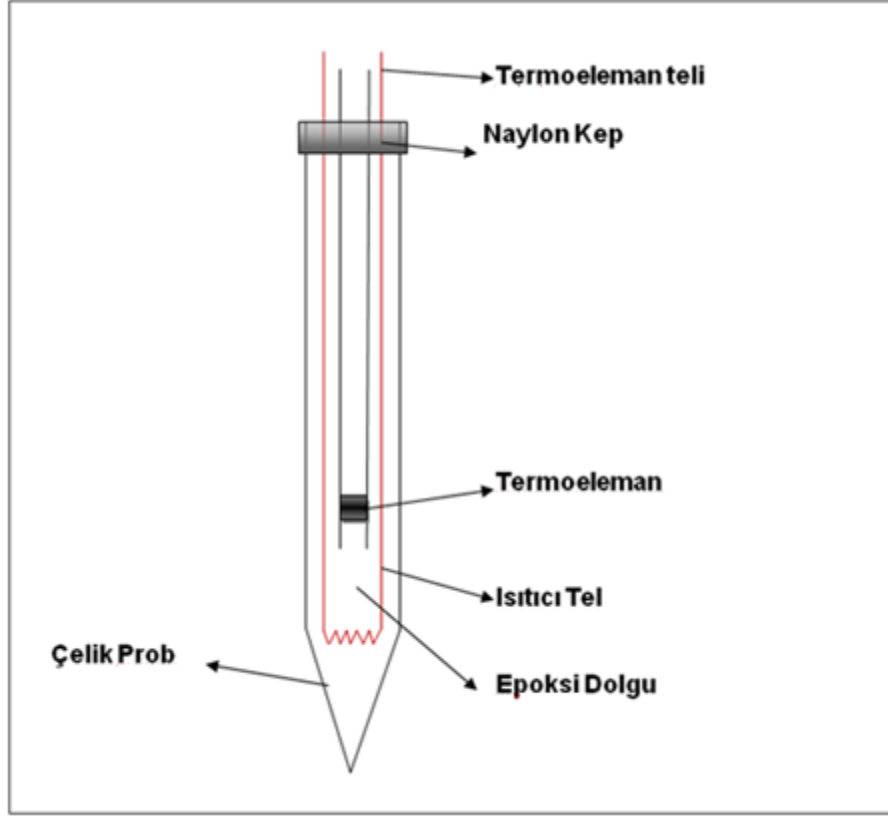
**Şekil 1. 8.** Isıl Prob' da Sıcaklık Zaman Eğrisi

Formülasyon sıcak tel metodundaki gibidir.

$$\lambda = \frac{q_L / (4 \cdot \Pi)}{\frac{dT}{d(\ln t)}}$$

$\frac{dT}{d(\ln t)}$  = Sıcaklık-Zamanın Doğal Log. (T-ln t) Lineer Bölgede Eğim





**Şekil 1. 9.** Isıl Prob Kesit Görünümü <sup>(1)</sup>

### 1. 10. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada temel amaç hafif ve gözenekli bir özelliğe sahip, yaygın kullanım alanı bulunan “Gazbeton “ yapı elemanının “Isıl Öz İletkenlik Katsayısı” bağıl bir Isıl Öz İletkenlik ölçüm cihazı olan, “Isı Akış Sayacı Cihazı (HFM)” yardımıyla yürürlükteki, ilgili Türk Standartlarınca belirlenen yönergelerle uyarak, laboratuvar şartlarında ölçülmesine ait prosedürü açıklamak ve  $600 \text{ kg/m}^3$  kuru yoğunluktaki AKG gazbetonun ısı özelliklerinin

tanımlanabileceği minimum deney parçası kalınlığını tespit etmektir. Ayrıca bu çalışma, üniversitemiz Isı Transferi Laboratuvarı'nın, endüstriye hizmet verebilecek , "Isı Akış Sayacı ile TS ISO 8301 Standardına Göre Isıl Öz İletkenlik Katsayısı Ölçüm" raporu sunabilecek, akredite edilmiş bir laboratuvar olması yolunda bir ilk adım olacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2. 1. Materyal

#### 2.1. 1. Türk Standartları

Gazbeton malzemesinin ısıl özelliklerinin deneyle incelenmesi ve tez metninin hazırlanmasında çeşitli Türk Standartlarına başvurulmuştur. Bunlara ait tanımlayıcı bilgiler ve özet aşağıda sunulmaktadır.

##### 2.1.1.a. TS ISO 8301 (25. 03. 2002)

TS ISO 8301 :”Isı Yalıtımı - Kararlı Halde Isıl Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini - Isı Akış Tayini İçin Metotlar” standardı tez çalışmasının, esas referans kaynağıdır. Levha halindeki deney parçalarında kararlı ısı aktarımını ölçmek için Isı Akış Sayacının (HFM) kullanılmasını ve deney parçalarının ısı aktarım özelliklerinin hesaplanmasını kapsar. ISO tarafından kabul edilen ISO 8301: 1991 standardı esas alınarak, TSE Petrokimya Hazırlık Grubu’nca hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulu’nun 25 Mart 2002 tarihli toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiştir. Diğer denk standartlar Fransız NF X10-025 ve alman DIN 52616 numaralı standartlardır. Uluslararası Standart Sınıflandırma Kodlamasında (ICS), Gözenekli Malzemeler ve Isı Yalıtımı sınıflarında kodlanmıştır. 46 Sayfadan oluşmaktadır. Standart içerisinde TS 6874:1989, TS 6876:1989, TS EN ISO 7345:1996 ve TS EN ISO 9288:1996 standartlarına atıflar bulunmaktadır.

Standart, Giriş kısmı ve 3 ayrı bölümden oluşmaktadır. Bölümler şu şekildedir:

- Bölüm 1:Genel Hususlar
- Bölüm 2: Cihazlar ve Kalibrasyon
- Bölüm 3:Deney İşlemleri
- Ekler

"Giriş" kısmında standardın genel tanıtımı yapılmakta, nasıl kullanılması gerektiğine dair bilgiler verilmekte, "Aktarım Faktörü " kavramı açıklanmaktadır. Bazı uyarılarda bulunmaktadır.

Bölüm 1' de standardın temel kapsamı açıklanmakta, atıf yapılan standartlar bildirilmektedir. Standartta geçen terimlerin tarifi yapılmakta, tanımlar, tanımlara ait semboller ve terimlere ait birimler sıralanmaktadır. Isıl özellikler birçok faktörden etkilenebileceğinden, deney sonuçlarının deney şartları ile birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu bölümde ayrıca deneylerle ilgili olan numune alma, doğruluk, tekrarlanabilirlik, uyarılık ve kalibrasyon kavramlarına kısaca değinilmektedir. Bunların yanı sıra deney hakkındaki genel prensipler kısaca açıklanmakta, deneyler esnasında özellikle dikkat edilmesi gereken, cihazdan ve deney parçalarından kaynaklanan sınırlayıcı etkenlerden bahsedilmekte, çeşitli uyarılar yapılmaktadır.

Bölüm 2 'de Isı Akış Sayacı Cihazı'nın tasarımını yapacak imalatçının uyması gereken kurallar verilmektedir. Cihazın sahip olabileceği çeşitli konfigürasyonlar, cihazın temel parçalarının ne olduğu, bu parçaların sahip olması gereken nitelikler, kısıtlamalar, ölçülmesi gereken unsurların ne

olduğu, bir Isı Akış Sayacının tasarımına başlarken hangi hususlara dikkat edilmesi gerektiği gibi bilgiler okuyucuya sunulmaktadır. Bu bilgiler imalatçıyı ilgilendirdiği kadar, cihazın kullanıcıını da ilgilendirmektedir. Çünkü deney operatörü cihazın standarda uygun imal edilip edilmediğini onaylamak zorundadır. Bölüm 2 'de ayrıca cihazın kalibrasyonu, kalibrasyon işlemeine ilişkin ayrıntılı formüller ve imal edilmiş bir cihazın kalite kontrolü anlamına da gelebilecek "Performans Kontrolü" konularından bahsedilmektedir.

Bölüm 3' te bir ısı yalıtım malzemesinden alınan numunenin ısı aktarım özelliklerinin nasıl ölçülmesi gerektiğine dair kurallar ortaya sunulmaktadır. Bu bağlamda deney parçalarının seçimi, hazırlanması, şartlandırılması, tartma işlemi, kalınlık ölçümü, yoğunluk ölçümü, ısı özelliklerin tespit edilebileceği minimum deney parçası kalınlığı tespiti, ısı direnç hesaplama formülleri, deney raporunda hangi başlıkların bulunması gerektiği gibi konular açıklanmaktadır.

"Ekler" kısmında ise cihaz performansının kontrolünde kullanılacak bir sınır değerler tablosu, Isı Akış Sayaçları ile ilgili detay bilgiler, deney parçası azami kalınlık hesabı ile ilgili yönlendirme, termoçiftlerle ilgili bilgiler ve kaynak literatür bilgisini içeren beş adet ek bulunmaktadır.

### 2.1.1.b. TS EN 12664 (29. 11. 2001)

TS EN 12664 :”Yapı Malzemeleri ve Ürünlerinin Isıl Performansı- Mahfazalı Sıcak Plâka ve Isı Akış Sayacı Metotları İle Isıl İşlem Direncinin Tayini- Orta ve Düşük Isıl Dirençli Kuru ve Nemli Mamulleri” standardından TS ISO 8301 standardının destekleyicisi, ayrıntılarını açıklayan bir standart olarak, tez çalışmasında faydalanılmıştır. Bu standart, ısı direnci  $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{KW}$  ‘dan büyük ve ısı öz iletkenliği veya ısı transmisivitesi  $2 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ ’ den küçük olan test numunelerinin, Mahfazalı Sıcak Plaka veya Isı Akış Sayacı Cihazı ile belirlenmesine ait test prosedürlerini açıklar.

Uluslararası Standart Sınıflandırma Kodlamasında (ICS), ” 91.120. 10-Isı Yalıtımı” sınıfındadır. EN 12664:2001 standardını kaynak alır.

29.11.2008 tarihinde TSE Teknik Kurulu tarafından içerik orijinal dilinde (İngilizce) muhafaza edilerek kabul edilmiştir. 70 sayfadan oluşmaktadır.

Standartın kısımları şu şekilde Türkçeye tercüme edilebilir:

- Giriş
- Bölüm 1:Kapsam
- Bölüm 2:Yararlanılan referanslar
- Bölüm 3:Tanımlamalar, Semboller ve Üniteler
- Bölüm 4:Prensip
- Bölüm 5:Cihaz
- Bölüm 6:Test Numuneleri
- Bölüm 7:Test Prosedürü
- Bölüm 8:Hesaplamalar

- Bölüm 9:Test Raporu
- EKLER

#### **2.1.1.c. TS 453 (20. 07. 2006)**

TS 453 :”Önyapımlı (prefabrike), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları (Temmuz 2006)” standardı, gazbetonun tanımı, ön yapımlı donatılı gazbeton yapı elemanlarının tanımı, sınıflandırılması, fiziksel ve geometrik özellikleri, numune alma yöntemi, numune hazırlanması, muayene yöntemi, deneylere ait yöntem ve yönlendirmeler, ürünün ambalajlanması, işaretlenmesi hususlarında bilgileri içermektedir.

Standard, TSE İnşaat İhtisas Grubu tarafından kabul edilerek TS 453(1988) 'in revizyonu olarak hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulu' nun 20 Temmuz 2006 tarihli toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiştir. Toplam 18 sayfadan oluşmaktadır. Uluslararası Standart Sınıflandırma Kodlamasında(ICS) , " 91. 100. 30-Beton ve Beton Ürünleri" sınıfındadır.

Standart toplam yedi bölümden oluşmaktadır. Bunlar,

- Bölüm 1:Kapsam
- Bölüm 2:Atıf yapılan standart ve/veya Dokumanlar
- Bölüm 3:Terimler ve tarifleri
- Bölüm 4:Sınıflandırma ve Özellikler
- Bölüm 5:Numune Alma, Muayene ve Deneyler

- Bölüm 6: Piyasaya Arz
- Bölüm 7:Çeşitli Hükümler

şeklinde Türkçeye tercüme edilebilir.

#### **2.1.1.d. TS EN ISO 7345 (03. 9. 1996)**

TS EN ISO 7345 :”Isıl Yalıtım - Fiziksel Büyüklükler ve Tarifler” standart, Isı Yalıtımı alanında kullanılan fiziksel büyüklükleri, bu büyüklüklere ait sembolleri ve birimleri tanımlar. TSE Teknik Kurulu tarafından, EN ISO 7345:1995 standardının içerik kısmı orijinal dilinde (İngilizce) muhafaza edilerek, 03.09.2006 tarihinde kabul edilmiştir. Uluslararası Standart Sınıflandırma Kodlamasında (ICS) “Enerji ve Isı Transfer Mühendisliği (Terimler)”, ”Miktarlar ve Birimler”, “Isı Transferi, Isıl Yalıtım “ sınıflarındadır. Toplam 12 sayfadan müteşekkildir.

Standard ısı, ısı akış hızı, ısı öz iletkenlik, ısı direnç, ısı geçirgenlik, ısı kapasitesi, özgül ısı gibi kavramları sade bir biçimde tanımlamakta, formülasyonlarını ve sembollerini ortaya koymaktadır. Standard, Giriş kısmı, beş adet bölüm ve Ek kısmından oluşmaktadır. Bunlar,

- Giriş
- Bölüm 1:Kapsam ve Uygulama Sahası
- Bölüm 2:Fiziksel Büyüklükler ve Tanımları
- Bölüm 3:Yapıların Enerji Performansı
- Bölüm 4:Diğer Büyüklükler için Sembol ve Birimler
- Bölüm 5:İndisler



- Ek: Isıl Öz İletkenlik Kavramı

şeklinde Türkçe'ye tercüme edilebilir.

#### **2.1.1.e. TS 6874 EN ISO 9251 (15. 02. 2000)**

TS 6874:" EN ISO 9251 Isı Yalıtımı- Isı Transfer Şartları ve Malzeme Özellikleri- Terimler ve Tarifler" standardı, CEN/ISO tarafından kabul edilen EN/ISO 9251 (1995) standardı esas alınarak, TSE Petrokimya Hazırlık Grubu tarafından TS 6874 (1989) revizyonu olarak hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulunun 15 Şubat 2000 tarihli toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiştir. Uluslararası Standart Sınıflandırma Kodlamasında(ICS) "01. 040. 91-Yapı Malzemeleri ve Yapılar (Terimler)" ve "91. 120. 10-Isı Yalıtımı " sınıflarındadır.

Standart içerik olarak ısı yalıtımında kullanılan ısı transfer şartları ve malzeme özellikleri ile ilgili terimlerin tarifini kapsamaktadır. Toplam 7 sayfadan oluşmaktadır. Kararlı hal, kararsız hal, periyodik hal, geçici hal, ısı transferi gibi "Isı Transfer Şartları" terimlerini, gözeneklilik, lokal gözeneklilik, gözenekli ortam, homojen gözenekli ortam, homojen ortam, heterojen ortam, yoğunluk, izotropik ortam, anizotropik ortam, kararlı ortam şeklinde de "Malzeme Özellikleri" terimlerinin tariflerini içermektedir.

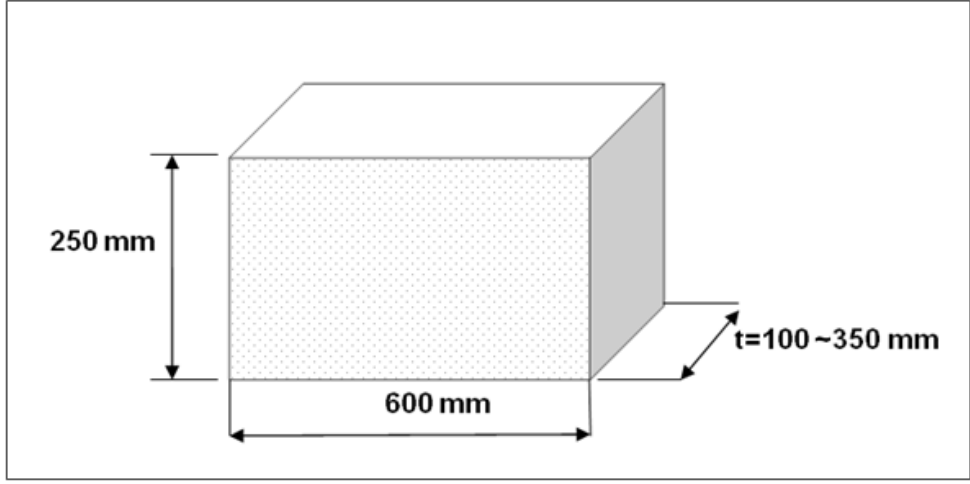
## **2. 1. 2. Isı Akış Sayacı**

Deneylerde ısı akış sayacı olarak, Amerikan LaserComp firmasının FOX 314 model cihazı kullanılmıştır. Üretici firma cihazın, ASTM C 518 (Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus) ve ISO standartlarına uygun olduğunu beyan etmektedir. Cihaz elektronik olarak kontrol edilmekte ve mikroişlemci bazlı çalışmaktadır. IBM uyumlu bilgisayarlarda "Wintherm" yazılımı aracılığıyla cihazın tam kontrolü, test parametrelerinin değişimi ve sonuçların takibi sağlanabilmektedir. Cihazın diğer özellikleri ile ilgili bilgi Ek 1'de verilmiştir.

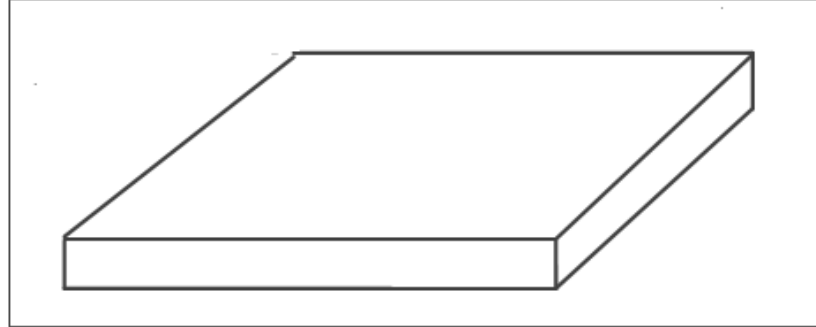
## **2. 1. 3. Gazbeton Duvar Bloklarından Elde Edilen Deney**

### **Numuneleri**

AKG-Gazbeton firmasının üretmiş olduğu,  $600 \text{ kg/m}^3$  kuru yoğunluk değerinde Gazbeton Duvar Bloklarından (bkz. Şekil 2.1) kesilerek elde edilen farklı kalınlıklardaki prizmatik deney numuneleri (bkz. Şekil 2.2), FOX 314 Isı Akış Sayacı cihazında ısı iletkenlik, ısı direnç ve ısı direnç tespiti deneylerine tabi tutulmuştur. AKG gazbeton duvar blokları 600 mm uzunlukta, 250 mm genişlikte ve 100 ila 350 mm arasında değişen kalınlıklarda üretilmektedir.



**Şekil 2. 1.** Gazbeton Duvar Bloğu



**Şekil 2. 2.** Gazbeton Deney Numunesi

## 2. 2. Yöntem

“TS ISO 8301 Isı Yalıtımı - Kararlı Halde Isıl Direncin Ve İlgili Özelliklerin Tayini - Isı akış Tayini İçin Metotlar” standardı temel alınarak yapılacak bir gazbetonda ısı aktarım özelliği tespiti deneyi aşağıda verilen aşamalarla özetlenmiştir.

- a) Deney Operatörünün Gerekli Teorik Bilgi Alt Yapısıyla Donanmış Olması
- b) Gereken Deney Ekipmanlarının Bulunduğu Bir Laboratuar Oluşturulması
- c) Ölçülecek Numunenin Türüne ve Deney Amacına Karar Verilmesi
- d) Deneylerde Kullanılacak Isı Akış Sayacı Cihazının Kontrolü
- e) Malzeme Özelliklerini Temsil Eden Numunenin Temini
- f) Minimum Deney Parçası Kalınlığının Tayini
- g) Maksimum Deney Parçası Kalınlığının Tespiti
- h) Isı Akış Sayacı Sıcaklık Uygulama Plakalarının Arasındaki En Büyük Mesafenin Belirlenmesi
- i) İncelenen Malzemenin Gerçek Kullanım Alanındaki Kalınlığının Tespiti
- j) Malzemenin Kullanım Şartlarındaki Yüzeyler Arası Sıcaklık Farkının Tespiti
- k) Isı Akış Sayacı Cihazı Sıcaklık Uygulama Plakalarının Boyutlarının Belirlenmesi
- l) e,f,h,i,j,k Aşamalarında Elde edilen Bilgilere Göre Deney Parçasının, Numuneden Kesilerek Çıkarılması
- m) Deney Parçasının Yüzeyinin Düzlemsellik ve Paralelliğinin Sağlanması

- n) Şartlandırma Öncesi Deney Parçasının Kütlesinin Tespiti
- o) Deney Parçasının Kurutucuda veya Havalandırılmalı Etüvde Şartlandırılması
- p) Şartlandırma Sonrası Deney Parçasının Soğumaya Bırakılması
- q) Deney Parçası Yüzeyleri Arası Sıcaklık Farkına Karar Verilmesi
- r) Şartlandırılmış Deney Parçasının Cihaza Yerleştirilmeden Önce Tartılması
- s) Kurutma ve/veya Şartlandırma Sırasında Bağlı Kütle Değişiminin Hesaplanması
- t) Deney Parçasının, Deney Sıcaklığında ve Sıkıştırma Şartlarında Kalınlığının Ölçülmesi
- u) Deney Parçasının Kenar Uzunluklarının Ölçümü
- v) Deney Parçasının Deney Anındaki Yoğunluğunun Hesabı
- w) Sert Deney Parçalarında Deney Parçası ile Cihaz Arasına İnce Levha Yerleştirilmesi
- x) Deney Parçasının Cihaza Yerleştirilmesi ve Sonuçların Okunması
- y) Deney Sonlandırıldığında Deney Parçasının Kalınlığı ile Kütlesinin Tekrar Ölçümü ve Bağlı Kütle Artışının Hesabı
- z) Deney Raporunun Hazırlanması

## 2. 2. 1. Yöntem Aşamalarının Detayları

### 2.2.1.a. Deney Operatörünün Gerekli Teorik Bilgi Alt Yapısıyla Donanmış Bulunması

Bir ısı yalıtım malzemesinden alınan numunenin ısı aktarım özelliklerinin tayinleri yapacak laboratuvar elemanının, ISO 8301 standardında verilen teorik bilgi altyapısına ve ısı akışı sayacı cihazının tasarım ve işletimi ile ilgili yeterli bilgiye sahip olması gerekmektedir. <sup>(17)</sup>

### 2.2.1.b. Gereken Deney Ekipmanlarının Bulunduğu Bir Laboratuvar Oluşturulması

Deney laboratuvarında, bulunması gerekenler aşağıda açıklanmıştır:

- **Isı Akış Sayacı Cihazı (HFM)** : ISO 8301' de belirtilen tasarım ve kalibrasyon standartlarına uygun özellikte olmalıdır.
- **Deney parçası boyutları tayini için ölçme aleti:** Deney numunelerinin boyutlarının 0,1 mm hassasiyet ile okunabilmesini sağlayan kumpas <sup>(4)</sup>
- **Havalandırmalı Etüv:** Deney parçalarını şartlandırmak/kurutmak için  $(105 \pm 5)^\circ \text{C}$ ' ye ayarlanabilen hava dolaşımli etüv. <sup>(19)</sup>
- **Tartım cihazı:** Deney parçasının kütlesinin tespitine yarayacak, hassasiyeti % 0,1 kg' den, doğruluğu ise % 0,5 'ten daha iyi olan tartım cihazı. <sup>(19,17)</sup>

- **Polietilen torba:** Şartlandırma sonrası durumun muhafazasını temin için kapağı sızdırmaz şekilde kapanabilen polietilen torba. <sup>(17)</sup>
- **Düz çelik mastar:** Isı Akış Sayacı Çalışma yüzeylerinin ve deney parçası yüzeylerinin düzlemselliğinin kontrolünde kullanılacak, çalışma yüzeylerinin genişliğinden daha büyük boyutlu mastar.

Deney parçalarının yanal kısımlarının üst ve alt yüzeylere dikliğinin kontrolü için de dik çelik gönye kullanılır.

- **Taşlama veya zımparalama ekipmanı:** Deney parçalarını yüzeyleri ile Isı Akış sayacı çalışma yüzeyleri arasında boşluksuz temas sağlamak için deney parçaları yüzeylerine taşlama veya zımparalama uygulamak gerekebilir.

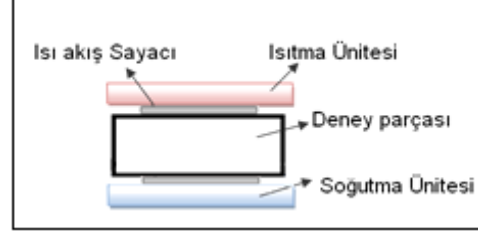
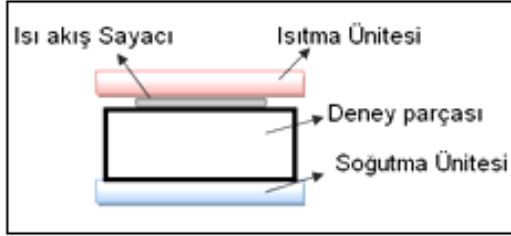
### **2.2.1.c. Ölçülecek Numunenin Türüne ve Deney Amacına Karar Verilmesi**

Deneylere başlamadan önce, araştırılmak istenenin numunenin türüne ve hangi özelliğın araştırılacağına karar verilmelidir. Bu sadece doğrudan bir ölçüm (Isıl Öz iletkenlik, direnç vs. ) olabileceğı gibi değiştirilen parametrelerin ölçüm sonuçlarına etkisinin (örneğin ısıl öz iletkenliğın sıcaklık ve yoğunluk ile değişimi ) araştırılması da olabilir. <sup>(17)</sup>

### 2.2.1.d. DeneYlerde Kullanılacak Isı Akış Sayacı Cihazının Kontrolü

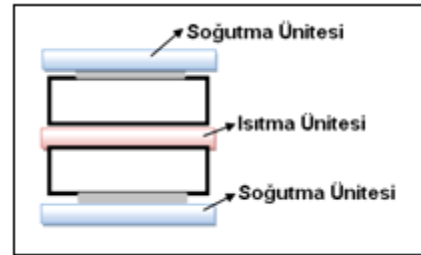
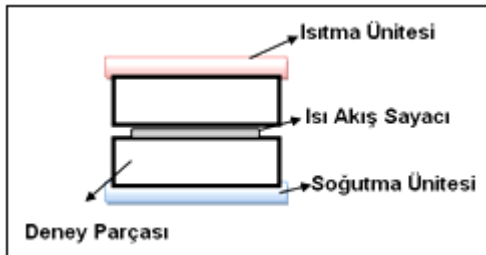
DeneYin gerçekleştirileceği cihazın, deneY operatörünce ayrıntılı olarak TS ISO 8301'e uygunluğunun kontrolü gerekmektedir. Bir Isı Akış Sayacı Cihazının standarda uygunluğunun kontrol prosedürü aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Cihaz, genel olarak aşağıdaki konfigürasyonlardan birisine uygun olmalıdır. <sup>(17)</sup>



Şekil 2.3. Tek deney parçalı, asimetric

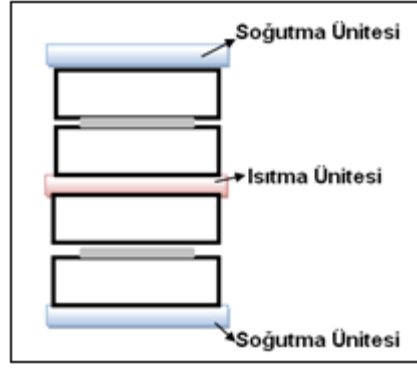
Şekil 2.4. Tek deney parçalı, simetric



Şekil 2.5. Çift deney parçalı, simetric

Şekil 2.6. İkili Cihaz (Tip 1)





**Şekil 2.7.** İkili Cihaz (Tip 2)

- Isıtma ve soğutma üniteleri ile ısı akış sayaçlarının çalışma yüzeyleri (yani deney parçaları ile temas eden yüzeyler) boyanmış olmalı, boyanmamışsa çalışma sıcaklıklarında 0,8' den daha büyük bir toplam yarı küresel bir ışın yayma özelliğine sahip olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Isıtma ve soğutma ünitelerinin çalışma yüzeyi, ısıl öz iletkenliği yüksek olan bir metalden yapılmış olmalı ve % 0,025 toleransla tam bir düzleme uygun olarak pürüzsüz bir şekilde perdahlanmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Her çalışma yüzeyindeki sıcaklık homojenliği, deney parçasının üzerindeki sıcaklık farkının % 1'inden daha iyi olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- **Yüksek düzeyde performans isteyen deneylerde** ,
  - Deney parçası yüzeyleri arasındaki sıcaklık farklarını  $\pm$  % 0,5; termopilden gelen çıktıyı ise  $\pm$  %0, 6 sınırları içinde ölçebilecek kalitede hassasiyet, doğrusallık, doğruluk ve girdi empedans özellikleri sağlamalıdır. <sup>(17)</sup>

- Cihaz, sıcaklık farkını ölçen dedektörden gelen en küçük çıktı için % 0,15'den daha iyi bir hassasiyete sahip olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Sıcaklık farkı dedektörünün mümkün çıktılarının herhangi bir büyüklüğü için sistemin doğrusallığının idealden sapmasına bağlı hata katkısı % 0,1'den az olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Cihaz, herhangi bir ölçülen değerde % 0,1'den daha fazla bir hataya sebep olmayacak yeterli bir giriş empedansına sahip olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Cihazın kararlılığının, kalibrasyon periyotları arasında veya 30 gün içinde (hangisi daha büyükse) ölçülen herhangi bir değer hatasına katkısı % 0,2'den daha küçük olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Cihazdaki tel bağlantı uçlarının, topraklamanın ve zırlamanın tipi, sıcaklık farkının ve termopil çıktısının ölçülen değerine % 0,1 rms'den daha az gürültü katacak nitelikte olmalıdır. <sup>(17)</sup>
- Deney parçası kalınlığını, cihaz ölçebiliyorsa, ölçümün doğruluk değeri % 0,5'i sağlamalıdır. <sup>(17)</sup>
- Cihazın bir veya daha çok konuma yönlendirilebilmesi için bir çerçeve mevcut olmalıdır. <sup>(17)</sup>

#### **2.2.1.e. Malzeme Özelliklerini Temsil Eden Numunenin Temini**

Deneye tabi tutulacak deney parçası numuneyi, numune ise incelenecek malzemeyi temsil etmelidir. Örneğin deney parçasının

içerisinden çıkarılacağı gazbeton bloğu, ısı aktarım özelliği araştırılacak olan gazbeton sınıfını temsil edebilmelidir.

Bir malzemenin ısı aktarım özelliği, numune malzemeyi ve deney parçası/parçaları da numuneyi temsil ediyorsa, tek ölçmeyle tayin edebilir. Numune alma işlemi normal olarak malzemenin şartnamesinde belirtilmelidir. Numune alma konusu malzeme şartnamesinde belirtilmemişse, hangi dokümana göre numune alındığı, deney raporunda belirtilmelidir. <sup>(17)</sup>

#### **2.2.1.f. Minimum Deney Parçası Kalınlığının Tayini**

Isıl öz geçirgenliğin tanımlanabileceği en küçük kalınlık bilinmiyorsa, bu kalınlığın hesaplanması gerekir. Bu kalınlığın tayin edilmesi için yerleşmiş bir metot yoktur. Kalınlık tayini için TS ISO 8301 Madde 3. 4. 2'de kaba hatlarıyla verilen işlemler uygulanabilir ve bu işlemler yardımıyla bu kalınlığın muhtemel malzemenin de kullanılacağı kalınlık aralığında olup olmadığı tespit edilir. <sup>(17)</sup>

**TS ISO 8301 Madde 3. 4. 2'de** "Isıl Özelliklerin Tayini İçin Mümkün Asgarî Kalınlığın Tayini" başlığı ile verilen yöntem ise özetle şöyledir:

- Kalınlığı, ısı özellikleri ölçülecek malzemenin muhtemel en büyük kalınlığına veya deney cihazının elverdiği en yüksek deney parçası kalınlığına eşit, yoğunluk dağılımı olabildiğince homojen bir numune seçilir.
- Seçilen numuneden 5 ayrı deney parçası kesilir. Her deney

parçasının kalınlıkları farklı ve en küçük kalınlık piyasaya sürülecek en ince malzeme kalınlığı kadar olmalıdır. Kesilen deney parçası takımları artan kalınlık sırasına göre  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$  şeklinde gösterilir. Her birinin kalınlığı da  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$  şeklinde kodlanır.

- $s_1, s_3$  ve  $s_5$  kodlu takımların ısı dirençleri, deney parçası yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ve ortalama sıcaklık aynı olmak kaydıyla ölçülür. Isı Direnç-Kalınlık grafiği oluşturulur. Bu üç değer, doğrusal bir ilişkiden % 1' den daha küçük bir sapma gösteriyorsa,  $d_1$  ısı özellik tayini yapılabilecek minimum deney parçası kalınlığı olarak belirlenir.

- Doğrusallıktan sapma % 1'den daha büyükse,  $s_2$  ve  $s_4$  takımları ile de aynı tayinler yapılarak belli bir kalınlığın üzerinde direnç değerlerinin % 1' den daha fazla saptmadığı bir durumun söz konusu olup olmadığı kontrol edilir. Tespit edilen bu kalınlık, ısı özellik tayini yapılabilecek minimum deney parçası kalınlığı olarak belirlenir.

#### **2.2.1.g. Maksimum Deney Parçası Kalınlığının Tespiti**

Isı Akış Sayacı cihazında, levha tipi prizmatik deney parçası ile yapılan ölçmelerde ısı akışı tek yönlü (sıcak plakadan soğuk plakaya) olmalıdır. Ölçümün esası bu ilkeye göre olduğundan yanal yüzeylere doğru ısı akışı sınırlanmalıdır. Deney parçasının kalınlığı arttıkça yanal yüzeylere doğru ısı akışı(kenar ısı kaybı) ihmal edilemez hale gelir. Bu ise akışın tek yönlüden iki yönlüye kaymasına ve ölçmelerin hatalı olmasına yol açar. Bu

nedenle deney parçasının tek yönlü ısı akışı için maksimum kalınlığının tespit edilmesi ve bu değerin aşılmaması gerekir.

Kenar ısı kayıplarından kaynaklanan hatalar % 0,5' ten daha küçük olmalıdır. Kenar ısı kayıplarından kaynaklanan hataların azaltılabilmesi için, kenarlar yoluyla ısı akış hızı oranının %20'nin altında tutulması kaba bir kural olarak benimsenmelidir. <sup>(17)</sup>

TS ISO 8301 'de deney parçalarının müsaade edilen azamî kalınlığını önceden tahmin etmek için uygun bir teorik analiz mevcut değildir. Bu sebeple ön bilgi olarak, mahfazalı sıcak plâka deneyi için (TS ISO 8302 Ek C) söz konusu analiz sonuçlarını kullanmak gerekir. <sup>(17)</sup>

TS ISO 8302 EK C' de maksimum kalınlığın hesabı için bir program kodu verilmektedir. Bu koddaki değişken parametreler girilmekte (ısıtma kısmı genişliği, hata oranı, boşluk genişliği çeşitli oranlar vs. ) ve sonuca gidilmektedir.

#### **2.2.1.h. Isı Akış Sayacı Sıcaklık Uygulama Plakalarının Arasındaki En Büyük Mesafenin Belirlenmesi**

Hazırlanacak olan deney parçasının/parçalarının kalınlığını kısıtlayabilecek unsurlardan birisi de cihazın sıcaklık uygulama plakaları arası azami mesafedir. Bu mesafeden daha kalın olan bir deney parçası diğer kriterlere uygun da olsa cihaza sığmayacağından deney uygulanamayacaktır. Bu nedenle deney parçasının/parçalarının hazırlanmasından önce bu mesafe tespit edilmelidir.

### **2.2.1.i. İncelenen Malzemenin Gerçek Kullanım Alanındaki Kalınlığının Tespiti**

TS ISO 8301 Madde 3. 2. 1' de "...Ayrıca deney parçası kalınlığı ya uygulanma alanındaki gerçek kalınlıkla aynı olmalı, ya da gerçek kalınlık için ısı özelliklerinin gerçek bir ortalama değerini hesaplamaya elverişli aralıkta olmalıdır. " ifadesi yer almaktadır. Örneğin bir yalıtım malzemesi ele alınırsa kullanım alanındaki kalınlığındaki deney parçasıyla, yine kullanım alanındaki sıcaklık farkına göre yapılan bir ölçümün sonuçları, gerçekçi ve uygulama anlamında kullanışlı olacaktır.

### **2.2.1.j. Malzemenin Kullanım Şartlarındaki Yüzeyler Arası Sıcaklık Farkının Tespiti**

İncelenen malzemenin ısı aktarım özellikleri sıcaklığa göre değişim gösterebilir. Örneğin aynı malzemede ortalama sıcaklık 40 °C iken elde edilen ısı iletkenlik ölçüm sonucu ile ortalama sıcaklık 70 °C iken elde edilen ısı iletkenlik ölçüm sonucu arasında fark olacaktır. Bu nedenle kullanışlı bir ölçüm sonucu elde etmek için gerçek kullanım alanındaki yüzeyler arası sıcaklık farkı tespit edilmelidir. Daha sonraki aşamalarda karar verilecek olan deney parçası yüzeyleri arası sıcaklık farkı değerinde bu bilgi gerekebilecektir. <sup>(17)</sup>

### **2.2.1.k. Isı Akış Sayacı Cihazı Sıcaklık Uygulama Plakalarının Boyutlarının Belirlenmesi**

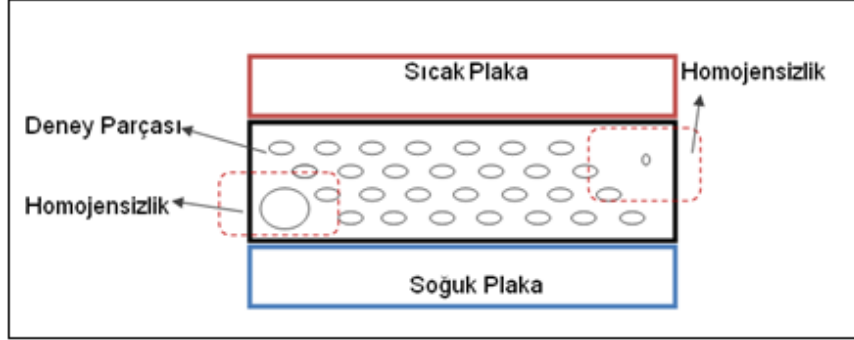
Deney parçası ısıtma ve soğutma ünitelerinin sıcaklık uygulama plâkalarındaki ölçme alanının bütününe kaplamalıdır. Boşluk kalması durumunda, bu boşluklardaki hava üzerinden ısı akışı gerçekleşecektir. Bu nedenle, deney parçasının/parçalarının uygun ölçülerde hazırlanabilmesi sıcaklık uygulama plâkalarının ölçme alanının boyutlarının tespiti gerekmektedir.

### **2.2.1.l. e, f, h, i, j, k Aşamalarında Elde edilen Bilgilere Göre Deney Parçasının, Numuneden Kesilerek Çıkarılması**

Önceki maddelerde bahsedilen malzeme özelliklerinin temsili, minimum ve deney parçası kalınlığı, cihaz geometrisinden kaynaklanan kısıtlamalar gibi unsurlar dikkate alınarak, deney parçası/parçaları, laboratuvar numunesinden testere ya da benzeri bir aletle, dikdörtgenler prizması şeklinde, kesilerek çıkartılır. Çelik donatılı elemanın laboratuvar numunesi olarak kullanımı durumunda, deney parçasının içinde donatı çubuğu isabet etmemesine dikkat edilmelidir.

Çıkarılan deney parçasının homojen veya homojen gözenekli olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü homojen yapıda olmayan deney parçası içerisinde (bkz. Şekil 2.8) ısı alan bozulmaları, düzensiz sıcaklık dağılımları, ısı akış hızı yoğunluğunun tek yönlülüğünün bozulması durumları meydana gelebilir. Bu ise metodun uygulanabilirliğine ilişkin belirsizliklere neden olur. Homojen gözenekli deney parçalarında homojen olmayan herhangi bir

kısım boyutları deney parçasının kalınlığının onda birinden daha küçük olmalıdır. <sup>(17)</sup>



**Şekil 2. 8.** Deney Parçasında Homojen Olmayan Bölgeler

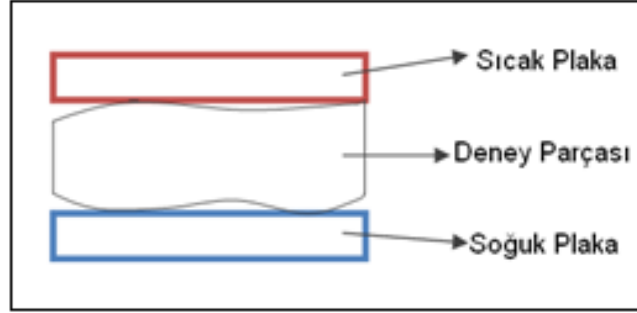
### 2.2.1.m. Deney Parçasının Yüzeyinin Düzlemsellik ve Paralelliğinin Sağlanması

Deney parçalarının yüzeyleri, deney parçaları ile çalışma yüzeyleri arasında doğrudan temas olmasını sağlamak için zımpara, taşlama gibi araçlarla düzleştirilmelidir. Sert malzemelerde deney parçalarının yüzeyleri, onlarla temas eden çalışma yüzeyleri kadar düz olmalı ve bütün yüzey boyunca paralellikten sapma deney parçası kalınlığının % 2 ' si sınırları içinde olmalıdır. <sup>(17)</sup>

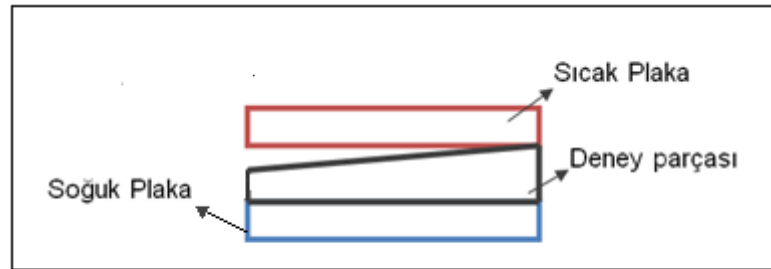
Deney parçasının yüzeylerinin Şekil 2.9.'daki gibi düz olmaması durumunda deney parçası ile cihazın sıcaklık uygulama plakaları arasındaki temas boşluklu olur. Bu boşluklarda da hava bulunduğunda bu havanın ısı direnci ölçüm sonuçlarını da etkiler. Deney parçasının ısı aktarım özellikleri



istenilen doğrulukta ölçülemez. Bu boşluklu temas aynı zamanda ısı akışının homojenliğinin bozulması, deney parçası kalınlığının ve yüzeyindeki sıcaklığının ölçülmesinde belirsizlikler gibi problemlere yol açar. Deney parçası düzlemselliğinin uygun fakat yüzeyler arası paralelliğinin uygun olmadığı durumda (bkz. Şekil 2.10) yine ölçüm hataları oluşacaktır.



**Şekil 2. 9.** Plakalara Temas eden Yüzeyleri Yeterli Düzlemsellikte Olmayan Deney Parçası



**Şekil 2. 10** .Yüzey Düzlemselliği Uygun Fakat Yüzeyler Arası Paralelliği Yeterli Olmayan Deney Parçası

### **2.2.1.n. Şartlandırma Öncesi Deney Parçasının Kütlesinin Tespiti**

Şartlandırma işlemi esnasında deney parçasının kütlesindeki değişimler izleneceğinden, şartlandırma işlemi öncesinde deney parçasının kütlesi tespit edilir.

### **2.2.1.o. Deney Parçasının Havalandırılmalı Etüvde Şartlandırılması**

Deneylere başlamadan önce, deney parçasının içinde bulunan nemin uzaklaştırılması gerekir. Aksi halde elde edilecek sonuç ölçülen deney parçasının, deney anındaki nem oranına bağlı bir sonuç olacaktır. Yapı malzemesinin nemsiz (kuru) haline özgü bir sonuç elde edilmesi için deney parçasının kurutulması gerekmektedir.

TS ISO 8301' de "3. 2. 2. 1. Genel" başlıklı kısımda deney parçasının şartlandırılmasının varsa malzeme şartnamesine uygun olarak yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Direkt olarak gazbeton yapı malzemesinin şartlandırılması konusunu ele alan bir standard bulunmamaktadır. Fakat bu konuyu da içeren "TS EN 678 –Gaz ve Köpük Beton -Kuru Yoğunluk Tayini" standardından yararlanılabilir. Buna göre , "TS EN 678 -6. 2. Deney Numunelerinin Kuru Kütlesinin Tayini " kısmında kurutma işlemi özetle şöyledir:

- Deney parçaları,  $(105\pm 5)^{\circ} C$  a ayarlı hava dolaşımli etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmalıdır.
- Deney parçaları etüvden çıkarılır çıkarılmaz kuru kütleleri, kütlelerin % 0,1 ' inden daha az hatayla tespit edilmelidir.

- Deney numunesinin kütlesi, 24 saat süre ile kurutulduğunda % 0,2 den fazla değişmiyorsa sabit kütleye eriştiği kabul edilmelidir. ” (19)

Eğer etüvde nem çekici bir madde varsa, sistem kapalı ve havalandırmasız olabilir. (17)

#### **2.2.1.p. Şartlandırma Sonrası Deney Parçasının Soğumaya Bırakılması**

Şartlandırma sonrası deney parçaları ortam şartlarına yeniden maruz kalırsa tekrar eski haline dönecektir. Bunu engellemek için şartlandırma işleminin hemen ardından deney parçası/parçaları “kapağı sızdırmaz biçimde kapanan su buharı geçirmez” bir torbada soğumaya bırakılmalıdır.

#### **2.2.1.q. Deney Parçası Yüzeyleri Arası Sıcaklık Farkına Karar Verilmesi**

Deneyde uygulanacak olan deney parçası yüzeyleri arası sıcaklık farkı değerinin ne olacağına aşağıda verilen esaslar dikkate alınarak deney öncesinde karar verilmeli, Isı akış Sayacı Cihazı buna göre ayarlanmalıdır.

- Malzemenin standardında veya şartnamesinde öngörölmüş bir değer varsa o değere uyulur. ” (17)
- Malzemenin kullanılacağı şartlar, yüzeyler arası sıcaklık farkının belirlenmesinde bir ölçü olabilir” (17)
- Malzemenin ısı aktarım özellikleri ile sıcaklık arasındaki ilişki araştırılıyorsa, deney parçasının yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı olabildiğince küçük, ( 5 K-10 K arası ) seçilmelidir. (17)

- Deney parçası içinde deney sırasında kütle aktarımı problemi varsa bu süreci olabildiğince az tutmak için uygulanabilecek en düşük sıcaklığın seçilmesi gerekebilir. Bu durum deney raporunda belirtilmelidir. ” (17)

### 2.2.1.r. Şartlandırılmış Deney Parçasının Cihaza Yerleştirilmeden

#### Önce Tartılması

Deney parçası cihaza yerleştirilmeden önce tartılarak kütlesi % 0,5’ ten daha iyi bir doğrulukla belirlenmelidir. (17)

### 2.2.1.s. Kurutma Ve/Veya Şartlandırma Sırasında Bağlı Kütle

#### Değişiminin Hesaplanması

Kurutma sırasında bağlı kütle değişimi,  $m_r$

$$m_r = \frac{M_1 - M_2}{M_2}$$

şeklinde hesaplanır. (17)

Malzemenin, oldukça karmaşık şartlandırma işleminden kaynaklanan kütle değişimi,  $m_c$ , yine benzer biçimde hesaplanır. (17)

$$m_c = \frac{M_1 - M_3}{M_3}$$

### **2.2.1.f. Deney Parçasının, Deney Sıcaklığında ve Sıkıştırma Şartlarında Kalınlığının Ölçülmesi**

Deney parçasının deney anındaki yoğunluğunun hesaplanması için deney parçasının hacminin hesabı, deney parçasının hacminin hesabı için de deney parçasının kalınlığının ve kenar uzunluklarının ölçülmesi gerekmektedir.

Deney parçası kalınlığı, deney parçası cihaz içinde iken FOX 314 model cihazın elektronik kalınlık ölçme sistemiyle ölçülebilmektedir. Bu sayede deney anındaki basınç ve sıcaklıkta ölçüm yapılmıştır. Bunun haricindeki bir durumda deney parçası yine cihaza yerleştirilip deney anındaki basınç ve sıcaklık oluşturularak, % 0,5 doğrulukta ölçüm yapmayı sağlayan bir kalınlık ölçme aletiyle (Kumpas, mikrometre vb. ) de kalınlık tespit edilebilir.

### **2.2.1.u. Deney Parçasının Kenar Uzunluklarının Ölçümü**

Deney parçası kenar uzunluklarının tespitinde kalınlık ölçmedeki yöntem uygulanabilir. Kenar uzunluklarının tespiti, % 0,5 doğrulukta ölçüm yapabilen bir boyut ölçüm aletiyle (örneğin kumpas) yapılabilir.

### **2.2.1.v. Deney Parçasının Deney Anındaki Yoğunluğunun Hesabı**

Tespit edilmiş bulunan kenar uzunlukları ve kalınlık değerlerinden hareketle deney parçası hacmi hesaplanır. (V)

Şartlandırılmış olan deney parçasının deneye tâbi tutulduğu andaki yoğunluğu,  $\rho_d$  ve/veya  $\rho_s$ , aşağıdaki gibi hesaplanır: <sup>(17)</sup>

$$\rho_d = \frac{M_2}{V}$$

$$\rho_s = \frac{M_3}{V}$$

### **2.2.1.w. Sert Deney Parçalarında Deney Parçası ile Cihaz Arasına İnce Levha Yerleştirilmesi**

Sert deney parçalarında, deney parçası ile cihaz çalışma yüzeyi arasında temas direnci oluşabilir. Bu durum deney esnasında, deney parçası yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının doğru ölçülmesini güçleştirir.

Temas direncinin olası etkisini azaltmak için geçerli bir teknik deney parçası ile cihaz çalışma yüzeyleri arasına, uygun homojen bir malzemedен yapılmış, düşük ısı dirençli, ince levha yerleştirilmesidir. Kullanılan levhaların ısı direnci, deney parçasının ısı direncinin onda birinden daha büyük olmamalıdır. <sup>(17)</sup>

### 2.2.1.x. Deney Parçasının Cihaza Yerleştirilmesi ve Sonuçların Okunması

Şartlandırma sonrası sızdırmaz polietilen torbada muhafaza edilmekte bulunan deney parçası/parçaları çıkarılarak hemen deney cihazının içine yerleştirilir. deney parçasının çekmesini veya kaybını önlemek için, deney parçası su buharı geçirmez, düşük ısı dirençli bir mahfaza (kılıf) içindeyken de deney yapılabilir. <sup>(17)</sup>

Isı akış sayacının ortalama sıcaklığı ve çıkışındaki emf çıktısı, deney parçasının/parçalarının ortalama sıcaklığı ve yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı sürekli gözlenip kaydedilerek sistemin kararlı hale gelip gelmediği kontrol edilir. <sup>(17)</sup>

Kararlı ulaşıldığında cihazdan Isıl Öz İletkenlik Değeri okunarak kaydedilir. Doğrudan Isıl Öz İletkenlik değerini göstermeyen cihazlarda, emf çıktısı, yüzeyler arası sıcaklık farkı, kalibrasyon faktörü( $f$ ) hesaba katılarak (**bkz. TSE 8301 -2. 4. 1, 2. 4. 2, 2. 4. 3**) tespit edilmesi gerekmektedir.

Isıl Öz İletkenlik değeri tespit edildikten sonra, bu değerden hareketle Isıl Öz Direnç, Isıl Direnç, Isıl İletkenlik hesaplanabilir.

Buna göre,

-Isıl Öz Direncin Hesaplanması:

$$r = \frac{1}{\lambda}$$

- Isıl Direncin Hesaplanması:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

- Isıl İletkenliğin Hesaplanması:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d}$$

Isıl Öz İletkenlik değerini doğrudan hesaplamayan cihazlarda hesaplamalar aşağıdaki gibi sayaç çıktısına göre yapılır:

- **Tek deney parçalı, Tek Isı Akış Sayaçlı Konfigürasyon:**

:

Isı Akış hızı yoğunluğu ,

$$q = e f$$

Deney Parçası Isıl Direnci,

$$R = \frac{\Delta T}{e.f}$$

Deney parçası Isıl Öz İletkenliği,

$$\lambda = \frac{f \cdot e \cdot d}{\Delta T}$$



Deney parçası Isıl Öz Direnci,

$$r = \frac{\Delta T}{f \cdot e \cdot d}$$

veya

$$r = \frac{1}{\lambda}$$

şeklinde hesaplanır. <sup>(17)</sup>

### **2.2.1.y. Deney Sonlandırıldığında Deney Parçasının Kalınlığının, Kütlesinin Tekrar Ölçümü ve Bağlı Kütle Artışının Hesabı**

Deney sonunda deney parçası cihazdan çıkarılarak hemen tartılır.

Kalınlığı tekrar ölçülür. <sup>(17)</sup>

Deney sırasında deney parçasının bağlı kütle artışı,  $m_w$ , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$m_w = \frac{M_4 - M_5}{M_5}$$

### 2.2.1.z. Deney Raporunun Hazırlanması

Yapılan her deney sonunda, -"TS ISO 8301-3. 6 Deney Raporu" uyarınca rapor hazırlanmalıdır. Bunlar özetle şöyledir:

- Malzemenin, imalâtçı tarafından belirtilen, adı ve diğer ilgili tanımlamaları
- Deney parçasının tarifi ve numuneyle olan ilişkisi.
- Önceden öngörölmüşse, malzeme şartnamesine uygunluğu.
- Gevşek dolgulu malzemeler için deney parçası hazırlama metodu ile bu malzemelerin içine konulduğu kaplar için kullanılan kaplama malzemelerinin ölçülen dirençlerinin gösterilmesi. "
- Deneye tâbi tutulan deney parçasının kalınlığı
- Şartlandırma metodu ve sıcaklığı
- Şartlandırılan deney parçasının deneye tâbi tutulduğu andaki yoğunluğu,  $\rho_d$
- Kurutma ve/veya şartlandırma sırasında bağıl kütle değişimi,  $m_r$  ve/veya  $m_c$
- Deney sırasında bağıl kütle değişim,  $m_w$ .
- Deney sırasında gözlenen kalınlık ve hacim değişimleri"
- Deney parçasının yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklık farkı.
- Deney ortalama sıcaklığı,  $K$  veya  $^{\circ}C$ "
- Denge halinde deney parçası yüzeyleri arasında ısı akış hızı yoğunluğu "

- Deney parçasının ısı direnci ( $m^2 \cdot K/W$ ). Gerekli görüldüğü takdirde, ısı öz direnci , ısı öz iletkenlik değerleri
- Deneyde kullanılan ısı akış sayacının (tek veya çift deney parçalı) tipi.
- Deney sırasında plâkalar etrafındaki çevre sıcaklığını ve kenarlardan ısı kayıplarını azaltmak amacıyla kullanılan metot.
- Isı akış sayaçlarının numarası ve konumu.
- Cihazın yönlendirilmesi (düşey, yatay veya diğer konumlar)
- Cihaz ile deney parçası arasına levha yerleştirilerek yapılan deneyler veya sızdırmaz kılıflar kullanılarak yapılan deneylerde levha malzemesinin özellikleri ve kalınlığı
- “Deney tarihi, ısı akış sayacının son kalibrasyon tarihi, kullanılan malzemenin tipi “
- “Kalibrasyonda parçalarının tipi, ısı direnci, sertifika bilgileri
- Ölçülen özelliklere ait azamî beklenen hatalar hakkındaki raporun deney raporu içinde yer alması tavsiye edilmektedir.
- Deneyde standardın uygulanamayan maddeleri olmuşsa bu istisnaların listesi.
- Doğrudan okumalı cihazlar için, elektronik devrelerin ve donanımın kalibrasyon sonuçları, uygunluk raporu ve kriterlerin doğrusallığı üzerinde uygunluk raporu ” <sup>(17)</sup>

Deney raporu, yukarıda istenilen bilgilere ilaveten, TS EN ISO/IEC 17025'de verilen bilgileri de ihtiva edecek şekilde düzenlenebilir. <sup>(17)</sup>

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3. 1. Isıl Aktarım Özelliği Tayini Yapılabilecek Minimum Deney Parçası Kalınlığının Tespiti Deneyleri

Isı aktarım süreçleri içinde sadece kondüksiyon, deney parçasının kalınlığıyla doğru orantılı bir ısı direnç meydana getirir. Diğer mekanizmaların kalınlığa bağımlılığı çok karmaşıktır. Malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu ne kadar düşükse, ısı direncin kondüksiyondan başka diğer proseslere bağlılığı o kadar fazladır. <sup>(17)</sup> Bu nedenle belirli bir kalınlık değerinin altına inildiğinde normalde malzemeye has olan ısı öz iletkenlik ve ısı öz direnç tanımlarında öngörülen şartların sağlanamadığı bir durum ortaya çıkar. Çünkü bu değerler malzemeye has olması gerekirken, kalınlığa bağlı hale gelirler. Bu kalınlık değerinin altındaki bir deney parçası artık malzemeyi temsil edemez duruma geldiğinden bu kritik kalınlık değerinin tespiti gereklidir.

Gazbetonda Isıl aktarım özelliklerinin tayin edilebileceği asgari kalınlık değerinin tespiti için TS ISO 8301 Madde 3. 4. 2. 'de belirtilen yöntem uygulanmıştır. Bu amaçla 600 kg/m<sup>3</sup> kuru yoğunluk sınıfındaki gazbeton duvar bloğundan, her biri farklı kalınlıklarda, levha biçiminde 5 ayrı deney parçası kesilmişt, taştama yapılarak yüzeylerindeki düzlemsellik kusurları giderilmişt ve artan kalınlık sırasına göre S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub> şeklinde işaretilenmişt. 105 ° C 'ye ayarlı havalandırılmalı etüvde 48 saat süreyle

kurutulmuştur. Kalınlık değerleri ısı akış sayacı cihazı tarafından elektronik olarak izelge 3. 1'deki gibi ölçülmüştür.

**Çizelge 3. 1.** Minimum Deney Parçası Kalınlığı Tespitinde Kullanılan Deney Parçaları

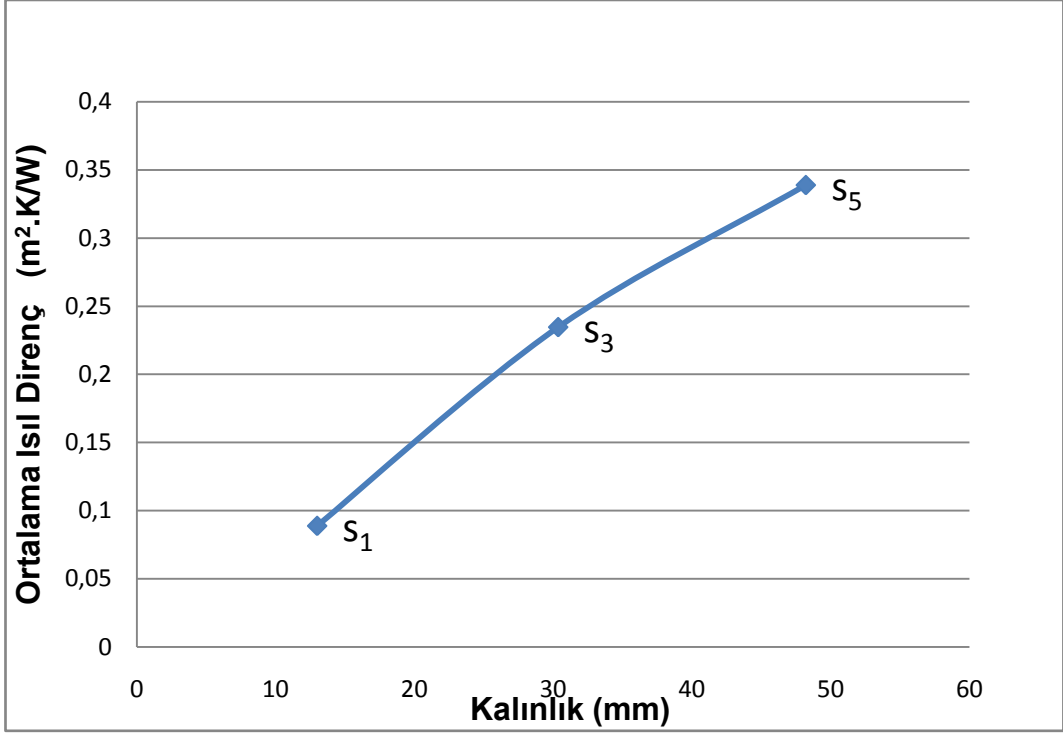
Deney parçası Kodu	Kurutma Öncesi Kütle(g)	Kurutma Sonrası Kütle(g)	Kalınlık (mm)	Kenar Uzunlukları(mm)
s <sub>1</sub>	692,1	616,4	12,973	250 x 300
s <sub>2</sub>	1223,9	955,1	21,958	250 x 300
s <sub>3</sub>	1736,8	1313,0	30,353	250 x 300
s <sub>4</sub>	2013,9	1646,0	37,789	250 x 300
s <sub>5</sub>	2782,9	2138,8	48,209	250 x 300

Isı akış sayacı Cihazı üst sıcaklık uygulama plakası ve alt sıcaklık uygulama plakaları sırasıyla 25 °C ve 15 °C olacak şekilde, Wintherm32 ara yüzünde ayarlanmıştır. 5 adet deney parçası da bu sıcaklık farkı değerine ayarlı olarak, kararlı hale ulaşıldığında ölçülmüştür. Kurutulmuş 5 adet deney parçasının ısı akış sayacında ölçümlerine ilişkin sonuçlar izelge 3.2 'deki gibidir.

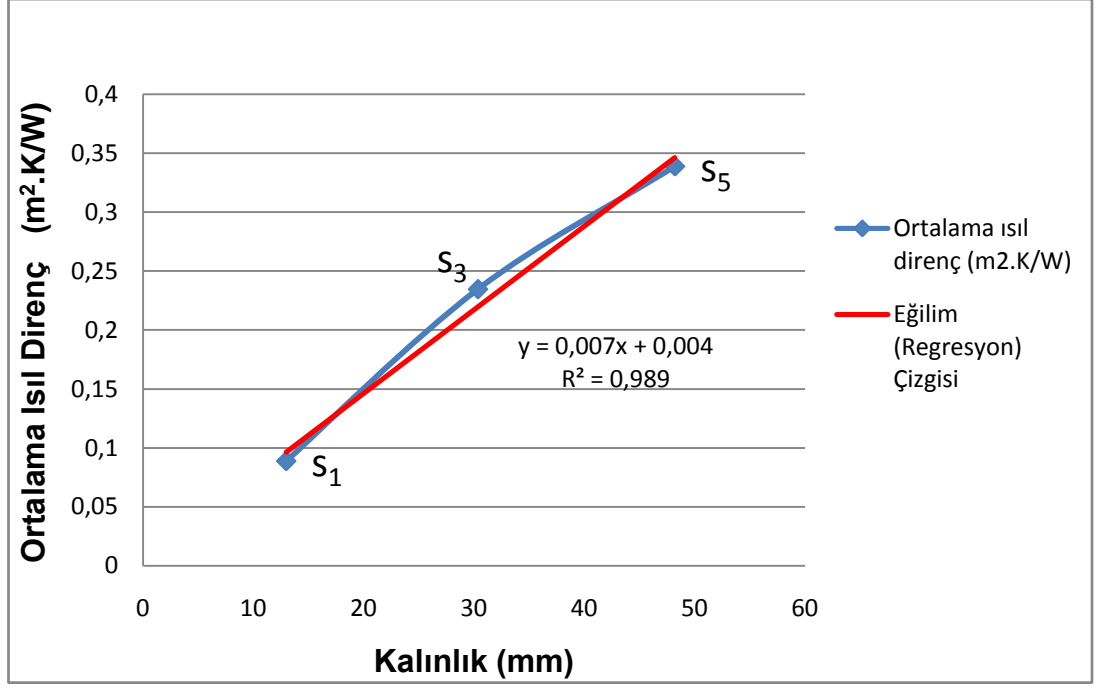
**Çizelge 3. 2 . Farklı Kalınlıklarda Gazbeton Deney Parçalarına Ait Ölçüm Sonuçları**

<b>Deney Parçası Kodu</b>	<b>Kalınlık (mm)</b>	<b>Ölçümlerde ortalama sıcaklık(°C)</b>	<b>Ortalama ısı direnç (m<sup>2</sup>.K/W)</b>	<b>Ortalama ısı öz iletkenlik (W/m.K)</b>	<b>Ortalama ısı öz direnç (m.K/W)</b>
s <sub>1</sub>	12,973	20, 02	0,0889	0,1458	6,857
s <sub>2</sub>	21,958	20, 02	0,1704	0,1289	7,758
s <sub>3</sub>	30,353	20, 02	0,2347	0,1293	7,731
s <sub>4</sub>	37,789	20, 02	0,2706	0,1397	7,160
s <sub>5</sub>	48,209	20, 02	0,3389	0,1422	7,030

Standart gereği olarak ilk aşamada s<sub>1</sub> , s<sub>3</sub> , s<sub>5</sub> deney parçalarına ait Kalınlık-Isıl Direnç değişim grafiği Şekil 3. 1 'deki gibi oluşturulmuştur. Şekil 3.2 grafiğin doğrusallık regresyonunu da göstermektedir.



**Şekil 3. 1.** S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>5</sub> kodlu deney parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği



**Şekil 3. 2.** s<sub>1</sub>, s<sub>3</sub>, s<sub>5</sub> Kodlu Deney Parçalarına Ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği İçin Regresyon Doğrusu

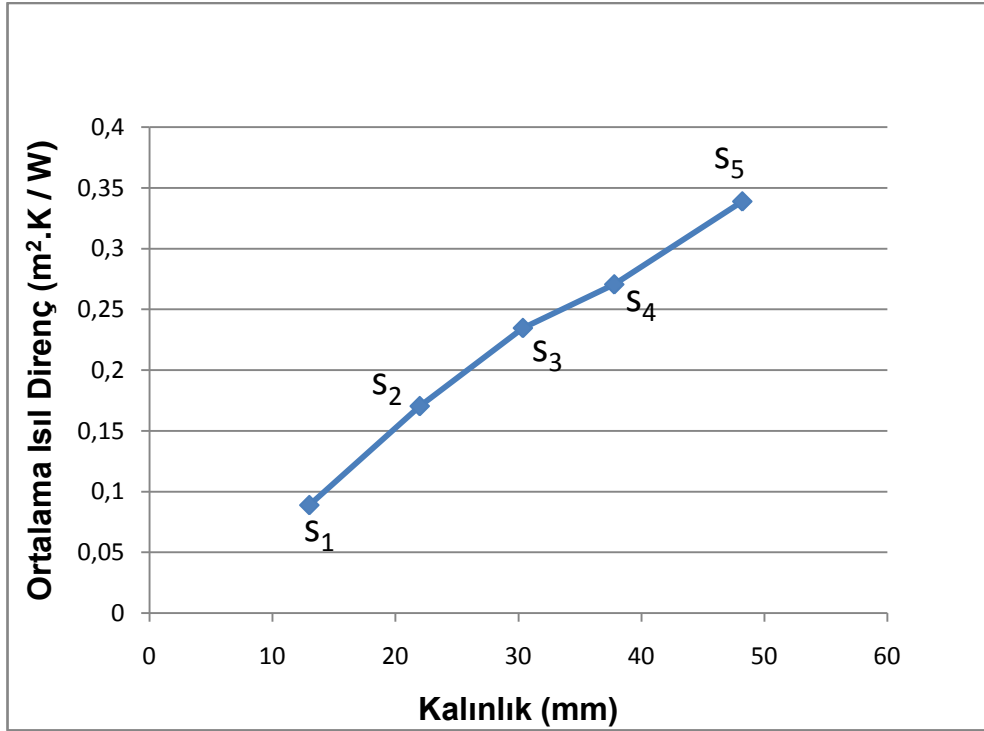
TS ISO 8301 standardı Madde 3. 4. 2 “ Isıl Özelliklerin Tayini İçin Mümkün Asgarî Kalınlığın Tayini “ kısmında belirtildiği üzere ölçülen s<sub>1</sub>, s<sub>3</sub> ve s<sub>5</sub> değerleri arasındaki doğrusallık ilişkisi incelenir. Bu değerler, doğrusallık ilişkisinden %1 ‘den daha az fark gösteriyorsa bu doğrunun eğimi Isıl Öz Geçirgenlik değerini verecektir.

Doğrusallıktan sapma için eldeki 3 adet deney verisine uydurulan en uygun doğrunun R<sup>2</sup> değeri incelenmiştir. R<sup>2</sup> değeri 1’ e ne kadar yakın ise uydurulan doğrunun verileri temsil yeteneği de o kadar fazla demektir. Dolayısıyla deney sonuçlarının da doğrusallığa ne kadar yakın olduğunun göstergesidir. Şekil 3. 2 ‘de görüldüğü gibi R<sup>2</sup> değeri 0,989 olarak tespit

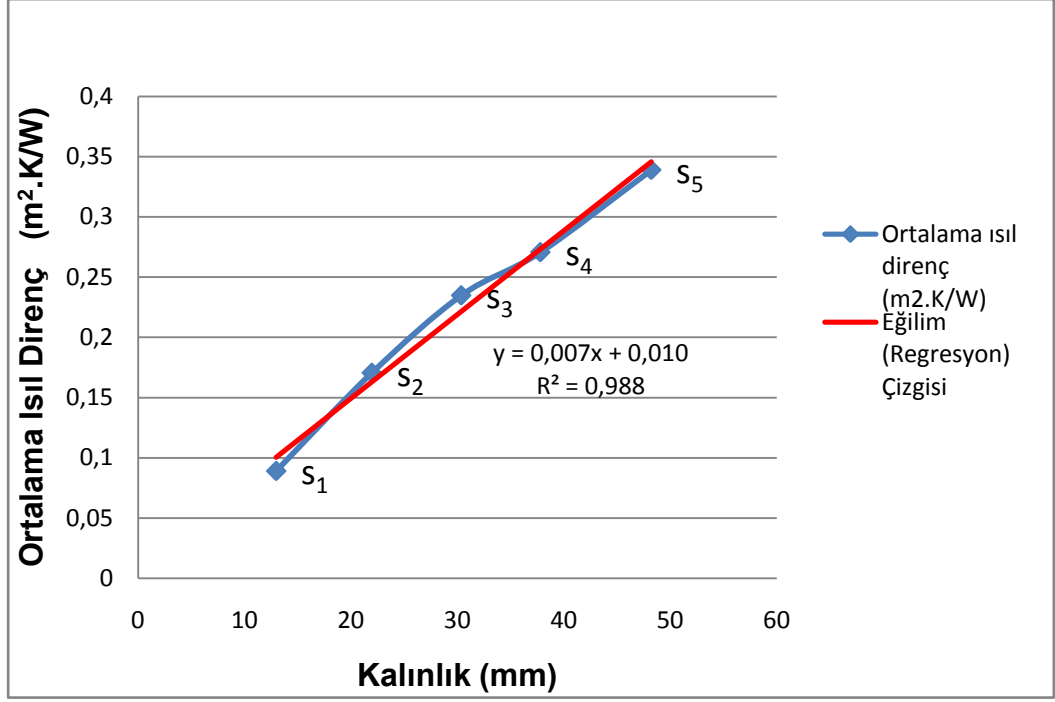


edilmiştir.  $R^2=1$  değeri doğrusallığa tam uyumluluk demek olduğundan sapmanın %1,1 (1- 0,989) olduğu söylenebilir.

TS ISO 8301 standardı Madde 3. 4. 2 de “.... Doğrusallıktan sapma % 1’den daha büyükse,  $s_2$  ve  $s_4$  takımları ile de aynı tayinler yapılarak bir kalınlığın üzerinde direnç değerlerinin % 1’den daha fazla sapmadığı bir durumun söz konusu olup olmadığı kontrol edilir. ” ifadesi yer almaktadır. Bu bağlamda  $s_2$  ve  $s_4$  de grafiğe eklenerek Şekil 3. 3 oluşturulmuştur.

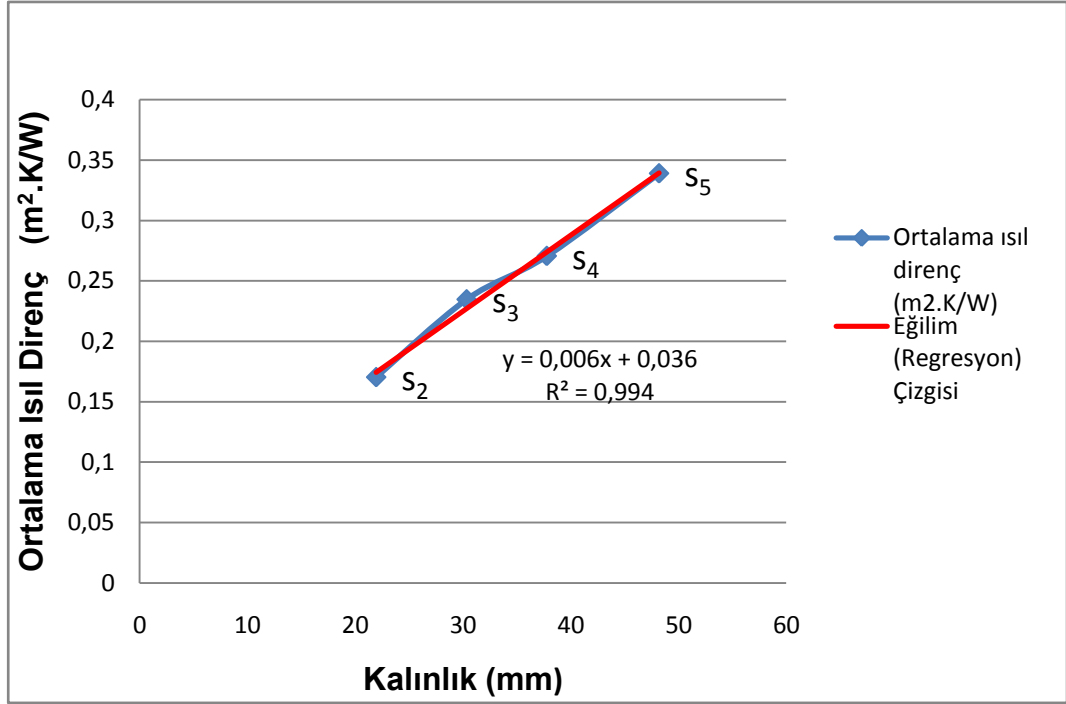


**Şekil 3. 3.**  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ ,  $s_4$ ,  $s_5$  kodlu Deney Parçalarına Ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği



**Şekil 3. 4.** s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>, s<sub>4</sub>, s<sub>5</sub> kodlu Deney Parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği için Regresyon Doğrusu

Şekil 3.4 incelendiğinde doğrusallıktan sapmanın R<sup>2</sup> değerinden hareketle “1-R<sup>2</sup>” yani % 1,2 olduğu söylenebilir. Doğrusallıktan sapmanın yine % 1’in üstünde çıkması nedeniyle standart gereği sapmanın herhangi bir kalınlıktan sonra % 1 ‘in altına indiği bir durum olup olmadığı kontrol edilmiştir. s<sub>1</sub> değeri grafikten çıkarılıp s<sub>2</sub> ve üzeri kalınlıklar için Şekil 3.5 oluşturulmuştur.



**Şekil 3. 5.**  $s_2, s_3, s_4, s_5$  kodlu Deney Parçalarına ait Kalınlık–Isıl Direnç Değişim Grafiği için Regresyon Doğrusu

$s_2$  ve sonrası için doğrusallıktan sapmanın  $(1-R^2 = 1-0,994)$  yani % 0,6 olduğu görülmüştür. % 1'in altına düşme kuralı gerçekleştiğinden  $s_2$  ve artan kalınlıklara göre ısı öz geçirgenlik faktörü aşağıdaki gibi tayin edilmiştir:

$$\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R} = \frac{0,048209 - 0,021958}{0,3389 - 0,1704} = 0,15579 \text{ W / m. K}$$

Bu değer in tespit edilebilirliği Isıl Aktarım özelliklerinin de tanımlanabileceği anlamına geldiğinden  $s_2$  aranılan minimum kalınlık değeri

gibi gözükmemektedir. Fakat deney parçası ile sıcaklık uygulama plakaları arasında oluşan temas direnci sonuçlar üzerinde etkiler de bulunmuş olabilir. Ayrıca doğrusallıktan sapma değeri % 1,2 gibi % 1'e çok yakın değerlerde seyretmektedir. Yani belirli yönde, sürekli artan bir doğrusallıktan sapma yoktur. Bu düşünceyle hareket edilirse  $s_1$  numunesinden itibaren Isıl Öz Geçirgenlik değeri tanımlanabilir haldedir. Zaten Şekil 3. 5 'deki grafiğin geneline bakıldığında doğrusallıktan belirgin biçimde ve belirli yönde bir sapma da görülmemektedir.

Doğrusallıktan belirgin bir sapmanın oluşup oluşmadığının görülmesi için  $s_1$  numunesinin de altında kalınlıklarda numunelerin testi ihtiyacı doğmuştur. Fakat diğer deney parçaları gibi 250 x 300 mm kenar ölçülerinde çalışıldığında parçanın kırıldığı görüldüğünden, daha küçük genişlikteki numunelerle çalışma imkanı veren FOX 50 Isı Akış Sayacı cihazında ölçüm yapılmasına karar verilmiştir. FOX 50 model cihaz, farklı olarak dairesel kesilmiş deney parçalarını ölçmektedir. Deney parçası yüzey genişlikleri arasında farklılık olduğundan küçük numune testleri fikir verme amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla oluşturulan deney parçalarının kalınlık ve kütle değerleri ölçümlerine ait sonuçlar Çizelge 3. 3' teki gibidir.

**Çizelge 3. 3. Dairesel Deney Parçaları**

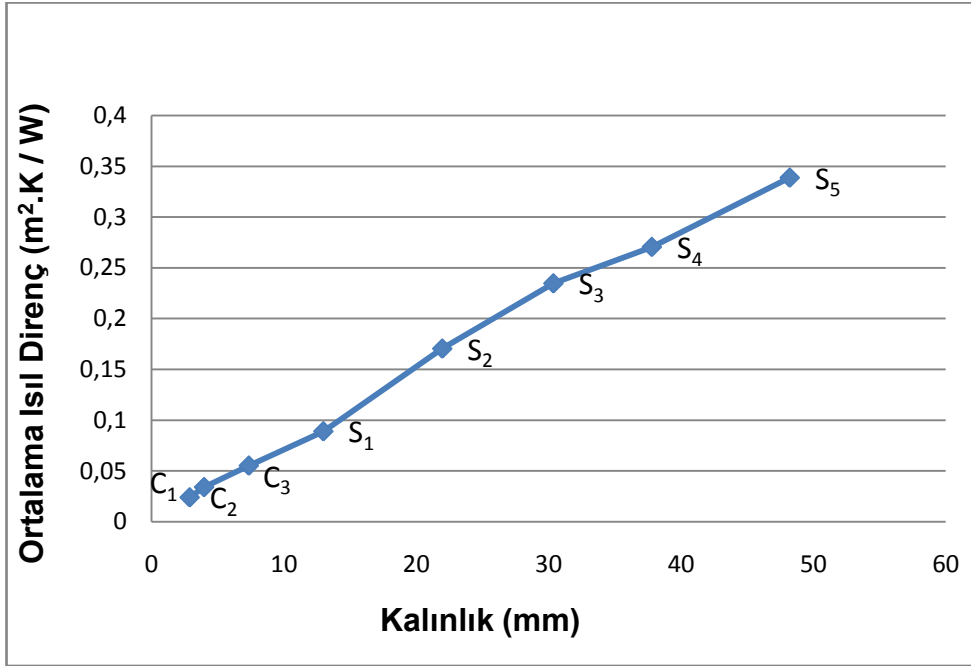
Deney parçası Kodu	Kurutma Öncesi Kütle(g)	Kurutma Sonrası Kütle(g)	Kalınlık (mm)	Çap(mm)
C <sub>1</sub>	4,09	3,98	2,87	54
C <sub>2</sub>	5,61	5,47	3,96	54
C <sub>3</sub>	10,23	9,98	7,34	54

Isı akış sayacı Cihazı üst sıcaklık uygulama plakası ve alt sıcaklık uygulama plakaları sırasıyla 25 °C ve 15 °C olacak şekilde, ayarlanmıştır. 5 adet deney parçası da bu sıcaklık farkı değerine ayarlı olarak, kararlı hale ulaşıldığında ölçülmüştür. Kurutulmuş 3 adet dairesel deney parçasının ısı akış sayacında ölçümlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3. 4' de verilmiştir.

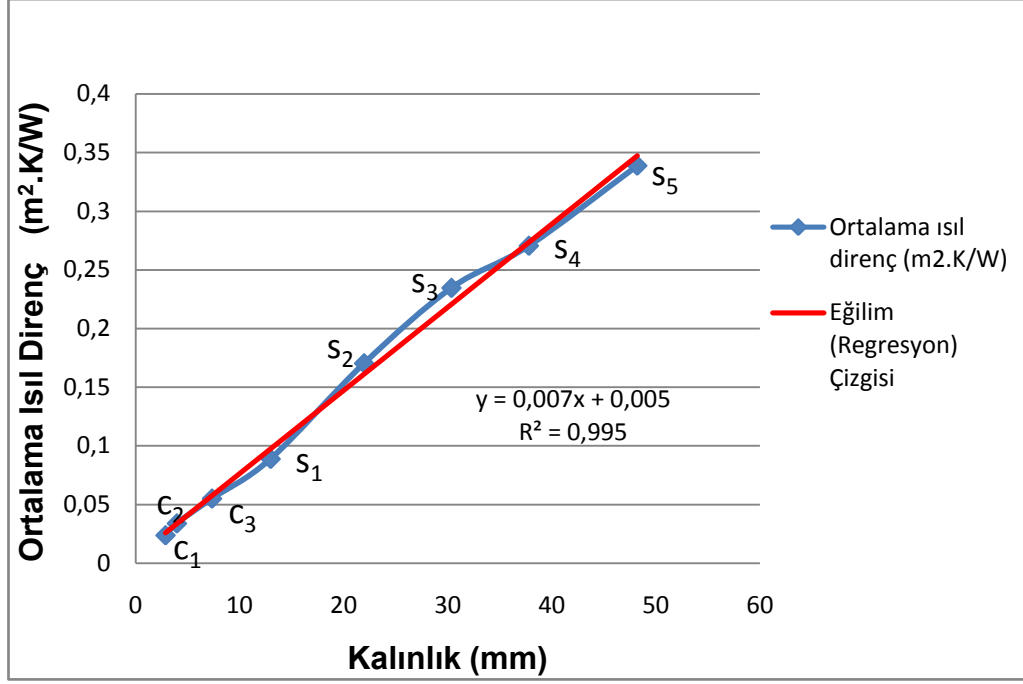
**Çizelge 3. 4. Dairesel Deney Parçaları Ölçüm Sonuçları**

Deney Parçası Kodu	Kalınlık (mm)	Ölçümlerde ortalama sıcaklık(°C)	Ortalama ısı direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Ortalama ısı öz iletkenlik (W/m.K)	Deney süresi (dk)
C <sub>1</sub>	2,87	20, 02	0,0238	0,1206	58
C <sub>2</sub>	3,96	20, 02	0,0339	0,1106	54
C <sub>3</sub>	7,34	20, 02	0,0551	0,1331	57

$c_1, c_2, c_3$  'e ait sonuçlar ile  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ 'in sonuçları tek bir grafikte toplandığında Şekil 3. 6 elde edilmiştir.



**Şekil 3. 6.**  $c_{1,2,3}$  ve  $s_{1,2,3,4,5}$  'e ait Isıl Direnç-Kalınlık Grafiği



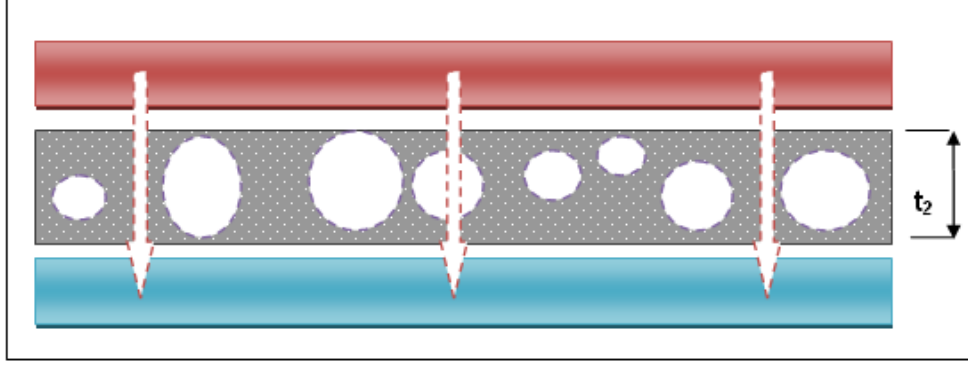
**Şekil 3. 7.**  $c_{1,2,3}$  ve  $s_{1,2,3,4,5}$  'e ait Isıl Direnç-Kalınlık Grafiği için Regresyon Doğrusu

Şekil 3. 7 incelendiğinde, grafik genelinde doğrusallıktan sapmanın % 0,5 olduğu  $R^2$  değerinden anlaşılmaktadır.

### 3. 2. Düşük Kalınlıklı Deney Parçalarında Isıl Köprü Oluşumu

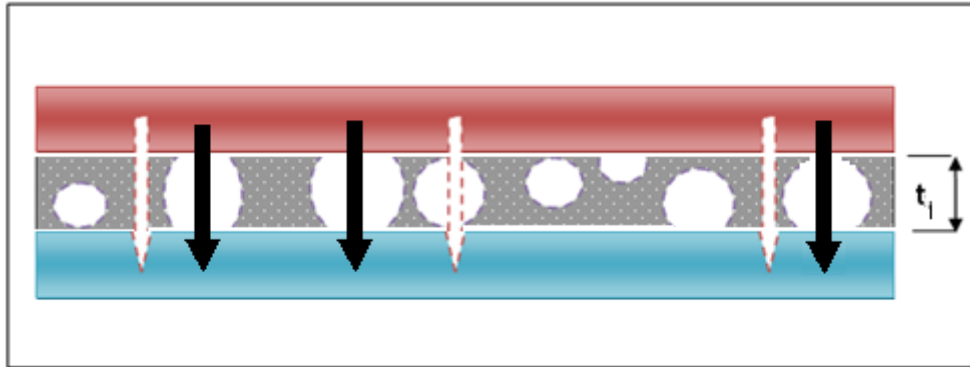
Gazbetonun kendine özgü gözenekli yapısı nedeniyle düşük kalınlıklara inildikçe, hava dolu hücrelerin ısı köprü oluşturma ihtimali de artmaktadır. Örneğin Şekil 3.8 'de görülen  $t_2$  kalınlığındaki deney parçasının kesit görüşünde hava hücrelerinin ısı köprü oluşturma durumu yoktur. Çünkü

ısıtma soğutma plakaları arasında direkt bir bağlantı yani "ısı köprü" oluşturmamaktadır.



**Şekil 3. 8.** Isıl Köprü Oluşmayan  $t_2$  Kalınlıklı Deney Parçası

Aynı deney parçasının yüzeyi zımparalanarak, daha düşük bir kalınlık olan  $t_1$  kalınlığına düşürülürse Şekil 3. 9 'daki durum oluşacaktır.



**Şekil 3. 9.** Isıl Köprü Oluşumu



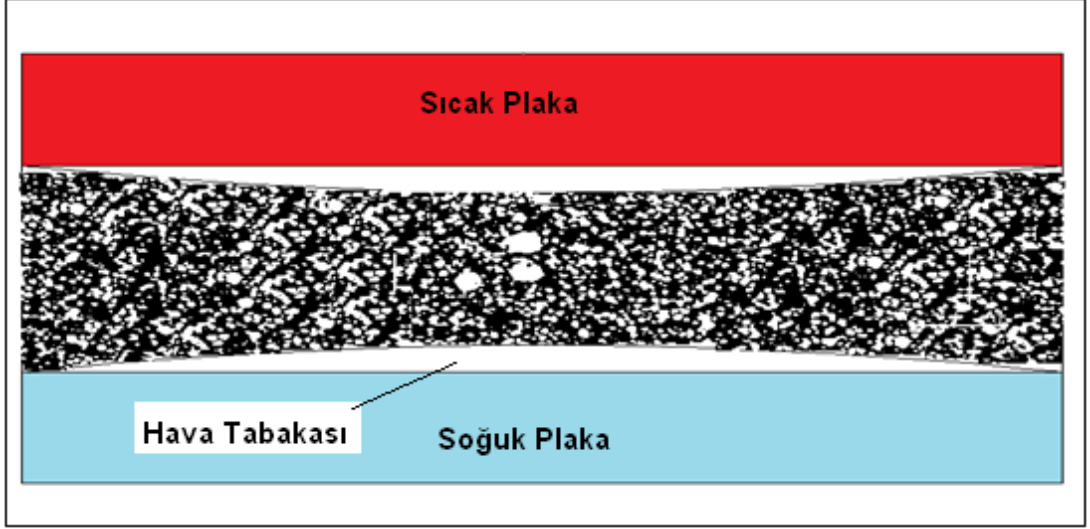
Görüldüğü gibi  $t_1$  kalınlığına düşüldüğünde bazı hava hücrecikleri her iki plaka arasında direkt bağlantı kuran, deney parçası üzerinde birer delik haline dönüşmüşlerdir. Bu bölgelerdeki ısı akışı deney parçasıyla ilintisiz olarak sadece cihaz içindeki hava aracılığıyla gerçekleşir. Bu durum, ısı köprülerin çokluğuyla orantılı olarak ölçüm sonuçlarını etkiler.

Düşük kalınlıklı deney parçaları kullanıldığında ve ısı özelliklerin belirlenebileceği asgari kalınlık tayinlerinde bu husus özellikle dikkate alınmalıdır.

### **3. 3. Temas Direnci-Deney Parçası Kalınlığı İlişkisi**

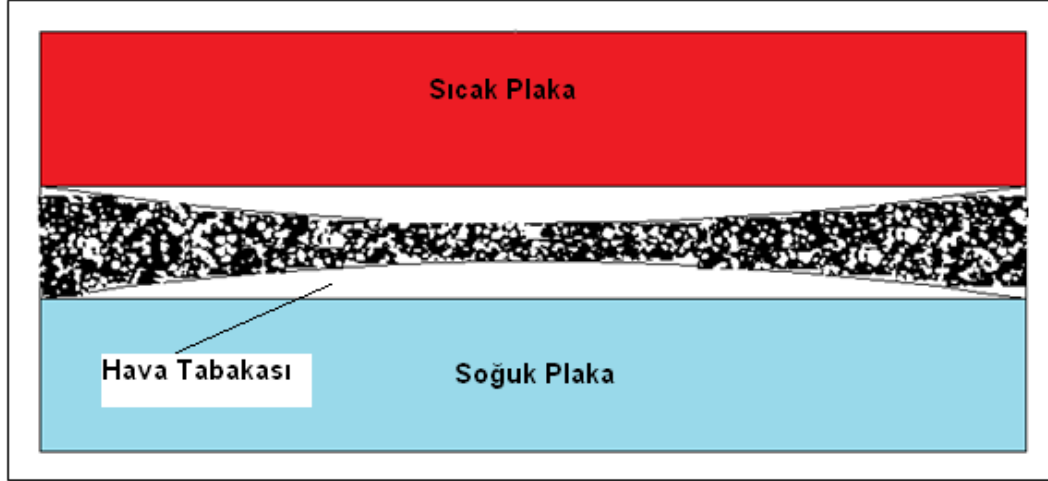
Deney parçası yüzeylerindeki düzlemsellik kusurları ve yüzeylerin birbirine göre paralel olmamaları nedeniyle deney parçası ile ısıtma-soğutma plakaları arasında boşluklar kalır. Bu boşluklar hava ile dolu bir faz olduğundan temas direnci oluşturur. Bu ek direnç malzemeye ilişkin ölçüm sonuçlarını etkileyecektir.

Temas direncinin düşük kalınlıklı deney parçalarında daha etkili olacağı düşünülmektedir.  $t_2 > t_1$  olmak üzere Şekil 3. 10 'da  $t_2$  kalınlıklı deney parçasında temas direnci oluşumu görülmektedir.



**Şekil 3. 10.**  $t_2$  Kalınlıklı Parçada Temas Direnci Oluşumu

Hava tabakası kalınlığı aynı kalmak şartıyla deney parçası kalınlığı düşürülürse Şekil 3. 11 elde edilecektir.



**Şekil 3. 11 .**  $t_1$  kalınlıklı Deney Parçasında Temas Direnci Oluşumu

Şekil 3.11' de sıcak ile soğuk plakalar arasında kalan bölgede hava tabakasının malzemeye oranı Şekil 3. 10 'a oranla daha da artmıştır. Cihaz ölçümü bu kısımda yaptığından temas direncinin sonuçlar üzerindeki etkisinin, düşük kalınlıklarda daha fazla olacağı düşünülmektedir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gazbeton yapı malzemesinin ısı aktarım özelliklerinin standartlara göre deneysel olarak tespiti ile ilgili araştırmalar içeren bu çalışmada konuyla ilgili standartlar incelenmiş TS ISO 8301 :“Isı Yalıtımı - Kararlı Halde Isı Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini - Isı Akış Tayini İçin Metotlar” standardı temel referans kabul edilerek prosedür aşamaları ortaya çıkarılmıştır.

Standart kapsamında yapılan deneylerde kalınlıkları 12,937 mm ile 48,209 mm arasında değişen 5 adet farklı kalınlıkta 600 kg/m<sup>3</sup> kuru yoğunlukta deney parçası TS ISO 8301 Madde 3. 4. 2 “ Isıl Özelliklerin Tayini İçin Mümkün Asgarî Kalınlığın Tayini “ uyarınca FOX 314 Isı Akış Sayacında ölçümlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ısı direnç-kalınlık ilişkisi şeklinde grafiğe dökülmüştür. Bu grafikte doğrusallık ilişkisi irdelenmiş, doğrusallıktan sapmanın düşük olduğu görülmüştür. Bunun üzerine daha düşük kalınlıkta deney parçalarının da incelenmesi ihtiyacı doğmuştur. 3 adet düşük kalınlıklı fakat düşük yüzey alanına sahip dairesel deney parçaları Fox 50 Isı Akış Sayacı Cihazında ölçülmüştür. 2,87 mm kalınlığa kadar inilen ölçüm sonuçları önceki sonuçlarla birleştirilerek Isıl Direnç-Kalınlık grafiği oluşturulmuştur. Grafiğin doğrusallığa daha yakınlaştığı (%99,5) görülmüştür. 250 x 300 mm’ lik prizmatik numunelerde 13 mm altı kalınlıklarda ölçüm yapılmak istendiğinde deney parçası kırılmaya başlamıştır. Doğrusallıktan sapma tespit edilmediği için 250 x 300 mm’ lik prizmatik numunelerde, 20° C ortalama ölçüm sıcaklığında, 13 mm kalınlık değerinde dahi ısı aktarım özelliklerinin tanımlanabileceği yargısına varılmıştır. Dairesel deney

parçalarının küçük yüzey alanları sebebiyle malzemeyi temsil yeteneği azalmış olabileceği düşünüldüğünden yorum aşamasında dikkate alınmamıştır. Fakat prizmatik numuneler için, 13 mm altında da doğrusallığın devam edebileceğine ve malzemenin ısı aktarım özelliğinin tespit edilebileceği minimum kalınlığın 13 mm' in daha altında olduğunu düşündürmektedir.

Gazbetonun gözenekli yapısı nedeniyle düşük kalınlıklara inildiğinde ısı köprü oluşumuna yol açabileceği görülmüştür. Bu nedenle düşük kalınlıklara, özellikle 20 mm ve altında gözeneklerin iki yüzey arası deliğe dönüşme, dolayısıyla “ısı köprü” oluşturma ihtimalinin de takip edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu kapsamda farklı yoğunluklarda gazbeton numunelerinin gözenek büyüklüklerinin ve bunların dağılımlarının da araştırılma konusu olabileceği görülmüştür.

Isı aktarım özelliklerinin tespitinde deney parçalarının yüzey özelliklerinin ve yüzeylerin birbirine paralelliklerinin sonuçların doğruluğu açısından standarttaki sınırlarda olması gerekmektedir. Çünkü sınırlara uyulmadığında Isı Akış Sayacı plakaları ile Deney parçası yüzeylerinin iyi temas etmemesi neticesinde hava tabakası oluşmaktadır. Hava tabakasının da kendisine özgü ısı aktarım özellikleri olduğundan sonuçları etkilemektedir. Özellikle düşük kalınlıklı deney parçalarında “hava tabakası kalınlığı-parça kesiti kalınlığı” oranının büyük olmasının, bu durumu daha etkili kılacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Z. Jozsa and J. Varfalvi, Period Polytech Civ Eng, **33**, 39 (1989)
2. A.D. Stuckes and A. Simpson, Build Serv. Eng. Res. Technol.,**6**, 49(1985)
3. W. J. Batty, S. D. Probert, M. Ball and P. W. O'Callaghan, Applied Energy, **18**, (301), 1984
4. M S Goual, A Bali and M Qu'eneudec, J. Phys. D: Appl. Phys., **32**, 3041 (1999)
5. J. P. Laurent, Materials and Structures, **24**, 221 (1991)
6. J. P. Laurent, 3rd RILEM Intern. Symp. on AAC, Zürich, **65**(1992)
7. M. Albayrak, A.Yorükoğlu, S. Karahan, S. Atlıhan, H. Y. Aruntaş and İ.Girgin, Building and Environment, **42** , 3161(2007)
8. A. Laukaitis, B. Fiks, Applied Acoustics, **67**, 284,(2006)
9. H.Kuş, T. Carlsson, Cement and Concrete Research, **33**, 1423 (2003)
10. N.Y. Mostafa, Cement and Concrete Research, **35**, 1349(2005)
11. H. Kuş, K. Nygren, P. Norberg, Building and Environment, **39**, 67(2004)
12. I. Kadashevich, H.-J. Schneider, D. Stoyan, Cement and Concrete Research, **35**, 1495(2005)
13. Y. Houst, F. H. Wittmann, 2nd International Colloquium: Materials Science and Restoration, Esslingen, 629(1986)

14. H. Kurama, I.B. Topcu, C. Karakurt, Journal Of Materials Processing Technology, **209**, 767(2009)
15. TS 453, Ön yapımlı (Prefabrike) Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006
16. TS EN ISO 7345, Isıl Yalıtım-Fiziksel Büyüklükler ve Tarifler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1996
17. TS ISO 8301, Isı Yalıtımı - Kararlı Halde Isıl Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini -Isı Akış Sayacı Cihazı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002
18. TS 6874 /EN ISO 9251, Isı Yalıtımı - Isı Transfer Şartları ve Malzeme Özellikleri - Terimler ve Tarifler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000
19. TS EN 678, Gaz Ve Köpük Beton-Kuru Yoğunluk Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1995

## EK 1. FOX 314 ISI AKIŞ SAYACI CİHAZI TEKNİK ÖZELLİKLER

Isıl Öz İletkenlik Ölçüm Aralığı: 0,01 – 0,2 W/m.K

Sıcak Plakanın Maksimum Sıcaklığı: 75 °C

### **Ölçüm Numunesi Boyutları**

Maksimum numune kenar uzunlukları: 305 mm x 305 mm

Minimum numune kenar uzunlukları: 150 mm x 150 mm

Maksimum numune kalınlığı: 102 mm

Aktif Ölçüm alanı: 102 mm x 102 mm

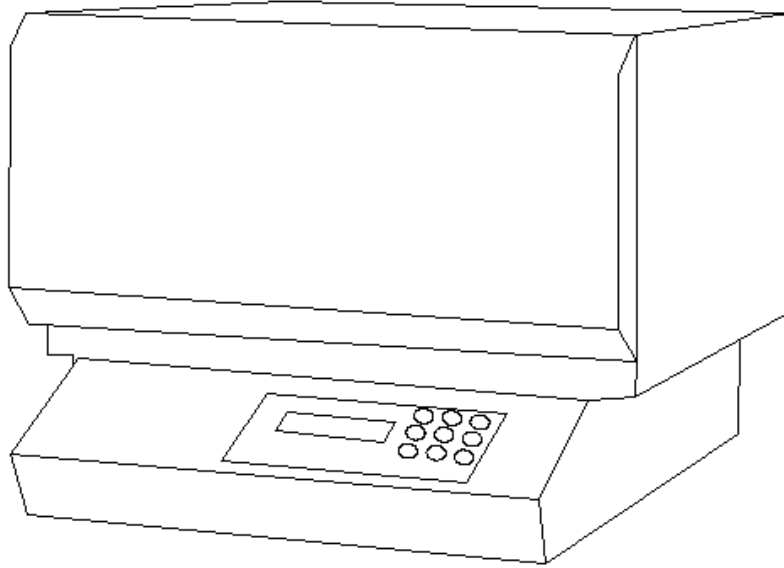
### **Cihaz Boyutları**

Genişlik: 420 mm

Derinlik: 530 mm

Yükseklik: 395 mm


Ağırlık: ~21 kg



**Şekil . FOX 314 DIŞ GÖRÜNÜM**



## EK 2. FOX 314 HFM KALİBRASYON SERTİFİKASI



October 22, 2007

### Calibration Standard Certificate

A specimen of Expanded Polystyrene (EPS) #07080570 was tested at LaserComp, Inc. in accordance with ASTM C518 and ISO 8301. A FOX314 Heat Flow Meter Instrument was calibrated using a Certified Reference Material IRMM-440 (# 21) issued and certified by the Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM). Next the EPS # 07080570 was tested. The results are as follows:

#### Thermal conductivity:

$\lambda = 0.03230 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  @ 10.0°C mean temperature  
 $\lambda = 0.03324 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  @ 20.0°C mean temperature  
 $\lambda = 0.03417 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  @ 30.0°C mean temperature  
 $\lambda = 0.03511 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  @ 40.0°C mean temperature

Thickness:  $\Delta X = 24.8 \text{ mm}$

The thermal conductivity  $\lambda$  at different mean temperature  $t$  (°C) can be calculated from the following linear fit:

$$\lambda = 0.000093443 t + 0.03137 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

The uncertainty of the LaserComp measurements against the IRMM Certified Reference Material is ~1.5%

With proper care the standard and its certificate are valid for 2 years from date of issue.

**Note: Always use "IRMM" calibration and "User Entered" thickness (to avoid compression)**

**Warning: Do not heat above 55°C!**

20  
Spring St.  
Saugus, MA  
01906 USA

Taking test  
instruments  
into the  
21st century

Voice  
781-233-1717  
fax  
781-941-2484  
www.  
lasercomp.com