

MALZEMELERİN ISI İLETİM KATSAYISINI ÖLÇME
METODLARI VE İNŞAAT VE YALITKAN MALZEMELERİN
ISI İLETİM KATSAYISININ ÖLÇME DÜZENECİ TASARIMI

Abdülrezak SAV

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1993

MALZEMELERİN ISI İLETİM KATSAYISINI ÖLÇME
METODLARI VE İNŞAAT VE YALITKAN MALZEMELERİN
ISI İLETİM KATSAYISINI ÖLÇME DÜZENEĞİ TASARIMI

Abdülrezak Sav

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof.Dr.Kemal Taner

ŞUBAT 1993

Abdülrezak SAV'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Malzemelerin Isı İletim Katsayısını Ölçme Metodları ve İnşaat ve Yalıtkan Malzemelerin Isı İletim Katsayısını Ölçme Düzenegi Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

10/3/1993

Üye: Prof.Dr.Kemal TANER (Danışman)

Üye: Doç.Dr.L.Berrin ERBAY

Üye: Yrd.Doç.Dr.İlker GÜRKAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.....**31 MART 1993**.....gün
ve ..**346**.....**1**.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada; katı, sıvı ve gazların ısı iletim katsayılarının teorik olarak açıklanması, gaz ve sıvı maddelerin ısı iletim katsayılarının basınç ve sıcaklığa olan bağıllığının gösterilmesi, ölçülmesi üzerinde durulmuştur. Daha sonra katı, sıvı ve gazların ısı iletim katsayılarının ölçülmesi metodları üzerinde durularak bu metodlar tanıtılmıştır.

Ayrıca katı maddelerin ısı iletim katsayıları üzerinde durularak matematiksel olarak hesabını yapmak için gerekli bağıntılar verilmiştir. İnşaata kullanılan yapı malzemelerinin, yalıtkanların ısı iletim katsayısının laboratuvar şartlarında ölçümünü sağlayan laboratuvar tipi test-düzeneği tanıtılmıştır. İnşaat ve yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının ölçümünde kullanılan test-düzeneği; Korunumlu Tek Plaka ve Çift Plaka metodlarından birine dayanır.

Bu çalışmada, Korunumlu Tek Plaka Metodu tanıtıldıktan sonra laboratuvar tipi test-düzeneğinin çalışma prensibi anlatılmış, avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Düzenekte kullanılan yardımcı cihazlar liste halinde verilmiştir. Isı iletim katsayısı alanında çalışma yapacak arkadaşlara bu çalışmanın yararlı olacağını umuyorum.

SUMMARY

In this study; We describe theoretically thermal conductivity of solids, liquids and gas materials. We will attempt to show the effect of temperature and pressure on thermal conductivity of liquids and gases. The measurement of thermal conductivity was explained. The measurement method of thermal conductivity of solids, liquids and gases materials was described here.

Specially, thermal conductivity of solid materials was defined. Computation for the thermal conductivity in general form was improved. The thermal conductivity of the materials used on building and insulation areas, computed by the laboratory test apparatus was designated and introduced. The measurement of thermal conductivity of building and insulation materials was based on Guarded Single and Twin Hot Plate Methode.

In this study, first Guarded Single Hot Plate Apparatus Methode was explained. The advantages and disadvantages of this apparatus were given. The instrumentation which was used on test apparatus has been given in the list at the end of the thesis. I hope, this thesis will be helpful for someone who will study the area of the thermal conductivity of materials.

TEŞEKKÜR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans konusu olarak Enerji-Termodinamik Bilim Dalında gördüğüm derslerin ışığı doğrultusunda; danışman hocamın önerisi üzerine “Malzemelerin Isı İletim Katsayısını Ölçme Metodları ve İnşaat ve Yalıtkan Malzemelerin Isı İletim Katsayısını Ölçen Laboratuvar Tipi Test Düzeneği Tasarımı.” konusunu seçtim ve bu konu üzerinde çalışmalarımı yoğunlaştırdım. Araştırmam sırasında ODTÜ kütüphanesi personelinin göstermiş oldukları yardım ve ilgiden dolayı kendilerine müteşekirim.

Böyle bir konuyu seçmemde beni yönlendiren, yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü hocalarından sayın Prof.Dr. Kemal TANER’e teşekkürlerimi sunmayı bir borç biliyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KATI, SIVI VE GAZLARIN ISI İLETKENLİĞİ TEORİSİ	2
2.1. Katıların Isı İletkenliği Teorisi	2
2.1.1. Katıların ısı iletkenliği ve Fourier kanunu	4
2.1.2. Isı iletkenliği açısından yapı ve yalıtkan malzemelerin genel özellikleri	8
2.2. Sıvıların Isı İletkenliği Teorisi	10
2.3. Gazların Isı İletkenliği Teorisi	11
2.4. Gazların ve Sıvıların Isı İletkenliğinin Basınç ve Sıcaklığa Bağlılığı.....	16
3. GENEL OLARAK KATI, SIVI VE GAZLARIN ISI İLETKENLİĞİNİ ÖLÇME METODLARI	19
3.1. Sürekli Rejimde Isı İletkenliğini Ölçme Metodları	20
3.1.1. Searle metodu	20
3.1.2. Radyal ısı akısı metodu	21
3.1.2.1. Camın ısı iletkenliğini ölçme metodu	23
3.1.2. Küresel ölçme metodu	24
3.1.4. Elipsoidal ölçme metodu	26

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.5. Kompozit (mukayese) ölçme metodu.....	27
3.1.6. Korunumlu çift plaka metodu.....	29
3.1.7. Korunumlu tek plaka metodu.....	32
3.1.8. Sıvı ve gazların ısı iletkenliğini ölçme metodu.....	34
3.2. Geçici Rejimde Isı İletkenliğini Ölçme Metodu.....	36
4. KORUNUMLU TEK VE ÇİFT PLAKA METODLARININ TANITIMI VE AÇIKLANMASI.....	43
4.1. Korunumlu Tek Plaka Metodunun Tanıtımı ve Açıklanması.....	43
4.1.1. Düzenegin tanıtılması.....	43
4.1.2. Isıtıcıların tanıtılması.....	47
4.1.3. Termokupuların hazırlanması ve sıcaklığın ölçülmesi.....	48
4.2. Korunumlu Çift Plaka Metodunun Tanıtılması ve Açıklanması.....	51
4.3. Korunumlu Tek veya Çift Plaka Düzenekleri İçin Kullanılan Yardımcı Cihazlar.....	54
4.3.1. Güç ölçme elemanları.....	55
4.3.2. Sıcaklık ölçme elemanları.....	55
4.3.3. Diğer yardımcı ölçme elemanları.....	56
5. NUMUNE VE TEST PARÇALARININ HAZIRLANMASI, ÖLÇME HESABI VE ÖLÇME HATASININ ANALİZİ.....	56
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	60
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62

İÇİNDEKİLER (devam)

EKLER

EK-A TABLOLAR	<u>Sayfa</u>
1. EK-A Tablo 2.1. Değişik malzeme bileşenli betonun ısı iletim katsayısı değerleri	63
2. EK-A Tablo 2.2. Düşük yoğunluktaki gazların transfer özellikleri.....	64
3. ET-A Tablo 2.3. Atmosferik basınçta gazlar için gözlenen $c_p \cdot \mu/k$ değerleri.....	65
4. EK-A Tablo 2.4. Gazların moleküler arası çekim parametneleri ve kritik özellikleri.....	66
5. EK-A Tablo 3.1. Isıtıcı plaka boyutları.....	67
6. EK-A Tablo 4.1. Isıtıcı boyutları.....	68
7. EK-A Tablo 4.2. Çift plaka ısıtıcı kapasitesi.....	69
EK-B LABORATUVAR TİPİ KORUNUMLU TEK PLAKA TEST.....	70
DÜZENEGİ ÇİZİM RESMİ VE DETAYLARI.	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Isı iletiminin belirlenmesi için düşünülen cisim.....	4
2.2. Paralel yüzeyler içinden olan ısı kondüksiyonu.....	6
2.3. y-a düzleminden y-düzlemine molekül hareketi ile enerji transferi.....	12
2.4. İndirgenmiş sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak tek atomlu. madeler için indirgenmiş ısı iletkenliği.....	17
2.5. İndirgenmiş sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olarak $k^#=k/k_0$ indirgenmiş ısı iletkenliği.....	18
3.1. Searle düzeneği.....	20
3.2. Radyal ısı akısı.....	21
3.3. Radyal ısı akısı metodu kullanılarak tesbit edilen ısı iletkenliğinin sıcaklıkla olan değişimi.....	23
3.4. Camın ısı iletkenliği ölçümü için deney düzeneği.....	24
3.5. Küresel ısı iletim katsayısı ölçme metodu.....	25
3.6. Yüksek sıcaklıktaki ölçümler için küresel düzenek.....	25
3.7. Yüksek sıcaklıktaki ölçümler için elipsoidal metod.....	27
3.8. Mukayeseli ölçme metodu.....	28
3.9. Korunumlu sıcak levhanın genel yapısı.....	30
3.10. Çift plaka metodu.....	31
3.11. Koruyucu tek plaka metodu.....	33
3.12. Sıvıların ısı iletkenliği ölçümü için koruyucu sıcak plaka metodu.....	34
3.13. Sıvıların ısı iletkenliğinin ölçümü için silindirik metod.....	35
3.14. Yüksek sıcaklıklarda gazların ısı iletkenliği ölçümü için test düzeneği.....	36
3.15. Tüplü ısı uç.....	37
3.16. Yalıtım malzemelerin ısı iletmi katsayılarının tesbiti için test düzeneği.....	39
3.17. Oda sıcaklığında ısı iletkenliği ölçümü için test düzeneği.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Ana ve yardımcı ısıtıcılar.....	44
4.2. Soğutucu, halka ve termokupullar.....	45
4.3. Tek plaka düzeneği asamblesi.....	46
4.4. Düzeneğin kapalı hacmi ve sıcaklık ölçme sistemi.....	46
4.5. Güç devresi diagramı.....	47
4.6. Güç ölçme düzeneği.....	47
4.7. Isı iletkenliğini ölçme ve test düzeneğinden bir görünüş.....	48
4.8. Termokupul telerini bağlama tekniği.....	48
4.9. Termokupul devre diagramı.....	50
4.10. Çift plaka düzeneğinde ısıtıcı ve termokupular.....	51
4.11. Çift plaka düzeneğinde soğutucular.....	52
4.12. Korunumlu çift plaka düzeneği.....	53
4.13. Çift plaka düzeneği için termokupul bağlantısı.....	54

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Alan, m^2 veya ft^2
a	Elipsin yarı eksen uzunluğu,m; Moleküllerin molekül düzleminden olan uzaklığı, A^0
B	Islak numune hacmi, cm^3
C	Ham numune ağırlığı,gr
c	Cismin özgül ısısı, kJ/kg^0C
c_p	Sabit basınçtaki özgül ısısı, kJ/kg^0C
c_v	Sabit hacimdeki özgül ısısı, kJ/kg^0C
D	Çap,m
d	Molekül çapı,m; Ölçüm noktaları arasındaki mesafe,m
F	Test öncesi numune ağırlığı,gr
G	Test sonrası numune ağırlığı,gr
I	Akım,Amper
K	Stafan Boltzman katsayısı, $1.380662 \times 10^{-23} J/K$
k	Isı iletim katsayısı, $kcal/hm^0C$
k_a	Maddenin ısı iletkenliği, $kcal/hm^0C$
k_c	Kritik şartlardaki ısı iletkenliği, $kcal/hm^0C$
k_e	Elektrik iletkenliği, $l/ohm.cm$
k_i	Karışımdaki gazın ısı iletkenliği, $kcal/hm^0C$
k_p	Gözenekteki maddenin ısı iletkenliği, $kcal/hm^0C$
k_r	İndirgenmiş ısı iletkenliği,boyutsuz
k_s	Maddenin ısı iletkenliği, $kcal/hm^0C$
$k^\#$	Atmosfer şartlarında indirgenmiş ısı iletkenliği,boyutsuz

SİMGELER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L	Uzunluk,m veya ft; Lorenz sayısı, Volt ² /K ²
l	Uzunluk,m veya ft
M	Molekül ağırlığı,mol/kg; Numuneden alınan nem,gr/cm ³
M _i	Karışımdaki gazın molekül ağırlığı,mol
M _j	Karışımdaki gazın molekül ağırlığı,mol
m	Molekül kütlesi,kg
ṁ	Suyun akış debisi,kg/s
N	Molekül sayısı,tane
n	Birim hacimdeki molekül sayısı,molekül/m ³
P	Isıtıcı gücü,Watt
P _c	Kritik noktadaki basınç,atm
P _r	Prandtl sayısı,boyutsuz; İndirgenmiş basınç,boyutsuz
R	Üniversal gaz sabiti,R=8.314 J/mol-K; Testte kazanılan nem,gr/cm ³
R ₁ ,R ₂	İç ve dış disk yarıçapı,m
r	Yarıçap,m veya ft
T	Sıcaklık, ⁰ C veya K
T _C	Kritik noktadaki sıcaklık, ⁰ C veya K
T _r	İndirgenmiş sıcaklık,boyutsuz
t	zaman,s veya h
u	Ortalama molekül hızı,m/s
u _y	Y-doğrultusundaki ortalama molekül hızı,m/s
V	Potansiyel farkı,volt; Hacim,m ³ veya ft ³
V _p	Malzeme içindeki partiküllerin toplam hacmi,m ³

SİMGELER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
V_s	Maddenin toplam hacmi, m^3
Z	Moleküllerin yüzeydeki dağılım frekansı
\dot{Q}_{su}	Su tarafından birim zamanda alınan ısı, J/s
$Q_{kond.}$	Kondüksiyonla transfer olan ısı, J/s
q	Isı akısı, J/m^2s
$q_{x,y,z}$	Sırasıyla x,y,z yönlerindeki ısı akısıdır, J/m^2s
θ	Sıcaklık, $^{\circ}C$ veya K
ΔT	Diferansiyel sıcaklık, $^{\circ}C$ veya K ; Sıcaklık farkı, $^{\circ}C$ veya K
Δx	Diferansiyel uzunluk, m veya ft
ρ	Kütleli yoğunluk, kg/m^3
ρ_a	Gözenekteki partikül yoğunluğu, gr/cm^3
ρ_s	Maddenin yoğunluğu, gr/cm^3
v_s	Ortamdaki ses hızı, m/s
σ	Molekül dağılım çapı, A^0
Ω_k	Dağılım fonksiyonu, kT/ϵ' 'na bağlı olarak bulunur.
x_i	Karışımdaki gazın mol kesri
λ	Çarpışan moleküller arasındaki ortalama mesafe, A^0
α	Isıl difüzyon, cm^2/s
μ	Dinamik vizkozite, $gr/cm.s$
π	Pi sayısı, 3.14
$\text{Cos}\alpha$	Isıtıcının güç faktörü

1 - GİRİŞ

Isı iletkenliği; bir maddenin birim sıcaklık değişimi başına, birim zamanda, birim yzeyinden geçen ısı miktarıdır. Bu, maddenin iletim zeliğini gsterir.

Bu ęalıřmada,katı,sıvı ve gazların ısı iletkenliğini znce teorik olarak zzerinde durulmuş ve daha sonra ısı iletkenliğinin zlęzleme metodlarının tanıtımı yapılmış, yalıt-kan malzemelerin ısı iletim katsayısının zlęme metodları zzerinde durularak laboratuvar tipi test seti dizaynı yapılmıştır. Biręok alanda kullanılan malzemelerin ısı iletkenliğinin belirlenmesinin, ısı transferinde bzyzok bir zneni vardır. Her ısıtma ve soğutma sistemi dizaynı, malzemelerin ısı transferi karakteristiklerine bağlıdır.Yapılarda ısı ekonomisi kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayılarıyla yakından ilgilidir.

Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği,yoğunluk ve nem ile değişir.Ancak tzm inşaat malzemeleri için tam bir analiz vermenin pratikte mzymkzn olmayış değişik zlęzmlerin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Hatta madde içindeki hava boşluğu ve tanecik boyutları-nın değişimi,problemin daha da karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır.

Isı transferi uygulamalarında enerji-denge hesapları için ısıl zelliklerin bilinmesine ihtiyaç vardır. Belirli maddelerin ve malzemelerin bu zelliklerinin değerleri değişik el kitaplarında tablo halinde bulunabilir. Ancak,.yeni geliştirilen malzemeler için bu değerleri bulmak mzymkzn değildir. Bu yzden mzhendisın bu zeliklerin zlęme metodları hakkında bilgi sahibi olması bzyzok znen taşımaktadır.

Biręok ısıl zelliğin zlęzümü, ısı akısı ve sıcaklığın belirlenmesi ile sağlanır. Sıcaklıkları zlęmek için değişik zlęme cihazları vardır.Genellikle ısı akısı, gzy znzne alınan şartlar altında bir cihaz zzerinde enerji dengesini sağlamakla zlęzilir. Zrneğin; bir metal levha elektrik ısıtıcısı ile ısıtılabilir ve bu ısıtma işlemi sırasında iği su dolu bir tankın içine

batırılabilir. Levhadan konveksiyonla olan ısı kaybı ısıtıcıya verilen elektrik enerjisini ölçmekle bulunabilir. Diğer bir örnek; ısıtılan bir borudan geçen suyun ısınması dikkate alınsın. Boru duvarından konveksiyonla suya olan ısı transferi, boruya giren ve çıkan suyun sıcaklığını ve debisini ölçmekle belirlenebilir. Suyun aldığı enerji boru çeperinden geçen enerjiye eşittir. Borudan çevreye olan ısı kaybını önlemek için borunun izole edilmesi gerekir.

Katı, sıvı ve gazların ısı iletkenliğinin ölçülmesi konusu son yüzyılda bilim adamlarının dikkatini çekmiş ve bu konu üzerindeki çalışmalar bu dönemde yoğunluk kazanmıştır. 1966 yılına kadar bu konudaki gelişmeler doyurucu bir seviyeye kadar gelmiştir. Katı, sıvı ve gazların ısı iletkenliği değişik açılardan ele alınmış ve ölçme yöntemleri izah edilmiştir. Bu çalışmada öncelikle teorik olarak ısı iletim katsayısı üzerinde durulacak ardından ölçme yöntemleri izah edilecek ve inşaat ve yalıtkan malzemelerin ısı iletim katsayısını ölçmek için "Korunumlu Tek Plaka Yöntemi"ne dayalı test düzeneği tanıtılacaktır.

2 KATI, SIVI VE GAZLARIN ISI İLETKENLİĞİ TEORİSİ

2.1 Katıların Isı İletkenliği Teorisi

Isı akısı teorisi maddenin iç enerjisi ile yakından ilgilidir. Katı maddelerde ısı iletimi atom veya moleküllerin hareket etmesiyle meydana gelir. Isı enerjisi, atomların moleküllerin dönme, ilerleme ve titreşim hareketleri sonucu oluşur. Moleküler kinetik teoriye göre, molekül titreşiminin ortalama kinetik enerjisi maddenin sıcaklığını belirler. Kabul edilen teoriye göre ısı iletimi moleküllerin temas yüzeylerinde birbirlerine doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir.

Katıların ısı iletkenliği bir çok faktöre bağlı olup ölçülmesi ve belirlenmesi güç olduğundan deneysel olarak tesbiti daha uygundur. Örneğin; saf metallerde ısı iletkenliği boşluk kesri, boşluğun büyüklüğü ve boşluklardaki akışkana bağlıdır. Kristal malzemelerde faz ve kristal ölçüsü önemlidir. Amorf katılarda ise moleküler arasındaki boşluklar ısı iletimi üzerinde önem taşır.

Genelde, metaller ametallerden daha iyi ısı iletkenleridirler. Kristal malzemeler amorf malzemelerden daha kolay ısı iletirler. Gözenekli katıların çok zayıf ısı iletkenlikleri olduğundan ısı yalıtımı için ideal ve mükemmel malzemelerdir. Bir çok saf metalin ısı iletkenliği sıcaklığın artışı ile düşerken, ametallerin ısı iletkenliği sıcaklığın artışı ile yükselme gösterir. Alaşımların ısı iletkenliği ise metal ile ametal malzemeleri arasında bir davranış gösterir.

Saf metaller için ısı iletkenliği ile (k) elektrik iletkenliği(k_e) arasında yaklaşık olarak şöyle bir bağıntı mevcuttur;

$$\frac{k}{k_e} = L \quad (2.1)$$

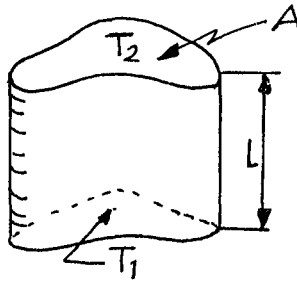
Bu, meşhur Wiedman, Franz ve Lorenz eşitliğidir [1]. Lorenz sayısı L, 0 °C'de saf metaller için $(22-29) \cdot 10^{-9}$ Volt²/K² değerleri arasında değişir. Fakat 0 °C'nin üzerinde az değişir. 1000°C'de %10-%20 daha artar. Çok düşük sıcaklıklarda(-269.4 °C Civa için) metaller süper iletkenler olurken, ısı iletimi için süper iletken olmazlar ve böylece L süper iletkenlik bölgesinde sıcaklıkla daha hızlı bir şekilde değişir. (2.1) eşitliğinin alaşımlar için kullanımı sınırlıdır. Çünkü, L malzeme bileşimi ve bazı durumlarda sıcaklık (T) ile büyük bir değişim gösterir. Saf metaller için (2.1) eşitliğinin geçerli olması, saf metallerde serbest elektronların ana ısı taşıyıcısı olmasından ileri gelir.

Üç çeşit ısı transferi şekli vardır; Kondüksiyon, Konveksiyon ve Radyasyon. Isı Kondüksiyonu, ametallerde atomik hareketlerle, metallerde serbest elektronların hareket

etmesiyle meydana gelir (metallerin ısı iletkenliğinin ametallerin ısı iletkenliğinden büyük olmasının sebebi budur.) Isı Konveksiyonu, ısınan bir cisimden bir akışkana veya çevreye olan ısı transferi ile meydana gelir. Radyasyon, ısınan bir cisimden (yüksek sıcaklık) çevreye olan ısı transferidir.

2.1.1 Katıların ısı iletkenliği ve Fourier kanunu

Aşağıda açıklandığı gibi ısı iletimi kanunu basit bir deneyle bulunabilir. Şekilde gösterildiği gibi bir katı cisim farklı sıcaklıklarda olan (T_1 ve T_2) paralel iki düzlem tarafından sınırlandırılınsın. Her iki tarafın sıcaklıkları sabit tutulsun (Yani; sürekli rejime ulaşıldığı zaman düzlemlerdeki sıcaklıklar okunsun).



Şekil 2.1. Isı iletiminin belirlenmesi için düşünülen katı cisim [3].

A yüzeyli olan bu katı cismin yüzey normali A yüzeyinin dikmesi olsun. Prizmanın kenarlarından dışarıya doğru ısı akışı olmadığı kabul edilsin. Bu cismin kalınlığının bir birim olduğu kabul edilsin. Değişik katılarda yapılan deneyler sonucu, prizmanın (A) yüzeyinden t (sn) zarfında geçen ısı miktarının aşağıdaki bağıntı ile verilebileceği görülmüştür;

$$Q = \frac{k \cdot (T_2 - T_1) \cdot t}{l}$$

(2.2)

Burada k bir sabit olup maddenin ısı iletkenliği olarak adlandırılır. Maddenin cinsine, sıcaklığına, bileşimine ve basınca göre değişir. Yukarıdaki denklemden k şöyle tanımlanır;

MKS sisteminde k'nın birimi; kcal/hm⁰C

BTU (İngiliz sisteminde); Btu/hr.ft.⁰F

SI kJ/hm⁰C

Herhangi bir yüzeyin bir alanından birim zamanda geçen ısı akışına ısı akısı denir. Birimi kcal/hm² °C, Btu/hrft² °F

Bir t zamanı zarfında katı bir cisim içindeki sıcaklık dağılım fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibi yer ve zamana bağlıdır.

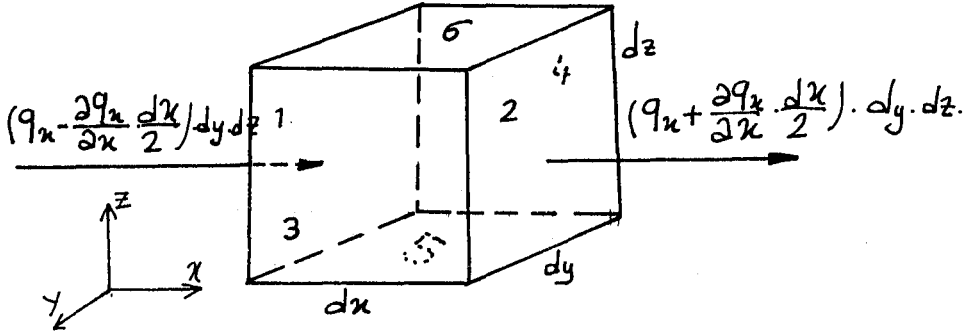
$$T=f(x,y,z,t)$$

Katı cisim içinde öyle yüzeyler vardır ki bu yüzeylerin her noktası aynı T sıcaklığındadır. Bu tür yüzeylere T sıcaklığı için eşsıcaklık yüzeyleri (izotermal) denir. T sıcaklığında daha sıcak veya daha soğuk olan yerler mevcuttur. Ancak iki termal yüzey birbirini kesemez. Bu tür yüzeyler ince tabakalar halindedir. İzotropik bir katının herhangi bir noktasındaki ısı akısı vektörü izotermal yüzeye normal (dik) ve yönü yüksek sıcaklıktan daha düşük sıcaklığa doğru olmalıdır. İzotermal yüzeylerinden Δx mesafede ΔT sıcaklık farkı ve birim zamanda birim yüzeyden olan ısı akısı $-k.\Delta T/\Delta x$ 'dir. $\Delta T \rightarrow 0$ 'a yaklaştığında x doğrultusundaki ısı akısı;

$$q_x = -k \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

Buradaki k maddenin ısı iletim katsayısı olup $\partial T/\partial x$, x boyunca sıcaklık değişimidir.

İzotropik bir katıda ısı iletiminin diferansiyel denkleminin çıkarılması için içinde ısı üretimi olmayan ve bir M noktasında ısı akısı olan bölge düşünülün.



Şekil 2.2 Paralel yüzeyler içinden olan ısı konüksiyonu [3].

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi 1 yüzeyinden geçen ısı akısı; $q_x \cdot dy \cdot dz$ 'dir. Aynı şekilde 2 yüzeyinden dışarı çıkan ısı akısı; $(q_x + dq_x) \cdot dz \cdot dy$ 'dir. x-ekseni doğrultusunda 1 nolu yüzeyden 2 nolu yüzeye olan net ısı transferi;

$$q_x \cdot dx \cdot dy - (q_x + dq_x) \cdot dz \cdot dy \quad \text{Ayrıca } q_x + dq_x = (q_x + (\partial q_x / \partial x) \cdot dx) \cdot dy \cdot dz \text{ 'dir.}$$

$$q_x \cdot dx \cdot dy - q_x \cdot dx \cdot dy - (dq_x / dx) \cdot dx \cdot dy \cdot dz = -\partial q_x / \partial x \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Benzer şekilde y-ekseni ve z-ekseni doğrultusunda olan ısı değişimi yazılabilir.

$$-\partial q_y / \partial y \cdot dx \cdot dy \cdot dz ; -\partial q_z / \partial z \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Cisim tarafından kazanılan toplam ısı;

$$-(\partial q_x / \partial x + \partial q_y / \partial y + \partial q_z / \partial z) \cdot dx \cdot dy \cdot dz. \quad (2.3)$$

dir. Kazanılan ısı maddenin enerjisinin zamanla değişimine eşittir. Yani;

$$\rho.c.\partial T/\partial t .dx.dy.dz \quad (2.4)$$

Burada ρ , cismin yoğunluğu ve c ise katının özgül ısıdır. (2.3) ve (2.4) denklemlerinden;

$$\rho.c.\partial T/\partial t + (\partial q_x/\partial x + \partial q_y/\partial y + \partial q_z/\partial z) = 0 \quad (2.5)$$

Bu genel bir denklemdir. Malzeme homojen olmayabilir. Homojen izotropik katı için;

$$q_x = -k.\partial T/\partial x, q_y = -k.\partial T/\partial y, q_z = -k.\partial T/\partial z \text{ ifadeleri yazılabilir.}$$

Bu değerler (2.1.1.5) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\partial^2 T/\partial x^2 + \partial^2 T/\partial y^2 + \partial^2 T/\partial z^2 - 1/\alpha .\partial T/\partial t = 0 \quad (2.6)$$

Buradaki α ısı difüzyon katsayısı olup $\alpha = k/\rho.c$ 'dir. (2.6) denklemini genel ısı denklemdir. Sürekli rejim durumunda Laplace denklemini adını alır. Bu durumda maddenin zamanla olan ısı değişimi sıfırdır.

$$\Delta^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (2.7)$$

2.1.2 Isı İletkenliği Açısından Yapı ve Yalıtkan Malzemelerinin Genel Özellikleri

Yalıtım ve inşaat malzemelerinin ısı transferi karakteristikleri metalik ve refrakter malzemelerinkinden farklıdır. Yapı ve izolasyon malzemeleri katı ve gazların bileşiminden meydana gelmiştir. Gazların ısı iletkenliği düşüktür ancak yapı malzemelerine olan tesiri büyüktür. Gazlar daima en iyi izolatör olmamasına rağmen toz, fiber veya saf malzemeler ile karıştırıldığı zaman iyi izolatör olurlar. Bu yüzden, havayı saf malzemelerle kullanmak uygun olmaktadır. Daha iyi sonuç alınabilmektedir.

Suyun bu tür yerlerdeki kullanımı havaya nazaran yirmibeş kat daha iyi ısıyı iletirmektedir. Bu yüzden gözenekli katıların ısı iletkenliği içerdikleri gaz veya sıvının ısı iletkenliğine bağlıdır. Cismin gözenekli imal edilmesiyle ağırlığında büyük bir düşüşün meydana geleceği muhakkaktır. Gaz bileşiminin artırılması veya gözeneklerin artırılması; P_s 'i sabit kabul ederek P_a yoğunluğunun azaldığı görülür. Gaz bileşiminin artırılması veya görülen yoğunluğun azalması demek, ısı iletkenliğinin azalması demektir. M.Jakob gözeneklerin tesirini bir formül ile açıklamıştır [2]. Görülen iletkenlik k_a , maddenin k_s iletkenliği ve gözenekteki partiküllerin k_p iletkenliğinden oluşur. Yani;

$$k_a = k_s \frac{1 - (1 - a \frac{k_p}{k_s}) \cdot b}{1 + (a - 1) \cdot b} \quad (2.8)$$

$$a = 3 \cdot k_s / (2 \cdot k_s + k_p)$$

$$b = V_p / (V_s + V_p)$$

V_s : Maddenin toplam hacmi.

V_p : Dağıtılan partiküllerin toplam hacmi.

k_p , k_s ile karşılaştırılacak kadar küçük olduğundan dolayı birçok durumda ihmal edilebilir. Bu durumda aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$k_a = k_s \frac{1 - b}{1 + b/2}$$

Eliptik veya daire kesitli (tubular) gözenekler için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$k_a = k_s \frac{1-b}{1+b/3} \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{k_a} = \frac{1}{k_s} + \frac{1}{3 \cdot k_p} \quad \text{Düzlem boşluklar için} \quad (2.10)$$

Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği yalıtkan malzemelerin ısı iletkenliği ile azalır. Her çeşit odunun ısı iletkenliği neme, yoğunluğa, sıcaklığa ve damarların doğrultusuna bağlıdır.

Betonun ısı iletkenliği yaklaşık olarak doğal taşınki ile aynıdır. İletkenlik belli olan nem bileşimine, yoğunluğa ve sıcaklığa bağlıdır. Çakıl taşı kum betonu en yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Kireçtaşı ve slag betonu en düşük ısı iletkenliğine sahiptir. (Kireçtaşı betonununun ısı iletkenliği slag'ın (ham çakıl) ısı iletkenliğinden daha yüksektir.) Nem, ısı iletkenliğini artırır. Ancak ağır betondaki hava ısı iletkenliğini düşürür. İçinde hava bırakılarak yapılan betondaki havanın iletkenlik katsayısı 0.22 ile 0.28 kcal/hm⁰C arasındadır.

Beton ile gevşek (gözenekli hava tabakalı) beton arasında kapalı bir bağıntı vardır. Normal yoğunluklu beton için betonun ısı iletkenliği gevşek betonun ısı iletkenliğinin iki katıdır. Gevşek betonun ısı iletkenliği bilindiğinde, betonun ısı iletkenliği EK-A'da tablo 2.1'den saptanabilir [3]. Bu tablodaki değerler kaba değerler olduğundan uygulamada pek kullanılmaz.

2.2 Sıvıların ısı iletkenliği Teorisi

Saf sıvılarda enerji transferi teorisi konusu, Bridgman tarafından 1923 yılında başlatıldı [1]. O, moleküllerin merkezden merkeze yerleşerek $(V/N)^{1/3}$ kübik kafes yapısında olabileceği kabul etti. (V/N) , molekül başına hacimdir. verilen akışkan için enerjinin v_s hızında (ses hızı) bir kafes düzleminden diğerine (bir sonrakine) transfer edildiği kabul edilir. sıvılar için ısı iletim katsayısı şöyle ifade edilir;

$$k = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot c_v \cdot u \cdot \lambda = \rho \cdot c_v \cdot |u_y| \cdot a \quad (2.11)$$

Sabit hacimde bir sıvının ısı kapasitesi, yüksek sıcaklıkta bir katınıniki ile aynıdır. Yani; $\rho \cdot c_v = 3 \cdot (N/V) \cdot K$ 'dir. Y-doğrultusundaki ortalama moleküler hız $|u_y|$ v_s hızı ile değiştirildi. a, birim kafesteki enerji dağılımı olup (V/N) olarak alınabilir. Bu değerler (2.11) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$k = 3x(N/V)^{2/3} \cdot K \cdot v_s \quad (2.12)$$

Bu eşitlik Bridgman eşitliğidir. (2.12) denklemi çok atomlu akışkanlar (sıvılar dahil) için elde edilen teorik değerler ile deneysel değerler arasında büyük bir uyum sağlamaktadır. Buna rağmen 3.0 katsayısı çok yüksektir 2.8 olarak alındığı takdirde çok iyi sonuçlar verecektir.

$$k = 2.80x(N/V)^{2/3} \cdot K \cdot v_s \quad (2.13)$$

Kritik yoğunluk üzerinde hesap yapmak için bu eşitlik sınırlandırılır. Çünkü her molekülün en yakın komşusu tarafından titreştirildiği kabul edilir. Burada kullanılan çok atomlu moleküllerin ısı kapasitesi oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklardaki ısı kapasitesinden daha küçük olduğundan, yukardaki eşitlik çok atomlu akışkanlar için moleküllerin çarpışması ile meydana gelen enerji transferi katılmadığından tam değildir.

Düşük frekanstaki ses hızı aşağıdaki bağıntı ile verilir;

$$v_s = \sqrt{\frac{c_p \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T}{c_v}} \quad (2.14)$$

$(\partial p/\partial \rho)_T$ büyüklüğü izotermal sıkıştırma ölçümlerinden veya hal denkleminde kolaylıkla elde edilebilir. Ve c_p/c_v sıvılar için kritik noktada kabul edilen birleştirme derecesidir.

2.3 Gazların Isı İletkenliği Teorisi [1]

Tek atomlu gazların ısı iletkenliği kinetik teoriden doğru bir şekilde hesaplanabilir. Çok atomlu gazlar için özel bağıntılar geliştirilmiştir. Buna rağmen çok kullanılan bazı yaklaşımlar bulunabilir. Öncelikle transfer mekanizması üzerinde durulacak sonra kinetik teori verilecektir.

Konuya düşük yoğunluktaki bir gazın ısı iletkenliği hesabı ile başlamak uygun olacaktır. Moleküllerin rijit, çekimi olmayan küreler ve m kütleli ve d çapında olduğu kabul edilsin. Gazın hareketsiz olduğunu ($v_s=0$) ancak moleküler hareketin meydana geldiği dikkate alınsın.

Çok atomlu bir gaz için sıcaklık, basınç ve hız gradyanının düşük olduğu durumda kinetik teoriden aşağıdaki sonuçlar çıkarılır.

$$u = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot T}{\pi \cdot m}} \quad \text{Ortalama moleküler hız} \quad (2.15)$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot n \cdot u \quad \text{Birim yüzeydeki dağılım frekansı} \quad (2.16)$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \pi \cdot \sqrt{d} \cdot n \quad \text{Çarpışmalar arası ortalama serbest mesafe} \quad (2.17)$$

Gaz içinde herhangi bir düzlemdeki, düzlemde a kadar uzaktaki molekülerin son dağılımı;

$$a = \frac{2}{3} \cdot \lambda \quad (2.18)$$

Burada κ Boltzman sabiti n ise birim hacimdeki molekül sayısıdır.

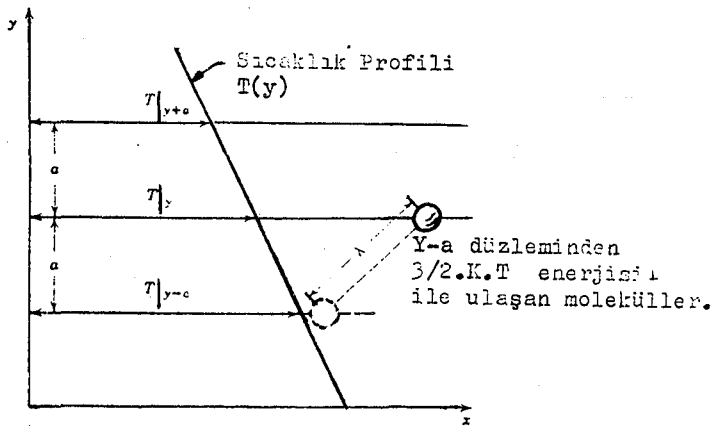
Düz rijit kürelerle değişebilen tek enerji şekli öteleme enerjisidir. Denge şartlarında molekül başına ortalama hareket enerjisi ;

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2 = \frac{3}{2} \cdot \kappa \cdot T \quad (2.19)$$

Böyle bir gaz için sabit hacimde mol başına ısı kapasitesi;

$$c_v = N \cdot \frac{d}{dT} \left(\frac{1}{2} m u^2 \right) = \frac{3}{2} \cdot R \quad (2.20)$$

Buradaki R gaz sabitidir. denklemin (2.20) tek atomlu gazlarda yüksek sıcaklıklarda dahi geçerlidir.



Şekil 2.3. y-a düzleminden y-düzlemine enerjinin moleküler taşınımı [1].

Isı iletkenliğini saptamak için gazın bir sıcaklık gradyanı dT/dy altında olduğu kabul edilsin. (2.16)'den (2.20)'ya kadar olan denklemler dengesiz durum için geçerlidir Ancak (2.19) denklemini bunun dışındadır. $\frac{1}{2} m u^2$ moleküllerin T sıcaklığı bölgesinde son dağılımlarının ortalama kinetik enerjisi olarak alınır. y-düzleminde ısı akısı q_y birim

zamanda (+y) yönündeki moleküllerin kinetik enerjileri toplamı ve eşit sayıda (-y) yönündeki moleküllerin kinetik enerjileri farkından bulunur.

$$q_y = Z \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2_{y-a} - Z \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2_{y+a} \quad (2.21)$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \kappa \cdot Z \cdot (T_{y-a} - T_{y+a}) \quad (2.22)$$

(2.21) ve (2.22) eşitlikleri moleküllerin son dağılım bölgelerindeki hız dağılımı varsayımına dayanır ve sıcaklık profili (T_y) moleküller arasındaki boşluk mesafesi ile lineer olduğu kabul edilir. Son kabulün ışığı altında aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$T_{y-a} = T_y - \frac{2}{3} \cdot \lambda \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2.23)$$

$$T_{y+a} = T_y + \frac{2}{3} \cdot \lambda \cdot \frac{dT}{dy}$$

(2.16), (2.22) ve (2.23) denklemlerinin birleştirilmesiyle aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$q_y = -\frac{1}{2} \cdot n \cdot \kappa \cdot u \cdot \lambda \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2.24)$$

Bu eşitlik Fourier ısı iletim kanununu gösterir. Isı iletkenlik değeri ise;

$$k = \frac{1}{2} \cdot n \cdot \kappa \cdot u \cdot \lambda = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot c_v \cdot u \cdot \lambda \quad (\text{Tek atom için}) \quad (2.25)$$

$\rho = n \cdot m$ olup gazın kütleli yoğunluğudur.

(2.15) ve (2.17) denklemlerindeki u ve λ değerleri yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$k = \frac{1}{d^2} \cdot \sqrt{\frac{3}{\pi} \cdot \frac{\kappa \cdot T}{m}} \quad (\text{Tek atomlu gaz için}) \quad (2.26)$$

Rijit kürelere ayrılan çok atomlu bir gazın ısı iletkenliğini gösterir. Bu eşitlikte verilen k basınçtan bağımsızdır. Tek atomlu bir gaz için daha doğru bir bağıntı türetmek için Chapman-Enskog'un düşük yoğunluk ve sıcaklıktaki $T(K)$ tek atomlu bir gazın ısı iletkenliği için verilen formül aşağıdaki gibidir [1];

$$k = 1.9891 \times 10^{-4} \frac{\sqrt{\frac{T}{m}}}{\sigma \cdot \Omega_k} \quad (\text{tek atom için}) \quad (2.27)$$

k : cal/cm.s.K

σ : Molekül dağılım çapı, Å^0

Ω_k : Dağılım fonksiyonu olup değeri $\kappa.T/\epsilon$ 'na bağlı olarak EK-A'da tablo

2.2'den alınır.

$$\mu = \frac{2}{3 \cdot \pi^{3/2}} \cdot \frac{\sqrt{m \cdot \kappa \cdot T}}{d^2} \quad \text{Vizkozite teorisi [1]} \quad (2.28)$$

Isı iletim katsayısı ile kinematik vizkozite arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir [1].

$$k = 15 \times \frac{R}{4 \cdot M} \cdot \mu = \frac{5}{2} \cdot c_v \cdot \mu \quad (\text{Tek atom için}) \quad (2.29)$$

Burada $k = c_v \cdot \mu$ ile basitleştirilebilir. Orantı katsayısı 2.5'tir. Bu eşitlik birçok kabulün ışığı altında türetilmiştir.

Şimdiye kadar tek atomlu gazlar üzerinde duruldu. Aynı sonuçlardan giderek çok atomlu gazlar için de yaklaşık genel bağıntılar çıkarılacak. Çok atomlu moleküllerde hareket enerjisine ek olarak titreşim ve öteleme enerjileri de vardır. Bu enerjilerin dağılımı değişik olabilir. Çok atomlu gazlar için Eucken tarafından geliştirilen bir eşitlik aşağıdaki gibidir [1];

$$k = \left[c_p + \frac{5}{4} \frac{R}{M} \right] \cdot \mu \quad \text{Çok atomlu gazlar için.} \quad (2.30)$$

Yukarıdaki (2.30) eşitliği tek atomlu gazlar için verilen eşitliğin özel bir durumudur. Çünkü tek atomlu gazlar için ; $c_v=5/2 \cdot (R/M)$ 'dir.

(2.30) ifadesi Prandtl sayısını belirlemenin basit bir yöntemidir. $Pr=c_p \cdot \mu/k$ Konveksiyon ısı transferinde önemli boyutsuz bir büyüklüktür.

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} = \frac{c_p}{c_p + 1.25 \cdot R} \quad (\text{Çok atomlu gaz için}) \quad (2.31)$$

Kutupsal olmayan çok atomlu ve düşük yoğunluktaki bir gaz için Prandtl sayısı formulüdür.

EK-A'da Tablo 2.3'deki değerler, (2.31) denklemi ile $(c_p/\mu \cdot k)$, c_p , μ , k değerlerinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Gösterilen gazlar için c_p ve μ değerleri bilinmektedir. Bu tek atomlu ve çift atomlu gazlar için kullanışlıdır. Fakat karışık gazlar için daha az kullanılır.

100 °C'deki buhar için en büyük sapma %20'dir. Çok atomlu gazlar için bulunabilirse deneysel değerlerin kullanılması Eucken yöntemi ile elde edilen değerlerden daha iyi sonuç verir [1].

Çok atomlu gazlar için ampirik metodların çoğu Bromley tarafından geliştirilmiştir [1]. Kinetik teoriye dayanan daha geçerli bir metod çok atomlu ve kutupsal gazlar için mevcuttur. Düşük yoğunluktaki gaz karışımları ısı iletkenlik değerleri analog metodla tesbit edilebilir. Yani;

$$k_{\text{karş}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot k_i}{\sum_{j=1}^n x_j \cdot \phi_{ij}} \quad (2.32)$$

x_i : Karışımdaki gazın mol kesri

k_i : karışımdaki gazın saf haldeki ısı iletim katsayısı

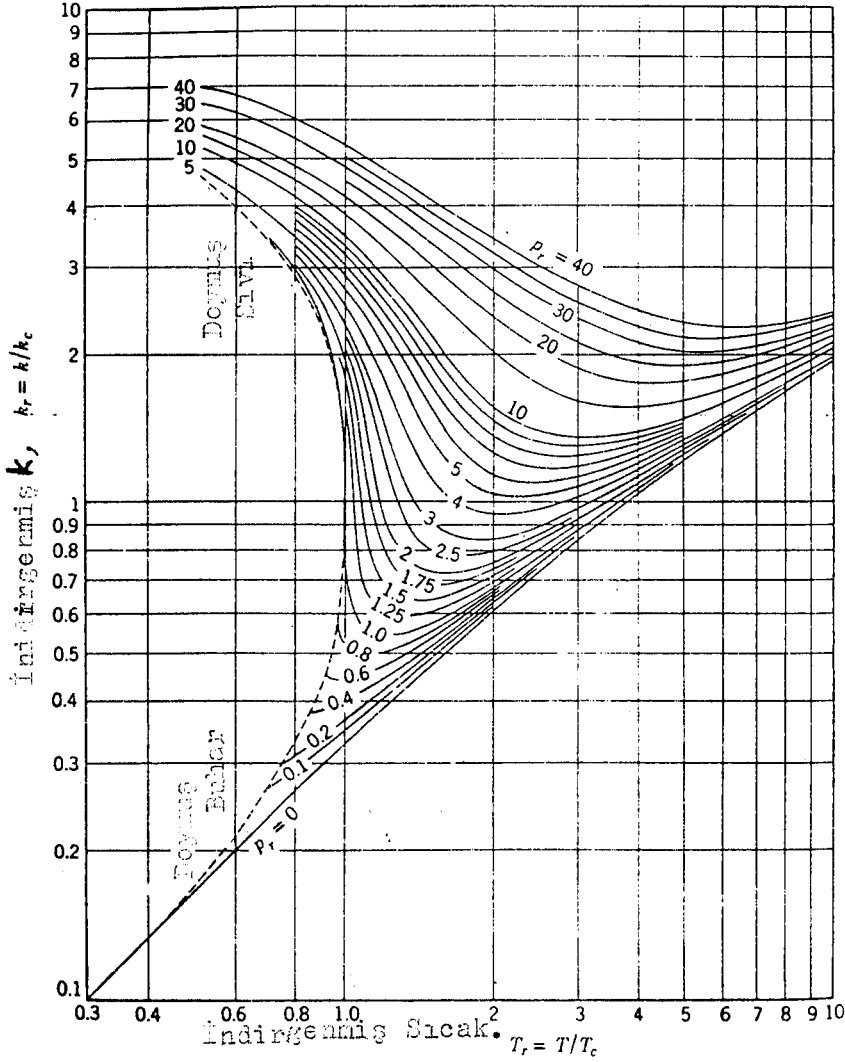
$$\phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{M_i}{M_j}}} \left[1 + \sqrt{\frac{\mu_i}{\mu_j}} \sqrt{\frac{M_i}{M_j}} \right]^2 \quad 2.33$$

Bu eşitliklerdeki μ ve k 'nin tüm değerleri verilen sıcaklıktaki düşük yoğunluktaki değerleridir. Viskozite değerleri bulunamadığı durumlarda (2.30) denklemi vasıtasıyla k ve c_p 'den belirlenebilir.

2.4 Gazların ve Sıvıların Isı İletkenliğinin Basınç ve Sıcaklığa Olan Bağlılığı

Akışkanlar için güvenilir ısı iletkenliği değerlerinin azlığı, maddenin verilen diğer bilgilerinden (özelliklerinden) ısı iletim katsayısını belirlemeyi gerektirir. Burada saf akışkanlar için ısı iletkenliğinin basınç ve sıcaklık ile nasıl değiştiğini göstermek ve belirlemek amacıyla iki bağıntı verilmiştir.

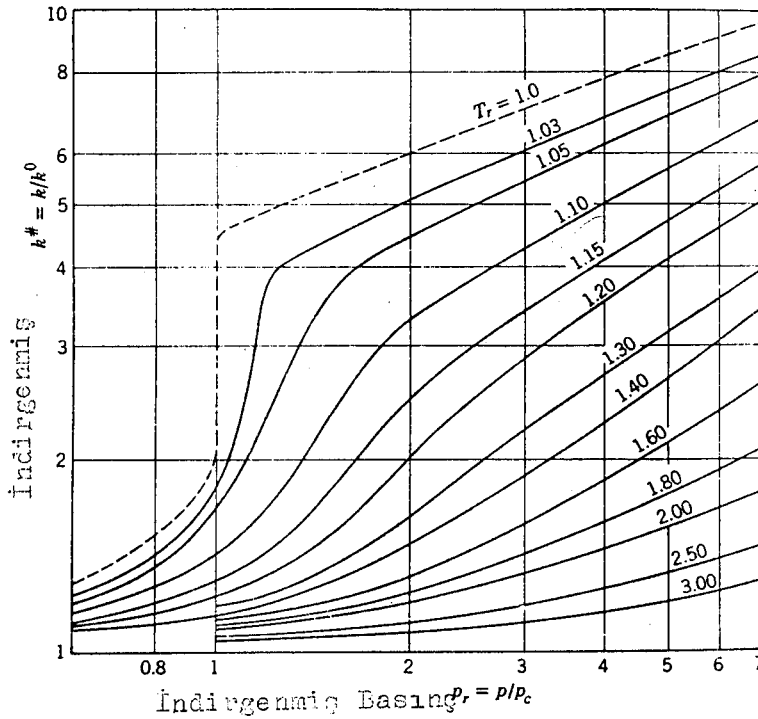
Şekil 2.4 indirgenmiş ısı iletkenliği $k_r = k/k_c$; verilen sıcaklık ve basınçtaki ısı iletkenliğinin kritik noktadaki ısı iletkenliği bölümüne eşittir. Bu büyüklük x-ekseni üzerinde indirgenmiş sıcaklık olarak, $T_r = T/T_c$ ve indirgenmiş basınç olarak $P_r = P/P_c$ şeklinde verilir. Şekil 2.4'de düşük basınçlarda bir gazın ısı iletkenliğinin bir fonksiyonu olduğu görülecektir.



Şekil 2.4 İndirgenmiş sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak tek atomlu maddeler için indirgenmiş ısı iletkenliği [1].

Birçok gaz için bu limite 1 Atmosfer basıncında ulaşılır. Düşük yoğunluktaki gazların ısı iletkenliği sıcaklık artışı ile artar, oysa birçok sıvının ısı iletkenliği sıcaklığın artışı ile azalır. Su gibi çift atomlu veya bileşik sıvıların ısı iletim katsayısı T' 'ye karşılık maksimum bir eğri çizebilir. k_c 'nin deneysel değerleri nadiren bulunabilir. Ancak iki yoldan biri ile tesbit edilebilir;

a. Bilinen sıcaklık ve basınçta verilen k_c , hangi sıcaklık ve basınçta k 'nin değeri bulunacaksa bu değerler birbirine oranlanır. Ve k_r değeri şekilden bulunur. Daha sonra $k_c = k/k_r$ hesaplanır. Böylece istenen sıcaklık ve basınçta ısı iletim katsayısı bulunur.



Şekil 2.5 İndirgenmiş sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olarak $k^{\#} = k/k_0$ indirgenmiş ısı iletkenliği [1].

b. Düşük yoğunluklu bölge için bir k değeri bulunur. Ve (a) şıkındaki prosedüre devam edilir. Şekil 2.5'te $k^{\#} = k/k_0$ verilen sıcaklık ve basınçtaki ısı iletkenliğinin aynı sıcaklık ve atmosfer basıncındaki ısı iletkenliğine bölümüdür. k_0 değerleri deneysel veya teoriden bulunabilir. P_c ve T_c değerleri EK-A'da tablo 2.4'ten alınabilir. Bu tek atomlu gazlar için geçerlidir.

3. GENEL OLARAK KATI SIVI VE GAZLARIN ISI İLETKENLİĞİNİ ÖLÇME METODLARI

Son yüzyılda ısı iletkenliğinin tesbiti için birçok metod kullanılmıştır. Bu metodların bazılarının kullanılmamasına rağmen, genel teori aynıdır. Bu teoriler, ısı kondüksiyonu denklemine dayanır.

Malzemelerin ısı özellikleri, değişik yöntemlerle ölçülür. Örneğin; ısı iletkenliği sürekli rejim deneyleriyle ölçülür, birim hacim ısı kapasitesi $\rho.c$ kalorimetre ile ölçülür. Isıl difüzyon α geçici rejim deneyleriyle ölçülür.

Kullanılan çok değişik metodların avantaj ve dezavantajları vardır; Teoride belirtilen veya kabul edilen sınır şartlarını deney sırasında gerçekleştirmek veya tesbit etmek zordur. Test numunesinin boyutlarının önemli olmaması, test etme zamanının minimuma indirilmesi başlıca avantajlarıdır.

1938 yılında Amerikan Mühendisler Odası mühendisleri standart ısı iletkenliği test setini oluşturmak üzere bir komite oluşturmuşlardır. Bu komitenin hazırladığı test metodu 1942 yılında kabul edilerek metodla ilgili bilgiler yayınlanmıştır [4].

Deneyde problem ısı iletkenliği denklemi için sınır şartlarını belirlemek ve ölçülen büyüklükleri doğrulamaktır. Örneğin; ısı akısı (q ; kcal/h veya Btu/hr), numune kalınlığı (L ; m veya ft), numune yüzeyi (A ; m^2 veya ft^2) ve sıcak plaka ile soğuk plaka arasındaki sıcaklık farkı ($T_2 - T_1$)

Katı, sıvı ve gazların ısı iletkenliğini ölçme metodları, kullanılarak deney setleri dizayn edilir ve malzemelerin ısı iletim katsayıları, bu düzenekler yardımıyla ölçülen ısı karakteristikler kullanılarak tesbit edilir. Katılar için birçok ölçme yöntemi olmasına karşın

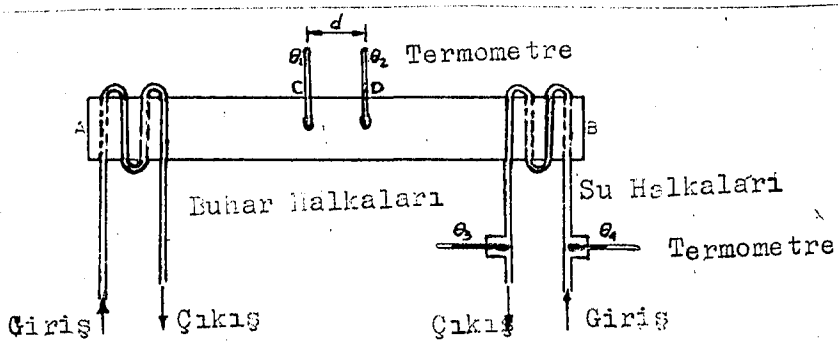
sıvı ve gazlar için yöntem sayısı sınırlıdır.

Önce katların ısı iletkenliğini ölçme metodları üzerinde durulacak daha sonra sıvı ve gazların ısı iletkenliğini ölçme metodları üzerinde durulacaktır. Isı iletkenliğini ölçme metodları sürekli veya geçici rejimlerde geliştirilmiştir.

3.1 Malzemelerin Geçici Rejimdeki Ölçme Metodları

3.1.1 Searle metodu

İyi bir iletkenin ısı iletkenliğini ölçmek için bu metod çok kullanılır. AB çubuğu bakır gibi bir malzemeden yapılsın. C ve D noktalarına termometre yerleştirilir. A kenarı sabit debideki buhar ile sabit sıcaklıkta tutulur. B kenarında sabit debide su sirküle edilerek sıcaklığın sabit tutulması sağlanır.



Şekil 3.1 Searle düzeneği [5].

Dolayısıyla sıcaklık farklarından dolayı A'dan B'ye doğru ısı akışı meydana gelir. Sistem tamamı ile izole edilmiştir. A'dan B'ye olan ısı akışı sürekli rejime ulaştığı zaman C ve D

noktalarındaki ısı akısı aynı olacaktır. Isı akısı, B ucunda dolaştırılan su debisi ile su giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkından tesbit edilebilir. Su tarafından transfer edilen ısı;

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m} \cdot c \cdot (\theta_3 - \theta_4) \quad (3.1)$$

\dot{m} : Su akış debisi; kg/s.

c : Suyun özgül ısısı; J/kg.°C

Çubuk boyunca iletilen ısı miktarı;

$$Q_{kond} = k \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{d} \quad (3.2)$$

A : Çubuğun kesiti; m².

d : C ve D noktaları arasındaki mesafe; m.

k : Isı iletkenliği; W/m.°C.

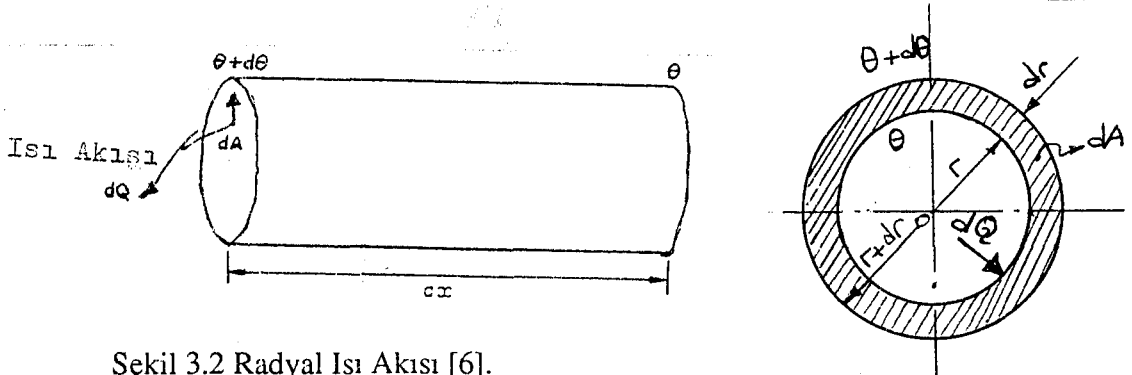
Dolayısıyla;

$$k \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{d} = \dot{m} \cdot c \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

$$k = \frac{\dot{m} \cdot c \cdot d \cdot (\theta_3 - \theta_4)}{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)} \quad (3.3)$$

3.1.2 Radyal ısı akısı metodu

r_1 ve r_2 çaplarında olan iki silindir düşünülün. Silindir L uzunluğunda olsun ve uçlardaki kayıplar ihmal edilebilir seviyede olduğu kabul edilsin. r ve $r+dr$ 'de yarıçapları tarafından çevrelenen silindirden geçen ısı akısı dikkate alınsın. r ve $r+dr$ 'deki sıcaklıklar sırasıyla; θ ve $\theta+d\theta$ ile gösterilsin. Alan $2\pi r l$ ve sıcaklık gradyanı $-d\theta/dr$ 'dir.



Şekil 3.2 Radyal Isı Akısı [6].

Isı akısı sıcaklık gradyanının tersi yönündedir.Böylece;

$$\begin{aligned} dQ &= -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{dT}{dr} \cdot dt \\ \frac{dQ}{dt} &= -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{d\Theta}{dt} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Sürekli rejimde ısı akısı zamandan bağımsızdır. Dolayısıyla $d\Theta/dt$ sabit ve r 'den bağımsızdır.Böylece;

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dt} &= -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{d\Theta}{dt} \\ \frac{dQ}{dt} \cdot \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} \cdot dr &= -2 \cdot \pi \cdot l \cdot k \cdot \int_{\Theta_1}^{\Theta_2} d\Theta \end{aligned} \quad (3.5)$$

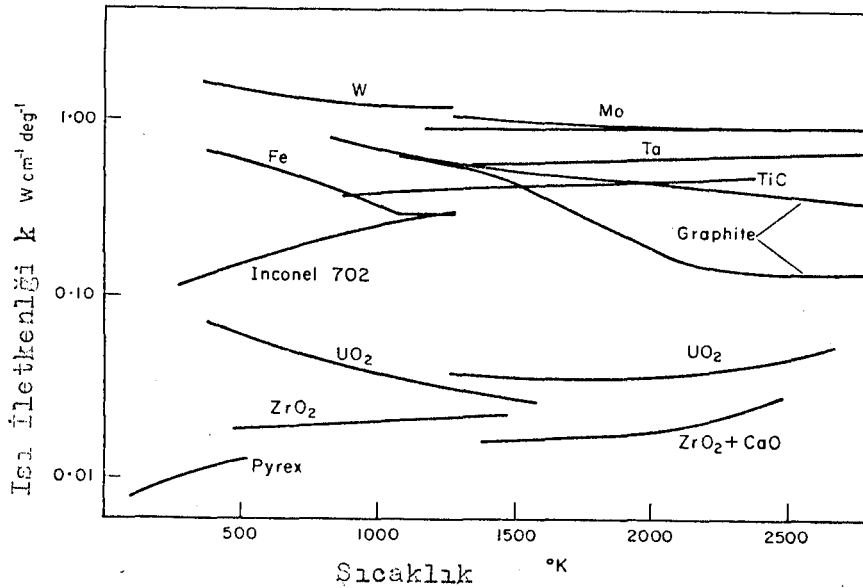
Θ_1 ve Θ_2 r_1 ve r_2 yarıçaplı silindir yüzeylerindeki sıcaklıklardır. (3.5) denklemini integre edilirse aşağıdaki ifade elde edilir.

$$k = \frac{\frac{dQ}{dt} \cdot L \cdot n \cdot \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (\Theta_1 - \Theta_2)} \quad (3.6)$$

Silindirik metod oldukça basit bir metoddur. Deney sırasında ısı akısı ve sıcaklıklar ölçüldüğünden ısı iletim katsayısı (3.6) denkleminde kolaylıkla bulunabilir. Bu metod daha çok oda sıcaklığında uygulanır. İnşaat malzemeleri, yalıtım, kabuk şeklindeki refrakter malzemeleri, gevşek şekilli, asbestos şerit gibi kordon şekilli malzemelerin ısı iletim katsayısı bu metodla ölçülür. Bu tip malzemeler ısıtıcının çevresine sarılarak boş bir silindir oluşturmak üzere şekillendirilir. Sıcaklığın ölçülmesi termokupullarla yapılır. Termokupul telleri silindir uzunluğu boyunca yerleştirilir. Silindir boyu; kenarlardan olan ısı kaybını minimize edecek şekilde yeterli uzunlukta olmalıdır. Güç ve sıcaklık ölçümleri silindirin orta kısmından yapılır. Isıtıcı yüzeyinde eşit sıcaklık elde etmek için taşıyıcı bir metal tüp ve bunun üzerine yüksek iletkenliği olan ince bir tüp monte edilerek elektrikli ısıtıcı gerçekleştirilir. Küçük uzunluklar için ısıtma serpantini aksel sıcaklık düşümü ihmal edebilmek için uçlarda daha sık bir şekilde sargılar

sarılmalıdır. Veya uçlara termokupullar monte edilerek kaybolan ısı hesaplanır ve ana ısıtıcının verdiği ısıdan çıkartılır. Kenarlardan olan ısı kaybını önlemek için koruyucu ısıtıcılar uçlara monte edilebilir.

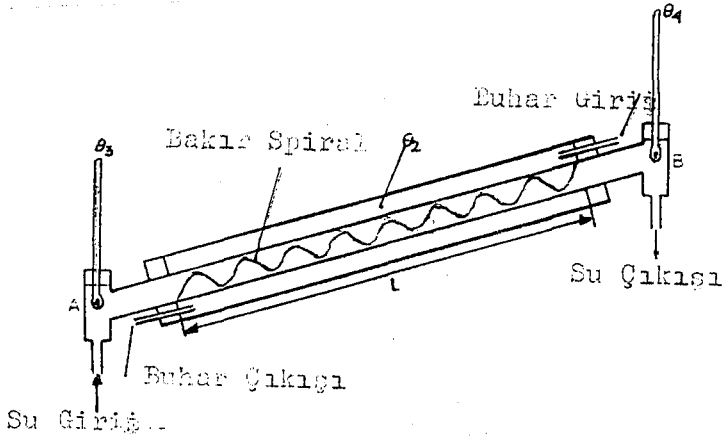
Radyal ısı akısı metodu kullanılarak ısı iletim katsayısı ölçülen bazı malzemelerin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla olan değişimi ve birbirine göre karşılaştırması Şekil 3.3' de verilmektedir.



Şekil 3.3 Radyal ısı akısı metodu kullanılarak tesbit edilen ısı iletkenliğinin sıcaklıkla olan değişimi [6].

3.1.2.1 Camın ısı iletkenliğini ölçme metodu

Yukarıda bahsedile teori birçok malzemenin ısı iletkenliğini tesbit etmede kullanılır. Bu malzemeler halka haline getirildikten sonra ısı iletim katsayıları ölçülür. Şekil 3.4 sabit dış sıcaklığı elde etmek için bir cam tüpün buhar kanalı vasıtasıyla nasıl dizayn edileceğini gösterir.



Şekil 3.4 Camın ısı iletkenliği için deney seti şeması [5].

Su sabit bir A cihazından B'ye geçerken sıcaklığı, buhar ısısının camdan içeri girerek θ_3 sıcaklığından θ_4 sıcaklığına yükselir. Suyun akış debisi kaydedilir. Bakır çubuk (spiral şeklinde) suyun karışmasını sağlar. Böylece; su sıcaklığı θ_1 olur. θ_1 , θ_3 ve θ_4 'ün ortalaması olarak alınabilir. Ve ısı iletim katsayısı aşağıdaki bağıntıdan kolaylıkla hesaplanabilir. θ_2 buhar sıcaklığıdır.

$$\theta_1 = [\theta_3 + \theta_4] / 2$$

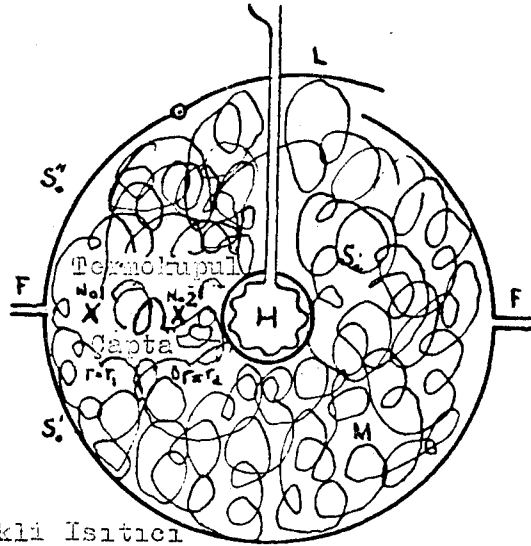
$$k = \frac{\frac{dQ}{dt} \cdot L \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (\theta_1 - \theta_2)} \quad (3.7)$$

3.1.3 Küresel metod

Teorik olarak basit ve en iyi metod küresel kapalı test parçaları, kapalı ısıtıcı ve radyal olarak iki noktada sıcaklığın tesbit edildiği durumdur. Isı iletkenliği şöyle verilir;

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot (T_2 - T_1)}{\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1}}$$

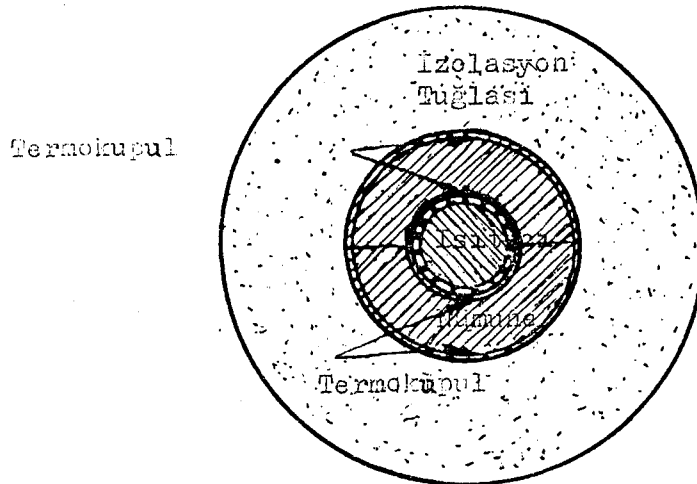
$$k = \frac{q \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right)}{2 \cdot \pi \cdot (T_2 - T_1)} \quad (3.8)$$



- H: Elektrikli Isıtıcı
 F: Flans
 L: Lid
 M: Test Edilecek Malzeme
 S: Küresel İç Kabuk
 S': Küresel Dış Metal Kabuk

Şekil 3.5 Küresel ısı iletim katsayısı ölçme metodu [2].

Isıtma kısmı kürenin merkezine yerleştirilir. Kürenin merkezi ile kürenin duvarları (kabuğu) arasında test edilecek malzeme doldurulur. Doğru değerler okumak için kürenin merkezine birçok termokupul yerleştirilmelidir. Bu metod, gevşek yalıtım malzemeleri ısı iletim katsayısı ölçümü için, pratiktir. Yüksek sıcaklıklarda test yapmak için test parçasının çevresini yardımcı ısıtıcı veya küresel bir yalıtım malzemesi ile çevrelemek gerekir. (şekil 3.6'ya bak.)



Şekil 3.6 Yüksek sıcaklıktaki ölçmeler için küresel düzenek [7].

Sıcaklık farklarını hassas olarak ölçmek için izolasyon takasının kalınlığı iyi ayarlanmalıdır. Teorik ısı akısı şartından sapma olabilir. Bu; ölçmelerdeki fark, ısıtıcı yüzeyinden konveksiyonla olan ısı kaybından veya ısıtıcı ile termokupul telleri arasında olan ısıdan kaynaklanabilir. Ölçme metodunda termokupul tellerini izotermilerin içine gömmek gerekebilir. Fakat küresel düzeneklerde bunu sağlamak zordur. Bu yüzden termokupulların gömülmesi radyografik yöntemle yapılır. Kürenin boyutları gerekli olan sıcaklık düşümüne bağlıdır. W.D Kingery yaptığı çalışmalar sonucu; yoğun oksitli malzemeler için numuneler, 1.75 inç iç çap; 3.5 inç dış çapa kadar 1400°C'ye kadar iki inç kalınlıklı izolasyon kili ile çevrilebileceğini ifade etmiştir [7].

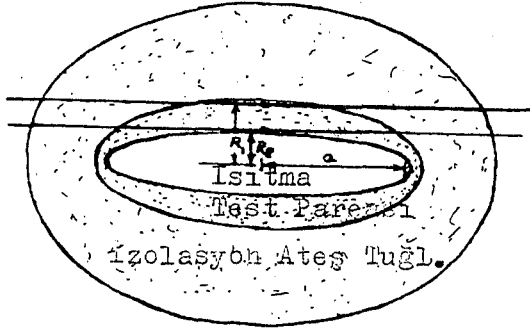
Küresel metotta test yapmanın bazı avantaj ve dezavantajları vardır; Sistemin ana avantajı, geometrik şekle göre teorik ısı akısının belirlenmesi ve soğutma için ihtiyaç duyulan sistemin olmamasındandır. Sistemin dezavantajları, uygun geometride test numunesi imal zorluğudur. Elektrikli ısıtıcının sağlanması, kolay fakat küre yüzeyinin üniform olarak ısıtılması (küre yüzeylerinden zorunlu konveksiyonla ısının alınması) güçtür. Ayrıca termokupulların montajı ve ısıtma telerinin izoterm olarak yerleştirilmesi zorlukları bir başka dezavantajdır.

3.1.4. Elipsoidal metod

Bu metotta ısı iletim katsayısı aşağıdaki formül vasıtasıyla tesbit edilir.

$$k = \frac{q \cdot \ln \frac{\sqrt{a^2 + R_2^2} + a}{\sqrt{a^2 + R_2^2} - a} \cdot \frac{\sqrt{a^2 + R_1^2} - a}{\sqrt{a^2 + R_1^2} + a}}{8 \cdot \pi \cdot (T_2 - T_1)} \quad (3.9)$$

Buradaki a ana elipsin ekseninin yarısındaki uzunluğu gösterir. T_2 ve T_1 küçük eksenler üzerinde radyal olarak okunan sıcaklık ölçümleridir.



Şekil 3.7 Yüksek sıcaklık ölçümleri için elipsoidal metod [7].

Kapalı elips sistemi kapalı küresel sistemden daha fazla avantajları vardır. İzotermal yüzeyleri oldukça düz olup (küçük eksen düzlemi yanında), bu yüzden düz termokupul teleri zorlanmaksızın monte edilebilir. İç ve dış yüzeylerin aynı merkez noktalara sahip olması için ve izotermal ısıtıcı yüzeylerini elde etmek için küçük eksenlerin uzunlukları boyunca ısının eşit miktarda üretilmesi gerekir. Bu da bu sistemin dezavantajıdır. Test parçası kalınlığı o kadar önemli değildir. Test parçasını büyük ebatlarda imal etmek gerekmez. Ayrıca radyal ısı akısının kaldırılması sistemin diğer bir avantajıdır. Disk şeklindeki malzemeler plakadan kesilerek imal edilebilir. Nümunelerin kenarlarından olan ısı kaybını azaltmak için nümune köşeleri seramik malzemelerle çevrilmelidir.

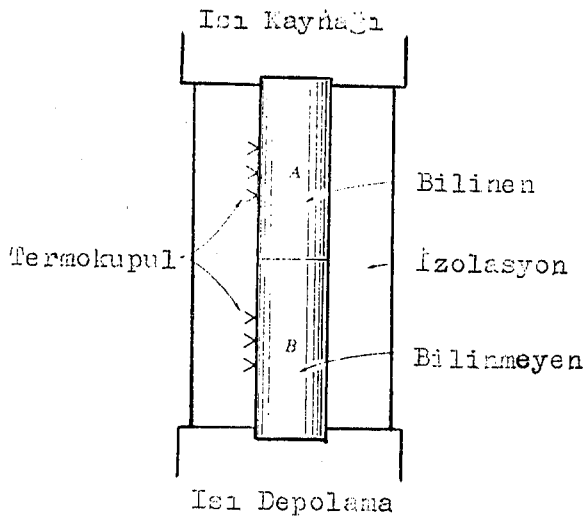
3.1.5 Kompozit (mukayeseli) metod.

Seri bağlanan farklı malzemelerden geçen ısı akısının aynı olması prensibine dayanır. Bu metotta biri ısı iletkenliği bilinen malzeme, diğeri ısı iletkenliği bilinmeyen malzemenin seri şekilde bağlanarak yüzeyleri boyunca ısı akısının dik olarak gönderilmesi ve sıcaklık farkları ölçülerek tesbit edilmesi esasına dayanır. Isı iletkenliği bilinen malzeme standart malzemedir. Her iki malzemedden geçen ısı akısı aynı olduğundan ısı iletkenliği için aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$q_1 = q_2 = -k_1 \cdot A_1 \cdot (\Delta T / \Delta x)_1 = -k_2 \cdot A_2 \cdot (\Delta T / \Delta x)_2$$

$$k_2 = k_1 \cdot [A_1 \cdot (\Delta T / \Delta x)_1] / [A_2 \cdot (\Delta T / \Delta x)_2] \quad (3.10)$$

ΔT ; bilinen veya bilinmeyen cisimlerin aksenal olarak herhangi iki noktasındaki sıcaklık farkıdır.



Şekil 3.8 Mukayeseli ölçme metodu [5].

Eğer aynı kalınlıkta malzemeler kullanılırsa (3.10) denklemi aşağıdaki şekle indirgenir.

$$k_2 = k_1 \cdot (\Delta T_1) / (\Delta T_2) \quad (3.11)$$

Buradaki 1 ve 2 indisleri bilinen ve bilinmeyen malzemeyi gösterir. Şekil 3.8 bu sistemi şematik olarak gösterir. Yukarıdaki denklemden (3.10) görüleceği gibi ısı iletkenliği, ısı akışının ölçülmesi için kullanılır.

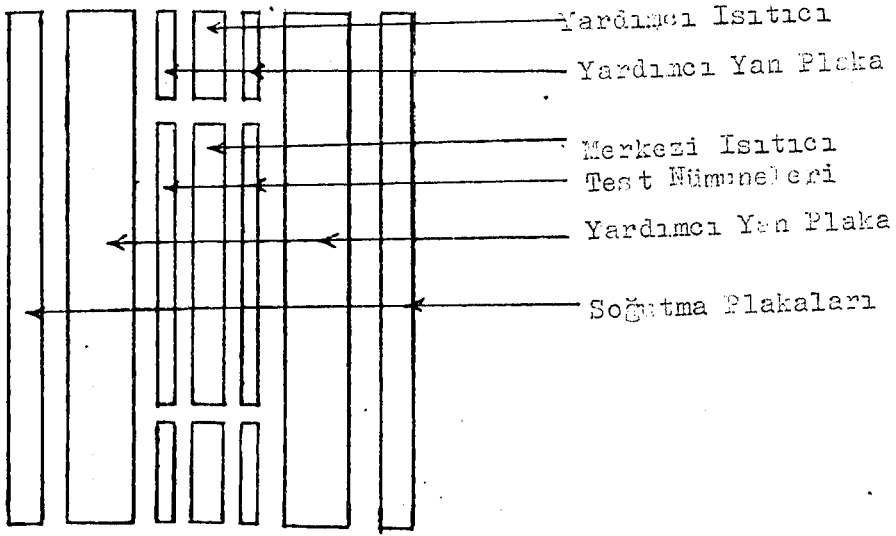
Mukayese metodunun avantajları; Nümuneden geçen ısı akışı kalorimetre

tarafından belirlenmez, kalibre edilen bir ısıtıcı veya bir kalorimetre ile ısıyı hasas bir şekilde belirlemeye gerek yoktur. Bu, yüksek sıcaklıklar için büyük bir avantajdır. Girişte ısının ölçülmesi daha zordur ve düşük sıcaklık kalorimetrelerinin kullanılması çok seyrek. Diğer bir avantajı; iki test parçası arasındaki doğrudan karşılaştırmanın yapılmasıdır. Bu aynı olan iki test parçasının veya malzemesinin kontrolü için de gerekebilir. En önemli avantajı; daha basit düzenek, daha basit ve daha kolay imal edilebilen test parçalarının kullanılabilir olmasıdır. Mukayese metodları genellikle kolay elde edilen veya üretilen prizmatik veya silindirik test parçalarına uygulanır. Bu metodun bir dezavantajı; standart malzemelerin kullanılmasına bağlı olmasıdır. Standart numunenin imali sırasında herhangi bir hata test sonuçlarını olumsuz yönde etkiler. Diğer bir dezavantajı; eşsıcaklık ölçümlerinin ve termokupul takılıp sökülmesinin zor olmasıdır.

3.1.6 Korunumlu çift plaka metodu [3]

Tek boyutlu ısı akısının sağlanması için ayrı korunumlu ısıtıcı temin etmek olağan ve pratiktir. Amerikan Mühendisler Odası tarafından geliştirilen ve kullanılan sistem korunumlu sıcak plaka (Guarded Hot Plate) metodudur. Bu metod yalıtkan, inşaat malzemeleri ve ısı iletkenliği 0.6 kcal/h'ten küçük olan malzemelerin ısı iletkenliğini belirlemek için kullanılır.

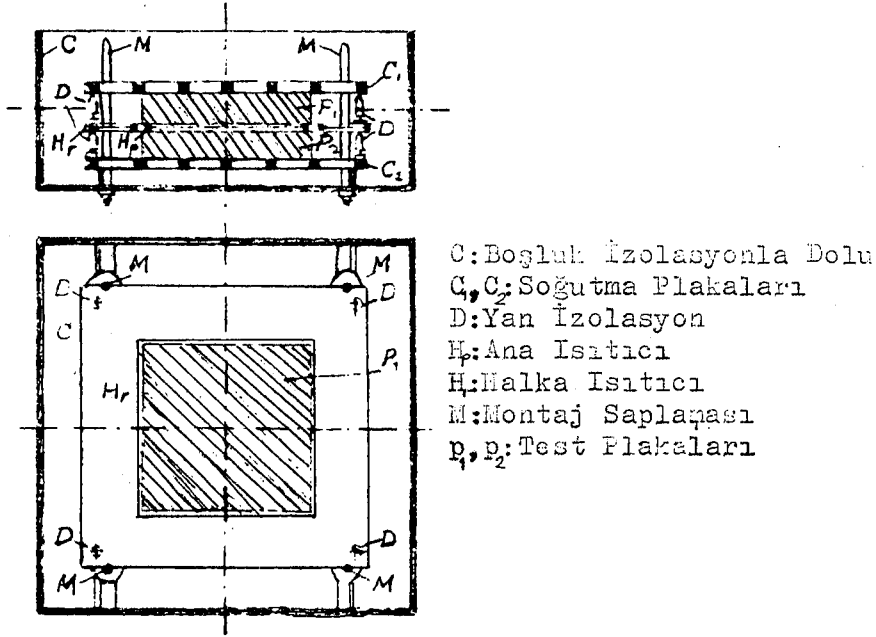
Bu metodda test şartları idealdeki gibi değildir. Örneğin; deneyde elde edilen ısı iletkenliği k , test sırasında kuru numunelerden elde edilen değerdir. Fakat, uygulamada boşluktaki nemin, ısı iletkenliği ölçümü üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Düz parçalar şeklindeki homojen malzemelerin ısı iletkenliği genellikle korunumlu sıcak levha metoduyla ölçülür. Şekil 3.9 korunumlu sıcak levhanın genel yapısını göstermektedir.



Şekil 3.9 Genel olarak sıcak plaka metodu [3].

İlk korunumlu sıcak plaka metodu dizaynı; Poensen (1912)'e aittir. Soğutucu ve ana ısıtıcı arasındaki boşluk yalıtım malzemesi ile doldurulur.

Amerikan Makina Mühendisleri Birliği tarafından kabul edilen setteki plaklar karedir fakat daire kesitli olanlar da uygundur [4]. Merkez veya ana ısıtıcı bölümleri, ısıtıcılar ve plakalardan oluşmuştur. Her bir ısıtıcıya gelen güç ayrı ayrı kontrol edilir. plakaların yüzeyleri korozyona dayanıklı malzemedir yapılır. Elektrik ileten metaller ve yüzeyleri düzgün olmalıdır.



Şekil 3.10 Çift plaka metodu [8].

Test seti parçaları periyodik olarak kontrol edilmelidir. Ana ısıtıcı ve yardımcı ısıtıcı ölçme yüzeyleri arasındaki maksimum hava boşluğu 3mm'dir. Test alanı plakaların merkez yüzeyi üzerindeki bir bölmenin diğer bölme merkezi üzerinden hesaplanır. Standart ana ısıtıcı ve ana plakanın boyutları EK-A'da tablo 3.1'de verilmiştir.

Ana ısıtıcı ile yardımcı ısıtıcı yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını okumak için her bir yüzeye en az iki termokupul ana ve yardımcı ısıtıcılar üzerine ayrı ayrı tesbit edilir. Ana ısıtma yüzeyinden test numunesine üniform bir ısı akısını elde etmek için bu iki yüzey arasındaki sıcaklık farkının sıfır olması sağlanır.

Numune yüzeylerindeki sıcaklık, sıcak ve soğuk yüzeyler arasında ayrı ayrı monte edilen termokupullarla ölçülür. Soğutma, su ile metal plakanın soğutulması suretiyle yapılır. Köşelerden ısı kaybını azaltmak için köşe izolasyonu uygun yalıtım malzemesi kullanılarak yapılır veya gevşek yalıtım malzemesi doldurularak gerçekleştirilir. İzolasyon kalınlığı; öyle olmalı ki, ısıl direnci ($R=1/k$) kenara doğru normal ısı akısı doğrultusunda olan numunenin ısıl direncinin en az iki katı kadar olmalıdır. Test sırasında ısıl dengeye ulaşıldıkça alınan veya okunan değerlerin doğruluk

oranı oldukça artar. Aynı iki test numunesinin kullanılması bir test prosesi boyunca iki adet numuneden değerlerin okunması ve bunların ortalaması alınarak kullanılması bir avantajdır.

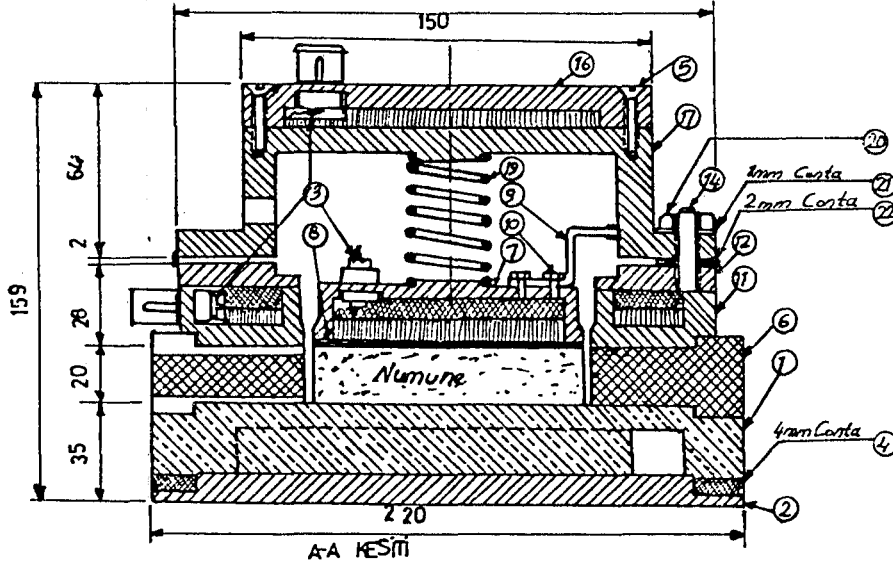
Koruyucu sıcak plaka düzeneği, bazı dezavantajlara sahiptir; nemli malzemeler için bu deney hasas sonuçlar vermez. Isı akışı sıcaklık farklarından meydana geldiğinden; sıcak ve soğuk kısımlar arasında meydana gelen buhar basıncı farkı sonucu, nem meydana gelir. Dolayısıyla ısı akışı dengeye ulaşmadıkça sıcak plakadan doğru bir değer almak mümkün değildir. Nem dağılımı ortadan kalkmadıkça istenen şartları sağlamak mümkün değildir. Nem dağılımını üniform olarak dağılımını yapmak ve ısı iletkenliğini her noktada üniform olarak saptamak mümkün değildir.

Topraklı test parçalarının boyut ve şekilleri için gerekli test plakasının imali zordur. Test zamanı çok uzun bazen dengeye ulaşmak için günlerce beklemek gerekir. Bu laboratuvar çalışması için ciddi bir problem olmamasına rağmen ticari amaç için bir dezavantajdır. Plaka ve test yüzeylerinin kafi derece temas etmemesi bu yöntemin diğer bir dezavantajıdır.

3.1.7 Korunumlu tek plaka metodu.

10 ile 13 cm arasındaki çapta olan katı diskler için diğer bir ölçme metodu Korunumlu Tek Plaka (Guarded Hot Single Plate) metodudur. Orjinal düzenek M.Jakob tarafından yapılmıştır [8]. Düzenek tek parça durumundaki plaka numune için uygundur. Sistem yüksek iletkenli bir ana ısıtma plakası, soğutma plakası ve halka ısıtıcı ile üst ısıtıcıdan oluşur. Şekil 3.11 Korunumlu tek plaka ölçme metodunu göstermektedir. Üç ısıtıcı ayrı ayrı çalıştırılır. Halka ısıtıcının görevi yanlardan olan ısı akışını önleyerek numunenin üniform ısıtılmasını sağlamaktır. Üst ısıtıcının görevi ana ısıtıcının tek yönde ısı akışını oluşturmasını sağlamaktır. Kenarlardan ısı kaybını azaltmak için tüm sistem

kapalı bir hacim içine yerleştirilip izole edilir. Halka ısıtıcı test parçasıyla doğrudan temasta olmayıp metal olmayan bir elemanla dış çapta temastadır. Halka ısıtıcı ile test parçası arasında gerçek yalıtkanlık görevi yapan bir hava boşluğu vardır. Her üç ısıtıcıya öyle güç uygulanmalı ki aralarında sıcaklık farkı oluşmasın.



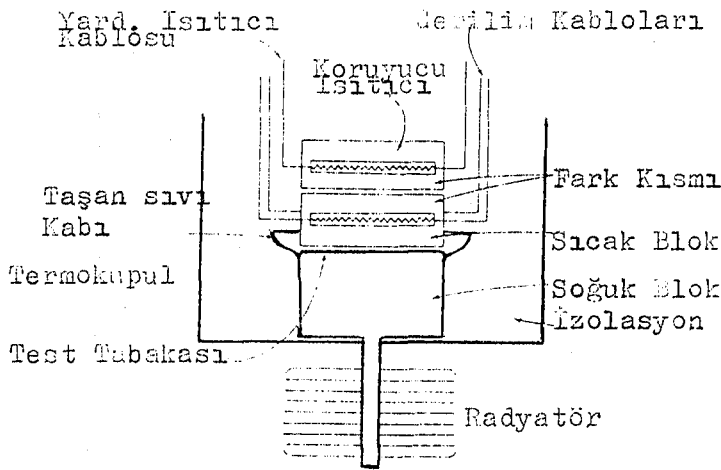
Şekil 3.11 Koruyucu tek plaka metodu [8].

Sıcaklığın ölçümü, ince termokupul teleri ile gerçekleştirilir. Yüzeysel sıcaklıkları test parçasının üzerinde veya plakalar üzerinde tesbit edilen termokupullarla ölçülür. Doğru bir ölçüm yapmak için, birçok termokupul seri olarak bağlanmalıdır. Tek plakalı test sistemi, çift plakalı test sistemine ek olarak şu avantajları vardır; daha küçük test parçaları kullanılabilir, malzeme tek parça olarak tek başına teste tabi tutulabilir. Bu metod, katı inşaat malzemeleri (beton, tuğla vs) testi için kullanılır.

Yüzeyler temasta olmadığından koruyucu ısıtıcılardaki sıcaklık değişimi küçük olduğundan dolayı test parçalarındaki izotermal hatlar bozulmaz. Kenarlardan olan kayıplar çok düşük olduğundan test parçası üzerindeki tesiri oldukça küçüktür. Deneyde test parçalarının değişimi basit olup fazla zaman almamaktadır. Ancak her üç ısıtıcının ayrı ayrı ayarlanmasının zorluğu ve güç kaynağının pahalı olması sistemin dezavantajlarındandır.

3.1.8 Sıvı ve gazların ısı iletkenliğini ölçme metodu.

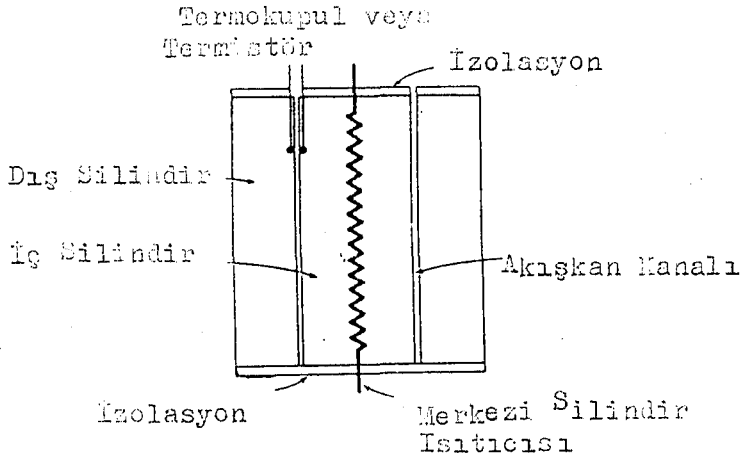
Kayes ve Higgins sıvıların ısı iletkenliğini ölçmek için korunumlu sıcak plaka metodunu kullanmışlardır [9]. Bu metod şekil 3.12’de şematik olarak verilmiştir. Levhaların çapı 5 cm ve sıvı tabakasının kalınlığı yaklaşık 0.05 cm’dir. Bu tabaka yeterli derecede ince olmalıdır ki; konveksiyon akımları minimuma indirilsin.



Şekil 3.12 Sıvıların ısı iletkenliği ölçümü için korunumlu plaka metodu [9].

Yine burada da görüleceği şekilde metod, ısı kondüksiyonu teorisine dayanmaktadır. Sıcak ve soğuk bölgeler oluşturulur, arasına yeterli incelikte bir sıvı tabakası teşekkül ettirilir. Sonra bu tabakadan ısı akısı geçirilerek her iki taraftaki sıcaklıklar ölçülür. Test elemanından geçen ısı akısı belli olduğundan sıcaklık farkı ve test elemanı ısı transfer yüzeyi de bellidir. Buradan ısı kondüksiyonu denklemi kullanılarak söz konusu malzemenin ısı iletkenliği tesbit edilir.

Şekil 3.13’te görüleceği gibi yarıkli bir set sıvıların ısı iletkenliğini ölçmek için kullanılabilir.

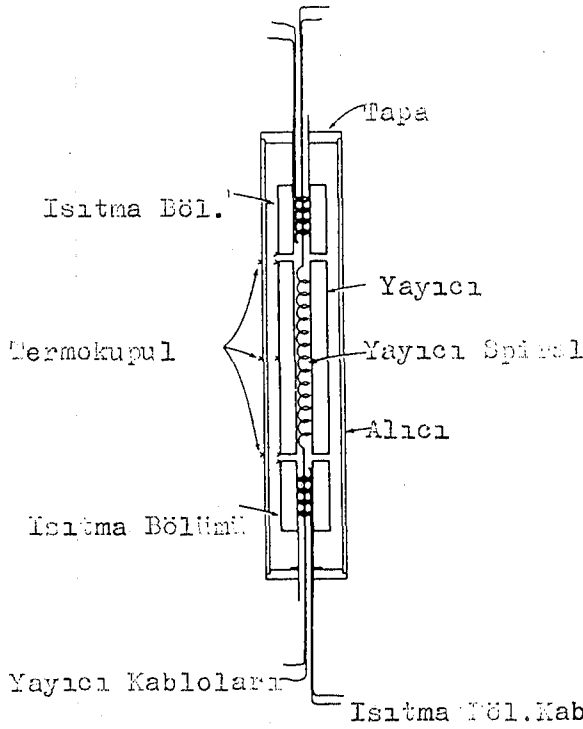


Şekil 3.13 Sıvıların ısı iletkenliğinin ölçümü için silindirik metod [9].

Bu test seti silindirik tipte olup radyal yöndeki ısı akısından faydalanılarak sıvının ısı iletim katsayısı tesbit edilir. Koruyucu tipteki metodda olduğu gibi burada da sıvı tabakasının kalınlığı konveksiyon akımlarını minimize edecek kalınlakta olması gerekmektedir. Burada prosesin esası; silindirik bir hacim ve ortasından elektrikli bir ısıtıcı vasıtasıyla ısı üretimi meydana getirilir. Bu hacmin etrafındaki yarıktaki bulunan sıvının içinden ısı akısı geçerek çevreye gider. Sıvı tabakası bir dış silindirle çevrili durumdadır. Üretilen ısı belli olduğundan test sıvısının her iki tarafındaki sıcaklıklar ölçülerek ve test sıvısı yüzeyi de hesaplanarak sıvının ısı iletkenliği tesbit edilir.

Silindirik bir test seti gazların ısı iletkenliğini ölçmek için geliştirilmiştir. Bu düzenek şekil 3.13'te gösterildiği gibidir. Keyes ve Sandell böyle bir cihazı su buharı, oksijen, nitrojen ve diğer gazların ısı iletkenliğini ölçmek için kullanmışlardır [9]. İç ve dış silindirlerin her ikisinde gümüşten yapılmış olup 5 inç uzunluğunda 1¹/₂ inç dış çapındadır. Gazlar için boşluk yeri 0.025 inç kalınlığındadır.

Vines yüksek sıcaklıktaki gazların ısı iletkenliğini ölçmek için faydalı bir cihaz geliştirmiştir. Bu düzenek Şekil 3.14'te gösterildiği gibidir [9].



Şekil 3.14 Yüksek sıcaklıkta gazların ısı iletkenliğini belirleme düzeneği [9]

Yayıcı bir ısı kaynağı gibi görev yapar. Her iki uçtaki ısı yerleri ise koruyucu ısıtıcı olarak görev yapar. Yayıcı (emitter) 6 mm dış çapında ve 50 mm uzunluğundadır. Bu durumda toplayıcı 10 mm iç çapında, 125 mm uzunluğunda ve 1 mm kalınlığındadır. Testlerin birçoğunda yayıcı ile toplayıcı arasında 5 ile 10 °C'lik bir sıcaklık farkı elde edilebilir. Isı transferi miktarı elektrik gücünü ölçmekle tesbit edilir [9].

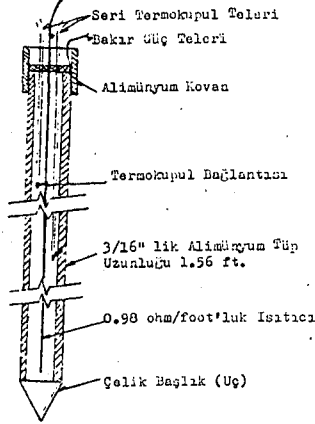
3.2 Geçici Rejimde ısı İletkenliğini Ölçme Metodu.

Bu metod ısıl difüzyon katsayısının saptanmasına bağlıdır. Maddenin yoğunluğu ve ısı kapasitesi bilindiği kabul edilir. Bu durumda k hesaplanabilir. Geçici rejimin faydası, rejime ulaşmaya ve ısı akısını ölçmeye ihtiyaç olmamasıdır. Ancak sistemde bazı nokta veya alanlarda sıcaklık değişimini zamanla kontrolünü yapmak güçtür. Bu sistemin zor tarafıdır.

Isı akısı bir ısı kaynağı ile gerçekleştirilir. Bu metod, sıvılar için kullanılan gücün

dikkate alınmasına dayanır. Ancak geliştirilen metod; bina yalıtımı, nemli toprak, diğer ve kuru katılara da uygulanabilir.

F.C Hooper ve F.R. Lepper, ısı iletkenlik uç adı verilen düzenekle ilgili bir gelişmeyi yayınlamışlardır [10]. Bu; alimünyum tüpten müteşekildir. Bu tüpün eksenleri elektrikli direnç telleri ile sabittir. Bu tellerin uzunluğu boyunca etrafı izole edilmiş ve alt ucuna kadar bir tüple çevrilmiştir. Bu tüp Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15 Tüplü ısı uç [10].

Elektrik akımı ısıtma telinden geçer ve bir sabit ısı kaynağını oluşturur. Sıcaklık artışları seri bağlanan termokupullarla ölçülür. Termokupul tel bağlantıları sabit olan telin yanına yapılır. Güç ve termokupul kabloları tüpün üst kenarındaki yalıtımın içinden alınır.

Çalışma prensibi; Fourier eşitliğine dayanır. Isı iletkenlik ucu sabit bir ısı kaynağına yaklaşır. Bu cisim iç sıcaklığı üniform ve homojen özelliktedir. Isı transferi prensibinden, cismin içindeki herhangi bir noktadaki sıcaklık; zaman, ısı iletkenliği gibi birçok değişkenin bir fonksiyonudur. Bu bağıntı silindirik koordinat sisteminde verilen Fourier ısı kondüksiyonu eşitliğidir. Yani;

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (3.12)$$

T: Sıcaklık. °C veya K.

t: Zaman, sn.

α : Isıl difüzyon, (k/ ρ .c).

k: Isı iletkenliği, kcal/h.°C.m.

C_p : Sabit basınçtaki özgül ısı, kcal/kg.°C.

ρ : Yoğunluk, kg/m³.

r: Kaynaktan olan radyal uzaklık, m.

Q: Birim uzunluk başına giriş ısısı, kcal/h.m.

Bu denklem kısmi olarak kaynaktaki sıcaklık için F.C.Hooper ve F.R.Lepper tarafından çözülmüştür. t_1 ve t_2 zaman aralığındaki sıcaklık yükselmesi ΔT aşağıdaki denklemlerle verilir [10];

$$\Delta T = \frac{Q}{4.\pi.k} . \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (3.13)$$

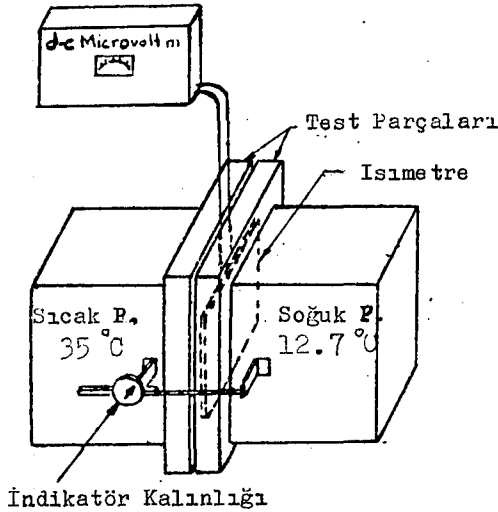
Sıcaklığın $\log_e t_2/t_1$ 'e göre çizimi; eğimi $Q/4.\pi.k$ olan bir doğruyu verir. Yukarıdaki denklemden görüldüğü gibi cismin bilinmeyen tek özelliği ısı iletkenliğidir. (3.13) denklemindeki diğer terimler deney sırasında ölçülebilen büyüklüklerdir.

Konik uç gerçek bir ısı kaynağı olmadığından cihazın belli olan çapının tesirini sonuçların düzeltilmesi için hesaba katılmalıdır. Daha doğru bir çalışma, ısı kaynağı yöntemiyle geçici rejimde sıcaklığın ölçülmesini içeren çalışma B.H Vos tarafından yapılmıştır. Prensipleri yukarıda anlatılan metodun aynısıdır [11].

Isı iletkenliğinin ısı uç kulanılarak ölçülmesinin başlıca avantajı; ölçme için daha az zamana (10-15 dk.) ihtiyaç duyulmasıdır. Termokupul devresi basit olup ısıl denge problemi mevcut değildir. Bu tür cihazlarla ıslak katıların ısı iletkenliğini ölçmek mümkün olmaktadır. Test parçası için özel geometrik şekle ihtiyaç yoktur. Aygıt küçük ölçülerde olup taşınabilir niteliktedir. Çalıştırma için fazla nitelikli elemana ihtiyaç göstermez.

Dezavantajları; Test parçası içindeki sıcaklık ve ısı transferi olayı tam olarak bilinmez Sıcaklık artışlarının zaman aralıklarında ölçülmesi doğru sonuçlar vermeyebilir. Teorik olarak, ısı kaynağı doğru olarak monte edilmemiştir. Cihaz Toronto Üniversitesinde geliştirilmiştir.

Şekil 3.16'da verilen düzenek David L.Lang tarafından geliştirilmiştir [12]. Yalıtım malzemesinin iki test parçası (aynı tip ve kalınlıkta) bir ısı akış metresinin her iki tarafına konur ve sonra sıcak ve soğuk plakaların yüzeyleri test parçaları ile çok yakında temas haline getirmek için ikisi birlikte alınır. Isı akışının çıkışı bir d.c mikro voltmetre ile



Şekil 3.16 Yalıtım malzemelerin ısı iletim katsayısı tesbiti için test cihazı [12].

okunur. Test parçalarının ısı iletkenliği bir sabit ile ısı akışmetresi çıkış mikrovoltu ve plakalar ile ısı akışmetre kalınlığı arasındaki mesafenin çarpımı sonucuna denktir. Isı akışmetresi plastik malzemenin her iki tarafına bağlanmış bir termokupuldan oluşur. Isı; akışmetre içinden aktığı zaman, akışmetre boyunca sıcaklık gradyanıyla orantılı bir emf meydana getirir. Bu da ısı akış oranıyla bağlantılıdır. Isı akışmetre aynı kalınlıkta olan polietilen koruyucunun içinden merkezinden kesilip alınan yere yerleştirilir. Yardımcı koruyucu iki test parçası arasındaki hava sirkülasyonunu önlemek için konur. Bu plakalar rijit malzemelerin testinde hava akımlarına karşı korur

Aparatın sabiti C, ısı iletim katsayısı bilinen bir melzemenin test setinde kalibre edilmesiyle bulunur. Aşağıda verilen bağıntı değişken ve ölçme sabitini içerir.

$$k=\Delta T/d=s.v, \quad s/\Delta T=C \text{ koyarak;}$$

$$k=C.v.d \quad (3.14)$$

Burada;

k: Test parçasının ısı iletkenliği, kcal/h.m.°C.

d: sıcak ve soğuk plaka arasındaki mesafe eksi ısı akışmetre uzunluğu, m.

v: Plakalar arasında verilen bir ΔT sıcaklık farkı için ısı akışmetrenin çıkışı

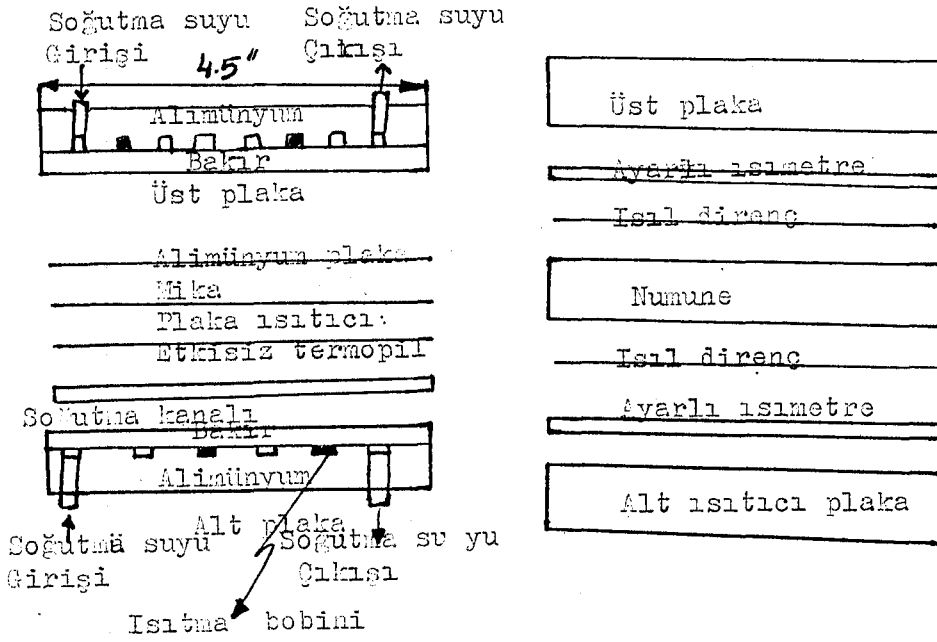
s: Isı akışmetrenin kalibrasyon sabiti

C: Sabit sıcaklıkta sıcak ve soğuk plakalarda verilen bir ΔT sıcaklığındaki sabit

Bu tip cihazlarda sıcak ve soğuk su plakaları 35 ve 12.7 °C sıcaklığında kontrol edilir. Plakalardaki suyu sirküle etmek için bir pompa kullanılır. Sirküle edilen suyun az bir kısmı, bir cıvalı sıcaklık ayarlayıcısı ile bir ısı değiştiricisinden by pass ettirilir.

Bu tip düzeneklerde, test zamanı 10 ile 20 dakika arasındadır. Soğutma bağlantıları, güç teminine ihtiyaç göstermez. Ve ne elle ne de otomatik koruyucu sıcaklık ayarı vardır. Tecrübeli çalıştırıcı veya bakımçıya ihtiyaç yoktur. Bunlar düzeneğin başlıca avantajlarıdır. Metodun belirli dezavantajları da vardır; Örneğin, sabit sıcaklıkta sıcak su sirkülasyonunu gerçekleştirme zorluğu vardır. Bu metod genellikle belirli yalıtım malzemelerine uygulanabilir.

J.T.Gier ve R.V.Duncle; oda sıcaklığında katıların ısı iletkenliğinin hızlı tesbit edilmesi için ucuz bir düzenek geliştirmişlerdir [13]. Bu metod, sıcak ve soğuk plakalar arasına yerleştirilen test parçası içinden ısı akısının tersi olarak tanımlanır. Plakaların sıcaklıkları ayarlanır, böylece test parçasının bir yüzeyindeki sıcaklık oda sıcaklığının üstüne, diğer parçanın sıcaklığını da oda sıcaklığının altına getirilir.



Şekil 3.17 Oda sıcaklığında ısı iletkenliği ölçümü için test düzeneği şeması [13]

Test parçası üzerindeki sıcaklık farkı aralığı, test parçası alt kenarlarının ve üst kenarlarının çevre havası ile soğutulmasını sağlar. Bu yöntem kenarlardan kaybolan ısıyı, üst kenarlardan kazanılan ısıya eşit olmasını sağlar. Şekil 3.17 şematik olarak bu düzeneği göstermektedir. Sıcak plakanın sıcaklığı, ısıtma serpantini etrafındaki soğutma kanalı aracılığıyla ayarlanır.

Isı kaynağı kenarlarında koruyucu olarak havanın kullanılması test parçası yüzeyleri içinde izotermilerin oluşumunu engeler. Bu da bir avantajdır. Isıtma serpantininin etrafında soğutma kanalı kullanılması sıcak levhada farklı sıcaklık hatlarının meydana gelmesine neden olur. Bu yüzden plaka yüzeyindeki üniform sıcaklık bozulur. Bu da sistemin bir dezavantajıdır. Sıcak plakanın düzgün olmayan sıcaklığını ortadan kaldırmak için plakanın malzemesi yüksek iletkenli yeterli kalınlıkta olmalıdır. Sıcaklık

ayarlayıcısı olarak başka ince bir plakanın kullanılması başka bir çözüm yöntemidir. Düzeneğin avantajı; test için kısa zaman gerektirmesi, koruyucu ısıtıcı ayarlarının ortadan kaldırılmasıdır.

4. TEK VE ÇİFT PLAKA METODLARI TANITIMI VE AÇIKLANMASI.

4.1 Tek Plaka Metodunun tanıtılması ve Açıklanması.

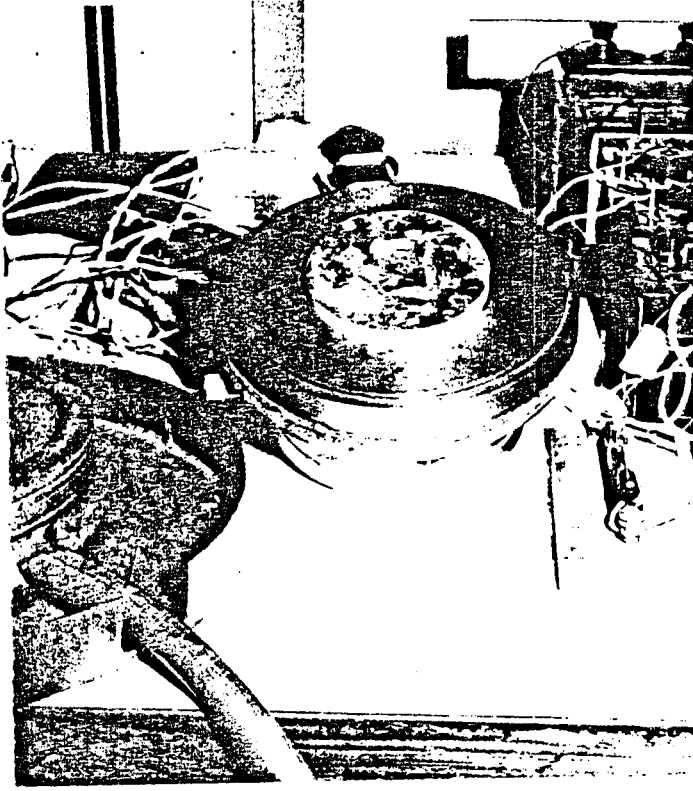
Çeşitli yapı ve yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği değişik metodlarla ölçülür. Önceki bölümde bu metodların tanıtımı, avantaj ve dezavantajları açıklandı. Bu metodlardan değişik sebeplerden ötürü tek plaka sistemi dizaynına karar verildi ve dizayn projesi yapıldı.

Bu tip düzenekler, beton, tuğla, kireçli beton, kumlu beton (deniz kumu), tuğla ve katı çimento gibi yapı malzemeleri için daha iyi sonuçlar verir. Bu malzemelerin ısı iletkenliği 0.4-2.0 kcal/h.m.⁰C arasında değişir. Ancak koruyucu sıcak plaka metodu ısı iletkenliği 0.6 kcal/h.m.⁰C'den küçük olan malzemeler için oldukça iyi neticeler verdiği için bu tür malzemelere uygulanması daha uygundur. 10 cm. çapında disk şeklindeki bir test parçası, birçok yapı malzemesi için kolaylıkla üretilebilir. Aynı malzemedeki iki ayrı test parçasının ısı iletkenliği, bir test parçasından diğerine olan ısı iletkenliği değişimini görmek için tek plaka düzeneği kullanılarak ölçülebilir. Test parçalarını düzeneğe yerleştirmek kolay ve pratiktir. Koruyucu ısıtıcı altındaki test numunesi genleşmez, böylece test parçasındaki izotermaller (eşsıcaklık hatları) kolaylıkla bozulmazlar. Düzenek küçük ölçülerde olup laboratuvar çalışmaları için uygundur.

4.1.1 Düzeneğin tanıtımı.

Düzenek bir ana ısıtıcı, bir koruyucu ısıtıcı, bir üst ısıtıcı, ve bir soğutucudan oluşur. Isıtma yüzeyi; test parçasının yüzeyi üzerinde üniform bir ısı dağılımı elde etmek için bakırdan yapılır. Diğer iki ısıtıcı dökme demirden yapılır. Soğutma plakası pirinçten yapılır ve su ile soğutulur. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 bu düzeneği göstermektedir. Her üç

ısıtıcı ayrıktır. Ve elektriki olarak birbirinden izole edilirler.

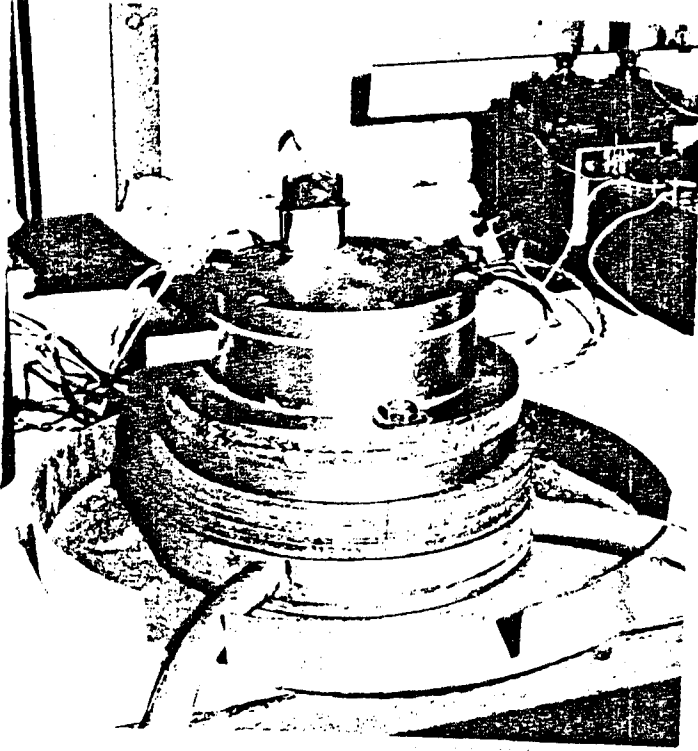


Şekil 4.1 Ana ve yardımcı ısıtıcılar (Üstten görünüş) [3].

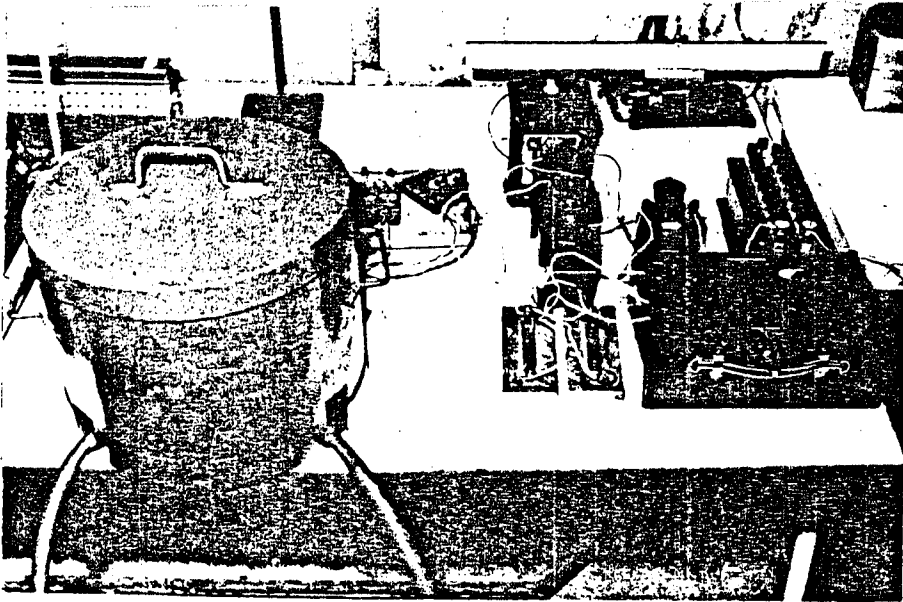
Test parçası çevresindeki halka duraliten yapılıdır. Isı iletkenliği, test parçasının ısı iletkenliğine eşit veya daha düşük olan farklı kalınlıktaki diğer bir malzemeden yapılabilir. Koruyucu ısıtıcı üst ısıtıcıya, üç civata ve somun ile monte edilir. Test parçasını düzeneğe yerleştirmek için somunları gevşetmeye gerek yoktur. Koruyucu ısıtıcı, üst ısıtıcı ve soğutucuların yüzeyleri düzlemseldir. Isıtma alanı üzerinde eşit sıcaklık elde etmek için ana ısıtıcı üzerinde 3 mm'lik bir bakır plaka kullanılır. Test parçası üzerinde ısıtma plakası baskısını elde etmek için ana ve üst ısıtıcılar arasında bir yay kullanılmıştır. Yay, elektriki olarak her iki ucundan izole edilmiştir. Test parçası üzerindeki ısıtma alanını merkezlemek için, ana ısıtıcı üzerinde üç adet koruyucu ısıtıcı kullanılır. Koruyucularda elektriki olarak her iki ucundan izole edilmiştir. Komple asamble kapalı bir hacim içine konulur. Ve hacmin etrafından olan ısı kaybını azaltmak için kenarlar izole edilir (Şekil 4.4'e bak.).



Şekil 4.2 Soğutucu, halka ve termokupullar [3].



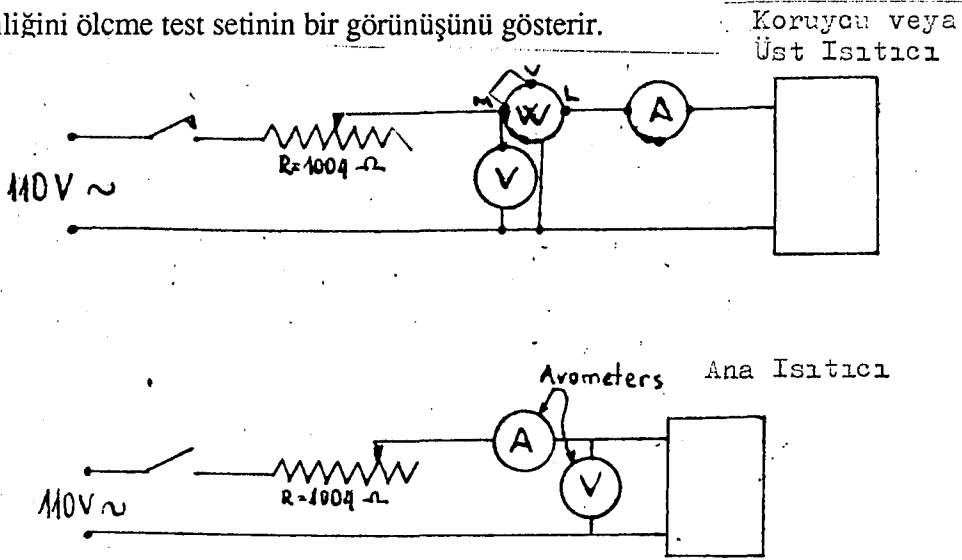
Şekil 4.3 Tek plaka düzeneğinin asamblesi [3]



Şekil 4.4 Düzeneğın kapalı hacmi ve sıcaklık ölçme sistemi [3].

4.1.2 Isıtıcıların hazırlanması.

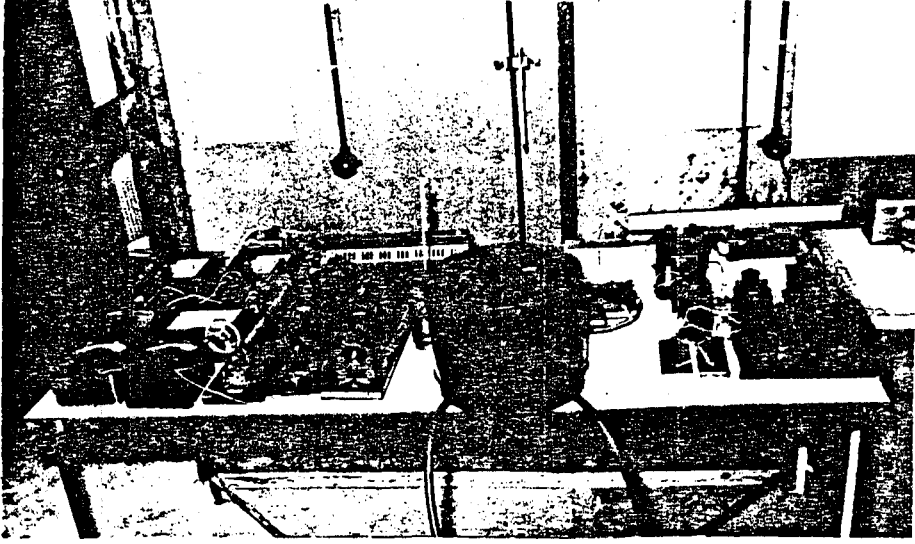
Isıtıcılarda Krom-Nikel tel kullanılır. Tel düzenli olarak 3 mm kalınlığında bir mika üzerine 3 mm aralıklı olarak kıvrılır. Isıtıcıların kapasitesi EK-A'da tablo 4.1'de verilmiştir. Isıtıcıların gücünü ayarlamak için reosta kullanılır. Şekil 4.5 güç devresi diagramını ve şekil 4.6 ise güç ölçme düzeneğini göstermektedir. Şekil 4.7 Isı iletkenliğini ölçme test setinin bir görünüşünü gösterir.



Şekil 4.5 Güç devresi diagramı [3].



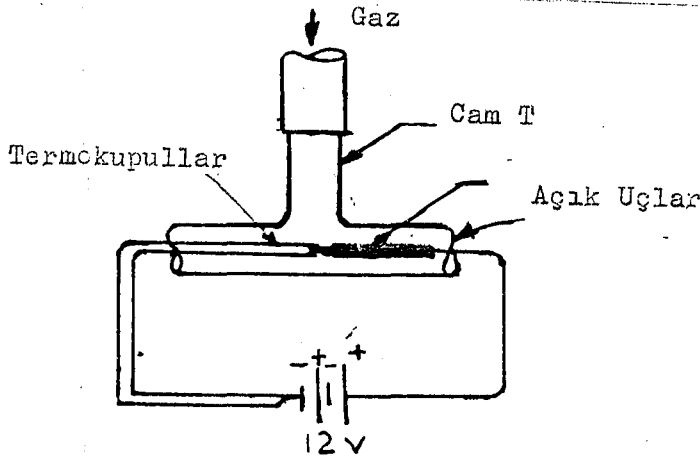
Şekil 4.6 Güç ölçme düzeneği [3].



Şekil 4.7 Isı iletkenliğini ölçme test düzeneğinden bir görünüş [3].

4.1.3 Termokupulları hazırlama ve sıcaklığı ölçme.

Bu tip düzeneklerde sıcaklık ölçümü bakırdan yapılmış sabit termokupul teli ile ölçülür. Termokupul bağlantıları, bağlantı yerlerinde tel uçlarının eritilmesi ile yapılır. Şekil 4.8 bu tip ölçme için termokupul telinin bağlantısının yapılması tekniğini gösterir.

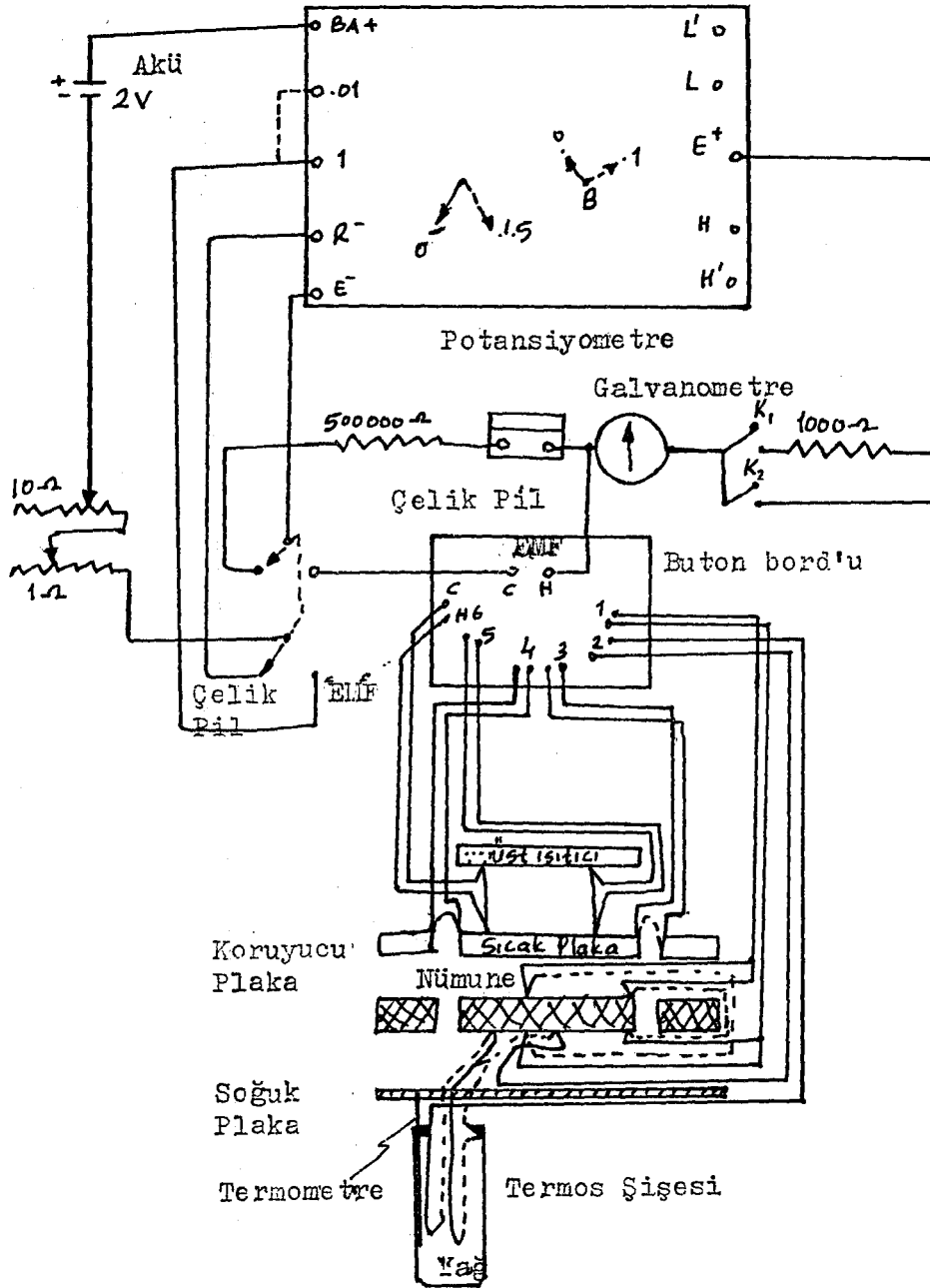


Şekil 4.8 Termokupul telerini bağlama tekniği [3].

Termokupul telerini kulanmadan önce kalibresi yapılır. Ana ısıtıcı ile koruyucu ve üst ısıtıcılar arasında olmak üzere iki ayrı farklı bağlantı yapılır. Bu termokupullar bakırdan olup yüzeyler üzerinde tutturulur. Bakırdan yapılan diğer uçlar bir sıcaklık ölçme panosuna bağlanır.

Test parçasının yüzey sıcaklıkları bakırlı termokupul teli ile ölçülür. İki termokupul test parçasının sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklık farkını vermek üzere ayrı ayrı paralel olarak bağlanır.(İki tesirli elektromotor kuvveti için seri olarak da bağlanabilir). Test parçasının soğuk yüzeyindeki sıcaklığı ölçmek için iki termokupul seri olarak bağlanır.Soğuk bağlantılar için bir termos şişesinde yağ kullanılır.(Test sırasında yağ oda sıcaklığında olduğundan, tam olarak sıcak bağlantı mevcuttur).

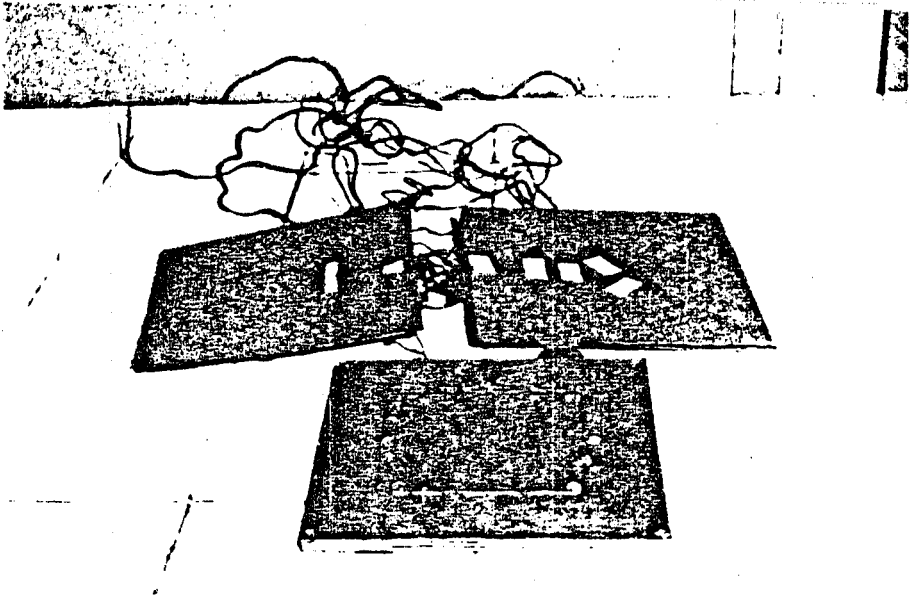
Yüzeyde termokupul telleri mürekkep kurutma kağıdı ile test parçası arasına yerleştirilir. Termokupulların devre diagramı Şekil 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.9 Termokupul devre diagramı [3].

4.2 Çift Plaka Düzeneği Açıklaması.

Düzenek; bir ana ısıtıcı, bir yardımcı ısıtıcı ve iki soğutma ünitesinden oluşur. Ana ve yardımcı ısıtıcılar her iki tarafta 3 mm'lik bakır plakalardan yapılır. Şekil 4.10 çift plaka düzeneğini gösterir. Ana ısıtıcı plakaları yardımcı ısıtıcı plakalarından 3 mm'lik hava boşluğu ile ayrılır. Her iki ısıtıcı plaka elektriki olarak izole edilir.



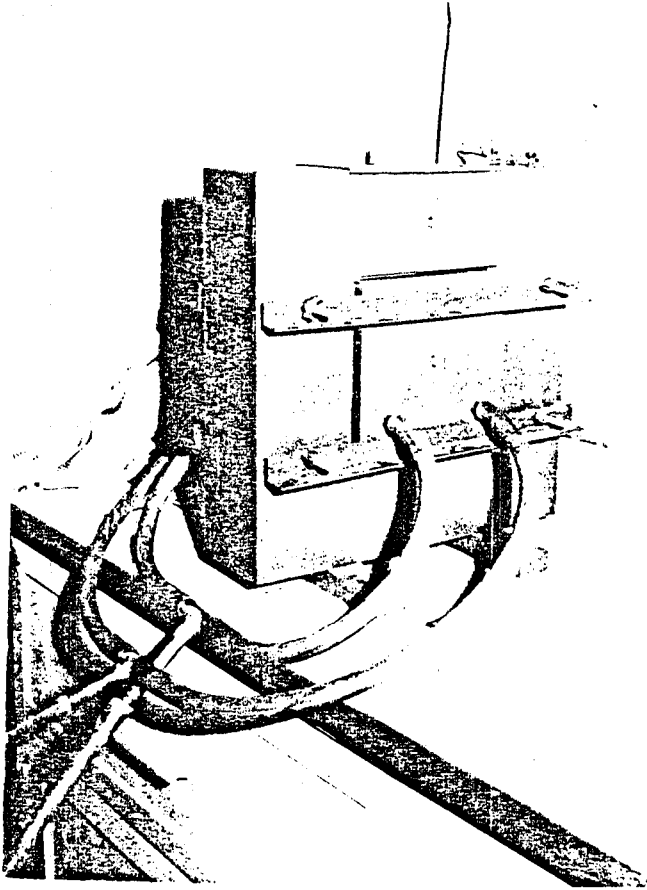
Şekil 4.10 Çift plaka düzeneğinde ısıtıcı ve termokupullar [3].

Soğutma üniteleri bakır levhalardan yapılır ve soğutma su ile yapılır Şekil 4.11 soğutma plakasını gösterir.



Şekil 4.11 Çift plaka düzeneğinde soğutucular [3].

Isıtıcılar test parçaları arasına ve soğutucular test parçalarının diğer taraflarına yerleştirilir. Soğutucular test kutusu içine yerleştirilir. Kutunun kenarlarından olan ısı kaçağını azaltmak için kenarlara izolasyon yapılır. Dört taraftan bağlayıcılarla sıkıca ısıtıcı ve soğutucular birbirine bağlanır. Şekil 4.12 Çift plaka düzeneğini gösterir.

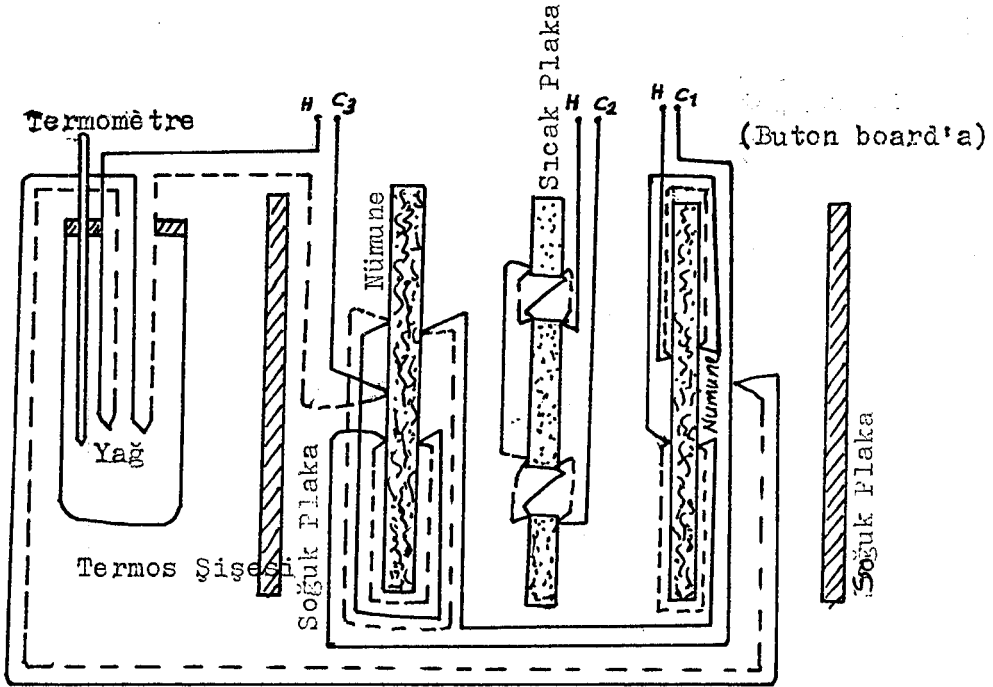


Şekil 4.12 Korunumlu çift plaka düzeneği [3].

Isıtıcılar; her iki ısıtıcı için krom-nikel tel kullanılır ve tek plakalı düzeneğe olduğu şekilde hazırlanır. Isıtıcıların kapasitesi EK-A'da tablo 4.2'de verilmiştir. Aynı güç ve sıcaklık ölçümü cihazları bu düzeneğe için de kullanılabilir.

Sıcaklık ölçümü için bakırdan yapılmış termokupular kullanılır. Ana ve yardımcı plakalar arasındaki sıcaklık farkını göstermek üzere dört adet termokupul (her tarafta iki adet) ayrı ayrı ve seri olarak bağlanır. Test parçalarının yüzey sıcaklıkları her bir test

parçası için ayrı ayrı ve seri olarak bağlanan iki adet bakırdan yapılmış termokupul teli ile ölçülür. Bağlantı bir parça mürekkep kağıdı ile ısıtıcı ve soğutucu yüzeyler arasında yerleştirilir. Termokupul bağlantıları şeki 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 Çift plaka düzeneği için termokupul bağlantıları [3].

4.3 Korunumlu Tek Veya Çift Plaka Test Düzeneği İçin Kullanılan Yardımcı Cihazlar.

Hem tek plakalı düzenek hem de çift plakalı düzenek için aşağıdaki elemanlar güç ve sıcaklık ölçümü için kullanılır.

4.3.1 Güç ölçme elemanları.

1 Adet transformatör.

Tip: V.E. Pr.110V,Sec. 220 V 1kVA, 0.45A, 50 cycle.

2 Adet Üniversal AVO-Meter.

Tip: 8. MKII.

2 Adet A.C Wattmeter, 1 Watt bölme aralıklı.

Hasasiyeti; 75 Watt.

1 Adet Ayarlanabilen Voltmetre.

Bölme aralığı 0.1-5 Volt, Ölçme aralığı 0-300 Volt.

1 Adet Ayarlanabilen Ampermetre.

Hasasiyeti 0.005-0.05 Amper, Ölçme Aralığı 0-5 Amper.

3 Adet Reosta.

Tip: S.E. 1004 Ω , 1 Amper.

4.3.2 Sıcaklık ölçme elemanları.

1 Adet Potansiyometre.

Hasasiyeti; 0.01 mV.

1 Adet Galvanometre (Işıklı eleman).

1 Adet Standart Pil.

Tip: D-402 VA, 1.0136 Volt.

1 Adet Akümülatör.

Tip: CZ64, 40 Ah, 20 saat oranlı.

1 Adet Rezistans (Direnç), 1000 Ω .

1 Adet Ayarlanabilen Direnç.

Tip: A-6-B, D-10 Ω , 0.75 Amper.

1 Adet Ayarlanabilen Direnç.

Tip: A-6-C, 0-100 Ω , 0.25 Amper.

1 Adet Civalı Termometre.

Ölçme Kapasitesi; -20 ile 10 $^{\circ}\text{C}$ arası. Hasasiyeti; 0.2 $^{\circ}\text{C}$.

1 Adet Termos Şişesi.

1 Adet Buton (switch) Ekranı, 6 Adet Terminal.

4.3.3 Diğer yardımcı elemanlar.

1 Adet Balans.

Kapasitesi; 5 kg., Hasasiyeti; 0.001 kg.

1 Adet Basiccator.

5.NÜMUNE VE TEST PARÇLARININ HAZIRLANMASI, HESABI VE HATANIN ANALİZİ.

Isı iletkenliğinin ölçülmesi amacıyla laboratuvara gönderilen bir malzemenin numune haline getirilmesi gerekir. Boyutları, test setinde verilen numunenin boyutlarına uygun olması gerekir.

Numuneler; imalatı yapılan malzemenin bütün özellikleri yansıtacak nitelikte olması gerekir. Test numunesinin yüzeyi bir zımpara kağıdı ile mümkün olduğu kadar düzleştirilmelidir. Test parçaları tartılır. Ve sonra içindeki nem çıkıncaya kadar 110 $^{\circ}\text{C}$ ye kadar ısıtılır. 10 cm çapındaki disk oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kaydedilen ağırlık kuru ağırlığı bulmak ve malzemenin testinde kaybedilen yoğunluğu bulmak için kullanılır. Ayrıca numunenin fiziksel boyutlarına da ihtiyaç vardır.

Beton döküldükten sonra donmaya bırakılır. Daha sonra kurutulur ve kurutulan

numune teste tabi tutulur.

Kurulamadan sonra test parçasının yoğunluğu, test parçasından alınan nem ve test sırasında tekrar alınan nem aşağıda verilen formülere göre hesaplanır.

$$D = \frac{A}{B} \quad (5.1)$$

$$M = \frac{C-A}{B} \quad (5.2)$$

$$R = \frac{(G-F) \cdot A}{F} \cdot \frac{1}{B} \quad (5.3)$$

D: Numunenin kurumadan sonraki yoğunluğu; gr/cm³.

M: Nümuneden alınan nem; gr/cm³.

R: Test sırasında kazanılan nem; gr/cm³.

A: Test öncesi kurumadan sonraki test parçası ağırlığı; gr.

B: Kurumadan sonraki nümunenin hacmi; cm³.

C: Kurutulmadan önceki (ham) nümunenin ağırlığı; gr.

F: Test öncesi nümunenin ağırlığı; gr.

G: Test sonrası nümuneye ağırlığı; gr.

Test nümuneleri hazırlandıktan sonra, düzenekteki yerlerine konur. Ana ısıtıcıya elektrik verilerek güç beslemesi yapılır ve nümunenin sıcak ve soğuk yüzeyleri arasında gerekli sıcaklık farkını oluşturmak için güç ayarı yapılır. Test süresi zarfında güç miktarı artı veya eksi %1 limiti içinde sabit tutulmalıdır. Test parçası üzerinde sıcaklık farkı öyle ayarlanmalı ki; 20 °C'nin altına düşmesin. Koruyucu ve üst ısıtıcılara verilen elektrik enerjisi öyle ayarlanmalı ki; ana ile koruyucu ve üst ısıtıcılar arasındaki sıcaklık farkı test süresi boyunca minimum olsun. Soğuk plakadaki sıcaklık test süresince sabit tutulmalıdır

Sürekli rejime ulaştıktan sonra teste 4 saat daha devam edilir ve her saate bir okuma değerleri alınır.

Isı iletkenliği aşağıdaki denklemden yararlanılarak hesaplanır;

$$K = \frac{0.86 \times P \cdot L}{A \cdot \Delta T} \quad (\text{Tek Plaka İçin}) \quad (5.4)$$

$$K = \frac{0.86 \times P \cdot L}{2 \cdot A \cdot \Delta T} \quad (\text{Çift Plaka İçin}) \quad (5.5)$$

k: Malzemenin ısı iletkenliği; kcal/hm⁰C.

0.86: Elektrik enerjisinin eşdeğer ısı değeri; 1 Watt.=0.86 kcal/h.

P: Ana ısıtıcının gücü; Watt.

L: Test parçasının kalınlığı; m.

A: Test parçasının ısıtılan yüzeyi; m².

ΔT: Test parçasının iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı; ⁰C.

Test sırasında elde olmayan sebeplerden ötürü birçok hatalar meydana gelmektedir. Bu hataların hesabı aşağıdaki gibi olacaktır;

Tek plakalı düzenek için Ana ısıtıcının gücü;

$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi \quad (5.6)$$

P: Ana ısıtıcının gücü; Watt.

V: Potansiyel farkı; Volt.

I: Akım; Amper.

Cosφ: Ana ısıtıcının güç faktörü; 0.999.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{Isıtılan test parçasının alanı} \quad (5.7)$$

D: Test parçasının çapı; m.

(5.6) ve (5.7) denklemleri (5.4) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$k = \frac{1.09388 \times V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi}{D^2 \cdot (T_2 - T_1)} \quad (5.8)$$

V, I, L, D ve (T₂-T₁) değerleri ölçmeyle elde edildiğinden insan faktörü, cihaz faktörü dikkate alındığı zaman, hataların meydana geleceği açıktır. Bu ölçmeler sırasında aşağıdaki değişimlerin olduğu dikkate alınsın. Bu değişimler; dV, dI, dL, dD ve

$d(T_2-T_1)$ 'dir. Bu değişimlere karşılık ısı iletim katsayısındaki değişim de dk olacaktır. Bu değişimi yaklaşık olarak bulabilmek için k 'nın tam diferansiyelini almak yeterlidir. Bağımsız değişkenlerdeki ($V, I, L, D, (T_2-T_1)$) relatif hata; $dV/V, dI/I, dL/L, dD/D,$ ve $d(T_2-T_1)/(T_2-T_1)$ ile gösterilebilir.

k fonksiyonundaki relatif hata yaklaşık olarak dk/k olarak yazılabilir. k 'nın tam diferansiyeli aşağıdaki gibidir;

$$dk = \frac{\partial k}{\partial V}dV + \frac{\partial k}{\partial I}dI + \frac{\partial k}{\partial L}dL + \frac{\partial k}{\partial D}dD + \frac{\partial k}{\partial (T_2-T_1)}d(T_2-T_1)$$

$$dk = \frac{C.I.L}{D^2.(T_2-T_1)}dV + \frac{C.I.V}{D^2.(T_2-T_1)}dI + \frac{C.V.I}{D^2.(T_2-T_1)}dL +$$

$$\frac{2.C.V.I.L.D}{D^3.(T_2-T_1)}dD + \frac{2.C.V.I.L.D}{D^2.(T_2-T_1)}d(T_2-T_1)$$

Burada; $C=1.09388$ dir. Ve relatif hata,

$$\frac{dk}{k} = \frac{dV}{V} + \frac{dI}{I} + \frac{dL}{L} + \frac{2.dD}{D} + \frac{2.d(T_2-T_1)}{(T_2-T_1)} \quad (5.9)$$

Bağımsız değişkenlerdeki maksimum hatalar aşağıdaki gibi tesbit edilmiştir.

$$dV/V=0.0015$$

$$dI/I=0.0010$$

$$dD/D=0.0005$$

$$dL/L=0.0025$$

$$d(T_2-T_1)/(T_2-T_1)=0.0004 \quad \text{Bu durumda } k \text{ 'da olabilecek maksimum hata;}$$

$$dk/k=0.0015+0.0010+0.0005.2+0.0025+0.0004.2$$

$$=+ \text{ veya } - 0.0068$$

$$=\%0.68$$

Yukarıda bulunan maksimum hata çift plakalı düzenekte ölçülen ısı iletim katsayısı için de geçerlidir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.

Bu çalışmada; katı, sıvı ve gaz maddelerin ısı iletkenliği teorisi üzerinde durularak mikro düzeyde inceleme yapılarak, gerekli bağıntılar verilmiş ve bu maddelerin ısı iletkenliğinin ölçülmesi için yoğun olarak kullanılan test metodları tanıtılmıştır. Bu metodların avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Bütün test metodlarının Fourier ısı iletim kanununa dayandığı görülmektedir. Bu kanun esas alınarak başka metodların geliştirilmesi mümkündür.

Daha sonra yapı ve yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının ölçülmesi için kullanılan Korunumlu Tek ve Çift Plaka Metodları tanıtıldı ve Tek Plaka Metoduna dayananan Laboratuvar tipi test düzeneği tasarımı çalışması yapıldı. Söz konusu çalışma Ek-B'de verilmiştir.

Deney düzeneklerinin doğruluğunu kontrol etmek için, ısı iletim katsayısı bilinen malzemenin düzenekte yeniden test edilerek ısı iletim katsayısı ölçülür ve orjinal ısı iletim katsayısı değeri ile karşılaştırılır. Düzeneği doğru şekilde kurmak alınacak sonuçlar açısından önemlidir. Ayrıca malzemenin ısı iletim katsayısını farklı deney düzeneklerinde ölçmek alınacak sonucun tam doğru olmasını sağlar.

Yapılan deneysel çalışmalarda; farklı ebattaki kum tanelerinden imal edilen betonun ısı iletkenliği ölçümünde kum tanelerinin küçülmesiyle ısı iletim katsayısının daha düşük olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca kum tanelerinin küçülmesi betonun yoğunluğunu da düşürür.

Isı iletkenliği üzerinde değişik faktörlerin tesiri problemin daha da karmaşık hal

almasına sebep olur. Yoğunluk, sıcaklık, nem ve gözeneklilik ana faktörlerdir. Nemi kontrol etmek mümkündür dolayısıyla yoğunluk ta kontrol edilebilir. Gözeneklerin şekli ve büyüklüğü de yapı ve inşaat malzemeleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Geçici rejimde ısı iletkenliğini ölçmek ideal olmasına rağmen, uygulamada karşılaşılan zorluklar dolayısıyla sürekli rejimde ısı iletkenliğini tesbit etmek daha uygun olmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Bird, R.B, Stewart, W.E.and Ughtfoot, E.N; Transport Phenomena, John Wiley and Sons.
2. Jakob; Max."Heat Transfer" Vol.I, 1949 John Wiley and Sons Inc., New York.
3. Kökyar, Ö.; İnşaat ve yalıtkan malzemelerin ısı iletkenliği (tezi), ODTÜ, Ankara.
4. American Society of Testing Materials Method of Test for Thermal Conductivity by means of The Guarded Hot Plate, (C177-45) 1957 p5 p328.
5. Bassett, C.R and Pritchard, M.D.W; Environmental Physics, Heating.
6. McELROY, D.L.and Moorl, J.P., Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, Tennessee, USA.
7. Kingery, W.D.; Accurate Method for Determination of Thermal Conductivity of Insulation Solids, Univ. of Wisconsin-College of Eng. Experiment Station Report n5 9p, Feb. 1956
8. Jakob, Max. and Hawkins, George, A; Elements of Heat Transfer and Insulation c 1950 2nd ed John Wiley and Sons Inc. New York, Chapman and Hall Limited, London.
9. Holman, J.P; Experimental Method for Engineer.
10. Hooper, F.C, Lepper, F.R; Transient Heat Flow Aparatus for Determination of Thermal Conductivity, Heating Piping and Air Conditioning V22 n8 p129-35 Aug.1950.
11. Vos, B.H; Measurement of Thermal Conductivity by Non-Steady State Method Applied Sci, Research Section A V5 n6 p425-38, 1956.
12. Lang, D.L.; Quick Thermal Conductivity Test on Insulating Materials, Am. Soc. Testing Matls-Bul. n216 p58-60, Sep. 1956
13. Gier, J.T, Dunkle, R.V, Bevans, J.T; Thermal Conductivity Apparatus for Operation Near Room Temperature, Refrg. Eng. V66 n3 p39-42, Mar. 1958.

**EK-A TABLO.2.1.MALZEME BİLEŞİMİNE G BETONUN
ISI İLETKENLİĞİ**

MALZEME CİNSİ	ISI İLETKENLİĞİ 20 °C'de kcal/h	BETONUN ISI İLETK. GERÇEK BETONUN N K.
Gevşek çakıltası	0.475	2.18
Çakıltalı beton	1.04	2.18
Slag	0.223	2
Slag beton	0.372-0.445	2
Pumic	0.149	2.2
Pumic beton	0.372	2.2
Testere talaşı	0.089	2
Testere talaşı betonu	0.178	2

EK-A TABLO.2.2:DÜŞÜK YOĞUNLUKTAKİ GAZLARIN TRANSFER ÖZELİKLERİ.

K.T/ε	Ωμ,k	Ωp	K.T/ε	Ωμ,k	Ωp
0.3000	2.7850	2.6620	2.5000	1.0930	0.9996
0.3500	2.6280	2.4760	2.6000	1.0810	0.9878
0.4000	2.4920	2.3180	2.7000	1.0690	0.9770
0.4500	2.3680	2.1840	2.8000	1.0580	0.9672
0.5000	2.2570	2.0660	2.9000	1.0480	0.9576
0.5500	2.1560	1.9660	3.0000	1.0390	0.9490
0.6000	2.0650	1.8770	3.1000	1.0300	0.9406
0.6500	1.9820	1.7980	3.2000	1.0220	0.9328
0.7000	1.9080	1.7290	3.3000	1.0140	0.9256
0.7500	1.8410	1.6670	3.4000	1.0070	0.9186
0.8000	1.7800	1.6120	3.5000	0.9999	0.9120
0.8500	1.7050	1.5620	3.6000	0.9932	0.9058
0.9000	1.6750	1.5170	3.7000	0.9870	0.8998
0.9500	1.6290	1.4760	3.8000	0.9811	0.8942
1.0000	1.5870	1.4390	3.9000	0.9755	0.8888
1.0500	1.5490	1.4060	4.0000	0.9700	0.8836
1.1000	1.5140	1.3750	4.1000	0.9649	0.8788
1.1500	1.4820	1.3460	4.2000	0.9600	0.8740
1.2000	1.4520	1.3200	4.3000	0.9553	0.8694
1.2500	1.4240	1.2960	4.4000	0.9507	0.8652
1.3000	1.3990	1.2730	4.5000	0.9464	0.8610
1.3500	1.3750	1.2530	4.6000	0.9422	0.8568
1.4000	1.3530	1.2330	4.7000	0.9382	0.8530
1.4500	1.3330	1.2150	4.8000	0.9343	0.8492
1.5000	1.3140	1.1980	4.9000	0.9305	0.8456
1.5500	1.2960	1.1820	5.0000	0.9269	0.8422
1.6000	1.2790	1.1670	6.0000	0.8963	0.8124
1.6500	1.2640	1.1530	7.0000	0.8727	0.7896
1.7000	1.2480	1.1400	8.0000	0.8538	0.7712
1.7500	1.2340	1.1280	9.0000	0.8379	0.7556
1.8000	1.2210	1.1160	10.0000	0.8242	0.7424
1.8500	1.2090	1.1050	20.0000	0.7432	0.6640
1.9000	1.1970	1.0940	30.0000	0.7005	0.6232
1.9500	1.1860	1.0840	40.0000	0.6718	0.5960
2.0000	1.1750	1.0750	50.0000	0.6504	0.5756
2.1000	1.1560	1.0570	60.0000	0.6335	0.5596
2.2000	1.1380	1.0410	70.0000	0.6194	0.5464
2.3000	1.1220	1.0260	80.0000	0.6076	0.5352
2.4000	1.1070	1.0120	90.0000	0.5973	0.5256
			100.0000	0.5882	0.5170

**EK-A TABLO.2.3. ATMOSFERİK BASINÇTA GAZLAR İÇİN
GÖZLENEN $C_{p,\mu/k}$ DEĞERLERİ**

GAZ	T(K)	$C_{p,\mu/k}$ Denk.	$C_{p,\mu,k}$ 'dan $C_{p,\mu/k}$
Ne	273.20	0.67	0.66
Ar	273.20	0.67	0.67
H ₂	90.60	0.68	0.68
	273.20	0.73	0.70
	273.20	0.74	0.65
N ₂	273.20	0.74	0.73
O ₂	273.20	0.74	0.74
Hava	273.20	0.74	0.73
CO	273.20	0.74	0.76
NO	273.20	0.74	0.77
C ₁₂	273.20	0.76	0.76
H ₂ O	373.20	0.77	0.94
	673.20	0.78	0.90
CO ₂	273.20	0.78	0.78
SO ₂	273.20	0.79	0.86
NH ₃	273.20	0.77	0.85
C ₂ H ₄	273.20	0.80	0.80
C ₂ H ₆	273.20	0.83	0.77
CHCl ₃	273.20	0.86	0.78
CCl ₄	273.20	0.89	0.81

**EK-A TABLO 2.4. MOLEKÜLER ARASI KUVVET PARAMETRELERİ .
VE KRİTİK ÖZELLİKLER**

MADDE Ağır elem.	MOLEKÜLERARASI Parametresi			Kritik Sabitler				kc
	AGIR. M	σ	ϵ/κ	Tc	Pc	Vc	μ_c	
H ₂	2.06	2.915	38	33.3	12.8	65	34.7	
He	4.003	2.576	10.2	5.26	2.26	57.8	25.4	
Soy Gazlar.								
Ne	20.183	2.789	35.7	44.5	26.9	41.7	156	79.2
Ar	39.944	3.418	124	151	48	75.2	264	71
Kr	83.8	3.498	225	209.4	54.3	92.2	396	49.4
Xe	131.3	4.055	229	289.8	58	118.8	490	40.2
Poly.At.M								
Hava	28.97	3.617	97	132	36.4	86.6	193	90.8
N ₂	28.02	3.681	91.5	126.2	33.5	90.1	180	86.8
O ₂	32	3.433	113	154.4	49.7	74.4	250	105.3
O ₃	48			268	67	89.4		
CO	28.01	3.59	110	133	34.5	93.1	190	86.5
CO ₂	44.01	3.996	190	304.2	72.9	94	343	122
NO	30.01	3.47	119	180	64	57	258	118.2
N ₂ O	44.02	3.879	220	309.7	71.7	96.3	332	131
SO ₂	64.07	4.29	252	430.7	77.8	122	411	98.6
F ₂	38	3.653	112					
Cl ₂	70.91	4.115	357	417	76.1	124	420	97
Br ₂	159.83	4.268	520	584	102	144		
I ₂	253.82	4.982	550	800				
Hidrokarb.								
CH ₄	16.04	3.822	137	190.7	45.8	99.3	159	158
C ₂ H ₂	26.04	4.221	185	309.5	61.6	113	237	
CH ₆	28.05	4.232	205	282.4	50	124	215	
CH ₈	30.07	4.418	230	305.4	48.2	148	210	203
n-C ₄ H ₁₀	42.08			365	45.5	181	233	
i-C ₄ H ₁₀	44.09	5.061	254	370	42	200	228	
n-C ₅ H ₁₂	58.12			425.2	37.5	255	239	
n-C ₆ H ₁₄	58.12	5.341	313	408.1	36	263	239	
n-C ₇ H ₁₆	72.15	5.769	345	469.8	33.3	311	238	
n-C ₈ H ₁₈	86.17	5.909	413	507.9	29.9	368	248	
n-C ₉ H ₂₀	100.2			540.2	27	426	254	
C ₂ H ₄	114.22	7.451	320	569.4	24.6	485	259	
CH	128.25			595	22.5	543	265	
Cyclohex.	84.16	6.093	324	553	40	308	284	
C ₆ H ₆	78.11	5.27	440	562.6	48.6	260	312	
Diğ. Org B								
CH ₄	16.04	3.822	137	190.7	45.8	99.3	159	158
CH ₃ Cl	50.49	3.375	855	416.3	65.9	143	338	
CH ₂ Cl ₂	84.94	4.759	406	510	60			
CHCl ₃	119.39	5.43	327	54.24	240	410		
CCl ₄	153.84	5.881	327	556.4	45	276	413	
C ₂ N ₂	52.04	4.38	339	400	59			
COS	60.08	4.13	335	378	61			
CS ₂	76.14	4.438	488	552	78	170	404	

EK-A TABLO.3.1 ISITICI PLAKA BOYUTLARI.

EST PARÇASININ MA' ANA ISITICI PLAKANIN MİNİMUM BOYUTLARI

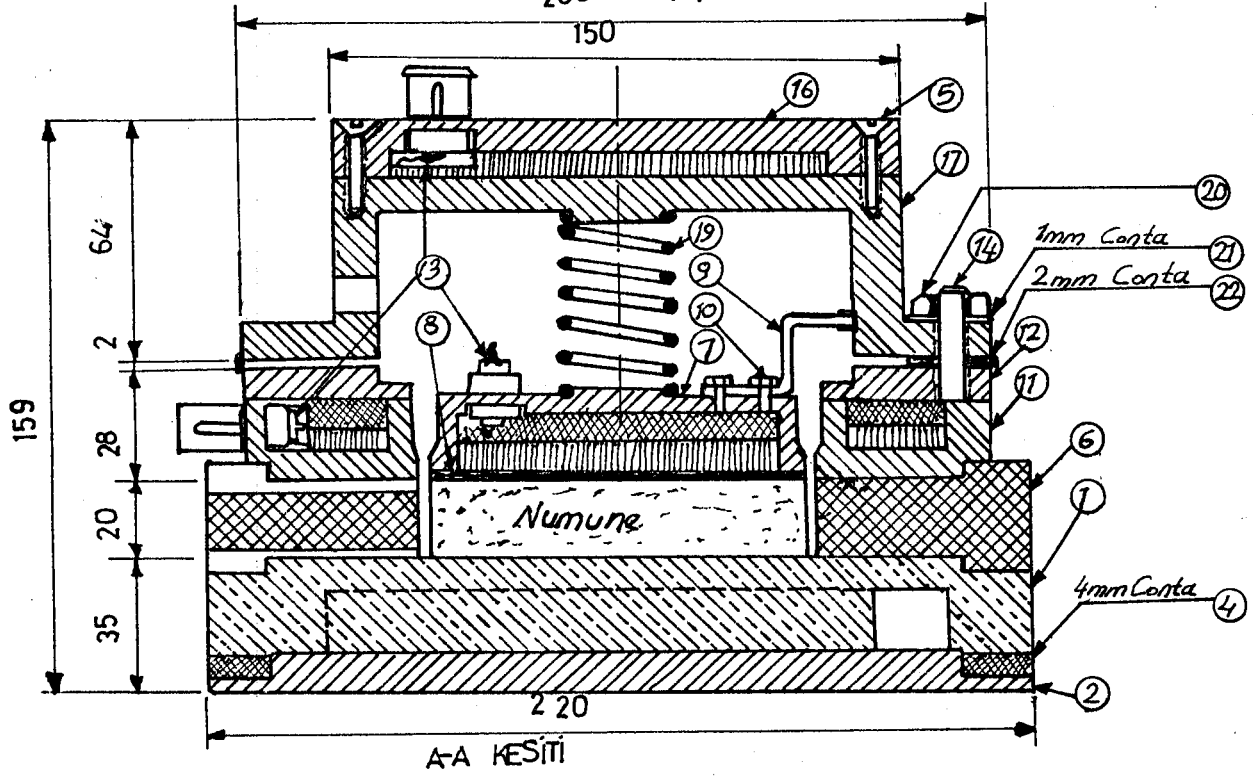
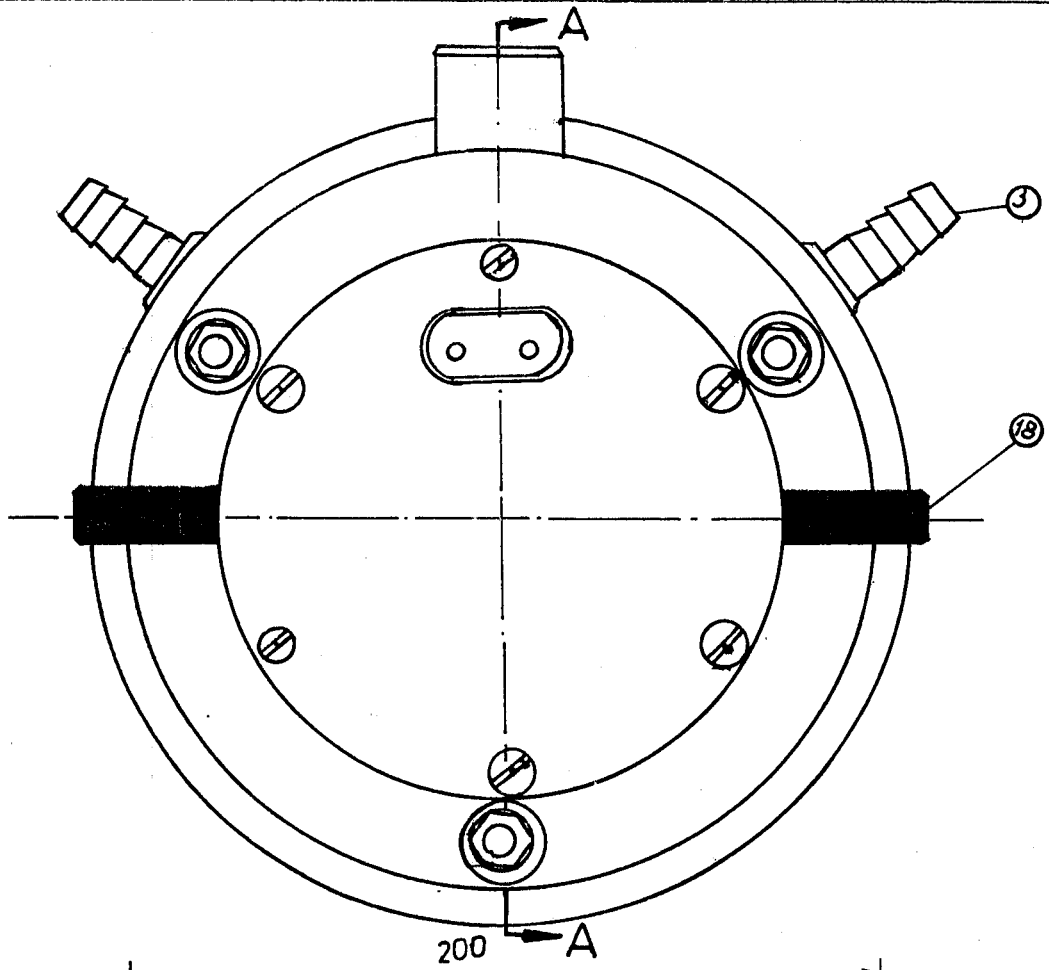
KALINLIĞI İNÇ	KARE VEYA DAİRE MERKEZİ BÖLÜM	KESİTLİ İNÇ ANA BÖLÜM
1	4	1 1/2
1 1/2	8	2 1/4
2	12	3
4	12	6

EK-A TABLO 4.1 ISITICILARIN BOYUTLARI

ISITICILAR	ÇAP	UZUNLUK DİRENÇ		MAX.	MAX.	MAX.
	mm	m	Ω	Volt	Amper	VA
Ana Isıtıcı	0.16	4.3	240	220	0.92	202
Koruyucu Isıtıcı	0.27	6	118.8	220	1.85	400
Üst Isıtıcı	0.27	6	118.8	220	1.85	400

EK-A TABLO 4.2 ÇİFT PLAKA ISITICI BOYUTLARI



ISITICILAR	ÇAP mm	UZUNLUK m	DİRENÇ Ω	MAX. Volt	MAX. Amper	MAX. AV
Ana Isıtıcı	0.16	3.05	170	160	0.92	147
Yardımcı Isıtıcı	0.16	7	390	220	0.57	125

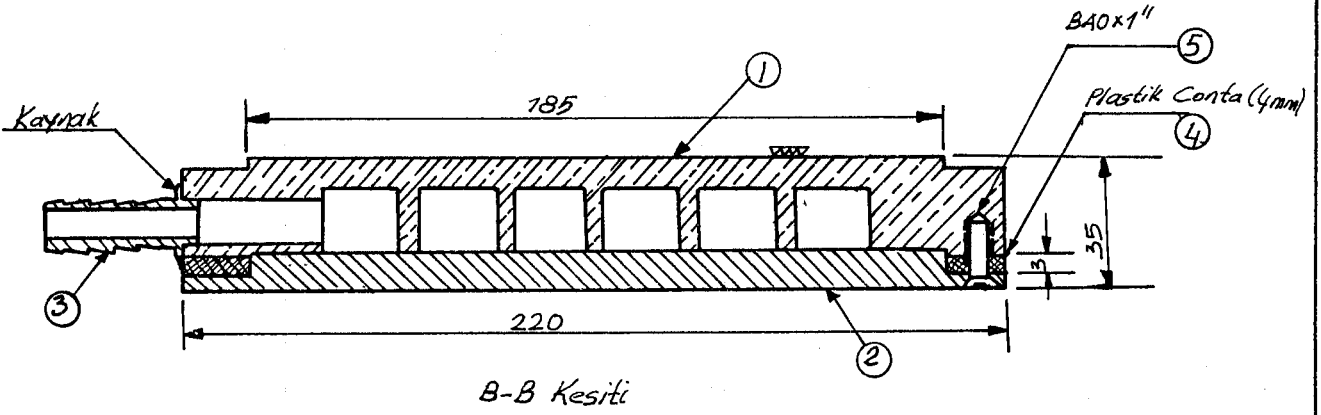
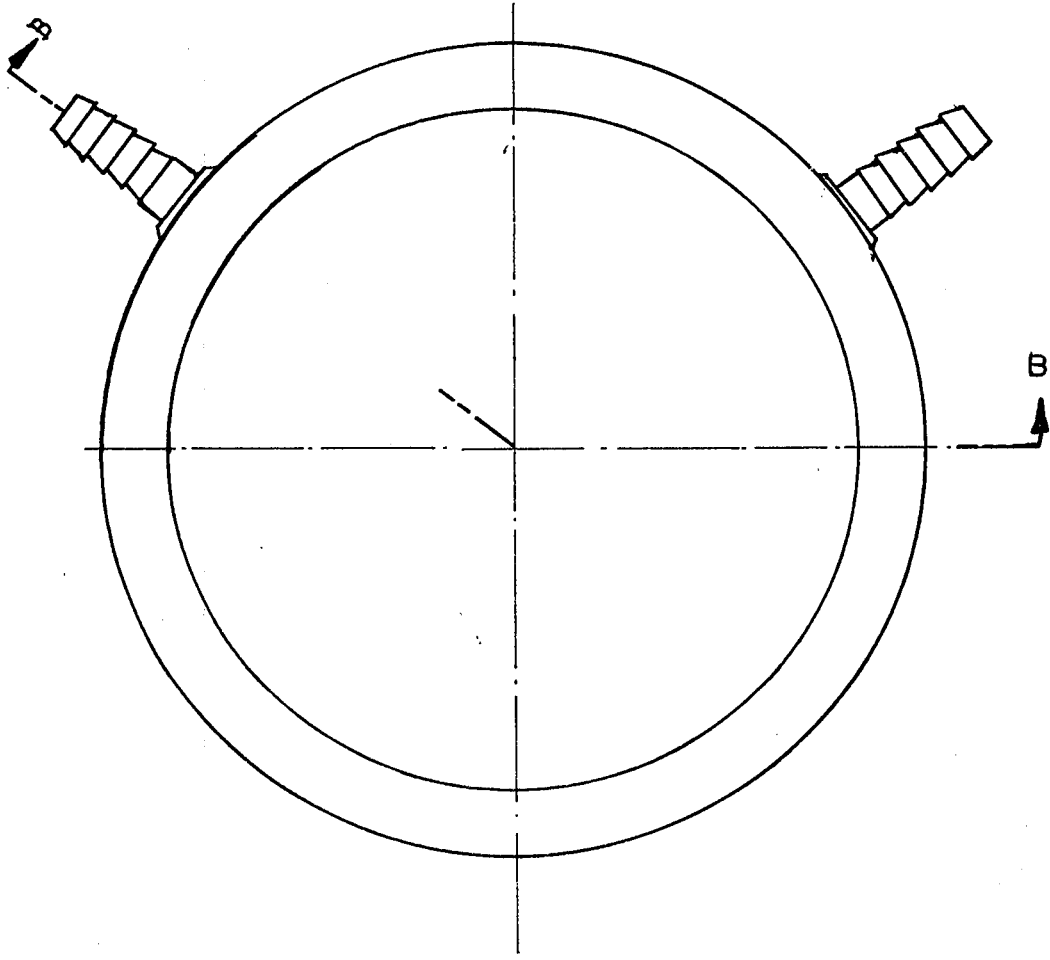


Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti:	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen : A. SAV		1	Alt asamble işareti:	
Kontrol K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: Tek Plaka Isı İletkenliği Ölçme Cihazı			Parça No: Asamble I Sayfa 1

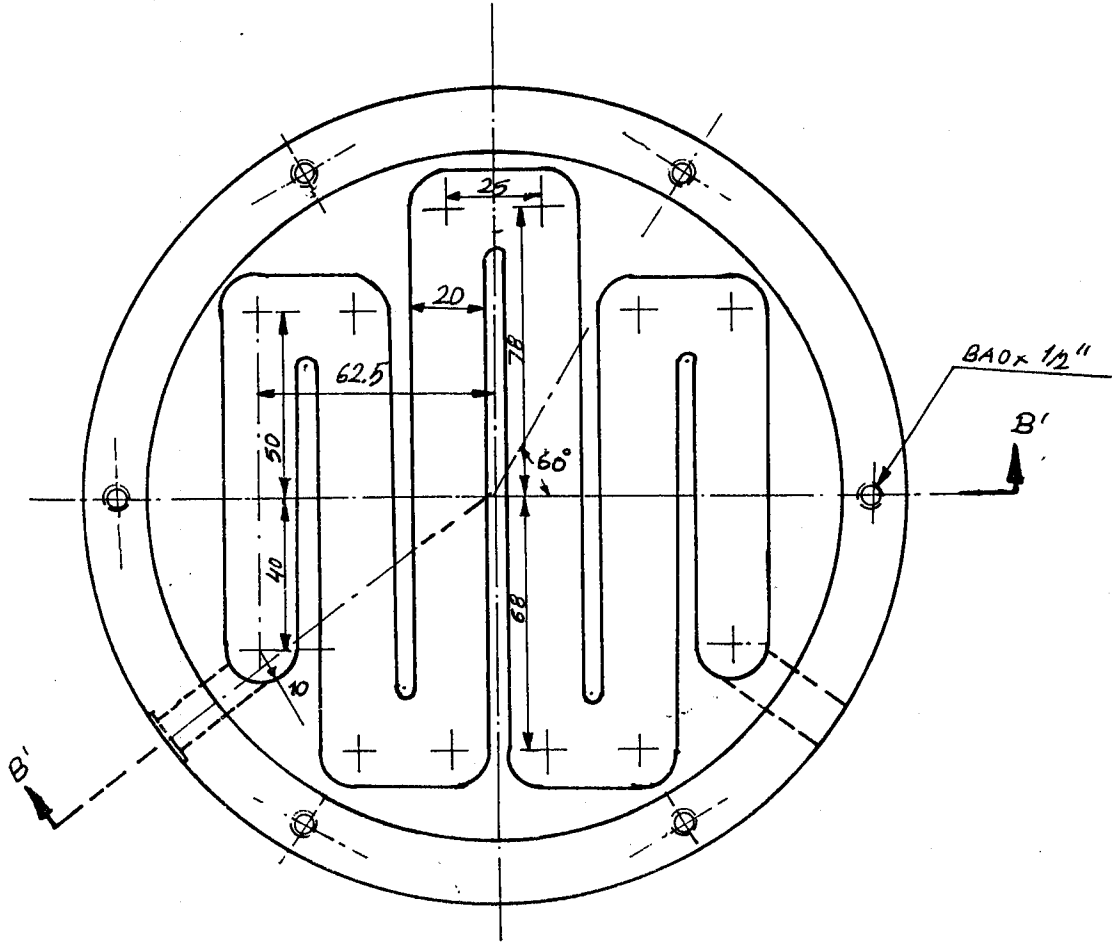
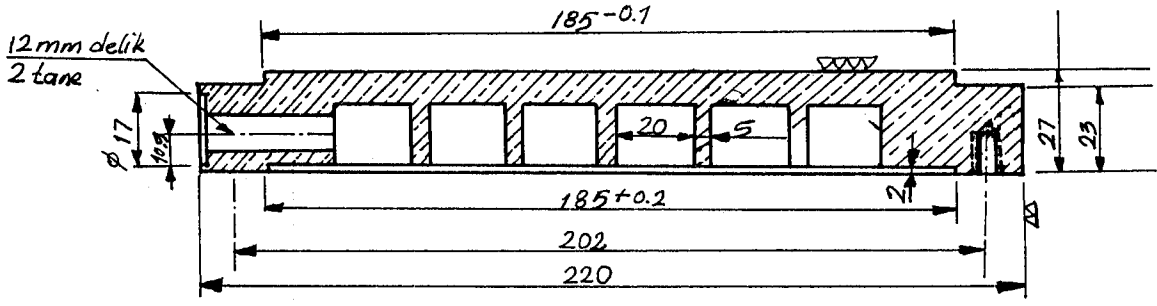
Not: Isıtıcılar için; mika, asbestos ve Cr-Ni teller kullanıbl.

23	17	1	Kutu (2mm'lik çelik levhadan)	Çelik Plaka
22	1	3	Conta (Gasket) (2mm)	Plastik
21	1	3	Conta (Gasket) (1mm)	Plastik
20	1	3	6 başlı (Hegzogan) Somun 3/8"	Çelik
19	16	1	Kompresyon Yayı 3x30x70 5RC=244mm	Çelik
18	16	2	E/ Tutamağı	Çelik
17	15	1	Üst Isıtıcı Yatağı	Dökme Demir
16	14	1	Üst Isıtıcı	Dökme Demir
15	9	6	Düz konik başlı Vida BA2x 1/2"	Çelik
14	9	3	Saplama 3/8"x25mm	Çelik
13	12	3	Erkek Tapa (Satın Alınan)	
12	11	1	Yardımcı Isıtıcı levhası	Dökme Demir
11	10	1	Yardımcı Isıtıcı (Koruma Plakası)	Dökme Demir
10	6	6	Silindirik Başlı Vida BA4x1/2"	Çelik
9	8	3	Klavuz	Çelik
8	8	1	Ana Isıtıcı levhası (3mm)	Bakır
7	7	1	Ana Isıtıcı	Dökme Demir
6	5	1	Halka (5mm'lik plakadan imal)	Duralit
5	1-2-13	12	Düz konik başlı Vida BA0x1"	Çelik
4	2	1	Conta (4mm)	Plastik
3	4	2	Su Nipeli (Haar Alınan)	Pirinç
2	4	1	Söğütücü Oturma Plakası	Dökme Demir
1	3	1	Söğütme Plakası	Bronz
PARÇA NO	SAYFA NO	GEREKLI MIKTAR	PARÇA ADI VE AÇIKLAMA	MALZEMESİ

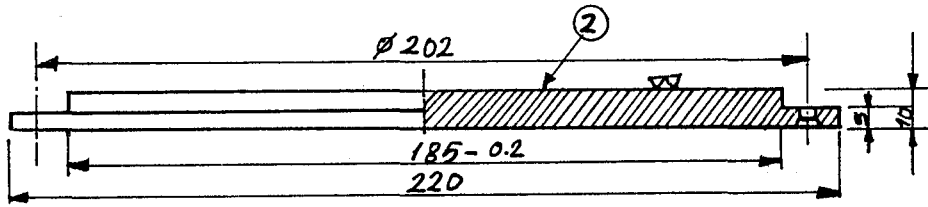
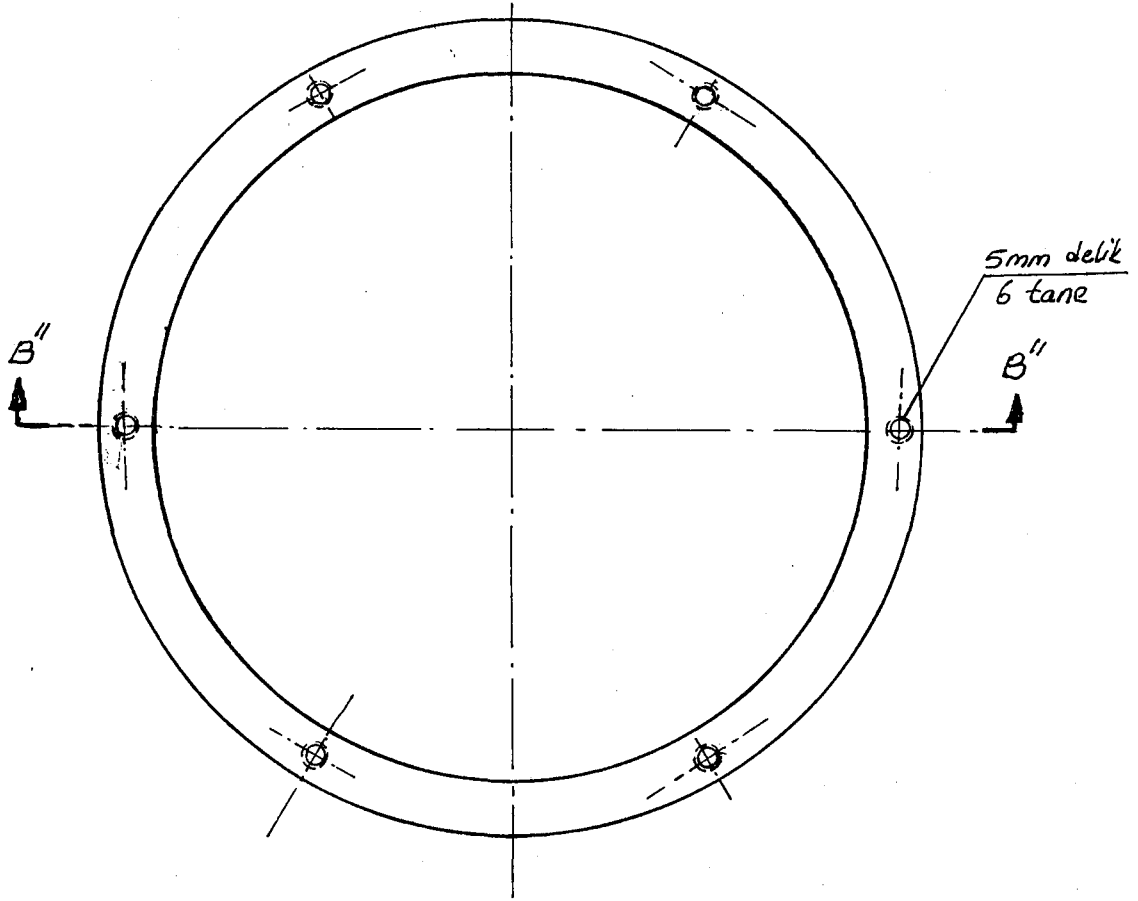
Dizayn: A. SAV 	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti:	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV 			Alt asamble işareti:	
Kontrol: K. TANER				
Ölçek:	Parçanın Adı: PARÇA LİSTESİ			Parça No:
				Sayfa: 10



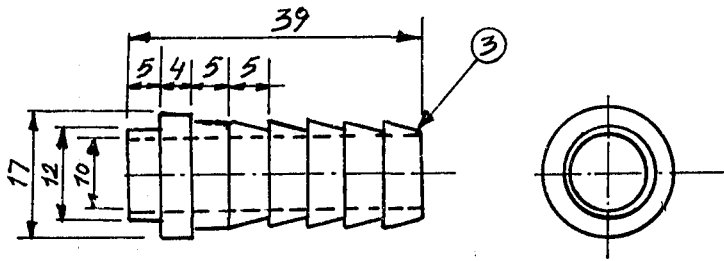
Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen : A. SAV		1	Alt asamble işareti:	
Kontrol: K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: SOĞUTMA ÜNİTESİ			Parça No: Alt Asamble A/1-2-3-4-5 Sayfa: 2



Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	Bronz	1	Alt asamble işareti: A	
Kontrol K. TANER	Parçanın Adı: SOĞUTMA LEVHASI		Parça No: 1 Sayfa No: 3	
Ölçek: 1/2 mm				

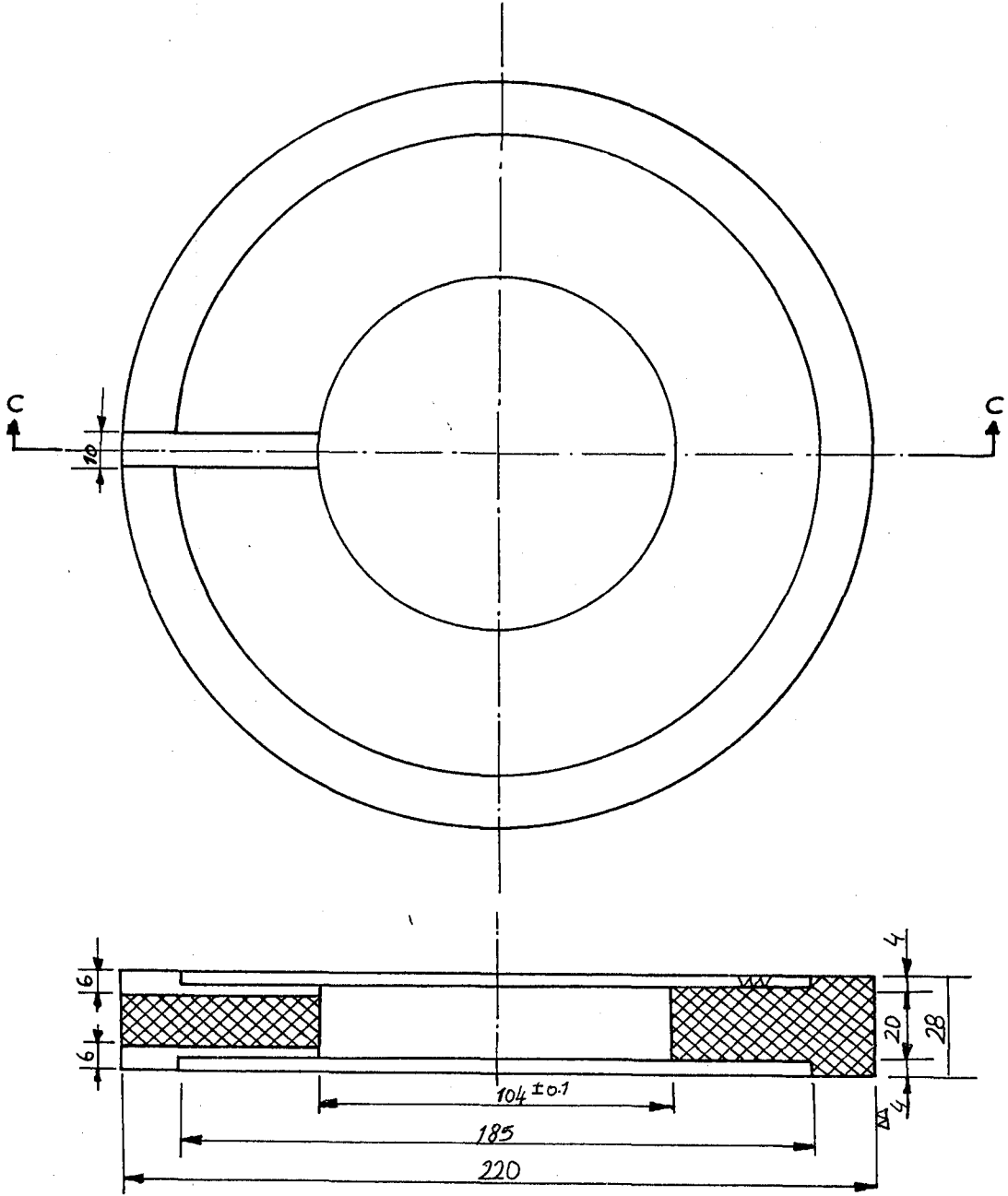


B''-B'' Kesiti



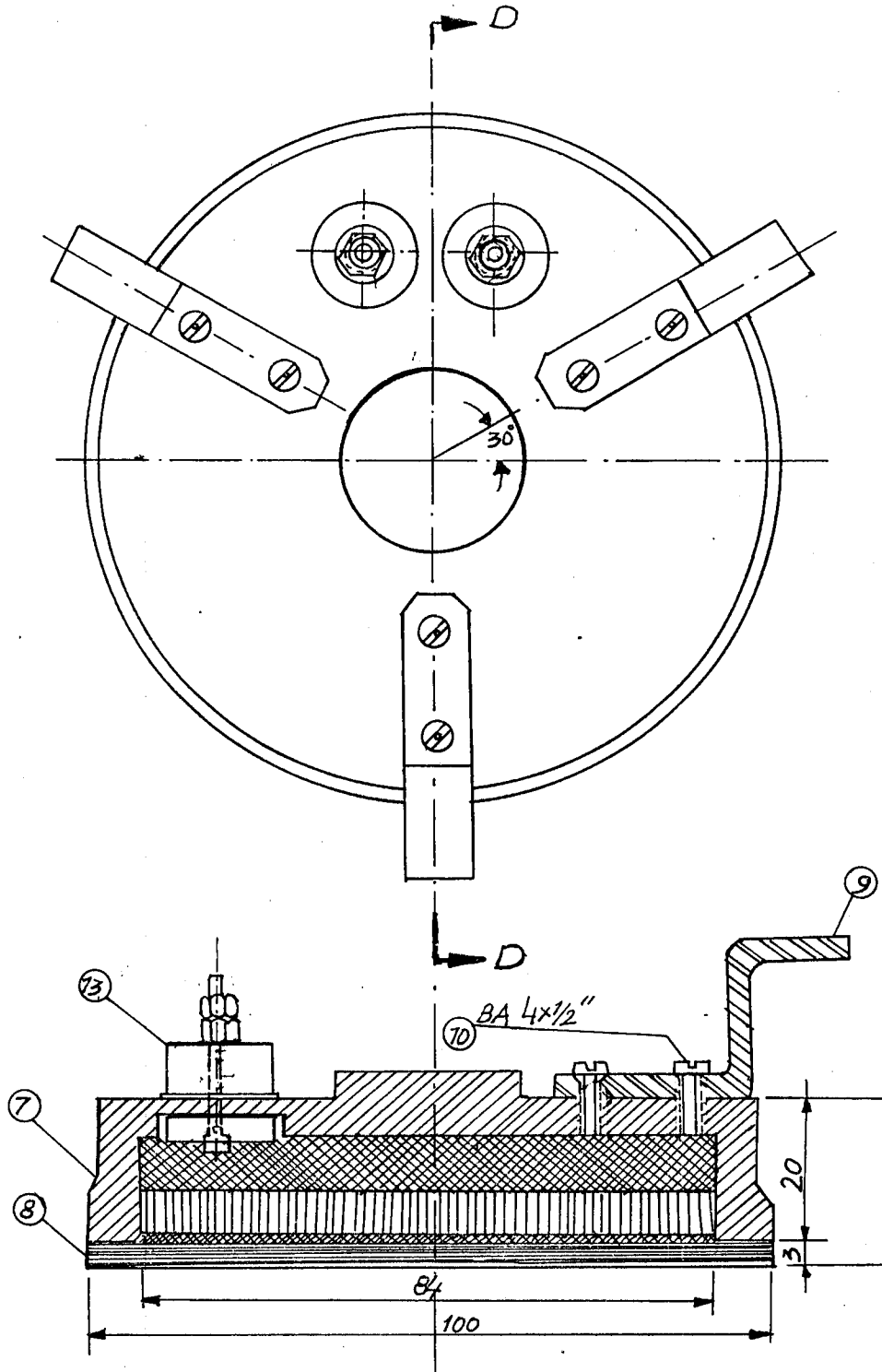
Su Nipeli

Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	2-Dök. D.	2- 1	Alt asamble işareti: A	
Kontrol K. TANER	3- Piring	3- 2		
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: Soğutucunun temel Plakası			Parça No: 2-3
				Sayfa: 4



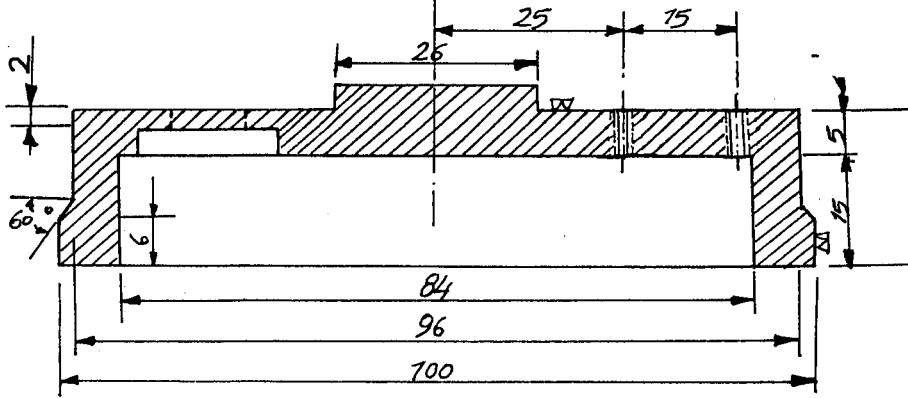
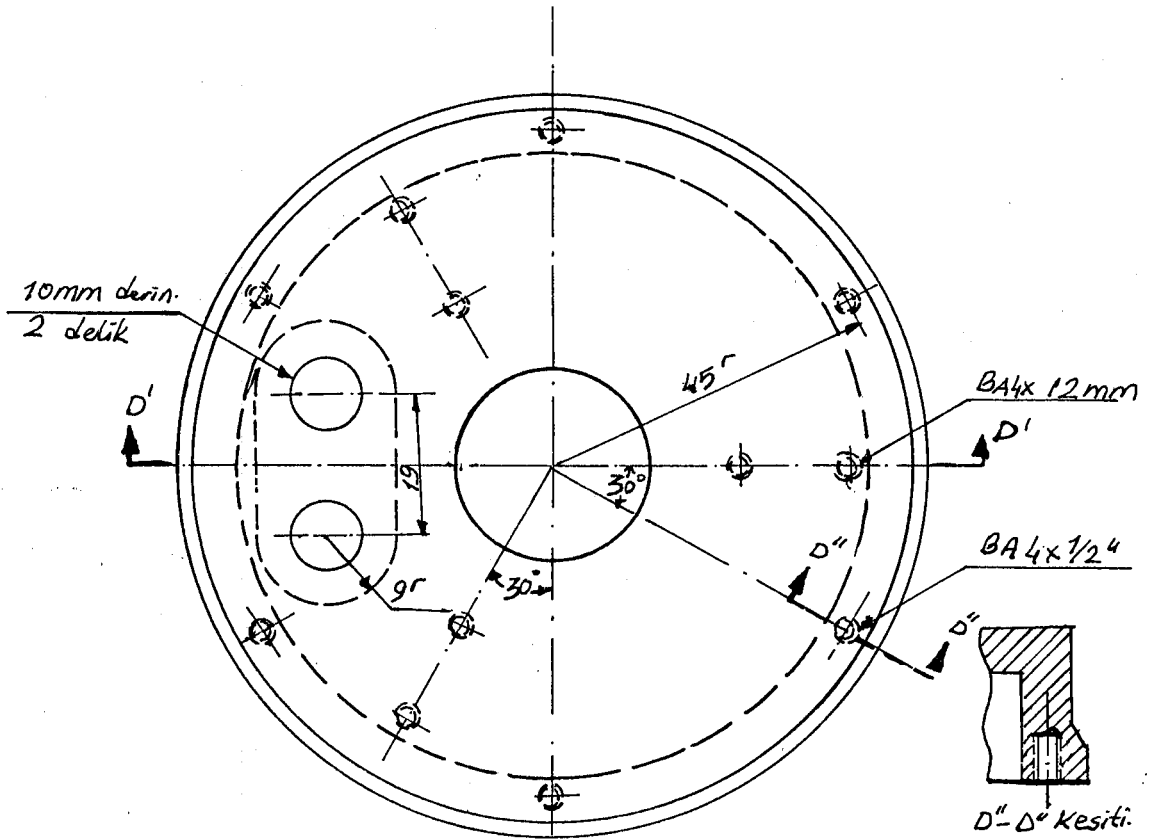
C-C Kesiti

Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	Duralit	1	Alt asamble işareti:	
Kontrol: K. TANER	Parçanın Adı: Halka		Parça No: 6	
Ölçek: 1/2 mm				Sayfa 5



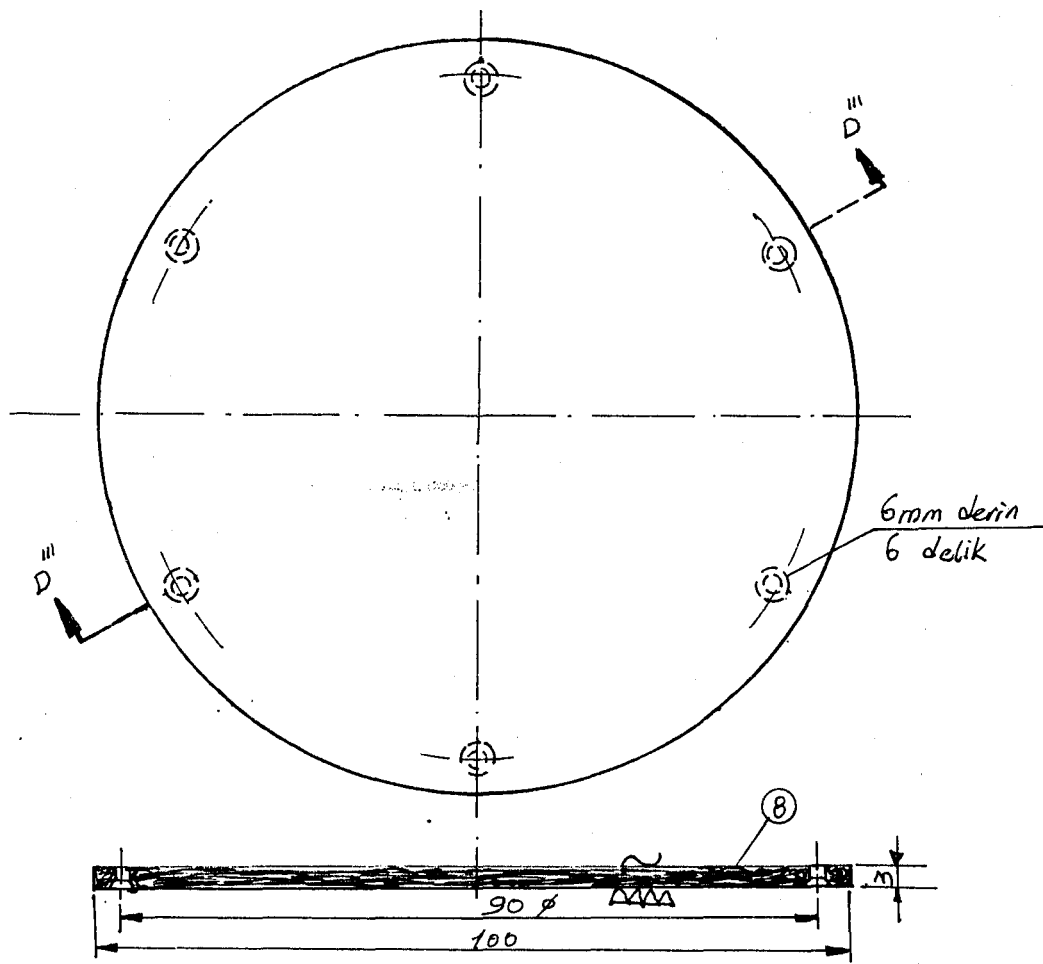
D-D Kesiti

Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV		1	Alt asamble işareti:	
Kontrol: K. TANER	Parçanın Adı: ANA ISITICI DİZAYNI		Parça No: B/7-8-9-10-13 Sayfa 6	
Ölçek: 1/1mm				

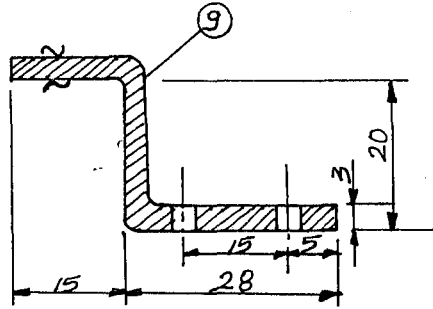


D'-D' Kesiti

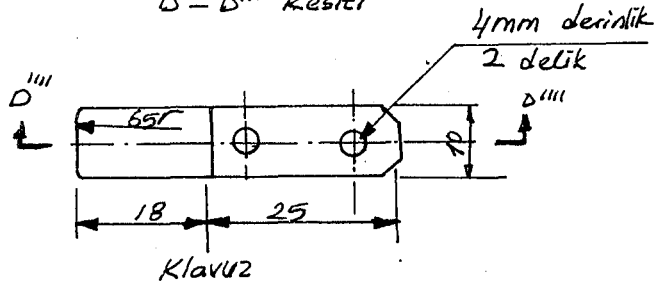
Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	Dökme Demir	1	Alt asamble işareti: B	
Kontrol: K. TANER	Parçanın Adı: ANA ISITICI		Parça No: 7	
Ölçek: 1/1mm				Sayfa 7



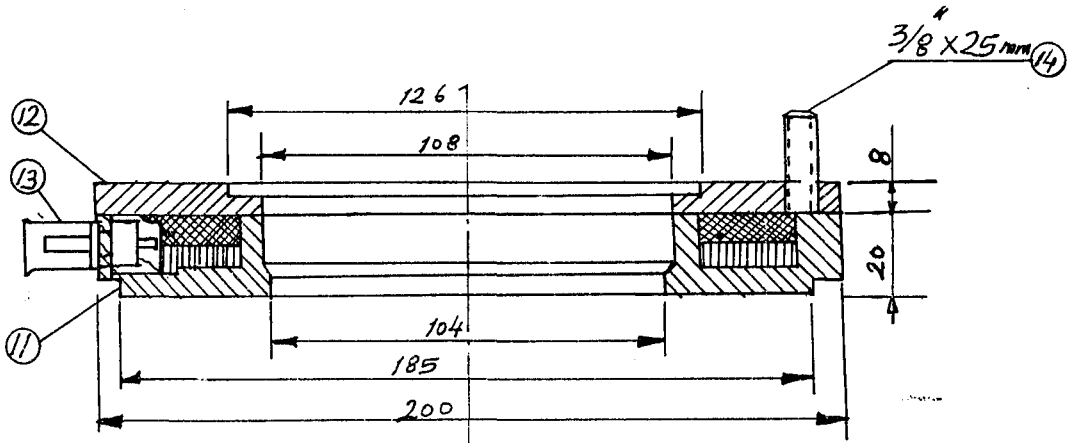
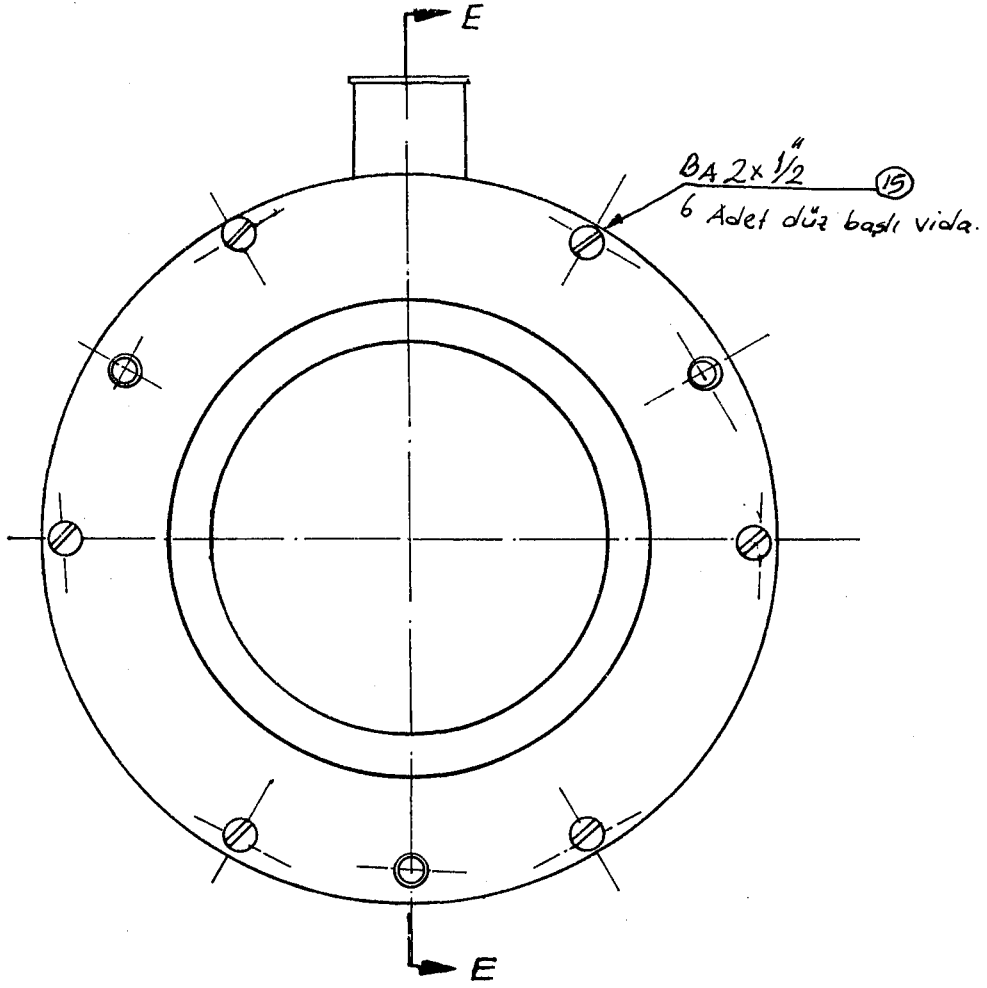
D-D Kesiti



D-D Kesiti

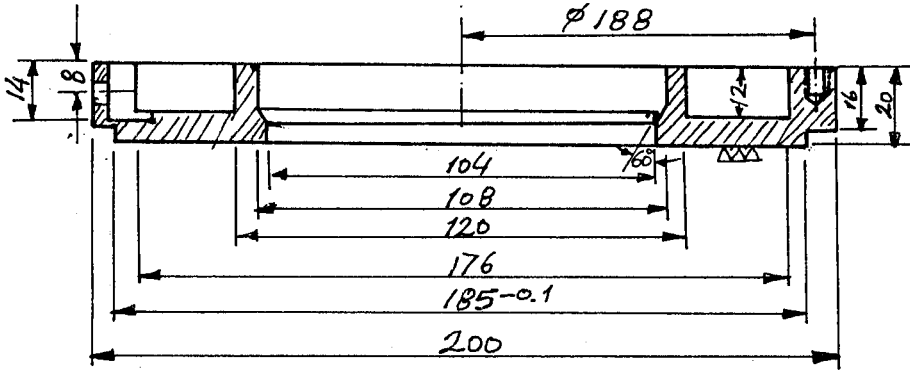
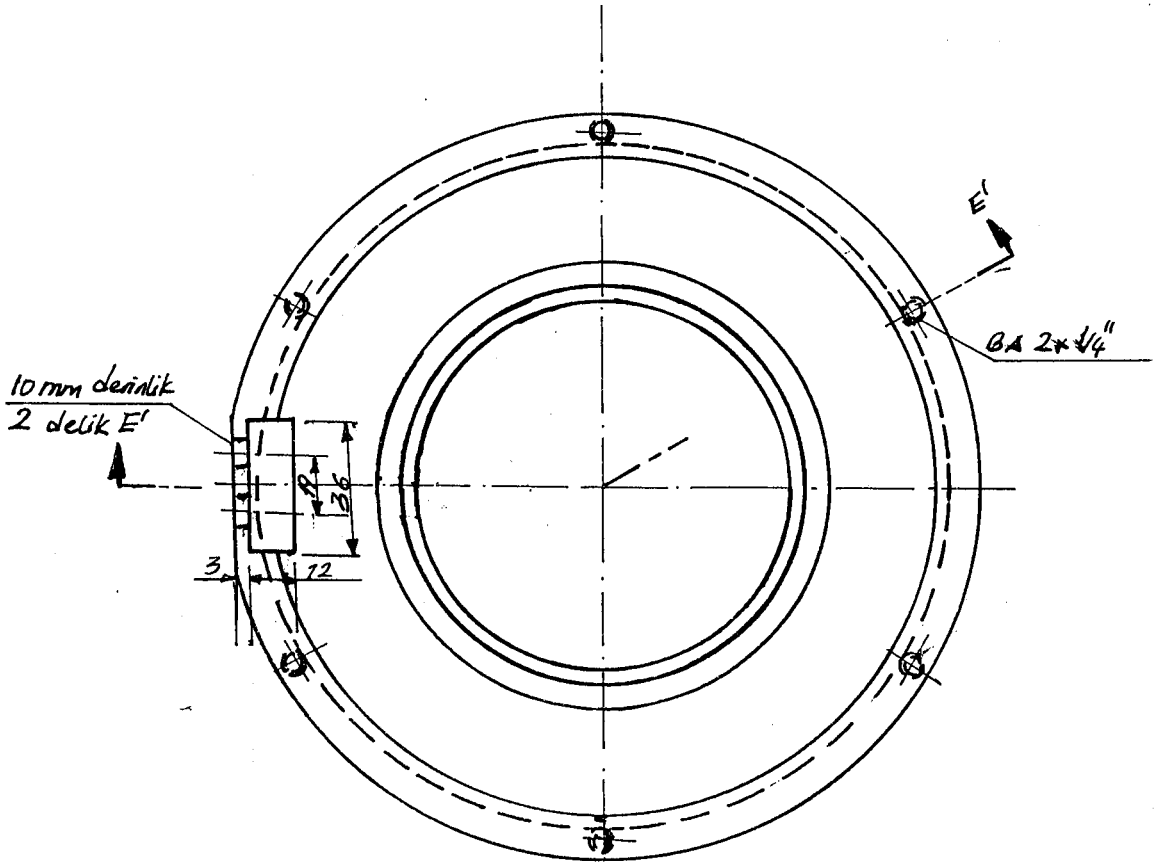


Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	8- Bakır	8 - 1	Alt asamble işareti: B	
Kontrol: K. TANER	9- Çelik	9 - 3		
Ölçek: 1/1 mm	Parçanın Adı: ANA ISITICI PLAKASI		Parça No: 8-9	Sayfa 8



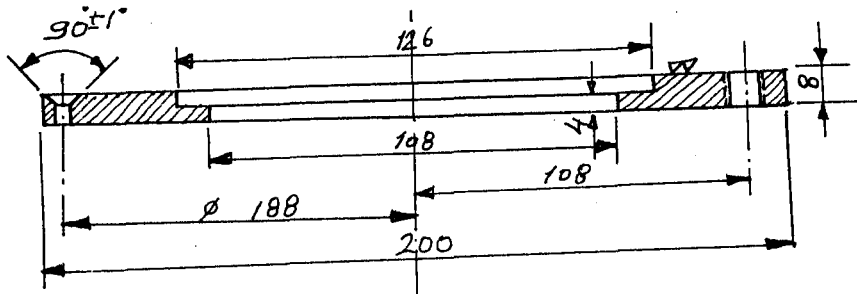
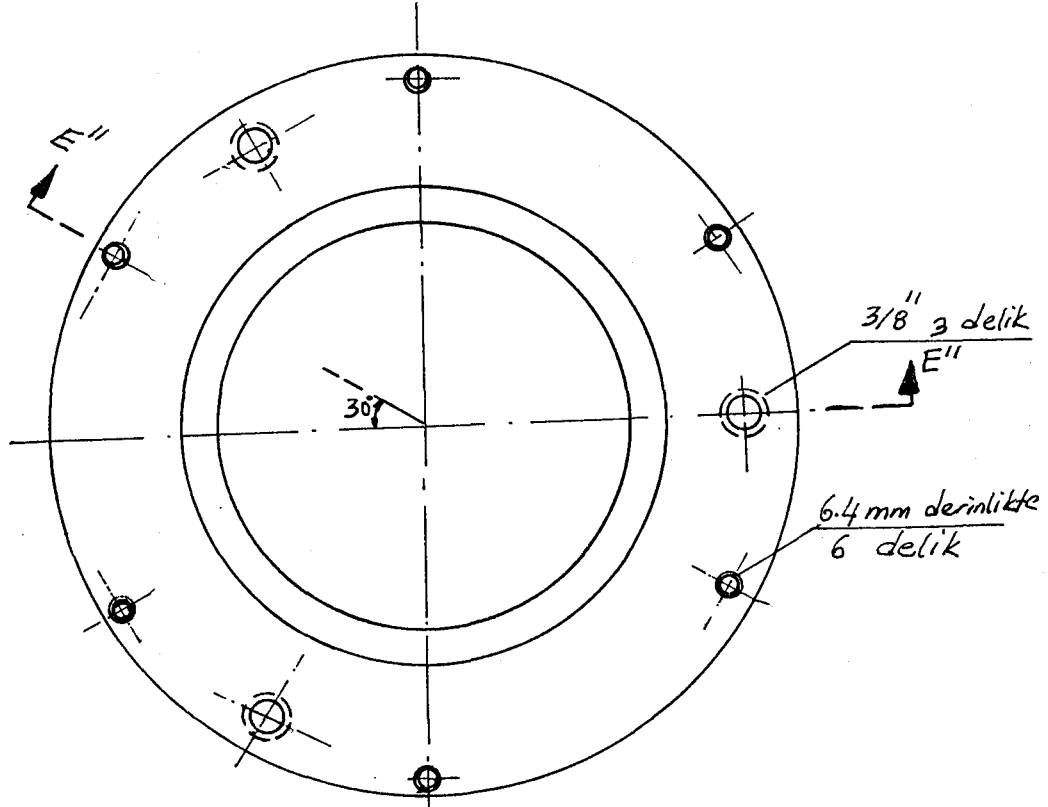
E-E Kesiti

Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamblе işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen : A. SAV		1	Alt asamblе işareti:	
Kontrol K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: ANA ISITICI KORUYUCUSU		Parça No: C/11-12-13-14-15 Sayfa 9	



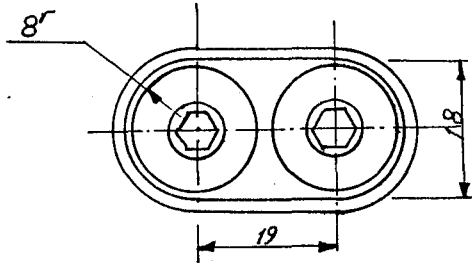
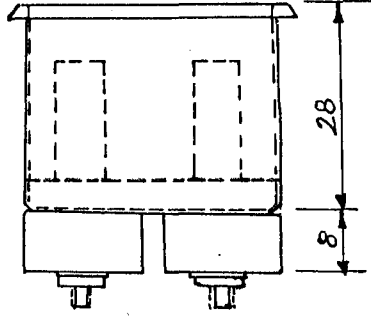
E'-E' Kesiti

Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	Dökme Demir	1	Alt asamble işareti: C	
Kontrol K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: Koruyucu Kısıcı			Parça No: 11 Sayfa 10

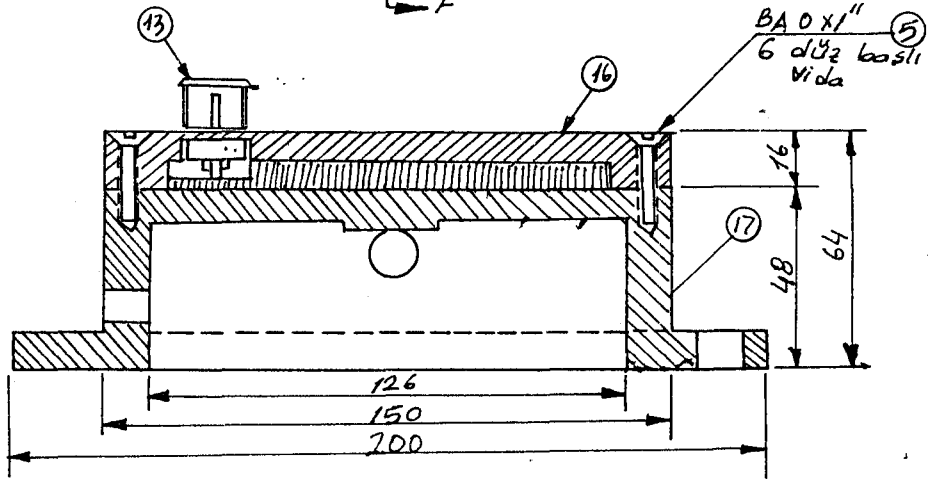
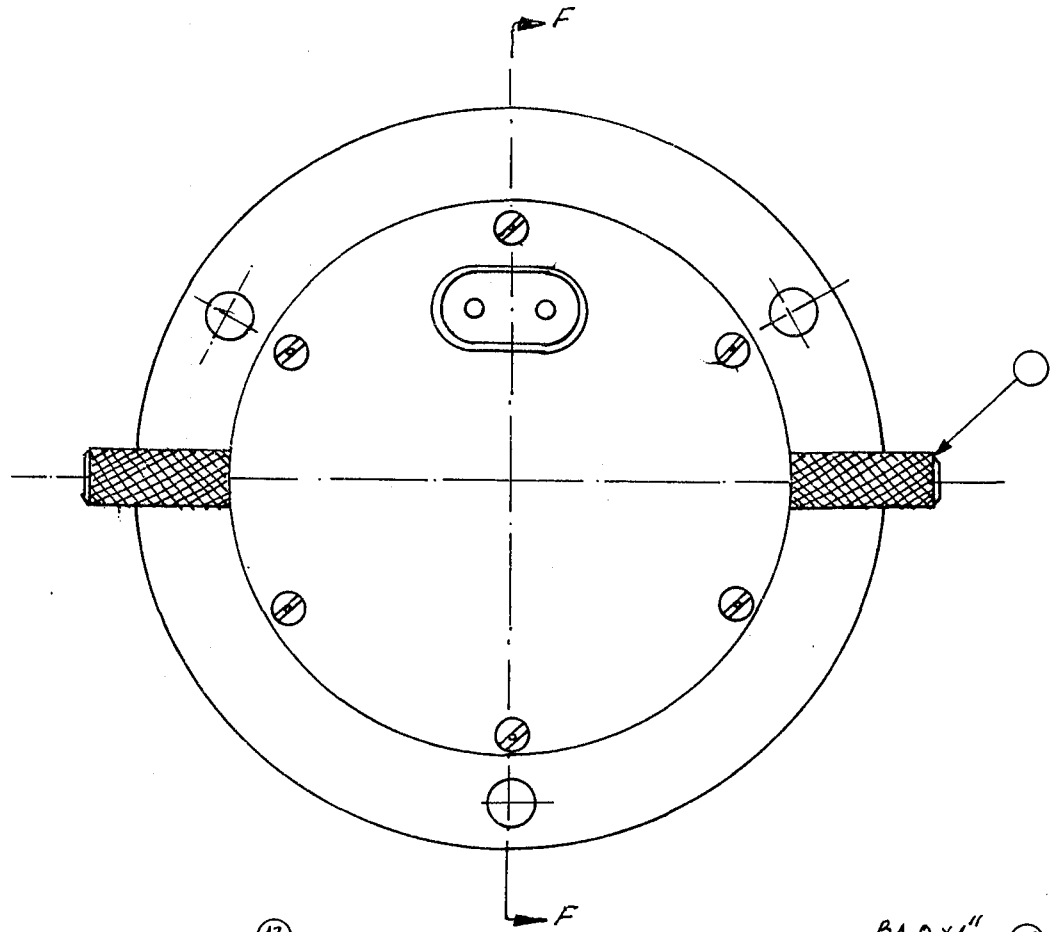


E''-E'' Kesiti

Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen : A. SAV	Dökme Demir	1	Alt asamble işareti: C	
Kontrol K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: Koruyucu Isıtıcı Platası			Parça No: 12 Sayfa 11

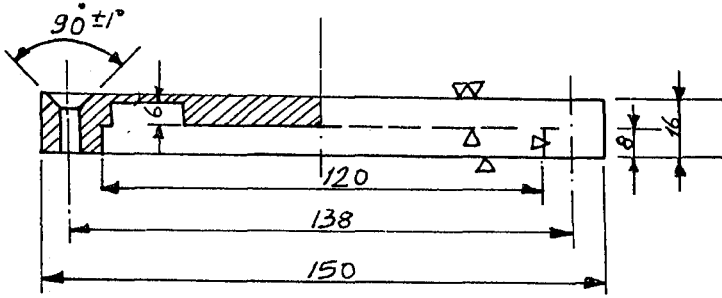
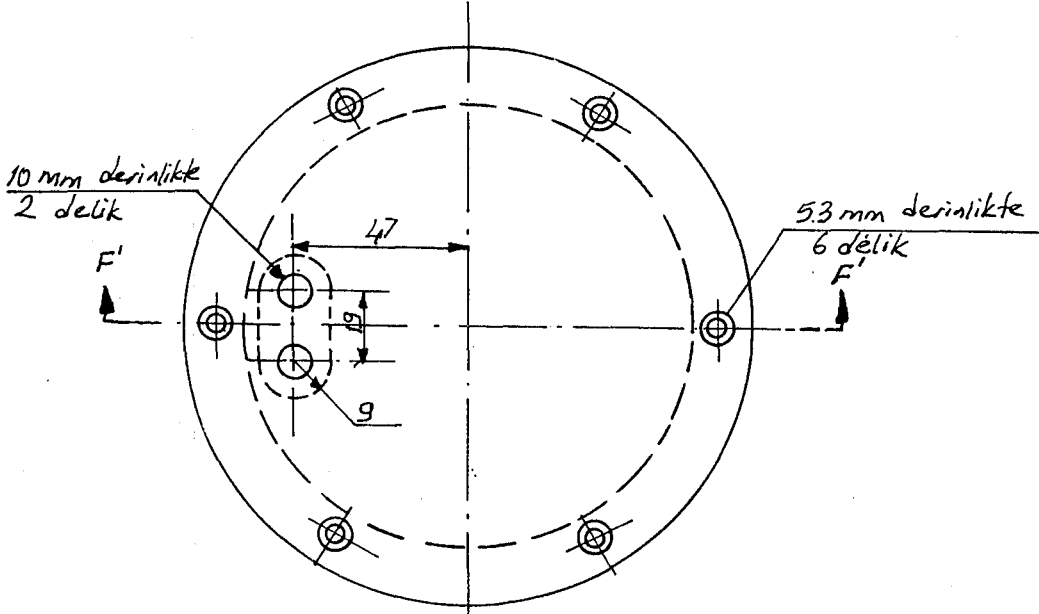


Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen : A. SAV	Priz:	3	Alt asamble işareti: $\frac{8}{D}$	
Kontrol K. TANER				
Ölçek: 1/1	Parçanın Adı: Erkek priz.			Parça No: 13



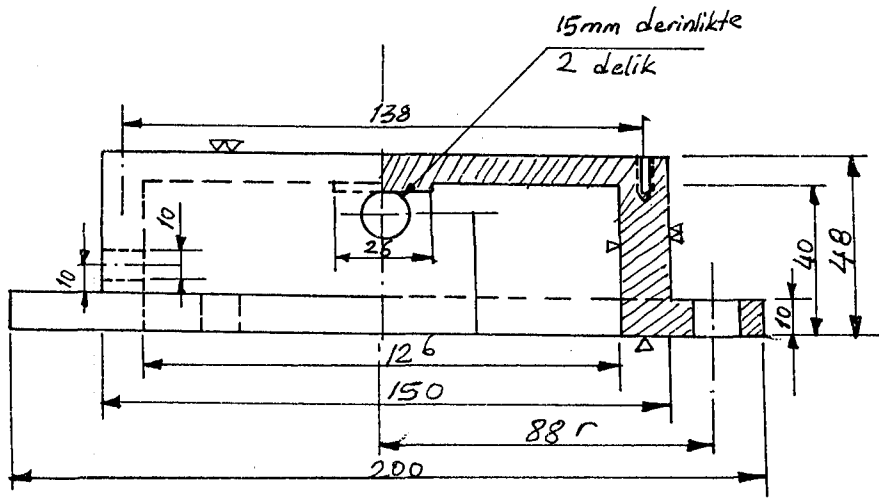
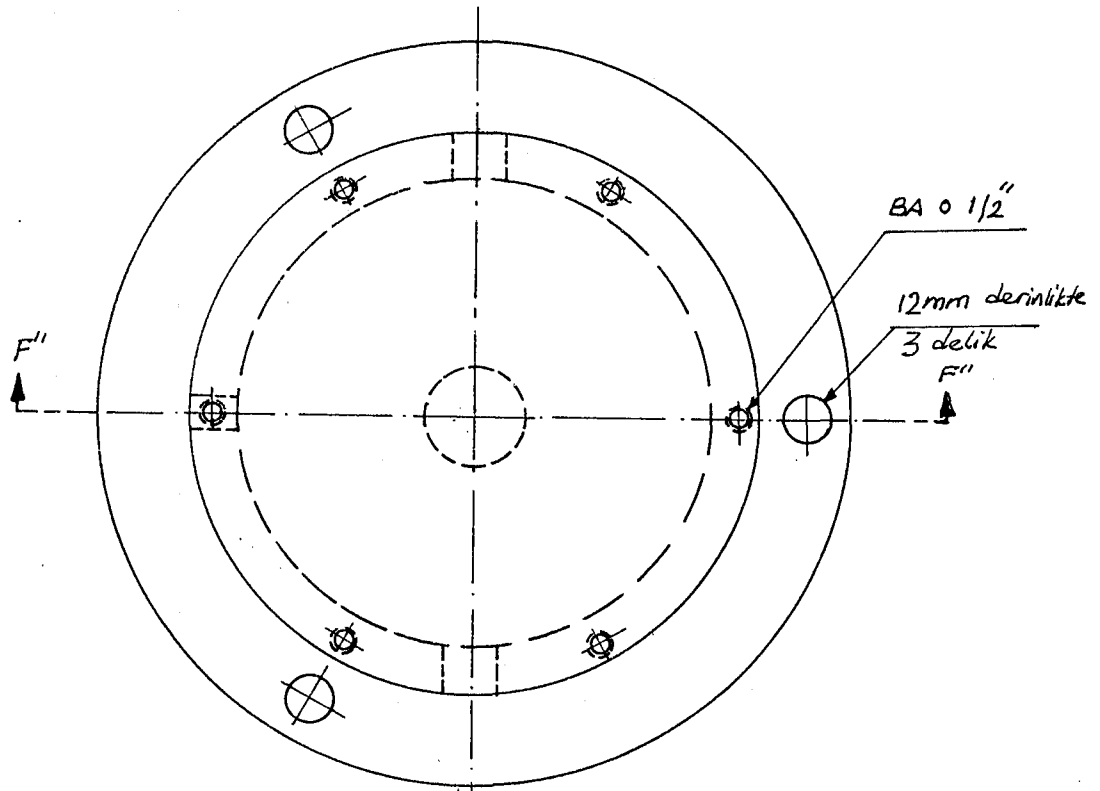
F-F Kesiti

Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV		1	Alt asamble işareti:	
Kontrol: K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: Üst Isıtıcının Asamblesi		Parça No: D/5-13-17-16	Sayfa 13



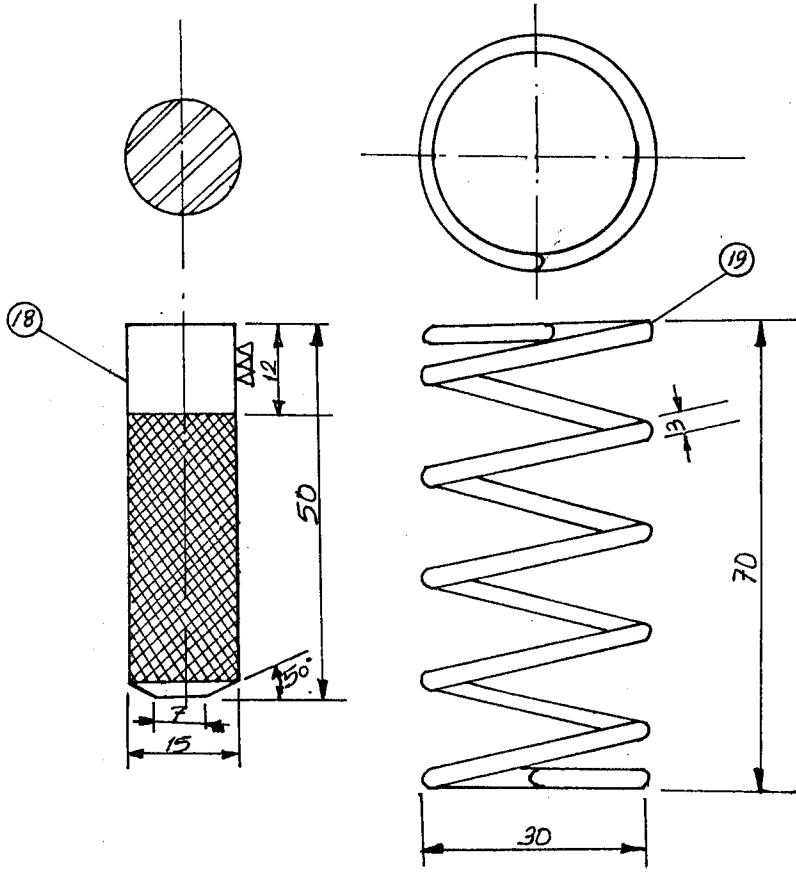
F'-F' Kesiti

Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	Dökme Demir	1	Alt asamble işareti: D	
Kontrol: K. TANER				
Ölçek: 1/2 mm	Parçanın Adı: Üst Isıtıcı			Parça No: 16
				Sayfa 14



F''-F'' Kesiti

Dizayn: A. SAV	Malzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	Dökme Demir	1	Alt asamble işareti: D	
Kontrol: K. TANER	Parçanın Adı: Üst Isıtıcı Koruyucu levhası		Parça No: 17	Sayfa 15
Ölçek: 1/2 mm				

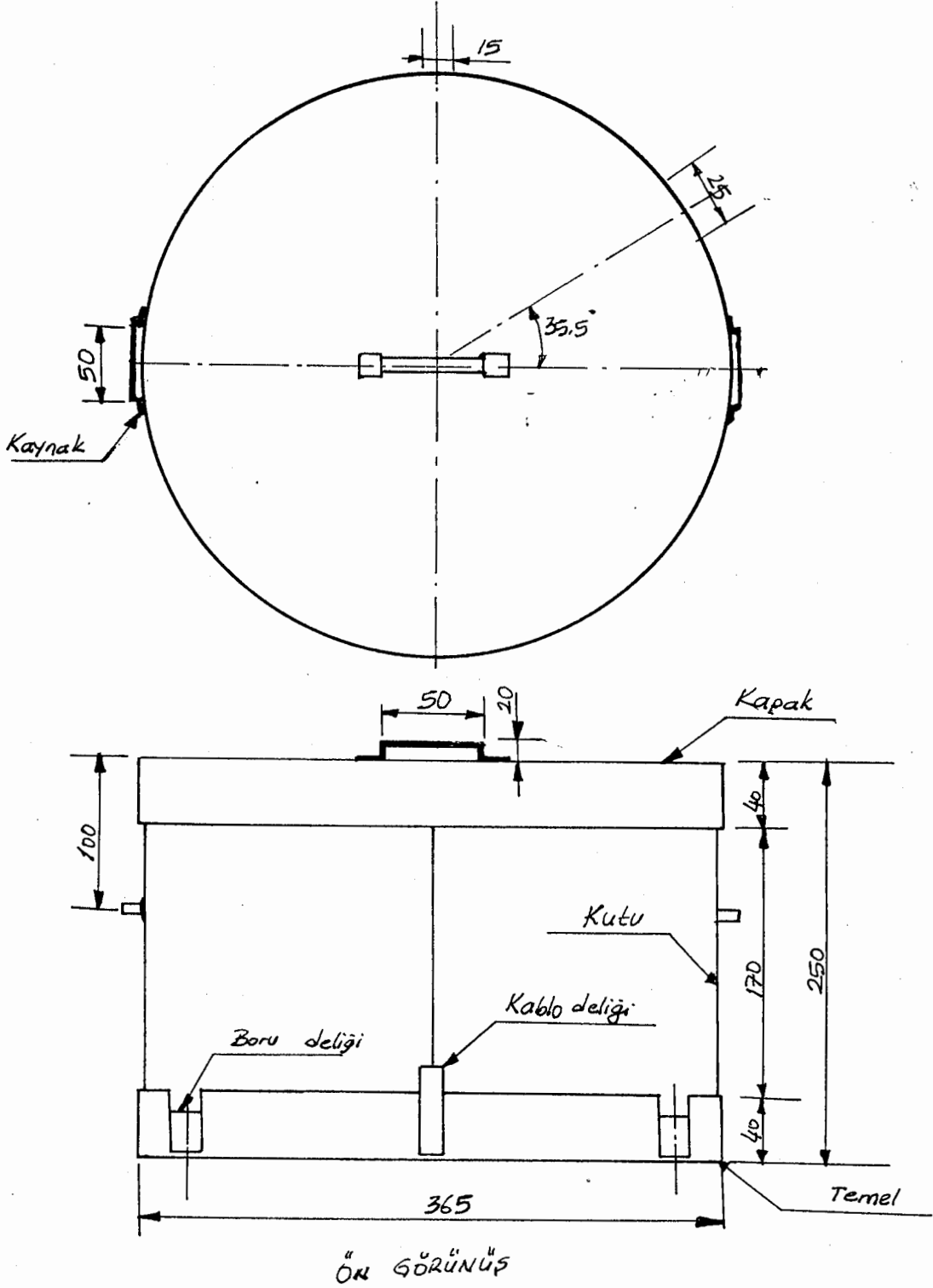


TUTAMAK

SIKIŞTIRMA YAYI

(Yük Faktörü 2.400 kg/cm)

Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti: I	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen: A. SAV	18 çelik	18-2	Alt asamble işareti: D	
Kontrol: K. TANER	19 çelik	19-1		
Ölçek: 1/1 mm	Parçanın Adı: TUTAMAK VE YAY		Parça No: 18-19	Sayfa 16



Dizayn: A. SAV	Matzeme	Kul. mik.	Asamble işareti:	ANADOLU ÜN. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen : A. SAV	2mm'lik çelik plaka		Alt asamble işareti:	
Kontrol K. TANER				
Ölçek: 1/4 mm	Parçanın Adı: KUTU		Parça No: 23	
			Sayfa 17	