

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

84419

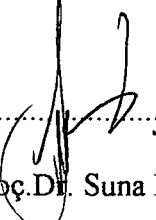
PİMLİ YÜZEYLERDE DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ

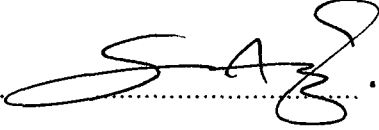
Ahmet Ali SERTKAYA

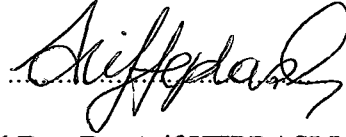
84619

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA ANABİLİM DALI

Bu tez 23/9/1999 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Oybirliği/~~Oy Çokluğu~~
ile Kabul Edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Suna KARGICI (Danışman)


Doç.Dr.Şefik BİLİR (Üye)


Yrd.Doç.Dr. Arif HEPBAŞLI (Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PİMLİ YÜZEYLERDE DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ

Ahmet Ali SERTKAYA

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Suna KARGICI

1999, 43 Sayfa

Jüri : Doç. Dr. Şefik BİLİR

Yrd. Doç. Dr. Suna KARGICI

Yrd. Doç. Dr. Arif HEPBAŞLI

Bu çalışmada, pimli yüzeylerde doğal taşınım ile ısı transferi ışınım ile ısı transferinin etkileri de dikkate alınarak incelenmiştir. Plakalar pimler aşağıya ve yukarıya bakacak şekilde düşeye göre farklı açılar ile ayarlanmış ve deneyler her konum için farklı giriş güçlerinde tekrarlanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan pimlerin ısı transferini önemli ölçüde arttırdığı ve yukarı bakan pimlerin aşağı bakan pimlere kıyasla daha fazla ısı transferi yaptığı belirlenmiştir. Düşeye göre açının artırılması ise ısı transferini azaltıcı yönde etki yapmıştır.

Anahtar kelimeler : Doğal taşınım ile ısı transferi, Pimli yüzeylerde ısı transferi, Silindirik kanatçıklar.

ABSTRACT
Master Thesis

NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER
FROM PIN FINNED SURFACES

Ahmet Ali SERTKAYA
Selçuk University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Suna KARGICI
1999, 43 pages

Jury : Assoc. Prof. Dr. Şefik BİLİR
Assist. Prof. Dr. Suna KARGICI
Assist. Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Natural convection heat transfer from a pin-finned surface is investigated experimentally by considering the effect of radiation heat transfer. The plate was oriented as the pin arrays facing either downwards or upwards from vertical axis with different angles and the experiments were performed for different values of power input.

From the results of the experiments it is observed that the pin fins increase the heat transfer considerably when compared with the unfinned surface. The upfacing pins is more enhancing heat transfer than the down facing pins and the enhancement is decreasing with increasing orientation angle from the vertical axis.

Keys Words: natural convection heat transfer, pin-finned surfaces, cylindrical fins.

ÖNSÖZ

Bu çalışmam sırasında beni yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Suna KARGICI ve Doç. Dr. Şefik BİLİR'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Eylül-1999

Ahmet Ali SERTKAYA

Makine Mühendisi



TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TOKİLENTASTON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOLLER	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. MATERYAL VE METOT.....	4
3.1 Deney Düzeneginin Tanıtımı	4
3.1.1 Ayarlı güç kaynağı	6
3.1.2 Sıcaklık ölçme düzenegi	7
3.1.3 Isıtıcılar ve plakalar	8
3.2 Termokupulların Kalibrasyonu	9
3.3 Deneylerin Yapılışı	11
3.4 Data Analizi	12
3.4.1 Işıma ile ısı transferi	13
3.4.2 Grafiklerin çizilmesi.....	23
3.4.3. Örnek hesaplamalar.....	25
3.4.3.1 Pimsiz plaka	25
3.4.3.2 Pimli plaka	26
3.4.4 Kanat etkinliği ve Kanat verimliliği.....	28
4. DENEY SONUÇLARI	29
5. TARTIŞMA	35
6. ÖNERİLER	36
7. KAYNAKLAR	37
8. EKLER	38

SEMBOLLER

A	Plaka yüzey alanı	(m ²)
b	Plaka yüzey genişliği	(m)
c	Pim merkezi ile plaka arasındaki uzaklık	(m)
c _p	Sabit basınçta özgül ısı	(kJ/kg ⁰ C)
D	Pim çapı	(m)
F	Işınım şekil faktörü	
g	Yer çekimi ivmesi	(m/s ²)
h	Isı taşınım katsayısı	(W/m ² ⁰ C)
k	Isı iletkenlik katsayısı	(W/m ⁰ C)
L	Pim uzunluğu	(m)
Nu	Nusselt sayısı	
N	Pim sayısı	
n	Deney sayısı	
P	Güç, kanatçık çevresi	(W)
Ra	Rayleigh sayısı	
Pr	Prandtl sayısı	
R	Pim yarıçapı	(m)
S	Plakanın düşey uzunluğu	(m)
T	Sıcaklık	(K)
ΔT	Sıcaklık farkı	(K)
β	Isıl genleşme katsayısı	(1/K)
ν	Kinematik viskozitesi	(m ² /s)
Q	Isı akımı	(W)
θ	Plaka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı	(⁰)
ε	Işınım yayımlama katsayısı	
σ	Stefan - Boltzmann sabiti	(W/m ² K ⁴)
ρ	Yoğunluk	(kg/m ³)
φ	Kanatçık etkinliği	
η	Kanatçık verimi	

Alt İndisler

d	pimsiz plaka
f	film
ış.	Işınım ile
p	pimli plaka
T	toplam
taş.	Taşınım ile
w	yüzey
∞	ortam



1. GİRİŞ

Dünyamızdaki mevcut enerji kaynaklarının her geçen gün azalmaya başlaması, bilim adamlarını hem yeni enerji kaynakları aramaya, hem de mevcut enerji kaynaklarının en verimli bir şekilde kullanılma yöntemlerini araştırmaya sevk etmiştir. Isı transferi üzerine yapılan çalışmalar da bunlardan biri ve en önemlisidir. Isı transferini 3 yöntemle artırmak mümkündür. Bunlar; ısı transferi yüzey alanını, iki ortam arasındaki sıcaklık farkını ve ısı transferi katsayısını arttırmaktır. Son iki yöntemin kullanılması her zaman mümkün olmayabilir. Isı transferi yüzeyinin artırılması en çok benimsenen yöntemlerden biridir. Isı transferi yüzeyinin artırılmasıyla birlikte yüzeyin ortamda duruşu ve yüzeyin fiziki şekli de ısı transferini artırıcı veya azaltıcı etki yapabilir.

Taşınım ile ısı transferi bir akışkan ile bir katı yüzey arasında meydana gelir. Doğal taşınım ile ısı transferi doğada en çok görülen ısı transferi olaylarından biridir. Bu yolla ısı transferi için, Nusselt ve Rayleigh sayılarının aldığı değerlere göre yorumlar yapılır. Genellikle doğal taşınımında $Ra \leq 10^8$ değeri için ısı geçişinin laminer sınır tabaka içinde gerçekleştiği, $Ra \geq 10^9$ değeri içinse sınır tabakadaki hareketin türbülanslı olduğu kabul edilir. Doğal taşınım için $10^8 \leq Ra \leq 10^9$ aralığı geçiş bölgesidir.

Yapılan çalışmada pimli ve pimsiz plaka arasındaki ısı transferi farklılıkları incelendi. Plakaların düşeye göre 0° , 30° , 60° ve 90° değişik açı konumları, plakaların ısı transfer yüzeylerinin düşeye göre aşağı ve yukarı bakma konumlarında çalışıldı. Bu konumlarda pimsiz plakada 2 ile 20 W arasında 2° şer W artırmak suretiyle 10 ayrı değerde, pimli plakada ise 5 ile 50 W arasında 5° er W artırmak suretiyle 10 ayrı değerde veriler alınmıştır. Yapılan çalışmada doğal taşınımın yanında ısı transferinin taşınım ile gerçekleşen miktarı ihmal edilemeyecek boyutta olduğundan dikkate alınmıştır. Çalışmalar Ra sayısının 10^5 ile 10^6 aralığında gerçekleşmiştir.

2.LİTARATÜR TARAMASI

Sparrow ve Chrysler (1981) sabit plaka sıcaklığında, kısa izotermal yatay pim, düşey plakaya dik olarak bağlanması durumunda ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Deney seti pim 3 konumunda denenmesine imkan sağlayacak tarzda yapılmıştır. Deneyler, biri çap ile aynı uzunlukta, diğeri çapın yarısı uzunlukta olan iki silindir için tekrarlanmıştır. Deneyler esnasında 3 değişik yöntem izlenmiştir.

- 1) Silindirin 3 değişik yüksekliğe yerleştirilmesi,
- 2) Silindir boyunun çapın yarısı ve çapa eşit alınması,
- 3) Çevre ile plaka arasındaki sıcaklık farklarının değiştirilmesi.

Çalışmanın sonuçlarını şöyle özetlemiştir. Kısa pim için Nu sayısı, diğeri (uzun) pime göre % 20 oranında daha düşük bulunmuştur. Nu ve Ra arasındaki ilişki $Nu=C_1Ra^{1/4}$ şeklinde bulunmuştur. C_1 sabitinde silindir pim konumunun ve pim boyunun etkisinin zayıf olduğunu belirtmiştir. ($C_1=0,409\pm\%5$)

Sparrow ve Vemuri (1985) sık yerleştirilmiş kanat dizinlerinde doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Sık yerleştirilmiş kanat dizinlerinden, taşınım ve ışınım ile ısı transferini belirlemek için birleşik setlerde deneyler yapmışlardır. Kanatları ısıtılan taban plakaya dik olarak yerleştirmişlerdir. Araştırılan parametreler kanat dizi sayılarını, kanat uzunluğu/çapını, plaka ile ortam sıcaklığı farkını içermektedir. Ayrıca ışınım ile ısı transferi için komşu pimlerin pozisyonunu dikkate almışlardır. Araştırmalar sonucu kanatlı plakaların ısı transferinde oldukça etken olduğunu, ısı transferini yaklaşık 6 kat kadar artırdığını tespit etmişlerdir. Kanatların sayısı diğeri parametreler sabit tutulduğunda artırılırsa, ısı transferi max. seviyeye gelmekte ve sonra azalmaktadır. Pimlerin belirli bir sıklıktan sonra, ısı transferi hızını azaltıcı etki yaptıklarını kaydetmişlerdir. Hesaplamalarda ışınım etkisinin önemli bir etken olduğunu, kalabalık dizilerde daha yüksek değerler aldığını, uzun kanatlarda ve düşük sıcaklıklarda fark sağladığının ortaya çıktığını kaydetmektedirler. Deney setinde alüminyumdan yapılmış, bir kenarı 7,62 cm lik kare şeklinde ve 1,25 cm kalınlığında siyah anodize edilmiş plakalar kullanmışlardır.

Pimler alüminyumdan yapılmıştır. 0,635 ve 0,3175 cm çaplarında 4, 8, 12 uzunluk/çap oranlarında deneyler yapılmıştır.

Yine Sparrow ve Vemuri (1985) pim kanatlı dizilerin ısı transferinde pozisyonun önemini 3 yönden deneysel olarak incelemişlerdir. Bunlar;

- 1) Plaka dik, kanatlar yatay,
- 2) Plaka yatay, kanatlar aşağı doğru,
- 3) Plakalar yatay, kanatlar yukarı doğru şeklindedir.

Deneyselerde, hava ortamında doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferini analitik olarak incelemişlerdir. Pimlerin yukarı doğru olması durumunda, aşağı bakan pimlere oranla daha fazla ısı transferinin elde edildiğini tespit etmişlerdir. Diğer parametreler sabit tutulup pim sayısı artırılması durumunda ısı transferi önce artıp max. olmakta ve daha sonra azalmaktadır. Bu durumda optimal kanat sayısının tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Pimli kanatların ısı transferini % 25 ile % 40 arasında artırdığını tespit etmişlerdir.

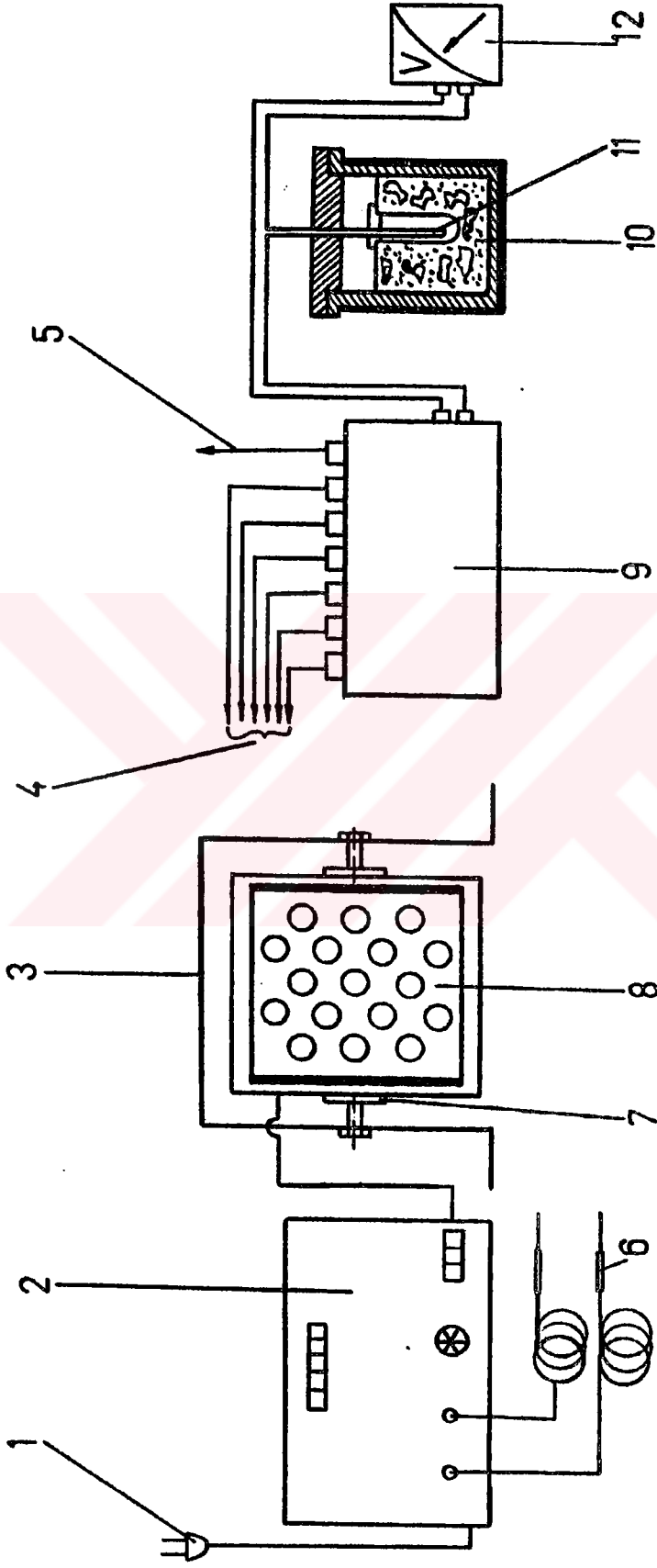
Alessio ve Kaminski (1989) sık yerleştirilmiş pim sıralarının, doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında 7,62 cm'lik alüminyum kare plaka ve 0,635 cm'lik çapta pimler kullanmışlardır. Pimler kare plaka üzerine sıkıca, basınçla takılmıştır. Plaka ve pim yüzeylerini yüksek emisyon için siyaha boyamışlardır. Bu çalışmada pimlerin yataya göre 0°, 30° ve 60° açılı konumlarını incelemişlerdir. Bütün durumlarda düz yatay pozisyonda bulunan pimlerin, açı verilmiş durumdaki pimlere oranla daha fazla ısı transferi ettikleri görülmüştür. Ayrıca önemli bir tespit olarak da, kenar sıralarda bulunan pimlerde görüş açılarının, ortadaki pimlerden daha yüksek olması nedeniyle ışınım ile ısı transferinin arttığını belirlemişlerdir.

(Karagiozis ve ark.'na (1994)göre) izotermal üçgen kanatlarda, doğal taşınım ile ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Burada, dikine ve yatay dizayn edilmiş üçgen kanatlar üzerinde çok değişik Rayleigh sayılarında değişik dizinler denemişlerdir. Önemli bir tespit olarak, yatay kanat pozisyonunun düşey kanat pozisyonuna oranla, daha düşük ısı transferi yaptığını tespit etmişlerdir. Düşey plakaya yatay olarak monte edilen kanatlar için Nusselt sayılarını, kanatların dik olması durumuna göre oldukça düşük bulmuşlardır.

3. MATERYAL VE METOT

03.1 Deney Düzeneginin Tanıtımı

Deneyler, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Laboratuvarı'nda bulunan P.A HILTON LTD. H920 markalı "Serbest ve Zorlanmış Akışla Isı Taşınımı" eğitim setinden faydalanılarak yapılmıştır. Eğitim seti başlıca; ayarlı güç kaynağı, pimli ve pimsiz plaka, sıcaklık ölçme düzeneği, değişik açı ve konumlarda plakaların kullanılabilmesine imkan veren açı değiştirme aparatından oluşmaktadır. Deneylerin yapıldığı laboratuvarında deney sonuçlarını etkileyecek dış etkenler mümkün mertebe bertaraf edilmiştir. Odanın 24 saatlik sıcaklık değişimi max. 2 °C civarında olmaktadır. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 3.1'de görülmektedir.

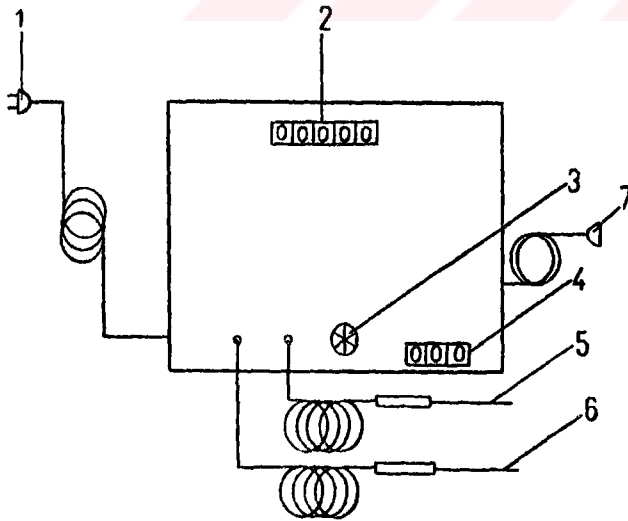


Şekil 3.1 Deney düzeniğinin şematik resmi

<u>Parça No</u>	<u>Parça Adı</u>
1	Enerji girişi
2	Güç kaynağı
3	Plaka sehpası
4	Termokupul bağlantı kabloları
5	Ortam sıcaklığını ölçen termokupul
6	Dijital termometreler
7	Açı ayar düzeneği
8	Plaka
9	Seçici
10	Su + buz karışımı
11	Termokupul
12	Milivoltmetre

3.1.1 Ayarlı güç kaynağı

Ayarlı güç kaynağı 0 ile 120 W arasında istenilen güce ayarlanabilecek niteliktedir. 220 V şehir şebekesi cırcıyanı ile çalışmaktadır, $\pm 0,1$ W hassasiyetindedir. Ayarlı güç kaynağı şematik resmi Şekil 3.2 de görölmektedir.



- (1) Elektrik kablosu
- (2) Dijital termometre göstergesi
- (3) Düğme
- (4) Dijital güç göstergesi
- (5) Yüzey sıcaklık probu
- (6) Ortam sıcaklık probu
- (7) Elektrik kablosu

Şekil 3.2 Ayarlı güç kaynağı şematik resmi

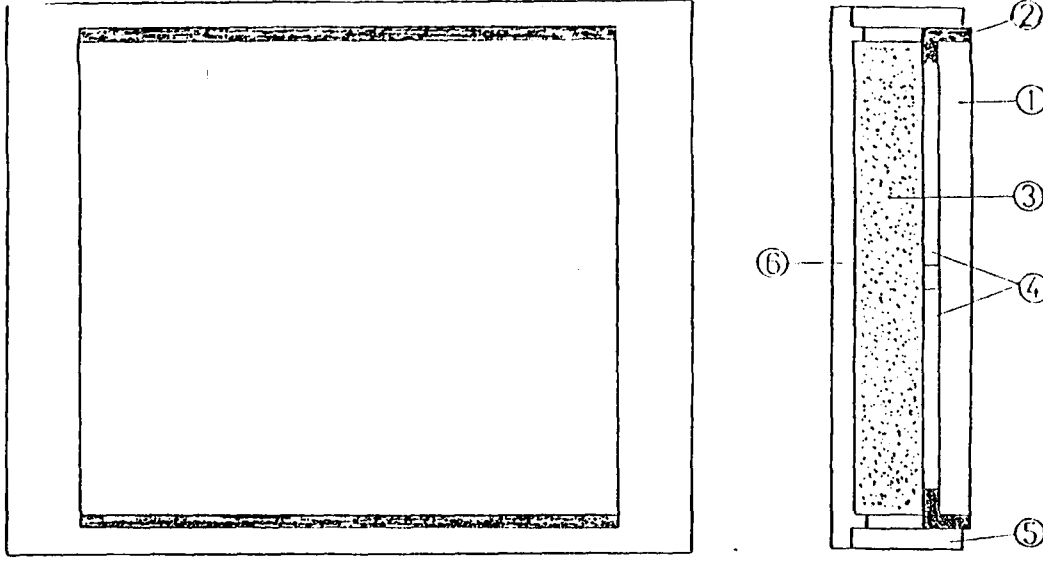
3.1.2 Sıcaklık ölçme düzeneği

Plaka yüzeylerine 6'şar noktadan Demir-Konstantan termokupullar yerleştirilmiştir. Termokupullar plaka yüzeyine yapıştırılmış ve dış etkilerden etkilenmemesi için ortama bakan yüzeyleri yalıtılmıştır. Termokupullar daha önceden kalibre edilmişlerdir. Termokupullar bir seçici anahtarla sıcaklık ölçme devresine bağlanmıştır. Referans sıcaklık olarak buz + su karışımı kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı hem termokupullarla hem de güç kaynağında bulunan dijital termometre ile ölçülmüştür.

3.1.3 Isıtıcılar ve plakalar

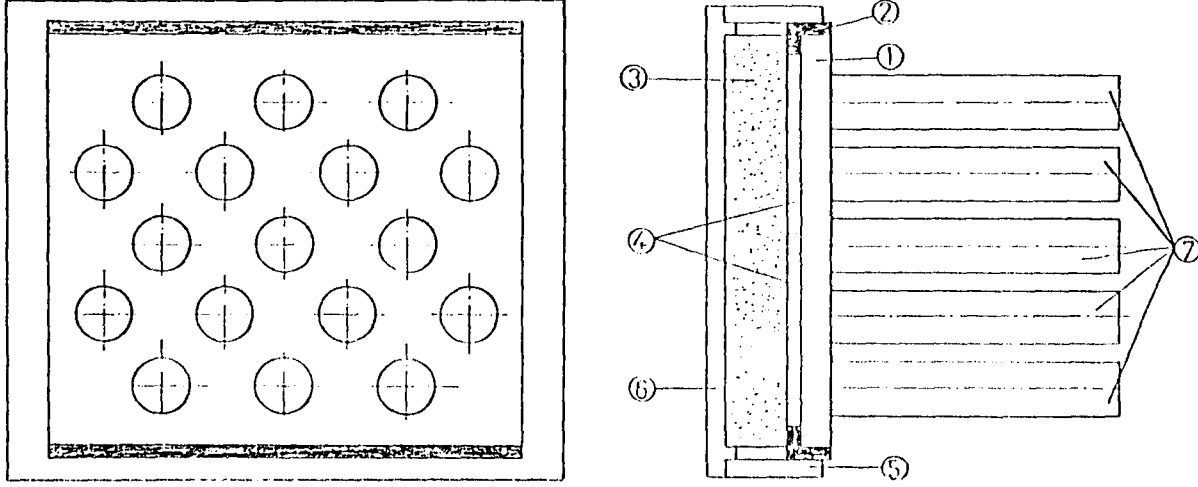
Pimsiz plaka 100 mm eninde, 110 mm yüksekliğinde 8 mm kalınlığında bir alüminyum alaşımıdır. Plakalar bir kutu içine yerleştirilmiştir. Alt tarafı doğrudan ısıtıcı yüzey ile temas halindedir. Isıtıcı olarak, plaka yüzeyinin tümüyle temas halinde olan 2 adet plaka şeklinde rezistans kullanılmıştır. Isıtıcının muhafaza kutusu içinde kalan alt tarafı cam yünü ile, kenarları ise fiberglas ile yalıtılmıştır. Plakaların ısınan ve ortama bakan yüzey sıcaklıklarını mukayese edilebilmek için plaka içine bir adet termokupul yerleştirilmiştir. Isınan ve ortama bakan yüzeyler arasında ihmal edilebilecek kadar bir sıcaklık farkının olduğu tespit edilmiştir.

Pimli plaka boyutları ise yine aynı ölçülerdedir. Plaka ve pimler düzlem yüzeyde olduğu gibi alüminyum alaşımıdır. Pimler dikdörtgen plaka ile birlikte döküm yoluyla elde edilmişlerdir. Pimler ikizkenar üçgen dizinindedir ve 4'er sıralı 2 adet, 3'er sıralı 3 adet olmak üzere toplam 17 adettir. Pimler yüzeye saptırılmalı olarak yerleştirilmiştir. Pim çapları 12,7 mm, uzunlukları ise 67 mm'dir. Pimsiz plaka detayı Şekil 3.3'de, pimli plaka detayı Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.3 Pimsiz plaka detayı

<u>Parça No</u>	<u>Parça Adı</u>
1	Düzlem plaka
2	Fiberglas yalıtım elemanı
3	Yalıtım elemanı
4	Direnç
5	Gövde
6	Kapak

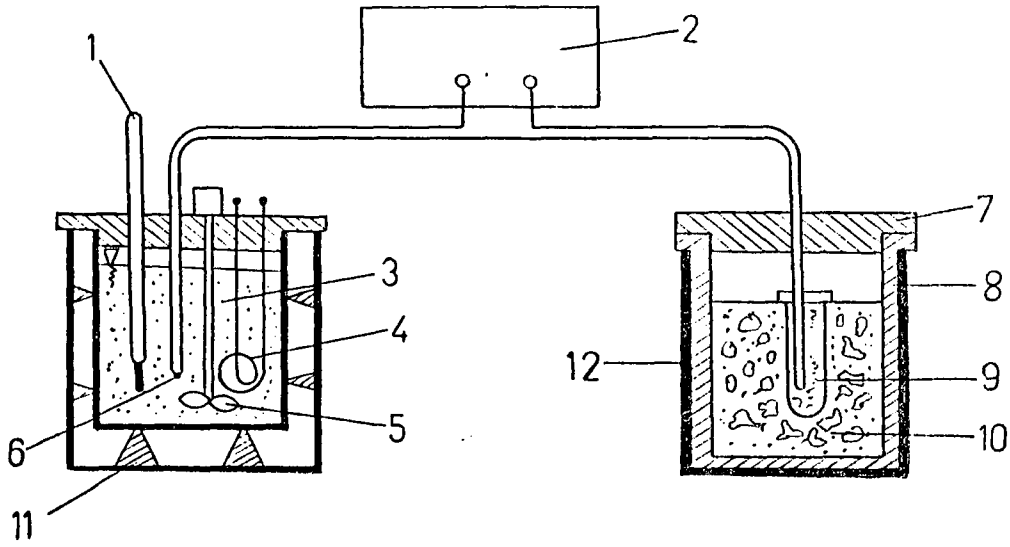


Şekil 3.4 Pimli plaka detayı

Parça No	Parça Adı
1	Pimli plaka
2	Fiberglas yalıtım elemanı
3	Yalıtım elemanı
4	Direnç
5	Gövde
6	Kapak
7	Pimler

3.2 Termokupulların Kalibrasyonu

Termokupullar, proses sanayinde sıcaklıkların ölçme ve kontrol edilmesinde geniş çapta kullanılmaktadır. Ancak, öncelikle ölçme devresini güvenli olarak kullanabilmek için, termokupulların önceden kalibre edilmesi gerekir. Bu amaçla hazırlanan ve termokupulların deney öncesinde kalibre edilmesinde kullanılan düzenek şematik olarak Şekil 3.5’de görülmektedir.

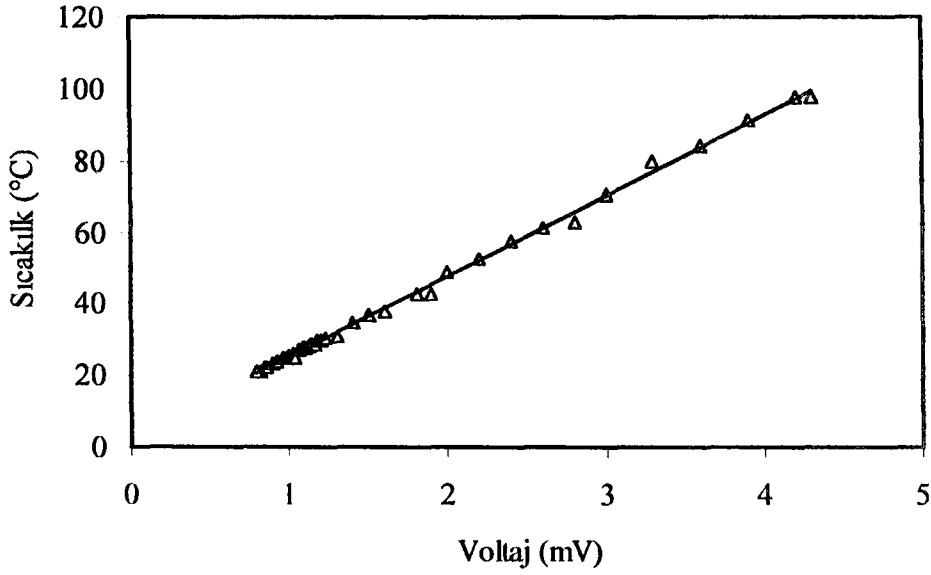


Şekil 3.5 Termokupul kalibrasyon düzeneği şematik görünüşü.

<u>Parça No</u>	<u>Parça Adı</u>	<u>Parça No</u>	<u>Parça Adı</u>
1	Cıvalı termometre	7	Mantar tapan
2	Milivoltmetre	8	Cam tüp
3	Su banyosu	9	Isı iletimi yüksek yağ
4	Isıtıcı	10	Su + buz karışımı
5	Karıştırıcı	11	Mantar dayanak
6	Termokupul	12	Keçe örtü

Şekilde görüldüğü gibi, su sıcaklığı elektrikli bir ısıtıcı ile sürekli olarak arttırılmıştır. Su banyosunun sıcaklığı artarken, banyo içerisine yerleştirilen termometreden sıcaklık okunur. Aynı zamanda her sıcaklık değerine karşılık gelen voltaj değerleri milivoltmetreden okunur(Ayhan 1982).

Ölçüm değerleri voltaj (mV) - sıcaklık (°C) diyağramında çizilerek kullanılan termokupullar için sıcaklık ölçüm kalibrasyon eğrisi elde edilir. Bu çalışmada kullanılan Demir - Constantan termokupulları için elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.6'de görülmektedir.



Şekil 3.6 Termokupul kalibrasyon eğrisi

3.3 Deneylerin Yapılışı

Deneyler, pimsiz ve pimli olmak üzere iki değişik plaka üzerinde yapılmıştır. Her iki plakada da düşey eksene göre 0° , 30° , 60° ve 90° olmak üzere sağa ve sola yatırılarak 7 değişik konumda deneyler yapılmıştır. Yani ısınan plaka yüzeyleri hem aşağı hem de yukarı çevrilmiştir. Pimsiz plaka için her konumda 2 W'lık artışlarla 2 ile 20 W arasındaki, pimli plakada ise 5 W'lık artışlarla 5 ile 50 W arasındaki giriş güçleri için veriler alınmıştır. Veri olarak ortam sıcaklığı (T_∞) için, dijital termometre ve termokupullarla sıcaklıklar ölçülmüş ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ayrıca plaka yüzey sıcaklığı (T_w) içinde plaka yüzeylerinin 6 ayrı noktasından termokupullarla ölçülen sıcaklıkların aritmetik ortalaması alınmıştır. Sistemin sürekli rejime ulaşması başlangıçta yaklaşık 2 ile 2.5 saat arasında olmasına rağmen, sonraki değerlerde bu süre 1 saate kadar düşmüştür. Günde yalnızca bir konum için deney verileri alınmıştır. Deneylerden alınan sonuçlardan emin olmak için değişik konumlarda örnekleme deneyler tekrarlanmıştır. Alınan değerlerdeki farklılıklar sonucu etkileyecek düzeyde görülmemiştir.

3.4 Data Analizi

Yukarıda da açıklandığı gibi deneyler esnasında her giriş gücü ve her konum için ortam sıcaklığı (T_{∞}) ve plaka yüzey sıcaklığı (T_w) veri olarak alınmıştır. Yapılan literatür taramasında, plakalarda doğal taşınım ile ısı transferinin, Rayleigh ve Nusselt sayılarından bulunan değerlere göre çizilen grafikler üzerinde değerlendirildiği görülmüştür. Ra - Nu sayılarına bağlı grafikler, her konum için belirlenip birbirleriyle kıyaslanmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Rayleigh sayısı;

$$Ra = g \beta \Delta T S^3 Pr / \nu^2 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir(Holman 1984). Burada ;

Hacimsel genleşme katsayısı β ,

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (2)$$

şeklindedir (Sparrow ve Vemuri 1985). Film sıcaklığı T_f ,

$$T_f = \frac{T_w + T_{\infty}}{2} \quad (3)$$

şeklindedir (Sparrow ve Chrysler 1981). Yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark ΔT ,

$$\Delta T = T_w - T_{\infty} \quad (4)$$

Isıtıcı plaka yüksekliği S 'ye bağlı olarak Nu sayısı

$$Nu = \frac{h.S}{k} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır (Holman 1984) Burada;

$$h = \frac{Q_{taş.}}{A(T_w - T_{\infty})} \quad (6)$$

bağıntısı kullanılır (Sparrow ve Chrysler 1981, Alessio ve Kaminski1989).

Plaka yüzey alanı;

$$A = S \cdot b \quad (7)$$

$$A = 0.11 \cdot 0.10 = 0.011 \text{ cm}^2$$

şeklindedir (Sparrow ve Vemuri 1985). Taşınım ile ısı transferi,

$$Q_{\text{taş.}} = P_T - Q_{\text{ış}} \quad (9)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Sparrow ve Chrysler 1982).

Işınım ile olan ısı transferi;

$$Q_{\text{ış}} = F(\epsilon) \cdot F_{1-2}(G) \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_w^4 - T_\infty^4) \quad (10)$$

şeklinde tanımlanır (Sparrow ve Chrysler 1982). Burada;

σ - Stephan Boltzman sabiti ve $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Denklem (5) deki Nu ifadesinde, ısı transfer katsayısı h değerleri yerine konacak olursa;

$$Nu = \frac{Q_{\text{taş.}} \cdot S}{A \cdot k \cdot (T_w - T_\infty)} \quad (11)$$

şeklini alır (Sparrow ve Vemuri 1985).

3.4.1 Işınım ile ısı transferi

Cisimlerin sıcaklıkları sebebiyle etraflarına yaydıkları ışınlarla ısı ışını, olaya ise ısı ışınımı sı veya ışınım ile ısı transferi adı verilmektedir. Taşınım ile ısı transferi olan bir sistemde, ışınım ile olan ısı transferi bazen ihmal edilemeyecek büyüklüktedir. Deney setinde kullanılan plakalardan, pimli plaka için ışınım ile olan ısı transferi şekil faktörünü direk veren bir ifade mevcut değildir. Bunun için sistemin önce tanımlanması ve buna göre bir takım kabullerin yapılması gerekir. Pimli plaka yüzeyinden ışınım ile ısı transferinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1 - Plakalar, pimler ve tüm çevre yüzeyler siyah cisim kabul edilmiştir. $F(\epsilon) = 1$ alındı.

2 - Ortamın ışınımı etkilemediği kabul edilmiştir. (Gaz ışınımı sıfır)

3 - Tüm çevre yüzeyler izotermal ve çevre yüzeylerin sıcaklığı hava sıcaklığına eşit kabul edilmiştir.

4 - Plaka ve pimlerin sıcaklığının aynı ve sabit olduğu kabul edilmiştir.

Denklem (10) $F(\epsilon) = 1$ alınmak suretiyle

$$Q_{ış} = F_{1-2}(G) \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_w^4 - T_\infty^4)$$

şeklını alır.

Şekil 3.7 de görüldüğü gibi pimli plakadan ışıının ile olan ısı transferinde, ışıınının bir miktarı kendi içinde absorbe edilmekte, geriye kalan kısmı ise dış ortama transfer olmaktadır. Yüzeyde; plakadan pımlere, pımlerden pımlere, pımlerden plakaya ve plaka ve pımlerden dış ortama olmak üzere 4 yönde ışıının ile ısı transferi meydana gelmektedir. İlk 3 yöndeki ışıının ile ısı transferinde transfer edilen ısı, plaka içerisinde kaldığından hesaplamalara katılmasına gerek yoktur. Şekil 3.7' de ışıının ile olan ısı transferi gösterilmiştir. Burada;

Q_{1-1} -Işıının ile ısı transferinin plaka yüzeyi içinde kalan kısmı,

Q_{1-2} -Işıının ile ısı transferinin pimli yüzeyden ortama nakledilen kısmıdır.

Pimli plaka şekil faktörü için "dağılım bağıntısı"

$$F_{1-1} + F_{1-2} = 1 \quad (12)$$

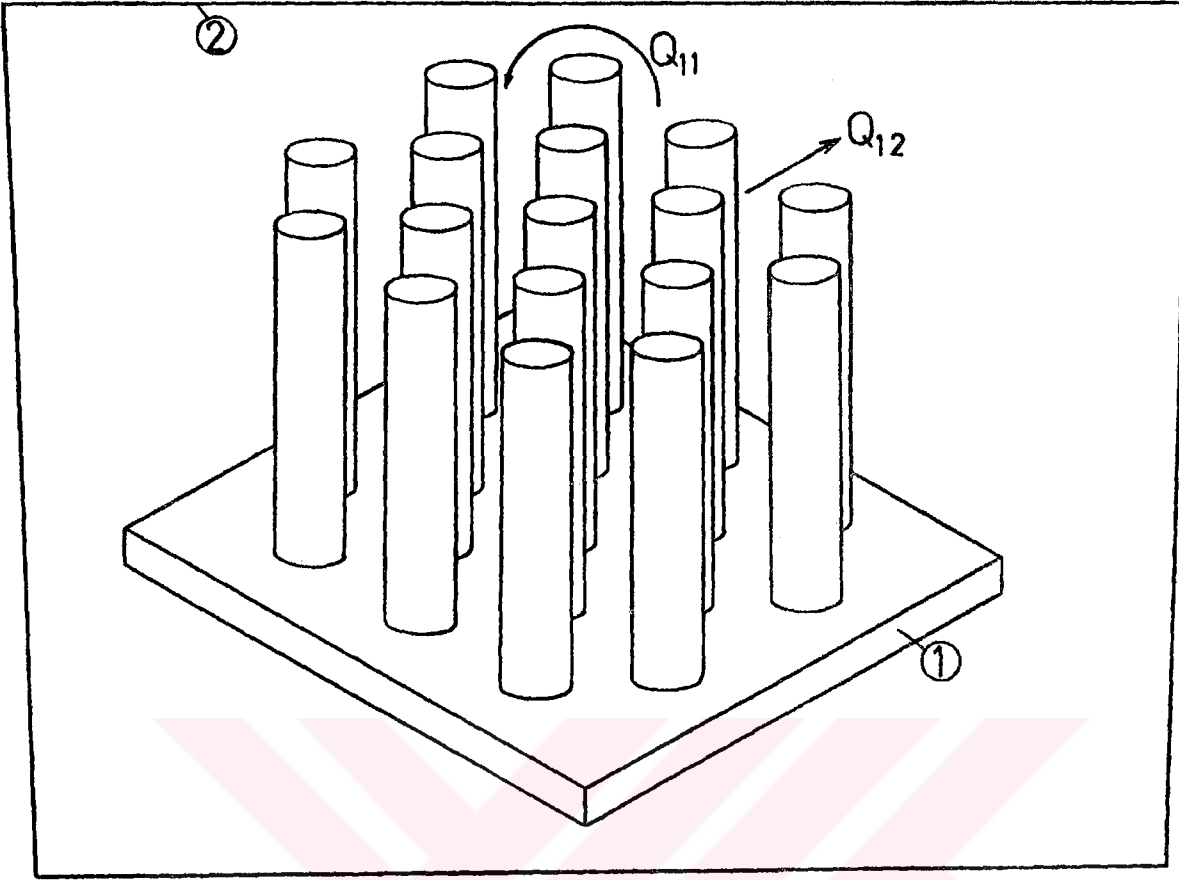
şeklinde yazılabilir (Kakaç 1972).

Buradan, pimli yüzeyden dış ortama ışıının ile ısı transferi şekil faktörü için,

$$F_{1-2} = 1 - F_{1-1} \quad (13)$$

yazılabilir.

F_{1-1} şöyle bulunabilir. Bunun için plakada bulunan pımlerin plakaya eşit modüllerde yerleştirildiği ve her pimin kare yüzeye oturduğu varsayılmıştır. Pim alanı pim sayısına bölünürse, her pim için kare plaka modülü 2.54 x 2.54 cm ebatlarında bulunmuştur. Pımlerden ışıının ile olan ısı transferi hesaplanırken, çevresinde bulunan pımler düzlem yüzeyli birer plaka gibi kabul edilmiştir.

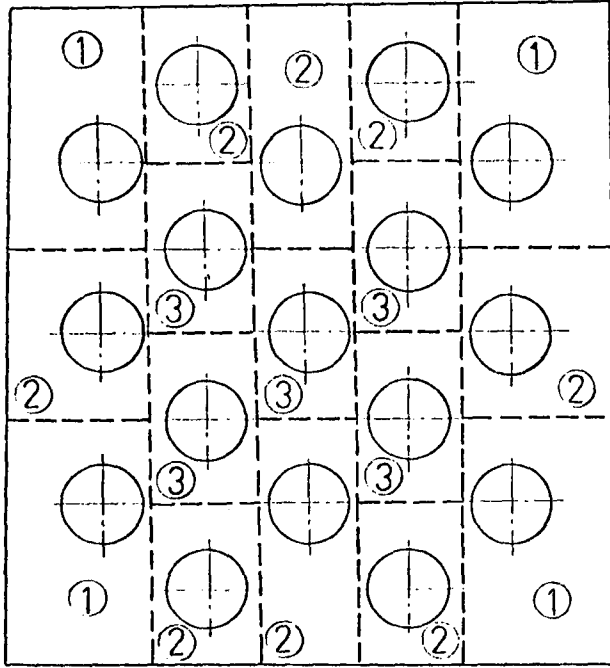


Şekil 3.7 Işınım ile ısı transferi şematik resmi

Pimli plakanın şekil faktörü hesaplanırken pimlerin bir başka pimle olan ilişkisi şöyle sınıflandırıldı.

- 1- Pimlerin bir tarafı kapalı ise tek tarafı kapalı,
- 2- Pimlerin iki tarafı kapalı ise iki tarafı kapalı,
- 3- Pimlerin üç tarafı kapalı ise üç tarafı kapalı,
- 4- Pimlerin dört tarafı kapalı ise dört tarafı kapalı modül olarak adlandırıldı.

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir tarafı kapalı modül hiç yoktur. İki tarafı kapalı modülden 4 adet, 3 tarafı kapalı modülden 8 adet, 4 tarafı kapalı modülden 5 adet pim mevcuttur. Şekil 3.8'de pimlerin modüllere bölünüşü gösterilmiştir.



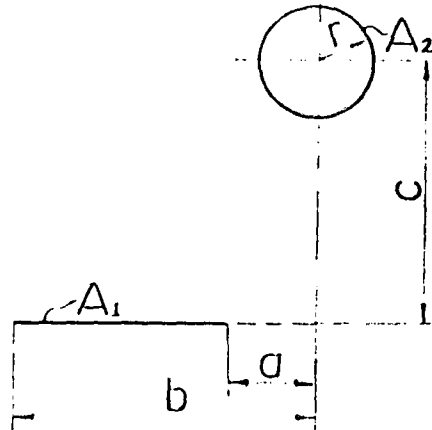
- (1) İki tarafı kapalı modül (4 adet)
- (2) Üç tarafı kapalı modül (8 adet)
- (3) Dört tarafı kapalı modül (5 adet)

Şekil 3.8 Pimlerin modüllere bölünüşü

Değişik modüller için şekil faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Pimlerle plaka arasındaki ışıma şekil faktörü incelenirken, ışıma yapan pim sonsuz uzunlukta bir pim olduğu, düzlem plaka gibi kabul edilen plakanın da sonsuz uzunlukta bir düzlem plaka olduğu varsayılmıştır. Şekil 3.9'daki gibi sonsuz uzunlukta bir plaka ile pim arasındaki şekil faktörü;

$$F_{1-2} = \frac{r}{b-a} \left[\tan^{-1} \frac{b}{c} - \tan^{-1} \frac{a}{c} \right] \quad (14)$$

şeklinde ifade edilebilir (Kakaç 1972).



Şekil 3.9 Sonsuz uzunlukta bir plaka ile pim arasındaki şekil faktörü ilişkisi

Kullanılan modüllerde $a = 0$ olduğundan denklem (14)

$$F_{1-2} = \frac{r}{b} \left(\tan^{-1} \frac{b}{c} \right) \quad (15)$$

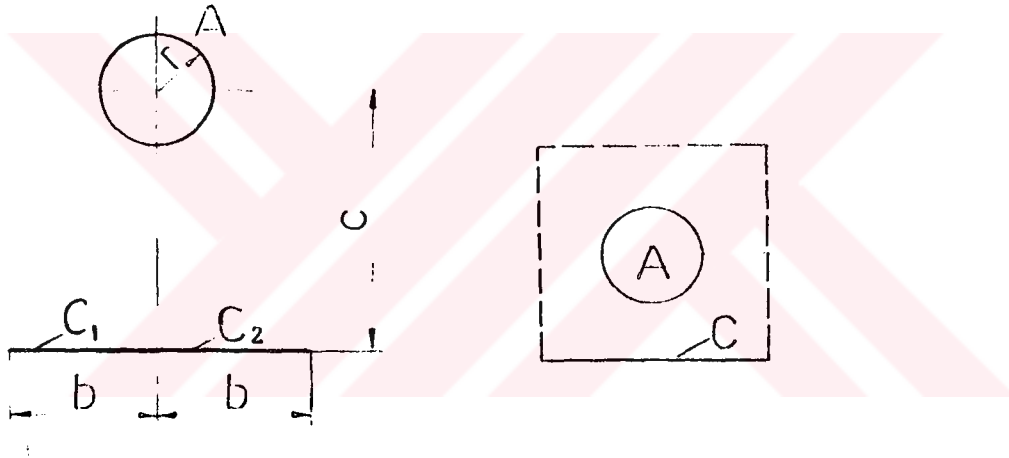
şeklini almıştır. Burada;

Pim yarıçapı, $r = 0.635$ cm,

Pim merkezinin plakaya uzaklığı $c = 1.27$ cm,

Plaka kenarının pim eksenine yatay uzaklığı, $b = 1.27$ cm alınmıştır.

1 tarafı kapalı modül: Pimli plakada bir tarafı kapalı modül olmamasına rağmen, diğer modül hesaplamalarında kullanılacağı için, bu modül içinde pimden plakaya şekil faktörü bulunmuştur. Bir tarafı kapalı modül sematik resmi Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



$$b = 1,27 \text{ cm}$$

$$c = 1,27 \text{ cm}$$

Şekil 3.10 Bir tarafı kapalı modül

Denklem (15) Şekil 3.10'a uyarlandığında,

$$F_{C1-A} = \frac{r}{b} \left(\tan^{-1} \frac{b}{c} \right)$$

şeklini almıştır. Bir tarafı kapalı modül için sayısal değerler yerine konacak olursa,

$$F_{C1-A} = \frac{0.635}{1.27} \tan^{-1} \frac{1.27}{1.27} = 0.39267$$

Karşılık bağıntısından,

$$F_{A-C1} A_A = F_{C1-A} A_{C1} \quad (16)$$

yazılabilir. (Kakaç 1972)

$$F_{A-C1} = \frac{A_{C1}}{A_A} F_{C1-A} = \frac{1.27 * 6.7}{26.73} 0.39267 = 0.125$$

$$F_{A-C1} = F_{A-C2} \text{ olduğundan } F_{A-C} = 2 * F_{A-C1} = 2 * 0.125 = 0.25$$

Kapalı hacimlerde yayılı şekil faktörü için;

$$\sum_{j=1}^N F_{A_i-A_j} = 1 \quad (17)$$

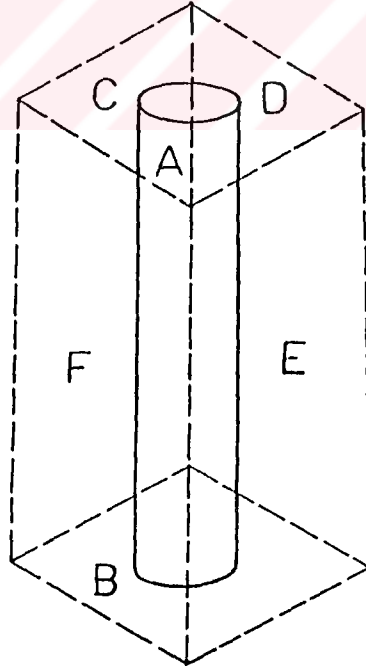
ifadesi geçerlidir (Kakaç 1972).

Buradan hareketle, ışınum ile ısı yayımlayan pimin, kapalı bir dikdörtgen prizma içinde olduğu varsayıldığında Şekil 3.11'den;

$$4 F_{A-C} + 2 F_{A-B} = 1 \text{ yazılabilir.}$$

Buradan;

$$F_{A-B} = \frac{1 - 4 F_{A-C}}{2} = \frac{1 - 4 * 0.25}{2} = 0 \text{ bulunur.}$$



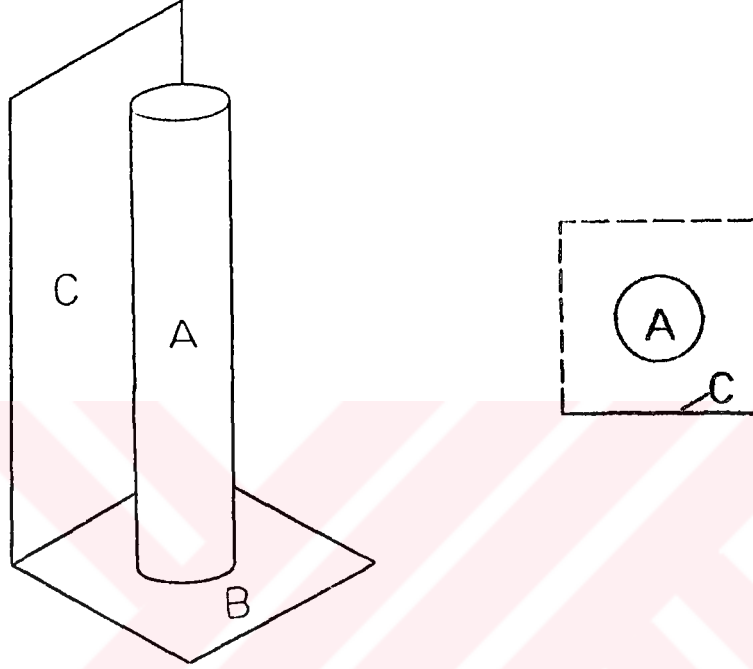
Şekil 3.11 Kapalı dikdörtgen prizma ve pim

Tek tarafı kapalı modül için pimin bünyesinde kalan şekil faktörünün (F_{1-1}) hesaplanması aşağıdaki formülle yapılabilir. Karşılık bağıntısından;

$$F_{1-1} = \frac{A_A}{A_{TOP.}} (F_{A-B} + F_{A-C}) + \frac{A_B}{A_{TOP.}} (F_{B-A} + F_{B-C}) + \frac{A_C}{A_{TOP.}} (F_{C-A} + F_{C-B}) + \dots$$

yazılabilir.

Şekil 3.12'de tek tarafı kapalı modül şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Tek tarafı kapalı modül şematik görünüşü

Sayısal değerlere geçmeden önce taban alanı, yanıl modül alanı ve pim alanını hesaplanırsa,

$$A_A = \pi \cdot D \cdot L = \pi * 1.27 * 6.7 = 26.73 \text{ cm}^2$$

$$A_C = C \cdot L = 2.54 * 6.7 = 17.02 \text{ cm}^2$$

$$A_B = C * C - \frac{\pi * D^2}{4} = 2.54 * 2.54 - \frac{\pi * (1.27)^2}{4} = 5.18 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

$A_{TOP.}$ -Hesaplama yapılan modül içinde pim, taban ve yanıl düzlem yüzeylerin toplam alanını ihtiva eder.

$$A_{TOP.} = A_A + A_B + A_C + A_D + A_E + \dots$$

(18)

$$A_{TOP} = 26.73 + 17.02 + 5.18 = 48.93 \text{ cm}^2$$

$$A_B F_{B-A} = A_A F_{A-B} \quad F_{A-B} = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{B-A} = 0$$

Birbirine dik düzlemlerde olan ışınım iptal edildiğinden $F_{B-C} = 0$ dir.

$$A_C F_{C-A} = A_A F_{A-C} \quad \Rightarrow \quad F_{C-A} = \frac{A_A}{A_C} F_{A-C} \quad \Rightarrow \quad F_{C-A} = \frac{26.73}{17.018} 0.25 = 0.3926$$

$$F_{1-1} = \frac{26.73}{48.93} 0.25 + \frac{17.02}{48.93} 0.3926 = 0.2731$$

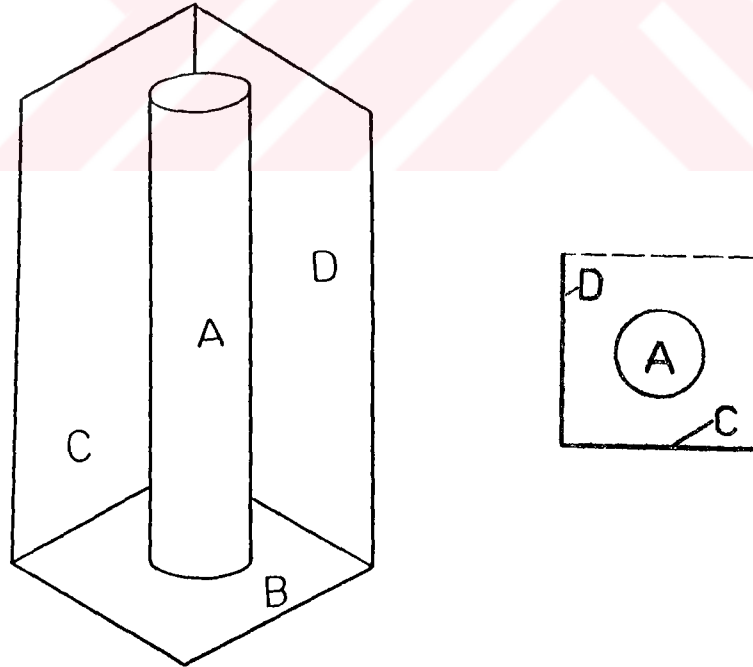
2 tarafı kapalı modül: Pimli plakada iki tarafı kapalı modülden 4 adet mevcuttur. İki tarafı kapalı modül için karşılık bağıntısı,

$$F_{M1-1} = \frac{A_A}{A_{TOP}} (F_{A-B} + F_{A-C} + F_{A-D}) + \frac{A_B}{A_{TOP}} (F_{B-A} + F_{B-C} + F_{B-D}) + \frac{A_C}{A_{TOP}} (F_{C-A} + F_{C-B} + F_{C-D})$$

$$+ \frac{A_D}{A_{TOP}} (F_{D-A} + F_{D-B} + F_{D-C}) \text{ şeklinde yazıldı.}$$

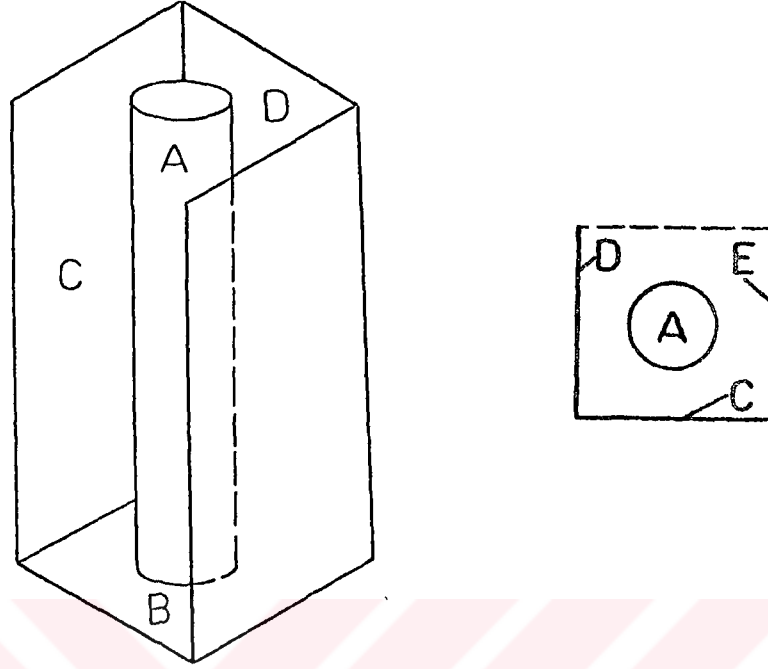
$$A_{TOP} = A_A + A_B + A_C + A_D = 26.73 + 5.18 + 17.02 + 17.02 = 65.95 \text{ cm}^2$$

$$F_{M1-1} = \frac{26.73}{65.95} (0.25 + 0.25) + \frac{17.02}{65.95} (0.3926) + \frac{17.02}{65.95} (0.3926) = 0.4052$$



Şekil 3.13 İki tarafı kapalı modül şematik görünüşü

3 tarafı kapalı modül: Pimli plakada 3 tarafı kapalı modülden 8 adet mevcuttur. Şekil 3.14' de üç tarafı kapalı modül şematik resmi verilmiştir.



Şekil 3.14 3 tarafı kapalı modül şematik görünüşü

Bu modül için karşılık bağıntısı;

$$F_{M2-1} = \frac{A_A}{A_{TOP.}} (F_{A-B} + F_{A-C} + F_{A-D} + F_{A-E}) + \frac{A_B}{A_{TOP.}} (F_{B-A} + F_{B-C} + F_{B-D} + F_{B-E})$$

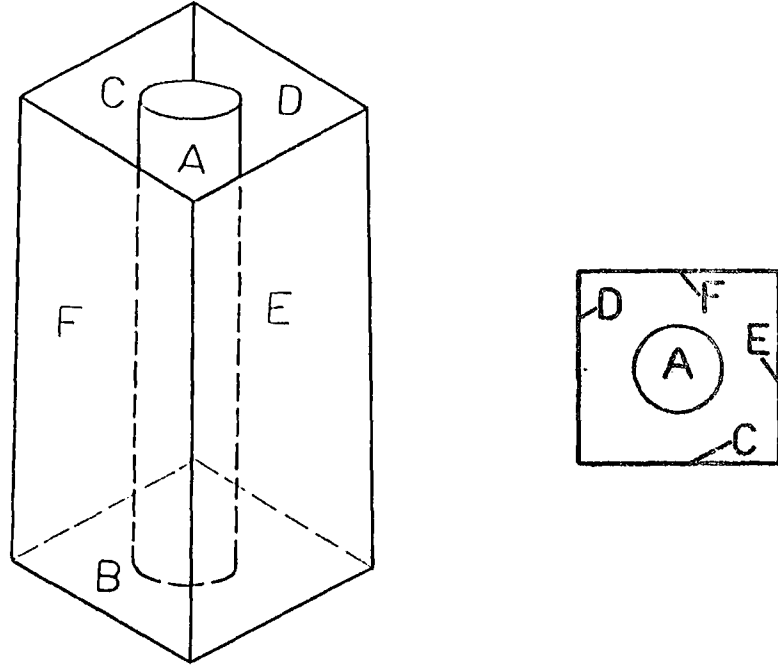
$$+ \frac{A_C}{A_{TOP.}} (F_{C-A} + F_{C-B} + F_{C-D} + F_{C-E}) + \frac{A_D}{A_{TOP.}} (F_{D-A} + F_{D-B} + F_{D-C} + F_{D-E})$$

$$+ \frac{A_E}{A_{TOP.}} (F_{E-A} + F_{E-B} + F_{E-C} + F_{E-D}) \text{ şeklinde yazıldı.}$$

$$A_{TOP.} = A_A + A_B + A_C + A_D + A_E = 26.73 + 5.18 + 17.02 + 17.02 + 17.02 = 82.96 \text{ cm}^2$$

$$F_{M2-1} = \frac{26.73}{82.96} (0.25 + 0.25 + 0.25) + 3 \frac{17.02}{82.96} (0.3926) = 0.4832$$

4 tarafı kapalı modül: Pimli plakada 4 tarafı kapalı modülden 5 adet mevcuttur. Şekil 3.15'de 4 tarafı kapalı modül şematik resmi verilmiştir.



Şekil 3.15 4 tarafı kapalı modül şematik görünüşü

Bu modül için karşılık bağıntısı;

$$F_{M3-1} = \frac{A_A}{A_{TOP.}} (F_{A-B} + F_{A-C} + F_{A-D} + F_{A-E} + F_{A-F}) + \frac{A_B}{A_{TOP.}} (F_{B-A} + F_{B-C} + F_{B-D} + F_{B-E} + F_{B-F})$$

$$+ \frac{A_C}{A_{TOP.}} (F_{C-A} + F_{C-B} + F_{C-D} + F_{C-E} + F_{C-F}) + \frac{A_D}{A_{TOP.}} (F_{D-A} + F_{D-B} + F_{D-C} + F_{D-E} + F_{D-F})$$

$$+ \frac{A_E}{A_{TOP.}} (F_{E-A} + F_{E-B} + F_{E-C} + F_{E-D} + F_{E-F}) \text{ şeklinde yazıldı.}$$

$$A_{TOP.} = A_A + A_B + A_C + A_D + A_E + A_F \Rightarrow$$

$$A_{TOP.} = 26.73 + 5.18 + 17.02 + 17.02 + 17.02 + 17.02 = 99.99 \text{ cm}^2$$

$$F_{M3-1} = \frac{26.73}{99.99} (0.25 + 0.25 + 0.25 + 0.25) + 4 \frac{17.02}{99.99} 0.3926 = 0.5346$$

Karşılık bağıntısından tüm pimli plaka için,

$$F_{1-1} = \frac{A_{M1} \cdot F_{M1-1} + A_{M2} \cdot F_{M2-1} + A_{M3} \cdot F_{M3-1}}{\sum A_M} \quad (19)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada;

A_{M1} = İki tarafı kapalı modül alanı,

$$F_{1-1} = \frac{A_{M1} \cdot F_{M1-1} + A_{M2} \cdot F_{M2-1} + A_{M3} \cdot F_{M3-1}}{\sum A_M} \quad (19)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada;

A_{M1} = İki tarafı kapalı modül alanı,

A_{M2} = Üç tarafı kapalı modül alanı,

A_{M3} = Dört tarafı kapalı modül alanı,

$$\sum A_M = 4A_{M1} + 8A_{M2} + 5A_{M3} \quad (20)$$

$$\sum A_M = 4 \cdot 65.95 + 8 \cdot 82.96 + 5 \cdot 99.98 = 1427.45 \text{ cm}^2$$

$$F_{1-1} = \frac{4 \cdot 65.95 \cdot 0.4052 + 8 \cdot 82.96 \cdot 0.4832 + 5 \cdot 99.98 \cdot 0.5346}{1427.4556} = 0.4867$$

$$F_{1-1} + F_{1-2} = 1 \Rightarrow F_{1-2} = 1 - F_{1-1} = 1 - 0.4867 = 0.5132 \text{ bulunur.}$$

Denklem (10)'da yukarıda bulunan değerler yerine konursa

$$Q_{i\varnothing} = 1 \cdot 0.5132 \cdot 0.05644 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (T_w^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{i\varnothing} = 1.6423 \cdot 10^{-9} \cdot (T_w^4 - T_\infty^4) \quad (21)$$

şekline gelir. Bu değer ışınım ile ısı transferi değerleri bulunurken kullanılacak formüldür.

3.4.2 Grafiklerin çizilmesi

Deneyle sonunda hesaplanan Nu ve Ra sayıları en küçük kareler yöntemine göre grafiklendirilmişlerdir.

$$Nu = A Ra^B \quad (22)$$

$$\ln Nu = \ln A + B \ln Ra \quad (23)$$

ve $y = \ln Nu$

$$x = \ln Ra$$

$$c = \ln A \quad (24)$$

dönüşümleri ile

$$y = Bx + c \quad (25)$$

ifadesi yazılır. Bu ifade bir doğru denklemini gösterir. En küçük kareler metoduna göre, deney sayısı $i=1$ den $n=10$ 'a kadar olmak üzere (25) eşitliğinde

bulunan $y(x_i)$ değerlerinin deneyden elde edilen y_i değerlerine yaklaşılabilişesi için aradaki farkların kareleri toplamı, minimum olmalıdır(Kelly 1967).

$$\sum_{i=1}^n [y_i - y(x_i)]^2 = \min. \quad (26)$$

Bunun için

$$\frac{\partial}{\partial c} \sum_{i=1}^n [y_i - (Bx_i + c)]^2 = 0 \quad (27)$$

$$\frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=1}^n [y_i - (Bx_i + c)]^2 = 0 \quad (28)$$

olmalıdır. İşlem yapılırsa

$$cn + B \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (29)$$

$$c \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i y_i) \quad (30)$$

ifadeleri bulunur. Bu iki eşitlikten

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n x_i \right]^2} \quad (31)$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - B \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (32)$$

ve

$A = e^c$ elde edilir.

Her iki plakada tüm konumlar için hesaplanan A ve B değerleri Ek 5 de tablo halinde sunulmuştur.

3.4.3 Örnek hesaplamalar

3.4.3.1 Pimsiz plaka

Deneyler esnasında ölçülen ortam sıcaklığı (T_{∞}), plaka sıcaklığı (T_w) ve bunlara karşılık gelen değerler hesaplanıp Ek-1 ve Ek-2'de tablolar halinde verilmiştir. Işınım ile olan ısı transferinin hesaplanmasında, yukarıda değindiğimiz tüm varsayım ve kabuller pimsiz plaka için de aynen kabul edilmiştir. Bu verilerden yararlanarak örnek bir ölçüme ait Nusselt ve Rayleigh sayıları aşağıdaki yol takip ederek bulundu. Örnek olarak 0° ve 2 W değeri gözönüne alındı.

0° ve 2 W için deneyden aşağıdaki veriler alınmıştır.

$$T_w = 307.55 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 297.85 \text{ K}$$

Film sıcaklığı,

$$T_f = \frac{T_w + T_{\infty}}{2} = \frac{307.55 + 297.85}{2} = 302.7 \text{ K}$$

Plaka ile ortam arasındaki sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_w - T_{\infty} = 307.55 - 297.85 = 9.7 \text{ K}$$

Işınım ile olan ısı transferi,

$$Q_{i\dot{s}} = \epsilon \cdot F_{1-2} \cdot \sigma \cdot A_d (T_w - T_{\infty})$$

$$Q_{i\dot{s}} = 1 \cdot 1 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 0.011 \cdot \{(307.55)^4 - (297.85)^4\} = 0.67136 \text{ W}$$

olarak hesaplanır.

Taşınım ile olan ısı transferi

$$Q_{ta\dot{s}} = P_{\Gamma} - Q_{i\dot{s}} \text{ şeklinde idi.}$$

$$Q_{ta\dot{s}} = 2 - 0.67136 = 1.32864 \text{ W}$$

Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{Q_{ta\dot{s}} \cdot S}{A \cdot k \cdot (T_w - T_{\infty})}$$

$$A = S \cdot b, \quad S = 0.11 \text{ m}, \quad b = 0.1 \text{ m}, \quad k = 0.0264 \text{ (w/mK)}$$

$$Nu = \frac{1.3286 * 0.11}{0.11 * 0.1 * 0.0264 * (307.55 - 297.85)} = 48,8757$$

bulunur.

Isıl genleşme katsayısı,

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{302.7} = 3.3036 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Rayleigh sayısı,

$$Ra = g \beta \Delta T S^3 Pr / \nu^2$$

$$Pr = 0.712 \quad \nu = 15.998 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

$$Ra = 9.81 * 3.3036 \cdot 10^{-3} * 9.7 * (0.11)^3 * 0.712 / (15.998 \cdot 10^{-6})^2 = 11.6406 \cdot 10^5$$

olarak hesaplanır.

Burada sadece bir konum ve bir giriş gücü için örnek hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamalar 2 ile 20 W arasında her giriş gücü ve her konum için ayrı ayrı yapıldı ve bir tablo haline getirildi. Bu tablolar Ek 1 ve Ek 2 de sunulmuştur.

3.4.3.2 Pimli plaka

Pimli plaka içinde deneyler esnasında ölçülen ortam sıcaklığı (T_∞), plaka sıcaklığı (T_w) ve bunlara karşılık gelen değerler hesaplanıp Ek-3 ve Ek-4'de tablolar halinde verilmiştir. Bu verilerden yararlanarak örnek bir ölçüme ait Nusselt ve Rayleigh sayıları aşağıdaki yol takip ederek bulundu. Örnek olarak 0° ve 5 W değeri gözönüne alındı.

0° ve 5 W için deneyden aşağıdaki değerler alınmıştır.

$$T_w = 306.65 \text{ K}$$

$$T_\infty = 297.55 \text{ K}$$

Film sıcaklığı,

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{306.65 + 297.55}{2} = 302.1 \text{ K}$$

Plaka ile ortam arasındaki sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_w - T_\infty = 306.65 - 297.55 = 9.1 \text{ K}$$

Işınım ile olan ısı transferi,

$$Q_{ış} = F(\epsilon) \cdot F_{1-2}(G) \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_w^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{ış} = 1 \cdot 0.5132 \cdot 0.05644 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \{ (306.65)^4 - (297.55)^4 \} = 1.6486 \text{ W}$$

bulunur.

Taşınım ile olan ısı transferi,

$$Q_{taş} = P_T - Q_{ış} = 5 - 1.6486 = 3.3514 \text{ W}$$

olarak hesaplanır.

Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{Q_{taş} \cdot S}{A \cdot k \cdot (T_w - T_\infty)}$$

$$\Lambda = S \cdot b, \quad S = 0.11 \text{ m}, \quad b = 0.1 \text{ m}, \quad k = 0.0263 \text{ (w/m K)}$$

$$Nu = \frac{3.3514 \cdot 0.11}{0.11 \cdot 0.1 \cdot 0.0263 \cdot 9.1} = 139.8933$$

Rayleigh sayısını,

$$Ra = g \beta \Delta T S^3 Pr / \nu^2$$

Isıl genişleme katsayısı,

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{302.1} = 3.3102 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Pr = 0.7121 \quad \nu = 15.9424 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Ra = 9.81 \cdot 3.3102 \cdot 10^{-3} \cdot 9.1 \cdot (0.11)^3 \cdot 0.7121 / (15.9424 \cdot 10^{-6})^2$$

$$Ra = 11.0199 \cdot 10^5$$

olarak bulunur.

Burada sadece bir konum ve bir giriş gücü için örnek hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamalar 5 ile 50 W arasında her giriş gücü ve her konum için ayrı ayrı yapıldı ve bir tablo haline getirildi. Bu tablolar Ek 3 ve Ek 4 de sunulmuştur.

3.4.4 Kanat etkinliği ve Kanat verimliliği

Kanatların karşılaştırılması ve değerlendirilmeleri için iki faktör kullanılır. Kanatçık etkinliği ϕ , kanatçık taban alanından (A_p) pim varken transfer edilen ısının, aynı alandan pim yokken transfer edilen ısıya oranıdır. Kanatçık verimi η ise, kanat yüzeyinden çevre akışkana transfer edilen ısının kanatığın tüm yüzeyinde sıcaklık taban sıcaklığına eşit olduğu takdirde muhtemel ısı transferine oranı olarak tanımlanır.

$$\phi = \sqrt{\frac{kP}{hA}} \frac{\text{Sinh}mL + N \cdot (\text{Cosh}mL - 1)}{\text{Cosh}mL + N \cdot \text{Sinh}mL} \dots\dots\dots(33)$$

yazılabilir. Kanatçık verimi η içinse;

$$\eta = \frac{\sqrt{hPkA} \text{Sinh}mL + N \cdot (\text{Cosh}mL - 1)}{hPL + h_e A \text{Cosh}mL + N \cdot \text{Sinh}mL} \dots\dots\dots(34)$$

yazılabilir. Burada

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{k \cdot A}} = \sqrt{\frac{h \pi D}{k \frac{\pi D^2}{4}}} = \sqrt{\frac{4h}{kD}} \dots\dots\dots(35)$$

$$N = \frac{h}{k \cdot m} \dots\dots\dots(36)$$

formülleri ile veya

$$\phi = A_p \cdot \eta / A_d \dots\dots\dots(37)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

4. DENEY SONUÇLARI

Deneylerden elde edilen parametreler; plakalara düşeye göre açı verilmesiyle ısı transferindeki değişimler, plakaların ısınan yüzeylerinin yukarı ve aşağı bakmasıyla ısı transferindeki farklılıklar, pimli plakanın pimsiz plakaya göre ısı transferini artırması ve ışınım ile ısı transferinin toplam giriş gücüne oranının sıcaklıkla değişimi başlıkları altında yorumlandı.

1- Pimli ve pimsiz plakalarda yüzeylere düşeye göre belirli açılar verilmiştir. Ölçülen büyüklüklerle, hesaplanan Ra ve Nu sayıları, açı ile birlikte transfer edilen ısının da değiştiğini göstermiştir. Düşeye göre açının artması ile birlikte, transfer edilen ısıda azalma görülmüştür. Bu azalma pimsiz plakada 0° ile 30° arasında % 5, 0° ile 60° arasında % 10 ve 0° ile 90° arasında %14 olmuştur. Pimli plakada ise 0° ile 30° arasında % 5, 0° ile 60° arasında % 11 ve 0° ile 90° arasında % 15 ısı transferi farkı vardır. Her iki plakada da değişimler birbirine yakın değerdedir. Pimli ve pimsiz plakalarda düşeye göre açının artmasına bağlı Ra - Nu değişimleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

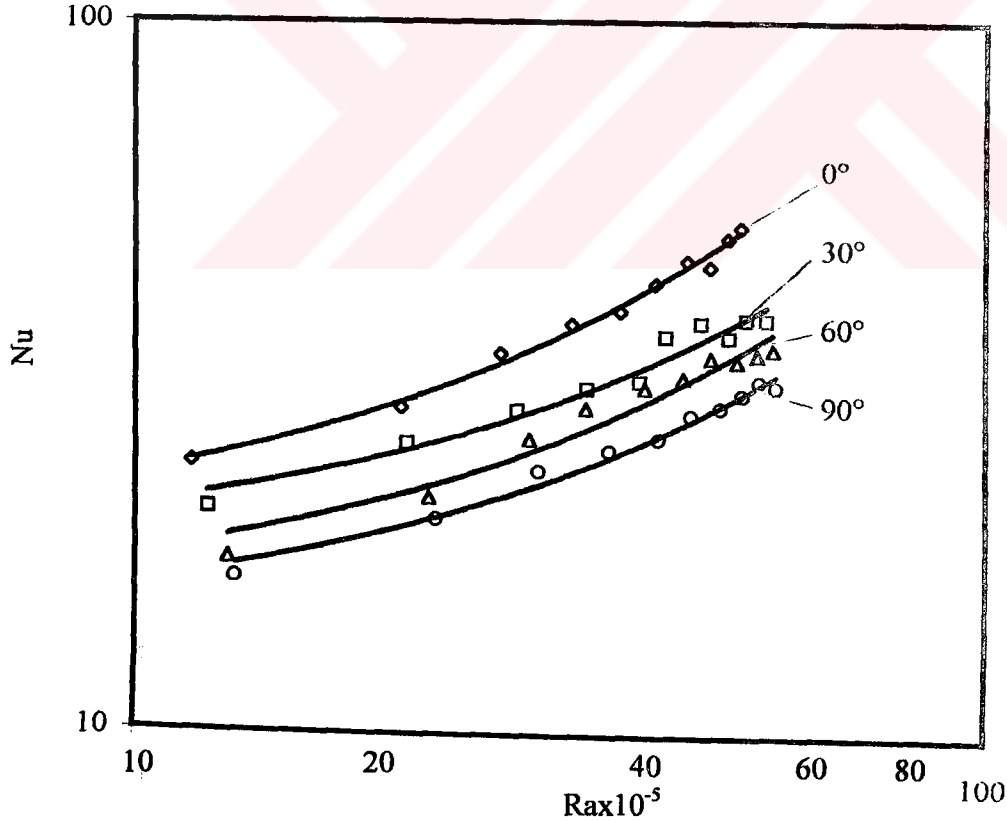
Elde edilen sonuçlar (Alassio ve Kaminski 1989) tarafından pimplere açı vererek ısı transferinin değişiminin incelendiği deney sonuçları ile uyum sağlamaktadır.

2- Deneylerden elde edilen bir başka sonuç da, ısınan plaka yüzeylerinin düşeye göre aşağı ve yukarı bakması arasında ısı transferi farklılıklarının oluşudur. Plaka yüzeyinin yukarı baktığı durumda transfer edilen ısı, aşağı baktığı konuma göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Oran olarak bu miktar tüm değerler alındığında % 5 civarındadır. Bu görüş daha önce bu doğrultuda çalışma yapan (Sparrow ve Vemuri 1985) ikilisi tarafından bulunan sonuçlarla paralellik taşımaktadır.

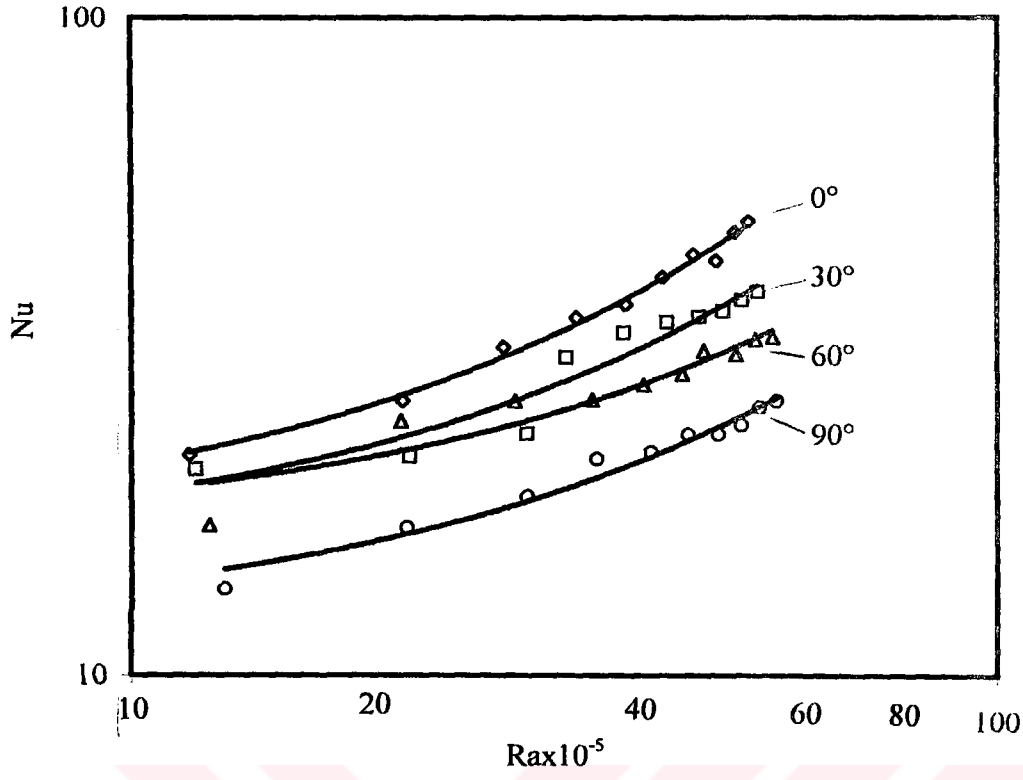
Örnek olarak Şekil 4.5'de pimsiz plakanın 30° , Şekil 4.6'da pimli plakanın 60° değerleri için, plakaların düşeye göre yukarı ve aşağı bakan konumlarında Ra-Nu ilişkilerini göstermektedir.

3- Deneylelerden çıkan sonuçlardan, pimli ve pimsiz plaka arasındaki ısı transferi kıyaslanacak olursa, yüzeylere pim eklenerek alanının artırılması ile ısı transferinde artış olmuştur. Bu sonuca gerek sıcaklık farklarındaki değişimler, gerekse hesaplanan Nu-Ra sayıları sonucu varılmıştır. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de pimli ve pimsiz plakanın yukarı ve aşağı bakan konumu için ısıtma yüzeyinin artırılması ile birlikte Ra-Nu arasındaki değişim gösterilmiştir. Kanatçık etkinliği % 115 ile 140 arasında, Kanatçık verimi ise % 59 ile 66 arasında değişmiştir.

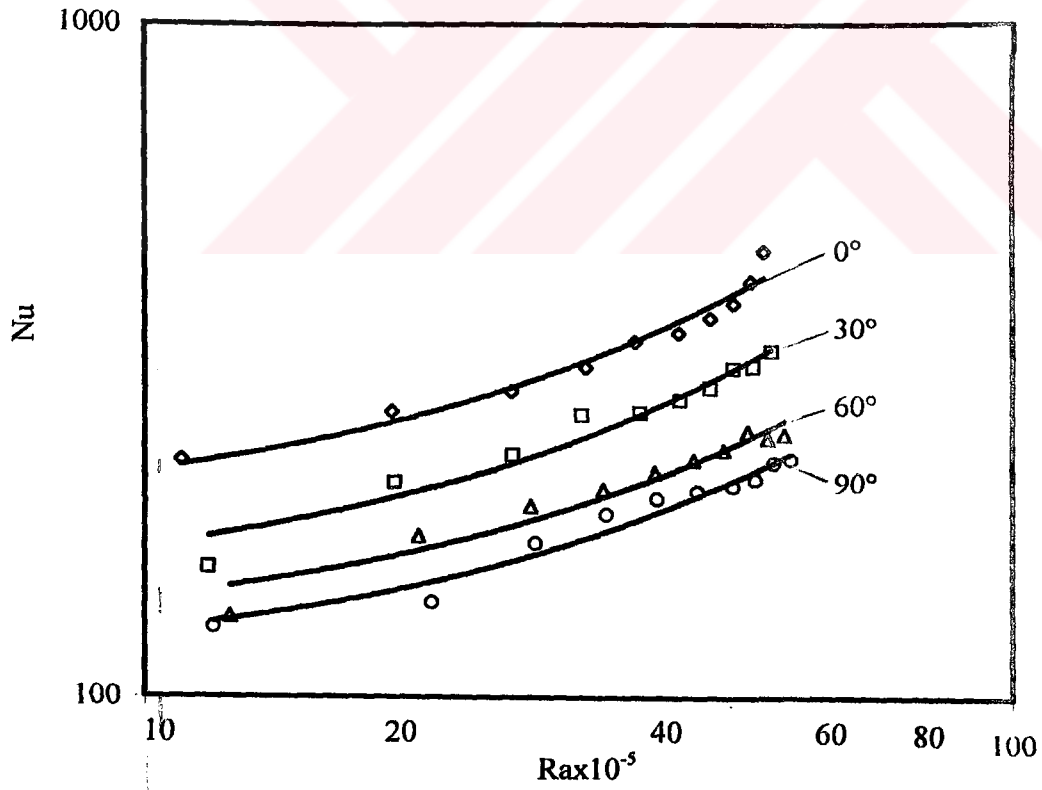
4- Işınım ile olan ısı transferinin toplam giriş gücüne göre değişimini incelendiğinde düşük giriş güçlerinde ışınımın etkisinin daha yüksek olduğu görüldü. Bir başka deyişle düşük sıcaklıklarda ışınım ile olan ısı transferi oranının, yüksek sıcaklıklarda olan oranına göre daha fazla olmuştur. Sıcaklığın artmasıyla birlikte, ışınım ile olan ısı transferinde kısmen azalma gözlenmiştir. Şekil 4.9'da pimsiz plakada sıcaklığın artması ile birlikte ışınım ile olan ısının azalması Rayleigh sayısına bağlı olarak gösterilmiştir. Bu görüş (Sparrow ve Vemuri 1985) yaptıkları çalışma sonucuna uymaktadır.



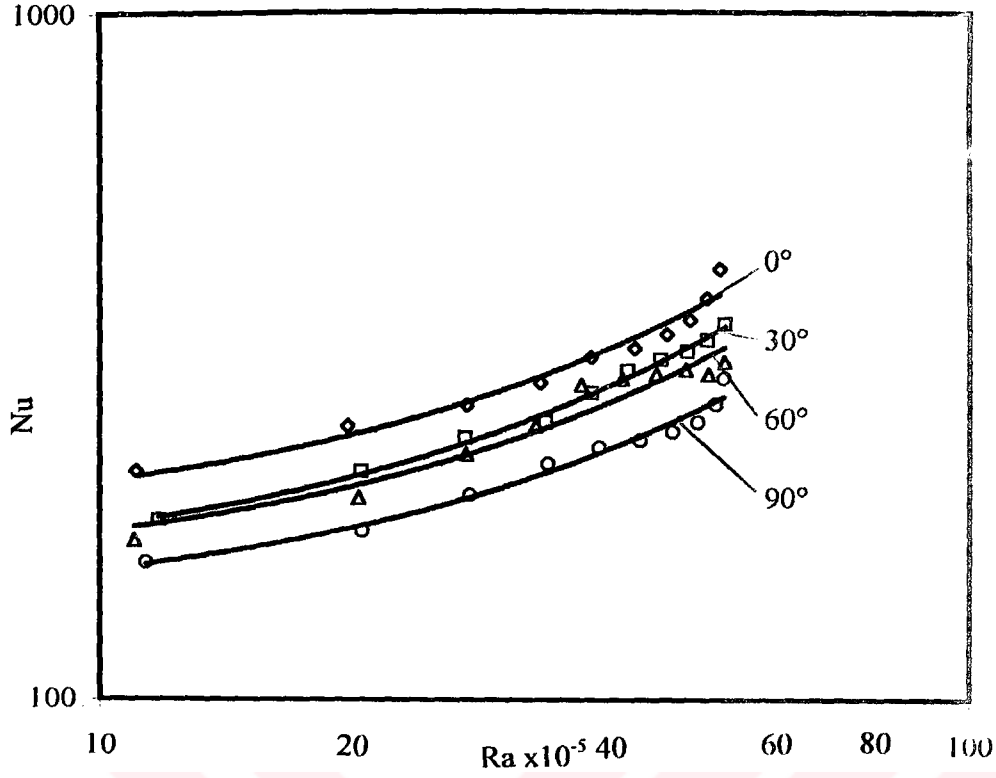
Şekil 4.1 Pimsiz plaka aşağı bakan durumu için Ra -Nu değişimi.



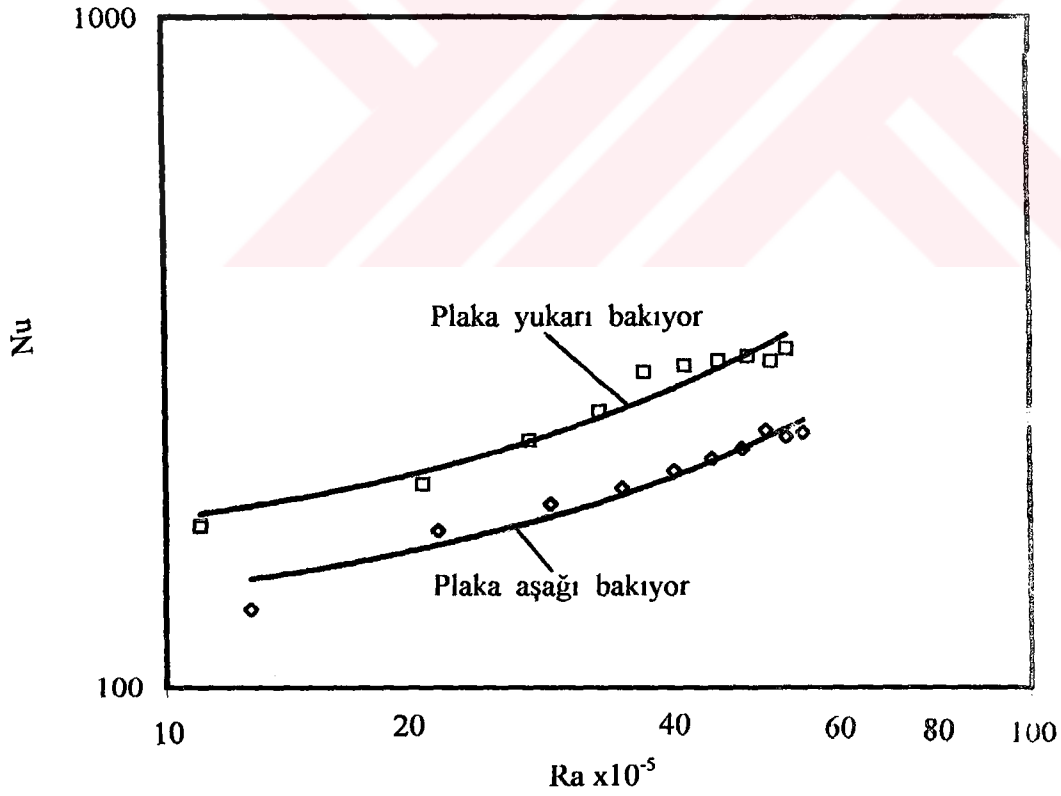
Şekil 4.2 Pimsiz plaka yukarı bakan durumu için Ra -Nu değişimi.



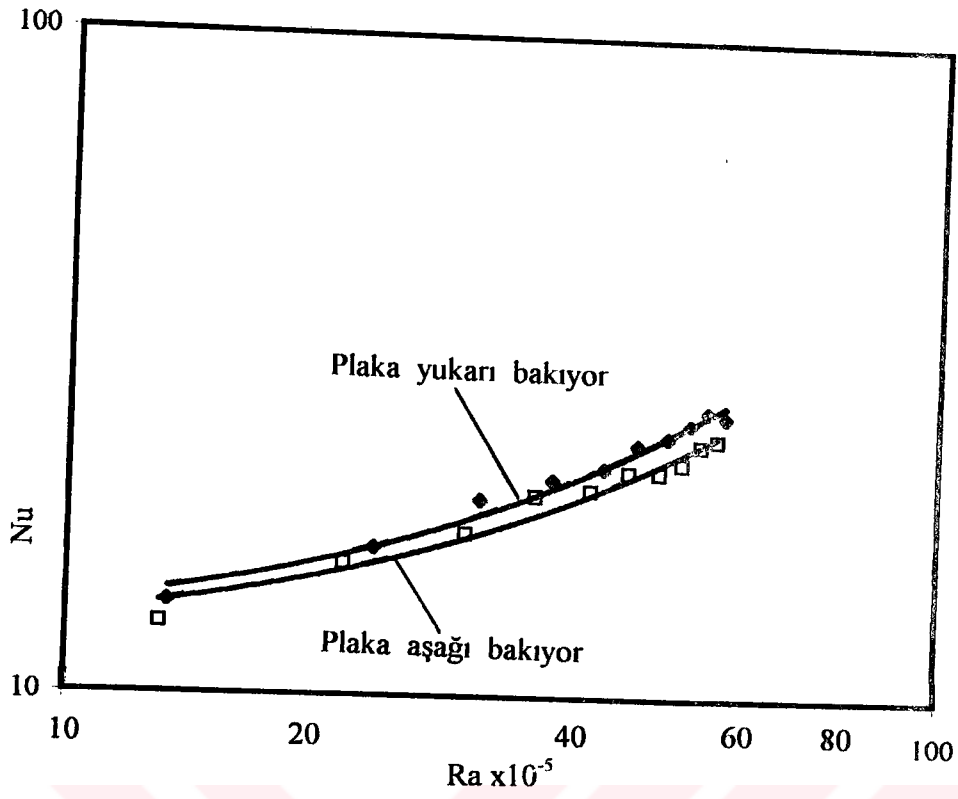
Şekil 4.3 Pimli plaka aşağı bakan durumu için Ra -Nu değişimi.



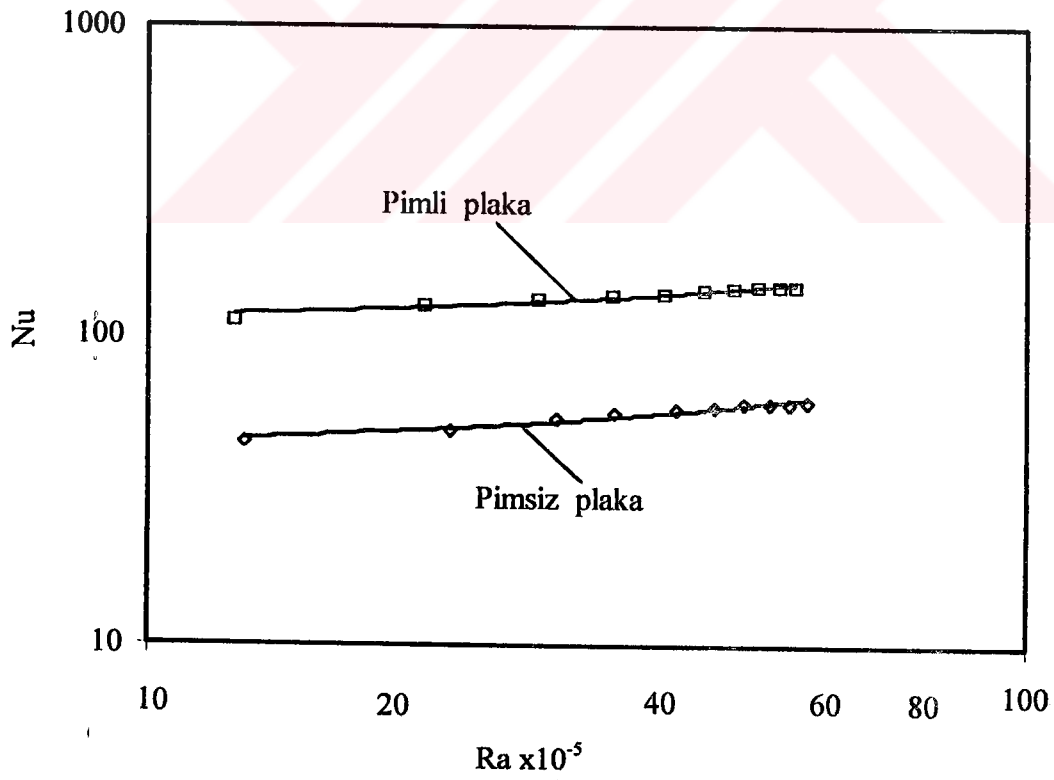
Şekil 4.4 Pimli plaka aşağı bakan durumu için Ra -Nu değişimi.



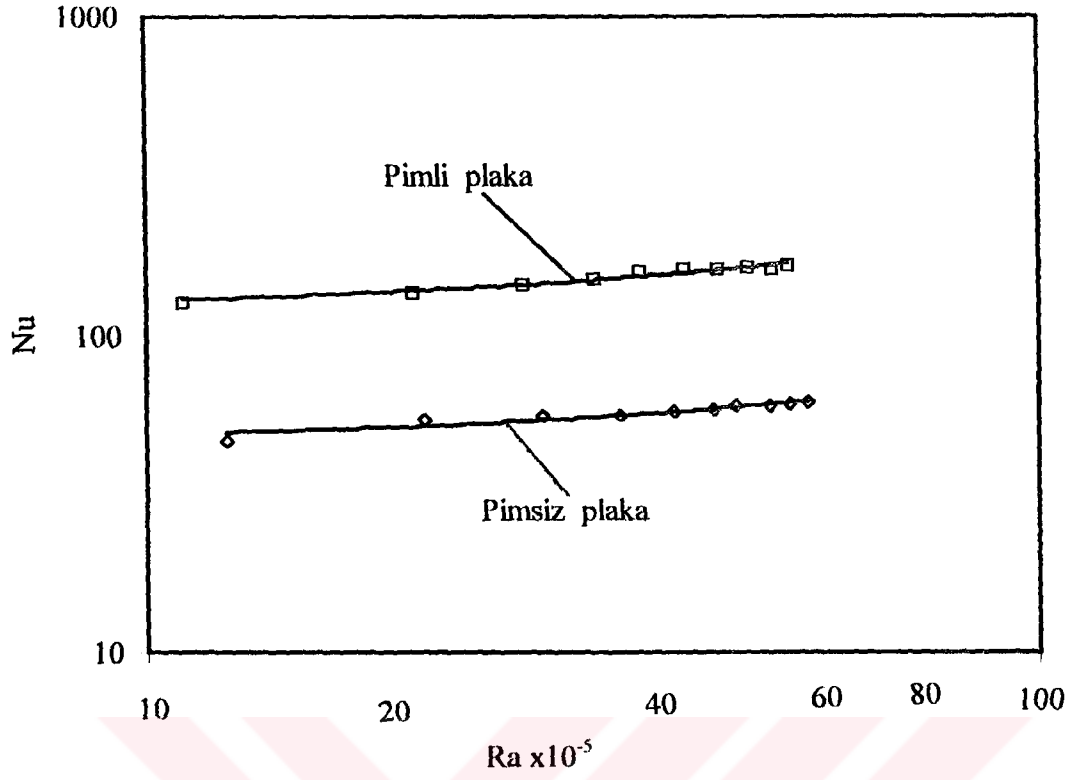
Şekil 4.5 Pimsiz plaka yukarı-aşağı bakan durumu için Ra -Nu değişimi (30°)



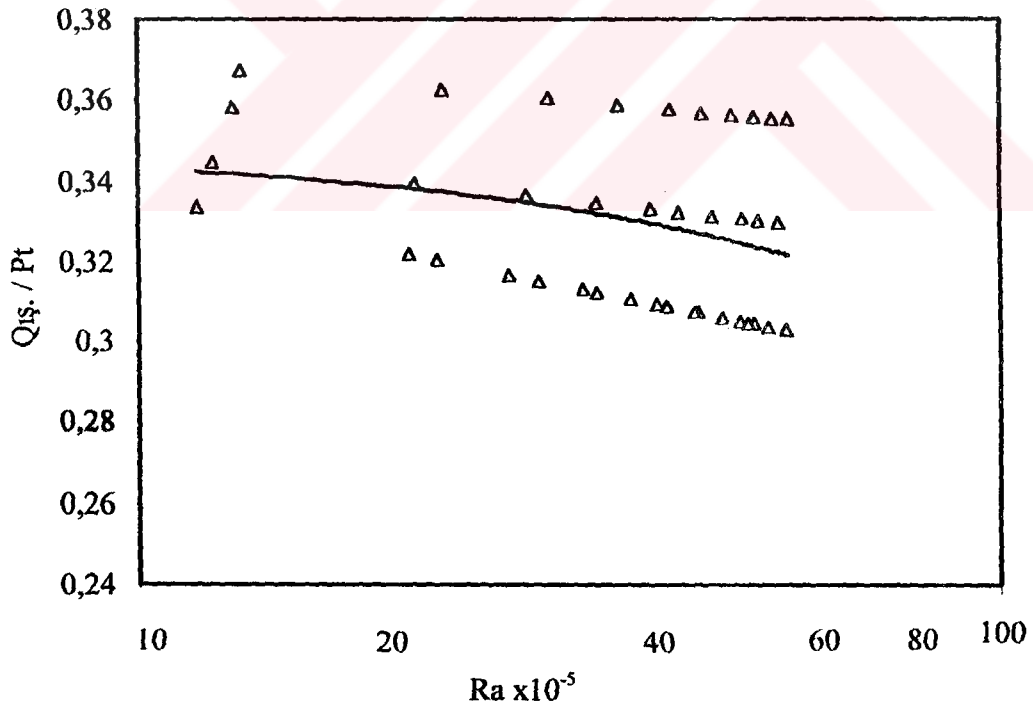
Şekil 4.6 Pimli plaka yukarı-aşağı bakan durumu için Ra -Nu değışimi. (60°)



Şekil 4.7 Pimli-pimsiz plaka aşağı bakan durumu için Ra -Nu değışimi (60°).



Şekil 4.8 Pimli-pimsiz plaka yukarı bakan durumu için Ra -Nu değişimi(60°).



Şekil 4.9 $Q_{ış.}/\text{Toplam giriş gücü}$ -Rayleigh sayısı ile değişimi.

5 . TARTIŞMA

Deneyler sonunda bulunan veriler, bu konular üzerine daha önce çalışmalar yapan araştırmacıların buldukları sonuçlarla kıyaslama yapıldığında, genel manada bir paralellik arzetmektedir. Ancak deney sonuçlarında bulunan, ısı transferi oranlarında farklılıklar mevcuttur. Plakaların yukarı ve aşağı bakan konumları arasındaki ısı transferi farklılıkları incelendiğinde, plaka yüzeyinin yukarı bakan konumunun aşağı bakan konumuna oranla yaklaşık % 5 daha fazla ısı transferi yaptığı tespit edilmiş, benzer bir çalışmada (Sparrow ve Vemuri 1985) bu oranı % 15 civarında bulmuşlardır.

Işınım ile olan ısı transferinin toplam giriş gücüne oranı, düşük giriş güçlerinde daha fazladır. Giriş gücünün artırılması ile bu oran düşmüştür. Bu oran % 25 ile % 40 arasında değişmektedir.(Sparrow ve Vemuri 1985) çalışmalarında bu oran düşük giriş güçlerinde % 60 dolaylarında iken artan giriş güçlerinde % 25 ile % 35 arasındaki değerleri almıştır. Bu konuda (Alassio ve Kaminski 1989)'nin çalışmalarda buldukları değer de % 35 ile % 50 arasında değişmiştir.

Bulunan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Farklılıkların başta ölçme sistemi, deney düzeneği donanımları gibi nedenlerden kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada pimli ve pimsiz plakalar üzerinde yapılan deneyler incelenmiştir. Plakaların düşeye göre yukarı ve aşağı bakan konumlarında 0°, 30°, 60° ve 90° açılarında veriler alınarak değerlendirildi. Kanatcıkları üçgen, kare veya çokgen olan plakalar kullanılabilir. Bunların taşınım ile yapmış oldukları ısı transferleri incelenebilir.

Ayrıca; pim yüksekliği ile pim çapı arasındaki oranını (L/D) değiştirilmesinin ısı transferine etkileri ve ideal (L/D) oranının bulunması, pimler arası mesafenin, pimlerin seri ve saptırmalı dizilişlerinin, pimlerin plakanın başlangıcına veya daha değişik seviyelere yerleştirilmesinin ısı transferine etkileri, başlı başına birer inceleme konusu olarak ele alınabilir. Deneylerde pimlerle beraber plakaya da açılar verilerek ısı transferindeki değişimler incelenmiştir. Sadece pimler meyillendirilerek pimlerdeki açı değişiminin ısı transferine etkileri incelenebilir.

Plakalardan ışıınım ile ısı transferi hesaplamalarında emisyon oranının 1 kabul edilmesi, plaka ve tüm çevre yüzeylerin siyah cisim kabul edilmesi, tüm çevre yüzeylerin izotermal kabul edilmesi, ortamın ışıınımı etkilemediğinin kabul edilmesi (gaz ışıınımının sıfır), plaka ve pimlerin sıcaklığının üniform olduğunun kabul edilmesi sonuçları etkilemiştir. Ancak bu tür kabulleri yapmadan sonuca gitmeye çalışmak, içinden çıkılmaz problemlerle karşılaşılmasını kaçınılmaz hale getirir. Yapılan literatür taramalarının hepsinde bu tür kabuller yapılmıştır.

7. KAYNAKLAR

- ALESSIO, M.E., KAMINSKI, D.A., 1989 Naturel Convection and Radiation Heat Transfer From an Arrays of Inclined Pin Fins Transactions of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 111 p.p 197-199
- AYHAN, T. 1982. Sabit Isı Akısı Altında Borular İçindeki Akış İçin Yerel ve Ortalama Nusselt Sayılarının Tayini İçin Deneysel Bir Yöntem. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 5, Sayı 3.
- FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DE WITT-1981 Fundamentals of Heat Transfer
- GÖKÇE A. T. Isı Transferine Giriş, Selçuk Üniversitesi Yayın No 6, Konya
- KAKAÇ, S 1970 Örneklerle Isı Transferi, ODTÜ, Yayın No.27, Ankara
- KELLY, L. G., Handbook of Numerical Methods and Applications. Addison-Wesley Publishing Company, 1967.
- HOLMAN J.P. Heat Transfer.1984
- SPARROW, E.M., VEMURI,S.B., 1985 Naturel Convection / Radiation Heat Transfer From Highly Populated Pin Fin Arrays. Transactions of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 107 p.p 190 - 197
- SPARROW, E.M., CHRYSLER G.M., 1981 Naturel Convection Heat Transfer Coefficients for a Short Horizontal Cylinder Attached to a Vertical Plate. Transactions of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 103 p.p 630 - 637
- SPARROW, E.M., VEMURI,S.B., 1986 Orientation Effects on 1985 Naturel Convection / Radiation Heat Transfer From Highly Populated Pin - Fin Arrays. İnt. Journal Heat Mass Transfer, Vol.29 p.p. 359 -368

8. EKLER

Ek 1. Pimsiz plaka deney verileri (Plaka yüzeyi aşağı bakıyor).

θ°	P_r	$Q_{ış}$	$Q_{ış}$	T_w	T_m	T_f	ΔT	$\beta \times 10^3$	Pr	k'	$\nu \times 10^6$	$Rax10^{-5}$	Nu
0°	2	0,671	1,329	307,55	297,85	302,70	9,70	3,3036	0,7120	0,0264	15,9982	11,6406	51,9457
0°	4	1,295	2,705	315,30	297,25	306,28	18,05	3,2650	0,7117	0,0266	16,3306	20,5351	56,3020
0°	6	1,878	4,122	323,05	297,95	310,50	25,10	3,2206	0,7113	0,0269	16,7236	26,8432	61,0225
0°	8	2,470	5,530	329,80	297,85	313,83	31,95	3,1865	0,7109	0,0271	17,0351	32,5662	63,7573
0°	10	3,109	6,891	337,20	298,55	317,88	38,65	3,1459	0,7105	0,0274	17,4260	37,1473	65,0016
0°	12	3,681	8,319	343,10	298,65	320,88	44,45	3,1165	0,7102	0,0276	17,7155	40,9332	67,7076
0°	14	4,248	9,752	348,40	298,35	323,38	50,05	3,0924	0,7100	0,0278	17,9567	44,1975	70,0508
0°	16	4,987	11,013	355,80	299,35	327,58	56,45	3,0527	0,7096	0,0281	18,3620	47,3530	69,4037
0°	18	5,509	12,491	360,30	299,25	329,78	61,05	3,0324	0,7093	0,0283	18,5743	49,6984	72,3900
0°	20	6,143	13,857	366,00	299,95	332,98	66,05	3,0032	0,7090	0,0285	18,8831	51,5013	73,6431
30°	2	0,703	1,297	307,80	297,65	302,73	10,15	3,3033	0,7120	0,0264	16,0005	12,1760	48,4686
30°	4	1,347	2,653	316,55	297,95	307,25	18,60	3,2547	0,7116	0,0267	16,4213	20,8585	53,4437
30°	6	1,996	4,004	324,45	297,95	311,20	26,50	3,2134	0,7112	0,0270	16,7887	28,0550	56,0349
30°	8	2,654	5,346	332,05	298,15	315,10	33,90	3,1736	0,7108	0,0272	17,1582	33,9162	57,9042
30°	10	3,352	6,648	339,45	298,15	318,80	41,30	3,1368	0,7104	0,0275	17,5152	39,1716	58,5398
30°	12	3,814	8,186	344,15	298,25	321,20	45,90	3,1133	0,7102	0,0277	17,7468	42,0746	64,4687
30°	14	4,555	9,445	351,15	298,15	324,65	53,00	3,0802	0,7099	0,0279	18,0798	46,2902	63,8655
30°	16	5,378	10,622	358,65	298,35	328,50	60,30	3,0441	0,7095	0,0282	18,4513	49,9467	62,5233
30°	18	6,024	11,976	364,25	298,55	331,40	65,70	3,0175	0,7092	0,0284	18,7311	52,3222	64,2336
30°	20	6,792	13,208	370,30	298,25	334,28	72,05	2,9915	0,7089	0,0286	19,0148	55,1833	64,1447
60°	2	0,735	1,265	307,70	297,05	302,38	10,65	3,3072	0,7121	0,0263	15,9679	12,8434	45,0926
60°	4	1,421	2,579	316,90	297,25	307,08	19,65	3,2565	0,7116	0,0267	16,4050	22,0929	49,2038
60°	6	2,051	3,949	324,55	297,25	310,90	27,30	3,2165	0,7112	0,0269	16,7608	29,0275	53,6936
60°	8	2,586	5,414	330,80	297,45	314,13	33,35	3,1834	0,7109	0,0272	17,0641	33,8442	59,7510
60°	10	3,368	6,632	339,20	297,55	318,38	41,65	3,1410	0,7105	0,0275	17,4742	39,7446	57,9780
60°	12	4,069	7,931	346,25	297,65	321,95	48,60	3,1061	0,7101	0,0277	17,8192	44,0809	58,8779
60°	14	4,728	9,272	352,50	297,75	325,13	54,75	3,0757	0,7098	0,0279	18,1256	47,5044	60,6191
60°	16	5,509	10,491	359,50	297,85	328,68	61,65	3,0425	0,7094	0,0282	18,4682	50,9432	60,3725
60°	18	6,252	11,748	365,80	297,95	331,88	67,85	3,0132	0,7091	0,0284	18,7700	53,7256	60,9437
60°	20	7,009	12,991	371,85	297,95	334,90	73,90	2,9860	0,7089	0,0286	19,0785	56,1152	61,4154
90°	2	0,748	1,252	307,70	296,85	302,28	10,85	3,3082	0,7121	0,0263	15,9586	13,1044	43,8160
90°	4	1,450	2,550	317,10	297,05	307,08	20,05	3,2565	0,7116	0,0267	16,4050	22,5426	47,6802
90°	6	2,117	3,883	325,25	297,15	311,20	28,10	3,2134	0,7112	0,0270	16,7818	29,7731	51,2474
90°	8	2,820	5,180	333,15	297,15	315,15	36,00	3,1731	0,7108	0,0272	17,1630	35,9909	52,8190
90°	10	3,549	6,451	340,85	297,25	319,05	43,60	3,1343	0,7104	0,0275	17,5394	41,2057	53,7767
90°	12	4,236	7,764	347,85	297,65	322,75	50,20	3,0984	0,7100	0,0278	17,8964	45,0232	55,6896
90°	14	4,987	9,013	354,85	297,75	326,30	57,10	3,0647	0,7097	0,0280	18,2390	48,7451	56,3326
90°	16	5,718	10,282	361,35	297,95	329,65	63,40	3,0335	0,7094	0,0283	18,5623	51,6991	57,3947
90°	18	6,447	11,553	367,55	298,25	332,90	69,30	3,0039	0,7090	0,0285	18,8745	54,0965	58,5282
90°	20	7,307	12,693	374,30	298,25	336,28	76,05	2,9738	0,7088	0,0287	19,2188	56,6698	58,1167

Ek 2. Pimsiz plaka deney verileri (Plaka yüzeyi yukarı bakıyor.)

θ°	P_T	$Q_{\text{ış}}$	$Q_{\text{taş}}$	T_w	T_{∞}	T_f	ΔT	$\beta \times 10^3$	Pr	k'	$\nu \times 10^6$	$Rax \times 10^5$	Nu
0°	2	0,671	1,329	307,55	297,85	302,70	9,70	3,3036	0,7120	0,0264	15,9982	11,6406	51,9457
0°	4	1,295	2,705	315,3	297,25	306,28	18,05	3,2650	0,7117	0,0266	16,3306	20,5351	56,3020
0°	6	1,878	4,122	323,05	297,95	310,50	25,10	3,2206	0,7113	0,0269	16,7236	26,8432	61,0225
0°	8	2,470	5,530	329,8	297,85	313,83	31,95	3,1865	0,7109	0,0271	17,0351	32,5662	63,7573
0°	10	3,109	6,891	337,2	298,55	317,88	38,65	3,1459	0,7105	0,0274	17,4260	37,1473	65,0016
0°	12	3,681	8,319	343,1	298,65	320,88	44,45	3,1165	0,7102	0,0276	17,7155	40,9332	67,7076
0°	14	4,248	9,752	348,4	298,35	323,38	50,05	3,0924	0,7100	0,0278	17,9567	44,4975	70,0508
0°	16	4,987	11,013	355,8	299,35	327,58	56,45	3,0527	0,7096	0,0281	18,3620	47,3530	69,4037
0°	18	5,509	12,491	360,3	299,25	329,78	61,05	3,0324	0,7093	0,0283	18,5743	49,6984	72,3900
0°	20	6,143	13,857	366	299,95	332,98	66,05	3,0032	0,7090	0,0285	18,8831	51,5013	73,6431
30°	2	0,681	1,319	307,5	297,65	302,58	9,85	3,3050	0,7121	0,0264	15,9865	11,8429	50,8041
30°	4	1,380	2,620	317,55	298,65	308,10	18,90	3,2457	0,7115	0,0267	16,5004	20,9319	51,8226
30°	6	2,060	3,940	325,35	298,15	311,75	27,20	3,2077	0,7111	0,0270	16,8398	28,5687	53,6464
30°	8	2,506	5,494	331,45	299,55	315,50	31,90	3,1696	0,7108	0,0273	17,1968	31,7300	63,1717
30°	10	3,166	6,834	338,35	299,35	318,85	39,00	3,1363	0,7104	0,0275	17,5201	36,9637	63,7246
30°	12	3,886	8,114	345,7	299,55	322,63	46,15	3,0996	0,7101	0,0278	17,8843	41,4635	63,3266
30°	14	4,585	9,415	352,35	299,65	326,00	52,70	3,0675	0,7097	0,0280	18,2100	45,1755	63,8066
30°	16	5,294	10,706	358,85	299,95	329,40	58,90	3,0358	0,7094	0,0282	18,5381	48,1929	64,3707
30°	18	5,977	12,023	364,8	300,25	332,53	64,55	3,0073	0,7091	0,0285	18,8397	50,6356	65,4549
30°	20	6,683	13,317	370,6	300,45	335,53	70,15	2,9804	0,7089	0,0287	19,1423	52,8126	66,2238
60°	2	0,722	1,278	308,6	298,25	303,43	10,35	3,2957	0,7120	0,0264	16,0656	12,2859	46,7551
60°	4	1,330	2,670	316,75	298,45	307,60	18,30	3,2510	0,7116	0,0267	16,4539	20,4167	54,6226
60°	6	1,995	4,005	324,9	298,55	311,73	26,35	3,2080	0,7111	0,0270	16,8375	27,6859	56,2953
60°	8	2,713	5,287	333,2	298,85	316,03	34,35	3,1643	0,7107	0,0273	17,2474	33,9076	56,3796
60°	10	3,399	6,601	340,4	298,85	319,63	41,55	3,1287	0,7104	0,0276	17,5948	38,9476	57,6582
60°	12	4,103	7,897	347,4	298,95	323,18	48,45	3,0943	0,7100	0,0278	17,9374	43,1957	58,6286
60°	14	4,767	9,233	354,25	300,05	327,15	54,20	3,0567	0,7096	0,0281	18,3210	45,7314	60,6661
60°	16	5,539	10,461	360,5	299,15	329,83	61,35	3,0319	0,7093	0,0283	18,5791	49,9088	60,3212
60°	18	6,221	11,779	366,2	299,15	332,68	67,05	3,0059	0,7090	0,0285	18,8542	52,4912	61,7106
60°	20	6,997	13,003	372,4	299,2	335,80	73,20	2,9780	0,7089	0,0287	19,1703	54,9016	61,9251
90°	2	0,812	1,188	312,15	300,85	306,50	11,30	3,2626	0,7117	0,0266	16,3516	12,8131	39,4726
90°	4	1,455	2,545	320,3	300,85	310,58	19,45	3,2198	0,7113	0,0269	16,7305	20,7782	48,6057
90°	6	2,218	3,782	329	300,55	314,78	28,45	3,1769	0,7108	0,0272	17,1211	28,6177	48,8456
90°	8	2,899	5,101	336,2	300,25	318,23	35,95	3,1424	0,7105	0,0275	17,4597	34,3792	51,6761
90°	10	3,663	6,337	343,85	300,05	321,95	43,80	3,1061	0,7101	0,0277	17,8192	39,7272	52,1980
90°	12	4,391	7,609	350,75	299,95	325,35	50,80	3,0736	0,7098	0,0280	18,1473	43,9400	53,5802
90°	14	5,211	8,789	358,25	300,15	329,20	58,10	3,0377	0,7094	0,0282	18,5188	47,6677	53,5956
90°	16	6,000	10,000	365,1	300,45	332,78	64,65	3,0050	0,7090	0,0285	18,8638	50,5446	54,3246
90°	18	6,722	11,278	370,8	300,25	335,53	70,55	2,9804	0,7089	0,0287	19,1423	53,1137	55,7666
90°	20	7,524	12,476	376,9	300,15	338,53	76,75	2,9540	0,7087	0,0289	19,4483	55,4696	56,2946

Ek 3. Pimli plaka deney verileri (Plaka yüzeyi aşağı bakıyor).

θ°	P_T	$Q_{ış}$	$Q_{ış}$	T_w	$T_{ış}$	T_r	ΔT	$\beta \times 10^3$	Pr	k'	$v \times 10^6$	$Rax10^{-5}$	Nu
0°	5	1,649	3,351	306,65	297,55	302,10	9,10	3,3102	0,7121	0,0263	15,9424	11,0199	139,8933
0°	10	3,220	6,780	315,05	298,05	306,55	17,00	3,2621	0,7117	0,0266	16,3562	19,2620	149,7291
0°	15	4,818	10,182	322,4	297,85	310,13	24,55	3,2245	0,7113	0,0269	16,6887	26,3981	154,2500
0°	20	6,392	13,608	329,4	297,95	313,68	31,45	3,1880	0,7109	0,0271	17,0207	32,1272	159,4423
0°	25	7,917	17,083	335,85	298,15	317,00	37,70	3,1546	0,7106	0,0274	17,3415	36,6935	165,5595
0°	30	9,564	20,436	342,15	297,95	320,05	44,20	3,1245	0,7103	0,0276	17,6359	41,1819	167,6198
0°	35	11,157	23,843	348,05	297,95	323,00	50,10	3,0960	0,7100	0,0278	17,9205	44,7763	171,2520
0°	40	12,767	27,233	353,9	298,25	326,08	55,65	3,0668	0,7097	0,0280	18,2173	47,6549	174,7440
0°	45	14,247	30,753	359,05	298,55	328,80	60,50	3,0414	0,7094	0,0282	18,4802	49,9078	180,2819
0°	50	15,541	34,459	363,4	298,85	331,13	64,55	3,0200	0,7092	0,0284	18,7046	51,5971	188,2441
30°	5	1,872	3,128	309,45	299,35	304,40	10,10	3,2852	0,7119	0,0265	16,1563	11,8153	116,9272
30°	10	3,396	6,604	317,25	299,65	308,45	17,60	3,2420	0,7115	0,0268	16,5329	19,3925	140,1676
30°	15	5,186	9,814	325,85	300,15	313,00	25,70	3,1949	0,7110	0,0271	16,9561	26,5134	140,9691
30°	20	6,775	13,225	332,7	300,25	316,48	32,45	3,1598	0,7107	0,0273	17,2909	31,8241	149,1111
30°	25	8,588	16,412	339,75	299,95	319,85	39,80	3,1265	0,7103	0,0276	17,6166	37,1879	149,5708
30°	30	10,349	19,651	346,45	300,05	323,25	46,40	3,0936	0,7100	0,0278	17,9447	41,3246	152,3083
30°	35	12,125	22,875	352,9	300,25	326,58	52,65	3,0621	0,7097	0,0280	18,2655	44,7762	154,9507
30°	40	13,805	26,195	358,7	300,45	329,58	58,25	3,0342	0,7094	0,0282	18,5550	47,5479	159,1845
30°	45	15,743	29,257	365,15	300,85	333,00	64,30	3,0030	0,7090	0,0285	18,8855	50,1200	159,7111
30°	50	17,415	32,585	370	300,35	335,18	69,65	2,9835	0,7089	0,0286	19,1066	52,6885	163,3441
60°	5	1,997	3,003	310	299,25	304,63	10,75	3,2827	0,7119	0,0265	16,1772	12,5336	105,4058
60°	10	3,652	6,348	318,3	299,45	308,88	18,85	3,2376	0,7114	0,0268	16,5724	20,6412	125,6471
60°	15	5,440	9,560	326,5	299,55	313,03	26,95	3,1946	0,7110	0,0271	16,9584	27,7930	130,9370
60°	20	7,278	12,722	334,4	299,75	317,08	34,65	3,1538	0,7106	0,0274	17,3488	33,6885	134,1254
60°	25	9,104	15,896	341,6	299,75	320,68	41,85	3,1184	0,7102	0,0276	17,6962	38,6482	137,4844
60°	30	10,977	19,023	348,6	299,85	324,23	48,75	3,0843	0,7099	0,0279	18,0387	42,8307	139,9881
60°	35	12,893	22,107	355,35	299,95	327,65	55,40	3,0520	0,7096	0,0281	18,3693	46,4245	141,9341
60°	40	14,678	25,322	361,2	299,85	330,53	61,35	3,0255	0,7093	0,0283	18,6467	49,4380	145,7636
60°	45	16,887	28,113	368,35	300,25	334,30	68,10	2,9913	0,7089	0,0286	19,0173	52,1400	144,4412
60°	50	18,957	31,043	374,5	300,25	337,38	74,25	2,9641	0,7088	0,0288	19,3310	54,5056	145,1896
90°	5	1,948	3,052	310,65	300,25	305,45	10,40	3,2739	0,7118	0,0266	16,2539	11,9775	110,5016
90°	10	3,892	6,108	320	300,15	310,08	19,85	3,2250	0,7113	0,0269	16,6840	21,3598	114,4636
90°	15	5,644	9,356	327,85	300,15	314,00	27,70	3,1847	0,7109	0,0272	17,0520	28,1620	124,3557
90°	20	7,466	12,534	335,45	300,15	317,80	35,30	3,1466	0,7105	0,0274	17,4187	33,9641	129,4677
90°	25	9,367	15,633	343	300,35	321,68	42,65	3,1087	0,7101	0,0277	17,7927	38,8343	132,3433
90°	30	11,340	18,660	350,15	300,25	325,20	49,90	3,0750	0,7098	0,0279	18,1328	43,2513	133,8228
90°	35	13,349	21,651	356,65	299,55	328,10	57,10	3,0479	0,7095	0,0281	18,4127	47,5553	134,7165
90°	40	15,397	24,603	363,5	299,85	331,68	63,65	3,0150	0,7091	0,0284	18,7577	50,5024	136,1210
90°	45	17,272	27,728	369,25	299,75	334,50	69,50	2,9895	0,7089	0,0286	19,0377	53,0654	139,5237
90°	50	19,392	30,608	375,5	299,75	337,63	75,75	2,9619	0,7088	0,0288	19,3565	55,1183	140,2346

Ek 4. Pimli plaka deney verileri (Plaka yüzeyi yukarı bakıyor).

θ°	P_T	Q_s	Q_{tas}	T_w	T_z	T_f	ΔT	$\beta \times 10^3$	Pr	k'	$v \times 10^6$	$Rax10^{-5}$	Nu
0°	5	1,649	3,351	306,65	297,55	302,10	9,10	3,3102	0,7121	0,0263	15,9424	11,0199	139,8933
0°	10	3,220	6,780	315,05	298,05	306,55	17,00	3,2621	0,7117	0,0266	16,3562	19,2620	149,7291
0°	15	4,818	10,182	322,4	297,85	310,13	24,55	3,2245	0,7113	0,0269	16,6887	26,3981	154,2500
0°	20	6,392	13,608	329,4	297,95	313,68	31,45	3,1880	0,7109	0,0271	17,0207	32,1272	159,4423
0°	25	7,917	17,083	335,85	298,15	317,00	37,70	3,1546	0,7106	0,0274	17,3415	36,6935	165,5595
0°	30	9,564	20,436	342,15	297,95	320,05	44,20	3,1245	0,7103	0,0276	17,6359	41,1819	167,6198
0°	35	11,157	23,843	348,05	297,95	323,00	50,10	3,0960	0,7100	0,0278	17,9205	44,7763	171,2520
0°	40	12,767	27,233	353,9	298,25	326,08	55,65	3,0668	0,7097	0,0280	18,2173	47,6549	174,7440
0°	45	14,247	30,753	359,05	298,55	328,80	60,50	3,0414	0,7094	0,0282	18,4802	49,9078	180,2819
0°	50	15,541	34,459	363,4	298,85	331,13	64,55	3,0200	0,7092	0,0284	18,7046	51,5971	188,2441
30°	5	1,698	3,303	308,05	298,25	303,15	9,80	3,2987	0,7120	0,0264	16,0400	11,6812	127,6476
30°	10	3,322	6,678	316,4	298,55	307,48	17,85	3,2523	0,7116	0,0267	16,4422	19,9513	140,0961
30°	15	5,186	9,814	323,3	298,55	310,93	24,75	3,2162	0,7112	0,0269	16,7631	26,3066	147,1681
30°	20	6,775	13,225	330,75	298,45	314,60	32,30	3,1786	0,7109	0,0272	17,1099	32,5519	150,5267
30°	25	8,589	16,412	336,65	298,55	317,60	38,10	3,1486	0,7106	0,0274	17,3994	36,7637	157,1414
30°	30	10,348	19,652	342,7	298,85	320,78	43,85	3,1174	0,7102	0,0276	17,7058	40,4378	162,1759
30°	35	12,125	22,875	348,6	298,75	323,68	49,85	3,0895	0,7099	0,0278	17,9857	44,1343	164,8471
30°	40	13,805	26,195	354,9	298,95	326,93	55,95	3,0588	0,7096	0,0281	18,2993	47,3541	166,8239
30°	45	15,743	29,257	360	298,95	329,48	61,05	3,0351	0,7094	0,0282	18,5454	49,9012	169,6825
30°	50	17,415	32,586	364,8	298,75	331,78	66,05	3,0141	0,7091	0,0284	18,7673	52,3362	173,6904
60°	5	1,997	3,003	307,4	298,25	302,83	9,15	3,3022	0,7120	0,0264	16,0098	10,9599	124,4283
60°	10	3,652	6,348	315,9	298,25	307,08	17,65	3,2565	0,7116	0,0267	16,4050	19,8442	134,8232
60°	15	5,440	9,560	323,05	298,35	310,70	24,70	3,2185	0,7112	0,0269	16,7422	26,3390	143,7274
60°	20	7,278	12,722	329,7	298,45	314,08	31,25	3,1840	0,7109	0,0272	17,0593	31,7363	149,8672
60°	25	9,104	15,896	335,05	298,45	316,75	36,60	3,1571	0,7106	0,0274	17,3174	35,7516	158,7850
60°	30	10,977	19,023	341,85	298,85	320,35	43,00	3,1216	0,7103	0,0276	17,6648	39,8936	160,2666
60°	35	12,893	22,107	348,15	298,95	323,55	49,20	3,0907	0,7100	0,0278	17,9736	43,6350	161,4681
60°	40	14,678	25,322	354,5	298,95	326,73	55,55	3,0607	0,7096	0,0281	18,2800	47,1451	162,5096
60°	45	16,887	28,113	360,7	299,05	329,88	61,65	3,0315	0,7093	0,0283	18,5840	50,1188	161,3015
60°	50	18,957	31,043	365,6	299,15	332,38	66,45	3,0086	0,7091	0,0284	18,8252	52,2309	164,2285
90°	5	1,948	3,052	307,7	298,25	302,98	9,45	3,3006	0,7120	0,0264	16,0237	11,2937	122,4073
90°	10	3,892	6,109	316,1	298,25	307,18	17,85	3,2555	0,7116	0,0267	16,4143	20,0395	128,2573
90°	15	5,645	9,356	323,35	298,35	310,85	25,00	3,2170	0,7112	0,0269	16,7561	26,6011	138,9138
90°	20	7,466	12,534	330,95	298,45	314,70	32,50	3,1776	0,7108	0,0272	17,1196	32,7056	141,7430
90°	25	9,367	15,633	337,9	298,65	318,28	39,25	3,1419	0,7105	0,0275	17,4646	37,5081	145,0542
90°	30	11,340	18,660	344,7	298,75	321,73	45,95	3,1082	0,7101	0,0277	17,7975	41,8096	146,6029
90°	35	13,349	21,651	350,9	298,65	324,78	52,25	3,0791	0,7098	0,0279	18,0918	45,5560	148,4491
90°	40	15,397	24,603	356,8	298,65	327,73	58,15	3,0513	0,7095	0,0281	18,3765	48,6789	150,4606
90°	45	17,272	27,728	362,35	298,95	330,65	63,40	3,0243	0,7093	0,0283	18,6588	51,0037	154,4032
90°	50	18,751	31,251	367,55	299,95	333,75	67,60	2,9963	0,7090	0,0285	18,9612	52,1517	161,9714

Ek 5. $Nu = A Ra^B$ bağıntısı ile hesaplanan A ve B sayıları.

	Açı	A	B
Pimsiz plaka aşağı bakıyor	0°	1,8932	0,2351
	30°	3,1091	0,1955
	60°	2,0763	0,2189
	90°	2,5433	0,2013
Pimsiz plaka yukarı bakıyor	0°	1,8932	0,2351
	30°	2,9446	0,2008
	60°	4,5331	0,1684
	90°	2,0767	0,2125
Pimli plaka aşağı bakıyor	0°	12,2668	0,1730
	30°	7,7012	0,1968
	60°	6,1516	0,2048
	90°	10,8120	0,1645
Pimli plaka yukarı bakıyor	0°	12,2668	0,1730
	30°	7,5602	0,2013
	60°	8,8243	0,1895
	90°	12,0967	0,1645

Ek 6. Kuru havanın 760 mm Hg basıncında özellikleri (Kakaç 1970)

T - Sıcaklık (°C)

ρ - Yoğunluk (kg/m³)

Özgül ısı (kcal/kg°C)

k' - Isı iletim kat.(W/m°C)

k - Isı iletim kat. (kcal/mh°C)

β - Isıl genişleme kat.(1/°C)

μ - Dinamik viskozite (kg/ms)

μ' - Dinamik viskozite (kgf s/m²)

ν - Kinematik viskozite (m²/s)

a = Isıl yayınma (m²/s)

Pr -Prandl sayısı ($c_p \mu / k$) = ν/a

T	ρ	c_p	k'	k	$10^3 \beta$	$10^5 \mu$	$10^6 \mu'$	$10^6 \nu$	$10^6 a$	Pr
-150	2.7930	0.245	0.0120	0.0103	8.21	0.87	0.887	3.11	4.19	0.74
-100	1.9800	0.241	0.0165	0.0142	5.82	1.18	1.203	5.96	8.28	0.72
-50	1.5340	0.240	0.0206	0.0177	4.51	1.47	1.494	9.55	13.4	0.715
0	1.2930	0.240	—	—	3.67	1.72	1.754	13.30	18.7	0.711
20	1.2045	0.240	0.0257	0.0221	3.43	1.82	1.855	15.11	21.4	0.713
40	1.1267	0.241	0.0271	0.0233	3.20	1.91	1.950	16.97	23.9	0.711
60	1.0595	0.241	0.0285	0.0245	3.00	2.00	2.042	18.90	26.7	0.709
80	0.9908	0.241	0.0299	0.0257	2.83	2.10	2.134	20.94	29.6	0.708
100	0.9458	0.242	0.0314	0.0270	2.68	2.18	2.224	23.06	32.8	0.704
120	0.8980	0.242	0.0328	0.0282	2.55	2.27	2.311	25.23	36.1	0.70
140	0.8535	0.242	0.0343	0.0295	2.43	2.35	2.397	27.55	39.7	0.694
160	0.8150	0.243	0.0358	0.0308	2.32	2.43	2.481	29.85	43.0	0.693
180	0.7785	0.244	0.0372	0.0320	2.21	2.51	2.564	32.29	46.7	0.69
200	0.7475	0.245	0.0386	0.0332	2.11	2.58	2.635	34.63	50.5	0.685
250	0.6745	0.247	0.0421	0.0362	1.91	2.78	2.832	41.17	60.3	0.68
300	0.6157	0.250	0.0460	0.0390	1.75	2.95	3.005	47.85	70.3	0.68
350	0.5662	0.252	0.0485	0.0417	1.61	3.12	3.178	55.05	81.1	0.68
400	0.5242	0.255	0.0516	0.0443	1.49	3.28	3.340	62.53	91.9	0.68
450	0.4875	0.258	0.0543	0.0467	—	3.44	3.508	70.54	103.1	0.685
500	0.4564	0.261	0.0570	0.0490	—	3.86	3.938	70.48	114.2	0.69
600	0.4041	0.266	0.0621	0.0534	—	3.58	3.653	95.57	138.2	0.69
700	0.3625	0.271	0.0667	0.0573	—	4.12	4.202	113.7	162.2	0.70
800	0.3287	0.276	0.0706	0.0607	—	4.37	4.450	132.8	185.8	0.715
900	0.3010	0.280	0.0741	0.0637	—	4.59	4.680	152.5	210	0.725
1000	0.2770	0.283	0.0770	0.0662	—	4.80	4.890	175	235	0.735