

**ÜZERİNDE ISI KAYNAKLARI BULUNDURAN
BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ
ISI GEÇİŞİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hakan KARATAŞ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Programı

EKİM 2017

**ÜZERİNDE ISI KAYNAKLARI BULUNDURAN
BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ
ISI GEÇİŞİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Hakan KARATAŞ
(503062025)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Taner DERBENTLİ

EKİM 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503062025 numaralı Doktora Öğrencisi Hakan KARATAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÜZERİNDE ISI KAYNAKLARI BULUNDURAN BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ ISI GEÇİŞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Taner DERBENTLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Lütfullah KUDDUSİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurdil ESKİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ali ECDER
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : 23 Ağustos 2017
Savunma Tarihi : 2 Ekim 2017





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu doktora tez çalışmasını yöneterek tamamlanmasını sağlayan; değerli teşvik, destek, katkı ve yardımlarını çalışmanın her aşamasında gördüğüm Sayın Hocam Prof. Dr. Taner DERBENTLİ'ye teşekkürlerimi arz ederim. Doktora öğrenimim süresince gösterdiği sabır ve anlayış için kendisine ne kadar teşekkür etsem azdır. Tez sırasındaki değerli katkı ve önerileri için tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Lütfullah KUDDUSİ ve Sayın Prof. Dr. İsmail TEKE'ye teşekkürü bir borç bilirim. Teslim sonrasındaki değerlendirmeleri için jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Nurdil ESKİN, Sayın Doç. Dr. Ali ECDER, Sayın Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU ve Sayın Doç. Dr. Hasan BEDİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2017

Hakan KARATAŞ
(Makina Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu	2
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezin Özgün Değeri	3
1.4 Tezin Bölümlerinin Tanıtılması	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 İki Boyutlu Kavitede Sadece Doğal Taşınım	7
2.1.1 İki boyutlu kare kavitede sadece doğal taşınım	7
2.1.2 İki boyutlu dikdörtgen kavitede sadece doğal taşınım	9
2.2 Üç Boyutlu Kavitede Sadece Doğal Taşınım	12
2.3 Doğal Taşınım ve Işınımın İki Boyutlu İncelenmesi	15
2.4 Diğer Sınır Şartları	17
2.5 Bir Duvarının Sıcaklığı Zamanla Periyodik Olarak Değişen Kavite	21
3. TEZİN LİTERATÜRDEN FARKI	23
4. DENEY DÜZENİĞİ	27
4.1 Kavitenin Yapısı	27
4.2 Ölçüm Sistemi	32
4.2.1 Sıcaklık ölçüm sensörü	32
4.2.2 Veri toplama cihazı	35
4.3 Ölçüm Sistemi Kalibrasyonu	36
5. DENEYSEL YÖNTEM	41
5.1 Deneylerin Yapılışı	41
5.2 Yerel Dağılımın İncelendiği Konumlar	41
5.3 Ortalama Isı Geçişinin Hesap Yöntemi	43
5.4 Yerel Isı Geçişinin Hesap Yöntemi	52
5.5 Havanın Termofiziksel Özelliklerinin Hesap Yöntemi	54
6. DENEY SONUÇLARI	57
6.1 Deney Ölçüm ve Hesaplama Büyüklüklerinin Değerleri	57
6.2 Bir Kavitede Doğal Taşınım ve Işınım Halinde Isı Geçişinin Üç Boyutlu İncelenmesi	58
6.3 İki Boyutlu Isı Geçişinin Bütün Kavitelerde Doğal Taşınım ve Işınım Halinde İncelenmesi	69

6.3.1 Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama ısı geçişi.....	74
6.3.2 Doğal taşınım ve ışıınım halinde yerel ısı geçişi.....	76
6.4 İki Boyutlu Isı Geçişinin Bütün Kavitelere Doğal Taşınım Halinde İncelenmesi.....	83
6.4.1 Doğal taşınım halinde ortalama ısı geçişi	88
6.4.2 Doğal taşınım halinde yerel ısı geçişi	91
6.5 İki Boyutlu Isı Geçişinin Bütün Kavitelere Doğal Taşınım Halinde, Isıtma ve Soğutma Durumunda İncelenmesi	94
6.5.1 Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede ortalama ısı geçişi.....	101
6.5.2 Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede yerel ısı geçişi.....	102
6.6 Deney Paketlerinin Birbiriyle Karşılaştırılması	103
6.7 Ölçüm Belirsizliği Analizi	106
7. SONUÇLAR	109
KAYNAKLAR	113
EKLER	119
ÖZGEÇMİŞ	167

KISALTMALAR

ANSI	: American National Standards Institute
ASME	: American Society of Mechanical Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWG	: American Wire Gauge
EN	: European Norm
EPS	: Expanded Polystyrene
EU	: European Union
PFA	: Perfluoroalkoxy
PVC	: Polyvinyl Chloride
SPRT	: Standard Platinum Resistance Thermometer
TS	: Türk Standartları
VDI	: Verein Deutsche Ingenieure (Society of German Engineers)
XPS	: Extruded Polystyrene



SEMBOLLER

a, b, c, d	: Termoelemanın kalibrasyon katsayıları
A	: Yükseklik genişlik oranı; Isı geçişine dik yöndeki yüzey alanı (m^2)
A_{insl}	: Yalıtımın ısı geçişine dik yöndeki yüzey alanı (m^2)
A_{iw}	: İç duvarın ısı geçişine dik yöndeki yüzey alanı (m^2)
A_o	: Kavite dışındaki ortam havası için dış duvarın ısı geçişine dik yöndeki yüzey alanı (m^2)
A_{ow}	: Dış duvarın ısı geçişine dik yöndeki yüzey alanı (m^2)
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı (J/kgK)
C_N	: Tezde üretilmiş boyutsuz ısı geçiş çarpanı
D	: Kavite derinliği (m)
E_{eb}	: Enerji dengesi hatası
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
Gr	: Grashof sayısı
Gr_L	: Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Grashof sayısı
h	: Kavite ortalama ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
h_o	: Dış ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
$h_{o, conv}$	: Dış taşınım ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
$h_{o, rad}$	: Dış ışıınım ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
h_y	: Kavite yerel ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
H	: Kavite yüksekliği (m)
H_{ow}	: Dış duvarın yüksekliği (m)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK); Güvenirlilik seviyesi
k_f	: Kavite film sıcaklığında havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{fy}	: Kavite yerel film sıcaklığında havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{insl}	: Yalıtımın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{iw}	: İç duvarın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_o	: Kavite dışındaki havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{ow}	: Dış duvarın ısı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Kavite genişliği (m); Kalınlık, (m)
L_{insl}	: Yalıtımın kalınlığı (m)

L_{iw}	: İç duvarın kalınlığı (m)
L_{ow}	: Dış duvarın kalınlığı (m)
M	: Mol ağırlığı (kg/kmol)
n	: Ölçüm verisi sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
Nu_H	: Kavite yüksekliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısı
Nu_L	: Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısı
Nu_{yL}	: Kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Nusselt sayısı
Nu_{ymL}	: Yerel Nusselt sayılarının ortalama değeri
p	: Basınç (Pa)
Pr	: Prandtl sayısı
Q	: Isı geçiş miktarı; Isı geçişi (W)
Q_b	: Kavitenin alt duvarından olan ısı geçişi (W)
Q_{ba}	: Kavitenin arka duvarından olan ısı geçişi (W)
Q_c	: Kavitenin soğutulmuş duvarından olan ısı geçişi (W)
Q_{fr}	: Kavitenin ön duvarından olan ısı geçişi (W)
Q_h	: Kavitenin sıcak duvarından olan ısı geçişi (W)
Q_r	: Kavitenin artık yüzeyinden olan ısı geçişi (W)
Q_t	: Kavitenin üst duvarından olan ısı geçişi (W)
Q_1	: Ortamdan soğuk duvara geçen toplam ısı miktarı (W)
Q_2	: Ortamdan kavitenin diğer beş duvarına ve artık yüzeye geçen toplam ısı miktarı (W)
R	: Isıl direnç (K/W); Gaz sabiti (J/kgK); Fonksiyon
R_b	: Alt duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç (K/W)
R_{ba}	: Arka duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç (K/W)
R_c	: Soğutulmuş duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç (K/W)
R_{fr}	: Ön duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç (K/W)
R_h	: Sıcak duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç
R_{insl}	: Yalıtımın iletim ısı direnci (K/W)
R_{iw}	: İç duvarın iletim ısı direnci (K/W)

R_o	: Kavite dışındaki ortam havasının ısı direnci (K/W)
R_{ow}	: Dış duvarın iletim ısı direnci (K/W)
R_t	: Üst duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnci (K/W)
$\bar{R}$	: Evrensel gaz sabiti (J/kmolK)
R^2	: Regresyon katsayısı
Ra	: Rayleigh sayısı
Ra_H	: Kavite yüksekliğine göre tanımlanmış ortalama Rayleigh sayısı
Ra_L	: Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Rayleigh sayısı
Ra_{yL}	: Kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Rayleigh sayısı
Ra_{ymL}	: Yerel Rayleigh sayılarının ortalama değeri
t	: Öğrenci dağılımı
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), (K); (x,y) konumundaki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	: Ortam havası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_b	: Alt duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ba}	: Arka duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_c	: Soğuk, soğutulmuş duvar sıcaklığı; Soğuk, soğutulmuş duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{cy}	: Soğutulmuş duvarın yerel yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{fr}	: Ön duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{gerçek}$	: Referans termometresinin ölçtüğü değer ($^{\circ}\text{C}$)
T_h	: Sıcak, ısıtılmış duvar sıcaklığı; Sıcak duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{hy}	: Sıcak duvarın yerel yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_m	: Kavite film sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{my}	: Kavite yerel film sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_t	: Üst duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{o, ow}$	: Dış duvarın dış yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{ölçülen}$	: Termoelemanın ölçtüğü değer ($^{\circ}\text{C}$)
T_1	: Birinci duvarın yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	: İkinci duvarın yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT	: Kavite ortalama sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_o	: Dış duvarın dış yüzey sıcaklığı ile ortam havası sıcaklığı arasındaki dış sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_y	: Kavite yerel sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)

w	: Ölçüm belirsizliği
w_{banyo}	: Sabit sıcaklık banyosunun sistematik hatası
w_i	: i noktasının ağırlık faktörü
$w_{rastgele}$	: Rastgele hata
$w_{sistemik}$	: Sistemik hata
$w_{termometre}$	: Referans termometresinin sistematik hatası
w_{toplam}	: Toplam belirsizlik
x_i	: Ölçüm verisi
$\bar{x}$	: Ölçüm verilerinin aritmetik ortalama değeri
x, y, z	: Koordinatlar
X, Y, Z	: Boyutsuz koordinatlar; Boyutsuz kavite genişliği, boyutsuz kavite yüksekliği, boyutsuz kavite derinliği
Δy_i	: i noktasının düşey uzunluğu (m)

Yunan Harfleri

α	: Isı yayılım katsayısı (m^2/s); Önem seviyesi
α_f	: Kavite film sıcaklığında havanın ısı yayılım katsayısı (m^2/s)
α_{fy}	: Kavite yerel film sıcaklığında havanın ısı yayılım katsayısı (m^2/s)
α_0	: Kavite dışındaki havanın ısı yayılım katsayısı (m^2/s)
β	: Hacimsel ısı genleşme katsayısı ($1/K$)
β_f	: Kavite film sıcaklığında havanın hacimsel ısı genleşme katsayısı ($1/K$)
β_{fy}	: Kavite yerel film sıcaklığında havanın hacimsel ısı genleşme katsayısı ($1/K$)
β_0	: Kavite dışındaki havanın hacimsel ısı genleşme katsayısı ($1/K$)
ε	: Yüzey yama katsayısı
ε_0	: Kavitenin dış duvarının yüzey yama katsayısı
θ	: (x,y) konumundaki boyutsuz sıcaklık
μ	: Dinamik viskozite (Ns/m^2)
ν	: Kinematik viskozite (m^2/s); Serbestlik derecesi
ν_f	: Kavite film sıcaklığında havanın kinematik viskozitesi (m^2/s)
ν_{fy}	: Kavite yerel film sıcaklığında havanın kinematik viskozitesi (m^2/s)
ν_0	: Kavite dışındaki havanın kinematik viskozitesi (m^2/s)

ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
σ	: Stefan-Boltzmann katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}^4$); Standart sapma değeri

Alt İndisler

a	: Ortam havası
b	: Alt duvara ait
ba	: Arka duvara ait
banyo	: Sabit sıcaklık banyosu
c	: Soğuk, soğutulmuş; Soğutulmuş duvara ait
cy	: Soğuk ve yerel
eb	: Enerji dengesi
f	: Kavite film sıcaklığında kavite içindeki havaya ait
fr	: Ön duvara ait
fy	: Kavite yerel film sıcaklığında kavite içindeki havaya ait
gerçek	: Gerçek
insl	: Yalıtıma ait
iw	: İç duvara ait
h	: Sıcak, ısıtılmış; Sıcak duvara ait
hy	: Sıcak ve yerel
H	: Kavite yüksekliğine göre tanımlanmış
i	: İndeks operatörü
L	: Kavite genişliğine göre tanımlanmış
m	: Ortalama değer; Film büyüklüğü
my	: Yerel film büyüklüğü
o	: Kavite dışındaki havaya ait
o, conv	: Kavite dışındaki hava ve taşınım
o, rad	: Kavite dışındaki hava ve ışıınım
ow	: Dış duvara ait
ölçülen	: Ölçülen
p	: Sabit basınçta
r	: Artık yüzeye ait
rastgele	: Rastgele
sistematik	: Sistematik
t	: Üst duvara ait

termometre	: Referans termometresi
toplam	: Toplam
y	: Yerel; y konumundaki; y konumundaki yerel büyüklük
yL	: y konumundaki yerel ve kavite genişliğine göre tanımlanmış
ymL	: Yerel büyüklüklerin ortalama değeri ve kavite genişliğine göre tanımlanmış
yz	: Yerel; (y,z) konumundaki; (y,z) konumundaki yerel büyüklük
yzL	: (y,z) konumundaki yerel ve kavite genişliğine göre tanımlanmış
1, 2	: 1, 2 yüzeylerine ait



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Deney kavitelerinin X konumları.	42
Çizelge 5.2 : Deney kavitelerinde sağlanan Y konumları.	43
Çizelge 5.3 : Deney kavitelerinde sağlanan Z konumları.	43
Çizelge 5.4 : Kavitenin soğutulmuş duvarının toplam ısıl direncinin bileşenleri. ..	47
Çizelge 6.1 : Birinci paket deneylerine ait deney matrisi.	59
Çizelge 6.2 : Üç boyutlu inceleme halinde elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması.	68
Çizelge 6.3 : İkinci paket deneylerine ait deney matrisi.	70
Çizelge 6.4 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde yerel değerlerin ortalamasının hesaplanmasında kullanılan ağırlık faktörleri.	79
Çizelge 6.5 : Üçüncü paket deneylerine ait deney matrisi.	83
Çizelge 6.6 : Dördüncü paket deneylerine ait deney matrisi.	97
Çizelge C.1 : Kalibrasyon deney sonuçları.	127
Çizelge C.2 : Termoelemanların kalibrasyon katsayıları ve R^2 değerleri.	129
Çizelge D.1 : Ortam havası sıcaklığı.	131
Çizelge D.2 : Kavite sıcaklığı.	133
Çizelge E.1 : Deney hesaplama büyüklükleri.	153
Çizelge G.1 : Birinci ve ikinci deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.	161
Çizelge G.2 : Üçüncü ve dördüncü deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.	165



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Düşey duvarlarından birinden ısıtılan diğerinden soğutulan kare ve dikdörtgen kaviteler.	6
Şekil 2.2	: İki veya üç adet ayrık kaynak-kuyu çiftleri bulunduran kavite [42]. ..	19
Şekil 4.1	: Kavite geometrisi; (a) üç boyutlu perspektif, (b) düşey ön kesit, (c) yatay üst kesit.	28
Şekil 4.2	: Yükseklik genişlik oranları $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan kavitelerin düşey ön kesit resimleri.	30
Şekil 4.3	: Kavite içindeki termoelemanların konumları; (a) ortalama sıcaklıklar, (b) yerel sıcaklıklar.	34
Şekil 5.1	: Kavitenin altı duvarından olan ısı geçişinin ısıl dirençler halinde gösterimi.	44
Şekil 5.2	: Kavitenin soğutulmuş duvarının yapısal bileşenlerinin gösterimi.	45
Şekil 5.3	: Artık yüzeyin gösterimi.	49
Şekil 6.1	: Üç boyutlu inceleme halinde sol ve sağ duvarları arasındaki sıcaklık dağılımı; (a) $Y=0.125$, (b) $Y=0.279$, (c) $Y=0.500$, (d) $Y=0.721$, (e) $Y=0.875$	60
Şekil 6.2	: Üç boyutlu inceleme halinde kavite içindeki eş sıcaklık eğrileri; (a) $Z=0.125$, (b) $Z=0.340$, (c) $Z=0.500$, (d) $Z=0.660$, (e) $Z=0.875$	62
Şekil 6.3	: Üç boyutlu inceleme halinde yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği ve derinliği boyunca değişimi.	64
Şekil 6.4	: Üç boyutlu inceleme halinde yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği ve derinliği boyunca değişimi.	66
Şekil 6.5	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde, $A=3$, $Y=0.721$ deneyinde sıcaklığın zamanla değişimi.	71
Şekil 6.6	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde bütün deneyler için ortalama soğutulmuş duvar yüzey sıcaklığı.	71
Şekil 6.7	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde kavite içindeki sıcaklık dağılımı; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$	73
Şekil 6.8	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama Nu_L-Ra_L değişimi.	74
Şekil 6.9	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama Nu_L değerini veren birinci korelasyon.	75
Şekil 6.10	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama Nu_L değerini veren ikinci korelasyon.	75
Şekil 6.11	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama Nu_H-Ra_H değişimi.	76
Şekil 6.12	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği boyunca değişimi.	77
Şekil 6.13	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi.	78
Şekil 6.14	: Doğal taşınım ve ışıınım halinde Nu_{ymL} 'nin $Ra_{ymL}A$ ile değişimi.	79

Şekil 6.15 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama ve yerel ısı geçişi korelasyonlarının karşılaştırılması.	81
Şekil 6.16 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ arasındaki bölgede Nu_{yml} 'nin $Ra_{yml}A$ ile değişimi.	81
Şekil 6.17 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde yerel ve $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ arasındaki bölge ısı geçişi korelasyonlarının karşılaştırılması.	82
Şekil 6.18 : Doğal taşınım halinde kavite içindeki sıcaklık dağılımı; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$	84
Şekil 6.19 : Doğal taşınım halinde kavite içindeki eş sıcaklık eğrileri; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$	87
Şekil 6.20 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_L-Ra_L değişimi.	89
Şekil 6.21 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_L değerini veren birinci korelasyon.	89
Şekil 6.22 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_L değerini veren ikinci korelasyon.	90
Şekil 6.23 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_H-Ra_H değişimi.	91
Şekil 6.24 : Doğal taşınım halinde yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği boyunca değişimi.	92
Şekil 6.25 : Doğal taşınım halinde yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi.	92
Şekil 6.26 : Doğal taşınım halinde Nu_{yml} 'nin $Ra_{yml}A$ ile değişimi.	93
Şekil 6.27 : Doğal taşınım halinde ortalama ve yerel ısı geçişi korelasyonlarının karşılaştırılması.	94
Şekil 6.28 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitenin geometrisi; (a) üç boyutlu perspektif, (b) düşey ön kesit, (c) yatay üst kesit.	95
Şekil 6.29 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede $A=3$, $Y=0.500$ deneyinde soğuk duvar sıcaklığının zamanla değişimi.	97
Şekil 6.30 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede $A=3$, $Y=0.500$ deneyinde sıcak duvar sıcaklığının zamanla değişimi.	97
Şekil 6.31 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede $A=3$, $Y=0.500$ deneyinde ortalama Nusselt sayısının zamanla değişimi.	98
Şekil 6.32 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, kavite içindeki sıcaklık dağılımı; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$	99
Şekil 6.33 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, kavite eş sıcaklık eğrileri; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$	100
Şekil 6.34 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, Nu_L 'in Ra_LA ile değişimi ve üretilen korelasyon.	101
Şekil 6.35 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi.	102
Şekil 6.36 : Doğal taşınım ve ışıınım ve doğal taşınım durumlarının karşılaştırılması.	103
Şekil 6.37 : Doğal taşınım ve ışıınım, doğal taşınım ve ısıtma ve soğutma halinde doğal taşınım durumlarının karşılaştırılması.	104
Şekil A.1 : Kavite başlangıç halindeyken deney düzeneğinin genel görünüşü. ...	121
Şekil A.2 : Kavite duvarlarının tanımlanması.	121
Şekil A.3 : Kavite; (a) orijinal yalıtımları söküldükten sonra, (b) yeni yalıtımları yapıldıktan sonra.	122
Şekil A.4 : Kavite nihai halindeyken deney düzeneğinin genel görünüşü.	122
Şekil A.5 : Birinci ve ikinci deney paketlerinde kavite iç duvarları.	122
Şekil A.6 : Üçüncü ve dördüncü deney paketlerinde kavite iç duvarları.	123

Şekil A.7 : Termoelemanın bakır ve konstantan iletken kabloları.	123
Şekil A.8 : Ölçüm çubuğu üzerinde termoelemanlar.	123
Şekil B.1 : Ölçüm sistemi kalibrasyonunun genel görünüşü.	125
Şekil B.2 : Sabit sıcaklık banyosuna üstten bakış.	125
Şekil B.3 : Termoelemanlar ve referans termometresi.	126





ÜZERİNDE ISI KAYNAKLARI BULUNDURAN BİR KAVİTE İÇERİSİNDEKİ ISI GEÇİŞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Mühendislik uygulamalarında çok farklı tipte kavite yapıları kullanılmaktadır. Bu kavitelerin uygulama alanlarından bazıları enerji depolama sistemleri, güneş kollektörleri, çift camlı pencereler, elektronik ekipmanların soğutulması ve odaların ısıtılmasıdır. Kapalı kavitelerdeki doğal taşınım yoluyla ısı geçişini incelemek üzere bir çok çalışma yapılmıştır. Kavite içindeki doğal taşınım ile ilgili teorik, sayısal veya deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmaların büyük bir bölümü problemin sürekli rejimde ve iki boyutlu çözümü üzerine yoğunlaşmıştır. Kapalı bir kavite içindeki doğal taşınım, sınır şartlarına, geometriye ve akış rejimine bağlı olarak çok çeşitlilik göstermektedir.

Isıl sınır şartlarına göre kaviteler iki ana grupta sınıflandırılabilir: bir yatay duvarından ısıtılan ve bir düşey duvarından ısıtılan. İkinci grupta, kavitenin karşılıklı düşey duvarlarından ikisi birbirine göre sıcaklık farkı olacak şekilde ısıtılmakta, bu sırada kavitenin üst, alt, ön ve arka duvarları adyabatik olarak tutulmaktadır. Bu kavitede, düşey duvarlardan biri ısıtılmakta, diğeri ise soğutulmaktadır. Kavite, iki aktif duvara sahiptir. İzotermal düşey duvarlar, sıcak ve soğuk duvarlar olarak adlandırılır.

Kavite geometrisi ele alındığında, yükseklik genişlik oranı adı verilen bir parametre kullanılmaktadır. Yükseklik genişlik oranı, kavite yüksekliğinin kavite genişliğine oranıdır. Yükseklik genişlik oranına bağlı olarak kaviteler, basık dikdörtgen, kare ve uzun dikdörtgen olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Bu gruplardaki yükseklik genişlik oranı sırasıyla, birden küçük, bire eşit ve birden büyüktür. İzotermal düşey duvarları birbirine göre sıcaklık farkı olacak şekilde ısıtılan ve yatay duvarları adyabatik olan kavite içindeki doğal taşınım üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, bazı araştırmacılar kare ve küp kaviteyi, veya dikdörtgen ve dikdörtgenler prizması kaviteyi incelemişlerdir. Diğer bazı araştırmacılar ise düşey duvarları kısmen aktif durumdaki kavite içinde havanın doğal taşınımını incelemişlerdir. Aktif kısım, kavite duvarının yarısı yüksekliğinde, aktif olmayan kısım ise adyabatiktir. Bu iki tip çalışmada da ısı geçiş mekanizması genellikle yalnızca doğal taşınımdır.

Düşey duvarları birbirine göre sıcaklık farkı olacak şekilde ısıtılan kaviteler bir çok alanda uygulama bulmuştur. Ancak, diğer bir çok uygulamada da, kavite sadece bir duvarından ısıtılmakta veya soğutulmaktadır. Bu nedenle kavite, bir aktif düşey duvara sahiptir. Bu tez çalışması, düşey duvarlarından biri aktif olan kapalı bir kavite ile ilgilidir. Kavite, düşey duvarlarından birinden, yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmaktadır. Aktif duvardaki sıcaklık gradyanı, bunun karşısındaki duvardaki gradyandan daha büyüktür. Karşıdaki bu duvar, sıcak duvar olarak isimlendirilmektedir. Bu iki düşey duvar birbirinden farklı sabit sıcaklıklara sahiptir. Yatay üst ve alt duvarlar adyabatiktir. Kavite içindeki akışkan havadır. Kavitenin eğim açısı sıfırdır. Kavitenin düşey duvarları birbirinden farklı sabit sıcaklık değerlerinde tutulduğu için duvarlar arasındaki sıcaklık farkı, kavite içerisindeki

havanın hareket etmesine neden olur. Bu çalışmada, kare ve dikdörtgen kaviteler içindeki ısı geçişi incelenmiştir. Yükseklik genişlik oranının kavite içindeki ısı geçişine etkisini bulmak üzere farklı yükseklik genişlik oranına sahip altı kavite ele alınmıştır.

Literatür araştırması kapsamında, çok sayıdaki araştırmacının çalışması özetlenmiştir. Çalışmaların her biri için; kavitenin geometrisi, yükseklik genişlik oranı, kavite içindeki akışkan, duvarların malzemesi ve yüzey yama katsayısı, kavite duvarlarının ısı sınır şartları, Prandtl sayısı aralığı, Rayleigh sayısı aralığı ve teklif edilen korelasyonlar sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında, ısı geçişi problemi deneysel olarak ele alınmıştır. Bu amaçla, bir deney düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. Dikdörtgen kavite içindeki ısı geçişini incelemek üzere sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Problem, sürekli rejimde incelenmiştir. Kavite duvarları arasındaki sıcaklık dağılımı kavitenin farklı yükseklik ve derinlik değerlerinde bulunmuştur. Yerel kuyunun sıcaklık profiline, akışa ve ısı geçişine etkileri elde edilmiştir. Sıcaklık ölçümleri gerek boyutlu ve gerekse boyutsuz grafikler halinde çizilmiştir. Kavite içindeki akış, sıcaklık konturları şeklinde sunulmuştur. Kavite geometrisi boyutsuzlaştırılmıştır. Ölçüm verileri üzerinde hesaplamalar yapılarak ısı geçişi karakteristikleri elde edilmiştir. Isı geçişi değişkenleri, boyutsuz ısı geçişi sayıları halinde ifade edilmiştir. Kavite içindeki ısı geçişi, gerek ortalama gerekse yerel değerler olarak ele alınmıştır. Isı geçişinin, kavite geometrisi, yükseklik genişlik oranı, yüzey yama katsayısı ve sıcaklık farkına bağlı olarak değişimi denklemler yardımıyla ifade edilmiştir. Isı geçişi verisinin değişimi tartışılmıştır. Sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, ısı geçişi, dikdörtgen kavitelerden birinde üç boyutlu olarak incelenmiştir. Bu durum için, ısı geçiş mekanizması birleşik ışıınım ve doğal taşınımdır. Kavitenin genişliği, yüksekliği ve derinliği yönündeki ısı geçişini araştırmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir. Kavite içindeki sıcaklık dağılımı ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümlerinin kontur haritaları çizilmiştir. Nusselt sayısının kavite içindeki değişimi bulunmuştur. Ortalama Nusselt sayısı, iki ve üç boyutlu yaklaşımlar yoluyla elde edilmiştir. Böylece, iki ve üç boyutlu incelemeler arasındaki fark ortaya konulmuştur.

Üç boyutlu araştırma tamamlandıktan sonra, kavite içerisindeki ısı geçişi, altı kavitenin hepsi için iki boyutlu olarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, yükseklik genişlik oranının 1 ile 6 aralığı için ısı geçişini incelemek üzere deneyler yapılmıştır. Isı geçiş mekanizması, doğal taşınım ve ışıınımdır. Altı kavitenin her birinde, kavite genişliği boyunca olan sıcaklık profili elde edilmiştir. Araştırma, kavitenin bir derinlik değerinde ve yedi yükseklik konumunda gerçekleştirilmiştir. Kavitelerin her biri için, sıcaklık profilinin ve yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliğince olan değişimi bulunmuştur. Ortalama ve yerel ısı geçişi verileri bulunmuştur. Isı geçişi korelasyonları elde edilmiştir.

Birleşik ışıınım ve doğal taşınım incelenmiş vaziyette olduğundan, ısı geçiş mekanizması, yalnızca doğal taşınım durumuna dönüştürülmüştür. Bu amaçla, kavite duvarlarının yüzey yama katsayısı azaltılmıştır. Araştırma, kavitenin orta derinliğinde yapılmıştır. Bu çerçevede, yükseklik genişlik oranı 1 ile 6 aralığında değiştirilmiştir. Altı kavitenin her biri için, sıcaklık profili, eş sıcaklık eğrileri ve ısı geçişi verileri bulunmuştur. Ortalama ve yerel ısı geçiş büyüklükleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışma için, ısı geçişi korelasyonları sunulmuştur.

Tezde, ısıl sınır şartlarının etkisi de incelenmiştir. Altı kavitenin yükseklik genişlik oranları sabit tutulmuştur. Isı geçişi, sadece doğal taşınım yoluylaadır. Kavitenin düşey duvarlarından biri yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmuştur. Bunun karşısındaki düşey duvar ise yerel bir ısı kaynağı ile ısıtılmıştır. Böylece, iki aktif düşey duvara sahip bir kavite elde edilmiştir. Bir aktif duvara sahip kavite ile karşılaştırıldığında, bu kavite için, bu iki duvar arasındaki sıcaklık farkı artmış durumdadır. Isıl sınır şartlarındaki değişiklik nedeniyle, duvarlardaki sıcaklık gradyanları, sıcaklık alanı, eş sıcaklık eğrileri, ve böylece, kavite içindeki akış değiştirilmiştir. Yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliğince olan değişimi bulunmuştur. Ölçümler, kavitenin orta genişlik değerinde gerçekleştirilmiştir. Nusselt ile Rayleigh sayıları arasındaki ilişki bir korelasyon olarak ifade edilmiştir.

Birleşik ışıınım ve doğal taşınım ile doğal taşınım durumları birbiriyle karşılaştırılarak ışıının etkisi bulunmuştur. Bir aktif düşey duvara sahip kavite ve iki aktif düşey duvara sahip kavite arasındaki karşılaştırmalar ile karşı düşey duvardaki ısıl sınır şartının etkisi ortaya konulmuştur. Bu karşılaştırma yardımıyla yeni bir çarpan üretilmiştir. Bu çarpanın Rayleigh sayısına bağılı değişimini veren bir korelasyon sunulmuştur.



INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER INSIDE A CAVITY HAVING HEAT SOURCES

SUMMARY

In engineering applications, various types of cavity structures are used. Some important applications of these cavities are energy storage systems, solar collectors, double pane windows, electronic equipment cooling and heating of rooms. Many efforts have been made to investigate natural convection heat transfer in closed cavities. Theoretical, numerical or experimental studies are conducted on the natural convection heat transfer in the cavity. Most of the work focuses on two-dimensional and steady state solution of the problem. Natural convection in a closed cavity differs widely in boundary conditions, geometries, fluids and flow regimes.

Based on the thermal boundary conditions, enclosures can be classified into two main groups: heating from a horizontal wall and heating from a vertical wall. In the second group, two opposite vertical walls of the cavity are differentially heated while its top, bottom, front and back walls are maintained adiabatic. In this cavity, one vertical wall is heated and the other vertical wall is cooled. The cavity has two active vertical walls. Isothermal vertical walls are called hot and cold walls.

Considering the cavity geometry, a parameter which is called the aspect ratio is used. The aspect ratio is the ratio of the cavity height to cavity length. Depending on the aspect ratio, enclosures can be divided into three groups: shallow rectangular, square and tall rectangular. In these groups, the aspect ratio is smaller than one, equal to one and greater than one, respectively. Many studies have been conducted on natural convection in a cavity with adiabatic horizontal walls and differentially heated isothermal vertical walls. In this frame, some researchers investigated square and cubical cavities, or rectangular and rectangular prism cavities. Some other researchers studied natural convection of air in a cavity with partially active vertical walls. The active part is half height of the cavity wall and the inactive part is adiabatic. In these two types of studies, the heat transfer mechanism is generally by natural convection alone.

The differentially heated cavities have found applications in many areas. However, in many other applications, the cavity is heated or cooled from only one side. Therefore, it has one active vertical wall. This thesis study focuses on a closed cavity with one active vertical wall. The cavity is cooled from one side with a local heat sink. The temperature gradient on the active wall is larger than that on the opposing wall, which is called the hot wall. These two vertical walls have different values of constant temperatures. The horizontal top and bottom walls are adiabatic. The fluid inside the cavity is air. The angle of inclination of the cavity is zero. Because the vertical walls of the cavity are maintained at the temperatures of constant values, the temperature difference between the walls is resulted in the flow of air inside the cavity. In this study, heat transfer in square and tall rectangular cavities is

investigated. Six rectangular cavities with different aspect ratios are studied to find the effect of aspect ratio on the heat transfer in the cavity.

In the literature review, the studies of many researchers are summarized. For each work, the geometry of the cavity, the aspect ratio, the fluid in the cavity, the material and the surface emissivity of the walls, the thermal boundary conditions on the walls of the cavity, the Prandtl number range, the Rayleigh number range and the proposed heat transfer correlations are provided.

In this thesis, the heat transfer problem is studied experimentally. For this purpose, an experimental facility is designed and manufactured. Temperature measurements are performed to study the heat transfer in the rectangular cavity. The problem is studied in the steady state. The temperature distribution across the cavity walls is obtained for different cavity heights and depths. The effects of the local sink on the temperature profile, the flow and the heat transfer are obtained. The temperature measurements are plotted in terms of both dimensional and non dimensional graphs. The flow in the cavity is presented in the form of temperature contours. The cavity geometry is non-dimensionalized. The calculations are done on the measurement data to obtain heat transfer characteristics. The heat transfer variables are presented in the form of non-dimensional heat transfer numbers. The heat transfer in the cavity is studied in terms of both average and local values. The change in heat transfer with respect to the cavity geometry, the aspect ratio, the surface emissivity and the temperature difference is presented by means of equations. The variation of the heat transfer data is discussed. The results are compared with the literature.

In this study, the heat transfer in one of the rectangular cavities is investigated in three dimensions. For this case, the heat transfer mechanism is combined radiation and natural convection. The experiments are performed to investigate the heat transfer in the directions of the cavity length, height and depth. The temperature distribution in the cavity is measured. The contour maps of temperature measurements are plotted. The variation of the Nusselt number in the cavity is obtained. The average Nusselt number is obtained by means of the two- and three-dimensional approaches. Thus, the difference between the two- and three-dimensional investigations is obtained.

After completing the three-dimensional investigation, the heat transfer inside the cavity is studied in two-dimensions for all six cavities. In the frame of this work, the experiments are conducted to study the heat transfer for the aspect ratio range of 1 to 6. The heat transfer mechanism is natural convection and radiation. For each of six cavities, the temperature profile across the cavity length is obtained. The investigation is performed for seven heights at one cavity depth. For each cavity, the variations of the temperature profile and the local Nusselt number along the cavity height are obtained. The average and local heat transfer data are found. Heat transfer correlations are obtained.

Having studied the combined radiation and natural convection, the heat transfer mechanism is changed to the natural convection alone. For this purpose, the surface emissivity of the walls of the cavity is reduced. The investigation is performed at the mid-depth of the cavity. In this frame, the aspect ratio is varied between 1 and 6. For all six cavities, the temperature profiles, the isotherms and the heat transfer data are obtained. The comparisons between the average and the local heat transfer data are made. For this work, heat transfer correlations are provided.

In the thesis, the effect of thermal boundary conditions is also studied. The aspect ratios of the six cavities are maintained constant. The heat transfer is by natural convection alone. One of the vertical walls of the cavity is cooled with a local heat sink. The opposing vertical wall is heated with a local heat source. Thus, the cavity with two active vertical walls is obtained. For this cavity, the temperature difference between these two walls is increased when compared to the cavity with one active vertical wall. Because of the change in the thermal boundary conditions, the temperature gradients on the walls, the temperature field, the isotherms, and hence, the flow in the cavity are changed. The variation of the local Nusselt number along the cavity height is obtained. The measurements are performed at the mid-depth of the cavity. The relation between the Nusselt and the Rayleigh numbers is presented in terms of a correlation.

The effect of radiation is obtained by comparing the combined radiation and natural convection, and the natural convection cases with each other. The effect of the thermal boundary conditions on the opposing vertical wall is found by comparisons between the cavity with one active vertical wall and the cavity with two active vertical walls. A new coefficient has been generated by this comparison. A correlation which shows the variation of this coefficient with respect to the Rayleigh number is presented.



1. GİRİŞ

Bu bölümde bu doktora tezi ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra tezin konusu, amacı ve özgün değeri sunulmuştur. Daha sonra tezin bölümleri tanıtılmıştır.

Kavite içerisindeki akış ve ısı geçişi olayı uzun yıllardır çalışılan bir konu olmakla birlikte bu konu aynı zamanda da, ısıtma, soğutma, havalandırma, güneş kolektörü, çift camlı pencere, elektronik kartların soğutulması gibi uygulama alanlarında, hava akışı, ısı geçişi ve kütle geçişinin söz konusu olduğu bir o kadar fazla sayıdaki problemde de kendisine yer bulmaktadır. Bu tür problemler makina mühendisliğinin akışkanlar dinamiği ve ısı geçişi disiplinleri için değerli bir uygulama sahası teşkil etmektedir. Kavite problemlerinin sade geometrileri gerek deneysel, gerekse sayısal bakımdan kolaylık getirmektedir. Kaviteler, karmaşık geometrilere göre daha kolay modellenebilmektedir. Bu tip bir kavite, sınır şartı ve geometriye bağlı olarak çok değişik şekilde ortaya çıkabilir.

Kavite içindeki akışın ısı geçişi ile sağlandığı olaylardaki mekanizma, doğal taşınım, zorlanmış taşınım ve bu ikisinin birlikte yer aldığı birleşik taşınım ile ortaya çıkmaktadır. Doğal taşınım, nispeten küçük ısı yüklerinde, fan gerektirmeksizin, dolayısıyla fanı döndürecek bir motorun güç tüketimi olmaksızın ve bunun sonucunda daha az gürültü oluşturmak suretiyle ısı geçişini meydana getirdiği için zorlanmış taşınıma göre tercih edilen bir yöntemdir. Doğal ısı taşınımında akış, yoğunluk farkı neticesinde gerçekleşmekte; yoğunluk farkı ise genellikle sıcaklık farkı sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Akış alanına dış kuvvet (cisim kuvveti) olarak ağırlık kuvveti (yerçekimi) etmektedir. Akışkanın hareketi, yoğunluk farkı ve yerçekimi neticesinde ortaya çıkan kaldırma kuvvetleri etkisiyle meydana gelir. Kavite içindeki akış ve ısı geçişi laminar veya türbülanslı rejimde oluşabilir.

Kavite içindeki akışın doğal taşınım sonucu olduğu durum genellikle kavitenin iki kenarının adyabatik tutulurken diğer iki kenarının farklı sıcaklıklarda olması sayesinde meydana gelmektedir. Bu durum ise iki şekilde ortaya çıkabilir. Birinci durumda kavitenin düşey duvarları adyabatiktir ve kavite, yatay duvarlarından birinden ısıtılmakta diğerinden ise soğutulmaktadır. İkinci durumda kavitenin yatay

duvarları adyabatiktir ve kavite düşey duvarlarından birinden ısıtılmakta diğerinden ise soğutulmaktadır.

Akış alanı, kavitenin katı duvarları tarafından sınırlanmış olduğu için bir iç akış söz konusudur. Bunun sonucunda ise kavite içerisindeki akış ve ısı geçişi olayında kavite duvarlarının geometrisi ve duvarlardaki ısı sınır şartları büyük rol oynamakta ve çok değişik tipte kavite içi doğal taşınım örnekleri ortaya çıkmaktadır.

Kavite geometrisini karakterize etmek üzere genellikle yükseklik genişlik oranı (aspect ratio) adı verilen bir parametre kullanılmaktadır. İki boyutlu bir kavitede yükseklik genişlik oranı, kavite yüksekliğinin kavite genişliğine oranıdır. Kavite yükseklik genişlik oranının değerine göre basık dikdörtgen (shallow), kare ve uzun dikdörtgen (tall) olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Yükseklik genişlik oranı birinci, ikinci ve üçüncü gruplarda sırasıyla 1'den küçük, 1'e eşit ve 1'den büyüktür. Uzun dikdörtgen kavite kısaca dikdörtgen kavite olarak anılacaktır.

1.1 Tezin Konusu

Bu tezde, geometrisi kapalı kare ve dikdörtgen olan; dolayısıyla yükseklik genişlik oranı 1'e eşit ve 1'den büyük olan; ısı sınır şartları ise yatay üst ve alt duvarları adyabatik, düşey duvarlarından birinden sabit sıcaklıkta soğutulan bunun karşısındaki düşey duvarı ise yalıtılmış olan kavitelerdeki ısı geçişi incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Tezin öncelikli amacı, düşey duvarlarından biri sabit sıcaklıkta soğutulmaktayken bunun karşısındaki düşey duvarı yalıtılmış olan, yatay üst ve alt duvarları ile düşey ön ve arka duvarları adyabatik olarak tutulan dikdörtgen bir kavitede doğal taşınım ve ışıınım durumunda ısı geçişini üç boyutlu olarak incelemektir.

Tezin bir diğer amacı aynı ısı sınır şarta sahip ve yükseklik genişlik oranları 1, 2.09, 3, 4, 5 ve 6 olan altı adet kavitedeki ısı geçişini, sadece doğal taşınım ve doğal taşınım ve ışıınım durumlarında iki boyutlu olarak incelemektir. Yükseklik genişlik oranı 2.09 olan kavite ticari bir üründür.

Tezin son amacı, söz konusu altı kavite geometrisi için de, düşey duvarlarından biri sabit sıcaklıkta soğutulmaktayken bunun karşısındaki düşey duvar yalıtılmış olan ısı sınır şartına sahip kavite ile düşey duvarlarından biri sabit sıcaklıkta

soğutulmaktayken bunun karşısındaki düşey duvar ısıtılmakta olan kaviteyi karşılaştırmaktır. Bu amaçla oluşturulan kavitede sıcak duvar sıcaklığı zamanla periyodik olarak değişmektedir. Böylece, soğutulmuş duvar karşısındaki duvardaki ısı sınır şartının etkisi incelenecektir.

Tezin ana amaçlarından biri de yukarıda bahsedilen bütün durumlar için kavite içindeki ısı geçişinin yerel değişimini ve dağılımını incelemektir.

1.3 Tezin Özgün Değeri

Tezin özgün değeri; düşey duvarlarından birinden yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmak suretiyle bir aktif duvara sahip vaziyetteki kavite içindeki ısı geçişinin üç boyutlu olarak incelenmesi ve ısı geçişinin, kavitenin her üç boyutu da uygulamadaki gerçek ölçülerinde sağlanmış durumdayken belirlenmesidir. Isı geçişinin, boyutsuz sıcaklık farkı ve boyutsuz yükseklik genişlik oranına bağlı olarak değişiminin elde edilmesi, ısı geçişinin, kavitenin duvarlarının tümü aynı yüzey yayma katsayısı değerinde tutulmuş durumdayken belirlenmesi, ısı geçişinin, ışınlama birlikte taşınım ve yalnızca taşınım durumlarının her ikisinde de araştırılarak, ışınlamanın toplam ısı geçişi içindeki payının ortaya konulması tezdeki diğer özgün yönlerdir. Ayrıca, düşey duvarındaki sıcaklığı konuma bağlı olarak düzgün dağılmayan kavite içindeki yerel ısı geçişinin konumla değişiminin belirlenmesi, bir aktif duvara sahip kavite ile iki aktif duvara sahip kavite arasındaki ilişkinin ortaya konulması, ortalama ve yerel sıcaklık dağılımının eş zamanlı olarak belirlenmesi de özgün nitelikler arasındadır. Tezin diğer özgün tarafları, kavitenin karşılıklı iki düşey duvarı arasındaki sıcaklık profilinin, eş zamanda sıcaklık ölçümü yapılarak ve kavite akışkanının kendisi kullanılarak belirlenmesi ve kavite içindeki ısı geçişinin, kavite duvarlarının ısı kaybı ölçülerek belirlenmesidir.

1.4 Tezin Bölümlerinin Tanıtılması

Tezde, giriş bölümünden sonra ikinci bölümde tez konusu ile ilgili bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu bölümde, araştırmacıların çalışmalarındaki kavite geometrisi, yapısal ve ısı sınır koşulları, çalışma şartları, akışkanlar ve boyutsuz sayılar verilmiştir. Üçüncü bölümde tez konusu, önceki yapılmış çalışmalar ile karşılaştırılarak tezin literatürden farkı sunulmuştur. Dördüncü bölümde deney

düzenegi tanitilmiştir. Beşinci bölümde kullanılan deneysel yöntem ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Altıncı bölümde deney sonuçları ayrı alt bölümler halinde sunulmuştur. Bu bölümde deney sonuçları, ortalama ve yerel büyüklükler için ayrı alt kısımlar altında verilmiştir. Tezde üretilen bütün sonuç grafikleri bu bölümde verilmiştir. Yedinci bölümde tezde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Ekler bölümünde, deney düzeneginin fotoğrafları, ölçüm sisteminin kalibrasyon sonuçları, bütün deneylere ait ölçüm noktalarının tamamı için ortalama değer ve standart sapma değeri, deney hesaplama büyüklükleri ve ölçüm belirsizliği analizi sonuçları sunulmuştur.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

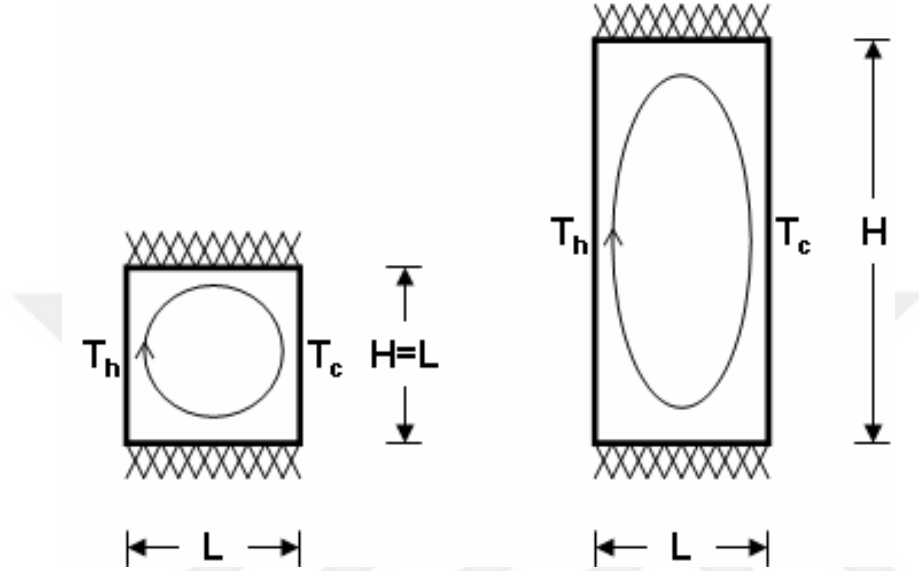
Literatürde kapalı kavitelerdeki doğal taşınımın ısı geçişini inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğu problemin sürekli rejimde ve iki boyutlu olarak çözümü üzerine odaklanmıştır. Kapalı bir kavitedeki doğal taşınım, sınır şartları, geometri, akışkan ve akış rejimine bağlı olarak çok farklılık göstermektedir.

Kaviteler, ısı sınır şartlarına göre yatay bir duvarından ısıtılan ve düşey bir duvarından ısıtılan olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Birinci kategoride karşılıklı yatay duvarlardan biri ısıtılmakta diğeri ise soğutulmaktayken diğer duvarlar adyabatiktir. İkinci kategoride kavitenin karşılıklı düşey duvarlarından biri ısıtılmakta diğeri ise soğutulmaktayken, kavitenin üst, alt, ön ve arka duvarları adyabatik olarak tutulmaktadır. Bu tez çalışmasında ikinci kategori ile ilgilenilmektedir.

İki boyutlu bir kavitede yükseklik genişlik oranı (A), kavite yüksekliğinin (H) kavite genişliğine (L) oranıdır. Kaviteler yükseklik genişlik oranının değerine göre basık dikdörtgen (shallow), kare ve uzun dikdörtgen (tall) olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Yükseklik genişlik oranı birinci, ikinci ve üçüncü gruplarda sırasıyla 1'den küçük, 1'e eşit ve 1'den büyüktür. Bu tez çalışmasında, ikinci gruptaki kare kavite ve üçüncü gruptaki uzun dikdörtgen kavite ile ilgilenilmektedir. Uzun dikdörtgen kavite kısaca dikdörtgen kavite olarak anılacaktır.

İki boyutlu kavitede, kavitenin düşey duvarlarından biri sabit T_h sıcaklığında ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı ise sabit T_c sıcaklığında soğutulmaktadır. Böyle bir kavite, düşey duvarları birbirine göre sıcaklık farkı olacak şekilde ısıtılan kavite olarak da adlandırılabilir. Şekil 2.1'de bu sınır şartlarına sahip kare ve dikdörtgen kaviteler ve içerideki akış gösterilmiştir. Söz konusu duvarlardan birincisi sıcak, ısıtılan veya ısıtılmış duvar olarak; ikincisi ise soğuk, soğutulan veya soğutulmuş duvar olarak adlandırılmaktadır. Sabit sıcaklık kavramı izotermal kavramı ile eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Sıcaklık, duvarın her yerinde aynı değerde ve düzgün (uniform) dağılımlıdır. İlave olarak sıcaklık zamanla

değişmemekte ve sabittir. Başka bir ifadeyle sürekli rejim söz konusudur. Kavitenin üst ve alt duvarları adyabatiktir. Bu tip bir kavitedeki ısı geçişini iki boyutlu olarak inceleyen çalışmalar iki boyutlu çalışma başlığında verilmiştir. Problem geometrisi üç boyutlu olmasına rağmen araştırmanın iki boyutta yapıldığı literatür çalışmaları da iki boyutlu çalışma başlığı altında sunulmuştur.



Şekil 2.1 : Düşey duvarlarından birinden ısıtılan diğerinden soğutulan kare ve dikdörtgen kaviteler.

Üç boyutlu kavitede üç boyutta araştırma yapan çalışmalar ise üç boyutlu başlığı altında verilmiştir. Üç boyutlu kavitedeki ısı sınır şartları iki boyutlu kavite ile tamamen aynı olup ilave olarak kavitenin ön ve arka duvarları da adyabatiktir.

Kavite içindeki ışınlam ile ısı geçişi engellenmek suretiyle yalnızca doğal taşınımın söz konusu olduğu literatür çalışmaları aşağıda sadece doğal taşınım başlığı altında ele alınmıştır. Işınlam ile ısı geçişine izin verilmek suretiyle kavite içindeki ısı geçiş mekanizmasının doğal taşınım ve ışınlam olduğu çalışmalar ise doğal taşınım ve ışınlam başlığında verilmiştir.

Yukarıda açıklanmış olan ısı sınır şartında kavite, bir duvarının tamamından ısıtılmakta ve diğer duvarının tamamından soğutulmaktadır. Bunun aksine kavitenin kısmen ısıtılması, ayrık bir ısı kaynağıyla ısıtılması, kavitenin sadece bir duvarından ısıtılması veya soğutulması sonucu yalnızca bir adet aktif duvara sahip olması gibi çeşitli türden literatür çalışmaları aşağıda diğer sınır şartları başlığı altında sunulmuştur.

Yine yukarıda tanımlanmış olan duvar sıcaklığının zamanla sabit olması durumunun aksine zamanla periyodik olarak değişmesi üzerine yapılmış literatür çalışmaları bir duvarının sıcaklığı zamanla periyodik olarak değişen kavite başlığı altında verilmiştir.

Aşağıda, yapılan literatür araştırmasının sonuçları, yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, geometri, ısı sınır şartı ve zaman sınır şartına göre sınıflandırılmak suretiyle farklı alt bölümler halinde sunulmuştur.

2.1 İki Boyutlu Kavitede Sadece Doğal Taşınım

Bu alt bölümde, düşey duvarlarından biri sabit T_h sıcaklığında ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı sabit T_c sıcaklığında soğutulmakta, üst ve alt duvarları ise adyabatik olarak tutulmakta olan iki boyutlu kavitede sadece doğal taşınım ile ısı geçişini inceleyen kare veya dikdörtgen kaviteler üzerine yapılan çalışmalar iki ayrı alt kısım halinde sunulmaktadır.

2.1.1 İki boyutlu kare kavitede sadece doğal taşınım

Bu alt kısımda iki boyutlu kare kavitede sadece doğal taşınım ile ilgili literatür çalışmaları verilmektedir. Kavitenin düşey duvarlarından biri sabit T_h sıcaklığında ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı sabit T_c sıcaklığında soğutulmakta, üst ve alt duvarları ise adyabatiktir.

De Vahl Davis ve Jones [1] kare kavitede havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^6 aralığında sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, çeşitli sayısal yöntemlerin değerlendirilmesine bir temel oluşturmak üzere literatürdeki 37 farklı çalışma karşılaştırılmıştır.

De Vahl Davis [2] kare kavite içinde havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^6 aralığında sayısal olarak inceleyerek bir karşılaştırma çözümü elde etmiştir.

Markatos ve Pericleous [3] kare kavite içinde havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^{16} aralığında sayısal olarak incelemişler ve Rayleigh sayısının, 10^3 ile 10^6 , 10^6 ile 10^{12} ve 10^{12} ile 10^{16} aralıkları için sırasıyla denklem 2.1, denklem 2.2 ve denklem 2.3’de verilen ısı geçişi korelasyonlarını sunmuşlardır.

$$Nu_L = 0.143 Ra_L^{0.299} \quad (2.1)$$

$$Nu_L = 0.082 Ra_L^{0.329} \quad (2.2)$$

$$Nu_L = 1.325 Ra_L^{0.245} \quad (2.3)$$

Türkçe’de, bazı çalışmalarda, gerek “equation” gerekse “correlation” için aynı anda “bağıntı” kelimesi kullanılmaktadır. Bu iki anlamı birbirinden ayırmak amacıyla tezde, Nusselt ile Rayleigh arasındaki ilişkiyi veren “correlation” için “korelasyon”; “equation” için ise “denklem” veya “eşitlik” kelimelerinden biri kullanılmıştır.

Ramesh ve Venkateshan [4] kare kavite içinde havanın doğal taşınımını Grashof sayısının 5×10^4 ile 2×10^6 aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada sıcak ve soğuk duvarların yüzey yayma katsayısı (ışınım yayma katsayısı) 0.05 değerinde sabit tutulmuş, üst ve alt duvarların yüzey yayma katsayısı ise 0.05 ve 0.85 olmak üzere iki değişik değerde tutularak inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda üst ve alt duvarların yüzey yayma katsayısının Nusselt sayısını etkilemediği bulunmuştur. Çalışmada Grashof sayısının 5×10^4 ile 2×10^6 aralığı için denklem 2.4’de verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

$$Nu_L = 0.56 Gr_L^{0.195} \quad (2.4)$$

Bairi [5] kare kavite içinde havanın doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada sıcak ve soğuk duvarlar bakır, diğer duvarlar ise poliüretandır. Çalışmada Rayleigh sayısı 10^3 ile 10^{10} aralığında, kavitenin yatayla yaptığı açı değeri ise 0° ile 360° aralığında değiştirilerek farklı kavite açıları için ısı geçişi korelasyonları sunulmuştur. Çalışmada kavitenin yatayla yaptığı açının 0° değeri ve Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^{10} aralığı için denklem 2.5’de verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

$$Nu_L = 0.15 Ra_L^{0.29} \quad (2.5)$$

Yousaf ve Usman [6] kare kavitede bir akışkanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^6 aralığında sayısal olarak incelemişlerdir. Akışkanın Prandtl sayısı 1’dir. Çalışmada, sol ve sağ düşey duvarların pürüzsüz olması durumu, sıcak duvarda sinüsoyidal pürüz elemanlarının olması durumu ve sıcak ve soğuk duvarlarda sinüsoyidal pürüz elemanlarının olması durumu olmak üzere üç durum incelenmiştir.

2.1.2 İki boyutlu dikdörtgen kavitede sadece doğal taşınım

Bu alt kısımda iki boyutlu dikdörtgen kavitede sadece doğal taşınım üzerine daha önce yapılmış çalışmalar verilmektedir. Kavitenin düşey duvarlarından biri sabit T_h sıcaklığında ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı sabit T_c sıcaklığında soğutulmakta, üst ve alt duvarları ise adyabatiktir.

Eckert ve Carlson [7] yükseklik genişlik oranı 2.5, 10, 20 ve 46.7 olan dört dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada sıcak ve soğuk duvarlar parlatılmış nikel kaplamalı bakır, diğer duvarlar ise tahta malzemedir. Çalışmada sınır tabaka rejimi için bir ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur.

Emery ve Chu [8] yükseklik genişlik oranı 10 ve 20 olan iki dikdörtgen kavitede değişik akışkanların doğal taşınımını analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada sıcak ve soğuk duvarlar metaldir. Çalışmada, yükseklik genişlik oranının 10 ile 20 aralığı, Prandtl sayısının 3 ile 30000 aralığı ve Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^7 aralığı için denklem 2.6'da verilen ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur.

$$Nu_L = 0.28 Ra_L^{0.25} A^{-0.25} \quad (2.6)$$

De Vahl Davis [9] yükseklik genişlik oranı 1 ve 5 olan iki dikdörtgen kavitede değişik akışkanların doğal taşınımını üzerine sayısal bir çalışma yürütmüştür. Yükseklik genişlik oranı, kavite yüksekliğinin kavite genişliğine oranıdır. Rayleigh ve Prandtl sayıları sırasıyla 1.0×10^3 ile 1.5×10^5 aralığında ve 0.1 ile 1000 aralığında değiştirilmiştir.

MacGregor ve Emery [10] yükseklik genişlik oranı 1, 10, 20 ve 40 olan dört dikdörtgen kavitede farklı akışkanların doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada Prandtl sayısı 1 ile 20000 aralığında, Rayleigh sayısı ise 10^4 ile 10^9 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada yükseklik genişlik oranının 10 ile 40, Prandtl sayısının 1 ile 20000 ve Rayleigh sayısının 10^4 ile 10^7 aralığı için denklem 2.7'de verilen; yükseklik genişlik oranının 1 ile 40, Prandtl sayısının 1 ile 20 ve Rayleigh sayısının 10^6 ile 10^9 aralığı için denklem 2.8'de verilen ısı geçişi korelasyonları sunulmuştur.

$$Nu_L = 0.42 Ra_L^{0.25} A^{-0.3} Pr^{0.012} \quad (2.7)$$

$$Nu_L = 0.046 Ra_L^{1/3} \quad (2.8)$$

Berkovsky ve Polevikov [11] yükseklik genişlik oranı 1 ile 10 aralığında değişen dikdörtgen kavitelerde farklı akışkanların doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, Prandtl sayısı 10^{-3} ile 10^5 aralığında değiştirilmiş ve yükseklik genişlik oranının 1 ile 2 ve 2 ile 10 aralıkları için iki adet ısı geçiş korelasyonu sunulmuştur. Ancak bu korelasyonlardan birinin geçerli olduğu Prandtl sayısı aralığı ve Rayleigh sayısı aralığı ile ilgili literatürde çelişkili değerlere rastlandığı için, korelasyonlar burada verilmemiştir.

Yin ve diğ. [12] yükseklik genişlik oranının 4.9 ile 78.7 aralığındaki dikdörtgen kavitelerde havanın doğal taşınımını Grashof sayısının 1.5×10^3 ile 7.0×10^6 aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada sıcak duvar 0.09 yüzey yayma katsayılı alüminyum, soğuk duvar 0.07 yüzey yayma katsayılı bakır, diğer duvarlar ise poliüretandır. Isı geçişi sonuçlarında ısınımın etkisi düşülerek doğal taşınım değerleri kullanılmıştır. Çalışmada, yükseklik genişlik oranı, akışkan ve Grashof sayısı için incelenen aralıklarda geçerli olmak üzere denklem 2.9'da verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

$$Nu_L = 0.21 Gr_L^{0.269} A^{-0.131} \quad (2.9)$$

Schinkel ve diğ. [13] yükseklik genişlik oranı 1, 2, 3, 4, 6, 8, 11 ve 18 olan sekiz dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada Rayleigh sayısı 10^4 ile 10^6 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada gerek her bir kavite için ayrı ayrı korelasyonlar ve gerekse yükseklik genişlik oranının 8 ile 18 aralığı için tek bir korelasyon elde edilmiştir.

Inaba [14] yükseklik genişlik oranı 5, 10, 29, 58 ve 83 olan beş dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada sıcak ve soğuk duvarlar 0.06 yüzey yayma katsayılı parlatılmış bakırdır. Isı geçişi sonuçlarında ısınımın etkisi düşülerek doğal taşınım değerleri kullanılmıştır. Çalışmada Rayleigh sayısı 1.2×10^3 ile 2.0×10^6 aralığında, kavite açısı ise 0° ile 180° aralığında değiştirilmiştir. Kavite açısının 0° ile 60° ve 60° ile 120° aralıkları için iki ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur. Çalışmada yatayla 0° açı yapan kavite, yükseklik genişlik oranının 5 ile 83 aralığı ve Rayleigh sayısının 5×10^3 ile 1.2×10^6 aralığı için denklem 2.10'da verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

$$Nu_L = 0.271 Ra_L^{0.25} A^{-0.21} \quad (2.10)$$

Prasad ve Kulacki [15] yükseklik genişlik oranı 0.05 ile 100 aralığında değişen dikdörtgen kaviterde poroz ortamın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, kavite genişliğine göre hesaplanan Rayleigh sayısı 25 ile 10^4 aralığında değiştirilmiş ve yükseklik genişlik oranının 0.05, 0.07 ve 0.10 değerleri için ayrı ayrı ısı geçişi korelasyonları sunulmuştur.

Hsieh ve Wang [16] yükseklik genişlik oranı 1, 3, 5, 10 ve 20 olan dikdörtgenler prizması kaviterde Prandtl sayıları sırasıyla 0.7, 6 ve 464 olan hava, su ve silikon yağı akışkanlarının doğal taşınımını deneysel olarak incelemişlerdir. Kavite genişliği 20 mm'de, kavite derinliği ise 100 mm'de sabit tutulmuş ve kavite yüksekliği değiştirilmek suretiyle farklı yükseklik genişlik oranına sahip kaviter elde edilmiştir. İnceleme, boyutsuz kavite derinliğinin 0.5 değerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, çalışma iki boyutludur. Sıcak ve soğuk duvarlar bakır, diğer duvarlar pleksiglastır. Rayleigh sayısı 8.7×10^2 ile 2.0×10^9 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada, ortalama Nusselt sayısı ele alınmıştır. Yükseklik genişlik oranının 3 ile 10 aralığı ve Prandtl sayısının 0.7 ile 464 aralığı için Rayleigh sayısının; 1.0×10^6 ile 1.4×10^7 aralığı için denklem 2.11'deki, ve 1.4×10^7 değerinden büyük olması durumu için denklem 2.12'deki ısı geçişi korelasyonları sunulmuştur. Yükseklik genişlik oranının 3 ve 5 değerleri için, kavite genişliğince olan sıcaklık profili, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.25, 0.50 ve 0.75 değerleri için elde edilmiştir. Yükseklik genişlik oranının 3 değeri için, Prandtl sayısı sabit tutulmuş ve Rayleigh sayısı değiştirilmiştir. Yükseklik genişlik oranının 5 değeri için ise, Rayleigh sayısı sabit tutulmuş ve Prandtl sayısı değiştirilmiştir.

$$Nu_H = 0.321 Ra_H^{0.241} A^{-0.095} Pr^{0.053} \quad (2.11)$$

$$Nu_H = 0.133 Ra_H^{0.301} A^{-0.095} Pr^{0.053} \quad (2.12)$$

Betts ve Bokhari [17] yükseklik genişlik oranı 28.7 olan dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada sıcak ve soğuk duvarlar parlatılmış alüminyum, üst ve alt duvarlar alüminyum folyo ve ön ve arka duvarlar pleksiglastır. Çalışmada Rayleigh sayısı 0.86×10^6 ile 1.43×10^6 aralığında değiştirilmiştir.

Lartigue ve diğ. [18] yükseklik genişlik oranı 40 olan dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada sıcak ve soğuk

duvarlar alüminyum, üst ve alt duvarlar polivinüklörür (PVC: Polyvnyl Chloride) Çalışmada Rayleigh sayısı 3.55×10^3 ile 17.75×10^3 aralığında değiştirilmiştir.

Trias ve diğ. [19] yükseklik genişlik oranı 4 olan dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, Nusselt sayısının kavite yüksekliğince olan dağılımı incelenmiştir. Nusselt ve Rayleigh sayıları kavite yüksekliğine göre tanımlanmış olup, Rayleigh sayısının 6.4×10^8 ile 1.0×10^{11} aralığı için denklem 2.13’de verilen ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur.

$$Nu_H = 0.182 Ra_H^{0.275} \quad (2.13)$$

Penot ve diğ. [20] yükseklik genişlik oranı 4 olan dikdörtgenler prizması kavitede havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 9.2×10^7 değerinde deneysel olarak incelemişlerdir. Kavitenin yüksekliği 480 mm, genişliği 120 mm ve derinliği 140 mm’dir. Sıcak ve soğuk duvarlar yüzey yayma katsayısı 0.15 olan parlatılmış alüminyum, adyabatik duvarlar ise yüzey yayma katsayısı 0.08 olan alüminyum folyodur. Çalışmada, Nusselt sayısının dağılımı boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.05 ile 0.95 aralığı için 20 konumda verilmiştir. Çalışmada ayrıca, ısıl tipteki bir aktüatörün kavite içindeki ısı geçişine etkisi incelenmiştir.

Saury ve diğ. [21] yükseklik genişlik oranı 3.84 olan dikdörtgenler prizması kavitede havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 5.8×10^{10} ile 1.2×10^{11} aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Kavitenin yüksekliği 3840 mm, genişliği 1000 mm ve derinliği 860 mm’dir. Sıcak ve soğuk duvarlar, yüzey yayma katsayısı 0.15 olan parlatılmış alüminyumdur. Diğer dört duvarın yüzey yayma katsayısı 0.10 ve 0.60’da tutulmuştur. Sonuçlar, boyutsuz kavite genişliğinin ve derinliğinin 0.5 olduğu noktada, kavite yüksekliğince verilmiştir. Yüzey yayma katsayısının 0.10 değerinde, Nusselt sayısının ve sıcaklığın kavite yüksekliğince olan dağılımları sunulmuştur. Yüzey yayma katsayısının 0.60 değerinde, sıcaklığın kavite yüksekliğince olan dağılımı verilmiştir.

2.2 Üç Boyutlu Kavitede Sadece Doğal Taşınım

Bu alt bölümde, düşey duvarlarından biri sabit sıcaklıkta ısıtmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı sabit sıcaklıkta soğutmakta ve diğer duvarları (üst, alt, ön ve arka) adyabatik tutulmakta olan üç boyutlu kavitede sadece doğal taşınım ile ilgili literatür sunulmaktadır.

Fusegi ve diğ. [22] küp kavitede havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^6 aralığında sayısal olarak incelemişlerdir. Rayleigh sayısının 10^4 ve 10^6 değerleri için üç boyutlu sıcaklık alanı konturlar halinde verilmiştir. Boyutsuz kavite derinliğinin 0.5 değerinde, yatay sıcaklık profili, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 ve 0.9 değerleri için ve ayrıca düşey sıcaklık profili, boyutsuz kavite genişliğinin 0.5 değeri için elde edilmiştir. Nusselt sayısı dağılımı boyutsuz kavite derinliğinin 0 ile 1 aralığındaki değerleri için sunulmuştur. Çalışmada, Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^6 aralığı için denklem 2.14'de verilen ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur.

$$Nu_L = 0.1307 Ra_L^{0.304} \quad (2.14)$$

Fusegi ve diğ. [23] küp kavitede havanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^{10} aralığında sayısal olarak ele almışlardır. Rayleigh sayısının 10^{10} değeri için üç boyutlu sıcaklık alanı, konturlar halinde verilmiştir. Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^{10} aralığı için denklem 2.15'de verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

$$Nu_L = 0.163 Ra_L^{0.282} \quad (2.15)$$

Cordoba ve diğ. [24] kenar uzunluğu 100 mm olan küp kavitede mineral yağın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 1.7×10^8 ile 6.3×10^8 aralığında sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sıcak ve soğuk duvarlar alüminyum, diğer bir duvar akrilik ve geriye kalan duvarlar camdır. Kavite içindeki sıcaklık dağılımının sayısal sonuçları boyutsuz kavite derinliğinin 0.5 değerinde elde edilmiştir. Üst ve alt yatay duvarlar arasındaki düşey sıcaklık profilinin sayısal ve deneysel sonuçları boyutsuz kavite genişliğinin ve derinliğinin 0.5 değerinde elde edilmiştir. Üç boyutlu inceleme, sayısal olarak, hız dağılımı için gerçekleştirilmiştir. Sol ve sağ düşey duvarlar arasındaki yatay hız profili boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.5 değerinde, üst ve alt yatay duvarlar arasındaki düşey hız profili boyutsuz kavite genişliğinin 0.5 değerinde, boyutsuz kavite derinliğinin 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 değerleri için elde edilmiştir. Bu araştırmacılar, üç boyutlu ve deneysel incelemelerin literatürde az sayıda olduğunu belirtmişlerdir.

Li ve diğ. [25] küp kavitede havanın doğal taşınımı üzerine sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Rayleigh sayısı 10^4 ile 10^5 aralığında değiştirilmiştir. Sıcaklığın ve Nusselt sayısının üç boyutlu dağılımları sunulmuştur.

Mallinson ve De Vahl Davis [26] yükseklik genişlik oranı 1 ve 5 olan iki dikdörtgenler prizması kavitede Prandtl sayısı 0.1 ile 100 aralığında değişen çeşitli akışkanların doğal taşınımını sayısal olarak ele almışlardır. Çalışmada, kavite derinliğinin etkisi incelenmiştir. Akışkanın hava olduğu durumda, Rayleigh sayısı 10^4 ile 10^6 aralığında değiştirilmiştir.

Salat ve diğ. [27] yükseklik genişlik oranı 1 olan dikdörtgenler prizması kavitede havanın doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Kavitenin yüksekliği 1000 mm, genişliği 1000 mm ve derinliği 320 mm'dir. Çalışmada, Rayleigh sayısı 1.5×10^9 değerindedir. Sıcak ve soğuk duvarlar parlatılmış alüminyum, üst ve alt duvarlar alüminyum folyodur. Boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.5 değerinde, yatay sıcaklık profili, boyutsuz kavite genişliğinin 0.5 değerinde ise, düşey sıcaklık profili sunulmuştur. Çalışmada, ortalama Nusselt sayısı verilmiştir.

Mahdavi ve diğ. [28] yükseklik genişlik oranı 0.94 ve 3.76 olan dikdörtgenler prizması kavitelerde hava, su ve etilen glikol-su karışımı akışkanlarının doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sıcak ve soğuk duvarlar bakırdır. Yükseklik genişlik oranının 0.94 olduğu durumda, sıcak ve soğuk düşey duvarlar arasındaki yatay sıcaklık profili, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.5 değerinde ve üst ve alt yatay duvarlar arasındaki düşey sıcaklık profili, boyutsuz kavite genişliğinin 0.5 değerinde, sayısal ve deneysel olarak, her üç akışkan için ve boyutsuz kavite derinliğinin 0.5 değerinde belirlenmiştir. Kavite, 96 mm yüksekliğinde, 102 mm genişliğinde ve 120 mm derinliğindedir. Hava akışkanı için, Rayleigh sayısı 1.70×10^6 ile 4.52×10^6 aralığında değiştirilmiştir. Yükseklik genişlik oranının 3.76 olduğu durumda, akışkan, sudur. Her iki yükseklik genişlik oranı durumunda da, üç boyutlu inceleme, Nusselt sayısının dağılımı için sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

Hsieh ve Yang [29] yükseklik genişlik oranı 20 olan dikdörtgenler prizması kavitede Prandtl sayıları sırasıyla 2.72 ve 472 olan su ve silikon yağı akışkanlarının doğal taşınımını Rayleigh sayısının 1.54×10^8 ile 1.48×10^{10} aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Kavite, 200 mm yüksekliğinde, 10 mm genişliğinde ve 60 mm derinliğindedir. Çalışmada, ortalama Nusselt sayısı incelenmiştir. Sıcak ve soğuk duvarlar bakır, diğer duvarlar pleksiglastır. Sıcaklık profili iki durum için elde edilmiştir. Birinci durumda, boyutsuz kavite derinliği 0.5 değerinde sabit tutularak sıcak ve soğuk duvarlar arasındaki sıcaklık profili boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.1,

0.3, 0.5, 0.7 ve 0.9 değerlerinde verilmiştir. İkinci durumda, boyutsuz kavite genişliği 0.5 değerinde sabit tutularak ön ve arka duvarlar arasındaki sıcaklık profili aynı yükseklikler için verilmiştir. Prandtl sayısının 2.7 ile 472 aralığı için Rayleigh sayısının 1.54×10^8 ile 1.58×10^9 ve 4.75×10^9 ile 1.48×10^{10} aralıkları için sırasıyla denklem 2.16 ve denklem 2.17'deki ısı geçişi korelasyonları üretilmiştir.

$$Nu_H = 0.224 Ra_H^{0.257} Pr^{0.056} \quad (2.16)$$

$$Nu_H = 0.059 Ra_H^{0.315} Pr^{0.056} \quad (2.17)$$

Cooper ve diğ. [30] yükseklik genişlik oranı 28.6 olan dikdörtgenler prizması kavitede havanın doğal taşınımı üzerine deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Kavite, 2180 mm yüksekliğinde, 76.2 mm genişliğinde ve 520 mm derinliğindedir. Rayleigh sayısı 0.86×10^6 ile 1.54×10^6 aralığında değiştirilmiştir. Sıcak ve soğuk duvarlar alüminyum, üst ve alt duvarlar doğal kauçuk ve ön ve arka duvarlar pleksiglastır. Kavite genişliğince olan sıcaklık profili, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.10, 0.50 ve 0.95 değerleri, boyutsuz kavite derinliğinin 0.125 ile 0.750 aralığı ve kavite eğim açısının 15° ve 60° değerleri için sunulmuştur. Nusselt sayısı, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0.05 ve 0.95 aralığında verilmiştir. Kavite eğim açısının sırasıyla 15° ve 60° değerleri için boyutsuz kavite derinliği 0.125 ile 0.750 aralığında ve 0.500 değerinde sağlanmıştır.

2.3 Doğal Taşınım ve Işınımın İki Boyutlu İncelenmesi

Bazı çalışmalar düşey duvarlarından birinden sabit sıcaklıkta ısıtılan, bunun karşısındaki düşey duvarından sabit sıcaklıkta soğutulan kavitede doğal taşınım ve ışınlım üzerine gerçekleştirilmiştir. Kavite geometrisi iki boyutlu kare veya dikdörtgen ya da üç boyutlu küp veya dikdörtgenler prizmasıdır. Üç boyutlu kavite halinde, geometri üç boyutlu olmakla birlikte araştırma iki boyutta yapıldığı için bu çalışmalar da iki boyutlu başlığı altında sunulmuştur.

Balaji ve Venkateshan [31] kare kavitede havanın doğal taşınımını ve ışınlımını incelemişlerdir. Çalışmada, soğuk duvar sıcaklığının sıcak duvar sıcaklığına oranı sıcaklık oranı olarak tanımlanmış; bunun 0.85 değerinde ve Rayleigh sayısının 5×10^4 değeri için, yatay duvarların yüzey yama katsayısı 0.9 değerinde sabit tutulup, düşey duvarların yüzey yama katsayısı 0.1 ile 0.95 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada, sadece doğal taşınım için bir ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur.

Akiyama and Chong [32] kare kavitede havanın doğal taşınımını ve ışımasını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, bütün duvarların yüzey yayma katsayısı 0.02 ile 1 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada, doğal taşınım ve ışıma için Rayleigh sayısının 10^4 ile 10^6 aralığı ve yüzey yayma katsayısının 0.02 ile 1 aralığı için denklem 2.18’de verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

$$Nu_L = 0.529 Ra_L^{0.3065} \varepsilon^{0.3497} \quad (2.18)$$

Mezrhab ve diğ. [33] kare kavitede havanın doğal taşınımını ve ışımasını sayısal olarak incelemişlerdir. Yüzey yayma katsayısı 0 ile 1 aralığında değiştirilmiştir. Çalışma, Rayleigh sayısının 10^6 değerinde gerçekleştirilmiştir.

İbrahim ve diğ. [34] kenar uzunluğu 1000 mm olan kare kavitede havanın doğal taşınım ve ışımasını Rayleigh sayısının 1.5×10^9 değerinde sayısal olarak incelemişlerdir. Sıcak ve soğuk duvarların yüzey yayma katsayıları sırasıyla 0.1 ve 0.2 değerindedir. Çalışmada, kavite içindeki sıcaklık alanı ve kavite yüksekliğince olan düşey sıcaklık profili sunulmuş ve ortalama Nusselt sayısı incelenmiştir.

Bouafia ve diğ. [35] kenar uzunluğu 67 mm olan kare kavitede havanın doğal taşınım ve ışımasını Rayleigh sayısının 10^6 değerinde sayısal olarak incelemişlerdir. Duvarların yüzey yayma katsayısı 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 değerlerinde sağlanmıştır. Çalışmada, kavite içindeki sıcaklık alanı ve kavite yüksekliğince olan Nusselt sayısı dağılımı verilmiştir.

Xin ve diğ. [36] yükseklik genişlik oranı 1 olan dikdörtgenler prizması kavitede havanın doğal taşınım ve ışımasını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Kavite, 1000 mm yüksekliğinde, 1000 mm genişliğinde ve 320 mm derinliğindedir. İnceleme, boyutsuz kavite derinliğinin 0.5 değerinde yapıldığı için iki boyutludur. Rayleigh sayısı 1.5×10^9 değerinde sabit tutulmuştur. Sayısal çalışmada, ön ve arka duvarların yüzey yayma katsayısı 0.97 değerinde sabit tutularak üç durum incelenmiştir. Bu üç durumda, sıcak ve soğuk duvarların yüzey yayma katsayısı 0.30, 0.20 ve 0.09 değerlerinde tutulurken, üst ve alt duvarların yüzey yayma katsayısı 0.30, 0.20 ve 0.18 değerlerinde tutulmuştur. Deneysel çalışmada, sıcak ve soğuk duvarlar, yüzey yayma katsayısı 0.09 olan parlatılmış alüminyum, üst ve alt duvarlar, yüzey yayma katsayısı 0.18 olan alüminyum folyo ve ön ve arka duvarlar, yüzey yayma katsayısı 0.97 olan polikarbonattır. Çalışmada, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0 ile 1 aralığındaki 0.1 artımlı değerleri için, kavite genişliğince olan sıcaklık

profilinin sayısal ve deneysel sonuçları verilmiştir. Sayısal sonuçlar için, sadece doğal taşınım ve doğal taşınım ve ışınlım olmak üzere iki durum ele alınmıştır. Doğal taşınım ve ışınlım durumunda, sıcak ve soğuk duvarların yüzey yayma katsayısı 0.09 ve üst ve alt duvarların yüzey yayma katsayısı 0.18'dir. Çalışmada ayrıca, boyutsuz kavite yüksekliğinin 0 ile 1 aralığı için Nusselt sayısı dağılımının sayısal ve deneysel sonuçları verilmiştir. Sayısal sonuçlar için üç durum söz konusudur. Birinci ve ikinci durumlar, sıcaklık profilindeki durumlar ile aynıdır. Üçüncü durumda, sıcak, soğuk, üst ve alt duvarların yüzey yayma katsayısının 0.20 değerinde sağlandığı ilave bir doğal taşınım ve ışınlım durumu göz önüne alınmıştır.

Wu ve Lei [37] kare ve dikdörtgenler prizması kavitelere havanın doğal taşınımını ve ışınlımını sayısal olarak incelemişlerdir. Kavitenin düşey duvarlarından biri T_h sıcaklığında ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı T_c sıcaklığında soğutulmaktadır. Üst ve alt duvarlarda gerek adyabatik ve gerekse sıcaklık profili sınır şartı uygulanmıştır. Ön ve arka duvarlar adyabatiktir. Sıcak ve soğuk duvarlar 0.09, üst ve alt duvarlar 0.18 ve ön ve arka duvarlar 0.97 yüzey yayma katsayısındadır. Çalışma, Rayleigh sayısının 1.5×10^9 değerinde gerçekleştirilmiştir.

2.4 Diğer Sınır Şartları

Az sayıdaki araştırmacı, bir duvarından ısıtılıp diğer duvarından soğutulan kaviteden farklı kavitelere odaklanmıştır.

Söz konusu araştırmacılarından bazıları düşey duvarlarından birinden kısmen sabit T_h sıcaklığında ısıtılan, bunun karşısındaki düşey duvarından ise kısmen T_c sıcaklığında soğutulan, bu nedenle de kısmen aktif düşey duvarlara sahip kavitede havanın doğal taşınımını incelemişlerdir. Her iki düşey duvarda da, duvardaki aktif kısım, duvarın yarı yüksekliğindedir ve duvarın aktif kısmı dışında kalan kısmı adyabatiktir. Yatay duvarlar adyabatiktir.

Nithyadevi ve diğ. [38] yükseklik genişlik oranı 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 ve 10 olan yedi dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, gerek sıcak duvarda gerekse soğuk duvarda aktif kısım, üst, orta ve alt olmak üzere üç değişik konumda sağlanmış ve toplam dokuz durum ele alınmıştır. Çalışmada Grashof sayısı 10^3 ile 10^5 aralığında değiştirilmiştir.

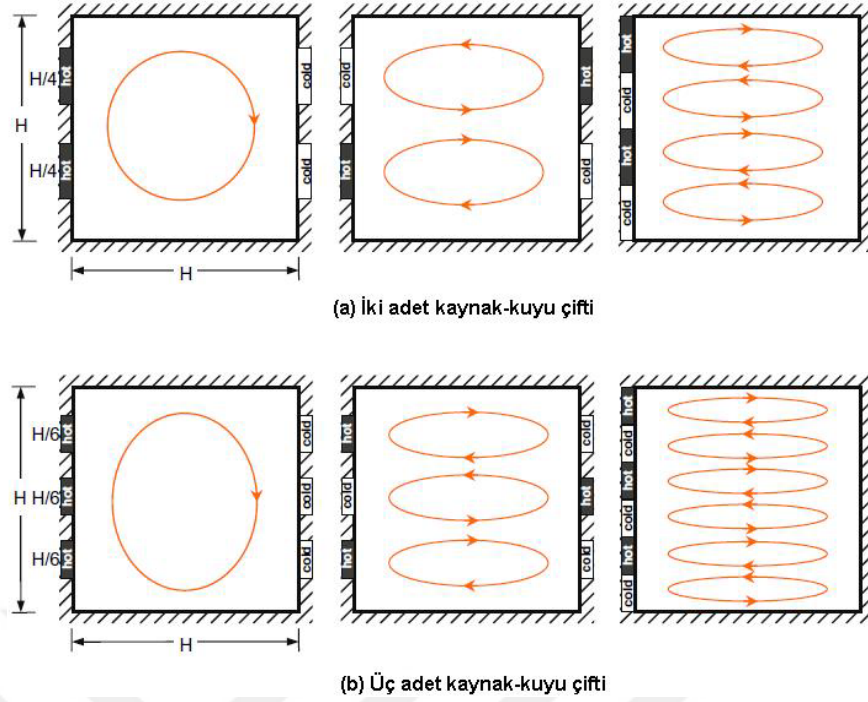
Corvaro ve diğ. [39] kare kavitede havanın doğal taşınımını deneysel olarak incelemişlerdir. Aktif kısımlar alüminyum, diğer kısımlar pleksiglastır. Sıcak duvardaki aktif kısım orta konumda sabit tutulmuş, soğuk duvardaki aktif kısım üst, orta ve alt olmak üzere üç değişik konumda sağlanmış ve her durum için ayrı ısı geçiş korelasyonları Rayleigh sayısının 5.5×10^4 ile 2.3×10^5 aralığında elde edilmiştir.

Valencia ve Frederick [40] kare kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada aktif kısım, üst, orta ve alt olmak üzere üç değişik konumda sağlanmış, toplam beş durum incelenmiş ve her durum için ayrı bir ısı geçiş korelasyonu Rayleigh sayısının 10^3 ile 10^7 aralığında elde edilmiştir.

Aşağıdaki üç araştırmada ise düşey duvarlarında ayırık (discrete) ısı kaynakları bulunan iki boyutlu kare veya dikdörtgen kavitede doğal taşınım incelenmiştir. Duvarlar, ayırık ısı kaynaklarıyla yerel olarak ısıtılmaktadır. Duvarların ayırık ısı kaynakları dışında kalan kısımları adyabatiktir. Yatay duvarlar adyabatiktir.

Dias ve Milanez [41] duvarlarında ayırık ısı kaynakları bulunan kare kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Düşey duvarlardan biri ayırık ısı kaynakları ile ısıtılırken, bunun karşısındaki düşey duvar izotermal olarak soğutulmuştur. Isı kaynakları adyabatik durumdaki düşey duvara gömülü durumda yerleştirilmiştir. Çalışmada, ısı kaynağı bir ve iki olmak üzere iki durumda, ısı kaynaklarının gücü aynı ve farklı olmak üzere iki durumda olmak üzere, toplamda dört durum, Rayleigh sayısının 10^2 ile 10^6 aralığında incelenmiştir.

Deng [42] duvarlarında ayırık ısı kaynakları bulunan kare kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada düşey duvarlar, iki veya üç adet ayırık kaynak-kuyu çiftleriyle ısıtılmış ve soğutulmuştur. Her iki durumda da kaynak ve kuyuların üç ayrı konumu incelenmiştir. Kaynak ve kuyunun boyutsuz yüksekliği birinci durumda 0.25, ikinci durumda ise 0.167'dir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi kavite içindeki döngülerin sayıları ve yönleri, kaynak ve kuyuların konumları ile değişmektedir. Kaynak-kuyu çifti sayısı ve bunların konumları değiştirildikçe, kavite içindeki döngü sayısının arttığı, bunun sonucunda ise akışkanın daha iyi karıştığı ve ısı geçişinin arttığı görülmüştür. Çalışmada Rayleigh sayısı 10^2 ile 10^6 aralığında değiştirilmiştir.



Şekil 2.2 : İki veya üç adet ayırık kaynak-kuyu çiftleri bulunduran kavite [42].

Keyhani ve diğ. [43] yükseklik genişlik oranı 16.5 olan dikdörtgen kavitede etilen glikol akışkanının doğal taşınımını deneysel olarak incelemiştir. Kavitenin düşey duvarlarından biri ayırık ısı kaynakları ile ısıtılırken, bunun karşısındaki düşey duvarı sabit sıcaklıkta soğutulmuştur. Yatay duvarlar adyabatiktir. Isıtılan duvar fenolit, soğutulan duvar pirinç ve diğer duvarlar pleksiglastır. Prandtl sayısı 92 ile 162 aralığında, kavite yüksekliğine göre hesaplanan Rayleigh sayısı 2.87×10^9 ile 2.36×10^{10} aralığında, kavite genişliğine göre hesaplanan Rayleigh sayısı ise 6.40×10^5 ile 5.26×10^6 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada, yerel Nusselt sayısını veren bir ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur.

Aşağıdaki üç çalışmada düşey duvarlarından sadece biri aktif olan, bunun karşısındaki düşey duvarın ve yatay duvarların adyabatik olduğu ve aktif duvardaki sıcaklığın duvar boyunca düzgün dağılmakta olduğu kavitedeki doğal taşınım incelenmiştir.

Poulikakos [44] bir aktif düşey duvara sahip dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak iki farklı durum için incelemiştir. Çalışmada Rayleigh sayısı 10^2 ile 10^5 aralığında değiştirilmiştir. Birinci durumda, aktif düşey duvar, üst yarısından ısıtılıp, alt yarısından soğutulurken, yükseklik genişlik oranı 1/8, 1/6, 1/5, 1, 2 ve 4 değerlerinde tutulmuştur. İkinci durumda, aktif düşey duvar, üst yarısından

soğutulup, alt yarısından ısıtılırken, yükseklik genişlik oranı 1 ve 4 değerlerinde sağlanmıştır.

Nicolette ve diğ. [45] bir aktif düşey duvara sahip kare kavitede havanın ve suyun doğal taşınımını geçici rejimde sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, aktif düşey duvar soğutulmuştur. Soğuk duvar alüminyum, diğer duvarlar plastiktir. Çalışmada Grashof sayısı 10^5 ile 10^7 aralığında değiştirilmiştir.

Hall ve diğ. [46] bir aktif düşey duvara sahip kare kavitede suyun doğal taşınımını geçici rejimde sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, aktif düşey duvar soğutulmuş olup, Rayleigh sayısı 1.4×10^3 ile 1.4×10^6 aralığında değiştirilmiştir.

Aşağıdaki üç çalışmada ise daha farklı sınır şartları için inceleme yapılmıştır.

Chu ve diğ. [47] yükseklik genişlik oranı 0.3, 1, 2, 3, 3.4 ve 4 olan altı dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Düşey duvarlardan biri T_h sıcaklığında kısmen aktif olarak ısıtılırken, bunun karşısındaki düşey duvar T_c sıcaklığında izotermal olarak soğutulmuştur. Yatay duvarlar adyabatik veya T_c sıcaklığında izotermal olarak tutulmuştur. Çalışmada üç durum ele alınmıştır. Birinci durumda, kare kavitede, Rayleigh sayısının 1.25×10^2 ile 1.00×10^5 aralığında ve boyutsuz ısıtıcı yüksekliğinin 0.2 değerinde, boyutsuz ısıtıcı konumu 0.1 ile 0.8 aralığında değiştirilmiştir. İkinci durumda, kare kavitede, Rayleigh sayısının 6.25×10^3 ile 6.25×10^4 aralığında ve boyutsuz ısıtıcı konumunun 0.5 değerinde, boyutsuz ısıtıcı yüksekliği 0.2 ile 1.0 aralığında değiştirilmiştir. Üçüncü durumda, Rayleigh sayısının 0 ile 10^5 aralığında, boyutsuz ısıtıcı yüksekliğinin 0.2 değerinde ve boyutsuz ısıtıcı konumunun 0.5 değerinde yükseklik genişlik oranı 0.3 ile 3 aralığında değiştirilmiştir.

Sharma ve diğ. [48] alt duvarından izotermal olarak ısıtılan ve diğer üç duvarından izotermal olarak soğutulan, yükseklik genişlik oranı 0.5, 1, 1.5 ve 2 olan dört dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınımını ve ışıınımını Rayleigh sayısının 10^8 ile 10^{12} aralığında sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, sadece doğal taşınım için bir ısı geçişi korelasyonu sunulmuştur. Çalışmada, yüzey yarma katsayısının 0.0, 0.3, 0.5, 0.7 ve 0.9 değerleri kare kavite için incelenmiştir.

Singh ve Singh [49] yükseklik genişlik oranı 2 olan dikdörtgen kavitede havanın doğal taşınım ve ışıınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Kavitenin üst kenarı açık ve bir ısı kaynağıyla bir düşey duvarından ısıtılmaktadır. Çalışmada, ısı kaynağının

konumu, üst, orta ve alt pozisyonlarda olacak şekilde değiştirilmiştir. Maksimum boyutsuz sıcaklığın duvarların yüzey yayma katsayısı ile değişimi verilmiştir. Yayma katsayısı, 0.05 ile 0.85 aralığında değiştirilmiş, kavite yüksekliğine göre hesaplanan Rayleigh sayısı 1×10^5 değerinde sabit tutulmuştur. Çalışmada ayrıca, Nusselt sayısının ısı kaynağı boyunca değişimi, yüzey yayma katsayısının 0.10 ve 0.80 değerleri için ve Rayleigh sayısının 4.62×10^5 ve 9.23×10^6 değerleri için sunulmuştur.

2.5 Bir Duvarının Sıcaklığı Zamanla Periyodik Olarak Değişen Kavite

Kavitenin üst ve alt duvarları adyabatiktir. Kavite, düşey duvarlarından birinden ısıtılmakta bunun karşısındaki düşey duvarından ise soğutulmaktadır. Isıtılan duvarın sıcaklığı sürekli rejimde ve zamanla periyodik olarak değişmektedir. Soğutulan duvarın sıcaklığı ise zamanla değişmemekte; sabit tutulmaktadır.

Kazmierczak ve Chinoda [50] kare bir kavite içinde Prandtl sayısı 7 olan bir akışkanın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 1.4×10^5 değerinde sayısal olarak incelemişlerdir. Sıcak duvarın sıcaklığı zamanla sinüsoyidal olarak değişmektedir. Çalışmada, sıcak duvar sıcaklığındaki osilasyonun boyutsuz genliği 0.2, 0.4 ve 0.8 değerlerinde, boyutsuz periyodu ise 0.005, 0.01 ve 0.02 değerlerinde sağlanmıştır.

Kwak ve diğ. [51] kare kavite içinde Prandtl sayısı 0.7 olan bir akışkanın (hava) doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^7 değerinde sayısal olarak incelemişlerdir. Sıcak duvarın sıcaklığı zamanla sinüsoyidal olarak değişmektedir. Çalışmada, sıcak duvar sıcaklığının osilasyonunun boyutsuz genliği 0.0, 0.1, 0.5 ve 1.0 değerlerinde, boyutsuz frekansı ise 0.1 ile 1.5 aralığındaki değerlerde incelenmiştir.

Wang ve diğ. [52] küp bir kavite içinde Prandtl sayısı 1 olan poroz bir ortamın doğal taşınımını Rayleigh sayısının 10^6 ile 10^7 aralığında sayısal olarak incelemişlerdir. Kavitenin üst ve alt duvarlarına ilave olarak ön ve arka duvarları da adyabatiktir. Sıcak duvarın sıcaklığı zamanla sinüsoyidal olarak değişmektedir. Sıcak duvar sıcaklığındaki osilasyonun boyutsuz frekansı 5π ile 90π aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada kavite eğim açısının etkisi de incelenmiştir. Eğim açısı gerek x gerekse y ekseninde değiştirilmiştir. Birinci durumda kavitenin x ekseni ile yaptığı açı 0° değerinde sabit tutularak kavite y ekseni etrafında 0° ile 90° aralığında eğilmiştir. Sonuncu durumda kavitenin y ekseni ile yaptığı açı sabit bir değerde tutulup x ekseni etrafında 0° ile 90° aralığında eğilmiştir.



3. TEZİN LİTERATÜRDEN FARKI

Kare ve küp kavite durumlarında kavite yüksekliği, kavite genişliğine eşit olduğu için kavite yüksekliğine göre tanımlanan Rayleigh sayısı (Ra_H), kavite genişliğine göre tanımlanan Rayleigh sayısına (Ra_L) eşit olmaktadır. Dolayısıyla, kare veya küp kavitenin ele alındığı literatür çalışmalarında Rayleigh sayısının tanımı bakımından bir fark bulunmamakta; ve Rayleigh sayısı aynı olmaktadır.

Dikdörtgen ve dikdörtgenler prizması kavite durumlarında ise kavite yüksekliği kavite genişliğinden büyük olduğu için kavite yüksekliğine göre tanımlanan Rayleigh sayısı (Ra_H) kavite genişliğine göre tanımlanan Rayleigh sayısından (Ra_L) büyük olmaktadır. Rayleigh sayısı, karakteristik uzunluğun üçüncü kuvveti ile değiştiği için bu iki değişik Rayleigh sayısı tanımı birbirinden çok farklı sonuçlar vermektedir. Literatür araştırması bölümünde sunulan 52 çalışmanın 24'ünde kavite yükseklik genişlik oranının 1'den büyük olduğu dikdörtgen veya dikdörtgenler prizması kavite ele alınmış olup bunlarda Rayleigh sayısı tanımı bakımından şu üç ayrı uygulama ile karşılaşılmıştır. Rayleigh sayısı, [8, 9, 11-14, 17, 18, 28, 30, 38, 48] numaralı çalışmalarda kavite genişliğine göre; [16, 19-21, 29, 44, 49] numaralı çalışmalarda kavite yüksekliğine göre; [7, 10, 15, 43] numaralı çalışmalarda ise hem kavite genişliğine hem de kavite yüksekliğine göre tanımlanmıştır. Söz konusu çalışmalar değerlendirilirken ve birbirleriyle karşılaştırılırken bahsedilen bu Rayleigh sayısı tanımı konusu daima gözönünde bulundurulmalıdır. Bu tez çalışmasında, incelenen kavitelere kavite yüksekliği sabit tutulurken kavite genişliği değiştirilmek suretiyle farklı yükseklik genişlik oranına sahip kavitler elde edildiği için incelemelerde Rayleigh sayısı kavite genişliğine göre tanımlanmıştır (Ra_L). Kavite yüksekliğine göre tanımlanmış Rayleigh sayısı (Ra_H) ise ilave bilgi niteliğinde sunulmuştur.

Sıcak ve soğuk duvar sıcaklıklarının her ikisinin de zamanla değişmeyerek sabit olduğu 49 çalışma söz konusudur.

Literatür araştırması bölümünde verilmiş olan [1-37] numaralı çalışmalarda kavite, düşey duvarlarından birinden sabit sıcaklıkta ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarından ise sabit sıcaklıkta soğutulmakta olduğu için iki adet aktif duvara

sahiptir; ısıtma ve soğutma duvarın tamamından yapılmaktadır; ve duvarların sıcaklıkları duvar boyunca düzgün dağılmaktadır. Buna karşın, bu doktora tez çalışmasında kavite, düşey duvarlarından yalnızca birinden sabit sıcaklıkta soğutulmakta, bunun karşısındaki duvarda ısıtma yapılmamakta, karşısındaki bu duvar aktif olmadığı için kavite yalnızca bir adet aktif duvara sahip olmaktadır. Ayrıca, soğutma duvarın tamamından yapılmaktadır, aktif duvarın sıcaklığı duvar boyunca düzgün dağılmamakta (non uniform), değişmektedir.

Bir önceki bölümde verilen [38-40] numaralı çalışmalarda kavite, düşey duvarlarından birinden kısmen ve sabit T_h sıcaklığında ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvarından ise kısmen ve sabit T_c sıcaklığında soğutulmakta olduğu için [1-37] atıflı çalışmalardaki gibi iki adet aktif duvara sahiptir; ancak ısıtma ve soğutma duvarın tamamından değil bir bölümünden yapılmakta olduğu için kısmen aktif düşey duvarlara sahiptir; her iki duvarda da duvarın aktif kısmı dışında kalan kısmı adyabatiktir; sıcaklık, duvarın aktif kısmı boyunca düzgün dağılmaktadır. Bu tez çalışmasında ise kavite yalnızca bir adet aktif duvara sahiptir; soğutma, duvarın bir kısmından değil tamamından yapılmakta olduğu için duvarda adyabatik bir kısım bulunmamaktadır; aktif duvarın sıcaklığı duvar boyunca düzgün dağılmamaktadır.

Önceki bölümde bahsedildiği üzere [41-43] atıflı çalışmalarda kavite, düşey duvarlarından birinden ayrık ısı kaynakları ile ısıtılırken, bunun karşısındaki düşey duvarı izotermal olarak soğutulmakta ya da her iki düşey duvarından da ayrık ısı kaynakları ile ısıtılmakta ve soğutulmakta; duvarların ayrık ısı kaynakları dışında kalan kısımları adyabatiktir. Buna karşın, bu tez çalışmasında aktif duvarın soğutulması duvarın tamamından yapılmakta olup, duvar üzerinde adyabatik bir kısım bulunmamaktadır.

Literatür araştırması bölümünde sözü edilen [44-46] atıflı çalışmalarda düşey duvarlardan sadece biri aktifken bunun karşısındaki düşey duvar ve yatay duvarlar adyabatiktir. [44] numaralı çalışmada kavitenin aktif düşey duvarı, üst yarısından ısıtılıp alt yarısından soğutulmakta veya üst yarısından soğutulup alt yarısından ısıtılmaktadır. Bu tez çalışmasında böyle bir durum söz konusu değildir. [45] numaralı çalışmada kavite bir duvarından soğutulurken bunun karşısındaki duvar adyabatiktir; ısı geçişinin zamana bağlı değişimi incelenmektedir; kavite geometrisi karedir; soğuk duvar alüminyumken diğer duvarlar plastiktir. Buna karşın bu tez

çalışmasında, soğutulan duvarın karşısındaki duvar adyabatik değildir, duvarda bir yalıtım vardır ancak yalıtım kalınlığı ince olduğu için duvardan bir ısı geçişi söz konusudur; ısı geçişi sürekli rejimde incelenmektedir; kavite geometrisi kare ve ilave olarak beş değişik dikdörtgendir; bütün duvarlar aynı malzemeden mamuldür. [46] atıflı çalışmada aktif duvardaki sıcaklık duvar boyunca düzgün dağılmaktadır; aktif duvarın karşısındaki duvar adyabatiktir, inceleme sayısaldır; kavite karedir; akışkan sudur; ve Rayleigh sayısı 1.4×10^3 ile 1.4×10^6 aralığındadır. Bu doktora tez çalışmasında ise, aktif duvardaki sıcaklık, duvar boyunca düzgün dağılmamaktadır; aktif duvarın karşısındaki duvar adyabatik değildir, duvarda bir yalıtım vardır ancak yalıtım kalınlığı ince olduğu için duvardan bir ısı geçişi söz konusudur; inceleme deneyseeldir; kavite kare ve ilave olarak beş değişik dikdörtgendir; akışkan havadır; Rayleigh sayısı aralığı farklıdır.

Bir önceki bölümde sunulan [47] numaralı çalışmada kavitenin düşey duvarlarından biri T_h sıcaklığında kısmen aktif olarak ısıtılırken, aktif duvarın karşısındaki düşey duvar T_c sıcaklığında soğutulmaktadır. Ancak aktif duvarda, aktif kısmın dışında kalan kısım adyabatiktir. [48] numaralı çalışmada, kavite alt duvarından ısıtılırken diğer üç duvarından soğutulmaktadır. [49] numaralı çalışmada kavite düşey duvarlarından birinden kısmen aktif olarak ısıtılmakta, bu duvarda aktif kısmının dışında kalan kısım adyabatiktir; ve kavitenin üst duvarı açıktır. Bu tez çalışması [47-49] numaralı çalışmalardan farklıdır.

Tezde, soğuk duvarın karşısındaki duvarın sıcaklığının zamanla değişmeyerek sabit olduğu duruma ilave olarak, soğuk duvarın karşısındaki duvarın, sıcaklığı sürekli rejimde ve zamanla periyodik olarak değişen biçimde ısıtıldığı durum da ele alınmıştır. Soğutulan duvarın sıcaklığı zamanla değişmemekte ve sabittir. Bu alandaki literatür, [50-52] numaralı çalışmalarda, önceki bölümde sunulmuştu. Bu üç çalışmada kavite geometrisi karedir. Buna karşın, tez çalışmasında kavite geometrisi kare ve beş ayrı dikdörtgendir.

Böylece, bu tez çalışmasında duvar sıcaklığının zamanla değişmeyerek sabit olduğu durum, [1-49] numaralı çalışmalar ile karşılaştırılarak, duvar sıcaklığının zamanla periyodik olarak değiştiği durum ise [50-52] numaralı çalışmalar ile karşılaştırılarak tezin bu çalışmalardan farkları sunulmuştur.

Yukarıda yapılan karşılaştırmaya ilave olarak tez başka farklılıklara da sahiptir.

Duvar, yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmaktadır. Duvar sıcaklığının duvar boyunca düzgün dağılmaması sınır şartını irdelemek üzere kavite içindeki ortalama ısı geçişine ilave olarak yerel ısı geçişi de incelenmiştir. Kavite içindeki sıcaklık ve ısı geçişinin yerel olarak dağılımı ortaya konulmuştur.

Duvarların yüzey yayma katsayısı iki farklı değerde sağlanmak suretiyle kavite içindeki ısı geçişi gerek sadece doğal taşınım gerekse doğal taşınım ve ışıınım halinde incelenmiştir. Yalnızca doğal taşınım durumunda yüzey yayma katsayısı değeri bütün duvarlarda aynı tutulmuştur; ve ışıınımla ısı geçişi tamamen (pratikte sağlanabilecek düzeyde) önlenmiştir. Benzer biçimde, doğal taşınım ve ışıınım durumunda da yüzey yayma katsayısı değeri bütün duvarlarda aynı tutulmuştur; ve ışıınımla ısı geçişi uygulamada sağlanabilecek en büyük değerde sağlanmıştır. Buna karşın, bir önceki bölümde verilen özellikle deneysel alandaki literatürde, bazı çalışmalarda yüzey yayma katsayısı değeri bütün duvarlar için belirtilmemiştir; diğer bazı çalışmalarda yüzey yayma katsayısı bütün duvarlarda aynı değildir; bazı diğer çalışmalarda ise ışıınımla ısı geçişi az veya orta miktarda olmak üzere tamamen değil kısmen azaltılmıştır. ışıınımla ısı geçişinin ne kadar önlendiği veya ışıınımla ısı geçişine ne ölçüde müsaade edildiğini yansıtmak üzere literatür araştırması bölümünde, her çalışma için eğer o çalışmada yüzey yayma katsayısı değeri sunulmuş ise verilmiştir. Dolayısıyla, bu paragrafta önceki çalışmalar ile ilgili belirtilen eksik taraflar, literatür araştırması bölümünde görülebileceği için burada tekrarlanmayacaktır.

Tezde doğal taşınım ve ışıınımla ısı geçişinin incelendiği durum için sıcaklık ve ısı geçişi duvar boyunca, duvarın alt ve üst sınırlarına çok yakın değerlerde ve pek çok noktada incelenerek ısı geçişinin yerel dağılımı ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

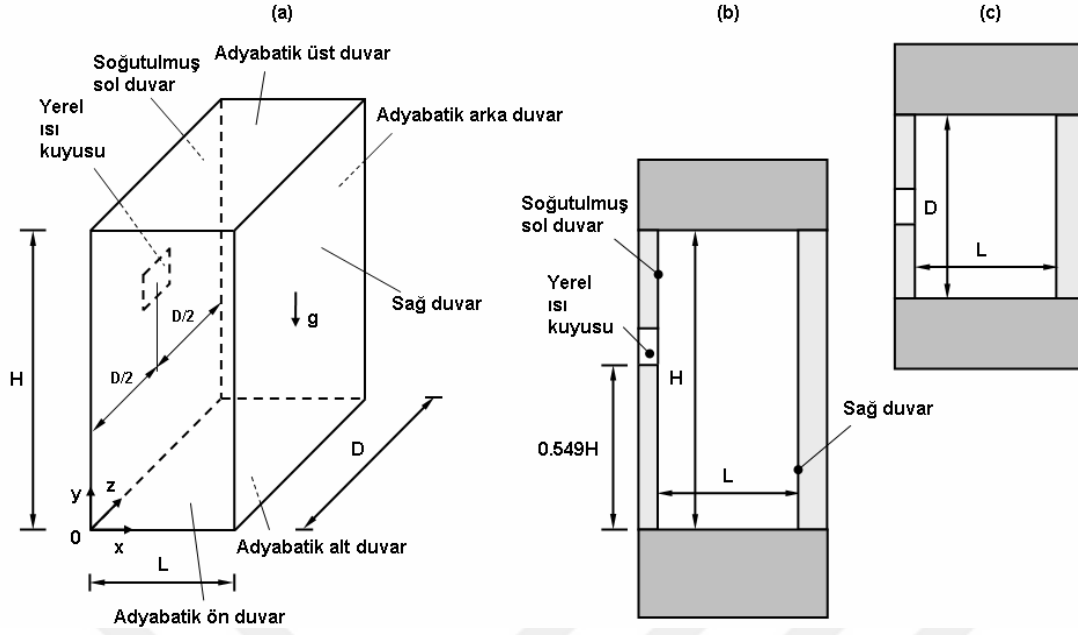
İncelenen 52 çalışmanın yalnızca 7'sinde doğal taşınım ve ışıınım halinde ısı geçişi incelenmiştir [31-37]. Bu çalışmalarda, kavite geometrisi iki boyutlu kare veya dikdörtgen ya da üç boyutlu küp veya dikdörtgenler prizmasıdır. Ancak, üç boyutlu kavite halinde, geometri üç boyutlu olmakla birlikte araştırma iki boyutta yapılmıştır. İlave olarak, inceleme genellikle sayısal olarak yapılmıştır. Buna karşın bu tez çalışmasında, doğal taşınım ve ışıınım halinde ısı geçişi, bir dikdörtgen kavitede üç boyutlu ve deneysel olarak incelenmiştir.

4. DENEY DÜZENEGİ

Deneysel çalışma kapalı dikdörtgenler prizması bir kavitede gerçekleştirilmiştir. Kavite içinde akışkan olarak hava bulunmaktadır. Deney düzeneği iklimlendirilmiş bir oda içinde kurulmuştur. EK A'da deney düzeneğinin fotoğrafları sunulmuştur. EK A'da Şekil A.1'de kavite başlangıç halindeyken iklimlendirilmiş oda içindeki deney düzeneğinin genel görünüşü verilmiştir. Burada, bir platform üzerine yerleştirilmiş durumdaki kavite ile veri toplama cihazları ve bilgisayarlar görülmektedir. Kavite duvarlarının yalıtımları orijinal hallerinde olduğu için bu kavite, “kavite başlangıç halindeyken” olarak adlandırılmıştır. Şekil A.2'de, kavitenin sol, üst, sağ ve ön duvarları ile koordinatlar işaretlenmiştir. Kavitenin sol ve sağ duvarlarının yalıtımları orijinal hallerinde tutulmuş, ancak üst, alt, ön ve arka duvarlarının yalıtımları iyileştirilmiştir. Şekil A.3(a)'da kavite, üst, alt, ön ve arka duvarlarının orijinal yalıtımları söküldükten sonra görülmektedir. Şekil A.3(b)'de kavite, üst, alt, ön ve arka duvarlarının yeni yalıtımları yapıldıktan sonra görülmektedir. Şekil A.4'de kavitenin yeni yalıtımları yapıldıktan sonra deney düzeneğinin genel görünüşü verilmiştir. Bu kavite, “kavite nihai halindeyken” olarak isimlendirilmiştir. Bu tez çalışmasındaki deneyler, Şekil A.4'deki kavite üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil A.1, A.2, A.3(a), A.3(b) ve A.4'deki fotoğraflar yükseklik genişlik oranı (A) 2.09 olan dikdörtgen kaviteye aittir.

4.1 Kavitenin Yapısı

Şekil 4.1'de, Şekil A.4'deki deney düzeneğinde görülen ve yükseklik genişlik oranı (A) 2.09 olan dikdörtgen kavitenin yapısı gösterilmiştir. Bu kavitenin, üç boyutlu perspektif, düşey ön kesit ve yatay üst kesit resimleri sırasıyla Şekil 4.1(a), (b) ve (c)'de ölçekli olarak çizilmiştir. Yerçekimi ivmesi (g) negatif y yönünde etki etmektedir. Kavite, sol düşey duvarından yerel olarak soğutulmaktadır. Yerel ısı kuyusu, kenar uzunluğu 42 mm olan bir kare geometridir.



Şekil 4.1 : Kavite geometrisi; (a) üç boyutlu perspektif, (b) düşey ön kesit, (c) yatay üst kesit.

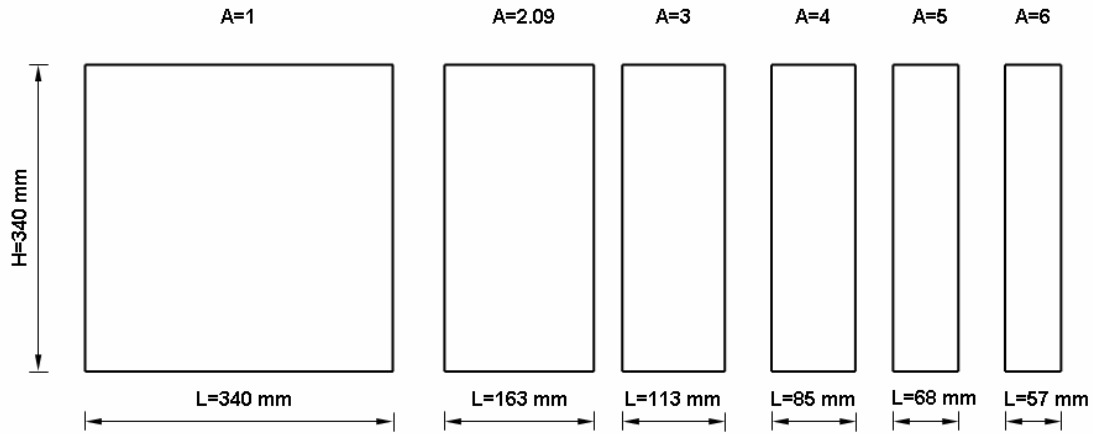
Yerel kuyu, düşey y eksenı yönünde, alt kenarı kavitenin alt duvarından 186.5 mm ($0.549H$), üst kenarı ise kavitenin alt duvarından 228.5 mm ($0.672H$) mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Dias ve Milanez [41] düşey duvarlarından biri, bir adet ayırık ısı kaynağı ile ısıtılırken, bunun karşısındaki düşey duvarı izotermal olarak soğutulan kare kavitede havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Isıtılan duvarda, ısı kaynağının dışında kalan kısımlar adyabatiktir. Isı kaynağının, en büyük ısı geçişini sağlayan boyutsuz konumu, Rayleigh sayısının 10^3 değeri için 0.45, 10^6 değeri için ise 0.334 olarak bulunmuştur. Isı kaynağının konumu, ısı kaynağının alt kenarı ile kavite alt duvarı arasındaki mesafe olarak tanımlanmıştır.

Chu ve diğ. [47] düşey duvarlarından biri T_h sıcaklığında bir ısı kaynağıyla kısmen aktif olarak ısıtılırken, bunun karşısındaki düşey duvarı T_c sıcaklığında izotermal olarak soğutulan kare kavitede havanın doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Isı kaynağının boyutsuz yüksekliğinin 0.2 değerinde, ısı kaynağının, en büyük ısı geçişini veren boyutsuz konumu Rayleigh sayısının 2.5×10^4 değeri için 0.5, 10^5 değeri için ise 0.6 olarak verilmiştir. Isı kaynağının konumu, ısı kaynağının ortası ile kavite üst duvarı arasında mesafe olarak tanımlanmıştır. Sözü edilen 0.6 değeri, ısı kaynağının alt kenarı ile kavite alt duvarı arasındaki mesafe olarak 0.3 değerine karşı gelmektedir.

Özetle, [41, 47] atıflı çalışmalarda ısı kaynağının en uygun boyutsuz konumu 0.3 ile 0.334 aralığında bulunmuştur. Şekil 4.1'deki yerel ısı kuyusunun, üst kenarının kavite alt duvarından olan boyutsuz konumu 0.672'dir. Bu tez çalışmasındaki yerel ısı kuyusu soğutma işlemi yapmakta ve soğuyan hava aşağıya doğru hareket etmektedir. [41, 47] numaralı çalışmalarda ısı kaynağı ısıtma işlemi yapmakta ve ısınan hava yukarı doğru hareket etmektedir. Tez çalışmasındaki ve [41, 47] atıflı çalışmalardaki hava hareketlerinin birbirinin tersi olduğu düşünülürse, kuyu ve kaynak konumlarının da birbirinin tersi olması gerekecektir. Yerel ısı kuyusunun, üst kenarının kavite alt duvarından boyutsuz konumu 0.672, kavite üst duvarından olan boyutsuz konumu ise 0.328'dir. Sözü edilen 0.328 değeri [41, 47] atıflı çalışmalarda bulunmuş olan 0.3 ile 0.334 aralığının içindedir; literatür ile uyumludur. Tez çalışmasında, soğuk duvardaki aşağı yönlü hava hareketi, yerel ısı kuyusu ile ilk defa karşılaştığı nokta olan kuyunun üst kenarına ulaşınca kadar düşey duvar boyunca $0.328H$ mesafesini almaktadır. [41, 47] numaralı çalışmalarda, sıcak duvardaki yukarı yönlü hava hareketi ısı kaynağı ile ilk defa karşılaştığı nokta olan kaynağın alt kenarına ulaşınca kadar düşey duvar boyunca $0.3-0.334H$ mesafesini almaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, yerel ısı kuyusunun konumu orijinal halinde ve kavitenin alt duvarına göre, kuyunun alt kenarı $0.549H$, üst kenarı ise $0.672H$ olacak şekilde tutulmuştur. Yerel kuyu, z eksen yönünde ise, orta eksen kavitenin yarı derinliğinde ($D/2$) olacak biçimde yerleştirilmiştir. Buna göre, yerel kuyunun gerek y ve gerekse z eksenlerindeki konumu orijinal ürünündeki haliyle korunmuştur.

Bu tez çalışmasında yükseklik genişlik oranları (A) 1, 2.09, 3, 4, 5 ve 6 olan altı adet dikdörtgen kavite içindeki ısı geçişi incelenmiştir. Bütün kavitelerde, kavite yüksekliği (H) 340 mm, kavite derinliği (D) ise 210 mm'dir. Ancak, kavitelerin her birinde farklı bir kavite genişliği (L) sağlanmıştır. Böylece, kavitelerin her biri farklı bir yükseklik genişlik oranına sahip olmuştur. Başka bir ifadeyle, farklı yükseklik genişlik oranına sahip altı kavite, kavite genişliği altı farklı değerde sağlanmak suretiyle meydana getirilmiştir. Şekil 4.2'de bu kavitelerin iç ölçüleri ve düşey ön kesit resimleri verilmektedir.



Şekil 4.2 : Yükseklik genişlik oranları $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan kavitelerin düşey ön kesit resimleri.

Yerel kuyu, bir termoelektrik soğutucunun soğutucu parçasıdır. Yerel kuyu ile sol duvar arasındaki temas, ısıl macun ve vidalarla sağlandığı için ve duvar alüminyum malzemeden mamul olduğu için sol düşey duvar yüzeyinin tamamı soğutulmuştur.

Sol düşey duvar, arka yüzeyinden yalıtılmıştır. Soğutulmuş sol duvar, kavitenin aktif düşey duvarıdır. Bunun karşısındaki düşey duvar aktif değildir ve arka yüzeyinden yalıtılmıştır. Kavitenin diğer dört duvarını oluşturan üst, alt, ön ve arka duvarlar adyabatiktir. Soğutulmuş duvar, alüminyum; diğer beş duvar ise plastik malzemeden mamuldür. Alüminyum levhanın kalınlığı 1 mm ve ısı iletim katsayısı 200 ile 300 K aralığında 237 W/mK 'dir [53]. Polipropilen türündeki plastik levhanın kalınlığı 1 mm ve ısı iletim katsayısı 0.22 W/mK 'dir [54].

Kavitenin altı duvarı da değişik kalınlıklardaki farklı yalıtım malzemeleri ile yalıtılmıştır. Soğutulmuş sol duvar ve bunun karşısındaki sağ duvar, genişleştirilmiş polistren (EPS: Expanded Polystyrene) levhalar ile yalıtılmıştır. Sol ve sağ duvarların yalıtım kalınlıkları sırasıyla 23 ve 33 mm 'dir. Genleştirilmiş polistren levhanın ısı iletim katsayısı 0.039 W/mK 'dir [55]. Geriye kalan dört duvar, ekstrüde edilmiş polistren (XPS: Extruded Polystyrene) levhalar ile yalıtılmıştır. Alt duvarın yalıtım kalınlığı 100 mm 'dir. Üst, ön ve arka duvarların yalıtım kalınlıkları 80 mm 'dir. Ekstrüde edilmiş polistren levhanın ısı iletim katsayısı 0.035 W/mK 'dir [56]. Üst, alt, ön ve arka duvarda, kalın, ekstrüde edilmiş polistren yalıtım malzemesinin kullanılmasının nedeni duvarlardan olan ısı kaybını azaltmaktır.

Sol ve sağ duvarlarda yalıtımın dış yüzeyinde, kalınlığı 2 mm , ısı iletim katsayısı 0.22 W/mK olan plastik levha kullanılmıştır. Plastik levhanın rengi beyazdır.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen dört paket deneyden, birinci ve ikinci paketlerde, soğutulmuş sol duvara ait alüminyum levha beyaz renkte boyanmış durumda; geriye kalan beş duvara ait plastik levha ise beyaz renktedir. Sonuç olarak, kavitenin altı duvarının da rengi beyaz ve yüzey yayma katsayısı 0.90'dır [53]. Bu nedenle, kavite içindeki ısı geçiş mekanizması birinci ve ikinci paketlerde doğal taşınım ve ışıdır. EK A'daki Şekil A.5'de, birinci ve ikinci deney paketlerinde kavite iç duvarlarının fotoğrafı sunulmuştur. Buradaki kavitenin yükseklik genişlik oranı (A) 1'dir. Üçüncü ve dördüncü paketlerde ise, ışıdır ile ısı geçişini önlemek amacıyla kavitenin altı duvarı da yapışkanlı alüminyum folyo bant ile kaplanmıştır. Bu sebeple, kavite içindeki ısı geçiş mekanizmasının sadece doğal taşınım olduğu kabul edilmiştir. Alüminyum folyo bant parlatılmış yüzeye sahiptir. Yüzey yayma katsayısı ise, gerek [53]'de belirtildiği ve gerekse imalatçının ürün teknik dokümanında [57]'de belirtildiği üzere 0.05'dir. Alüminyum folyo bantın kalınlığı 0.12 mm ve ısı iletim katsayısı 235 W/mK'dir [57]. EK A'daki Şekil A.6'da, üçüncü ve dördüncü deney paketlerinde kavite iç duvarlarının fotoğrafı sunulmuştur. Buradaki kavitenin yükseklik genişlik oranı (A) 2.09'dur.

Çalışmada incelenen test kavitesi bir ticari üründen dönüştürülerek meydana getirilmiştir. İncelenen ikinci kavitede ($A=2.09$), yükseklik genişlik oranı değerin virgülden sonra iki basamaklı olarak verilmesinin nedeni test kavitesinin iç ölçülerinin orijinal üründeki değerlerde tutulmuş olmasıdır. Orijinal ürünün bazı özellikleri aynen korunurken diğer bazı özellikleri ise değiştirilmiştir.

Birinci ve ikinci deney paketleri için orijinal üründeki gibi haliyle korunmuş olan özellikler şunlardır. Kavitenin altı duvarı için de, iç duvar malzemesinin türü, kalınlığı ve yayma katsayısı değeri; soğutulmuş sol ve sıcak sağ duvarlar için yalıtım malzemesinin türü ve kalınlığı; sol ve sağ duvarların dış yüzeylerindeki dış duvar malzemesinin türü ve kalınlığıdır.

Üçüncü deney paketi için kavitenin altı duvarı için de, iç duvar malzemesinin türü, kalınlığı ve yayma katsayısı değeri değiştirilmiş ancak, soğutulmuş sol ve sıcak sağ duvarlar için yalıtım malzemesinin türü ve kalınlığı ile sol ve sağ duvarların dış yüzeylerindeki dış duvar malzemesinin türü ve kalınlığı orijinal üründeki haliyle korunmuştur.

Dördüncü deney paketinde, kavitenin altı duvarı için de, iç duvar malzemesinin türü, kalınlığı ve yayma katsayısı değeri değiştirilmiş; sıcak sağ duvar için yalıtım

malzemesinin kalınlığı değiştirilmiş; ancak soğutulmuş sol duvar için yalıtım malzemesinin türü ve kalınlığı ile sıcak sağ duvarın yalıtım malzemesi türü ile sol ve sağ duvarların dış yüzeylerindeki dış duvar malzemesinin türü ve kalınlığı orijinal ürünündeki haliyle korunmuştur.

Ayrıca, birinci, ikinci ve üçüncü deney paketlerinde, sol ve sağ duvarların ısı yapıları orijinal ürün ile aynı tutulmuştur. Kavite, bir düşey duvarından soğutulmuştur ve bu nedenle bir aktif duvara sahiptir. Sağ duvar aktif değildir. Yerel ısı kuyusunun konumu ve soğutma mekanizması da orijinal ürünündeki hallerinde aynen korunmuştur.

4.2 Ölçüm Sistemi

Ölçüm sistemi temel olarak sıcaklık ölçüm sensörü ve veri toplama cihazından meydana gelmiş olup, bunlar aşağıda ayrı alt başlıklar halinde tanıtılmıştır.

4.2.1 Sıcaklık ölçüm sensörü

Kavite içindeki ısı geçişini incelemek üzere sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kavite içerisindeki yüzey ve hava sıcaklıklarını ölçmek üzere termoelemanlar kullanılmıştır. Termoeleman (ısı çifti), J, K, T, E, N, R, S, G, C veya D tipinde olabilmektedir. Bu termoeleman tiplerinin her biri farklı bir ölçüm aralığına sahiptir. Örneğin K tipi termoeleman -270 °C ile 1372 °C aralığında, E tipi termoeleman -270 °C ile 1000 °C aralığında ve T tipi termoeleman -270 °C ile 400 °C aralığında ölçüm yapabilmektedir. Termoelemanın ölçüm doğruluğu genellikle ölçüm aralığı arttıkça kötüleşmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, sözü edilen bu termoeleman türleri arasında en dar ölçüm aralığına sahip olması nedeniyle T tipi termoeleman kullanılmıştır.

Kullanılan T tipi termoeleman, yüksek saflıkta iletken kablolarına ve düşük ölçüm hatasına sahiptir. Üretici firmanın katalog bilgisi olarak termoeleman kablosunun ölçüm doğruluğu, ASTM E230-ANSI MC 96.1'e göre ve referans birleşim noktası (reference junction) 0 °C'deyken, 0 ile 350 °C ölçüm aralığında, ± 0.5 °C veya okuma değerinin % 0.4'ü, ki hesaplanan bu iki değerden büyük olanı alınır, olarak ifade edilmektedir. Bu formüle göre ölçüm doğruluğu örneğin 100 °C için 0.5 °C, 200 °C için 0.8 °C olmaktadır. Deneylerde 0 ile 40 °C aralığında kalınmış olup söz konusu

formüle göre termoeleman kablosunun katalog verisi olarak ölçüm doğruluğu ± 0.5 °C'dir.

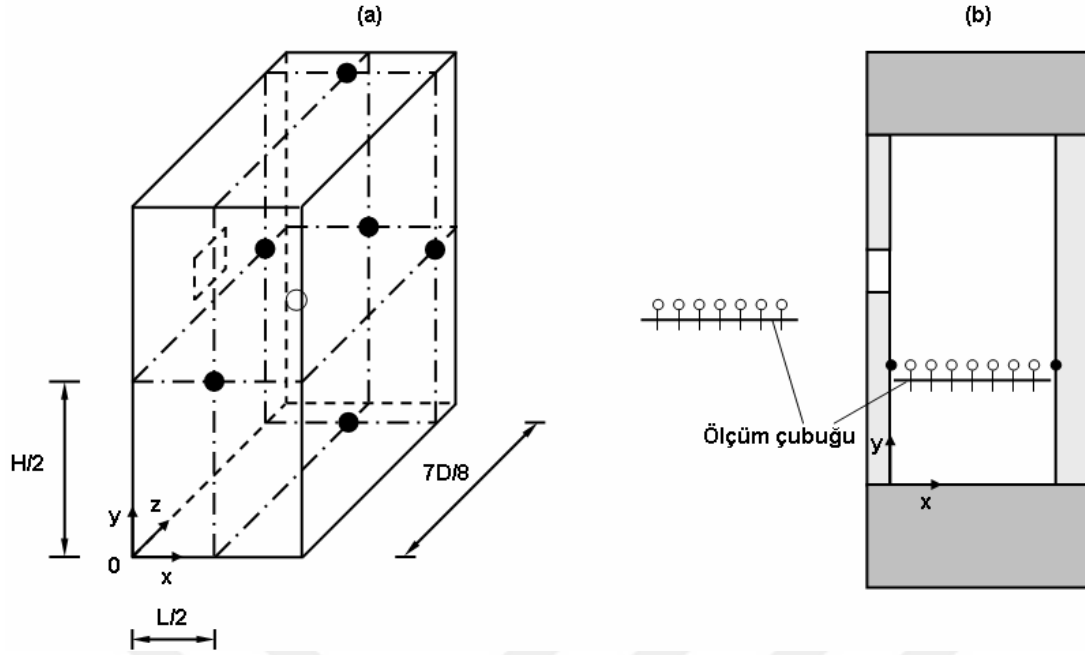
Deneylerde kullanılan T tipi termoeleman, biri bakır diğeri konstantan malzemeden üretilmiş iki adet iletken kablodan (telden) oluşmaktadır. Her bir iletken kablo, tek tellidir. Termoeleman tellerinin çapı AWG (American Wire Gauge) 30, 0.25 mm'dir. EK A'daki Şekil A.7'de termoelemanın bakır ve konstantan iletken kabloları teflon koruyucuları sıyrılmış halde, diğeri bir ifadeyle, 0.25 mm çapındaki çıplak iletken kablolar görülmektedir.

Her bir iletken kablonun dışında Neoflon (PFA) malzemeden üretilmiş bir plastik kılıf bulunmakta olup, bu plastik kılıflar sayesinde iletken kabloların birbirine teması önlenmiştir. Dolayısıyla, iletken kablolar birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış olmaktadır. Bu iki plastik kılıfın ikisini birlikte saran ve Neoflon (PFA) malzemeden üretilmiş başka bir plastik kılıf daha bulunmaktadır. Bu nedenle, termoelemanın iletken kabloları çift kılıf ile yalıtılmıştır. Çift plastik kılıf düşünüldüğünde termoelemanın kesit ölçüsü 0.6x1.0 mm'dir.

Ölçüm sisteminde toplam 44 adet termoeleman kullanılmıştır. Kavite içindeki yüzey ve hava sıcaklıklarını ölçmek üzere toplamda 42 adet termoeleman kullanılmıştır. Kavite dışındaki ortam havasının sıcaklığını ölçmek üzere ise iki adet termoeleman kullanılmıştır. Bu son iki termoeleman, kavitenin ön ve arka duvarlarının; dış tarafına, geometrik merkezine ve 35 mm uzağına yerleştirilmiştir.

Deney düzeneği, gerek ortalama ve gerekse yerel sıcaklıkları aynı deneyde ve aynı anda ölçmek; ve ayrıca x eksenini doğrultusundaki yerel sıcaklıkların hepsini aynı anda (eş zamanlı olarak) ölçmek üzere tasarlanıp teşkil edilmiştir. Dolayısıyla, hem ortalama hem de yerel sıcaklıklar, eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Şekil 4.3'de kavite içindeki termoelemanların konumları gösterilmiştir. Şekilde termoelemanlar ölçeksiz olarak çizilmiştir.

Ortalama sıcaklıklar bağlamında, kavite duvarlarının yüzey sıcaklıkları altı adet termoeleman ile ölçülmüştür. Altı duvarın her birine bir adet termoeleman yerleştirilmiştir. Kavite içindeki hava sıcaklığı, kavitenin geometrik merkezine yerleştirilmiş olan bir adet termoeleman ile ölçülmüştür. Bu yedi adet termoelemanın konumları bütün deneylerde sabit tutulmuş olup bu termoelemanlar Şekil 4.3(a)'daki üç boyutlu perspektif görünüş çiziminde gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Kavite içindeki termoelemanların konumları; (a) ortalama sıcaklıklar, (b) yerel sıcaklıklar.

Yerel sıcaklıklar çerçevesinde, kavitenin sol (soğuk) ve sağ (sıcak) düşey duvarları arasındaki yerel sıcaklıkların sabit bir kavite yüksekliğindeki çizgisel dağılımı 35 adet termoeleman kullanılarak ölçülmüştür. Bu termoelemanlar Şekil 4.3(b)'deki düşey ön kesit resminde gösterilmiştir. Sol ve sağ duvarlardaki yerel yüzey sıcaklıkları biri sol duvara diğeri sağ duvara yerleştirilmiş olan iki adet termoeleman ile ölçülmüş olup, bu termoelemanlar Şekil 4.3(b)'de içi siyah renkle dolu daireler ile gösterilmiştir. Sol ve sağ duvarlar arasındaki yerel hava sıcaklıkları 33 adet termoeleman ile ölçülmüş olup bu termoelemanlar Şekil 4.3(b)'de içi boş daireler ile gösterilmiştir. Gerek yüzey ve gerekse hava termoelemanlarının çizimi ölçekli değildir.

Deneylerin yapılışı sırasında ilk olarak yerel hava termoelemanları kavitenin dışında ölçüm çubuğuna yerleştirilmiş; daha sonra ölçüm çubuğu kavite içine konulmuştur. EK A'daki Şekil A.8'de ölçüm çubuğu üzerindeki termoelemanların fotoğrafı görülmektedir. Söz konusu ölçüm çubuğu ve dolayısıyla yerel hava termoelemanları, yerel iç yüzey termoelemanları ile aynı hizada konumlandırılmıştır. Ölçüm çubuğunun genişliği, sol ve sağ duvarlar arasındaki olası iletim yoluyla ısı geçişine engel olmak amacıyla kavite genişliğinden daha küçük yapılmıştır. Kullanılan termoelemanların kabloları kavite içinde bir araya toplanmış ve sabitlenmiştir.

Sol duvardan başlayan 18.5 mm'lik mesafenin meydana getirdiği birinci bölgede yerel hava termoelemanları incelenen altı kavitede de birbirinden 1.8 mm mesafede bulunmaktadır. Ancak $A=2.09$ kavitenin birinci paket deneylerinde, bahsedilen bu mesafeler sırasıyla 23.5 mm ve 2.3 mm'dir. Birinci bölgenin bitiminden kavite orta genişliğine ($L/2$) kadar olan bölgenin meydana getirdiği ikinci bölgede ise yerel hava termoelemanları, yükseklik genişlik oranı 1, 2.09, 3, 4, 5 ve 6 olan kavitelerde birbirinden sırasıyla 25.0, 10.0, 6.5, 4.0, 2.6 ve 1.8 mm mesafede yerleştirilmiştir. Bu birinci ve ikinci bölgedeki termoelemanların ayna simetrileri alınmak suretiyle kavite orta genişliğinden sağ duvara kadar olan yerel hava termoelemanları yerleştirilmiştir. Böylece, yerel hava sıcaklık termoelemanları 33 adet ve ayrıca birer adet yerel yüzey sıcaklık termoelemanları düşünülürse toplam 35 adet termoeleman yerleştirilmiştir.

Termoelemanların diğer uçları veri toplama cihazlarındaki ölçüm kanallarına bağlanmak suretiyle ölçüm sistemi teşkil edilerek sistem ölçüm yapmaya hazır hale getirilmiştir. Veri toplama cihazları bilgisayarlar aracılığıyla kontrol edilmiştir.

4.2.2 Veri toplama cihazı

Deney düzeneğinde termoelemanların sıcaklık ölçüm verilerini kaydetmek üzere veri toplama cihazı kullanılmıştır.

Bir termoelemanın sıcaklık ölçümünde termoelemanın başlangıç ve bitiş uçlarındaki bağlantı biçimi rol oynamaktadır. Termoelemanın bir ucunda iletken kabloların uçları birleştirilerek bir birleşim noktası (junction) meydana getirilir. Bu uç, sıcaklık ölçümü yapılacak noktaya yerleştirilir. Termoeleman, ölçüm noktasındaki sıcaklığa bağlı olarak bir gerilim üretmek suretiyle sıcaklık ölçümünü gerçekleştiren bir sensördür. Veri toplama cihazında, birden fazla termoelemanın ölçüm yapmasına olanak sağlayan çok sayıda kanal bulunmaktadır. Bu kanalların yer aldığı kısım terminal kutusu (girdi modülü) olarak isimlendirilir. Kanallardan her biri, biri yüksek (pozitif, +) kanalından; diğeri ise alçak (negatif, -) kanalından oluşan bir çift kanala sahiptir. Termoelemanın diğer ucundaki iletken kablo uçları veri toplama cihazının yüksek ve alçak kanallarına bağlanır.

Termoeleman, sıcaklık ölçümü yapabilmek için ayrı uçlarının bağlandığı terminal kutusundaki noktada da sıcaklık değeri bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Terminal kutusundaki bu nokta, referans birleşim noktası veya soğuk birleşim noktası olarak adlandırılır. Referans birleşim noktasındaki sıcaklık değerini ölçmek amacıyla veri

toplama cihazının terminal kutusunda bir sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Cihaz, termoelemanın sıcaklık ölçüm değerini, referans birleşim noktasındaki sıcaklık sensörünün ölçtüğü sıcaklık değerine göre kompanse ederek düzeltir. Cihazın yaptığı bu işlem, soğuk birleşim noktası kompanzasyonu olarak isimlendirilir.

Deneylerde, ölçüm doğruluğunu arttırmak amacıyla, soğuk birleşim noktası kompanzasyonuna sahip tipteki veri toplama cihazları kullanılmıştır. Ayrıca, veri toplama cihazının ayarlanabilir özelliklerinden biri olan ölçüm hızı yavaş tipte kullanılmak suretiyle ölçüm doğruluğu arttırılmıştır.

Ölçüm sisteminde toplam dört adet veri toplama cihazı kullanılmıştır. Bunlardan birinci ve ikinci cihaz aynı marka ve modeldedir. Bu cihazların her biri 20 adet termoeleman kanalına sahiptir. Üçüncü ve dördüncü cihazların her biri ise iki adet termoeleman kanalına sahiptir. Böylece, ölçüm sistemine ait 44 adet termoelemanın tamamı veri toplama cihazlarına yerleştirilmiş olmaktadır.

Birinci ve ikinci cihaz için, üretici firmanın katalog bilgisi olarak T tipi termoeleman ve yavaş ölçüm hızı için ölçüm doğruluğu ± 0.46 °C'dir. Cihazın ölçüm verisinin virgölünün sağındaki basamak çözünürlüğü, tam değer (virgölün solundaki değer) bir basamaklı iken beş basamaklı, iki basamaklı iken ise dört basamaklıdır. Veri toplama cihazlarından üçüncü cihaz için T tipi termoeleman için ölçüm doğruluğu, $\pm(\text{okumanın } \% 0.05'i + 0.3 \text{ °C})$ 'dir. Dördüncü cihaz için T tipi termoeleman için ölçüm doğruluğu $\pm(\text{okumanın } \% 0.2'si + 0.6 \text{ °C})$ 'dir. Üçüncü ve dördüncü cihazların ölçüm verisinin virgölünün sağındaki basamak çözünürlüğü tek basamaklıdır.

Veri toplama cihazlarına kumanda etmek amacıyla iki adet bilgisayar kullanılmıştır. Cihaz üreticilerinin sağladığı veri kaydetme yazılımları bu bilgisayarlar üzerinden çalıştırılmıştır.

4.3 Ölçüm Sistemi Kalibrasyonu

Ölçüm sistemini meydana getiren bütün termoelemanlar, bir ucunda birleşim noktası meydana getirilmiş ve diğer ucu veri toplama cihazlarının terminal kutusundaki kanala bağlanmış vaziyetteyken, termoeleman kablosu ve veri toplama cihazı için üreticilerin vermiş oldukları katalog verisi ölçüm doğruluğu değerlerini küçültürerek çok daha küçük ölçüm doğruluğu değerindeki referans bir cihaza yaklaşımak

amacıyla, bir kalibrasyon yapılmıştır. Böylece, kullanılan termoelemanın ölçüm doğruluğu iyileştirilmiştir.

Kalibrasyon sistemi, veri toplama cihazlarına bağlanmış haldeki kalibrasyonu yapılan termoelemanlara ilave olarak, bir sabit sıcaklık banyosu, bir referans termometresi, bir okuma cihazı ve bir tarayıcıdan meydana gelmiştir. EK B'deki Şekil B.1'de ölçüm sistemi kalibrasyonunun genel görünüşü verilmiştir.

Sabit sıcaklık banyosu, -80 °C ile 110 °C aralığında çalışabilen bir cihazdır. Banyonun, 2 sigma ($k=2$), % 95 güvenilirlik seviyesindeki kararlılığı (stability), -80 °C'de ± 0.006 °C, 0 °C'de ± 0.005 °C ve 100 °C'de ± 0.005 °C'dir. Banyonun düzgünlüğü (uniformity), -80, 0 ve 100 °C'de ± 0.007 °C'dir. Banyo göstergesinin çözünürlüğü 0.01 °C'dir. Banyonun stabilizasyon süresi 15 ile 20 dakika aralığındadır. Banyo haznesi, 482 mm daldırma derinliğinde ve 15.9 lt hacminde olup 304 paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir.

Referans termometresi, başka bir ifadeyle standart platin direnç termometresi (SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometer), -200 °C ile 480 °C aralığında ölçüm yapmaktadır. Probun, 0.01 °C'de, suyun üçlü noktasındaki direnci 25.5 ± 0.5 Ω 'dur. Termometrenin içindeki ölçüm sensörü, yüksek saflıktaki platin tel sargıdan imal edilmiştir. Sensör, seramik bir kapsül içinde korunmuştur. Termometre, dördü iletken biri toprak olmak üzere, toplam beş adet tele sahiptir. Termometrenin çıkış ucunda, bu teller 2500 mm uzunluğunda lastik bir kablo kılıfı içinde bulunmaktadır. Bu lastik kablo içindeki tellerin her biri polietilen kaplamalı bir plastik kılıf içindedir. Bu tellerin bitiş uçları, bağlantı yapmak üzere altın kaplamalı bacaklar halinde imal edilmiştir. Termometrenin hassasiyeti 0.1 Ω /°C; kararlılığı 480 °C'de 0.010 °C/100 saatten küçük ve tipik olarak 0.005 °C/100 saatten küçüktür. Termometrenin tekrarlanabilirliği 2 mK'den küçüktür. Termometre, 6.35 mm çapında ve 485 mm uzunluğundadır. Termometre sensör tellerinin çapı 0.07 mm'dir. Termometrenin dışında, Inconel 600 malzemeden yapılmış metal bir kılıf vardır. Termometrenin yalıtım direnci, 480 °C'de 100 M Ω 'dan büyük, 20 °C'de 1000 M Ω 'dan büyüktür.

Okuma cihazı, referans termometresinin ölçümünü göstermeye yarayan bir cihazdır. Bu cihazın çözünürlüğü, virgölün sağındaki basamak sayısı dört basamaklı olacak şekilde, başka bir deyişle 0.0001 °C'dir. Cihazın ölçüm doğruluğu 1 ppm olup, bu doğruluk değeri, kalibrasyon sisteminde kullanılmış olan 25 Ω direnç değerine sahip

referans termometresi ile 0 °C sıcaklık değeriindeki ölçüm için, 0.00025 °C'lık bir ölçüm doğruluğuna karşı gelmektedir.

Okuma cihazının bağlantı uçları altın kaplamalı olup, cihaz temel olarak birbirine seri bağlı iki dirençten geçirilen aynı akım değerine karşı bu dirençlerin ürettikleri gerilimi ve buna bağlı olarak da bunların dirençlerini karşılaştırmakta; ve bu dirençlerin oranına göre ölçüm yapmaktadır. Bu iki dirençten birincisi, ölçüm yapmak üzere cihaza bağlanan referans termometresinin direnci, ikincisi ise cihazın kendi üzerine yerleştirilmiş vaziyetteki iç referans direncidir. Cihazın direnç oranı doğruluğu, 0–25 Ω giriş büyüklüğü için, 0.000025 Ω ; 25–400 Ω giriş büyüklüğü için 1 ppm'dir. Cihazın direnç doğruluğu, 0–25 Ω giriş büyüklüğü için 0.00015 Ω ; 25–400 Ω giriş büyüklüğü için 6 ppm'dir.

Kalibrasyon sisteminin bir diğer elemanı olan tarayıcı, on adet giriş kanalına ve bir adet çıkış kanalına sahiptir. Tarayıcının giriş kanallarından her birine bir termometrenin dört teli bağlanmaktadır. Tarayıcının çıkış kanalı, ölçüm cihazı ile veri bağlantısını sağlamaya yaramaktadır. Tarayıcının giriş kanallarının ve çıkış kanalının bağlantı uçları altın kaplamalıdır. Tarayıcının maksimum devre direnci 0.5 Ω ve izolasyon direnci 10^{12} Ω 'dur. Tarayıcının % 95 güvenilirlik seviyesinde ve 2 saniye örnekleme periyodundaki ölçüm doğruluğu, 0 Ω –400 Ω direnç aralığı için 0.1 ppm, 400 Ω –10 k Ω için ise 0.8 ppm'dir.

Kalibrasyon işleminde, kalibrasyon sırasındaki sıcaklık salınımlarını en aza indirmek ve sıcaklık stabilitesini en üst düzeye çıkarmak amaçlarıyla silindirik biçimdeki metal bir kütle kullanılmıştır. Silindir, pirinç malzemeden imal edilmiştir. Bu silindirde, bir ucu açık diğer ucu kapalı olan delikler bulunmaktadır. Söz konusu deliklerden birine referans termometresi, referans termometresinin yerleştirildiği deliğin çevresindeki deliklere ise sıcaklık kalibrasyonu yapılmak istenen termoelemanlar yerleştirilmiştir. Bu haliyle metal kütle, sabit sıcaklık banyosunun haznesi içine daldırılmıştır. EK B'deki Şekil B.2'de sabit sıcaklık banyosuna üstten bakış halinde bir fotoğraf verilmiştir. Burada, banyo haznesinin içinde, metal kütle ve bu kütlenin delikleri içinde termoelemanlar ve referans termometresi bulunmaktadır. Banyo suyu deliklerin içini de doldurduğu için, termoelemanlar, banyonun içindeki su ile temas halindedir. EK B'deki Şekil B.3'de metal silindire yerleştirilmiş durumda termoelemanlar ve referans termometresi görülmektedir.

Sıcaklık kalibrasyon deneyleri -1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 °C olmak üzere dokuz noktada gerçekleştirilmiştir. Sabit sıcaklık banyosunun haznesinde, -1 °C noktasında, % 99.8 saflıkta etanol, geriye kalan bütün noktalarda ise distile su kullanılmıştır.

Sıcaklık kalibrasyonu yapılan bu dokuz noktanın her biri için, sabit sıcaklık banyosu rejim halindeyken, 45 dakika boyunca ölçüm alınmıştır. Bu 45 dakikalık süre zarfında, 3 dakika arayla 16 adet veri toplanmıştır. Bu 16 adet verinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama değer ve standart sapma değeri hesaplanmıştır. Böylece, söz konusu deney noktalarının her birinde referans termometresi ve termoelemanlar için bir ortalama değer elde edilmiş; ve sıcaklık kalibrasyonu, bu ortalama değer üzerinden yapılmıştır.

EK C’de termoelemanların kalibrasyon sonuçları sunulmuştur. EK C’deki Çizelge C.1’de referans termometresinin ve bazı termoelemanların kalibrasyon deneylerinin ölçüm sonuçları verilmiştir. Söz konusu dokuz deney noktasının her biri için, birinci satırda ortalama değer, ikinci satırda standart sapma değeri sunulmuştur.

Kalibrasyon işleminde esas olarak termoelemanın ölçtüğü değer, referans termometresinin ölçtüğü değere göre düzeltilmek suretiyle kalibre edilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak -1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 °C noktalarının her birinde, termoelemanın ölçtüğü değer, ölçülen ($T_{ölçülen}$) değer olarak, referans termometresinin ölçtüğü değer ise gerçek ($T_{gerçek}$) değer olarak alınmıştır. Böylece, dokuz noktanın her birinde $T_{ölçülen}$ ve $T_{gerçek}$ veri çifti elde edilmiştir. Bu dokuz adet veri çifti hep birlikte değerlendirilerek, bağımsız x değişkeni olarak $T_{ölçülen}$ alınmış ve bağımlı y değişkeni olarak ise $T_{gerçek}$ alınmıştır. Bir yazılım programı kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve y değişkenini x değişkenine göre ifade eden, üçüncü dereceden bir polinom fonksiyonun katsayıları hesaplanmıştır. Bu fonksiyon denklem 4.1’de verilmiştir.

$$T_{gerçek} = a T_{ölçülen}^3 + b T_{ölçülen}^2 + c T_{ölçülen} + d \quad (4.1)$$

Burada $T_{ölçülen}$, termoelemanın ölçtüğü değer, $T_{gerçek}$, referans termometresinin ölçtüğü değer, a , b , c ve d ise üçüncü dereceden polinom fonksiyonun katsayıları, başka bir ifadeyle termoelemanın kalibrasyon katsayılarıdır. $T_{ölçülen}$ ve $T_{gerçek}$ (°C) birimindedir. Regresyon analizi işleminde, regresyon katsayısı (regresyon analizinin korelasyon katsayısı) olan R^2 değeri de hesaplanmıştır. Buna göre, regresyon analizi

ile uydurulan eğrinin fonksiyonu aracılığıyla termoelemanın ölçtüğü değer, referans termometresinin ölçtüğü değere göre düzeltilerek kalibre edilmiş olmaktadır. Sıcaklık ölçümünde kullanılan 44 adet termoeleman bu şekilde kalibre edilerek her bir termoeleman için kalibrasyon katsayıları (a , b , c , d) ve R^2 değeri bulunmuştur. EK C'deki Çizelge C.2'de her bir termoeleman için kalibrasyon katsayıları ve R^2 değeri sunulmuştur. Görüldüğü gibi bütün termoelemanlar için 0.99999630 ile 0.99999994 aralığında değişen, yüksek bir R^2 değeri (~ 1) elde edilmiştir.

Çizelge C.2'de sunulmuş olan termoelemanların sembolleri şu şekildedir. T01 ve T02 sırasıyla kavitenin ön ve arka duvarlarının dış taraflarına ve geometrik merkezlerine yerleştirilmiş olan ortam havası sıcaklıklarıdır. Şekil 4.4(a)'da gösterilmiş olan ortalama sıcaklık termoelemanlarından; S01 ve S02 sırasıyla ortalama soğuk ve sıcak duvar yüzey sıcaklıkları, K01, K02, K03 ve K04 sırasıyla ortalama alt, üst, arka ve ön duvar yüzey sıcaklıkları, ve K05 kavitenin geometrik merkezine yerleştirilmiş olan ortalama kavite içi hava sıcaklığıdır. Şekil 4.4(b)'de gösterilmiş olan yerel sıcaklık termoelemanlarından; K06 ve M20 sırasıyla yerel sol (soğuk) ve sağ (sıcak) duvar yüzey sıcaklıkları, ve K07 ile M19 arasındaki 33 adet termoeleman ise sol ve sağ duvarlar arasındaki yerel hava sıcaklıklarıdır.

5. DENEYSEL YÖNTEM

5.1 Deneylerin Yapılışı

Bu tez çalışmasında yükseklik genişlik oranı 1, 2.09, 3, 4, 5 ve 6 olan altı adet dikdörtgenler prizması kavite içinde havanın ısı geçişi incelenmiştir. Kavite düşey sol duvarından termoelektrik soğutucu ile soğutulmaktadır. Soğutucu, bir sıcaklık sensörü ve bir elektronik kontrol ünitesi ile kontrol edilmektedir. Soğutucunun çalışma şekli, zamana göre değişmeyen, stabil bir kavite duvar sıcaklığı elde edilmesini sağlamıştır. Deneye başlamadan önce ölçüm çubuğu belirli bir yükseklik konumuna yerleştirilmiştir. Daha sonra, soğutulan duvarın karşısındaki duvar kapatılmış ve kenarlarından sızdırmaz hale getirilmiştir. Böylece, kapalı bir kavite meydana getirilmiştir. Sonra, soğutucu çalıştırılmıştır. Deney, 4-5 saat sürmüştür. Deney verisi 1 dakika arayla toplanmıştır. Bütün deney süresinin sürekli rejim halindeki son 45-60 dakikalık bölümü dikkate alınarak bu verilerin aritmetik ortalama değeri; ve ayrıca aritmetik ortalamanın alındığı söz konusu deney verilerinin standart sapması hesaplanmıştır.

Deneyler dört paket çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Birinci deney paketinde, bir kavitede doğal taşınım ve ısıtım halinde ısı geçişi üç boyutlu olarak incelenmiştir. İkinci pakette, iki boyutlu ısı geçişi bütün kavitelerde doğal taşınım ve ısıtım halinde incelenmiştir. Üçüncü pakette ise iki boyutlu ısı geçişi bütün kavitelerde doğal taşınım durumunda ele alınmıştır. Dördüncü pakette, iki boyutlu ısı geçişi bütün kavitelerde doğal taşınım halinde fakat kavite, iki aktif duvara sahipken incelenmiştir.

5.2 Yerel Dağılımın İncelendiği Konumlar

Boyutsuz kavite genişliği (X), x eksenindeki mesafenin kavite genişliğine (L) oranıdır. Boyutsuz kavite yüksekliği (Y), y eksenindeki mesafenin kavite yüksekliğine (H) oranıdır. Boyutsuz kavite derinliği (Z), z eksenindeki mesafenin kavite derinliğine (D) oranıdır.

Ortam havası termoelemanları ile ortalama ısı geçişi büyüklüklerini elde etmek üzere yerleştirilmiş olan kavite havası ve kavite yüzey sıcaklıkarı termoelemanlarının konumları her altı kavite için ve bütün deneyler için sabit tutulmuştur.

Sol ve sağ duvarlar arasına yerleştirilmiş olan yerel sıcaklık termoelemanlarının boyutsuz konumları (X) ise incelenen altı kavite için de farklı bir değerdedir. Kavitenin yükseklik genişlik oranı değiştikçe kavitenin genişlik değeri değişmekte bunun sonucunda ise termoelemanların boyutsuz konumu değişmektedir. Çizelge 5.1’de $X=0.0$ ile $X=1.0$ konumları arasına yerleştirilmiş olan iki adet yerel yüzey sıcaklık termoelemanı ile 33 adet yerel hava sıcaklık termoelemanının konumu gerek x ve gerekse X değeri olarak incelenen altı deney kavitesi için verilmiştir. Çizelgede, $A=2.09$ kavite için, birinci paket deneylerindeki x konumları verilmiştir. Bu kavitenin diğer paket deneylerindeki x konumları diğer kavitelerdeki gibidir.

Çizelge 5.1 : Deney kavitelerinin X konumları.

A=1		A=2.09		A=3		A=4		A=5		A=6	
x (mm)	X	x (mm)	X	x (mm)	X	x (mm)	X	x (mm)	X	x (mm)	X
0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.001	0.5	0.003	0.5	0.004	0.5	0.006	0.5	0.007	0.5	0.009
2.3	0.007	2.8	0.017	2.3	0.020	2.3	0.027	2.3	0.034	2.3	0.040
4.1	0.012	5.1	0.031	4.1	0.036	4.1	0.048	4.1	0.060	4.1	0.072
5.9	0.017	7.4	0.045	5.9	0.052	5.9	0.069	5.9	0.087	5.9	0.104
7.7	0.023	9.7	0.060	7.7	0.068	7.7	0.091	7.7	0.113	7.7	0.135
9.5	0.028	12.0	0.074	9.5	0.084	9.5	0.112	9.5	0.140	9.5	0.167
11.3	0.033	14.3	0.088	11.3	0.100	11.3	0.133	11.3	0.166	11.3	0.198
13.1	0.039	16.6	0.102	13.1	0.116	13.1	0.154	13.1	0.193	13.1	0.230
14.9	0.044	18.9	0.116	14.9	0.132	14.9	0.175	14.9	0.219	14.9	0.261
16.7	0.049	21.2	0.130	16.7	0.148	16.7	0.196	16.7	0.246	16.7	0.293
18.5	0.054	23.5	0.144	18.5	0.164	18.5	0.218	18.5	0.272	18.5	0.325
45.0	0.132	31.5	0.193	24.0	0.212	22.5	0.265	21.0	0.309	19.5	0.342
70.0	0.206	41.5	0.255	30.5	0.270	26.5	0.312	23.6	0.347	21.3	0.374
95.0	0.279	51.5	0.316	37.0	0.327	30.5	0.359	26.2	0.385	23.1	0.405
120.0	0.353	61.5	0.377	43.5	0.385	34.5	0.406	28.8	0.424	24.9	0.437
145.0	0.426	71.5	0.439	50.0	0.442	38.5	0.453	31.4	0.462	26.7	0.468
170.0	0.500	81.5	0.500	56.5	0.500	42.5	0.500	34.0	0.500	28.5	0.500
195.0	0.574	91.5	0.561	63.0	0.558	46.5	0.547	36.6	0.538	30.3	0.532
220.0	0.647	101.5	0.623	69.5	0.615	50.5	0.594	39.2	0.576	32.1	0.563
245.0	0.721	111.5	0.684	76.0	0.673	54.5	0.641	41.8	0.615	33.9	0.595
270.0	0.794	121.5	0.745	82.5	0.730	58.5	0.688	44.4	0.653	35.7	0.626
295.0	0.868	131.5	0.807	89.0	0.788	62.5	0.735	47.0	0.691	37.5	0.658
321.5	0.946	139.5	0.856	94.5	0.836	66.5	0.782	49.5	0.728	38.5	0.675
323.3	0.951	141.8	0.870	96.3	0.852	68.3	0.804	51.3	0.754	40.3	0.707
325.1	0.956	144.1	0.884	98.1	0.868	70.1	0.825	53.1	0.781	42.1	0.739
326.9	0.961	146.4	0.898	99.9	0.884	71.9	0.846	54.9	0.807	43.9	0.770
328.7	0.967	148.7	0.912	101.7	0.900	73.7	0.867	56.7	0.834	45.7	0.802
330.5	0.972	151.0	0.926	103.5	0.916	75.5	0.888	58.5	0.860	47.5	0.833
332.3	0.977	153.3	0.940	105.3	0.932	77.3	0.909	60.3	0.887	49.3	0.865
334.1	0.983	155.6	0.955	107.1	0.948	79.1	0.931	62.1	0.913	51.1	0.896
335.9	0.988	157.9	0.969	108.9	0.964	80.9	0.952	63.9	0.940	52.9	0.928
337.7	0.993	160.2	0.983	110.7	0.980	82.7	0.973	65.7	0.966	54.7	0.960
339.5	0.999	162.5	0.997	112.5	0.996	84.5	0.994	67.5	0.993	56.5	0.991
340.0	1.000	163.0	1.000	113.0	1.000	85.0	1.000	68.0	1.000	57.0	1.000

Deneyisel incelemede boyutsuz kavite yüksekliği (Y) ve boyutsuz kavite derinliği (Z) bütün kavitelerde aynı değerlerde sağlanmıştır. Çizelge 5.2’de deney kavitelerinde sağlanan boyutlu (y) ve boyutsuz (Y) kavite yüksekliği konumları verilmiştir. Benzer şekilde Çizelge 5.3’de deney kavitelerinde sağlanan boyutlu (z) ve boyutsuz (Z) kavite derinliği konumları sunulmuştur.

Çizelge 5.2 : Deney kavitelerinde sağlanan Y konumları.

y (mm)	Y
10.0	0.029
42.5	0.125
95.0	0.279
170.0	0.500
245.0	0.721
297.5	0.875
330.0	0.971

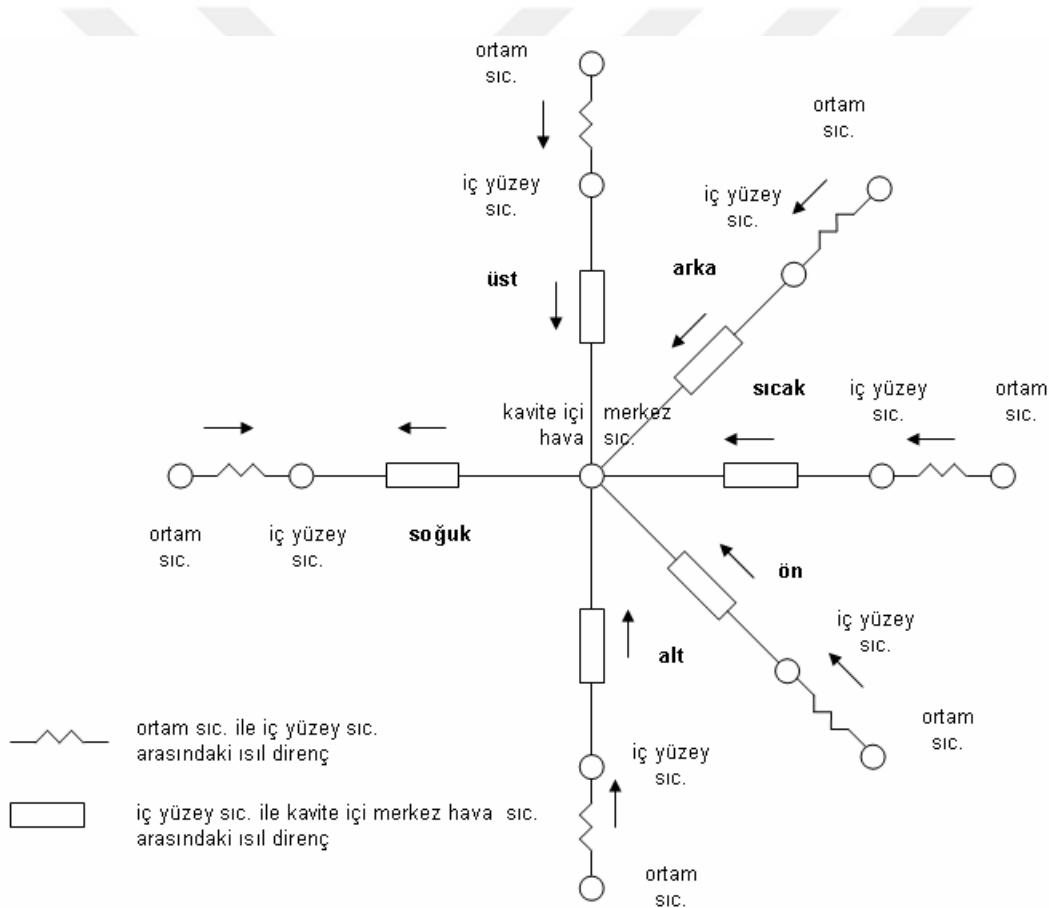
Çizelge 5.3 : Deney kavitelerinde sağlanan Z konumları.

z (mm)	Z
26.25	0.125
71.50	0.340
105.00	0.500
138.50	0.660
183.75	0.875

5.3 Ortalama Isı Geçişinin Hesap Yöntemi

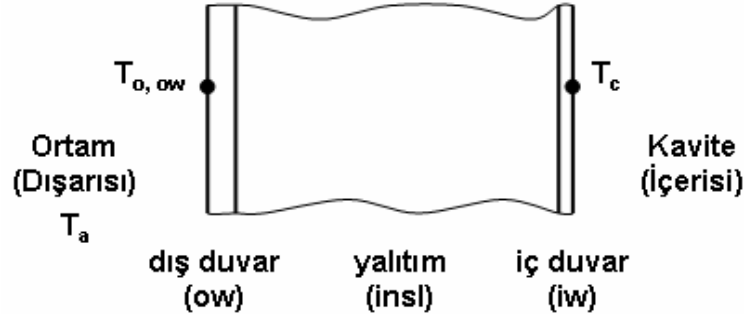
Kavite içindeki ortalama ısı geçişi, Şekil 4.4(a)’da gösterilen perspektif üç boyutlu çizimdeki termoeleman konumlarına göre belirlenmiştir. Soğutulmuş duvarın yüzey sıcaklığı (T_c), $x=0$ ($X=0$), $y=H/2$ ($Y=0.500$), $z=7D/8$ ($Z=0.875$) konumunda ölçülmüştür. Sıcak duvarın yüzey sıcaklığı (T_h), $x=L$ ($X=1$), $y=H/2$ ($Y=0.500$), $z=7D/8$ ($Z=0.875$) konumunda ölçülmüştür. T_c ve T_h termoelemanlarının konumları bütün deneylerde sabit tutulmuştur. Yerel ısı kuyusunun sınırları y ekseninde $Y=0.549$ ile $Y=0.672$ arasında; z ekseninde ise $Z=0.400$ ile $Z=0.600$ arasındadır. Duvar, düşey ve ısı geçiş mekanizması doğal taşınım ile olduğu için T_c termoelemanının y eksenindeki konumu $Y=0.500$ olarak seçilmiştir. Ayrıca, $Y=0.500$ konumu, yerel ısı kuyusunun alt sınırı olan $Y=0.549$ ’un dışındadır. Böylelikle, düşey

bir duvardan doğal taşınım ile ısı geçişi, duvarın yüksekliğinin yarısında temsil edilmiştir. T_c termoelemanının z eksenindeki konumunun $Z=0.875$ olarak belirlenmiş olmasının nedenleri şunlardır. Birincisi, $Z=0.875$ değeri, yerel ısı kuyusunun $Z=0.600$ sınırının dışında bulunmaktadır. İkincisi ise, mesafe olarak, kuyunun derinliğinin kavitenin derinliğine oranı 0.2 iken kuyunun bulunmadığı kısmın derinliğinin kavitenin derinliğine oranının 0.8 olması sebebiyle, T_c 'nin yerel ısı kuyusunun bulunmadığı duvar kısmında konumlandırılmak istenmiş olmasıdır. Diğer taraftan, yerel ısı kuyusunun ısı geçişine etkisi yerel ısı büyüklüğü aracılığıyla incelenmektedir. Kavite içindeki ısı geçişi duvarların ısı kaybı hesaplanarak belirlenmiştir. Şekil 5.1'de kavitenin, soğuk, sıcak, üst, alt, ön ve arka duvarlarından olan ısı geçişi, ısı dirençleri halinde çizilmiştir.



Şekil 5.1 : Kavitenin altı duvarından olan ısı geçişinin ısı dirençleri halinde gösterimi.

Şekil 5.1'de, "ortam sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki ısı direnci" olarak tanımlanmış olan ısı direncinin bileşenleri, soğuk duvar için Şekil 5.2'de duvarın düşey kesit resmi olarak çizilmiştir. Şekilde, soğuk (soğutulmuş) duvarın yapısal bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : Kavitenin soğutulmuş duvarının yapısal bileşenlerinin gösterimi.

Görüldüğü gibi kavitenin soğutulmuş duvarı, bir dış duvar, bir yalıtım ve bir iç duvardan meydana gelmektedir. Bu duvarlar için yalıtım malzemesi türü ve kalınlığı Bölüm 4.1’de verilmişti. Şekilde, bu üç duvarın kalınlığı ölçekli olarak çizilmiştir.

Şekilde, T_a ile ortam havası sıcaklığı, $T_{o,ow}$ ile dış duvarın dış yüzey sıcaklığı, T_c ile soğutulmuş duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı gösterilmiştir. Soğutulmuş duvar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç, R_c , aşağıdaki denklem 5.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R_c = R_o + R_{ow} + R_{insl} + R_{iw} \quad (5.1)$$

$$= \frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_{ow}}{k_{ow} A_{ow}} + \frac{L_{insl}}{k_{insl} A_{insl}} + \frac{L_{iw}}{k_{iw} A_{iw}}$$

Burada R_{ow} , R_{insl} ve R_{iw} sırasıyla dış duvarın, yalıtımın ve iç duvarın iletim ısı dirençleridir. L_{ow} , L_{insl} ve L_{iw} sırasıyla dış duvarın, yalıtımın ve iç duvarın kalınlıklarıdır. k_{ow} , k_{insl} ve k_{iw} sırasıyla dış duvarın, yalıtımın ve iç duvarın ısı iletim katsayılarıdır. A_{ow} , A_{insl} ve A_{iw} sırasıyla dış duvarın, yalıtımın ve iç duvarın ısı geçişine dik yöndeki yüzey alanlarıdır.

Denklem 5.1’deki R_o , soğuk duvar için kavite dışındaki ortam havasının ısı direncidir; ve kavite dışındaki ortam havası için dış duvarın ısı geçişine dik yöndeki yüzey alanı olan A_o , A_{ow} ’ya eşittir. h_o , dış (kavite dışındaki ortam havasının) ısı geçiş katsayısı olup denklem 5.2 ile bulunmuştur.

$$h_o = h_{o,conv} + h_{o,rad} \quad (5.2)$$

Burada, $h_{o,conv}$, dış taşınım ısı geçiş katsayısı; ve $h_{o,rad}$, dış ışıınım ısı geçiş katsayısıdır. Dış taşınım ısı geçiş katsayısı ($h_{o,conv}$), Churchill ve Chu tarafından, Rayleigh sayısının 0 ile 10^9 aralığı için düşey bir levhadan doğal taşınım ile ısı geçişi

için teklif edilen ve denklem 5.3’de sunulan ısı geçişi korelasyonu ile hesaplanmıştır [53].

$$Nu = 0.68 + \frac{0.670 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad (5.3)$$

Buradaki Rayleigh sayısı denklem 5.4’de verilmiştir.

$$Ra = \frac{g \beta_o \Delta T_o H_{ow}^3}{\nu_o \alpha_o} \quad (5.4)$$

Dış taşınım ısı geçiş katsayısı ($h_{o, conv}$) denklem 5.5 ile hesaplanmıştır.

$$h_{o, conv} = \frac{Nu k_o}{H_{ow}} \quad (5.5)$$

Denklem 5.4 ve denklem 5.5’deki H_{ow} , dış duvarın yüksekliği olup 522 mm değerindedir. Denklem (5.4)’deki ΔT_o , dış duvarın dış yüzey sıcaklığı ile ortam havası sıcaklığı arasındaki dış sıcaklık farkı olup denklem 5.6’da tanımlanmıştır.

$$\Delta T_o = T_{o, ow} - T_a \quad (5.6)$$

Denklem 5.6’daki $T_{o, ow}$ ve T_a sırasıyla, dış duvarın dış yüzey sıcaklığı ve ortam havası sıcaklığıdır. Bu büyüklükler sıcaklık ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Ölçümler sırasında termoelemanlar duvarın geometrik merkezine yerleştirilmiştir. Yapılan sıcaklık ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınmış ve $\Delta T_o = 0.96$ °C olarak bulunmuştur. Kavite dışındaki havanın termofiziksel özellikleri (k_o , β_o , ν_o ve α_o büyüklükleri), $T_{o, ow}$ ve T_a , sıcaklıklarının aritmetik ortalaması alınarak bulunan sıcaklık değerinde hesaplanmıştır. Rayleigh sayısı 1.39×10^7 ve dış taşınım ısı geçiş katsayısı $1.591 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.

Test kavitesinin toplam dış yüzey alanının test odasının toplam iç yüzey alanına oranı 0.0135’dir. Bu nedenle, bu oran 0 kabul edilmiş; kavite küçük, konveks bir nesne, ve test odası büyük bir hacim olarak kabul edilmiştir. Kavitenin dış yüzeyi ve test odasının iç yüzeyi beyaz renklidir ve 0.90 değerindeki yüzey yayma katsayısına sahiptir. Kavite ve test odası arasındaki ısı ışıınımı alışverişi hesaplanmıştır. Böylece, ışıınım ısı geçiş katsayısı denklem 5.7 ile hesaplanmıştır.

$$h_{o,rad} = \frac{\sigma \varepsilon_o (T_1^4 - T_2^4)}{(T_1 - T_2)} \quad (5.7)$$

Burada, σ , Stefan-Boltzmann katsayısı ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$); ε_o , kavitenin dış duvarının yüzey yayma katsayısı (0.90); T_1 , birinci duvarın yüzey sıcaklığı, başka bir ifadeyle, kavitenin dış duvarının dış yüzey sıcaklığı ($T_{o, ow}$); ve T_2 , ikinci duvarın yüzey sıcaklığı, diğer bir ifadeyle, test odasının iç duvarının yüzey sıcaklığıdır. T_1 ve T_2 sıcaklık ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Dış ısıtım ısı geçiş katsayısı ($h_{o, rad}$), $5.274 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Böylece dış taşınım ($h_{o, conv}$) ve dış ısıtım ($h_{o, rad}$) ısı geçiş katsayılarının toplamı olan dış ısı geçiş katsayısı (h_o), $6.864 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge (5.4)'de kavitenin soğutulmuş duvarının toplam ısıl direncinin (R_c) bileşenleri sunulmuştur. Çizelge incelenen altı kavite için de geçerlidir. Çizelgede R_c , soğutulmuş duvarın yüzey sıcaklığı (T_c) ile ortam havası (T_a) arasındaki toplam ısıl dirençtir. A , ısı geçişine dik yöndeki alandır. Alana ait ölçüler önceki bölümde verilmişti. R_c değeri 5.47225 K/W olarak bulunmuştur. Çizelgedeki değerler kullanılarak R_o/R_c , R_{ow}/R_c , R_{insl}/R_c ve R_{iw}/R_c değerleri sırasıyla, % 13.7, % 0.9, % 85.4 ve % 0.0 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara dayanarak R_c 'nin en büyük bileşeninin, yalıtım olduğu çıkarımı yapılabilir.

Çizelge 5.4 : Kavitenin soğutulmuş duvarının toplam ısıl direncinin bileşenleri.

i	L (mm)	k (W/mK)	h (W/m ² K)	A (mmxmm)	R (K/W)
o	-	-	6.864	522x372	0.75021
ow	2	0.22	-	522x372	0.04682
insl	23	0.039	-	432x292	4.67516
iw	1	237	-	340x210	0.00006

Yukarıda soğutulmuş duvar için sunulan hesaplama yöntemi kavitenin geriye kalan beş duvarı için de yapılmıştır.

Bu çerçevede, kavitenin sıcak (sağ), ön ve arka duvarları tıpkı soğutulmuş duvar gibi düşey bir duvar olduğu için dış taşınım ısı geçiş katsayısı ($h_{o, conv}$) denklem 5.3 ile hesaplanmıştır. Ancak, kavitenin üst ve alt duvarları yatay olduğundan ötürü bu duvarlar için farklı ısı geçişi korelasyonları kullanılmıştır.

Şekil 5.1’de gösterildiği üzere, kavitenin üst duvarında ısı geçişinin yönü, yukarıdan aşağıya doğrudur. Ortam sıcaklığı T_a , dış duvarın yüzey sıcaklığı $T_{o, ow}$ ’dan büyüktür ve soğutulan bir levhanın üst yüzeyi hali söz konusudur. Bu nedenle, kavitenin üst duvarı için dış taşınım ısı geçiş katsayısı, McAdams tarafından yatay, soğutulan bir levhanın üst yüzeyi hali için Rayleigh sayısının 10^5 ile 10^{10} aralığı için verilen ve denklem 5.8’de sunulan ısı geçişi korelasyonu ile hesaplanmıştır [53].

$$Nu = 0.27 Ra^{1/4} \quad (5.8)$$

Yine Şekil 5.1’de gösterildiği üzere, kavitenin alt duvarında ısı geçişinin yönü, aşağıdan yukarıya doğrudur. Ortam sıcaklığı T_a , dış duvarın yüzey sıcaklığı $T_{o, ow}$ ’dan büyüktür ve soğutulan bir levhanın alt yüzeyi hali söz konusudur. Buna göre kavitenin alt duvarı için dış taşınım ısı geçiş katsayısı, yine McAdams tarafından yatay, soğutulan bir levhanın alt yüzeyi hali için Rayleigh sayısının 10^4 ile 10^7 aralığı için teklif edilen ve denklem 5.9’da verilen ısı geçişi korelasyonu ile bulunmuştur [53].

$$Nu = 0.54 Ra^{1/4} \quad (5.9)$$

Dış taşınım ısı geçiş katsayısı gibi, dış ışınlama ısı geçiş katsayısı ($h_{o, rad}$) da kavitenin geriye kalan sağ, ön, arka, üst ve alt duvarları için de T_1 kavitenin dış duvarının dış yüzey sıcaklığı ($T_{o, ow}$) ve T_2 test odasının iç duvarının yüzey sıcaklığı ölçülerek ve soğutulmuş duvar için sunulmuş olan denklem 5.7 ile hesaplanarak belirlenmiştir.

Böylece, soğutulmuş, sıcak, üst, alt, ön ve arka duvarlar için kavite dışındaki ortam havası ile kavite iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç sırasıyla, R_c , R_h , R_t , R_b , R_{fr} ve R_{ba} olmak üzere hesaplanmıştır.

Soğutulmuş, sıcak, üst, alt, ön ve arka duvarların kavite iç yüzey sıcaklığı sırasıyla T_c , T_h , T_t , T_b , T_{fr} ve T_{ba} ile gösterilmek üzere, Bölüm 4.1’de açıklandığı ve Şekil 4.4(a)’da gösterildiği gibi ölçülmüştür. Buna ek olarak ortam havası sıcaklığı (T_a) da ölçülmüştür.

Ortam sıcaklığı ve kavite duvarı iç yüzey sıcaklığı ölçülmüş ve ortam sıcaklığı ile kavite duvarı iç yüzey sıcaklığı arasındaki toplam ısı direnç hesaplanmış halde olduğu için ortam ile kavite duvarı arasındaki ısı geçişi, başka bir ifadeyle kavite duvarının ısı kaybı bulunabilir.

Kavitenin soğutulmuş, sıcak, üst, alt, ön ve arka duvarlarından olan ısı geçişi sırasıyla Q_c , Q_h , Q_t , Q_b , Q_{fr} ve Q_{ba} olarak gösterilmiş; ve sırasıyla, denklem 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 ve 5.15 ile bulunmuştur.

$$Q_c = \frac{(T_a - T_c)}{R_c} \quad (5.10)$$

$$Q_h = \frac{(T_a - T_h)}{R_h} \quad (5.11)$$

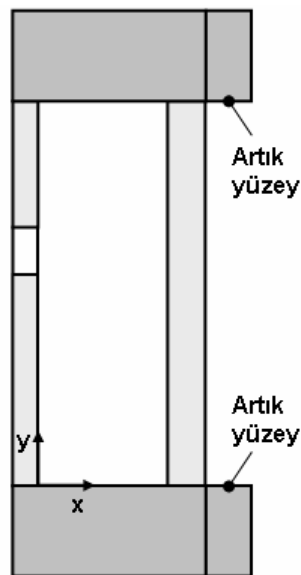
$$Q_t = \frac{(T_a - T_t)}{R_t} \quad (5.12)$$

$$Q_b = \frac{(T_a - T_b)}{R_b} \quad (5.13)$$

$$Q_{fr} = \frac{(T_a - T_{fr})}{R_{fr}} \quad (5.14)$$

$$Q_{ba} = \frac{(T_a - T_{ba})}{R_{ba}} \quad (5.15)$$

Bunlara ek olarak, bazı deneylerde fiziksel olarak ısı köprüsü biçimindeki duvar parçaları ortaya çıkmış olup bunlar artık yüzey olarak tanımlanmıştır. Örnek bir artık yüzey Şekil 5.3’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu yüzey için de sıcaklık ölçümü yapılmış ve kavitenin artık yüzeyinden olan ısı geçişi (Q_r) hesaplanmıştır.



Şekil 5.3 : Artık yüzeyin gösterimi.

Kavitenin ısı dengesi ele alındığında Şekil 5.1’de gösterildiği üzere, ortamdan soğuk duvara geçen ısı miktarı veya başka bir ifadeyle soğutulmuş duvarın ısı miktarı, ortamdan kavitenin diğer beş duvarına ve artık yüzeye geçen ısı miktarı ile dengelenmektedir. Ortamdan soğuk duvara geçen toplam ısı miktarı denklem 5.16 ile hesaplanmıştır.

$$Q_1 = Q_c \quad (5.16)$$

Ortamdan kavitenin diğer beş duvarına ve artık yüzeye geçen toplam ısı miktarı denklem 5.17 ile bulunmuştur.

$$Q_2 = Q_h + Q_t + Q_b + Q_{fr} + Q_{ba} + Q_r \quad (5.17)$$

Isı dengesini ortaya koymak üzere enerji dengesi hatası (E_{eb}) olarak adlandırılan büyüklük, % olarak ve denklem 5.18 ile hesaplanmıştır.

$$E_{eb} = 100 \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} \quad (5.18)$$

Sıcak duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı (T_h) ile soğuk duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı (T_c) arasındaki fark kavite ortalama sıcaklık farkı (ΔT) olarak tanımlanmış ve denklem 5.19 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (5.19)$$

Enerji dengesi hatası tespit edilerek ortaya konulmuş ve bunun değeri istenen seviyede sağlanmış olduğu için kavitenin ısı geçiş büyüklükleri soğuk duvarın ısı geçiş miktarı (Q_c) üzerinden hesaplanmıştır.

Kavite ortalama ısı geçiş katsayısı (h) denklem 5.20 ile bulunmuştur.

$$h = \frac{Q_c}{\Delta T \cdot HD} \quad (5.20)$$

Burada, Q_c , soğuk duvarın ısı geçiş miktarı (kavitenin soğutulmuş duvarından olan ısı geçişi); ΔT , kavite ortalama sıcaklık farkı; H , kavite yüksekliği; ve D , kavite derinliğidir.

Tezde kullanılan ısı geçiş katsayısı ifadesi heat transfer coefficient anlamında olup toplam ısı geçiş katsayısı değildir. Tezde ısı geçiş mekanizması gerek doğal taşınım ve ışıınım halinde gerekse yalnızca doğal taşınım halinde incelenmiştir. Bu iki durumu birbiriyle aynı büyüklük üzerinden karşılaştırmak amacıyla her iki durum

için de kullanılabilecek bir tanım olan ısı geçiş katsayısı büyüklüğü tercih edilmiştir. Bu büyüklük, ısı taşınım ve ışıyım katsayılarının toplamı olan büyüklüğü göstermektedir. Işıyımın olmadığı durumda, kendiliğinden ısı taşınım katsayısı olmuş olmaktadır.

Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısı (Nu_L) denklem 5.21 ile hesaplanmıştır.

$$Nu_L = \frac{hL}{k_f} \quad (5.21)$$

Burada, h , kavite ortalama ısı geçiş katsayısı; L , kavite genişliği; ve k_f , kavite film sıcaklığında havanın ısı iletim katsayısıdır.

Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Rayleigh sayısı (Ra_L) denklem 5.22 ile hesaplanmıştır.

$$Ra_L = \frac{g \beta_f \Delta T L^3}{\nu_f \alpha_f} \quad (5.22)$$

Denklem 5.22’de, g , yerçekimi ivmesi; β_f , kavite film sıcaklığında havanın hacimsel ısı genleşme katsayısı; ΔT , kavite ortalama sıcaklık farkı; L , kavite genişliği; ν_f , kavite film sıcaklığında havanın kinematik viskozitesi; ve α_f , kavite film sıcaklığında havanın ısı yayılım katsayısıdır.

Daha önce belirtildiği gibi bu bölümde kavitenin dışındaki ortam havası ile kavite duvarları arasındaki ısı geçişinin hesaplanmasında kavite dışındaki hava söz konusu olmuştu. Yukarıda, denklem 5.20 ile 5.22’de bahsedilen hava ise kavite içindeki havadır. Kavitenin dışındaki hava ile kavite içindeki havayı birbirinden ayırmak amacıyla, Kavite içindeki hava için “f” alt indisi kullanılmıştır.

Denklem 5.21 ve 5.22’de geçen ve havanın termofiziksel özellikleri olan k_f , β_f , ν_f ve α_f büyüklükleri, kavite film sıcaklığında (T_m) hesaplanmıştır. Kavite film sıcaklığı, denklem 5.23 ile bulunmuştur.

$$T_m = \frac{T_h + T_c}{2} \quad (5.23)$$

Burada, T_h , sıcak duvarın kavite iç yüzey sıcaklığı; ve T_c , soğuk duvarın kavite iç yüzey sıcaklığıdır.

Kavite yüksekliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısı (Nu_H) ve kavite yüksekliğine göre tanımlanmış ortalama Rayleigh sayısı (Ra_H) sırasıyla denklem 5.24 ve 5.25 ile hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi bu denklemlerde, karakteristik uzunluk dışında geriye kalan bütün büyüklükler kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt ve Rayleigh sayılarındaki büyüklüklerin aynıdır. Karakteristik uzunluk olarak ise kavite yüksekliği (H) kullanılmıştır.

$$Nu_H = \frac{hH}{k_f} \quad (5.24)$$

$$Ra_H = \frac{g \beta_f \Delta T H^3}{\nu_f \alpha_f} \quad (5.25)$$

5.4 Yerel Isı Geçişinin Hesap Yöntemi

Bu bölümde kavite yerel ısı geçişi büyüklüklerinin hesap yöntemi sunulmaktadır. Yerel ısı geçişi, konumları Şekil 4.4(b)'de, düşey ön kesit resminde gösterilen yerel sıcaklık termoelemanları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Soğutulmuş duvarın yerel (iç) yüzey sıcaklığı (T_{cy}) $x=0$ ($X=0.0$) konumunda, sıcak duvarın yerel (iç) yüzey sıcaklığı (T_{hy}) $x=L$ ($X=1.0$) konumunda, belirli bir y değerinde ölçülmüştür. T_{cy} ve T_{hy} termoelemanları Şekil 4.4(b)'deki siyah renkle dolu dairelerdir. Bu y yüksekliğinde yerel hava sıcaklıkları da ölçüm çubuğu aracılığıyla ölçülmekte olup, bunlar ise Şekil 4.4(b)'deki içi boş dairelerdir.

İkinci, üçüncü ve dördüncü paket deneylerde, z konumu, $z=D/2$ ($Z=0.500$) değerinde sabit tutulmuş; ve T_{cy} ve T_{hy} 'nin farklı y konumlarındaki değerleri, bu termoelemanlar ve ölçüm çubuğunun farklı y değerlerine getirilerek yapılan bağımsız deneylerde ölçülmüştür. Başka bir ifadeyle, her bir farklı y konumu, y konumunun değiştirildiği geriye kalan bütün parametrelerin ise aynı tutulduğu farklı bir deneyde ölçülmüştür. Yerel büyüklükler, soğutulmuş ve sıcak duvarlar arasındaki ısı geçişinin kavite yüksekliği boyunca olan değişimini göstermektedir. Sade bir ifade kullanmak amacıyla bu inceleme kısaca yerel olarak adlandırılmıştır.

Kavite yerel sıcaklık farkı (ΔT_y), sıcak ve soğutulmuş duvarların y ölçüm konumunda ölçülen yüzey sıcaklıkları arasındaki farktır.

$$\Delta T_y = T_{hy} - T_{cy} \quad (5.26)$$

Denklem 5.26’da, T_{hy} , sıcak duvarın yerel (iç) yüzey sıcaklığı; ve T_{cy} , soğutulmuş duvarın yerel (iç) yüzey sıcaklığıdır.

Kavite yerel ısı geçiş katsayısı (h_y) denklem 5.27 ile hesaplanmıştır.

$$h_y = \frac{Q_c}{\Delta T_y HD} \quad (5.27)$$

Buradaki Q_c , soğuk duvarın ısı geçiş miktarı; ΔT_y , kavite yerel sıcaklık farkı; H , kavite yüksekliği; ve D , kavite derinliğidir.

Kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Nusselt sayısı (Nu_{yL}) denklem 5.28’den bulunmuştur.

$$Nu_{yL} = \frac{h_y L}{k_{fy}} \quad (5.28)$$

Burada, h_y , kavite yerel ısı geçiş katsayısı; L , kavite genişliğidir.

Kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Rayleigh sayısı (Ra_{yL}) denklem 5.29 kullanılarak bulunmuştur.

$$Ra_{yL} = \frac{g \beta_{fy} \Delta T_y L^3}{\nu_{fy} \alpha_{fy}} \quad (5.29)$$

Burada, g , yerçekimi ivmesi; ΔT_y , kavite yerel sıcaklık farkı; ve L , kavite genişliğidir. Denklem 5.28 ve denklem 5.29’daki havanın termofiziksel özellikleri olan, k_{fy} , β_{fy} , ν_{fy} ve α_{fy} büyüklükleri, y ölçüm noktasındaki sıcak duvarın yerel yüzey sıcaklığı (T_{hy}) ve soğutulmuş duvarın yerel yüzey sıcaklığı (T_{cy}) değerlerinin ortalama değeri olan kavite yerel film sıcaklığında (T_{my}) hesaplanmıştır. Bu son büyüklük, denklem 5.30’da verilmiştir.

$$T_{my} = \frac{T_{hy} + T_{cy}}{2} \quad (5.30)$$

Birinci paketteki deneysel incelemede, T_{cy} ve T_{hy} ’nin farklı z konumlarındaki değerleri de söz konusudur. Dolayısıyla bu paketteki deneylerde, kavite ısı geçişinin yerel değişimi, kavite yüksekliğine ek olarak kavite derinliği boyunca da incelenmektedir. Bu nedenle, birinci paket deneyleri için denklem 5.26 ile denklem 5.29 arasındaki denklemlerde alt indis olarak “ y ” yerine “ yz ” bulunmaktadır. Bu paketteki deneyler, ölçüm çubuğunun konumu hem y hem de z yönünde farklı bir

konuma getirilerek ve her bir konum, farklı bir deneyde gerçekleştirilmek suretiyle yapılmıştır.

Boyutsuz sıcaklık (θ), denklem 5.31 ile belirlenmiştir.

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c} \quad (5.31)$$

Buradaki T , ölçüm noktası olan (x,y) konumunda ölçülen sıcaklık değeridir. Denklem 5.31, her bir yükseklik genişlik oranı değeri ve her bir boyutsuz kavite derinliği değeri için ayrı ayrı olmak şartıyla hesaplanmıştır. Bu şartlar altında, denklemde, gerek $X=0.0$ ile $X=1.0$ arasında ve gerekse $Y=0.0$ ile $Y=1.0$ arasında gerçekleştirilmiş olan bütün deneyler gözönünde bulundurulmaktadır. Bu denklemde, T_h için ölçüm yapılan y noktaları arasında en büyük sıcak duvar (yüzey) sıcaklığı, T_c için ise ölçüm yapılan y noktaları arasında en küçük soğutulmuş duvar (yüzey) sıcaklığı olarak alınmıştır. Buna göre, T_h ve T_c değerleri sabit vaziyetteyken her bir farklı T değeri için, başka bir θ değeri bulunmuştur. Böylece, her bir farklı (x,y) konumu için başka bir θ değeri bulunmuş olmaktadır.

5.5 Havanın Termofiziksel Özelliklerinin Hesap Yöntemi

Havanın termofiziksel özellikleri; kavite ortalama ısı geçişi büyüklüklerinin hesaplanması sırasında denklem 5.23’de verilmiş olan kavite film sıcaklığında; kavite yerel ısı geçişi büyüklüklerinin hesaplanması sırasında ise denklem 5.30’da sunulmuş bulunan kavite yerel film sıcaklığında hesaplanmıştır. Hava, kuru hava ve ideal gaz olarak kabul edilmiştir.

Havanın yoğunluğu

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{p}{\left(\frac{\bar{R}}{M}\right)T} = \frac{p}{\left(\frac{8314}{28.97}\right)T} = \frac{101325}{286.9865 T} \quad (5.32)$$

ifadesiyle bulunmuştur. Burada, ρ , yoğunluk (kg/m^3); p , basınç (Pa); R , (havanın) gaz sabiti (J/kgK); T , sıcaklık (K); $\bar{R}$, evrensel gaz sabiti (J/kmolK); M , (havanın) mol ağırlığıdır (kg/kmol) [58].

Havanın dinamik viskozitesi

$$\mu = 17.16 \times 10^{-6} \left(\frac{T}{273.15} \right)^{3/2} \left(\frac{273.15 + 111}{T + 111} \right) \quad (5.33)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Bu eşitlikte μ (Ns/m²), T (K) birimindedir [58].

Havanın kinematik viskozitesi

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5.34)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Burada ν (m²/s) biriminde olup diğer iki büyüklük denklem 5.32 ve denklem 5.33 aracılığıyla belirlenmiş olan büyüklüklerdir.

Havanın ısı iletim katsayısı

$$k = 0.0241 \left(\frac{T}{273.15} \right)^{3/2} \left(\frac{273.15 + 194}{T + 194} \right) \quad (5.35)$$

eşitliğiyle, hesaplanmıştır. Burada, k (W/mK), T (K) birimindedir [58].

Havanın sabit basınçta özgül ısısı

$$c_p = 1006.0469 - 6.8345 \times 10^{-3} T - 1.9702 \times 10^{-4} T^2 + 1.4205 \times 10^{-5} T^3 \quad (5.36)$$

denklemleriyle hesaplanmıştır. Denklem 5.36, [59]'da çizelge halinde verilmiş olan değerleri kullanarak regresyon analiziyle bir üçüncü dereceden polinom fonksiyonu uydurularak elde edilmiştir. R^2 değeri 0.997493942'dir. Bu denklemde c_p (J/kgK), T (°C) birimindedir. Denklem, sıcaklığın -20 ile 60 °C aralığında geçerlidir.

Havanın ısı yayılım katsayısı

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (5.37)$$

denklemleriyle bulunmuştur. Burada α (m²/s) birimindedir. Eşitliğin sağındaki üç büyüklük, denklem 5.32, denklem 5.35 ve denklem 5.36 ile hesaplanmış durumdadır.

Havanın Prandtl sayısı

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (5.38)$$

eşitliğiyle hesaplanmış olup, eşitliğin sağındaki iki büyüklük denklem 5.34 ve denklem 5.37 ile belirlenmiştir.

Havanın hacimsel ısı genleşme katsayısı

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (5.39)$$

denklemleriyle bulunmuştur. Burada, β (1/K), T (K) birimindedir.



6. DENEY SONUÇLARI

6.1 Deney Ölçüm ve Hesaplama Büyüklüklerinin Değerleri

Test edilen kavitenin dışarısındaki ortam havası iki noktadan ölçülmüş ve bu ikisinin ortalaması alınarak ortam havası sıcaklığı (T_a) bulunmuştur. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen toplam 98 adet deney için ortam havası sıcaklığı değeri EK D’de, Çizelge D.1’de verilmiştir. Çizelgedeki her bir satır farklı bir deney durumuna karşı gelmekte olup, o deneye ait 45-60 dakikalık rejim süresince ölçülmüş olan değerlerin aritmetik ortalamasını göstermektedir. Çizelgede görüldüğü üzere ortam sıcaklığı bütün deneylerde 21 °C civarında sağlanmıştır.

Ortam sıcaklığına benzer şekilde, kavite içerisinde 42 noktada ölçülen kavite sıcaklığı değerleri bütün deneyler için EK D’de, Çizelge D.2’de sunulmuştur. Çizelgedeki birinci satır ortalama değeri, ikinci satır ise bahsedilen ortalama değer elde edilmesinde kullanılan ve 45-60 dakikalık rejim süresince ölçülen deney verilerinin standart sapmasıdır. Standart sapma değeri denklem 6.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6.1)$$

Burada, σ , standart sapma değeri; i , indeks operatörü; n , ölçüm verisi sayısı; x_i , ölçüm verisi; $\bar{x}$, ölçüm verilerinin aritmetik ortalama değeridir.

Ölçüm büyüklüklerinin değerleri üzerinde Bölüm 5’de sunulmuş olan deneysel yöntem uygulanarak deney hesaplama büyüklükleri bulunmuştur. Deney hesaplama büyüklüklerinden Q_1 , Q_2 , E_{eb} , ΔT , h , Ra_L , Nu_L , ΔT_y , h_y , Ra_{yL} ve Nu_{yL} ’nin değeri bütün deneyler için EK E’de Çizelge E.1’de verilmiştir.

6.2 Bir Kavitede Doğal Taşınım ve Işınım Halinde Isı Geçişinin Üç Boyutlu İncelenmesi

Kavite içindeki ısı geçişinin üç boyutlu dağılımını incelemek üzere $A=2.09$ kavitede deneyler yapılmıştır. Bu kavitede, kavite duvarlarının iç yüzeyleri orijinal hallerinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın, $\varepsilon=0.90$ yüzey yama katsayısı değerinde tutulmuştur. Işınım ile ısı geçişine izin verilmiştir. Bu nedenle, kavite içindeki ısı geçiş mekanizması doğal taşınım ve ışıdır. Kavite, düşey duvarlarından birinden yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmuş olup bunun karşısındaki düşey duvar aktif değildir. Bu sebeple, kavite bir aktif duvara sahiptir.

Bu çalışmanın diğer amaçları, yerel ısı kuyusunun duvardaki sıcaklık dağılımına etkisini incelemek, yerel ısı kuyusunun karşılıklı düşey duvarlar arasındaki sıcaklık farkına etkisini irdelemek, ısı kuyusu nedeniyle soğutulmuş duvar sıcaklığının kavite yüksekliği ve derinliği ile değişimini incelemek, ısı kuyusu nedeniyle yerel Nusselt sayısının kavite içindeki dağılımını incelemektir. Bu kavite üzerindeki incelemenin iki boyutlu yapıp yapılamayacağını irdelemek üzere, çalışmada üç ve iki boyutlu Nusselt sayılarına da odaklanılmıştır. Bu inceleme, tezde, aynı zamanda birinci paket olarak adlandırılmıştır.

Birinci paket deneyler kapsamında, $A=2.09$ kavitede, boyutsuz kavite derinliği (Z)'nin 0.875, 0.660, 0.500, 0.340 ve 0.125 olmak üzere beş farklı derinlik değerinde; ve her bir Z değerinde, boyutsuz kavite yüksekliği (Y)'nin 0.875, 0.721, 0.500, 0.279 ve 0.125 olmak üzere, beş farklı yükseklik değerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada toplam 25 noktada yerel değerler incelenmiştir. Her bir nokta bağımsız bir deney ile incelenmiştir. Bu nedenle, bu çalışma 25 adet deney yapılarak gerçekleştirilmiştir.

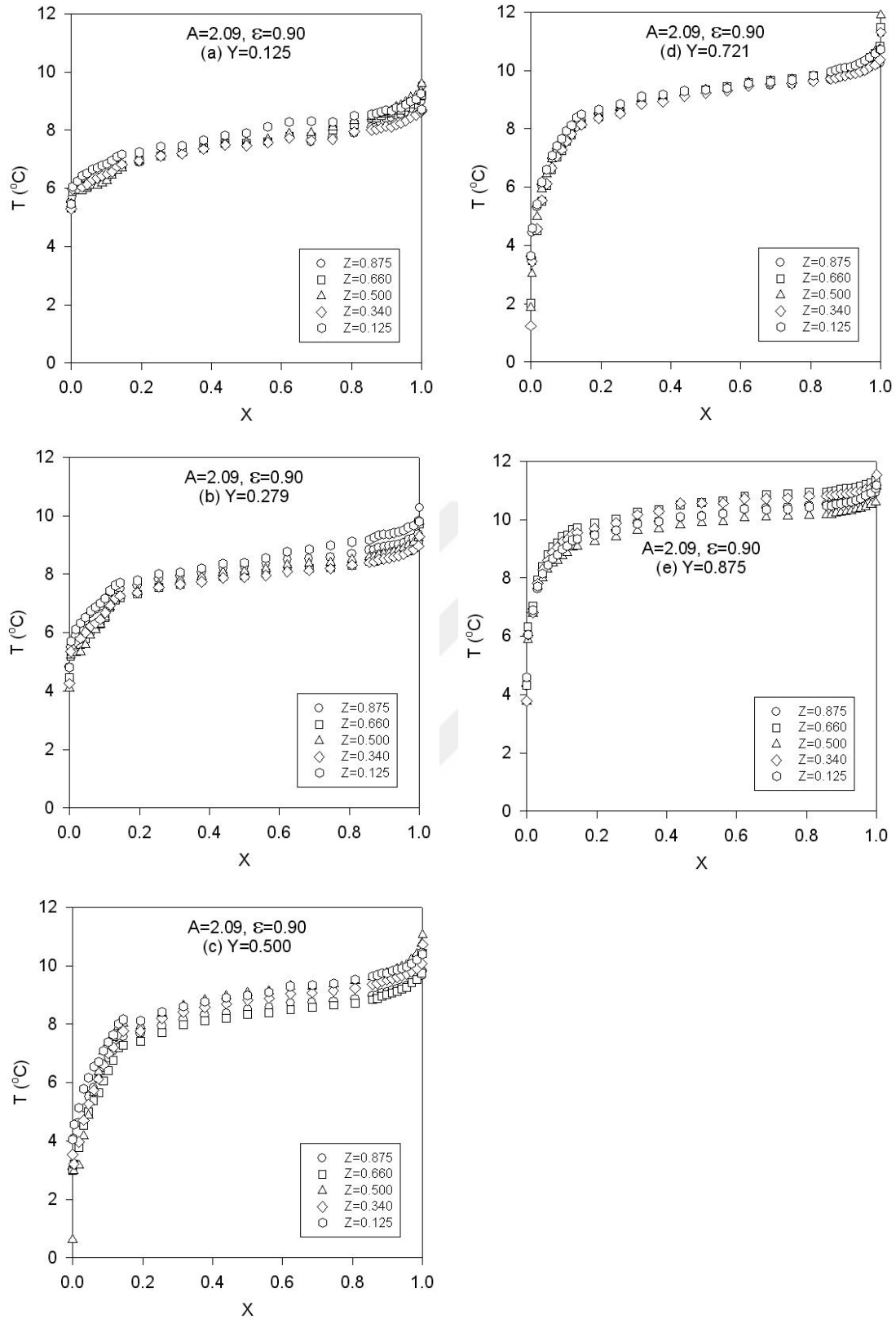
Çizelge 6.1'de bu birinci paket deneylerine ait deney matrisi sunulmuştur. Boyutsuz kavite genişliği (X), 0.0 ile 1.0 aralığında değişmektedir. Hava sıcaklık değeri 33 farklı kavite genişliği (X) değerinde; buna ek olarak, soğuk duvar ve sıcak duvar yüzey sıcaklıkları da birer noktada olmak üzere toplamda 35 farklı X noktasında sıcaklık ölçülmüştür. Buna göre, her bir Z düzleminde 175 noktada, ve bütün kavite hacminde toplamda 825 noktada sıcaklık verisi elde edilmiştir. Grafiklerin gösterimini ve anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla deney verileri, sabit Y veya sabit Z değerlerinde sunulmuştur.

Çizelge 6.1 : Birinci paket deneylerine ait deney matrisi.

Y	Z				
	0.875	0.660	0.500	0.279	0.125
0.875	+	+	+	+	+
0.721	+	+	+	+	+
0.500	+	+	+	+	+
0.279	+	+	+	+	+
0.125	+	+	+	+	+

Şekil 6.1(a), (b), (c), (d) ve (e)'de kavitenin sol ve sağ duvarları arasındaki sıcaklık dağılımı, sırasıyla boyutsuz kavite yüksekliğinin (Y), 0.125, 0.279, 0.500, 0.721 ve 0.875 değerleri için beş ayrı grafik halinde verilmiştir. Her bir Y değeri için boyutsuz kavite derinliğinin (Z), 0.125, 0.340, 0.500, 0.660 ve 0.875 değerlerine ait sonuçlar verilmiştir. Her bir Z değeri için ise x eksenı boyunca 35 konumdaki sıcaklık verisi vardır. Boyutsuz kavite genişliği (X), 0.0 ile 1.0 aralığında değişmektedir. Böylece, kavite içindeki sıcaklığın üç boyutlu dağılımı ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık, sol duvardan sağ duvara doğru X eksenı boyunca artmaktadır. X eksenı doğrultusunda üç bölge meydana gelmiştir. Merkez bölgede sıcaklık gradyanı düşüktür ve sıcaklık profili doğrusal bir değişim göstermektedir. Sıcaklık, mesafe ile yavaşça arttığı için, sıcaklık profilinin yatay ve dolayısıyla sabit olduğu söylenebilir. Taşınım hareketleri bakımından durağan bir bölge söz konusu olup buradaki ısı geçişi taşınım ile değil iletimle olmaktadır. Sol ve sağ duvarlara yakın bölgelerde sıcaklık gradyanı yüksektir ve sıcaklık keskince artmaktadır. Ancak, sıcaklığın artış hızı, sol ve sağ duvarlarda eşit değildir. Isı, ortamdan kaviteye sıcak duvarın yüzeyi üzerinden geçmektedir. Soğutulmuş duvar, yerel bir ısı kuyusu ile soğutulduğu için aktiftir. Bu nedenle soğutulmuş duvardaki sıcaklık gradyanı sıcak duvardakinden daha büyüktür. Soğutulmuş duvardaki sıcaklık gradyanı soğutulmuş duvardaki yerel ısı kuyusunun konumu nedeniyle Y ile değişmektedir. Sıcaklık gradyanı, $Y=0.125$ 'de en küçük değerdedir. Gradyan, $Y=0.125$ 'den $Y=0.279$ 'a gidildiğinde az miktarda, $Y=0.279$ 'dan $Y=0.500$ 'e gidildiğinde ise çok miktarda artmaktadır. $Y=0.500$ 'den $Y=0.721$ 'e gidildiğinde neredeyse sabittir. $Y=0.721$ 'den $Y=0.875$ 'e ise biraz azalmaktadır. Sıcak duvardaki sıcak duvardaki sıcaklık gradyanı Y ile değişmemektedir. Gradyan, $Y=0.125$, 0.279, 0.500, 0.721 ve 0.875'de neredeyse aynıdır. Gradyan, bunlar içinden $Y=0.500$ 'de en büyüktür.



Şekil 6.1 : Üç boyutlu inceleme halinde sol ve sağ duvarları arasındaki sıcaklık dağılımı; (a) $Y=0.125$, (b) $Y=0.279$, (c) $Y=0.500$, (d) $Y=0.721$, (e) $Y=0.875$.

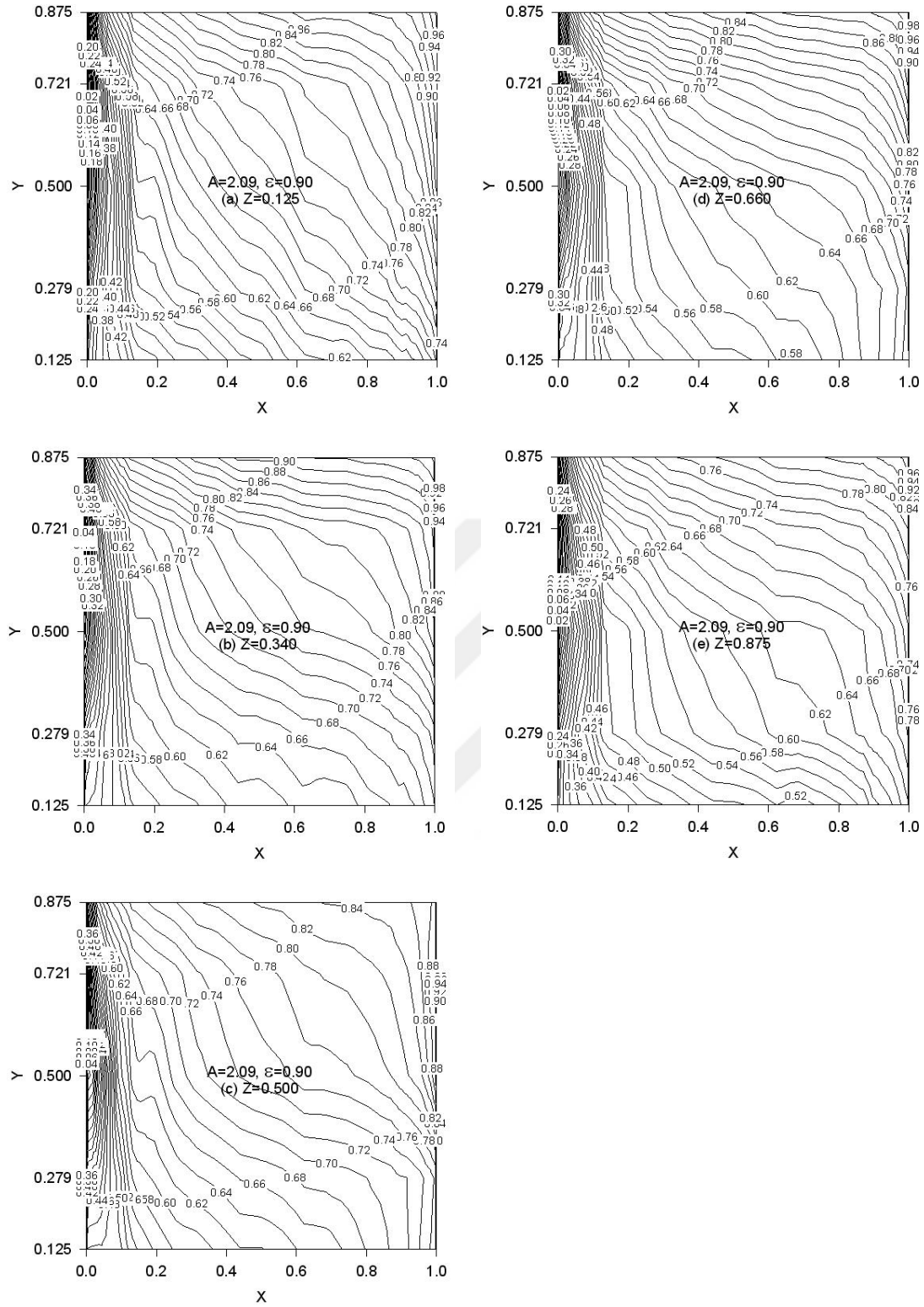
Boyutsuz kavite derinliğinin (Z) etkisini ele almak gerekirse, sol ve sağ duvarlardaki sıcaklık dağılımı, $Y=0.125$ ve 0.721 için değişen Z ile değişmemektedir. Profil,

$Y=0.279$, 0.500 ve 0.875 için değişen Z ile değişmektedir. $Y=0.279$ ve 0.875 durumlarında $Z=0.125$ ve 0.875 sıcaklık profilleri birbiriyle üst üste düşmektedir. Benzer biçimde, $Z=0.340$ ve 0.660 profilleri de birbiriyle çakışmaktadır. Dolayısıyla, sıcaklık profili bakımından bu Z çiftleri arasında, başka bir ifadeyle kavite derinliğinde çok iyi bir simetri elde edilmiştir. Bütün Y değerleri düşünülürse, sıcaklık profilinin kavite derinliğince fazla değişmediği sonucuna varılabilir.

Sıcaklık profili sonuçlarının literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılması özellikle soğutulmuş duvar bölgesi ve merkez bölgesi için yapılmıştır. Bunun nedeni, bu çalışmada sıcak duvar aktif değilken literatürdeki çalışmalarda sıcak duvarın aktif olmasıdır. Bu çalışmada, $X=0$ ile $X=1$ arasında, X eksenı boyunca olan sıcaklık dağılımını aynı anda ölçebilmek amacıyla her bir konum için bir adet olmak üzere toplamda 35 adet termoeleman kullanılmıştır. Hsieh ve Wang [16] ise sıcaklık dağılımını bir adet termoelemanı bir travers sistemi ile hareket ettirmek suretiyle ölçmüşlerdir. Ancak bu yöntemde $X=0$ ile $X=1$ arasında sıcaklık aynı anda değil, ardışık anlarda ölçülmüş olmaktadır. Bu tez çalışmasındaki sol duvardaki aşağı yönlü konkav eğri, sol duvardaki gradyan, merkez bölgedeki yatay çizgi, sağ duvardaki yukarı yönlü eğri ve bütün profilin genel biçimi, [16] numaralı çalışmada elde edilen sıcaklık profili sonuçları ile uyusmaktadır.

Şekil 6.2(a), (b), (c), (d) ve (e)'de kavite içindeki eş sıcaklık eğrileri (izoterm)ler) sırasıyla boyutsuz kavite derinliğinin (Z), 0.125 , 0.340 , 0.500 , 0.660 ve 0.875 değerleri için sunulmuştur. Grafiklerin her biri farklı bir Z düzlemini göstermektedir. Eş sıcaklık eğrileri, boyutsuz sıcaklığın (θ) kontur haritaları, başka bir ifadeyle, sıcaklık konturlarıdır. Her bir Z düzleminde, x eksenı boyunca 35 noktadaki ve y eksenı boyunca beş konumdaki sıcaklık ölçüm verileri bulunmaktadır. Şekil 6.2'de, boyutsuz kavite genişliği (X), 0 ile 1 arasında; boyutsuz kavite yüksekliği (Y) boyunca ölçümler, 0.125 ile 0.875 arasında yapıldığı için Y ise 0.125 ile 0.875 arasında sınırlandırılmıştır.

Eş sıcaklık eğrileri $X=0.0$ ile 0.1 arasında, soğutulmuş duvar civarında yoğunlaşmıştır. Bu bölgede eş sıcaklık eğrileri neredeyse düz, düşey ve duvara paraleldir. Bu bulgular Singh ve Singh [49]'in sonuçları ile uyusmaktadır. [49] numaralı çalışmada, düşey bir duvar, yerel olarak ısıtılmakta, bunun karşısındaki düşey duvar ve alt duvar adyabatik, üst duvar ise açıktır.



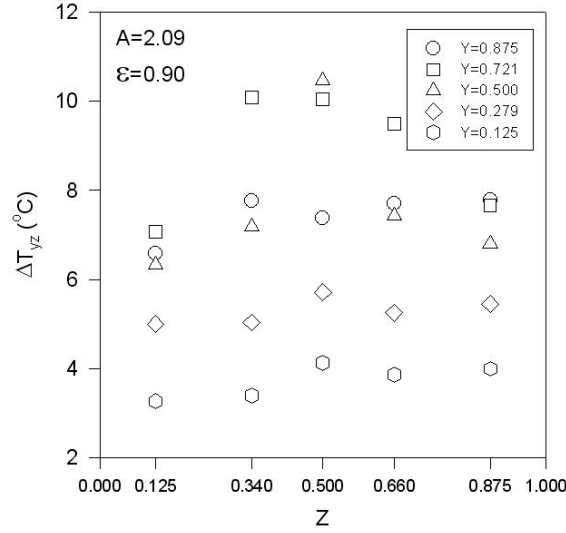
Şekil 6.2 : Üç boyutlu inceleme halinde kavite içindeki eş sıcaklık eğrileri; (a) $Z=0.125$, (b) $Z=0.340$, (c) $Z=0.500$, (d) $Z=0.660$, (e) $Z=0.875$.

Konturlar, duvarın üst yarısında alt yarısından daha yoğun olup Y 'nin 0.500 ile 0.875 aralığındaki bölümde toplanarak yoğunlaşmıştır. Boyutsuz sıcaklık (θ), Y 'nin 0.500 ile 0.721 aralığındaki bölümde en küçük değerdedir. Bu sonuç, yerel ısı kuyusunun

konumunu teyit etmektedir. Sıcaklık konturları, Y 'nin 0.125 ile 0.500 aralığında Y değeri azaldıkça daha seyrek aralıklı hale gelmektedir.

Eş sıcaklık eğrileri $X=0.1$ ile 1.0 arasında geniş aralıklı ve yayılmış vaziyettedir. Boyutsuz sıcaklık, $X=1.0$ 'de sıcak duvarın üst köşesinde, başka bir ifadeyle kavitenin sağ üst köşesinde en yüksek değerdedir; ve Y değeri azaldıkça azalmaktadır. Konturlar, $X=0.1$ ile 1.0 ve $Y=0.500$ ile 0.875 arasında kalan bölgede sola ve yukarı doğru eğrilmiş haldedir. Konturlar, $X=0.1$ ile 1.0 ve $Y=0.125$ ile 0.500 arasında kalan bölgede sağa ve aşağı doğru eğrilmiş durumdadır. Her iki bölge birlikte düşünülürse, akışkan alt sol köşeden, üst sağ köşeye doğru, saatin tersi yönünde hareket etmektedir. Üst sol köşe ile alt sağ köşe arasındaki köşegen çizgi düşünülürse, sıcaklık konturlarının $X=0.1$ ile 1.0 arasındaki bölgede neredeyse simetrik olduğu söylenebilir. Yine bu bölgede boyutsuz sıcaklık (θ), üst sağ köşeden, alt sol köşeye doğru azalmaktadır. Konturlar, Y 'nin 0.500 ile 0.875 aralığında, sıcak duvarın yakınında daha yoğundur. Konturların sıcak duvardaki yoğunlaşması, yerelleşmesi, soğuk duvardakinden daha zayıftır. Söz konusu beş kavite derinliğine ait sonuçlar birlikte ele alınırsa eş sıcaklık eğrilerinin değişen boyutsuz kavite derinliği (Z) ile değişmediği söylenebilir.

Şekil 6.3'de sıcak (T_{hyz}) ve soğutulmuş (T_{cyz}) duvar yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın (ΔT_{yz}), toplamda 25 ölçüm noktasında kavite yüksekliği ve derinliği ile değişimi sunulmuştur. $Y=0.125$, 0.279 ve 0.875 hallerinde yerel sıcaklık farkı (ΔT_{yz}), Z ile az miktarda değişmektedir. $Y=0.125$ durumunda sıcaklık farkı Z 'nin 0.125'den 0.875'e değişmesiyle 3.27 °C'den 4.00 °C'ye artmaktadır. $Y=0.279$ durumunda ise sıcaklık farkı Z 'nin 0.125'den 0.875'e değişmesiyle 5.00 °C'den 5.45 °C'ye artmaktadır. Benzer bir sonuç $Y=0.875$ yüksekliği için de geçerlidir. Aynı sonuç, $Z=0.500$ noktası hariç $Y=0.500$ için de geçerlidir. Kısaca özetlemek gerekirse $Y=0.500$ ve 0.721 durumlarında sıcaklık farkı Z , 0.125'den 0.875'e değişirken artan bir eğilim göstermektedir. $Z=0.875$ 'deki sonuç $Z=0.125$ 'den biraz daha yüksek; fakat her iki değer de $Z=0.500$ 'deki değerden daha küçüktür. Ayrıca $Y=0.500$ ve 0.721 durumlarında, sıcaklık farkı $Z=0.340$ 'dan 0.500'e giderken dik bir biçimde artmakta, $Z=0.500$ 'de maksimuma ulaşmakta, $Z=0.500$ 'den 0.875'e giderken ise dik bir şekilde azalmaktadır. Bunun nedeni yerel ısı kuyusunun $Z=0.400$ ile 0.600 arasında bulunuyor olmasıdır. Artış eğilimi, maksimuma ulaşma ve azalma eğilimi $Y=0.125$ ve 0.279 durumlarında da görülmüştür. Ancak, artış ve azalma hızları daha küçüktür.



Şekil 6.3 : Üç boyutlu inceleme halinde yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği ve derinliği boyunca değişimi.

Diğer taraftan, $Y=0.721$ durumunda, diğer ölçümlerin aksine $Z=0.340$ noktasındaki değer 0.500 ile aynı olduğu için bu noktayı istisnai bir nokta olarak ele almak gerekir. $Y=0.500$ durumunda, sıcaklık farkı Z 'nin 0.125 'den 0.875 'e değişmesiyle sırasıyla 6.33 °C'den 6.80 °C'ye artmakta; Z 'nin 0.340 'dan 0.660 'a değişmesiyle ise sırasıyla 7.19 °C'den 7.43 °C'ye artmaktadır. Dolayısıyla, karşılıklı iki noktadaki ΔT_{yz} değerleri birbirine yakın, fakat eşit değildir. Özetle, $Y=0.125$, 0.279 ve 0.500 değerleri için ΔT_{yz} için Z yönünde küçük bir asimetri olduğu çıkarımı yapılabilir.

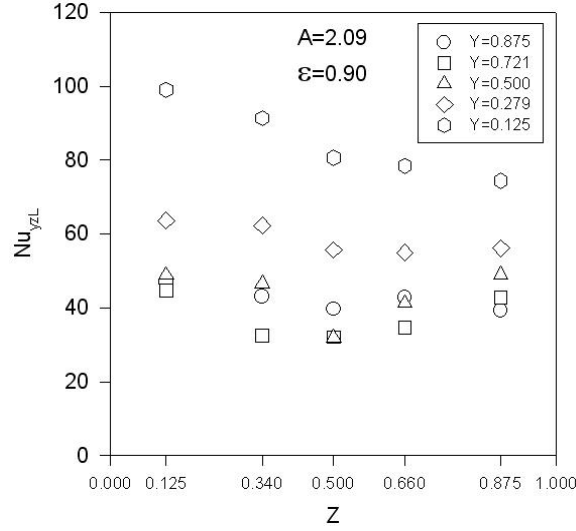
Asimetri, $Y=0.549$ ve 0.672 arasında ısı kuyusunun bulunuyor olmasına rağmen $Y=0.500$ 'e ilaveten $Y=0.721$ değerinde de gözlenmiş; dolayısıyla $Y=0.500$ ile 0.721 arasında da gerçekleşmiştir. Bu nedenle ΔT_{yz} 'deki asimetrinin T_{hyz} 'deki asimetriden kaynaklandığı çıkarımı yapılabilir. ΔT_{yz} , (y,z) ölçüm noktasındaki sıcak (T_{hyz}) ve soğutulmuş (T_{cyz}) duvar yüzey sıcaklıkları arasındaki farktır. Soğutulmuş duvarda bir ısı kuyusu bulunduğu için aktiftir. Ancak, sıcak duvarda bir ısı kaynağı yoktur ve aktif değildir. Ayrıca, soğutulmuş duvar alüminyum, sıcak duvar ise plastik malzemeden mamuldür. Sıcak duvardaki ısı sınır şartı ve sıcak duvar malzemesinin ısı iletim katsayısı T_{hyz} için Z yönünde küçük bir asimetriye sebep olmuş olabilir. Eğer sıcak duvar bir ısı kaynağına sahip ve alüminyum malzemeden üretilmiş olsaydı sıcak duvar daha düzgün bir sıcaklık dağılımına sahip olurdu ve böylelikle kendini sınırlayan komşu duvarlardan, gerek kavite içi ve gerekse kavite dışı akışkan hareketlerinden daha az etkilenirdi. Fakat, bütün bunlara karşın sıcak duvarın ısı

sınır şartı ve malzemesi, sırf orijinal ürünlerdeki hallerinde korunabilmek maksadıyla değiştirilmemiştir.

Yerel sıcaklık farkı (ΔT_{yz}) Y ile değişmektedir. Bütün derinlik (Z) değerlerinde sıcaklık farkı $Y=0.125$ ile 0.279 arasında ve $Y=0.279$ ile 0.500 arasında artmaktadır. En büyük artış yerel ısı kuyusunun konumu sebebiyle orta kavite derinliğinde ($Z=0.500$), $Y=0.279$ ile 0.500 arasındadır. $Z=0.500$ değeri için, ΔT_{yz} , $Y=0.500$ ile 0.721 arasında yaklaşık sabit ve $Y=0.721$ ile 0.875 arasında azalmaktadır. $Z=0.125$ ve 0.875 değerleri için, ΔT_{yz} , $Y=0.500$ ile 0.721 arasında bir miktar artmakta ve $Y=0.721$ ile 0.875 arasında yerel ısı kuyusu sebebiyle değişmemektedir. Ancak, $Z=0.340$, 0.500 ve 0.660 değerleri için kuyunun etkisi gözlenmiş ve bu sebeple ΔT_{yz} , $Y=0.875$ değerinde $Y=0.721$ değerinden daha küçük hale gelmiştir.

Yerel sıcaklık farkı, Y , 0.125 'den 0.875 'e doğru arttıkça artmaktadır. Şekil 6.3, denklem 5.29 sebebiyle, Rayleigh sayısının, kavite yüksekliği ve kavite derinliği ile değişimlerini de temsil etmektedir.

Şekil 6.4'de kavite içindeki yerel Nusselt sayısının (Nu_{yzL}) beş kavite yüksekliği ve beş kavite derinliğine göre dağılımı çizilmiştir. Bütün yükseklikler düşünülürse Nusselt sayısı, $Z=0.125$ 'den $Z=0.500$ 'e gittikçe azalmakta; $Z=0.500$ 'den $Z=0.875$ 'e gittikçe ise artmaktadır. Ayrıca, söz konusu ilk bölgedeki değişim hızı, son bölgeden daha büyüktür. Buna ek olarak, Nusselt sayısının derinlikle değişimi $Y=0.125$ değerinde en büyük gerçekleşmiştir. Bu değerdeki değişim ele alınırsa, bunun ilk bölgede, son bölgeden daha büyük olduğu görülür. Şekil 6.3 ile Şekil 6.4 birlikte düşünülürse sıcaklık farkı arttıkça Nusselt sayısının azaldığı görülür ki bu değişim denklem 5.27'deki ilişkinin bir sonucu olarak meydana gelmiştir. Nusselt sayısı, sıcaklık farkının aksine Y , 0.125 'den 0.875 'e gidildikçe azalmaktadır; ve bu değişim bütün derinlikler için söz konusudur. Ayrıca, belirli bir derinlik değerinde Nusselt sayısının yükseklik ile değişimi Y 'nin farklı değerleri için farklı derecede meydana gelmiştir. Y 'nin 0.125 ile 0.279 aralığında, Nusselt sayısı Y değeri arttıkça büyük miktarda azalmaktadır. Y 'nin 0.279 ile 0.500 aralığında bu azalış orta derecededir. Y 'nin 0.500 ile 0.875 aralığında değişim az miktardadır. Bunun nedeni ısı kuyusunun $Y=0.549$ ve 0.672 arasında bulunuyor olmasıdır. Bunun dışında $Y=0.500$, 0.721 ve 0.875 'e ait grafikler aynı profile sahiptir. Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi kavitenin üst yarısında, alt yarısından daha düzgündür.



Şekil 6.4 : Üç boyutlu inceleme halinde yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği ve derinliği boyunca değişimi.

Z'nin 0.125 ve 0.875 değerlerinde, Nusselt sayısı duvarlara yakın bölgelerde çok fazla değişmektedir. Z'nin 0.340 ile 0.875 aralığında, yani merkez bölgede, Nusselt sayısı az değişmektedir. ΔT_{yz} 'deki küçük asimetri Nusselt sayısında küçük bir asimetriye sebep olmuştur. Y=0.125 ve 0.279 değerlerinde, Nusselt sayısı için Z yönünde bir asimetri vardır. Y=0.500 değerinde Nusselt sayısı Z'nin 0.125 ve 0.875 değerlerinde sırasıyla 48.9 ve 49.1'dir. Y=0.721 değerinde Nusselt sayısı Z'nin 0.125 ve 0.875 değerlerinde sırasıyla 44.7 ve 42.8'dir. Bu sonuçlara göre, Nusselt sayısındaki asimetri Y=0.500 ve 0.721 değerlerinde, Y=0.125 ve 0.279 değerlerindeki kadar küçük değildir. Yükseklik değeri arttıkça sıcaklık farkı azalmakta, bu sebeple ise sıcaklık farkının Nusselt sayısına etkisi azalmaktadır.

Literatürde, Fusegi ve diğ. [22] ve Mallinson ve De Vahl Davis [26], Nusselt sayısının kavite derinliğine göre değişimini sunmuşlardır. Isı geçişi sadece doğal taşınım yoluyla ve kavite bir duvarından ısıtılan diğer duvarından soğutulan bir kavitedir. [22, 26] çalışmalarında, Rayleigh sayısının 10^6 değerinde Z=0.200 ile 0.800 aralığında Nusselt sayısının duvarlara yakın bölgelerde keskince değiştiğini, merkez bölgede ise sabit kaldığını bulmuşlardır. Buradaki çalışmanın sonuçlarının [22, 26]'daki sonuçlardan farklı olması, ısı geçiş mekanizmasındaki, ısıl sınır şartlarındaki ve yükseklik genişlik oranındaki farklılıklardan kaynaklanabilir.

Ortalama Nusselt sayısı Şekil 6.4'de görülen sonuçların hem Y hem de Z yönünde ağırlıklı ortalaması alınarak bulunmuştur. İlk önce sabit bir Z değerinde Y'nin 0 ile 1 aralığında Y yönündeki ağırlıklı ortalama hesaplanmıştır. Ağırlık faktörleri, Y'nin

0.125, 0.279, 0.500, 0.721 ve 0.875 değerleri için sırasıyla 0.19118, 0.17647, 0.26471, 0.17647 ve 0.19118'dir. Böylelikle beş adet Z konumunun her biri için bir ortalama değer bulunmuştur. Nusselt sayısı, Z'nin 0.125, 0.340, 0.500, 0.660 ve 0.875 değerleri için sırasıyla 59.9, 54.8, 46.9, 49.9 ve 52.2'dir. Bu aşamadan sonra aynı ağırlık faktörleri kullanılarak Z'nin 0 ile 1 aralığında Z yönündeki ağırlıklı ortalama hesaplanmıştır. Kavitenin ortalama Nusselt sayısı 52.3 olarak bulunmuştur. Ortalama Rayleigh sayısı açıklanan yöntem aynen kullanılarak hesaplanmıştır. Kavitenin ortalama Rayleigh sayısı 3.78×10^6 olarak bulunmuştur. Kavite ortalama ısı geçiş büyüklüklerini belirlemek üzere kullanılan bu yöntem üç boyutlu yaklaşım olarak adlandırılmıştır.

Diğer bir ortalama Nusselt sayısı kavitenin ortalama derinliğinde hesaplanmıştır. Bu amaçla, boyutsuz kavite derinliğinin (Z) 0.500 değerindeki sonuçlar kullanılmıştır. Y'nin 0 ile 1 aralığında Y yönündeki ağırlıklı ortalama, yukarıdaki ağırlık faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalama Nusselt ve Rayleigh sayıları sırasıyla 46.9 ve 4.37×10^6 olarak bulunmuştur. Bu yöntem iki boyutlu yaklaşım olarak isimlendirilmiştir. Rayleigh sayıları eşit olmamasına rağmen iki ve üç boyutlu yaklaşımlar birbiriyle karşılaştırılırsa Nusselt sayısını iki boyutlu yöntemin, üç boyutlu yöntemden % 10.3 daha düşük bulduğu görülür.

Yerel ısı kuyusu $Y=0.549$ ve 0.672 arasında bulunduğu için başka bir yaklaşım daha sergilenmiştir. $Z=0.500$ değerinde, boyutsuz kavite yüksekliğinin (Y) 0.500 ve 0.721 değerleri için yerel Rayleigh sayısı sırasıyla 5.99×10^6 ve 5.65×10^6 ve yerel Nusselt sayısı sırasıyla 31.9 ve 32.1'dir. Bu iki nokta ele alınarak ortalama Rayleigh ve Nusselt sayıları sırasıyla 5.82×10^6 ve 32.0 olarak bulunmuştur. Nusselt sayısı yerel ısı kuyusunun bulunduğu bu iki nokta arasında sabittir. İki boyutlu yaklaşım sonucunda Nusselt sayısı 46.9 olarak elde edilmişti. Bu sonuçları özetlemek gerekirse Nusselt sayısı, duvarın yerel ısı kuyusunun bulunduğu bölgesinde ve duvarın tamamında sırasıyla 32.1 ve 46.9'dur. Bütün yüzeyin Nusselt sayısı kuyu bulunmayan bölge nedeniyle artmaktadır. Buna göre şu çıkarım yapılabilir. Yerel ısı kuyusu ne kadar büyük olursa Nusselt sayısının kavite yüksekliğince olan dağılımı o kadar daha düzgün olur; ve ayrıca kavite ortalama Nusselt sayısı o kadar küçük olur.

Şekil 6.4'deki Nusselt sayısı dağılımına göre, en küçük Nusselt sayısı $Y=0.500$ ve $Z=0.500$ noktasında 31.9 olarak gerçekleşmiştir. Bu nokta için Rayleigh sayısı 5.99×10^6 değerindedir.

Çizelge 6.2’de, üç boyutlu inceleme durumu için bu tez çalışmasının sonuçları literatür ile karşılaştırılmıştır. Çizelgede, Rayleigh ve Nusselt sayıları kavite genişliğine göre tanımlanmıştır. Tez çalışması için iki boyutlu yaklaşımın sonuçları dikkate alınmıştır. Yükseklik genişlik oranı (A) 2.09’dur. Kavite, düşey duvarlarından birinden yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmakta, bunun karşısındaki düşey duvar ise üzerinde ısıtıcı bulunmadığı için aktif olmayandır. Altı duvar için yüzey yayma katsayısı 0.90’dır. Duvarların yüzey yayma katsayısı azaltılmadığı için ışınlama ısı geçişine izin verilmiştir. Bu sebeple ısı geçişi doğal taşınım ve ışınlım yoluyla olur.

Çizelge 6.2 : Üç boyutlu inceleme halinde elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması.

Araştırmacı	A	Ra	Nu
Bu tez çalışması	2.09	4.37×10^6	46.9
[1]	1	10^6	8.8
[16]’daki korelasyon	2.09	4.37×10^6	23.6
[27]	1	10^7	16.5
[27]	1	1.5×10^9	54
[34]	1	1.5×10^9	66.9

De Vahl Davis ve Jones [1]’un sayısal çalışmasında kavite bir karedir ve ısı geçiş mekanizması sadece doğal taşınımdır. Hsieh ve Wang [16]’ın deneysel çalışmasında ısı geçişi korelasyonu sadece doğal taşınım için ve yükseklik genişlik oranının 3 ile 10 aralığında sunulmuştur. Korelasyon, bu tez çalışmasının $A=2.09$ değerindeki yükseklik genişlik oranı için geçerli olmamasına rağmen karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmıştır. Korelasyonda, Rayleigh ve Nusselt sayıları sırasıyla kavite yüksekliğine ve genişliğine göre tanımlanmış olduğu için, ilk olarak buradaki çalışma için kavite yüksekliğine göre tanımlanmış Rayleigh sayısı hesaplanmıştır (3.97×10^7). Sonra buradaki çalışmanın yükseklik genişlik oranı ve Prandtl sayısı da dikkate alınarak Rayleigh sayısının 1.4×10^7 ’den büyük olması durumu için denklem 2.12’deki korelasyon kullanılarak Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Salat ve diğ. [27]’nin çalışmasında yalnızca doğal taşınım halinde ısı geçişi incelenmiştir. Rayleigh sayısı, sayısal ve deneysel incelemelerde sırasıyla 10^7 ve 1.5×10^9 ’dur. Deneysel incelemede sıcak ve soğuk duvarlar parlatılmış alüminyum, üst ve alt duvarlar alüminyum folyodur. Ibrahim ve diğ. [34]’nin sayısal çalışmasında, yüzey

ışınımı ile birlikte doğal taşınım Rayleigh sayısının 1.5×10^9 değerinde incelenmiştir. Sıcak ve soğuk duvarların yüzey yayma katsayıları sırasıyla 0.1 ve 0.2'dir. [27, 34] numaralı çalışmalarda kavite, kenar uzunluğu 1000 mm olan bir karedir. [1, 16, 27, 34] numaralı çalışmalarda kavite, düşey bir duvarından soğutulan bunun karşısındaki düşey duvarından ise ısıtılan, dolayısıyla iki aktif duvara sahip bir kavitedir. [1, 16, 27] atıflı çalışmalarda, ısı geçiş mekanizması sadece doğal taşınımdır. [34] numaralı çalışmada ışınlama ısı geçişine kısmen izin verildiği için ısı geçiş mekanizması taşınım ve ışınlamadır.

Çizelge 6.2'de De Vahl Davis ve Jones [1] ile Salat ve diğ. [27] arasındaki karşılaştırmaya göre Rayleigh sayısı 10^6 'dan 10^7 'ye çıkarıldığında, Nusselt sayısı 1.9 kat artmaktadır. Salat ve diğ. [27] ile Ibrahim ve diğ. [34] arasındaki karşılaştırmaya göre, Rayleigh sayısının 1.5×10^9 değerinde, ısı geçişi, sadece taşınımdan, taşınım ve ışınlama değiştirildiğinde Nusselt sayısı 54'den 66.9'a yükselmektedir. Ibrahim ve diğ. [34]'in çalışmasında yüzey yayma katsayısı 0.1-0.2'dir. Çizelgeye göre bir diğer sonuç, bu tez çalışmasında elde edilen Nusselt sayısı Hsieh ve Wang [16]'ın korelasyonu ile hesaplanan Nusselt sayısının iki katıdır. Yapılan bu karşılaştırmalar ışığında, buradaki çalışma ile Hsieh ve Wang [16]'ın çalışması arasındaki büyük farkın ısı geçiş mekanizması ve sınır şartlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir. Buradaki çalışmada ısı geçiş mekanizması sadece taşınım ve ışınlamadır ve kavite sadece bir aktif duvara sahiptir. Ayrıca, karşılıklı iki düşey duvar arasındaki sıcaklık farkı kavite yüksekliğince değişmektedir. Ancak Hsieh ve Wang [16]'ın çalışmasında ısı geçiş mekanizması sadece taşınımdır, kavite iki aktif duvara sahiptir ve korelasyon buradaki çalışmanın yükseklik genişlik oranında geçerli değildir.

6.3 İki Boyutlu Isı Geçişinin Bütün Kavitelere Doğal Taşınım ve Işınlım Halinde İncelenmesi

Kavite içindeki iki boyutlu ısı geçişini farklı kavite yükseklik genişlik oranı (A) değerlerinde incelemek üzere, $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olmak üzere altı adet kavitede deneyler yapılmıştır. Deneyler, sadece bir kavite derinliğinde, başka bir ifadeyle kavitenin $Z=0.500$ simetri düzleminde gerçekleştirildiği için inceleme bir önceki bölümdeki gibi üç boyutlu değil iki boyutlu yapılmıştır. Bu deneylerde, kavite duvarlarının iç yüzeyleri orijinal hallerinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın,

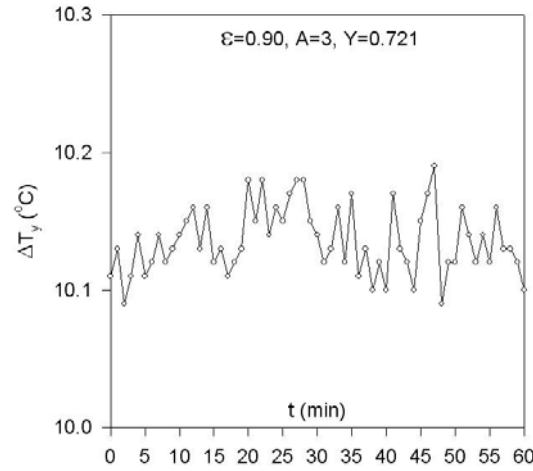
$\varepsilon=0.90$ yüzey yayma katsayısı değerinde tutulmuştur. Bu nedenle, ısı geçiş mekanizması doğal taşınım ve ışınlım yoluyla. Her bir kavitede, $Y=0.971, 0.875, 0.721, 0.500, 0.279, 0.125$ ve 0.029 olmak üzere, yedi farklı kavite yüksekliğinde deneyler gerçekleştirilerek gerek ortalama ve gerekse yerel değerler incelenmiştir. Böylece, sıcaklık dağılımının ve ısı geçişinin kavite yüksekliğince değişimi iredelenmiştir. Bu deneyler tezde ikinci paket deneyler olarak isimlendirilmiştir. Çalışmada toplam 42 adet noktada inceleme yapılmış olup deney matrisi Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3 : İkinci paket deneylerine ait deney matrisi.

Y	A					
	1	2.09	3	4	5	6
0.971	+	+	+	+	+	+
0.875	+	+	+	+	+	+
0.721	+	+	+	+	+	+
0.500	+	+	+	+	+	+
0.279	+	+	+	+	+	+
0.125	+	+	+	+	+	+
0.029	+	+	+	+	+	+

Çizelgede görülen, $A=2.09$ kavite için, $Y=0.875, 0.721, 0.500, 0.279$ ve 0.125 deney noktaları bir önceki bölüm kapsamında ele alınmış olan deneyler ile aynıdır. Bu nedenle, bu bölümdeki deney matrisini tamamlamak üzere 37 ($=42-5$) deney yapılmıştır. Deney matrisindeki noktaların her birinde, 35 adet sıcaklık verisi elde edilmiştir. Her bir kavite için, yerel sıcaklık dağılımı 245 ($=7 \times 35$) noktada elde edilmiştir.

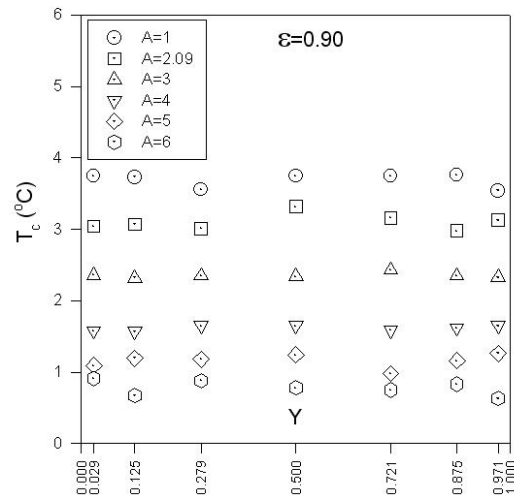
Şekil 6.5’de doğal taşınım ve ışınlım halinde sıcaklık ölçümünün zamana bağlı değişimi sunulmuştur. Zaman periyodu 4 saat süreli deneyin son 60 dakikasıdır. Ölçüm verisi toplama sıklığı bir dakikadır. Sıcaklık büyüklüğü olarak y ölçüm konumunda yerel sıcak duvar yüzey sıcaklığı (T_{hy}) ile yerel soğutulmuş duvar yüzey sıcaklığı (T_{cy}) arasındaki farkı gösteren ΔT_y seçilmiştir. Bu seçimin iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, ΔT_y ile iki ölçüm büyüklüğü tek bir büyüklük altında temsil edilmektedir. İkincisi, ΔT_y yerel ısı geçiş katsayısını doğrudan etkilemektedir. Gerçekleştirilmiş olan 42 adet deneyden bir tanesinin sonuçları örnek olarak Şekil 6.5’de verilmiştir. Grafik, $A=3, Y=0.721$ deneyine aittir.



Şekil 6.5 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde, $A=3$, $Y=0.721$ deneyinde sıcaklığın zamanla değişimi.

Diğer taraftan, EK D'deki Çizelge D.2'de sunulduğu üzere, $A=3$, $Y=0.721$ deneyinde T_{hy} ve T_{cy} büyüklüklerindeki standart sapma sırasıyla 0.0150 ve 0.0177 °C'dir. Bu sonuçlara göre, zamana bağlı sıcaklık salınımı küçüktür ve sürekli rejim elde edilmiştir. Hesaplamalarda, zamanla değişmekte olan bir büyüklüğü temsil etmek üzere bu büyüklüğün aritmetik ortalama değerinin kullanılabileceği grafik olarak da gösterilmiş olmaktadır.

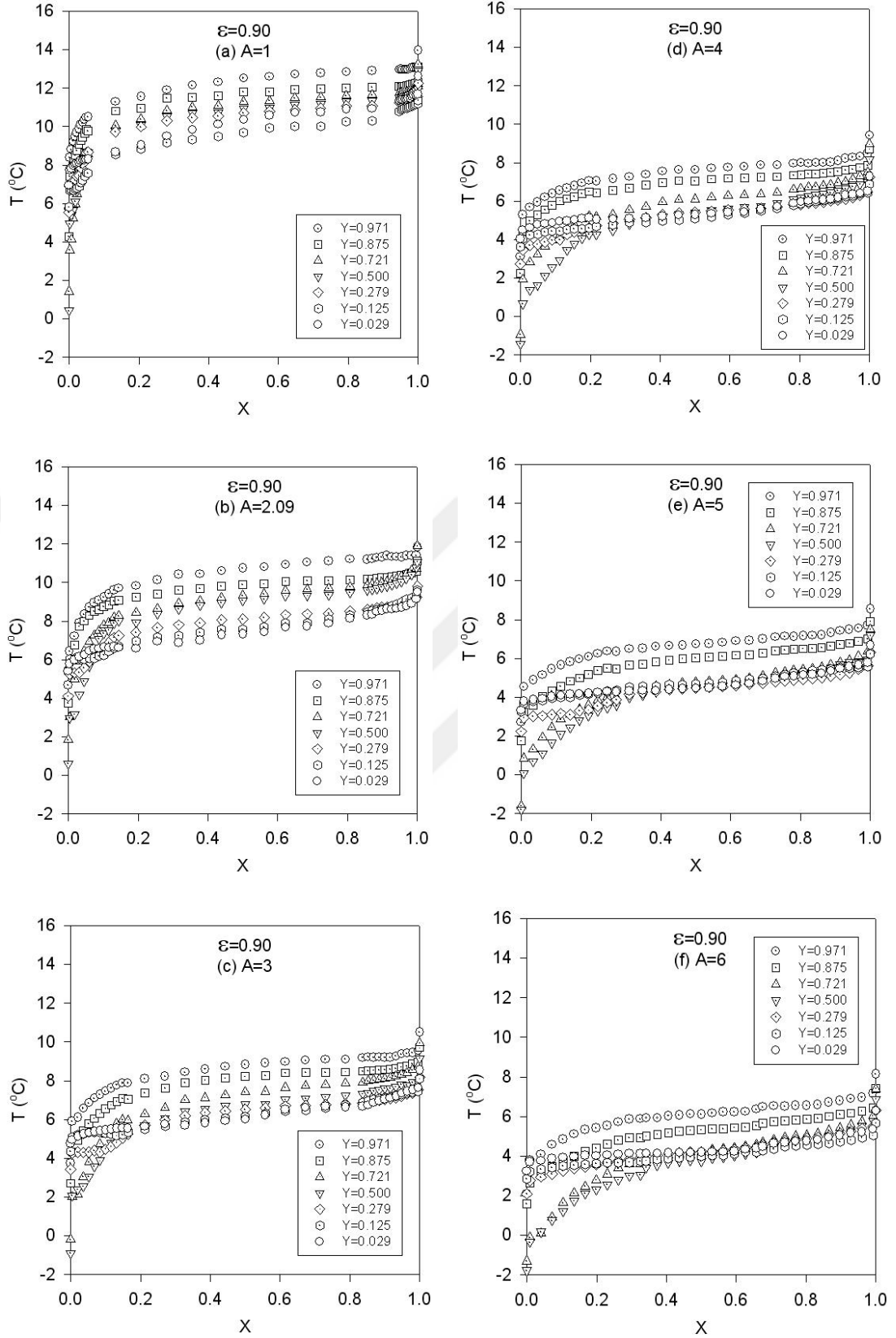
Bütün deneylerde, Şekil 4.4(a)'da gösterildiği gibi ortalama soğutulmuş duvarın yüzey sıcaklığı (T_c) $x=0$, $y=H/2$ ve $z=7D/8$ konumunda ölçülmüştür. Şekil 6.6'da doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama soğutulmuş duvarın yüzey sıcaklığının deneylerdeki değişimi sunulmuştur.



Şekil 6.6 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde bütün deneyler için ortalama soğutulmuş duvar yüzey sıcaklığı.

Şekildeki verilerin her biri farklı bir deneyi temsil etmektedir. Şekilde her bir kavite için yedi adet olmak üzere ve toplamda 42 adet veri bulunmaktadır. Grafik yedi adet deneyde de soğutulmuş duvarın yüzey sıcaklığının sabit olduğunu ve bu sonucun her bir kavite için de geçerli olduğunu göstermektedir. Grafik ayrıca yükseklik genişlik oranı 1'den 6'ya arttıkça ortalama soğutulmuş duvar yüzey sıcaklığının 3.69 °C'den 0.78 °C'ye azaldığını göstermektedir. Sıcaklığın azalmasının nedeni soğutucunun kapasitesi sabitken yükseklik genişlik oranı arttıkça kavitenin hacminin azalıyor olmasıdır.

Şekil 6.7(a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de doğal taşınım ve ışıınım durumunda sıcaklık dağılımı sırasıyla yükseklik genişlik oranı $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan dikdörtgen kaviteler için çizilmiştir. Sol ve sağ duvarlar arasındaki profil, boyutsuz kavite yüksekliğinin (Y) $0.029, 0.125, 0.279, 0.500, 0.721, 0.875$ ve 0.971 değerleri için verilmiştir. Her bir yükseklik değerinde 35 adet veri bulunmaktadır. Boyutsuz kavite genişliği x eksenini boyunca $X=0$ ile 1 arasındadır. Sol duvar T_c sıcaklığında soğutulmakta olduğu için ve sağ duvar T_h sıcaklığında aktif olmayan şekilde bulunmakta olduğu için sıcaklık $X=0$ 'dan $X=1$ 'e doğru artmaktadır. Sağ duvardaki ısı geçişi ortamdan kavite içine doğru iletim yoluyla. Bu nedenle, yatay yöndeki sıcaklık gradyanı soğutulmuş sol duvarda sıcak sağ duvardakinden daha büyüktür. Grafiklerden görüldüğü gibi yerel soğutucunun kapasitesi sabit vaziyetteyken yükseklik genişlik oranı artarken kavitenin hacmi azaldığı için sıcaklık azalmaktadır. Grafiklere göre ayrıca $X=0$ ve $X=1$ arasında sırasıyla sol, merkez ve sağ olmak üzere üç bölge meydana gelmiştir. Kavitenin merkez bölgesinde sıcaklık X ile çok az değişmektedir. Eğri doğrusaldır, sıcaklık profili yaklaşık sabittir ve akışkan neredeyse durağandır. Ek olarak merkez bölgedeki eğrinin eğimi yükseklik genişlik oranı arttıkça azalmaktadır. Kavitenin sol bölgesinde sıcaklık gradyanı büyüktür. $A=1$ kavite durumunda profil bütün yükseklik değerleri için artan ve aşağı doğru konkavdır. Ancak bu sonuç bütün kaviteler ve yükseklikler için geçerli değildir. $A=2.09$ ve $A=3$ kavitelerinde profil yüksekliğin $Y=0.125$ ile 0.971 aralığında aşağı doğru konkavken $Y=0.029$ değerinde doğrusaldır. $A=4, 5$ ve 6 kavitelerinde ise profil $Y=0.500, 0.721, 0.875$ ve 0.971 değerlerinde aşağı doğru konkav biçimliken $Y=0.029, 0.125$ ve 0.279 değerlerinde neredeyse yataydır. Hava, sıcaklığın doğrusal olduğu yükseklik değerlerinde hareketsizdir. Kavitenin sağ bölgesindeki sıcaklık profili bir eğri değil, çizgidir.



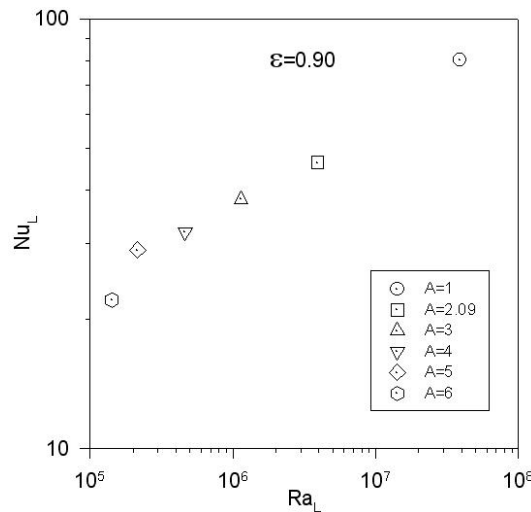
Şekil 6.7 : Doğal taşınım ve ışıma halinde kavite içindeki sıcaklık dağılımı; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$.

Yükseklik genişlik oranı arttıkça sağ bölgedeki eğri merkez bölgedeki eğri ile birleşmekte; sağ ve merkez bölgeler arasındaki sınır ortadan kalkmakta, yok

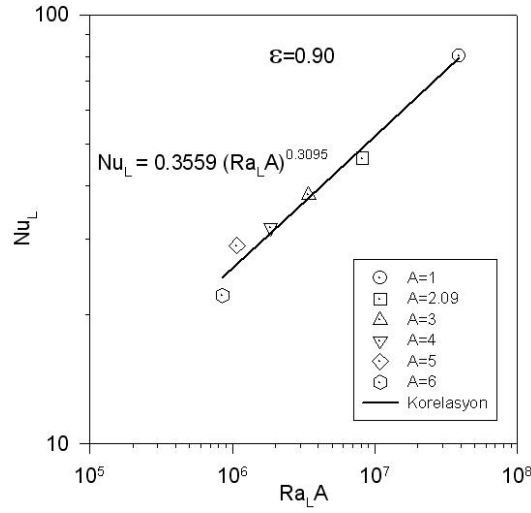
olmaktadır. Dolayısıyla, sınır artık ortadan kalkmıştır. $A=2.09$ ve 3 durumlarında, sıcaklık profili yükseklik değerlerinin bir çoğunda sürekli biçimdedir. $A=4, 5$ ve 6 durumlarında, profil bütün yüksekliklerde sürekli dir. Şekildeki grafiklere göre Y değeri 0.971’den 0.029’a doğru küçüldükçe sıcaklık azalmaktadır. $A=1$ ve 2.09 kavite lerinde farklı yüksekliklere ait sıcaklık profilleri birbirinden ayrıışmıştır. $A=3$ kavitesinde $Y=0.125$ ve 0.029 yüksekliklerindeki eğriler birbirine yakındır. $A=1$ ve 2.09 kavite lerinde ise $Y=0.721, 0.500, 0.279, 0.125$ ve 0.029 yüksekliklerine ait sıcaklık profilleri $X=0.3$ ve 1.0 arasında birbirine yakındır.

6.3.1 Doğal taşınım ve ışı nım halinde ortalama ısı geçişi

İncelenen kavite lerde ortalama ısı geçişi büyüklükleri belirlenmiştir. Her bir kavite için yedi deney yapılmıştır. Bu nedenle, bir kavitede yedi ayrı deneye ait ortalama ısı geçişi büyüklüğü mevcuttur. Bu yedi değerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama Nusselt sayısı ve ortalama Rayleigh sayısı değ erleri hesaplanmıştır. Şekil 6.8’de kavite genişliğine göre tanımlanmış Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile değ işimi logaritmik eksen takımında çizilmiştir. Şekil 6.8’deki deney sonuçları kullanılarak, kavite lerin her biri için, Rayleigh sayısı ile kavite yükseklik genişlik oranı çarpılarak $Ra_L A$ değ erleri hesaplanıp Nusselt sayısının $Ra_L A$ ile değ işimi incelenmiş ve regresyon analizi yapılarak eğri uydurulmuştur. Şekil 6.9’da, Nusselt sayısının $Ra_L A$ ile değ işimi ve regresyon analizi yapılarak uydurulan eğri çizilmiştir.



Şekil 6.8 : Doğal taşınım ve ışı nım halinde ortalama Nu_L - Ra_L değ işimi.



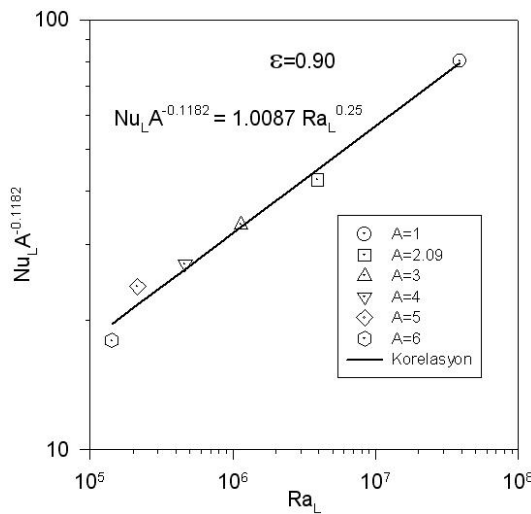
Şekil 6.9 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde ortalama Nu_L değerini veren birinci korelasyon.

Elde edilen korelasyon, denklem 6.2'de sunulmuştur.

$$Nu_L = 0.3559 (Ra_L A)^{0.3095} \quad (6.2)$$

Burada, $1.42 \times 10^5 \leq Ra_L \leq 3.90 \times 10^7$, $8.52 \times 10^5 \leq Ra_L A \leq 3.90 \times 10^7$, $1 \leq A \leq 6$ ve $\varepsilon=0.90$ 'dır. Korelasyonun R^2 değeri 0.99006149'dur.

Nusselt sayısının, Rayleigh sayısı ve A yükseklik genişlik oranına bağlı değişimini ortaya koymak üzere, bir başka regresyon analizi daha yapılmıştır. Fonksiyonun değişimini iki boyutlu bir düzlemde gösterebilmek için, $Nu_L A^{-0.1182}$ değerleri oluşturularak, bu değerlerin Rayleigh sayısına (Ra_L) göre değişimleri çizilmiştir (Şekil 6.10).



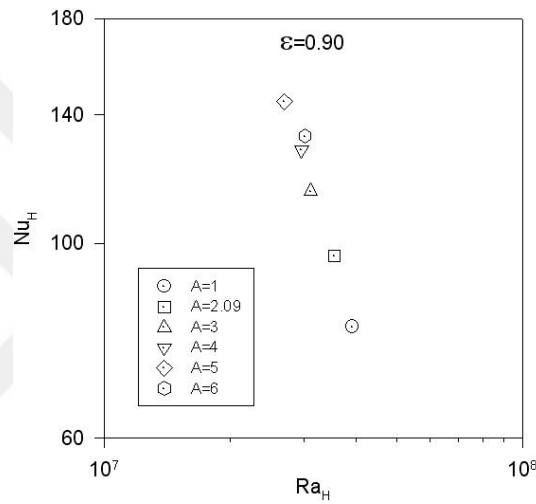
Şekil 6.10 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde ortalama Nu_L değerini veren ikinci korelasyon.

Elde edilen ikinci korelasyon denklem 6.3'de verilmiştir.

$$Nu_L = 1.0087 Ra_L^{0.25} A^{0.1182} \quad (6.3)$$

Burada, $1.42 \times 10^5 \leq Ra_L \leq 3.90 \times 10^7$, $1 \leq A \leq 6$ ve $\varepsilon=0.90$ 'dır. Korelasyonun R^2 değeri 0.99102333'dür. Görüldüğü gibi, Rayleigh sayısının kuvveti, laminar rejim hali için söz konusu olan 0.25 değerinde elde edilmiştir.

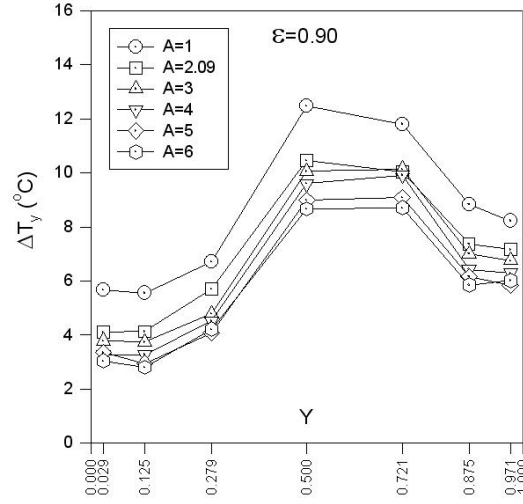
Kavite yüksekliğine göre hesaplanmış ortalama Nusselt ve Rayleigh sayıları Şekil 6.11'de çizilmiştir. Ortalama alma işlemi, yukarıda kavite genişliğine göre hesaplanmış büyüklükler için tanımlandığı gibi yapılmıştır.



Şekil 6.11 : Doğal taşınım ve ışıınım halinde ortalama Nu_H - Ra_H değişimi.

6.3.2 Doğal taşınım ve ışıınım halinde yerel ısı geçişi

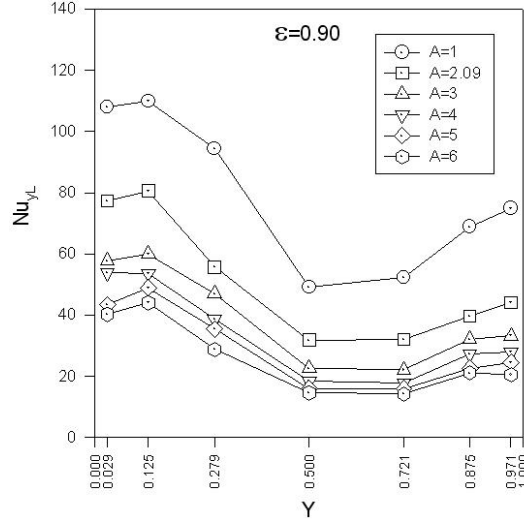
İncelenen kavitelerde yerel ısı geçişi büyüklükleri hesaplanmıştır. Şekil 6.12'de doğal taşınım ve ışıınım durumunda yerel sıcaklık farkının (ΔT_y), yükseklik genişlik oranı $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan kavitelerde kavite yüksekliği boyunca değişimi sunulmuştur. Her bir kavite durumunda Y 'nin 0.029, 0.125, 0.279, 0.500, 0.721, 0.875 ve 0.971 değerlerinin her biri için bir adet olmak üzere toplamda yedi adet veri bulunmaktadır. Şekilde yatay eksen Y 'nin 0 ile 1 aralığını göstermektedir. Farklı yüksekliklere ait sıcaklık eğrilerinin birbirine benzer bir profil gösterdiklerini söylemek mümkündür. $A=1$ kavitenin sıcaklık profili diğerlerinden bir miktar ayrılmış olarak daha yukarıda bulunmaktadır. Yerel sıcaklık farkı değeri yükseklik genişlik oranı büyüdükçe küçülmektedir. Sıcaklık profili kavitenin orta yüksekliğine ($Y=0.500$) göre simetrik değildir.



Şekil 6.12 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği boyunca değişimi.

Ayrıca, $Y=0.029$ ile 0.971 arasında altı adet bölgenin oluştuğundan bahsetmek mümkündür. Bu altı bölgeden $Y=0.029$ ile 0.125 , $Y=0.500$ ile 0.721 ve $Y=0.875$ ile 0.971 aralıklarındaki üç bölgede sıcaklık farkı sabittir. Yerel sıcaklık farkı Y eksenini boyunca biri $Y=0.125$ ile 0.279 ve diğeri $Y=0.279$ ile 0.500 arasında olmak üzere iki ayrı eğime sahip halde, yükseklik boyunca artmaktadır. Sıcaklık farkı $Y=0.500$ yüksekliğinde maksimum değere ulaşmakta ve bu değerinde $Y=0.500$ ile 0.721 arasında yaklaşık sabit kalmaktadır. Söz konusu bu sabit bölgenin nedeni yerel ısı kuyusunun $Y=0.549$ ve 0.672 arasında bulunuyor olmasıdır. Sıcaklık farkı $Y=0.500$ 'den 0.875 'e gidilirken yükseklik boyunca azalmaktadır.

Şekil 6.13'de doğal taşınım ve ısıtım durumunda yerel Nusselt sayısının yükseklik genişlik oranı $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan kaviteler için kavite yüksekliğince değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi kavitelere ait grafikler aynı profili göstermektedir. Yerel Nusselt sayısı yükseklik genişlik oranı büyüdükçe azalmaktadır. Nusselt sayısındaki azalma hızı $A=1$ ile 4 arasında $A=4$ ile 6 arasındakinden daha büyüktür. Buna ek olarak azalma hızı $A=1$ 'den 4 'e doğru gidildikçe düşmektedir. Şekil 6.12 ile Şekil 6.13 birlikte değerlendirilirse yerel sıcaklık farkı ile yerel Nusselt sayısı arasındaki ilişkinin birbirinin aksi olduğu görülür. Yerel Nusselt sayısı, yerel sıcaklık farkı arttıkça azalmakta, yerel sıcaklık farkı azaldıkça artmaktadır. Yerel Nusselt sayısı, yerel sıcaklık farkının değişik seviyelerde, üç ayrı değerinde sabit kaldığı, birinci, dördüncü ve altıncı bölgelerde sabit kalmıştır. Yerel Nusselt sayısı Y 'nin 0.029 ile 0.125 aralığında en büyük ve Y 'nin 0.500 ile 0.721 aralığında en küçük değerdedir.



Şekil 6.13 : Doğal taşınım ve ışınlım halinde yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi.

Yerel Nusselt sayılarının ortalama değeri (Nu_{ymL}) yerel Nusselt sayılarının boyutsuz kavite yüksekliği (Y) boyunca integrasyonu alınarak bulunabilir.

$$Nu_{ymL} = \int_0^1 Nu_{yL}(Y) dY \quad (6.4)$$

Ancak, Şekil 6.13’de görülen profiller için Nu_{yL} ile Y arasındaki ilişkiyi temsil edecek fonksiyonlar üretmek zordur. Bu nedenle yerel Nusselt sayılarının ortalama değeri, sonuçların Y eksenini boyunca ağırlıklı ortalaması alınarak

$$Nu_{ymL} = \sum_{i=1}^7 w_i Nu_{yLi} \quad (6.5)$$

$$= w_1 Nu_{yL1} + + w_7 Nu_{yL7}$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Bu hesaplama kavitelerin her biri için ayrı ayrı yapılmıştır. Buradaki w_i , i noktasının ağırlık faktörü olup

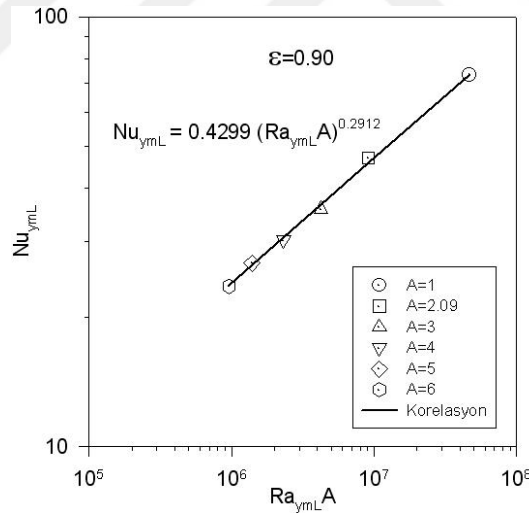
$$w_i = \frac{\Delta y_i}{H} \quad (6.6)$$

eşitliğiyle bulunmuştur. Buradaki Δy_i , i noktasının düşey uzunluğudur. Yedi nokta için boyutsuz kavite yüksekliği (Y), i noktasının düşey uzunluğu (Δy_i) ve ağırlık faktörü (w_i) Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde yerel değerlerin ortalamasının hesaplanmasında kullanılan ağırlık faktörleri.

i	Y	Δy_i (mm)	w_i
1	0.029	20	0.05882
2	0.125	45	0.13235
3	0.279	60	0.17647
4	0.500	90	0.26471
5	0.721	60	0.17647
6	0.875	45	0.13235
7	0.971	20	0.05882

Yerel Rayleigh sayılarının ortalama değeri (Ra_{ymL}) de yukarıda Nu_{ymL} için açıklanan yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra, Rayleigh sayısı ve yükseklik genişlik oranı aynı anda değiştirdiği için yerel Rayleigh sayılarının ortalama değeri (Ra_{ymL}), yükseklik genişlik oranı (A) ile çarpılarak $Ra_{ymL}A$ büyüklüğü elde edilmiştir. Böylece her bir kavite için Nu_{ymL} - $Ra_{ymL}A$ çiftleri elde edilmiştir. Şekil 6.14’de Nu_{ymL} ile $Ra_{ymL}A$ arasındaki ilişki çizilmiştir.



Şekil 6.14 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde Nu_{ymL} ’nin $Ra_{ymL}A$ ile değişimi.

Bu ilişki üzerinden regresyon analizi yapılarak denklem 6.7’de verilen ısı geçişi korelasyonu elde edilmiştir.

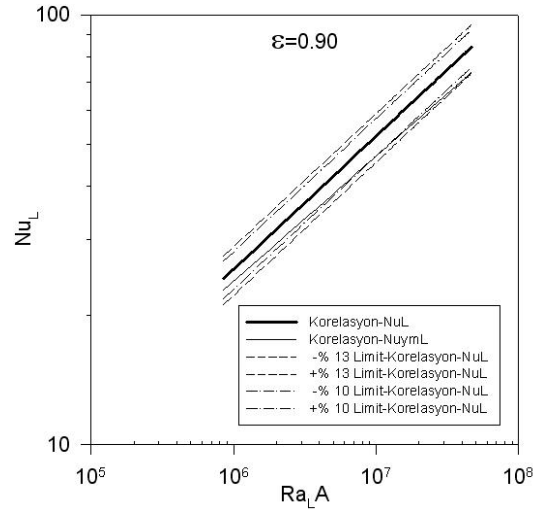
$$Nu_{ymL} = 0.4299 (Ra_{ymL}A)^{0.2912} \quad (6.7)$$

Bu korelasyonda, Ra_{ymL} , 1.60×10^5 ile 4.67×10^7 ; $Ra_{ymL}A$, 9.57×10^5 ile 4.67×10^7 ; ve A , 1 ile 6 aralığındadır. Regresyon katsayısı (R^2), 0.99839239’dur. Bu korelasyonda ısı

geçiş mekanizması doğal taşınım ve ışınlım ile. Kavitenin altı duvarının hepsi de 0.90 değerindeki yüzey yayma katsayısına sahiptir.

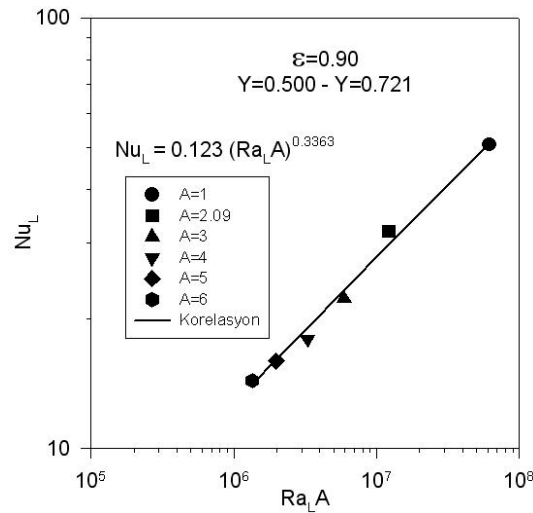
Yükseklik genişlik oranı 1, 4 ve 6 olan kavitelerde yerel Nusselt sayılarının ortalaması sırasıyla 73.35, 30.26 ve 23.63; yerel Rayleigh sayılarının ortalaması sırasıyla 4.67×10^7 , 5.78×10^5 ve 1.60×10^5 değerindedir. Nu_{ymL} değeri yükseklik genişlik oranı 1'den 6'ya büyüdükçe azalmaktadır. Ancak bu azalma yükseklik genişlik oranının 1 ile 4 aralığında 4 ile 6 aralığındakinden daha fazladır. Başka bir ifadeyle Nu_{ymL} değeri $A=1$ ile 4 aralığında büyük miktarda, $A=4$ ile 6 aralığında ise küçük miktarda azalmıştır. Bu durum Ra_{ymL} değerinde $A=1$ 'den 4'e gittikçe olan azalmanın, $A=4$ 'den 6'ya gittikçe olan azalmadan daha büyük olmasından kaynaklanabilir. Nu_{ymL} 'deki azalma Şekil 6.7'de verilmiş olan kavite içindeki sıcaklık alanı ile de açıklanabilir. Duvar civarındaki sıcaklık eğrileri taşınımı temsil etmektedir. Sol duvardaki aşağı doğru konkav profilin biçimi $A=1$ 'den 6'ya büyüdükçe değişmektedir. Yükseklik genişlik oranının 1 ile 4 aralığında, söz konusu konkav profil bütün Y değerlerinde net bir biçimde ve diktir. Yükseklik genişlik oranının 4 ile 6 aralığında konkav profil Y 'nin 0.500 ile 0.721 aralığında net biçimdeyken diğer Y değerlerinde neredeyse yataydır. Ayrıca, yükseklik genişlik oranı arttıkça profil daha yatay hale gelmektedir. Benzer durum sağ duvardaki profil için de geçerlidir. Ancak sağ duvar aktif olmadığı için buradaki profil aktif haldeki sol duvardaki profilden daha küçüktür.

Şekil 6.15'de ortalama sonuçlar ile bulunan korelasyon ile yerel değerlerin ağırlıklı ortalamasıyla bulunan korelasyonun karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde kalın sürekli çizgi ile ortalama sonuçlar ile bulunan korelasyon (denklem 6.2), ince sürekli çizgi ile ise, yerel değerlerin ağırlıklı ortalamasıyla bulunan korelasyon (denklem 6.7) gösterilmiştir. Şekilde, ortalama korelasyonun gerek $-\% 13$ limiti ve gerekse $+\% 13$ limiti ince kesikli çizgi ile çizilmiştir. Ortalama korelasyonun hem $-\% 10$ limiti ve hem de $+\% 10$ limiti ince çizgi ve nokta ile çizilmiştir. Grafiğe göre, $Ra_L A$ 'nın 8.5×10^5 ile 1.0×10^7 aralığında, yerel değerlerin ağırlıklı ortalaması ile bulunan korelasyon, ortalama ile bulunan korelasyonun $\pm\% 10$ limitleri içindedir. Yine grafiğe göre, $Ra_L A$ 'nın 1.0×10^7 ile 4.7×10^7 aralığında, yerel değerlerin ağırlıklı ortalaması ile bulunan korelasyon, ortalama ile bulunan korelasyonun $\pm\% 13$ limitleri içindedir.



Şekil 6.15 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde ortalama ve yerel ısı geçişi korelasyonlarının karşılaştırılması.

Şekil 6.13 incelenirse, $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ bölgesinde, yerel değerlerin sabit olduğu söylenebilir. Hatırlanacağı üzere, bu bölgede soğuk ısı kuyusu bulunmaktadır. $Y=0.500$ ve $Y=0.721$, arasındaki düzgün dağılımlı bölge, yükseklik bakımından kavitenin geriye kalan bölgelerinden ayrı olarak ele alınabilir. Bu bağlamda, $Y=0.500$ ve $Y=0.721$ 'deki verilerin aritmetik ortalaması alınarak, bu bölgeyi temsil eden tek bir değer elde edilmiştir. Şekil 6.16'da, $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ için bulunan ortalama sonuçlar kullanılarak, Nu_L 'nin $Ra_L A$ ile değişimi gösterilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak, regresyon analizi yapılmış ve bir korelasyon üretilmiştir.



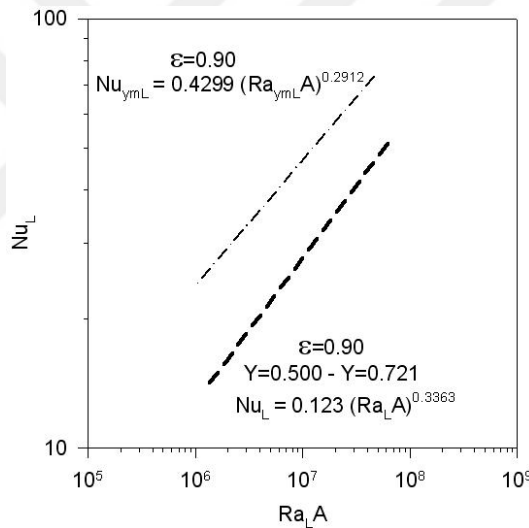
Şekil 6.16 : Doğal taşınım ve ısıtım halinde $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ arasındaki bölgede Nu_{ymL} 'nin $Ra_{ymL} A$ ile değişimi.

Doğal taşınım ve ışınlım halinde $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ arasındaki bölge için elde edilen korelasyon denklem 6.8’de verilmiştir.

$$Nu_L = 0.123 (Ra_L A)^{0.3363} \quad (6.8)$$

Bu korelasyonda $2.24 \times 10^5 \leq Ra_L \leq 6.19 \times 10^7$, $1.34 \times 10^6 \leq Ra_L A \leq 6.19 \times 10^7$, $1 \leq A \leq 6$, $\varepsilon=0.90$ ve $Y=0.500$ - $Y=0.721$ aralığındadır. Regresyon katsayısı 0.99178400’dür.

Şekil 6.17’de bütün bir kavite yüksekliğince yerel değerlerin ağırlıklı ortalamasıyla bulunmuş olan korelasyon (denklem 6.7) ile kavitenin $Y=0.500$ - 0.721 bölgesi için bulunmuş olan korelasyon (denklem 6.8) karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi, iki korelasyon arasında önemli bir fark söz konusudur. Bu fark, ısı geçişinin, yerel ısı kuyusu sebebiyle kavite yüksekliği boyunca olan dağılımının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.17 : Doğal taşınım ve ışınlım halinde yerel ve $Y=0.500$ ile $Y=0.721$ arasındaki bölge ısı geçişi korelasyonlarının karşılaştırılması.

Buradaki çalışmanın sonuçları literatürdeki düşey bir duvarından sabit sıcaklıkta ısıtılan ve bunun karşısındaki düşey duvarından ise sabit sıcaklıkta soğutulan kavitedeki doğal taşınım ve ışınlım üzerine yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Kare kavite durumu ele alınırsa buradaki çalışma, Akiyama ve Chong [32]’un ve Mezrhab ve diğ. [33]’nin çalışmaları ile ısı geçiş mekanizması bakımından benzerdir. Ancak Rayleigh sayısı, buradaki çalışmada 4.67×10^7 değerindeyken [32] numaralı çalışmada 10^4 ile 10^6 aralığında olduğu için Akiyama ve Chong [32]’un verdikleri korelasyon kullanılarak bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ayrıca, Mezrhab ve diğ.

[33]'nin çalışmasında yüzey yayma katsayısının 1 ve kavitenin boş olduğu durum için Nusselt sayısı verilmediği için karşılaştırma mümkün olamamıştır. İlave olarak, Ibrahim ve diğ. [34]'nin çalışmasında, Rayleigh sayısı 1.5×10^9 değerindedir; yüzey yayma katsayısı, sıcak ve soğuk duvarlar için 0.1, diğer duvarlar için 0.2'dir. Bouafia ve diğ. [35]'nin çalışmasında Rayleigh sayısı 10^6 'dır. Xin ve diğ. [36]'nin çalışmasında Rayleigh sayısı 1.5×10^9 'dur ve duvarların yüzey yayma katsayısı düşüktür. Bu nedenlerle, [34-36] numaralı çalışmalarla bir karşılaştırma yapılmamıştır.

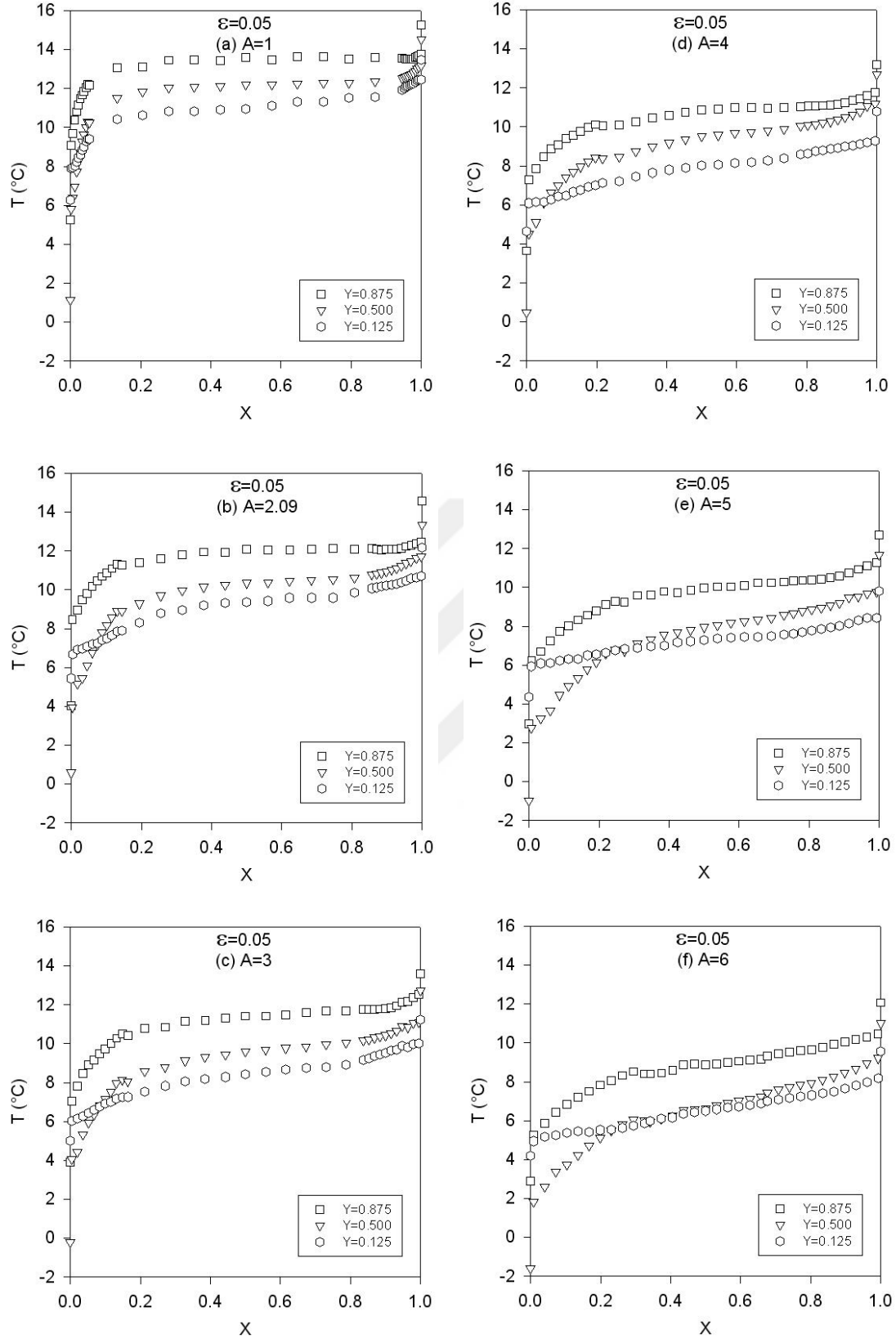
6.4 İki Boyutlu Isı Geçişinin Bütün Kaviteelerde Doğal Taşınım Halinde İncelenmesi

Kavite içindeki iki boyutlu ısı geçişini sadece doğal taşınım halinde farklı kavite yükseklik genişlik oranı (A) değerlerinde incelemek üzere, $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olmak üzere altı adet kavitede deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, kavite duvarlarının; iç yüzeyleri alüminyum folyo ile kaplanmış ve yüzey yayma katsayıları $\varepsilon=0.05$ değerine düşürülmüştür. Bu nedenle kavite içindeki ışıınım ile ısı geçişi engellenmiştir. Isı geçiş mekanizması sadece doğal taşınımdır. Bu deneyler tezde üçüncü paket deneyler olarak adlandırılmıştır. Deneyler, sadece bir kavite derinliği düzleminde yani kavitenin $Z=0.500$ simetri düzleminde gerçekleştirilmiş olduğu için inceleme iki boyutlu yapılmıştır. Her bir kavitede, $Y=0.875, 0.500$ ve 0.125 olmak üzere, üç farklı kavite yüksekliğinde deneyler yapılmıştır. Bu çerçevede, hem ortalama hem de yerel ısı geçişi ele alınmıştır. Bu pakette toplam 18 noktada deney yapılmış olup, deney matrisi Çizelge 6.5'de verilmiştir. Her bir kavite için, yerel sıcaklık verisi 105 ($=3 \times 35$) noktada elde edilmiştir.

Çizelge 6.5 : Üçüncü paket deneylerine ait deney matrisi.

Y	A					
	1	2.09	3	4	5	6
0.875	+	+	+	+	+	+
0.500	+	+	+	+	+	+
0.125	+	+	+	+	+	+

Şekil 6.18(a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de doğal taşınım halinde sıcaklık dağılımı sırasıyla yükseklik genişlik oranı $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan dikdörtgen kaviteler için çizilmiştir.



Şekil 6.18 : Doğal taşınım halinde kavite içindeki sıcaklık dağılımı; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$.

Sol ve sağ duvarlar arasındaki profil, boyutsuz kavite yüksekliğinin (Y) 0.125, 0.500, ve 0.875 değerleri için verilmiştir. Her bir yükseklik değerinde 35 adet veri bulunmaktadır.

Grafiklere göre sıcaklık, sol duvardan sağ duvara doğru artmaktadır. Bütün kaviteler için x eksenini boyunca üç bölge gözlenmiştir. İkinci ve üçüncü bölgeler arasındaki sınır, yükseklik genişlik oranı arttıkça daha az belirgin hale gelmekte ve en sonunda kaybolmaktadır. Bu sınır, $A=1$, 2.09 ve 3 için açık bir biçimde belirginken $A=4$, 5 ve 6 için ortadan kalkmış; belli belirsiz hale gelmiştir. Kavitenin merkez bölgesinde sıcaklık gradyanı düşüktür ve sıcaklık profili doğrusal bir değişim göstermektedir. Sıcaklık, x eksenini boyunca çok az arttığı için sabit olarak düşünölebilir. Taşınım etkisi zayıftır; ısı, iletim yoluyla geçmektedir. Sol ve sağ duvarların yakınında sıcaklık gradyanı yüksektir ve sıcaklık dik bir biçimde artmaktadır. Sol duvarda, sıcaklık duvardan merkeze doğru artmaktadır. Eğriler, bütün kavitelerde artan ve aşğı doğru konkavdır. Sağ duvarda, sıcaklık duvardan merkeze doğru azalmakta; eğriler ise $A=1$, 2.09 ve 3 kavitelerinde artan ve yukarı doğru konkav biçimliyen $A=4$, 5 ve 6 kavitelerinde doğrusaldır.

Sıcaklıktaki değişim sol ve sağ duvarlarda birbirinden farklı meydana gelmiştir. Soğutulmuş duvardaki sıcaklık gradyanı sağ duvardakinden daha yüksektir. Çünkü soğutulmuş duvar aktiftir ve yerel bir ısı kuyusu ile soğutulmaktadır. Ancak, sıcak duvar aktif değildir; sıcak duvardaki ısı geçişı, ortam ile kavite arasında ve duvar üzerinden iletim yoluyla meydana gelmektedir. Kavitenin merkez bölgesindeki sıcaklık profili bütün kavitelerde farklı bir şekilde ortaya çıkmıştır. Sıcaklık profili, $A=1$ ve 2.09 için neredeyse yataydır. Ancak, $A=3$ 'den 6'ya gidildikçe sıcaklık profilinin eğimi yavaşça artmaktadır.

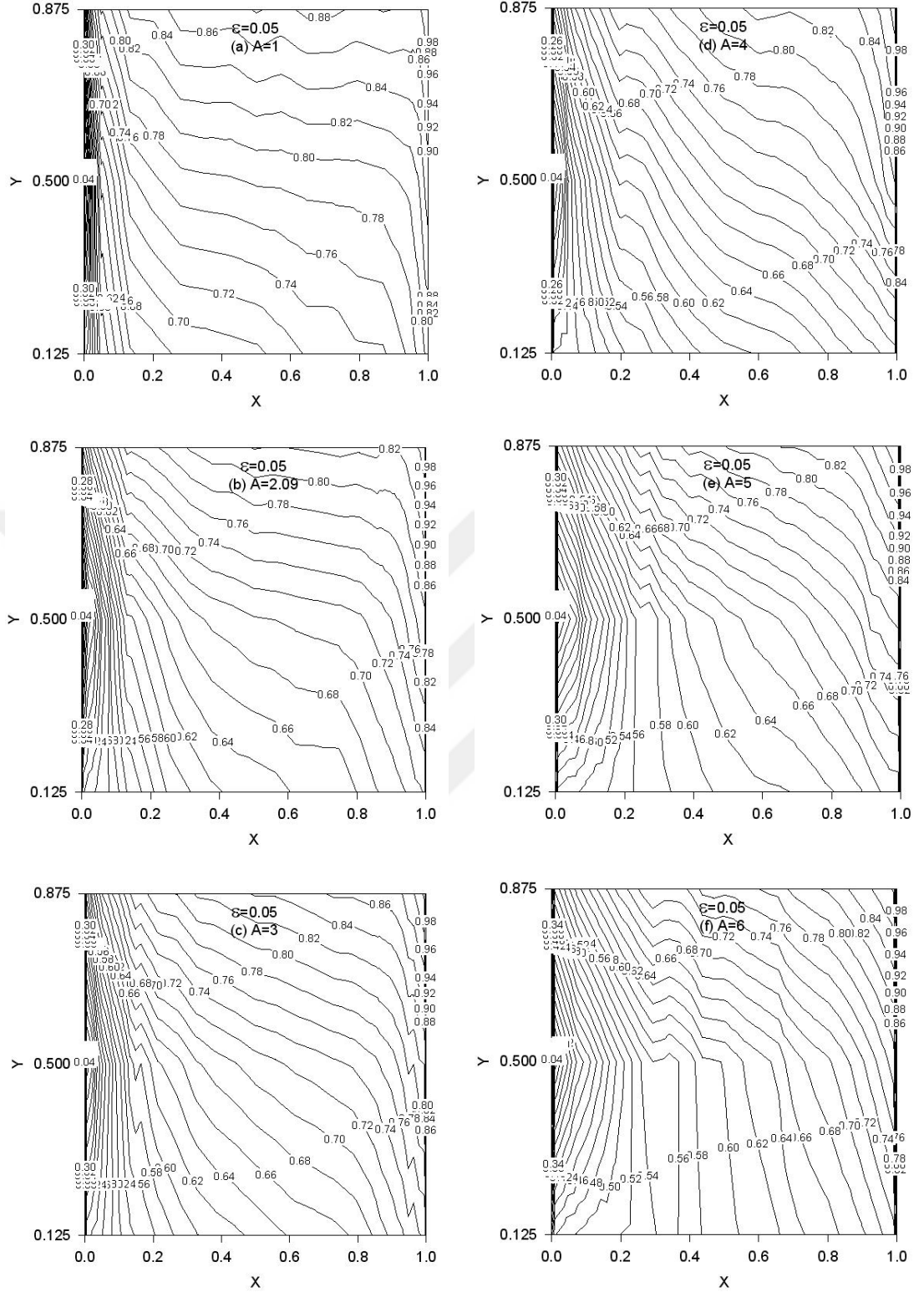
Sol duvardaki sıcaklık gradyanı $Y=0.125$ değerinde en düşük değerdedir. Buna ek olarak, sıcaklık eğrisi $Y=0.125$ değerinde bütün yükseklik genişlik oranları için çizgi halindedir. Ayrıca, çizginin eğimi yükseklik genişlik oranı değerini büyüdükçe azalmaktadır. Çizgi, $A=6$ durumunda yaklaşık yataydır. Sol duvardaki sıcaklık gradyanı, $Y=0.549$ ve 0.672 arasında yerel ısı kuyusu bulunduğu için kavitenin üst bölgesinde değişmemiştir. $Y=0.500$ 'deki gradyan $Y=0.875$ 'deki ile yaklaşık aynıdır. $A=4$, 5 ve 6 kavitelerinde, sıcaklık $Y=0.125$ değerinde $X=0.0$ ile 1.0 aralığında doğrusal olarak değiştii için ısı, sol ve sağ duvarlar arasında iletim yoluyla

geçmiştir. Aynı durum $Y=0.500$ ve 0.875 değerlerinde de fakat $X=0.3$ ile 1.0 aralığında söz konusudur.

Altı kavite birlikte düşünülürse, yükseklik genişlik oranı arttıkça sıcaklığın azaldığı görülür. Bunun nedeni, kavitenin hacmi azalırken yerel soğutucunun kapasitesinin sabit kalmış olmasıdır. $A=1, 2.09, 3$ ve 4 kavitelerinde sıcaklık $Y=0.875$ 'den 0.125 'e azalırken azalmaktadır. $A=5$ kavitesinde sıcaklık $Y=0.500$ ve 0.125 durumları için birbirine yakındır. $A=6$ kavitesinde, $X=0.3$ ile 1.0 aralığında, $Y=0.125$ 'deki sıcaklık profili 0.500 'deki profil ile üst üste düşmektedir.

Bu tez çalışmasında $X=0$ ile 1 arasında x eksenini boyunca oluşan sıcaklık dağılımını aynı anda (eş zamanda, eş zamanlı) ölçmek amacıyla her bir konum için bir adet olmak üzere toplamda 35 adet termoeleman kullanılmıştır. Eckert ve Carlson [7]'in ve Nicolette ve diğ. [45]'nin çalışmalarında sıcaklık dağılımını ölçmek üzere bir Mach-Zehnder interferometresi kullanılmıştır. Corvaro ve diğ. [39]'nin çalışmasında bir holografik interferometre kullanılmıştır. MacGregor ve Emery [10]'nin, Yin ve diğ. [12]'nin, Inaba [14]'nin ve Betts ve Bokhari [17]'nin çalışmalarında tek bir termoeleman bir travers sistemi ile hareket ettirilmiş olup, $X=0$ ile 1 arasındaki sıcaklıklar aynı anda değil, ardışık zamanlarda ölçülmüştür. Bu tez çalışmasının sonuçları sıcaklık profilinin biçimi bakımından literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sağ duvar bu çalışmada aktif olmadığı ve literatürdeki çalışmalarda aktif olduğu için karşılaştırma özellikle soğutulmuş sol duvar yakınındaki bölge ve merkez bölge için yapılmıştır. Sol duvardaki aşağı doğru konkav eğri, sol duvardaki gradyan, merkez bölgedeki yatay çizgi, sağ duvardaki yukarı doğru konkav eğri ve profilin genel biçimi Eckert ve Carlson [7], MacGregor ve Emery [10], Yin ve diğ. [12], Inaba [14], Betts ve Bokhari [17], Corvaro ve diğ. [39] ve Nicolette ve diğ. [45]'nin sonuçları ile uyushmaktadır.

Şekil 6.19(a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de doğal taşınım halinde yükseklik genişlik oranı (A) $1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 olan dikdörtgen kavitelerdeki eş sıcaklık eğrileri (izotermiler) sunulmuştur. Bu eğriler, boyutsuz sıcaklığın (θ) kontur haritalarıdır. Bu grafiklerle, her bir kavitede x eksenini doğrultusunda 35 noktada ve y eksenini doğrultusunda üç noktada yapılmış olan sıcaklık ölçümlerinin sonuçları yansıtılmış olmaktadır. Boyutsuz kavite genişliği (X) 0.0 ile 1.0 arasındadır. Boyutsuz kavite yüksekliği doğrultusundaki sıcaklık ölçümü $Y=0.125$ ile 0.875 arasında yapıldığı için, Y eksenini 0.125 ile 0.875 arasında sınırlandırılmıştır.



Şekil 6.19 : Doğal taşınım halinde kavite içindeki eş sıcaklık eğrileri; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$.

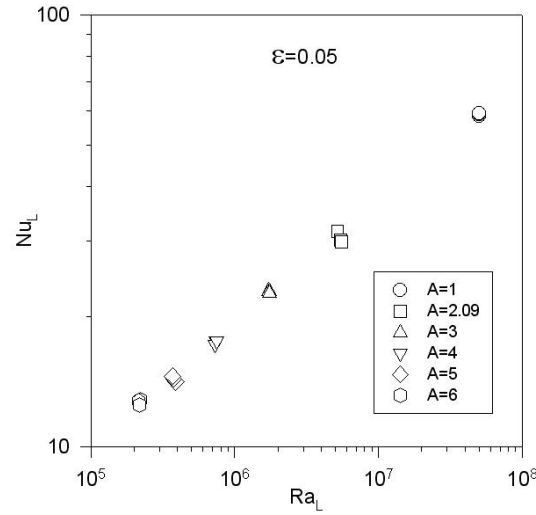
Boyutsuz sıcaklık $X=1.0$ 'de, sıcak duvarın üst sağ köşesinde en büyük değerdedir ve Y azaldıkça yavaşça azalmaktadır. Boyutsuz sıcaklık $X=0.0$ 'da, soğutulmuş duvarın yarı yüksekliğinde ($Y=0.500$) en küçüktür. $Y=0.500$ 'den 0.875'e yukarı doğru olan

sıcaklık artışı ile $Y=0.500$ 'den 0.125 'e aşağı doğru olan sıcaklık artışı birbirinin simetridir. Bunun nedeni olarak yerel ısı kuyusunun konumu ve duvar yüzeyinin alüminyum folyo ile kaplanmış olması gösterilebilir. Eş sıcaklık eğrileri soğutulmuş duvarın yakınında $X=0.0$ ile 0.2 arasındaki bölgede yoğunlaşmıştır. Eğriler $Y=0.500$ 'de odaklanıp toplanmış vaziyettedir.

Buna ilave olarak eş sıcaklık eğrileri soğutulmuş duvarda sıcak duvardakinden daha yoğundur. Bunun nedeni, soğutulmuş duvardaki taşınımın sıcak duvardakinden daha kuvvetli olmasıdır. Eş sıcaklık eğrileri $A=1, 2.09, 3$ ve 4 kavitelerinde soğutulmuş duvara paralel, dikey ve neredeyse düzdür. $A=5$ ve 6 kavitelerinde ise eğrilmiş haldedir. Buna göre yükseklik genişlik oranının konturları önemli ölçüde etkilediği söylenebilir. $X=0.2$ ile $X=1.0$ aralığında konturların eğriliği ve yoğunluğu yükseklik genişlik oranı arttıkça artmaktadır. $X=0.2$ ile 1.0 aralığındaki konturlar $X=0.0$ ile 0.2 aralığındaki konturlardan daha seyrek biçimde dağılmıştır. $Y=0.500$ ile 0.875 aralığında, konturlar $A=1$ ve 2.09 için yaklaşık yatayken $A=3, 4, 5$ ve 6 için yukarı ve sola eğrilmiş haldedir. $Y=0.125$ ile 0.500 aralığında, konturlar $A=1, 2.09, 3, 4$ ve 5 için aşağı ve sağa eğrilmiş durumdadır. Üst sol köşe ile alt sağ köşe arasındaki köşegen çizgisi düşünülürse sıcaklık konturları neredeyse simetriktir. Akışkan alt sol köşeden üst sağ köşeye doğru saatin tersi yönünde hareket etmektedir. Konturlar $A=6$ için $Y=0.125$ ile 0.500 aralığında düz çizgiler halindedir. Bu düşey tabakalanma Şekil 6.18'de $Y=0.125$ ve 0.500 boyutsuz yükseklikleri için verilmiş olan sıcaklık profili eğrileri ile uyushmaktadır.

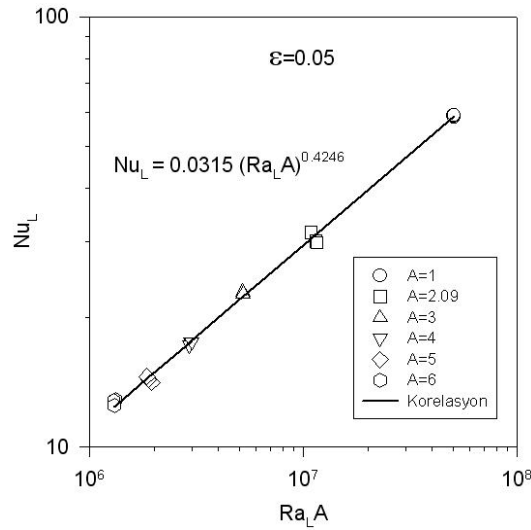
6.4.1 Doğal taşınım halinde ortalama ısı geçişi

Doğal taşınım halinde söz konusu kaviteler için ortalama ısı geçişi büyüklükleri belirlenmiştir. Şekil 6.20'de doğal taşınım durumunda kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısının, yine kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Rayleigh sayısı ile değişimi çizilmiştir. $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 kavitelerinde ve her bir kavite için ise, kavite yüksekliğinin $Y=0.875, 0.500$ ve 0.125 durumları için elde edilmiş olan ortalama değer sonuçları verilmiştir. Bu incelemede değerlendirme ortalama değer üzerinden yapıldığı için, Y 'nin farklı değerlerine karşı gelen farklı yerel değerler söz konusu değildir. Y 'nin farklı değerleri için, ortalama büyüklükler bakımından tekrar deneyleri söz konusudur. Şekilde toplamda $18 (=6 \times 3)$ adet deney verisi bulunmaktadır. Görüldüğü gibi saçınıklık küçük ve deney sonuçları birbirini tekrarlamaktadır.



Şekil 6.20 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_L - Ra_L değişimi.

Şekil 6.20’de verilmiş olan sonuçlar kullanılarak, kavitelerin her biri için, Rayleigh sayısı ile kavite yükseklik genişlik oranı çarpılarak $Ra_L A$ değerleri hesaplanıp Nusselt sayısının $Ra_L A$ ile değişimi incelenmiş; ve regresyon analizi yapılarak bir eğri uydurulmuştur. Şekil 6.21’de, doğal taşınım halinde ortalama Nusselt sayısının $Ra_L A$ ile değişimi görülmektedir. Şekilde semboller ile her bir kavite için deney verileri, çizgi ile ise regresyon analizi sonucunda bulunan fonksiyonun eğrisi görülmektedir. Şekil, logaritmik eksen takımında çizilmiştir.



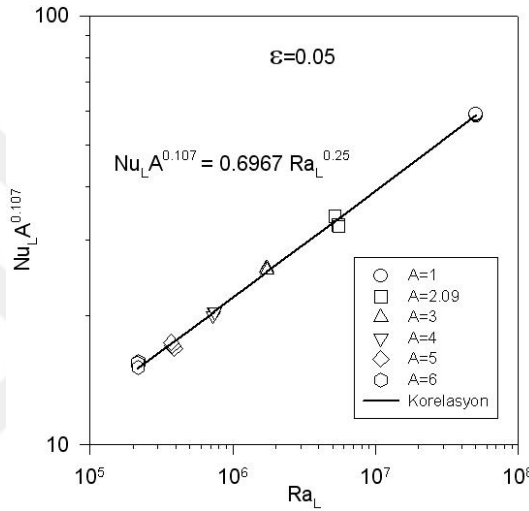
Şekil 6.21 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_L değerini veren birinci korelasyon.

Doğal taşınım halinde ortalama Nusselt sayısını veren korelasyon

$$Nu_L = 0.0315 (Ra_L A)^{0.4246} \quad (6.9)$$

eşitliğinde verilmiştir. Denklem 6.9’da kavite genişliğine göre tanımlanmış Rayleigh sayısı (Ra_L), 2.16×10^5 ile 5.06×10^7 ; $Ra_L A$, 1.29×10^6 ve 5.06×10^7 ; yükseklik genişlik oranı (A), 1 ile 6 aralığında; kavite duvarlarının yüzey yayma katsayısı (ε), 0.05 değerinde; ve regresyon katsayısı (R^2), 0.99857190’dır.

Bir diğer korelasyon, Nusselt sayısının, Rayleigh sayısı ve A yükseklik genişlik oranına bağlı değişimini yansıtmak üzere elde edilmiştir. Grafiği iki boyutlu düzlemde gösterebilmek için, $Nu_L A^{0.107}$ değerleri oluşturulmuştur. Şekil 6.22’de, $Nu_L A^{0.107}$,’nın Ra_L ile değişimi görülmektedir.



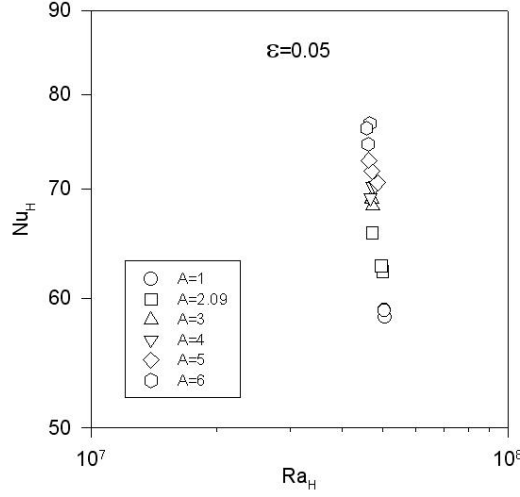
Şekil 6.22 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_L değerini veren ikinci korelasyon.

Bu ikinci korelasyon denklem 6.10’da ifade edilmiştir.

$$Nu_L = 0.6967 Ra_L^{0.25} A^{-0.107} \quad (6.10)$$

Burada, kavite genişliğine göre tanımlanmış Rayleigh sayısı (Ra_L), 2.16×10^5 ile 5.06×10^7 aralığında; yükseklik genişlik oranı (A), 1 ile 6 aralığında; kavite duvarlarının yüzey yayma katsayısı (ε), 0.05 değerinde; ve regresyon katsayısı (R^2), 0.99846227’dir. Denklem 6.10’daki korelasyonda, denklem 6.3’deki korelasyon gibi, Rayleigh sayısının kuvveti 0.25 elde edildiği için laminar rejim hali söz konusudur.

Bir diğer inceleme, ortalama ısı geçişinin kavite yüksekliğince değişimine yönelik yapılmıştır. Şekil 6.23’de kavite yüksekliğine göre hesaplanmış kavite Nusselt ve Rayleigh sayılarının birbirine göre değişimi logaritmik eksen takımında çizilmiştir.



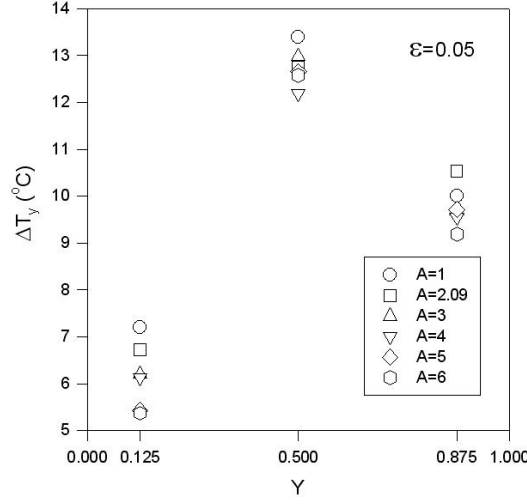
Şekil 6.23 : Doğal taşınım halinde ortalama Nu_H - Ra_H değişimi.

Yükseklik genişlik oranı 1'den 6'ya artarken Rayleigh sayısı 5.06×10^7 'den 4.58×10^7 'ye düşmekte Nusselt sayısı ise 58.43'den 76.81'e çıkmaktadır. Bütün kavitelerde yükseklik sabit tutulmuş olduğu için Rayleigh ve Nusselt sayılarındaki değişimler, sırasıyla soğutulmuş ve sıcak duvar arasındaki sıcaklık farkı ve ısı geçiş katsayısındaki değişimlerden kaynaklanmıştır.

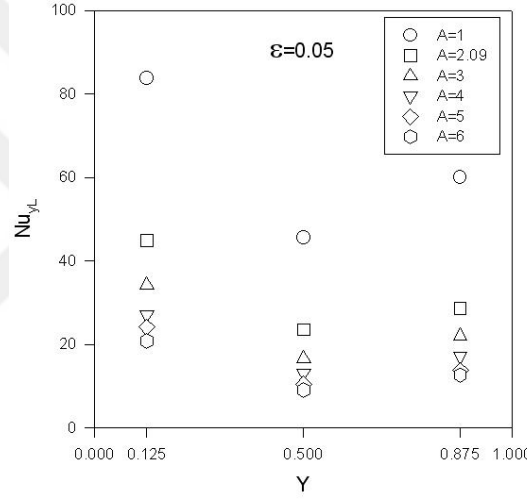
Buradaki tez çalışmasında ortalama ısı geçiş katsayısı, yüzey sıcaklıkları kullanılarak belirlenmiş; yüzey sıcaklıkları ise termoelemanlar kullanılarak ölçülmüştür. Bu durum literatürde de uygulanmış olup örnek olarak [7, 10, 12, 14, 17, 39, 45] çalışmaları verilebilir.

6.4.2 Doğal taşınım halinde yerel ısı geçişi

Doğal taşınım halinde altı kavitedeki yerel ısı geçişi irdelenmiştir. Şekil 6.24'de soğutulmuş sol duvar ile sıcak sağ duvar arasındaki yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği ile değişimi çizilmiştir. Yerek sıcaklık farkı (ΔT_y), Y , 0.125'den 0.500'e arttığında oldukça büyük miktarda artmakta; Y , 0.500'den 0.875'e arttığında ise yerel ısı kuyusunun $Y=0.549$ ve 0.672 arasında bulunuyor olmasının etkisiyle orta derecede azalmaktadır. Sıcaklık farkı kavite orta yüksekliğine göre simetrik değildir. Sıcaklık farkı $Y=0.500$ değerinde en büyük ve $Y=0.125$ değerinde en küçüktür. Yerel sıcaklık farkı yükseklik genişlik oranı arttıkça küçülmektedir. Şekil 6.25'de yerel Nusselt sayısının yükseklik yönünde değişimi çizilmiştir. Her bir yükseklik değeri farklı bir ölçüm konumuna aittir. Yerel Nusselt sayısındaki değişimin nedeni yerel ısı geçiş katsayısındaki değişimden kaynaklanmaktadır. Yerel ısı geçiş katsayısındaki değişim ise yerel sıcaklık farkındaki değişimden doğmaktadır.



Şekil 6.24 : Doğal taşınım halinde yerel sıcaklık farkının kavite yüksekliği boyunca değişimi.

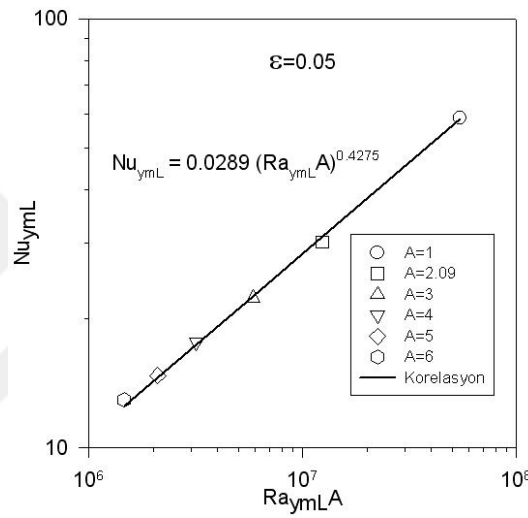


Şekil 6.25 : Doğal taşınım halinde yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi.

Şekil 6.24 ile Şekil 6.25 arasındaki ilişki zıttır. Nusselt sayısı, Y, 0.125’den 0.500’e çıktığında önemli ölçüde artmakta; Y, 0.500’den 0.875’e çıktığında ise orta derecede artmaktadır. Nusselt sayısı Y=0.125 değerinde en büyük ve Y=0.500 değerinde en küçüktür. Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi bütün kavitelerde aynı değildir. Yükseklik ile değişimden en fazla, kare kavite etkilenmiştir. Bunun sebebi kare kavitenin en büyük hacimli kavite olmasıdır. Yerel soğutucunun kapasitesi sabit tutulurken, yükseklik genişlik oranı küçültülmekte ve kavitenin hacmi arttırılmaktadır. Yükseklik ile değişimden ikinci en fazla etkilenen kavite A=2.09’dur. Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi A=3, 4, 5 ve 6 kavitelerinde daha azdır. Sonuçlar, Nusselt sayısının yükseklik genişlik oranı büyüdükçe küçüldüğünü de göstermektedir. Buna ek olarak yükseklik genişlik

oranının Nusselt sayısına etkisi bütün kavitelere eşit değildir. Bu etki $A=1$ ve 2.09 için çok belirginken $A=3, 4, 5$ ve 6 için zayıftır.

Şekil 6.25'deki sonuçların ağırlıklı ortalaması alınarak yerel Nusselt sayılarının ortalaması (Nu_{ymL}) hesaplanmıştır. Ağırlık faktörü (w_i), Y 'nin 0 ile 1 aralığı için ve Y 'nin 0.125, 0.500 ve 0.875 değerleri için sırasıyla 0.25, 0.50 ve 0.25'dir. Aynı yöntemle yerel Rayleigh sayılarının ortalaması (Ra_{ymL}) da hesaplanmıştır. Bu işlem kaviterin her biri için ayrı ayrı yapılmıştır. Yerel Rayleigh sayılarının ortalaması (Ra_{ymL}) yükseklik genişlik oranı (A) ile çarpılarak $Ra_{ymL}A$ büyüklüğü elde edilmiştir. Şekil 6.26'da Nu_{ymL} ile $Ra_{ymL}A$ arasındaki ilişki çizilmiştir.



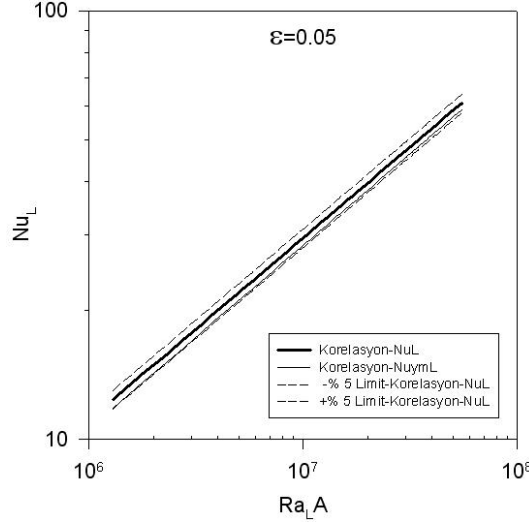
Şekil 6.26 : Doğal taşınım halinde Nu_{ymL} 'nin $Ra_{ymL}A$ ile değişimi.

Bu iki parametre arasındaki ilişkiyi bulmak üzere bir regresyon analizi yapılmış ve

$$Nu_{ymL} = 0.0289 (Ra_{ymL}A)^{0.4275} \quad (6.11)$$

korelasyonu elde edilmiştir. Bu korelasyonda, Ra_{ymL} , 2.44×10^5 ile 5.45×10^7 ; $Ra_{ymL}A$ 1.46×10^6 ile 5.45×10^7 ; ve A , 1 ile 6; aralığında; kavite duvarlarının yüzey yama katsayısı (ε), 0.05 değerinde; ve regresyon katsayısı (R^2) 0.99925461'dir.

Şekil 6.27'de Nu_L korelasyonu (denklem 6.9) ile Nu_{ymL} korelasyonu (denklem 6.11) karşılaştırılmıştır. Grafiklerden görüldüğü gibi Nu_{ymL} korelasyonu, Nu_L korelasyonunun -5% ve $+5\%$ hata limitleri arasındadır.

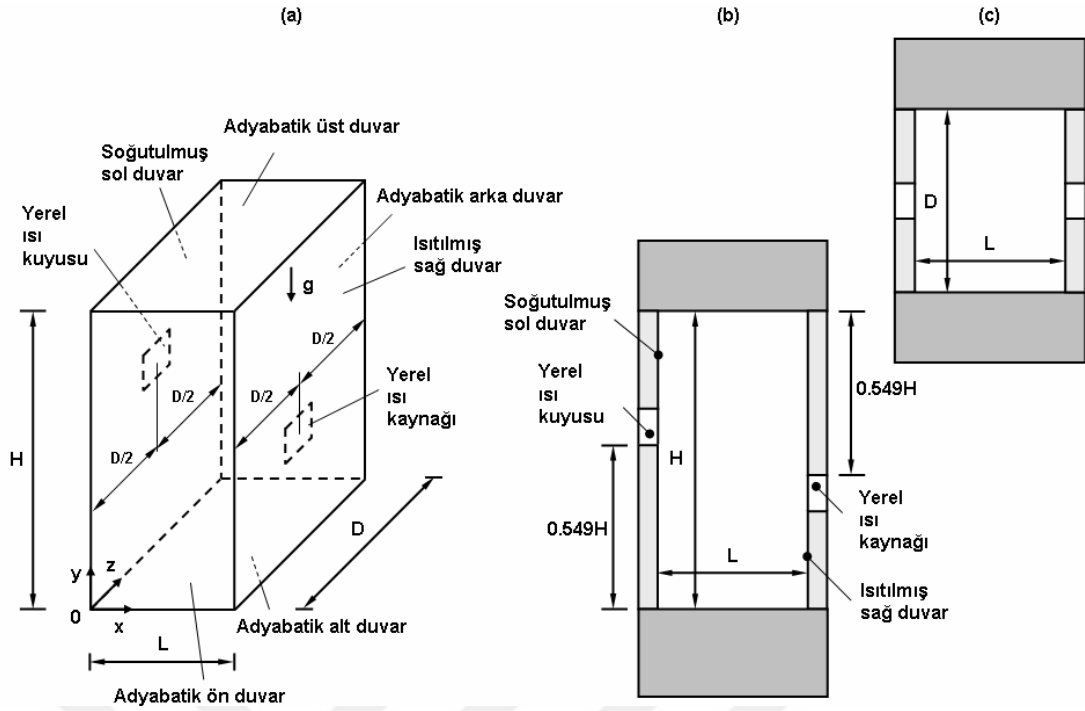


Şekil 6.27 : Doğal taşınım halinde ortalama ve yerel ısı geçişi korelasyonlarının karşılaştırılması.

Isı geçiş mekanizması, ısııl sınır şartlar, yükseklik genişlik oranı ve Rayleigh sayısının farklı olması nedenleriyle buradaki çalışmanın literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması pek uygun değildir. Buna rağmen buradaki çalışma literatürdeki düşey bir duvarından sabit sıcaklıkta ısıtılan ve bunun karşısındaki düşey duvarından ise sabit sıcaklıkta soğutulan kavite üzerine yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt ve Rayleigh sayıları üzerinden yapılmıştır. Kare kavite ($A=1$) durumunda Rayleigh sayısının 5.06×10^7 değerindeki Nusselt sayısı, bu tez çalışmasında ve Markatos ve Pericleous [3]'ün çalışmasında sırasıyla 58.76 ve 28.09 elde edilmiştir. Dikdörtgen kavite durumunda, $A=5$ için, Rayleigh sayısının 3.89×10^5 değerinde Nusselt sayısı bu tez çalışmasında, Yin ve diğ. [12]'nin çalışmasında ve Inaba [14]'nin çalışmasında sırasıyla 14.65, 5.95 ve 4.83 elde edilmiştir.

6.5 İki Boyutlu Isı Geçişinin Bütün Kavitelere Doğal Taşınım Halinde, Isıtma ve Soğutma Durumunda İncelenmesi

Bu bölüme kadar incelenen kavitelerdeki ısııl sınır şartı, kavitenin bir aktif duvara sahip olması, başka bir ifadeyle kavitenin düşey duvarlarından biri sabit sıcaklıkta soğutulmaktayken bunun karşısındaki düşey duvarın aktif olmaması şeklindeydi. Bu bölümde ise kavitenin iki aktif duvara sahip olması durumu incelenmiştir. Şekil 6.28(a), (b) ve (c)'de bahsedilen bu kavitenin yapısı sırasıyla üç boyutlu perspektif, düşey ön kesit ve yatay üst kesit halinde çizilmiştir.



Şekil 6.28 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitenin geometrisi; (a) üç boyutlu perspektif, (b) düşey ön kesit, (c) yatay üst kesit.

Kavitenin düşey duvarlarından biri sabit sıcaklıkta soğutulmuş, bunun karşısındaki düşey duvar ise ısıtılmıştır. Bu kavitenin Şekil 4.1’de çizilmiş olan kaviteden farkları; soldaki soğutulmuş düşey duvarın karşısındaki sağ duvarın ısıtılmış olması, ısıtmanın tıpkı soğutulmuş duvardaki gibi yerel olarak yapılması ve sağ duvarın kalınlığının soğutulmuş duvar ile aynı olacak şekilde 23 mm kalınlıkta yapılmış olmasıdır. Şekil 6.28(b)’de görüldüğü üzere, sağdaki ısıtılmış duvardaki yerel ısı kaynağı düşey y eksenini yönünde, üst kenarı kavitenin üst duvarından 186.5 mm ($0.549H$) mesafede bulunmaktadır. Yerel ısı kaynağı $y=0.5H$ çizgisine göre yerel ısı kuyusunun simetrisine yerleştirilmiştir. Soğuk duvardaki aşağı yönlü hava hareketi, yerel ısı kuyusunun alt kenarını terk ettikten sonra yatay alt duvar ile karşılaşınca kadar düşey duvar boyunca $0.549H$ mesafesini almaktadır. Sıcak duvardaki yukarı yönlü hava hareketi ise yerel ısı kaynağının üst kenarını terk ettikten sonra yatay üst duvar ile karşılaşınca kadar düşey duvar boyunca yine aynı $0.549H$ mesafesini almaktadır. Yerel ısı kuyusu duvarın ortasının hemen üstünde, $Y=0.549$ ile 0.672 arasında, yerel ısı kaynağı ise duvarın ortasının hemen altında, $Y=0.328$ ile 0.549 arasında konumlandırılmış durumdadır. Şekil 6.28(a) ve (c)’de görüldüğü gibi yerel ısı kuyusu ile yerel ısı kaynağı karşılıklı yerleştirilmiştir. Yerel ısı kaynağı tıpkı yerel ısı kuyusu gibi, z eksenini yönünde, orta eksenini kavitenin yarı derinliğinde ($D/2$) olacak biçimde konumlandırılmıştır.

Isıtılmış sağ duvardaki farklılık haricinde, bu bölümde ele alınan kaviteelerin; sayısı, yükseklik genişlik oranları, duvarlarının malzeme ve yalıtım kalınları ile ölçüm sistemi Şekil 4.1'deki kavite ile aynı tutulmuştur.

Bölüm 5.3'de verilmiş olan ortalama ısı geçişinin hesap yöntemindeki ısı dengesi buradaki kavite için yeniden düzenlenmiştir. Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, ortamdan kavitenin; soğuk (Q_c), alt (Q_b), ön (Q_{fr}) ve arka (Q_{ba}) duvarlarına geçen toplam ısı miktarı (Q_1), denklem 6.12 ile

$$Q_1 = Q_c + Q_b + Q_{fr} + Q_{ba} \quad (6.12)$$

ve ayrıca, kavitenin sıcak (Q_h) ve üst (Q_t) duvarlarından ortama geçen toplam ısı miktarı (Q_2), denklem 6.13 ile

$$Q_2 = Q_h + Q_t \quad (6.13)$$

hesaplanmıştır. Isı dengesini ortaya koymak üzere enerji dengesi hatası (E_{eb}) olarak adlandırılan büyüklük, % olarak ve denklem 6.14 yardımıyla bulunmuştur.

$$E_{eb} = 100 \frac{(Q_1 - Q_2)}{0.5 (Q_1 + Q_2)} \quad (6.14)$$

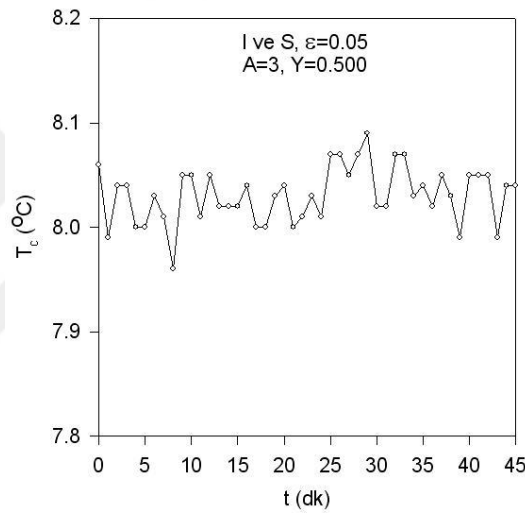
Bu bölümde gerçekleştirilen inceleme, tez içerisinde dördüncü paket deneyler olarak adlandırılmıştır.

Dördüncü paket deneylerde, kavite içindeki iki boyutlu ısı geçişi, yalnızca doğal taşınım halinde ve farklı kavite yükseklik genişlik oranı (A) değerlerinde incelenmiştir. İncelenen altı kavitede yükseklik genişlik oranı, $A=1, 2.09, 3, 4, 5$ ve 6 'dır. Kavite duvarlarının; iç yüzeyleri alüminyum folyo ile kaplanmış ve yüzey yayma katsayıları $\varepsilon=0.05$ değerine düşürülmüştür. Bu nedenle kavite içindeki ısıtım ile ısı geçişi engellenmiştir. Isı geçiş mekanizması yalnızca doğal taşınımdır. Deneyler, sadece bir kavite derinliğinde (kavitenin $Z=0.500$ simetri düzleminde) gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, kavite içindeki ısı geçişi iki boyutlu incelenmiştir. Her bir kavitede, $Y=0.875, 0.500$ ve 0.125 olmak üzere, üç farklı kavite yüksekliğinde deneyler yapılmıştır. Bu pakette toplam 18 noktada deney yapılmış olup, deney matrisi Çizelge 6.6'da verilmiştir. Her bir kavite için, yerel sıcaklık verisi 105 ($=3 \times 35$) noktada elde edilmiştir.

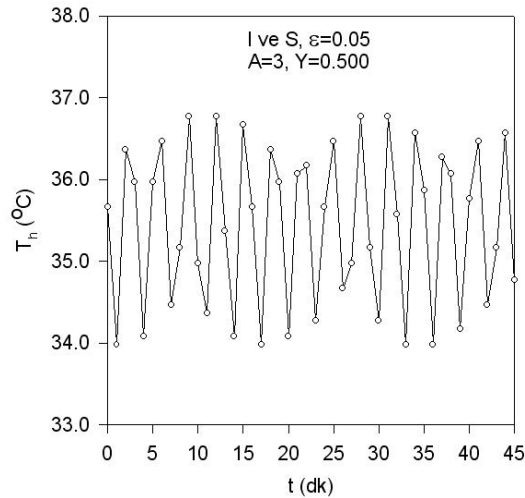
Çizelge 6.6 : Dördüncü paket deneylerine ait deney matrisi.

Y	A					
	1	2.09	3	4	5	6
0.875	+	+	+	+	+	+
0.500	+	+	+	+	+	+
0.125	+	+	+	+	+	+

Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, kavitenin soğuk duvar sıcaklığının (T_c) zamana bağlı değişimi Şekil 6.29’da; kavitenin sıcak duvar sıcaklığının (T_h) zamana bağlı değişimi ise Şekil 6.30’da verilmiştir. Yatay eksendeki zaman periyodu, 4 saat 54 dakikalık deneyin, ortalama değer in hesaplanmasında dikkate alınan son 45 dakikalık bölümüdür.



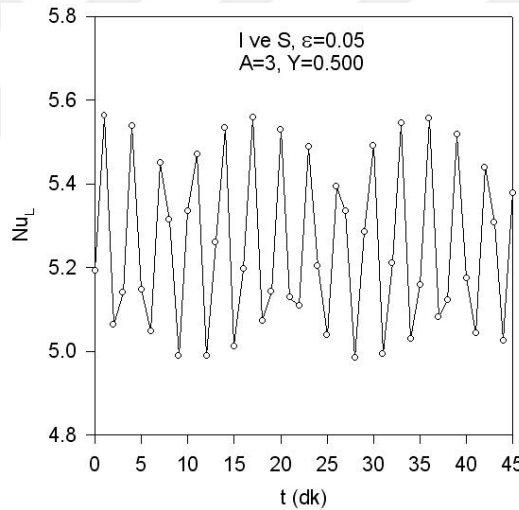
Şekil 6.29 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede $A=3$, $Y=0.500$ deneyinde soğuk duvar sıcaklığının zamanla değişimi.



Şekil 6.30 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede $A=3$, $Y=0.500$ deneyinde sıcak duvar sıcaklığının zamanla değişimi.

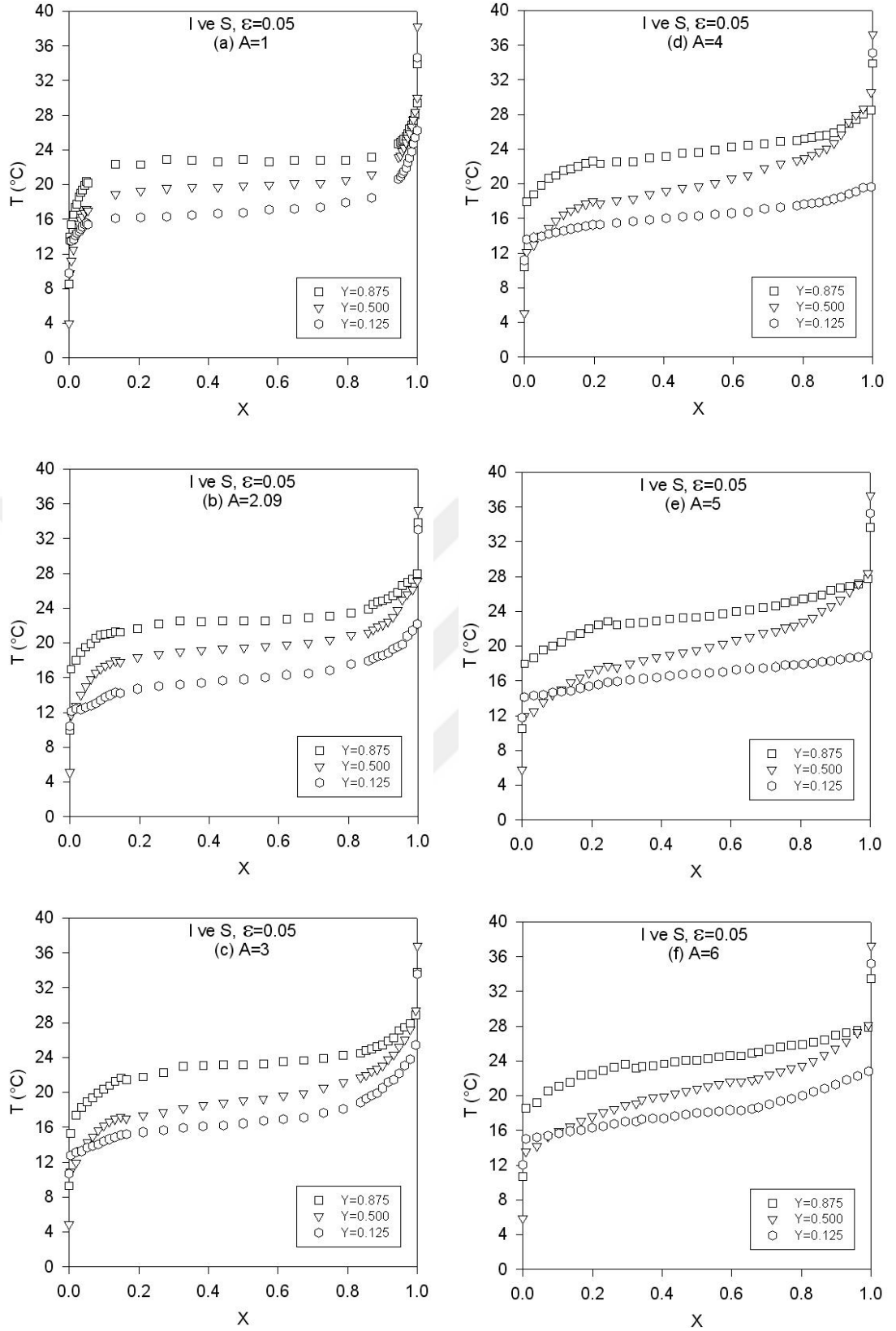
Grafiklerdeki “I ve S” ifadesi “Isıtma ve Soğutma durumundaki kaviteyi” tanımlamak üzere kullanılmıştır. Her iki grafik de, bir örnek olarak $A=3$, $Y=0.500$ deneyi için çizilmiştir. Şekil 6.29’da görüldüğü gibi soğuk duvar sıcaklığı tıpkı bir önceki, yalnızca bir aktif duvara sahip olup bu aktif duvarından sabit sıcaklıkta soğutulmakta olan, kavitedeki gibi zamanla sabittir. Şekil 6.30’da görüldüğü üzere sıcak duvar sıcaklığı zamanla periyodik olarak değişmektedir. Duvar sıcaklığı sabittir, ancak bu sabit olma durumu zamana bağlı olarak periyodik şekilde değişmektedir.

Şekil 6.31’de ise ısıtma ve soğutma durumundaki kavitede, yine $A=3$, $Y=0.500$ deneyi için kavitenin ortalama Nusselt sayısının zamana bağlı değişimi çizilmiştir. Nusselt sayısının bu şekilde değişmesinin sebebi Şekil 6.30’da verilmiş olan sıcak duvar sıcaklığındaki değişimdir. Grafikteki Nusselt sayısı, kavite genişliğine göre tanımlanmıştır.



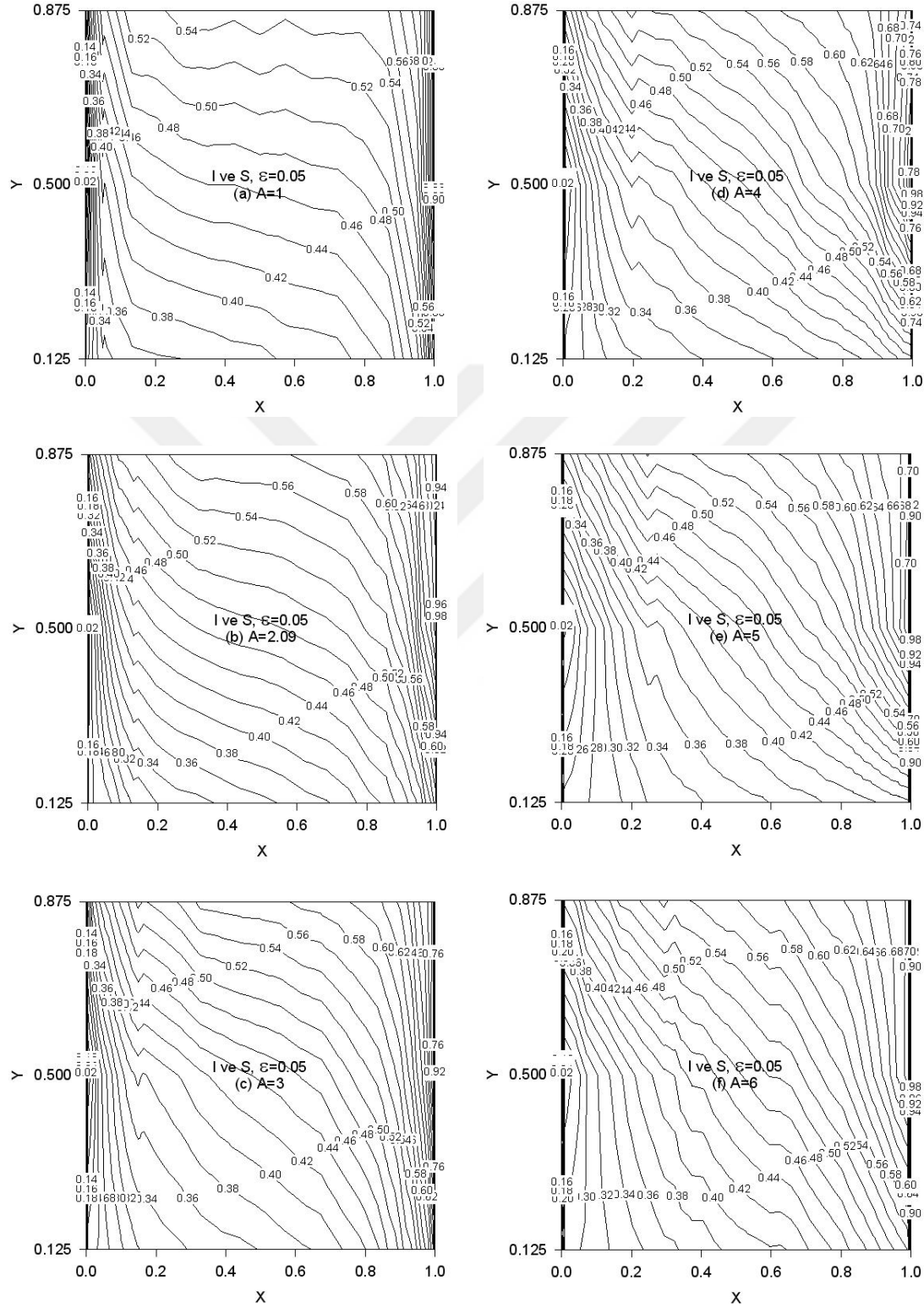
Şekil 6.31 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede $A=3$, $Y=0.500$ deneyinde ortalama Nusselt sayısının zamanla değişimi.

Şekil 6.32(a), (b), (c), (d), (e) ve (f)’de doğal taşınım halinde, ısıtma ve soğutma durumundaki kavitede sıcaklık dağılımı sırasıyla yükseklik genişlik oranı $A=1$, 2.09, 3, 4, 5 ve 6 olan dikdörtgen kaviteler için çizilmiştir. Görüldüğü gibi, sağ duvar ısıtılmakta olduğu için bundan önceki kavitedeki durumdan tamamen farklı olarak artık, sağ, sıcak duvardaki sıcaklık gradyanı da, sol, soğuk duvardaki gibi büyüktür; ve ayrıca, sağdaki gradyan soldaki gradyana eşittir. Sol ve sağ duvar yakınındaki sıcaklık profilleri, $A=5$ ve $A=6$ kavitelerine ait $Y=0.875$ durumu haricinde simetriktir.



Şekil 6.32 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, kavite içindeki sıcaklık dağılımı; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$.

Şekil 6.33(a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de doğal taşınım halinde, ısıtma ve soğutma durumundaki kavitede eş sıcaklık eğrileri sırasıyla yükseklik genişlik oranı $A=1$, 2.09, 3, 4, 5 ve 6 olan dikdörtgen kaviteler için çizilmiştir.

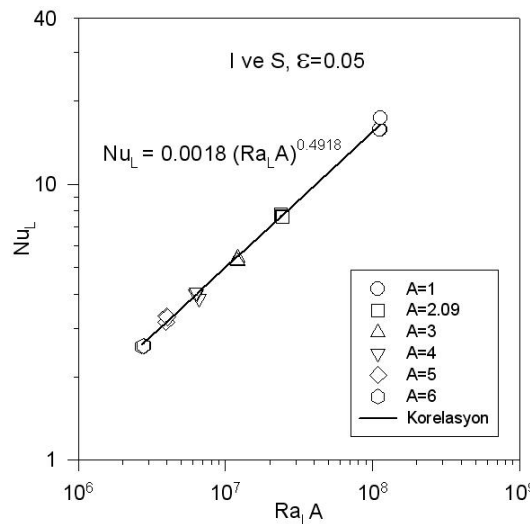


Şekil 6.33 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, kavite eş sıcaklık eğrileri; (a) $A=1$, (b) $A=2.09$, (c) $A=3$, (d) $A=4$, (e) $A=5$, (f) $A=6$.

Şekil 6.33'deki eğriler, kavitlerin her birinde, x eksenini doğrultusunda 35 konumda ve y eksenini doğrultusunda üç konumda yapılmış olan sıcaklık ölçümlerini boyutsuz sıcaklık (θ) konturları olarak sunmaktadır. X eksenini 0.0 ile 1.0 arasında, Y eksenini ise 0.125 ile 0.875 arasında sınırlandırılmıştır. Grafikler, akışkanın sol duvardan aşağı yönde, sağ duvardan ise yukarı yönde, ve bütün bir kavite içinde saatin tersi yönündeki hareketini göstermektedir. Sabit bir yükseklik genişlik oranında (A), eş sıcaklık eğrilerinin sol duvardaki ve sağ duvardaki dağılımı ve yoğunluğu benzerdir. Eş sıcaklık eğrilerinin soğuk duvardaki, $Y=0.549$ ile 0.672 arasındaki yerel ısı kuyusundan çıkışı ve sağ duvardaki, $Y=0.328$ ile 0.549 arasındaki yerel ısı kaynağından çıkışı özellikle $A=4, 5$ ve 6 kavitelerinde net bir biçimde görülmektedir. Eğrilerin çıkışı, odaklanma olarak da ifade edilebilir.

6.5.1 Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede ortalama ısı geçişi

Ortalama ısı geçişi bağlamında, 18 deney verisi kullanılarak Nusselt sayısının $Ra_L A$ ile değişimi incelenmiş ve regresyon analizi yapılmıştır. Nusselt ve Rayleigh sayıları kavite genişliğine göre tanımlanmıştır. Isı geçişi yalnızca doğal taşınım yoluyla olur. Şekil 6.34'de ortalama Nusselt sayısının $Ra_L A$ ile değişimi ve uydurulan eğri çizilmiştir.



Şekil 6.34 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, Nu_L 'in $Ra_L A$ ile değişimi ve üretilen korelasyon.

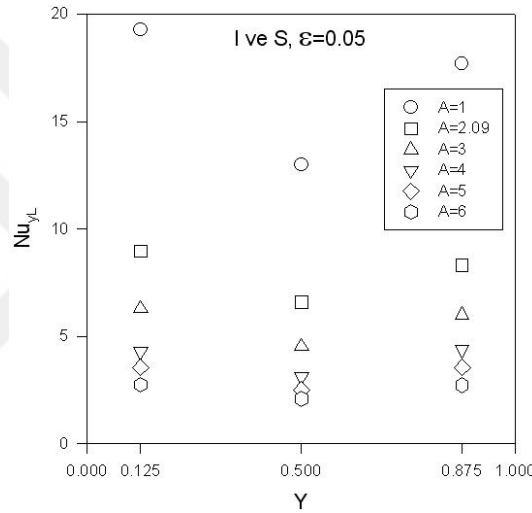
Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede doğal taşınım halinde kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısını veren korelasyon

$$Nu_L = 0.0018 (Ra_L A)^{0.4918} \quad (6.15)$$

eşitliğinde verilmiştir. Denklem 6.15’de, Ra_L , 4.51×10^5 ile 1.13×10^8 aralığında; $Ra_L A$, 2.70×10^6 ile 1.13×10^8 aralığında; ve yükseklik genişlik oranı (A), 1 ile 6 aralığındadır. Kavite duvarlarının yüzey yama katsayısı (ε), 0.05 değerinde; ve regresyon katsayısı (R^2), 0.99525860’dır.

6.5.2 Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede yerel ısı geçişi

Şekil 6.35’de ısıtma ve soğutma durumundaki kavitede, yerel Nusselt sayısının dağılımı çizilmiştir. Grafikte boyutsuz kavite yüksekliği $Y=0.125$, 0.500 ve 0.875 değerlerindedir. Görüldüğü gibi, $A=1$ kavite, diğer beş kaviteden ayrılmıştır. Buna ilave olarak, yüksekliğin etkisi en çok bu kavitede ortaya çıkmıştır.

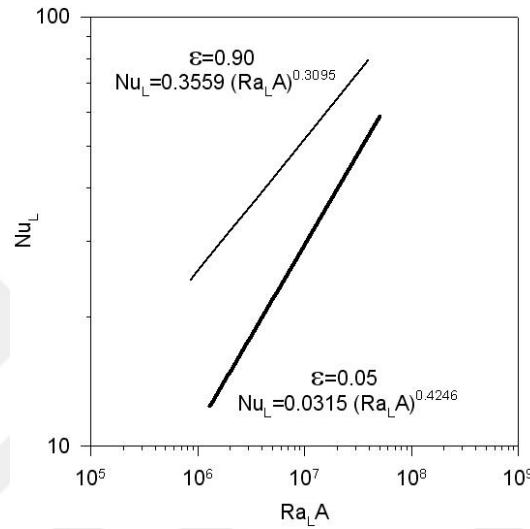


Şekil 6.35 : Isıtma ve soğutma durumundaki kavitede, yerel Nusselt sayısının kavite yüksekliği boyunca değişimi.

Kavitenin yükseklik genişlik oranı arttıkça farklı kavitelere ait eğriler birbirine yaklaşmış ve $A=4$, 5 ve 6 kavitelerinin eğrileri dar bir bantta değişmiştir. Ayrıca, yükseklik genişlik oranı arttıkça $Y=0.125$, 0.500 ve 0.875 yüksekliklerindeki Nusselt sayısı yaklaşık aynı değerde elde edilmiştir. Başka bir ifadeyle, yükseklik genişlik oranı arttıkça yerel Nusselt sayısının dağılımı daha düzgün (uniform) hale geçmiştir. Grafiklerin gösterdiği bir başka sonuç, $Y=0.500$ ’in altında ve üstünde, kavitenin alt yarısındaki Nusselt sayısının kavitenin üst yarısındaki Nusselt sayısına yaklaşık eşit olduğu; ve kavite orta yükseklik çizgisine göre simetrik bir Nusselt sayısı dağılımı elde edildiğidir. Şekil 6.25 hatırlanırsa, bir duvarından soğutulan, bir aktif duvara sahip olan kavitede bu dağılım simetrik değildi. Bu nedenle, bahsedilen bu durum, sol duvara ilave olarak sağ duvarın da aktif hale getirilmesiyle elde edilmiştir.

6.6 Deney Paketlerinin Birbiriyle Karşılaştırılması

Şekil 6.36'da ikinci ve üçüncü paket deney sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Kavite, bir aktif duvara sahip olup düşey duvarlarından birinden soğutulmakta, bunun karşısındaki düşey duvarı ise aktif olmayandır. Kavitenin aktif duvarı, yerel bir ısı kuyusu ile duvarın tamamından soğutulmaktadır. Bu grafik, doğal taşınım ve ışıınım halinde ısı geçişi ($\varepsilon=0.90$) ile sadece doğal taşınım halinde ısı geçişi ($\varepsilon=0.05$) arasındaki farkı göstermektedir.



Şekil 6.36 : Doğal taşınım ve ışıınım ve doğal taşınım durumlarının karşılaştırılması.

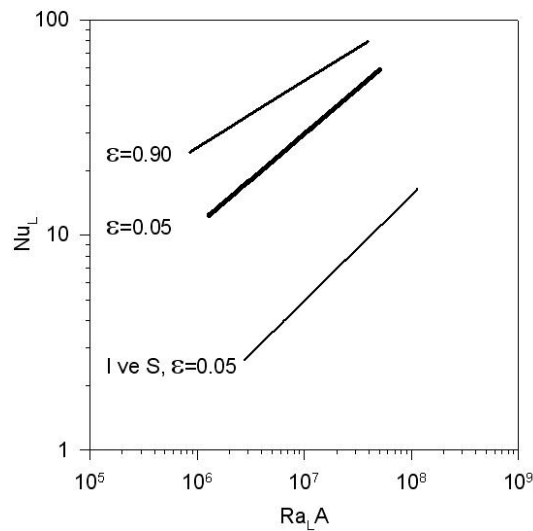
Grafikte görüldüğü gibi $Ra_L A$ 'nın 2×10^6 değerinde doğal taşınım ve ışıınım halindeki Nusselt sayısı 31.7, yalnızca doğal taşınım halindeki Nusselt sayısı ise 14.9'dur. Kavite duvarları arasındaki ışıınım, kavite içindeki ısı geçişini 2.13 kat arttırmıştır. $Ra_L A$ 'nın bu değeri yükseklik genişlik oranının büyük olduğu $A=5$ durumuna karşı gelmektedir. $Ra_L A$ 'nın 3.9×10^7 değerinde doğal taşınım ve ışıınım halindeki Nusselt sayısı 79.6, yalnızca doğal taşınım halindeki Nusselt sayısı ise 52.7'dir. Kavite duvarları arasındaki ışıınım, kavite içindeki ısı geçişini 1.51 kat arttırmıştır. $Ra_L A$ 'nın bu değeri ise yükseklik genişlik oranının küçük olduğu $A=1$ durumuna karşı gelmektedir. Kavite duvarları arasındaki ışıınım, $A=5$ durumunda $A=1$ durumundan daha fazla etkili olmuştur. Kavite içindeki ısı geçişinde ışıınının payı, kavitenin yükseklik genişlik oranı (A) arttıkça, kavite genişliği (L) azaldıkça, soğutulmuş sol duvar ile sıcak sağ duvar birbirine yaklaştıkça artmıştır. Bu noktada, yükseklik genişlik oranı büyüdükçe doğal taşınım ile ısı geçişi azaldığı için ışıınının toplam ısı geçişindeki payının daha fazla ortaya çıkmakta olduğu ayrıca hatırlatılmalıdır.

Ortalama ısı geçişi byklklri dikkate alınarak, $\varepsilon=0.90$ durumundaki altı adet veri ile, $\varepsilon=0.05$ durumundaki her bir kavite için üç adet verinin aritmetik ortalaması alınıp bir adet veriye ulaşılarak ortaya çıkan altı veri değeri; ve sonuçta 12 veri kullanılarak $\varepsilon=0.90$ ve $\varepsilon=0.05$ durumlarının ikisini birlikte yansıtan bir korelasyon, regresyon analizi yapılarak

$$Nu_L = 0.2132 (Ra_L A)^{0.3420} \varepsilon^{0.1777} \quad (6.16)$$

biçiminde üretilmiştir. Denklem 6.16'da, kavite genişliğine göre tanımlanmış Rayleigh sayısı (Ra_L), 1.42×10^5 ile 5.05×10^7 aralığında; $Ra_L A$, 8.52×10^5 ile 5.05×10^7 aralığında; yükseklik genişlik oranı (A), 1 ile 6 aralığında; kavite duvarlarının yüzey yayma katsayısı (ε), 0.05 ile 0.90 aralığında; ve regresyon katsayısı (R^2), 0.97663602'dir. Bu korelasyon, ısı geçişinde kavite duvarlarının yüzey yayma katsayısının etkisini de içermektedir.

şekil 6.37'de ikinci, nc ve dördüncü paket deney sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu grafikte, bir aktif duvara sahip kavitede doğal taşınım ve ışınım halinde ısı geçişi ($\varepsilon=0.90$), bir aktif duvara sahip kavitede yalnızca doğal taşınım halinde ısı geçişi ($\varepsilon=0.05$) ve iki aktif duvara sahip, ısıtma ve soğutma durumundaki kavitede yalnızca doğal taşınım halinde ısı geçişi (I ve S, $\varepsilon=0.05$) sonuçları görülmektedir. Bu üç grafik sırasıyla, denklem 6.2, denklem 6.9 ve denklem 6.15'de verilmiş olan korelasyonların eğrileridir.



şekil 6.37 : Doğal taşınım ve ışınım, doğal taşınım ve ısıtma ve soğutma halinde doğal taşınım durumlarının karşılaştırılması.

Bu grafik ilk olarak, ısıtım ile ısı geçişinin etkisini göstermektedir. Bir aktif duvara sahip kavitede doğal taşınım ve ısıtım durumu ile bir aktif duvara sahip kavitede doğal taşınım durumu arasındaki farkı göstermektedir. Bu karşılaştırma, Şekil 6.36’da ayrıntılı bir biçimde yapılmıştır.

Grafik ikinci olarak, bir aktif duvara sahip kavite ile iki aktif duvara sahip kavite arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Bir aktif duvara sahip kavite düşey bir duvarından soğutulmaktayken bunun karşısındaki düşey duvarı aktif olmayan kavitedir. İki aktif duvara sahip kavite ise düşey bir duvarından soğutulurken bunun karşısındaki düşey duvarından ısıtılan kavitedir.

Bir aktif duvara sahip kavitede yalnızca doğal taşınım halinde ısı geçişi ($\varepsilon=0.05$) sonuçları ile iki aktif duvara sahip, ısıtma ve soğutma durumundaki kavitede yalnızca doğal taşınım halinde ısı geçişi (I ve S, $\varepsilon=0.05$) sonuçları arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon denklem 6.17’de verilmiştir.

$$C_N = \frac{(Nu_L)_{\varepsilon=0.05}}{(Nu_L)_{I \text{ ve } S, \varepsilon=0.05}} = 17.5024 (Ra_L A)^{-0.0672} \quad (6.17)$$

Burada, $Ra_L A$, 2.7×10^6 ile 5.1×10^7 aralığında; kavite duvarlarının yüzey yayma katsayısı (ε), 0.05 değerinde; regresyon katsayısı (R^2), 0.99999965’dir.

Denklem 6.17’deki C_N , tezde üretilmiş boyutsuz ısı geçiş çarpanı olup, iki aktif duvara sahip (düşey duvarlarından birinden soğutulan bunun karşısındaki düşey duvarından ısıtılan) kavite için ısı geçişi (Nu_L) biliniyorken, bir aktif duvara sahip (düşey duvarlarından birinden soğutulan bunun karşısındaki düşey duvarının ise aktif olmadığı) kavite için ısı geçişini (Nu_L) belirlemeye yarar. Buna göre, denklem 6.18’deki

$$(Nu_L)_{\varepsilon=0.05} = C_N (Nu_L)_{I \text{ ve } S, \varepsilon=0.05} \quad (6.18)$$

gibi bir korelasyon elde edilmiştir.

6.7 Ölçüm Belirsizliği Analizi

Deney ölçüm sonuçlarındaki ve bu ölçüm sonuçlarını kullanarak bulunan deney hesaplama büyüklüklerinde ortaya çıkan ölçüm belirsizliği analizi (uncertainty analysis) Kline ve McClintock [60] ve Moffat [61] tarafından verilen yöntem kullanılarak ve % 95 güvenirlik seviyesinde yapılmıştır.

Deneylerin her birine ait bütün ölçüm verileri için, n , ölçüm verisi sayısı; ve σ , standart sapma değeri biliniyor durumdadır. % 95 güvenirlik seviyesi için α , önem seviyesi büyüklüğü 0.05'dir. İki taraflı bir test için, ν , serbestlik derecesi büyüklüğü, $1 - \alpha/2$ değerine eşittir. Buna göre, ν , serbestlik derecesi 0.975 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, ν , serbestlik derecesinin 0.975 değerinde, n , ölçüm verisi sayısı değerine karşı gelen bir t , öğrenci dağılımı büyüklüğü [62] numaralı kaynakta verilen çizelgeden alınmıştır. Deneylerin her biri farklı bir ölçüm verisi sayısına sahip olduğundan dolayı, bahsedilen bu t büyüklüğünün belirlenmesi işlemi deneylerin her biri için tek tek yapılmıştır.

Rastgele hata (w_{rastgele}) büyüklüğü denklem 6.19 ile hesaplanmıştır.

$$w_{\text{rastgele}} = \frac{t \sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.19)$$

Burada, t , öğrenci dağılımı; σ , standart sapma değeri; ve n , ölçüm verisi sayısıdır. Denklem 6.19'daki σ , standart sapma değeri, boyutlu bir büyüklük olup ölçüm verisi ile aynı boyutta, birimdedir. Bu nedenle, w_{rastgele} , büyüklüğü de σ , standart sapma değeri ile aynı birimdedir. Bu tez çalışmasındaki sıcaklık ölçümü için σ ve w_{rastgele} ($^{\circ}\text{C}$) birimindedir.

Daha sonra, w_{sistemik} , termoelemanın sistematik hatası, denklem 6.20 ile hesaplanmıştır.

$$w_{\text{sistemik}} = \sqrt{w_{\text{banyo}}^2 + w_{\text{termometre}}^2} \quad (6.20)$$

Burada, w_{banyo} , sabit sıcaklık banyosunun sistematik hatası; ve $w_{\text{termometre}}$ referans termometresinin sistematik hatasıdır. Bu ikisi sırasıyla, banyonun kararlılık değeri olan 0.005°C ; ve termometrenin doğruluk değeri olan 0.00025°C alınmıştır. Burada, w_{sistemik} ($^{\circ}\text{C}$) birimindedir.

Rastgele ve sistematik hatalar belirlenmiş halde w_{toplam} , toplam belirsizlik, denklem 6.21 ile hesaplanmıştır.

$$w_{\text{toplam}} = \sqrt{w_{\text{rastgele}}^2 + w_{\text{sistematik}}^2} \quad (6.21)$$

Burada, w_{toplam} ($^{\circ}\text{C}$) birimindedir.

Yukarıda verilen yöntem kullanılarak her bir deney için ve ölçümlerde kullanılan, EK C, Çizelge C.2’de listelenmiş olan 44 termoelemanın her biri için toplam belirsizlik değeri hesaplanmıştır.

[60, 61] numaralı çalışmalarda, çok sayıda bağımsız değişkene sahip olan bir R fonksiyon (büyüklük) denklem 6.22 ile tanımlanmış

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (6.22)$$

ve böyle bir R büyüklüğünde ortaya çıkacak ölçüm belirsizliği denklem 6.23 ile bulunmuştur.

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right] \quad (6.23)$$

Denklem 6.22 ve denklem 6.23’de, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, bağımsız değişkenler, $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$, sırasıyla, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, bağımsız değişkenlerinin (toplam) ölçüm belirsizlik değerleri; $\frac{\partial R}{\partial x_1}, \frac{\partial R}{\partial x_2}, \frac{\partial R}{\partial x_3}, \dots, \frac{\partial R}{\partial x_n}$ sırasıyla, R fonksiyonunun $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ değişkenlerine göre alınmış kısmi türevler; ve w_R , R büyüklüğünün ölçüm belirsizliğidir. R fonksiyonunda, bir katsayı gibi sabit bir değer olduğunda bundan bir belirsizlik oluşmamaktadır. Ölçülen değişkenlerin her biri için ayrı bir ölçüm belirsizliği ortaya çıkmaktadır. Ölçüm büyüklüğünden gelen belirsizlik, denklem 6.21 ile hesaplanmış haldedir.

Denklem 6.23 yardımıyla, Bölüm 5.3 ve Bölüm 5.4’de verilmiş olan hesap yönteminde geçen bütün büyüklükler için belirsizlik değeri hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında, en son noktadaki, nihai ısı geçişi büyüklüğü Nusselt sayısıdır. Bu nedenle Nusselt sayısında ortaya çıkan ölçüm belirsizliği, ve bazı sıcaklık parametrelerinde oluşan ölçüm belirsizliği EK G’de sunulmuştur.

EK G’de Çizelge G.1’de birinci ve ikinci deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği verilmiştir. Bu çizelgedeki wT_{hy} , wT_{cy} , $w\Delta T_y$, wh_y ve wNu_{yL} sırasıyla, T_{hy} , T_{cy} , ΔT_y , h_y ve Nu_{yL} ’de ortaya çıkan belirsizliktir. Bahsedilen bu son büyüklükler ise sırasıyla, sıcak duvarın yerel yüzey sıcaklığı, soğutulmuş duvarın yerel yüzey sıcaklığı, kavite yerel sıcaklık farkı, kavite yerel ısı geçiş katsayısı ve kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Nusselt sayısıdır. Çizelgedeki wNu_{yL}/Nu_{yL} , % olarak, Nu_{yL} ’de ortaya çıkan belirsizliğin Nu_{yL} değerine oranıdır. Çizelgedeki yazı karakteri küçük olduğundan dolayı büyüklüklerin çizelgede daha rahat görünebilmesi için, T_{hy} , T_{cy} , ΔT_y , h_y ve Nu_{yL} büyüklükleri alt indis olarak değil normal karakterde yazılmıştır. Gerçekte, $w_{T_{hy}}$, $w_{T_{cy}}$, $w_{\Delta T_y}$, w_{h_y} ve $w_{Nu_{yL}}$ şeklindedir.

Birinci paketteki 25 deneyde, wNu_{yL}/Nu_{yL} büyüklüğü % 0.36 ile 2.54 aralığında meydana gelmiştir. Bunların aritmetik ortalaması % 0.89’dur. İkinci paketteki 42 deneyde ise wNu_{yL}/Nu_{yL} büyüklüğü % 0.11 ile 1.24 aralığında ve bunların ortalaması % 0.44 değerinde oluşmuştur.

EK G’de Çizelge G.2’de üçüncü ve deney deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği verilmiştir. Bu çizelgedeki wT_h , wT_c , $w\Delta T$, wh ve wNu_L sırasıyla, T_h , T_c , ΔT , h ve Nu_L ’de ortaya çıkan belirsizliktir. Sözü edilen bu son büyüklükler ise sırasıyla, sıcak duvarın yüzey sıcaklığı, soğutulmuş duvarın yüzey sıcaklığı, kavite ortalama sıcaklık farkı, kavite ortalama ısı geçiş katsayısı ve kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısıdır. Buradaki, wNu_L/Nu_L ise % olarak, Nu_L ’de ortaya çıkan belirsizliğin Nu_L değerine oranıdır. Büyüklüklerin çizelgede daha rahat görünebilmesi için, T_h , T_c , ΔT , h ve Nu_L büyüklükleri normal karakterde yazılmıştır. Gerçekte, w_{T_h} , w_{T_c} , $w_{\Delta T}$, w_h ve w_{Nu_L} şeklindedir.

Üçüncü paketteki 18 adet deneyde, wNu_L/Nu_L , % 0.24 ile 0.87 aralığında ortaya çıkmış olup bunların ortalaması % 0.39’dur. Dördüncü paket kapsamındaki 18 deneyde, wNu_L/Nu_L , % 0.98 ile 1.63 aralığında gerçekleşmiş olup bunların ortalaması % 0.98’dir.

7. SONUÇLAR

Karşılıklı düşey duvarlarından ikisi birbirine göre sıcaklık farkı olacak şekilde ısıtılan, başka bir ifadeyle, düşey duvarlardan biri ısıtılırken diğeri soğutulan ve bu sırada üst, alt, ön ve arka duvarları adyabatik olarak tutulan kavite içindeki ısı geçişi literatürde yaygın biçimde incelenmiştir. Bu tür kavite, iki aktif duvara sahip kavite olarak adlandırılır. Bir ısı kaynağı ile duvarının yarısından veya birden fazla sayıda ısı kaynağı ile duvarının bir çok noktasından ısıtılan, karşıdaki düşey duvarından ise duvarının yarısından veya birden fazla sayıda ısı kuyusu ile duvarının bir çok noktasından soğutulan ve bu sırada duvarın, ısıtılan ve soğutulan bölümleri dışında kalan kısımları adyabatik olarak tutulan kaviteler de yoğun biçimde araştırılmıştır. Bu tip kaviteler de iki aktif duvara sahiptir. Bu çalışmalarda, aktif duvarlardaki sıcaklık dağılımı düzgündür. Bir çok mühendislik uygulamasında kavite iki aktif duvara sahip durumdayken diğerk çok uygulamada ise kavite bir aktif düşey duvara sahiptir. Yapılan literatür araştırması sonucunda, yalnızca bir düşey duvarından ısıtılan kavite ile ilgili literatürde bir boşluk olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında sadece bir aktif duvara sahip kavite içindeki ısı geçişi incelenmiştir. Kavite, düşey duvarlarından birinden soğutulmaktayken bunun karşıındaki düşey duvar aktif değildir. Bu iki duvar, birbirinden farklı sabit sıcaklıklara sahiptir. Kavitenin üst, alt, ön ve arka duvarları adyabatiktir.

Pratikte karşılaşılan problemlerde kavitenin üçüncü boyutunun ölçüsü diğerk iki boyutunun ölçüsüne yakın olduğu için üç boyutlu inceleme kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışmada uygulamada kullanılan bir kavite ele alınmış olup, kavitenin üçüncü boyutunun ölçüsü diğerk iki boyutunun ölçüsüne yakındır. İlk defa bu çalışma ile kavite içindeki ısı geçişi, deneysel ve üç boyutlu olarak incelenmiştir. Sıcaklık dağılımının yanı sıra, ısı geçişinin de kavitenin, genişliği, yüksekliği ve derinliği yönlerindeki değişimi ortaya konulmuştur. Isı geçişinin, üç veya iki boyutlu incelenmesiyle oluşan farklılıklar bulunmuştur.

Literatürdeki çalışmaların özellikle deneysel olanlarında; kavite duvarlarının yüzey yayma katsayısının bütün duvarlarda aynı değerde sağlanmadığı belirlenmiş; kavite

içindeki ısı geçiş mekanizmasının ışınım ve doğal taşınım yoluyla mı yoksa sadece doğal taşınım yoluyla mı olduğunun belirtilmediği görölmüş; ışınım ile ısı geçişi durumu için ışınıma kısmen izin verilme durumunun söz konusu olduğu görölmüş; ve çalışma sonucunda verilen ısı geçişi korelasyonunun ışınım ve doğal taşınım için mi yoksa sadece doğal taşınım için mi geçerli olduğu ile ilgili bir belirsizlik olduğu tespit edilmiştir. Bu eksiklikleri gidermek üzere bu tez çalışmasında; kavite duvarlarının yüzey yarma katsayısı bütün duvarlarda aynı değerde sağlanmış; gerek ışınım ve doğal taşınım halinde ve gerekse sadece doğal taşınım halinde kavite içindeki ısı geçiş mekanizması net bir biçimde oluşturulmuştur. İlk defa bu tez çalışmasında, bir aktif duvara sahip kavite içindeki ısı geçişi, ışınım ve doğal taşınım ve yalnızca doğal taşınım durumlarının her ikisinde de incelenerek ışınımın etkisi, diğer bir ifadeyle, ışınımın toplam ısı geçişi içindeki payı ortaya konulmuştur. Nu_L , Ra_{LA} 'nın 2.0×10^6 değerinde, ışınım ve doğal taşınım durumunda 31.7, yalnızca doğal taşınım durumunda 14.9; Ra_{LA} 'nın 3.9×10^7 değerinde ise sırasıyla 79.6 ve 52.7 olarak bulunmuştur.

Literatürdeki çalışmalarda boyutsuz ısı geçişi sayılarının tanımı konusunda farklılık olduğu görölmüşür. Çalışmaların büyük çoğunluğunda boyutsuz sayılardaki karakteristik uzunluk kavite genişliği olurken, az sayıdaki çalışmada kavite yüksekliği olmuştur. Bu iki farklı tanımı birbirinden ayırmak amacıyla bu tez çalışmasında, boyutsuz sayıların sembollerinde, kavitenin genişliğini ve yüksekliğini temsil eden alt indisler kullanılmıştır. Isı geçişinin her iki tanıma göre değişimi de incelenmiş ve etkili karakteristik uzunluğun, kavite genişliği olduğu görölmüşür.

İki aktif duvara sahip kavite ilgili çalışmalarda, aktif duvarlardaki sıcaklık dağılımları düzgündür. Tezde ele alınan kavitede, kavitenin aktif duvarı, bütün bir yüzeyinden ancak yerel bir ısı kuyusu ile soğutulduğu için duvardaki sıcaklık düzgün dağılmamaktadır. Bu nedenle, kavite içindeki ısı geçişinin konuma bağlı değişimi önem kazanmaktadır. Tezde, ortalama ısı geçişi büyüklüğünün yanı sıra, yerel ısı geçişi büyüklüğü de incelenmiş; ve kavite içindeki yerel ısı geçişinin kavite yüksekliği boyunca değişimi ortaya konulmuştur. Böylece, yerel ısı kuyusunun, kavite içindeki sıcaklık dağılımına ve ısı geçişine etkisi belirlenmiştir. Yerel Nusselt sayısının, kavitenin orta bölgesinde küçük, kenar bölgelerinde ise büyük miktarda değişmekte olduğu bulunmuştur. Yerel Nusselt sayısının orta konumda minimum, alt konumda ise maksimum olduğu görölmüşür.

Kavitenin karşılıklı düşey duvarları arasındaki mesafenin ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Düşey duvarlar arasındaki mesafe azaltıldığında, kavitenin altı duvarının birbiriyle yaptığı ışınlama ısı alış verişinin, ve ayrıca kavite içindeki doğal taşınımın değişmekte olduğu bulunmuştur. Bu çerçevede, kavitenin karşılıklı iki duvarı arasındaki sıcaklık farkının, kavite içindeki sıcaklık haritasının, hava akışının, doğal taşınımın ısı geçişinin ve ışınlamının toplam ısı geçişi içindeki payının değişimi ortaya konulmuştur. Kavitenin karşılıklı duvarları arasındaki mesafenin değişimi, kavite yükseklik genişlik oranı olarak adlandırılan boyutsuz bir parametre üzerinden ifade edilmiştir. Isı geçişinin yükseklik genişlik oranına bağlı olarak değişiminin, incelenen yükseklik genişlik oranı aralığının farklı bölgelerinde birbirinden farklı biçimde meydana gelmekte olduğu bulunmuştur.

Literatürdeki iki aktif duvara sahip çalışmaların bazılarında, ısı geçişini veren ısı geçişi korelasyonları sunulmuştur. Ancak, bir aktif duvara sahip kavite için, ısı geçişinin yükseklik genişlik oranı ile değişimi ve ısı geçişi korelasyonları ilk defa bu çalışmada ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, yükseklik genişlik oranının 1 ile 6 ve Rayleigh sayısının 1.4×10^5 ile 1.1×10^8 aralığında ısı geçişi korelasyonları üretilmiştir.

Tezde elde edilen sonuçlara göre bir aktif duvara sahip kaviteler ile ilgili gelecekteki çalışmalar iki boyutlu olarak gerçekleştirilebilir.

Isı geçişinin, Rayleigh sayısı ile yükseklik genişlik oranının çarpımına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Nusselt sayısının, Rayleigh sayısı ve yükseklik genişlik oranının çarpımı ile değişimini ifade eden ısı geçişi korelasyonu ilk kez bu çalışmada sunulmuştur.

Kavitenin karşılıklı duvarları arasındaki sıcaklık profili değişik kavite yüksekliklerinde ölçülerek kavite içindeki sıcaklık haritası çıkarılmış; kavite içindeki sıcaklık dağılımı eş sıcaklık eğrileri aracılığıyla ifade edilmiş; havanın kavite içindeki akışı belirlenmiş; ve duvarlara yakın ve merkez bölgelerdeki sıcaklık gradyanı ve ısı alışverişi bulunmuştur. Sıcaklığın kavite yüksekliği boyunca dağılımı ve havanın kavite içindeki katmanlaşması tespit edilmiştir. Akışın, yerel ısı kuyusunun konumu nedeniyle, duvarın; ortasında kuvvetli, alt ve üst uçlarında ise zayıf olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada ele alınan bir aktif duvara sahip kavite, iki aktif duvara sahip kavite problemine dönüştürülmüş ve inceleme, bu sonuncu kavite üzerinde de gerçekleştirilmiştir. İki aktif duvara sahip ve duvarlarından birinin sıcaklığı zamanla periyodik olarak değişen kavitede sadece doğal taşınım halinde ısı geçişi, değişik yükseklik genişlik oranına sahip kaviteler için incelenmiş; ve ısı geçişinin yükseklik genişlik oranı ile değişimi bir korelasyon olarak ortaya konulmuştur. Bir aktif duvara sahip kavitedeki ısı geçişi ile iki aktif duvara sahip kavitedeki ısı geçişi arasındaki ilişki ilk kez bu tezde ortaya konulmuştur. Böylece, ilk olarak ele alınan ve özel bir durum olan bir aktif duvara sahip kaviteden, ikinci olarak ele alınan ve daha genel bir durum olan iki aktif duvara sahip kaviteye geçiş yapılarak, bir aktif duvara sahip kavite için elde edilmiş olan sonuçlar genelleştirilmiştir.

Bir aktif ve iki aktif duvara sahip kaviteler için üretilen ısı geçişi korelasyonları, güneş kollektörü, çift camlı pencere, elektronik kartların soğutulması, odanın bir radyatör ile ısıtılması, duvardaki ısı yayan bir cihaz nedeniyle odanın ısınması gibi kapalı bir kavite içerisinde doğal taşınım veya doğal taşınım ve ışıınım yoluyla ısı geçişinin söz konusu olduğu bir çok uygulamada tasarım amaçlı olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **De Vahl Davis, G. and Jones, I.P.** (1983). Natural convection in a square cavity: A comparison exercise, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 3, 227-248.
- [2] **De Vahl Davis, G.** (1983). Natural convection of air in a square cavity: A benchmark numerical solution, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 3, 249-264.
- [3] **Markatos, N.C. and Pericleous, K.A.** (1984). Laminar and turbulent natural convection in an enclosed cavity, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 27 (5), 755-772.
- [4] **Ramesh, N. and Venkateshan, S.P.** (2001). Experimental study of natural convection in a square enclosure using differential interferometer, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 44, 1107-1117.
- [5] **Bairi, A.** (2008). Nusselt-Rayleigh correlations for design of industrial elements: Experimental and numerical investigation of natural convection in tilted square air filled enclosures, *Energy Convers. Manage.*, 49, 771-782.
- [6] **Yousaf, M. and Usman, S.** (2015). Natural convection heat transfer in a square cavity with sinusoidal roughness elements, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 90, 180-190.
- [7] **Eckert, E.R.G. and Carlson, W.O.** (1961). Natural convection in an air layer enclosed between two vertical plates with different temperatures, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2, 106-120.
- [8] **Emery, A. and Chu, N.C.** (1965). Heat transfer across vertical layers, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 87, 110-116.
- [9] **De Vahl Davis, G.** (1968). Laminar natural convection in an enclosed rectangular cavity, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 11, 1675-1693.
- [10] **MacGregor, R.K. and Emery, A.F.** (1969). Free convection through vertical plane layers-Moderate and high Prandtl number fluids, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 91, 391-403.
- [11] **Berkovsky, B.M. and Polevikov, V.K.** (1976). Numerical study of problems on high-intensive free convection. In D.B. Spalding, H. Afgan (Eds.), *Heat transfer and turbulent buoyant convection*, (pp. 443-455), Washington: Hemisphere.
- [12] **Yin, S.H., Wung, T.Y., and Chen, K.** (1978). Natural convection in an air layer enclosed within rectangular cavities, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 21, 307-315.

- [13] **Schinkel, W.M.M., Linthorst, S.J.M., and Hoogendoorn, C.J.** (1983). The stratification in natural convection in vertical enclosures, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 105, 267-272.
- [14] **Inaba, H.** (1984). Experimental study of natural convection in an inclined air layer, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 27 (8), 1127-1139.
- [15] **Prasad, V. and Kulacki, F.A.** (1984). Convective heat transfer in a rectangular porous cavity-Effect of aspect ratio on flow structure and heat transfer, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 106, 158-165.
- [16] **Hsieh, S.S. and Wang, C.Y.** (1994). Experimental study of three-dimensional natural convection in enclosures with different working fluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37 (17), 2687-2698.
- [17] **Betts, P.L. and Bokhari, I.H.** (2000). Experiments on turbulent natural convection in an enclosed tall cavity, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 21, 675-683.
- [18] **Lartigue, B., Lorente, S., and Bourret, B.** (2000). Multicellular natural convection in a high aspect ratio cavity: Experimental and numerical results, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43, 3157-3170.
- [19] **Trias, F.X., Gorobets, A., Soria, M., and Oliva, A.** (2010). Direct numerical simulation of a differentially heated cavity of aspect ratio 4 with Rayleigh numbers up to 10^{11} -Part II: Heat transfer and flow dynamics, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 53, 674-683.
- [20] **Penot, F., Skurtys, O., and Saury, D.** (2010). Preliminary experiments on the control of natural convection in differentially-heated cavities, *Int. J. Therm. Sci.*, 49, 1911-1919.
- [21] **Saury, D., Rouger, N., Djanna, F., and Penot, F.** (2011). Natural convection in an air-filled cavity: Experimental results at large Rayleigh numbers, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 38, 679-687.
- [22] **Fusegi, T., Hyun, J.M., Kuwahara, K., and Farouk, B.** (1991). A numerical study of three-dimensional natural convection in a differentially heated cubical enclosure, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 34 (6), 1543-1557.
- [23] **Fusegi, T., Hyun, J.M., and Kuwahara, K.** (1991). Three-dimensional simulations of natural convection in a sidewall-heated cube, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 13, 857-867.
- [24] **Cordoba, P.A., Silin, N., and Dari, E.A.** (2015). Natural convection in a cubical cavity filled with a fluid showing temperature-dependent viscosity, *Int. J. Therm. Sci.*, 98, 255-265.
- [25] **Li, Z., Yang, M., and Zhang, Y.** (2016). Lattice Boltzmann method simulation of 3-D natural convection with double MRT model, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 94, 222-238.
- [26] **Mallinson, G.D. and De Vahl Davis, G.** (1977). Three-dimensional natural convection in a box: A numerical study, *J. Fluid Mech. Part 1*, 83, 1-31.

- [27] **Salat, J., Xin, S., Joubert, P., Sergent, A., Penot, F., and Le Quere, P.** (2004). Experimental and numerical investigation of turbulent natural convection in a large air-filled cavity, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 25, 824-832.
- [28] **Mahdavi, M., Sharifpur, M., Ghodsinezhad, H., and Meyer, J.P.** (2016). Experimental and numerical study of the thermal and hydrodynamic characteristics of laminar natural convective flow inside a rectangular cavity with water, ethylene glycol-water and air, *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 78, 50-64.
- [29] **Hsieh, S.S. and Yang, S.S.** (1997). Flow structure and temperature measurements in a 3-D vertical free convective enclosure at high Rayleigh numbers, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40 (6), 1467-1480.
- [30] **Cooper, D., Craft, T.J., Esteifi, K., and Iacovides, H.** (2012). Experimental investigation of buoyant flows in inclined differentially heated cavities, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 55, 6321-6339.
- [31] **Balaji, C. and Venkateshan, S.P.** (1993). Interaction of surface radiation with free convection in a square cavity, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 14 (3), 260-267.
- [32] **Akiyama, M. and Chong, Q.P.** (1997). Numerical analysis of natural convection with surface radiation in a square enclosure, *Numer. Heat Transfer Part A*, 31, 419-433.
- [33] **Mezrhab, A., Bouali, H., Amaoui, H., and Bouzidi, M.** (2006). Computation of combined natural-convection and radiation heat-transfer in a cavity having square body at its center, *Appl. Energy*, 83, 1004-1023.
- [34] **Ibrahim, A., Saury, D., and Lemonnier, D.** (2013). Coupling of turbulent natural convection with radiation in an air-filled differentially-heated cavity at $Ra=1.5 \times 10^9$, *Comput. Fluids*, 88, 115-125.
- [35] **Bouafia, M., Hamimid, S., and Guellal, M.** (2015). Non-Boussinesq convection in a square cavity with surface thermal radiation, *Int. J. Therm. Sci.*, 96, 236-247.
- [36] **Xin, S., Salat, J., Joubert, P., Sergent, A., Penot, F., and Le Quere, P.** (2013). Resolving the stratification discrepancy of turbulent natural convection in differentially heated air-filled cavities. Part III: A full convection-conduction-surface radiation coupling, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 42, 33-48.
- [37] **Wu, T. and Lei, C.** (2015). On numerical modelling of conjugate turbulent natural convection and radiation in a differentially heated cavity, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 91, 454-466.
- [38] **Nithyadevi, N., Kandaswamy, P., and Lee, J.** (2007). Natural convection in a rectangular cavity with partially active side walls, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 50, 4688-4697.
- [39] **Corvaro, F., Paroncini, M., and Sotte, M.** (2011). Experimental PIV and interferometric analysis of natural convection in a square enclosure with partially active hot and cold walls, *Int. J. Therm. Sci.*, 50, 1629-1638.

- [40] **Valencia, A. and Frederick, R.L.** (1989). Heat transfer in square cavities with partially active vertical walls, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 32 (8), 1567-1574.
- [41] **Dias, T. and Milanez, L.F.** (2006). Optimal location of heat sources on a vertical wall with natural convection through genetic algorithms, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 49, 2090-2096.
- [42] **Deng, Q.H.** (2008). Fluid flow and heat transfer characteristics of natural convection in square cavities due to discrete source-sink pairs, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 51, 5949-5957.
- [43] **Keyhani, M., Prasad, V., and Cox, R.** (1988). An experimental study of natural convection in vertical cavity with discrete heat sources, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 110, 616-624.
- [44] **Poulikakos, D.** (1985). Natural convection in a confined fluid-filled space driven by a single vertical wall with warm and cold regions, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 107, 867-876.
- [45] **Nicolette, V.F., Yang, K.T., and Lloyd, J.R.** (1985). Transient cooling by natural convection in a two-dimensional square enclosure, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 28 (9), 1721-1732.
- [46] **Hall, J.D., Bejan, A., and Chaddock, J.B.** (1988). Transient natural convection in a rectangular enclosure with one heated side wall, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 9 (4), 396-404.
- [47] **Chu, H.H.S., Churchill, S.W., and Patterson, C.V.S.** (1976). The effect of heater size, location, aspect ratio, and boundary conditions on two-dimensional, laminar, natural convection in rectangular channels, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 98, 194-201.
- [48] **Sharma, A.K., Velusamy, K., Balaji, C., and Venkateshan, S.P.** (2007). Conjugate turbulent natural convection with surface radiation in air filled rectangular enclosures, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 50, 625-639.
- [49] **Singh, D.K. and Singh, S.N.** (2015). Conjugate free convection with surface radiation in open top cavity, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 89, 444-453.
- [50] **Kazmierczak, M. and Chinoda, Z.** (1992). Buoyancy-driven flow in an enclosure with time periodic boundary conditions, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 35 (6), 1507-1518.
- [51] **Kwak, H.S., Kuwahara, K., and Hyun, J.M.** (1998). Resonant enhancement of natural convection heat transfer in a square enclosure, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 41, 2837-2846.
- [52] **Wang, Q.W., Yang, J., Zeng, M., and Wang, G.** (2010). Three-dimensional numerical study of natural convection in an inclined porous cavity with time sinusoidal oscillating boundary conditions, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 31, 70-82.
- [53] **Incropera, F.P. and DeWitt, D.P.** (1990). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Third ed., John Wiley & Sons.
- [54] **VDI Heat Atlas.** (2010). Second ed., Springer-Verlag.
- [55] **Ürün Teknik Dokümanı TS 7316 ve EN 13163'e göre.** (2014). EKSPOL.

- [56] Declaration of Performance According to EU 305/2011 Annex V, No: 13164, N 150, DOP, 001. (2013). BTM.
- [57] Physical Properties of Aluminium Foil Tape According to ASTM E1933, Alloy 1145 and Alloy 1200. (2015). 3M.
- [58] **White, F.M.** (2006). Viscous Fluid Flow, Third ed., McGraw-Hill, New York.
- [59] **Bejan, A.** (2004). Convection Heat Transfer, Third ed., John Wiley & Sons, New Jersey.
- [60] **Kline, S.J. and McClintock, F.A.** (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments, Mech. Eng., 75, 3-8.
- [61] **Moffat, R.J.** (1988). Describing the uncertainties in experimental results, Exp. Thermal Fluid Sci., 1, 3-17.
- [62] Critical values of Student's t distribution with ν degrees of freedom. (2016). <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3672.htm>>.



EKLER

EK A : Deney Düzeneğinin Fotoğrafları

EK B : Ölçüm Sistemi Kalibrasyonunun Fotoğrafları

EK C : Termoelemanların Kalibrasyon Sonuçları

EK D : Deney Ölçüm Büyüklüklerinin Değerleri

EK E : Deney Hesaplama Büyüklüklerinin Değerleri

EK F : Ortalama ve Yerel Isı Geçişi Büyüklükleri için Örnek Hesaplama

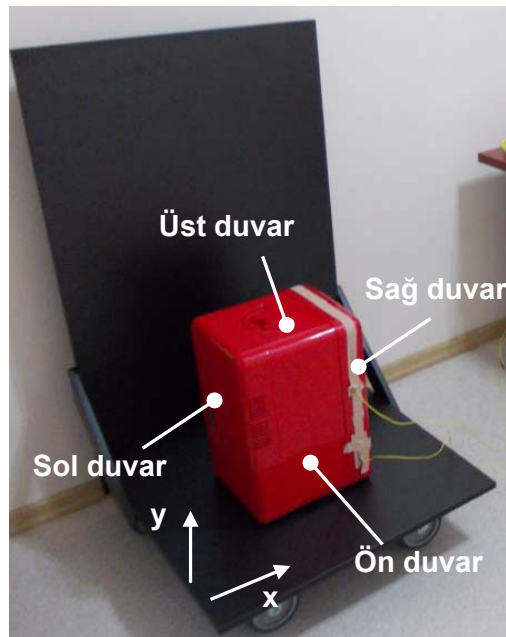
EK G : Ölçüm Belirsizliği Analizinin Sonuçları



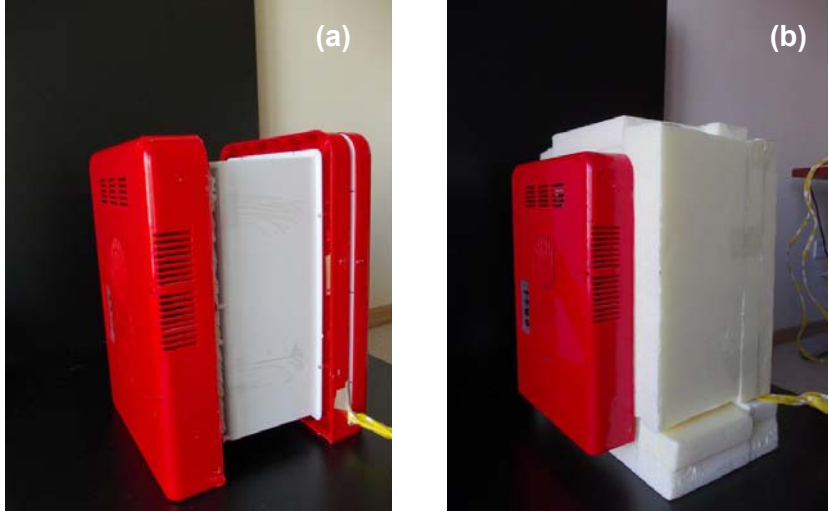
EK A : Deney Düzenekinin Fotoğrafları



Şekil A.1 : Kavite başlangıç halindeyken deney düzeneğinin genel görünüşü.



Şekil A.2 : Kavite duvarlarının tanımlanması.



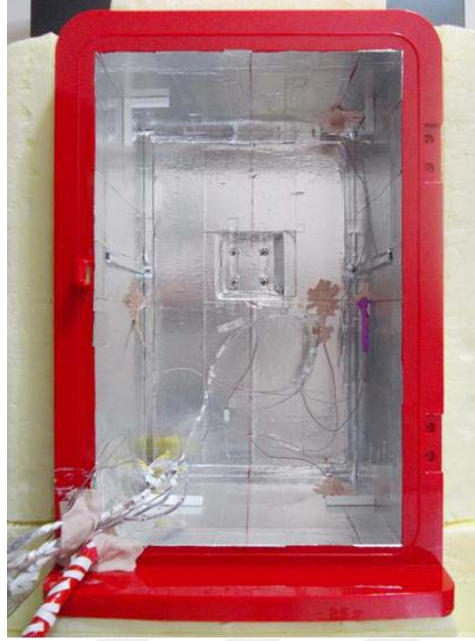
Şekil A.3 : Kavite; (a) orijinal yalıtımları söküldükten sonra, (b) yeni yalıtımları yapıldıktan sonra.



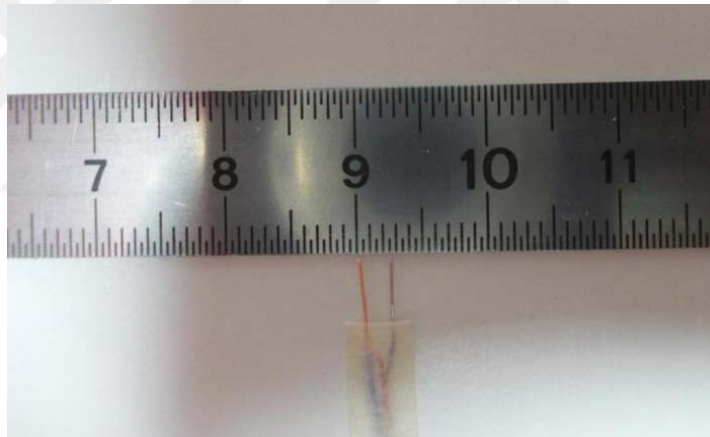
Şekil A.4 : Kavite nihai halindeyken deney düzeneğinin genel görünüşü.



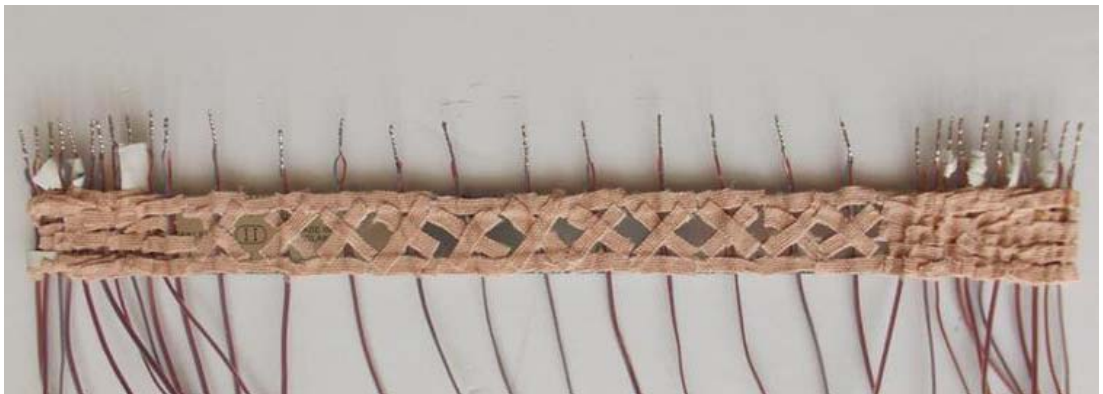
Şekil A.5 : Birinci ve ikinci deney paketlerinde kavite iç duvarları.



Şekil A.6 : Üçüncü ve dördüncü deney paketlerinde kavite iç duvarları.



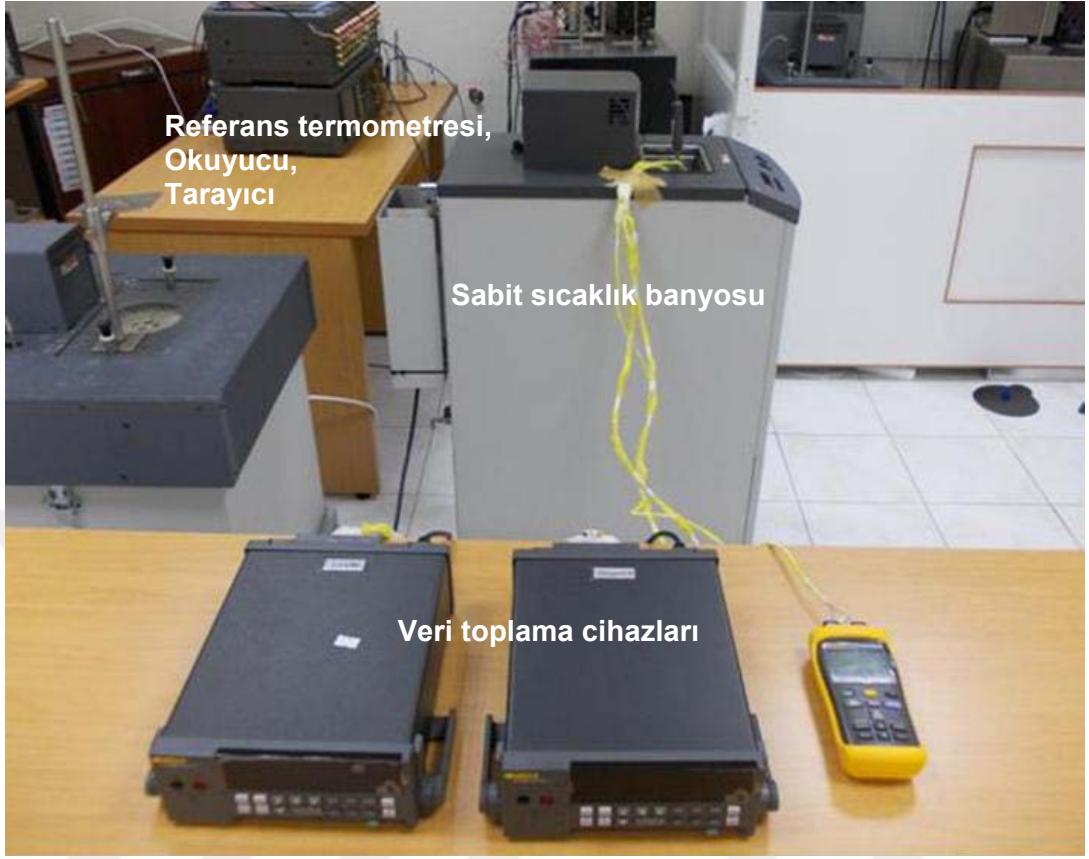
Şekil A.7 : Termoelemanın bakır ve konstantan iletken kabloları.



Şekil A.8 : Ölçüm çubuğu üzerinde termoelemanlar.



EK B : Ölçüm Sistemi Kalibrasyonunun Fotoğrafları



Şekil B.1 : Ölçüm sistemi kalibrasyonunun genel görünüşü.



Şekil B.2 : Sabit sıcaklık banyosuna üstten bakış.



Şekil B.3 : Termoelemanlar ve referans termometresi.

EK C : Termoelemanların Kalibrasyon Sonuçları

Çizelge C.1 : Kalibrasyon deney sonuçları.

Ref. Ter.	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17
-1.0610	-0.9076	-0.8583	-0.8463	-0.8356	-0.8316	-0.8156	-0.8103	-0.8156	-0.8250	-0.8663	-1.0237	-0.9944	-0.9717	-0.9677	-0.9610	-0.9597	-0.9437
0.0010	0.0149	0.0175	0.0179	0.0168	0.0149	0.0158	0.0116	0.0132	0.0145	0.0123	0.0112	0.0182	0.0189	0.0161	0.0142	0.0150	0.0144
5.1252	5.2431	5.2878	5.3009	5.3049	5.3128	5.3272	5.3299	5.3233	5.3167	5.2799	5.1260	5.1575	5.1694	5.1812	5.1839	5.1904	5.1996
0.0015	0.0185	0.0180	0.0100	0.0136	0.0122	0.0118	0.0144	0.0144	0.0112	0.0193	0.0156	0.0182	0.0148	0.0156	0.0181	0.0203	0.0139
10.1220	10.2278	10.2759	10.2850	10.2967	10.3058	10.3188	10.3149	10.3136	10.3045	10.2668	10.1211	10.1484	10.1627	10.1731	10.1848	10.1887	10.1940
0.0011	0.0121	0.0135	0.0123	0.0176	0.0112	0.0156	0.0108	0.0138	0.0120	0.0116	0.0149	0.0111	0.0196	0.0155	0.0161	0.0144	0.0146
15.1094	15.1986	15.2424	15.2552	15.2745	15.2771	15.2810	15.2951	15.2926	15.2694	15.2359	15.0931	15.1201	15.1291	15.1446	15.1600	15.1600	15.1639
0.0020	0.0150	0.0143	0.0169	0.0130	0.0113	0.0173	0.0147	0.0114	0.0131	0.0118	0.0144	0.0142	0.0134	0.0139	0.0161	0.0172	0.0144
20.1045	20.1892	20.2389	20.2542	20.2656	20.2733	20.2834	20.2847	20.2809	20.2669	20.2325	20.0874	20.1192	20.1383	20.1434	20.1548	20.1536	20.1638
0.0035	0.0133	0.0154	0.0130	0.0150	0.0174	0.0169	0.0137	0.0123	0.0198	0.0125	0.0146	0.0168	0.0135	0.0164	0.0139	0.0126	0.0138
25.0982	25.1978	25.2406	25.2482	25.2621	25.2709	25.2759	25.2721	25.2759	25.2457	25.2192	25.1046	25.1461	25.1537	25.1663	25.1701	25.1726	25.1751
0.0037	0.0139	0.0163	0.0104	0.0142	0.0165	0.0143	0.0208	0.0163	0.0165	0.0201	0.0149	0.0162	0.0151	0.0146	0.0134	0.0188	0.0117
30.0845	30.1825	30.2437	30.2499	30.2511	30.2648	30.2836	30.2723	30.2848	30.2624	30.2287	30.0753	30.1077	30.1177	30.1376	30.1426	30.1489	30.1576
0.0035	0.0123	0.0151	0.0144	0.0140	0.0149	0.0176	0.0148	0.0135	0.0171	0.0122	0.0140	0.0103	0.0115	0.0157	0.0146	0.0186	0.0161
35.0787	35.2009	35.2417	35.2479	35.2614	35.2812	35.2787	35.2750	35.2898	35.2701	35.2207	35.0663	35.1170	35.1231	35.1281	35.1380	35.1540	35.1515
0.0034	0.0082	0.0274	0.0167	0.0166	0.0165	0.0247	0.0208	0.0197	0.0170	0.0209	0.0148	0.0140	0.0153	0.0206	0.0170	0.0123	0.0205
39.8680	39.9713	40.0312	40.0373	40.0422	40.0545	40.0594	40.0520	40.0557	40.0398	39.9982	39.8869	39.9260	39.9431	39.9480	39.9566	39.9639	39.9627
0.0038	0.0105	0.0091	0.0119	0.0093	0.0144	0.0158	0.0157	0.0134	0.0134	0.0157	0.0142	0.0150	0.0086	0.0160	0.0132	0.0201	0.0122

Çizelge C.1 (devam) : Kalibrasyon deney sonuçları.

K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15
-0.9503	-0.9543	-0.9623	-0.9373	-0.8800	-0.8600	-0.8534	-0.8494	-0.8374	-0.8334	-0.8240	-0.8507	-0.8840	-1.0466	-1.0119	-0.9906	-0.9826	-0.9839
0.0175	0.0153	0.0121	0.0130	0.0177	0.0132	0.0119	0.0113	0.0118	0.0139	0.0097	0.0124	0.0119	0.0179	0.0155	0.0127	0.0103	0.0090
5.2023	5.1983	5.1918	5.2212	5.2790	5.2987	5.3000	5.3092	5.3223	5.3276	5.3342	5.3066	5.2816	5.1305	5.1673	5.1817	5.1896	5.1975
0.0120	0.0206	0.0143	0.0101	0.0090	0.0111	0.0157	0.0112	0.0106	0.0106	0.0123	0.0098	0.0099	0.0096	0.0088	0.0102	0.0110	0.0094
10.1953	10.2005	10.1744	10.1989	10.2509	10.2613	10.2743	10.2847	10.2964	10.2977	10.3003	10.2899	10.2535	10.1053	10.1417	10.1560	10.1664	10.1742
0.0154	0.0159	0.0153	0.0111	0.0131	0.0151	0.0105	0.0156	0.0117	0.0143	0.0155	0.0123	0.0173	0.0122	0.0131	0.0133	0.0151	0.0169
15.1754	15.1690	15.1446	15.1806	15.2346	15.2449	15.2565	15.2629	15.2745	15.2770	15.2770	15.2603	15.2321	15.0855	15.1202	15.1369	15.1472	15.1511
0.0161	0.0097	0.0094	0.0164	0.0121	0.0077	0.0088	0.0095	0.0127	0.0104	0.0074	0.0084	0.0099	0.0067	0.0106	0.0138	0.0073	0.0130
20.1727	20.1701	20.1472	20.1721	20.2243	20.2358	20.2447	20.2510	20.2650	20.2612	20.2726	20.2485	20.2179	20.0831	20.1137	20.1302	20.1404	20.1455
0.0142	0.0155	0.0225	0.0112	0.0119	0.0104	0.0167	0.0150	0.0129	0.0091	0.0124	0.0098	0.0105	0.0117	0.0125	0.0093	0.0112	0.0112
25.1802	25.1713	25.1436	25.2034	25.2462	25.2626	25.2701	25.2789	25.2840	25.2852	25.2789	25.2651	25.2374	25.1266	25.1619	25.1694	25.1908	25.1896
0.0163	0.0077	0.0139	0.0173	0.0175	0.0150	0.0167	0.0188	0.0126	0.0134	0.0133	0.0126	0.0143	0.0200	0.0164	0.0193	0.0171	0.0229
30.1626	30.1576	30.1376	30.2071	30.2557	30.2632	30.2694	30.2818	30.2868	30.2831	30.2831	30.2744	30.2420	30.1000	30.1311	30.1436	30.1535	30.1635
0.0141	0.0127	0.0117	0.0091	0.0129	0.0140	0.0090	0.0105	0.0105	0.0114	0.0107	0.0152	0.0126	0.0135	0.0130	0.0110	0.0101	0.0121
35.1528	35.1565	35.1293	35.1980	35.2363	35.2437	35.2560	35.2646	35.2708	35.2683	35.2634	35.2560	35.2227	35.0821	35.1203	35.1339	35.1413	35.1512
0.0208	0.0236	0.0150	0.0089	0.0117	0.0129	0.0156	0.0124	0.0142	0.0106	0.0135	0.0141	0.0138	0.0104	0.0150	0.0138	0.0130	0.0126
39.9701	39.9627	39.9248	39.9936	40.0327	40.0401	40.0449	40.0572	40.0596	40.0547	40.0449	40.0400	40.0059	39.9020	39.9338	39.9460	39.9521	39.9680
0.0110	0.0112	0.0148	0.0094	0.0085	0.0146	0.0132	0.0129	0.0113	0.0098	0.0094	0.0113	0.0129	0.0080	0.0124	0.0121	0.0093	0.0094

Çizelge C.2 : Termoelemanların kalibrasyon katsayıları ve R^2 değerleri.

Termoelemanların kalibrasyon (üçüncü dereceden polinom fonksiyonu) katsayıları ve R^2 değerleri

	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10
a	0.0000038634	0.0000038025	0.0000035286	0.0000034748	0.0000038708	0.0000045781	0.0000039022	0.0000054751	0.0000037991	0.0000041639
b	-0.00032411	-0.00033445	-0.00031262	-0.00029616	-0.00032481	-0.00036872	-0.00032258	-0.00041551	-0.00033787	-0.00033196
c	1.0077	1.0081	1.0078	1.0073	1.0076	1.0085	1.0081	1.0090	1.0087	1.0080
d	-0.1484	-0.1970	-0.2088	-0.2173	-0.2230	-0.2395	-0.2431	-0.2384	-0.2303	-0.1889
R^2	0.99999975	0.99999989	0.99999994	0.99999990	0.99999980	0.99999979	0.99999988	0.99999971	0.99999952	0.99999981
	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20
a	0.0000013994	0.0000024993	0.0000023525	0.0000025985	0.0000016940	0.0000017333	0.0000029189	0.0000017161	0.0000013268	0.0000030961
b	-0.00016863	-0.00024265	-0.00025016	-0.00024548	-0.00018564	-0.00020015	-0.00027129	-0.00018154	-0.00015799	-0.00026869
c	1.0049	1.0059	1.0065	1.0060	1.0049	1.0053	1.0067	1.0047	1.0044	1.0067
d	-0.0289	-0.0592	-0.0791	-0.0852	-0.0905	-0.0940	-0.1084	-0.1030	-0.0999	-0.0930
R^2	0.99999954	0.99999949	0.99999939	0.99999948	0.99999957	0.99999973	0.99999977	0.99999976	0.99999985	0.99999994
	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10
a	0.0000058046	0.0000056280	0.0000062240	0.0000061959	0.0000056947	0.0000053400	0.0000052428	0.0000058635	0.0000051861	0.0000052120
b	-0.00044832	-0.00043291	-0.00047321	-0.00046214	-0.00043306	-0.00040523	-0.00040010	-0.00043058	-0.00039200	-0.00038499
c	1.0085	1.0086	1.0096	1.0092	1.0087	1.0084	1.0085	1.0092	1.0082	1.0079
d	-0.1200	-0.1778	-0.1981	-0.2034	-0.2090	-0.2212	-0.2258	-0.2346	-0.2079	-0.1759
R^2	0.99999965	0.99999962	0.99999953	0.99999972	0.99999957	0.99999970	0.99999961	0.99999973	0.99999958	0.99999956
	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
a	0.0000033147	0.0000031647	0.0000032692	0.0000041008	0.0000024714	0.0000027795	0.0000035902	0.0000028620	0.0000027284	0.0000026143
b	-0.00026832	-0.00026143	-0.00027517	-0.00030765	-0.00022167	-0.00021866	-0.00028934	-0.00023485	-0.00022360	-0.00021148
c	1.0051	1.0051	1.0056	1.0057	1.0045	1.0040	1.0056	1.0047	1.0045	1.0045
d	-0.0128	-0.0486	-0.0683	-0.0760	-0.0773	-0.0835	-0.0932	-0.0960	-0.0883	-0.0747
R^2	0.99999900	0.99999897	0.99999930	0.99999892	0.99999907	0.99999941	0.99999940	0.99999925	0.99999957	0.99999967
	S01	S02	T01	T02						
a	0.0000014783	0.0000040408	0.0000014783	0.0000040408						
b	-0.00023819	-0.00036607	-0.00023819	-0.00036607						
c	1.0057	1.0087	1.0057	1.0087						
d	0.1290	0.1435	1.3290	1.2935						
R^2	0.99999630	0.99999942	0.99999630	0.99999942						



EK D : Deney Ölçüm Büyüklüklerinin Değerleri

Çizelge D.1 : Ortam havası sıcaklığı.

ε	A	Y	Z	Ortam (°C)	ε	A	Y	Z	Ortam (°C)	ε	A	Y	Z	Ortam (°C)	
0.90	2.09	0.875	0.875	21.26	0.90	3	0.971	0.500	21.47	0.05	3	0.875	0.500	21.36	
0.90	2.09	0.721	0.875	22.58	0.90	3	0.875	0.500	21.51	0.05	3	0.500	0.500	21.41	
0.90	2.09	0.500	0.875	22.69	0.90	3	0.721	0.500	21.36	0.05	3	0.125	0.500	21.26	
0.90	2.09	0.279	0.875	21.31	0.90	3	0.500	0.500	21.55	0.05	4	0.875	0.500	21.26	
0.90	2.09	0.125	0.875	20.66	0.90	3	0.279	0.500	21.47	0.05	4	0.500	0.500	21.15	
0.90	2.09	0.875	0.660	22.80	0.90	3	0.125	0.500	21.40	0.05	4	0.125	0.500	21.53	
0.90	2.09	0.721	0.660	22.64	0.90	3	0.029	0.500	21.03	0.05	5	0.875	0.500	21.07	
0.90	2.09	0.500	0.660	21.28	0.90	4	0.971	0.500	21.49	0.05	5	0.500	0.500	20.96	
0.90	2.09	0.279	0.660	20.31	0.90	4	0.875	0.500	21.36	0.05	5	0.125	0.500	20.86	
0.90	2.09	0.125	0.660	21.11	0.90	4	0.721	0.500	21.26	0.05	6	0.875	0.500	21.71	
0.90	2.09	0.875	0.340	22.80	0.90	4	0.500	0.500	21.32	0.05	6	0.500	0.500	21.21	
0.90	2.09	0.721	0.340	22.42	0.90	4	0.279	0.500	21.29	0.05	6	0.125	0.500	20.94	
0.90	2.09	0.500	0.340	23.00	0.90	4	0.125	0.500	21.37	I ve S					
0.90	2.09	0.279	0.340	21.66	0.90	4	0.029	0.500	21.38						
0.90	2.09	0.125	0.340	21.46	0.90	5	0.971	0.500	21.46		0.05	1	0.875	0.500	21.03
0.90	2.09	0.875	0.125	21.41	0.90	5	0.875	0.500	20.76		0.05	1	0.500	0.500	20.87
0.90	2.09	0.721	0.125	21.86	0.90	5	0.721	0.500	21.31		0.05	1	0.125	0.500	20.85
0.90	2.09	0.500	0.125	21.58	0.90	5	0.500	0.500	21.31		0.05	2.09	0.875	0.500	20.97
0.90	2.09	0.279	0.125	22.04	0.90	5	0.279	0.500	21.51		0.05	2.09	0.500	0.500	20.96
0.90	2.09	0.125	0.125	22.11	0.90	5	0.125	0.500	21.48		0.05	2.09	0.125	0.500	21.03
0.90	1	0.971	0.500	21.18	0.90	5	0.029	0.500	21.56		0.05	3	0.875	0.500	21.04
0.90	1	0.875	0.500	21.11	0.90	6	0.971	0.500	21.36		0.05	3	0.500	0.500	20.87
0.90	1	0.721	0.500	21.31	0.90	6	0.875	0.500	21.51	0.05	3	0.125	0.500	21.16	
0.90	1	0.500	0.500	21.14	0.90	6	0.721	0.500	21.41	0.05	4	0.875	0.500	20.97	
0.90	1	0.279	0.500	21.61	0.90	6	0.500	0.500	21.81	0.05	4	0.500	0.500	21.06	
0.90	1	0.125	0.500	21.13	0.90	6	0.279	0.500	21.26	0.05	4	0.125	0.500	21.37	
0.90	1	0.029	0.500	21.27	0.90	6	0.125	0.500	21.36	0.05	5	0.875	0.500	21.57	
0.90	2.09	0.971	0.500	21.91	0.90	6	0.029	0.500	21.46	0.05	5	0.500	0.500	21.69	
0.90	2.09	0.875	0.500	20.31	0.05	1	0.875	0.500	21.41	0.05	5	0.125	0.500	22.24	
0.90	2.09	0.721	0.500	22.21	0.05	1	0.500	0.500	21.47	0.05	6	0.875	0.500	21.25	
0.90	2.09	0.500	0.500	22.97	0.05	1	0.125	0.500	21.43	0.05	6	0.500	0.500	21.74	
0.90	2.09	0.279	0.500	21.83	0.05	2.09	0.875	0.500	21.78	0.05	6	0.125	0.500	21.40	
0.90	2.09	0.125	0.500	22.78	0.05	2.09	0.500	0.500	21.75						
0.90	2.09	0.029	0.500	21.86	0.05	2.09	0.125	0.500	21.81						



Çizelge D.2 : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=2.09, Z=0.875$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	3.11	10.40	9.09	11.79	9.43	9.33	8.58	4.28	6.04	6.93	7.62	8.03	8.40	8.63
	0.2585	0.1627	0.1489	0.2008	0.1797	0.1777	0.1723	0.2675	0.2114	0.1970	0.1920	0.1903	0.1916	0.1924
0.721	3.13	10.62	9.21	11.73	9.54	9.24	8.79	3.62	4.45	5.31	6.08	6.54	6.98	7.31
	0.1276	0.0901	0.0793	0.0636	0.0781	0.0814	0.0857	0.1279	0.1188	0.1078	0.1019	0.0958	0.0951	0.0897
0.500	3.02	10.79	9.06	11.58	9.48	9.16	8.60	3.02	4.08	4.63	5.12	5.52	5.83	6.11
	0.1716	0.0454	0.0429	0.0451	0.0425	0.0450	0.0453	0.1468	0.1268	0.1143	0.1051	0.0965	0.0986	0.0907
0.279	3.19	10.01	9.00	11.68	9.51	9.12	8.62	4.83	5.50	5.90	6.13	6.39	6.66	6.78
	0.1463	0.0769	0.0702	0.0731	0.0811	0.0784	0.0771	0.1219	0.1015	0.0965	0.0915	0.0894	0.0874	0.0797
0.125	3.03	9.28	8.67	11.36	9.14	8.87	8.21	5.53	5.71	5.95	6.07	6.15	6.26	6.32
	0.2658	0.1490	0.1410	0.1953	0.1708	0.1631	0.1797	0.2892	0.2878	0.2745	0.2677	0.2626	0.2511	0.2467
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	8.77	8.98	9.08	9.28	9.31	9.51	9.63	9.88	9.94	10.06	10.13	10.22	10.39	10.41
	0.1918	0.1925	0.1914	0.1917	0.1898	0.1925	0.1914	0.1928	0.1981	0.1991	0.1978	0.2015	0.2094	0.2100
0.721	7.50	7.77	7.97	8.25	8.30	8.52	8.64	8.93	9.01	9.18	9.28	9.35	9.47	9.50
	0.0898	0.0915	0.0898	0.0862	0.0815	0.0854	0.0855	0.0814	0.0862	0.0849	0.0855	0.0849	0.0837	0.0836
0.500	6.51	6.85	7.09	7.52	7.57	7.67	7.94	8.15	8.31	8.38	8.51	8.58	8.73	8.74
	0.0807	0.0729	0.0718	0.0677	0.0652	0.0648	0.0627	0.0529	0.0464	0.0484	0.0480	0.0470	0.0460	0.0461
0.279	6.89	7.06	7.29	7.45	7.51	7.62	7.83	7.95	8.07	8.20	8.25	8.36	8.50	8.53
	0.0848	0.0829	0.0790	0.0812	0.0780	0.0783	0.0805	0.0758	0.0865	0.0868	0.0845	0.0845	0.0818	0.0808
0.125	6.39	6.45	6.54	6.68	6.76	6.88	7.10	7.20	7.36	7.49	7.50	7.56	7.73	7.60
	0.2455	0.2398	0.2285	0.2259	0.2242	0.2204	0.2112	0.2063	0.1863	0.1860	0.1817	0.1767	0.1740	0.1759
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	10.43	10.49	10.52	10.50	10.56	10.58	10.63	10.65	10.70	10.70	10.78	10.83	10.94	12.07
	0.2127	0.2087	0.2107	0.2110	0.2051	0.2050	0.2052	0.2018	0.2012	0.1953	0.1920	0.1881	0.1847	0.1784
0.721	9.53	9.64	9.68	9.71	9.78	9.81	9.85	9.89	9.93	9.99	10.08	10.17	10.25	11.29
	0.0863	0.0827	0.0834	0.0815	0.0816	0.0777	0.0778	0.0772	0.0733	0.0764	0.0766	0.0740	0.0756	0.0711
0.500	8.79	8.87	8.97	8.99	9.07	9.11	9.15	9.20	9.26	9.31	9.41	9.52	9.67	9.81
	0.0490	0.0492	0.0446	0.0466	0.0444	0.0463	0.0483	0.0434	0.0438	0.0483	0.0453	0.0444	0.0441	0.0380
0.279	8.58	8.70	8.83	8.84	8.91	8.94	8.96	9.00	9.02	9.07	9.17	9.23	9.37	10.27
	0.0805	0.0804	0.0781	0.0764	0.0758	0.0792	0.0756	0.0729	0.0734	0.0739	0.0708	0.0706	0.0712	0.0702
0.125	7.76	7.90	8.09	8.11	8.24	8.39	8.44	8.51	8.56	8.64	8.73	8.86	8.97	9.53
	0.1714	0.1669	0.1567	0.1539	0.1554	0.1519	0.1512	0.1476	0.1487	0.1445	0.1417	0.1329	0.1309	0.1630

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=2.09, Z=0.660$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	3.28	10.30	9.33	12.17	9.82	9.69	9.01	4.32	6.33	7.05	7.94	8.39	8.80	9.06
	0.1780	0.0842	0.0610	0.0746	0.0710	0.0658	0.0686	0.1612	0.1155	0.0993	0.0858	0.0804	0.0813	0.0777
0.721	3.17	10.10	9.09	11.71	9.51	9.37	8.90	2.01	3.48	4.52	5.51	6.07	6.59	7.03
	0.1110	0.0723	0.0293	0.0258	0.0367	0.0258	0.0342	0.1080	0.0819	0.0682	0.0600	0.0504	0.0450	0.0423
0.500	3.15	10.16	8.88	11.20	9.24	8.97	8.59	2.99	3.20	3.78	4.55	5.00	5.39	5.65
	0.1720	0.0689	0.0751	0.0615	0.0696	0.0651	0.0677	0.1491	0.1388	0.1276	0.1155	0.1057	0.1037	0.1007
0.279	3.21	9.34	8.89	10.99	9.12	9.11	8.43	4.45	5.18	5.54	5.60	5.78	6.05	6.15
	0.0866	0.0856	0.0798	0.0689	0.0681	0.0845	0.0654	0.0743	0.0759	0.0742	0.0747	0.0708	0.0721	0.0728
0.125	3.12	9.86	8.83	11.32	9.24	9.19	8.50	5.33	5.89	5.94	5.96	6.02	6.13	6.19
	0.1905	0.0647	0.0525	0.0469	0.0459	0.0410	0.0541	0.1557	0.1265	0.1243	0.1222	0.1140	0.1088	0.1095
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	9.20	9.43	9.49	9.68	9.71	9.89	10.01	10.27	10.34	10.50	10.60	10.64	10.81	10.87
	0.0776	0.0746	0.0743	0.0722	0.0729	0.0754	0.0719	0.0697	0.0686	0.0676	0.0692	0.0689	0.0664	0.0684
0.721	7.26	7.57	7.80	8.12	8.18	8.43	8.58	8.93	9.03	9.23	9.34	9.44	9.58	9.67
	0.0415	0.0372	0.0344	0.0364	0.0344	0.0335	0.0309	0.0324	0.0334	0.0331	0.0346	0.0314	0.0344	0.0326
0.500	6.05	6.41	6.76	7.20	7.29	7.41	7.72	7.98	8.12	8.19	8.34	8.40	8.51	8.58
	0.0972	0.0906	0.0863	0.0805	0.0829	0.0788	0.0748	0.0698	0.0658	0.0687	0.0641	0.0675	0.0698	0.0672
0.279	6.29	6.52	6.86	7.11	7.20	7.32	7.55	7.67	7.78	7.92	7.95	8.04	8.17	8.21
	0.0730	0.0746	0.0728	0.0725	0.0758	0.0743	0.0747	0.0737	0.0753	0.0766	0.0754	0.0765	0.0770	0.0771
0.125	6.29	6.40	6.52	6.72	6.80	6.95	7.12	7.25	7.39	7.55	7.55	7.62	7.81	7.77
	0.1045	0.0996	0.0949	0.0919	0.0906	0.0858	0.0827	0.0825	0.0738	0.0700	0.0662	0.0663	0.0664	0.0622
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	10.89	10.95	10.95	10.96	11.00	11.04	11.07	11.08	11.12	11.15	11.22	11.28	11.36	12.01
	0.0650	0.0654	0.0697	0.0661	0.0679	0.0693	0.0667	0.0651	0.0688	0.0670	0.0678	0.0665	0.0668	0.0693
0.721	9.72	9.82	9.88	9.92	10.00	10.04	10.09	10.14	10.21	10.30	10.45	10.59	10.84	11.50
	0.0279	0.0318	0.0294	0.0315	0.0291	0.0280	0.0277	0.0303	0.0289	0.0280	0.0262	0.0303	0.0295	0.0275
0.500	8.65	8.72	8.84	8.87	8.96	9.01	9.06	9.13	9.20	9.27	9.42	9.53	9.74	10.42
	0.0660	0.0666	0.0616	0.0635	0.0673	0.0705	0.0692	0.0666	0.0677	0.0689	0.0679	0.0642	0.0668	0.0573
0.279	8.24	8.32	8.44	8.45	8.51	8.56	8.60	8.63	8.69	8.73	8.81	8.91	9.07	9.71
	0.0772	0.0726	0.0805	0.0786	0.0797	0.0781	0.0815	0.0760	0.0800	0.0794	0.0769	0.0779	0.0738	0.0648
0.125	8.00	8.20	8.41	8.43	8.50	8.58	8.61	8.69	8.70	8.80	8.91	9.04	9.17	9.21
	0.0622	0.0549	0.0505	0.0496	0.0553	0.0536	0.0550	0.0495	0.0540	0.0531	0.0497	0.0481	0.0430	0.0515

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=2.09, Z=0.340$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	3.01	9.79	9.15	11.59	9.55	9.60	8.75	3.78	6.04	6.82	7.81	8.28	8.60	8.88
	0.3569	0.1519	0.1299	0.1258	0.1305	0.1224	0.1589	0.3505	0.2596	0.2302	0.1917	0.1802	0.1814	0.1704
0.721	3.08	9.99	8.84	11.19	9.16	9.46	8.64	1.24	3.45	4.57	5.55	6.11	6.66	7.05
	0.1485	0.0797	0.0738	0.0936	0.0882	0.0922	0.0987	0.1848	0.1449	0.1247	0.1159	0.1080	0.1077	0.1081
0.500	3.19	10.46	9.20	11.44	9.55	9.76	8.87	3.54	3.21	3.97	4.71	5.26	5.74	6.12
	0.1747	0.1575	0.1582	0.1280	0.1426	0.1542	0.1328	0.1491	0.1560	0.1468	0.1408	0.1337	0.1324	0.1331
0.279	3.13	9.10	8.76	10.83	9.02	9.22	8.45	4.26	5.35	5.69	5.80	6.00	6.22	6.32
	0.1722	0.1388	0.1201	0.1495	0.1467	0.1264	0.1393	0.1572	0.1413	0.1369	0.1348	0.1319	0.1316	0.1268
0.125	3.09	9.95	8.90	11.18	9.15	9.27	8.52	5.29	5.98	6.01	6.04	6.14	6.30	6.36
	0.1151	0.0505	0.0248	0.0237	0.0220	0.0188	0.0260	0.0783	0.0597	0.0565	0.0617	0.0538	0.0523	0.0505
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	9.05	9.25	9.32	9.51	9.55	9.70	9.88	10.17	10.29	10.57	10.57	10.57	10.72	10.73
	0.1673	0.1673	0.1686	0.1641	0.1617	0.1624	0.1527	0.1469	0.1354	0.1339	0.1376	0.1365	0.1324	0.1305
0.721	7.29	7.58	7.81	8.09	8.15	8.36	8.53	8.84	8.93	9.13	9.22	9.32	9.48	9.54
	0.1032	0.1014	0.1038	0.1006	0.1027	0.1001	0.1037	0.1008	0.1009	0.1055	0.1049	0.1015	0.1026	0.1061
0.500	6.61	6.99	7.21	7.65	7.77	7.77	8.19	8.42	8.58	8.70	8.82	8.89	9.05	9.08
	0.1336	0.1309	0.1297	0.1304	0.1327	0.1274	0.1330	0.1354	0.1399	0.1394	0.1400	0.1415	0.1409	0.1407
0.279	6.45	6.68	6.94	7.17	7.26	7.37	7.56	7.66	7.74	7.88	7.89	7.96	8.10	8.13
	0.1279	0.1280	0.1301	0.1324	0.1275	0.1302	0.1299	0.1301	0.1350	0.1361	0.1340	0.1339	0.1329	0.1318
0.125	6.43	6.50	6.58	6.75	6.83	6.95	7.11	7.19	7.35	7.50	7.47	7.58	7.73	7.65
	0.0502	0.0435	0.0444	0.0409	0.0385	0.0419	0.0387	0.0345	0.0360	0.0306	0.0320	0.0300	0.0304	0.0293
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	10.74	10.82	10.82	10.84	10.85	10.88	10.89	10.91	10.95	10.96	11.03	11.09	11.18	11.54
	0.1319	0.1295	0.1292	0.1303	0.1378	0.1370	0.1363	0.1341	0.1320	0.1311	0.1301	0.1262	0.1269	0.1163
0.721	9.56	9.64	9.72	9.75	9.80	9.83	9.87	9.90	9.97	10.02	10.13	10.19	10.37	11.31
	0.1098	0.1127	0.1094	0.1088	0.1065	0.1088	0.1059	0.1076	0.1017	0.1001	0.0973	0.0992	0.0937	0.0787
0.500	9.15	9.24	9.37	9.39	9.48	9.51	9.55	9.60	9.66	9.72	9.79	9.91	10.07	10.73
	0.1422	0.1411	0.1403	0.1388	0.1397	0.1427	0.1396	0.1407	0.1436	0.1396	0.1356	0.1413	0.1373	0.1375
0.279	8.19	8.32	8.40	8.43	8.50	8.53	8.56	8.59	8.64	8.68	8.78	8.84	8.97	9.30
	0.1306	0.1304	0.1306	0.1329	0.1264	0.1257	0.1243	0.1244	0.1263	0.1262	0.1231	0.1249	0.1271	0.1366
0.125	7.68	7.95	8.01	8.03	8.08	8.13	8.11	8.19	8.24	8.33	8.44	8.52	8.63	8.69
	0.0319	0.0285	0.0309	0.0305	0.0400	0.0390	0.0372	0.0365	0.0366	0.0360	0.0338	0.0311	0.0312	0.0262

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=2.09, Z=0.125$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	3.10	9.90	9.00	11.20	9.27	9.41	8.54	4.60	6.05	6.90	7.71	8.14	8.45	8.67
	0.0985	0.0668	0.0581	0.0214	0.0263	0.0347	0.0401	0.0931	0.0680	0.0600	0.0458	0.0405	0.0406	0.0367
0.721	3.18	9.49	8.97	11.25	9.27	9.90	8.53	3.65	4.59	5.42	6.18	6.60	7.08	7.42
	0.1790	0.0633	0.0559	0.0626	0.0609	0.0466	0.0668	0.1614	0.1390	0.1220	0.1046	0.0946	0.0918	0.0875
0.500	3.27	10.49	9.48	11.63	9.63	10.09	8.92	4.06	4.56	5.13	5.78	6.16	6.55	6.72
	0.1124	0.1040	0.1155	0.1195	0.1149	0.1294	0.1060	0.1072	0.1068	0.0999	0.1022	0.0995	0.1023	0.1031
0.279	3.21	9.50	9.03	11.29	9.32	9.85	8.54	4.81	5.71	6.12	6.33	6.53	6.75	6.87
	0.1501	0.0507	0.0525	0.0486	0.0552	0.0422	0.0584	0.1242	0.1020	0.0960	0.0884	0.0830	0.0815	0.0767
0.125	2.95	8.84	8.80	11.04	9.16	9.52	8.55	5.45	6.07	6.25	6.45	6.52	6.65	6.72
	0.2209	0.1251	0.0722	0.1190	0.0982	0.0956	0.0911	0.1735	0.1520	0.1488	0.1409	0.1353	0.1380	0.1339
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	8.81	8.99	9.09	9.30	9.33	9.48	9.65	9.85	9.93	10.09	10.14	10.22	10.37	10.35
	0.0376	0.0350	0.0347	0.0329	0.0311	0.0290	0.0331	0.0304	0.0356	0.0350	0.0330	0.0356	0.0335	0.0337
0.721	7.65	7.92	8.12	8.40	8.50	8.67	8.86	9.11	9.17	9.30	9.34	9.40	9.56	9.62
	0.0859	0.0771	0.0747	0.0727	0.0711	0.0715	0.0634	0.0617	0.0624	0.0622	0.0583	0.0578	0.0569	0.0558
0.500	7.10	7.38	7.64	8.01	8.16	8.13	8.43	8.60	8.77	8.90	8.99	9.09	9.30	9.34
	0.1051	0.1042	0.1058	0.1102	0.1057	0.1097	0.1096	0.1096	0.1105	0.1120	0.1130	0.1139	0.1152	0.1159
0.279	7.00	7.17	7.43	7.62	7.70	7.78	8.00	8.06	8.20	8.36	8.40	8.56	8.78	8.85
	0.0753	0.0714	0.0649	0.0643	0.0640	0.0612	0.0607	0.0610	0.0643	0.0646	0.0651	0.0628	0.0597	0.0618
0.125	6.78	6.84	6.95	7.09	7.17	7.24	7.44	7.48	7.66	7.83	7.91	8.13	8.29	8.32
	0.1273	0.1196	0.1139	0.1112	0.1054	0.1027	0.0976	0.0916	0.0925	0.0919	0.0856	0.0829	0.0762	0.0769
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	10.36	10.44	10.47	10.47	10.53	10.55	10.59	10.61	10.68	10.72	10.83	10.92	11.07	11.19
	0.0305	0.0320	0.0321	0.0299	0.0277	0.0268	0.0281	0.0273	0.0269	0.0287	0.0275	0.0256	0.0249	0.0276
0.721	9.68	9.84	9.97	10.01	10.07	10.10	10.14	10.19	10.26	10.35	10.46	10.59	10.72	10.72
	0.0562	0.0573	0.0574	0.0549	0.0599	0.0584	0.0595	0.0543	0.0553	0.0555	0.0540	0.0537	0.0541	0.0490
0.500	9.39	9.54	9.63	9.68	9.74	9.75	9.84	9.87	9.92	9.96	10.07	10.22	10.46	10.39
	0.1158	0.1181	0.1183	0.1186	0.1174	0.1175	0.1179	0.1197	0.1193	0.1189	0.1225	0.1214	0.1237	0.1205
0.279	8.98	9.11	9.19	9.27	9.34	9.38	9.37	9.41	9.45	9.51	9.60	9.67	9.84	9.81
	0.0608	0.0597	0.0580	0.0564	0.0575	0.0553	0.0552	0.0535	0.0514	0.0539	0.0528	0.0511	0.0498	0.0474
0.125	8.29	8.51	8.54	8.58	8.64	8.69	8.67	8.76	8.78	8.88	9.00	9.07	9.27	8.72
	0.0753	0.0796	0.0787	0.0730	0.0846	0.0872	0.0852	0.0838	0.0833	0.0813	0.0795	0.0744	0.0760	0.0776

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=1, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.971	3.54	10.76	10.41	12.62	11.31	11.34	10.96	5.73	8.38	8.81	9.23	9.49	9.70	9.90
	0.1918	0.1611	0.0361	0.0161	0.0229	0.0223	0.0318	0.1599	0.0899	0.0796	0.0694	0.0613	0.0547	0.0481
0.875	3.76	12.10	9.94	12.22	10.85	10.86	10.45	4.27	7.42	7.80	8.20	8.51	8.75	9.07
	0.0478	0.0827	0.0375	0.0459	0.0376	0.0444	0.0534	0.0474	0.0478	0.0484	0.0495	0.0569	0.0530	0.0562
0.721	3.75	12.20	9.93	12.29	10.87	10.90	10.55	1.42	3.58	4.12	5.23	5.97	6.49	6.87
	0.0352	0.0148	0.0174	0.0145	0.0163	0.0111	0.0159	0.0285	0.0223	0.0227	0.0205	0.0185	0.0194	0.0171
0.500	3.75	11.11	10.26	12.44	11.16	11.20	10.66	0.42	4.94	5.41	5.64	6.11	6.62	6.98
	0.0431	0.0250	0.0162	0.0146	0.0154	0.0167	0.0183	0.0280	0.0169	0.0166	0.0192	0.0163	0.0186	0.0185
0.279	3.56	10.66	10.48	12.71	11.39	11.36	11.00	5.55	6.87	7.08	7.06	7.22	7.42	7.46
	0.0992	0.0646	0.0384	0.0451	0.0366	0.0360	0.0389	0.0741	0.0526	0.0478	0.0461	0.0421	0.0431	0.0409
0.125	3.73	12.10	9.82	12.17	10.83	11.10	10.51	5.81	6.70	6.73	6.70	6.75	6.82	6.89
	0.0386	0.0318	0.0112	0.0291	0.0231	0.0278	0.0275	0.0349	0.0260	0.0262	0.0242	0.0194	0.0224	0.0264
0.029	3.75	11.10	10.28	12.70	11.37	11.36	11.00	6.95	7.73	7.82	7.97	8.05	8.09	8.15
	0.0281	0.0167	0.0135	0.0142	0.0124	0.0144	0.0105	0.0322	0.0256	0.0249	0.0228	0.0248	0.0257	0.0232
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.971	10.09	10.20	10.36	10.49	10.50	11.29	11.57	11.92	12.15	12.32	12.52	12.59	12.72	12.78
	0.0466	0.0453	0.0440	0.0390	0.0373	0.0285	0.0207	0.0191	0.0174	0.0159	0.0164	0.0169	0.0198	0.0173
0.875	9.29	9.45	9.66	9.84	9.77	10.81	10.94	11.47	11.54	11.61	11.80	11.82	11.93	11.96
	0.0549	0.0576	0.0570	0.0583	0.0573	0.0574	0.0567	0.0596	0.0568	0.0570	0.0583	0.0582	0.0590	0.0610
0.721	7.48	7.79	8.24	8.63	8.58	10.05	10.39	10.84	11.02	11.09	11.31	11.35	11.48	11.53
	0.0182	0.0177	0.0146	0.0124	0.0178	0.0164	0.0159	0.0161	0.0129	0.0137	0.0141	0.0112	0.0113	0.0122
0.500	7.68	7.98	8.37	8.69	8.64	9.82	10.08	10.51	10.68	10.74	10.93	10.99	11.13	11.19
	0.0148	0.0145	0.0167	0.0166	0.0160	0.0187	0.0169	0.0159	0.0186	0.0175	0.0184	0.0162	0.0147	0.0181
0.279	7.87	8.08	8.34	8.64	8.68	9.73	9.99	10.30	10.46	10.54	10.71	10.80	10.89	10.95
	0.0396	0.0394	0.0412	0.0375	0.0386	0.0405	0.0389	0.0380	0.0404	0.0434	0.0420	0.0402	0.0418	0.0388
0.125	7.10	7.23	7.40	7.60	7.59	8.57	8.82	9.17	9.31	9.47	9.70	9.94	10.02	10.03
	0.0228	0.0276	0.0243	0.0275	0.0263	0.0272	0.0337	0.0296	0.0237	0.0242	0.0292	0.0294	0.0311	0.0285
0.029	8.22	8.25	8.27	8.29	8.30	8.67	9.05	9.51	9.83	10.12	10.37	10.58	10.72	10.74
	0.0241	0.0244	0.0228	0.0214	0.0233	0.0188	0.0192	0.0184	0.0120	0.0123	0.0112	0.0136	0.0155	0.0149
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.971	12.85	12.90	12.97	12.98	12.96	12.97	12.96	12.97	13.00	13.06	13.07	13.07	13.09	13.97
	0.0187	0.0160	0.0200	0.0187	0.0186	0.0173	0.0174	0.0176	0.0186	0.0175	0.0195	0.0191	0.0183	0.0252
0.875	12.02	12.04	12.08	12.07	12.10	12.10	12.12	12.13	12.17	12.21	12.24	12.26	12.29	13.10
	0.0580	0.0589	0.0591	0.0575	0.0549	0.0556	0.0553	0.0582	0.0583	0.0571	0.0598	0.0563	0.0590	0.0609
0.721	11.62	11.66	11.76	11.76	11.78	11.79	11.81	11.83	11.87	11.90	11.96	12.02	12.09	13.23
	0.0126	0.0117	0.0121	0.0129	0.0122	0.0138	0.0143	0.0149	0.0117	0.0137	0.0141	0.0161	0.0144	0.0123
0.500	11.31	11.34	11.51	11.52	11.56	11.57	11.61	11.64	11.69	11.73	11.81	11.87	11.95	12.91
	0.0162	0.0182	0.0164	0.0180	0.0158	0.0152	0.0152	0.0153	0.0169	0.0158	0.0156	0.0155	0.0147	0.0165

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=1, Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.279	11.08	11.07	11.25	11.24	11.27	11.29	11.32	11.36	11.38	11.43	11.43	11.53	11.55	12.25
	0.0408	0.0413	0.0437	0.0417	0.0445	0.0416	0.0413	0.0426	0.0437	0.0424	0.0390	0.0403	0.0436	0.0495
0.125	10.25	10.32	10.80	10.87	10.92	10.95	10.97	11.00	11.05	11.08	11.12	11.15	11.19	11.37
	0.0312	0.0297	0.0288	0.0288	0.0291	0.0332	0.0315	0.0321	0.0322	0.0341	0.0348	0.0364	0.0334	0.0345
0.029	10.92	10.93	11.33	11.38	11.40	11.43	11.43	11.45	11.49	11.56	11.62	11.65	11.68	12.62
	0.0131	0.0146	0.0136	0.0109	0.0139	0.0159	0.0101	0.0127	0.0128	0.0105	0.0134	0.0122	0.0120	0.0098
$\varepsilon=0.90, A=2.09, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.971	3.13	10.04	9.02	11.29	9.28	9.49	8.47	4.68	6.44	7.22	7.91	8.36	8.72	8.96
	0.1200	0.0497	0.0573	0.0486	0.0539	0.0514	0.0592	0.1009	0.0735	0.0619	0.0540	0.0485	0.0439	0.0444
0.875	2.98	9.88	8.86	11.13	9.13	9.34	8.07	3.75	5.89	6.76	7.72	8.00	8.29	8.50
	0.3209	0.1213	0.1559	0.0903	0.1365	0.1332	0.1765	0.3006	0.2249	0.1959	0.1667	0.1576	0.1558	0.1493
0.721	3.16	10.21	9.12	11.48	9.46	9.47	8.65	1.85	3.03	4.99	5.93	6.44	6.95	7.28
	0.1185	0.0341	0.0224	0.0226	0.0262	0.0203	0.0279	0.1327	0.0993	0.0720	0.0585	0.0507	0.0477	0.0424
0.500	3.32	10.75	9.65	11.82	9.87	9.84	9.10	0.61	2.98	3.16	4.18	4.88	5.65	6.37
	0.1304	0.1700	0.1593	0.1622	0.1593	0.1676	0.1430	0.1098	0.1040	0.1044	0.1081	0.1110	0.1146	0.1199
0.279	3.01	9.51	8.99	11.22	9.30	9.23	8.55	4.10	5.24	5.31	5.34	5.58	5.90	6.09
	0.1062	0.0729	0.0301	0.0526	0.0469	0.0379	0.0428	0.0983	0.0766	0.0739	0.0750	0.0677	0.0667	0.0628
0.125	3.07	10.16	9.13	11.30	9.39	9.28	8.66	5.47	6.03	6.05	6.07	6.05	6.09	6.09
	0.1418	0.0483	0.0342	0.0392	0.0379	0.0306	0.0417	0.1010	0.0817	0.0855	0.0856	0.0839	0.0866	0.0836
0.029	3.04	9.52	8.39	10.77	8.83	8.95	8.15	5.40	5.79	5.98	6.15	6.26	6.45	6.55
	0.0835	0.0721	0.0451	0.0756	0.0656	0.0538	0.0572	0.0401	0.0429	0.0428	0.0492	0.0465	0.0462	0.0483
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.971	9.08	9.25	9.40	9.62	9.72	9.84	10.13	10.42	10.45	10.61	10.74	10.80	10.94	11.06
	0.0442	0.0434	0.0408	0.0373	0.0388	0.0358	0.0335	0.0327	0.0435	0.0432	0.0423	0.0416	0.0397	0.0377
0.875	8.59	8.75	8.85	9.04	9.07	9.24	9.40	9.62	9.68	9.81	9.89	9.92	10.05	10.09
	0.1547	0.1460	0.1448	0.1450	0.1464	0.1384	0.1339	0.1306	0.1249	0.1179	0.1196	0.1158	0.1119	0.1117
0.721	7.52	7.78	7.93	8.20	8.27	8.46	8.64	8.93	9.04	9.23	9.34	9.42	9.58	9.65
	0.0399	0.0382	0.0377	0.0311	0.0372	0.0318	0.0334	0.0281	0.0257	0.0274	0.0214	0.0232	0.0220	0.0242
0.500	7.08	7.37	7.54	7.90	8.01	7.94	8.38	8.63	8.82	8.96	9.08	9.14	9.31	9.31
	0.1274	0.1300	0.1320	0.1306	0.1360	0.1343	0.1373	0.1393	0.1437	0.1443	0.1458	0.1494	0.1516	0.1470
0.279	6.28	6.53	6.89	7.15	7.25	7.41	7.65	7.80	7.91	8.06	8.10	8.19	8.33	8.37
	0.0628	0.0602	0.0592	0.0574	0.0581	0.0571	0.0520	0.0522	0.0485	0.0460	0.0462	0.0439	0.0433	0.0455
0.125	6.18	6.25	6.44	6.60	6.70	6.95	7.18	7.24	7.42	7.59	7.58	7.70	7.89	7.91
	0.0814	0.0763	0.0701	0.0694	0.0663	0.0591	0.0587	0.0601	0.0523	0.0488	0.0466	0.0451	0.0453	0.0413
0.029	6.58	6.66	6.62	6.67	6.62	6.58	6.94	6.89	7.01	7.28	7.33	7.43	7.67	7.73
	0.0465	0.0500	0.0472	0.0478	0.0463	0.0450	0.0471	0.0488	0.0461	0.0484	0.0447	0.0475	0.0437	0.0423

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=2.09, Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.971	11.12	11.21	11.20	11.23	11.30	11.31	11.40	11.33	11.33	11.32	11.39	11.41	11.42	11.84
	0.0400	0.0388	0.0346	0.0336	0.0348	0.0339	0.0351	0.0315	0.0293	0.0270	0.0262	0.0251	0.0274	0.0228
0.875	10.10	10.15	10.17	10.17	10.23	10.25	10.28	10.30	10.35	10.38	10.44	10.51	10.60	11.13
	0.1084	0.1072	0.1068	0.1073	0.1108	0.1145	0.1096	0.1096	0.1098	0.1072	0.1063	0.0992	0.1002	0.0783
0.721	9.69	9.79	9.88	9.91	9.96	10.00	10.05	10.12	10.19	10.30	10.45	10.64	10.74	11.89
	0.0236	0.0206	0.0207	0.0223	0.0259	0.0270	0.0274	0.0255	0.0290	0.0248	0.0237	0.0254	0.0271	0.0302
0.500	9.37	9.48	9.61	9.63	9.70	9.76	9.82	9.88	9.96	10.03	10.21	10.40	10.76	11.07
	0.1500	0.1464	0.1501	0.1443	0.1427	0.1472	0.1478	0.1482	0.1486	0.1464	0.1444	0.1456	0.1414	0.1356
0.279	8.41	8.51	8.59	8.61	8.68	8.71	8.72	8.77	8.83	8.88	9.00	9.08	9.23	9.82
	0.0428	0.0414	0.0390	0.0416	0.0461	0.0477	0.0457	0.0474	0.0470	0.0450	0.0470	0.0418	0.0430	0.0357
0.125	8.10	8.31	8.46	8.53	8.59	8.63	8.66	8.80	8.87	8.98	9.12	9.19	9.34	9.60
	0.0402	0.0400	0.0387	0.0360	0.0430	0.0429	0.0420	0.0404	0.0374	0.0377	0.0355	0.0337	0.0333	0.0356
0.029	7.87	8.14	8.31	8.35	8.50	8.55	8.64	8.62	8.65	8.72	8.80	8.92	9.14	9.51
	0.0429	0.0421	0.0420	0.0364	0.0380	0.0380	0.0367	0.0335	0.0331	0.0329	0.0358	0.0340	0.0361	0.0312
$\varepsilon=0.90, A=3, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.971	2.33	8.79	7.05	9.88	7.75	7.81	6.76	3.74	5.90	6.10	6.58	6.86	7.10	7.29
	0.0631	0.0861	0.0237	0.0223	0.0215	0.0194	0.0264	0.0518	0.0350	0.0307	0.0280	0.0302	0.0293	0.0275
0.875	2.35	8.89	7.09	9.98	7.77	7.74	6.73	2.71	4.34	4.94	5.42	5.77	6.05	6.30
	0.0398	0.0183	0.0274	0.0206	0.0229	0.0241	0.0264	0.0388	0.0311	0.0298	0.0280	0.0258	0.0254	0.0228
0.721	2.43	8.83	7.20	9.84	7.73	7.60	6.60	-0.20	2.00	2.12	3.05	3.81	4.42	4.75
	0.0302	0.0494	0.0200	0.0236	0.0211	0.0191	0.0185	0.0177	0.0162	0.0165	0.0190	0.0156	0.0137	0.0148
0.500	2.34	8.26	7.29	9.86	7.75	7.70	6.77	-0.89	2.07	2.39	2.55	3.06	3.59	3.89
	0.0550	0.1200	0.0312	0.0298	0.0266	0.0308	0.0377	0.0650	0.0529	0.0522	0.0548	0.0503	0.0474	0.0513
0.279	2.35	7.78	7.05	9.90	7.75	7.74	6.85	3.42	4.26	4.33	4.30	4.32	4.41	4.32
	0.0489	0.0968	0.0408	0.0634	0.0446	0.0433	0.0541	0.0501	0.0494	0.0484	0.0468	0.0460	0.0494	0.0476
0.125	2.32	7.55	7.13	9.87	7.74	7.73	6.75	4.35	5.08	5.20	5.25	5.33	5.35	5.33
	0.0557	0.0495	0.0247	0.0196	0.0214	0.0215	0.0270	0.0448	0.0394	0.0379	0.0328	0.0363	0.0381	0.0335
0.029	2.36	7.92	7.05	9.68	7.65	7.78	6.69	4.77	4.94	5.13	5.25	5.32	5.37	5.42
	0.0426	0.0571	0.0363	0.0340	0.0364	0.0482	0.0407	0.0390	0.0417	0.0413	0.0420	0.0432	0.0465	0.0432

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=3, Z=0.500$ (devam)														
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.971	7.47	7.61	7.76	7.88	7.88	8.10	8.23	8.44	8.60	8.73	8.84	8.91	8.98	9.06
	0.0274	0.0265	0.0281	0.0247	0.0256	0.0259	0.0248	0.0235	0.0194	0.0202	0.0195	0.0208	0.0220	0.0219
0.875	6.56	6.74	6.94	7.09	7.04	7.38	7.63	7.91	8.02	8.13	8.21	8.27	8.41	8.44
	0.0221	0.0220	0.0195	0.0224	0.0223	0.0201	0.0210	0.0222	0.0175	0.0193	0.0176	0.0198	0.0168	0.0177
0.721	5.21	5.49	5.78	6.00	5.97	6.29	6.60	7.00	7.12	7.28	7.41	7.45	7.65	7.74
	0.0169	0.0151	0.0153	0.0163	0.0166	0.0165	0.0176	0.0173	0.0181	0.0196	0.0194	0.0173	0.0179	0.0189
0.500	4.46	4.80	5.11	5.35	5.36	5.68	6.04	6.41	6.55	6.69	6.77	6.77	7.03	7.09
	0.0435	0.0405	0.0395	0.0425	0.0392	0.0391	0.0383	0.0375	0.0273	0.0293	0.0292	0.0310	0.0287	0.0311
0.279	4.47	4.60	4.80	5.04	5.25	5.70	5.98	6.20	6.35	6.43	6.52	6.61	6.71	6.74
	0.0457	0.0469	0.0486	0.0462	0.0466	0.0492	0.0460	0.0440	0.0431	0.0439	0.0435	0.0428	0.0446	0.0444
0.125	5.29	5.26	5.19	5.21	5.33	5.49	5.67	5.86	5.99	6.06	6.15	6.30	6.43	6.49
	0.0370	0.0338	0.0347	0.0322	0.0331	0.0310	0.0302	0.0309	0.0242	0.0233	0.0229	0.0234	0.0212	0.0203
0.029	5.46	5.50	5.53	5.56	5.54	5.64	5.76	5.71	5.83	5.93	6.01	6.23	6.51	6.61
	0.0457	0.0433	0.0446	0.0435	0.0448	0.0462	0.0456	0.0456	0.0429	0.0439	0.0452	0.0462	0.0494	0.0497
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.971	9.10	9.11	9.19	9.23	9.20	9.22	9.20	9.21	9.27	9.38	9.42	9.44	9.55	10.50
	0.0226	0.0215	0.0233	0.0195	0.0234	0.0224	0.0229	0.0256	0.0235	0.0228	0.0214	0.0218	0.0249	0.0228
0.875	8.44	8.45	8.49	8.50	8.53	8.55	8.57	8.60	8.64	8.70	8.77	8.87	8.97	9.71
	0.0174	0.0177	0.0192	0.0195	0.0167	0.0179	0.0171	0.0170	0.0157	0.0157	0.0136	0.0149	0.0154	0.0142
0.721	7.80	7.86	7.93	7.98	8.03	8.07	8.11	8.17	8.24	8.32	8.42	8.56	8.73	9.94
	0.0153	0.0185	0.0149	0.0146	0.0117	0.0125	0.0123	0.0128	0.0140	0.0120	0.0120	0.0104	0.0115	0.0150
0.500	7.15	7.22	7.31	7.37	7.47	7.52	7.61	7.61	7.68	7.81	7.77	7.92	7.94	9.16
	0.0322	0.0307	0.0310	0.0296	0.0308	0.0289	0.0298	0.0303	0.0289	0.0312	0.0315	0.0307	0.0316	0.0320
0.279	6.77	6.81	6.86	6.90	6.98	7.00	7.03	7.08	7.13	7.19	7.32	7.37	7.52	8.20
	0.0447	0.0435	0.0416	0.0444	0.0434	0.0456	0.0450	0.0423	0.0463	0.0473	0.0490	0.0489	0.0531	0.0588
0.125	6.62	6.75	6.87	6.95	7.05	7.09	7.13	7.18	7.23	7.30	7.36	7.42	7.47	8.09
	0.0220	0.0217	0.0202	0.0178	0.0183	0.0250	0.0206	0.0230	0.0226	0.0232	0.0235	0.0195	0.0221	0.0222
0.029	6.67	6.64	6.67	6.74	6.87	6.97	7.04	7.10	7.21	7.35	7.46	7.53	7.64	8.56
	0.0479	0.0489	0.0456	0.0494	0.0535	0.0509	0.0524	0.0536	0.0537	0.0586	0.0579	0.0577	0.0581	0.0639

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=4, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.971	1.65	7.67	6.48	9.25	6.94	7.28	5.77	3.11	5.30	5.69	5.95	6.22	6.39	6.56
	0.0702	0.0433	0.0328	0.0336	0.0318	0.0327	0.0285	0.0625	0.0339	0.0278	0.0276	0.0261	0.0275	0.0232
0.875	1.62	7.67	6.54	9.28	6.91	6.92	5.67	2.25	4.46	4.96	5.29	5.56	5.78	6.01
	0.0851	0.0415	0.0343	0.0374	0.0313	0.0352	0.0355	0.0758	0.0459	0.0391	0.0376	0.0351	0.0368	0.0365
0.721	1.59	6.58	6.53	9.17	6.83	6.79	5.66	-0.94	1.94	2.84	3.23	3.64	3.97	4.22
	0.0865	0.1679	0.0294	0.0496	0.0298	0.0368	0.0305	0.0920	0.0566	0.0477	0.0466	0.0426	0.0403	0.0427
0.500	1.65	7.76	6.57	9.16	6.89	6.83	5.66	-1.43	0.66	1.38	1.62	2.12	2.55	2.92
	0.0583	0.0469	0.0430	0.0395	0.0407	0.0379	0.0366	0.0677	0.0515	0.0437	0.0422	0.0424	0.0413	0.0391
0.279	1.65	6.68	6.46	9.07	6.95	7.05	5.74	2.74	3.45	3.71	3.75	3.87	3.97	3.98
	0.0584	0.1090	0.0339	0.0261	0.0243	0.0239	0.0312	0.0545	0.0445	0.0462	0.0429	0.0396	0.0396	0.0410
0.125	1.57	6.33	6.34	9.12	6.88	6.95	5.63	3.62	4.03	4.23	4.28	4.39	4.44	4.45
	0.0590	0.0498	0.0291	0.0377	0.0364	0.0370	0.0330	0.0376	0.0397	0.0356	0.0356	0.0356	0.0356	0.0332
0.029	1.58	7.54	6.39	9.09	6.93	7.13	5.69	4.03	4.51	4.63	4.78	4.83	4.86	4.96
	0.0656	0.0507	0.0341	0.0316	0.0267	0.0232	0.0369	0.0524	0.0371	0.0378	0.0413	0.0414	0.0332	0.0379
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.971	6.69	6.80	6.95	7.06	7.04	7.16	7.27	7.40	7.55	7.63	7.64	7.71	7.76	7.80
	0.0262	0.0269	0.0248	0.0232	0.0230	0.0247	0.0238	0.0241	0.0257	0.0212	0.0243	0.0223	0.0225	0.0221
0.875	6.13	6.25	6.39	6.50	6.44	6.55	6.69	6.83	6.97	7.07	7.06	7.15	7.19	7.21
	0.0344	0.0345	0.0362	0.0345	0.0347	0.0334	0.0354	0.0334	0.0332	0.0345	0.0333	0.0321	0.0326	0.0336
0.721	4.59	4.80	5.05	5.23	5.20	5.30	5.54	5.73	5.95	6.07	6.10	6.21	6.27	6.33
	0.0357	0.0325	0.0351	0.0329	0.0347	0.0352	0.0370	0.0382	0.0373	0.0408	0.0373	0.0377	0.0386	0.0393
0.500	3.46	3.77	4.07	4.27	4.27	4.47	4.78	4.99	5.21	5.34	5.40	5.51	5.59	5.67
	0.0385	0.0402	0.0376	0.0361	0.0382	0.0369	0.0348	0.0362	0.0380	0.0367	0.0394	0.0363	0.0359	0.0383
0.279	4.26	4.39	4.52	4.63	4.72	4.86	5.06	5.15	5.29	5.37	5.42	5.49	5.54	5.58
	0.0356	0.0323	0.0352	0.0375	0.0322	0.0305	0.0329	0.0316	0.0359	0.0334	0.0330	0.0331	0.0357	0.0316
0.125	4.51	4.56	4.57	4.61	4.70	4.76	4.88	4.91	4.98	5.03	5.10	5.19	5.30	5.38
	0.0368	0.0356	0.0352	0.0357	0.0330	0.0344	0.0321	0.0309	0.0311	0.0300	0.0337	0.0289	0.0277	0.0262
0.029	4.98	5.04	5.10	5.13	5.05	5.08	5.10	5.14	5.21	5.27	5.29	5.36	5.41	5.43
	0.0439	0.0407	0.0340	0.0349	0.0397	0.0317	0.0315	0.0372	0.0320	0.0298	0.0293	0.0278	0.0261	0.0269
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.971	7.88	7.87	7.95	8.00	7.97	8.00	8.00	8.03	8.11	8.22	8.29	8.32	8.46	9.42
	0.0220	0.0207	0.0226	0.0217	0.0230	0.0207	0.0207	0.0246	0.0258	0.0200	0.0243	0.0219	0.0233	0.0218
0.875	7.25	7.27	7.35	7.38	7.40	7.42	7.45	7.49	7.55	7.61	7.67	7.76	7.86	8.70
	0.0349	0.0369	0.0360	0.0355	0.0327	0.0338	0.0350	0.0356	0.0333	0.0327	0.0329	0.0338	0.0341	0.0399
0.721	6.37	6.44	6.60	6.66	6.72	6.75	6.80	6.86	6.96	7.03	7.13	7.30	7.51	8.98
	0.0357	0.0358	0.0387	0.0369	0.0398	0.0377	0.0389	0.0376	0.0360	0.0418	0.0385	0.0407	0.0405	0.0521
0.500	5.74	5.90	6.10	6.19	6.27	6.33	6.37	6.45	6.55	6.65	6.77	6.88	7.00	8.17
	0.0364	0.0365	0.0373	0.0373	0.0364	0.0379	0.0366	0.0351	0.0387	0.0355	0.0386	0.0380	0.0364	0.0395
0.279	5.62	5.71	5.81	5.83	5.89	5.91	5.95	6.00	6.04	6.10	6.20	6.30	6.47	7.26
	0.0309	0.0303	0.0327	0.0312	0.0312	0.0311	0.0295	0.0283	0.0309	0.0278	0.0254	0.0241	0.0265	0.0252

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=4, Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.125	5.49	5.64	5.79	5.86	5.95	6.00	6.05	6.11	6.17	6.22	6.29	6.38	6.43	6.90
	0.0289	0.0272	0.0291	0.0287	0.0305	0.0322	0.0293	0.0305	0.0323	0.0294	0.0308	0.0327	0.0317	0.0354
0.029	5.57	5.72	5.89	5.97	6.00	6.05	6.07	6.11	6.19	6.31	6.36	6.42	6.51	7.29
	0.0256	0.0264	0.0220	0.0258	0.0220	0.0243	0.0205	0.0231	0.0250	0.0191	0.0208	0.0181	0.0217	0.0228
$\varepsilon=0.90, A=5, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.971	1.26	6.11	5.96	8.75	6.55	6.79	4.74	2.71	4.54	4.88	5.16	5.45	5.66	5.83
	0.0446	0.0467	0.0257	0.0255	0.0273	0.0207	0.0199	0.0121	0.0125	0.0140	0.0159	0.0157	0.0123	0.0156
0.875	1.16	6.22	6.07	8.84	6.64	6.89	4.54	1.74	3.23	3.59	4.02	4.32	4.57	4.83
	0.0441	0.1134	0.0678	0.0687	0.0900	0.1026	0.0475	0.0551	0.0392	0.0431	0.0509	0.0526	0.0539	0.0584
0.721	0.98	6.60	5.71	8.32	6.20	6.52	4.55	-1.60	0.85	1.30	1.92	2.46	2.86	3.11
	0.0723	0.0403	0.0460	0.0749	0.0452	0.0424	0.0594	0.0976	0.0813	0.0822	0.0758	0.0732	0.0632	0.0665
0.500	1.24	6.28	5.75	8.67	6.48	6.86	4.71	-1.80	0.08	0.68	1.10	1.64	2.09	2.42
	0.0936	0.0884	0.0841	0.0921	0.0874	0.1021	0.0748	0.0805	0.0804	0.0815	0.0782	0.0761	0.0761	0.0776
0.279	1.18	5.68	5.87	8.67	6.52	6.48	4.66	2.23	2.94	3.01	3.04	3.10	3.16	3.11
	0.0813	0.0274	0.0300	0.0304	0.0215	0.0230	0.0388	0.0562	0.0472	0.0473	0.0466	0.0429	0.0417	0.0435
0.125	1.19	6.12	5.90	8.67	6.64	6.58	4.71	3.27	3.67	3.81	3.84	3.94	3.98	4.00
	0.0534	0.0491	0.0300	0.0269	0.0358	0.0320	0.0279	0.0439	0.0421	0.0392	0.0387	0.0384	0.0397	0.0370
0.029	1.09	6.00	5.83	8.63	6.52	6.81	4.66	3.32	3.78	3.86	3.94	4.04	4.09	4.16
	0.0755	0.0342	0.0446	0.0505	0.0472	0.0490	0.0480	0.0613	0.0533	0.0526	0.0513	0.0520	0.0496	0.0462
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.971	5.97	6.09	6.25	6.38	6.36	6.49	6.51	6.62	6.65	6.69	6.73	6.77	6.83	6.90
	0.0160	0.0168	0.0151	0.0186	0.0180	0.0162	0.0165	0.0223	0.0227	0.0222	0.0223	0.0243	0.0204	0.0206
0.875	4.99	5.17	5.38	5.50	5.45	5.65	5.71	5.84	5.91	6.00	6.03	6.08	6.12	6.17
	0.0608	0.0629	0.0635	0.0695	0.0680	0.0703	0.0696	0.0709	0.0676	0.0695	0.0761	0.0705	0.0721	0.0744
0.721	3.40	3.59	3.85	4.01	4.00	4.31	4.41	4.57	4.66	4.74	4.77	4.81	4.86	4.92
	0.0625	0.0663	0.0675	0.0672	0.0662	0.0662	0.0661	0.0642	0.0471	0.0477	0.0495	0.0510	0.0523	0.0570
0.500	2.81	3.04	3.28	3.46	3.56	3.98	4.11	4.26	4.37	4.44	4.48	4.54	4.61	4.71
	0.0715	0.0731	0.0757	0.0752	0.0721	0.0772	0.0767	0.0774	0.0842	0.0859	0.0818	0.0813	0.0797	0.0813
0.279	3.30	3.36	3.55	3.72	3.86	4.16	4.24	4.29	4.39	4.43	4.47	4.51	4.54	4.60
	0.0412	0.0399	0.0370	0.0361	0.0369	0.0316	0.0326	0.0366	0.0297	0.0269	0.0263	0.0258	0.0260	0.0272
0.125	4.11	4.15	4.22	4.30	4.37	4.52	4.56	4.57	4.63	4.65	4.69	4.73	4.77	4.84
	0.0397	0.0387	0.0384	0.0378	0.0354	0.0345	0.0325	0.0315	0.0333	0.0317	0.0288	0.0345	0.0328	0.0287
0.029	4.18	4.20	4.26	4.29	4.27	4.32	4.34	4.34	4.41	4.43	4.47	4.49	4.56	4.62
	0.0479	0.0475	0.0488	0.0474	0.0514	0.0472	0.0473	0.0474	0.0490	0.0494	0.0515	0.0486	0.0477	0.0455

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=5, Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.971	6.92	7.00	7.10	7.14	7.13	7.17	7.18	7.21	7.33	7.43	7.50	7.56	7.69	8.56
	0.0252	0.0216	0.0201	0.0202	0.0173	0.0173	0.0152	0.0165	0.0183	0.0175	0.0214	0.0197	0.0163	0.0243
0.875	6.20	6.28	6.40	6.44	6.47	6.50	6.53	6.57	6.65	6.72	6.78	6.90	7.01	7.90
	0.0751	0.0771	0.0776	0.0771	0.0817	0.0788	0.0772	0.0777	0.0775	0.0752	0.0836	0.0833	0.0900	0.0903
0.721	5.00	5.09	5.25	5.32	5.39	5.44	5.49	5.56	5.68	5.78	5.91	6.13	6.38	7.49
	0.0548	0.0605	0.0628	0.0655	0.0575	0.0589	0.0628	0.0663	0.0721	0.0733	0.0734	0.0775	0.0811	0.0911
0.500	4.81	4.89	5.05	5.12	5.20	5.25	5.30	5.39	5.52	5.68	5.80	5.83	5.95	7.18
	0.0820	0.0803	0.0780	0.0787	0.0770	0.0762	0.0770	0.0716	0.0744	0.0683	0.0674	0.0674	0.0665	0.0573
0.279	4.67	4.71	4.80	4.84	4.90	4.92	4.96	5.01	5.08	5.16	5.26	5.43	5.63	6.31
	0.0265	0.0269	0.0259	0.0251	0.0260	0.0266	0.0278	0.0290	0.0241	0.0249	0.0242	0.0224	0.0217	0.0175
0.125	4.93	4.98	5.09	5.16	5.25	5.30	5.36	5.41	5.47	5.54	5.49	5.55	5.59	6.22
	0.0326	0.0290	0.0289	0.0279	0.0279	0.0312	0.0290	0.0308	0.0300	0.0309	0.0291	0.0305	0.0299	0.0293
0.029	4.71	4.82	4.98	5.08	5.09	5.15	5.18	5.24	5.36	5.48	5.58	5.66	5.79	6.67
	0.0467	0.0442	0.0481	0.0455	0.0432	0.0424	0.0444	0.0404	0.0427	0.0385	0.0426	0.0403	0.0407	0.0378
$\varepsilon=0.90, A=6, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.971	0.63	6.24	6.56	8.34	6.32	6.59	4.11	2.11	3.82	4.09	4.58	4.84	5.12	5.34
	0.0207	0.0507	0.0249	0.0538	0.0508	0.0151	0.0264	0.0165	0.0159	0.0150	0.0168	0.0161	0.0132	0.0134
0.875	0.83	6.69	6.39	8.13	6.77	6.70	4.23	1.58	2.64	3.04	3.45	3.74	4.00	4.24
	0.0251	0.0148	0.0259	0.0276	0.0317	0.0314	0.0215	0.0210	0.0216	0.0226	0.0242	0.0225	0.0236	0.0250
0.721	0.75	6.48	6.35	8.17	6.67	6.69	4.20	-1.31	-0.11	0.11	0.92	1.63	2.12	2.48
	0.0365	0.0516	0.0093	0.0146	0.0137	0.0101	0.0129	0.0184	0.0163	0.0165	0.0148	0.0136	0.0122	0.0121
0.500	0.78	5.83	5.94	8.37	6.59	6.85	4.59	-1.78	-0.35	0.17	0.75	1.22	1.74	2.12
	0.0867	0.0588	0.0402	0.0435	0.0400	0.0370	0.0482	0.0711	0.0667	0.0663	0.0592	0.0600	0.0597	0.0610
0.279	0.88	6.67	6.26	8.42	6.80	6.56	3.94	2.10	2.78	2.95	3.11	3.27	3.38	3.47
	0.1913	0.0876	0.1147	0.1021	0.1137	0.0962	0.0781	0.1618	0.1361	0.1301	0.1241	0.1208	0.1172	0.1122
0.125	0.67	6.19	5.86	8.23	6.46	6.15	3.95	2.87	3.23	3.35	3.44	3.52	3.54	3.58
	0.0501	0.0605	0.0558	0.0558	0.0496	0.0493	0.0522	0.0543	0.0513	0.0545	0.0523	0.0525	0.0524	0.0493
0.029	0.91	6.46	5.97	8.76	6.71	7.16	4.28	3.25	3.71	3.77	3.87	3.94	3.97	4.03
	0.0403	0.0457	0.0541	0.0507	0.0572	0.0607	0.0427	0.0346	0.0451	0.0418	0.0409	0.0454	0.0455	0.0440

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.90, A=6, Z=0.500$ (devam)														
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.971	5.41	5.55	5.72	5.86	5.88	5.93	5.93	6.02	6.07	6.13	6.12	6.17	6.23	6.24
	0.0165	0.0162	0.0145	0.0149	0.0142	0.0159	0.0145	0.0153	0.0128	0.0119	0.0102	0.0111	0.0132	0.0101
0.875	4.40	4.61	4.81	4.92	4.92	5.03	5.08	5.17	5.24	5.31	5.32	5.38	5.39	5.44
	0.0250	0.0248	0.0248	0.0254	0.0251	0.0233	0.0227	0.0265	0.0214	0.0211	0.0249	0.0224	0.0224	0.0217
0.721	2.80	3.09	3.38	3.60	3.62	3.80	3.90	4.05	4.13	4.21	4.22	4.32	4.36	4.43
	0.0159	0.0145	0.0127	0.0138	0.0154	0.0130	0.0125	0.0129	0.0099	0.0137	0.0108	0.0096	0.0102	0.0126
0.500	2.32	2.57	2.80	3.01	3.06	3.43	3.52	3.64	3.76	3.79	3.74	3.90	3.96	4.03
	0.0566	0.0570	0.0543	0.0574	0.0581	0.0568	0.0567	0.0529	0.0555	0.0573	0.0527	0.0574	0.0563	0.0517
0.279	3.56	3.65	3.74	3.83	3.91	3.98	4.03	4.10	4.15	4.19	4.22	4.26	4.29	4.35
	0.1118	0.1095	0.1091	0.1063	0.1062	0.1054	0.1031	0.1020	0.1048	0.1059	0.1031	0.1026	0.0986	0.0959
0.125	3.62	3.67	3.67	3.69	3.75	3.77	3.84	3.89	3.90	3.96	4.01	4.02	4.05	4.12
	0.0487	0.0485	0.0509	0.0460	0.0492	0.0463	0.0496	0.0460	0.0557	0.0541	0.0541	0.0509	0.0526	0.0526
0.029	4.02	4.06	4.10	4.14	4.12	4.14	4.14	4.16	4.18	4.17	4.19	4.21	4.21	4.24
	0.0444	0.0432	0.0454	0.0433	0.0464	0.0484	0.0456	0.0481	0.0515	0.0468	0.0468	0.0488	0.0477	0.0453
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.971	6.25	6.37	6.49	6.54	6.52	6.55	6.56	6.59	6.72	6.81	6.90	6.97	7.16	8.14
	0.0106	0.0147	0.0131	0.0149	0.0160	0.0144	0.0124	0.0147	0.0135	0.0149	0.0160	0.0168	0.0186	0.0186
0.875	5.47	5.55	5.67	5.76	5.80	5.84	5.87	5.91	6.01	6.10	6.17	6.28	6.44	7.42
	0.0228	0.0245	0.0220	0.0215	0.0256	0.0235	0.0227	0.0226	0.0231	0.0233	0.0249	0.0247	0.0276	0.0307
0.721	4.50	4.59	4.71	4.84	4.94	5.01	5.07	5.14	5.29	5.42	5.58	5.77	6.03	7.40
	0.0118	0.0119	0.0116	0.0127	0.0128	0.0124	0.0141	0.0128	0.0122	0.0126	0.0116	0.0139	0.0111	0.0116
0.500	4.11	4.17	4.29	4.45	4.56	4.63	4.71	4.78	4.93	5.05	5.26	5.52	5.77	6.89
	0.0528	0.0537	0.0526	0.0511	0.0512	0.0530	0.0536	0.0512	0.0508	0.0502	0.0487	0.0469	0.0443	0.0403
0.279	4.43	4.45	4.58	4.68	4.78	4.83	4.89	4.95	5.04	5.15	5.25	5.40	5.49	6.32
	0.0900	0.0859	0.0857	0.0804	0.0845	0.0834	0.0817	0.0828	0.0803	0.0803	0.0789	0.0764	0.0757	0.0782
0.125	4.22	4.20	4.30	4.37	4.48	4.53	4.56	4.59	4.66	4.74	4.81	4.94	5.07	5.67
	0.0485	0.0505	0.0511	0.0490	0.0485	0.0499	0.0468	0.0429	0.0436	0.0420	0.0414	0.0423	0.0422	0.0444
0.029	4.33	4.40	4.49	4.64	4.68	4.74	4.76	4.82	4.96	5.06	5.17	5.21	5.36	6.29
	0.0489	0.0481	0.0482	0.0485	0.0470	0.0466	0.0483	0.0458	0.0451	0.0465	0.0448	0.0488	0.0472	0.0512

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.05, A=1, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	4.18	14.50	11.41	14.77	12.96	13.05	12.28	5.26	9.09	9.70	10.37	10.81	11.15	11.47
	0.0627	0.0953	0.0222	0.0177	0.0247	0.0226	0.0211	0.0539	0.0339	0.0294	0.0262	0.0236	0.0220	0.0211
0.500	4.12	14.41	11.31	14.71	12.89	12.85	12.20	1.12	5.82	6.38	6.97	7.73	8.27	8.69
	0.0561	0.0218	0.0259	0.0274	0.0273	0.0244	0.0233	0.0817	0.0488	0.0438	0.0395	0.0367	0.0366	0.0294
0.125	4.13	14.40	11.37	14.76	12.93	13.00	12.23	6.28	7.90	7.93	8.01	8.24	8.45	8.61
	0.0556	0.0386	0.0298	0.0406	0.0396	0.0445	0.0253	0.0524	0.0348	0.0314	0.0297	0.0333	0.0291	0.0283
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	11.67	11.85	12.04	12.21	12.18	13.08	13.11	13.46	13.47	13.44	13.61	13.49	13.64	13.63
	0.0201	0.0206	0.0215	0.0214	0.0209	0.0188	0.0210	0.0183	0.0168	0.0176	0.0154	0.0163	0.0161	0.0167
0.500	9.26	9.65	10.01	10.27	10.24	11.52	11.82	12.04	12.09	12.11	12.19	12.20	12.25	12.27
	0.0266	0.0269	0.0222	0.0244	0.0278	0.0219	0.0207	0.0220	0.0183	0.0162	0.0187	0.0188	0.0188	0.0212
0.125	8.84	9.00	9.27	9.42	9.41	10.42	10.61	10.82	10.85	10.90	10.96	11.13	11.33	11.33
	0.0310	0.0272	0.0297	0.0260	0.0306	0.0274	0.0267	0.0266	0.0196	0.0232	0.0217	0.0232	0.0248	0.0252
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	13.52	13.59	13.55	13.54	13.51	13.51	13.50	13.50	13.52	13.61	13.64	13.70	13.77	15.27
	0.0154	0.0163	0.0156	0.0158	0.0169	0.0158	0.0159	0.0161	0.0161	0.0148	0.0151	0.0164	0.0160	0.0173
0.500	12.29	12.35	12.52	12.55	12.60	12.64	12.68	12.73	12.79	12.90	13.01	13.11	13.19	14.51
	0.0202	0.0214	0.0198	0.0215	0.0201	0.0183	0.0213	0.0184	0.0205	0.0199	0.0230	0.0223	0.0208	0.0229
0.125	11.53	11.55	11.93	12.02	12.09	12.13	12.17	12.22	12.27	12.34	12.43	12.45	12.47	13.49
	0.0244	0.0258	0.0283	0.0260	0.0266	0.0280	0.0286	0.0301	0.0300	0.0302	0.0306	0.0270	0.0291	0.0269
$\varepsilon=0.05, A=2.09, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	3.79	13.92	9.80	13.56	11.61	11.49	10.54	4.05	8.47	8.97	9.49	9.82	10.17	10.46
	0.0917	0.0859	0.0553	0.0656	0.0561	0.0686	0.0506	0.1059	0.0454	0.0455	0.0475	0.0455	0.0465	0.0489
0.500	3.92	13.43	9.85	13.60	11.54	11.19	10.41	0.58	3.93	5.17	5.46	6.10	6.75	7.16
	0.1296	0.1345	0.1214	0.1003	0.1216	0.1092	0.0787	0.1683	0.0808	0.0573	0.0506	0.0420	0.0400	0.0473
0.125	3.82	13.87	10.09	13.99	11.88	11.61	10.82	5.44	6.68	6.91	6.97	7.09	7.22	7.24
	0.1356	0.0751	0.0518	0.0482	0.0509	0.0460	0.0490	0.1215	0.0964	0.0930	0.0871	0.0860	0.0839	0.0877
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	10.69	10.88	11.10	11.31	11.27	11.41	11.59	11.82	11.95	11.94	12.08	12.04	12.07	12.10
	0.0476	0.0524	0.0539	0.0538	0.0521	0.0525	0.0558	0.0574	0.0632	0.0618	0.0624	0.0612	0.0625	0.0627
0.500	7.81	8.17	8.59	8.92	8.92	9.29	9.70	9.98	10.15	10.24	10.35	10.38	10.44	10.48
	0.0530	0.0628	0.0726	0.0758	0.0691	0.0773	0.0833	0.0843	0.0740	0.0770	0.0804	0.0850	0.0815	0.0830
0.125	7.42	7.51	7.66	7.86	7.92	8.30	8.78	8.97	9.21	9.32	9.36	9.43	9.59	9.59
	0.0823	0.0796	0.0801	0.0752	0.0769	0.0733	0.0658	0.0636	0.0609	0.0571	0.0569	0.0547	0.0538	0.0510

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.05, A=2.09, Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	12.15	12.10	12.15	12.10	12.07	12.08	12.08	12.10	12.14	12.24	12.29	12.37	12.47	14.58
	0.0627	0.0606	0.0625	0.0609	0.0587	0.0600	0.0587	0.0581	0.0591	0.0589	0.0596	0.0622	0.0624	0.0797
0.500	10.53	10.60	10.78	10.81	10.88	10.93	11.01	11.11	11.22	11.37	11.47	11.64	11.72	13.34
	0.0848	0.0863	0.0828	0.0832	0.0896	0.0927	0.0956	0.0995	0.0977	0.1022	0.1020	0.1012	0.1039	0.1174
0.125	9.59	9.87	10.08	10.12	10.17	10.21	10.26	10.32	10.38	10.45	10.58	10.62	10.70	12.16
	0.0546	0.0511	0.0452	0.0459	0.0548	0.0531	0.0517	0.0495	0.0491	0.0510	0.0504	0.0478	0.0490	0.0396
$\varepsilon=0.05, A=3, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	3.04	12.37	9.23	12.62	10.98	10.63	10.07	3.90	7.03	7.83	8.47	8.92	9.18	9.50
	0.0916	0.0466	0.0275	0.0324	0.0315	0.0282	0.0314	0.0333	0.0293	0.0255	0.0317	0.0268	0.0204	0.0279
0.500	3.04	12.40	9.19	12.64	10.93	10.60	10.04	-0.23	4.06	4.44	5.32	5.92	6.33	6.81
	0.0492	0.0327	0.0217	0.0217	0.0245	0.0281	0.0202	0.0480	0.0327	0.0310	0.0250	0.0269	0.0277	0.0224
0.125	3.02	12.42	9.16	12.74	11.00	10.71	10.09	5.03	6.03	6.16	6.26	6.42	6.59	6.75
	0.0584	0.0341	0.0436	0.0443	0.0488	0.0450	0.0432	0.0506	0.0434	0.0471	0.0479	0.0457	0.0468	0.0490
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	9.73	10.03	10.28	10.49	10.42	10.79	10.85	11.16	11.20	11.32	11.42	11.42	11.49	11.60
	0.0275	0.0235	0.0236	0.0273	0.0262	0.0229	0.0260	0.0276	0.0173	0.0169	0.0158	0.0167	0.0163	0.0150
0.500	7.15	7.54	7.96	8.14	8.06	8.57	8.80	9.13	9.31	9.44	9.59	9.68	9.78	9.85
	0.0241	0.0268	0.0252	0.0208	0.0238	0.0277	0.0220	0.0248	0.0233	0.0223	0.0217	0.0218	0.0212	0.0215
0.125	6.91	7.02	7.18	7.25	7.27	7.55	7.84	8.05	8.20	8.29	8.42	8.55	8.68	8.74
	0.0472	0.0424	0.0456	0.0453	0.0471	0.0438	0.0467	0.0414	0.0324	0.0357	0.0342	0.0354	0.0325	0.0373
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	11.70	11.70	11.77	11.78	11.76	11.79	11.80	11.86	11.95	12.13	12.19	12.38	12.54	13.60
	0.0156	0.0175	0.0142	0.0149	0.0188	0.0136	0.0108	0.0164	0.0155	0.0128	0.0139	0.0153	0.0124	0.0125
0.500	9.95	10.04	10.17	10.22	10.31	10.37	10.43	10.55	10.66	10.90	10.84	11.07	11.11	12.75
	0.0192	0.0224	0.0251	0.0227	0.0219	0.0245	0.0232	0.0261	0.0252	0.0235	0.0211	0.0243	0.0232	0.0270
0.125	8.80	8.92	9.15	9.24	9.36	9.44	9.52	9.64	9.69	9.89	9.81	9.99	10.03	11.24
	0.0381	0.0396	0.0361	0.0387	0.0385	0.0415	0.0410	0.0404	0.0399	0.0423	0.0415	0.0407	0.0400	0.0410

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.05, A=4, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	2.67	12.00	9.39	12.56	11.13	10.88	9.40	3.65	7.30	7.87	8.47	8.89	9.09	9.41
	0.0454	0.0618	0.0220	0.0206	0.0192	0.0226	0.0203	0.0306	0.0207	0.0236	0.0226	0.0193	0.0192	0.0174
0.500	2.98	12.24	9.89	12.94	11.56	11.19	9.94	0.49	4.51	5.10	6.09	6.64	6.99	7.39
	0.0490	0.0596	0.0316	0.0465	0.0345	0.0347	0.0276	0.0295	0.0219	0.0202	0.0262	0.0250	0.0277	0.0432
0.125	2.64	12.10	9.25	12.60	11.09	10.77	9.46	4.66	6.09	6.14	6.15	6.28	6.42	6.46
	0.1046	0.0534	0.0906	0.0852	0.0904	0.0866	0.0806	0.1207	0.1001	0.0966	0.0979	0.0950	0.0937	0.0946
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	9.58	9.77	9.97	10.12	10.05	10.10	10.26	10.46	10.59	10.75	10.86	10.90	11.00	10.98
	0.0187	0.0166	0.0155	0.0179	0.0182	0.0189	0.0165	0.0191	0.0171	0.0181	0.0164	0.0180	0.0178	0.0172
0.500	7.69	7.95	8.23	8.41	8.37	8.46	8.73	8.99	9.17	9.34	9.50	9.58	9.68	9.72
	0.0331	0.0282	0.0247	0.0267	0.0322	0.0229	0.0242	0.0270	0.0217	0.0283	0.0258	0.0257	0.0218	0.0280
0.125	6.66	6.76	6.91	7.02	7.12	7.20	7.47	7.64	7.80	7.91	8.02	8.08	8.13	8.18
	0.0937	0.0926	0.0886	0.0901	0.0912	0.0911	0.0900	0.0851	0.0847	0.0879	0.0874	0.0857	0.0858	0.0822
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	10.94	10.99	11.04	11.08	11.06	11.10	11.12	11.17	11.24	11.36	11.45	11.61	11.76	13.20
	0.0173	0.0165	0.0164	0.0183	0.0179	0.0160	0.0172	0.0148	0.0160	0.0151	0.0152	0.0155	0.0119	0.0127
0.500	9.79	9.87	10.03	10.07	10.14	10.20	10.27	10.36	10.49	10.61	10.77	11.05	11.18	12.68
	0.0257	0.0245	0.0221	0.0246	0.0272	0.0298	0.0263	0.0254	0.0287	0.0263	0.0267	0.0297	0.0288	0.0315
0.125	8.27	8.40	8.58	8.65	8.75	8.81	8.87	8.93	9.00	9.05	9.13	9.22	9.30	10.79
	0.0829	0.0853	0.0820	0.0805	0.0810	0.0833	0.0820	0.0810	0.0823	0.0828	0.0812	0.0816	0.0806	0.0823
$\varepsilon=0.05, A=5, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	2.04	11.55	9.25	12.41	11.33	10.86	8.82	2.97	6.24	6.70	7.24	7.74	8.01	8.33
	0.0621	0.0432	0.0448	0.0448	0.0475	0.0528	0.0527	0.0392	0.0453	0.0599	0.0472	0.0411	0.0474	0.0502
0.500	2.22	11.44	9.30	12.46	11.42	10.86	8.37	-0.98	2.76	3.26	3.64	4.45	4.93	5.33
	0.0849	0.0495	0.0559	0.0559	0.0646	0.0557	0.0652	0.0843	0.0695	0.0710	0.0735	0.0672	0.0680	0.0741
0.125	2.20	11.24	9.25	12.12	11.01	10.47	8.35	4.37	5.93	6.09	6.10	6.23	6.32	6.33
	0.1228	0.0508	0.0508	0.0602	0.0595	0.0562	0.0575	0.1229	0.0887	0.0908	0.0927	0.0893	0.0793	0.0777
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	8.57	8.80	9.11	9.30	9.23	9.59	9.60	9.79	9.75	9.84	9.98	10.04	10.04	10.10
	0.0487	0.0486	0.0532	0.0559	0.0462	0.0471	0.0565	0.0538	0.0509	0.0510	0.0495	0.0486	0.0512	0.0504
0.500	5.78	6.15	6.58	6.78	6.70	7.10	7.32	7.56	7.67	7.79	7.95	8.04	8.17	8.24
	0.0766	0.0706	0.0697	0.0690	0.0710	0.0654	0.0669	0.0661	0.0633	0.0627	0.0648	0.0628	0.0622	0.0642
0.125	6.50	6.56	6.65	6.75	6.85	6.90	6.98	7.02	7.16	7.23	7.30	7.36	7.43	7.45
	0.0793	0.0756	0.0814	0.0827	0.0783	0.0696	0.0744	0.0716	0.0630	0.0610	0.0605	0.0574	0.0605	0.0628

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

$\varepsilon=0.05, A=5, Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	10.24	10.24	10.28	10.35	10.36	10.40	10.43	10.50	10.60	10.74	10.93	11.12	11.29	12.69
	0.0489	0.0505	0.0489	0.0481	0.0498	0.0496	0.0509	0.0488	0.0493	0.0502	0.0492	0.0465	0.0485	0.0513
0.500	8.33	8.42	8.57	8.67	8.77	8.86	8.94	9.06	9.20	9.49	9.52	9.67	9.76	11.68
	0.0668	0.0672	0.0651	0.0627	0.0633	0.0662	0.0627	0.0666	0.0622	0.0594	0.0622	0.0597	0.0632	0.0531
0.125	7.47	7.51	7.58	7.63	7.71	7.78	7.85	7.94	8.02	8.16	8.31	8.42	8.44	9.80
	0.0618	0.0574	0.0595	0.0569	0.0575	0.0526	0.0579	0.0597	0.0592	0.0530	0.0461	0.0493	0.0453	0.0294
$\varepsilon=0.05, A=6, Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	2.01	11.07	10.06	12.39	11.49	10.90	7.94	2.88	5.28	5.86	6.43	6.84	7.21	7.51
	0.1566	0.0857	0.0775	0.0923	0.0926	0.0927	0.0724	0.1438	0.0921	0.0835	0.0809	0.0765	0.0786	0.0758
0.500	2.01	10.91	9.78	12.37	11.46	10.78	7.28	-1.58	1.84	2.61	3.36	3.75	4.23	4.71
	0.1276	0.0748	0.0691	0.0674	0.0720	0.0663	0.0623	0.1483	0.0938	0.0863	0.0780	0.0783	0.0755	0.0744
0.125	2.01	10.98	10.18	12.50	11.53	10.70	7.32	4.21	4.95	5.19	5.26	5.37	5.46	5.42
	0.1294	0.0750	0.0677	0.0979	0.0906	0.0691	0.0770	0.1108	0.0998	0.0895	0.0880	0.0906	0.0933	0.0908
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	7.84	8.06	8.33	8.53	8.41	8.41	8.45	8.61	8.88	8.92	8.88	8.91	9.01	9.06
	0.0749	0.0735	0.0746	0.0733	0.0793	0.0758	0.0773	0.0707	0.0745	0.0743	0.0735	0.0770	0.0737	0.0744
0.500	5.13	5.49	5.82	6.07	6.02	5.95	6.10	6.25	6.56	6.58	6.62	6.78	6.92	7.03
	0.0716	0.0707	0.0677	0.0686	0.0693	0.0685	0.0654	0.0644	0.0707	0.0684	0.0649	0.0642	0.0612	0.0620
0.125	5.52	5.54	5.64	5.75	5.88	5.97	6.10	6.17	6.35	6.43	6.50	6.58	6.67	6.72
	0.0883	0.0922	0.0880	0.0838	0.0851	0.0887	0.0805	0.0817	0.0828	0.0791	0.0727	0.0769	0.0719	0.0752
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	9.13	9.16	9.31	9.44	9.52	9.60	9.65	9.76	9.92	10.06	10.17	10.31	10.46	12.07
	0.0754	0.0764	0.0753	0.0749	0.0779	0.0825	0.0760	0.0797	0.0768	0.0794	0.0808	0.0809	0.0800	0.0874
0.500	7.13	7.23	7.43	7.59	7.74	7.84	7.93	8.09	8.27	8.47	8.68	8.95	9.21	11.00
	0.0595	0.0586	0.0585	0.0567	0.0608	0.0579	0.0580	0.0569	0.0555	0.0555	0.0538	0.0496	0.0514	0.0451
0.125	6.79	6.87	6.99	7.09	7.18	7.24	7.31	7.43	7.51	7.65	7.81	7.97	8.17	9.58
	0.0680	0.0706	0.0698	0.0684	0.0725	0.0693	0.0710	0.0703	0.0686	0.0689	0.0652	0.0605	0.0596	0.0519

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

I ve S, $\epsilon=0.05$, $A=1$, $Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	7.75	36.10	16.32	24.14	19.79	19.48	19.86	8.56	13.95	15.43	16.53	17.38	17.78	18.59
	0.0341	1.1092	0.0560	0.0420	0.0497	0.0537	0.0976	0.0271	0.0228	0.0331	0.0365	0.0334	0.0373	0.0684
0.500	7.75	35.79	16.77	24.69	20.26	19.82	20.08	3.99	9.72	11.18	12.51	13.72	14.33	15.42
	0.0315	1.1310	0.0168	0.0286	0.0229	0.0310	0.0534	0.0376	0.0338	0.0333	0.0422	0.0395	0.0399	0.0559
0.125	6.60	34.31	16.73	24.44	20.16	19.82	20.05	9.76	13.48	13.54	13.69	14.11	14.37	14.58
	0.0495	1.0300	0.0161	0.0224	0.0191	0.0198	0.0774	0.0192	0.0235	0.0328	0.0775	0.0978	0.0928	0.1497
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	19.06	19.41	19.89	20.35	20.22	22.35	22.33	22.88	22.84	22.64	22.91	22.63	22.85	22.81
	0.0532	0.0573	0.0705	0.0717	0.0492	0.0869	0.0580	0.0946	0.0662	0.0605	0.0715	0.0595	0.0647	0.0582
0.500	15.90	16.31	16.77	17.17	16.96	18.87	19.27	19.58	19.74	19.75	19.91	19.97	20.12	20.19
	0.0421	0.0441	0.0442	0.0362	0.0332	0.0408	0.0368	0.0358	0.0381	0.0370	0.0376	0.0371	0.0401	0.0403
0.125	14.90	15.17	15.38	15.54	15.43	16.12	16.24	16.32	16.48	16.69	16.78	17.15	17.22	17.37
	0.1278	0.1131	0.1193	0.1080	0.0927	0.0191	0.0182	0.0204	0.0308	0.0278	0.0405	0.0151	0.0148	0.0172
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	22.79	23.16	24.75	24.89	25.08	25.30	25.55	25.90	26.42	26.89	27.45	28.04	29.39	33.90
	0.0573	0.0501	0.2447	0.2016	0.1266	0.1060	0.0681	0.0482	0.0441	0.0490	0.0588	0.0763	0.1128	0.2419
0.500	20.53	21.12	23.11	23.34	23.84	24.25	24.83	25.40	25.96	26.64	27.53	28.41	30.03	38.24
	0.0360	0.0363	0.1076	0.1254	0.1249	0.1366	0.1673	0.2152	0.2567	0.3191	0.3963	0.4952	0.6832	2.2142
0.125	17.96	18.51	20.67	20.92	21.28	21.52	21.90	22.55	23.06	23.82	24.73	25.41	26.26	34.69
	0.0132	0.0126	0.0316	0.0289	0.0262	0.0326	0.0355	0.0515	0.0616	0.0863	0.1315	0.1808	0.2253	0.9420
I ve S, $\epsilon=0.05$, $A=2.09$, $Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	8.69	34.21	15.41	21.93	18.81	17.84	19.16	9.98	16.98	18.04	18.94	19.52	19.95	20.57
	0.0545	0.9061	0.0147	0.0175	0.0174	0.0171	0.0767	0.0675	0.0443	0.0714	0.1195	0.1028	0.1045	0.1523
0.500	8.70	34.57	16.06	21.98	20.55	18.15	19.59	5.10	11.66	12.76	14.00	15.03	15.85	16.53
	0.0499	1.0184	0.0127	0.0177	0.0178	0.0166	0.0735	0.0429	0.0498	0.0904	0.1049	0.0962	0.0757	0.0583
0.125	8.51	35.06	15.10	21.80	19.00	17.52	18.59	10.46	12.13	12.39	12.35	12.60	12.81	13.04
	0.0507	1.0810	0.0145	0.0228	0.0172	0.0181	0.0796	0.0262	0.0177	0.0152	0.0189	0.0212	0.0212	0.0241
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	20.98	21.11	21.31	21.23	21.65	22.22	22.52	22.46	22.52	22.54	22.55	22.73	22.93	20.98
	0.0982	0.1057	0.1305	0.0900	0.0658	0.0807	0.0620	0.0399	0.0406	0.0439	0.0435	0.0363	0.0491	0.0982
0.500	17.00	17.35	17.64	17.95	17.84	18.32	18.69	18.98	19.20	19.37	19.45	19.60	19.84	20.01
	0.0354	0.0367	0.0446	0.0517	0.0411	0.0304	0.0288	0.0323	0.0292	0.0307	0.0307	0.0311	0.0330	0.0344
0.125	13.42	13.79	14.00	14.28	14.24	14.72	15.07	15.20	15.43	15.67	15.81	16.04	16.35	16.51
	0.0206	0.0235	0.0232	0.0350	0.0315	0.0284	0.0202	0.0199	0.0184	0.0175	0.0204	0.0187	0.0207	0.0194

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

I ve S, $\varepsilon=0.05$, $A=2.09$, $Z=0.500$ (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	23.05	23.43	23.94	24.47	24.71	24.86	25.06	25.42	25.78	26.58	27.00	27.32	27.94	33.82
	0.0377	0.0323	0.0917	0.1298	0.1239	0.1159	0.1057	0.0936	0.0876	0.1083	0.0897	0.0672	0.0779	0.2516
0.500	20.31	20.92	21.17	21.56	21.87	22.11	22.45	23.00	23.75	24.99	25.61	26.16	27.13	35.31
	0.0301	0.0351	0.0493	0.0586	0.0642	0.0662	0.0766	0.1051	0.1410	0.2500	0.3071	0.3872	0.5094	1.6969
0.125	16.88	17.57	17.90	18.20	18.46	18.59	18.86	19.28	19.54	19.87	20.78	21.42	22.22	33.06
	0.0198	0.0157	0.0210	0.0267	0.0248	0.0277	0.0300	0.0395	0.0388	0.0547	0.0784	0.0933	0.1231	0.7100
I ve S, $\varepsilon=0.05$, $A=3$, $Z=0.500$														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	7.92	35.12	15.86	21.54	17.54	17.08	18.24	9.30	15.29	17.39	18.28	18.94	19.38	19.94
	0.0375	0.9344	0.0349	0.0262	0.0236	0.0324	0.2984	0.0380	0.0303	0.0547	0.0514	0.0317	0.0300	0.0485
0.500	8.03	35.44	15.74	21.62	17.59	17.09	19.42	4.91	10.92	11.96	13.35	14.27	14.89	15.64
	0.0268	0.9726	0.0200	0.0256	0.0237	0.0201	0.2289	0.0232	0.0250	0.0310	0.0526	0.0594	0.0732	0.1050
0.125	8.26	35.52	15.24	21.80	17.68	17.30	19.48	10.67	12.81	13.12	13.28	13.66	13.90	14.08
	0.0297	1.0257	0.0210	0.0221	0.0224	0.0189	0.1007	0.0266	0.0196	0.0214	0.0283	0.0260	0.0242	0.0303
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	20.40	20.79	21.27	21.69	21.43	21.78	22.25	22.97	23.07	23.17	23.22	23.29	23.57	23.67
	0.0374	0.0490	0.0561	0.0627	0.0352	0.0316	0.0407	0.0495	0.0393	0.0365	0.0387	0.0403	0.0496	0.0500
0.500	16.16	16.63	16.96	17.17	16.98	17.34	17.71	18.20	18.52	18.82	19.05	19.28	19.62	19.90
	0.1047	0.1343	0.1379	0.1254	0.0679	0.0709	0.0903	0.1093	0.1026	0.0924	0.0687	0.0557	0.0572	0.0646
0.125	14.38	14.63	14.88	15.11	15.18	15.45	15.67	15.95	16.14	16.25	16.44	16.72	16.96	17.13
	0.0257	0.0249	0.0283	0.0329	0.0192	0.0197	0.0215	0.0213	0.0143	0.0183	0.0178	0.0152	0.0193	0.0169
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	23.93	24.24	24.49	24.81	24.98	25.24	25.48	25.90	26.27	27.12	27.47	27.91	28.90	33.77
	0.0439	0.0451	0.0528	0.1042	0.1026	0.1189	0.1139	0.0888	0.0821	0.0941	0.0854	0.0845	0.1035	0.2206
0.500	20.56	21.20	21.70	21.99	22.38	22.65	23.04	23.75	24.30	25.24	26.05	27.24	29.38	36.84
	0.0579	0.0685	0.0761	0.0680	0.0690	0.0703	0.0833	0.1199	0.1558	0.2265	0.3078	0.4438	0.7018	1.8798
0.125	17.65	18.11	18.88	19.27	19.69	19.95	20.51	21.15	21.46	22.21	23.12	23.77	25.43	33.61
	0.0262	0.0391	0.0434	0.0444	0.0470	0.0479	0.0565	0.0706	0.0747	0.0947	0.1290	0.1491	0.2386	0.8046

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

I ve S, $\epsilon=0.05$, A=4, Z=0.500														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	8.75	35.41	17.67	21.90	18.63	17.38	20.54	10.38	17.93	18.79	19.82	20.67	20.95	21.51
	0.0337	1.0643	0.0244	0.0337	0.0293	0.0277	0.2186	0.0343	0.0449	0.0891	0.1511	0.1428	0.1038	0.1369
0.500	9.15	34.29	17.33	22.50	18.75	17.18	20.54	5.05	12.09	12.98	14.05	14.94	15.70	16.45
	0.0232	0.8183	0.0128	0.0166	0.0193	0.0170	0.1232	0.0156	0.0350	0.0618	0.0851	0.0847	0.0718	0.0655
0.125	9.16	34.55	15.68	22.24	18.12	17.02	19.97	11.19	13.62	13.81	13.92	14.24	14.40	14.58
	0.0280	0.8749	0.0186	0.0269	0.0241	0.0257	0.1885	0.0224	0.0188	0.0193	0.0357	0.0570	0.0662	0.0981
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	21.75	22.03	22.37	22.63	22.32	22.52	22.54	23.02	23.16	23.50	23.65	23.86	24.27	24.47
	0.1036	0.1036	0.0909	0.0755	0.0503	0.0503	0.0429	0.0984	0.1156	0.1038	0.0826	0.0683	0.0863	0.0915
0.500	16.87	17.27	17.68	17.98	17.72	18.09	18.27	18.80	19.15	19.51	19.74	20.09	20.58	20.99
	0.0453	0.0530	0.0554	0.0552	0.0361	0.0360	0.0322	0.0356	0.0347	0.0377	0.0398	0.0351	0.0384	0.0361
0.125	14.81	14.99	15.16	15.27	15.32	15.53	15.64	15.87	16.05	16.21	16.32	16.46	16.62	16.77
	0.0918	0.0987	0.0907	0.0746	0.0376	0.0358	0.0233	0.0245	0.0193	0.0198	0.0228	0.0262	0.0346	0.0405
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	24.62	24.87	25.01	25.22	25.31	25.50	25.59	25.90	26.33	26.94	27.44	28.02	28.53	33.89
	0.0549	0.0698	0.0946	0.1589	0.1235	0.1176	0.0806	0.0603	0.0470	0.0779	0.0557	0.0584	0.0697	0.2324
0.500	21.79	22.32	22.67	22.92	23.31	23.69	24.05	24.69	25.67	27.10	27.95	28.70	30.55	37.27
	0.0433	0.0572	0.0734	0.0906	0.1041	0.1182	0.1211	0.1527	0.2067	0.3416	0.4010	0.4644	0.6904	1.7529
0.125	17.08	17.34	17.47	17.64	17.74	17.87	18.03	18.25	18.50	18.81	19.08	19.53	19.68	35.10
	0.0231	0.0236	0.0185	0.0195	0.0221	0.0268	0.0246	0.0300	0.0408	0.0507	0.0537	0.0757	0.0813	0.8788
I ve S, $\epsilon=0.05$, A=5, Z=0.500														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	9.40	34.13	18.27	21.88	19.31	17.00	18.11	10.54	17.97	18.63	19.60	19.98	20.43	21.15
	0.0338	1.3517	0.0203	0.0321	0.0266	0.0202	1.8377	0.0358	0.0461	0.0643	0.0854	0.0620	0.0543	0.0539
0.500	9.97	34.88	18.04	21.97	19.50	17.20	20.76	5.76	11.95	12.51	13.55	14.35	14.97	15.82
	0.0334	0.9160	0.0307	0.0297	0.0360	0.0309	0.1113	0.0339	0.0311	0.0463	0.0806	0.0724	0.0805	0.0995
0.125	9.78	35.22	16.20	22.58	18.75	16.32	17.12	11.77	14.13	14.34	14.40	14.69	14.79	14.86
	0.0393	0.9777	0.0269	0.0265	0.0272	0.0266	0.1927	0.0313	0.0279	0.0284	0.0272	0.0301	0.0312	0.0327
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	21.50	21.99	22.45	22.86	22.45	22.62	22.72	22.88	23.14	23.26	23.32	23.48	23.70	24.02
	0.0439	0.0406	0.0410	0.0402	0.0315	0.0285	0.0255	0.0272	0.0366	0.0381	0.0325	0.0341	0.0350	0.0374
0.500	16.37	16.90	17.37	17.73	17.57	17.96	18.38	18.68	18.98	19.30	19.56	19.89	20.26	20.72
	0.0862	0.0784	0.0811	0.0739	0.0415	0.0332	0.0292	0.0280	0.0281	0.0314	0.0356	0.0372	0.0358	0.0423
0.125	15.18	15.39	15.58	15.89	15.96	16.14	16.26	16.36	16.59	16.74	16.84	16.95	17.04	17.26
	0.0328	0.0319	0.0338	0.0338	0.0272	0.0273	0.0281	0.0265	0.0237	0.0261	0.0273	0.0283	0.0250	0.0252

Çizelge D.2 (devam) : Kavite sıcaklığı.

I ve S, $\varepsilon=0.05$, A=5, Z=0.500 (devam)														
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	24.20	24.44	24.61	24.98	25.19	25.45	25.58	25.93	26.41	26.69	26.88	27.14	27.74	33.70
	0.0396	0.0441	0.0487	0.0730	0.0783	0.0776	0.0701	0.0608	0.0720	0.0651	0.0648	0.0701	0.0825	0.2351
0.500	21.08	21.52	21.74	22.11	22.35	22.78	23.21	24.02	24.59	25.35	26.22	27.13	28.37	37.32
	0.0490	0.0544	0.0550	0.0628	0.0796	0.0981	0.1147	0.1634	0.1951	0.2580	0.3157	0.3970	0.5153	1.8233
0.125	17.43	17.51	17.62	17.81	17.87	17.96	18.06	18.19	18.30	18.47	18.63	18.73	18.89	35.29
	0.0289	0.0275	0.0247	0.0256	0.0286	0.0266	0.0257	0.0303	0.0293	0.0346	0.0363	0.0408	0.0411	0.9256
I ve S, $\varepsilon=0.05$, A=6, Z=0.500														
Y	S01	S02	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12
0.875	10.24	34.32	18.39	21.77	20.36	16.05	21.28	10.68	18.57	19.19	20.58	21.08	21.53	22.34
	0.0409	0.9020	0.0450	0.0329	0.0428	0.0359	0.1234	0.0423	0.0416	0.0428	0.0909	0.0885	0.0886	0.1173
0.500	10.15	35.29	18.35	22.11	20.09	16.68	22.07	5.86	13.59	14.23	15.27	15.91	16.46	17.07
	0.0277	0.8989	0.0236	0.0243	0.0288	0.0164	0.1384	0.0266	0.0310	0.0470	0.0621	0.0484	0.0453	0.0560
0.125	10.12	34.61	18.61	22.63	20.27	16.52	21.07	12.08	15.02	15.18	15.40	15.69	15.90	16.07
	0.0414	0.9513	0.0894	0.0833	0.0945	0.0894	0.1511	0.0748	0.0803	0.0778	0.0791	0.0787	0.0776	0.0704
Y	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	M01	M02	M03	M04	M05	M06
0.875	22.49	22.89	23.25	23.63	23.17	23.37	23.48	23.67	23.89	24.04	24.04	24.27	24.49	24.63
	0.0931	0.0969	0.1046	0.1147	0.0624	0.0585	0.0543	0.0753	0.0810	0.0806	0.0564	0.0763	0.0866	0.0878
0.500	17.59	18.10	18.46	18.89	19.07	19.52	19.83	19.87	20.26	20.54	20.81	21.06	21.35	21.59
	0.0469	0.0501	0.0424	0.0342	0.0241	0.0277	0.0257	0.0255	0.0243	0.0296	0.0340	0.0348	0.0347	0.0389
0.125	16.30	16.51	16.76	16.99	17.07	17.26	17.40	17.38	17.67	17.84	18.01	18.12	18.22	18.34
	0.0729	0.0728	0.0718	0.0665	0.0771	0.0758	0.0734	0.0722	0.0971	0.0955	0.0960	0.0878	0.0906	0.0890
Y	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
0.875	24.59	24.91	25.03	25.34	25.64	25.83	25.91	26.14	26.45	27.00	27.24	27.53	27.91	33.45
	0.0794	0.1365	0.1446	0.1418	0.1470	0.1213	0.0910	0.0730	0.0622	0.0953	0.0632	0.0565	0.0665	0.2187
0.500	21.61	21.78	22.01	22.43	22.76	23.15	23.44	24.00	24.68	25.42	26.18	27.26	28.12	37.25
	0.0352	0.0413	0.0440	0.0456	0.0530	0.0631	0.0705	0.0934	0.1262	0.1648	0.2229	0.3274	0.4227	1.6365
0.125	18.31	18.49	18.65	19.04	19.36	19.64	19.97	20.46	20.80	21.27	21.80	22.31	22.84	35.17
	0.0843	0.0882	0.0863	0.0849	0.0674	0.0688	0.0661	0.0584	0.0625	0.0647	0.0663	0.0717	0.0903	1.0335

EK E : Deney Hesaplama Büyüklüklerinin Değerleri

Çizelge E.1 : Deney hesaplama büyüklükleri.

ε	A	Y	Z	Q_1 (W)	Q_2 (W)	E_{eb} (%)	ΔT (°C)	h (W/m ² K)	Ra_L	Nu_L	ΔT_y (°C)	h_y (W/m ² K)	Ra_{yL}	Nu_{yL}
0.90	2.09	0.875	0.875	3.316	2.715	18.11	7.29	6.38	4.11E+06	42.18	7.78	5.97	4.28E+06	39.29
0.90	2.09	0.721	0.875	3.555	3.007	15.41	7.50	6.64	4.22E+06	43.91	7.67	6.49	4.27E+06	42.82
0.90	2.09	0.500	0.875	3.595	3.023	15.90	7.77	6.48	4.37E+06	42.85	6.80	7.41	3.85E+06	49.07
0.90	2.09	0.125	0.875	3.221	2.761	14.25	6.25	7.23	3.56E+06	47.91	4.00	11.28	2.22E+06	74.43
0.90	2.09	0.279	0.875	3.310	2.788	15.78	6.81	6.81	3.85E+06	45.03	5.45	8.51	3.03E+06	56.17
0.90	2.09	0.875	0.660	3.568	3.066	14.06	7.02	7.12	3.96E+06	47.07	7.70	6.49	4.24E+06	42.74
0.90	2.09	0.721	0.660	3.558	3.090	13.14	6.93	7.19	3.91E+06	47.60	9.49	5.25	5.35E+06	34.72
0.90	2.09	0.500	0.660	3.314	2.790	15.80	7.01	6.62	3.96E+06	43.82	7.43	6.25	4.19E+06	41.33
0.90	2.09	0.279	0.660	3.124	2.665	14.71	6.13	7.14	3.48E+06	47.32	5.26	8.32	2.95E+06	54.99
0.90	2.09	0.125	0.660	3.287	2.777	15.49	6.74	6.83	3.81E+06	45.25	3.87	11.88	2.16E+06	78.44
0.90	2.09	0.875	0.340	3.617	3.164	12.51	6.78	7.48	3.84E+06	49.56	7.76	6.53	4.31E+06	43.04
0.90	2.09	0.721	0.340	3.534	3.077	12.93	6.91	7.17	3.91E+06	47.44	10.08	4.91	5.73E+06	32.54
0.90	2.09	0.500	0.340	3.621	3.121	13.81	7.27	6.98	4.09E+06	46.14	7.19	7.05	4.03E+06	46.60
0.90	2.09	0.279	0.340	3.386	3.031	10.47	5.97	7.95	3.40E+06	52.66	5.04	9.41	2.84E+06	62.25
0.90	2.09	0.125	0.340	3.357	2.853	15.02	6.87	6.85	3.89E+06	45.34	3.40	13.83	1.91E+06	91.43
0.90	2.09	0.875	0.125	3.345	2.836	15.21	6.80	6.89	3.85E+06	45.64	6.59	7.11	3.64E+06	46.85
0.90	2.09	0.721	0.125	3.412	2.982	12.60	6.31	7.58	3.58E+06	50.19	7.07	6.76	3.95E+06	44.66
0.90	2.09	0.500	0.125	3.346	2.745	17.96	7.22	6.49	4.06E+06	42.93	6.33	7.40	3.54E+06	48.90
0.90	2.09	0.279	0.125	3.442	3.024	12.12	6.29	7.66	3.57E+06	50.76	5.00	9.64	2.79E+06	63.62
0.90	2.09	0.125	0.125	3.500	3.153	9.88	5.89	8.33	3.37E+06	55.26	3.27	14.99	1.83E+06	99.04

Çizelge E.1 (devam) : Deney hesaplama büyüklükleri.

ε	A	Y	Z	Q_1 (W)	Q_2 (W)	E_{ch} (%)	ΔT (°C)	h (W/m ² K)	Ra_L	Nu_L	ΔT_y (°C)	h_y (W/m ² K)	Ra_{yL}	Nu_{yL}
0.90	1	0.971	0.500	3.223	3.464	7.48	7.22	6.26	3.67E+07	86.24	8.23	5.48	4.00E+07	74.89
0.90	1	0.875	0.500	3.171	3.362	6.02	8.34	5.33	4.18E+07	73.23	8.84	5.02	4.38E+07	68.89
0.90	1	0.721	0.500	3.209	3.409	6.22	8.45	5.32	4.24E+07	73.06	11.81	3.81	5.98E+07	52.41
0.90	1	0.500	0.500	3.179	3.438	8.14	7.36	6.05	3.72E+07	83.28	12.48	3.57	6.39E+07	49.22
0.90	1	0.279	0.500	3.298	3.611	9.51	7.10	6.51	3.61E+07	89.65	6.71	6.89	3.31E+07	94.36
0.90	1	0.125	0.500	3.179	3.359	5.64	8.37	5.32	4.20E+07	73.10	5.56	8.01	2.76E+07	109.83
0.90	1	0.029	0.500	3.201	3.447	7.68	7.34	6.11	3.71E+07	84.06	5.67	7.91	2.76E+07	108.10
0.90	2.09	0.971	0.500	3.431	2.934	14.49	6.91	6.96	3.91E+06	46.04	7.16	6.71	3.94E+06	44.15
0.90	2.09	0.875	0.500	3.166	2.582	18.44	6.90	6.43	3.91E+06	42.58	7.38	6.01	4.11E+06	39.68
0.90	2.09	0.721	0.500	3.480	2.972	14.58	7.05	6.92	3.98E+06	45.75	10.04	4.86	5.65E+06	32.11
0.90	2.09	0.500	0.500	3.590	3.043	15.25	7.42	6.78	4.16E+06	44.77	10.46	4.81	5.99E+06	31.89
0.90	2.09	0.279	0.500	3.439	2.996	12.89	6.50	7.41	3.69E+06	49.11	5.72	8.43	3.21E+06	55.69
0.90	2.09	0.125	0.500	3.601	3.132	13.02	7.09	7.12	4.00E+06	47.09	4.13	12.22	2.30E+06	80.64
0.90	2.09	0.029	0.500	3.438	3.049	11.30	6.47	7.44	3.68E+06	49.29	4.11	11.72	2.29E+06	77.33
0.90	3	0.971	0.500	3.499	3.624	3.58	6.47	7.58	1.24E+06	34.88	6.76	7.25	1.26E+06	33.21
0.90	3	0.875	0.500	3.501	3.615	3.25	6.54	7.49	1.25E+06	34.49	7.00	7.01	1.33E+06	32.18
0.90	3	0.721	0.500	3.458	3.591	3.85	6.40	7.57	1.23E+06	34.82	10.14	4.78	1.96E+06	22.05
0.90	3	0.500	0.500	3.510	3.740	6.55	5.92	8.31	1.14E+06	38.29	10.06	4.89	1.97E+06	22.60
0.90	3	0.279	0.500	3.494	3.807	8.96	5.43	9.01	1.05E+06	41.55	4.79	10.22	9.13E+05	47.01
0.90	3	0.125	0.500	3.486	3.829	9.82	5.23	9.33	1.01E+06	43.06	3.74	13.05	7.09E+05	59.95
0.90	3	0.029	0.500	3.411	3.672	7.62	5.56	8.59	1.07E+06	39.61	3.79	12.61	7.12E+05	57.85

Çizelge E.1 (devam) : Deney hesaplama büyüklükleri.

ε	A	Y	Z	Q_1 (W)	Q_2 (W)	E_{cb} (%)	ΔT (°C)	h (W/m ² K)	Ra_L	Nu_L	ΔT_y (°C)	h_y (W/m ² K)	Ra_{yL}	Nu_{yL}
0.90	4	0.971	0.500	3.625	3.454	4.72	6.01	8.44	4.98E+05	29.33	6.30	8.06	5.08E+05	27.83
0.90	4	0.875	0.500	3.607	3.434	4.79	6.05	8.35	5.01E+05	29.01	6.44	7.84	5.26E+05	27.16
0.90	4	0.721	0.500	3.593	3.564	0.80	4.98	10.11	4.17E+05	35.19	9.92	5.07	8.30E+05	17.65
0.90	4	0.500	0.500	3.595	3.419	4.91	6.11	8.24	5.05E+05	28.62	9.61	5.24	8.13E+05	18.28
0.90	4	0.279	0.500	3.589	3.551	1.05	5.03	9.99	4.20E+05	34.76	4.52	11.13	3.72E+05	38.59
0.90	4	0.125	0.500	3.619	3.619	0.00	4.76	10.65	3.99E+05	37.09	3.28	15.47	2.68E+05	53.64
0.90	4	0.029	0.500	3.619	3.456	4.50	5.96	8.51	4.94E+05	29.55	3.26	15.54	2.65E+05	53.81
0.90	5	0.971	0.500	3.690	4.092	10.89	4.85	10.65	2.09E+05	29.69	5.84	8.84	2.44E+05	24.49
0.90	5	0.875	0.500	3.581	3.940	10.01	5.06	9.91	2.18E+05	27.63	6.16	8.14	2.61E+05	22.60
0.90	5	0.721	0.500	3.715	4.017	8.14	5.63	9.25	2.42E+05	25.76	9.09	5.72	3.97E+05	15.99
0.90	5	0.500	0.500	3.667	4.045	10.30	5.04	10.19	2.17E+05	28.40	8.99	5.72	3.94E+05	15.99
0.90	5	0.279	0.500	3.714	4.167	12.18	4.50	11.56	1.95E+05	32.25	4.08	12.75	1.74E+05	35.48
0.90	5	0.125	0.500	3.708	4.100	10.58	4.93	10.54	2.12E+05	29.37	2.95	17.61	1.25E+05	48.91
0.90	5	0.029	0.500	3.740	4.129	10.41	4.91	10.68	2.12E+05	29.77	3.35	15.62	1.41E+05	43.36
0.90	6	0.971	0.500	3.788	4.196	10.77	5.61	9.46	1.43E+05	22.12	6.02	8.81	1.49E+05	20.48
0.90	6	0.875	0.500	3.779	4.159	10.04	5.86	9.03	1.49E+05	21.09	5.85	9.05	1.46E+05	21.10
0.90	6	0.721	0.500	3.775	4.169	10.43	5.74	9.22	1.46E+05	21.54	8.71	6.07	2.23E+05	14.22
0.90	6	0.500	0.500	3.841	4.329	12.69	5.04	10.67	1.29E+05	24.96	8.67	6.21	2.24E+05	14.56
0.90	6	0.279	0.500	3.723	4.115	10.54	5.79	9.02	1.47E+05	21.07	4.22	12.34	1.06E+05	28.79
0.90	6	0.125	0.500	3.779	4.214	11.50	5.52	9.60	1.41E+05	22.44	2.81	18.87	7.05E+04	43.99
0.90	6	0.029	0.500	3.754	4.171	11.10	5.54	9.49	1.41E+05	22.16	3.04	17.28	7.58E+04	40.22

Çizelge E.1 (devam) : Deney hesaplama büyüklükleri.

ε	A	Y	Z	Q_1 (W)	Q_2 (W)	E_{ch} (%)	ΔT (°C)	h (W/m²K)	Ra_L	Nu_L	ΔT_y (°C)	h_y (W/m²K)	Ra_{yL}	Nu_{yL}
0.05	1	0.875	0.500	3.148	2.691	14.51	10.32	4.27	5.06E+07	58.43	10.01	4.40	4.83E+07	60.07
0.05	1	0.500	0.500	3.171	2.750	13.27	10.29	4.32	5.05E+07	59.06	13.40	3.31	6.73E+07	45.57
0.05	1	0.125	0.500	3.162	2.721	13.97	10.28	4.31	5.04E+07	58.97	7.21	6.14	3.50E+07	83.85
0.05	2.09	0.875	0.500	3.287	3.174	3.43	10.13	4.55	5.51E+06	29.87	10.53	4.37	5.69E+06	28.67
0.05	2.09	0.500	0.500	3.257	3.242	0.43	9.51	4.80	5.19E+06	31.54	12.76	3.58	7.16E+06	23.63
0.05	2.09	0.125	0.500	3.286	3.152	4.06	10.04	4.58	5.47E+06	30.11	6.72	6.85	3.66E+06	44.98
0.05	3	0.875	0.500	3.347	2.892	13.58	9.33	5.02	1.72E+06	22.97	9.69	4.83	1.76E+06	22.03
0.05	3	0.500	0.500	3.357	2.902	13.54	9.37	5.02	1.73E+06	22.95	12.98	3.62	2.46E+06	16.63
0.05	3	0.125	0.500	3.332	2.855	14.32	9.39	4.97	1.74E+06	22.71	6.21	7.52	1.14E+06	34.32
0.05	4	0.875	0.500	3.397	2.741	19.30	9.33	5.10	7.38E+05	17.56	9.55	4.98	7.42E+05	17.08
0.05	4	0.500	0.500	3.320	2.661	19.84	9.26	5.02	7.29E+05	17.28	12.19	3.81	9.77E+05	13.16
0.05	4	0.125	0.500	3.452	2.786	19.29	9.46	5.11	7.48E+05	17.59	6.13	7.89	4.82E+05	27.12
0.05	5	0.875	0.500	3.478	2.946	15.29	9.51	5.12	3.89E+05	14.13	9.72	5.01	3.91E+05	13.78
0.05	5	0.500	0.500	3.423	2.936	14.23	9.22	5.20	3.77E+05	14.35	12.66	3.79	5.30E+05	10.50
0.05	5	0.125	0.500	3.409	2.963	13.08	9.04	5.28	3.70E+05	14.58	5.43	8.79	2.21E+05	24.23
0.05	6	0.875	0.500	3.599	3.213	10.72	9.06	5.56	2.19E+05	12.88	9.19	5.49	2.19E+05	12.66
0.05	6	0.500	0.500	3.508	3.149	10.25	8.90	5.52	2.16E+05	12.78	12.58	3.90	3.14E+05	9.09
0.05	6	0.125	0.500	3.460	3.086	10.81	8.97	5.40	2.17E+05	12.50	5.37	9.03	1.29E+05	20.88

Çizelge E.1 (devam) : Deney hesaplama büyüklükleri.

I ve S, ε	A	Y	Z	Q ₁ (W)	Q ₂ (W)	E _{cb} (%)	ΔT (°C)	h (W/m ² K)	Ra _L	Nu _L	ΔT_y (°C)	h _y (W/m ² K)	Ra _{yL}	Nu _{yL}
0.05	1	0.875	0.500	2.784	2.894	6.50	28.36	1.20	1.132E+08	15.794	25.34	1.34	1.023E+08	17.684
0.05	1	0.500	0.500	2.659	2.898	9.04	28.04	1.20	1.123E+08	15.790	34.24	0.98	1.384E+08	12.991
0.05	1	0.125	0.500	2.869	2.622	9.40	27.72	1.32	1.133E+08	17.415	24.92	1.47	9.906E+07	19.264
0.05	2.09	0.875	0.500	2.583	2.448	6.96	25.52	1.23	1.132E+07	7.788	23.84	1.32	1.050E+07	8.317
0.05	2.09	0.500	0.500	2.473	2.517	7.07	25.87	1.21	1.143E+07	7.666	30.21	1.04	1.366E+07	6.603
0.05	2.09	0.125	0.500	2.644	2.587	7.15	26.55	1.21	1.171E+07	7.628	22.59	1.42	9.969E+06	8.959
0.05	3	0.875	0.500	2.662	2.773	6.38	27.20	1.24	4.014E+06	5.408	24.48	1.37	3.612E+06	6.003
0.05	3	0.500	0.500	2.601	2.871	9.78	27.41	1.20	4.031E+06	5.252	31.93	1.03	4.758E+06	4.531
0.05	3	0.125	0.500	2.631	2.829	8.40	27.26	1.21	3.999E+06	5.304	22.95	1.44	3.353E+06	6.296
0.05	4	0.875	0.500	2.394	2.651	10.36	26.66	1.18	1.659E+06	3.863	23.51	1.33	1.463E+06	4.371
0.05	4	0.500	0.500	2.347	2.438	6.29	25.14	1.21	1.574E+06	3.994	32.22	0.95	2.034E+06	3.127
0.05	4	0.125	0.500	2.454	2.420	6.09	25.38	1.23	1.586E+06	4.054	23.91	1.31	1.463E+06	4.288
0.05	5	0.875	0.500	2.378	2.298	9.12	24.73	1.26	7.919E+05	3.326	23.16	1.35	7.380E+05	3.537
0.05	5	0.500	0.500	2.294	2.414	7.24	24.90	1.21	7.894E+05	3.166	31.56	0.95	1.014E+06	2.511
0.05	5	0.125	0.500	2.501	2.377	7.52	25.44	1.25	8.054E+05	3.296	23.52	1.36	7.328E+05	3.553
0.05	6	0.875	0.500	2.131	2.394	11.38	24.07	1.17	4.505E+05	2.581	22.77	1.24	4.277E+05	2.726
0.05	6	0.500	0.500	2.251	2.481	9.72	25.14	1.18	4.671E+05	2.598	31.39	0.95	5.939E+05	2.091
0.05	6	0.125	0.500	2.179	2.427	10.76	24.48	1.18	4.575E+05	2.600	23.09	1.25	4.230E+05	2.748



EK F : Ortalama ve Yerel Isı Geçişi Büyüklükleri için Örnek Hesaplama

“I ve S, $\varepsilon=0.05$, $A=1$, $Y=0.875$ ” deneyinin, ortalama değerin hesaplanmasında dikkate alınan son 45 dakikalık bölümünün 36. dakikasına ait ölçüm verileri dikkate alınmak suretiyle, Bölüm 5.3, Bölüm 5.4 ve Bölüm 6.5’de denklem (5.10) ile denklem (5.15), denklem (5.19) ile denklem (5.23) ve denklem (6.12) ile denklem (6.14) arasındaki denklemler kullanılarak ortalama ve yerel ısı geçişi büyüklükleri hesaplanmış ve sonuçlar aşağıda denklem (F.1) ile (F.19) arasında sunulmuştur.

Kavitenin soğuk, sıcak, üst, alt, ön ve arka duvarlarından olan ısı geçişi

$$Q_c = \frac{(T_a - T_c)}{R_c} = \frac{21.03 - 7.76}{5.47225} = 2.425 \text{ W} \quad (\text{F.1})$$

$$Q_h = \frac{(T_a - T_h)}{R_h} = \frac{21.03 - 34.47}{5.47225} = -2.456 \text{ W} \quad (\text{F.2})$$

$$Q_t = \frac{(T_a - T_t)}{R_t} = \frac{21.03 - 24.19}{22.29865} = -0.142 \text{ W} \quad (\text{F.3})$$

$$Q_b = \frac{(T_a - T_b)}{R_b} = \frac{21.03 - 16.38}{27.44836} = 0.169 \text{ W} \quad (\text{F.4})$$

$$Q_{fr} = \frac{(T_a - T_{fr})}{R_{fr}} = \frac{21.03 - 19.52}{15.03649} = 0.100 \text{ W} \quad (\text{F.5})$$

$$Q_{ba} = \frac{(T_a - T_{ba})}{R_{ba}} = \frac{21.03 - 19.84}{15.0378} = 0.079 \text{ W} \quad (\text{F.6})$$

Ortamdan kavitenin soğuk, alt, ön ve arka duvarlarına geçen toplam ısı miktarı (Q_1)

$$Q_1 = Q_c + Q_b + Q_{fr} + Q_{ba} = 2.773 \text{ W} \quad (\text{F.7})$$

Kavitenin sıcak ve üst duvarlarından ortama geçen toplam ısı miktarı (Q_2)

$$Q_2 = Q_h + Q_t = -2.598 \text{ W} \quad (\text{F.8})$$

Enerji dengesi hatası (E_{eb})

$$E_{eb} = 100 \frac{(Q_1 - Q_2)}{0.5 (Q_1 + Q_2)} = 100 \frac{(2.773 - 2.598)}{0.5 (2.773 + 2.598)} = \% 6.52 \quad (\text{F.9})$$

Kavite ortalama sıcaklık farkı (ΔT)

$$\Delta T = T_h - T_c = 34.47 - 7.76 = 26.71 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{F.10})$$

Kavite film sıcaklığı (T_m)

$$T_m = \frac{T_h + T_c}{2} = \frac{34.47 + 7.76}{2} = 21.12 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{F.11})$$

Kavite ortalama ısı geçiş katsayısı (h)

$$h = \frac{Q_c}{\Delta T HD} = \frac{2.425}{26.71 \times 0.340 \times 0.210} = 1.27 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{F.12})$$

Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Rayleigh sayısı (Ra_L)

$$Ra_L = \frac{g \beta_f \Delta T L^3}{\nu_f \alpha_f} = \frac{9.81 \times 3.398 \times 10^{-3} \times 26.71 \times 0.340^3}{1.516 \times 10^{-5} \times 2.136 \times 10^{-5}} = 1.081 \times 10^8 \quad (\text{F.13})$$

Kavite genişliğine göre tanımlanmış ortalama Nusselt sayısı (Nu_L)

$$Nu_L = \frac{hL}{k_f} = \frac{1.27 \times 0.340}{0.0258} = 16.736 \quad (\text{F.14})$$

Kavite yerel sıcaklık farkı (ΔT_y)

$$\Delta T_y = T_{hy} - T_{cy} = 33.88 - 8.56 = 25.32 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{F.15})$$

Kavite yerel film sıcaklığında (T_{my})

$$T_{my} = \frac{T_{hy} + T_{cy}}{2} = \frac{33.88 + 8.56}{2} = 21.22 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{F.16})$$

Kavite yerel ısı geçiş katsayısı (h_y)

$$h_y = \frac{Q_c}{\Delta T_y HD} = \frac{2.425}{25.32 \times 0.340 \times 0.210} = 1.34 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{F.17})$$

Kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Rayleigh sayısı (Ra_{yL})

$$Ra_{yL} = \frac{g \beta_{fy} \Delta T_y L^3}{\nu_{fy} \alpha_{fy}} = \frac{9.81 \times 3.397 \times 10^{-3} \times 25.32 \times 0.340^3}{1.517 \times 10^{-5} \times 2.138 \times 10^{-5}} = 1.023 \times 10^8 \quad (\text{F.18})$$

Kavite genişliğine göre tanımlanmış yerel Nusselt sayısı (Nu_{yL})

$$Nu_{yL} = \frac{h_y L}{k_{fy}} = \frac{1.34 \times 0.340}{0.0258} = 17.659 \quad (\text{F.19})$$

EK G : Ölçüm Belirsizliği Analizinin Sonuçları

Çizelge G.1 : Birinci ve ikinci deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.

ε	A	Y	Z	wT_{hy} (°C)	wT_{cy} (°C)	$w\Delta T_y$ (°C)	wh_y (W/m ² K)	wNu_{yL}	wNu_{yL}/Nu_{yL} %
0.90	2.09	0.875	0.875	0.0460	0.0687	0.0826	0.07	0.46	1.17
0.90	2.09	0.721	0.875	0.0217	0.0383	0.0440	0.04	0.27	0.63
0.90	2.09	0.500	0.875	0.0123	0.0439	0.0456	0.05	0.36	0.73
0.90	2.09	0.125	0.875	0.0214	0.0365	0.0424	0.07	0.47	0.83
0.90	2.09	0.279	0.875	0.0487	0.0860	0.0988	0.29	1.89	2.54
0.90	2.09	0.875	0.660	0.0192	0.0435	0.0475	0.04	0.29	0.68
0.90	2.09	0.721	0.660	0.0086	0.0281	0.0294	0.02	0.12	0.36
0.90	2.09	0.500	0.660	0.0179	0.0451	0.0485	0.05	0.30	0.74
0.90	2.09	0.279	0.660	0.0197	0.0224	0.0298	0.05	0.33	0.60
0.90	2.09	0.125	0.660	0.0161	0.0465	0.0492	0.16	1.04	1.32
0.90	2.09	0.875	0.340	0.0208	0.0778	0.0806	0.07	0.49	1.24
0.90	2.09	0.721	0.340	0.0103	0.0397	0.0410	0.02	0.15	0.47
0.90	2.09	0.500	0.340	0.0406	0.0330	0.0523	0.03	0.18	0.57
0.90	2.09	0.279	0.340	0.0104	0.0257	0.0277	0.04	0.29	0.52
0.90	2.09	0.125	0.340	0.0117	0.0304	0.0326	0.10	0.67	0.83
0.90	2.09	0.875	0.125	0.0305	0.0907	0.0957	0.09	0.59	1.36
0.90	2.09	0.721	0.125	0.0239	0.0551	0.0601	0.03	0.22	0.68
0.90	2.09	0.500	0.125	0.0416	0.0451	0.0613	0.06	0.43	0.92
0.90	2.09	0.279	0.125	0.0353	0.0406	0.0538	0.10	0.69	1.11
0.90	2.09	0.125	0.125	0.0093	0.0238	0.0255	0.11	0.71	0.78

Çizelge G.1 (devam) : Birinci ve ikinci deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.

ε	A	Y	Z	wT_{hy} (°C)	wT_{cy} (°C)	$w\Delta T_y$ (°C)	wh_y (W/m ² K)	wNu_{yL}	wNu_{yL}/Nu_{yL} %
0.90	1	0.971	0.500	0.0082	0.0413	0.0421	0.03	0.45	0.60
0.90	1	0.875	0.500	0.0168	0.0134	0.0215	0.01	0.18	0.27
0.90	1	0.721	0.500	0.0062	0.0098	0.0116	0.01	0.07	0.14
0.90	1	0.500	0.500	0.0066	0.0087	0.0109	0.00	0.06	0.13
0.90	1	0.279	0.500	0.0155	0.0226	0.0274	0.03	0.43	0.45
0.90	1	0.125	0.500	0.0121	0.0122	0.0172	0.03	0.36	0.33
0.90	1	0.029	0.500	0.0060	0.0120	0.0134	0.02	0.27	0.25
0.90	2.09	0.971	0.500	0.0077	0.0263	0.0274	0.03	0.19	0.43
0.90	2.09	0.875	0.500	0.0208	0.0778	0.0806	0.07	0.49	1.24
0.90	2.09	0.721	0.500	0.0103	0.0397	0.0410	0.02	0.15	0.47
0.90	2.09	0.500	0.500	0.0406	0.0330	0.0523	0.03	0.18	0.57
0.90	2.09	0.279	0.500	0.0104	0.0257	0.0277	0.04	0.29	0.52
0.90	2.09	0.125	0.500	0.0117	0.0304	0.0326	0.10	0.67	0.83
0.90	2.09	0.029	0.500	0.0105	0.0129	0.0167	0.05	0.33	0.42
0.90	3	0.971	0.500	0.0077	0.0142	0.0161	0.02	0.09	0.26
0.90	3	0.875	0.500	0.0062	0.0111	0.0127	0.01	0.06	0.20
0.90	3	0.721	0.500	0.0063	0.0068	0.0092	0.01	0.02	0.11
0.90	3	0.500	0.500	0.0096	0.0174	0.0199	0.01	0.05	0.22
0.90	3	0.279	0.500	0.0159	0.0138	0.0210	0.05	0.21	0.45
0.90	3	0.125	0.500	0.0083	0.0142	0.0164	0.06	0.27	0.45
0.90	3	0.029	0.500	0.0171	0.0112	0.0204	0.07	0.32	0.55

Çizelge G.1 (devam) : Birinci ve ikinci deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.

ε	A	Y	Z	wT_{hy} (°C)	wT_{cy} (°C)	$w\Delta T_y$ (°C)	wh_y (W/m ² K)	wNu_{yL}	wNu_{yL}/Nu_{yL} %
0.90	4	0.971	0.500	0.0082	0.0192	0.0209	0.03	0.10	0.36
0.90	4	0.875	0.500	0.0114	0.0201	0.0231	0.03	0.10	0.38
0.90	4	0.721	0.500	0.0163	0.0278	0.0322	0.02	0.06	0.36
0.90	4	0.500	0.500	0.0113	0.0180	0.0213	0.01	0.05	0.25
0.90	4	0.279	0.500	0.0090	0.0169	0.0192	0.05	0.17	0.44
0.90	4	0.125	0.500	0.0104	0.0108	0.0150	0.07	0.25	0.47
0.90	4	0.029	0.500	0.0084	0.0163	0.0184	0.09	0.31	0.58
0.90	5	0.971	0.500	0.0088	0.0062	0.0107	0.02	0.05	0.20
0.90	5	0.875	0.500	0.0309	0.0193	0.0365	0.05	0.14	0.60
0.90	5	0.721	0.500	0.0275	0.0294	0.0403	0.03	0.08	0.47
0.90	5	0.500	0.500	0.0177	0.0244	0.0302	0.02	0.06	0.38
0.90	5	0.279	0.500	0.0072	0.0174	0.0189	0.06	0.17	0.48
0.90	5	0.125	0.500	0.0090	0.0123	0.0153	0.09	0.26	0.52
0.90	5	0.029	0.500	0.0123	0.0189	0.0225	0.11	0.30	0.69
0.90	6	0.971	0.500	0.0075	0.0070	0.0102	0.02	0.04	0.18
0.90	6	0.875	0.500	0.0104	0.0080	0.0131	0.02	0.05	0.23
0.90	6	0.721	0.500	0.0061	0.0074	0.0096	0.01	0.02	0.13
0.90	6	0.500	0.500	0.0130	0.0217	0.0253	0.02	0.05	0.33
0.90	6	0.279	0.500	0.0206	0.0417	0.0466	0.14	0.33	1.14
0.90	6	0.125	0.500	0.0124	0.0148	0.0193	0.13	0.31	0.70
0.90	6	0.029	0.500	0.0160	0.0114	0.0197	0.11	0.26	0.65



Çizelge G.2 : Üçüncü ve dördüncü deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.

ε	A	Y	Z	wT_h (°C)	wT_c (°C)	$w\Delta T$ (°C)	wh (W/m ² K)	wNu_L	wNu_L/Nu_L %
0.05	1	0.875	0.500	0.0141	0.0168	0.0220	0.010	0.142	0.243
0.05	1	0.500	0.500	0.0085	0.0184	0.0203	0.011	0.145	0.246
0.05	1	0.125	0.500	0.0161	0.0173	0.0236	0.011	0.154	0.261
0.05	2.09	0.875	0.500	0.0198	0.0210	0.0288	0.015	0.097	0.324
0.05	2.09	0.500	0.500	0.0433	0.0418	0.0602	0.034	0.224	0.710
0.05	2.09	0.125	0.500	0.0217	0.0385	0.0442	0.023	0.153	0.508
0.05	3	0.875	0.500	0.0147	0.0161	0.0218	0.013	0.059	0.257
0.05	3	0.500	0.500	0.0161	0.0154	0.0223	0.013	0.060	0.260
0.05	3	0.125	0.500	0.0113	0.0181	0.0213	0.013	0.059	0.261
0.05	4	0.875	0.500	0.0166	0.0127	0.0209	0.012	0.042	0.238
0.05	4	0.500	0.500	0.0184	0.0154	0.0240	0.014	0.048	0.278
0.05	4	0.125	0.500	0.0141	0.0141	0.0200	0.013	0.046	0.264
0.05	5	0.875	0.500	0.0161	0.0161	0.0228	0.014	0.038	0.265
0.05	5	0.500	0.500	0.0175	0.0292	0.0340	0.022	0.061	0.423
0.05	5	0.125	0.500	0.0266	0.0633	0.0687	0.046	0.127	0.869
0.05	6	0.875	0.500	0.0259	0.0468	0.0535	0.037	0.085	0.657
0.05	6	0.500	0.500	0.0198	0.0330	0.0385	0.027	0.062	0.487
0.05	6	0.125	0.500	0.0199	0.0335	0.0389	0.026	0.061	0.486

Çizelge G.2 (devam) : Üçüncü ve dördüncü deney paketlerindeki ölçüm belirsizliği.

I ve S, ε	A	Y	Z	wT_h (°C)	wT_c (°C)	$w\Delta T$ (°C)	wh (W/m ² K)	wNu_L	wNu_L/Nu_L %
0.05	1	0.875	0.500	0.3294	0.0113	0.3296	0.014	0.185	1.173
0.05	1	0.500	0.500	0.3359	0.0106	0.3361	0.014	0.190	1.204
0.05	1	0.125	0.500	0.3059	0.0155	0.3063	0.015	0.194	1.114
0.05	2.09	0.875	0.500	0.2691	0.0169	0.2697	0.013	0.084	1.074
0.05	2.09	0.500	0.500	0.3024	0.0156	0.3028	0.014	0.091	1.185
0.05	2.09	0.125	0.500	0.3210	0.0159	0.3214	0.015	0.093	1.222
0.05	3	0.875	0.500	0.2775	0.0122	0.2778	0.013	0.056	1.034
0.05	3	0.500	0.500	0.2888	0.0094	0.2890	0.013	0.056	1.066
0.05	3	0.125	0.500	0.3046	0.0101	0.3048	0.014	0.060	1.129
0.05	4	0.875	0.500	0.3161	0.0112	0.3163	0.014	0.046	1.197
0.05	4	0.500	0.500	0.2430	0.0085	0.2432	0.012	0.039	0.977
0.05	4	0.125	0.500	0.2598	0.0097	0.2600	0.013	0.042	1.036
0.05	5	0.875	0.500	0.4014	0.0112	0.4016	0.021	0.054	1.628
0.05	5	0.500	0.500	0.2721	0.0111	0.2723	0.013	0.035	1.105
0.05	5	0.125	0.500	0.2904	0.0127	0.2906	0.015	0.038	1.156
0.05	6	0.875	0.500	0.2679	0.0131	0.2682	0.013	0.029	1.127
0.05	6	0.500	0.500	0.2670	0.0096	0.2672	0.013	0.028	1.073
0.05	6	0.125	0.500	0.2825	0.0133	0.2828	0.014	0.030	1.166

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hakan KARATAŞ
E-posta: hakankaratas1@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 1993, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans: 1995, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Karatas, H.,** Derbentli, T. (2017). Three-dimensional natural convection and radiation in a rectangular cavity with one active vertical wall, Exp. Thermal Fluid Sci., 88, 277-287.
- Karatas, H.,** Derbentli, T. (2018). Natural convection and radiation in rectangular cavities with one active vertical wall, Int. J. Therm. Sci., 123, 129-139.
- Karatas, H.,** Derbentli, T. (2017). Natural convection in rectangular cavities with one active vertical wall, Int. J. Heat Mass Transfer, 105, 305-315.
- Karatas, H.,** Derbentli, T. (2012). Computational investigation of heat transfer in a cavity, The Sixth International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey: May 29-June 1.

