

**AKIŞKAN ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMLERİNİN
KARIŞIK KONVEKSİYON İLE ISI TRANSFERİNE ETKİLERİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

Orhan ARPA

73596

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

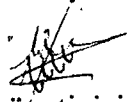
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Ocak 2000

ANKARA

✓

Orhan ARPA tarafından hazırlanan AKIŞKAN ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMLERİNİN KARIŞIK KONVEKSİYON İLE ISI TRANSFERİNE ETKİLERİNİN SAYISAL ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Tez yöneticisi
Prof.Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Bu çalışma, jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

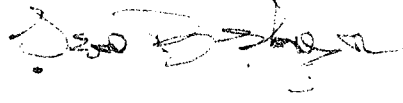
Başkan : Prof. Dr. Nevzat ONUR



Üye : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU



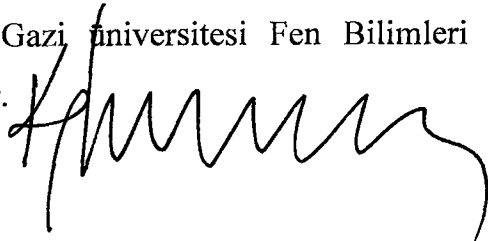
Üye : Doç. Dr. Şenol BAŞKAYA



Üye :

Üye :

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	iv
SEMBOLLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. PROBLEMİN TEORİSİ	23
2.1. Problemin Tanıtımı ve Kullanılan Koordinat Sistemi	23
2.1.1. Varsayımlar	24
2.2. Matematiksel Model	24
2.2.1. Temel denklemler	24
2.2.1.1. Süreklilik denklemi	25
2.2.1.2. Momentum denklemleri	26
2.2.1.3. Enerji denklemi	28
2.2.2. Giriş ve sınır şartları	29
2.2.2.1. Giriş sınır şartı	29
2.2.2.2. Alt levha için sınır şartları	29
2.2.2.3. Üst levha için sınır şartları	29
2.2.2.4. Çıkış sınır şartları	30
2.2.2.5. Yan levhalar için sınır şartları	30
2.2.3. Akışkan özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimleri	30
2.2.3.1. Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimi	30
2.2.3.2. Kinematik viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi	31
2.2.4. Denklemlerin boyutsal analizi	31

2.2.4.1. Boyutsuz süreklilik denklemi.....	32
2.2.4.2. Boyutsuz momentum denklemleri.....	32
2.2.4.3. Boyutsuz enerji denklemi.....	33
3. SAYISAL ÇÖZÜM METODU.....	34
3.1. PHOENICS’ in Genel Tanıtımı.....	34
3.2. PHOENICS İşletim Sistemi.....	34
3.2.1. PHOENICS’ in kullandığı değişkenler.....	35
3.2.1.1. Bağımlı değişkenler.....	35
3.2.1.2. Bağımsız değişkenler.....	36
3.2.2. Denklemlerin cebirsel hale getirilmesi.....	37
3.3. Denklemlerin Çözümü.....	38
3.3.1. Earth ile sonlu hacim denklemlerinin çözümü.....	39
3.3.2. PHOENICS’ in bağımlı değişkenlerinin dağılımının hesaplanması.....	42
3.3.3. Geometrik faktörler.....	45
3.3.4. Grid geometrisinin hesaplanması.....	45
3.3.5. Üç çeşit grid için hız değişkenleri.....	45
3.4. PHOENICS Sınır Şartları ve Diğer Kaynaklar.....	46
3.5. Earth’ ün Değerlendirmesi.....	47
3.5.1. Özel durumlar.....	47
3.5.2. Kütle akış sınır şartları.....	48
3.5.3. ϕ için konvektif ve difüzyon kaynaklar.....	49
3.6. Uygun Grid Sayısının Belirlenmesi.....	49
4. SONUÇLAR.....	50
4.1. Literatürdeki Nümerik ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırma.....	54
4.1.1. Literatürdeki nümerik sonuçlarla karşılaştırma.....	54
4.1.2. Deneysel sonuçlarla karşılaştırma.....	54

4.2.	Akışkan Özellikleri Sabit ve Değişken Alınarak	
	Yapılan Çözümler	56
4.2.1.	Akışkan özellikleri sabit alınarak yapılan çözümler	56
4.2.2.	Akışkan özellikleri değişken alınarak yapılan çözümler	57
5.	BULGULAR VE ÖNERİLER	69
	KAYNAKLAR	72
	EKLER	
	EK-1. ÖRNEK Q1 DOSYASI	76
	EK-2. ÖRNEK RESULT DOSYASI	80
	ÖZGEÇMİŞ	103

**AKIŞKAN ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMLERİNİN
KARIŞIK KONVEKSİYON İLE ISI TRANSFERİNE ETKİLERİNİN
SAYISAL ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Orhan ARPA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2000**

ÖZET

Bu çalışmada yatay, dikdörtgen kesitli kanal içindeki akışta akışkan özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerinin karışık konveksiyona etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Problem üç boyutlu olarak tasarlanmıştır. Temel denklemler olan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri uygun sınır şartları ile birlikte PHOENICS 1.5 Shareware Sayısal akışkanlar dinamiği (SAD) bilgisayar programı kullanılarak çözülmüştür. Problem önce akışkan özellikleri sabit alınarak çözülmüş ve literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak sonuçların uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Daha sonra akışkan özellikleri sıcaklığa bağımlı alınarak problem çözülmüş ve akışkan özellikleri sabit alınarak elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada Reynolds sayısı 250, Grashof sayısı $5.0E+6$, $2.0E+6$ ve $1.0E+6$ olarak alınmış ve akışkan olarak hava kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 625.04.00

Anahtar Kelimeler : Karışık konveksiyon, değişken akışkan özellikleri

Sayfa Adedi : 103

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

**NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF TEMPERATURE
DEPENDENT FLUID PROPERTY VARIATIONS ON MIXED
CONVECTION HEAT TRANSFER
(M. Sc. Thesis)**

Orhan ARPA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2000**

ABSTRACT

In this study, the effects of temperature dependent fluid property variations on mixed convection fluid flow in a horizontal, rectangular sectioned channel, were examined numerically. The problem was handled in three dimensions. Fundamental equations, which are continuity, momentum and energy equations, were solved with proper boundary conditions using computational fluid dynamics (CFA) PHOENICS 1.5 Shareware computer program. At first the fluid properties were assumed to be constant and the obtained solutions after this assumption were compared with similar studies from the literature. Later, the problem was solved for the case temperature dependent fluid properties and results were compared with results of the constant property case. In this study the Reynolds number was taken as 250, for modified Grashof numbers $5.0E+6$, $2.0E+6$ and $1.0E+6$, and air was used as the working fluid.

Science Code : 625.04.00
Key words : Mixed convection, variable fluid properties
Page Number : 103
Adviser : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında değerli bilgi ve görüşleri ile beni yönlendiren, tez yöneticim Sayın Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU' na, bilgisayar programı hakkında değerli bilgilerini esirgemeyen Doç. Dr. Şenol BAŞKAYA' ya ve Dr. Abuzer ÖZSUNAR' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarına manevi destekte bulunan eşime teşekkürü borç bilirim.



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dikdörtgen kesitli kanaldaki akış yönü ve koordinat sistemi.....	23
Şekil 3.1. PHOENICS işletim sistemi ve şeması.....	34
Şekil 3.2. Hücre ağı sistemi ve PHOENICS' in kullandığı boyutsal Parametreler.....	37
Şekil 3.3. Ağ sisteminde ana kontrol hacim ve komşu hücreler.....	38
Şekil 3.4. IZ ' de NX*NY dilimi.....	44
Şekil 3.5. IZ ' de NY hücresi.....	45
Şekil 4.1. Akışkanın ortalama karışım sıcaklığının hesaplanması.....	51
Şekil 4.2. Bir kontrol hacimde akışkanın levha ile temas noktasındaki Sıcaklığının hesaplanması.....	52
Şekil 4.3 Literatürde $Re=2000$, $(Gr/Re^2) < 10^{-4}$ için elde edilen sonuçların bu çalışmada aynı şartlarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.4 $Re=500$, $\frac{Gr^*}{Re^2} \approx 60$ parametreleri kullanılarak elde edilen nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.5 $Re=250$, $Gr^* = 1.0E+6$ parametreleri kullanılarak elde edilen nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.6 $Re=250$ ve Gr^* sayıları için elde edilen Nusselt sayılarının dağılımı.....	57
Şekil 4.7 $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.....	58

Şekil 4.8 $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.9 $Re=250$, $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.10 $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken viskozite ve sabit yoğunluk yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.11 $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken viskozite ve sabit yoğunluk yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.12 $Re=250$, $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken viskozite ve sabit yoğunluk yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.13 Şekil 4.7 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler kullanılarak hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.14 $Re=250$ ve $Gr^*=2.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler kullanılarak hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.15 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler kullanılarak hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırılması.....	63

Şekil 4.16 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler kullanılarak, $x=75E-5$ m de kanalın alt yüzeyinde hesaplanan hızların karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.17 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler kullanılarak, $x=75E-5$ m'de kanalın alt yüzeyinde hesaplanan hızların karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.18 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için akışkan özellikleri değişken alınarak elde edilen hız vektörleri.....	65
Şekil 4.19 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ile elde edilen hız vektörleri.	65
Şekil 4.20 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için akışkan özellikleri değişken alınarak elde edilen sıcaklık kontürleri.....	66
Şekil 4.21 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ile elde edilen sıcaklık kontürleri.	66
Şekil 4.22 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için akışkan özellikleri değişken alınarak elde edilen hız vektörleri.....	67
Şekil 4.23 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için Buossinesq yaklaşımı ile elde edilen hız vektörleri.....	68

SEMBOLLER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
Dh	Hidrolik çap $Dh = \frac{4A}{p}$
g	Yerçekimi ivmesi (m^2/s)
Gr	Grashof sayısı $\left(Gr = \frac{g\beta\Delta TDh^3}{\nu^2} \right)$
Gr*	Düzeltilmiş Grashof sayısı $\left(Gr^* = \frac{g\beta q'' Dh^4}{k\nu^2} \right)$
H	Levhalar arasındaki mesafe (m)
L	Kanalın uzunluğu (m)
Nu _x	Yerel Nusselt sayısı $\left(Nu_x = \frac{q'' Dh}{(T_s - T_b)k} \right)$
NX	x- yönündeki grid sayısı
NY	y- yönündeki grid sayısı
NZ	z- yönündeki grid sayısı
P	Basınç (N/m^2)
P*	Boyutsuz basınç $\left(P^* = \frac{P}{\rho U_o^2} \right)$
Pr	Prandtl sayısı $\left(Pr = \frac{\nu}{\alpha} \right)$
q''	Isı akısı (W/m^2)
R	Gaz sabit (J/kgK)
Re	Reynolds sayısı $\left(Re = \frac{U_o Dh}{\nu} \right)$
T _b	Ortalama akışkan sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T _o	Akışkanın başlangıçtaki sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_p	Alt levhaya komşu olan kontrol hacmin merkezinde hesaplanan sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
T_s	Alt levha ile temas halinde bulunan akışkan sıcaklığı hesaplanan sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
u	x- yönündeki hız bileşeni (m/s)
u^*	x- yönündeki boyutsuz hız bileşeni $\left(u^* = \frac{u}{U_o}\right)$
U_o	Akışkanın başlangıçtaki hızı (m/s)
v	y yönündeki hız bileşeni (m/s)
v^*	y yönündeki boyutsuz hız bileşeni $\left(v^* = \frac{v}{U_o}\right)$
w	z- yönündeki hız bileşeni (m/s)
w^*	z- yönündeki boyutsuz hız bileşeni $\left(v^* = \frac{w}{U_o}\right)$
W	Kanalın genişliği (m)
x	Dikey koordinat
x^*	x - yönündeki boyutsuz uzunluk $\left(x^* = \frac{x}{H}\right)$
y	Yatay koordinat
y^*	y- yönündeki boyutsuz uzunluk $\left(y^* = \frac{y}{H}\right)$
z	Akış yönündeki koordinat
z^*	z- yönündeki boyutsuz uzunluk $\left(z^* = \frac{z}{H}\right)$
Z^*	Düzeltilmiş z koordinatı $\left(Z^* = \frac{z}{H \text{RePr}}\right)$
ΔX	Kontrol hacmin x- yönündeki uzunluğu (m)
ΔY	Kontrol hacmin y- yönündeki uzunluğu (m)
ΔZ	Kontrol hacmin z- yönündeki uzunluğu (m)

Greek Sembolleri **Anlam**

α	Isıl yayılım katsayısı (m^2/s)
β	Isıl genleşme katsayısı ($1/\text{K}$)
ν	Kinematik viskozite (Ns/m^2)
θ	Boyutsuz sıcaklık
ρ	Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)



1. GİRİŞ

Sıcaklık farkları sonucu akışkanda yoğunluk farkları oluşur. Daha soğuk ve yoğun olan akışkan yerçekiminin etkisiyle aşağı doğru hareket eder ve ısınarak yoğunluğu azalan akışkanı yukarı doğru iterek yerini alır. Bu şekilde tamamen yerçekimi kuvveti ve yoğunluk farkından dolayı oluşan ısı transferine doğal konveksiyon denir.

Eğer akışkanın hareketi sadece yoğunluk farkından dolayı oluşmamış, dışarıdan basınç farkı nedeniyle oluşturulmuşsa; bu durumda katı yüzey ile akışkan arasında oluşan ısı transferine zorlanmış konveksiyon denir.

Yukarıda ayrı ayrı ele alınan akımlar her iki nedenle meydana geldiğinde birleşik etki ortaya çıkar.

$(Gr/Re^2) \ll 1$ olduğunda doğal konveksiyonun etkisi ihmal edilebilir, zorlanmış konveksiyon daha etkindir.

$(Gr/Re^2) \approx 1$ olduğunda her iki etkide yakın şiddettedir.

$(Gr/Re^2) \gg 1$ olduğunda doğal konveksiyon daha etkilidir, zorlanmış konveksiyonun etkisi ihmal edilebilir.

Yukarıdaki ifadelerde kullanılan terimler Grashof ve Reynold sayısını ifade etmekte olup aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T D_h^3}{\nu^2} \quad (1.1)$$

$$Re = \frac{U_0 D_h}{\nu} \quad (1.2)$$

Zorlanmış akımla Buoyancy kuvvetleri aynı yönde olduğunda doğal dolanım akımları şiddet kazanır. Bu akımlara desteklenmiş akımlar denir. Zorlanmış akımların yönü Buoyancy kuvvetlerine ters ise akımlar yavaşlatılır. Bunlara ters akımlar denir. Zorlanmış akımlar Buoyancy kuvvetlerine dik olduğunda ise bu akımlara çapraz akımlar denir. Birleşik etkinin boyutsuz ısı aktarım katsayısı Nusselt' in hesaplanması için aşağıdaki bağıntı önerilmektedir.

$$Nu^n = Nu_F^n \pm Nu_N^n \quad (1.3)$$

Yukarıda verilen bağıntıda işaretin + veya – olması akımların destekli veya ters olmasına bağlıdır. Bu bağıntıdaki n sabiti ise yatay levha üzerindeki ters akımlar için 7/2, yatay silindir ve küre üzerindeki ters akımlar için 4 almakla iyi sonuçlar vermekle beraber en iyi sonuçlar n sabitini 3 almakla elde edilmektedir (Incropera and DeWitt) [1].

Karışık konveksiyon güneş kolektörleri, nükleer reaktörler, kimya endüstrisi, jeotermal enerji sistemleri, elektronik devrelerin soğutulması, ve ısı değiştiricileri gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır.

Pratik önemi nedeniyle birçok teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların genel karakteristiği Boussinesq yaklaşımının adaptasyonudur. Bu yaklaşım iki görüş içermektedir. Bunlardan birincisi akışkanın fiziksel özelliklerinin yoğunluk dışında sabit kabul edilmesi, ikincisi ise yoğunluğun değişimi süreklilik denkleminde göz ardı edilirken Buoyancy şartlarında sıcaklığın lineer fonksiyonu olarak ifade edilmesidir (Nesreddine and Galanis, Nguyen) [2].

Son zamanlarda yüksek hızlı modern bilgisayarların gelişimiyle konveksiyon ısı transferinde Boussinesq yaklaşımının geçerliliğinin analizi mümkün olmuştur. Akışkan özelliklerinin sıcaklıkla değişimleri hakkında detaylı bilgi (Kakaç) [3] tarafından verilmiştir.

Gray ve Giorgini [4] bu çalışmaların içinde ilk olarak Boussinesq yaklaşımının geçerliliğini araştıranlardır. Bunlar sıvılar ve gazlar için iki yatay izotermal levha arasında doğal konveksiyonu incelemişlerdir. Sonuçlar küçük sıcaklık farklarında Boussinesq yaklaşımının geçerli olduğunu, sıcaklık farkları büyüdükçe sayısal çözümlerin deneysel sonuçlarla uyuşmadığını yani Boussinesq yaklaşımının geçerliliğini kaybettiğini göstermiştir.

Akışkan özelliklerini sıcaklığa bağlı değişken olarak doğal konveksiyon akış problemlerini inceleyen çeşitli çalışmaların (Leonardi and Reizes) [5] aksine, karışık konveksiyonda değişken özelliklerin incelenmesine az ilgi gösterilmiştir.

Aung ve diğerleri [6] dairesel dikey tüpte ideal gazın ısıtılarak yukarıya doğru akışını sıcaklığa bağlı değişken özellikleri kullanarak incelemişler, ancak Boussinesq yaklaşımının geçerliliğini araştırmamışlardır.

Chen, Armaly ve Ramachandran [7] yatay izotermal levhalar arasında $0 \leq Pr \leq 100$ aralığında karışık konveksiyon için yerel Nusselt sayısını hesaplamak, karışık konveksiyon rejiminin alt ve üst aralıklarını belirlemek için aşağıdaki korolosyonları önermektedirler.

$$Y^n = 1 \pm X^n \quad (1.4)$$

Eş.1.4 ve Eş.1.5’ te bulunan Y değişkeni karışık konveksiyon Nusselt sayısının zorlanmış konveksiyon Nusselt sayısına oranını ifade etmektedir.

$$Y = Nu_x / Nu_F \quad (1.5)$$

$$X = Nu_N / Nu_F \quad (1.6)$$

Aynı şekilde Eş.1.6’ da kullanılan X terimi doğal konveksiyon Nusselt sayısının, zorlanmış konveksiyon Nusselt sayısına oranını şeklin de tanımlanmıştır.

$$Nu_N = F_3(Pr) Gr_x^{1/5} \quad (1.7)$$

Eş.1.7 doğal konveksiyonda Nusselt sayısının hesaplanması için önerilmektedir.

$$F_3(Pr) = (Pr/5)^{1/5} Pr^{1/2} \left[0.25 + 1.6 Pr^{1/2} \right]^{-1} \quad (1.8)$$

Eş.1.8 , Eş.1.7’ de kullanılan $F_3(Pr)$ teriminin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Zorlanmış konveksiyon için yerel Nusselt sayısının hesaplanmasında Eş.1.9 önerilmektedir.

$$Nu_F = F_1(Pr) Re_x^{1/2} \quad (1.9)$$

$$F_1(Pr) = 0.399 Pr^{1/3} \left[1 + (0.0468/Pr)^{2/3} \right]^{-1/4} \quad (1.10)$$

Son olarak karışık konveksiyonda yerel Nusselt sayısının hesaplanması için Eş.1.11' i önermişlerdir.

$$Nu Re_x^{-1/2} / F_1(Pr) = \left\{ 1 \pm \left[F_3(Pr) (Gr_x Re_x^{5/2})^{1/5} / F_1(Pr) \right]^n \right\}^{1/n} \quad (1.11)$$

Risbeck, Chen ve Armaly [8] alt levha sıcaklığının $T_w(x) = T_\infty + ax^n$ bağıntısına göre değişken olması durumunda yatay levhalar arasında laminar karışık konveksiyonu analitik olarak $0.1 \leq Pr \leq 100$ aralığında incelemişler ve aşağıdaki korolasyonları önermişlerdir.

Zorlanmış konveksiyon için

$$Nu_{x,F} Re_x^{-1/2} = \alpha_F(Pr) [1 + V_F] \quad (1.12)$$

Eş.1.12' de bulunan α_F ve V_F terimlerinin hesaplanması için; Pr ve n sabitine bağlı olarak Eş.1.13 ve Eş.1.14 önerilmektedir.

$$\alpha_F(Pr) = 0.339 Pr^{1/3} \left[1 + (0.0468 / Pr)^{2/3} \right]^{1/4} \quad (1.13)$$

$$V_F = n \left\{ 1.17 + 11.0 \exp(-5.6 Pr^{1/10}) \right\} - 0.92n \quad (1.14)$$

Yukarıdaki bağıntılarda kullanılan n terimi sabit bir katsayı olup, $-0.4 \leq n \leq 0.5$ aralığında tanımlanmıştır.

Doğal konveksiyon için ise yerel Nusselt sayısının hesaplanması için Eş.1.15 önerilmiştir.

$$Nu_{x,N} = Gr_x^{-1/5} = \alpha_N (Pr) [1 + V_N] \quad (1.15)$$

Eş.1.15’ te kullanılan α_N ve V_N terimlerinin hesaplanması için Eş.1.16 ve Eş.1.17 önerilmiştir.

$$\alpha_N (Pr) = (Pr/5)^{1/5} \frac{Pr^{1/2}}{(0.25 + 1.6 Pr^{1/2})} \quad (1.16)$$

$$V_N = \frac{n}{A1} - \frac{n^2}{A2} + \frac{n^3}{A3} \quad (1.17)$$

$$A1 = 4.167 \times 10^{-2} \ln(Pr) + 0.9791 \quad (1.18)$$

$$A2 = 5.450 \times 10^{-2} \ln(Pr) + 1.9990 \quad (1.19)$$

$$A3 = 9.728 \times 10^{-2} \ln(Pr) + 5.9260 \quad (1.20)$$

Eş.1.18, Eş.1.19 ve Eş.1.20; Eş.1.17’ de bulunan terimlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Eş.1.17’ de bulunan n terimi ise sabit bir sayı olup doğal konveksiyon için $-0.4 \leq n \leq 1.0$ şeklinde tanımlanmıştır.

Ayrıca karışık konveksiyon ile ısı transferinde Nusselt sayısının hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$\frac{Nu_x}{(Re_x^{1/2} + Gr_x^{1/5})} = \left\{ \left[\chi \left(\frac{Nu_{x,F}}{Re_x^{1/2}} \right) \right]^E + \left[(1 - \chi) \left(\frac{Nu_{x,N}}{Gr_x^{1/5}} \right) \right]^E \right\}^{1/E} \quad (1.21)$$

Eş.1.20’ de kullanılan E sabitinin levhalar arasındaki akış için 3 alınması önerilmektedir. χ ise karışık konveksiyon parametresi olup $0 \leq \chi \leq 1$ aralığında tanımlanmıştır. $\chi=0$ saf doğal konveksiyonu, $\chi=1$ saf zorlanmış konveksiyonu ifade etmektedir.

Gau ve arkadaşları [9] alttan ısıtılan paralel levha kanalında $100 < Re < 2000$, $2 < Gr/Re^2 < 907$ ve $Pr=0.7$ için Buoyancy kuvvetlerinin ikincil akış oluşumuna etkilerini deneysel olarak çalışmışlardır. İkincil akış oluşumunun ve türbülansa geçişin geciktirilmesinin Grashof sayısının küçültülmesiyle mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Plaka boyunca akışta, plaka yüzeyinin yakınında basınçtaki düşme nedeniyle ısıtılmış akışkanın yoğunluğu azalır. Basınçtaki bu düşme, küçük bir uygun basınç gradyenti oluşturur ve bu basınç gradyenti sınır tabakasındaki akışkanın ivmelenmesine neden olarak sonuçta ısı transferi artışı meydana getirir. Yapılan analizlerde bu etkinin $Gr/Re^{2.5}$ oranı ile ilgili olduğunu önermişlerdir. Bu ifade, kaldırma kuvvetinin, akışkanın atalet kuvvetlerine oranının bir ölçüsüdür [10,11].

Wu ve Cheng [12], yatay izotermal yada sabit sıcaklık (isothermal) olarak bilinen akış şartlarında, düzlem plaka üzerinde lineer denge teorisini kullanarak vorteks halkalarının (vortex rolls) oluşturduğu dengesizlik üzerinde çalışmışlardır. Dengesizliğin başlangıcı için lokal olarak $Gr_x/Re_x^{1.5}$ parametrik değerini hesaplamayı başarmışlardır. Burada “x” akış yönü koordinatıdır, ayrıca azalan Prandtl sayısı ile $Gr_x/Re_x^{1.5}$ ‘in kritik değerinin arttığını bulmuşlardır. Dengesizliğin başlangıç noktasında akış çizgilerini ve sıcaklık dağılımlarını çizmişlerdir.

Chen ve arkadaşları [13], izotermal, yatay düzlem bir plaka üzerinde karışık konveksiyonun yerel benzer olmayan (non-similarity) analizini yapmışlardır. Analizlerinde, plaka ve serbest akım arasındaki sıcaklık farkı kaldırma kuvvetini doğurur ve bu kuvvet akış yönündeki basınç gradyenini modifiye eder. Bu analiz boyuna (longitudinal) vortekslerin oluşumuna imkan vermez. Bu çalışmada, $Gr_x/Re_x^{2.5}$ yerel kaldırma kuvveti parametresinin etkileri ile ilgili sonuçlar sunulmuştur. Bu parametrenin pozitif değerleri için kaldırma kuvveti uygun basınç gradyenine neden olmuş ve Nusselt sayısı artmıştır. Aksine negatif değerleri için ters yönde basınç gradyenine neden olmuş ve Nusselt sayısı azalmıştır. Ayrıca, $Gr_x/Re_x^{2.5}$ 'in pozitif değerleri için yüzey sürtünme katsayısının arttığını ve negatif değerleri için azaldığını bulmuşlardır. Yüzey sürtünmesinin, ısı transferinden daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. $Gr_x/Re_x^{2.5} = 0.5$ için ısı transferi % 40 ve yüzey sürtünmesi % 160 artmıştır. Bu çalışmada üç boyutlu etkiler ihmal edilmiştir, bu nedenle sonuçların yeterli hassasiyeti hakkında tartışmaya açık olduğu söylenebilir.

İzotermal düzlem plaka üzerindeki su akışı için akış yönünde boyuna (uzunluğuna) vortekslerin başlangıcının belirlenmesi için Gilpin, İmura ve Cheng [14] tarafından deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada elektro-kimyasal akış görüntüleme tekniği kullanılmıştır. Bu tekniği kullanarak kararsız akışın iki farklı rejim gösterdiğini bulmuşlardır. Birinci rejimde konumu zamanla değişse de farklı boyuna vorteksler gözlenmiş, ikinci rejimde vorteksler bozularak ikinci akışın düzenliliği azalmıştır. Bu iki rejim ısıtılmış akışkanlar için türbülanslı akışa geçiş prosesinin bir parçası olarak görünür. Akış görüntüleme tekniği kullanarak, dengesizliğin başlangıcının değerini belirlemişler ve sonuçlarını Wu ve Cheng'in [12] teorik sonuçları ile karşılaştırarak uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir.

Mucoğlu ve Chen [15], Nusselt sayısı dağılımına plaka eğiminin etkisini belirlemek için sayısal bir çalışma yapmışlardır. Diğer taraftan dengesizlik problemi başlangıçta ihmal edilmiştir ve iki boyutlu sınır tabaka denklemleri kullanılmıştır. Eğimli plakalar için, bu yaklaşım daha uygundur. Isı transferi eğimli yüzeyler üzerinde kararlı sınır tabakada iki mekanizma ile artmaktadır. Birinci mekanizma, yatay düzlem plakalar için tanımlanan, yerçekimi kuvvetlerinin oluşturduğu akış yönündeki basınç gradyentidir ve bu mekanizma eğimli plakalarda diğerine göre daha az etkilidir. Bununla beraber, sınır tabaka, akışın direkt ivmelenmesini sağlayan kaldırma kuvvetleri ile ayarlanır. Bu ikinci mekanizma çok daha önemlidir ve plaka yatay durumdan eğimli duruma geldiğinde, akış dengesiz hale gelmeden önce dikkate değer bir ısı transferi artışı meydana gelir. Bu davranış Ramachandran [16] tarafından deneysel olarak doğrulanmıştır.

Mori ve Uchida [10] ve Gage ve Raid [17]'in yaptığı çalışmalar olarak bilinir. Bu iki çalışma da izotermal paralel plakalar arasındaki Poiseuille akışın ısı dengesizlik problemini ele almışlardır. Kuvvet akışının olmadığı durum için ($Re=0$), problem paralel plakalar arasındaki doğal konveksiyon veya Benard problemine indirgenir. Bu durum için kritik Rayleigh sayısı 1708 dir ve lineer olmayan (non-linear) terimler atılıp basitleştirildikten sonra sonuç denklemi Orr-sommerfeld denklemi diye bilinen forma gelir.

Kapalı dikdörtgen kutuda doğal konveksiyon için kritik Rayleigh sayısı 1708 geçerlidir. Benard probleminin tersine sonsuz plakalar arasındaki akışkan hareketi hekzagonal (altıgen) hücreler şeklindedir, kutudaki konveksiyon hücreleri (cells) boyuna halkalar şeklindedir. Plakalar arasında veya kutu arasındaki kütsel akışkan hareketi için ($Re>0$), 1708 Rayleigh sayısında plakalara dik çalkantılar için akış ısı dengesiz kalır hatta diğer yönlerdeki

dengesizlikler daha azdır. Paralel plakalar arasında ve dikdörtgen kutudaki Poiseuille akışı için kritik Rayleigh sayısı hala 1708' dir.

Mori ve Uchida, dengesizliğin başlangıcı ile değil daha sonraki akışın yapısı ile ilgilenmiştir. Analizlerinde lineer teoriyi iyi bir yaklaşımla elde etmek için, tam gelişmiş ana akıştan küçük pertürbasyonların oluşumunu göstermişler, ikincil akışı tanımlayan denklemlerin, akım yönü akıştan tamamen bağımsızdır. Bu önemli sonucun anlamı, bir kanalda kaldırma kuvveti nedeniyle oluşan ikincil akış Reynolds sayısından bağımsızdır.

Mori ve Uchida' nın yardımıyla paralel plaka kanalda vorteks halkalar, ana akış üzerine eklendiği gösterilmiştir. 1700-10.000 Rayleigh sayıları aralığında akış görüntülemesiyle, her bir kare şeklindeki konveksiyon hücresinin genişliği yaklaşık kanal yüksekliğine eşittir, tam gelişmiş akışta bu halkaların varlığı doğrulanmıştır. Deneysel veriler, bu halkaların mukavemeti ve yapısının tahminleriyle kabul edilir bir uyum içinde olduğunu sağlamıştır.

Paralel plakalar arasında laminar akış üzerine doğal konveksiyonun etkisini inceleyen bu çalışma, karışık konveksiyonla ilgili ilk çalışmalardan biridir. Alt tarafı ısıtılmış, üst tarafı soğutulmuş bir kanalda hava akışını ele almışlar. Bu iki plaka arasındaki sıcaklık farkı kaldırma kuvvetinin meydana getirdiği ikincil hareketi üretmek için yeterince büyüktür. Çalışmada üniform plaka sıcaklığı ve tam gelişmiş akış şartları kabul edilmiştir.

Kanalın altına yerleştirilen pirinç plakaya lehimlenen 9 adet bağımsız kontrol edilen ısıtıcı segmentler akış yönündedir. Ayrıca, yan yüzeylerde koruyucu ısıtıcılar (guard heater) bulunmaktadır. Bu ısıtıcılar pirinç plakaya tutturulmuş ve Cu-Constant ısıl-çiftler pirinç plakaya lehimlenmiştir. Üst plakanın malzemesi saydam (transparent)-vinildir ve sirküle eden su ile soğutulmuştur. Alt ve üst plakalar mükemmel izotermal değildir, bu nedenle tüm plaka için

ortalama konveksiyon katsayısının hesaplanmasında ortalama sıcaklık kullanılır ve lokal ısı transferi belirlenemez.

Bu deneylerde akış çizgilerini görüntülemek için parafin dumanı kullanılmış ve ana akış yönündeki hızları ölçmek için anemometre (hot-wire anemometer) kullanılmıştır. Akışkan sıcaklığı düşey ve enine yönlerde çapraz hareket edebilen tek bir ısıl-çift ile ölçülmüştür. Elde edilen bilgiler kullanılarak, düşey ve enine (spanwise) sıcaklık ve hız profilleri, sayısal tahminlerle karşılaştırılmış ve tam gelişmiş kabulü doğrulanmıştır. Sayısal tahminler şu lineer teoriye dayandırılır; birinci kritik Rayleigh sayısının (Ra_1) üzerinde birinci tip vorteks çevrim (vortex roll), ikinci kritik Rayleigh sayısının (Ra_2) üzerinde ikinci tip vorteks çevrimin olduğu akış kabul edilir. En büyük sapma Ra_2 yaklaşımında ortaya çıktığı görünür ve bu nedenle ikinci tip vorteks model tam geçerli olmayabilir. Akış görüntülemesi ile Ra_1 üzerinde birinci tip vorteks çevrimin farklı şekilleri gözlemlenmiştir. Akış görüntülemesi ile hem sıcaklık hem de hız verilerinin dengeli akışın varlığının güçlendirmektedir. Sınırlı sayıdaki deneysel veriler karışık konveksiyon ısı transferi artışının zorlanmış konveksiyondan 2.2 kat daha büyük olduğunu doğrulamıştır.

Ayrıca, Mori ve Uchida, alt tarafı izotermal ısıtılmış ve üst tarafı izotermal soğutulmuş yatay iki plaka arasındaki tam gelişmiş akışı analiz ederek, yönetici denklemlerin bağımlı değişkenlerini, ana akım ve değişken bileşenler cinsinden ifade etmişlerdir. Değişken bileşenlerin enine yönde sinüzoidal olarak değiştiği varsayılmıştır. Burada her bir vorteks tipi birim dalga boyunu göstermektedir. Analizde, birinci kritik Rayleigh sayısının üzerinde birinci tip ve ikinci kritik Rayleigh sayısının üzerinde ikinci tip vorteks çevrim görüldüğü kabul edilmiştir. Tam gelişmiş karışık konveksiyon Nusselt sayısı,

$$Nu = 1 + 1.413 \left[1 - \frac{1708}{Ra_H} \right] \quad (1.22)$$

şeklinde tanımlanır. Bu sonuç, karışık konveksiyon nedeniyle olan ısı transferi artışının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu gösterir. Bu sonuçlar deneysel sonuçlarla desteklenmiş ve sonuçların uyum içinde olduğu belirtilmiştir.

Nakayama ve arkadaşları [18], yatay paralel plakalar arasında tam gelişmiş akış için lineer denge analizinin sonuçlarını araştırmışlardır. Üst plaka (T_2) ve alt plaka (T_1) sıcaklıklarının akım yönünde lineer olarak değiştiği kabul edilmiştir. Tam gelişmiş akış kabulü altında, bu sınır şartları sabit çevresel sıcaklıklı sabit eksenel ısı akışına karşı gelir. $T_1 > T_2$, $T_1 < T_2$ ve $T_1 = T_2$ durumları için, $(T_1 - T_2)$ 'ye bağlı Rayleigh sayısı cinsinden sonuçlar açıklanmıştır. Burada bir parametre tanımlamışlardır, bu parametre aşağıda verilmiştir.

$$\psi = \frac{Re \cdot (\partial T / \partial Z) \cdot H}{T_1 - T_2} \quad (1.23)$$

Burada, H plakalar arasındaki yüksekliktir. $T_1 > T_2$ durumunda dengesizlik için gereken sıcaklık farkı $(T_1 - T_2)$ 'nin, Ψ nin artışı ile azaldığını bulmuşlardır. Başka bir deyişle artan Ψ değeri ile akış dengesiz hale gelir. Ayrıca, Prandtl sayısı arttığında akış dengesizliğe doğru kayar. $T_1 < T_2$ durumunda, Ψ parametresinin büyük değerleri için akışın dengesiz olacağını belirtmişlerdir. Bu durum yanıltıcıdır, çünkü $\partial T / \partial Z$ 'in büyük değerleri için hem alt hem de üst plaka ısıtılmış olmalıdır. $T_1 < T_2$ olmasına rağmen, minimum akışkan sıcaklığı akışın merkezinde olur ve bu noktanın altındaki akışkan dengesiz olacaktır. Ayrıca, Nakayama ve arkadaşları, üst ve alt plaka sıcaklık farkına

(T_1-T_2) bağılı Rayleigh sayısını tanımlamışlardır, bu ise uygun bir seçim değildir. Akışkan merkezi ve plaka sıcaklığı farkının, (T_1-T_2) ' den daha büyük olması mümkündür ve plaka sıcaklık farkı akış şartlarının karakterize etmek için uygun değildir.

$T_1 > T_2$ ve $\Psi=0$ (yani $\partial T/\partial Z=0$) için kritik Rayleigh sayısı (1708) olarak bilinen değerin, zorlanmış akışa bakılmaksızın belirlenebildiği bulunmuştur. Ψ arttığında kritik Rayleigh sayısı azalır. $T_1 < T_2$ için dengeli şartlar beklenilmesine rağmen, Ψ 'nin büyük değerlerinde akış dengesizlikle sonuçlanmıştır. Bununla birlikte, her iki plakanın ısıtılması durumunda, her iki plakadan daha düşük sıcaklıkta bir kütle sıcaklığı tanımlanır. Kütle sıcaklığı ve plaka sıcaklığına bağlı ΔT , hem Ψ hem de Rayleigh sayısı için daha anlamlı bir parametredir.

Cheng ve arkadaşları [19], üniform ısı akılı yatay dikdörtgen bir kanalda, ısı giriş bölgesinde sonlu farklar metodu kullanarak ısı transferi analizi yapmışlardır. Burada, momentum denklemindeki adveksiyon teriminin ihmal edilmesine izin veren, büyük Prandtl sayılı akışkan kabulü yapmışlardır. Ayrıca, parabolik akış kabulü ile momentum ve enerji denklemlerindeki eksenel difüzyon terimlerini de ihmal etmişlerdir. Bu kabuller ışığında çözümü gayet zor olan Navier-Stokes ve enerji denklemleri basite indirgenerek, çözümü sayısal olarak oldukça kolay hale getirilmiştir. Böylece, değişik Rayleigh sayısı ve değişik kanal boyutlarında üç boyutlu bir çözüm elde etmeyi başarmışlardır. Burada tanımlanan Nusselt sayısının tanımı ise şöyledir:

$$Nu = \frac{q'' \cdot D_h}{k} \left[\int (T_w - T_b) dA_p \right]^{-1} \quad (1.24)$$

Bu ifadede eksenel konumdaki bir noktada kanalın çevresi üzerinden integral alınmıştır. Burada, q'' ısı akısı, T_w duvar ve T_b ise ortalama akışkan sıcaklığıdır. Her bir Rayleigh sayısı için, lokal Nusselt sayısının minimum değeri verilmiştir. Bu minimum kombine giriş ve ikincil akış etkisi olarak yorumlanmıştır. Buna ilaveten, kaldırma kuvveti nedeniyle olan karışımın Nusselt sayısına etkisi, Rayleigh sayısının artışı ile artar ve $Ra < 1000$ için bu etki ihmal edilebilir seviyede olduğu beklenmektedir. Diğer bir önemli sonuç ise kaldırma kuvveti etkili ikincil akışın neden olduğu ısı giriş uzunluğunun azalmasının tahmini ile ilgilidir. Lokal Nusselt sayıları, ikincil akış hız dağılımı, duvar ve merkez sıcaklık dağılımlarının, akış çizgileri ve izoterm eğrilerinin çizim sonuçlarını sunmuşlardır.

Hwang ve Cheng [20], tarafından izotermal plakalar için lineer denge analizi yapılmıştır. Prandtl sayısı 0.5'den büyük olan akışkanlar için, eksenel mesafenin (tam gelişmiş şartların oluşması için gerekli mesafe) artmasıyla kritik Rayleigh sayısının azaldığını ve sonuçta 1708'e doğru yaklaştığını göstermişlerdir. Bunun anlamı 1708'den büyük Rayleigh sayısındaki akış, giriş bölgesinde dengesiz olacak, aynı zamanda sınır tabakası, ısı dengesizliğin yükselmesi için gerekli büyümeye izin verecektir.

Hwang ve Cheng, alt plaka izotermal ısıtılmış, üst plaka izotermal soğutulmuş, yatay paralel plakalarda ısı giriş bölgesinde ısı dengesizliklerin başlangıcını teorik olarak araştırmışlardır. Lineer denge teorisini kullanarak, pertürbasyon denklemleri türetmişler ve yüksek mertebeli sonlu farklar metodu kullanarak çözmüşlerdir. Eksenel iletim hem ihmal edilerek hem de dikkate alınarak çözüm yapmışlar. Her iki durumda da Prandtl sayısının, akışın dengesi üzerine etkili bir şekilde bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Qu, Cheng ve arkadaşları [21], Cheng ve arkadaşları [19]'nın yaptığı çalışmayı sabit ısı akısı yerine sabit duvar sıcaklığı için devam ettirmişler. $Ra=0-5.0 \cdot 10^5$ aralığında çalışmışlardır. Bu çalışmada lokal Nusselt sayısı, eksenel ortalama akışkan sıcaklığı dağılımı ve kaldırma kuvveti nedeniyle oluşan ikincil akışın başlangıcının belirlenmesi ile ilgilenmişler ve sonuçlarını sunmuşlardır.

Nusselt sayısı incelendiğinde ikincil akışın sadece giriş bölgesinin bir kısmında olduğunu belirtmişlerdir. İkincil akış girişten belirli bir mesafe ileride başlar ve Rayleigh sayısının artmasıyla bu mesafe azalır. Akışkan sıcaklığı duvar sıcaklığına yaklaştığında yani sıcaklık farkı azaldığında, ısıl etkili ikincil akışlar hemen kaybolur. Hem Cheng ve diğerleri, Hem de Ou ve diğerlerinin çalışmasından çıkan önemli sonuç şudur ki, giriş bölgesi akışının, Reynolds sayısına olan bağımlılığı basit bir yapıya sahiptir ve Nusselt sayısı sonuçları, Rayleigh sayısı ve ters Graetz sayısı olarak bilinen boyutsuz uzunluk $(z/H \cdot Pr \cdot Re)$ cinsinden sunulmuştur. Bu kavram sayesinde ısı transferi sonuçları ve tüm akışı sadece iki parametreyle (Ra, Gz^{-1}) karakterize etmek mümkündür. Bu durumda Reynolds sayısının tek rolü kanaldaki akışın uzamasıdır. Maalesef bu kavram çok önemli olmasına rağmen her iki araştırmacı da bunun üzerinde yeterince durmamışlardır. Analitik ve deneysel çalışmalar kaldırma etkili akışın başlangıcını ve yapısının iç yüzünü ortaya çıkarmak için çaba sarf etmişler, fakat bu ikincil akışın ısı transferi üzerindeki etkisini mukayeseli olarak ele almamışlardır.

Ostrach ve Kamotani [22], alt plaka ısıtılmış ve üst plaka soğutulmuş, iki yatay plaka arasında tam gelişmiş (hidrodinamik ve ısıl olarak) akışta ısı transferini incelemişlerdir. Deneysel konfigürasyon, Mori ve Uchida [9]'nın aynısıdır. Üst plaka soğutma suyu ile $0.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ aralıkta tutulmuş ve alt plaka, alüminyum plakaya iki elektrikli ısıtıcı yapıştırılarak yerleştirilmiştir. Bir çok

ısıl-çift yüzey sıcaklıklarını okumak için üst ve alt plakaya gömülmüştür. Yan duvarlarda, iletimle ısı kaybını minimize etmek için yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Hızlar, plaka ve akışkan sıcaklıkları üç yönlü bir alet kullanılarak ısıl-çiftler vasıtasıyla ölçülmüştür. Akış görüntülemek için duman püskürtülmüştür. Isı transferi katsayısı akışkan sıcaklığı değil, alt ve üst plaka sıcaklık farkı cinsinden belirlenmiştir. Sonuç olarak, tüm kanal için sadece ortalama Nusselt sayısı belirlenebilmiştir. Özellikle, $T_m < T_t < T_b$ durumu için, Nusselt sayısının fiziksel önemi üzerinde tartışma söz konusudur. Burada, T_m ortalama akışkan, T_t üst yüzey ve T_b alt yüzey sıcaklığıdır. Deneysel Nusselt verileri, kapalı (sadece doğal konveksiyonun dikkate alındığı) durum için belirlenmiş, ve tam gelişmiş durum ile karşılaştırma yapıldığında, kuvvetli bir benzerlik ortaya çıkmıştır. Ayrıca, elde edilen veriler, Hwang ve Cheng'in sayısal sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kritik Rayleigh sayısının altında Nusselt sayısı deneysel sonuçları 1 olarak belirlenmiş ve kritik değerin üstündeki Rayleigh sayıları için Nusselt sayısı 2.5 değerine kadar yükseldiği bulunmuştur. Değişik Rayleigh sayıları için enine akışkan sıcaklık dağılımlarını çizmişlerdir. Zayıf ikincil akış hareketini gösteren, küçük periyodik sıcaklık osilasyonlarını belirlemişler. Kritik değerin yanındaki Rayleigh sayılarında zayıf ikincil akışkan hareketi mevcuttur ve $Ra_{cr} < Ra < 8000$ için enine sıcaklık dağılımı düzenli sinüzoidal olarak sunulmuştur. Bu Ra aralığı için vorteks çevrimlerin adımı $2H$ 'a eşittir, bu daha önce lineer teoriyle tahmin edilen değerdir ve birinci tip vorteks çevrimle uyusmaktadır. $Ra > 8000$ için, enine sıcaklık dağılımı düzensiz olur ve sıcaklık dalgalanmasının $Ra < 8000$ için mevcut olmadığı dikkat çekicidir. Ra 'nin üst sınırındaki ısı transferi hızındaki artış önemsizdir.

Hwang ve Liu [23], tarafından yapılmıştır. İzotermal ısıtılmış yatay paralel plakalar arasındaki hava akışı incelenmiştir. Hareketli bir ısıl-çift ile uzunluğuna doğrultuda değişik noktalarda, dikey olarak sıcaklıklar ölçülmüş ,

duman püskürtülerek akış görüntülenmeye çalışılmıştır. Kamotani ve Ostrach gibi bu araştırmacılarda Ra_{cr} değerinin lineer denge teorisi sonuçlarından 5-15 kez daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Isıl dengesizliğin başlangıcını belirlemek için sıcaklık dağılımı yerine akış görüntülemeyi tercih etmişlerdir. Bu nedenle ikincil akışın başlangıç detayları çok açık değildir. Bu deneyleri Hwang ve Cheng [20]'in teorik sonuçlarını doğrulamak amacıyla yapmışlardır. Plaka alttan izotermal ısıtılmıştır.

Cheng ve Wu [24], yatay bir paralel plaka kanalında ısı girişi bölgesinde, ısı dengesizliğin başlangıcına, eksenel ısı iletiminin etkisini inceleyen Hwang ve Cheng [20]'in çalışmasına devam etmişlerdir. Bu çalışmada, alt plaka izotermal ısıtılmış, üst plaka izotermal soğutulmuş ve ısı dengesizliğin başlangıcını belirlemek için lineer denge teorisini dikkate almışlardır. Daha önceki araştırmacıların aksine, ilk akışkan sıcaklığı ve ısıtılmış bölgeye gelmeden hız profillerini belirlemişlerdir. Böylece, ısıtılmış kanal kısmına girmeden önce, eksenel iletimle ön-ısıtılmış akışkanın etkisini incelemişler. İlave olarak, hem çapraz (traverse) hem de boyuna vorteks halkalar için denge kriterini araştırmışlardır. Eksenel iletimle ön-ısıtılan akışkan etkisinin $Pe > 50$ için ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, $Pe < 1$ ve küçük Reynolds sayıları için çapraz vortekslerin, boyuna vortekslerden daha önce oluştuğu vurgulanmıştır.

Nguyen, Macleine-cross ve de Vahl davis [25], çoklu paralel plakalarda giriş bölgesindeki ısı transferini sayısal olarak araştırmışlardır. Böyle bir konfigürasyon ısı eşanjörlerinde veya rejeneratörlerde mevcuttur. Plakaya girişte akış üniform kabul edilmiş ve iki boyutlu bir model kullanılarak sonlu kalınlıktaki plakalar için hesaplamalar yapılmıştır. Akışkan ısıtılır ve plakaya girmeden önce yükselir. Son durumda ise (d) bu hareket her plakanın altında ve üstünde ayrıma neden olacak şiddettedir. Doğal konveksiyonun etkisi ile

plakaların üst yüzeyinden ısı transferi artar ve alt yüzeyden ısı transferi azalır.

Abou-Ellail ve Morcos [34], çalışmalarında dikdörtgen kesitli yatay kanalda, giriş bölgesinde, laminar zorlanmış konveksiyon ısı transferi üzerine kaldırma kuvveti etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Çevresel ve eksenel üniform ısı akısı şartlarında değişik Prandtl sayılarında çözümler yapmışlardır. Sayısal çözümlerde momentum denklemindeki konvektif terimler çözümün basitleştirilmesi nedeniyle ihmal edilmiştir. Fakat, bu çalışmada bu terimler ihmal edilmemiş ve geniş bir Prandtl sayısı aralığında inceleme yapılmıştır. Sonuçlar, boyutsuz uzunluk skalası kullanılarak Nusselt sayısı, sıcaklık ve kanal kesitindeki hız vektör dağılımı, eğrileri verilmiştir. Farklı Prandtl sayılarındaki bütün Nusselt sayısı dağılımı eğrilerinin , tam gelişmiş şartlardaki Nusselt sayısı için bulunan değere asimtotik olarak yaklaştığı görülmüştür.

Morcos, ve arkadaşları [26], üniform ısı akılı eğimli dikdörtgen bir kanalda, giriş bölgesindeki karışık konveksiyonun ısı transferine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, çevresel duvar sıcaklığı ve Nusselt sayısı dağılımını içermektedir.

Kennedy ve Zebib [27], yatay paralel plakalı kanalda, hidrodinamik giriş bölgesinde, lokal ısı kaynakları yerleştirilmiş durumda, deneysel ve sayısal bir çalışma yapmışlardır. Lokal ısı kaynakları sabit ısı akıdır ve $Gr=5.4 \cdot 10^5$, $Re < 100$ için çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, kanalın tabanına bir ısı kaynağı yerleştirilmiş ve plaka etrafındaki sıcaklık ölçümlerine dayanarak, ısı kaynağına temin edilen gücün yaklaşık %30 kadarı eksenel iletimle kaybolduğunu belirtmişlerdir. Isı transferi sonuçları çalışmada verilmemiştir. Bununla birlikte, $Re=37$ için ısı kaynağının üzerinde bir sirkülasyon bölgesi gözlenmiştir. Reynolds sayısı iki katına çıkarıldığında ise, bu resirkülasyon

bölgesi ısı kaynağını geçer ve akış yönünde sürüklenir ve boyuna vorteksler bozulur.

Cheng ve Qu [33], Cheng ve arkadaşları [19] ve Qu ve arkadaşları [21]'nin kullandığı aynı sayısal metodu kullanarak yüksek Prandtl sayılı akışkanlar için bir çalışma yapmışlardır. Alttan izotermal ısıtılmış, üstten izotermal soğutulmuş paralel levhalar için incelemeler yapmışlardır. Çalışmada, boyuna vortekslerin gelişimini gösteren akış çizgilerinin detayları ve giriş bölgesi için lokal Nusselt sayısı sonuçları sunulmuştur. Su için, maksimum yoğunluk noktasında [4°C], akış çizgileri sonuçları verilmiştir, burada alt plaka sıcaklığı 1°C ve üst plaka sıcaklığı 6°C olarak bulunmuştur. Büyük Prandtl sayısı kabulü ile ana akış, ikincil akıştan etkilenmez ve akım fonksiyonu çapraz akım akışı için tanımlanabilir.

Osborne ve Incropera [28], yatay paralel plaka kanalda su için karışık konveksiyon ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Üniform asimetric ısı akılı paralel plakalar arasında ısıl gelişen bölgede laminar geçiş ve türbülanslı su akışını incelemişlerdir. Bu araştırma üniform ısı akısının kullanıldığı ilk iç akışlı deneysel çalışma olarak değerlendirilir. $0 < q_t/q_b < 6$ ısı akısı aralığında hem üst hem de alt plaka ısıtılmıştır. Isıtıcı plakalar, alüminyum eloktrofilm plakalardan oluşmuştur. 42 adet ısıl-çift ısıtıcı plakaya gömülerek lehimlenmiş ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Akış görüntüleme, boya püskürtme ve gölgeleme tekniği kullanılarak yapılmıştır.

Osborne, herhangi ısı akısı ve akış hızı kombinasyonu için boyuna vorteksleri belirleyememiştir. Alttan ısıtma şartlarında, zorlanmış konveksiyonla karakterize edilen üst plaka şartlarına etkisi yoktur ve aynı şekilde üst plaka ısıtma şartlarında, alt plaka ikincil akışa ve ısı transferine etkisi yoktur. Sadece üst plaka yeterli büyüklükte ısıtıldığında, ortalama kütle sıcaklığı artmaktadır.

Osborne, Reynolds sayısının sadece akışın ölçeklendirilme etkisine sahip olduğu ve karışık konveksiyon için uygun boyutsuz skala ($H \cdot Re_H / z$)'in kullanıldığını belirtmiştir. Boyuna Nusselt sayısı dağılımı, z_H^* 'a karşılık çizildiğinde Reynolds sayısından bağımsızdır ve belirgin osilasyonlarla karakterize edilemez. İkincil akışın başlangıcı, boyutsuz uzunluk cinsinden,

$$Z_H^* = \frac{200}{Ra_H^{*3/4}} \quad (1.25)$$

için olduğu gözlenmiştir. Laminar akış durumunda karışık konveksiyon için aşağıdaki korelasyonu önermişlerdir.

$$Nu = \left[1.656 \cdot \left(\frac{Re \cdot Pr \cdot H}{z} \right) + 0.012 \cdot (Gr^* \cdot Pr)^{3/4} \right]^{1/3} \quad (1.26)$$

Burada karakteristik uzunluk olarak, hidrolik çap yerine plaka yüksekliği (H) alınmış ve Gr^* ise ısı akısına bağlı olarak modifiye edilmiş Grashof sayısıdır.

Knox ve Incropera [29], Osborne'nın çalışmasına devam etmiştir. Knox, duvar iletim etkilerini büyük ölçüde azaltmıştır. Akış görüntüleme yöntemiyle, karışık konveksiyon akış rejimi, yükselen ısıl plumlarla karakterize edilir. Bu plumlar büyür ve sonuçta mantar şeklindeki boyuna vorteksler olarak kendini gösterir. Kaldırma etkili ikincil akış nedeniyle, boyuna Nusselt sayısı dağılımı osilasyonlar göstermiştir ve tam gelişmiş şartlara ulaşamamıştır. Bunun yerine Nusselt sayısı osilasyonlarının ortalama bir değeri için yarı tam gelişmiş şartların varlığından söz edilebilir. Bu ısıl plumların sayısı uzunluğuna konumdan bağımsızdır ve Grashof sayısı ile artar.

Akış görüntülemesi ile dört farklı akış rejimi ortaya çıkmıştır.

- 1) laminar zorlanmış konveksiyon etkili bölge
- 2) laminar karışık konveksiyon bölgesi
- 3) geçiş bölgesi
- 4) türbülans bölge

Laminar karışık konveksiyon bölgesi küçük tomurcukların oluşması ile başlar, artan uzunluğuna mesafe ile büyür ve mantar şeklindeki vorteks çiftler dengeli boyuna plumlara dönüşür. Geçiş bölgesi, ısı plumlarının dengesiz osilasyonları ile başlar ve devam eder. Türbülanslı bölge ise bu plumların tam olarak bozulması ile karakterize edilir.

Enine ortalama Nusselt sayısının boyuna dağılımı, giriş bölgesinde zorlanmış konveksiyonda ayrılma, karışık konveksiyonun başlangıcındaki ani yükselme ve sonuçta alt akış bölgesindeki osilasyonlarla karakterize edilir. Boyuna Nusselt sayısı dağılımları, boyutsuz ters Graetz sayısına karşılık olarak sunulmuştur.

Maughan ve Incropera [30,31] alttan üniform ısıtılan paralel plaka kanalında, laminar hava akışı için, karışık konveksiyon ısı transferini araştırmışlardır. $Re=125-250$ ve 500 , $Gr^*=7 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$ ve $\theta=0-30^\circ$ için enine ve uzunluğuna sıcaklık dağılımları ölçülerek, lokal Nusselt sayısı dağılımı ve yüzey ısı akısı incelenmiştir. Nusselt sayısının hesaplanmasından önce radyasyon ve yalıtım kayıpları hesaplanarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Boyuna Nusselt sayısı dağılımı başlangıçta giriş bölgesinde aniden düşmüştür, bu durum sayısal sonuçlarla uyum içindedir. Isıtıcı plakadaki aksel iletim ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu çalışmada dikkate alınmıştır. Kaldırma kuvvetli ikincil akışın başlaması nedeniyle Nusselt sayısının, zorlanmış konveksiyon sınırının üzerine çıktığı gözlenmiştir. Dengesizliğin başlangıcı, Grashof sayısının artışı

ile artar ve artan kanal eğim açısı ile üst akış bölgesine doğru yaklaşır. Eğimli durumda, ikincil akış gözlenmeden önce ısı transferinin artışı belirlenmiştir. Buna karşılık Reynolds sayısının artışı ile dengesizlik başlangıcının geciktiği gözlenmiştir.

Hwang ve Lin [32], Yatay dikdörtgen kanallarda karışık konveksiyonun ısı karakteristiklerini ve vorteks akışı üç boyutlu ve kararsız rejimde (zamana bağlı) sayısal olarak incelemiştir. $Pr=0.71$ ve $Re=200-1000$ için, Grashof ve Reynolds sayısının etkisi incelenmiştir. Dikdörtgen kesitli kanalda vorteks akışın yapısındaki değişiklik araştırılmıştır. Bunun yanı sıra kanal eğim açısının da önemi ortaya konmuştur. Ayrıca, karışık konveksiyondaki vorteks akışın gelişiminin önemine dikkat çekilerek , pratikte değişik uygulamaları olduğunu belirtmişlerdir.

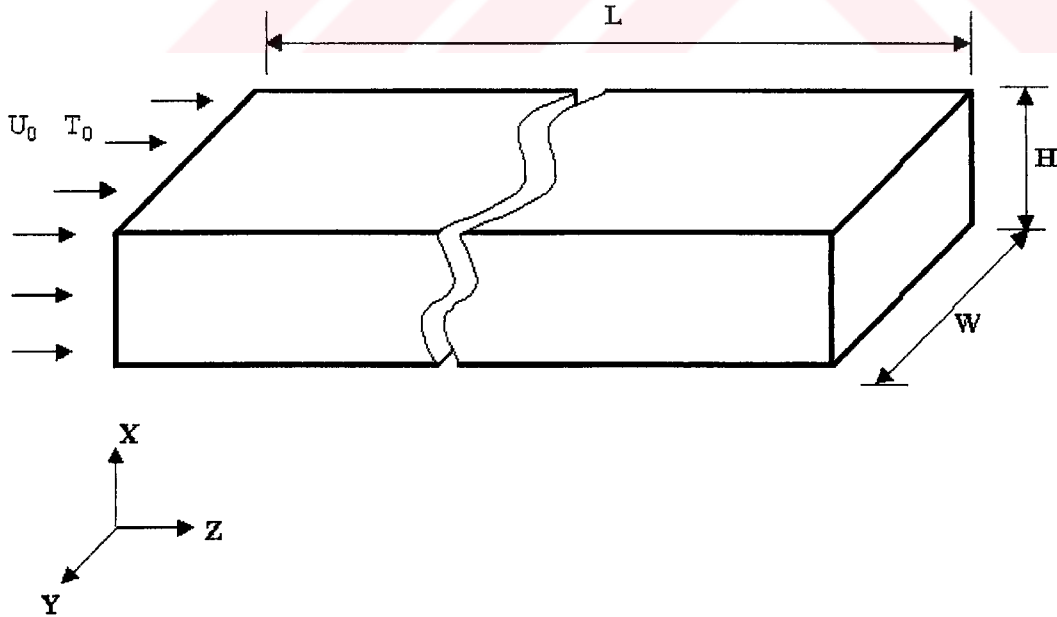
Bu çalışmada yatay dikdörtgen kesitli bir kanalda karışık konveksiyon problemi; önce akışkan özellikleri sabit alınarak, sonra sıcaklığa bağlı akışkan özellikleri değişken alınarak sayısal olarak incelenecek ve her iki yaklaşımla yapılan çözümler karşılaştırılıp akışkan özelliklerinin değişken alınmasının sonuca ne kadar etki ettiği incelenecektir.

2. PROBLEMİN TEORİSİ

Bu bölümde problemin tanıtımı, geometrisi, problem çözülürken yapılan varsayımlar, kullanılan koordinat sistemi, temel denklemler ve akışkan özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Problemin daha iyi anlaşılabilmesi için yukarıda adı geçen konular alt başlıklar halinde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.1. Problemin Tanıtımı ve Kullanılan Koordinat Sistemi

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli yatay bir kanal içindeki Laminar akışta karışık konveksiyon ile ısı transferi incelenmiştir. Kanalın yan ve üst levhaları yalıtılmış kabul edilmekte ve kanal içinden geçen havaya, alt levhadan sabit ısı akısı ile ısı transferi olmaktadır. Ayrıca akış yönü olarak z eksenini seçilmiştir. Şekil 2.1.



Şekil 2.1 Dikdörtgen kesitli kanaldaki akış yönü ve koordinat sistemi

2.1.1. Varsayımlar

Levhalarından çevreye radyasyon ile ısı transferi hesaba katılmayıp, levhalar ile akışkan arasında sadece karışık konveksiyon ile ısı transferi incelenecektir. Üst ve yan levhaların yalıtılmış olduğu ve alt levhaya sabit ısı akısı uygulandığı kabul edilmiştir. Temel denklemlerden enerji denkleminde viskoz yayılım ihmal edilmiştir. Akışkan özelliklerinden özgül ısı, sıcaklığa bağlı değişimi çok az olduğundan sabit alınmıştır. Akışkanın fiziksel özellikleri olan ısı yayılım katsayısı, kinematik viskozite ve akışkan yoğunluğu, akışkanın referans (T_0) sıcaklığında alınmıştır. Ayrıca akışkanın kinematik viskozitesi (ν) ve yoğunluğu (ρ) sıcaklığa bağlı olarak değişken alınmıştır.

2.2. Matematiksel Model

Problemin çözümü için öncelikle fiziksel olayın matematiksel denklemler halinde ifade edilerek, bu denklemlerin uygun sınır şartları ile çözülmesi gerekir. Probleme hangi boyutsuz parametrelerin etki ettiğini görebilmek için temel denklemler boyutsuz hale getirilmiştir. Kullanılan bilgisayar programı temel denklemleri boyutlu çözdüğünden problem boyutlu halde çözülmüştür.

2.2.1. Temel denklemler

Üç boyutlu karışık konveksiyon ile ısı transferi ve akışkan hareketi, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ile ifade edilebilir (Incropera and DeWitt) [1]. Bu denklemler birbirlerine bağlı lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler olduklarından beraber çözülmeleri gerekir. Temel denklemler önce sıcaklığa bağlı değişken akışkan özellikleri için, daha sonra akışkan özellikleri sabit kabul edilerek (Boussinesq yaklaşımı) iki ayrı durum için ifade edilmiştir.

2.2.1.1 Süreklilik denklemi

Süreklilik denklemi vektörel formda aşağıdaki genel şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.1)$$

Bu denklem sürekli şartlar için

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.2)$$

formunda yazılabilir. Bu denklemde kullanılan $\vec{\nabla}$ ve $\vec{V}$, vektörel büyüklükler olup, gradyan ve hız vektörlerini temsil ederler. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde $\vec{\nabla}$ ve $\vec{V}$ şu şekilde ifade edilir.

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (2.3)$$

$$\vec{V} = u \vec{i} + v \vec{j} + w \vec{k} \quad (2.4)$$

Sonuç olarak süreklilik denklemi açık formda

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır. Burada sırasıyla u, x yönündeki hızı; v, y yönündeki hızı; w, z yönündeki hızı temsil etmektedir.

2.2.1.2 Momentum denklemleri

x, y ve z -yönleri için momentum denklemleri sıcaklığa bağlı akışkan özellikleri değişken kabul edilerek aşağıdaki gibi ifade edilir.

x-yönündeki momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \rho_o \frac{Du}{Dt} = & -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] - g(\rho - \rho_o) \end{aligned} \quad (2.6)$$

y-yönündeki momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \rho_o \frac{Dv}{Dt} = & -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{V} \right) \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.7)$$

z-yönündeki momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \rho_o \frac{Dw}{Dt} = & -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{V} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

Eş. 2.6, 2.7, 2.8 akışkan özellikleri değişken alınarak yazılmıştır. Probleme hangi boyutsuz parametrelerin etki ettiğini belirlemek için bu denklemlerin boyutsuz hale getirilmesi gerekmektedir. Ancak yukarıdaki denklemlerin

boyutsuz hale getirilmesi karmaşık olduğundan, bu denklemler Boussinesq yaklaşımı ile tekrar yazıldıktan sonra boyutsuz hale getirilecektir.

$$\rho_o \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - g\beta\rho_o(T - T_o) \quad (2.9)$$

y-yönündeki momentum denklemi;

$$\rho_o \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (2.10)$$

z-yönündeki momentum denklemi;

$$\rho_o \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (2.11)$$

Bu denklemlerdeki $\frac{D}{Dt}$ operatörü “malzeme türevi” operatörü veya akışkanın

hareketini takip eden türev olarak adlandırılır ve

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.12)$$

şeklinde tanımlanır. Problemin çözümünde sürekli şartlar varsayımı yapıldığı için Eş. 2.12 ; sadeleşerek aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{D}{Dt} = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.13)$$

Eş.2.9’ daki $g\beta\rho_o(T - T_o)$ ifadesi yoğunluk değişiminden dolayı oluşan

kaldırma kuvvetini temsil etmektedir. Burada β ısı genleşme katsayısı olup Eş.2.14' deki gibi tanımlanmıştır

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial \rho}{\partial T} \right]_p \quad (2.14)$$

Hava ideal gaz olarak kabul edilirse; İdeal gaz denklemi Eş. 2.15' deki gibi ifade edilir.

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.15)$$

Eş. 2.15' de yoğunluğun sıcaklığa göre türevi alınır Eş. 2.16 elde edilir.

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = -\frac{P}{RT^2} \quad (2.16)$$

Eş. 2.15 ve Eş. 2.16; Eş. 2.14' de yerine konulur ve düzenlenirse Eş. 2.17 elde edilir.

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (2.17)$$

2.2.1.3. Enerji denklemi

Enerji denkleminin genel ifadesi;

$$\rho_o C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \left(\vec{V} \cdot \vec{V} \right)_T \right] = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) \quad (2.18)$$

şeklindedir. Sürekli şartlarda yukarıdaki varsayımlar dikkate alınırsa enerji denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\rho_o C_p \left[u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (2.19)$$

2.2.2. Giriş ve Sınır şartları

Temel denklemler olan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerindeki basınç, hız ve sıcaklık değişkenleri ancak uygun sınır şartları ile çözülebilir.

2.2.2.1. Giriş sınır şartı

Girişte yani $z=0$ ' da havanın U_0 hızı, T_0 sıcaklığı ve P_0 basıncında kanalın içine girdiği kabul edilmiştir.

2.2.2.2. Alt levha için sınır şartları

Alt levhada yani $x=0$ ' da $u=v=w=0$, $-k \frac{\partial T}{\partial x} = q''$ sabit ısı akısı uygulandığı kabul edilmiştir.

2.2.2.3. Üst levha için sınır şartları

Benzer şekilde üst levhada $x=H$ ' da $u=v=w=0$, $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ olduğu yani üst levhanın yalıtıldığı kabul edilmiştir.

2.2.2.4. Çıkış sınır şartları

Akışkanın kanalın içinden sabit hız ve sıcaklıkta yani $z=L$ ’ de

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{olduğu kabul edilmiştir.}$$

2.2.2.5. Yan levhalar için sınır şartları

Yan levhalarda yani $y=0$ ve $y=w$ ’ de

$$u=v=w=0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{olduğu yani her iki yan levhanın yalıtıldığı kabul edilmiştir.}$$

2.2.3. Akışkan özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimleri

Değişken özellik problemine ait sonuçları sunmadan önce havanın sıcaklığa bağlı özelliklerinin tanımlanması gereklidir. 0°C ’den 100°C ’ ye sıcaklık farkında normal atmosferik basınç için havanın yoğunluğu %36 düşer, dinamik viskozite ve ısı iletkenliği %26 artar, sabit basınçtaki özgül ısısının değişimi ise %1’ den azdır (Nesreddine and Galanis, Nguyen) [2].

Sonuç olarak akışkan özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

2.2.3.1. Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimi

Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimini hesaplamak için ideal gaz denkleminde faydalanılmıştır.

$$P \frac{1}{\rho} = R \cdot T \quad (2.20)$$

Eş. 2.20' den yoğunluk çekilirse

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.21)$$

Eş. 2.21' deki sıcaklığın birimi Kelvin olmasına rağmen kullanılan bilgisayar programı sıcaklığı santigrat derece cinsinden hesaplamaktadır. Bu nedenle Eş. 2.21 tekrar düzenlenerek aşağıdaki haliyle kullanılmıştır.

$$\rho = \frac{P}{R(T + 273)} \quad (2.22)$$

2.2.3.2 Kinematik viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi

$$\nu(T) = 9 \cdot 10^{-11} \cdot T^2 + 886 \cdot 10^{-10} \cdot T + 13.287 \cdot 10^{-6} \quad (2.23)$$

Kinematik viskozite sıcaklığa bağlı ikinci dereceden bir polinom şeklinde ifade edilmiştir. Eş. 2.23 'de sıcaklığın birimi santigrat derecedir.

2.2.4. Denklemlerin boyutsal analizi

Temel denklemler olan (Eş.2.5, Eş.2.9, Eş.2.10, Eş.2.11 ve Eş.2.19) süreklilik momentum ve enerji denklemleri boyutsuz hale getirilerek problemin çözümüne etki eden parametrelerin saptanması amaçlanmıştır. Burada değişkenler için referans değerler belirlendikten sonra denklemler boyutsuz hale getirilmiştir.

Aşağıdaki boyutsuz değişkenler kullanılarak denklemler boyutsuz hale getirilmiştir.

$$x^* = \frac{x}{H}, \quad y^* = \frac{y}{H}, \quad z^* = \frac{z}{H}, \quad u^* = \frac{u}{U_0}, \quad v^* = \frac{v}{U_0},$$

$$w^* = \frac{w}{U_0}, \quad P^* = \frac{P}{\rho U_0^2}, \quad \theta = \frac{T - T_0}{\frac{q'' L}{k}},$$

2.2.4.1. Boyutsuz süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = 0 \quad (2.24)$$

2.2.4.2. Boyutsuz momentum denklemleri

x-yönündeki boyutsuz momentum denklemi

$$u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial u^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left[\nabla^{*2} \cdot u^* \right] + \frac{Gr}{Re^2} \theta \quad (2.25)$$

y-yönündeki boyutsuz momentum denklemi

$$u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial v^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{1}{Re} \left[\nabla^{*2} \cdot v^* \right] \quad (2.26)$$

z-yönündeki boyutsuz momentum denklemi

$$u^* \frac{\partial w^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial w^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial z^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\nabla^{*2} \cdot w^* \right] \quad (2.27)$$

2.2.4.3. Boyutsuz enerji denklemi

$$u^* \frac{\partial \theta}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial \theta}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial \theta}{\partial z^*} = \frac{1}{\text{Re Pr}} \left[\nabla^{*2} \cdot T \right] \quad (2.28)$$

Eş. 2.25, 2.26, 2.27 ve Eş. 2.28' de kullanılan ∇^* terimi boyutsuz Laplace operatörü olup, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\nabla^* = \frac{\partial^*}{\partial x^*} + \frac{\partial^*}{\partial y^*} + \frac{\partial^*}{\partial z^*} \quad (2.29)$$

Temel denklemler boyutsuz hale getirildikten sonra, problemin fiziğini etkileyen boyutsuz parametrelerin Re, Gr ve Pr parametrelerinin olduğu açıkça görülmektedir.

3. SAYISAL ÇÖZÜM METODU

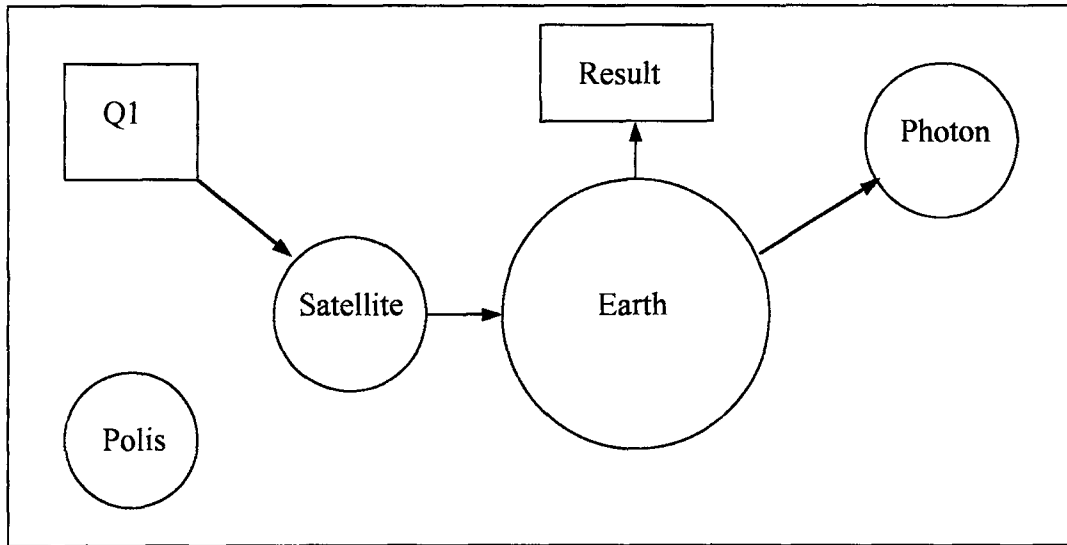
Problemi ifade eden boyutlu haldeki temel denklemler (Eş.2.5, Eş.2.6, Eş.2.7, 2.8 ve Eş.2.16.) PHOENICS 1.5 Shareware sayısal akışkanlar dinamiği (SAD) bilgisayar programı kullanılarak çözülmüştür.

3.1. PHOENICS' in Genel Tanıtımı

PHOENICS akışkan akışı, ısı transferi, kimyasal reaksiyon ve ilgili olayları simüle eden bir bilgisayar programıdır.

3.2. PHOENICS İşletim Sistemi

PHOENICS iki ana bilgisayar kodu ve iki yardımcı koddan oluşur. Ana kodlardan birisi ön işlemci olan SATELLITE, diğeri ana işlemci olan EARTH 'dür (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 PHOENICS İşletim sistemi ve şeması

Kullanıcı tarafından problemle ilgili bilgi ve talimatlar Q1 adı verilen bir dosyaya girilir. Satellite Q1 dosyasındaki verileri Earth' ün anlayabileceği bir forma çevirir. Earth Satellite tarafından sağlanan veri dosyasını okuyarak problemi çözer ve RESULT adı verilen çıkış dosyasını hazırlar.

3.2.1. PHOENICS' in kullandığı değişkenler

PHOENICS herhangi bir akış veya ısı transferi problemini çözerken değişkenleri üç kısımda sınıflandırmaktadır.

3.2.1.1. Bağımlı değişkenler

Basınç, hız , sıcaklık, entalpi , kinetik ve potansiyel enerjiler bağımlı değişkenler olarak tanımlanmaktadır. Earth bir problemde 50 bağımlı değişkeni çözebilmektedir.

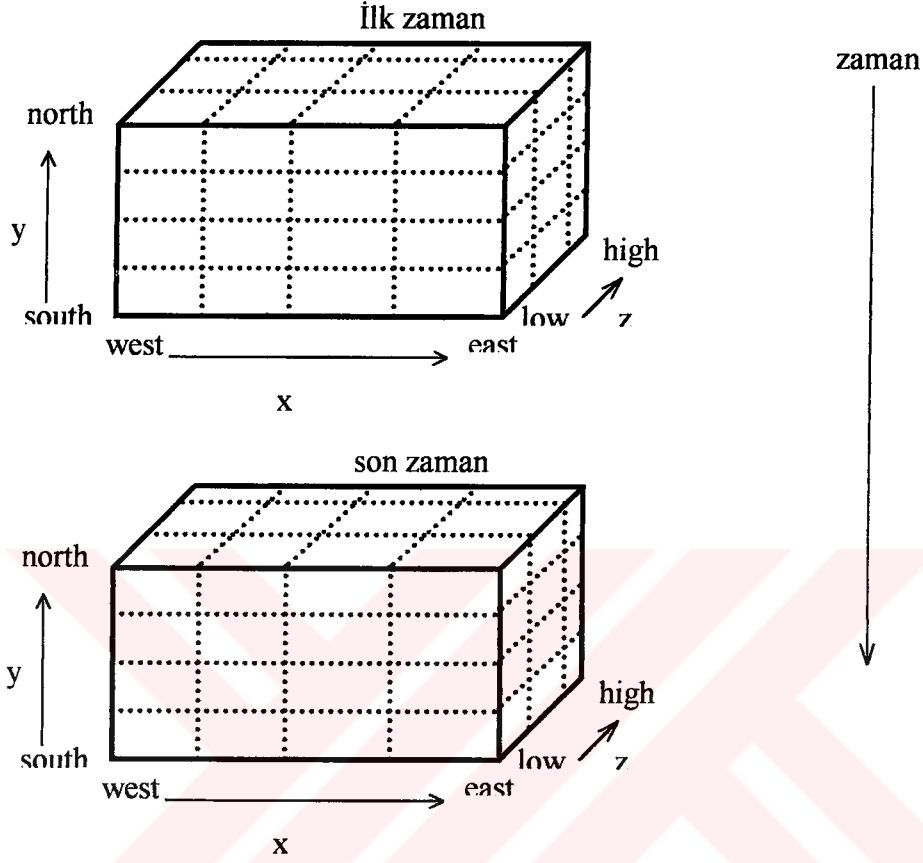
<u>İsim</u>	<u>Değişken</u>
P1	Fazların toplam basıncı
U1	Birinci fazın x- yönündeki hız bileşeni
U2	İkinci fazın x- yönündeki hız bileşeni
V1	Birinci fazın y- yönündeki hız bileşeni
V2	İkinci fazın y -yönündeki hız bileşeni
W1	Birinci fazın z- yönündeki hız bileşeni
W2	Birinci fazın z- yönündeki hız bileşeni
R1	Birinci fazın hacimsel kesri
R2	İkinci fazın hacimsel kesri
KE	Toplam kinetik enerji üretimi
EP	Toplam potansiyel enerji üretimi
H1	Birinci fazın özgül entalpisi

H2	İkinci fazın özgül entalpisi
C1	Birinci fazın konsantrasyon değişkeni
C2	İkinci fazın konsantrasyon değişkeni
C3	Birinci fazın diğer konsantrasyon değişkeni
C4	İkinci fazın diğer konsantrasyon değişkeni
.	.
.	.
.	.
C35	Birinci fazın diğer konsantrasyon değişkeni

3.2.1.2. Bağımsız değişkenler

Genel olarak bir fiziksel olay PHOENICS tarafından dört boyutlu olarak simüle edilir. Bunlardan biri zaman ve diğer üçü de uzaysal boyutlardır. Uzaysal boyutlar; Şekil 3.2' de görülebileceği gibi north-south, east-west ve high-low referansları göz önüne alınarak işlemlerde kullanılırlar.

t	ilk ve son zaman aralığındaki süre
x	batı ile doğu arasındaki mesafe
y	güney ile doğu arasındaki mesafe
z	düşük ile yüksek arasındaki mesafe



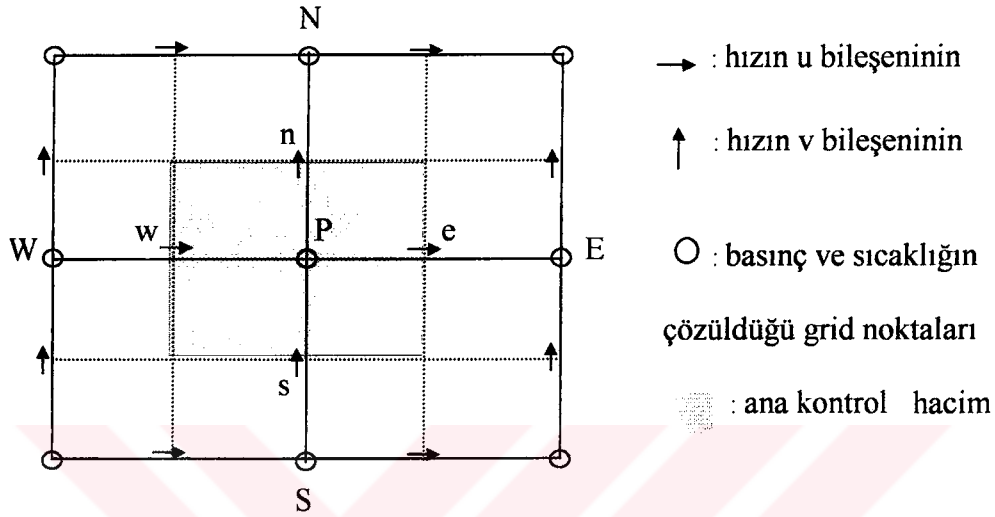
Şekil 3.2. Hücre ağı sistemi ve PHOENICS' in kullandığı boyutsal parametreler

PHOENICS çıktısındaki x, y, z koordinatlarındaki değerler hücre merkezlerindeki değerlerdir ve bu bağımlı değişkenlerin değerleri üç uzaysal koordinat için IX, IY, IZ ile tanımlanır. Zaman için ISTEP kullanılır. Sürekli şartlarda ISTEP 1 değerini alır.

3.2.2. Denklemlerin cebirsel hale getirilmesi

Sıcaklık, basınç, yoğunluk ve viskozite gibi skalar değişkenler hücre merkezlerinde hesaplanırken, hızlar hücre duvarlarında hesaplanır. Skalar

değişkenler P, W, E, S, N' de hesaplanırlar. Hızlar ise w, e, s, n noktalarında hesaplanırlar.



Şekil 3.3. Ağ sisteminde ana kontrol hacim ve komşu hücreler.

3.3. Denklemlerin Çözümü

Genel olarak bilgisayarlar diferansiyel denklem çözemezler. Ancak PHOENICS diskritize edilmiş denklemleri çözmektedir. Diskritize edilmiş denklemlerin genel formu Eş. 3.1' deki gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_i \rho_i \phi_i) + \text{div}(r_i \rho_i \vec{v} \phi_i - r_i \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = r_i S_i \quad (3.1)$$

zamana bağlı	konveksiyon	difüzyon	kaynak
terim	terimi	terimi	terimi

Yukarıdaki eşitlikte

t zaman

r_i i fazının hacimsel oranı

ρ_i i fazının yoğunluğu

ϕ_i i fazının entalpi, birim kütle başına momentum, vb özelliği

$\mathbf{v}_i$ i fazının hız vektörü

$\Gamma_{\phi i}$ i fazındaki ϕ ' nin değişim katsayısı

$S_{\phi i}$ ϕ_i ' nin kaynak oranı

i fazı için süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{r}_i \rho_i) + \text{div}(\mathbf{r}_i \rho_i \vec{\mathbf{v}}) = \mathbf{r}_i S_{\phi i} \quad (3.2)$$

Tek fazlı problemde hacimsel kesir sadeleştiği için denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \text{div}(\rho \mathbf{v} \phi - \rho \vec{\Gamma}_{\phi} \text{grad} \phi) = S \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \text{div}(\rho \vec{\mathbf{v}}) = 0 \quad (3.4)$$

Eğer problem tek fazlı ise sonlu kütle kaynağı olamayacağından denklemin sağ tarafı sıfır olur.

3.3.1. EARTH ile sonlu hacim denklemlerinin çözümü

PHOENICS cebirsel denklemleri aşağıdaki şekilde çözer.

- Diferansiyel denklemleri sonlu hacimde ve sonlu zamanda integre ederek
- İnterpolasyon yoluyla ortalama sonuçsal hacme ve zamana yaklaşımda bulunarak

İnterpolasyon kabulünde eğer kullanıcı tarafından herhangi bir yöntem seçilmemişse program otomatik olarak “tam implicit upwind ” yöntemini otomatik olarak kullanır.

Bu yöntemde :

- Zamana bağlı terimlerde tüm akışkan özellikleri kontrol hacim içerisinde konumdan bağımsız olarak alınır ve $\partial(r_i \rho_i \phi_i)/\partial t$ terimi, $((r_i \rho_i \phi_i)_{new} - (r_i \rho_i \phi_i)_{old})/(t_{new} - t_{old})$ ifadesi ile yer değiştirir.
- Konveksiyon terimlerindeki tüm akışkan özellikleri, hücre yüzeylerinde üniformdur. Buna ilaveten zaman aralığı boyunca “yeni” değerler göz önüne alınır. Hücre yüzeyi üzerinde etkin olan değerler, en yakın noktadadır. Örneğin eğer u_{ie} , bir hücrenin doğu yüzünde depolanan i fazının x - yönündeki kararlı hızını temsil ederse ve A_e ’ de bu yüzeyin alanı ise i fazının, P hücresinin doğu yüzü üzerinde olan kütle akısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$r_{iP} \rho_{iP} u_{ie} A_e \quad u_{ie} > 0 \text{ için,} \quad (3.5)$$

$$r_{iE} \rho_{iE} u_{ie} A_e \quad u_{ie} < 0 \text{ için,} \quad (3.6)$$

- Hücrenin doğu yüzü üzerinden olan, ϕ değişkenine ait akı, kütle akısı ile ϕ ’nin upwind düğümündeki değerlerin çarpımı olarak alınır. Yani akı,

$$r_{iP} \rho_{iP} u_{ie} A_e \phi_P \quad u_{ie} > 0 \text{ için,} \quad (3.7)$$

$$r_{iE} \rho_{iE} u_{ie} A_e \phi_E \quad u_{ie} < 0 \text{ için,} \quad (3.8)$$

olur.

- Difüzyon terimlerinde madde özelliği gradyanları ve taşınım özellikleri üniform olarak hücre yüzeyinde çarpılır. Buna ilaveten yeni değerlerin, zaman aralığı boyunca etkin olduğu kabul edilir. Gradyanlarda özelliklerin doğrusal olarak değiştiği ve transport özelliklerin hücre yüzeylerinin herhangi bir tarafındaki özelliklerin aritmetik ortalaması olduğu varsayımına dayandırılmaktadır. Mesela, tek fazlı akışlarda bir hücrenin doğru yüzeyi üzerinden olan ϕ 'nin difüzyiv akısı kartezyen koordinatlarda, yukarıdaki kabuller dahilinde Eş.3.9'daki şekilde verilir.

$$A_e[(\Gamma_p + \Gamma_E)/2](\phi_E - \phi_p)/(X_E - X_p) \quad (3.9)$$

- Kaynak terimleri, düğüm değerleri tüm hücre hacmi üzerinde etkin kabul edilir ve yeni değerlerde (yani en son olanlar) tüm zaman aralığı üzerinde etkin kabul edilirler.
- Kendinden varolan, önceden tanımlanmış seçeneklerin bir çok değişik hali, mevcut olan bilgi giriş anahtarlarının düzenlenmesi ile kolayca PHOENICS kullanıcısı tarafından elde edilir. Eğer yeni değişik haller, kullanıcı tarafından ortaya konursa, kendisi bunları sağlanmış giriş kolaylıkları aracılığı ile aktif hale getirebilir. Kullanıcının seçenekleri ne olursa olsun, sonuç Eş.3.10'daki forma sahip bir denklem setine benzer,

$$\phi_p = \frac{a_E \phi_E + a_W \phi_W + a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_H \phi_H + a_L \phi_L + a_T \phi_T + S}{a_E + a_W + a_N + a_S + a_H + a_L + a_T + a_p} \quad (3.10)$$

Burada ϕ , problemdeki bağımlı değişkeni ifade eder. Alt indis, P, E, W, N, S, H ve L doğu, batı, kuzey, güney, yüksek ve düşük olmak üzere bu değişkenin hesap edildiği pozisyonları belirtir. Alt indis T ise bir önceki zamandaki değeri ifade eder.

N, S, W, H ve L alt indisi a'lı terimler, geçici olarak sabitmiş gibi, komşu hücreler arasında difüzyonu ve bulk hareketi (konveksiyon) ile etkileşimi ifade eder. a_T zamana bağlı etkiyi açıklar. Örneğin tek fazlı bir akış için, a_E katsayısı Eş. 3.11 ve Eş. 3.12'daki formdadır.

$$a_E = A_e [(\Gamma_E + \Gamma_P)/2] / (x_E - x_P) \quad u_e > 0 \text{ için} \quad (3.11)$$

$$a_E = \rho_E |u_e| A_e + A_e [(\Gamma_E + \Gamma_P)/2] / (x_E - x_P) \quad u_e < 0 \text{ için,} \quad (3.12)$$

Eş. 3.11 ifadesindeki konveksiyon teriminin olmaması upwind metodunun kuralıdır. a'lı terimler, birim zaman başına kütleli boyutlara sahiptir. Bu yüzden hücrelerin geometrik boyutları artırıldığında, fiziksel büyüklüklerin hesaplanması kolaylaşır. S ve a_P , ϕ 'nin bir kaynağa etkisini açıklar. Hücre için, kaynak teriminin ϕ eşitliğine toplam katkısı $S - a_P \phi_P$ 'dir. Bu "lineerize-kaynak formasyonu" olarak bilinir ve yakınsamanın hızlanmasına yardımcı olurken hesaplama zamanını azaltır. İnterpolasyon kabullerinin bazı seçenekleri, diğer ϕ 'li terimlerdeki konveksiyon veya difüzyon akılarını açıklar. Örneğin ϕ_{NWH} terimi, kuzey batı yüksek yerlerdeki ϕ 'yi tanımlar. Bu gibi durumlarda, tahminlerin tam olarak dahil edilmesini açıklamak için S fonksiyonu uygun şekilde düzeltilir.

3.3.2. PHOENICS' in bağımlı değişkenlerinin dağılımının hesaplanması

Bağımlı her ϕ değişkeni için, integre edilen aralıktaki hücrelerde olduğu gibi bir çok cebirsel denklemler vardır. Böylece her bağımlı değişken için, $N_X^* N_Y^* N_Z^*$ grup kadar cebirsel denklemlerin sayısı, bağımlı değişkenlerin sayısının $N_X^* N_Y^* N_Z^*$ ile çarpımı kadardır. Bu denklem grupları çift olarak çözülür. PHONICS bu denklemleri iterativ deneme yanılma yöntemi ile

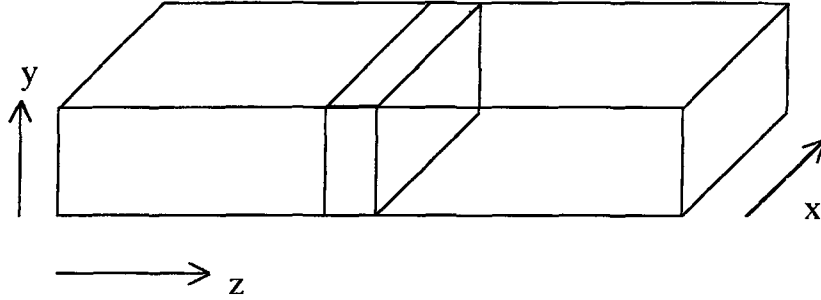
çözerken, ihmal edilebilecek kadar küçük boyutlardaki her bir denklemin sağ ve sol taraflarındaki dengesizliği azaltır.

PHOENICS tarafından hesaplanan sıcaklık, basınç ve hız değerleri, Eş. 3.10'daki gibi cebirsel denklemler grubuna anlaşılabilir geçerlilikte çözümler sunar. İterativ proses, bir çok kez tekrarlanan kanıtlanmış değerlerin çok evreli sırasını içeren karmaşık bir prosesdir. Eş. 3.10 görünüşte doğrusal olsa da, yardımcı ve bağımlı değişkenlerdeki kaynaklar ve katsayıların fonksiyonel bağımlılığı ile doğrusal değildir.

$$a_E = f_n(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n; P_1, u_1, \dots) \quad (3.13)$$

Bir iterasyonda, katsayılar ve kaynaklar geçici olarak sabit alınır. Böylece, lineer denklem çözümleri, denklem gruplarını çözmek için kullanılır. Bir sonraki iterasyonda katsayılar ve kaynaklar yardımcı ve bağımlı değişkenlerin son değerlerine uyarlanır ve doğrusal denklemler tekrar birleştirilerek çözülür. İterasyonun dikkat çeken özelliklerini belirtmek faydalıdır. Burada açıklanacak olan kavramlar “slabwise çözümler”, “whole-field çözümler” ve “parabolik” ‘dir.

Dilimler, z koordinatındaki en düşüğe kadar ki aynı değerlere sahip hücreler düzenidir. Bir çok matematiksel işlem tek bir dilim üzerine uygulanır. Yani ayarlama işlemleri PHOENICS' in dikkatini bir sonraki dilime transfer etmeden önceki bir dilimde uygulanır. Bu ayarlama işlemlerine “slabwise çözümler” denir. Şekil 3.4'de, IZ'de $NX \times NY$ hücresi görülmektedir.



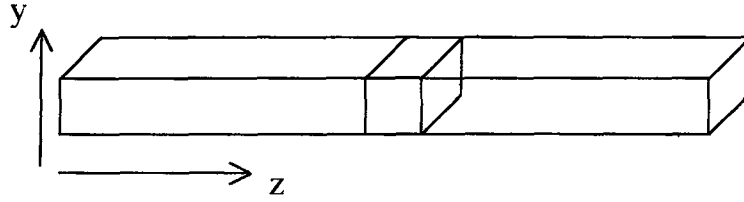
Şekil 3.4 IZ'de $NX \times NY$ dilimi.

Bu sweep, en düşük dilimden en yükseğe iletilen sırada slabwise işlemi takımıdır. Çünkü bir dilimdeki değerler, bir sonraki dilimdeki değerler için referanstır. Geçerli bir çözüm için çok sayıda sweep yapılmalıdır ve tüm denklemler kabul edilebilir mertebeye eşitleninceye kadar devam etmelidir.

Whole-field çözüm, PHOENICS tarafından uygulanan bir metottur. Denklemlerdeki dengesizliği elimine etmek için kullanılırken sweep sayısını azaltır. Fakat daha fazla bilgisayar hafızasına ihtiyaç vardır, whole-field çözüm en çok ısı iletimi, potansiyel akışkan akışı için etkilidir.

- Bir boyutlu problemler, $x(E-W)$, $y(N-S)$ veya $z(H-L)$ yönlerinde çözülebilir.
- İki boyutlu problemler, $x-y(NSEW)$, $x-z(EWHL)$ veya $y-z(NSHL)$ düzlemlerinde çözülebilir.

Birinci durumda, $x-y$ düzleminin kullanımında, sadece bir dilim vardır. Bu yüzden sweepler ve slabwise iterasyonlar aynı öneme sahiptir. Slabwise ve whole-field çözüm prosedürleri arasında fark yoktur. İkinci durumda dilimler bitişik hücreler şeklinde şeritlere indirgenir. Doğudan batıya veya kuzeyden güneye doğru yönlerle sırasıyla genişler. Şekil 3.4'de $y-z$ durumu için, sabit grid indeksi hücresi, IZ'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 IZ’de NY hücresi.

3.3.3. Geometrik faktörler

PHOENICS kartezyen, silindirik-polar ve eğrisel olmak üzere üç farklı tipte grid kullanır. Bu çalışmada kullanılan kartezyen grid sistemi, birbirine dik üç paralel düzlemin kesişmesiyle oluşan hücrelerden meydana gelir. x , y ve z üç koordinat yönüdür. Düzlemler arasındaki aralıklar, bu mesafelerin keyfi fonksiyonlarıdır.

3.3.4. Grid geometrisinin belirlenmesi

Kartezyen gridlerin geometrileri, x yönünde NX hücreye, y yönünde NY hücreye, z yönünde NZ hücreye sahip gridden oluşur. $3+NX+NY+NZ$ adet bilginin sağlanması gereklidir. Bu maddeler üç yöndeki toplam uzunluk olabilir. Büyük esnekliğe sahip eğrisel grid sisteminde, geometrinin belirlenmesi için daha fazla bilginin sağlanması gereklidir.

3.3.5. Üç çeşit grid için hız değişkenleri

PHOENICS’ in çözdüğü hız değişkenleri, her zaman seçilen çizgide hücrenin her iki yüzündeki grid noktalarında kaydedilir. Kartezyen gridler için, bu değişkenler kararlıdır. Silindirik Polar gridler için, eksenel, radyal ve kararlıdır. Eğrisel gridler için, PE, PN, PH düğüm noktalarında hız vektörleri

kararlıdır. Vektör terminolojisinde, u , v , w , birim vektör ile hız vektörünün eşit skalar ürünleridir.

3.4. PHOENICS Sınır Şartları ve Diğer Kaynaklar

Bu akış simülasyonunun hesabı, sınır şartlarının belirlenmesini içerir. Özellikle, aralığı sınırlayan yüzeylerde konvektif ve difüzyif akıların belirlenmesi gereklidir. PHOENICS bunun için esnek bir yapıya sahiptir ve nasıl çalıştığının değerlendirilmesi aşağıdaki beş noktanın anlaşılmasına bağlıdır.

- PHOENICS problemdeki kaynağın çeşidine göre bir sınır şartı değerlendirir (kütle, momentum, enerji, kimyasal tür, türbülans, enerji, vb.). Bu nedenle sınır değerlerini direk kullanamaz.
- Kaynaklar, duvarlara değil hücrenin merkezine yerleştirildiğinden sınır şartları sınırlara tam olarak yerleştirilmez. Tabiki, yakın sınır hücreleri, bölgesel değişikliklerin değişiminde önemsiz olması için yeterince küçük hazırlanır.
- PHOENICS, kaynakların özelliklerini bir “C” katsayısı ve bir “V” değeri cinsinden kabul eder. ϕ değişkeni için kaynak, C_ϕ ve V_ϕ tarafından belirlenir.

$$S = C_\phi (V_\phi - \phi_P) \quad (3.14)$$

Burada ϕ_P , P düğümündeki ϕ 'nin değeridir. Örneğin hücre içindeki ϕ 'nin değeridir.

- PHOENICS Satellite, Coval komutu aracılığı ile kullanıcı tarafından belirlenen C ve V büyüklüklerini kabul eder.
- Uygulanan sınır şartı, Patch komutu ile PHONICS tarafından kullanılır.

3.5. EARTH' ün Değerlendirmesi

Bir sınır şartının tek bir hücredeki maddenin entalpisini etkilemesi, hücredeki ilave bir termal-enerji kaynağı olarak açıklanır ve tek bir hücre için bir çok kaynak olabilir. Her biri farklı fiziksel etki gösterir. Bunun için, eğer bir çok kaynak varsa, toplamı şu şekilde ifade edilir.

$$C_1(V_1 - \phi_p) + C_2(V_2 - \phi_p) + C_3(V_3 - \phi_p) + \dots \quad (3.15)$$

Burada, C_1 ve V_1 , dahili sürünme ile ısı üretimi gibi, bir gerçek kaynağı temsil eder. C_2 ve V_2 , hücre duvarlarının ötesinde integre edilen aralığın dışında bir bölge ile hücre arasında etkileşimi temsil eder. C_3 ve V_3 diğer bir duvarın etkileşimini temsil eder. Eş. 3.14'e sağ el kuralı ile kaynak sayısı eklenip yeniden düzenlenirse, Eş. 3.16 elde edilir.

$$\phi_p = \frac{(a_E \phi_E + a_W \phi_W + \dots S + C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \dots)}{a_E + a_W + \dots a_P + C_1 + C_2 + C_3 + \dots} \quad (3.16)$$

3.5.1. Özel durumlar

Sınır şartının belirttiği ϕ_p 'nin değeri, V istenen ϕ değerine ulaşınca sabitlenmelidir. C çok büyük bir sayıya dayanarak Eş. 3.20 aşağıdaki forma kavuşur.

$$\phi_p = (\dots + VxC)/(\dots + C) \quad (3.17)$$

$$\phi_p = V \quad (3.18)$$

Çünkü, $V \times C$, numeratördeki diğer tüm terimlerden çok daha büyüktür ve C 'de paydadaki diğer tüm terimlerden büyüktür.

Genel olarak, herhangi bir sınır şartı, C ve V için sabit kabul edilmeye ihtiyaç olmadan açıklanabilir ve her bir grid düğümü için GROUND'da yeniden hesaplanabilir.

3.5.2. Kütle akış şartları

Hesaplama aralığındaki kütle akışı, PHOENICS tarafından PATCH ve COVAL komutlarıyla girilir. Dış basınç, hücre içinde bulunan basınçtan büyük olabilir. Eğer katsayı çok küçükse, dış basınç çok büyük olmak zorundadır.

Hücre içindeki basınçlarda oluşan değişimler, hücre içinde hız alanı ile küçük bir etki biçiminde ilişkilendirilmiştir. Eğer kat sayı çok büyük olursa, buna karşı değişimler etkilidir. Bu yüzden akış oranını ileride belirlemek zorlaşır. Tipik olarak, bir aralıktaki akış, düşük katsayılı basınç sınır şartı ile temsil edilir. Dışarıdaki akış bir yüksek katsayı ile temsil edilir fakat değişkenler çok sayıdadır.

Süreklilik denklemine eklenen kütle akış kaynağı Eş. 3.23'deki gibi ifade edilir:

$$C_p(V_p - P_p) \quad (3.19)$$

C_p ve P_p basıncın katsayısı ve değeridir. P noktasındaki düğümde basıncın değeri, P_p ile gösterilir.

3.5.3. ϕ için konvektif ve difüzyv kaynaklar

Bir hücreye akış aralığının dışından kütle girişi olduğunda, tüm bağımlı değişkenlerin değerleri, iç akışa aittir. Doğru etki V 'ler gibi değerlerin Coval'da tanımlanması ile gerçekleştirilir. C 'ler, Patch'de düğümlerdeki sınırlardan difüzyv akıların katsayılarını gösterir. ϕ 'nin konvektif ve difüzyv akıları Eş. 3.20 ve Eş. 3.21 ile verilmiştir.

$$C_P(V_P - P_P)(V_\phi - \phi_P) + C_\phi(V_\phi - \phi_P) \quad V_P > P_P \text{ iç akış için} \quad (3.20)$$

$$C_P(V_\phi - \phi_P) \quad V_P < P_P \text{ iç akış için} \quad (3.21)$$

3.6. Uygun Grid Sayısının Belirlenmesi

Uygun bir sayısal çözüm elde etmek için grid sayısının iyi bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.

PHOENICS; sayısal çözümün korunum denklemlerini sağlayıp sağlamadığını Result dosyasının sonunda göstermektedir. Programın bu özelliğinden faydalanarak en uygun grid sayısı bulunabilir.

$NX=10$, $NY=10$, $NZ=20$ alınarak program çalıştırılmış, giren ve çıkan enerjilerin toplamının -0.202 olduğu görülmüştür. $NX=15$, $NY=15$, $NZ=30$ alındığında enerji toplamının -0.112 olduğu, $NX=15$, $NY=15$, $NZ=40$ alındığında bu toplamın 0.018 olduğu görülmüştür. Buna benzer denemelerden sonra $NX=20$, $NY=20$, $NZ=50$ alındığında bu toplamın 0.015 olduğu, $NX=20$, $NY=20$, $NZ=100$ alındığında ise sonucun pek fazla değişmediği görülmüştür. Bu nedenle problemin çözümünde $NX=20$, $NY=20$, $NZ=50$ alınmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırma olanağı verebilecek şekilde şekil (L/H) oranı, Gr ve Re sayısı gibi boyutsuz parametreler seçilmiş ve elde edilen nümerik çözümler literatürdeki nümerik ve deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. (Bkz. Bölüm 4.1.1) Bu karşılaştırma sonucunda simülasyonda kullanılan programın yeterli doğrulukta çalıştığına karar verilmiştir.

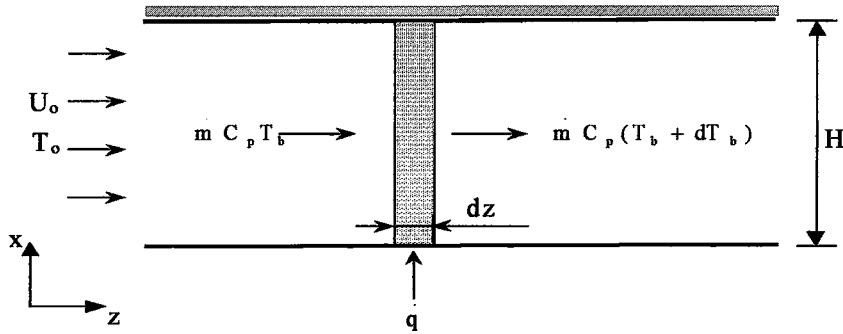
İkinci aşamada şekil oranı (L/H) = 33, Re sayısı 250, Gr*=5x10⁶, 2x10⁶ ve 1x10⁶ ve alt levhaya uygulanan ısı akısı q=27, 52 ve 130 W/m² alınarak sabit akışkan özellikleri için nümerik çözümler elde edilmiş (Bkz. Bölüm 4.2.1) ve bu çözümler aynı boyutsuz parametreler kullanılarak sıcaklığa bağlı değişken akışkan özellikleri için elde edilen çözümlerle (Bkz. Bölüm 4.2.2) karşılaştırılmıştır.

Levhalar arasındaki akışta ısı transferi incelenirken hız vektörleri ve sıcaklık konturları çizilmiştir (Bkz. Bölüm 4.2.2). Bu çizimler, akışın Fiziğini açıklamakta kullanılmıştır.

Levhalar arasındaki akışta yerel ısı transfer katsayısı Eş.4.1' deki gibi tanımlanmıştır.

$$h_x = \frac{q}{A(T_s - T_b)} \quad (4.1)$$

Eş.4.1' de bulunan T_b akışkanın ortalama karışım sıcaklığı (bulk sıcaklığı), T_s ise akışkanın levhaya temas eden yüzeyindeki sıcaklık olup aşağıdaki gibi hesaplanmışlardır.



Şekil 4.1 Akışkanın ortalama karışım sıcaklığının hesaplanması.

Şekil 4.1’ de görülen kontrol hacmi kullanılarak,

$$q \cdot dz \cdot W + m \cdot C_p dT_b = m \cdot C_p \cdot (T_b + dT_b) \quad (4.2)$$

gerekli sadeleştirmeler yapılırsa Eş.4.2 aşağıdaki hale gelir.

$$q \cdot dz \cdot W = m \cdot C_p \cdot dT_b \quad (4.3)$$

Eş.4.3’ deki m kütleli debi olup aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\dot{m} = \rho_o \cdot U_o \cdot H \cdot W \quad (4.4)$$

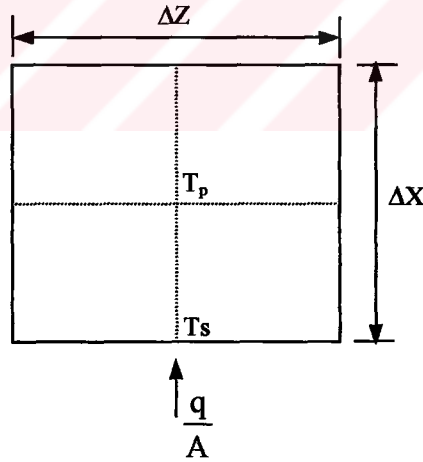
Eş.4.4’ deki W terimi kanalın y yönündeki boyutu olup kanal genişliğini ifade etmektedir. Eş.4.4; Eş. 4.3’ de yerine konulup düzenlenirse aşağıdaki ifade elde edilir.

$$dT_b = \frac{\dot{q} \cdot dz}{\rho_0 \cdot U_0 \cdot C_p \cdot H} \quad (4.5)$$

Yukarıda elde edilen ifadenin integrali alınıp başlangıç şartı uygulanırsa ortalama karışım sıcaklığı için aşağıdaki ifade elde edilir.

$$T_b = \frac{\dot{q} \cdot z}{\rho_0 \cdot U_0 \cdot C_p \cdot H} + T_0 \quad (4.6)$$

PHOENICS paket programı (Bkz. Bölüm 3.) kullanılarak elde edilen sıcaklık dağılımlarına göre alt levhaya en yakın noktadaki sıcaklık değeri T_p , levhanın yüzey sıcaklığı T_s ile tam olarak aynı olmadığından, T_s değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 Bir kontrol hacminde akışkanın levha ile temas noktasındaki sıcaklığının hesaplanması.

Isı iletim kanunundan faydalanarak ;

$$\frac{q}{A} \cong k \cdot \frac{(T_s - T_p)}{\frac{\Delta X}{2}} \quad (4.7)$$

ifadesi yazılabilir. Bu ifadeden T_s çekilirse ,

$$T_s = \frac{q \cdot \Delta X / 2}{k \cdot A} + T_p \quad (4.8)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitlik akışkanın levha ile temas halinde bulunan noktasındaki sıcaklığı vermektedir. Yukarıdaki eşitlikte bulunan ΔX terimi kontrol hacmin x yönündeki boyutu olup, x yönündeki toplam uzunluğun (H) aynı yöndeki grid noktası sayısına (NX) bölünmesiyle hesaplanır. Dolayısıyla Eş.4.8 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_s = \frac{q \cdot \left(\frac{H}{NX} \right) / 2}{k \cdot A} + T_p \quad (4.9)$$

Yerel Nusselt sayısı Eş.4.10'daki gibi tanımlanmıştır.

$$Nu_x = \frac{q \cdot D_h}{(T_s - T_b) \cdot k} \quad (4.10)$$

Eş.4.10' da kullanılan D_h ise hidrolik çap olup aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \quad (4.11)$$

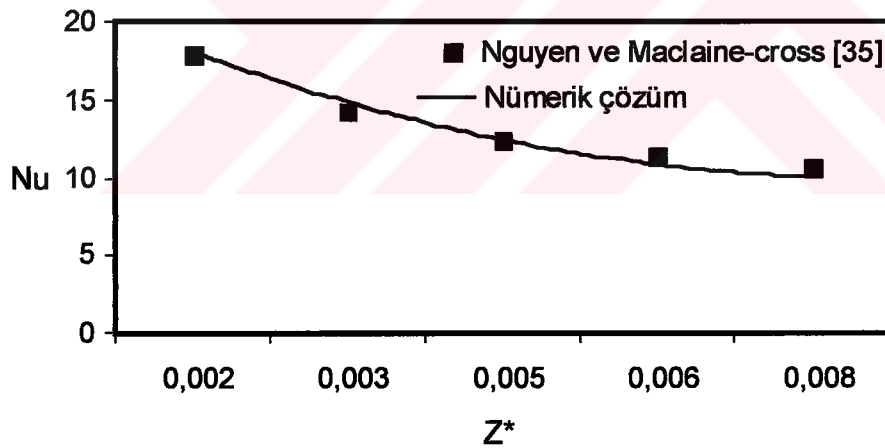
yukarıdaki eşitlikte A akışın kesit alanını, P ise ıslak çeperi ifade etmektedir.

4.1. Literatürdeki Nümerik ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırma

Bilgisayar programı için hazırlanan q1 giriş dosyasının ve yapılan hesaplamaların doğruluğundan emin olmak için literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırma gereği duyulmuştur. Yapılan karşılaştırma sonucu programın ve hesaplamaların hatasız çalıştığı anlaşılmıştır.

4.1.1. Literatürdeki nümerik sonuçlarla karşılaştırma

Nguyen ve Maclaine-cros [35]' un yatay paralel, sabit sıcaklıktaki levhalar arasında hava için fiziksel özellikleri sabit kabul ederek (Sabit özellikler yaklaşımı), zorlanmış konveksiyon için yaptıkları nümerik çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 4.3'te verilmiştir.

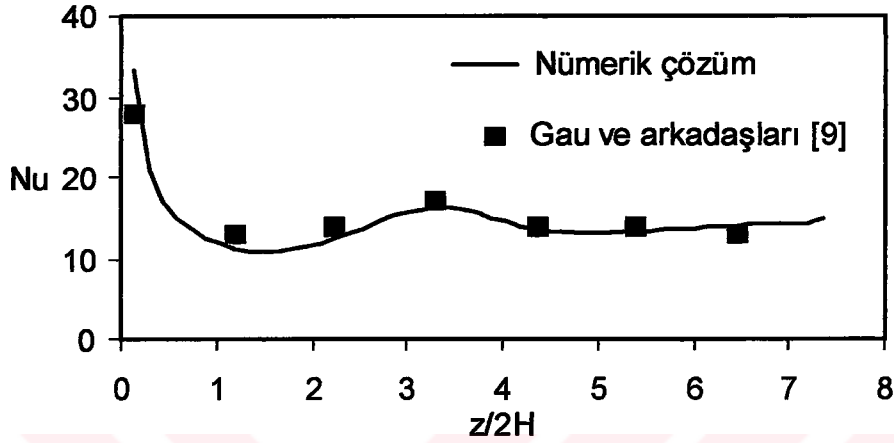


Şekil 4.3 Literatürde $Re=2000$, $(Gr/Re^2)=10^{-4}$ için elde edilen sonuçların bu çalışmada aynı şartlarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması.

4.1.2. Deneysel sonuçlarla karşılaştırma

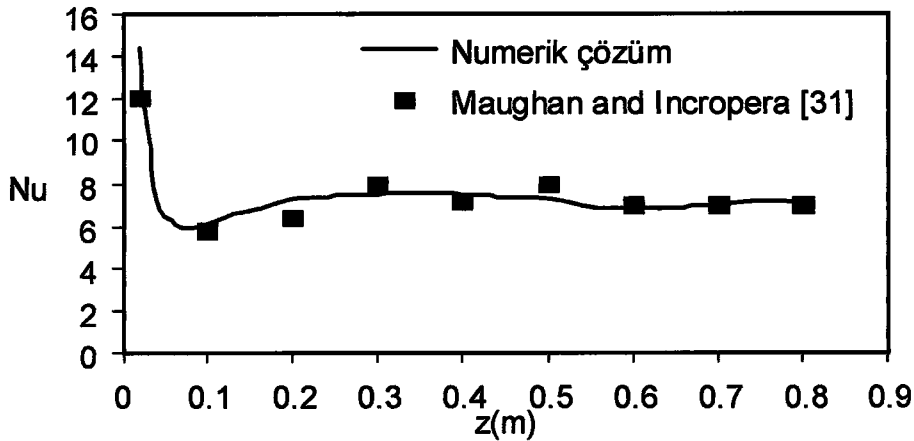
Gau, Liu, Huang ve Aung [9] ' un yatay dikdörtgen kesitli kanalda ($H=0.03$ m, $W=0.2$ m ve $L=0.45$ m), hava kullanarak karışık konveksiyon problemini

deneysel olarak incelemişler. Onların bu çalışmalarının sonuçları ile aynı parametreler kullanılarak değişken akışkan özellikleri için elde edilen sayısal çalışmanın sonuçları Şekil 4.4'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4 $Re=500$ ve $Gr^*= 1.0E+7$ parametreleri kullanılarak elde edilen nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

Maughan ve Incropera [31]'nin yatay dikdörtgen kesitli kanalda ($H=0.03$ m, $W=0.308$ m ve $L=1$ m) hava için yaptıkları deneysel çalışmanın sonuçları ile aynı parametreler kullanılarak, değişken akışkan özellikleri için elde edilen sayısal çalışmanın sonuçları Şekil 4.5'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.5 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ parametreleri kullanılarak elde edilen nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

Literatürdeki nümerik ve deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırma sonucunda kullanılacak olan bilgisayar programının yeterli doğrulukta sonuçlar vereceği kabul edilmiştir.

4.2. Akışkan Özellikleri Sabit ve Değişken Alınarak Yapılan Çözümler

Çözümlerde kanalın boyu $L=1$ m, kanal yüksekliği ve genişliği sırasıyla $H=0.03$ m, $W=0.15$ m alınmıştır. Ayrıca Reynolds sayısı 250, $Gr^* 1 \times 10^6 - 5 \times 10^6$ aralığında, havanın giriş sıcaklığı $T_0=20$ °C alınmıştır. Önce akışkanın tüm fiziksel özellikleri sabit alınarak çözümler yapılmıştır. İkinci aşamada viskozite; sıcaklığa bağlı değişken, yoğunluk sabit alınmış, üçüncü aşamada yoğunluk değişken viskozite sabit alınarak çözümler yapılmıştır. Son aşamada ise yoğunluk ve viskozitenin değişken olmaları durumunda çözümler yapılmıştır.

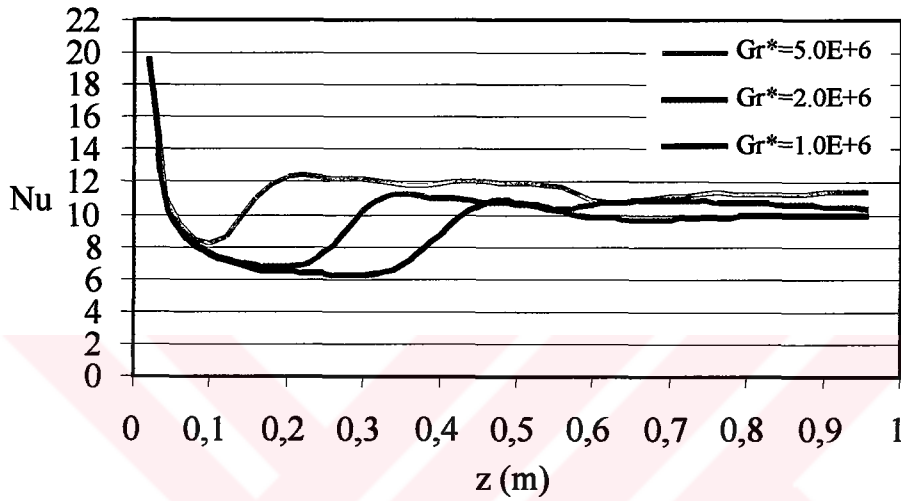
Yukarıda bahsedilen yöntemlerle elde edilen çözümlerin Nusselt sayılarının dağılımları karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Akışkan özellikleri sabit alınarak yapılan çözümler

Öncelikle akışkanın tüm özellikleri sabit alınarak $Re=250$ ve $Gr^*=1 \times 10^6$, 2×10^6 ve 5×10^6 için yerel Nusselt sayıları hesaplanmıştır.

Aşağıda hesaplanan Nusselt sayıları Sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Sabit özellikler yaklaşımında akışkanın tüm özellikleri sabit alınmakta, ancak yoğunluk; süreklilik denkleminde sabit alınırken, x yönündeki momentum denkleminde bulunan Buoyancy teriminde sıcaklığa bağlı olarak değişken alınmıştır.

Şekil 4.6' dan görülebileceği gibi yüksek Gr^* sayılarında Nusselt sayıları daha büyük olmaktadır. Buna neden olarak yüksek Grashof sayısına bağlı olarak kaldırma kuvvetinin artması ve bunun da akışkanın hızına doğru orantılı olarak etki etmesidir.

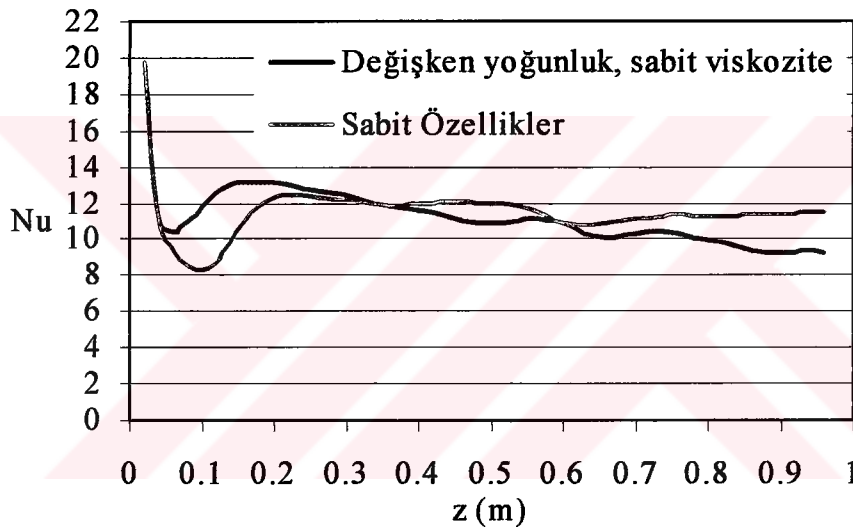


Şekil 4.6 $Re=250$ ve değişik Gr^* sayıları için sabit özellikler yaklaşımıyla elde edilen Nusselt sayılarının dağılımı.

4.2.2. Akışkan özellikleri değişken alınarak yapılan çözüm

Bu kısımda problem üç aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada akışkanın viskozitesi sabit, yoğunluğu sıcaklığa bağlı değişken alınarak çözümler elde edilmiştir. İkinci aşamada akışkanın viskozitesi sıcaklığa bağlı değişken, yoğunluğu sabit alınarak çözümler elde edilmiştir. Son aşamada ise akışkanın hem viskozitesi hem de yoğunluğu sıcaklığa bağlı değişken alınarak çözümler elde edilmiştir. Elde edilen bu çözümler, Sabit özellikler yaklaşımıyla elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Bu şekilde akışkan özelliklerinin her birinin ayrı ayrı ve birlikte sıcaklığa bağlı değişimlerinin sonuca etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

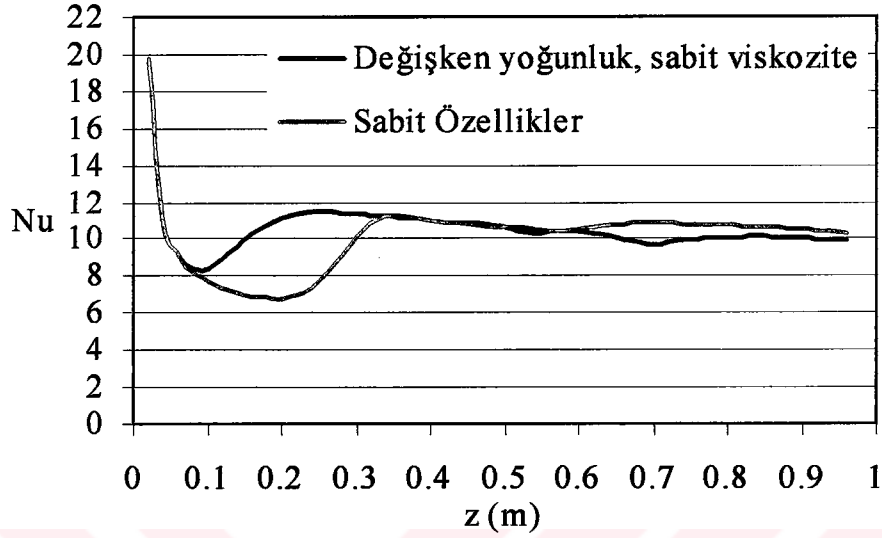
Şekil 4.7' de $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için akışkanın yoğunluğu sıcaklığa bağlı değişken, viskozitesi ise sabit alınarak sayısal çözüm elde edilmiştir. Bu çözümden elde edilen Nusselt dağılımı akışkanın tüm özellikleri sabit kabul edilerek elde edilen Nusselt dağılımıyla karşılaştırılmış ve yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişken alınmasının Nusselt dağılımının sabit özellikler kullanılarak hesaplanan Nusselt dağılımından daha küçük hesaplanmasına neden olmaktadır. Yani sabit özellikler yaklaşımı Nusselt dağılımını daha büyük hesaplamaktadır.



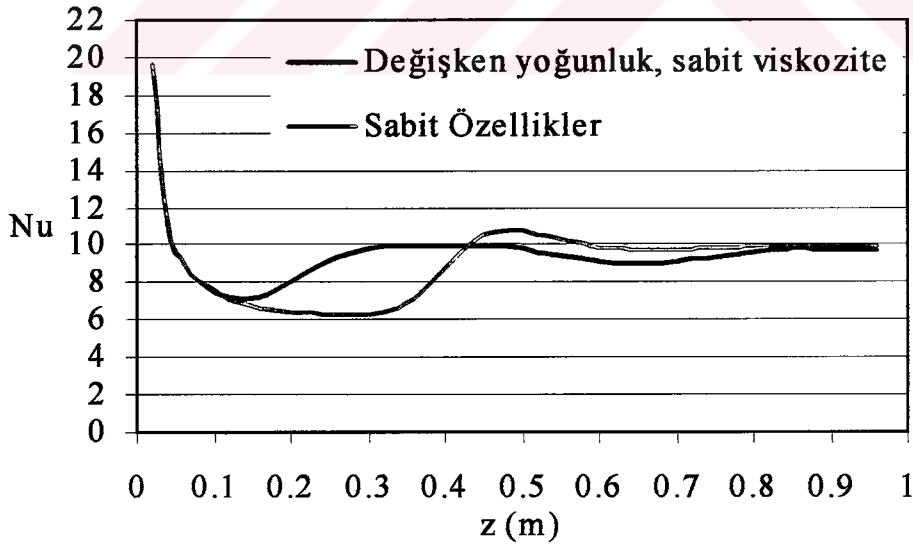
Şekil 4.7 $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' sırasıyla $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için sıcaklığa bağlı değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımı; sabit özellikler yaklaşımıyla elde edilen Nusselt dağılımıyla karşılaştırılmıştır. Burada her iki yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımı arasındaki farkın Şekil 4.7' deki kadar fazla olmadığı yani her iki yaklaşımın yaklaşık olarak aynı sonucu verdiği söylenebilir. Bu durumda sabit özellikler yaklaşımının yüksek Grashof sayılarında Nusselt dağılımını daha büyük

hesapladığı söylenebilir.

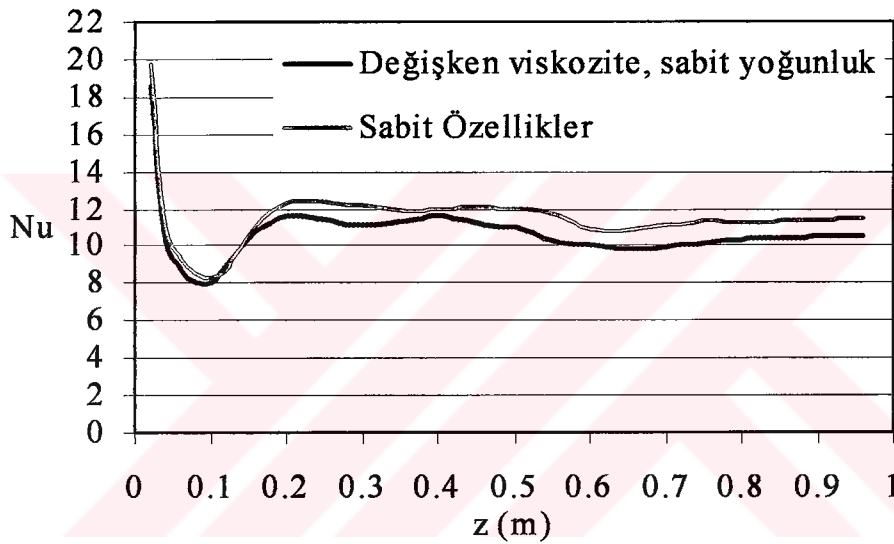


Şekil 4.8 $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.



Şekil 4.9 $Re=250$, $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken yoğunluk ve sabit viskozite yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.

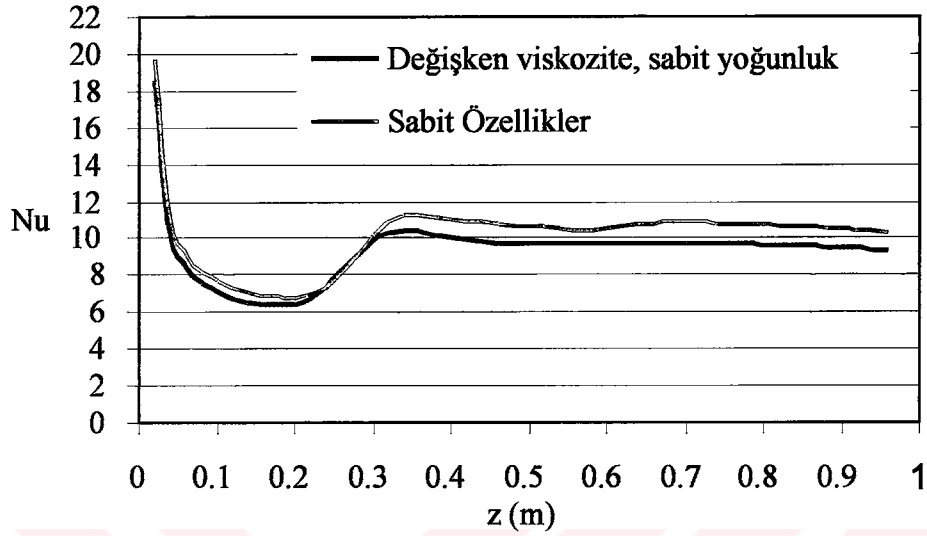
Şekil 4.10' da $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için akışkanın yoğunluğu sabit, viskozitesi değişken alınarak hesaplanan Nusselt dağılımı; sabit akışkan özellikleri yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.10' dan görüldüğü gibi viskozitenin sıcaklığa bağlı değişken alınması Nusselt dağılımının daha küçük hesaplanmasına neden olmaktadır. Çünkü akışkan olarak kullanılan havanın viskozitesi sıcaklıkla orantılı bir şekilde artmaktadır.



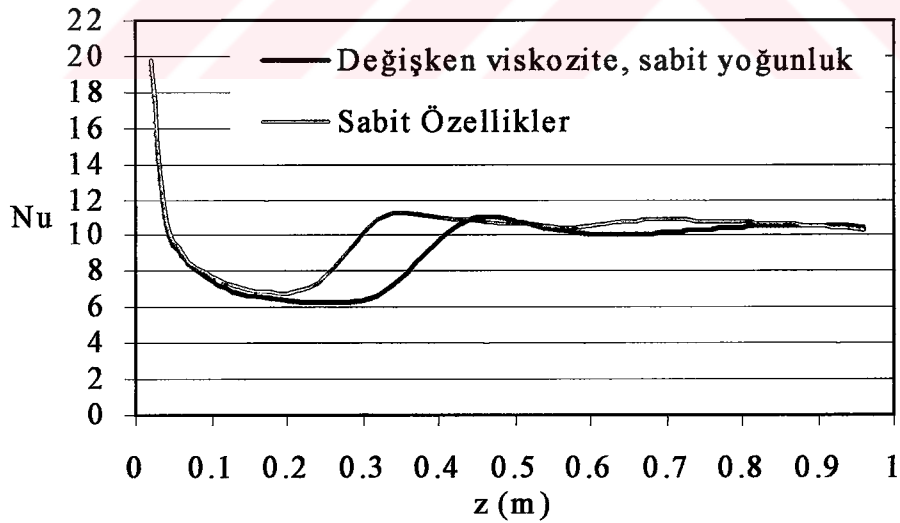
Şekil 4.10 $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken viskozite ve sabit yoğunluk yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de ise sırasıyla $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için akışkanın yoğunluğu sabit, viskozitesi sıcaklığa bağlı değişken alınarak hesaplanan Nusselt dağılımı; sabit özellikler yaklaşımı ile hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılmıştır. Burada her iki yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımı arasında fark olmasına rağmen, bu farkın Şekil 4.10' da ki kadar büyük olmadığı görülmektedir. Buna neden olarak sisteme uygulanan ısı akısının küçülmesi ve dolayısıyla viskozitenin daha küçük

oranda etkilenmesi gösterilebilir.

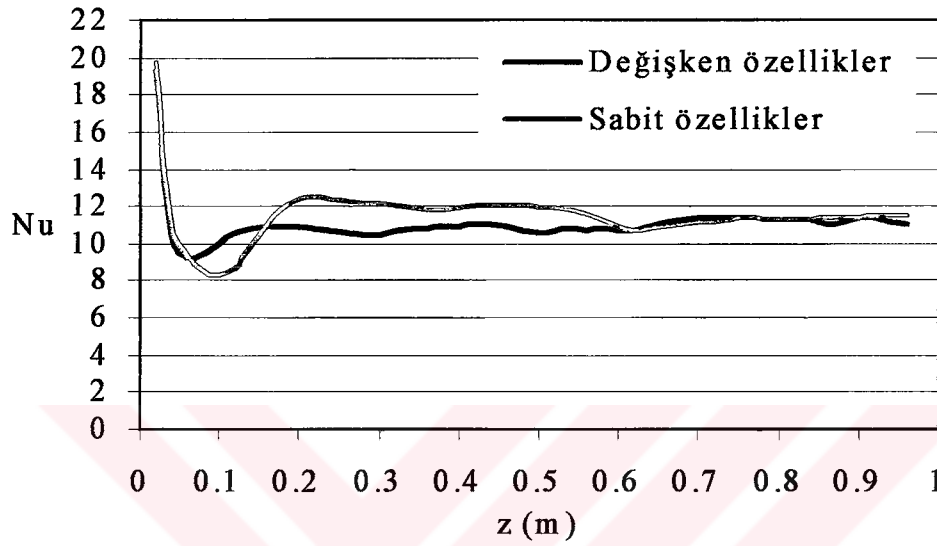


Şekil 4.11 $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken viskozite ve sabit yoğunluk yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.

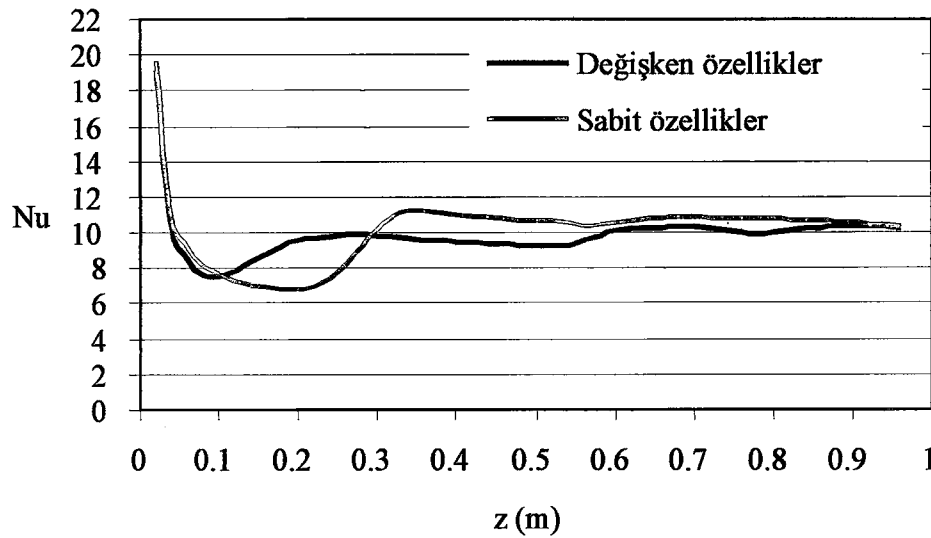


Şekil 4.12 $Re=250$, $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımının; değişken viskozite ve sabit yoğunluk yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt dağılımıyla karşılaştırılması.

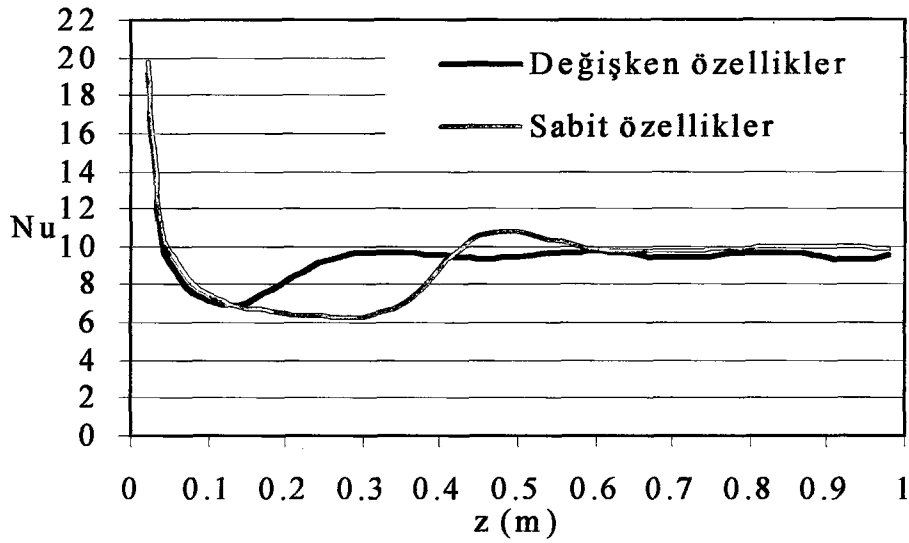
Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 incelendiğinde yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişken alınmasının Nusselt dağılımına, viskoziteye oranla daha fazla etki ettiği söylenebilir.



Şekil 4.13 $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı kullanılarak hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırılması.



Şekil 4.14 $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı kullanılarak hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırılması.



Şekil 4.15 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı kullanılarak hesaplanan Nusselt sayılarının karşılaştırılması.

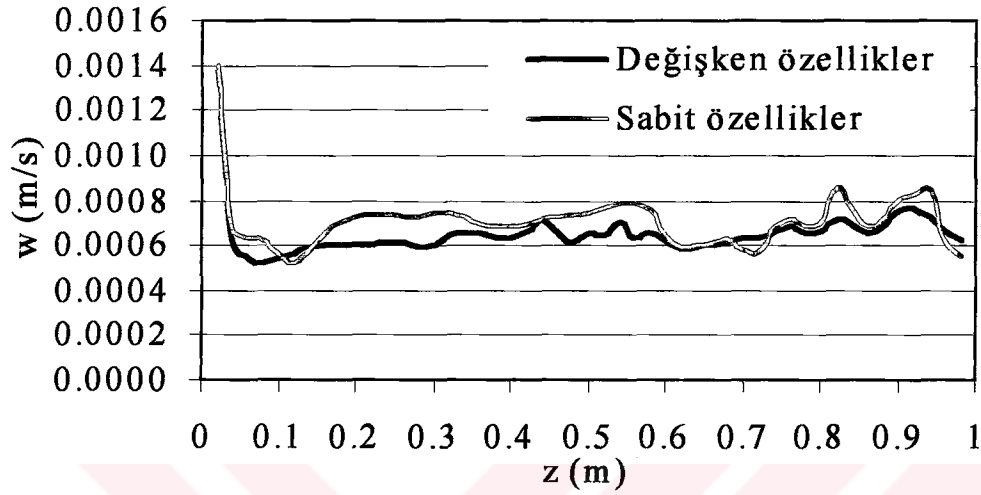
Şekil 4.13' te $Re=250$, $Gr^*=5.0E+6$ alınarak Sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı ile hesaplanan Nusselt sayılarının dağılımlarından görüldüğü gibi Sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt sayıları daha büyüktür.

Şekil 4.14' de $Re=250$, $Gr^*=2.0E+6$ alınarak yine her iki yaklaşımla hesaplanan Nusselt sayılarının dağılımları incelendiğinde her iki yaklaşımın arasındaki farkın Şekil 4.7' deki kadar büyük olmadığı görülmektedir.

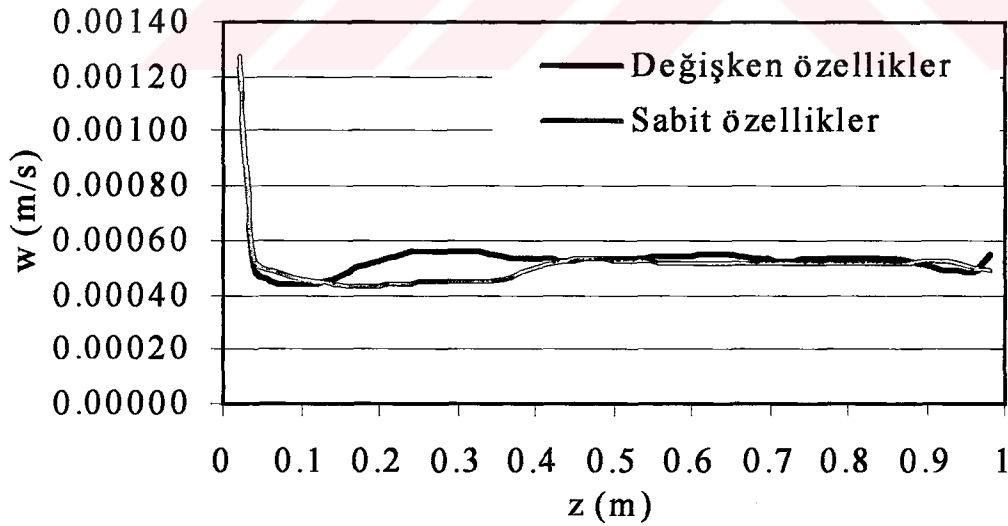
Şekil 4.15' de ise $Re=250$, $Gr^*=1.0E+6$ alınarak her iki yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımları arasındaki farkın çok az olduğu ve her iki yaklaşımın yaklaşık olarak aynı sonucu verdiği söylenebilir.

Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'deki Nusselt dağılımları göz önüne alındığında büyük Grashof sayılarında Sabit özellikler yaklaşımının Nusselt

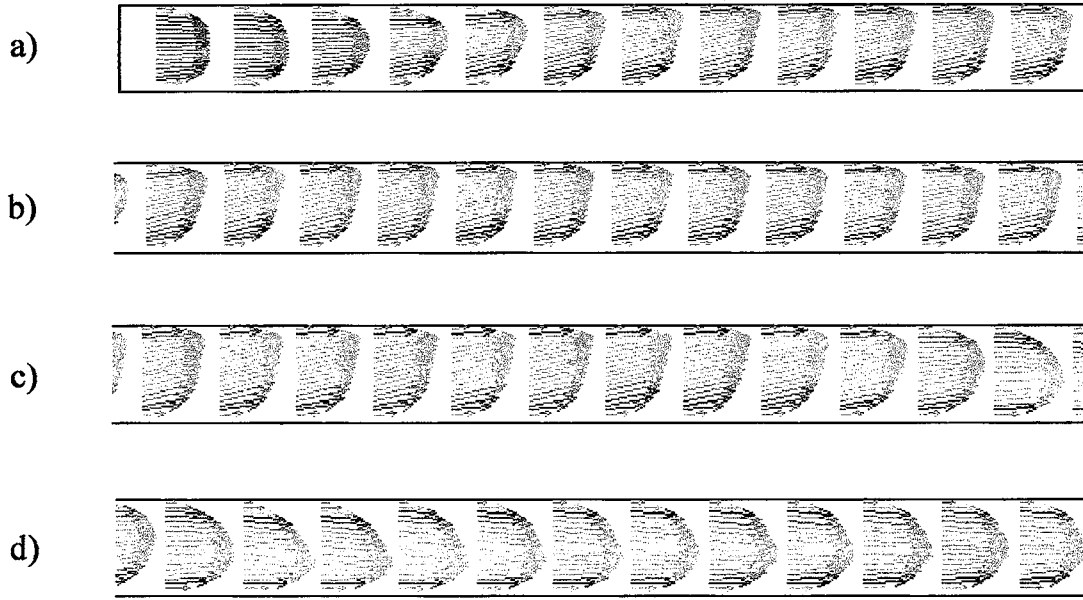
sayısını gerçek değerinden daha büyük hesapladığı , küçük Grashof sayılarında ise gerçek değerine yakın hesapladığı görülmektedir.



Şekil 4.16 $Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı kullanılarak, $x=75E-5$ m' de hesaplanan hızların karşılaştırılması.



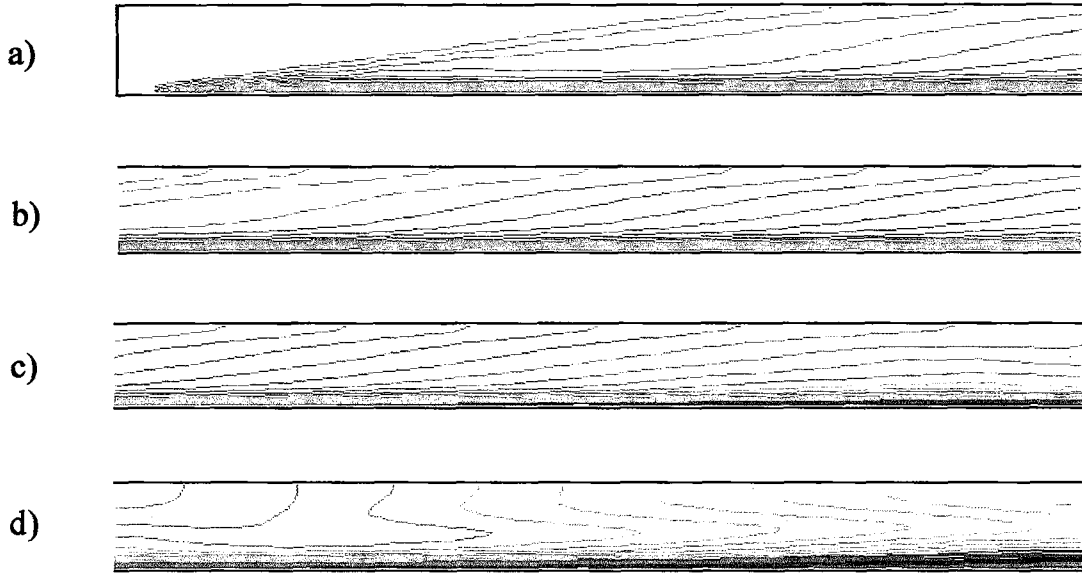
Şekil 4.17 $Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı kullanılarak, $x=75E-5$ m' de hesaplanan hızların karşılaştırılması.



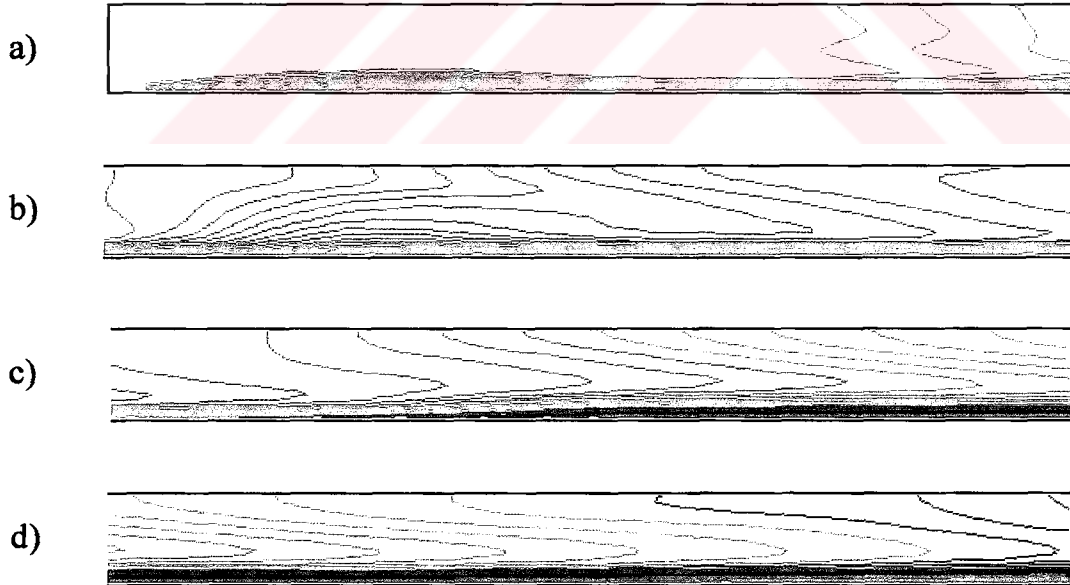
Şekil 4.18 $Re=250$ ve $Gr^* = 5.0E+6$ için akışkan özellikleri değişken alınarak elde edilen hız vektörleri. a) $z = 0 - 0.25$ m. b) $z = 0.25 - 0.5$ m arası c) $z = 0.5 - 0.75$ m arası d) $z = 0.75 - 1$ m arası.



Şekil 4.19 $Re=250$ ve $Gr^* = 5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ile elde edilen hız vektörleri. a) $z = 0 - 0.25$ m. b) $z = 0.25 - 0.5$ m arası c) $z = 0.5 - 0.75$ m arası d) $z = 0.75 - 1$ m arası.

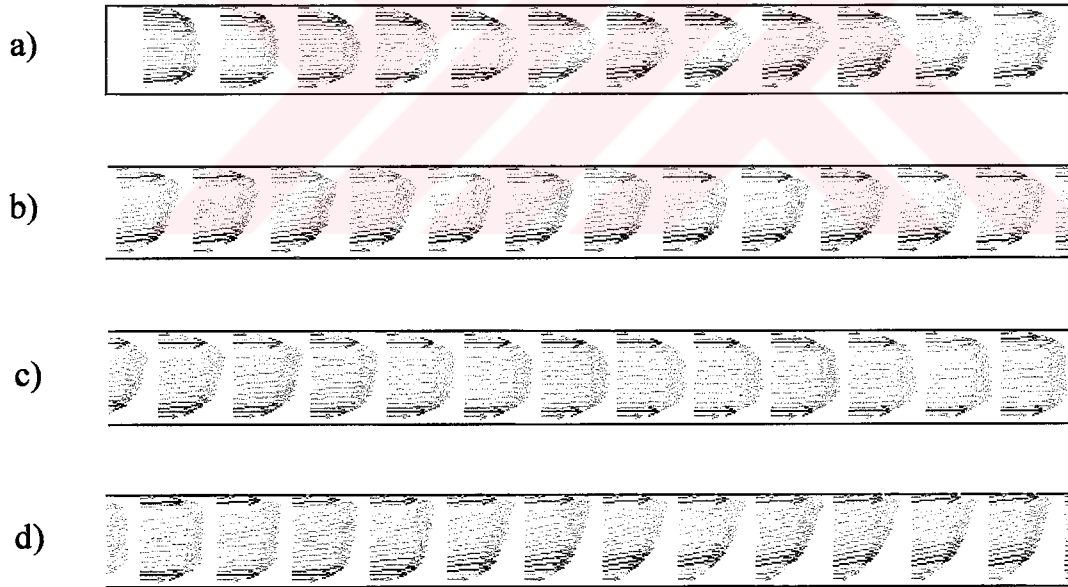


Şekil 4.20 $Re=250$ ve $Gr^* = 5.0E+6$ için akışkan özellikleri değişken alınarak elde edilen sıcaklık kontürleri. a) $z = 0 - 0.25$ m. b) $z = 0.25 - 0.5$ m arası c) $z = 0.5 - 0.75$ m arası d) $z = 0.75 - 1$ m arası.

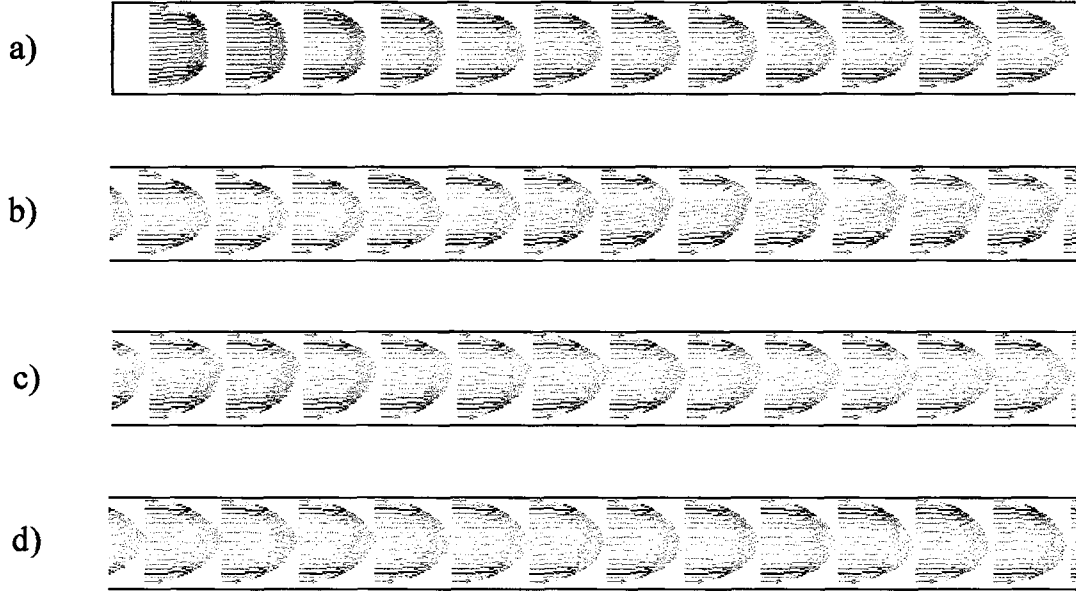


Şekil 4.21 $Re=250$ ve $Gr^* = 5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ile elde edilen sıcaklık kontürleri. a) $z = 0 - 0.25$ m. b) $z = 0.25 - 0.5$ m arası c) $z = 0.5 - 0.75$ m arası d) $z = 0.75 - 1$ m arası.

Büyük Grashof sayılarında ($Gr^* = 5.0E+6$) Sabit özellikler yaklaşımı alt levha yüzeyinde hızı; değişken özellikler yaklaşımı ile yapılan çözüme göre daha büyük hesaplamaktadır. Buna neden olarak Sabit özellikler yaklaşımında akışkan özelliklerinin sabit alınmasıdır. Oysa değişken özellikler yaklaşımında havanın viskozitesi sıcaklıkla orantılı bir şekilde artmakta, buda hızın daha küçük hesaplanmasına neden olmaktadır. (Bkz. Şekil 4.16, Şekil 4.18, ve Şekil 4.19). Yoğunluğun değişken alınması kanal içinde, Sabit özellikler yaklaşımıyla elde edilen sıcaklık dağılımına oranla daha homojen bir sıcaklık dağılımı oluşmasına neden olmaktadır. (Bkz. Şekil 4.20, Şekil 4.21) Ancak daha öncede belirtildiği gibi Sabit özellikler yaklaşımıyla hesaplanan Nusselt sayısı daha büyük çıkmaktadır. Buna neden olarak Sabit özellikler yaklaşımda yoğunluğun ve viskozitenin etkisi göz ardı edilmektedir.



Şekil 4.22 $Re=250$ ve $Gr^* = 1.0E+6$ için akışkan özellikleri değişken alınarak elde edilen hız vektörleri. a) $z = 0 - 0.25$ m. b) $z = 0.25 - 0.5$ m arası c) $z = 0.5 - 0.75$ m arası d) $z = 0.75 - 1$ m arası.



Şekil 4.23 $Re=250$ ve $Gr^* = 1.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ile elde edilen hız vektörleri. a) $z = 0 - 0.25$ m. b) $z = 0.25 - 0.5$ m arası c) $z = 0.5 - 0.75$ m arası d) $z = 0.75 - 1$ m arası.

Düşük Grashof sayılarında ise ($Gr^* \leq 1.0E+6$) Sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı ile hesaplanan hızlar arasında özellikle alt levha yüzeyinde büyük bir fark görülmemektedir. (Bkz. Şekil 4.17, Şekil 4.22, Şekil 4.23)

5. BULGULAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yatay, dikdörtgen kesitli bir kanalda karışık konveksiyon problemi, akışkan özellikleri değişken ve sabit alınarak iki aşamada incelenmiştir.

Önce akışkan özellikleri sabit alınarak çözümler elde edilmiş ve bu çözümler sırasıyla akışkanın yoğunluğu değişken, viskozitesi sabit; sonra akışkanın viskozitesi sıcaklığa bağlı değişken, yoğunluğu sabit alınarak elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise akışkanın hem viskozitesi hem de yoğunluğu sıcaklığa bağlı değişken alınarak çözümler elde edilmiş ve bu çözümler akışkan özellikleri sabit alınarak elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Bu çözümlerin karşılaştırılmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

$Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişken alınması Nusselt dağılımının; sabit özellikler yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımından daha küçük hesaplanmasına neden olmaktadır. Ancak düşük Grashof sayılarında ($Gr^*\leq 1.0E+6$) yoğunluğun sabit alınmasıyla yapılacak hata çok küçüktür.

$Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için akışkan viskozitesinin sıcaklığa bağlı değişken alınması yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımı; sabit özellikler yaklaşımla hesaplanan Nusselt dağılımından daha küçüktür. Daha küçük Grashof sayılarında ($Gr^*=2.0E+6$ ve $Gr^*=1.0E+6$) viskozitenin değişken alınmasıyla elde edilen Nusselt dağılımı ile sabit özellikler yaklaşımla elde edilen Nusselt dağılımı arasındaki fark çok küçüktür. Bu nedenle küçük Grashof sayılarında viskozite sabit alınabilir. Ancak yoğunluğun Nusselt dağılımına etkisi, viskozitenin Nusselt dağılımına olan etkisinden daha

büyüktür. Bu nedenle yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişken alınması ve hesaplamaların bu şekilde yapılması daha sağlıklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olacaktır.

Son olarak akışkanın yoğunluğu ve viskozitesi aynı anda sıcaklığa bağlı değişken alınarak hesaplamalar yapılmış ve büyük Grashof sayılarında ($Gr^*=5.0E+6$) değişken özellikler yaklaşımı ve sabit özellikler yaklaşımı ile hesaplanan Nusselt dağılımı arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Ancak bu farklılık küçük Grashof sayılarında ihmal edilebilecek kadar azalmaktadır.

$Re=250$ ve $Gr^*=5.0E+6$ için sabit özellikler yaklaşımı ve değişken özellikler yaklaşımı ile hesaplanan hız dağılımları arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Yani Sabit özellikler yaklaşımı hızı ve Nusselt sayısını daha büyük hesaplamaktadır.

$Re=250$ ve $Gr^*=2.0E+6$ alındığında ise yine aynı şekilde Sabit özellikler yaklaşımı hızı ve Nusselt sayısını daha büyük hesaplamakta ancak iki yaklaşım arasındaki fark yukarıdaki kadar çok değildir.

$Re=250$ ve $Gr^*=1.0E+6$ alındığında her iki yaklaşımla hesaplanan büyüklükler arasındaki farklar ihmal edilebilecek kadar azalmaktadır.

Yukarıdaki bulgular ışığında Sabit özellikler yaklaşımının küçük Grashof sayılarında ($Gr^*\leq 1.0E+6$) geçerli olduğu, Büyük Grashof sayılarında ise hatalı sonuçların elde edilmesine neden olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu nedenle bundan sonraki çalışmalarda akışkan özelliklerinin değişken alınarak çözümlerin yapılması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesine imkan tanıyacaktır.

Bu çalışmada kullanılan Bilgisayar programında, akışkanın ısı iletim katsayısını sıcaklığa bağlı değişken ifade etme imkanı olmadığından ısı iletim katsayısı sabit alınmıştır. Ancak akışkanın diğer özelliklerinin yanında ısı iletim katsayısının da sıcaklığa bağlı değişken alınmasıyla daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkacaktır.



KAYNAKLAR

1. Incropera, P. F. and De Witt, D. P., **“Fundamentals of Heat and Mass Transfer”**, McGraw-Hill, Newyork, 1980.
2. Nesreddine, H. and Galanis, N., Nguyen, C.T., **“Variable-Property Effects in Laminar Mixed Convection of Air in Vertical Tubes”**, Numerical Heat Transfer Part A 31, pp. 53-69, 1997.
3. Kakaç, S., **“The Effects of Temperature- Dependent Fluid Properties on Convective Heat Transfer”**, in Kakaç, S., Shah, K. and Aung, W., Handbok of Single-Phase Convective Heat Transfer, John Wiley, New York, 1987.
4. Gray, D.D. and Giorgini, A., **“The Validity of the Boussinesq Approximation for Liquids and Gases”**, Int. J. Heat Mass Transfer Vol. 19, pp. 545-551, 1976.
5. Leonardi, E. and Reizes, J.A., **“Convective Flows in Closed Cavities with Variable Fluid Properties”** , in Lewis, R.W., Morgan, K. and Zeinkiewicz, O. C., Numerical Methods in Heat Transfer , John Wiley, New York, 1981.
6. Aung, W., Moghadam, H.E. and Tsou, F.K., **“Simultaneous Hydrodynamic and Thermal Development in Mixed Convection in Vertical Annulus with Fluid Property Variations”**, J. Heat Transfer, Vol. 113, pp. 926-931, 1991.
7. Chen, T.S., Armaly, B.F., Ramachandran, N.; **“Corelations for Laminar Mixed Convection Flows on Vertical, Inclined and Horizontal Flat Plates”**, J. of Heat Transfer, Vol. 108, pp. 835-840, 1986.
8. Risbeck, W.R., Chen, T.S. and Armaly, B.F., **“Laminar Mixed Convection Over Horizontal Flat Plates with Power-Law Variation in Surface Temperature”**, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 36, pp. 1853-1866, 1993.
9. Gau, C., Liu, C.W., Huang, T.M., Aung, W., **“Secondary Flow and Enhancement of Heat Transfer in Horizontal Parallel-Plate and Convergent Channels Heating From Below”**, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 42, pp. 2629-2647, 1999.

10. Mori, Y., and Uchida Y., "**Forced Convection Heat Transfer Between Horizontal Flat Plates**", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 9, pp. 803-817 1966.
11. Sparrow, E.M., and Minkowycz, W. J., "**Buoyancy Effects on Horizontal Boudray Layer Flow and Heat Transfer**", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 5, pp. 505-511, 1962.
12. Wu, Ray-Shing, and Cheng, K.C., "**Thermal Instability of Blasius Flow Along Horizontal Plates**", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 19, pp. 907-912, 1976.
13. Chen, T.S., Sparrow, E.M., and Mucoğlu, A., "**Mixed Convection in Boundray Layer Flow on a Horizontal Plate**", J.Heat Transfer, Vol. 99, pp. 66-71, 1977.
14. Gilpin, R.R., Imura, H., and Cheng, K.C., "**Experiments on the Onset of Longitudinal Vortices in Horizontal Blasius Flow Heated From Below**", J. Heat Transfer, Vol. 100, pp. 71-77, 1978.
15. Mucoğlu, A., and Chen, T.S., "**Mixed Convection on Inclined Surfaces**", Journal of Heat Transfer, Vol. 101, pp. 422-426, 1979.
16. Ramanchandran, N., Armaly, B.F., and Chen, T.S., "**Measurements of Laminar Mixed Convection Flows Adjacent to an Inclined Surface**", A.S.M.E. Trans. 85-Y-1393, 1985.
17. Gage, K.S., and Reid, W.H., "**Stabilitiy of Thermally Stratified Plane Poiseuille Flow**", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 100, pp. 21-32, 1968.
18. Nakayama, W., Hwang, G.J., and Cheng, K.C., "**Thermal Instability in Plane Poiseuille Flow**", J. Heat Transfer, vol. 91, pp. 61-68, 1970.
19. Cheng, K.C., Hong, S.W., and Hwang, G.J., "**Buoyancy Effects of Laminar Heat Transfer in the Thermal Entrance Region of Horizontal Rectangular Channels with Uniform Wall Heat Flux for Large Prandtl Number Fluid**", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 15, pp. 1819-1936, 1972.
20. Hwang, G.J., and Cheng, K.C., "**Convective Instability in the Thermal Entrance Region of a Horizontal Parallel - Plate Channel Heated from Below**", J. Heat Transfer, Vol. 95, pp. 72-77, 1973.

21. Qu, J.W., Cheng, K.C., and Lin, R.C., **"Natural Convection Effects on Gratz Problem in Horizontal Rectangular Channels with Uniform Wall Temperature for Large Pr"**, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 17, pp. 835-843, 1974.
22. Ostrach, S., and Kamatoni, Y., **"Heat Transfer Augmentation in Laminar Fully Developed Channel Flow by Means of Heating From Below"**, J. Heat Transfer, Vol. 97, pp. 220-225, 1975.
23. Hwang, G.J., and Liu, Cheng-liung, **"An Experimental Study of Convective Instability in the Thermal Entrance Region of a Horizontal Parallel-Plate Channel Heated From Below"**, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 54., pp. 521-525, 1976.
24. Cheng, K.C., and Wu, R.S., **"Axial Heat Conduction Effects on Thermal Instability of Horizontal Plane Poiseuille Flows Heated From Below"**, J. Heat Transfer, Vol. 98, pp. 564-569, 1976.
25. Nguyen, T.V., Maclaine-cross, T.L., and de Vahl Davis, G., **"Combined Forced and Free Convection Between Parallel Plates"**, Numerical Methods in Thermal Problems, edited by R.W. Lewis and K. Morgan, pp. 269-278, Pine Ridge Press, U.K., 1979.
26. Morcos, S.M., Hilal, M.M., Kamel, M.M., and Soliman, M.S., **"Experimental Investigation of Mixed Laminar Convection in the Entrance Region of Inclined Rectangular Channels"**, J. of Heat Transfer, Vol. 108, pp. 574-579, 1986.
27. Kennedy, K.J., and Zebib, A., **"Combined Free and Forced Convection Between Horizontal Parallel Plates: Some Case Studies"**, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 26, pp. 471-474, 1983.
28. Osborne, D.G., and Incropera, F.P., **"Laminar Mixed Convection Heat Transfer for Flow Between Horizontal Parallel Plates with Asymmetric Heating"**, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 28, no. 1, pp. 207-217, 1985.
29. Knox, A.L., and Incropera, F.P., **"Mixed Convection Flow and Heat Transfer in the Entry Region of a Horizontal Rectangular Duct"**, ASME Paper 86-HT-18, 1986.
30. Maughan, J.R., and Incropera, F.P., **"Secondary Flow in Horizontal Channels Heated From Below"**, Experiments in Fluids, In Review, 1986.

31. Maughan, J.R., and Incropera, F.P., **“Experiments on Mixed Convection heat transfer for Air Flow in a Horizontal and Inclined Channel”**, Int. J. Heat Mass Transfer, vol.30, No.7, pp.1307-1318, 1987.
32. Hwang, C.C., and Lin, T.F., **“Vortex Flow and Thermal Characteristics in Mixed Convection of Air in a Horizontal Rectangular Duct: Effects of the Reynolds and Grashof Numbers”**, Int.J. Heat Mass Transfer, vol.38, pp.1661-1674, 1995.
33. Cheng, K.C., and Qu, J.W., **“Convective Instability and Finite Amplitude Convection in the Thermal Entrance Region of Horizontal Rectangular Channels Heated From Below ”**, Proceedings of the 7th International Heat Transfer Conference, Vol. 2, pp. 189-194, Hemisphere Publishing Corp., Washington D.C., 1982.
34. Abou-Elail, M.M.M, and Morcos, S.M., **“Bouyancy Effects in the Entrance Region of Inclined Multi Rectangular Channel Solar Collector ”**, J. of Solar Energy Engineering, Vol. 105, pp. 157-162, 1983.
35. Nguyen, T.V., Maclaine-cross, I.L., **“Simultaneously Developing, Laminar Flow, Forced Convection in the Entrance Region of Parallel Plates ”**, J. of Heat Transfer, Vol. 113, pp. 837-842, 1991.

A large, stylized graphic consisting of two overlapping 'X' shapes in a light pink color, centered horizontally and partially behind the text.

EKLER

EK-1. ÖRNEK Q1 DOSYASI

TALK=T;RUN(1, 1);VDU=VGAMOUSE

GROUP 1. Run title and other preliminaries

```

-----
---->
---->
AIR ----> TIN
---->
---->
-----
^X
|
|
|
----->Z

```

TEXT(LAMINAR MIXED CONVECTION)

REAL(TIN,ROIN,CP,UIIN,THOT,TSIDE,QIN,ABUOY)

CP=1007.0

TIN=CP*20.0

UIIN=0.08

QIN=130.0

GROUP 2. Transience; time-step specification

GROUP 3. X-direction grid specification

GRDPWR(X,-20,0.03,1.0)

GROUP 4. Y-direction grid specification

GRDPWR(Y,20,0.15,1.0)

GROUP 5. Z-direction grid specification

GRDPWR(Z,50,1.0,1.0)

GROUP 6. Body-fitted coordinates or grid distortion

GROUP 7. Variables stored, solved & named

SOLVE(P1,U1,V1,W1,H1)

SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,N)

SOLUTN(H1,Y,Y,Y,N,N,N)

STORE(ENUL,RHO1,TMP1)

GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices

TERMS(H1,N,Y,Y,N,Y,N)

GROUP 9. Properties of the medium (or media)

ENUL=1.68E-5

PRNDTL(H1)=0.707

```

TMP1=GRND2
TMP1A=0.0
TMP1B=1.0/CP
    RHO1=1.2
RHO1=GRND2
RHO1A=287.0*273.0/1.01E+5
RHO1B=287.0/1.01E+5/CP
ROIN=1.0/(RHO1A+RHO1B*TIN)
    ***ENUL=(9E-11xT^2)+(0.0886E-6xT)+13.287E-6
ENUL=GRND2
ENULA=13.287E-6
ENULB=0.0886E-6
ENULC=9.0E-11
    GROUP 10. Inter-phase-transfer processes and properties
    GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields
FIINIT(U1)=0.001
FIINIT(V1)=0.001
FIINIT(W1)=UIN
FIINIT(RHO1)=ROIN
    FIINIT(RHO1)=1.2
FIINIT(H1)=TIN
    GROUP 12. Convection and diffusion adjustments
    GROUP 13. Boundary conditions and special sources
    *** INLET BOUNDARY CONDITIONS
PATCH(INLET,LOW,1,NX,1,NY,1,1,1,1)
COVAL(INLET,P1,FIXFLU,UIN*ROIN)
    COVAL(INLET,P1,FIXFLU,UIN*RHO1)
COVAL(INLET,U1,ONLYMS,SAME)
COVAL(INLET,V1,ONLYMS,SAME)
COVAL(INLET,W1,ONLYMS,UIN)
COVAL(INLET,H1,ONLYMS,TIN)
    *** OUTLET BOUNDARY CONDITIONS
PATCH(OUTLET,HIGH,1,NX,1,NY,NZ,NZ,1,1)
COVAL(OUTLET,P1,FXP,0.0)
COVAL(OUTLET,U1,ONLYMS,SAME)
COVAL(OUTLET,V1,ONLYMS,SAME)
COVAL(OUTLET,W1,ONLYMS,SAME)
COVAL(OUTLET,H1,ONLYMS,SAME)
    *** TOP WALL BOUNDARY CONDITIONS(INSULATION)
PATCH(HOTUP,EWALL,NX,NX,1,NY,1,NZ,1,1)
COVAL(HOTUP,V1,1.0,0.0)
COVAL(HOTUP,W1,1.0,0.0)
    COVAL(HOTUP,H1,1.0/PRNDTL(H1),THOT)

```

```

***SIDE WALL BOUNDARY CONDITIONS
PATCH(HOTS,SWALL,1,NX,1,1,NZ,1,1)
COVAL(HOTS,U1,1.0,0.0)
COVAL(HOTS,W1,1.0,0.0)
    COVAL(HOTS,H1,1.0/PRNDTL(H1),TSIDE)
***WALL HEAT FLUX BOUNDARY CONDITION
PATCH(HEATFLUX,WEST,1,1,1,NY,1,NZ,1,1)
COVAL(HEATFLUX,V1,1.0,0.0)
COVAL(HEATFLUX,W1,1.0,0.0)
COVAL(HEATFLUX,H1,FIXFLU,QIN)
    *** BUOYANCY FORCE (VARIABLE PROPERTY)
PATCH(BUOY,PHASEM,1,NX,1,NY,1,NZ,1,1)
COVAL(BUOY,U1,FIXFLU,GRND2)
COVAL(BUOY,W1,FIXFLU,GRND2)
RSG1=ROIN
RSG8=-9.81
    *** BUOYANCY FORCE (BOUSSINESQ APPROXIMATION)
    PATCH(BUOY,PHASEM,1,NX,1,NY,1,NZ,1,1)
    COVAL(BUOY,U1,FIXFLU,GRND3)
    COVAL(BUOY,W1,FIXFLU,GRND3)
    ABUOY=3.4E-3
    RSG2=-ABUOY/CP
    RSG1=RSG2*TIN
    RSG8=-9.81
    GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.FALSE.
    GROUP 15. Termination of sweeps
LSWEEP=80
    GROUP 16. Termination of iterations
    GROUP 17. Under-relaxation devices
RELAX(P1,LINRLX,0.3)
RELAX(U1,FALSDT,0.2)
RELAX(V1,FALSDT,0.2)
RELAX(W1,FALSDT,0.2)
RELAX(H1,FALSDT,0.3)
    GROUP 18. Limits on variables or increments to them
    GROUP 19. Data communicated by satellite to GROUND
    GROUP 20. Preliminary print-out
    GROUP 21. Print-out of variables
    GROUP 22. Spot-value print-out
IXMON=NX/2
IYMON=NY
IZMON=NZ
    GROUP 23. Field print-out and plot control

```

Iprof=2
NXPRIN=4
NYPRIN=2
NZPRIN=7
GROUP 24. Dumps for restarts
STOP



```

-----
      CCCC HHH      PHOENICS - EARTH
      CCCCCC      HHH      (C) Copyright 1995
      CCCCCC      see      HH      Concentration Heat and Momentum Ltd
      CCCCCC      POLIS      HH      All rights reserved.
      CCCCCC      for      HH      CHAM Ltd, Bakery House,40 High St
      CCCCCC      new      HH      Wimbledon, London, SW19 5AU
      CCCCC      features      H      Tel: 0181-947-7651
      CCCCCC      HH      Facsimile: 0181-879-3497
      CCCC HHH      E-mail: phoenics@cham.demon.co.uk
-----

```

----- STORAGE INFORMATION -----

F DIMENSION = 3232972 EST MIN DIMENSION = 92315
OCCUPIED = 608315

DEP VARBLs = 160000 OLD VARBLs = 0
3D COEFFS = 300000 3D DVDPS = 60000

Group 1. Run Title and Number

TEXT (LAMINAR MIXED CONVECTION)

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

Group 2. Transience

STEADY = T

Group 3. X-Direction Grid Spacing

CARTES = T

NX = 20

XULAST = 3.000E-02

XFRAC (1) = 5.000E-02 ;XFRAC (2) = 1.000E-01

XFRAC (3) = 1.500E-01 ;XFRAC (4) = 2.000E-01

XFRAC (5) = 2.500E-01 ;XFRAC (6) = 3.000E-01

XFRAC (7) = 3.500E-01 ;XFRAC (8) = 4.000E-01
 XFRAC (9) = 4.500E-01 ;XFRAC (10) = 5.000E-01
 XFRAC (11) = 5.500E-01 ;XFRAC (12) = 6.000E-01
 XFRAC (13) = 6.500E-01 ;XFRAC (14) = 7.000E-01
 XFRAC (15) = 7.500E-01 ;XFRAC (16) = 8.000E-01
 XFRAC (17) = 8.500E-01 ;XFRAC (18) = 9.000E-01
 XFRAC (19) = 9.500E-01 ;XFRAC (20) = 1.000E+00

Group 4. Y-Direction Grid Spacing

NY = 20

YVLAST = 1.500E-01

YFRAC (1) = 5.000E-02 ;YFRAC (2) = 1.000E-01
 YFRAC (3) = 1.500E-01 ;YFRAC (4) = 2.000E-01
 YFRAC (5) = 2.500E-01 ;YFRAC (6) = 3.000E-01
 YFRAC (7) = 3.500E-01 ;YFRAC (8) = 4.000E-01
 YFRAC (9) = 4.500E-01 ;YFRAC (10) = 5.000E-01
 YFRAC (11) = 5.500E-01 ;YFRAC (12) = 6.000E-01
 YFRAC (13) = 6.500E-01 ;YFRAC (14) = 7.000E-01
 YFRAC (15) = 7.500E-01 ;YFRAC (16) = 8.000E-01
 YFRAC (17) = 8.500E-01 ;YFRAC (18) = 9.000E-01
 YFRAC (19) = 9.500E-01 ;YFRAC (20) = 1.000E+00

Group 5. Z-Direction Grid Spacing

PARAB = F

NZ = 50

ZWLAST = 1.000E+00

ZFRAC (1) = 2.000E-02 ;ZFRAC (2) = 4.000E-02
 ZFRAC (3) = 6.000E-02 ;ZFRAC (4) = 8.000E-02
 ZFRAC (5) = 1.000E-01 ;ZFRAC (6) = 1.200E-01
 ZFRAC (7) = 1.400E-01 ;ZFRAC (8) = 1.600E-01
 ZFRAC (9) = 1.800E-01 ;ZFRAC (10) = 2.000E-01
 ZFRAC (11) = 2.200E-01 ;ZFRAC (12) = 2.400E-01
 ZFRAC (13) = 2.600E-01 ;ZFRAC (14) = 2.800E-01
 ZFRAC (15) = 3.000E-01 ;ZFRAC (16) = 3.200E-01
 ZFRAC (17) = 3.400E-01 ;ZFRAC (18) = 3.600E-01
 ZFRAC (19) = 3.800E-01 ;ZFRAC (20) = 4.000E-01
 ZFRAC (21) = 4.200E-01 ;ZFRAC (22) = 4.400E-01
 ZFRAC (23) = 4.600E-01 ;ZFRAC (24) = 4.800E-01
 ZFRAC (25) = 5.000E-01 ;ZFRAC (26) = 5.200E-01
 ZFRAC (27) = 5.400E-01 ;ZFRAC (28) = 5.600E-01
 ZFRAC (29) = 5.800E-01 ;ZFRAC (30) = 6.000E-01
 ZFRAC (31) = 6.200E-01 ;ZFRAC (32) = 6.400E-01
 ZFRAC (33) = 6.600E-01 ;ZFRAC (34) = 6.800E-01

```

ZFRAC ( 35) = 7.000E-01 ;ZFRAC ( 36) = 7.200E-01
ZFRAC ( 37) = 7.400E-01 ;ZFRAC ( 38) = 7.600E-01
ZFRAC ( 39) = 7.800E-01 ;ZFRAC ( 40) = 8.000E-01
ZFRAC ( 41) = 8.200E-01 ;ZFRAC ( 42) = 8.400E-01
ZFRAC ( 43) = 8.600E-01 ;ZFRAC ( 44) = 8.800E-01
ZFRAC ( 45) = 9.000E-01 ;ZFRAC ( 46) = 9.200E-01
ZFRAC ( 47) = 9.400E-01 ;ZFRAC ( 48) = 9.600E-01
ZFRAC ( 49) = 9.800E-01 ;ZFRAC ( 50) = 1.000E+00

```

Group 6. Body-Fitted Coordinates

Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED

```

ONEPHS = T
NAME( 1)=P1 ;NAME( 3)=U1
NAME( 5)=V1 ;NAME( 7)=W1
NAME(14)=H1 ;NAME(48)=TMP1
NAME(49)=RHO1 ;NAME(50)=ENUL
SOLUTN(P1 ,Y,Y,Y,N,N,N)
SOLUTN(U1 ,Y,Y,N,N,N,N)
SOLUTN(V1 ,Y,Y,N,N,N,N)
SOLUTN(W1 ,Y,Y,N,N,N,N)
SOLUTN(H1 ,Y,Y,Y,N,N,N)
SOLUTN(TMP1,Y,N,N,N,N,N)
SOLUTN(RHO1,Y,N,N,N,N,N)
SOLUTN(ENUL,Y,N,N,N,N,N)
DEN1 = 49
VISL = 50
TEMP1 = 48

```

Group 8. Terms & Devices

```

TERMS (P1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (U1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (V1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (W1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (H1 ,N,Y,Y,N,Y,N)
DIFCUT = 5.000E-01 ;ZDIFAC = 1.000E+00
GALA = F ;ADDIF = F ;BLOCKZ = T
NEWRH1 = T
NEWENL = T
ISOLX = -1 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1

```

Group 9. Properties

```

RHO1 = GRND2 ;TMP1 = GRND2 ;EL1 = 0.000E+00

```

```

RHO1A = 7.758E-01 ;RHO1B = 2.822E-06 ;RHO1C = 0.000E+00
PRESS0 = 0.000E+00
TMP1A = 0.000E+00 ;TMP1B = 9.930E-04 ;TMP1C = 0.000E+00
TEMP0 = 0.000E+00
ENUL = GRND2 ;ENUT = 0.000E+00
ENULA = 1.329E-05 ;ENULB = 8.860E-08 ;ENULC = 9.000E-11
DRH1DP = 0.000E+00
PRNDTL(U1 ) = 1.000E+00 ;PRNDTL(V1 ) = 1.000E+00
PRNDTL(W1 ) = 1.000E+00 ;PRNDTL(H1 ) = 7.070E-01
PRT (U1 ) = 1.000E+00 ;PRT (V1 ) = 1.000E+00
PRT (W1 ) = 1.000E+00 ;PRT (H1 ) = 1.000E+00

```

Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

Group 11. Initialise Var/Porosity Fields

```

FIINIT(P1 ) = 1.000E-10 ;FIINIT(U1 ) = 1.000E-03
FIINIT(V1 ) = 1.000E-03 ;FIINIT(W1 ) = 8.000E-02
FIINIT(H1 ) = 2.014E+04 ;FIINIT(TMP1) = 1.000E-10
FIINIT(RHO1) = 1.201E+00 ;FIINIT(ENUL) = 1.000E-10

```

No PATCHes yet used for this Group

INIADD = T

NAMFI =CHAM

Group 12. Unused

Group 13. Boundary & Special Sources

```

PATCH(INLET ,LOW , 1, 20, 1, 20, 1, 1, 1, 1)
COVAL(INLET ,P1 , FIXFLU , 9.609E-02)
COVAL(INLET ,U1 , 0.000E+00, SAME )
COVAL(INLET ,V1 , 0.000E+00, SAME )
COVAL(INLET ,W1 , 0.000E+00, 8.000E-02)
COVAL(INLET ,H1 , 0.000E+00, 2.014E+04)

```

```

PATCH(OUTLET ,HIGH , 1, 20, 1, 20, 50, 50, 1, 1)
COVAL(OUTLET ,P1 , 1.000E+00, 0.000E+00)
COVAL(OUTLET ,U1 , 0.000E+00, SAME )
COVAL(OUTLET ,V1 , 0.000E+00, SAME )
COVAL(OUTLET ,W1 , 0.000E+00, SAME )
COVAL(OUTLET ,H1 , 0.000E+00, SAME )

```

```

PATCH(HOTUP ,EWALL , 20, 20, 1, 20, 1, 50, 1, 1)
COVAL(HOTUP ,V1 , 1.000E+00, 0.000E+00)

```

COVAL(HOTUP ,W1 , 1.000E+00, 0.000E+00)

PATCH(HOTS ,SWALL , 1, 20, 1, 1, 1, 50, 1, 1)

COVAL(HOTS ,U1 , 1.000E+00, 0.000E+00)

COVAL(HOTS ,W1 , 1.000E+00, 0.000E+00)

PATCH(HEATFLUX,WEST , 1, 1, 1, 20, 1, 50, 1, 1)

COVAL(HEATFLUX,V1 , 1.000E+00, 0.000E+00)

COVAL(HEATFLUX,W1 , 1.000E+00, 0.000E+00)

COVAL(HEATFLUX,H1 , FIXFLU , 2.700E+01)

PATCH(BUOY ,PHASEM, 1, 20, 1, 20, 1, 50, 1, 1)

COVAL(BUOY ,U1 , FIXFLU , GRND2)

COVAL(BUOY ,W1 , FIXFLU , GRND2)

XCycle = F

Group 14. Downstream Pressure For PARAB

Group 15. Terminate Sweeps

LSWEEP = 80 ;ISWC1 = 1

LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1

RESREF(P1) = 1.000E-08 ;RESREF(U1) = 1.000E-08

RESREF(V1) = 1.000E-08 ;RESREF(W1) = 1.000E-08

RESREF(H1) = 1.000E-08

Group 16. Terminate Iterations

LITER (P1) = 20 ;LITER (U1) = 1

LITER (V1) = 1 ;LITER (W1) = 1

LITER (H1) = 20

ENDIT (P1) = 1.000E-08 ;ENDIT (U1) = 1.000E-08

ENDIT (V1) = 1.000E-08 ;ENDIT (W1) = 1.000E-08

ENDIT (H1) = 1.000E-08

Group 17. Relaxation

RELAX(P1 ,LINRLX, 3.000E-01)

RELAX(U1 ,FALSDT, 2.000E-01)

RELAX(V1 ,FALSDT, 2.000E-01)

RELAX(W1 ,FALSDT, 2.000E-01)

RELAX(H1 ,FALSDT, 3.000E-01)

RELAX(TMP1,LINRLX, 1.000E+00)

RELAX(RHO1,LINRLX, 1.000E+00)

RELAX(ENUL,LINRLX, 1.000E+00)

OVRRLX = 0.000E+00

Group 18. Limits

VARMAX(P1)= 1.000E+10 ;VARMIN(P1)=-1.000E+10
 VARMAX(U1)= 1.000E+10 ;VARMIN(U1)=-1.000E+10
 VARMAX(V1)= 1.000E+10 ;VARMIN(V1)=-1.000E+10
 VARMAX(W1)= 1.000E+10 ;VARMIN(W1)=-1.000E+10
 VARMAX(H1)= 1.000E+10 ;VARMIN(H1)=-1.000E+10
 VARMAX(TMP1)= 1.000E+10 ;VARMIN(TMP1) =-1.000E+10
 VARMAX(RHO1)= 1.000E+10 ;VARMIN(RHO1) =-1.000E+10
 VARMAX(ENUL)= 1.000E+10 ;VARMIN(ENUL)=-1.000E+10

Group 19. EARTH Calls To GROUND Station

USEGRD = T ;USEGRX = T
 NAMGRD =NONE
 RSG1 = 1.201E+00
 RSG8 =-9.810E+00

Group 20. Preliminary Printout

ECHO = T

Group 21. Print-out of Variables

INIFLD = F ;SUBWGR = F
 OUTPUT(P1 ,Y,N,N,Y,Y,Y)
 OUTPUT(U1 ,Y,N,N,Y,Y,Y)
 OUTPUT(V1 ,Y,N,N,Y,Y,Y)
 OUTPUT(W1 ,Y,N,N,Y,Y,Y)
 OUTPUT(H1 ,Y,N,N,Y,Y,Y)
 OUTPUT(TMP1,Y,N,N,N,N,N)
 OUTPUT(RHO1,Y,N,N,N,N,N)
 OUTPUT(ENUL,Y,N,N,N,N,N)

Group 22. Monitor Print-Out

IXMON = 10 ;IYMON = 20 ;IZMON = 50
 NPRMON = 10000 ;NPRMNT = 10000 ;TSTSWP = 1
 UWATCH = T ;USTEER = T
 HIGHLO = F

Group 23. Field Print-Out & Plot Control

NPRINT = 10000 ;NUMCLS = 5
 NXPRIN = 4 ;IXPRF = 1 ;IXPRL = 20
 NYPRIN = 2 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 20
 NZPRIN = 9 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
 XZPR = F ;YZPR = F

IPLTF = 1 ; IPLTL = 80 ; NPLT = 4
 ITABL = 3 ; IPROF = 2
 ABSIZ = 5.000E-01 ; ORSIZ = 4.000E-01
 NTZPRF = 1 ; NCOLPF = 50
 ICHR = 2 ; NCOLCO = 45 ; NROWCO = 20

No PATCHes yet used for this Group

Group 24. Dumps For Restarts

SAVE = T ; AUTOPS = F ; NOWIPE = F
 NSAVE = CHAM

*** GRID-GEOMETRY INFORMATION ***

X-COORDINATES OF THE CELL CENTRES

7.500E-04	2.250E-03	3.750E-03	5.250E-03	6.750E-03
8.250E-03	9.750E-03	1.125E-02	1.275E-02	1.425E-02
1.575E-02	1.725E-02	1.875E-02	2.025E-02	2.175E-02
2.325E-02	2.475E-02	2.625E-02	2.775E-02	2.925E-02

Y-COORDINATES OF THE CELL CENTRES

3.750E-03	1.125E-02	1.875E-02	2.625E-02	3.375E-02
4.125E-02	4.875E-02	5.625E-02	6.375E-02	7.125E-02
7.875E-02	8.625E-02	9.375E-02	1.013E-01	1.088E-01
1.163E-01	1.238E-01	1.313E-01	1.388E-01	1.463E-01

Z-COORDINATES OF THE CELL CENTRES

1.000E-02	3.000E-02	5.000E-02	7.000E-02	9.000E-02
1.100E-01	1.300E-01	1.500E-01	1.700E-01	1.900E-01
2.100E-01	2.300E-01	2.500E-01	2.700E-01	2.900E-01
3.100E-01	3.300E-01	3.500E-01	3.700E-01	3.900E-01
4.100E-01	4.300E-01	4.500E-01	4.700E-01	4.900E-01
5.100E-01	5.300E-01	5.500E-01	5.700E-01	5.900E-01
6.100E-01	6.300E-01	6.500E-01	6.700E-01	6.900E-01
7.100E-01	7.300E-01	7.500E-01	7.700E-01	7.900E-01
8.100E-01	8.300E-01	8.500E-01	8.700E-01	8.900E-01
9.100E-01	9.300E-01	9.500E-01	9.700E-01	9.900E-01

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 50 ITERN NO= 1

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 9 ITERN NO= 1

FLOW FIELD AT ITHYD= 1, IZ= 9, ISWEEP= 80, ISTEP= 1
FIELD VALUES OF P1

IY= 20	1.191E-01	1.206E-01	1.215E-01	1.218E-01	1.219E-01
IY= 18	1.191E-01	1.206E-01	1.215E-01	1.218E-01	1.219E-01
IY= 16	1.201E-01	1.207E-01	1.213E-01	1.217E-01	1.219E-01
IY= 14	1.200E-01	1.207E-01	1.213E-01	1.217E-01	1.219E-01
IY= 12	1.200E-01	1.209E-01	1.213E-01	1.217E-01	1.218E-01
IY= 10	1.192E-01	1.206E-01	1.214E-01	1.218E-01	1.219E-01
IY= 8	1.190E-01	1.206E-01	1.214E-01	1.218E-01	1.219E-01
IY= 6	1.202E-01	1.208E-01	1.214E-01	1.217E-01	1.218E-01
IY= 4	1.201E-01	1.207E-01	1.213E-01	1.217E-01	1.219E-01
IY= 2	1.189E-01	1.204E-01	1.211E-01	1.218E-01	1.221E-01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF U1

IY= 20	7.283E-05	7.461E-03	5.596E-03	2.442E-03	5.588E-04
IY= 18	7.206E-05	7.426E-03	5.862E-03	2.830E-03	7.145E-04
IY= 16	-1.314E-04	-1.568E-02	-1.202E-02	-5.380E-03	-1.382E-03
IY= 14	-1.032E-04	-1.268E-02	-1.099E-02	-4.846E-03	-1.178E-03
IY= 12	-4.971E-05	-9.699E-03	-1.181E-02	-6.532E-03	-1.868E-03
IY= 10	1.061E-04	1.327E-02	1.314E-02	7.393E-03	2.185E-03
IY= 8	8.410E-05	1.099E-02	1.110E-02	6.761E-03	2.047E-03
IY= 6	-1.325E-04	-1.593E-02	-1.225E-02	-5.981E-03	-1.647E-03
IY= 4	-1.309E-04	-1.618E-02	-1.309E-02	-6.621E-03	-2.042E-03
IY= 2	7.761E-05	1.424E-02	1.964E-02	1.665E-02	7.105E-03
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF V1

IY= 19	3.672E-04	4.005E-03	-4.891E-03	-3.095E-03	-1.302E-03
IY= 17	-6.793E-06	3.455E-04	4.316E-04	2.987E-04	2.077E-04
IY= 15	-2.857E-04	-4.132E-03	3.960E-03	3.667E-03	1.867E-03
IY= 13	-2.584E-04	-3.960E-03	3.150E-03	3.993E-03	2.172E-03
IY= 11	3.704E-05	8.502E-04	1.364E-03	1.280E-03	3.729E-04
IY= 9	2.445E-04	3.811E-03	-9.689E-04	-6.758E-04	7.529E-05
IY= 7	7.157E-05	4.591E-03	1.689E-03	-4.928E-04	-1.102E-03
IY= 5	-2.946E-04	-3.646E-03	6.220E-03	4.995E-03	2.440E-03
IY= 3	-3.876E-04	-8.405E-03	3.987E-03	6.447E-03	6.815E-03
IY= 1	3.521E-04	1.385E-02	-4.156E-03	-7.838E-03	-6.739E-03
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF W1

IY= 20	4.096E-04	7.756E-02	1.089E-01	1.179E-01	7.849E-02
IY= 18	4.094E-04	7.732E-02	1.087E-01	1.182E-01	7.946E-02
IY= 16	6.773E-04	1.201E-01	1.209E-01	1.091E-01	6.794E-02

IY= 14	6.206E-04	1.179E-01	1.207E-01	1.106E-01	7.030E-02
IY= 12	5.344E-04	1.149E-01	1.219E-01	1.077E-01	6.717E-02
IY= 10	3.810E-04	7.644E-02	9.873E-02	1.164E-01	8.636E-02
IY= 8	3.732E-04	7.166E-02	1.004E-01	1.184E-01	8.733E-02
IY= 6	6.792E-04	1.212E-01	1.218E-01	1.077E-01	6.561E-02
IY= 4	6.816E-04	1.208E-01	1.210E-01	1.079E-01	6.663E-02
IY= 2	2.563E-04	5.027E-02	7.300E-02	9.723E-02	9.446E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF HI

IY= 20	2.903E+04	2.506E+04	2.250E+04	2.074E+04	2.028E+04
IY= 18	2.907E+04	2.510E+04	2.253E+04	2.076E+04	2.029E+04
IY= 16	2.687E+04	2.195E+04	2.098E+04	2.041E+04	2.024E+04
IY= 14	2.727E+04	2.221E+04	2.114E+04	2.051E+04	2.027E+04
IY= 12	2.783E+04	2.242E+04	2.092E+04	2.044E+04	2.026E+04
IY= 10	2.899E+04	2.509E+04	2.325E+04	2.120E+04	2.038E+04
IY= 8	2.946E+04	2.557E+04	2.316E+04	2.107E+04	2.035E+04
IY= 6	2.673E+04	2.182E+04	2.084E+04	2.034E+04	2.021E+04
IY= 4	2.674E+04	2.185E+04	2.095E+04	2.043E+04	2.028E+04
IY= 2	2.932E+04	2.537E+04	2.421E+04	2.248E+04	2.097E+04
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF TMP1

IY= 20	2.883E+01	2.489E+01	2.234E+01	2.060E+01	2.014E+01
IY= 18	2.887E+01	2.493E+01	2.237E+01	2.062E+01	2.015E+01
IY= 16	2.668E+01	2.180E+01	2.084E+01	2.027E+01	2.010E+01
IY= 14	2.709E+01	2.206E+01	2.100E+01	2.036E+01	2.013E+01
IY= 12	2.764E+01	2.226E+01	2.078E+01	2.029E+01	2.012E+01
IY= 10	2.879E+01	2.491E+01	2.308E+01	2.106E+01	2.023E+01
IY= 8	2.925E+01	2.539E+01	2.300E+01	2.092E+01	2.021E+01
IY= 6	2.655E+01	2.167E+01	2.070E+01	2.020E+01	2.007E+01
IY= 4	2.655E+01	2.170E+01	2.080E+01	2.029E+01	2.014E+01
IY= 2	2.912E+01	2.519E+01	2.405E+01	2.233E+01	2.083E+01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF RHO1

IY= 20	1.166E+00	1.181E+00	1.192E+00	1.199E+00	1.201E+00
IY= 18	1.166E+00	1.181E+00	1.191E+00	1.199E+00	1.200E+00
IY= 16	1.174E+00	1.194E+00	1.198E+00	1.200E+00	1.201E+00
IY= 14	1.173E+00	1.193E+00	1.197E+00	1.200E+00	1.201E+00
IY= 12	1.171E+00	1.192E+00	1.198E+00	1.200E+00	1.201E+00
IY= 10	1.166E+00	1.181E+00	1.189E+00	1.197E+00	1.200E+00
IY= 8	1.164E+00	1.179E+00	1.189E+00	1.197E+00	1.200E+00
IY= 6	1.175E+00	1.194E+00	1.198E+00	1.200E+00	1.201E+00
IY= 4	1.175E+00	1.194E+00	1.198E+00	1.200E+00	1.201E+00
IY= 2	1.165E+00	1.180E+00	1.185E+00	1.192E+00	1.198E+00

IX=	1	5	9	13	17
FIELD VALUES OF ENUL					
IY= 20	1.592E-05	1.555E-05	1.531E-05	1.515E-05	1.511E-05
IY= 18	1.592E-05	1.555E-05	1.531E-05	1.515E-05	1.511E-05
IY= 16	1.572E-05	1.526E-05	1.517E-05	1.512E-05	1.510E-05
IY= 14	1.575E-05	1.529E-05	1.519E-05	1.513E-05	1.511E-05
IY= 12	1.580E-05	1.530E-05	1.517E-05	1.512E-05	1.511E-05
IY= 10	1.591E-05	1.555E-05	1.538E-05	1.519E-05	1.512E-05
IY= 8	1.596E-05	1.559E-05	1.537E-05	1.518E-05	1.511E-05
IY= 6	1.570E-05	1.525E-05	1.516E-05	1.511E-05	1.510E-05
IY= 4	1.570E-05	1.525E-05	1.517E-05	1.512E-05	1.511E-05
IY= 2	1.594E-05	1.558E-05	1.547E-05	1.531E-05	1.517E-05
IX=	1	5	9	13	17

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 18 ITERN NO= 1

FLOW FIELD AT ITHYD= 1, IZ= 18, ISWEEP= 80, ISTEP= 1
FIELD VALUES OF P1

IY= 20	1.132E-01	1.145E-01	1.154E-01	1.164E-01	1.172E-01
IY= 18	1.132E-01	1.145E-01	1.154E-01	1.164E-01	1.172E-01
IY= 16	1.141E-01	1.148E-01	1.154E-01	1.163E-01	1.171E-01
IY= 14	1.138E-01	1.149E-01	1.154E-01	1.162E-01	1.171E-01
IY= 12	1.142E-01	1.149E-01	1.154E-01	1.162E-01	1.170E-01
IY= 10	1.132E-01	1.148E-01	1.154E-01	1.162E-01	1.171E-01
IY= 8	1.131E-01	1.148E-01	1.155E-01	1.161E-01	1.172E-01
IY= 6	1.144E-01	1.149E-01	1.154E-01	1.161E-01	1.169E-01
IY= 4	1.137E-01	1.147E-01	1.153E-01	1.160E-01	1.169E-01
IY= 2	1.125E-01	1.144E-01	1.153E-01	1.162E-01	1.175E-01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF U1

IY= 20	7.784E-05	1.181E-02	1.128E-02	6.298E-03	1.659E-03
IY= 18	7.640E-05	1.251E-02	1.432E-02	1.089E-02	4.592E-03
IY= 16	-1.217E-04	-1.699E-02	-1.842E-02	-1.302E-02	-4.802E-03
IY= 14	-6.351E-05	-8.559E-03	-1.356E-02	-1.102E-02	-4.377E-03
IY= 12	-7.388E-05	-1.260E-02	-1.680E-02	-1.237E-02	-4.231E-03
IY= 10	8.675E-05	1.253E-02	1.854E-02	1.504E-02	4.216E-03
IY= 8	8.213E-05	1.484E-02	2.396E-02	2.602E-02	1.393E-02
IY= 6	-1.320E-04	-1.801E-02	-1.923E-02	-1.532E-02	-5.975E-03
IY= 4	-6.446E-05	-8.669E-03	-1.189E-02	-7.861E-03	-3.554E-03
IY= 2	7.280E-05	1.507E-02	2.501E-02	2.669E-02	1.454E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF V1

IY= 19	3.856E-04	9.815E-03	-4.620E-03	-6.571E-03	-4.801E-03
IY= 17	-1.364E-06	2.939E-03	1.154E-03	-8.420E-04	-2.144E-03
IY= 15	-2.676E-04	-1.821E-03	6.589E-04	-1.661E-03	5.788E-03
IY= 13	-1.130E-04	7.055E-04	-1.398E-04	-1.130E-03	2.001E-03
IY= 11	-6.066E-05	-5.267E-04	1.062E-03	9.788E-04	3.416E-05
IY= 9	1.250E-04	-2.044E-04	2.538E-03	-6.908E-04	-2.274E-03
IY= 7	1.840E-04	1.026E-02	7.875E-03	-8.064E-04	-1.710E-02
IY= 5	-3.703E-04	-1.273E-02	7.200E-03	8.133E-03	3.457E-03
IY= 3	-3.185E-04	-1.694E-02	-7.330E-03	6.144E-03	1.896E-02
IY= 1	1.841E-04	6.334E-03	2.833E-03	3.100E-04	-8.323E-03
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF W1

IY= 20	4.697E-04	8.459E-02	1.013E-01	1.184E-01	9.715E-02
IY= 18	4.661E-04	8.357E-02	9.957E-02	1.148E-01	1.065E-01
IY= 16	7.386E-04	1.179E-01	1.111E-01	1.009E-01	6.904E-02
IY= 14	6.089E-04	1.165E-01	1.128E-01	1.020E-01	7.445E-02
IY= 12	6.711E-04	1.190E-01	1.105E-01	1.010E-01	7.339E-02
IY= 10	4.250E-04	8.467E-02	1.044E-01	1.126E-01	1.053E-01
IY= 8	3.882E-04	7.654E-02	9.952E-02	1.071E-01	1.119E-01
IY= 6	7.156E-04	1.092E-01	9.746E-02	8.085E-02	5.753E-02
IY= 4	6.033E-04	1.146E-01	1.168E-01	1.052E-01	7.034E-02
IY= 2	3.212E-04	6.074E-02	8.009E-02	8.462E-02	8.765E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF H1

IY= 20	2.862E+04	2.500E+04	2.447E+04	2.360E+04	2.222E+04
IY= 18	2.872E+04	2.511E+04	2.454E+04	2.388E+04	2.258E+04
IY= 16	2.700E+04	2.275E+04	2.265E+04	2.240E+04	2.220E+04
IY= 14	2.821E+04	2.321E+04	2.262E+04	2.269E+04	2.262E+04
IY= 12	2.703E+04	2.237E+04	2.241E+04	2.259E+04	2.262E+04
IY= 10	2.926E+04	2.511E+04	2.399E+04	2.360E+04	2.308E+04
IY= 8	3.001E+04	2.600E+04	2.458E+04	2.402E+04	2.378E+04
IY= 6	2.625E+04	2.217E+04	2.228E+04	2.240E+04	2.277E+04
IY= 4	2.789E+04	2.313E+04	2.265E+04	2.291E+04	2.353E+04
IY= 2	3.101E+04	2.684E+04	2.544E+04	2.494E+04	2.466E+04
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF TMP1

IY= 20	2.842E+01	2.482E+01	2.430E+01	2.344E+01	2.207E+01
IY= 18	2.852E+01	2.493E+01	2.437E+01	2.372E+01	2.242E+01
IY= 16	2.682E+01	2.259E+01	2.249E+01	2.224E+01	2.204E+01
IY= 14	2.802E+01	2.305E+01	2.247E+01	2.253E+01	2.246E+01
IY= 12	2.685E+01	2.222E+01	2.225E+01	2.244E+01	2.246E+01
IY= 10	2.905E+01	2.494E+01	2.382E+01	2.344E+01	2.292E+01

IY= 8	2.980E+01	2.582E+01	2.441E+01	2.386E+01	2.361E+01
IY= 6	2.607E+01	2.201E+01	2.213E+01	2.225E+01	2.261E+01
IY= 4	2.770E+01	2.297E+01	2.249E+01	2.275E+01	2.337E+01
IY= 2	3.080E+01	2.665E+01	2.526E+01	2.477E+01	2.449E+01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF RHO1

IY= 20	1.168E+00	1.182E+00	1.184E+00	1.187E+00	1.193E+00
IY= 18	1.167E+00	1.181E+00	1.183E+00	1.186E+00	1.191E+00
IY= 16	1.174E+00	1.191E+00	1.191E+00	1.192E+00	1.193E+00
IY= 14	1.169E+00	1.189E+00	1.191E+00	1.191E+00	1.191E+00
IY= 12	1.174E+00	1.192E+00	1.192E+00	1.191E+00	1.191E+00
IY= 10	1.165E+00	1.181E+00	1.186E+00	1.187E+00	1.189E+00
IY= 8	1.162E+00	1.178E+00	1.183E+00	1.185E+00	1.186E+00
IY= 6	1.177E+00	1.193E+00	1.192E+00	1.192E+00	1.190E+00
IY= 4	1.170E+00	1.189E+00	1.191E+00	1.190E+00	1.187E+00
IY= 2	1.158E+00	1.174E+00	1.180E+00	1.182E+00	1.183E+00
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF ENUL

IY= 20	1.588E-05	1.554E-05	1.549E-05	1.541E-05	1.529E-05
IY= 18	1.589E-05	1.555E-05	1.550E-05	1.544E-05	1.532E-05
IY= 16	1.573E-05	1.533E-05	1.533E-05	1.530E-05	1.528E-05
IY= 14	1.584E-05	1.538E-05	1.532E-05	1.533E-05	1.532E-05
IY= 12	1.573E-05	1.530E-05	1.530E-05	1.532E-05	1.532E-05
IY= 10	1.594E-05	1.555E-05	1.545E-05	1.541E-05	1.537E-05
IY= 8	1.601E-05	1.563E-05	1.550E-05	1.545E-05	1.543E-05
IY= 6	1.566E-05	1.528E-05	1.529E-05	1.530E-05	1.534E-05
IY= 4	1.581E-05	1.537E-05	1.533E-05	1.535E-05	1.541E-05
IY= 2	1.610E-05	1.571E-05	1.558E-05	1.554E-05	1.551E-05
IX=	1	5	9	13	17

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 27 ITERNO= 1

FLOW FIELD AT ITHYD= 1, IZ= 27, ISWEEP= 80, ISTEP= 1

FIELD VALUES OF P1

IY= 20	1.064E-01	1.082E-01	1.095E-01	1.107E-01	1.119E-01
IY= 18	1.063E-01	1.082E-01	1.097E-01	1.108E-01	1.118E-01
IY= 16	1.071E-01	1.083E-01	1.095E-01	1.107E-01	1.119E-01
IY= 14	1.070E-01	1.085E-01	1.095E-01	1.107E-01	1.118E-01
IY= 12	1.075E-01	1.086E-01	1.095E-01	1.106E-01	1.117E-01
IY= 10	1.065E-01	1.083E-01	1.095E-01	1.107E-01	1.118E-01

IY= 8	1.062E-01	1.082E-01	1.095E-01	1.107E-01	1.119E-01
IY= 6	1.075E-01	1.086E-01	1.095E-01	1.106E-01	1.118E-01
IY= 4	1.067E-01	1.082E-01	1.092E-01	1.104E-01	1.117E-01
IY= 2	1.054E-01	1.076E-01	1.089E-01	1.104E-01	1.121E-01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF U1

IY= 20	6.818E-05	1.008E-02	1.259E-02	1.017E-02	3.346E-03
IY= 18	7.093E-05	9.745E-03	4.170E-03	-4.098E-03	-2.835E-03
IY= 16	-1.026E-04	-1.359E-02	-1.425E-02	-9.437E-03	-3.529E-03
IY= 14	-6.477E-05	-8.234E-03	-1.237E-02	-7.612E-03	-2.174E-03
IY= 12	-6.257E-05	-1.250E-02	-1.696E-02	-1.173E-02	-3.721E-03
IY= 10	3.536E-05	4.447E-03	9.067E-03	9.656E-03	2.573E-03
IY= 8	5.599E-05	1.025E-02	1.795E-02	1.948E-02	9.690E-03
IY= 6	-8.379E-05	-1.402E-02	-1.738E-02	-1.350E-02	-4.389E-03
IY= 4	-1.982E-05	-5.004E-03	-9.366E-03	-8.572E-03	-3.209E-03
IY= 2	2.895E-05	4.397E-03	6.924E-03	6.604E-03	2.952E-03
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF V1

IY= 19	3.397E-04	9.459E-03	1.260E-03	-6.093E-03	-9.361E-03
IY= 17	-2.250E-05	1.223E-03	-3.722E-03	-5.556E-03	5.595E-03
IY= 15	-2.261E-04	3.985E-04	1.915E-03	-8.458E-04	9.546E-05
IY= 13	-7.770E-05	3.260E-03	2.262E-03	1.213E-04	-6.314E-03
IY= 11	1.384E-05	-6.883E-04	-1.999E-03	-2.266E-03	1.099E-03
IY= 9	-2.127E-04	-8.774E-03	7.616E-03	3.411E-03	4.367E-04
IY= 7	3.511E-04	1.496E-02	-1.724E-03	-9.174E-03	-1.239E-02
IY= 5	-2.535E-04	-5.808E-03	3.586E-04	2.387E-03	3.367E-03
IY= 3	-2.414E-04	-2.296E-02	-9.367E-03	1.100E-02	1.945E-02
IY= 1	-2.431E-04	-2.175E-02	-7.124E-03	1.231E-02	1.172E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF W1

IY= 20	4.520E-04	8.424E-02	1.036E-01	1.161E-01	1.051E-01
IY= 18	4.520E-04	8.064E-02	1.086E-01	1.088E-01	7.492E-02
IY= 16	7.319E-04	1.200E-01	1.157E-01	1.063E-01	7.641E-02
IY= 14	5.528E-04	1.141E-01	1.168E-01	1.090E-01	7.976E-02
IY= 12	6.552E-04	1.185E-01	1.109E-01	9.914E-02	6.341E-02
IY= 10	5.108E-04	9.999E-02	1.141E-01	1.197E-01	1.030E-01
IY= 8	4.170E-04	8.524E-02	1.050E-01	1.123E-01	1.137E-01
IY= 6	6.238E-04	1.062E-01	9.746E-02	8.486E-02	5.670E-02
IY= 4	5.024E-04	1.083E-01	1.191E-01	1.004E-01	6.394E-02
IY= 2	4.350E-04	9.460E-02	1.145E-01	9.232E-02	6.783E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF H1

IY= 20	3.057E+04	2.678E+04	2.584E+04	2.516E+04	2.427E+04
--------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

IY= 18	3.073E+04	2.709E+04	2.593E+04	2.454E+04	2.403E+04
IY= 16	2.923E+04	2.473E+04	2.445E+04	2.423E+04	2.405E+04
IY= 14	3.008E+04	2.504E+04	2.429E+04	2.426E+04	2.410E+04
IY= 12	2.865E+04	2.400E+04	2.389E+04	2.381E+04	2.369E+04
IY= 10	3.015E+04	2.587E+04	2.517E+04	2.468E+04	2.427E+04
IY= 8	3.126E+04	2.708E+04	2.605E+04	2.537E+04	2.503E+04
IY= 6	2.844E+04	2.412E+04	2.420E+04	2.446E+04	2.462E+04
IY= 4	3.023E+04	2.527E+04	2.443E+04	2.513E+04	2.553E+04
IY= 2	3.177E+04	2.686E+04	2.582E+04	2.648E+04	2.618E+04
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF TMP1

IY= 20	3.036E+01	2.660E+01	2.566E+01	2.499E+01	2.410E+01
IY= 18	3.051E+01	2.690E+01	2.575E+01	2.437E+01	2.386E+01
IY= 16	2.902E+01	2.455E+01	2.428E+01	2.406E+01	2.389E+01
IY= 14	2.987E+01	2.487E+01	2.412E+01	2.410E+01	2.394E+01
IY= 12	2.845E+01	2.384E+01	2.372E+01	2.365E+01	2.353E+01
IY= 10	2.994E+01	2.569E+01	2.500E+01	2.451E+01	2.411E+01
IY= 8	3.104E+01	2.689E+01	2.586E+01	2.519E+01	2.486E+01
IY= 6	2.824E+01	2.395E+01	2.403E+01	2.429E+01	2.444E+01
IY= 4	3.002E+01	2.510E+01	2.426E+01	2.495E+01	2.535E+01
IY= 2	3.155E+01	2.667E+01	2.564E+01	2.630E+01	2.600E+01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF RHO1

IY= 20	1.160E+00	1.175E+00	1.178E+00	1.181E+00	1.184E+00
IY= 18	1.159E+00	1.173E+00	1.178E+00	1.183E+00	1.185E+00
IY= 16	1.165E+00	1.183E+00	1.184E+00	1.185E+00	1.185E+00
IY= 14	1.162E+00	1.181E+00	1.184E+00	1.185E+00	1.185E+00
IY= 12	1.167E+00	1.186E+00	1.186E+00	1.186E+00	1.187E+00
IY= 10	1.162E+00	1.178E+00	1.181E+00	1.183E+00	1.184E+00
IY= 8	1.157E+00	1.173E+00	1.178E+00	1.180E+00	1.181E+00
IY= 6	1.168E+00	1.185E+00	1.185E+00	1.184E+00	1.183E+00
IY= 4	1.161E+00	1.181E+00	1.184E+00	1.181E+00	1.180E+00
IY= 2	1.156E+00	1.174E+00	1.178E+00	1.176E+00	1.177E+00
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF ENUL

IY= 20	1.606E-05	1.571E-05	1.562E-05	1.556E-05	1.547E-05
IY= 18	1.607E-05	1.574E-05	1.563E-05	1.550E-05	1.545E-05
IY= 16	1.593E-05	1.552E-05	1.549E-05	1.547E-05	1.545E-05
IY= 14	1.601E-05	1.555E-05	1.548E-05	1.547E-05	1.546E-05
IY= 12	1.588E-05	1.545E-05	1.544E-05	1.543E-05	1.542E-05
IY= 10	1.602E-05	1.562E-05	1.556E-05	1.551E-05	1.548E-05
IY= 8	1.612E-05	1.573E-05	1.564E-05	1.558E-05	1.555E-05
IY= 6	1.586E-05	1.546E-05	1.547E-05	1.549E-05	1.551E-05

IY= 4	1.603E-05	1.557E-05	1.549E-05	1.555E-05	1.559E-05
IY= 2	1.617E-05	1.571E-05	1.562E-05	1.568E-05	1.565E-05
IX=	1	5	9	13	17

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 36 ITERN NO= 1

FLOW FIELD AT ITHYD= 1, IZ= 36, ISWEEP= 80, ISTEP= 1
FIELD VALUES OF P1

IY= 20	1.004E-01	1.023E-01	1.036E-01	1.049E-01	1.064E-01
IY= 18	9.950E-02	1.019E-01	1.033E-01	1.048E-01	1.065E-01
IY= 16	9.939E-02	1.020E-01	1.036E-01	1.050E-01	1.066E-01
IY= 14	1.006E-01	1.022E-01	1.036E-01	1.051E-01	1.065E-01
IY= 12	1.010E-01	1.023E-01	1.035E-01	1.050E-01	1.065E-01
IY= 10	9.979E-02	1.019E-01	1.034E-01	1.050E-01	1.067E-01
IY= 8	9.967E-02	1.019E-01	1.034E-01	1.051E-01	1.067E-01
IY= 6	1.007E-01	1.022E-01	1.035E-01	1.050E-01	1.066E-01
IY= 4	9.958E-02	1.018E-01	1.033E-01	1.048E-01	1.066E-01
IY= 2	9.892E-02	1.015E-01	1.031E-01	1.047E-01	1.069E-01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF U1

IY= 20	-1.868E-05	-9.323E-03	-1.493E-02	-1.270E-02	-4.495E-03
IY= 18	3.169E-05	4.312E-03	5.391E-03	3.267E-03	-1.185E-03
IY= 16	1.725E-05	4.403E-03	2.358E-03	-1.283E-03	-2.946E-03
IY= 14	-8.882E-05	-1.288E-02	-1.615E-02	-1.105E-02	-3.469E-03
IY= 12	-8.477E-05	-1.632E-02	-2.074E-02	-1.422E-02	-4.440E-03
IY= 10	4.386E-05	4.690E-03	7.205E-03	1.011E-02	6.624E-03
IY= 8	4.355E-05	6.243E-03	6.464E-03	7.350E-03	3.690E-03
IY= 6	-5.050E-05	-1.149E-02	-1.505E-02	-1.046E-02	-2.759E-03
IY= 4	2.970E-05	-3.413E-04	-4.324E-03	-5.580E-03	-2.408E-03
IY= 2	1.572E-05	3.272E-03	4.290E-03	1.023E-03	-1.142E-03
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF V1

IY= 19	-5.242E-05	-9.607E-03	-3.010E-03	6.142E-03	1.207E-02
IY= 17	-1.750E-04	-1.399E-02	-4.666E-03	4.696E-03	1.703E-02
IY= 15	1.263E-04	5.823E-03	7.697E-04	4.286E-03	-1.093E-02
IY= 13	-1.036E-04	1.802E-03	3.378E-04	1.046E-03	-1.224E-03
IY= 11	-1.052E-04	-4.974E-03	-1.819E-03	3.256E-03	7.845E-03
IY= 9	-1.999E-04	-1.280E-02	1.948E-03	1.574E-02	3.175E-03
IY= 7	3.408E-04	1.653E-02	-4.434E-04	-9.335E-03	-7.692E-03
IY= 5	-1.866E-04	-1.003E-02	-1.526E-03	6.210E-03	9.161E-03
IY= 3	-1.406E-04	-2.042E-02	-7.226E-03	1.084E-02	2.057E-02

IY=	1	-2.009E-04	-1.818E-02	-1.048E-02	3.885E-03	2.563E-02
IX=	1	5	9	13	17	

FIELD VALUES OF W1

IY=	20	4.035E-04	1.065E-01	1.070E-01	9.120E-02	5.861E-02
IY=	18	4.644E-04	9.989E-02	1.278E-01	1.293E-01	1.019E-01
IY=	16	4.005E-04	8.813E-02	1.270E-01	1.251E-01	9.399E-02
IY=	14	6.571E-04	1.122E-01	1.037E-01	9.040E-02	5.908E-02
IY=	12	7.162E-04	1.194E-01	1.069E-01	9.475E-02	6.269E-02
IY=	10	6.003E-04	1.075E-01	1.121E-01	1.135E-01	1.082E-01
IY=	8	4.764E-04	9.860E-02	1.149E-01	1.190E-01	1.045E-01
IY=	6	6.055E-04	1.091E-01	9.694E-02	7.771E-02	4.810E-02
IY=	4	4.940E-04	1.053E-01	1.167E-01	9.067E-02	5.453E-02
IY=	2	4.473E-04	9.631E-02	1.246E-01	1.101E-01	6.974E-02
IX=	1	5	9	13	17	

FIELD VALUES OF H1

IY=	20	3.233E+04	2.762E+04	2.596E+04	2.572E+04	2.596E+04
IY=	18	3.281E+04	2.796E+04	2.627E+04	2.609E+04	2.671E+04
IY=	16	3.376E+04	2.865E+04	2.640E+04	2.605E+04	2.667E+04
IY=	14	3.091E+04	2.618E+04	2.581E+04	2.577E+04	2.582E+04
IY=	12	2.975E+04	2.529E+04	2.530E+04	2.527E+04	2.526E+04
IY=	10	3.146E+04	2.689E+04	2.646E+04	2.689E+04	2.620E+04
IY=	8	3.217E+04	2.774E+04	2.698E+04	2.703E+04	2.634E+04
IY=	6	3.045E+04	2.598E+04	2.603E+04	2.643E+04	2.673E+04
IY=	4	3.211E+04	2.728E+04	2.638E+04	2.718E+04	2.778E+04
IY=	2	3.358E+04	2.849E+04	2.680E+04	2.732E+04	2.817E+04
IX=	1	5	9	13	17	

FIELD VALUES OF TMP1

IY=	20	3.210E+01	2.743E+01	2.578E+01	2.554E+01	2.578E+01
IY=	18	3.259E+01	2.777E+01	2.609E+01	2.591E+01	2.652E+01
IY=	16	3.352E+01	2.845E+01	2.622E+01	2.587E+01	2.648E+01
IY=	14	3.069E+01	2.600E+01	2.563E+01	2.559E+01	2.564E+01
IY=	12	2.955E+01	2.511E+01	2.512E+01	2.509E+01	2.509E+01
IY=	10	3.124E+01	2.670E+01	2.628E+01	2.670E+01	2.602E+01
IY=	8	3.195E+01	2.755E+01	2.679E+01	2.685E+01	2.616E+01
IY=	6	3.024E+01	2.580E+01	2.585E+01	2.625E+01	2.655E+01
IY=	4	3.189E+01	2.710E+01	2.620E+01	2.699E+01	2.759E+01
IY=	2	3.334E+01	2.829E+01	2.661E+01	2.713E+01	2.798E+01
IX=	1	5	9	13	17	

FIELD VALUES OF RHO1

IY=	20	1.153E+00	1.171E+00	1.178E+00	1.179E+00	1.178E+00
IY=	18	1.152E+00	1.170E+00	1.177E+00	1.177E+00	1.175E+00
IY=	16	1.148E+00	1.167E+00	1.176E+00	1.177E+00	1.175E+00
IY=	14	1.159E+00	1.177E+00	1.178E+00	1.179E+00	1.178E+00

IY= 12	1.163E+00	1.180E+00	1.180E+00	1.181E+00	1.181E+00
IY= 10	1.157E+00	1.174E+00	1.176E+00	1.174E+00	1.177E+00
IY= 8	1.154E+00	1.171E+00	1.174E+00	1.174E+00	1.176E+00
IY= 6	1.161E+00	1.178E+00	1.178E+00	1.176E+00	1.175E+00
IY= 4	1.154E+00	1.173E+00	1.176E+00	1.173E+00	1.171E+00
IY= 2	1.149E+00	1.168E+00	1.175E+00	1.173E+00	1.169E+00
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF ENUL

IY= 20	1.622E-05	1.578E-05	1.563E-05	1.561E-05	1.563E-05
IY= 18	1.627E-05	1.582E-05	1.566E-05	1.564E-05	1.570E-05
IY= 16	1.636E-05	1.588E-05	1.567E-05	1.564E-05	1.570E-05
IY= 14	1.609E-05	1.565E-05	1.562E-05	1.561E-05	1.562E-05
IY= 12	1.598E-05	1.557E-05	1.557E-05	1.557E-05	1.557E-05
IY= 10	1.614E-05	1.572E-05	1.568E-05	1.572E-05	1.565E-05
IY= 8	1.621E-05	1.580E-05	1.573E-05	1.573E-05	1.567E-05
IY= 6	1.605E-05	1.563E-05	1.564E-05	1.567E-05	1.570E-05
IY= 4	1.620E-05	1.575E-05	1.567E-05	1.574E-05	1.580E-05
IY= 2	1.634E-05	1.587E-05	1.571E-05	1.576E-05	1.584E-05
IX=	1	5	9	13	17

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 45 ITERN NO= 1

FLOW FIELD AT ITHYD= 1, IZ= 45, ISWEEP= 80, ISTEP= 1
FIELD VALUES OF P1

IY= 20	9.430E-02	9.622E-02	9.779E-02	9.956E-02	1.015E-01
IY= 18	9.325E-02	9.583E-02	9.757E-02	9.940E-02	1.015E-01
IY= 16	9.319E-02	9.588E-02	9.775E-02	9.951E-02	1.015E-01
IY= 14	9.430E-02	9.615E-02	9.783E-02	9.958E-02	1.014E-01
IY= 12	9.377E-02	9.597E-02	9.768E-02	9.933E-02	1.013E-01
IY= 10	9.268E-02	9.576E-02	9.771E-02	9.961E-02	1.019E-01
IY= 8	9.328E-02	9.578E-02	9.770E-02	9.949E-02	1.014E-01
IY= 6	9.388E-02	9.592E-02	9.757E-02	9.944E-02	1.015E-01
IY= 4	9.279E-02	9.545E-02	9.734E-02	9.929E-02	1.015E-01
IY= 2	9.212E-02	9.513E-02	9.721E-02	9.920E-02	1.017E-01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF U1

IY= 20	-3.397E-05	-1.024E-02	-1.495E-02	-1.221E-02	-4.190E-03
IY= 18	3.139E-05	5.082E-03	6.165E-03	2.385E-03	-1.574E-03
IY= 16	4.068E-05	7.878E-03	9.519E-03	3.527E-03	-1.617E-03
IY= 14	-8.616E-05	-1.388E-02	-1.503E-02	-1.054E-02	-3.144E-03
IY= 12	-4.169E-05	-7.691E-03	-9.069E-03	-7.820E-03	-4.340E-03

IY= 10	6.159E-05	1.450E-02	2.760E-02	3.150E-02	1.721E-02
IY= 8	2.442E-05	3.269E-05	-6.740E-03	-1.014E-02	-4.990E-03
IY= 6	-1.658E-05	-6.535E-03	-9.804E-03	-6.541E-03	-1.451E-03
IY= 4	3.105E-05	1.030E-03	-2.534E-03	-4.666E-03	-2.266E-03
IY= 2	1.489E-05	3.235E-03	4.195E-03	1.012E-03	-1.149E-03
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF V1

IY= 19	-1.727E-04	-1.334E-02	-2.231E-03	6.162E-03	1.103E-02
IY= 17	-1.779E-04	-1.501E-02	-6.025E-03	2.862E-03	1.594E-02
IY= 15	3.200E-04	1.520E-02	3.081E-03	-6.270E-03	-1.696E-02
IY= 13	-2.961E-04	-6.520E-03	7.035E-03	3.748E-03	-2.298E-03
IY= 11	-2.400E-04	-1.241E-02	-8.043E-03	4.806E-03	1.621E-02
IY= 9	2.785E-05	5.450E-03	7.207E-03	-2.399E-04	-1.549E-02
IY= 7	3.496E-04	8.851E-03	-5.817E-03	-5.365E-03	-5.614E-03
IY= 5	-2.106E-04	-1.517E-02	-3.570E-03	8.624E-03	1.192E-02
IY= 3	-1.512E-04	-2.176E-02	-8.271E-03	1.099E-02	2.205E-02
IY= 1	-2.017E-04	-1.851E-02	-1.106E-02	3.522E-03	2.624E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF W1

IY= 20	5.858E-04	1.124E-01	1.049E-01	8.939E-02	5.781E-02
IY= 18	4.632E-04	1.013E-01	1.300E-01	1.335E-01	1.024E-01
IY= 16	4.138E-04	8.732E-02	1.203E-01	1.324E-01	1.001E-01
IY= 14	5.992E-04	1.070E-01	9.662E-02	8.206E-02	5.667E-02
IY= 12	6.915E-04	1.193E-01	1.290E-01	1.174E-01	8.095E-02
IY= 10	3.660E-04	6.905E-02	9.733E-02	1.091E-01	1.190E-01
IY= 8	4.852E-04	9.750E-02	1.201E-01	1.046E-01	7.151E-02
IY= 6	5.657E-04	1.158E-01	1.112E-01	8.904E-02	5.434E-02
IY= 4	4.861E-04	1.064E-01	1.225E-01	9.112E-02	5.159E-02
IY= 2	4.379E-04	9.452E-02	1.232E-01	1.059E-01	6.447E-02
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF H1

IY= 20	3.203E+04	2.738E+04	2.724E+04	2.764E+04	2.795E+04
IY= 18	3.374E+04	2.900E+04	2.771E+04	2.792E+04	2.867E+04
IY= 16	3.431E+04	2.985E+04	2.838E+04	2.793E+04	2.867E+04
IY= 14	3.205E+04	2.759E+04	2.735E+04	2.745E+04	2.781E+04
IY= 12	3.273E+04	2.785E+04	2.713E+04	2.706E+04	2.749E+04
IY= 10	3.584E+04	3.151E+04	2.999E+04	2.933E+04	2.888E+04
IY= 8	3.331E+04	2.903E+04	2.788E+04	2.755E+04	2.781E+04
IY= 6	3.256E+04	2.798E+04	2.769E+04	2.830E+04	2.877E+04
IY= 4	3.399E+04	2.917E+04	2.806E+04	2.885E+04	2.960E+04
IY= 2	3.555E+04	3.046E+04	2.864E+04	2.913E+04	3.008E+04
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF TMP1

IY= 20	3.181E+01	2.719E+01	2.705E+01	2.744E+01	2.776E+01
IY= 18	3.351E+01	2.880E+01	2.752E+01	2.772E+01	2.847E+01
IY= 16	3.407E+01	2.964E+01	2.818E+01	2.774E+01	2.847E+01
IY= 14	3.183E+01	2.740E+01	2.716E+01	2.726E+01	2.762E+01
IY= 12	3.251E+01	2.766E+01	2.694E+01	2.687E+01	2.730E+01
IY= 10	3.559E+01	3.129E+01	2.978E+01	2.913E+01	2.868E+01
IY= 8	3.308E+01	2.883E+01	2.769E+01	2.736E+01	2.761E+01
IY= 6	3.233E+01	2.778E+01	2.750E+01	2.811E+01	2.857E+01
IY= 4	3.375E+01	2.897E+01	2.787E+01	2.865E+01	2.939E+01
IY= 2	3.530E+01	3.025E+01	2.844E+01	2.893E+01	2.988E+01
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF RHO1

IY= 20	1.155E+00	1.172E+00	1.173E+00	1.171E+00	1.170E+00
IY= 18	1.148E+00	1.166E+00	1.171E+00	1.170E+00	1.167E+00
IY= 16	1.146E+00	1.163E+00	1.168E+00	1.170E+00	1.167E+00
IY= 14	1.154E+00	1.172E+00	1.172E+00	1.172E+00	1.171E+00
IY= 12	1.152E+00	1.170E+00	1.173E+00	1.174E+00	1.172E+00
IY= 10	1.140E+00	1.157E+00	1.162E+00	1.165E+00	1.167E+00
IY= 8	1.150E+00	1.166E+00	1.170E+00	1.172E+00	1.171E+00
IY= 6	1.153E+00	1.170E+00	1.171E+00	1.169E+00	1.167E+00
IY= 4	1.147E+00	1.165E+00	1.170E+00	1.167E+00	1.164E+00
IY= 2	1.141E+00	1.160E+00	1.167E+00	1.166E+00	1.162E+00
IX=	1	5	9	13	17

FIELD VALUES OF ENUL

IY= 20	1.620E-05	1.576E-05	1.575E-05	1.579E-05	1.582E-05
IY= 18	1.636E-05	1.591E-05	1.579E-05	1.581E-05	1.588E-05
IY= 16	1.641E-05	1.599E-05	1.586E-05	1.581E-05	1.588E-05
IY= 14	1.620E-05	1.578E-05	1.576E-05	1.577E-05	1.580E-05
IY= 12	1.626E-05	1.581E-05	1.574E-05	1.573E-05	1.577E-05
IY= 10	1.655E-05	1.615E-05	1.601E-05	1.594E-05	1.590E-05
IY= 8	1.632E-05	1.592E-05	1.581E-05	1.578E-05	1.580E-05
IY= 6	1.625E-05	1.582E-05	1.579E-05	1.585E-05	1.589E-05
IY= 4	1.638E-05	1.593E-05	1.583E-05	1.590E-05	1.597E-05
IY= 2	1.653E-05	1.605E-05	1.588E-05	1.593E-05	1.601E-05
IX=	1	5	9	13	17

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 50 ITERN NO= 1

TIME STP= 1 SWEEP NO= 80 ZSLAB NO= 1 ITERN NO= 1

WHOLE-FIELD RESIDUALS BEFORE SOLUTIONS

WHOLE-FIELD SUM OF ABS(VOL.FLOW RESIDUALS)= 3.098E+04

WHOLE-FIELD SUM OF ABS(RESIDUALS) OF U1 = 2.012E+03

WHOLE-FIELD SUM OF ABS(RESIDUALS) OF V1 = 1.177E+03

WHOLE-FIELD SUM OF ABS(RESIDUALS) OF W1 = 2.561E+03

WHOLE-FIELD SUM OF ABS(RESIDUALS) OF H1 = 4.465E+07

* SUMS HAVE BEEN DIVIDED BY RESREF(NAME)

Net source of U1 at patch named: INLET = 8.787E-07
 Net source of U1 at patch named: OUTLET = -5.458E-07
 Net source of U1 at patch named: HOTS = -8.021E-07
 Net source of U1 at patch named: BUOY = 9.004E-04

Net source of V1 at patch named: INLET = 5.032E-07
 Net source of V1 at patch named: OUTLET = 1.873E-06
 Net source of V1 at patch named: HOTUP = -3.259E-06
 Net source of V1 at patch named: HEATFLUX = 4.521E-06

Net source of W1 at patch named: INLET = 3.459E-05
 Net source of W1 at patch named: OUTLET = 0.000E+00
 Net source of W1 at patch named: HOTUP = -5.695E-05
 Net source of W1 at patch named: HOTS = -7.821E-06
 Net source of W1 at patch named: HEATFLUX = -7.667E-05
 Net source of W1 at patch named: BUOY = -8.474E-14

Net source of R1 at patch named: INLET = 4.324E-04
 Net source of R1 at patch named: OUTLET = -4.322E-04

Net source of H1 at patch named: INLET = 8.708E+00
 Net source of H1 at patch named: OUTLET = -1.275E+01
 Net source of H1 at patch named: HEATFLUX = 4.050E+00

spot values vs sweep or iteration number

IXMON= 10 IYMON= 20 IZMON= 50

Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP	P1	U1	V1	W1	H1
1.000E+00	1.000E-10	-1.548E-03	0.000E+00	8.000E-02	2.014E+04
5.000E+00	7.084E-02	-2.265E-03	0.000E+00	8.000E-02	2.029E+04
9.000E+00	8.643E-02	-3.210E-03	0.000E+00	8.000E-02	2.078E+04
1.300E+01	9.061E-02	-4.083E-03	0.000E+00	8.000E-02	2.157E+04

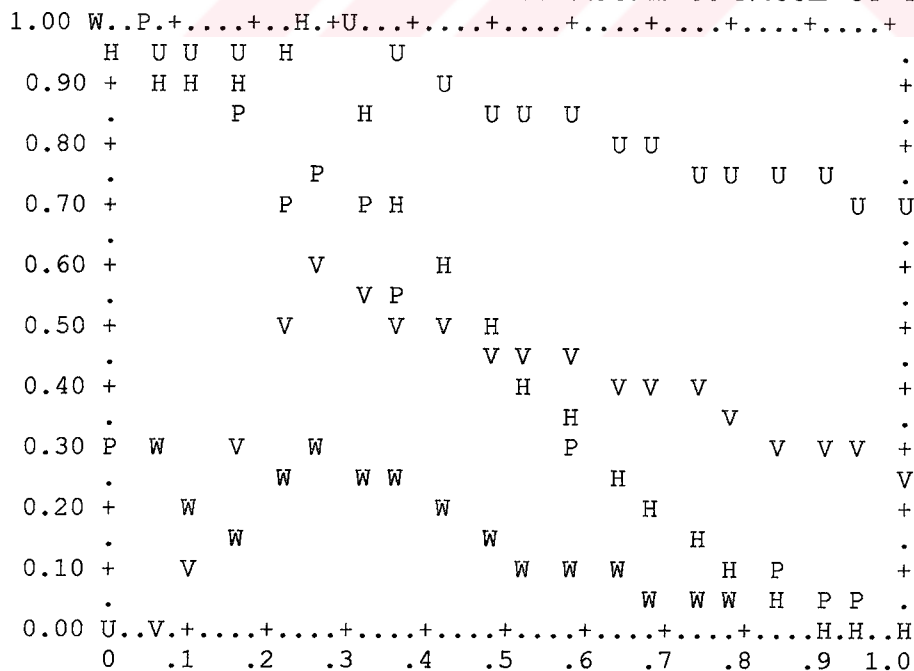
Tabulation of abscissa and ordinates...

ISWP	P1	U1	V1	W1	H1
1.000E+00	7.024E+04	1.794E+01	1.460E+04	1.206E+06	4.050E+08
5.000E+00	3.608E+05	8.435E+03	4.754E+02	1.711E+04	3.738E+08
9.000E+00	3.371E+05	1.046E+04	6.391E+02	8.211E+03	3.437E+08
1.300E+01	2.464E+05	1.043E+04	1.268E+03	6.945E+03	3.410E+08
1.700E+01	1.756E+05	1.165E+04	2.514E+03	1.069E+04	4.157E+08
2.100E+01	1.871E+05	1.388E+04	3.742E+03	1.454E+04	4.472E+08
2.500E+01	1.716E+05	1.191E+04	3.358E+03	1.361E+04	3.301E+08
2.900E+01	1.264E+05	8.897E+03	2.657E+03	1.107E+04	2.276E+08
3.300E+01	1.053E+05	7.246E+03	2.459E+03	8.930E+03	1.769E+08
3.700E+01	9.293E+04	6.023E+03	2.289E+03	6.939E+03	1.426E+08
4.100E+01	8.065E+04	5.074E+03	2.214E+03	5.624E+03	1.176E+08
4.500E+01	6.909E+04	4.361E+03	2.143E+03	4.926E+03	9.868E+07
4.900E+01	6.064E+04	3.782E+03	2.027E+03	4.417E+03	8.382E+07
5.300E+01	5.387E+04	3.368E+03	1.907E+03	4.083E+03	7.427E+07
5.700E+01	4.757E+04	3.004E+03	1.777E+03	3.847E+03	6.688E+07
6.100E+01	4.249E+04	2.645E+03	1.605E+03	3.617E+03	5.819E+07
6.500E+01	3.945E+04	2.356E+03	1.426E+03	3.317E+03	5.123E+07
6.900E+01	3.738E+04	2.229E+03	1.300E+03	3.056E+03	4.736E+07
7.300E+01	3.525E+04	2.160E+03	1.240E+03	2.848E+03	4.606E+07
7.700E+01	3.276E+04	2.082E+03	1.212E+03	2.675E+03	4.515E+07

VARIABLE P1 U1 V1 W1 H1

MINVAL= 1.040E+01 2.887E+00 6.164E+00 7.892E+00 1.763E+01

MAXVAL= 1.280E+01 9.538E+00 9.589E+00 1.400E+01 1.992E+01



the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 7.70E+01

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Mardin' in Mazıdağı ilçesinde doğdu. İlk, orta ve Lise eğitimini Diyarbakır'da tamamladıktan sonra 1991' de Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında vatani görevini tamamladıktan sonra bir süre özel sektörde çalıştı. 1995 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak işe başladı. Halen bu göreve devam etmektedir.

