



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÜÇ-BOYUTLU MATEMATİK MODEL İLE BARAJ HAZNESİNDEKİ**  
**YOĞUNLUK AKIMLARININ İNCELENMESİ**

**BORA KUNDUZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANTAKYA**

**ŞUBAT-2007**

## Mustafa Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Yrd. Doç. Dr. Fatih ÜNEŞ' in danışmanlığında, Bora KUNDUZ tarafından hazırlanan bu çalışma 02/02/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Fatih ÜNEŞ	İmza.....
Üye : Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN	İmza.....
Üye : Doç. Dr. Ali KOÇ	İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Kod No:

İmza  
02/02/2007  
Prof. Dr. Necat AĞCA  
Enstitü Müdürü

**Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>II</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>III</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>V</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>VI</b>
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Dalmış Akımlar.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
1.3. Konunun Önemi.....	2
<b>2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>3</b>
2.1.Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	3
2.2.Yapılan Çalışmanın Kapsamı.....	7
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>8</b>
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Tabakalı Akım Dinamiği.....	8
3.1.2. Coriolis Kuvveti.....	8
3.1.3.Yapılan Kabuller.....	10
3.1.4. Türbülanslı Akım Matematik Modelin Süreklilik Denklemi ve Coriolis Kuvvetli Hareket Denklemleri.....	11
3.1.5. Türbülanslı Akımlar İçin Enerji Denklemleri.....	12
3.1.6. $k-\epsilon$ Türbülans Modeli Denklemleri.....	13
3.1.7. Genel Diferansiyel Denklemler ve Çözüm Yöntemleri.....	16
3.1.8. SIMPLE İterasyon Yöntemi.....	15
3.1.8.1. Açık Şema.....	16
3.1.8.2. Kapalı Şema.....	17
3.1.9. Matematik Modelde Kullanılan Temel Denklemler.....	18

3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Matematik Model için Kullanılan Bilgisayar Programı.....	20
3.2.1.1. Seçilen Program.....	20
3.2.1.2. Matematik Model Oluşturma Aşamaları.....	21
3.2.2. JOHNSON ve STEFAN (1988) Yapmış Oldukları Deneyin Model Şekli ve Model Girdileri.....	22
3.2.2.1. GAMBİT Çizim Programında Haznenin Çizimi ve Hesap Ağının Oluşturulması .....	23
3.2.2.2. Deneyin Matematik Model Çıktılarının İncelenmesi.	30
3.2.3. Gerçek Baraj Haznesi Boyutlarına Yakın Haznenin Üç Boyutlu Matematik Model İle İncelenmesi.....	41
3.2.3.1. Baraj Haznesinin Boyutları.....	41
3.2.3.2. Matematik Modelin Kurulması.....	42
3.2.3.3. Matematik Modelin Sonuçlarının İncelenmesi.....	42
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>50</b>
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>52</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>54</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>55</b>
<b>Ek 1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 250. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	56
<b>Ek 2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 250. saniyede oluşan hazne hacminde ve hazne çıkışında toplam sıcaklıklar.....	57
<b>Ek 3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 300. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte hızlar.....	58
<b>Ek 4.</b> Türbülanslı akım şartlarında 300. saniyede oluşan hazne hacminde $x = 2, 4, 7, 10$ ve $12$ m de toplam sıcaklıklar.....	59
<b>Ek 5.</b> Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	60
<b>Ek 6.</b> Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	61

<b>Ek 7.</b> Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte $x = 2, 4, 7, 10$ ve $12$ m de toplam sıcaklıklar.....	62
<b>Ek 8.</b> Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	63
<b>Ek 9.</b> Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	64
<b>Ek 10.</b> Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar.....	65
<b>Ek 11.</b> Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte $x = 4, 6, 10$ ve $12$ m toplam sıcaklıklar.....	66

**ÖZET****3 BOYUTLU MATEMATİK MODEL İLE BARAJ HAZNESİNDEKİ  
YOĞUNLUK AKIMLARININ İNCELENMESİ**

Bu çalışmada, üç boyutlu, tabanı eğimli bir haznede Coriolis kuvvetinin yapmış olduğu etki, üç boyutlu matematik model kurularak araştırılmıştır. Kurulan model için akımı yöneten temel denklemler, başlangıç ve sınır şartlarına göre çözülmüştür. Haznede oluşan, hız, dalma derinliği ve taban akımı, sıcaklıklar kontrol hacim ve sonlu farklar metodu kullanılarak Fluent 6.1 paket programı ile çözümü ve simülasyonu yapılmıştır. Haznede bulunan su ile hazneye gelen suyun yoğunlukları farkının yalnızca sıcaklık farkından kaynaklandığı kabul edilmiştir. Yoğunluk farkından dolayı haznede meydana gelen tabakalı akım incelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma, haznedeki yaşam ve su kalitesi modellenmesi açısından önemlidir.

Beş bölümden oluşan bu tez kısaca açıklanacak olursa;

Tezin ilk bölümünde, tezin amacı ve içeriği verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde, önceden yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, olayı yöneten denklemler çıkarılmış ve süreklilik denklemi, kararsız akım hareket denklemi, enerji denklemi ve k-e türbülans model denklemleri tanımlanmıştır. Johnson ve Stefan' ın (1988) de yapmış oldukları deney verileri kullanılarak matematik model oluşturulmuş ve çözümü yapılmıştır. Buna ilaveten gerçek baraj haznesi boyutlarındaki hazne için matematik model oluşturulmuş ve çözümü yapılmıştır

Tezin dördüncü bölümünde ise, kurulmuş olan matematik modelin sonuçları irdelenmiştir.

Tezin beşinci bölümünde çalışmanın genel özeti ve sonucu verilmiştir.

2007, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Baraj haznesi, Coriolis Kuvveti, Dalmış Akım, Taban Akımı

## ABSTRACT

ANALYSIS OF DENSITY FLOW IN DAM RESERVOIR USING THREE  
DIMENSIONAL MATHEMATICAL MODEL

In this study, impacts of the Coriolis force are worked using three dimensional mathematical models with diverging and sloping bottom channels. For the establish model, governing equations are solved according to initial and boundary condition. Velocity, plunging depth, underflow, and temperature in the reservoir are solved using FLUENT 6.1 commercial computer program. In the present study, it is assumed that density differences occur due to temperature differences between inflow and ambient flow. Stratified flow occurring due to density flow is also studied. The result of this study plays an important role on life in reservoir, water quality and management.

As a summary, this thesis is divided into five sections:

In the initial part of the thesis, aim of the work and the contents are explained.

In the second section, information about previous studies are given.

In the third section, governing equations are defined; which are continuity equations, momentum equations, energy equations, k- $\epsilon$  turbulence model equations. Johnson and Stefan's (1988) experimental work data used to construct the mathematical model and consequently the model is solved. In addition real dam reservoir model with original dimensional measures is established with the three dimensional mathematical model and its simulations are made.

In the fourth section, mathematical model simulation results are discussed and evaluated.

Finally section, contains summary and conclusions of the study.

2007, 66 pages

Key Words: Dam Reservoir, Coriolis Force, Plunging Flow, Underflow

## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmamda, haznedeki yoğunluk farklılıklarından dolayı oluşan dalmış akım, tabakalı akım ve haznedeki akıma Coriolis ivmesinin de etkisi katılarak matematik model oluşturulmuştur. Matematik modelimizin girdi parametreleri geçmiş yıllarda yapılmış olan deney verileri oluşturmaktadır. Bu durumda haznede meydana gelen akım özellikleri incelenmeye çalışılmıştır.

Yüksek Lisans çalışmamda, düşüncelerinden ve bilgilerinden istifade ettiğim bunun yanında yakın ilgi ve yardımlarını aldığım, danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih ÜNEŞ' e (Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü) ve tüm inşaat mühendisliği bölümü öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında sabırla bana destek veren aileme sonsuz teşekkürler ederim.



### SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

$f$  = Coriolis parametresi

$F_p$  = Froude katsayısı

$g$  = Yerçekimi ivmesi

$F$  = Giren akım için Froud sayısı

$H_p$  = Dalma noktası su derinliği

$K$  = Dalma derinliği katsayısı

$k$  = türbülans kinetik enerjisi

$Pr$  = türbülans prandtl katsayısı

$\bar{P}$  = indirgenmiş basınç

$q_{in}$  = akarsudan hazneye gelen birim genişlik debisi

$\bar{T}$  = Sıcaklığın zamansal ortalaması

$T_o$  = hazne sıcaklığı

$T$  = su sıcaklığı

$\bar{u}$  = hız bileşeninin x yönündeki bileşeni

$\bar{v}$  = hız bileşeninin y yönündeki bileşeni

$\bar{w}$  = hız bileşeninin z yönündeki bileşeni

$\beta$  = ısı yayılım katsayısı

$\gamma$  = giriş karışım katsayısı

$\Delta T$  = Gelen su ve haznedeki su arasındaki sıcaklık farkı

$\Delta \rho$  = Gelen su ve haznedeki su arasındaki yoğunluk farkı

$\varepsilon$  = turbulent energy dissipation rate per unit mass

$\rho$  = Akışkan yoğunluğu

$\rho_o$  = Haznedeki suyun yoğunluğu

$\nu$  = Kinematik Viskozite

$\nu_t$  = Türbülans viskozitesi

$\Theta$  = İncelenen yerin enlem derecesidir

SIMPLE : Semi Implicit Method for Pressure- Linked Equations

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Çizelge 1.</b> $k$ ve $\epsilon$ modelinde alınan katsayılar.....	15
<b>Çizelge 2.</b> JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yapmış olduğu deneyler ve sınır şartları.....	22
<b>Çizelge 3.</b> Gerçek boyutlara yakın hazne için sınır şartları.....	42
<b>Çizelge 4.</b> JOHNSON ve STEFAN (1988) deneyinin matematik modeli sonucu elde edilen akım özellikleri.....	50

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Şekil 1.1.</b> Eğimli bir tabana sahip haznede dalmış akım şekli.....	1
<b>Sekil 2.1.</b> SİNGH ve SHAH (1971) deneysel gözlemler sonucu belirledikleri dalmış akım şeması.....	4
<b>Şekil 2.2.</b> AKİMAYA ve STEFAN' ın yapmış oldukları deneyde gözlenen bölgeler.....	5
<b>Şekil 3.1.</b> Dünya üzerinde coriolis etkisi.....	9
<b>Şekil 3.2.</b> Açık şema şekli.....	16
<b>Şekil 3.3.</b> Kapalı şema şekli.....	17
<b>Şekil 3.4.</b> Üç Boyutlu hazne simülasyonu için kullanılacak hazne modeli.....	23
<b>Şekil 3.5.</b> GAMBİT de çizimi yapılmış ( $\delta=20^\circ$ , $\theta=3$ ) hazne köşe noktalarının görünümü.....	24
<b>Şekil 3.6.</b> GAMBİT de çizimi yapılmış ( $\delta=20^\circ$ , $\theta=3$ ) hazne kenarların görünümü.....	25
<b>Şekil 3.7.</b> GAMBİT de model için hazneyi oluşturan yüzeylerinin görünümü.....	26
<b>Şekil 3.8.</b> GAMBİT de ( $\delta=20^\circ$ , $\theta=3$ ) model için hazne kenarların hesap ağı görünümü.....	27
<b>Şekil 3.9.</b> GAMBİT de ( $\delta=20^\circ$ , $\theta=3$ ) model için hazne hacminin hesap ağı görünümü.....	28
<b>Şekil 3.10.</b> GAMBİT de ( $\delta=20^\circ$ , $\theta=3$ ) tüm hacmi oluşturun yüzeylerin sınır şartları görünümü.....	29
<b>Şekil 3.11.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne hacminde bileşke hızlar.....	30
<b>Şekil 3.11.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne yüzeyinde bileşke hızlar.....	31
<b>Şekil 3.11.3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne yüzeyinde toplam sıcaklıklar.....	31

<b>Şekil 3.11.4.</b> Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte $x = 1, 2$ ve $3m$ de toplam sıcaklıklar.....	32
<b>Şekil 3.12.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte $x = 1, 2, 3.7$ ve $4m$ de hızlar.....	33
<b>Şekil 3.12.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım hızlar.....	34
<b>Şekil 3.12.3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne dalma noktasındaki hızlar.....	34
<b>Şekil 3.12.4.</b> Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	35
<b>Şekil 3.12.5.</b> Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar.....	35
<b>Şekil 3.13.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 200. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	36
<b>Şekil 3.13.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 200. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte hızlar.....	37
<b>Şekil 3.13.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 200. saniyede oluşan hazne hacminde büyütülmüş boy kesitte toplam sıcaklıklar.....	37
<b>Şekil 3.14.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	38
<b>Şekil 3.14.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar.....	39
<b>Şekil 3.14.3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte $x = 4, 7, 10$ ve $12m$ de hızlar.....	39
<b>Şekil 3.14.4.</b> Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	40
<b>Şekil 3.15.</b> GAMBİT de matematik model için haznenin şekli ve boyutları.....	41
<b>Şekil 3.16.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 1500. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım ve dalma noktasındaki toplam sıcaklıklar.....	43
<b>Şekil 3.16.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 1500. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım, dalma noktası ve hazne çıkışındaki hızlar....	43

<b>Şekil 3.16.3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 1500. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte $x = 50, 100, 150$ m de hızlar.....	44
<b>Şekil 3.17.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 3250. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım ve dalma noktasındaki toplam sıcaklıklar.....	45
<b>Şekil 3.17.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 3250. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	45
<b>Şekil 3.18.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 4750. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	46
<b>Şekil 3.18.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 4750. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte $x = 100, 200, 300, 400, 500$ ve $600$ m de toplam sıcaklıklar.....	47
<b>Şekil 3.18.3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 4750. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	47
<b>Şekil 3.19.1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 6750. saniyede oluşan hazne hacminde büyütülmüş boy kesitte hızlar.....	48
<b>Şekil 3.19.2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 6750. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte $x = 700, 800, 900$ ve $990$ m de hızlar.....	49
<b>Şekil 3.19.3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 6750. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	49
<b>Şekil .Ek1.</b> Türbülanslı akım şartlarında 250. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	56
<b>Şekil .Ek2.</b> Türbülanslı akım şartlarında 250. saniyede oluşan hazne hacminde ve hazne çıkışında toplam sıcaklıklar.....	57
<b>Şekil .Ek3.</b> Türbülanslı akım şartlarında 300. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte hızlar.....	58
<b>Şekil .Ek4.</b> Türbülanslı akım şartlarında 300. saniyede oluşan hazne hacminde $x = 2, 4, 7, 10$ ve $12$ m de toplam sıcaklıklar.....	59
<b>Şekil .Ek5.</b> Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar.....	60
<b>Şekil .Ek6.</b> Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....	61

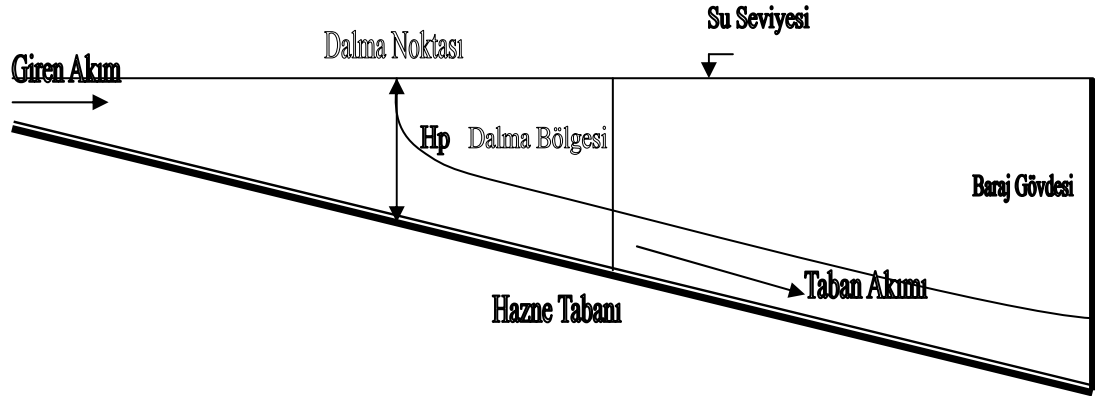
- Şekil .Ek7.** Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte  $x = 2, 4, 7, 10$  ve  $12$  m de toplam sıcaklıklar.62
- Şekil .Ek8.** Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....63
- Şekil .Ek9.** Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar.....64
- Şekil .Ek10.** Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar.....65
- Şekil .Ek11.** Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte  $x = 4, 6, 10$  ve  $12$ m toplam sıcaklıklar.....66

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Dalmış Akımlar

Bir doğal göl veya baraj gölüne gelen su, hazne içinde bulunan su ile genelde farklı özgül kütleye sahiptir, çok nadir olarak özgül ağırlıkları aynı olabilir. Özgül ağırlıktaki bu farklılık, sıcaklık farkları, çözülmüş madde konsantrasyonu ve askı maddesi konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

Hazneye gelen suyun özgül kütlesi, haznedeki mevcut suyun özgül kütlelerinden düşük olduğu durumlarda, Şekil 1.1.' den görüldüğü gibi, özgül kütlesi düşük olan akım, hazne suyunun altına girerek, tabanı boyunca akmaya devam eder (FARRELL ve STEFAN, 1986).



Şekil. 1.1. Eğimli bir tabana sahip haznede dalmış akım şekli

Hazneye giren akım, dalmaya başladığı bölgede dalmış akım veya genel bir isimle yoğunluk akımını meydana getirir. Akımın dalmasının bittiği noktadan sonra taban akımı veya tabakalı akım oluşur. Akım yüzeyde dalma veya batma noktası olarak tanımlanan noktadan itibaren dalmaya başlar. Hazne içerisindeki bu dalmış akımdan ötürü ters akımlar meydana gelmektedir.

Şekil 1.1 de de görüldüğü gibi, taban akımı ve gelen akım arasındaki bölgeye dalma bölgesi denir. Bu bölgede  $H_p$  derinliği (dalma derinliği) ve dalma noktasının yeri gibi iki parametreyle tarif edilir. Dalmış akımdan sonraki bölgede oluşan akıma tabakalı akım veya taban akımı adı verilmektedir.

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, dalma bölgesi haznenin tamamı içerisinde incelenmiştir. Bu çalışmalarda dalmış akım, haznedeki akımın önemli bir bölümünü teşkil etmektedir. Haznede meydana gelen akım incelenirken dalmış akımın yeri ve derinliği önemli iki parametredir.

Bu çalışmalar içinde haznenin tamamını inceleyen çok az sayıda araştırmacı vardır. Yapılan çalışma ve modellerde ise akımın kararsız ve nonlinear olması sebebiyle nümerik olarak çözüm yapılmıştır.

Bu çalışmada matematik model oluşturulurken, ilerleyen teknoloji ile inşaa edilen barajların yüksekliklerinin çok fazla olduğu ve de kimi baraj göllerinin bir iç deniz ve körfez boyutlarında inşa edildiğinden dolayı Coriolis ivmesinin hazneye etkisinin de, hazne akımı incelenirken göz önüne alınması gerektiği görülmüştür. Diğer bir değişle dünyanın dönmesi sonucu baraj haznesinde oluşacak etkilerinde incelenebilmesi için, kurulacak matematik modele ilave terim olarak katılacaktır (ÜNEŞ, 2004).

Kurulacak matematik modelde, JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yapmış oldukları deneyin verileri kullanılarak üç boyutlu, tabanı eğimli bir baraj haznesi için haznedeki akımın simülasyonu yapılmaya çalışılacaktır. Ayrıca bu çalışmada gerçek boyutlara yakın bir baraj haznesi içinde matematik model oluşturularak simülasyonlar elde edilerek, değerlendirilecektir.

## 1.3. Konunun Önemi

Üç boyutlu bir baraj haznesindeki dalmış akım hareketinin incelenmesi aşağıdaki beş maddenin irdelenmesi açısından yararlı olacaktır.

1. Haznede meydana gelecek kirlenmenin incelenmesi,
2. Haznede canlı hayatının sürdürülebilmesi ve geliştirilmesine fayda sağlamak,
3. Meydana getirilecek hazne simülasyonu ile haznenin her noktasındaki hızların belirlenmesi,
4. Haznede oluşabilecek kumlanmanın incelenmesi,
5. Hazne suyu kalitesinin incelenmesi ve modellenmesi, çalışmalarında kullanılabileceği düşünülmektedir.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

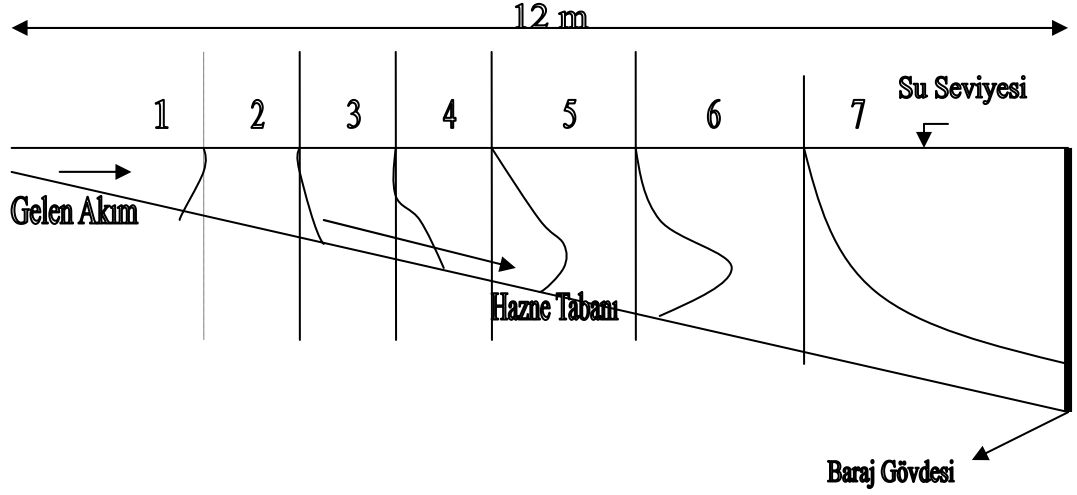
Haznedeki yoğunluk akımlarıyla ilgili olarak aşağıdaki başlıca çalışmalar yapılmıştır. ELLİSON ve TURNER (1959) yılında yapmış oldukları çalışmada tabakalı akımların meydana gelişini ve türbülansın dolaylı olarak oluşan sürüklenmeleri incelemiştir. SİNGH ve SHAH (1971), STEFAN (1973) ve MORRİS ve STEFAN (1998) yılında yapmış oldukları çalışmada hazneye giren akımın özelliklerine bağlı olarak haznelere meydana gelen katı madde yığılması ve dalmış akıma etkileyen parametreleri incelemiştir. HEBBERT ve ark. (1979), CHUNG ve GU (1998) yılında yapmış oldukları çalışmada hazneye giren akımın, hazneye etkilerini, haznedeki meydana gelen kumlanmayı ve hazne içerisindeki akım ile gelen, katı atık madde hareketini incelemiştir. Ayrıca haznedeki meydana gelen kirliliğin canlı hayata etkisini araştırmışlardır. FARRELL ve STEFAN (1986) yılında yapmış oldukları çalışmada taban akımları ile haznedeki dalma noktasından sonra meydana gelen yüzen akımların birbirleriyle olan etkileşimlerini incelemiştir. JOHNSON ve ark. (1987, 1989) yılında yapmış oldukları çalışmada hazneye giren akımın genişlediği durumdaki haznedeki akımın özelliklerini üç boyutlu modellerle incelemiştir. ALAVİAN ve OSTROWSKI (1992) yılında yapmış oldukları çalışmada enerji üretiminin başlıca kaynaklarından olan termik santrallerin soğutulması gerektiğinden, bu tesisler soğutma suyunu nehirlerden alarak, yerine sıcak suyu nehirlere vermektedirler. Sıcaklık farklarından dolayı oluşan tabakalı akımları incelemiştir. ÜNEŞ (2004) yılında yapmış olduğu çalışmada Coriolis etkisinin ve hazne çıkış seviyesinin haznelerdeki dalmış akıma etkileri matematik modellerle incelemiş ve haznedeki farklı seviyelerde su çıkışının haznedeki dalmış akıma etkisini araştırmış ve simülasyonunu yapmıştır.

Bu çalışmalar içerisinde;

SİNGH ve SHAH (1971) yapmış oldukları çalışmada, dalmış akımın oluşmasını hem deneysel hem de matematiksel olarak incelemiştir. Bu araştırmacılar 12 m uzunluğunda, tabanı eğimli bir hazne için yoğunluğu farklı sular kullanarak haznedeki meydana gelen dalmış akımı incelemiştir. Yaptıkları deneyde dalma noktasını ve

derinliğini tespit etmeye çalışmışlardır. Boyut analizi ve kontrol hacim yaklaşımı gibi metotları kullanarak karşılaştırmalar yapmışlardır.

SİNGH ve SHAH (1971) yaptıkları deney sonucunda hazneyi 7 farklı bölgeye ayırmışlardır.



Şekil.2.1. SİNGH ve SHAH (1971) deneysel gözlemler sonucu belirledikleri dalmış akım şeması

İlk bölgede hazneye gelen akımın, haznedeki durgun suya giriş yaptığı bölge, ikinci bölgede ise ayrılma yüzeyleri ortaya çıktığı bölgedir. Üçüncü bölgede uc mansaba doğru büyüme artmaya başlamıştır ve dördüncü bölgede uç oluşmuştur. Beşinci bölgede oluşan uç mansaba doğru büyümeye başlamış, altıncı bölgede yoğunluk akımı başlamıştır. Yedinci bölümde ise bir dalma noktasının olduğu bölgedir.

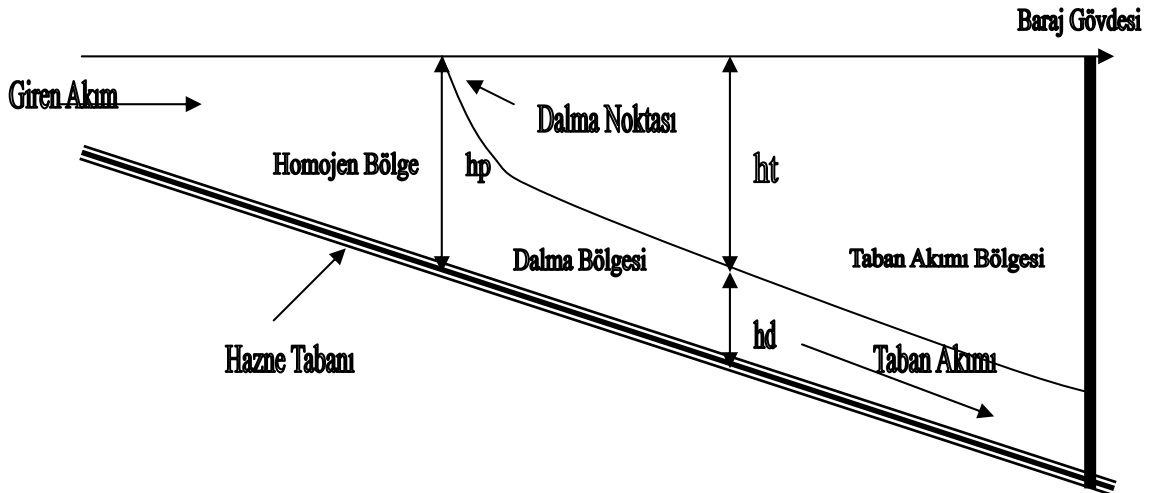
Araştırmacılar yaptıkları çalışma ile; akarsu vadi kesitinin taban eğimi, su yoğunluğu ve hazneye giren akımın debisi biliniyorsa, dalmış akımın yeri, derinliği ve akım şeklinin belirlenebileceğini göstermişlerdir. Bu araştırmacılar deneysel çalışmalar ile dalma noktası derinliğini ölçmüşler ve kritik derinlikle alakalı olarak regresyon analizi yapmışlardır. Bunun sonucunda  $H_p$  dalma derinliği,

$$Hp = 1.3 \left( \frac{q^2}{g'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.1.)$$

denklemini vermişlerdir. Burada  $q$ , gelen akım için birim genişlikten geçen debi,  $g'$ , indirgenmiş yerçekimi ivmesidir ve  $g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho_0}$  şeklindedir. Burada  $g$ , yerçekimi ivmesi,  $\Delta\rho$  giren akım ve haznedeki yoğunluk farkı ve  $\rho_0$  giren akım yoğunluğudur.

AKİMAYA ve STEFAN (1984) yapmış oldukları çalışma dalma davranışını inceleyen en önemli çalışmalardan birisidir. Hazne tabanı eğimli bir kanalda 2 boyutlu olarak hazne oluşturmuş ve hazneyi üç bölgeye ayırmışlardır. Şekil 2.2.' de bu alanlar açıkça görülmektedir.

Bu araştırmacılar, hazneye giren suyun, haznedeki suyun altına dalmaya başladığı noktaya dalma noktası ve derinliğine ise dalma derinliği  $h_p$  demişlerdir. Taban akımı yüksekliğine  $h_d$  ve ters akım derinliği yüksekliğine de  $h_t$  olarak belirtmişlerdir. Araştırmacılar dalma derinliğini tarif etmek için, birim hacim ağırlıkları farklı akımların karıştığı dalma bölgesine momentum denklemlerini ve bu bölgede kuvvetlerin dengesini kullanmışlardır.



Şekil. 2.2. AKİMAYA ve STEFAN (1984) yapmış oldukları deneyde gözlenen bölgeler

Haznedeki akımın dalmaya başladığı dalma noktası derinliği için SAVAGE ve BRİMBERG (1975), AKİMAYA ve STEFAN (1984) ve diğer araştırmacıların ortalama akıma bağlı olarak buldukları formüller FARREL ve STEFAN (1986) tarafından aşağıdaki formül ile genel bir ifade olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$H_p = K \left( \frac{q_o^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.2.)$$

Bu ifade de ;

$H_p$  : Dalma noktasındaki derinlik,

K :Katsayı,

$q_o$ : Hazneye gelen birim genişlik debisi,

$g'$  :Etkili yerçekimi ivmesi olup ve  $g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho_o}$  ifadesinden bulunabilir. Burada  $g$ ,

yerçekimi ivmesi,  $\Delta\rho$  haznede karşılaşan akımlar arası yoğunluk farkı,  $\rho_o$  hazneye giren suyun yoğunluğudur.

FARREL ve STEFAN (1986) yaptıkları çalışmada ilk defa dalmış akımı haznenin tamamında incelemişler, haznenin bütünü için matematik modeller oluşturmuşlardır. Bu matematik model denklemlerini, nümerik yöntemlerle çözerek, akımı incelemişlerdir. Araştırmacılar hazne içerisindeki akımı deneysel olarak oluşturmuşlar, taban akımı ve dalma noktasının yerini ölçmüşlerdir. Ölçüm sonuçlarını kurmuş oldukları matematik modellerle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, SİNGH ve SHAH (1971)' in deney sonuçlarını ve ölçümlerini kullanarak, matematik model için girdi verisi olarak kullanmışlardır.

FARREL ve STEFAN (1986); değişik taban eğimi ve uzunlukta baraj haznesi oluşturmuşlar ve bu haznelere matematik modeller uygulayarak incelemişlerdir. Bu çalışmalarını bir makale olarak yayınlamışlardır.

ÜNEŞ (2004), ÜNEŞ, AĞIRALIOĞLU (2004) ve KASSEM ve IMRAN (2001) geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların verilerini kullanarak, 2 boyutlu hazneler için matematik model kurmuşlar ve tabakalı akımı incelemişlerdir. Bu araştırmacılar,

hazneyi bir bütün olarak incelemiş ve hazneye giren akımın hazne boyunca simülasyonunu yapmışlardır.

## **2.2. Yapılan Çalışmanın Kapsamı**

Tezin birinci bölümünde konuya giriş yapılmış tezin amacı ve içeriği hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin ikinci aşamasında, önceden yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında, dalmış akım için temel denklemler belirlenmiştir. Coriolis ivmesinin tanımı ve oluşumu hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca matematik model kurulurken yapılmış olan kabuller açıklanmıştır. Üç boyutlu bir hazne için matematik model kurulmuş ve yoğunluk değişiminden dolayı meydana gelen tabakalı akım incelenmiştir. Dalmış akım denklemlerinin nonlineer ve akımın kararsız olması ve hız-basınç etkileşiminin oluşması sebebiyle ile nümerik iterasyon yöntemi kullanılmıştır. JOHNSON ve STEFAN (1988) yapmış oldukları deneysel çalışmanın matematik modeli kurulmuş ve simülasyonları yapılmıştır. Bu çalışmaya ilaveten model gerçek bir baraj haznesine yakın büyüklükteki baraj haznesine uygulanmış, haznedeki akımın çeşitli zaman aralıklarında simülasyonu yapılmıştır

Tezin dördüncü bölümünde ise, matematik model sonuçları incelenmiş ve haznenin simülasyonları yorumlanmıştır. Tezin eklerinde ise farklı zamanlara ait haznede gözlenmiş olan akımın şekilleri verilmiştir.

Tezin beşinci bölümünde ise çalışmanın genel özeti ve sonucu verilmiştir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Tabakalı Akım Dinamiği**

Hazne içindeki hızların değişimi saniye veya dakika ile kontrol edilmelidir. Hazne tabanı boyunca akan yerçekimi akımının, özellikle baş kısmı kararsız akımdır. Bu akım tüm hazne dinamiğini etkiler. Bu sebeple hazne içinde oluşacak akım, kararsız akım şartları göz önüne alınarak belirlenecektir (ÜNEŞ, 2004).

Doğada karşılaşılan gerçek akımlar, kararsız, üç boyutlu ve rasgele olduğu için akım genelde türbülanslı akım özelliğine sahiptir. Bundan dolayı üç boyutlu baraj haznelerinde türbülanslı akım şartları mevcuttur. Bu sebeple yalnızca türbülanslı akımlar için temel denklemler ve Coriolis denklemleri verilmiştir.

##### **3.1.2 Coriolis Kuvveti**

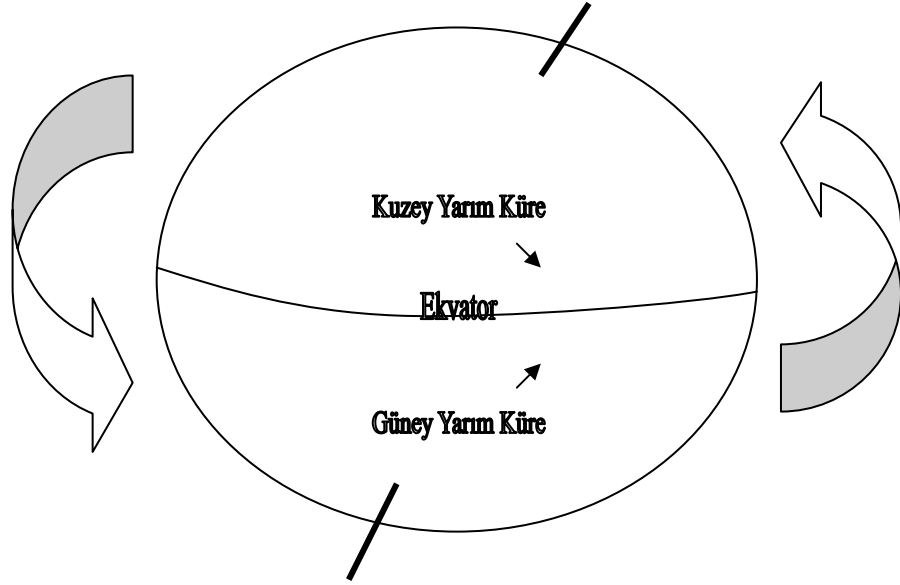
Günümüzde ilerleyen teknoloji ile baraj hazneleri ve yapay göller çok büyük su hacimlerine sahip olarak inşa edilmektedirler. Dolayısıyla büyük baraj hazneleri bir iç deniz kadar büyük olabilmektedir. Bu sebepten baraj haznelerindeki akımı incelerken, dünyanın dönmesi sonucu haznede meydana gelen etkilerin de incelenmesi gerekmektedir. Bu etkilerin araştırılması için Coriolis ivmesi; başka bir deyişle dünyanın dönmesi sonucu meydana gelen etkilerin, matematik modele ilave terim olarak katılması gerekmektedir. Bu etki kuzey yarım kürede yüksek basınçtan alçak basınca doğru, güney yarım kürede ise tam tersi olarak etkimektedir.

Bir akışkan parçacığı, hazne içindeki basınç değişiminden dolayı oluşan kuvvetlerle hareket ettiği zaman, izleyeceği yolda görülen sapmalar Coriolis ivmesiyle oluşur. Bu etkilere Coriolis etkisi denilir ve bunlar dünyanın dönmesi sonucu oluşur (ÜNEŞ, 2004).

Bu sapma miktarı, çalışmanın yapıldığı haznenin enlem derecesine ve akışkanın sahip olduğu hız ile doğru orantılıdır. Coriolis parametresi,

$$f = 2\Omega \sin \Theta \quad (3.1.)$$

olarak belirlenir. Burada  $\Omega$ , dünyanın açısal hızıdır ve değeri  $7,29 \cdot 10^{-5}$  1/s dir.  $\Theta$  haznenin enlem derecesidir. Bu denklem ile daha geniş bilgiler PEDLOSKY (1987) de bulunabilir.



Şekil.3.1. Dünya üzerinde Coriolis etkisi

Dünyanın dönmesi sonucu haznede meydana gelecek değişikliği incelemek için Coriolis ivmesinin hareket denklemlerine eklenecektir.

### 3.1.3. Yapılan Kabuller

Akımı tarif eden formüllerin çıkarılmasında birtakım kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Rijit yüzey yaklaşımı,
- Hidrostatik basınç dağılışı yaklaşımı,
- Boussinesq yaklaşımı.

**Rijit Yüzey Yaklaşımı** : Bu yaklaşımda, baraj haznesi yüzeyinde su kütlelerinin düşey doğrultuda hareket etmediği ( $w = 0$ ), sadece yatay doğrultuda hareket ettiği kabul edilir. Böylelikle serbest yüzeydeki bütün dalga hareketleri, rüzgar ve sürüklenme kuvvetleri yok kabul edilmektedir (HAG ve LİCK, 1975; İRTEM, 1991).

**Hidrostatik basınç dağılışı yaklaşımı**: Akımda, sıcaklık ve konsantrasyon değişimi gibi etkenler sebebiyle basınç ve yoğunluk değerlerinde değişimler olacaktır. Bu değişim  $p = p_{or} + p'$  şeklinde ifade edilebilir. Burada  $p_{or}$ , ortalama statik basınç değeri,  $p'$ , o andaki basınç değişimidir. Yukarıda yapılan rijit yüzey ve yüzeydeki akımın düşey doğrultudaki hareketsiz olduğu kabulü ile, ortalama statik basınçta bir değişim olmadığı yani;  $p_{or} = \rho \cdot g \cdot z$  'in değişmediği ve çıkarılan denklemlerin hidrostatik yaklaşımla oluşturulduğu kabul edilmiştir. Diğer bir değişle, haznede oluşan akım, sadece yerçekimi ivmesi ve yoğunluk değişiminin sebep olduğu basınç değişiminden oluşmaktadır (ÜNEŞ, 2004 ve ÜNEŞ, AĞIRALIOĞLU, 2004).

**Boussinesq yaklaşımı**: Bir hazne içerisindeki su kütlelerinin yoğunluk değişimi çok küçüktür. Bu sebepten ötürü, denklemlerde yoğunluk sabit kabul edilip lokal ve konvektif ivmedeki  $(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0})$  teriminde  $(\frac{\Delta\rho}{\rho_0})$  ufak bir değer olduğu için ihmal edilir.

Bu kabule Boussinesq yaklaşımı denir.

Belirlenen sıcaklık aralığı için, yoğunluk ile sıcaklık arasındaki ilişki lineerleştirilmiş ve haznedeki oluşan akımın yoğunluğu denklem (3.2.) deki eşitlikle ifade edilmiştir (FARRELL ve STEFAN, 1986).



$$\rho = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)] \quad (3.2.)$$

ve yoğunluk değişimi (3.3.) ile verilmiştir.

$$\Delta\rho = \rho - \rho_0 = \beta\rho_0 [T_0 - T] \quad (3.3.)$$

Bu ifadede  $\beta$  ısı yayılım katsayısı ve  $\beta = -(\Delta\rho / \rho_0)(1/\Delta T)$  şeklinde gösterilir ve  $\Delta T$  sıcaklık farkıdır.

### 3.1.4. Türbülanslı Akım Matematik Modelinin Süreklilik Denklemi ve Coriolis Kuvvetli Hareket Denklemleri

Türbülanslı akım için süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{w})}{\partial z} = 0 \quad (3.4.)$$

şeklinde ifade edilir.

Coriolis ivmesi, türbülanslı akım şartlarında hareket denkleminin x ve y bileşenlerine ivme bölümüne ilave terim olarak eklenerek, Coriolis kuvveti matematik modele ilave edilmiş olur.

X doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - f \bar{v} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + v_{\text{eff}} \left( \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x \partial z} \right) \right) \quad (3.5.)$$

Y doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + f \bar{u} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + v_{\text{eff}} \left( \left( \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y \partial z} \right) \right) \quad (3.6.)$$

Z doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + w \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + v_{\text{eff}} \left( \left( \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) \right) + g\beta(T_0 - \bar{T}) \quad (3.7.)$$

Sırasıyla x, y ve z doğrultuları için temel denklemler yukarıda verilmiştir.. Akım yönü x doğrultusu olarak kabul edildiği varsayılmıştır. z yönünde yalnızca sıcaklık ve yoğunluktan dolayı olan kaldırma kuvveti akıma düşey yönde etkimektedir (ÜNEŞ, 2004).

### 3.1.5. Türbülanslı Akımlar İçin Enerji Denklemi

Hareket denklemlerinde olduğu gibi, enerji denklemleri de Newton' un 2. prensibine dayanır. F kuvveti;

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3.8.)$$

Bağıntısıyla yazılabilir. Burada m, akışkan kütlesi ve a ise ivmedir. Eşitliğin her iki yanını  $dx$  ile çarpılırsa iş elde edilir.

$$\sum \vec{F} \cdot dx = m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} dx \quad (3.9.)$$

Termodinamiğin 1. kanunu, birim zamanda birim kütledeki akışkanın enerjisindeki değişim, birim zamanda bu akışkan parçacığının yaptığı işe eşittir. Yani, birim zamanda akışkan parçasının yaptığı iş, akışkan parçasının yüzeylerindeki gerilmelerin yaptığı işten başka bir şey değildir (AVCI, 2002).

Kartezyen koordinat sisteminde sıcaklık için enerji denklemi ;

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.10.)$$

ifadesinden hesaplanabilir. İfade de  $\alpha$ , ısı yayımı veya difüzyon katsayısıdır ve  $\alpha = \nu / P_r$  ile hesaplanır. Burada  $\nu$  kinematik viskozite,  $P_r$  boyutsuz Prandtl sayısıdır (AVCI, 2002; ÜNEŞ, 2006). Yalnız yukarıda yazılmış olan enerji denklemi iki boyutludur. Üç boyutlu olarak (3.11.) denklemde verilmiştir.

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} + f \bar{u} = \alpha_{\text{eff}} \left( \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} \right) \quad (3.11.)$$

Türbülanslı akımda sıcaklık değişimi

$$T = \bar{T} + T' \quad (3.12.)$$

şeklinde ifade edilir.  $\bar{T}$ , sıcaklık zamansal ortalaması ve  $T'$  türbülansın ötürü sıcaklıktaki çalkantı değeridir.

### 3.1.6. k- $\epsilon$ Türbülans Modeli Denklemleri

Sabit  $\nu_t$ , türbülans viskozitesi ile yapılan çalışmaların bir çoğunda olumlu sonuçlar alınmıştır. Eğer çalışmada yapılan hesap ağı düzenliyse, diğer bir değişle akım alanında sirkülasyon veya dalma akımları gibi olaylar geçiyorsa,  $\nu_t$  yi belirlemek için basit ampirik formüller yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple türbülans viskozitesini belirlemek için daha karmaşık modeller gerekmektedir (FARRELL ve STEFAN, 1986).

Bu modeller arasında LAUNDER ve SPALDİNG (1972) tarafından tasarlanan ve en çok kullanılan modellerden birisi k- $\epsilon$  modelidir. Bu k- $\epsilon$  türbülans modeli dalmış akım ve sirkülasyon akım gibi karmaşık akımlarda iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle de bu çalışmada k- $\epsilon$  modeli kullanılacaktır.

Modelde türbülans viskozitesi, her birim kütledeki türbülans enerji kaybı,  $\epsilon$ , her birim kütledeki türbülans kinetik enerjisi,  $k$ , değerinden, aşağıdaki eşitlikle her bir kontrol hacmi için hesaplanmaktadır (ÜNEŞ, 2004).

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.13)$$

$k$ - $\epsilon$  modeli oluşturan genel diferansiyel denklemler aşağıda verilmiştir. Bu denklemlerle ilgili daha fazla bilgi LAUNDER ve SPALDING (1972), FARRELL ve STEFAN, (1986), YÜKSEL, (1999) kaynaklardan bulunabilir.

$k$ , türbülans kinetik enerjisini veren diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \text{Pr od} + G - \epsilon \quad (3.14.)$$

$\epsilon$  türbülans kinetik enerjisi kaybını veren diferansiyel denklem

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \text{Pr od} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} + C_{1\epsilon} C_3 \frac{\epsilon}{k} G \quad (3.15.)$$

Prod, türbülans kinetik enerji ile oluşan üretim;

$$\text{Pr od} = v_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad (3.16.)$$

G, yüzdürme veya tabakalı akım ile oluşan kaynak terim;

$$G = g_i \beta \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \quad (3.17.)$$

k ve  $\epsilon$  model denklemleri, yedi tane katsayı içermektedir. Bu sabitlerin değerleri LAUNDER ve SPALDING (1972) tarafından aşağıda Tablo 1. deki gibi bulunmuştur ve tezde bu değerler alınmıştır.

Çizelge 1. k ve  $\epsilon$  modelinde alınan katsayılar

$C_\mu$	$C_{1E}$	$C_{2E}$	$C_3$	$\sigma_k$	$\sigma_E$	$\sigma_t$
0,09	1,44	1,92	0,00	1,00	1,30	0,90

### 3.1.7. Genel Diferansiyel Denklemler ve Çözüm Yöntemleri

Bu çalışmada kontrol hacim yaklaşımı uygulanacaktır. Bu yaklaşımda çalışılan bölge, üst üste kontrol hacmi gelmeyecek şekilde bölünmüş ve çalışma ağı oluşturulmuştur. Bu ağı oluşturan her bir hesap noktasını çevreleyen kontrol hacmi kabulü yapılarak denklemler bu kontrol hacmine uygulanarak çözülmüştür.

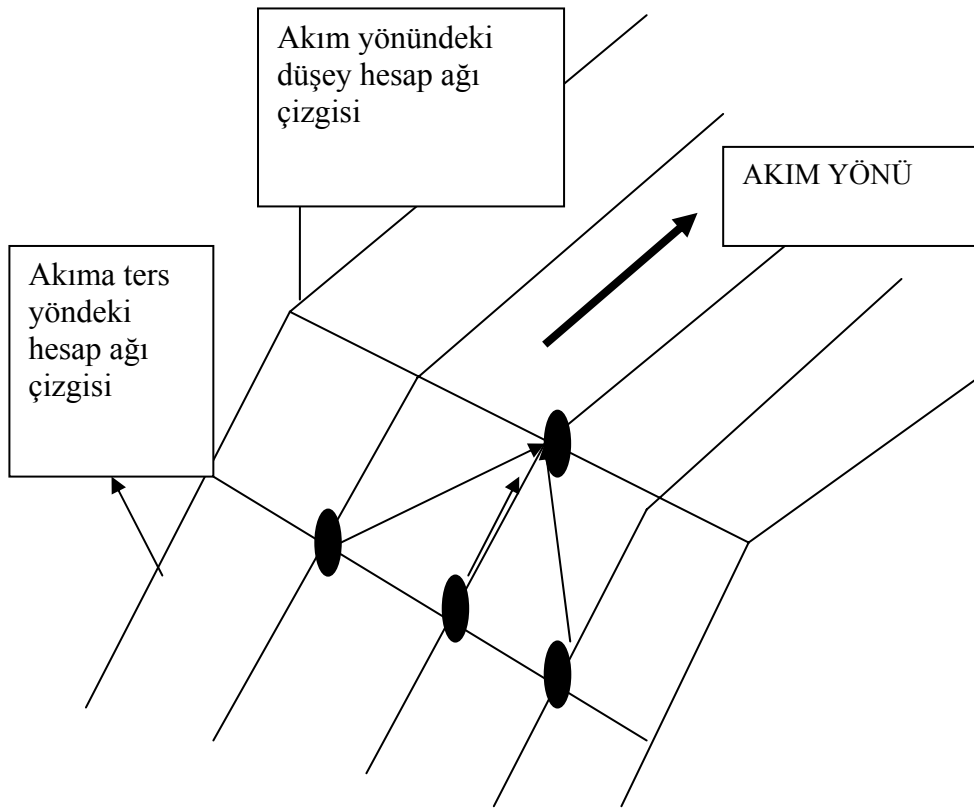
### 3.1.8. SIMPLE İterasyon Yöntemi

SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure- Linked Equations) metodu bir iterasyon yöntemidir. Bu metod hesap ağındaki hız- basınç etkileşiminin çözümünde kullanılır. Bu yöntem ile tahmini olarak belirlenen basınç alanı ile momentum denklemi çözülerek hız alanları elde edilir. Bulunan hız alanları her bir kontrol hacminde kütle korunumu prensibine uygulanarak, düzeltilmiş basınç değerleri belirlenir. Bu düzeltilmiş basınç değerleri, tahmini basınç değerleri olarak alınıp yeni hız alanları belirlenir. Aynı işlemler yakınsaklık sağlanıncaya kadar, yani tahmini basınç değerleri birbirlerine eşitleninceye kadar devam eder. Yukarıda açıklama kararlı akım için geçerlidir (ÜNEŞ, 2004; ÜNEŞ ve AĞIRALIOĞLU, 2004).

Kararsız akımlarda iterasyon yöntemi kullanılırken, belirli zaman aralıkları için çözümler bulunmalıdır. Bir önceki zaman aralığından elde edilen çözüm, diğer bir zaman aralığı için başlangıç tahmini olarak alınır ve kararlı akım problemlerinde uygulanan işlemler uygulanarak yakınsak çözüm elde edilir Yapılan çalışmada akım nonlineer ve kararsız olduğu için sonlu farklar şemalarından kapalı (implicit) çözüm şeması kullanılacaktır (ÜNEŞ, 2004).

### 3.1.8.1. Açık Şema

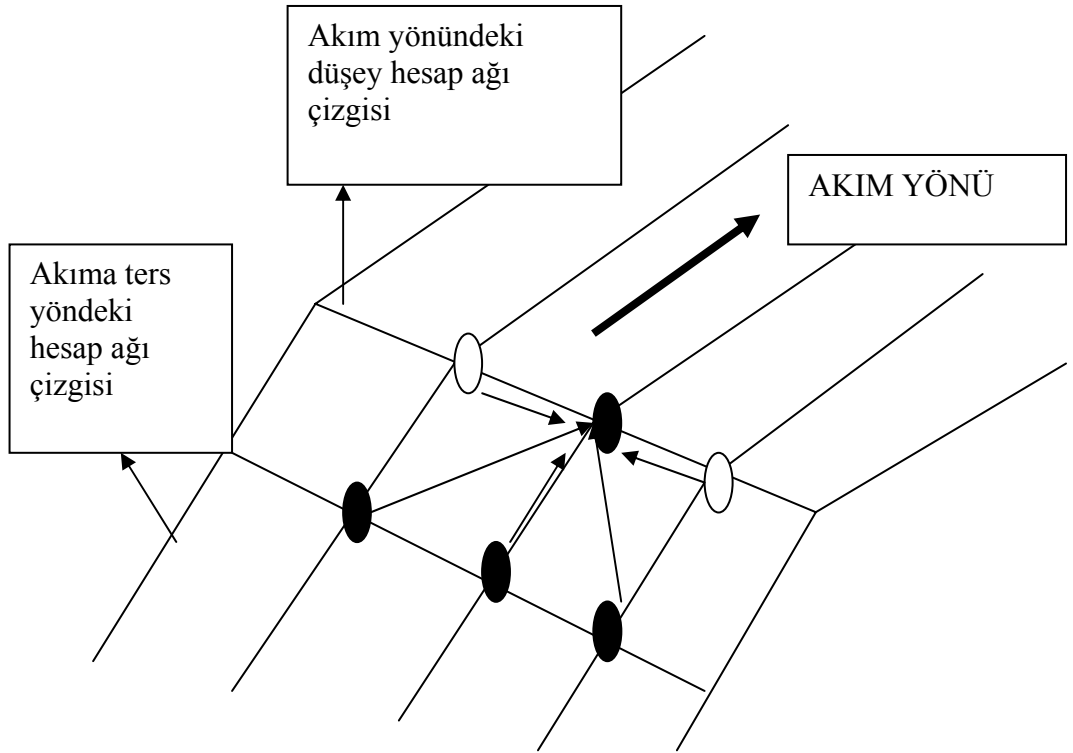
Sonlu farklar için uygulaması en kolay şemadır. Bu şemada 4 tane köşe noktası için geçerlidir. Akım yönünde (mansap yönü) bulunmak istenen nokta, memba yönündeki 3 nokta yardımıyla bulunmaktadır. Bu şemanın üstünlüğü uygulamasının kolay olmasından ileri gelir. Fakat zaman aralığı çok küçük seçilmesi gerekir, aksi takdirde yakınsaklık sağlanamaz (SPALDİNG, 1977).



Şekil.3.2. Açık Şema

### 3.1.8.2. Kapalı Şema

Bu tip şema Şekil 3.3. verildiği gibi altı komşu hesap ağı nokta grubu için geçerlidir. Sonlu farklarda uygulanması için akım yönündeki düşey çizgide belirlenmesi istenen bir ağ noktası ve iki komşu nokta, akıma ters yönde hesap ağı düşey çizgisinde komşu üç nokta yardımıyla, bilinmeyen nokta belirlenir. Kapalı tip şemanın üstünlüğü, geniş zaman aralığı için doğru ve gerçekçi çözümler verebilmesidir. Bu sebeple, bu tip çalışmalar için uygun bir şemadır (ÜNEŞ, 2004).



Şekil.3.3. Kapalı Şema

### 3.1.9. Matematik Modelde Kullanılan Temel Denklemler

**Türbülanslı akım için süreklilik denklemi,**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{w})}{\partial z} = 0 \quad (3.18.)$$

**Türbülanslı akımlar için Coriolis ivmeli hareket denklemleri ,**

X doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - f \bar{v} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + v_{\text{eff}} \left( \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x \partial z} \right) \right) \quad (3.19.)$$

Y doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + f \bar{u} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + v_{\text{eff}} \left( \left( \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y \partial z} \right) \right) \quad (3.20.)$$

Z doğrultusu için;

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + v_{\text{eff}} \left( \left( \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) \right) + g \beta (T_o - \bar{T}) \quad (3.21.)$$

**Enerji denklemi;**

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} + f \bar{u} = \alpha_{\text{eff}} \left( \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} \right) \quad (3.22.)$$



**k-ε Türbülans modeli için denklemler,**

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.23.)$$

Türbülans kinetik enerjisini veren diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \text{Pr od} + G - \epsilon \quad (3.24.)$$

ε türbülans kinetik enerjisi kaybını veren diferansiyel denklem

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \text{Pr od} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} + C_{1\epsilon} C_3 \frac{\epsilon}{k} G \quad (3.25.)$$

P, türbülans kinetik enerji ile oluşan üretim;

$$\text{Pr od} = v_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad (3.26.)$$

G, yüzdürme veya tabakalı akım ile oluşan kaynak terim;

$$G = g_i \beta \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \quad (3.27.)$$

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Matematik Model için Kullanılan Bilgisayar Programı

#### 3.2.1.1. Seçilen Program

Kullanılacak denklemler ve yöntemler önceki bölümlerde açıklanmıştır. Belirlenen bu denklemlerin uygulanabileceği en uygun bilgisayar programı olarak FLUENT 6.1 paket programı seçilerek kullanılmıştır. Kullanılan bu program, kurulan matematik modelin, tüm kabullerini ve çözüm yöntemlerini içermektedir.

FLUENT 6.1 paket programı, akışkan dinamiğinin çözümüne ve modellemesine izin veren bir programdır ama içinde modelin şeklini oluşturacak çizim programı bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı FLUENT 6.1 programına uyumlu bir çizim programına ihtiyaç duyulmuştur. Oluşturulan hazne şekli GAMBİT çizim programında çizerek, FLUENT 6.1 programına geçişi sağlanmıştır.

FLUENT 6.1 paket programında, matematik modelin kurulmasında yapılan tüm kabuller uygulanmıştır. İkinci bölümde belirtilen kabuller doğrultusunda, kararsız akım için süreklilik denklemi, hareket denklemleri, enerji denklemleri ve türbülanslı akım durumu için  $k-\epsilon$  türbülans model denklemleri belirlenmiştir. Bu denklemlere Boussinesq yaklaşımı, kapalı şema çözümleme yöntemi ve SIMPLE iterasyon yöntemi uygulanmıştır. Yalnız Coriolis ivmesinin olduğu kaynak terim FLUENT 6.1 programına C programlama dili altında bir ilave alt program olarak yazılmış ve Coriolis ivmesi hareket denklemine eklenmiştir.

Bu sayede tüm kabuller, başlangıç ve sınır şartları FLUENT 6.1 programında modellenmiştir.

### 3.2.1.2. Matematik Model Oluşturma Aşamaları

FLUENT 6.1 ve GAMBİT bilgisayar programlarında akım simülasyonu için matematik model oluşturulurken aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılmıştır.

Baraj haznesinin üç boyutlu köşe noktalarının koordinatları belirlenerek, GAMBİT aktarılmıştır. Bu köşe noktaları birleştirilerek hazne kenarları meydana getirilmiş, bu kenarlar birleştirilerek baraj haznesinin yüzeyleri oluşturulmuştur. Bu yüzeylerin birleştirilmesinden de baraj hacmi meydana getirilmiştir

GAMBİT çiziminde hazne hacmi oluşturulduktan sonra bu hacme hesap ağı oluşturulmuş ve başlangıç ve sınır şartları belirlenmiştir.

GAMBİT de çizilen model FLUENT 6.1 programından çağırılmıştır.

Modelde kullanılacak temel denklemler üç boyutlu kararsız akım için çözülmüştür. Sonlu farklar metotlarından kapalı şema yöntemi seçilmiştir.

Hazne akımı türbülanslı akım şartlarında olduğundan, türbülans viskozitesinin belirlenmesi için FLUENT 6.1. de  $k-\epsilon$  viskozite modeli seçilecektir.

Haznedeki mevcut akımın cinsi, yoğunluğu, viskozitesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve ısı yayılım katsayısının değeri belirlenmiştir.

Akımın bütün yüzeylerinde başlangıç ve sınır şartları, yüzeyi oluşturan maddenin özellikleri, hazne suyu ve hazneye gelen suyun sıcaklıkları ve başlangıç hızları tek tek deney şartlarına uyumlu olarak girilmiştir.

Coriolis etkisi C programlama dilinde yazılarak FLUENT 6.1' de alt program olarak (USER- DEFINED FUNCTION) ilave edilmiştir.

Viskozite, sıcaklık ve hız alanlarının etkileşimi SIMPLE iterasyon yöntemi seçilerek çözülmüştür.

İterasyon uygulaması için, zaman adım aralığı, adım sayısı ve iterasyon sayısı belirlenerek, uygun sonuçlar elde edilene kadar iterasyona devam edilmiştir.

### 3.2.2. JOHNSON ve STEFAN (1988) Yapmış Oldukları Deneyin Model Şekli ve Model Girdileri

Çalışmada üç boyutlu baraj haznesi oluşturulmuştur. Çalışmada çevrinti (sirkülasyon) akımı, taban akımını, Coriolis etkisi, gelen akımın hazneye giriş açısı ve haznedeki su ile giren su arasındaki etkileşim incelenmiştir. Bu çalışmadaki simülasyon modeli için, JOHNSON ve STEFAN (1988) yapmış oldukları deneysel çalışmalarda kullandıkları veriler ile KASSEM ET AL (2003) kurmuş olduğu matematik modelin verileri kullanılmıştır. KASSEM ET AL (2003) yapmış olduğu çalışmanın temeli de JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yapmış olduğu deneysel çalışmalara dayanmaktadır.

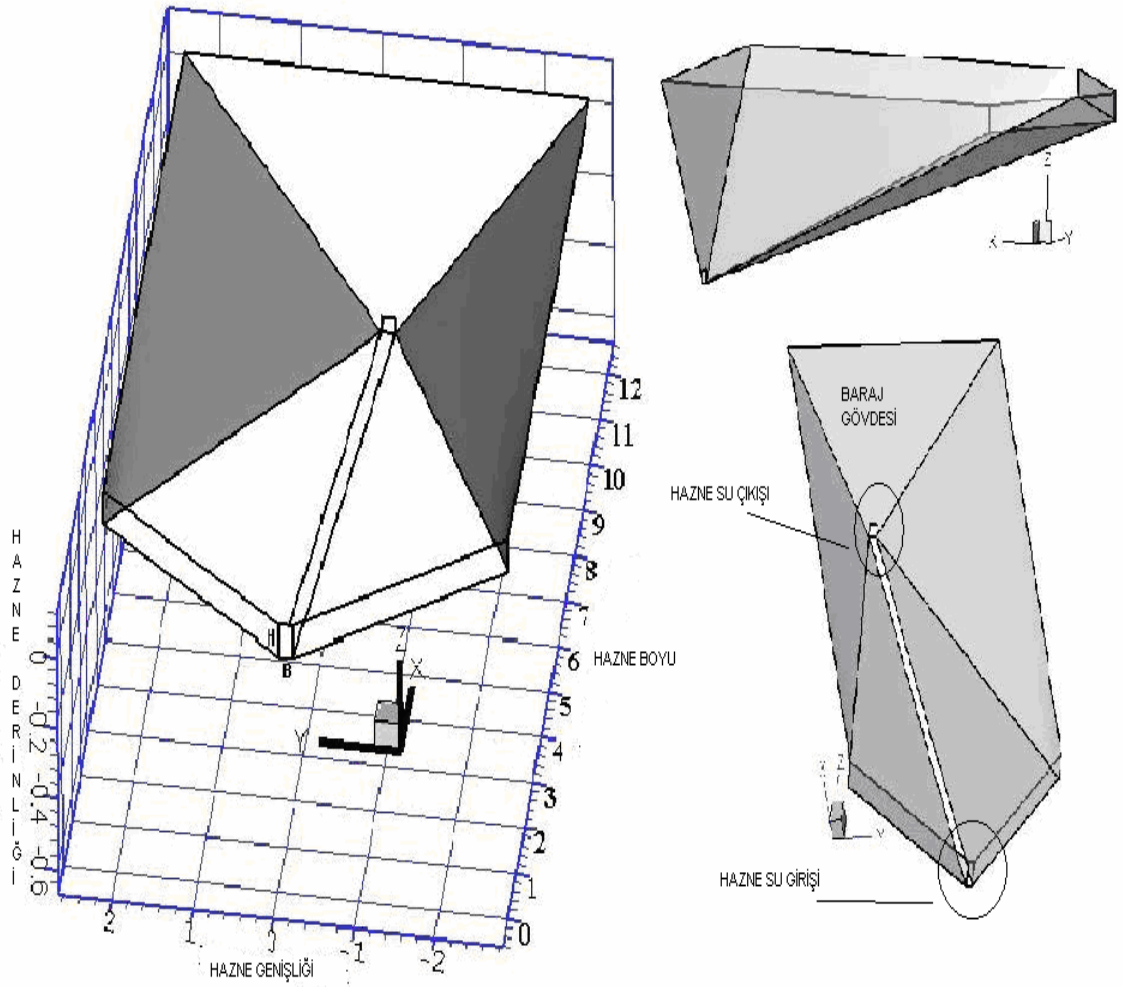
JOHNSON ve STEFAN' in (1987-1988) yapmış oldukları deney verilerinde kullandığı ölçü ve parametreler dikkate alınarak matematik model oluşturulmuştur.

Üç Boyutlu hazne simülasyonu için kullanılacak hazne modeli JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yapmış olduğu deneyler ve sınır şartları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2. JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yapmış olduğu deneyler ve sınır şartları

<b>Data</b>	<b><math>\delta</math> (Deg)</b>	<b><math>\theta</math> (Deg)</b>	<b>B (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b><math>Q_0</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b><math>T_0</math> (°C)</b>	<b><math>T_a</math> (°C)</b>
Deney	20	3	0,17	0,091	0,116	0,0018	19,9	39

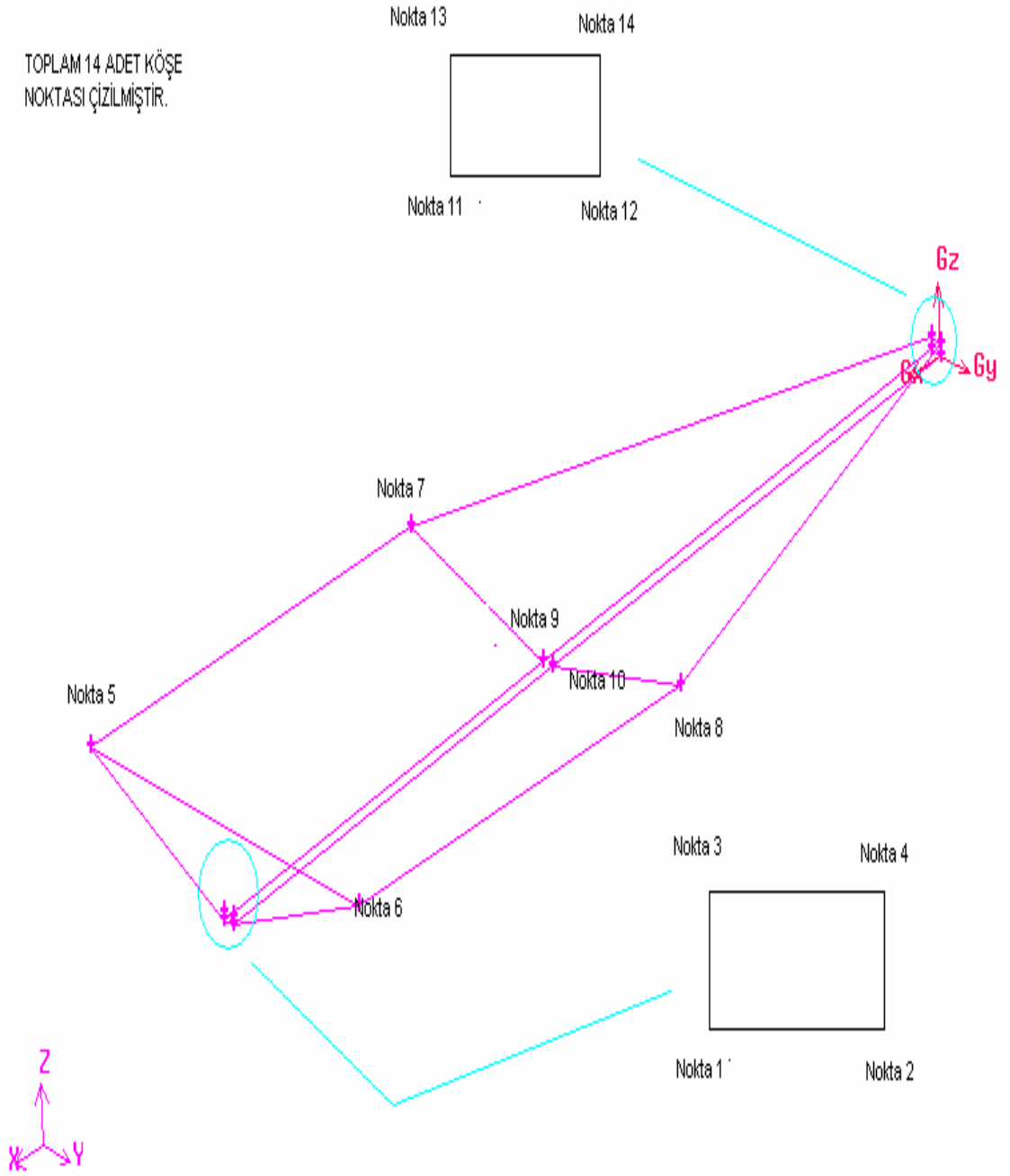
Yukarıdaki tabloda  $\delta$ , hazneye giren akımın açısı ,  $\theta$ , hazne taban eğimi, B, giren akımın genişliği, H, giren akımın yüksekliği, V, ve  $Q_0$  sırasıyla hazneye giren akımın hızı ve debisi,  $T_0$  ve T sırasıyla giren akımın sıcaklığı ve haznede bulunan suyun sıcaklığıdır.



Şekil.3.4. Üç boyutlu hazne simülasyonu için kullanılacak hazne modeli

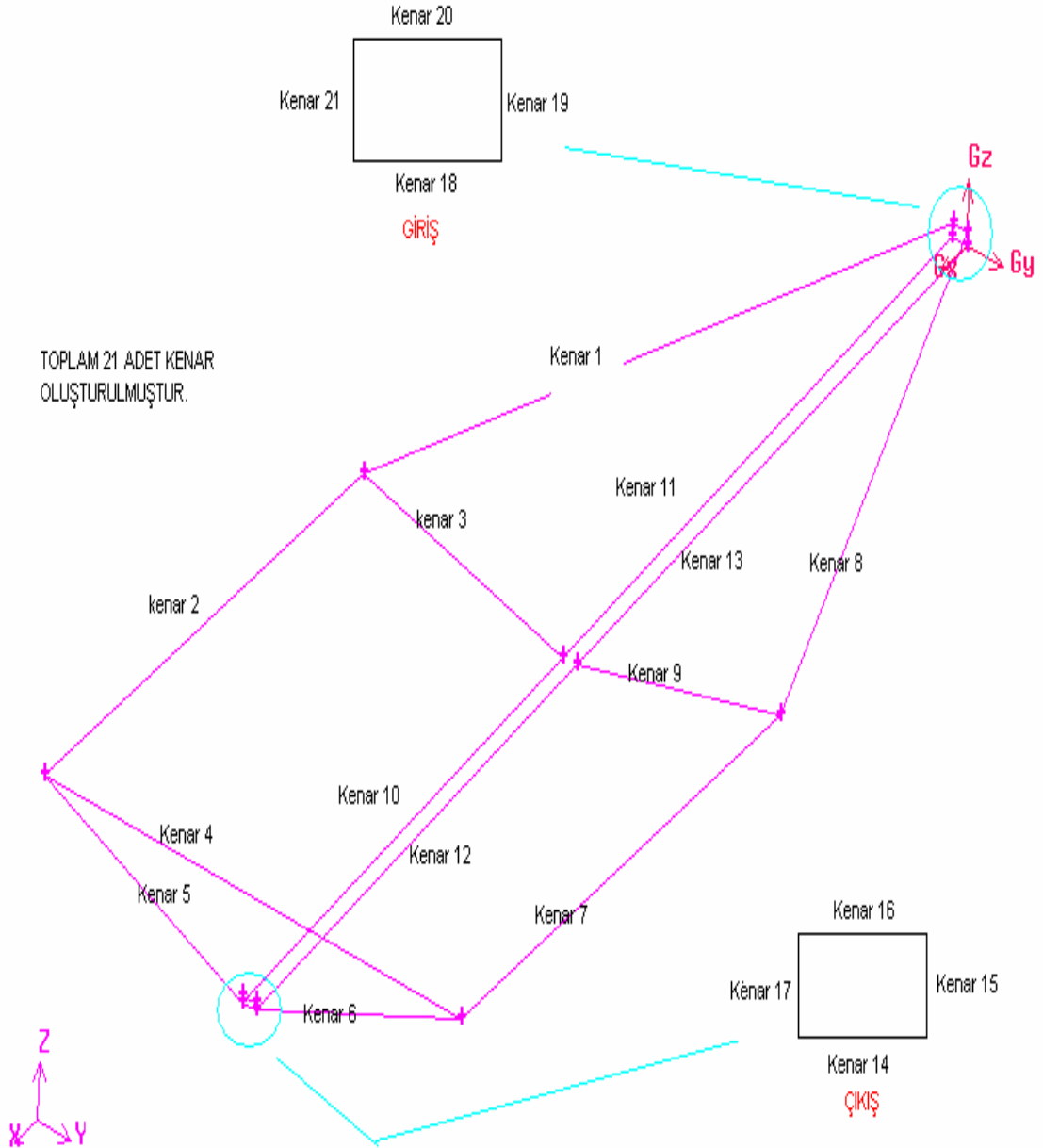
### 3.2.2.1. GAMBİT Çizim Programında Haznenin Çizimi ve Hesap Ağının Oluşturulması

GAMBİT üç boyutlu çizim programında JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yapmış olduğu deneylerde kullandıkları haznenin köşe noktalarının koordinatları x, y ve z eksen takımında belirlenmiştir. Belirlenen bu köşe noktaları GAMBİT üç boyutlu çizim programına girilmiştir. Bu şekilde baraj modelinin köşe noktaları belirlenmiştir (Şekil. 3.5.).



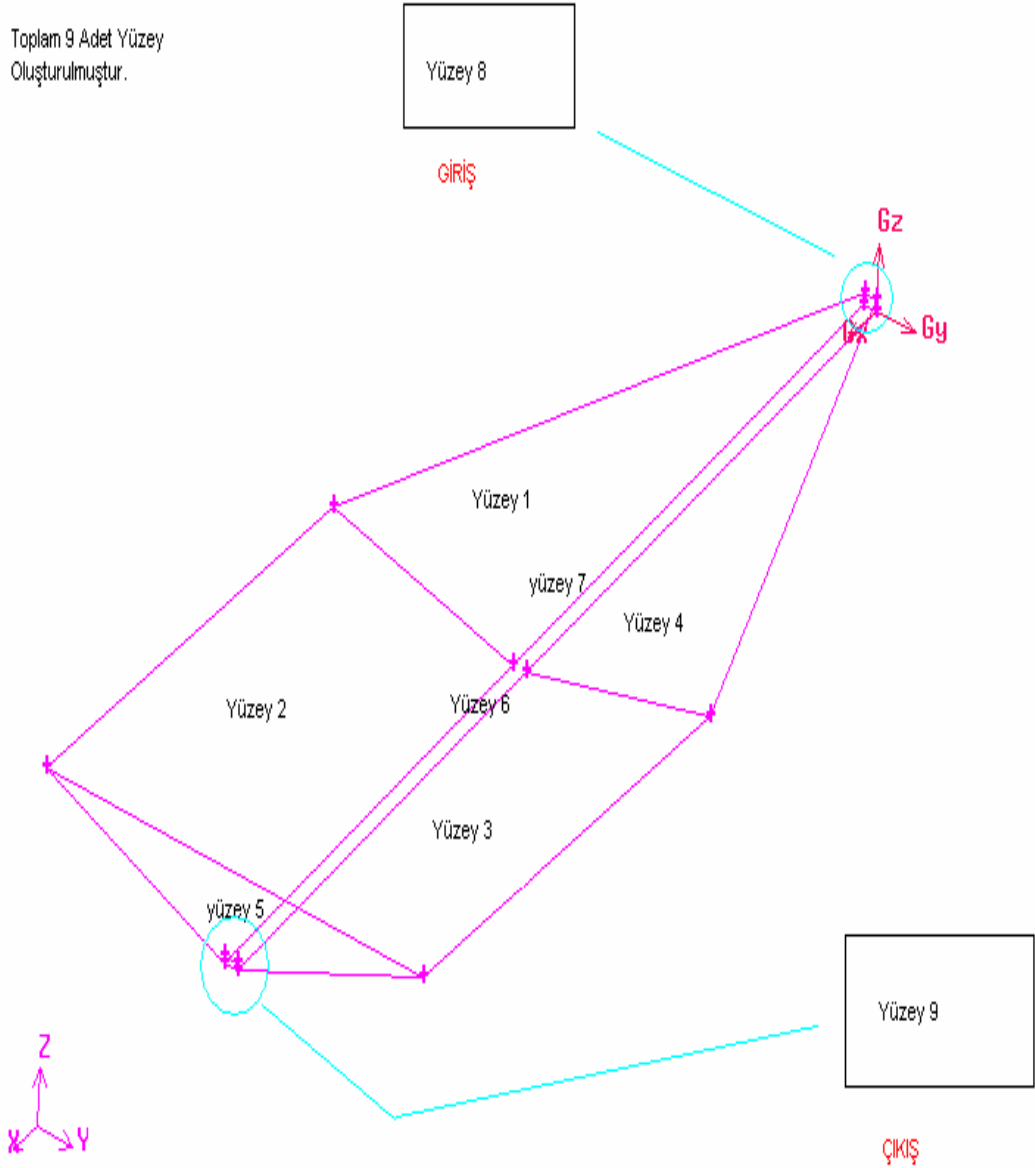
Şekil.3.5. GAMBİTde çizimi yapılmış ( $\delta=20^\circ$ ,  $\theta=3$ ) hazne köşe noktalarının görünümü

Programda belirlenen köşe noktaları birbirleriyle birleştirilerek, baraj haznesinin kenarları çizilmiş olur ve Şekil.3.6.' de gösterilmiştir.



Şekil.3.6. GAMBİTde çizimi yapılmış ( $\delta=20^\circ$ ,  $\theta=3$ ) hazne kenarlarının görünümü

Kenarlar oluşturulduktan sonra tüm kenarlar birleştirilerek alanlar meydana getirilir, bu alanlar aynı zamanda haznemizi çevreleyen yüzeyleri oluşturmaktadır (Şekil.3.7.). Hem GAMBİT hem de FLUENT 6.1 programında bu oluşturulan yüzey alanları için başlangıç ve sınır şartları atanabilmektedir.

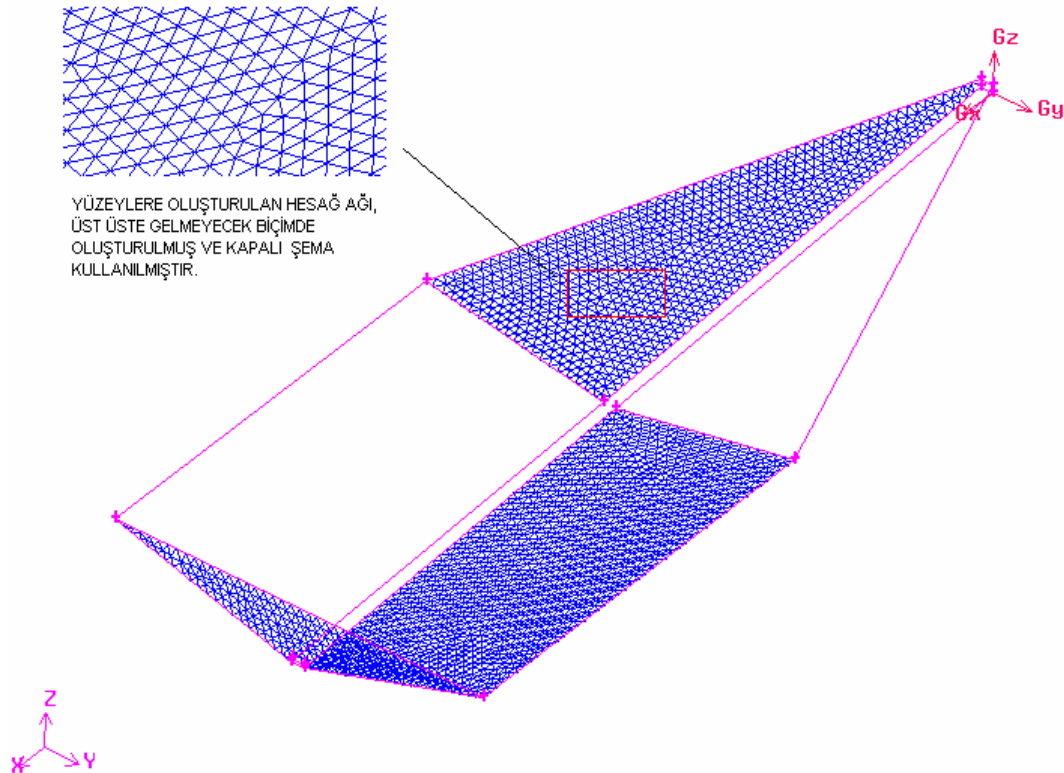


Şekil.3.7. GAMBİT ( $\delta=20^\circ$ ,  $\theta=3$ ) model için hazneyi oluşturan yüzeylerinin görünümü

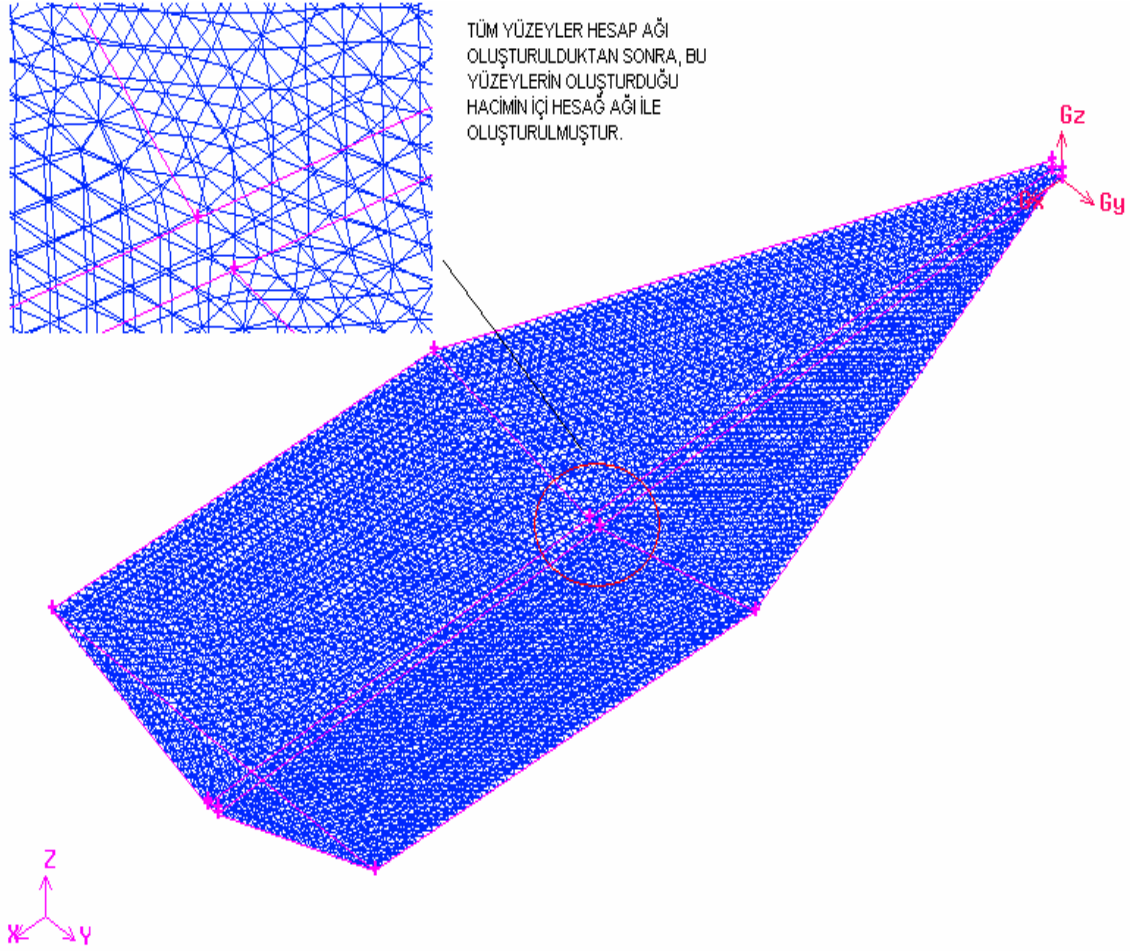


Hazneyi meydana getiren yüzeyler oluşturulduktan sonra tüm yüzeyler birbirleriyle birleştirilerek baraj haznesinin göl hacmi oluşturulur. Göl hacminde akım özelliklerinin hesaplanabilmesi ve haznedeki akım simülasyonunun yapılabilmesi için haznede hesap ağı oluşturulmalıdır. Hesap ağı önce yüzeylerden başlayarak, tüm yüzeylerle beraber bu yüzlerin oluşturduğu göl hacminin içi de hesap ağı ile doldurulmuştur (Şekil.3.8. ve Şekil.3.9.).

Baraj modeli eğimli yüzeylere sahip olduğundan ötürü altıgen ve karışık yani TET-HYBRİD hesap ağı şekli seçilmiştir. Hesap ağı aralıkları 10 olarak belirlenmiştir. Hesap ağı ikinci bölümde belirtildiği sebeplerden dolayı kapalı şema kullanılarak hesaplaması yapılacaktır. GAMBİT de çizilerek, FLUENT de oluşturulan matematik modelin tümünde 41420 altıgen hücre kullanılarak simülasyonlar oluşturulmuştur.

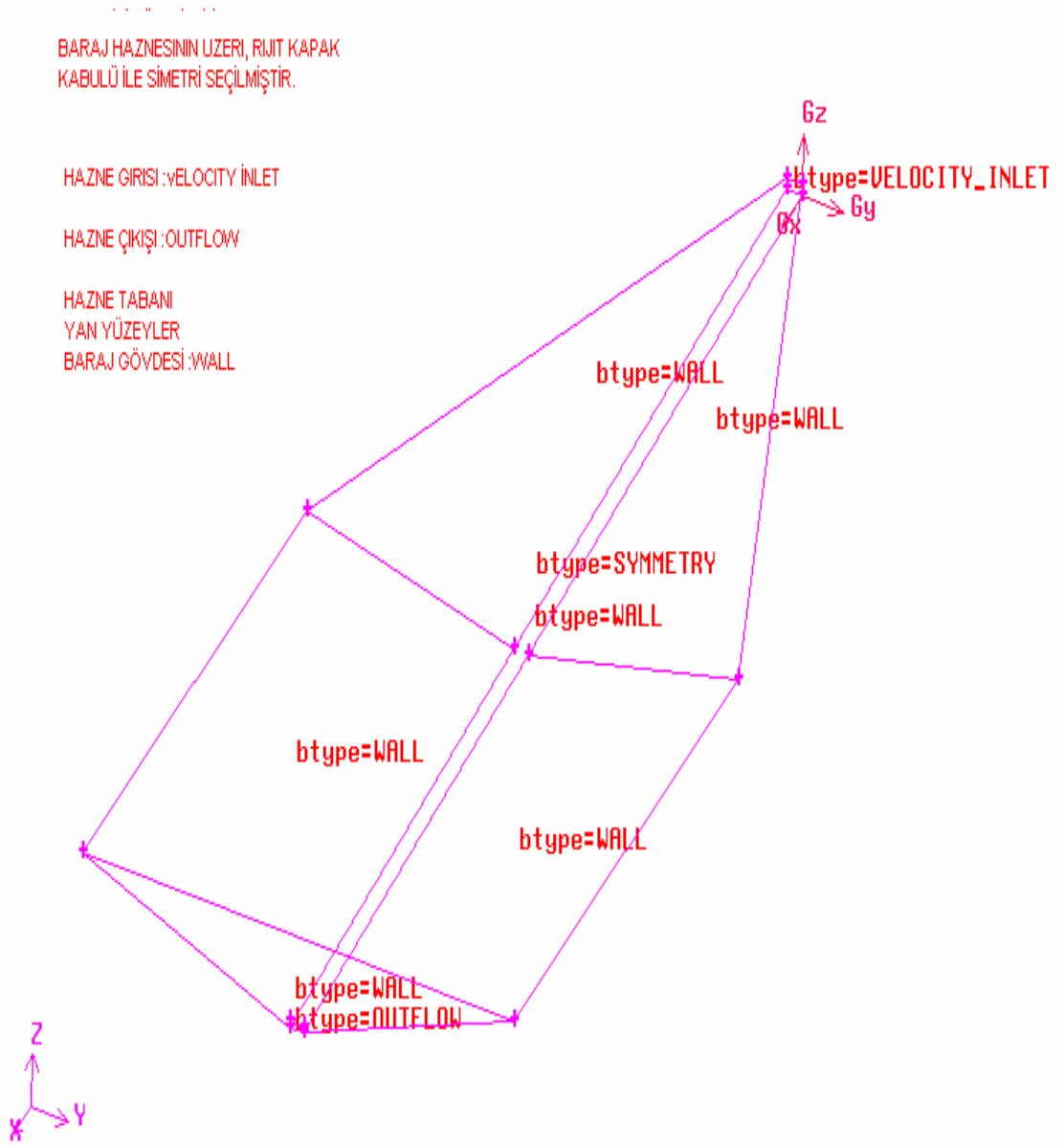


Şekil.3.8. GAMBİT de ( $\delta=20^\circ$ ,  $\theta=3$ ) model için hazne yüzeylerinin hesap ağı görünümü



Şekil.3.9. GAMBİT ( $\delta=20^\circ$ ,  $\theta=3$ ) da model için hazne hacminin hesap ağı görünümü

Haznenin tamamından hesap ağı geçirildikten sonra tüm yüzeylerin sınır şartları ve yüzeylerin özellikleri programa girilmiş; Ayrıca FLUENT 6.1 programında da bu sınır şartları girilebilmektedir. Yapılan çalışmada GAMBİT çizim programında hazneyi oluşturan yüzeylerin sınır şartları girilmiş ve Şekil 3.10. gösterilmiştir.



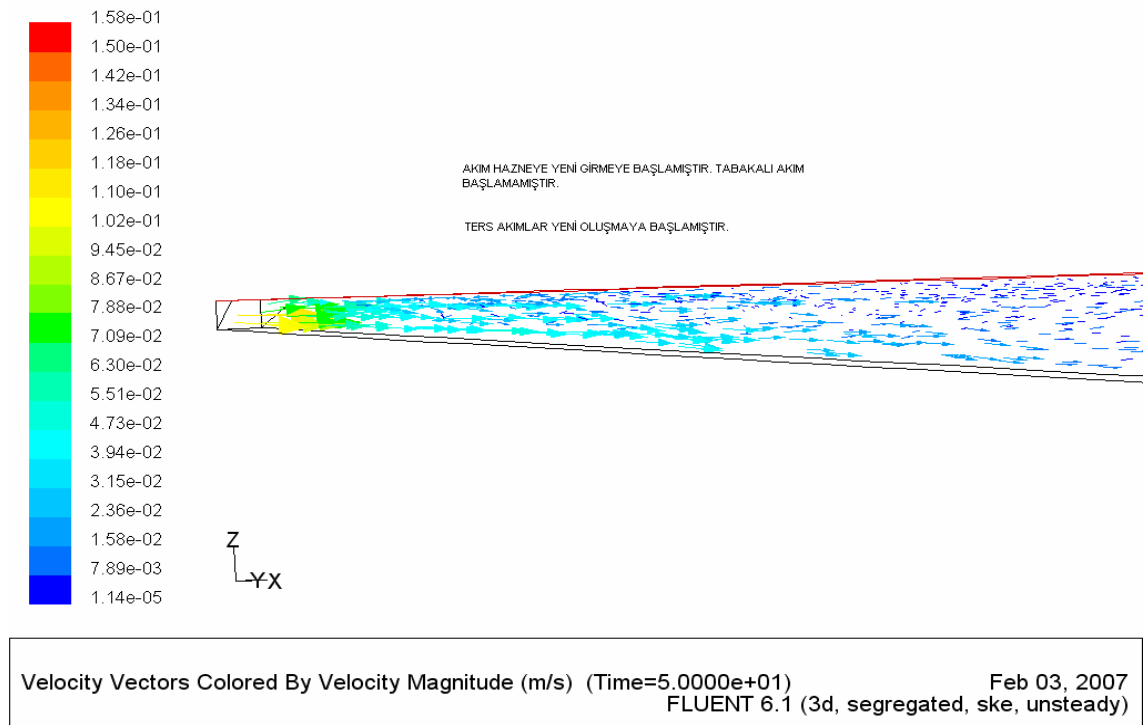
Şekil.3.10. GAMBITde ( $\delta=20^\circ$ ,  $\theta=3$ ) tüm hacmi oluşturun yüzeylerin sınır şartları görünümü

Çizimi tamamlanan hazne modeli FLUENT 6.1 de matematik modeli çözmek için çağırılır. FLUENT 6.1 de matematik model oluşumu başlık 3.2.1.2. altında açıklanmıştır.

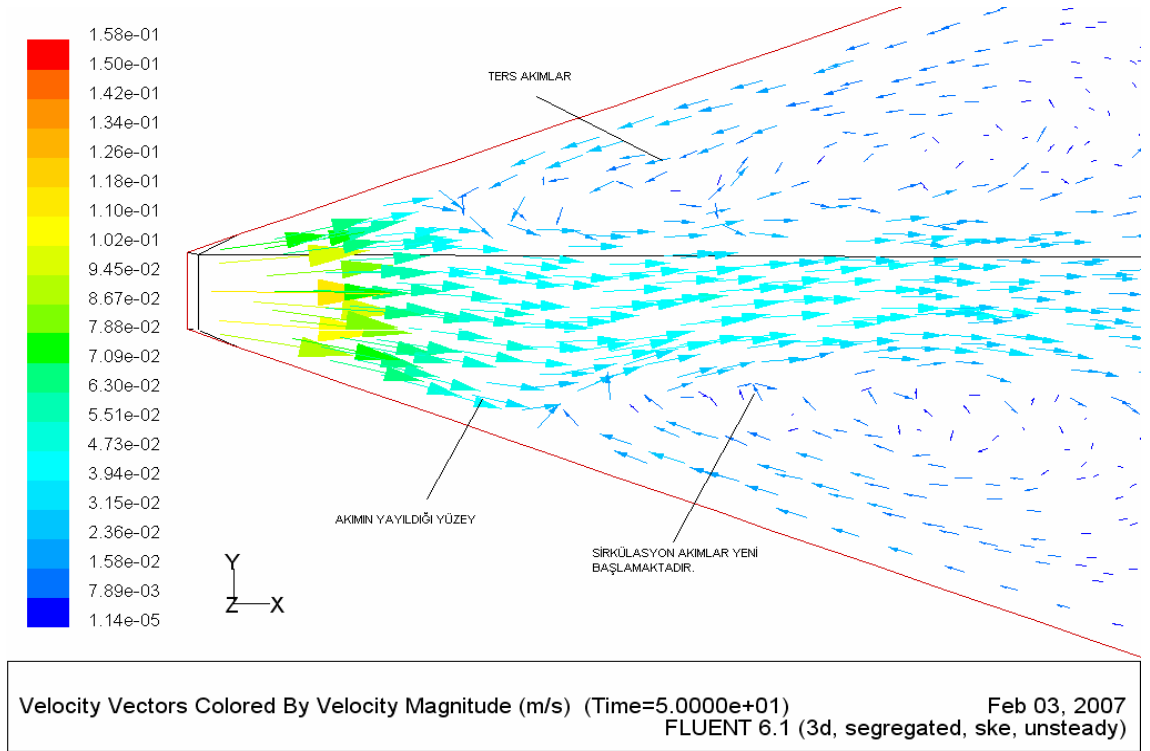
### 3.2.2.2. Deneyin Matematik Model Çıktılarının İncelenmesi

Matematik modelde kullanılan başlangıç ve sınır şartları JOHNSON ve STEFAN (1988) yılında yapmış oldukları deney verilerinden oluşturmaktadır. Bu değerler Tablo 2.. de verilmiştir.

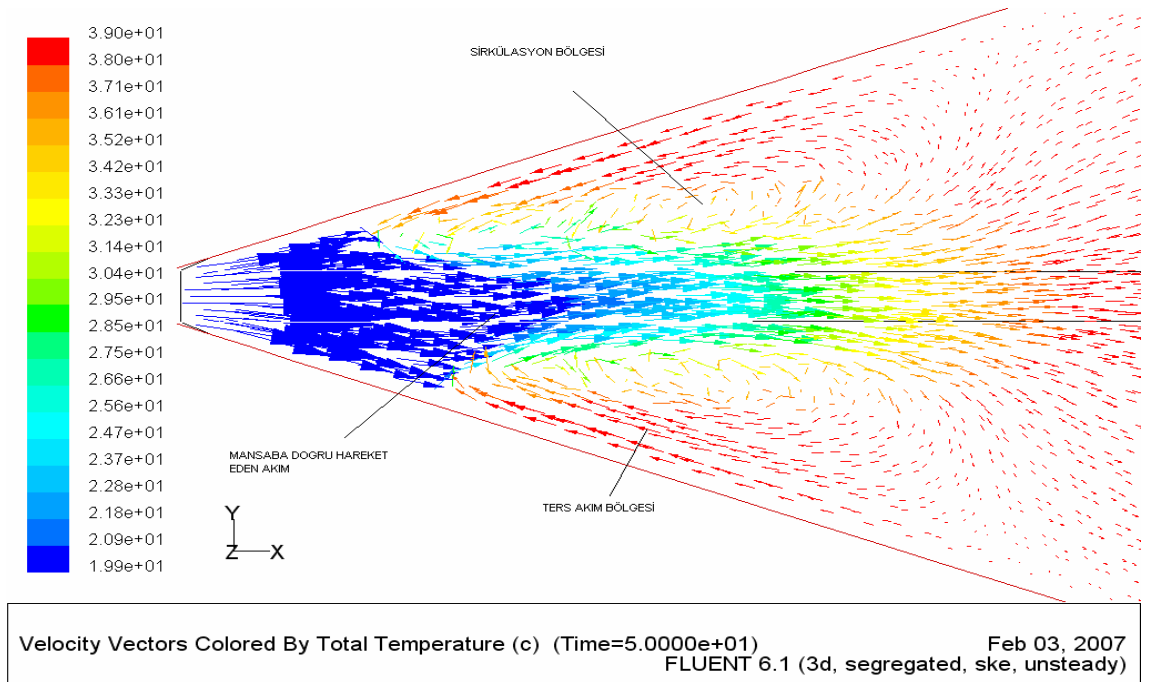
Şekil 3.11.1, Şekil 3.11.2, Şekil 3.11.3 ve Şekil 3.11.4 de hazneye su girmesinden 50 saniye sonra haznedeki bileşke hızlar ve toplam sıcaklıklar, hız vektörleri kullanılarak gösterilmiştir. Şekil 3.11.1. baraj haznesine su gelmeye başladıktan 50 saniye sonraki bileşke hız vektörleri görülmektedir. Haznede henüz tabakalı akım meydana gelmemiştir, yalnız ters yönde yani mansaptan membaya doğru hareket yeni başlamıştır. Şekil 3.11.2. ve Şekil 3.11.3' den görülebileceği gibi akım, hazneye girdiği andan itibaren hazne bir yan yüzeyi boyunca hareket etmiş, diğer yüzey de ters akım olmasına karşın daha sonra her iki hazne yan yüzeylerinde de ters akımlar başlamıştır.



Şekil.3.11.1. Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne hacminde bileşke hızlar

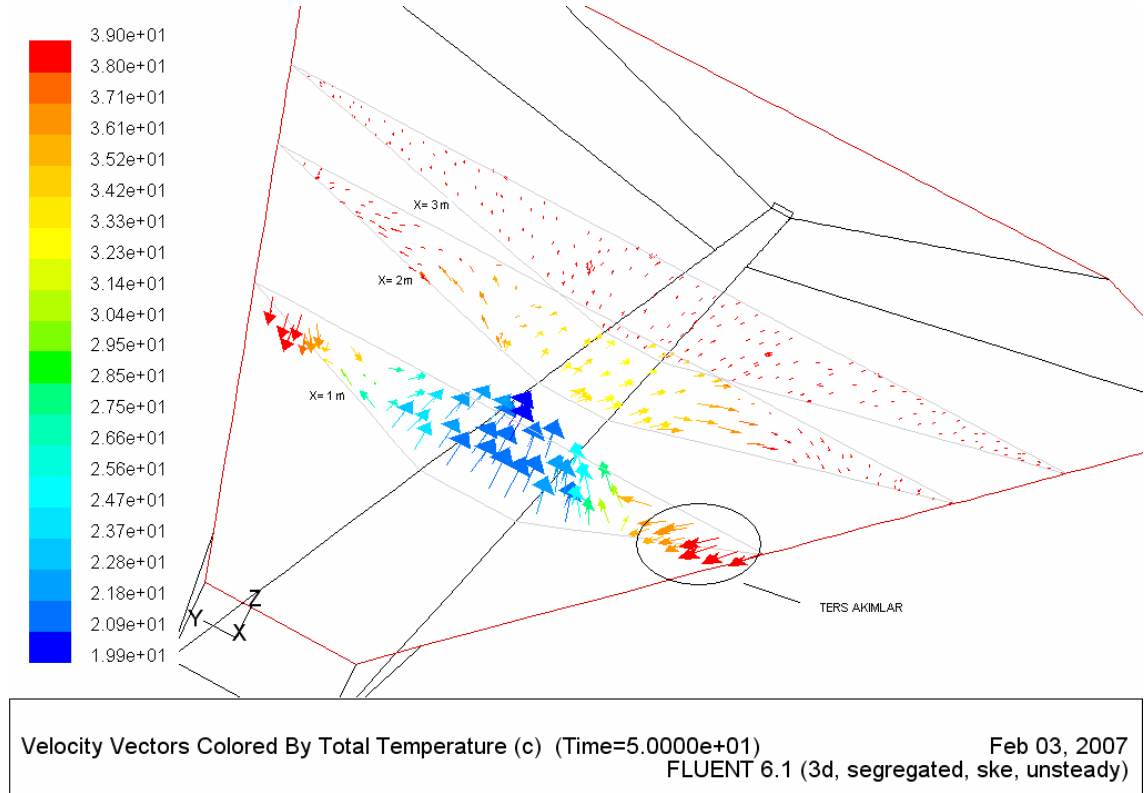


Şekil.3.11.2. Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne yüzeyinde bileşke hızlar



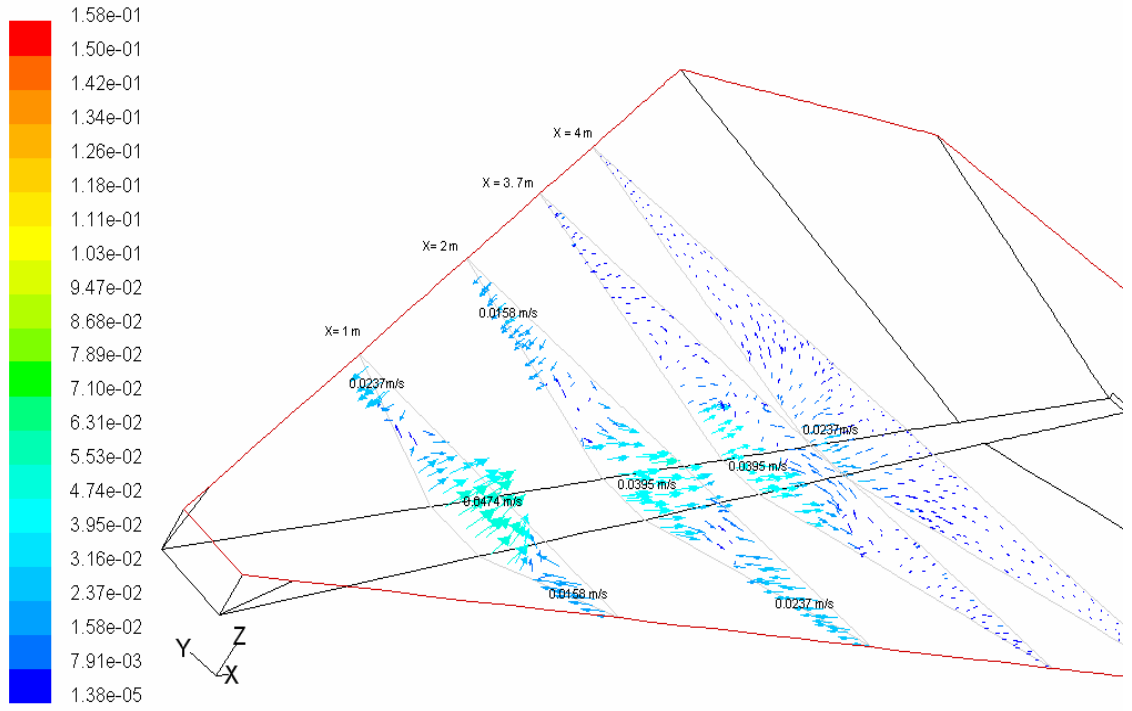
Şekil.3.11.3. Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne yüzeyinde toplam sıcaklıklar

Şekil 3.11.4. görüldüğü gibi hazne girişine yakın  $x=1, 2$  ve  $3$  m alınan enine kesitlerde dalma olayının henüz gerçekleşmediği daha açık bir şekilde görülmektedir, ama ters akımların yeni başladığı kesitlerden açıkça görülebilmektedir.



Şekil.3.11.4. Türbülanslı akım şartlarında 50. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte  $x = 1, 2$  ve  $3$  m de toplam sıcaklıklar

Şekil 3.12.1, Şekil 3.12.2, Şekil 3.12.3 ve Şekil 3.12.4 de 100 saniyedeki akımın bileşke hız ve toplam sıcaklık değerleri hız vektörleriyle gösterilmiştir. Şekil 3.12.1. gösterilen bileşke hız vektörlerinde akım dalmaya başlamış, tabakalı akımı oluşturmuş ve mansaba doğru ilerlediği görülmektedir. Tabandaki dalmış akımın hızı 3.7 m de 0.0395 m/sn ve 4 m de 0.0237 m/s olarak hesaplanmıştır.

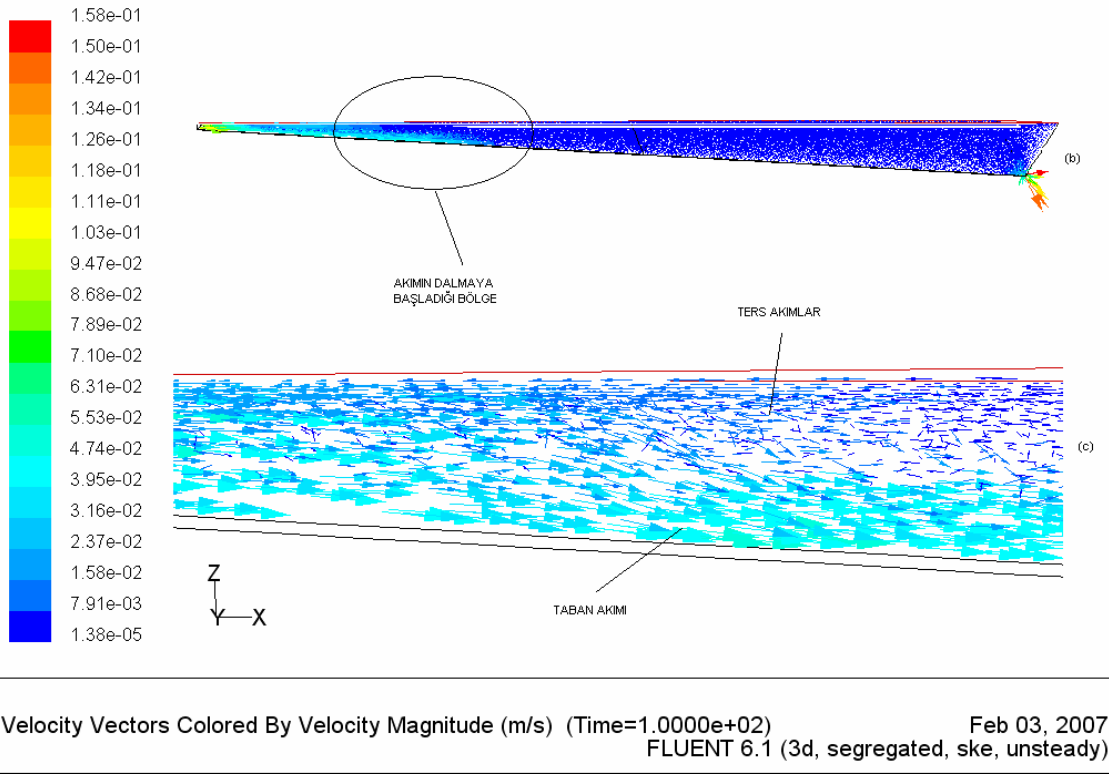


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=1.0000e+02)

Feb 03, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.3.12.1. Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte  $x = 1, 2, 3.7$  ve  $4$  m de hızlar

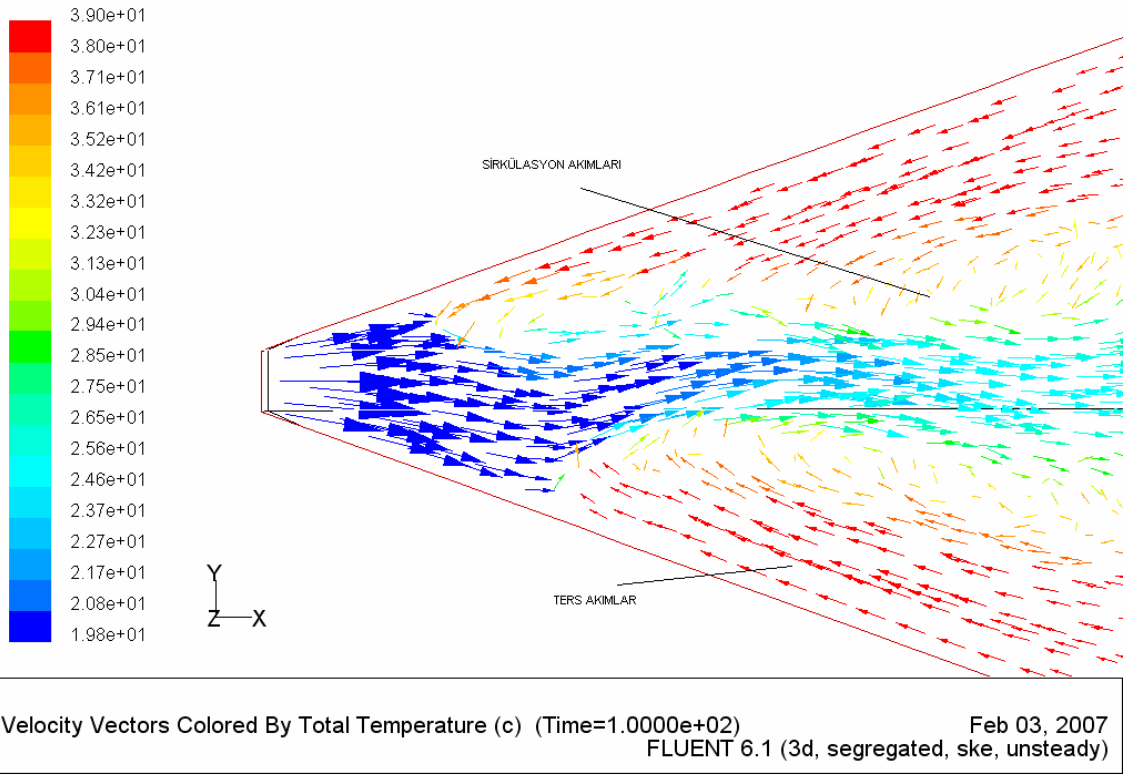
Şekil 3.12.2 ve Şekil 3.12.3 de görüldüğü gibi gelen akım, dalmış akım oluştuğundan sonra hazne tabanından, tabakalı akım dinamiğine uygun olarak mansaba doğru ilerlemektedir. Dalmış akımın meydana geldiği noktadaki ters akımlarda açıkça görülebilmektedir ve dalmış akım hızı, hazne de diğer akım hızlarına oranla yüksektir



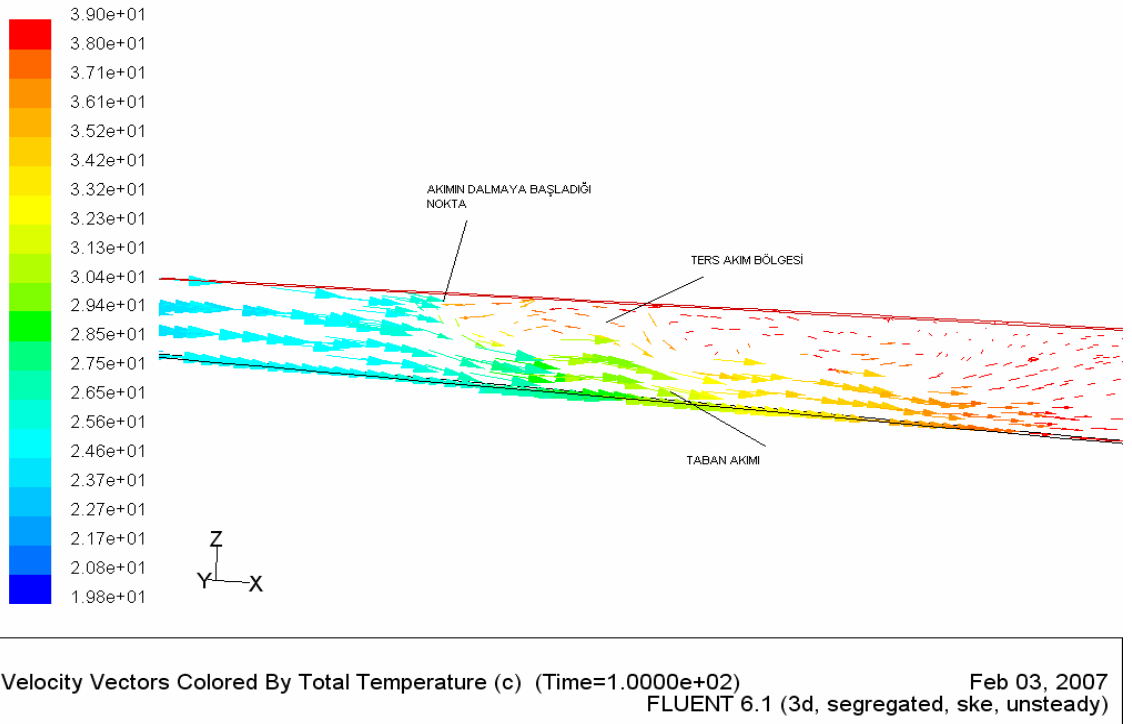
Şekil.3.12.2. ve Şekil.3.12.3 Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım ve dalma noktasındaki hızlar.

Şekil 3.12.4. ve Şekil 3.12.5. ise hazne su yüzeyindeki toplam sıcaklık değerleri ile akımın dalmaya başladığı andaki toplam sıcaklık değerleri hız vektörleriyle gösterilmiştir. Yoğunluğu fazla akım (soğuk su) taban akımını oluştururken, yoğunluğu az akım (sıcak su) haznede ters akımı meydana getirmiştir. Dalmış akım hazne tabanından mansaba doğru ilerlemektedir.





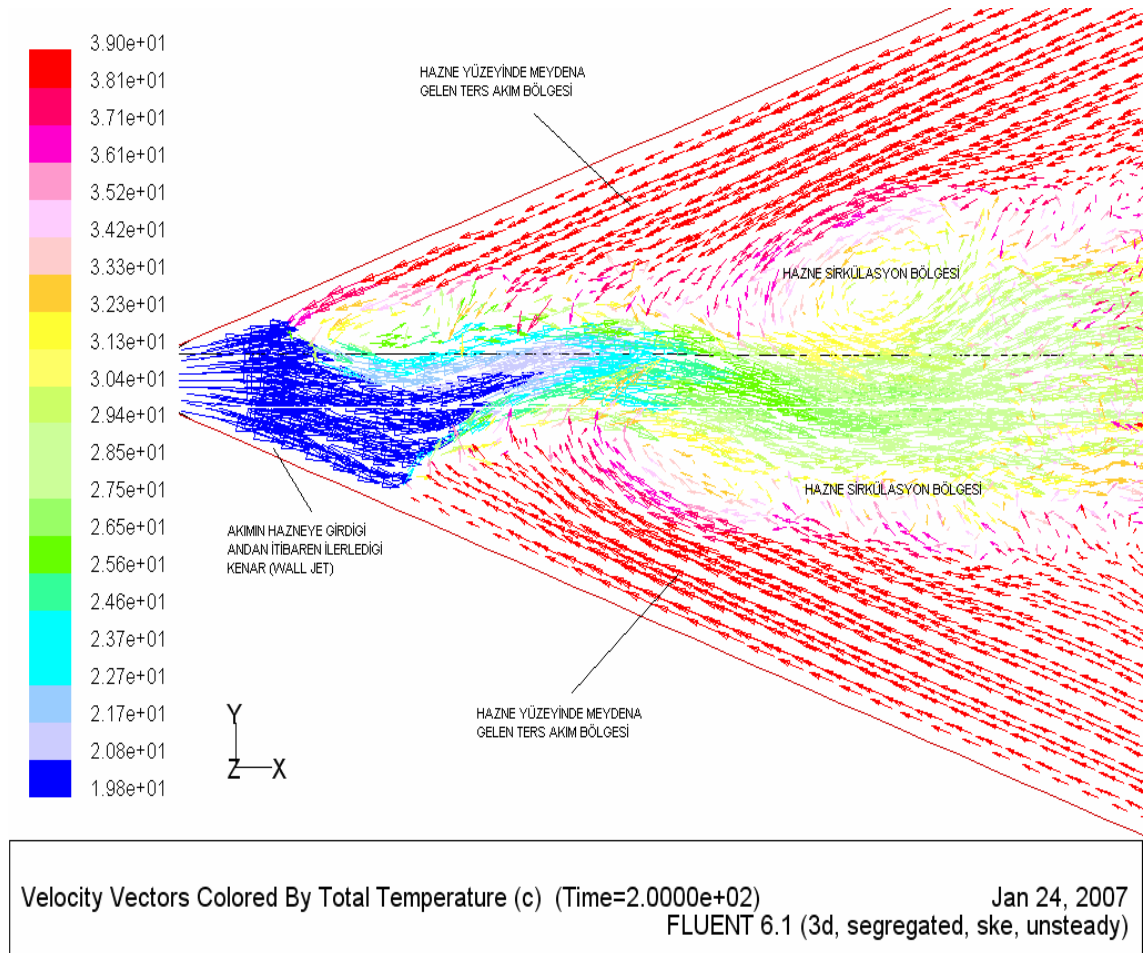
Şekil.3.12.4. Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar



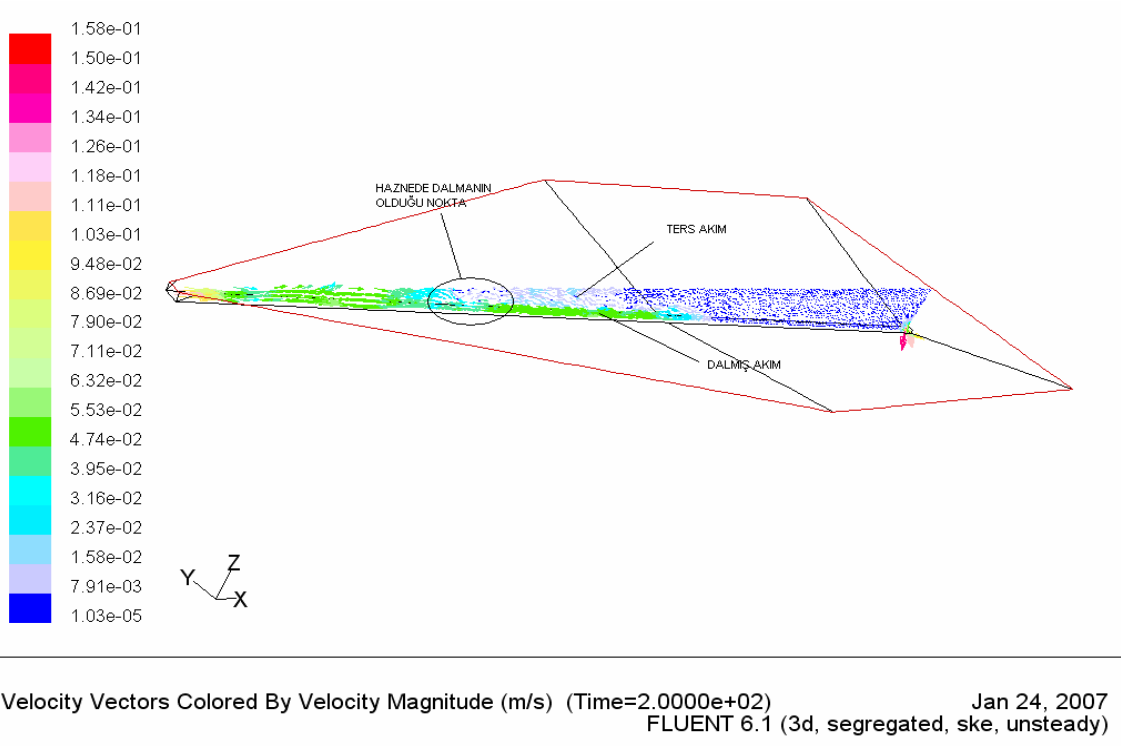
Şekil.3.12.5. Türbülanslı akım şartlarında 100. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar

Şekil 3.13.1. ve Şekil 3.13.2. de akım başladıktan 200 saniye sonraki haznede akımın gelişimi hız vektörleriyle gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 200 saniyede dalmış akım membadan mansaba doğru hareket ederken, dalma noktasında oluşan ters akımlar da mansaptan membaya doğru ters yönde hareketlerini sürdürmektedirler.

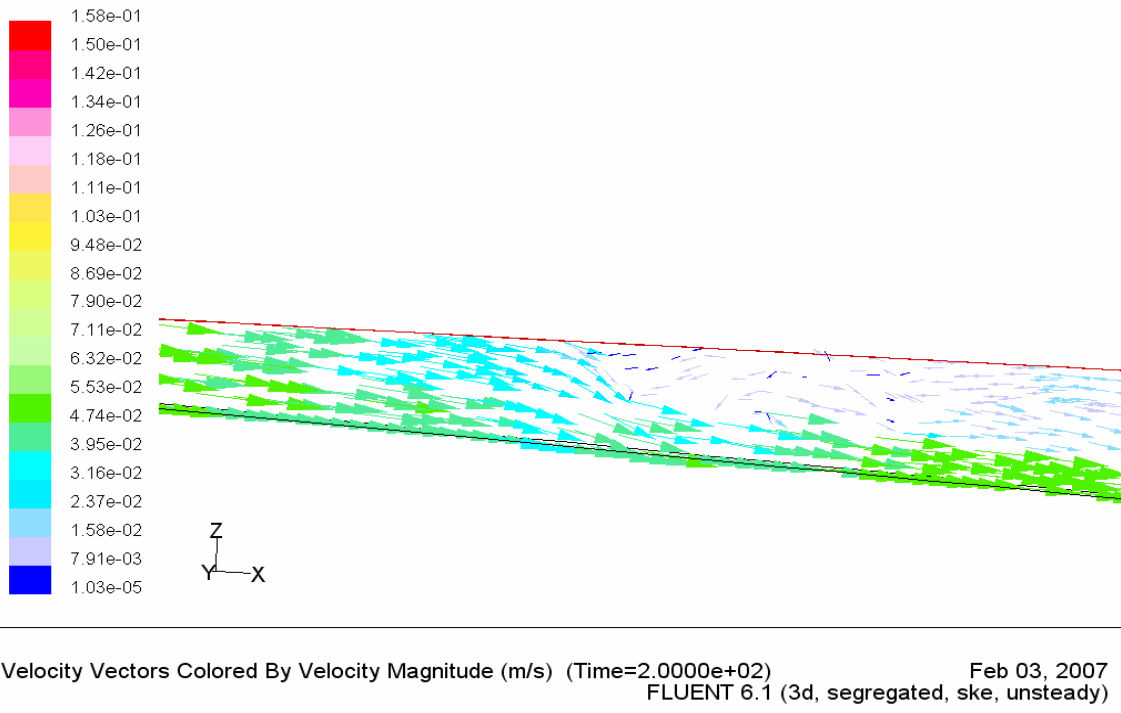
Şekil 3.13.1. de hazne yüzeyinde sirkülasyon bölgeleri oluşmuştur. Haznede sirkülasyon bölgeleri ve ters akımın haricindeki tüm bölgelerde akım mansaba doğru ilerlemektedir. Şekil 3.13.2. ve Şekil 3.13.3. de ise 200 saniyede haznenin boy kesiti alınarak dalmış akımın yeri ve tabakalı akımın ilerleyişi gösterilmiştir. 200 saniyede  $x = 7$  m deki sıcaklık değerleri 37.1 – 38.1 C arasında, bileşke hızlar ise 0.0237 m/s - 0.00791m/s arasında değişmektedir.



Şekil.3.13.1. Türbülanslı akım şartlarında 200. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar

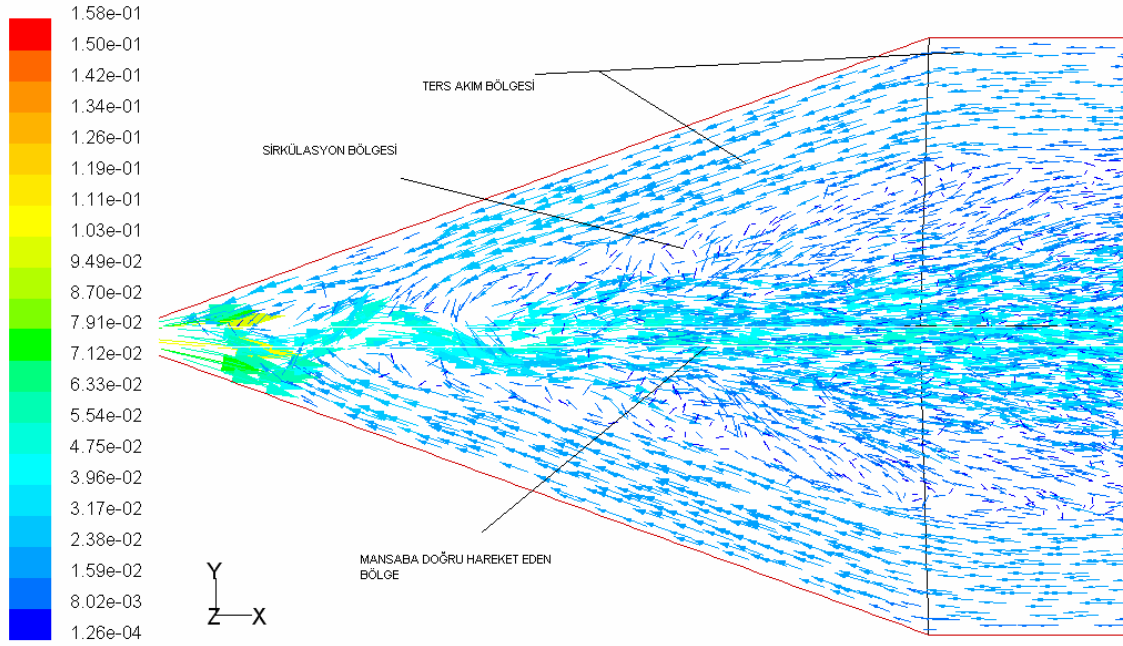


Şekil.3.13.2. Türbülanslı akım şartlarında 200. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte hızlar



Şekil.3.13.3. Türbülanslı akım şartlarında 200. saniyede oluşan hazne hacminde büyütülmüş boy kesitte toplam sıcaklıklar

Şekil 3.14.1. , Şekil 3.14.2. ve Şekil 3.14.3. şekilleri hazneye akım girdikten sonra 650. saniyedeki akımın şeklini göstermektedir. Tabakalı akım net gözlenmiş ve hazne tabanı boyunca mansaba doğru ilerleyerek hazne çıkışına ulaşmıştır. Hazne su yüzeyinde küçük sirkülasyonlar olmaya devam etmiş ve ters akımlar oluşmuştur. Akım boyunca sınır şartlarında herhangi bir olumsuz durum karşılaşılmamıştır. Matematik model sonucu elde edilen akımlar deney sonuçları ile uyumlu elde edilmiştir.



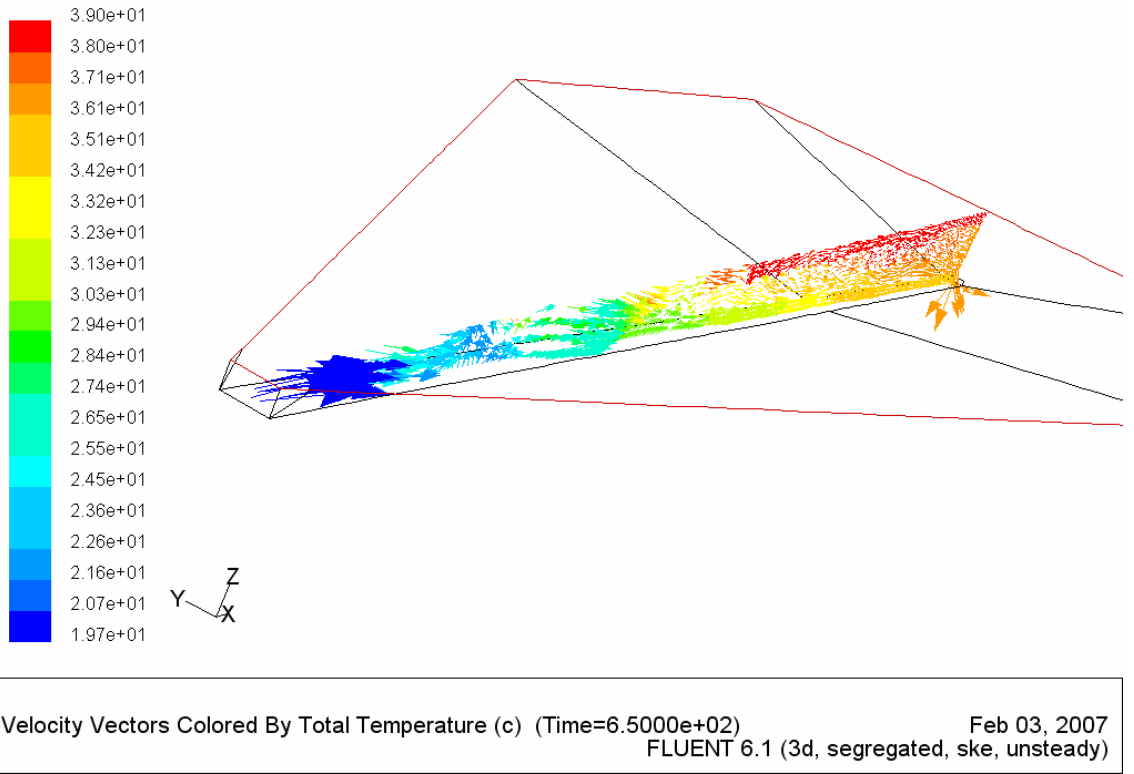
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=6.5000e+02)

Feb 03, 2007

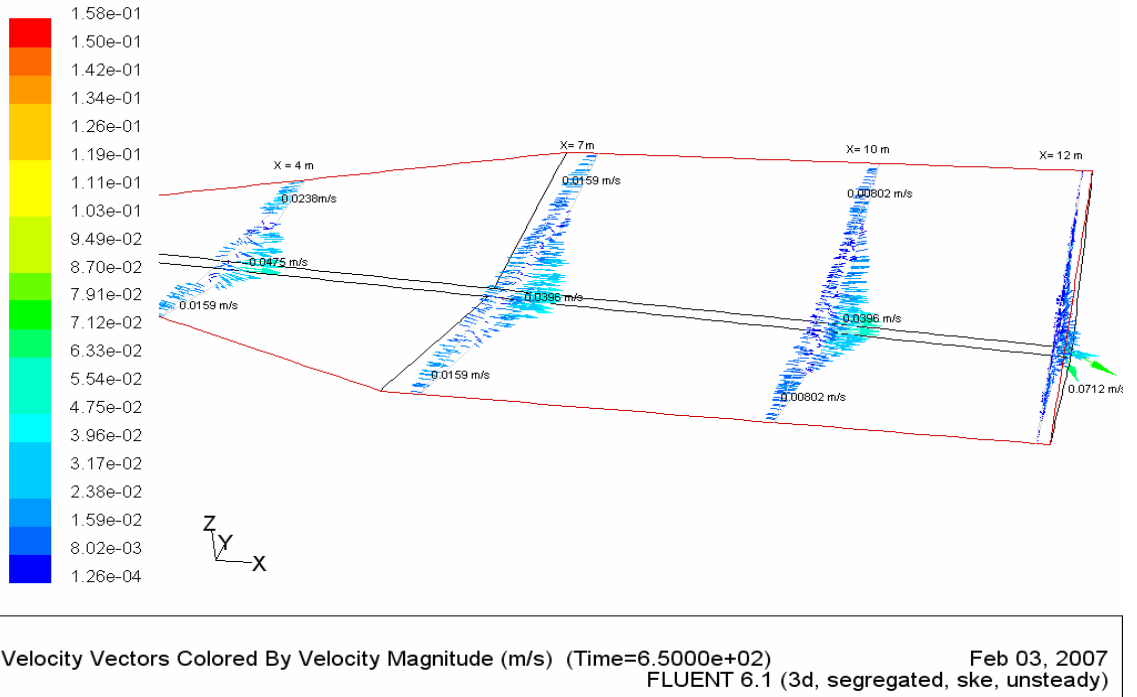
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.3.14.1. Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar

Şekil 3.14.2. 650. saniyede baraj haznesinde boyuna kesitte tabakalı akım için sıcaklık değerleri ve Şekil 3.14.3. de 650. saniye için bileşke hızların enine doğrultuda  $x = 4, 7, 10$  ve  $12 \text{ m}$  ler deki değerleri verilmiştir. Akımın dalmış akım dinamiğine uygunluğu görülmektedir.

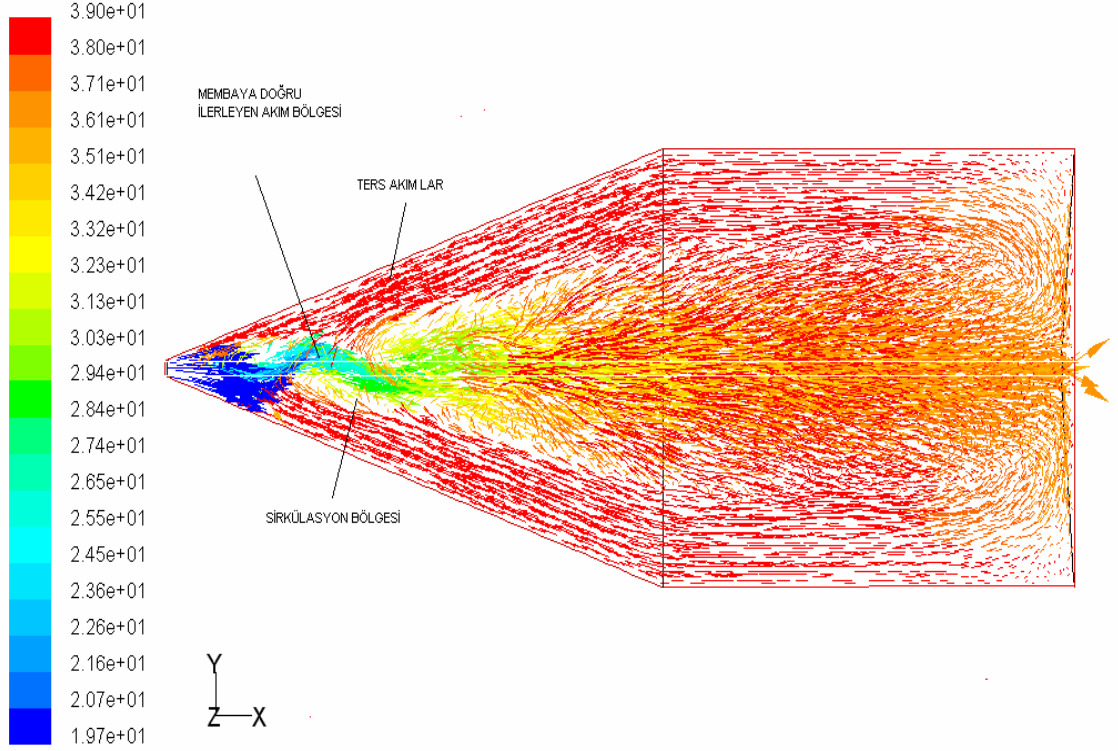


Şekil.3.14.2. Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar



Şekil.3.14.3. Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte  $x = 4, 7, 10$  ve  $12$  m de hızlar

Şekil 3.14.4. de baraj haznesinin 650. saniyesinde toplam sıcaklıklar verilmiştir.

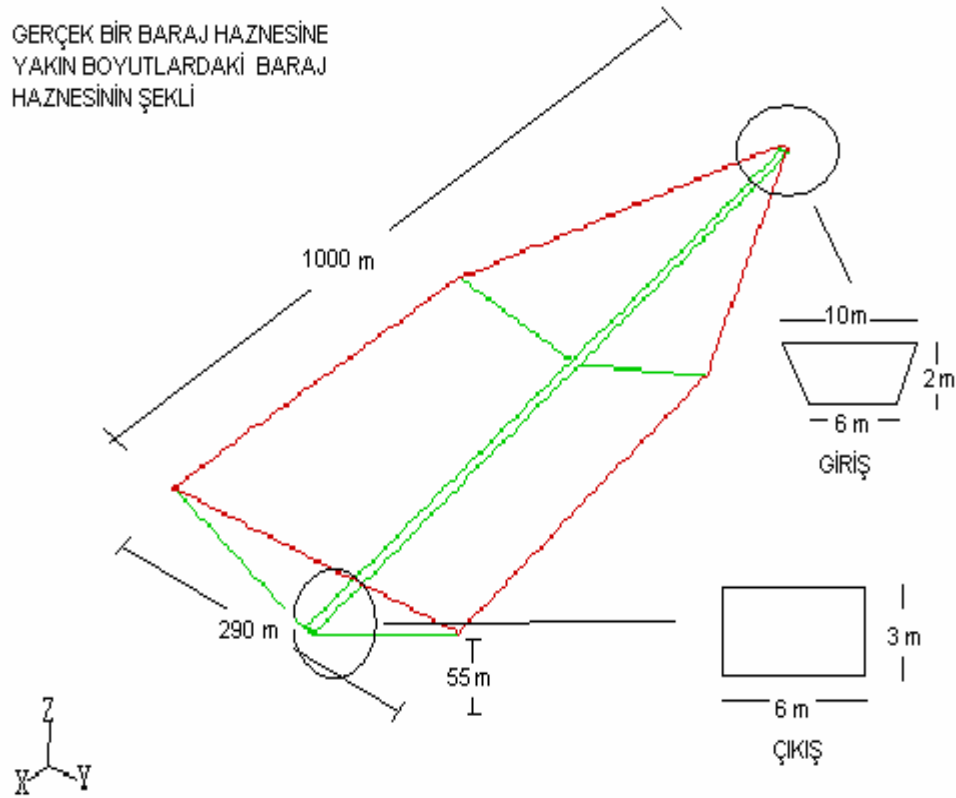


Şekil.3.14.4. Türbülanslı akım şartlarında 650. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar

### 3.2.3. Gerçek Baraj Haznesi Boyutlarına Yakın Haznenin Üç Boyutlu Matematik Model İle İncelenmesi

#### 3.2.3.1. Baraj Haznesinin Boyutları

Yukarıdaki yapılan çalışmaya ek olarak, gerçek bir baraj haznesi boyutlarına yakın bir baraj haznesinin matematik modeli kurulmuş ve dalmış akım incelenmiştir. Matematik model simülasyonları oluşturulurken bölüm üç de belirtilmiş olan aşamalar yeni başlangıç ve sınır şartlarına göre tekrarlanmıştır. Gerçek boyutlara yakın hazne modelinin şekli aşağıda gösterilmiştir (Şekil.3.15.).



Şekil.3.15. GAMBİT de matematik model için haznenin şekli ve boyutları

### 3.2.3.2. Matematik Modelin Kurulması

Kurulacak matematik model GAMBİT çizim programında önce hazneyi oluşturan noktalar girildikten sonra, bu noktalar birleştirilerek hazneyi meydana getiren kenarlar oluşturulmuştur. Bu kenarlardan hazne yüzeyleri ve yüzeylerin birleştirilmesiyle de hazne hacmi meydana gelmiştir. Hazne hacminden hesap ağı geçirilmiş ve başlangıç ve sınır şartları belirlenerek FLUENT 6.1 programından çağırılmıştır. Kurulacak matematik modelinin sınır şartları Çizelge 3. de verilmiştir.

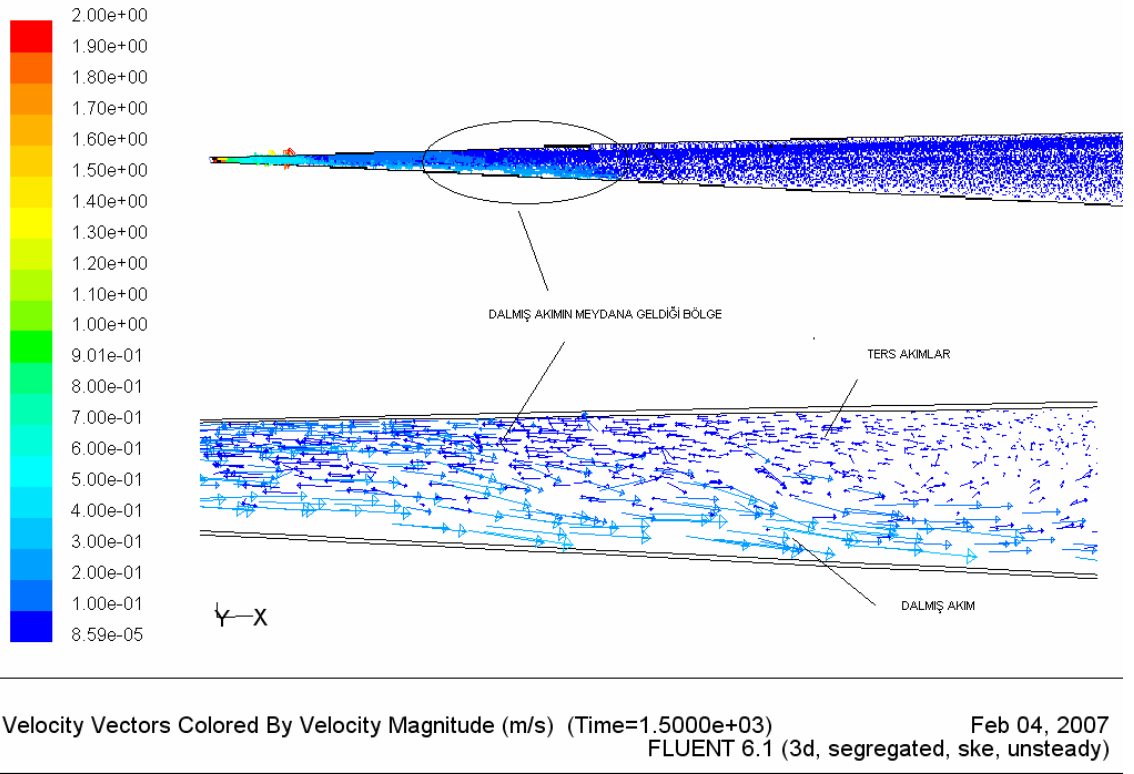
Çizelge 3. Gerçek boyutlara yakın hazne için sınır şartları

Data	$\delta$ (Deg)	$\theta$ (Deg)	B (m)	H (m)	V (m/s)	$T_o$ (°C)	$T_a$ (°C)
Deney	20	3	10-6	2	1	19,9	39

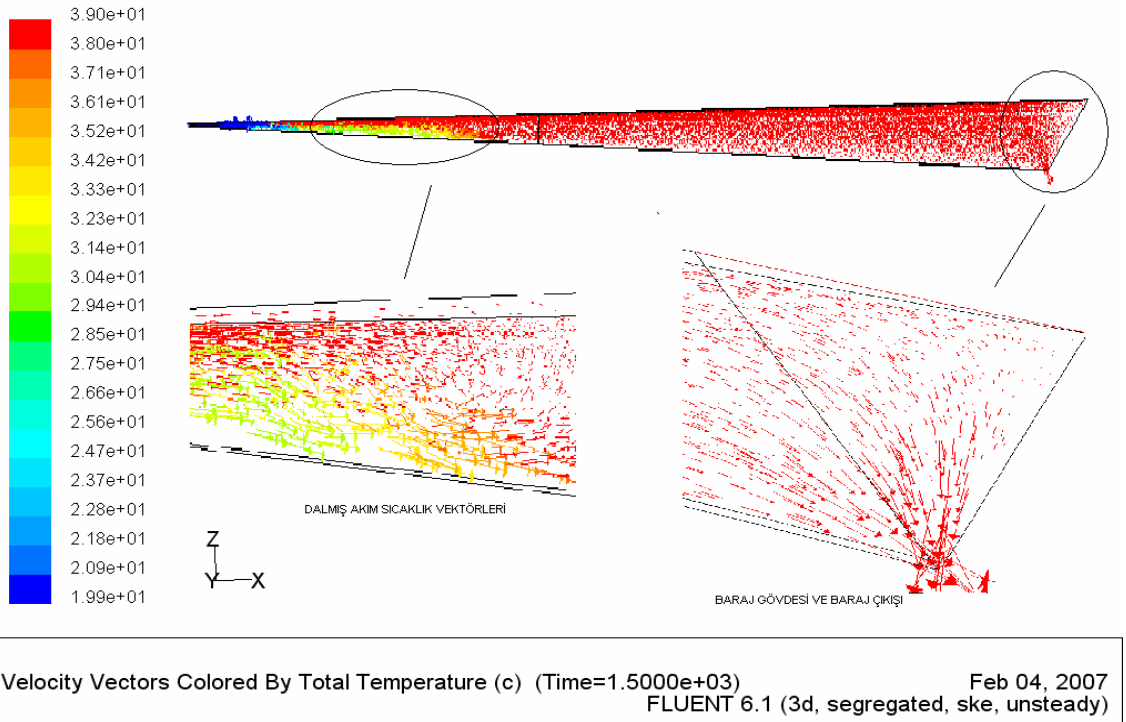
### 3.2.3.3. Matematik Modelin Simülasyon Sonuçlarının İrdelenmesi

Şekil 3.16.1. , Şekil 3.16.2. , Şekil 3.16.3. de görüldüğü gibi hız vektörleri ile bileşke hız ve toplam sıcaklıkların değişimi 1500. saniye için gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi haznede dalmış akım oluşumu henüz başlamış ve hazne akımı membadan mansaba doğru ilerlemektedir.

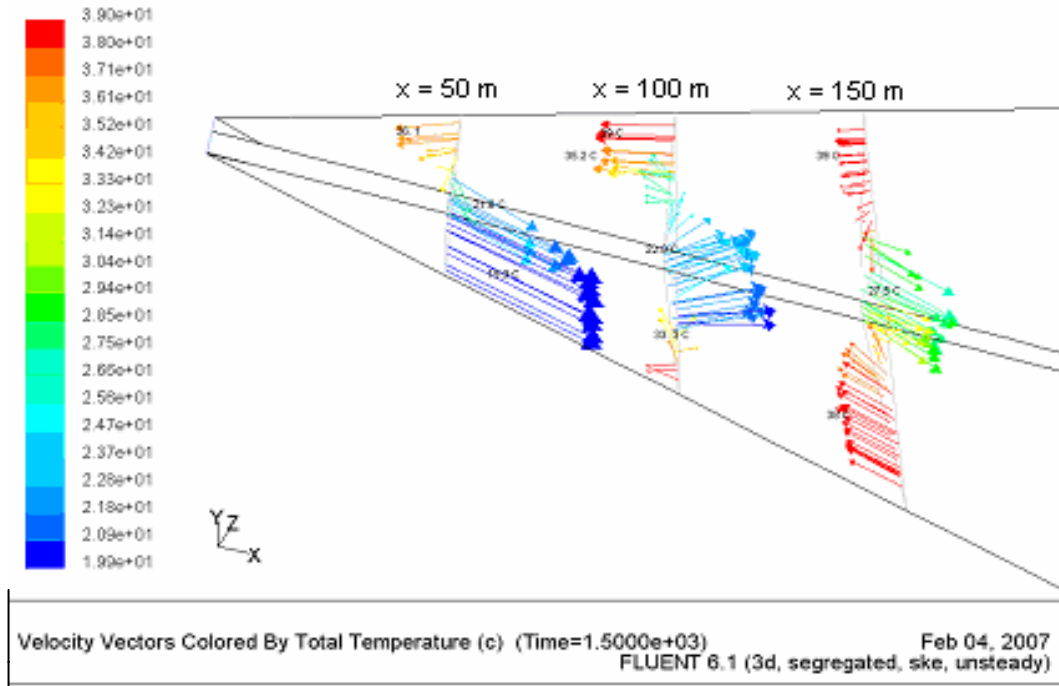




Şekil.3.16.1. Türbülanslı akım şartlarında 1500. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım ve dalma noktasındaki hızlar



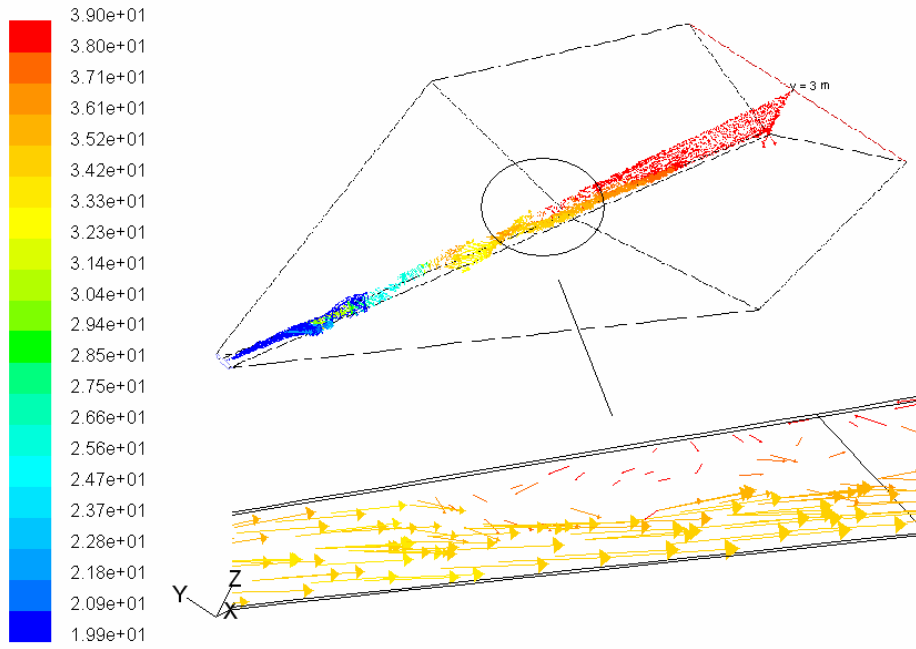
Şekil.3.16.2. Türbülanslı akım şartlarında 1500. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım, dalma noktası ve hazne çıkışındaki toplam sıcaklıklar



Şekil.3.16.3. Türbülanslı akım şartlarında 1500. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte  $x = 50, 100, 150$  m de hızlar

Haznede akım 3250. saniyede Şekil 3.17.1. ve Şekil 3.17.2. gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tabakalı akım gelişimi devam ederek mansaba doğru ilerlemiştir. Bunun yanında tabakalı akımın üst kısmında tabakalı akıma ters olarak, mansaptan membaya doğru ters akımlar meydana gelmiştir.

Dalmış akımın meydana geldiği andaki bileşke hız  $0.1\text{m/s}$  ve  $0.2\text{ m/s}$  arasında değişmektedir. Dalmış akım girişten itibaren  $x = 301$  m de dalmaya başlamaktadır.

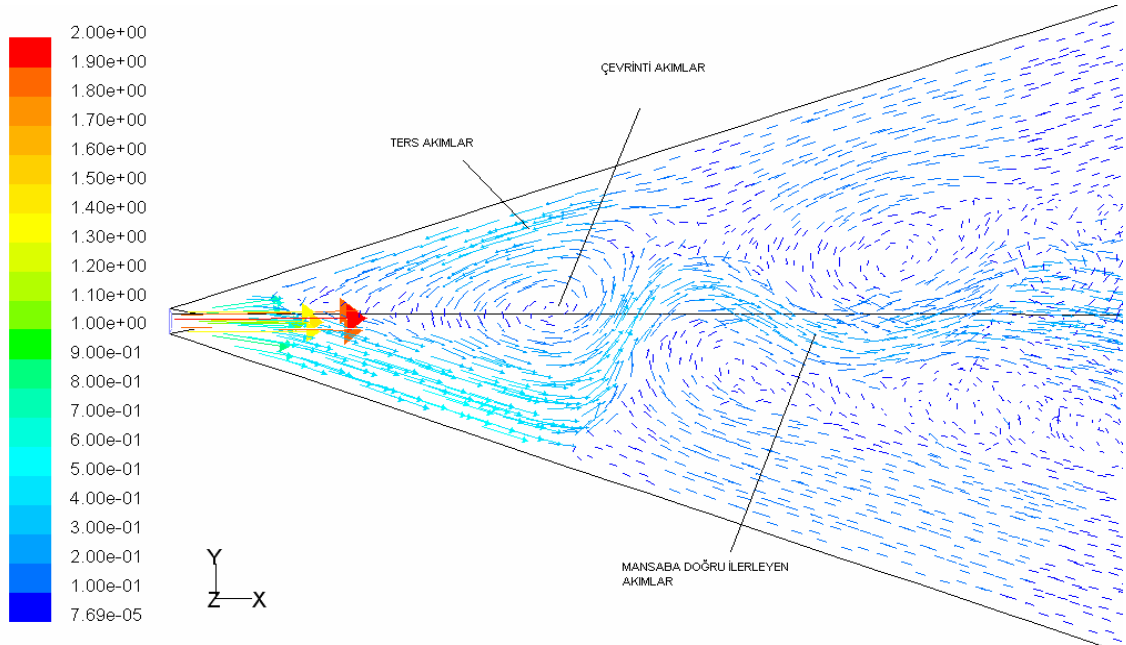


Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=3.2500e+03)

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Feb 04, 2007

Şekil.3.17.1. Türbülanslı akım şartlarında 3250. saniyede oluşan hazne hacminde tabakalı akım ve dalma noktasındaki toplam sıcaklıklar



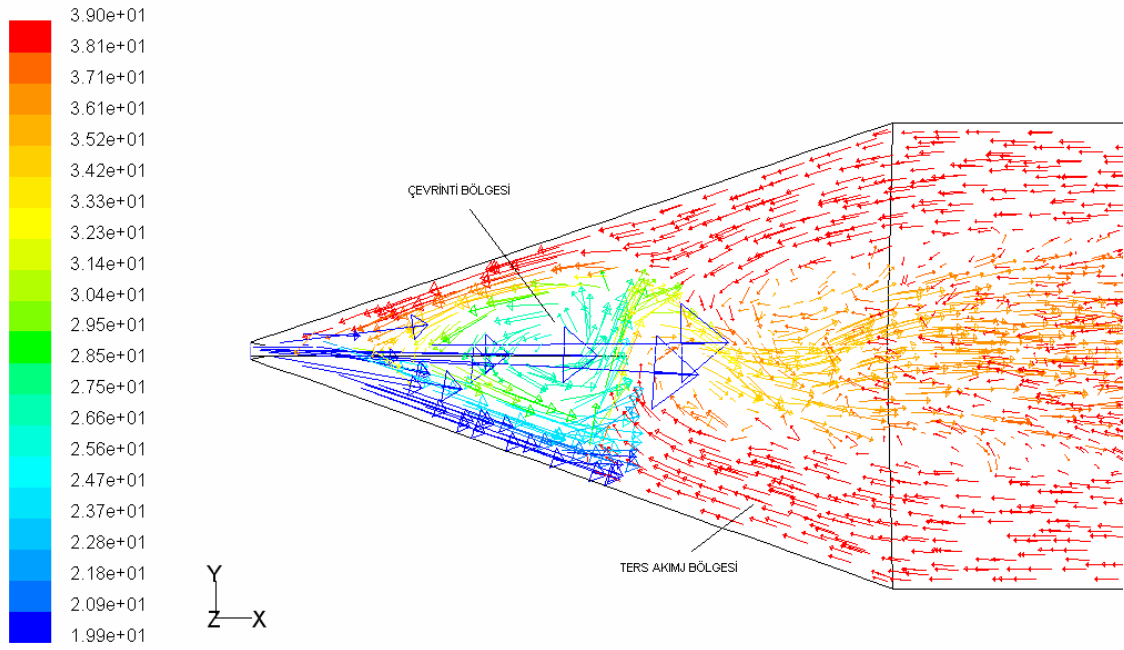
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=3.2500e+03)

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

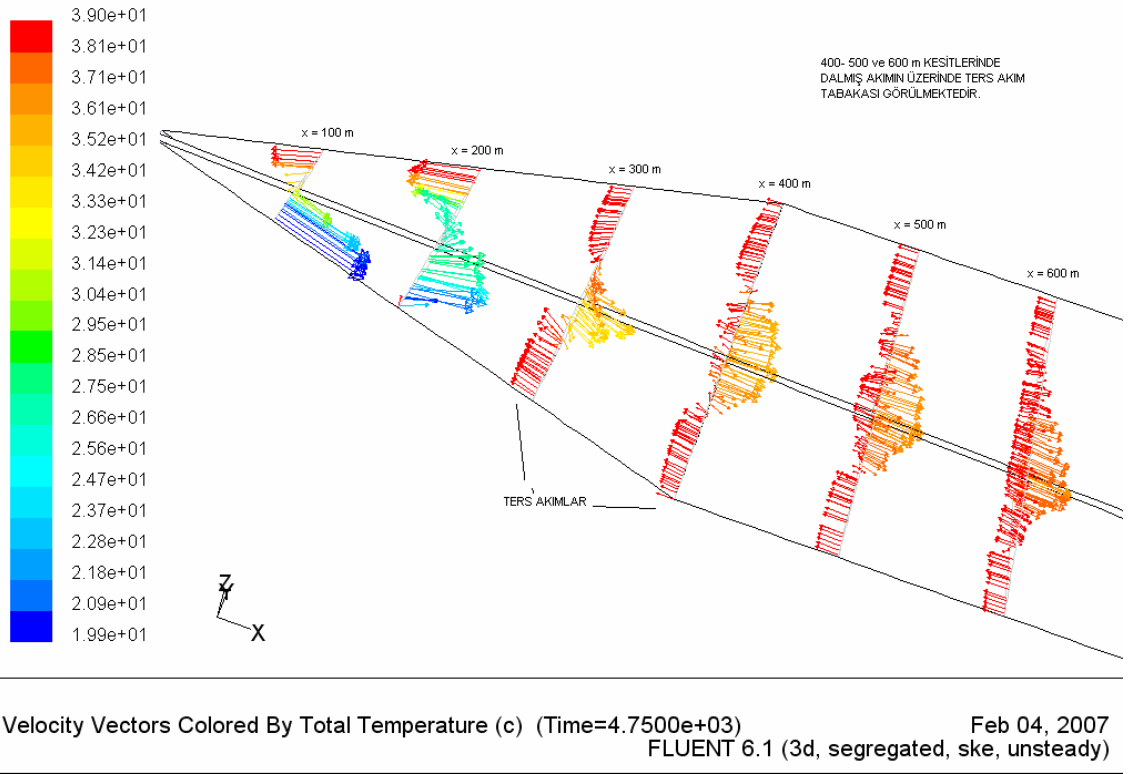
Feb 04, 2007

Şekil.3.17.2. Türbülanslı akım şartlarında 3250. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar

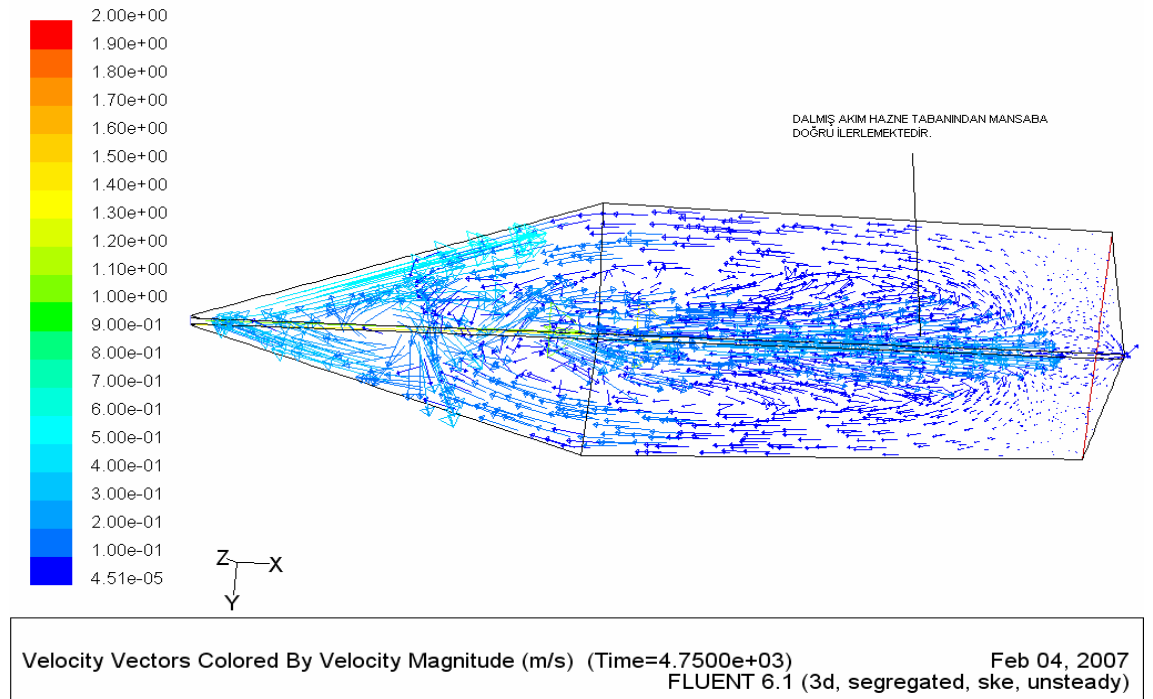
Aşağıdaki Şekil 3.18.1, Şekil 3.18.2. ve Şekil 3.18.3. de 4750. saniyede haznede meydana gelen akım gösterilmiştir. Şekil 3.18.1. da hazne su seviyesinde ters akımlar meydana gelmiştir. Aynı zamanda ters akım ile giren akım arasında sirkülasyon bölgeleri görülmektedir. Şekil 3.18.2. de ise haznede enine doğrultuda 100, 200, 300, 400, 500 ve 600 m lerde kesitlerdeki akımlar gösterilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi akım, tabakalı akım dinamiğine uygun olarak hareket etmektedir ve yine ters akımlar mevcuttur. Şekil 3.18.3. de ise haznede boyuna kesit için taban akımının gelişimi gösterilmiştir.



Şekil.3.18.1. Türbülanslı akım şartlarında 4750. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar

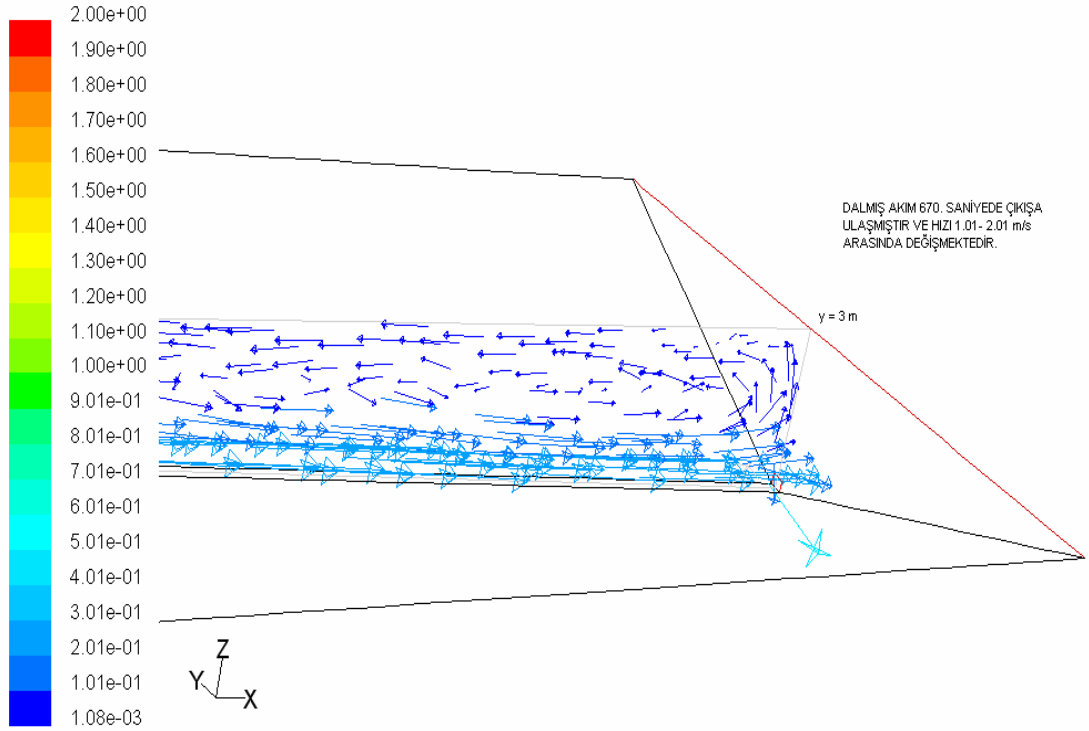


Şekil.3.18.2. Türbülanslı akım şartlarında 4750. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte  $x = 100, 200, 300, 400, 500$  ve  $600$  m de toplam sıcaklıklar



Şekil.3.18.3. Türbülanslı akım şartlarında 4750. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar

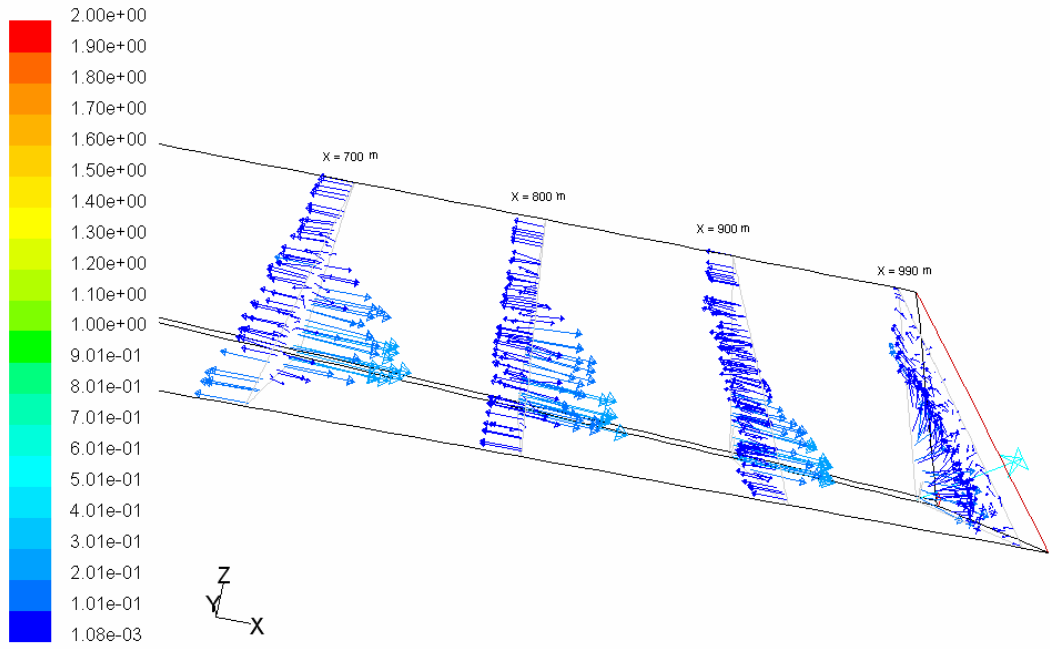
Şekil 3.19.1, Şekil 3.19.2 ve Şekil 3.19.3 de haznede 6750. saniyede tabakalı akımın oluşumu ve akımın hazne tabanında ilerleyişi, hazneden çıkışı en ve boy kesitlerde gösterilmiştir. Hazne akımı, dalmış akım dinamiğine uygun olarak hareket etmektedir. JOHNSON ve STEFAN (1988) yapmış oldukları deneylerle akım benzer özellikler göstermiştir.



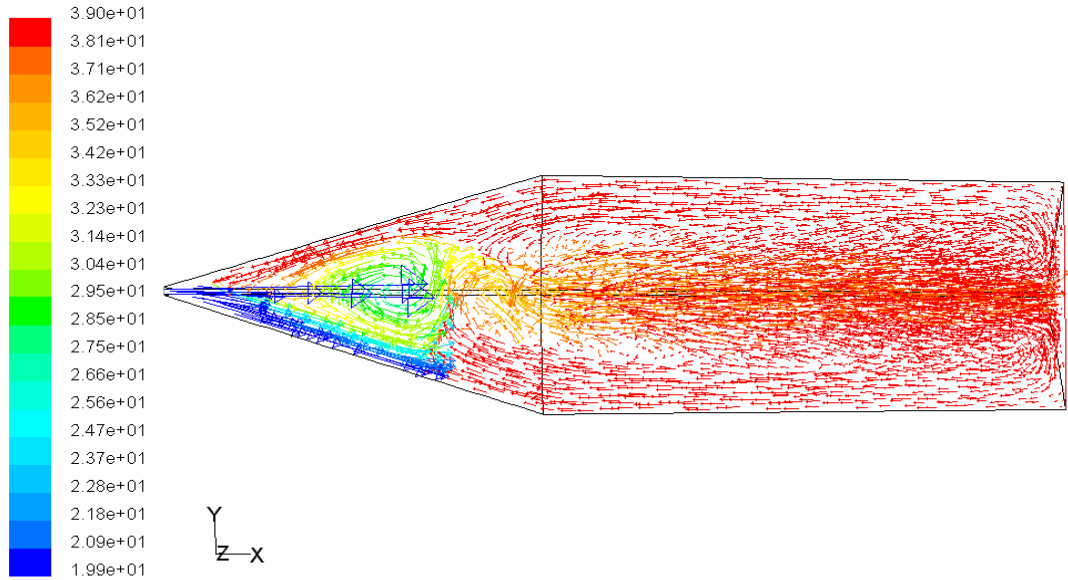
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=6.7500e+03)

Feb 04, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.3.19.1. Türbülanslı akım şartlarında 6750. saniyede oluşan hazne hacminde büyütülmüş boy kesitte hızlar



Şekil.3.19.2. Türbülanslı akım şartlarında 6750. saniyede oluşan hazne hacminde en kesitte  $x = 700, 800, 900$  ve  $990$  m de hızlar



Şekil.3.19.3. Türbülanslı akım şartlarında 6750. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

JOHNSON ve STEFAN (1988)' in yaptıkları çalışmalarda kullanmış oldukları sınır şartlarını kullanarak deneyin matematiksel modeli kurulmuş ve Coriolis etkisi de katılarak akım özellikleri incelenmiştir. Bu değerleri Çizelge 3. de verilmiştir

Su yüzeyi ve değişken hazne tabanı için haznenin boyuna ve enine doğrultudaki kesitleri alınarak sıcaklık ve bileşke hız değerleri incelenmiştir. Şekillerden de açıkça görüldüğü gibi sıcaklık değişimi derinliğe bağlı olarak değişmektedir.

Şekillerde gösterildiği gibi gelen akım hazneye girdiği andan itibaren baraj haznesi bir yan yüzeyine doğru yapışarak mambadan mansaba doğru akımın ilerlediği görülmüştür. Diğer haznenin yan yüzeyinde ise akım ters yönde, yani mansaptan membaya doğru hareket eder. Akımın hazneye girdiği andan itibaren mansaba ve membaya doğru hareket eden doğru ve ters akım bölgeleri hız vektörleriyle açıkça şekillerden görülmektedir. Ayrıca, hazneye yoğunluğu az akımın girmesiyle birlikte hazne su yüzeyinde giren akım ve ters akım arasında küçük sirkülasyon bölgeleri oluşmaktadır.

Şekillerde gösterilen boyuna ve enine kesitlerinden de görülebileceği gibi, haznede yoğunluk değişimi hazne tabanı boyunca devam etmektedir. Bu yoğunluk değişimi dalmış akımı meydana getirmektedir. Ayrıca haznede dalmış akımın üstünde ters yönde bir akım tabakası oluşmuştur. Akımın hazneye giriş açısı  $20^0$  ve taban eğimi  $3^0$  olan hazne modeli için yoğunluğu düşük akım (soğuk su) hazne girişinde 3.64 m sonra dalmış akımı meydana getirmiş ve dalma derinliği 28 cm olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. JOHNSON ve STEFAN (1988) deneyinin matematik modeli sonucu elde edilen akım özellikleri

$\delta$ (Deg)	$\theta$ (Deg)	$q_0$ (cm <sup>3</sup> /cm/s)	$(q^2/g')^{1/3}$ (cm)	$T_o$ (°C)	$T_a$ (°C)	$H_p$ (cm)	$X_p$ (m)
<b>20</b>	<b>3</b>	<b>105,88</b>	<b>14,2</b>	<b>19,9</b>	<b>39</b>	<b>28,0</b>	<b>3,64</b>



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan simülasyonlardan açıkça görüldüğü gibi dalmış akım açıkça görülebilmektedir. Gelen akımın hazneye girmesiyle önce dalmış akım ve taban akımı daha sonra da hazne akımı hareketi incelenmiştir.

Ayrıca yukarıda yapılan çalışmaya ilave olarak gerçek bir baraj haznesi boyutlarına yakın bir hazne için matematik modeli kurulmuştur. Bu baraj haznesine Coriolis ivmesinin etkisi de katılarak hazne akımı incelenmiştir. Kurulan model JOHNSON ve STEFAN (1988) kurdukları model gibi giren akım açısı  $\delta = 20^0$  alınmıştır ve araştırmacıların yaptıkları çalışmalara benzer akım özellikleri ve şekilleri gözlenmiştir. Bu sonuçlarda yapılan matematik modelin başarılı olduğunu görülmektedir.

Yaptığımız bu çalışmadan anlıyoruz ki  $\delta = 20^0$  olduğu durumlarda yani, giren akım ile yan kenar açısının  $20^0$  derece arasında olduğu durumlarda; gelen akım bir kenara doğru yayılarak akışını sürdürürken, diğer kenarda ise ters yönde akımlar meydana gelmektedir. Dalmış akım ise haznenin ileri bölgesinde meydana gelir ve hazne tabanı boyunca devam eder. Hazne içerisindeki su yüzeyinde ters akımlar meydana gelirken, hazne tabanında ise akım mansaba doğru tabakalı akım olarak devam eder. Hazne su yüzeyinde çevrinti (sirkülasyon) akımlar da meydana gelmektedir. Matematik modelin simülasyon sonuçlarından; Yoğunluk akımlarının, gelen ve haznedeki akımın özelliklerinin yanı sıra, hazne yayılma açısına, taban eğimine ve hazne büyüklüğüne bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

AKİMAYA, J. ve STEFAN G.H.. 1984. Plunging Flow into a Reservoir: Theory. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, 110, 484-489.

AVCI, İ.,2002. Hidromekanik Ders Notları, İTÜ, İstanbul.

**ALAVİAN, V., ve OSTROWSKI, P.,1992. Use of Density Current to Modify Thermal Structure of TVA Reservoirs**, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, **118(5) 688-706.**

CHUNG, S.W. ve GU, R..1998. Two Dimensional Simulations of Contaminant Currents in Stratified Reservoir. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, 124 704-711.

ELLİSON, T.H. ve TURNER, J.S., 1959. Turbulent Entrainment in Stratified Flows. **Journal of Fluid Mechanics**, 6.s.423. ASCE.

FARREL ,G.J. ve STEFAN, H.G.,1986. Buoyancy Induced Plunging flow into Reservoirs and Coastal Regions, **Project Report**. No.241, Minnesota.

FARREL, G.J., and STEFAN, H. G.,1988. Mathematical Modeling of Plunging Reservoir Flows. **Journal of Hydraulics Research**. 26 (1988) 525-537.

**HAG, A ve LİCK, W.,1975. On the Time- Dependet Flow in a Lake.** Journal of Geophysical Research, **80,431-437.**

**HEBBERT, B.,1979. Collie River Underflow into the Wellington Reservoir.** Journal of Hydraulics Div., ASCE, **105, HY5 533-545.**

**İRTEM, E.,1991. Tabakalı körfezlerdeki Su Kütleli Hareketlerinin Belirlenmesi ve İzmit Körfezine Uygulanması**, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**JOHNSON, T.R., FARRELL, G.J., ELLİS, C.R., ve STEFAN, H.G..1987. Negatively Buoyant Flow in Diverging Channel: Part I: Flow Regimes.** Journal Hydraulic Engineering, ASCE, **113 716-730.**

**JOHNSON, T.R., FARRELL, G.J., ELLİS, C.R., ve STEFAN, H.G..1987. Negatively Buoyant Flow in Diverging Channel: Part II: 3-D Flow Field Regimes.** Journal Hydraulic Engineering ASCE, **113 731-742.**

**JOHNSON, T.R., STEFAN, H.G.,1988. Experimental Study of density induced plunging flow into reservoirs and coastal regions.** Project Report, No. 245, St. Anthony falls Hydr. Lab., University of Minnesota .

**KASSEM, A., IMRAN, J., and KHAN, J.A.,2003. Three-Dimensional Modeling of Negatively Buoyant Flow in Diverging Channels. Journal Hydraulic Engineering, 129 (12) 936-947.**

**LAUNDER, B.E., ve SPALDİNG, D.B.,1972. Mathematical models of Turbulence, Academic Press, Newyork.**

**MORRİS, G.L. ve FAN J., 1998. Reservoir Sedimentation Handbook McGraw-Hill, Newyork.**

**PEDLOSKY, J.,1987. Geophysical Fluid Dynamics. Springer-Verlag, Newyork.**

**SAVAGE, S.B. ve BRİMBERG, J.,1975. Analysis Of Plunging Phenomena In Water Reservoirs. J. Hydr. Res., 13(2) 187-204.**

**SİNGH, B. ve SHAH, C.R.,1971. Plunging Phenomenon of Density Currents in Reservoirs. La Houille Blanche, 26, 59-64.**

**SPALDİNG, D.B.,1977. Genmix: A General Computer Program For Two-Dimension Parabolic Phenomena, Pergaman Press Inc., Newyork**

**ÜNEŞ, F., 2004 , Coriolis İvmesinin ve Hazne Çıkış Seviyesinin Haznelerdeki Dalmış Akıma Etkilerinin Matematik Modelle İncelenmesi İTÜ Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.**

**ÜNEŞ, F., AĞIRALIOĞLU, N.,2004. Matematik Model Kullanılarak Haznedeki Yoğunluk Akımın İncelenmesi. İTÜ dergisi /d, (3)(6), İstanbul**

**ÜNEŞ, F., 2006. Hesaplamalı Hidrolik ve Akarsu Hidroliği ders Notları, Yüksek Lisans Ders Notları, Hatay.**

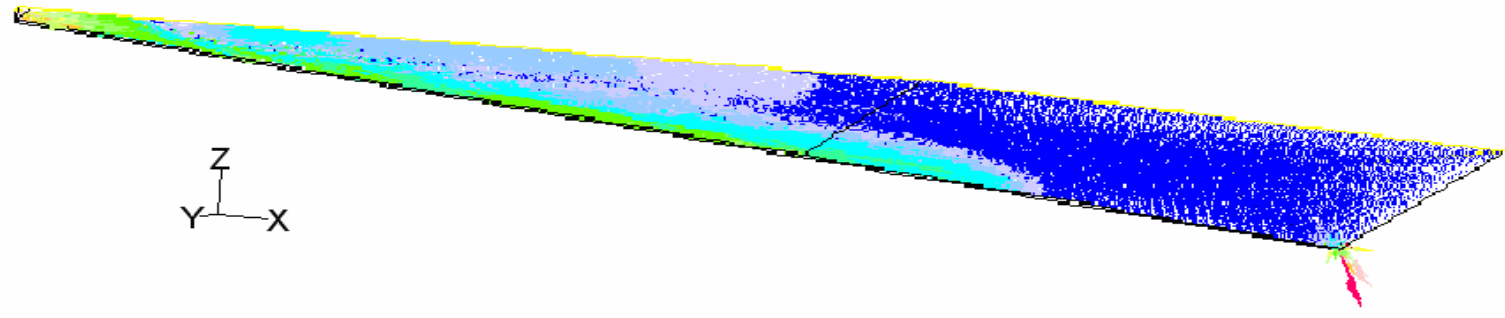
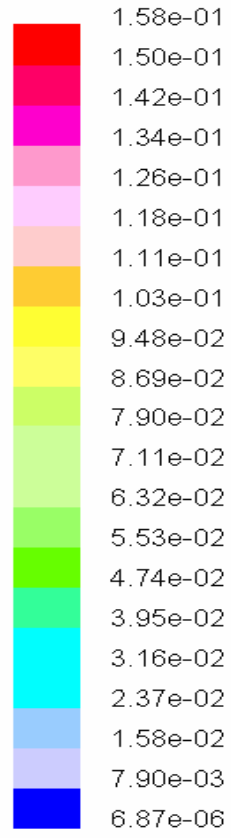
**YÜKSEL Y., 1999. Hesaplama Akışkanlar Dinamiği ve Hidrolik, YTÜ, İstanbul.**

## ÖZGEÇMİŞ

Bora KUNDUZ, 1982 yılında Augsburg / Almanya' da doğdum. İlkokulu Ankara Salihalptekin ilkokulunda, orta ve lise öğrenimini Ankara Ayrancı Lisesinde tamamladım. 1999-2000 eğitim yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandım ve 2003-2004 öğretim yılında mezun oldum. 2004 yılında Denkur Yapı Denetim Kuruluşunda Yardımcı Kontrol İnşaat Mühendisliği görevini üstlendim ve 2006 yılının kasım ayına kadar devam ettim. Aynı zamanda 2005 yılının güz döneminde Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladım. Halen bu üniversitede yüksek lisans eğitimime devam etmekteyim.

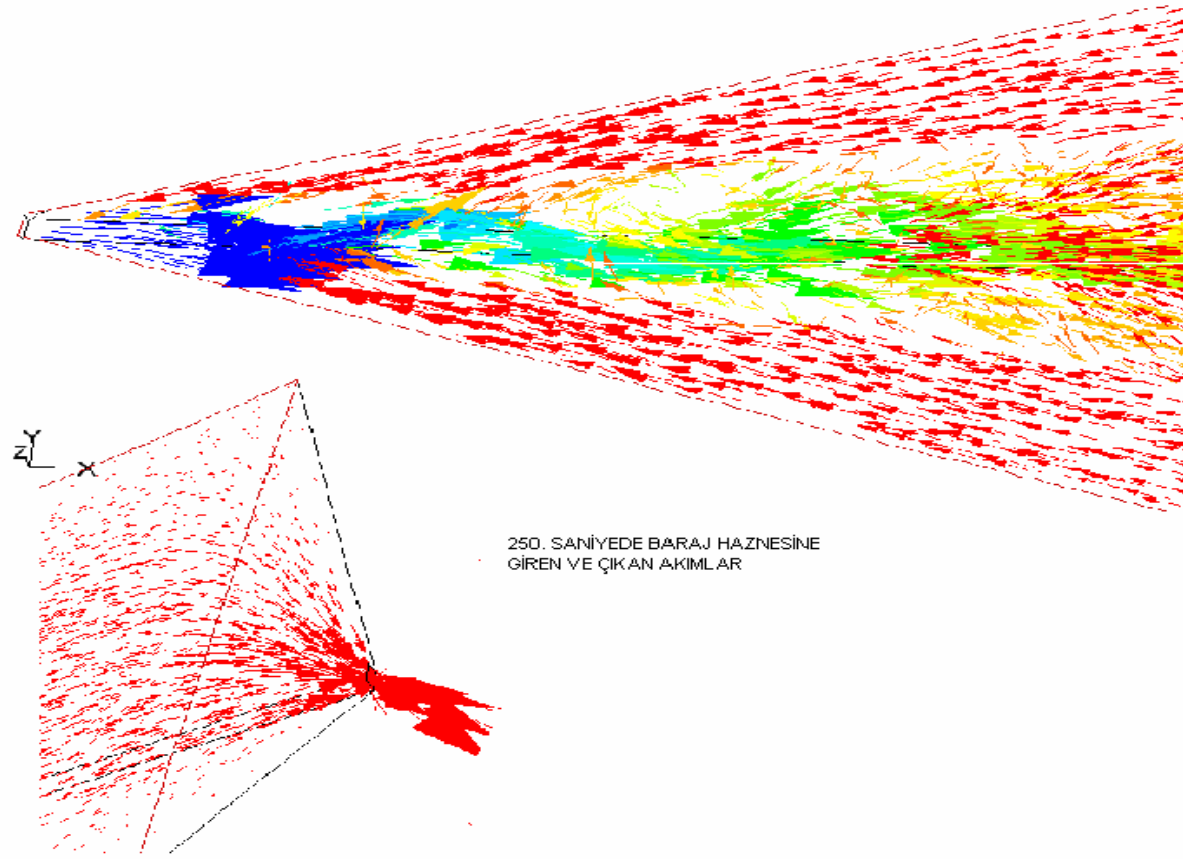
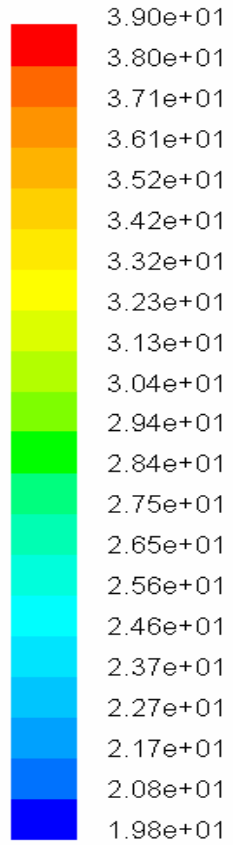
## **EKLER :**

Bu bölümde JOHNSON ve STEFAN (1988)' ın yapmış odluları deney modellerine ait 250, 300, 400 ve 500. saniyelere ait hazne simülasyonları verilmiştir.



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=2.5000e+02) Jan 27, 2007  
 FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

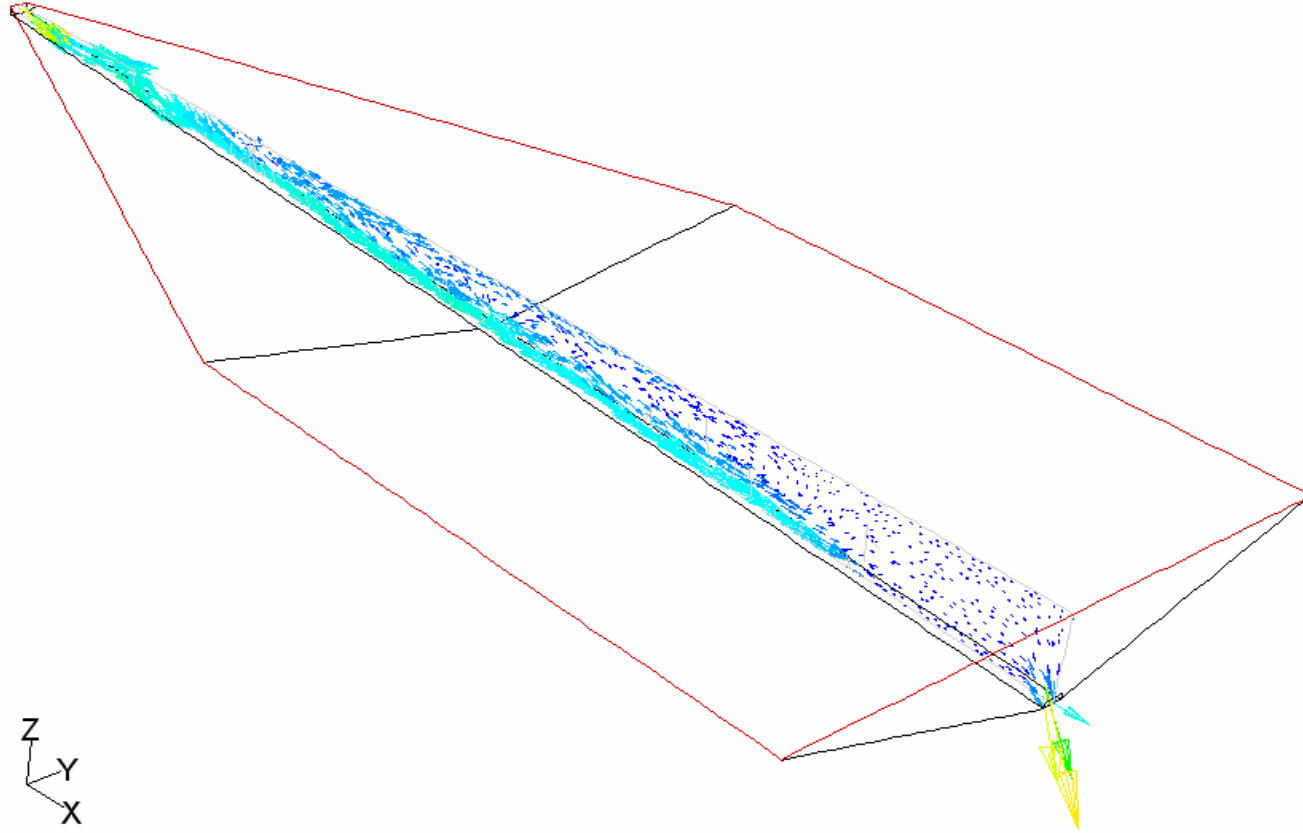
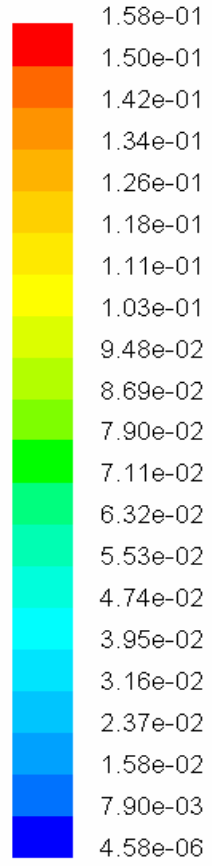
Şekil.Ek1. Türbülanslı akım şartlarında 250. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar



Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=2.5000e+02)

Feb 04, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

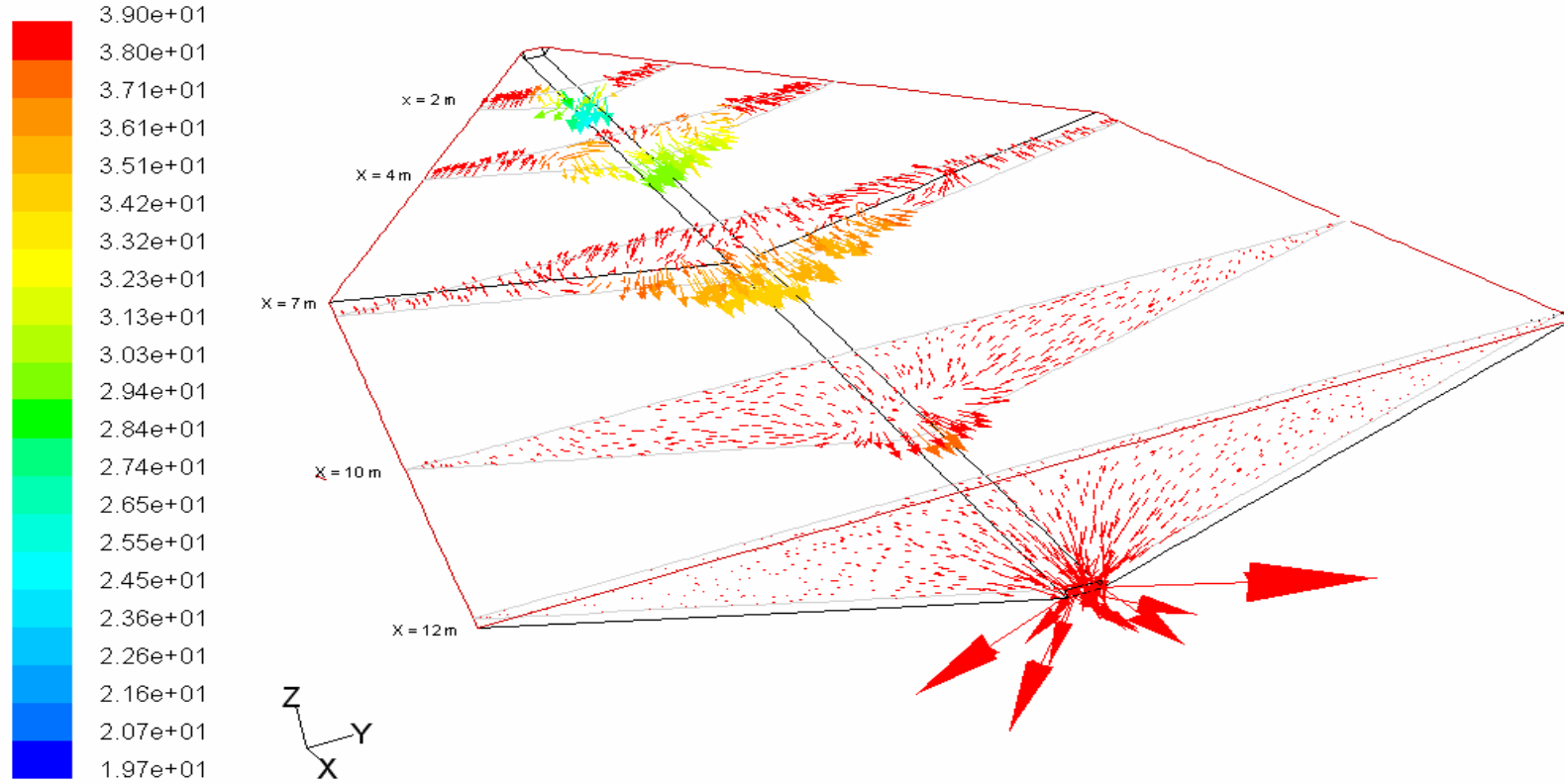
Şekil.Ek2. Türbülanslı akım şartlarında 250. saniyede oluşan hazne hacminde ve hazne çıkışında toplam sıcaklıklar



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=3.0000e+02) Feb 04, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.Ek3. Türbülanslı akım şartlarında 300. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte hızlar



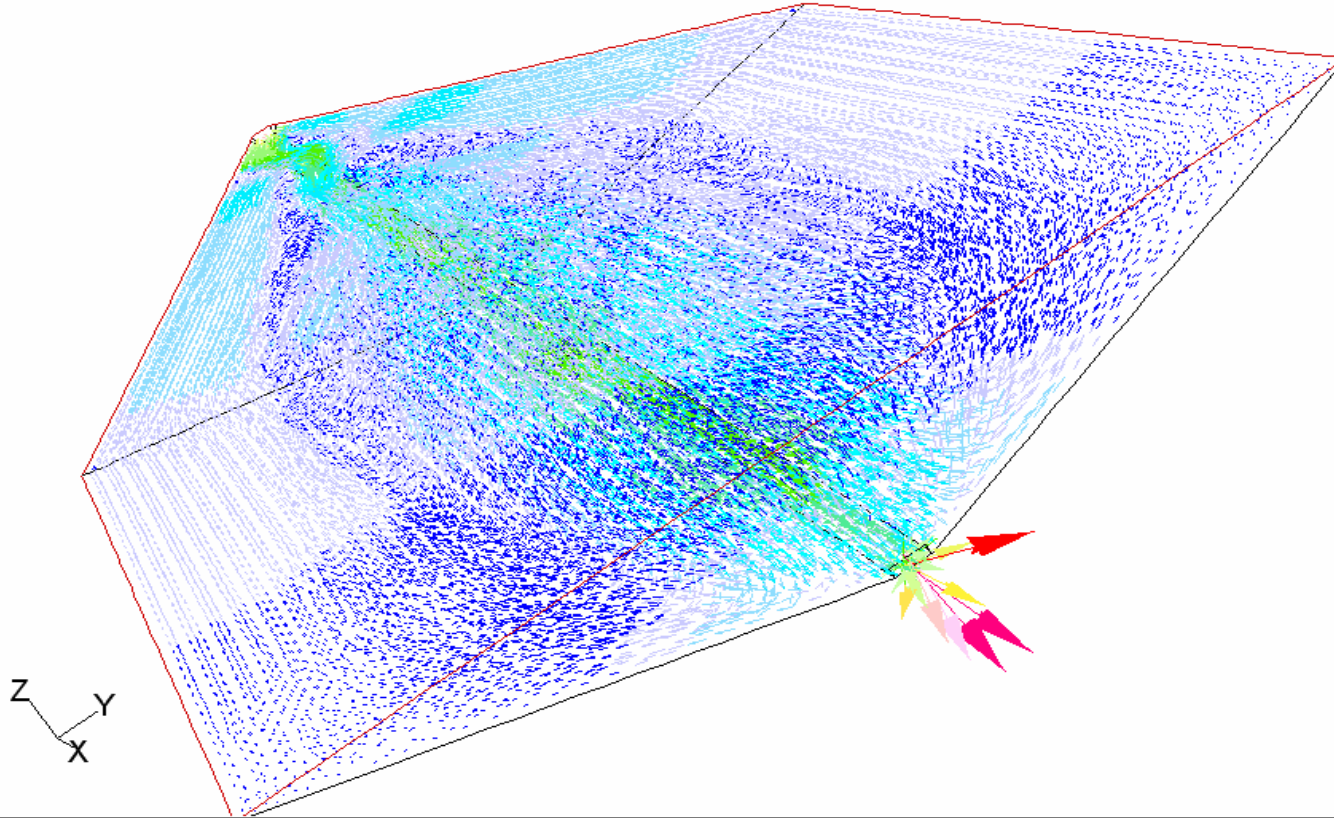
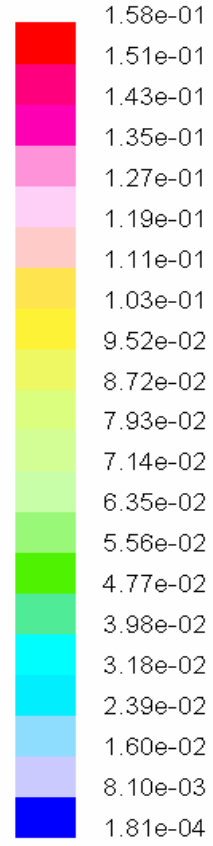


Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=3.0000e+02)

Feb 04, 2007

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.Ek4. Türbülanslı akım şartlarında 300. saniyede oluşan hazne hacminde x = 2, 4, 7, 10 ve 12 m de toplam sıcaklıklar

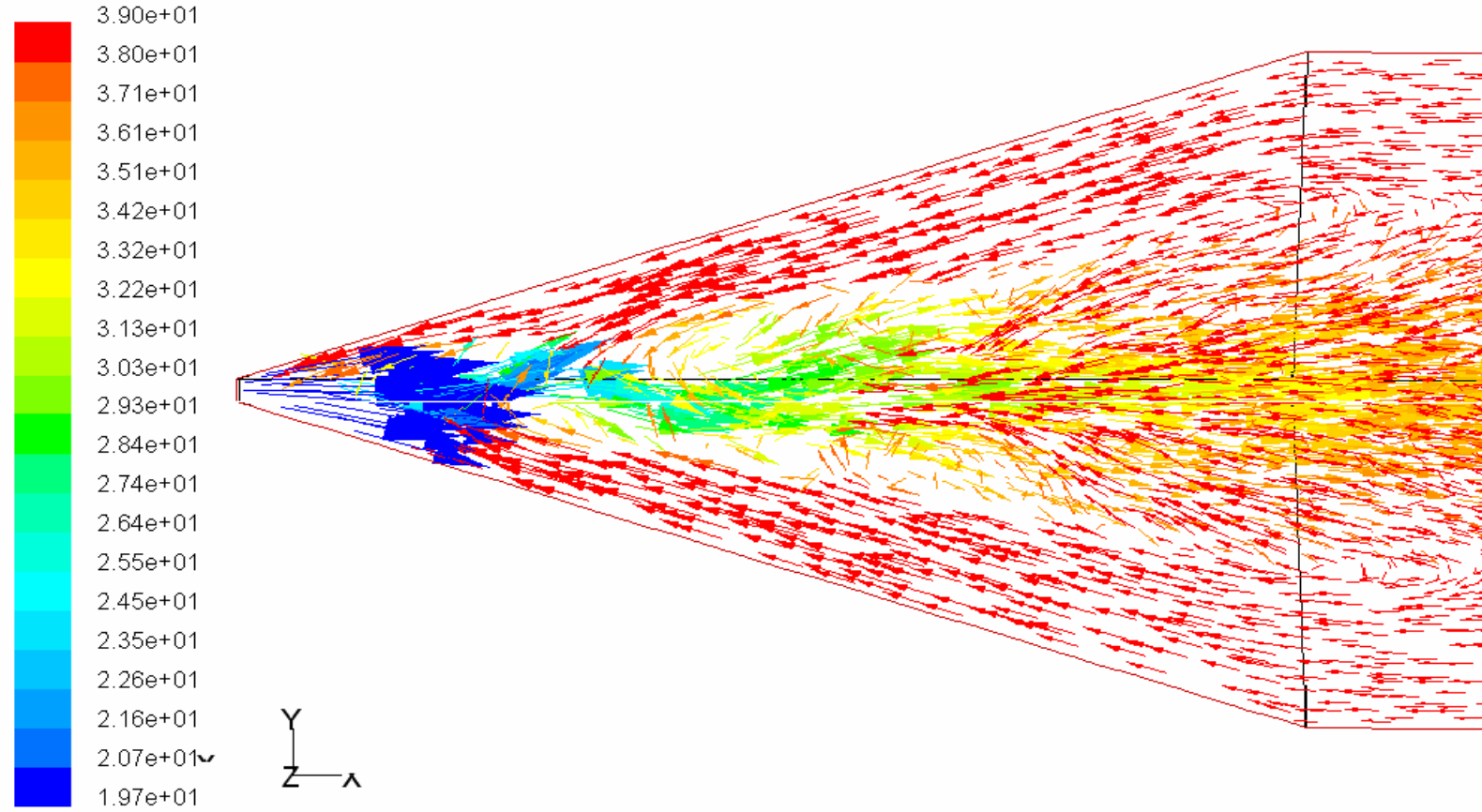


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=4.0000e+02)

Jan 31, 2007

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

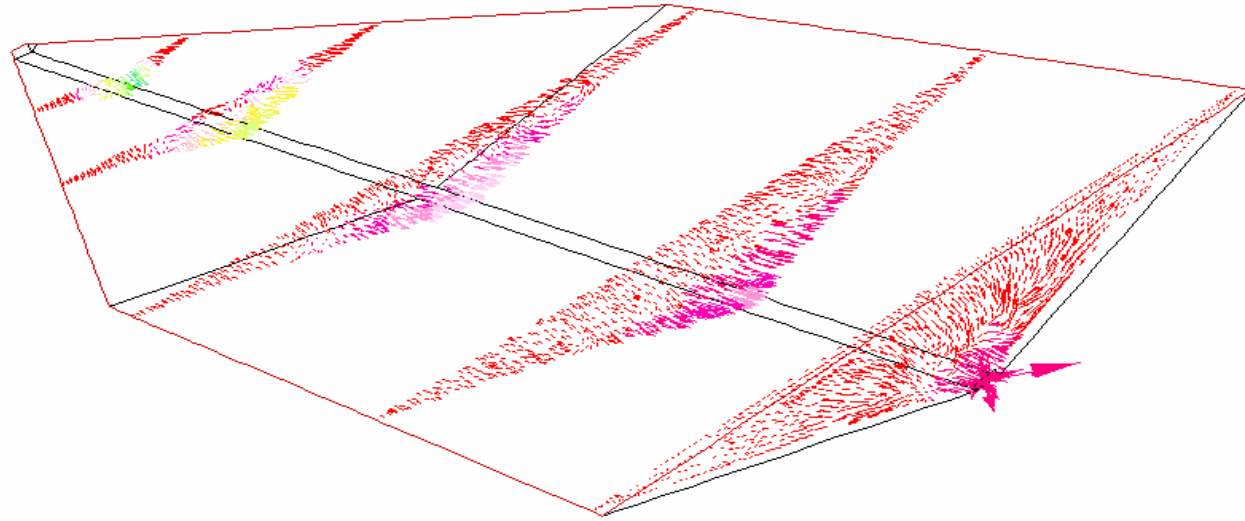
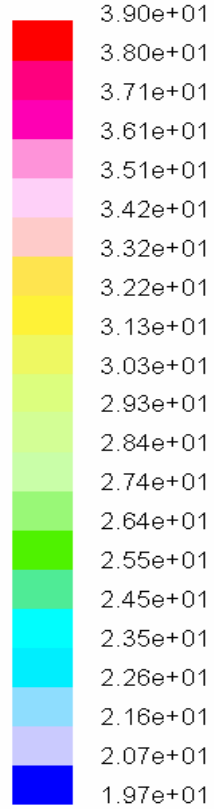
Şekil.Ek5. Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde hızlar



Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=4.0000e+02)

Feb 04, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.Ek6. Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar

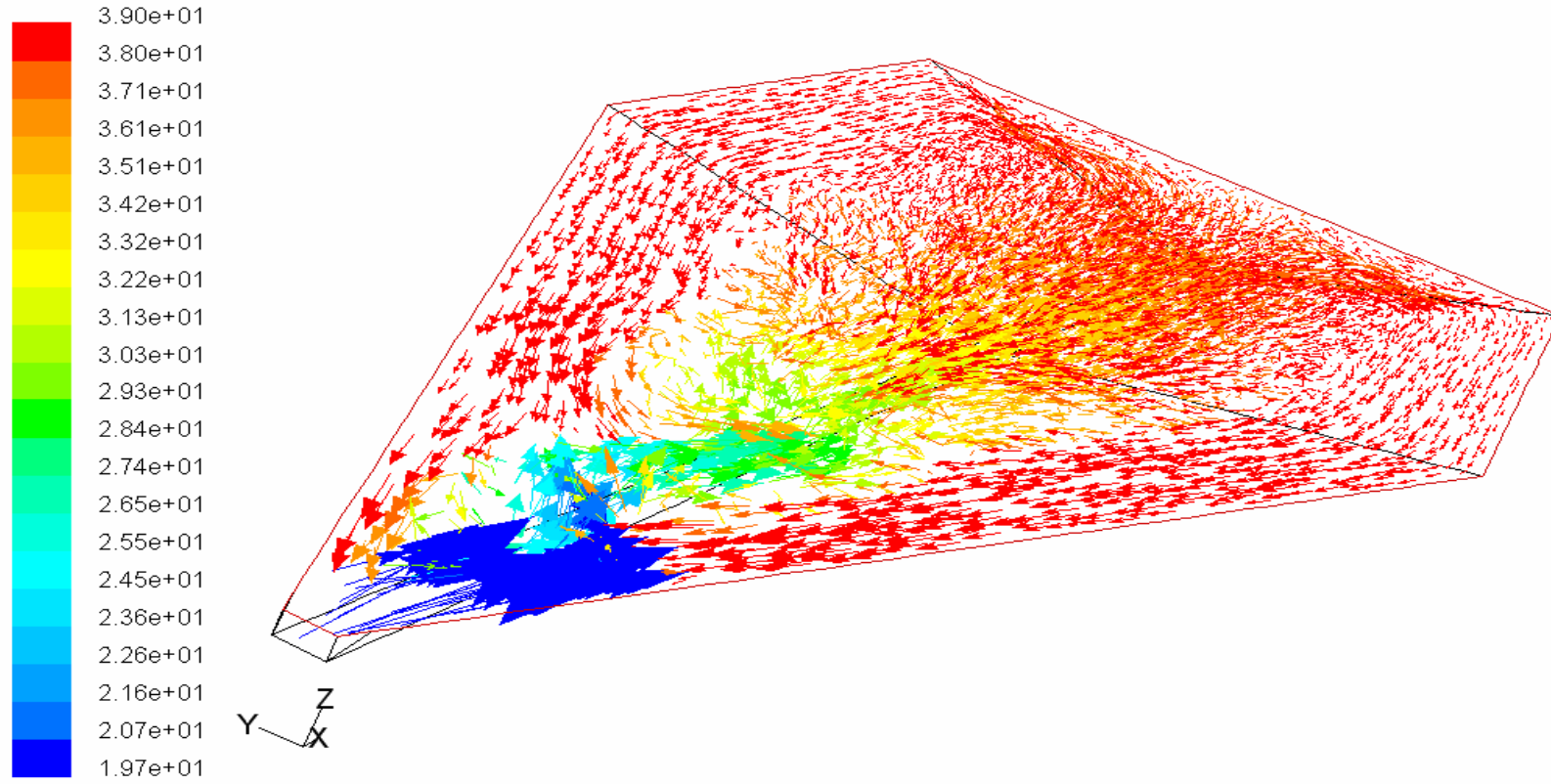


Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=4.0000e+02)

Jan 27, 2007

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

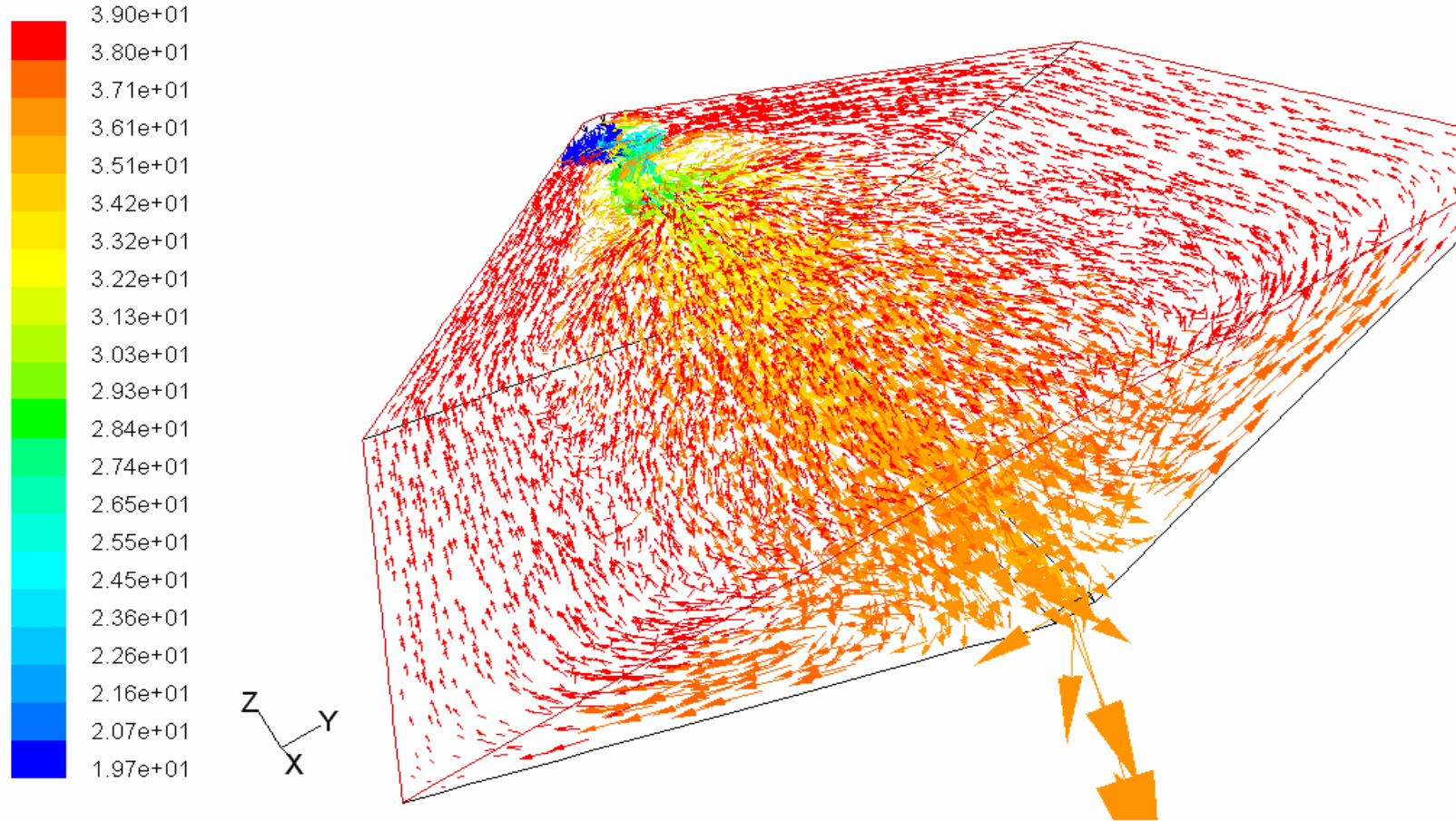
Şekil.Ek7. Türbülanslı akım şartlarında 400. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte x = 2, 4, 7, 10 ve 12 m de toplam sıcaklıklar



Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=5.0000e+02)

Feb 04, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

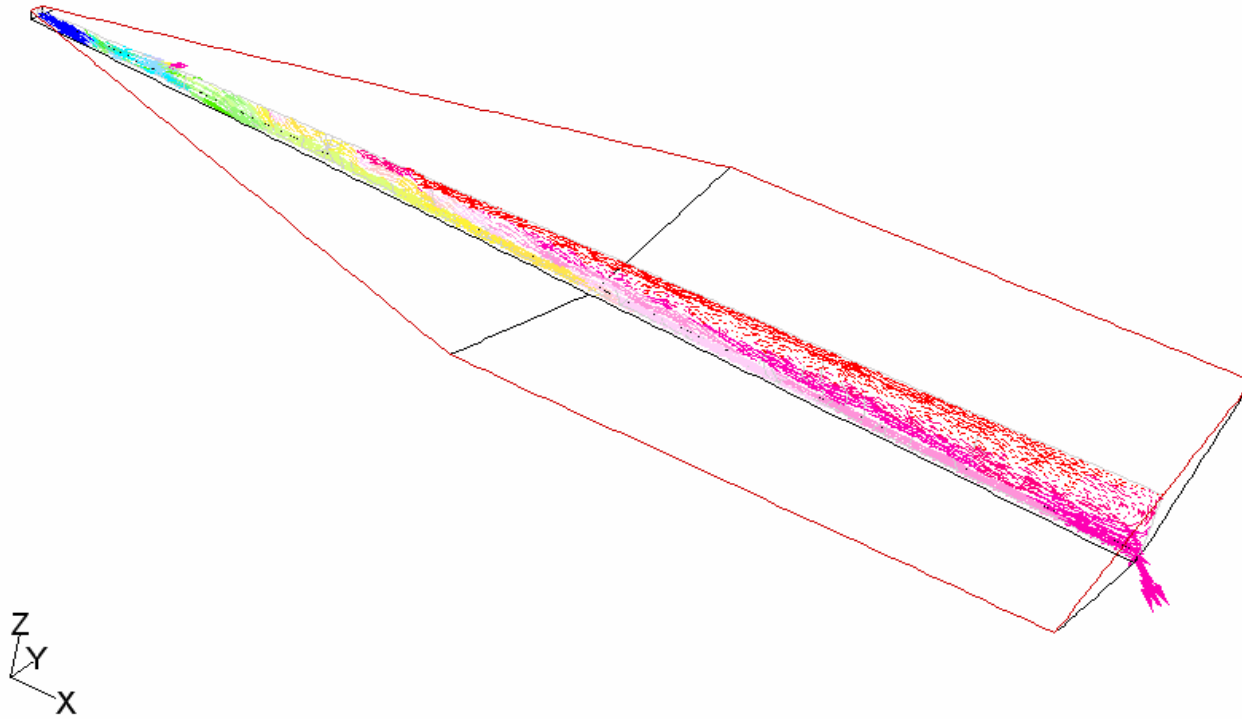
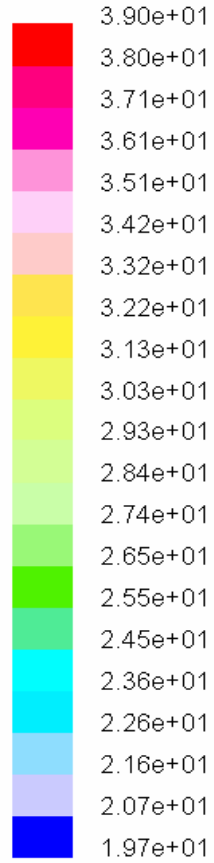
Şekil.Ek 8. Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar



Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=5.0000e+02)

Feb 04, 2007  
FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.Ek9. Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde toplam sıcaklıklar

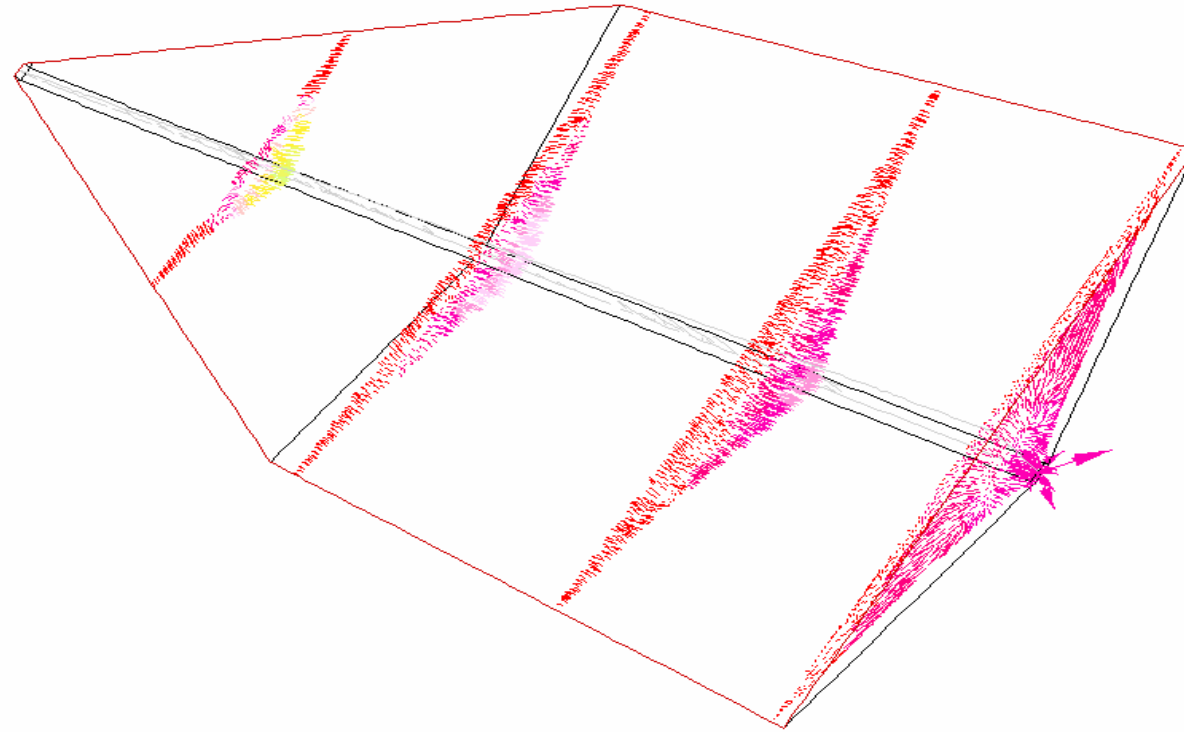
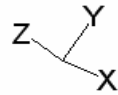
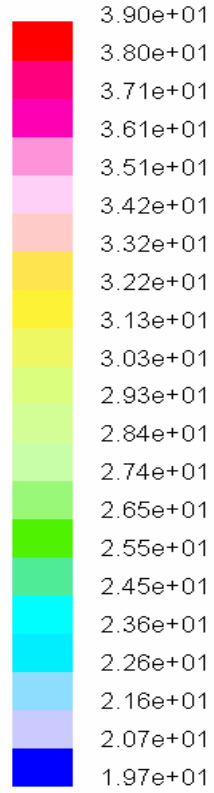


Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=5.0000e+02)

Jan 27, 2007

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.Ek10. Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde boy kesitte toplam sıcaklıklar



Velocity Vectors Colored By Total Temperature (c) (Time=5.0000e+02)

Jan 27, 2007

FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske, unsteady)

Şekil.Ek11. Türbülanslı akım şartlarında 500. saniyede oluşan hazne hacminde enine kesitte x= 4, 6, 10 ve 12m toplam sıcaklıklar