



**TÜRBÜLANSLI ÇARPAN HAVA JETİYLE ISI  
TRANSFERİ ÜZERİNE LÜLE GEOMETRİSİNİN ETKİSİ**

**Mehmet EFENDİ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRBÜLANSLI ÇARPAN HAVA JETİYLE ISI TRANSFERİ ÜZERİNE LÜLE  
GEOMETRİSİNİN ETKİSİ**

**Mehmet EFENDİ**

Doç. Dr. Erhan PULAT  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

## TEZ ONAYI

Mehmet EFENDİ tarafından hazırlanan “Türbülanslı Çarpan Hava Jetiyle Isı Transferi Üzerine Lüle Geometrisinin Etkisi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Erhan PULAT

**Başkan:** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ  
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Doç. Dr. Erhan PULAT  
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Kemal Furkan SÖKMEN  
Bursa Teknik Üniversitesi  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali BAYRAM**  
**Enstitü Müdürü**  
**07/11/2018**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**07/11/2018**

**Mehmet EFENDİ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TÜRBÜLANSLI ÇARPAN HAVA JETİYLE ISI TRANSFERİ ÜZERİNE LÜLE GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

**Mehmet EFENDİ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Erhan PULAT

Bu çalışmada, sınırlandırılmış çarpan hava jeti ile olan ısı transferi üzerine lüle geometrisinin etkisi hesaplamalı olarak araştırılmıştır. Lüle geometrisi, sınırlandırma plakasının kalınlığı değiştirilerek ve lüle düz, konik ve ters konik alınarak değiştirilmiştir. Sınırlandırma plakası kalınlıkları 10, 15 ve 20 mm olarak göz önüne alınmıştır. Düz lüle geometrisinde normal olarak koniklik olmadığından açı  $0^\circ$ 'dir. Ancak, konik ve ters konik geometrilere, düz lüleden farklı olarak  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , ve  $45^\circ$  koniklik açılarının etkileri de dikkate alınmıştır. Ayrıca 3 farklı jet-çarpma plakası uzunluğu ( $H/D= 2.6, 4.0, 6.0$ ) etkisi de yukarıdaki parametrelerle birlikte araştırılmıştır.

Akış, sıkıştırılmaz, iki boyutlu ve türbülanslı hava akışı olarak ele alınmıştır. Türbülans modeli olarak SST k- $\omega$  modeli kullanılmıştır. Korunum denklemleri ve türbülans model denklemleri ANSYS R14.5 CFX yazılımı kullanılarak çözülmüştür.

Her bir model için, sınırlandırma plakası kalınlığı, koniklik açısı ve lüle – çarpma plakası mesafesinin ( $H/D$ ) ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla lokal ısı transferi eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca ortalama Nu sayıları da hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çarpan hava jeti, türbülanslı ısı transferi hesaplamalı akışkanlar dinamiği, lüle geometrisi.

**2018, xxv + 336 sayfa**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### THE EFFECT OF NOZZLE GEOMETRY ON TURBULENT IMPINGING AIR JET HEAT TRANSFER

**Mehmet EFENDİ**

Bursa Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Erhan PULAT

In this study, influence of nozzle geometry with confined impinging jet heat transfer is numerically investigated. Nozzle geometry is changed by changing thickness of confinement plate and using straight, chamfered outlet and chamfered inlet geometries. Confinement plate thickness is defined as 10, 15 and 20 mm in this investigation. Due to nonconicity on the straight nozzle variant, angle is defined as  $0^\circ$ . But in chamfered outlet and chamfered inlet models, chamfer angle is defined as  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  and  $45^\circ$ . Also, three different jet to impingement surface distance ( $H/D= 2.6, 4.0, 6.0$ ) effect is investigated with the other parameters which are mentioned before.

The flow is assumed as incompressible, two dimensional and turbulent air flow. SST  $k-\omega$  is used as the turbulence model. Conservation equations and turbulence model equations are solved by using ANSYS R14.5 CFX software.

For each model, influence of confinement plate thickness, chamfer angle and jet to impingement surface distance ( $H/D$ ) on the heat transfer are investigated. In order to evaluate the results, local heat transfer curves are compared with each other. Also, averaged Nu numbers are calculated, compared and evaluated.

**Keywords:** Impinging air jet, turbulent heat transfer, computational fluid dynamics, nozzle geometry.

**2018, xxv + 336 pages**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca, bilgi ve tecrübesi ile her zaman bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Erhan PULAT'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği veren sevgili annem Ayőe EFENDİ ve sevgili babam Ömer EFENDİ'ye, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve desteğini her an hissettiğim sevgili eőim Banu KUCUR EFENDİ'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Mehmet EFENDİ

07/11/2018



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Türbülanslı Akış.....	10
2.2 Türbülans Şiddeti .....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	13
3.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Çözüm Metodu .....	13
3.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Prosedürü.....	13
3.3 ANSYS CFX R14.5 .....	14
3.4 Akışkanlar Dinamiğinde Kullanılan Korunum Denklemleri .....	15
3.5 İstatistiksel Türbülans Modelleri.....	16
3.6 Reynolds Ortalaması Alınmış Navier-Stokes Denklemleri .....	16
3.7 İki Denklemlilik Türbülans Modelleri .....	18
3.7.1 ANSYS k- $\epsilon$ türbülans modeli.....	18
3.7.2 ANSYS RNG k- $\epsilon$ türbülans modeli .....	20
3.7.3 ANSYS standart k- $\omega$ türbülans modeli .....	21
3.7.4 ANSYS SST türbülans modeli.....	22
3.7.5 Yakın duvar modellemesi .....	22
3.8 ANSYS CFX Programında Çözüm Metodu .....	27
3.9 Doğrulama (Validasyon) Çalışması .....	30
3.9.1 Validasyon Simülasyonları İçin Kullanılan Geometriler .....	30
3.9.2 Del Frote geometrisine ait doğrulama çalışması işlem adımları .....	31
3.9.3 Sınırlandırılmış Van Heiningen geometrisine ait doğrulama çalışması işlem adımları .....	51
3.10 Araştırılan Lüle Geometrileri.....	65
3.11 Geometrilerin Bilgisayar Ortamındaki Modelleri.....	69
3.12 Lüle Geometrilerinin Ağ Yapıları.....	69
3.13 Lüle Geometrilerinin Sınır Koşulları .....	69
3.14 Türbülans Modelinin Belirlenmesi .....	71
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	73
4.1 Basınç, Sıcaklık ve Kinetik Enerji Sonuçları.....	73
4.1.1 Model 1 sonuçları.....	73
4.1.2 Model 2 sonuçları.....	76
4.1.3 Model 3 sonuçları.....	85
4.1.4 Model 4 sonuçları.....	112
4.2. Hız Sonuçları.....	139
4.2.1. Model 1 hız sonuçları.....	139
4.2.2. Model 2 hız sonuçları.....	142
4.2.3. Model 3 hız sonuçları.....	151



4.2.4. Model 4 hız sonuçları.....	178
4.3. Grafik Sonuçları.....	205
4.3.1. Kalınlık ve açı sabit iken $h/d$ 'nin etkisi.....	205
4.3.2. $H/D$ ve lüle açısı sabit iken kalınlığın etkisi.....	234
4.3.3. $H/D$ ve kalınlık sabit iken açının etkisi.....	262
4.3.4. Açı ve kalınlık sabit iken geometrinin etkisi.....	286
5. SONUÇ.....	323
KAYNAKLAR.....	327
EKLER.....	328
EK 1.....	329
ÖZGEÇMİŞ.....	336



## KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

H

D

H/D

Nu

Pr

r

r/D

$X_n$

$X_n/D$

Re

$\varepsilon$

k

$\rho$

v

$\mu$

Tu

$u'$

U

P

F

T

$C_p$

$\bar{u}$

t

$\tau$

$p'$

$\mu_{eff}$

$S_M$

$\mu_t$

$C_\mu$

$C_{\varepsilon 1}$

$C_{\varepsilon 2}$

$\sigma_k$

$\sigma_\varepsilon$

$P_{kb}$

$P_{\varepsilon b}$

$P_k$

$C_{\varepsilon 1RNG}$

$C_{\varepsilon 2RNG}$

$\beta_{RNG}$

$\sigma_{\varepsilon RNG}$

$y^+$

$\omega$

$\beta'$

### Açıklama

Lüle ve püskürtülen yüzey arası mesafe

Lüle çapı

Lüle plaka arası mesafenin lüle çapına oranı

Yerel Nusselt sayısı

Prandtl sayısı

Yanal doğrultuda lüle ekseninden olan mesafe

Yanal mesafenin lüle çapına oranı

Jetler arası mesafe

Jetler arası mesafenin lüle çapına oranı

Reynolds sayısı

Türbülans kinetik enerji yayılımı

Türbülans kinetik enerjisi

Yoğunluk

Akışkan hızı

Akışkan dinamik viskozitesi

Türbülans şiddeti

Ortalama hızdan olan sapmalar

Ortalama hız

Basınç

Kuvvet

Sıcaklık

Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi

Zaman ortalamalı hız değeri

Zaman

Reynolds gerilmesi

Modifiye basınç

Efektif viskozite

Dış kuvvetlerin toplamı

Türbülans viskozitesi

Standart k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

Standart k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

Standart k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

Standart k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

Standart k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

Yerçekimi etkileri

Yerçekimi etkileri

Viskoz kuvvetlerinin oluşturduğu türbülans

RNG k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

RNG k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

RNG k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

RNG k- $\varepsilon$  Türbülans Modeli sabiti

Cidardan boyutsuz uzaklık

Türbülans frekansı

Standart k- $\omega$  Türbülans Modeli sabiti

$\alpha$	Standart k- $\omega$ Türbülans Modeli sabiti
$\beta$	Standart k- $\omega$ Türbülans Modeli sabiti
$\sigma_k$	Standart k- $\omega$ Türbülans Modeli sabiti
$\sigma_\omega$	Standart k- $\omega$ Türbülans Modeli sabiti
$P_k$	Türbülans üretim hızı
$u^+$	Duvar yakınındaki hız
$u_\tau$	Duvardan $\Delta y$ kadar mesafe uzaklıktaki teğetsel hız
$\tau_\omega$	Duvar kayma gerilmesi
$\kappa$	Von Karman sabiti
$C$	Duvar sürtünmesine bağlı logaritmik tabaka sabiti
$u^*$	Alternatif hız ölççeği
$V$	Hacim integrasyonu
$S$	Yüzey integrasyonu

### Kısaltmalar

### Açıklama

HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
RNG	k- $\epsilon$ RNG k- $\epsilon$ Türbülans Modeli
SST	ST k- $\omega$ Türbülans Modeli
Std. k- $\epsilon$	Standart k- $\epsilon$ Türbülans Modeli
Std k- $\omega$	Standart k- $\omega$ Türbülans Modeli

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Çarpan hava jeti .....	1
Şekil 1.2. H ve D boyutlarının parça üzerindeki gösterimi.....	2
Şekil 2.1. Test edilen lüle geometrilerinin kesit görüntüsü.....	4
Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan geometriler .....	5
Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan lüle geometrileri .....	7
Şekil 2.4. Reynolds sayısı ve akışın karakteristiğinin değişimi.....	11
Şekil 2.5. Düzlem plaka üzerinde sınır tabaka ve akış bölgeleri .....	12
Şekil 3.1. HAD işlem basamakları.....	14
Şekil 3.2. Zamanın bir fonksiyonu olarak boru içi akışta türbülans hızı dalgalanmaları .....	16
Şekil 3.3. Viskoz alt tabaka ve logaritmik alt tabaka.....	23
Şekil 3.4. İki boyutlu ağ yapısı ve kısımları .....	28
Şekil 3.5. Del Frote Geometrisi ve test düzeneğinde kullanılan boyutlar.....	30
Şekil 3.6. Van Heiningen geometrisi ve test düzeneğinde kullanılan boyutlar ....	31
Şekil 3.7. k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları.....	32
Şekil 3.8. k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları.....	33
Şekil 3.9. k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları.....	34
Şekil 3.10. k-ω ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları .....	35
Şekil 3.11. k-ω ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları .....	36
Şekil 3.12. k-ω ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları .....	37
Şekil 3.13. Del Frote Geometrisi sınır koşulları .....	38
Şekil 3.14. 293 K sıcaklığa sahip havanın termofiziksel özellikleri.....	39
Şekil 3.15. Kullanılan giriş hız sınır şartı.....	39
Şekil 3.16. Açıklık sınır şartı .....	40
Şekil 3.17. Uzun cidar içerisindeki akışkanın cidar ile temas ettiği bölgedeki kaymaz duvar sınır şartına ait olan sınır koşulu.....	41
Şekil 3.18. Hava jetinin çarptığı yüzeye ait olan sınır koşulu.....	41
Şekil 3.19. Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve k-ω türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi.....	43
Şekil 3.20. Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi .....	43
Şekil 3.21. Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve k-ω türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi.....	44
Şekil 3.22. Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi .....	45
Şekil 3.23. Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve k-ω türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi .....	46
Şekil 3.24. Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi .....	46

Şekil 3.25.	Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve $k-\omega$ türbülans modellerinin Nu değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması	47
Şekil 3.26.	Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinin Nu değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması	48
Şekil 3.27.	Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve $k-\omega$ türbülans modellerinin Nu değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması	48
Şekil 3.28.	Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinin Nu değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması	49
Şekil 3.29.	Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve $k-\omega$ türbülans modellerinin Nu değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması	49
Şekil 3.30.	Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinin Nu değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması	50
Şekil 3.31.	$k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları	51
Şekil 3.32.	$k-\omega$ ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları	51
Şekil 3.33.	$k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları	52
Şekil 3.34.	$k-\omega$ ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları	52
Şekil 3.35.	$k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları	52
Şekil 3.36.	$k-\omega$ ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları	52
Şekil 3.37.	Van Heiningen Geometrisi sınır koşulları	53
Şekil 3.38.	310 K sıcaklığa sahip havanın termofiziksel özellikleri	53
Şekil 3.39.	Kullanılan türbülans modelleri ve duvar fonksiyonları	54
Şekil 3.40.	Açıklık sınır şartı	54
Şekil 3.41.	Hız sınır koşulu	55
Şekil 3.42.	Hava jetinin çarptığı yüzeye ait olan sınır koşulu	55
Şekil 3.43.	Sabit sıcaklıkta kaymaz duvar sınır koşulu	56
Şekil 3.44.	Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve $k-\omega$ türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi	57
Şekil 3.45.	Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi	58
Şekil 3.46.	Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve $k-\omega$ türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi	59
Şekil 3.47.	Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi	59
Şekil 3.48.	Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve $k-\omega$ türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin $r/D$ oranına bağlı değişimi	60

Şekil 3.49.	Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin $y^+$ değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi .....	61
Şekil 3.50.	Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve k-ω türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	62
Şekil 3.51.	Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	62
Şekil 3.52.	Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve k-ω türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	63
Şekil 3.53.	Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	63
Şekil 3.54.	Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve k-ω türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	64
Şekil 3.55.	Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	64
Şekil 3.56.	Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait farklı Pr sayılarında yapılmış olan SST ve k-ω türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması.....	65
Şekil 3.57.	Tez çalışmasında araştırılan geometriler .....	65
Şekil 3.58.	(a) Model 1'e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 1'e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri.....	66
Şekil 3.59.	(a) Model 2'ye ait geometri ve ölçüleri (b) Model 2'ye ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri.....	67
Şekil 3.60.	(a) Model 3'e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 3'e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri.....	68
Şekil 3.61.	(a) Model 4'e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 4'e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri.....	68
Şekil 3.62.	(a) Model 1, t=0, a=0 ve H/D=2,6 için ağ yapısı, (b) Model 2, t=10 mm, a=0 ve H/D=2,6 için ağ yapısı, (c) Model 3, t=10 mm, a=15° ve H/D=2,6 için ağ yapısı, (d) Model 4, t=10 mm, a=15° ve H/D=2,6 için ağ yapısı .....	69
Şekil 3.63.	(a) Model 1, t=0, a=0 ve H/D=2,6 için sınır koşulları, (b) Model 2, t=10 mm, a=0 ve H/D=2,6 için sınır koşulları, (c) Model 3, t=10 mm, a=15° ve H/D=2,6 için sınır koşulları, (d) Model 4, t=10 mm, a=15° ve H/D=2,6 için sınır koşulları .....	71
Şekil 3.64.	Model 2'de H/D=2,6 için SST ve k-ω türbülans modellerinin kıyaslanması.....	72
Şekil 4.1.	t=0, H/D=2,6 için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	73
Şekil 4.2.	t=0, H/D=4 için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları .....	74
Şekil 4.3.	t=0, H/D=6 için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları .....	75

Şekil 4.4.	$t=10$ mm, $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	76
Şekil 4.5.	$t=10$ mm, $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	77
Şekil 4.6.	$t=10$ mm, $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	78
Şekil 4.7.	$t=15$ mm, $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	79
Şekil 4.8.	$t=15$ mm, $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	80
Şekil 4.9.	$t=15$ mm, $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	81
Şekil 4.10.	$t=20$ mm ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	82
Şekil 4.11.	$t=20$ mm ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	83
Şekil 4.12.	$t=20$ mm ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	84
Şekil 4.13.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	85
Şekil 4.14.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için hız (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	86
Şekil 4.15.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için hız (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	87
Şekil 4.16.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	88
Şekil 4.17.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	89
Şekil 4.18.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	90
Şekil 4.19.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	91
Şekil 4.20.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	92
Şekil 4.21.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	93
Şekil 4.22.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	94
Şekil 4.23.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	95
Şekil 4.24.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	96
Şekil 4.25.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	97
Şekil 4.26.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	98
Şekil 4.27.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	99

Şekil 4.28.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	100
Şekil 4.29.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	101
Şekil 4.30.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	102
Şekil 4.31.	$t=20$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	103
Şekil 4.32.	$t=20$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	104
Şekil 4.33.	$t=20$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	105
Şekil 4.34.	$t=20$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	106
Şekil 4.35.	$t=20$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	107
Şekil 4.36.	$t=20$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	108
Şekil 4.37.	$t=20$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	109
Şekil 4.38.	$t=20$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	110
Şekil 4.39.	$t=20$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	111
Şekil 4.40.	$t=10$ mm, $\alpha=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	112
Şekil 4.41.	$t=10$ mm, $\alpha=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	113
Şekil 4.42.	$t=10$ mm, $\alpha=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	114
Şekil 4.43.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	115
Şekil 4.44.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	116
Şekil 4.45.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	117
Şekil 4.46.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	118
Şekil 4.47.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	119
Şekil 4.48.	$t=10$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	120
Şekil 4.49.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	121
Şekil 4.50.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	122
Şekil 4.51.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	123



Şekil 4.52.	$t=15$ mm, $\alpha=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	124
Şekil 4.53.	$t=15$ mm, $\alpha=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	125
Şekil 4.54.	$t=15$ mm, $\alpha=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	126
Şekil 4.55.	$t=15$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	127
Şekil 4.56.	$t=15$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	128
Şekil 4.57.	$t=15$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	129
Şekil 4.58.	$t=20$ mm, $\alpha=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	130
Şekil 4.59.	$t=20$ mm, $\alpha=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	131
Şekil 4.60.	$t=20$ mm, $\alpha=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	132
Şekil 4.61.	$t=20$ mm, $\alpha=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	133
Şekil 4.62.	$t=20$ mm, $\alpha=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	134
Şekil 4.63.	$t=20$ mm, $\alpha=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	135
Şekil 4.64.	$t=20$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	136
Şekil 4.65.	$t=20$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	137
Şekil 4.66.	$t=20$ mm, $\alpha=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları.....	138
Şekil 4.67.	$t=0$ , $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	139
Şekil 4.68.	$t=0$ , $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	140
Şekil 4.69.	$t=0$ , $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	141
Şekil 4.70.	$t=10$ mm, $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	142
Şekil 4.71.	$t=10$ mm, $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	143
Şekil 4.72.	$t=10$ mm, $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	144
Şekil 4.73.	$t=15$ mm, $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	145
Şekil 4.74.	$t=15$ mm, $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	146
Şekil 4.75.	$t=15$ mm, $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri.....	147

Şekil 4.76.	$t=20$ mm ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	148
Şekil 4.77.	$t=20$ mm ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	149
Şekil 4.78.	$t=20$ mm ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	150
Şekil 4.79.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	151
Şekil 4.80.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için hız (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	152
Şekil 4.81.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için hız (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	153
Şekil 4.82.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	154
Şekil 4.83.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	155
Şekil 4.84.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	156
Şekil 4.85.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	157
Şekil 4.86.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	158
Şekil 4.87.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	159
Şekil 4.88.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	160
Şekil 4.89.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	161
Şekil 4.90.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	162
Şekil 4.91.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	163
Şekil 4.92.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	164
Şekil 4.93.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	165
Şekil 4.94.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	166
Şekil 4.95.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	167
Şekil 4.96.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	168
Şekil 4.97.	$t=20$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	169
Şekil 4.98.	$t=20$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	170
Şekil 4.99.	$t=20$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	171

Şekil 4.100.	$t=20$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	172
Şekil 4.101.	$t=20$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	173
Şekil 4.102.	$t=20$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	174
Şekil 4.103.	$t=20$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	175
Şekil 4.104.	$t=20$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	176
Şekil 4.105.	$t=20$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	177
Şekil 4.106.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	178
Şekil 4.107.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	179
Şekil 4.108.	$t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	180
Şekil 4.109.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	181
Şekil 4.110.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	182
Şekil 4.111.	$t=10$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	183
Şekil 4.112.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	184
Şekil 4.113.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	185
Şekil 4.114.	$t=10$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	186
Şekil 4.115.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	187
Şekil 4.116.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	188
Şekil 4.117.	$t=15$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	189
Şekil 4.118.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	190
Şekil 4.119.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	191
Şekil 4.120.	$t=15$ mm, $a=30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	192
Şekil 4.121.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	193
Şekil 4.122.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	194
Şekil 4.123.	$t=15$ mm, $a=45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	195

Şekil 4.124.	$t=20$ mm, $a= 15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	196
Şekil 4.125.	$t=20$ mm, $a= 15^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	197
Şekil 4.126.	$t=20$ mm, $a= 15^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	198
Şekil 4.127.	$t=20$ mm, $a= 30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	199
Şekil 4.128.	$t=20$ mm, $a= 30^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	200
Şekil 4.129.	$t=20$ mm, $a= 30^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	201
Şekil 4.130.	$t=20$ mm, $a= 45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	202
Şekil 4.131.	$t=20$ mm, $a= 45^\circ$ ve $H/D=4$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	203
Şekil 4.132.	$t=20$ mm, $a= 45^\circ$ ve $H/D=6$ için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri .....	204
Şekil 4.133.	Model 1 $t=0$ mm (a) Farklı $H/D$ oranları için Lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının $H/D$ 'ye bağlı değişimi.....	206
Şekil 4.134.	Model 2 $t=10$ mm (a) Farklı $H/D$ oranları için Lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının $H/D$ 'ye bağlı değişimi.....	207
Şekil 4.135.	Model 2 $t=15$ mm (a) Farklı $H/D$ oranları için Lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının $H/D$ 'ye bağlı değişimi.....	208
Şekil 4.136.	Model 2 $t=20$ mm (a) Farklı $H/D$ oranları için Lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının $H/D$ 'ye bağlı değişimi.....	209
Şekil 4.137.	Model 1 ve Model 2 için sabit kalınlıkta farklı $H/D$ oranlarında ortalama Nu sayılarının değişimi .....	210
Şekil 4.138.	Model 3 için (a) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a=15^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a=15^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi .....	211
Şekil 4.139.	Model 3 için (a) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a=30^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a=30^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi .....	212
Şekil 4.140.	Model 3 için (a) sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a=45^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	213
Şekil 4.141.	Model 3 için sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit lüle açılarında $H/D$ oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi .....	214
Şekil 4.142.	Model 3 için (a) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a=15^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	215
Şekil 4.143.	Model 3 için (a) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a=30^\circ$ lüle açısında farklı $H/D$ oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=15$	

	mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	216
Şekil 4.144.	Model 3 için (a) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	217
Şekil 4.145.	Model 3 için sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit lüle açılarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	218
Şekil 4.146.	Model 3 için (a) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	219
Şekil 4.147.	Model 3 için (a) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	220
Şekil 4.148.	Model 3 için (a) sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	221
Şekil 4.149.	Model 3 için sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit lüle açılarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	222
Şekil 4.150.	Model 4 için (a) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a=15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	223
Şekil 4.151.	Model 4 için (a) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	224
Şekil 4.152.	Model 4 için (a) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	225
Şekil 4.153.	Model 4 için sabit $t=10$ mm kalınlık ve sabit lüle açılarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	226
Şekil 4.154.	Model 4 için (a) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	227
Şekil 4.155.	Model 4 için (a) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	228
Şekil 4.156.	Model 4 için (a) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	229

Şekil 4.157.	Model 4 için sabit $t=15$ mm kalınlık ve sabit lüle açılarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi .....	230
Şekil 4.158.	Model 4 için (a) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	231
Şekil 4.159.	Model 4 için (a) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	232
Şekil 4.160.	Model 4 için (a) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi.....	233
Şekil 4.161.	Model 4 için sabit $t=20$ mm kalınlık ve sabit lüle açılarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi .....	234
Şekil 4.162.	Model 2 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	235
Şekil 4.163.	Model 2 için (a) sabit $H/D= 4$ oranında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	236
Şekil 4.164.	Model 2 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	237
Şekil 4.165.	Model 2 için sabit H/D oranlarında ve sabit $a= 0^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	238
Şekil 4.166.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	239
Şekil 4.167.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	240
Şekil 4.168.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	241
Şekil 4.169.	Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi.....	242
Şekil 4.170.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	243

Şekil 4.171. Model 3 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	244
Şekil 4.172. Model 3 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	245
Şekil 4.173. Model 3 için sabit $H/D=4$ oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri.....	246
Şekil 4.174. Model 3 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	247
Şekil 4.175. Model 3 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	248
Şekil 4.176. Model 3 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	249
Şekil 4.177. Model 3 için sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri.....	250
Şekil 4.178. Model 4 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	251
Şekil 4.179. Model 4 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	252
Şekil 4.180. Model 4 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	253
Şekil 4.181. Model 4 için sabit $H/D= 2,6$ oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri.....	254
Şekil 4.182. Model 4 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	255
Şekil 4.183. Model 4 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	256
Şekil 4.184. Model 4 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$	

	oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	257
Şekil 4.185.	Model 4 için sabit $H/D= 4$ oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri.....	258
Şekil 4.186.	Model 4 için (a) Sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit $a= 15^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	259
Şekil 4.187.	Model 4 için (a) Sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit $a= 30^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	260
Şekil 4.188.	Model 4 için (a) Sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit $a= 45^\circ$ lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi .....	261
Şekil 4.189.	Model 4 için sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri.....	262
Şekil 4.190.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi.....	263
Şekil 4.191.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi.....	264
Şekil 4.192.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi.....	265
Şekil 4.193.	Model 3 için sabit $H/D= 2,6$ oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri .....	266
Şekil 4.194.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi .....	267
Şekil 4.195.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi .....	268
Şekil 4.196.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi .....	269
Şekil 4.197.	Model 3 için sabit $H/D= 4$ oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri .....	270
Şekil 4.198.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit $H/D=2,6$	



	oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	271
Şekil 4.199.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	272
Şekil 4.200.	Model 3 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	273
Şekil 4.201.	Model 3 için sabit $H/D= 6$ oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama $Nu$ sayısı üzerindeki etkileri .....	274
Şekil 4.202.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	275
Şekil 4.203.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	276
Şekil 4.204.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=2,6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	277
Şekil 4.205.	Model 4 için sabit $H/D= 2,6$ oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama $Nu$ sayısı üzerindeki etkileri .....	278
Şekil 4.206.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi .....	279
Şekil 4.207.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi .....	280
Şekil 4.208.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=4$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi .....	281
Şekil 4.209.	Model 4 için sabit $H/D= 4$ oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama $Nu$ sayısı üzerindeki etkileri .....	282
Şekil 4.210.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 10$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi .....	283
Şekil 4.211.	Model 4 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının lokal $Nu$ sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 15$ mm kalınlığında farklı açılarının ortalama $Nu$ sayısının değişimi.....	284

Şekil 4.212. Model 4 için (a) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit $H/D=6$ oranında ve sabit $t= 20$ mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi.....	285
Şekil 4.213. Model 4 için sabit $H/D=6$ oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri .....	286
Şekil 4.214. Modelin etkisi (a) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	287
Şekil 4.215. Modelin etkisi (a) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	288
Şekil 4.216. Modelin etkisi (a) $t=0, t=20, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=20, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	289
Şekil 4.217. $a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	290
Şekil 4.218. Modelin etkisi (a) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	291
Şekil 4.219. Modelin etkisi (a) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	292
Şekil 4.220. Modelin etkisi (a) $t=0, t=20, a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=20, a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	293
Şekil 4.221. $a=0^\circ$ ve $a=30^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	294
Şekil 4.222. Modelin etkisi (a) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin Modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının Modele göre kıyaslanması .....	295
Şekil 4.223. Modelin etkisi (a) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	296
Şekil 4.224. Modelin etkisi (a) $t=0, t=20, a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=20, a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	297
Şekil 4.225. $a=0^\circ$ ve $a=45^\circ$ ve $H/D=2,6$ için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi.....	298
Şekil 4.226. Modelin etkisi (a) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=10, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	299
Şekil 4.227. Modelin etkisi (a) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b) $t=0, t=15, a=0^\circ$ ve $a=15^\circ$ ve $H/D=4$ için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması .....	300

- Şekil 4.228. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 301
- Şekil 4.229.  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi..... 302
- Şekil 4.230. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 303
- Şekil 4.231. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 304
- Şekil 4.232. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 305
- Şekil 4.233.  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi..... 306
- Şekil 4.234. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 307
- Şekil 4.235. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 308
- Şekil 4.236. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 309
- Şekil 4.237.  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi..... 310
- Şekil 4.238. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 311
- Şekil 4.239. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 312
- Şekil 4.240. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 313
- Şekil 4.241.  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi..... 314
- Şekil 4.242. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 315
- Şekil 4.243. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 316

- Şekil 4.244. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 317
- Şekil 4.245.  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi..... 318
- Şekil 4.246. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının Modele göre kıyaslanması..... 319
- Şekil 4.247. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 320
- Şekil 4.248. Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması ..... 321
- Şekil 4.249.  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi..... 322

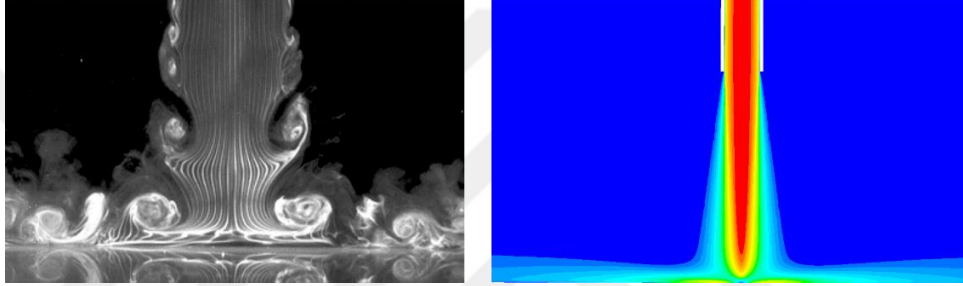
## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1.</b> k-ε türbülans modeli denklem sabitleri.....	20
<b>Çizelge 3.2.</b> RNG k-ε türbülans modeli denklem sabitleri .....	21
<b>Çizelge 3.3.</b> Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisi $y^+$ değerleri .....	42
<b>Çizelge 3.4.</b> Orta ağ yapılı Del Frote geometrisi $y^+$ değerleri.....	44
<b>Çizelge 3.5.</b> Sık ağ yapılı Del Frote geometrisi $y^+$ değerleri .....	45
<b>Çizelge 3.6.</b> Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisi $y^+$ değerleri .....	57
<b>Çizelge 3.7.</b> Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisi $y^+$ değerleri.....	58
<b>Çizelge 3.8.</b> Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisi $y^+$ değerleri .....	60



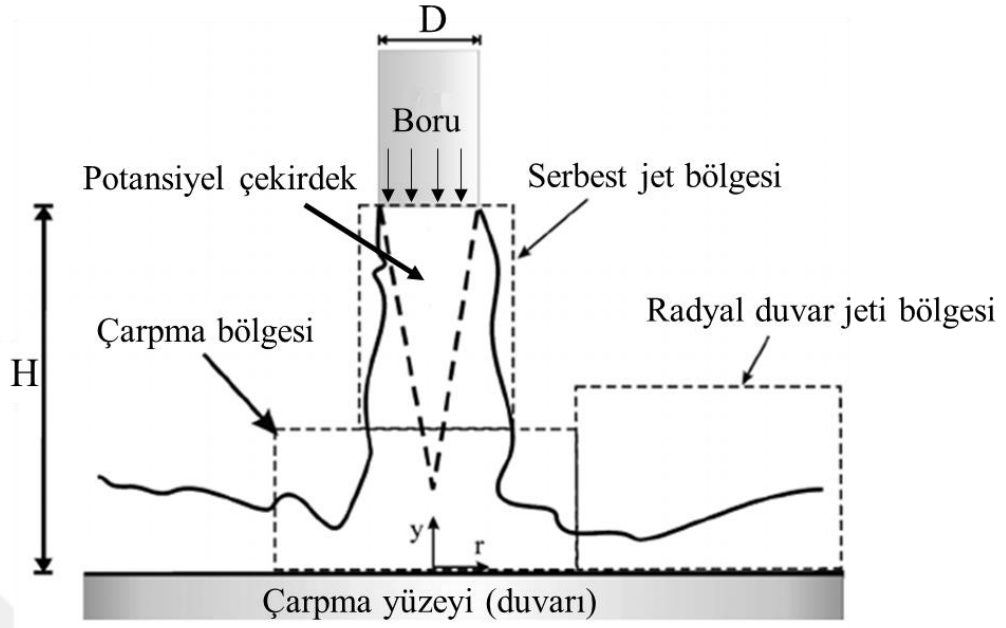
## 1. GİRİŞ

Çarpan jet akışkan yüksek ısı veya kütle transferi sağladıkları için çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. bu yöntem ile lüle (nozül veya düze) tarafından yönlendirilmiş gaz veya sıvı akışkan soğutularak ya da ısıtılarak yüzeye çarptırılarak özellikle çarpma bölgesinde yüksek miktarda ısı veya kütle transferi sağlanabilmektedir. Tipik çarpan hava jeti akış görüntüleri Şekil 1.1'de verilmiştir. Bu yöntemin endüstrideki uygulama alanlarına örnek olarak metallerin ısıl işlemleri, elektronik ekipmanların ve türbin kanatlarının soğutulması, kurutma ve küçük partiküllerin uzaklaştırılması işlemleri verilebilir.



Şekil 1.1. Çarpan hava jeti (Anonim, 2015)

Türbülanslı jet akışları, paralel akış ile karşılaştırıldığında, sınır tabaka kalınlığında azalmaya neden olmaları dolayısıyla ısı transferinde artış sağlamaktadırlar. Pratikte çarpan jet akışlarındaki bu ısı transferi artırımından etkin bir şekilde yararlanabilmek için, maliyet ve imal edilebilirlik kısıtlarının da göz önünde bulundurularak uygun lüle tasarımlarının yapılması önemlidir. Tipik bir çarpan jet geometrisi ve akış bölgeleri Şekil 1.2'den görülebilir. Lülenin çarpma yüzeyinden olan uzaklığının ( $H$ ) lüle çapına ( $D$ ) oranlanmasıyla hesaplanan ( $H/D$ ) parametresi ısı transferi için önemlidir ve bu parametre için Nusselt ( $Nu$ ) sayıları hesaplanır (Zuckermann ve Lior 2006). Deneysel literatür çalışmaları incelendiğinde, bu parametreler dışında  $Nu$  sayısının Reynolds sayısı ( $Re$ ), Prandtl sayısı ( $Pr$ ), sınırlandırma (confinement) ve türbülans gibi parametrelere de bağlı olduğu görülür. Sayısal çalışmalarda ise, bu parametrelere ilave olarak, seçilen türbülans modeli de önem kazanmaktadır. Ancak, her sistemde olduğu gibi çarpan jet yönteminin de dezavantajı bulunmaktadır. Çarpma (durgunluk) bölgesindeki yerel ısı transfer katsayısının düzgün dağılım göstermemesi Colucci ve Viskanta (1996) tarafından bir dezavantaj olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1.2. H ve D boyutlarının parça üzerindeki gösterimi (Uddin ve ark. 2009)

Deneysel literatür çalışmaları incelendiğinde, Nu sayısının  $Re$ ,  $Pr$ ,  $H/D$ , jetler arası mesafe, sınırlandırma, türbülans gibi parametrelere bağlı olduğu görülmüştür. Nümerik çalışmalarda ise, bu fiziksel parametrelere ilave olarak, seçilen türbülans modeli de önem kazanmaktadır. Ancak, her sistemde olduğu gibi bu yöntemin de dezavantajları bulunmaktadır. Bu sistemin dezavantajı da durgun bölgedeki lokal ısı transfer katsayısının düzgün olmayan bir dağılım göstermesidir (Colucci ve Viskanta 1996).

Bu tez çalışmasında, sınırlandırılmış tek lüleden olan ısı transferi üzerine çeşitli  $H/D$  oranları için farklı lüle geometrilerinin etkisi sayısal olarak incelenmiştir.  $E_k$  olarak sınırlandırma plakası kalınlığının etkisi göz önüne alınmıştır. Hesaplamalarda ANSYS CFX 14.5 ticari yazılımı kullanılmıştır. Uygun türbülans modeli seçilerek ağdan bağımsız çözümle elde edilmiştir. Bu tezin amacı, belirli bir Reynolds sayısı için çarpma yüzeyinde yerel ve ortalama Nusselt sayılarını hesaplayarak hangi lüle geometrisinde en yüksek ısı transferinin elde edildiğinin tespit edilmesidir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Baughn ve Shimizu (1989) tarafından, sabit ısı akılı bir yüzeyden ısı transferi ölçümü yapılmıştır. Farklı H/D oranları için gerçekleştirilen bu çalışmada, en ilginç bulgular H/D=2 için elde edilmiştir. Bu durumda, diğer r/D oranlarında gözlemlenmeyen r/D=1,8 mesafesinde ikincil tepe noktası gerçekleşmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere, ikincil tepe noktası ısı transferi üzerinde olumlu etkisi olmakta ve verimi arttırmaktadır.

Huber ve Viskanta (1994) tarafından, sınırlandırma yöntemi ile 3x3 kare dizilimine sahip eşsıcaklıklı aksisimetrik hava jetlerinin, ısıtılmış bir yüzeye çarptırılmasıyla gerçekleştirilen test çalışmasında jetler arası mesafe ( $X_n/D$ ), düşük H/D oranlarının (H/D=0,25, 1 ve 6) etkileri araştırılmıştır. H/D=6 için yapılan çalışmada tekli jete kıyasla, çarpmadan önce komşu jet ile gerçekleşen etkileşim sebebiyle ısı taşınım katsayısında düşme gözlenmiştir. Fakat H/D=1 olduğunda, çarpmadan önce komşu jet ile etkileşim minimize edildiği görülmüş ve tekli jet ile aynı Nu sayılarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, küçük H/D≤1 oranlarında, tekli jetlere benzer ikincil tepe noktası oluşumları gözlemlenmiştir. İkincil tepe noktaları daha önce de belirtildiği gibi ortalama taşınım katsayısını arttırmaktadır. İki jet arası mesafe  $X_n/D≤4$  olduğunda verilen herhangi bir H/D mesafesi için çarpma yüzeyinde en yüksek ortalama Nu sayısının elde edilmesini sağlamıştır.

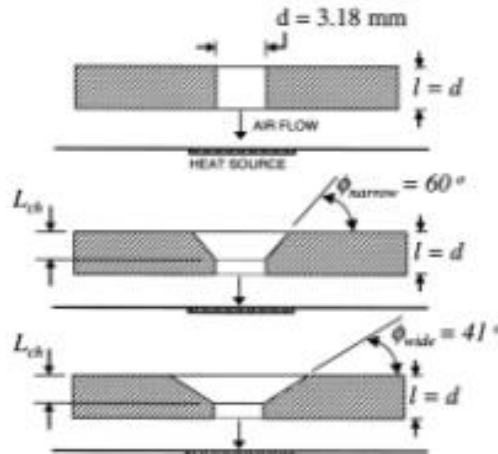
Lee ve Joon Lee (2000) tarafından aksisimetrik, ve sınırlandırılmamış bir sistemde farklı lüle çıkış geometrilerinin ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, aynı çapa sahip olan, lüle çıkışında keskin köşeli, standart pahlı (düz devam eden boruda küçük pah) ve düz çıkış geometrileri denenmiştir. Ayrıca farklı H/D oranları da test edilmiş olup bu oranlar 2, 4, 6 ve 10 olarak belirlenmiştir. Test esnasında kullanılan geometrilere ait Reynolds sayıları 5000 ile 30000 arasında değişmektedir. Sonuç olarak, keskin köşeli lüle çıkış geometrisine sahip olan tasarım, her koşulda standart pahlı ve düz çıkış formulu geometrilere oranla daha yüksek ısı transfer oranlarına sahip olduğunu göstermiştir.

Colucci ve Viskanta (1996) tarafından, sınırlandırılmış, yüksek hızlı jet akışları üzerine yapılan çalışmada, hiperbolik bir çıkış geometrisine sahip küçük H/D oranları (0,25<H/D<6) için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısı 10000 ile



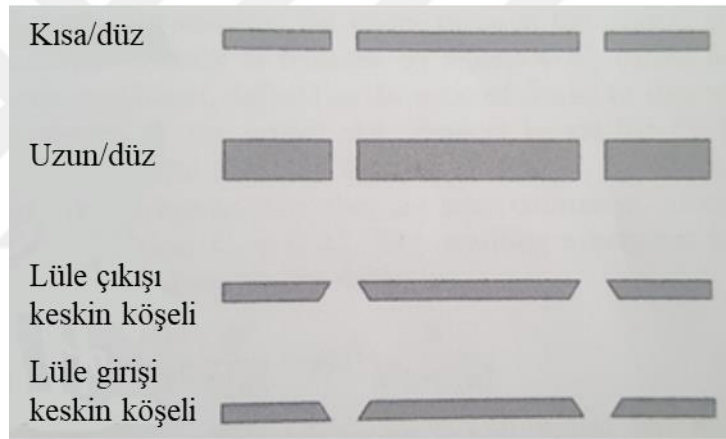
50000 arasında değişen farklı deneyler gerçekleştirilmiş olup lokal ısı transfer katsayısına olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, Reynolds sayısının ve H/D oranının lokal Nusselt sayısı üzerinde çok büyük etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek H/D oranlarında (H/D=6) lokal Nu sayısının lüle geometrisinin şeklinden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir. Lokal Nu sayısının, durağanlık bölgesinde maksimum olduğu ve radyal doğrultuda ilerledikçe (r/D) azaldığı gözlemlenmiştir. Reynolds sayısı arttıkça, lokal Nusselt sayılarının her yerde arttığı gözlemlenmiştir. Düşük H/D (H/D<1) oranlarında, Nusselt sayısının iki adet tepe noktası oluşturduğu gözlemlenmiştir. İkincil tepe noktasının yeri, Reynolds sayısı, H/D oranı ve lüle geometrisine bağlı olarak değişim göstermektedir. Başlangıçta birincil tepe noktası ikincil tepe noktasından daha büyükken, Reynolds sayısının arttığı ve H/D oranının da düşürülmesiyle ikincil tepe noktası birincil tepe noktasından daha büyük olmaktadır.

Brignoni ve Garimella (1999) tarafından, sınırlandırılmış türbülanslı hava jet akışı ile gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da lüle girişine yapılan pahnın basınç düşümü ve lokal ısı transfer katsayısı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada Şekil 2.1’de de görüldüğü üzere sırasıyla aynı çıkış çapına sahip biri düz formlu diğer ikisi de lüle girişine açılan farklı açılarda pahlı olmak üzere toplam üç tasarım incelenmiştir. Bunun sonucunda, pahlı tasarımların düz formlu tasarıma kıyasla ciddi basınç düşümüne sebep olduğu ve sistemin ısı transferi performansının arttığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.1.** Test edilen lüle geometrilerinin kesit görüntüsü (Brignoni ve Garimella, 1999)

Sınırlandırılmış sistemli jetlerdeki lüle geometrilerinin basınç düşümü ve ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Royne ve Dey (2006) tarafından deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan lüle geometrileri sırasıyla, kısa ve düz, uzun ve düz, lüle girişinde keskin köşeli ve lüle çıkışında keskin köşeli (bkz. Şekil 2.2) olmak üzere dört tane aynı delik çapına, aynı H/D oranına ve aynı  $X_n/D$  jetler arası mesafeye sahip geometrilerden oluşturulmuştur. Bu deliklerin oluşturulduğu plakaların kalınlıkları düz ve uzun olan geometri hariç hepsinde aynıdır. Lüle girişinde ve lüle çıkışında keskin köşe olması durumu konikliği ifade etmekte olup açılar aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneyin sonucunda lüle girişine doğru açılan konikliğin yani lüle girişinde keskin köşeye sahip geometrinin ortalama ısı transfer katsayısının diğer geometrilere oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Uzun olan lüle tasarımının basınç düşümünün kısa olana göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.









**Şekil 2.2.** Çalışmada kullanılan geometriler (Royne ve Dey, 2006)

Çarpan sıvı jet akışı ile ilgili yapılmış bir diğer çalışmada da Garimella ve Nenaydykh (1995) tarafından sınırlandırılmış bir sistemde lüle geometrisinin çap ve boy/çap ( $l/D$ ) oranının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada farklı çaplarda ve farklı boy/çap ( $l/D$ ) oranlarında tek bir geometrik form incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu testlerin sonucunda boy/çap ( $l/D$ ) oranının çok küçük olduğu  $l/D < 1$  durumda, ısı transfer katsayılarının maksimum olduğu görülmüştür. Boy/çap oranının  $1 < l/D < 4$  olduğu durumda, ısı transfer katsayılarında çok keskin bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Boy/çap oranının  $8 < l/D < 12$  olduğu durumda ise, ısı transfer katsayılarının kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumların oluşmasının sebebi olarak da, lüle içerisinde akışkanın ayrılması, tekrar tutunması ve bunun çıkış hız profili üzerinde yaratmış olduğu etkiden ileri geldiği

belirtilmiştir. Ayrıca Reynolds sayısı,  $l/D$  ve  $H/D$  değerlerinin sabit olduğu durumlarda lokal Nu sayılarının farklı olması durumu çapın farklı olmasından dolayı olduğu belirtilmiştir. Farklı lüle çaplarında elde edilen Nu sayılarındaki farklılıklar, yaklaşık bir lüle çapına sahip durağan bölge içerisinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Nu sayılarındaki bu bağımlılığın sebebi olarak, sabit bir Re sayısı için, artan lüle çapı ve buna bağlı olarak artan türbülans şiddetinin olduğu ifade edilmiştir.

Sadece çarpan hava jeti değil, ayrıca çarpan sıvı jeti de endüstriyel kullanımda elektronik ekipmanlarının soğutulmasında oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde elektronik ekipmanlarının küçülmesi ve transistör yoğunluğu ve işlemci hızlarının artması yüzeydeki ısı akısını arttırmaktadır. Soğutulmaları hava soğutmalı fan ve/veya kanatçıklarla sağlanmaktadır ancak bu teknoloji de günümüzde yeterli olmamaktadır. Bu nedenle de çarpan sıvı jeti yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Whelan ve Robinson (2009) tarafından yapılan çalışmada, çarpan sıvı jeti yöntemi kullanılmış ve değişik geometriler ile sistemin sınırlandırılmış veya serbest yüzey olması durumunda ısı performans etkileri incelenmiştir. İncelenen geometriler Şekil 2.3’de de görüleceği üzere sırasıyla, düz, lüle girişi radyuslu, lüle giriş ve çıkışı radyuslu, lüle girişi pahlı, lüle çıkışı pahlı, lüle girişi ve çıkışı pahlı olan geometrilerdir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, sınırlandırılmı sistem ısı performansının serbest yüzey durumuna göre çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Geometriler açısından durum incelendiğinde, deliğin iç yüzeyine açılmış olan pah veya radyus basınç düşümü oluşmasına sebebiyet verirken, aynı şekilde buna karşıt olarak dış yüzeyine açılan radyus veya pah bu durumun düzelmesine sebebiyet vermektedir. Lüle geometrileri üzerinde yapılan bu tarz modifikasyonlar, basınç düşümü oluşturmakta ancak sistem üzerindeki ısı performans ve ısı transfer katsayısının iyileştirmelerinde muazzam artışlara sebep olmaktadır. Elektronik sistemlerin soğutulması konusunda, sınırlandırılmış yöntem ile birlikte delik iç ve/veya dış yüzeylerinde pah ve/veya radyusları açılmış lüle tasarımlarının kullanılması tavsiye edilmiştir.

Tip	Lüle Geometrisi
Düz	
Giriş Yuvarlak	
Giriş ve Çıkış Yuvarlak	
Giriş Pahlı	
Çıkış Pahlı	
Giriş ve Çıkış Pahlı	

**Şekil 2.3.** Çalışmada kullanılan lüle geometrileri (Whelan ve Robinson, 2009)

Deneysel yapılan bu çalışmaların yanında ayrıca nümerik çalışmalar da mevcuttur. Yapılan akışkanlar dinamiği hesaplama sonuçlarının mutlaka güvenilir deneysel sonuçlarla kıyaslanması gerekliliği Zuckerman ve Lior (2006) tarafından belirtilmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken testte kullanılan geometri, akışkan giriş ve çıkış şartları ve akışkanın çarptığı hedef yüzeyin özellikleri kullanılarak yapılması gerekliliği belirtilmiştir. Ayrıca, belirtilen bu parametrelerin tek başına yeterli olmayacağı aynı zamanda doğru türbülans modellerinin seçiminin de önemli olduğu vurgulanmıştır. Zuckerman ve Lior (2006) tarafından, çok sık bir ağ yapısı ile yapılmış (yüksek çözünürlüklü) RANS sayısal metotları olan  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$ , Reynolds Stress Model ve Cebirsel Gerilme Model (ASM) türbülans modelleri ile yapılan çalışmaların deneysel sonuçlarla kıyaslandığında çok büyük farklılıkların bulunduğu belirtilmiştir.  $v^2-f$  ve Shear Stress Transport (SST) türbülans modellerinin hem doğruluk ve hem çözüm açısından daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Isman ve ark. (2008) tarafından, sabit bir yüzey akısına sahip yüzeydeki soğutma işlemini gerçekleştiren düz bir lülenin ısı transfer karakteristiklerini incelemek adına nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Akışın türbülanslı, iki boyutlu ve sabit durumda olduğu varsayılmıştır. Reynolds Ortalamalı Navier – Stokes (Reynolds Averaged Navier – Stokes – RANS) tabanlı 5 adet iki denklemlilik türbülans modelleri Galerkin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS/FLOTRAN ticari yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışmada kullanılan 5 adet iki denklemlilik türbülans modelleri standart  $k-\epsilon$ , RNG  $k-\epsilon$ , yeni  $k-\epsilon$ , Shih-Zhu-Lamley ve Girimaji nonlineer türbülans

modelleridir. Bütün hesaplamalarda özelliklerin değişimi ve yerçekimi etkileri göz önünde bulundurulmuş olup local Nusselt sayısı dağılımı Beitelmal ve ark. (2000) gerçekleştirmiş olduğu deneysel çalışma ile kıyaslanmıştır. Durgun bölge için en tatmin edici sonuçlar Shih-Zhu-Lamley'in Cebrik Gerilme Model(ASM) ile hesaplanmasına rağmen, RNG ve k-ε modellerinin jet bölgesinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. RNG ve standart k-ε modelleri jet ve durgun bölgelerinin ikisi birden değerlendirildiğinde deneysel sonuçlarla daha iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Standart k-ε ile Reynolds sayısı artırılarak ve H/D oranı düşürülerek yapılan parametrik çalışmada, lokal Nusselt sayısı dağılımında deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Lüle çıkışındaki türbülans şiddetinin %1'den %6'ya çıkarılmasıyla durgun bölgedeki ısı transferinin arttığı ve deneysel sonuçlarla da uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan türbülans modellerinden ampirik duvar fonksiyonuna sahip RNG k-ε ve standart k-ε modellerinin hem jet hem de durgun bölge dikkate alındığında, mühendislik açısından başarıya ulaştıkları gözlemlenmiştir.

Pulat ve arkadaşları (2011) tarafından türbülans modellerinin ve yakın duvar modelleme yaklaşımlarının karşılaştırıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. RANS türbülans modellerinin kıyaslanması için üç adet yakın duvar model yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca, yakın duvar yaklaşımlarının ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu öngörüler deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Tüm hesaplamalar ANSYS/Fluent ticari yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup, hesaplanan model iki boyutlu, durağan, sıkıştırılamaz akış olarak modellenmiştir. Bu çalışmada duvar fonksiyonları kullanılmış olup, duvar fonksiyonlarının türbülans modelleriyle birlikte çok dikkatli bir şekilde kullanılması tavsiye edilmiştir. Simülasyonda kullanılan model sınırlandırılmamış düz bir boru olup, jetin püskürtüleceği yüzey sabit ısı akısına sahiptir. Bu çalışmada duvar fonksiyonları kullanılarak türbülanslı akış incelendiğinden, bunun sonucu olarak  $y^+$  değerinin değerlendirme açısından önemli bir parametre olduğuna vurgu yapılmıştır. Farklı  $y^+$  dağılımlarına sahip farklı hücre sayılarındaki simülasyon modelleri, çarpan jet akışı bölgelerinde de farklılıklar gösterebileceğinden bahsedilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçlarından biri yakın duvar davranışlarının eddy viskozite türbülans modellerinde uygun ağ sayısı ile yapılmasıdır. Bu çalışmanın başında bahsedildiği üzere farklı yakın duvar modelleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dengesiz duvar fonksiyonu (Non-

equilibrium Wall Function) kullanımı akış fiziğini göstermek adına, standart duvar fonksiyonundan daha uygun olmasına rağmen, ağ sayısı azaltıldığında standart duvar fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlarla uyumsuzluk göstermektedir. Standart duvar fonksiyonu kullanıldığında, tutarlı ağ sayısında  $y^+$  değerleri tüm Reynolds sayıları göz önünde bulundurulduğunda sabit bir değere yakınsamakta olup, dengesiz duvar fonksiyonu kullanıldığında ise değişen Reynolds sayıları ile  $y^+$  değerlerinin değiştiği görülmüştür. Artan duvar davranışı kullanıldığı durumda, kullanılan Reynolds sayılarında yaklaşık bir değere yakınsadığı görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca, standart k- $\epsilon$  modelinin belirtilen şartlar altında deneysel verilerle en uyumlu model olduğu tespit edilmiştir.

Wang ve arkadaşları (2014) tarafından, çarpan jet akışının ısı ve akış karakteristiklerini ayrıca türbülans modellerinin etkilerini incelemek için yarı sınırlandırılmış bir ortamda düz bir lülenin simülasyonu yapılmıştır. Bu hesaplamada, k- $\epsilon$ , k- $\omega$ , düşük Reynolds, k-k $_1$ - $\omega$ , geçiş SST,  $v^2$ -f ve Reynolds Gerilme Modeli (RSM) türbülans modellerini içere pek çok sayıda türbülans modeli kullanılmış ve deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Ayrıca, yakın duvar bölgesi için, standart duvar fonksiyonu, ölçeklenebilir duvar fonksiyonu, dengesiz duvar fonksiyonu ve artan duvar fonksiyonu (Enhanced Wall Function) fonksiyonlarını içeren çeşitli duvar fonksiyonları kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Simülasyonda kullanılan fiziksel model yarı sınırlandırılmış bir ortam içerisindeki düz bir lüle olup Ashforth-Frost deneysel modeli ile benzerliklere sahiptir. Bu modelde jetin çarpacağı yüzey ısıtılmıştır ve üst yüzeyden jetin çarpacağı yüzeyden lüle çapının iki katı mesafeye bir plaka ile sınırlandırılmıştır. Elde edilen veriler birimsiz hız, türbülans kinetik enerjisi ve Nusselt sayıları kıyaslanarak sunulmuştur. Bu çalışmada, SST k- $\omega$  türbülans modelinin çarpan jet akışları için daha uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Çünkü hız dağılımı, türbülans kinetik enerjisi ve Nusselt sayısının deneysel sonuçlarla tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca k- $\epsilon$  türbülans modelinin kullanılması gerektiğinde, artan duvar fonksiyonu kullanımının, standart ve dengesiz duvar fonksiyonu kullanımına göre daha uygun olacağı belirtilmiştir.

## 2.1. Türbülanslı Akış

Akışkanlar mekaniğinde türbülans veya türbülanslı akış, akışta kaotik özellik değişimlerinin meydana gelmesi olayıdır. Türbülansın oluşmasında en önemli parametre Reynolds Sayısıdır (Re). Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanır ve birimsiz bir büyüklüktür. Re kritik değeri geçtiğinde akış türbülanslı, bu değer altında kaldığında ise laminar olarak kabul edilir. Silindirik bir boru içinden geçen akışkan için Re denklem (2.1) ile ifade edilir.

$$Re = \frac{\rho \times V \times d}{\mu} \quad (2.1)$$

$\rho$ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

V: Akışkanın hızı (m/s)

d: Akışkanın geçtiği silindirik borunun çapı (m)

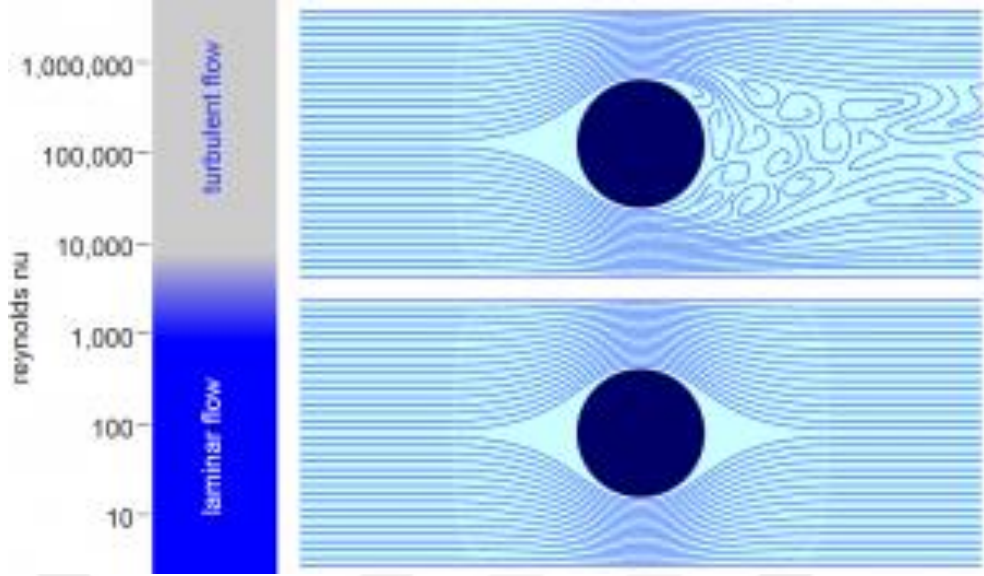
$\mu$ : Akışkanın dinamik viskozitesi(Pa.s)

Akışın türbülanslı olup olmadığına karar verebilmek için hesaplama sonucu çıkan Reynolds sayısını aşağıdaki limit değerlerle karşılaştırmak gerekir. Reynolds sayısı ve karakteristiğinin değişimi Şekil 2.4'de görülmektedir.

Re < 2000, Akış laminar

2000 < Re < 4000, Akış geçişli

4000 < Re, Akış türbülanslıdır.

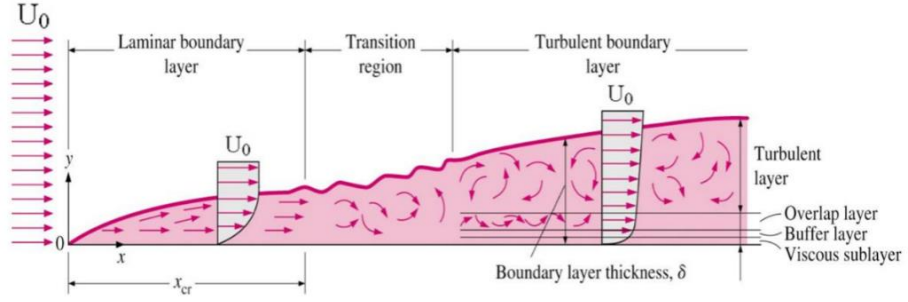


**Şekil 2.4.** Reynolds sayısı ve akışın karakteristiğinin değişimi (Anonim, 2017a)

1755 Leonard Euler tarafından yayınlanan hareket denklemleri sürtünmesiz akış içindir. O yıllarda mühendisler daha çok deneysel sonuçlardan çıkarılmış ampirik ifadeler ile çalışmaktadırlar. Sürtünmeli akışın hareketini tanımlayan denklemler Navier ve Stokes tarafından son haline getirildi ve günümüzde bilinen adıyla Navier-Stokes denklemleri literatüre kazandırılmıştır. (Erşan, 2012)

Sınır tabaka kavramı ilk kez 1904 yılında Alman bilim adamı Ludwig Prandtl tarafından ortaya atılmıştır. Prandtl viskoz akışın 2 ayrı bölgeye ayrılarak incelenebileceğini göstermiştir. Duvara yakın sınır tabaka bölgesi ve duvardan uzak potansiyel akış bölgesi Şekil 2.5’de görülebilir. Sınır tabaka içerisinde hem viskoz hem de atalet kuvvetleri etkindir. Potansiyel akış bölgesinde ise atalet kuvvetleri baskındır. Yani duvarlara yakın olan bölgelerde viskozite dikkate alınır, uzak olan bölgelerde viskozite ihmal edilebilir. Sınır-tabaka kavramı kuram ile uygulama arasındaki uyuşmazlığı kaldırmış ve ikisi arasında yıllardır kurulamayan ilişkiyi kurmuştur. Daha da önemlisi, sınır-tabaka kavramı, Navier-Stokes denklemleri kullanılarak çözümü imkansız olan viskoz akış problemlerinin çözümünü mümkün kılmıştır. (Erşan, 2012)





Şekil 2.5. Düzlem plaka üzerinde sınır tabaka ve akış bölgeleri (Anonim, 2017b)

### 3.2. Türbülans Şiddeti

Türbülans hava akışındaki sapmalar olarak düşünülebilir. Düzgün bir akışın bile çok az da olsa türbülans barındırmaktadır. Düzensiz bir akışta ise türbülansın olması doğal bir durumdur. Fakat burada önemli olan türbülansın şiddetidir. Türbülans şiddeti, yüzde olarak ifade edilen ve türbülansı ölçeksel olarak karakterize eden bir terimdir. İdealleştirilmiş bir hava akışında eğer havanın hızında ve doğrultusunda sapmalar mevcut değil ise türbülans şiddeti %0 olarak kabul edilir. Fakat böyle bir durumun yeryüzünde oluşması mümkün değildir. Türbülans şiddeti literatürde belirli bir nokta için hızdaki sapmaların yine o noktadaki ortalama hıza oranı olarak denklem (2.2) ile ifade edilmiştir.

$$Tu = \frac{u'}{U} \quad (2.2)$$

$u'$ : Ortalama hızdan olan sapmalar

$U$ : Ortalama hız

Türbülans kinetik enerjisinin bilindiği bir durum için türbülans şiddeti de denklem (2.3) ile ifade edilebilmektedir.

$$Tu = \sqrt{\frac{1}{3}(u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2)} = \sqrt{\frac{2}{3}k} \quad (2.3)$$

Ortalama hızın üç bileşeni biliniyorsa denklem (2.4) ile hesaplanabilir.

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (2.4)$$

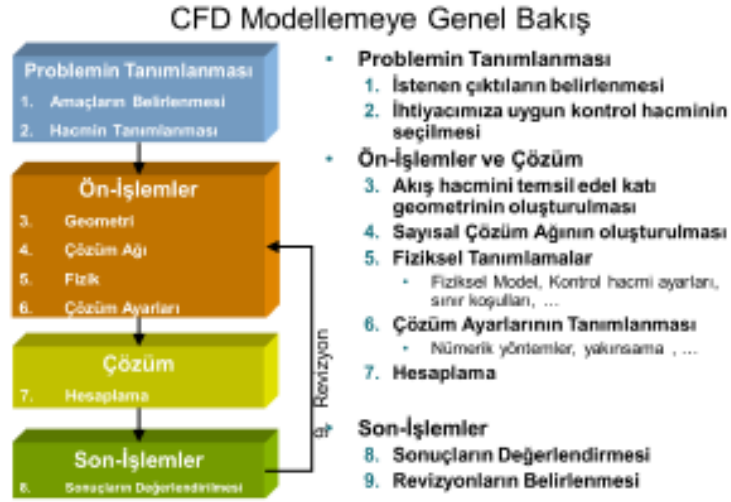
### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Çözüm Metodu**

Momentum, kütle ve ısı transferi işlemlerinin tanımlanabilmesi için kullanılan denklemler Navier-Stokes denklemleri olarak bilinmektedir. Bu denklemler 19.yy'da türetilmiş olup sayısal olarak çözümlenebilmekte ancak analitik olarak çözümlenememektedir. Günümüzde bu işlemlerin yapılabilmesi için bilgisayarlar kullanılmakta ve paket programlar kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodları ile bu denklemlerin çözümü yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan ANSYS CFX programı sonlu hacimler yöntemini kullanarak bu çözümleri yapmaktadır. Bu çözümler yapılırken çözüm alanı kontrol hacmi adı verilen küçük hacimlere ayrılır. Her bir ayrılan kontrol hacmi içerisinde denklemler ayrıştırılarak iteratif bir şekilde çözümlenir. Her kontrol hacmindeki değişkenler tüm akış alanı içinde tespit edilir ve bu sayede akışın davranışı tespit edilir.

#### **3.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Prosedürü**

Bir mühendislik probleminin çözümlenebilmesi için öncelikle problem tanımı gereklidir. Problemi oluşturan model bir CAD programı yardımıyla geometrik olarak oluşturulur. Ardından bir önceki kısımda bahsedildiği üzere model çok küçük hacimlere bölünmek suretiyle kontrol hacimleri yani ağ yapısı oluşturulur. Elde edilen bu ağ yapısının üzerine sınır koşulları ve akışkan özellikleri tanımlanarak çözüm işlemine başlanır. Çözüm işlemi tamamlandıktan sonra sonuçlar değerlendirilir. Bu değerlendirmenin sonucu olumsuz ise, geometri, ağ yapısı veya sınır koşulları değiştirilerek tekrar çözüm yapılabilir. Şekil 3.1'de genel bir işlem akışının ne şekilde olacağı gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** HAD işlem basamakları (Anonim, 2010)

HAD kullanılırken mutlaka dikkat edilmesi gereken bir diğer konu, sonuçların ağdan bağımsız olmasına dikkat edilmelidir. Yani çözümde kullanılan ağ sayısı arttıkça sonuçların değişmemesi gerekmektedir. Örneğin; çok düşük ağ sayısına sahip bir geometri ile çok yüksek ağ sayısına sahip bir geometrinin sonuçları aynı olmayacaktır. Çok düşük ağ sayısı ile çözüm yaptırılırsa çözüm süresi kısa fakat sonuçlar doğru olmayacaktır. Çok yüksek ağ sayısı ile çözüm yaptırılırsa çözüm süresi artacaktır ve sonuçlar da daha doğru olacaktır. Bu durumda hem çözüm süresi hem de sonuçların doğruluğu açısından ağdan bağımsızlık çalışması yapılarak optimum ağ sayısı elde edilerek çözüm gerçekleştirilmelidir.

### 3.3. ANSYS CFX R14.5

Bu tez çalışmasında ANSYS CFX R14.5 paket programı kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. ANSYS CFX sonuçlarının güvenilirliği açısından incelendiğinde hem endüstride hem de literatür çalışmalarında en fazla kullanılan yazılım olduğunu ispat etmiştir. İçerinde çözüm yaparken birleşik (coupled) çözücüsünü kullanması sayesinde stabil sonuçlar alınmaktadır. ANSYS CFX yazılımının sahip olduğu yetenekler aşağıdaki gibidir.

- Kararlı rejim ve zamana bağlı analiz
- Laminer ve türbülanslı akış çözümleri
- Ses altı ve ses üstü çözümler

- Isı transferi ve ısı ışınım
- Yerçekimi etkileri
- Newtonyen olmayan akışlar
- Çok fazlı akışlar
- Parçacık takibi analizleri
- Serbest yüzey analizleri
- Yanma

### 3.4. Akışkanlar Dinamiğinde Kullanılan Korunum Denklemleri

Çözüm esnasında süreklilik, momentum ve enerji korunumu denklemleri çözdürülmektedir. Bu denklemlerin ifadeleri aşağıdaki gibi sırasıyla belirtilmiştir. Süreklilik denklemi denklem (3.1) ile ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

x,y ve z doğrultularındaki momentum denklemleri sırasıyla denklem (3.2, 3.3 ve 3.4) ile verilmiştir.

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + F_x \quad (3.2)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + F_y \quad (3.3)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + F_z \quad (3.4)$$

Enerji denklemi denklem (3.5) ile ifade edilmektedir.

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left( \frac{\partial P}{\partial T} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (3.5)$$

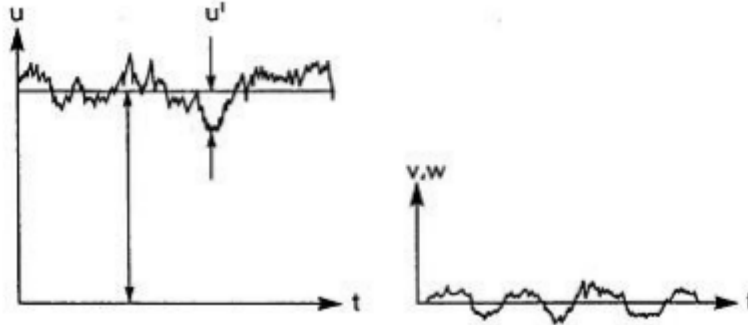
Yukarıda bahsi geçen denklemler çözüm esnasında birlikte çözdürülmektedir.

### 3.5. İstatistiksel Türbülans Modelleri

İstatistiksel türbülans modelleri orijinal Navier-Stokes denklemlerine ilave olarak, dalgalanma ve ortalama terimlerini ilave ederek modifiye ederler. Ortaya çıkan yeni denklemlere Reynolds Ortalaması Alınmış Navier-Stokes denklemleri adı verilmektedir. Normalde bu küçük dalgalanmaların yakalanabilmesi için çok çok küçük hacimlere bölünmesi gerekmektedir. Ancak bu durum çözüm süresini çok arttıracak bir durumu ortaya çıkaracaktır. Bu ilave terimler sayesinde bu durum ortadan kaldırılmaktadır. İlave terimler sadece dalgalanmaların etkilerini ortaya koymaya yaramaktadır ve endüstride çok sık bir şekilde kullanılmaktadırlar. Yapılacak olan bu tez çalışmasında istatistiksel türbülans modellerinden olan ve paket program içerisinde bulunan standart k- $\epsilon$ , RNG k- $\epsilon$ , SST ve k- $\omega$  türbülans modelleri kullanılacaktır. Farklı ağ sayılarında bu çözümler elde edilerek tanımlanacak olan problem için en doğru ağ sayısı ve türbülans modeli seçimi yapılacaktır.

### 3.6. Reynolds Ortalaması Alınmış Navier-Stokes Denklemleri

Zaman ortalamasını alabilmek için, anlık değerler, ortalama değer ve dalgalanma değerleri olmak üzere ikiye ayrıştırılmaktadır. Grafikselsel gösterimi Şekil 3.2'deki gibidir.



**Şekil 3.2.** Zamanın bir fonksiyonu olarak boru içi akışta türbülans hızı dalgalanmaları (Anonim, 2009)

Anlık hız komponenti  $u$ , zaman ortalamalı değeri  $\bar{u}$  ve dalgalanan hız bileşeni  $u'$  olmak üzere bu komponentler matematiksel olarak (3.6) ile belirtilen denklemler ile ifade edilmektedirler.

$$u = \bar{u} + u' , \quad v = \bar{v} + v' , \quad w = \bar{w} + w' , \quad p = \bar{p} + p' \quad (3.6)$$

Ortalama bileşen denklem (3.7) ile ifade edilebilir.

$$\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u dt \quad (3.7)$$

Dalgalanmaların zaman ortalamalı değerleri “0” olarak tanımlanır.

$$\bar{u}' = 0, \quad \bar{v}' = 0, \quad \bar{w}' = 0, \quad \bar{p}' = 0$$

Öncelikle süreklilik denkleminin ortalaması alınır. Hız bileşenleri süreklilik denkleminde ifade edilen hız komponentlerinin içerisinde konulursa denklem (3.8)'deki gibi düzenlenir.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (3.8)$$

Yukarıdaki denklemin zaman ortalamalı değeri denklem (3.9)'daki gibi yazılır.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (3.9)$$

Dalgalanmaların zaman ortalamalı değerleri “0”, dolayısıyla türevleri de “0” olacağından süreklilik denklemini denklem (3.10) gibi düzenlenir.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.10)$$

Bazı küçük dönüşümlerin ardından süreklilik denklemini taşınım terimlerine uygulandığında, her üç doğrultuda Navier Stokes denklemlerinin oluşturulmasına öncülük edecek olan denklemler sırasıyla (3.11, 3.12 ve 3.13) gibi oluşturulmuştur.

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = F_x - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \Delta \bar{u} - \rho \left( \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \right) \quad (3.11)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) = F_y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \Delta \bar{v} - \rho \left( \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \right) \quad (3.12)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) = F_z - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \mu \Delta \bar{w} - \rho \left( \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}'w'}{\partial z} \right) \quad (3.13)$$

Ya da tensör formunda yazılacak olursa denklem (3.14) halini alır.

$$\rho \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = F_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \Delta \bar{u}_i - \rho \left( \frac{\partial \bar{u}'_i u'_j}{\partial x_j} \right) \quad (3.14)$$

Tensör formunda belirtilen  $\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j}$  terimi Reynolds Gerilmesi olarak tanımlanır. X doğrultusundaki zaman ortalamalı hız komponenti olan u için son iki terim ele alınırsa denklem (3.15)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\mu \Delta \bar{u}_i - \rho \left( \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) = \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (3.15)$$

Parantez içerisindeki ifade toplam kayma gerilmesini ifade etmektedir.

$$\tau_{ij} = \mu \Delta \bar{u}_i - \rho \left( \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) \quad (3.16)$$

Denklem (4.16)'daki terim sadece ortalanan Reynolds denklemlerinde görülmekte olup, Reynolds Gerilmesi olarak tanımlanır (Anonim, 2009).

### 3.7. İki Denklemli Türbülans Modelleri

İki denklemli türbülans modelleri zaman ve doğruluk açısından optimum sonuçlar verdiği için dolayı sıkça kullanımı tercih edilmektedir. İki denklemli türbülans modelleri sıfır denklemli olanlara göre daha karmaşıktır. Bu modellerde hız ve uzunluk ölçeği ayrı transport denklemleri kullanılarak çözülür. Bu nedenle iki denklemli ismi verilmektedir.

k-ε ve k-ω modelleri iki denklemli türbülans modelleri olup Reynolds gerilmelerini ortalama hız gradyanları ve türbülans viskozitesi ile ilişkilendirmek için gradyan difüzyon hipotezini kullanmaktadır. İki denklemli türbülans modellerinde, türbülans hız ölçeği, transport denklemlerinin çözümünden elde edilen türbülans kinetik enerjisinden elde edilmektedir. Türbülans uzunluk ölçeği genellikle türbülans bölgesindeki iki özellikten yani türbülans kinetik enerjisi ve yayılım hızından hesaplanır. Türbülans kinetik enerjisinin yayılım hızı ise transport denklemlerinin çözümünden elde edilir.

#### 3.7.1. ANSYS k-ε türbülans modeli

k-ε tanımındaki k, türbülans kinetik enerjisinin hızdaki dalgalanmaların varyansı olarak ifade edilmektedir. Birimi (L<sup>2</sup>T<sup>2</sup>) örneğin; m<sup>2</sup>s<sup>2</sup>. “ε” terimi hız dalgalanmalarının yayılım hızı olarak ifade edilen türbülans eddy yayılımı olup birimi (L<sup>2</sup>T<sup>3</sup>) örneğin; m<sup>2</sup>s<sup>3</sup>. k-ε modeli iki yeni terimi de beraberinde getirmektedir. Süreklilik denklemi denklem (3.17)'deki formu almaktadır.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0 \quad (3.17)$$

Momentum denklemi de denklem (3.18)'deki formu almaktadır.

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + S_M \quad (3.18)$$

Bu formülde  $S_M$  dış kuvvetlerin toplamı,  $\mu_{eff}$  türbülansı içeren efektif viskozite ve  $p'$  ise modifiye edilmiş basınç olarak ifade edilmektedir.

k-ε modeli sıfır denklemlerli modelde olduğu gibi eddy viskozite konsepti tabanlıdır ve denklem (3.19) ile ifade edilir.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (3.19)$$

Burada  $\mu_t$  türbülanslı viskoziteyi ifade etmektedir. k-ε modeli türbülanslı viskozite, denklem (3.20) ile türbülans kinetik enerjisi ve yayılım hızı arasında ilişki kurar.

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.20)$$

Bu denklemde  $C_\mu$  k-ε modeli sabitidir.

k ve ε değerleri türbülans kinetik enerjisi ve türbülans yayılım hızı için hesaplanan diferansiyel transport denklemlerinden gelmektedir ve denklemler aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon + P_{kb} \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{\varepsilon 1} P_{\varepsilon b}) \quad (3.22)$$

$C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\varepsilon$  sabit değerlerdir. Değerleri aşağıdaki tablodaki gibidir.



**Çizelge 3.1.** k-ε türbülans modeli denklemlerinin sabitleri

Standart k-ε Sabitleri	Sayısal Değeri
$C_\mu$	0.09
$C_{\varepsilon 1}$	1.44
$C_{\varepsilon 2}$	1.92
$\sigma_k$	1.0
$\sigma_\varepsilon$	1.3

$P_{kb}$  ve  $P_{eb}$  yerçekimi etkilerini ifade ediyor olup denklemleri aşağıdaki gibidir. Bu denklemlerde hesaplanan  $P_k$  viskoz kuvvetlerinden dolayı oluşan türbülans olup ifadesi denklemler (3.23)'deki gibidir. (Anonim, 2012)

$$P_k = \mu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \left( 3\mu_t \frac{\partial U_k}{\partial x_k} + \rho k \right) \quad (3.23)$$

### 3.7.2. ANSYS RNG k-ε türbülans modeli

RNG k-ε türbülans modeli Navier-Stokes denklemlerinin tekrar normalleştirilmesi ile elde edilir. Türbülans ve yayılımının oluşumu standart k-ε modeli ile aynı olup, modeldeki kullanılan katsayılar farklıdır. Bu türbülans modelinde  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 1RNG}$  fonksiyonuyla yer değiştirmektedir. Bu ifadelerle birlikte türbülans yayılımının transport denklemleri denklemler (3.24)'deki formu almaktadır (Anonim, 2012).

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon RNG}} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1RNG} P_k - C_{\varepsilon 2RNG} \rho \varepsilon + C_{\varepsilon 1RNG} P_{eb}) \quad (3.24)$$

Bu denklemlerde  $C_{\varepsilon 1RNG}$  denklemler (3.24a) ile ifade edilir.

$$C_{\varepsilon 1RNG} = 1.42 - f_\eta \quad (3.24a)$$

Yine aynı şekilde  $f_\eta$  aşağıdaki denklemler ile ifade edilir.

$$f_\eta = \frac{\eta \left( 1 - \frac{\eta}{4.38} \right)}{(1 + \beta_{RNG} \eta^3)} \quad (3.24b)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{P_k}{\rho C_{\mu RNG} \varepsilon}} \quad (3.24c)$$

**Çizelge 3.2.** RNG k-ε türbülans modeli denklem sabitleri

RNG k-ε Sabitleri	Sayısal Değeri
$C_{\mu\text{RNG}}$	0.085
$C_{\varepsilon 2\text{RNG}}$	1.92
$\beta_{\text{RNG}}$	0.012
$\sigma_{\varepsilon\text{RNG}}$	0.7179

### 3.7.3 ANSYS standart k-ω türbülans modeli

Standart k-ω modelinin avantajlarından biri düşük Reynolds duvar yakını davranışına sahip olmasıdır. Bu model k-ε modeline göre daha güçlü ve daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bunun sebebi olarak da k-ω modelinin karmaşık nonlineer sönüm fonksiyonlarını içermemesidir. Düşük Reynolds k-ε modeli cidar yakınında  $y^+$  değerlerinin çok küçük değer olarak belirtilirse  $y^+ < 0.2$  olmasını gerektirir. Fakat düşük Reynolds k-ω modeli  $y^+$  değeri olarak en az  $y^+ < 2$  olmasını gerektirir. Endüstriyel kullanımlarda  $y^+ < 2$  olması garanti edilememektedir ve çok zordur. Bu nedenle k-ω modeli olarak yeni bir duvar yakını davranışı modeli geliştirilmiştir. Bu modelleme düşük Reynolds sayısından bir duvar fonksiyonuna yumuşak bir geçişe olanak sağlamaktadır. k-ω modelleri denklem (3.25) ile türbülans viskozitesi ile türbülans kinetik enerjisi ve türbülans frekansı arasında ilişki kurmayı sağlar.

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \quad (3.25)$$

Formülasyonun geliştirilmesine öncülük eden Wilcox'tur. İki tane transport denklemini çözmektedir. Bunlardan birincisi k ile belirtilen türbülans kinetik enerjisi, diğeri ise ω ile belirtilen türbülans frekansıdır. Gerilim tensörleri eddy viskozite konsepti ile hesaplanmaktadır.

k denklemini denklem (3.26) ile ifade edilir:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta' \rho k \omega + P_{kb} \quad (3.26)$$

ω denklemini denklem (3.27) ile ifade edilir:

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2 + P_{\omega b} \quad (3.27)$$

$P_k$  türbülansın üretim hızı olup k- $\epsilon$  modeli ile aynı şekilde hesaplanır. Standart k- $\omega$  modelinin sabit katsayıları aşağıdaki gibidir (Anonim, 2012).

$$\begin{aligned} \beta' &= 0.09 \\ \alpha &= 5/9 \\ \beta &= 0.075 \\ \sigma_k &= 2 \\ \sigma_\omega &= 2 \end{aligned}$$

Bilinmeyen Reynolds gerilim terimi olan  $\rho \overline{U_i U_j}$  denklem (3.28) ile hesaplanmaktadır.

$$-\rho \overline{U_i U_j} = \mu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \sigma_{ij} \left( \rho k + \mu_t \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right) \quad (3.28)$$

### 3.7.4. ANSYS SST türbülans modeli

k- $\omega$  tabanlı SST türbülans modeli türbülans kayma gerilmesi transportunu hesaplar ve taşınım basınç gradyeni altındaki akış ayrılma başlangıcını ve miktarını yüksek bir doğrulukla çözümlenmeyi sağlar. ANSYS içerisindeki SST modeli Mentor tarafından geliştirilmiştir.

Diğer türbülans modelleri türbülans kayma gerilmelerinin taşınmasını hesaplayamadığından, edî viskoziteleri olması gerekenden fazla hesaplamaktadır. Uygun transport davranışı formülasyona eklenen bir limitör vasıtasıyla elde edilir. Formülasyon denklem (3.29 ve 3.29a) gibi ifade edilmiştir.

$$v_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (3.29)$$

$$v_t = \mu_t / \rho \quad (3.29a)$$

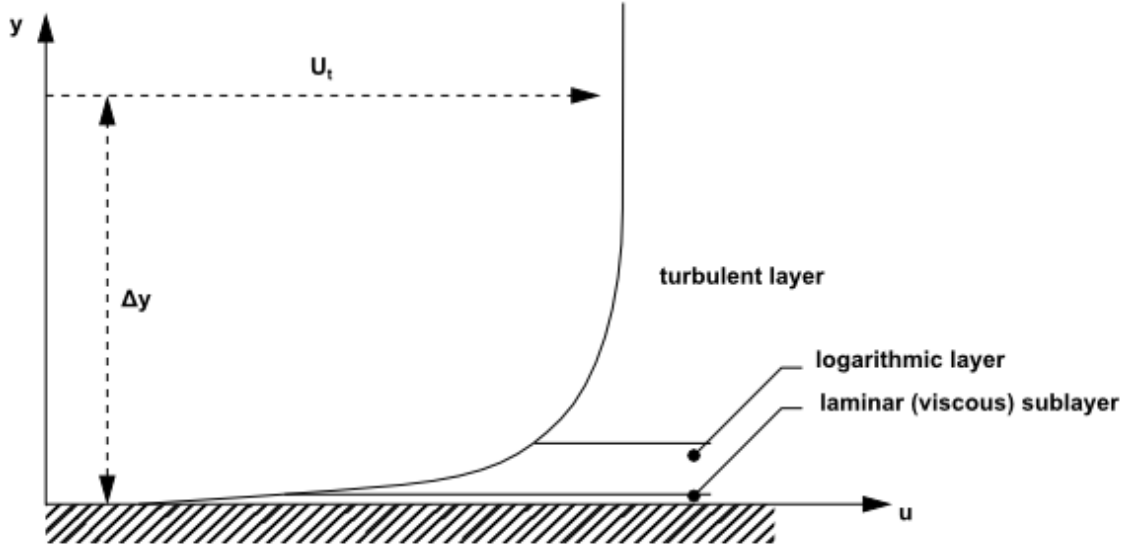
$F_2$  değeri bu formülasyondaki limitördür (Anonim, 2012).

### 3.7.5 Yakın duvar modellemesi

Kaymaz duvar yakınında, bağımlı değişkenlerde çok büyük gradyen değişiklikleri görülür. Ayrıca transport işlemindeki viskoz etkiler oldukça büyüktür. Bu prosesteki görülen bu değişimler simülasyonlarda aşağıdaki problemlerin oluşmasına yol açmaktadır.

- Duvarda oluşan viskoz etkileri nasıl hesaplanır?
- Sınır tabakadaki bölgede gerçekleşen ani akış değişiklikleri akış değişkenlerini nasıl etkiler?

Deneysel ve simülasyon sonuçlarına göre, duvar yakını bölgesi 2 alt tabakaya bölünerek incelenebilir. Şekil 3.3'te görülebileceği üzere, en içteki viskoz alt tabaka olarak adlandırılan tabakada, akış laminar gibidir ve viskozite momentum ve ısı transferinde önemli bir rol oynar. Bu tabakadan biraz daha uzakta olan logaritmik alt tabaka olarak adlandırılan bölgede oluşan türbülans buradaki karışım işlemini domine eder. Sonuç olarak, bu iki tabaka arasında tampon tabaka adı verilen bir tabaka bulunur ve moleküler viskozite ile türbülans etkilerini eşit miktarda çözüme yansıtmaktadır.



Şekil 3.3. Viskoz alt tabaka ve logaritmik alt tabaka

Logaritmik profil yakın duvardaki hızı yeterince temsil edebilmektedir ve duvardan belirli bir uzaklıktaki akışta oluşan kayma gerilmelerini hızın bir fonksiyonu olarak temsil edebilmektedir. Bu yaklaşıma 'duvar fonksiyonu' adı verilmektedir. Yakın duvar davranışlarında daha çok iki tane yaklaşım kullanılmaktadır:

a) **Duvar fonksiyonu:** Duvar fonksiyonu metodunda, ampirik formüller kullanılmaktadır. Bu formüllerin içerisinde duvar yakınındaki uygun koşullar konularak

oluşturulmuştur ve sınır tabakada çözümlenmezler. Bu sayede çözüm süresi kısalmaktadır. CFX içerisinde kullanılan tüm türbülans modellerinin kullandığı bir duvar fonksiyonu mevcuttur.

Duvar fonksiyonu kullanmanın en büyük avantajı, yüksek gradyenli kayma tabakalarının kaba bir ağ yapısı ile modellenebilmesidir. Bu sayede simülasyon hesaplama süresi düşer. Ayrıca türbülans modellerindeki viskoz etkilerin hesaplanması ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.

### a1) Ölçeklendirilebilir duvar fonksiyonu

Duvar yakını hızı için kullanılan logaritmik eşitlikler denklem (3.30, 3.30a, 3.30b) ile verildiği gibidir.

$$u^+ = \frac{U_t}{u_\tau} = \frac{1}{\kappa} \ln(y^+) + C \quad (3.30)$$

$$y^+ = \frac{\rho \Delta y u_\tau}{\mu} \quad (3.30a)$$

$$u_\tau = \left( \frac{\tau_\omega}{\rho} \right)^{1/2} \quad (3.30b)$$

Bu eşitliklerde,  $u^+$  duvar yakınındaki hız,  $u_\tau$  duvardan  $\Delta y$  kadar mesafe uzaklıktaki teğetsel hız,  $y^+$  duvardan olan birimsiz uzaklık,  $\tau_\omega$  duvar kayma gerilmesi,  $\kappa$  Von Karman sabiti ve  $C$  duvar sürtünmesine bağlı logaritmik tabaka sabitidir.

Yukarıda verilmiş olan formülasyonda, standart duvar fonksiyonu ayrılma noktalarında,  $U_t$  sıfıra gittikçe, tekillik gösterir. Bu nedenle logaritmik bölgede,  $u_\tau$  yerine alternatif hız ölçüğü adı verilen  $u^*$  kullanılır ve denklem (3.31) ile ifade edilmektedir.

$$u^* = C_\mu^{1/4} k^{1/2} \quad (3.31)$$

Bu ifade,  $U_t$  sıfıra gittiği halde sıfıra gitmediğinden çok yararlı bir ifadedir. Bu ifadeye bağlı kalarak açık halde  $u_\tau$ 'nin ifadesi denklem (3.32)'deki gibidir.

$$u_\tau = \frac{U_t}{\frac{1}{\kappa} \ln(y^+) + C} \quad (3.32)$$

Duvar kayma gerilmesinin mutlak değeri denklem (3.33 ve 3.34) ile elde edilir.

$$\tau_{\omega} = \rho u^* u_{\tau} \quad (3.33)$$

$$y^* = (\rho u^* \Delta y) / \mu \quad (3.34)$$

Duvar fonksiyonu yaklaşımının en büyük sorunu, duvara en yakın noktanın pozisyonuna bağlı olarak öngörülerin değişebilmesi yani yakın duvar ağ yapısına çok hassas olmasıdır. Ağ yapısını iyileştirmek de bu problemi ortadan kaldırmamaktadır. Bu problemler, ağ yapısı iyileştirildiği durumlarda ANSYS CFX tarafından geliştirilen ölçeklendirilmiş duvar fonksiyonu sayesinde aşılmıştır.

Ölçeklendirilebilir duvar fonksiyonunun arkasındaki temel fikir, logaritmik formülasyonda  $\tilde{y}^* = \max(y^*, 11.06)$  fonksiyonunda kullanılan lineer ve logaritmik yakın duvar profilinin kesişimi olan  $y^*$  değerini 11.06 ile sınırlandırılmış olmasıdır. Bu nedenle hesaplanan  $\tilde{y}^*$  değeri bu sınır değerinin altına düşemez. Bu sayede viskoz alt tabaka dışındaki bütün ağ yapı noktaları ve tüm sık ağ yapısı tutarsızlıkları engellenmiş olur.

Yayılm hızı  $\varepsilon$  için sınır koşulu, logaritmik bölgede kullanılan denklem (3.35) ile ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{\rho u^* C_{\mu}^{3/4}}{\tilde{y}^* \mu \kappa} k^{3/2} \quad (3.35)$$

Sınır tabaka problemini tamamen çözebilmek için, sınır tabakada en az 10 düğüm noktasına ihtiyaç vardır (Anonim, 2012).

## **a2) Otomatik duvar fonksiyonu**

Otomatik duvar fonksiyonu, hesaplama esnasında duvar fonksiyonlarından düşük Reynolds duvar yakını fonksiyonlarına otomatik geçiş yapar. k- $\varepsilon$  modelinin bilinen dezavantajı düşük türbülans Reynolds sayısı hesaplarını yapamamasıdır. Karmaşık sönüm fonksiyonları k- $\varepsilon$  modellerine eklenebilir ve düşük Reynolds sayısı akışlarının hesaplanabilmesi için düşük  $y^+ < 0.2$  değerlerine ulaşabilmek gereklidir ve daha sık bir ağ yapısı oluşturulmalıdır. Bu yaklaşım sıklıkla tutarsızlıklara sebebiyet verir. Bu zorlukların bir kısmı k- $\omega$  modeli ile aşılabilmektedir. Ancak bu duvar yakını modelinin

$y^+ < 2$  değerlerine ulaşma zorunluluğu vardır. Bu şartın her duvar koşulunda sağlanabilmesi mümkün değildir. Bu sebepten dolayı, CFX içerisinde  $k-\omega$  tabanlı modeller için düşük Reynolds sayısı formundan duvar fonksiyonu formuna yumuşak geçiş sağlayan yeni bir duvar yakını davranışı geliştirilmiştir ve bunun ismi de otomatik duvar fonksiyonu olarak adlandırılmıştır. Özellikle ısı transferi problemlerinde  $y^+ < 1$  olması önerilmektedir. Bu yaklaşımda kullanılan formüller incelenecek olursa K denklemi için akı yapay olarak sıfır olarak alınır ve momentum denklemindeki akı hız profilinden hesaplanır. Momentum eşitliğindeki  $F_U$  denklem (3.36) ile hesaplanır.

$$F_U = -\rho u_\tau u^* \quad (3.36)$$

$$u^* = \sqrt[4]{\left(\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \left|\frac{\Delta U}{\Delta y}\right|\right)^4 + (a_1 k)^4} \quad (3.36a)$$

$$u_\tau = \sqrt[4]{(u_\tau^{vis})^4 + (u_\tau^{log})^4} \quad (3.36b)$$

$$u_\tau^{vis} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho} \left|\frac{\Delta U}{\Delta y}\right|} \quad (3.36c)$$

$$u_\tau^{log} = \frac{U}{\frac{1}{\kappa} \log(y^+) + C} \quad (3.36d)$$

K denklemindeki akı  $F_K=0$

$\omega$  eşitliğinde, eklenen akının yerine denklem (3.37)'deki cebrik ifade kullanılır. Bu analitik ifade  $\omega$  için logaritmik bölgede harmanlanmış bir ifadedir.

$$\omega_l = \frac{u^*}{a_1 k y} = \frac{1}{a_1 k v} \frac{u^{*2}}{y^+} \quad (3.37)$$

Buna karşılık gelen alt tabakadaki ifade denklem (3.38)'deki gibidir:

$$\omega_s = \frac{6v}{\beta(\Delta y)^2} \quad (3.38)$$

Bu denklemdaki  $\Delta y$ , birinci ve ikinci hücreler arası mesafedir yani ilk eleman yüksekliğidir. En nihai durumda kullanılan denklem aşağıdaki formu almaktadır (Anonim, 2012).

$$\omega_\omega = \omega_s \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_l}{\omega_s}\right)^2} \quad (3.39)$$

**b) Düşük Reynolds Sayısı Metodu:** Düşük Reynolds sayısı metodunda, sınır tabaka bölgesinde çok küçük ağ uzunluğuna sahip elemanları duvar düzlemine dik olacak şekilde çözümler.  $\omega$  eşitliğine sahip denklemlerde kullanıma uygundur. Metodun ismine bakıldığında, metodun Reynolds sayısı ile ilişkilendirilmemesi gerekir. Verilmiş olan bu ismin viskoz tabakada düşük olan türbülans Reynolds sayısını ifade etmektedir.

Çözümler, duvara çok yakın olan viskoz etkili alt tabakaya kadar genişletilmektedir. Düşük Reynolds yaklaşımı duvar yakınında çok ince bir ağ yapısı gerektirdiğinden düğüm sayısı fazladır. Bu sebeplerden dolayı duvar fonksiyonuna göre çözüm süreleri daha uzun ve çıktılarının boyutları daha fazladır. Yakın duvar bölgesindeki ani değişimleri yakalayabilmek için dikkatli bir şekilde modellenmesi gerekir. Bütün bu zorlukları gidermek adına CFX, duvar fonksiyonları ve düşük Reynolds tabakaları arasında doğruluk kaybı yaratmayan kademeli geçişler yapan otomatik duvar davranışını geliştirmiştir.

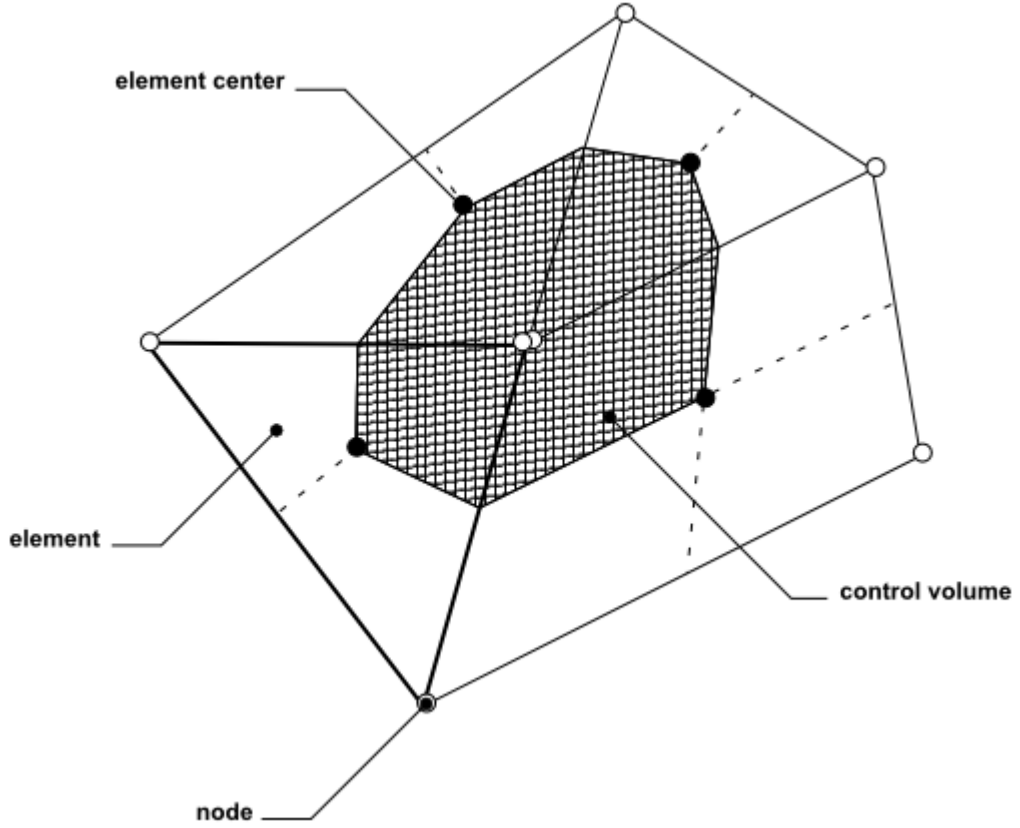
Duvar fonksiyonları, duvar etkilerini hesaplamamanın en bilinen yöntemleridir. CFX içerisinde  $\varepsilon$  tabanlı problemleri çözmek adına ölçeklendirilebilir duvar fonksiyonu,  $\omega$  tabanlı problemleri çözmek adına otomatik duvar fonksiyonu kullanılmaktadır (Anonim, 2012).

### 3.8. ANSYS CFX Programında Çözüm Metodu

ANSYS CFX programı sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem, ilgilenilen alan veya hacmi ağ şeklinde yapılara böler. Ardından bu ağ yapıları sonlu hacimleri oluşturarak ilgili yapılara kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri tanımlanır. Ağ yapısı 3 boyutludur. Fakat burada basitleştirmek için 2 boyutlu olarak ele alınacaktır.



Şekil 3.4 tipik bir iki boyutlu ağ yapısını göstermektedir. Tüm çözüm değişkenleri ve akışkan özellikleri nod adı verilen düğüm noktalarına tanımlanmaktadır. Taralı alan, kontrol hacmi olarak ifade edilir ve elemanların ağırlık merkezlerinin birleştirilmesiyle elde edilir.



Şekil 3.4. İki boyutlu ağ yapısı ve kısımları

Sonlu hacimler metodunu anlatmak için, kütle, momentum denklemleri Kartezyen koordinat sisteminde ifade edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j U_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu_{eff} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varphi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \varphi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_{eff} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \right) \right) + S_\varphi$$

Bu eşitlikler her bir kontrol hacmi için integre edilirler ve hacim integralleri iraksama ve gradyen operatörlerini de içerecek şekilde yüzey integrallerine Gauss Iraksama Teoremi kullanılarak dönüştürülürler. Eğer kontrol hacimleri zamanla deforme olmuyorsa, zaman türevleri hacim integrallerinin dışına alınır ve integre edilen eşitlikler aşağıdaki formları alırlar.

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_S \rho U_j dn_j = 0$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho U_i dV + \int_S \rho U_j U_i dn_j = - \int_S P dn_j + \int_S \mu_{eff} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) dn_j + \int_V S_{U_i} dV$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \varphi dV + \int_S \rho U_j \varphi dn_j = \int_S \Gamma_{eff} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \right) dn_j + \int_V S_\varphi dV$$

Bu denklemlerde V ve s sırasıyla hacim ve yüzey integrasyonunu ifade etmektedir.  $dn_j$  yüzey normaline dik olan komponenttir. Hacim ve yüzey integralleri ayrıştırıldıktan sonra, integral eşitlikleri aşağıdaki formları almaktadır.

$$V \left( \frac{\rho - \rho^0}{\Delta t} \right) + \sum_{ip} \dot{m}_{ip} = 0$$

$$\begin{aligned} V \left( \frac{\rho U_i \rho^0 U_i^0}{\Delta t} \right) + \sum_{ip} \dot{m}_{ip} (U_i)_{ip} \\ = \sum_{ip} (P \Delta n_i)_{ip} + \sum_{ip} \left( \mu_{eff} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \Delta n_j \right)_{ip} + \bar{S}_{U_i} V \end{aligned}$$

$$V \left( \frac{\rho \varphi \rho^0 \varphi^0}{\Delta t} \right) + \sum_{ip} \dot{m}_{ip} \varphi_{ip} = \sum_{ip} \left( \Gamma_{eff} \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \Delta n_j \right)_{ip} + \bar{S}_\varphi V$$

Bu denklemde  $\dot{m}_{ip}$  aşağıdaki denklemi içermektedir.

$$\dot{m}_{ip} = (\rho U_j \Delta n_j)_{ip}$$

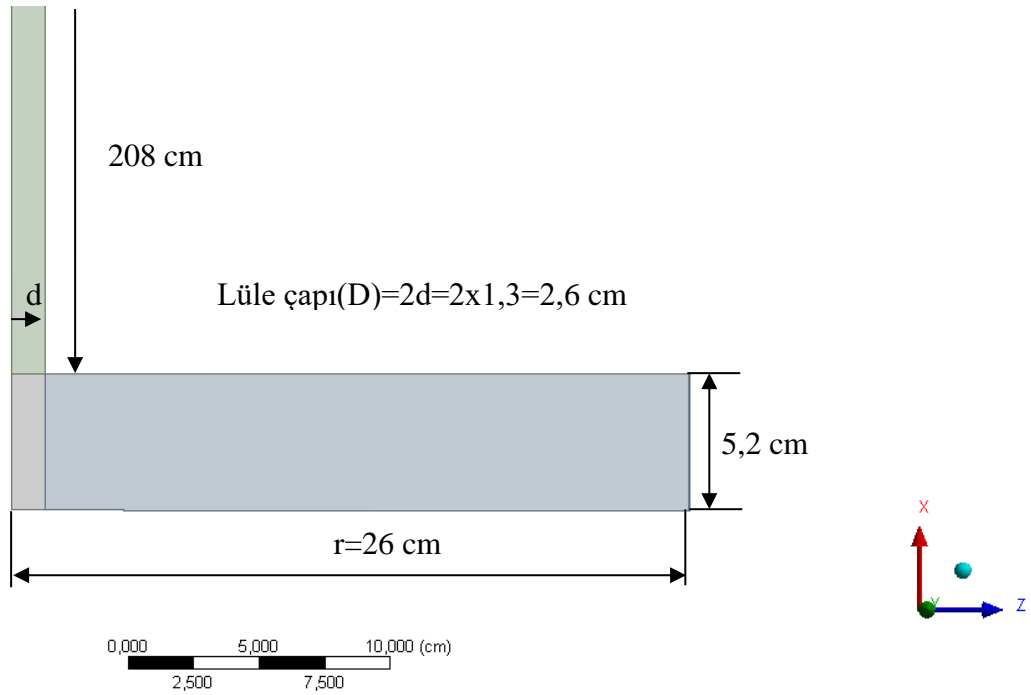
Yukarıdaki denklemlerde V kontrol hacmini,  $\Delta t$  zaman adımını,  $\Delta n_j$  yüzey vektörünü ve  $ip$   $\varepsilon$  integrasyon noktalarını ifade etmektedir (Anonim, 2012).

### 3.9. Doğrulama (Validasyon) Çalışması

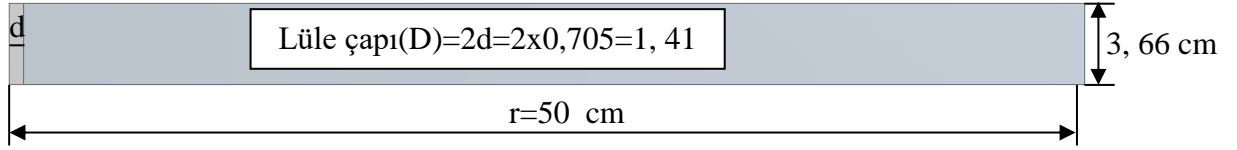
Çarpan hava jetinde kullanılan geometrilerin ısı transferi üzerindeki etkileri üzerine araştırma yapmadan önce, literatürde deneyleri yapılmış test düzenekleri üzerinde doğrulama çalışmalarının yapılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, hangi türbülans modelinin kullanılması gerektiği tespit edilecektir. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, Reynolds Ortalamalı türbülans modellerinden k-ε, RNG k-ε, Standart k-ω ve SST modelleri karşılaştırılmıştır.

#### 3.9.1. Validasyon simülasyonları için kullanılan geometriler

Bu çalışmalarda iki farklı sınır koşuluna sahip modeller kullanılmıştır. Bunlardan biri sabit ısı akıllı bir yüzey üzerine  $H/D=2$  oranına sahip sınırlandırılmamış yani lüle çıkış hızı atmosfer basıncına açık düz bir boru şeklindeki geometriye sahip literatürde Del Frote'nin(2011) test düzeneği olarak bilinen Şekil 3.5'de gösterilen geometridir. Bir diğer geometri ise Şekil 3.6'da gösterilen sabit yüzey sıcaklığına sahip bir yüzeye  $H/D=2.6$  olan, lüle çıkış hızı bir plaka ile sınırlandırılmış düz bir boru şeklinde bir geometriye sahip literatürde Van Heiningen (1982) olarak bilinen geometridir. Bu geometriler ile ilgili detaylı bilgiler sonraki kısımlarda verilecektir.



Şekil 3.5. Del Frote Geometrisi ve test düzeneğinde kullanılan boyutlar



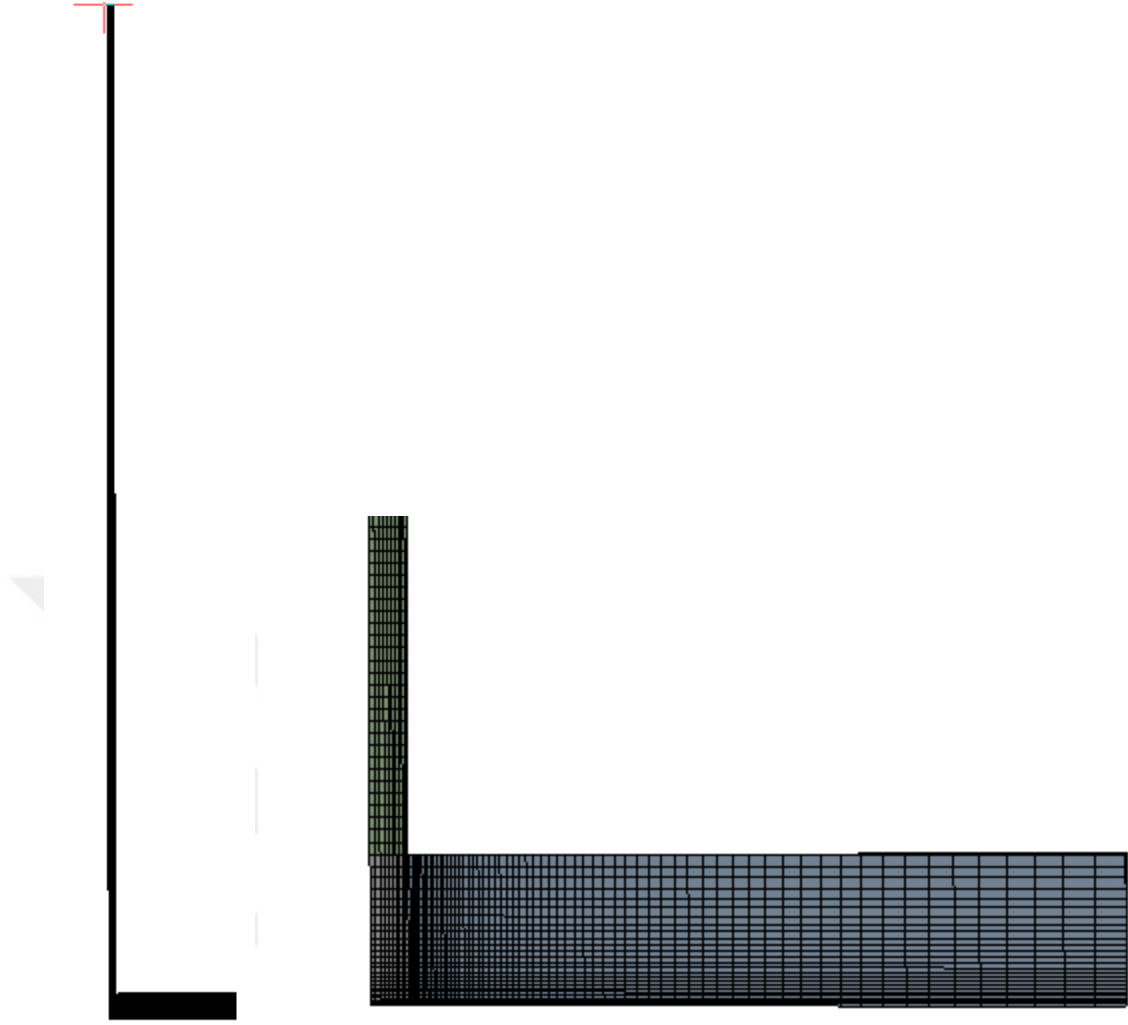
**Şekil 3.6.** Van Heiningen geometrisi ve test düzeneğinde kullanılan boyutlar

### 3.9.2. Del Frote geometrisine ait doğrulama çalışması işlem adımları

Nümerik bir çalışma yapılması söz konusu olduğunda ağ yapıları çok büyük bir önem taşımaktadır. Çünkü ağ yapılarının sınır tabakaya yakın olan bölgelerde sık veya seyrek olması sonuçların değişmesine yol açacaktır. Gerçek şudur ki; sınır tabaka bölgesinde ne kadar sık ağ yapısı oluşturulursa yani genel olarak eleman sayısı arttırılırsa o kadar gerçek sonuçlara yaklaşması beklenmektedir. Ancak bu nümerik yöntemlerde, her problem tanımı ile değişmekle birlikte, eleman sayısı belli bir değeri geçtikten sonra elde edilen sonuç değişmemektedir. Bu duruma ağdan bağımsız sonuç elde etme işlemi denir. Bu nedenle bu doğrulama çalışmalarında ağdan bağımsızlık araştırması yapılmıştır.

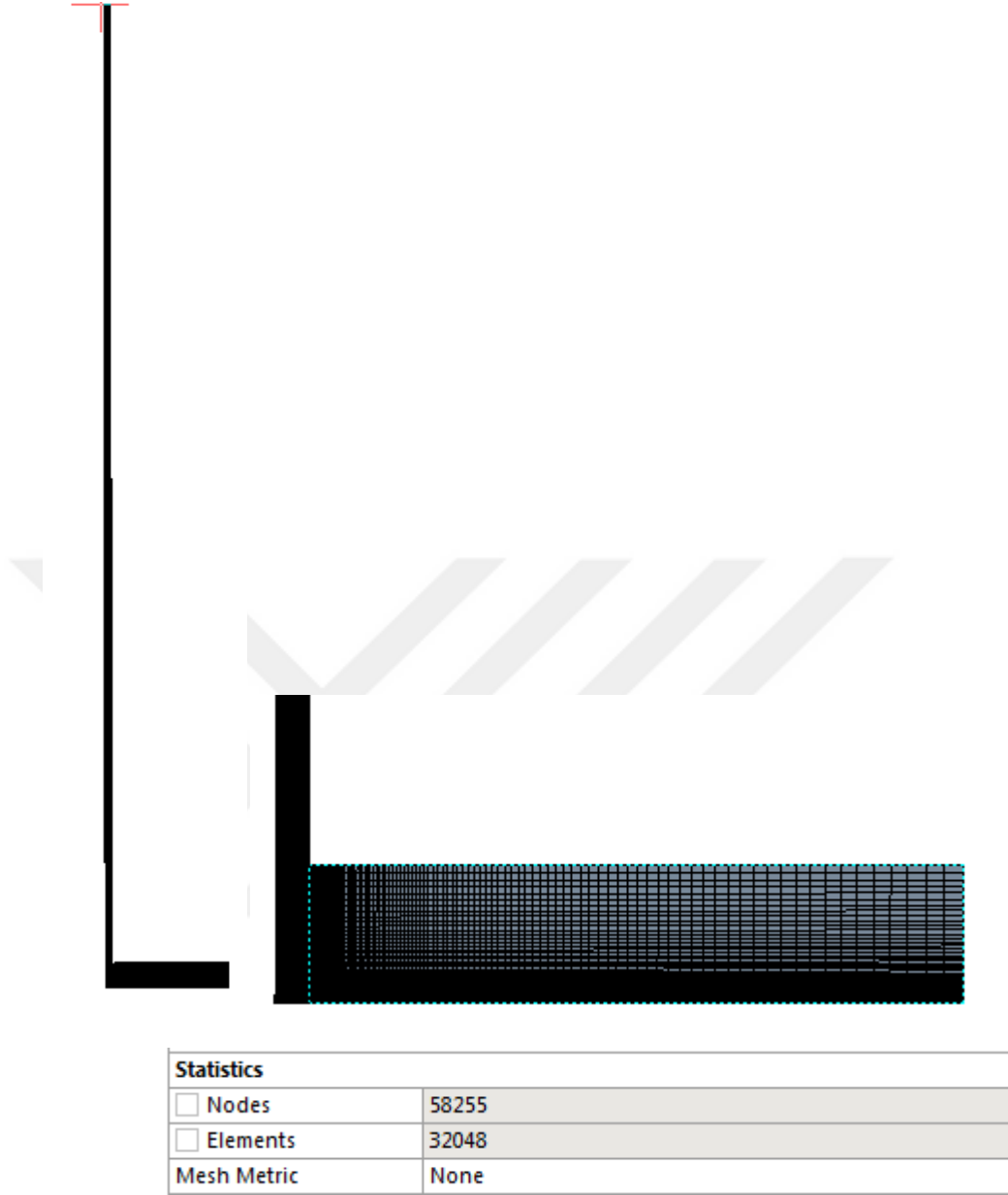
#### a) Del Frote geometrisi ağ yapıları

Daha önceki kısımlarda da belirtildiği üzere bu geometri, lüle çıkışının atmosfer basıncına açık olduğu geometridir. Bu geometri ile  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modelleri için farklı  $k-\omega$  ve SST türbülans modelleri için farklı ağ yapıları kullanılmıştır. Bunun sebebi ise  $k-\omega$  ve SST türbülans modelinde sınır tabakada çok sık ağ yapısı kullanıldığında  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modellerinde sonuç elde edilememesidir. Ayrıca her bir ağ yapısı kendi içinde kaba, orta ve sık olarak sınıflandırılmıştır. Belirtilen ağ yapılarına ait şekiller, hangi türbülans modellerinde kullanıldıkları ve eleman sayıları ile ilgili bilgiler Şekil 3.7'den Şekil 3.12'ye kadarki olan şekillerde görülmektedir.

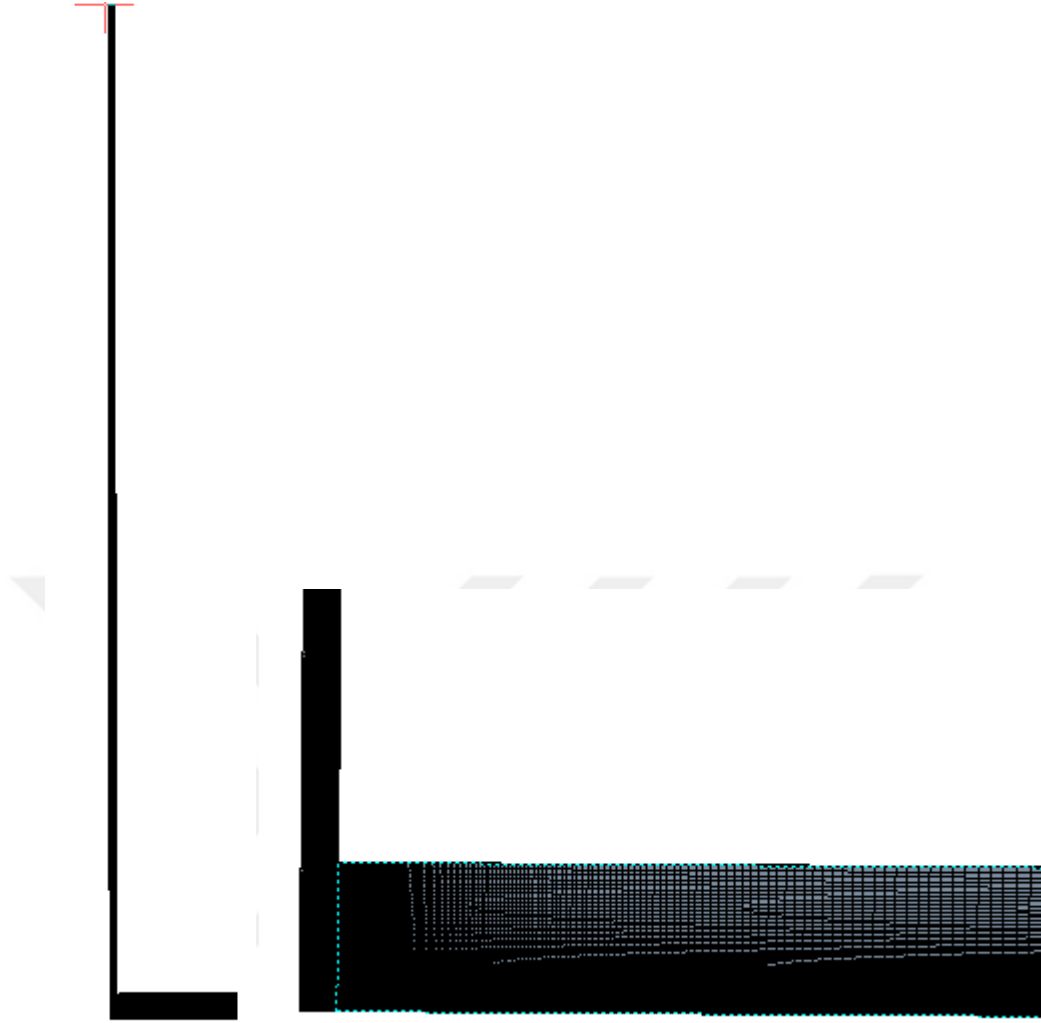


Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	17168
<input type="checkbox"/> Elements	9550
Mesh Metric	None

**Şekil 3.7.**  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları

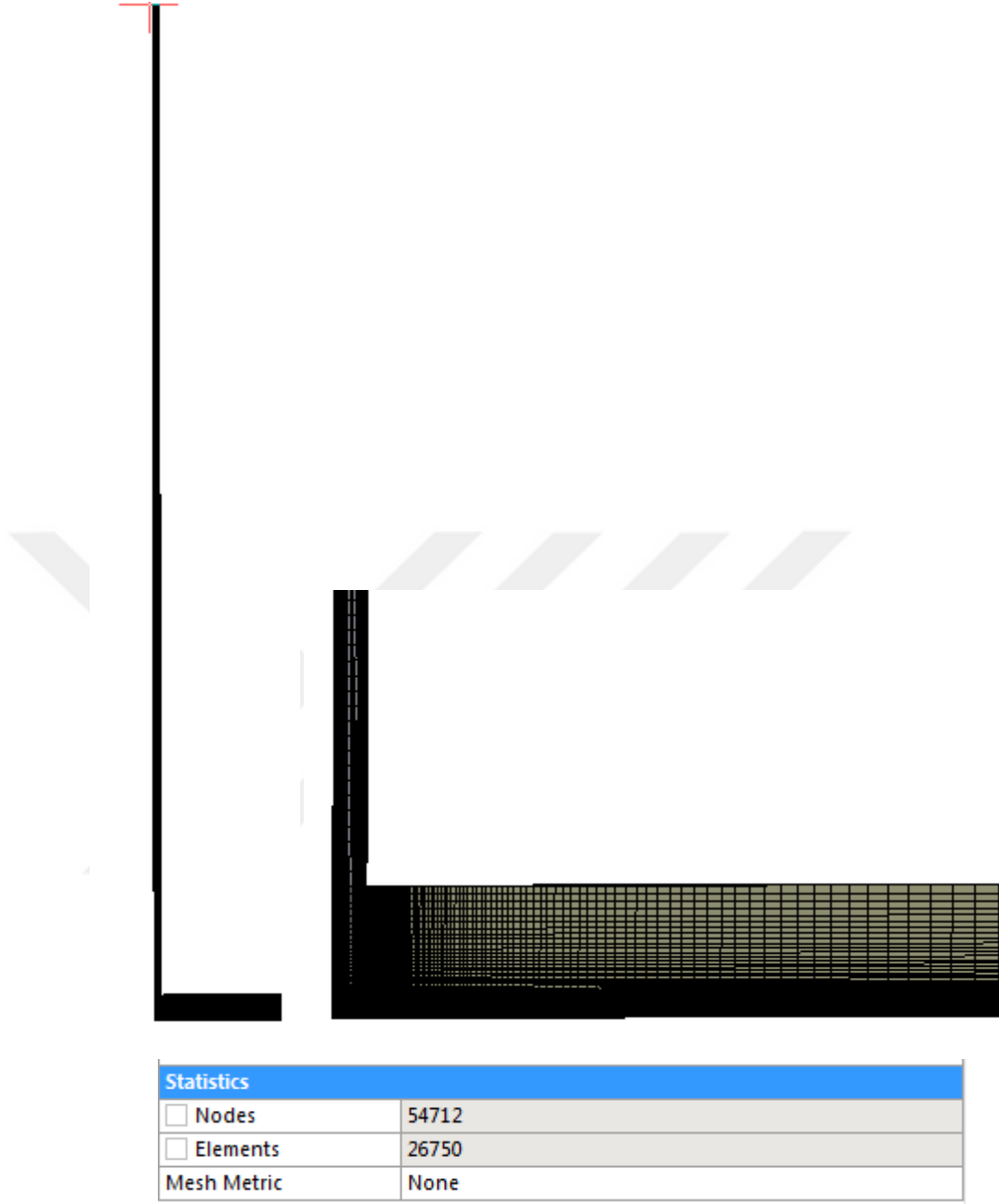


**Şekil 3.8.**  $k$ - $\epsilon$  ve RNG  $k$ - $\epsilon$  türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları



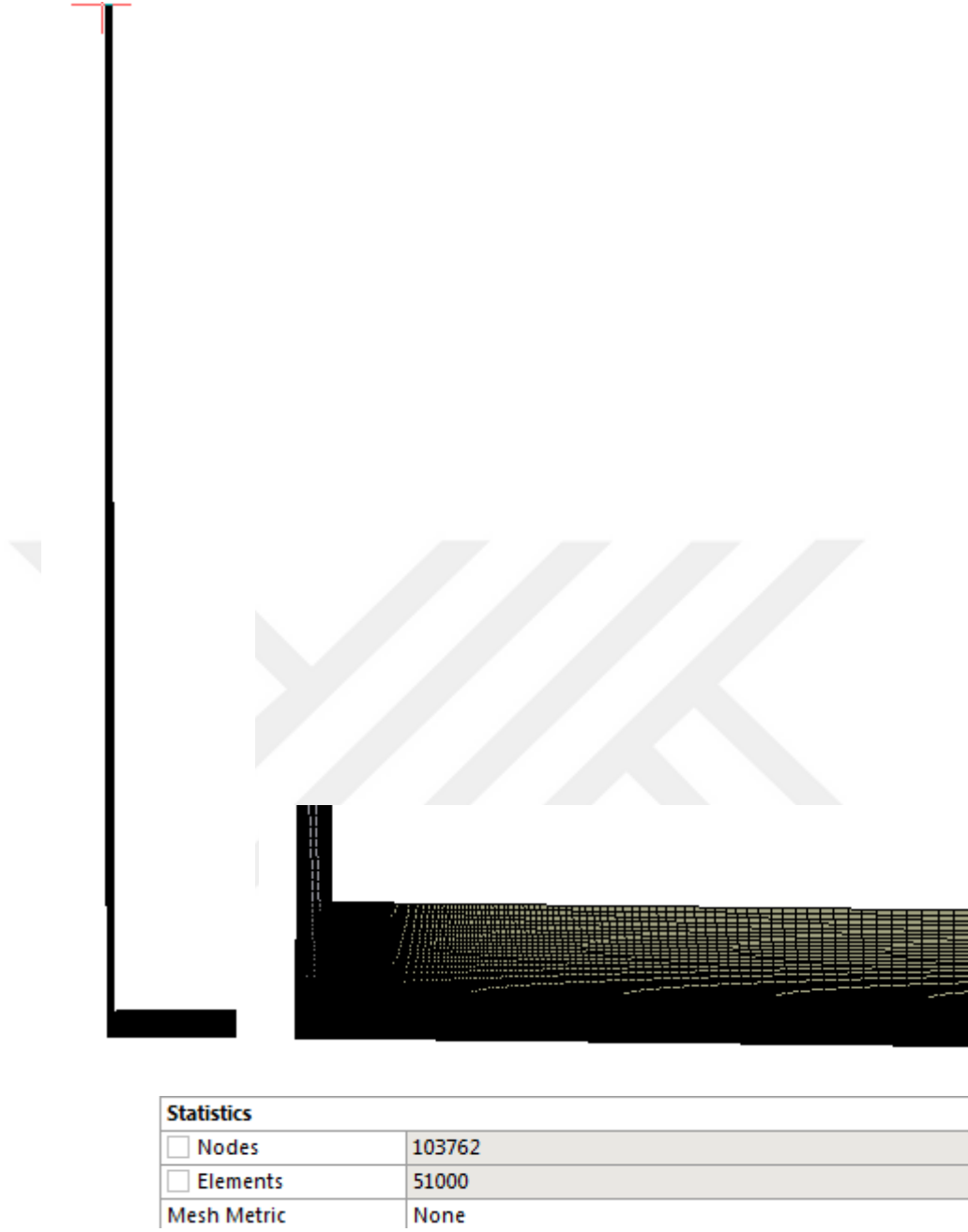
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	104343
<input type="checkbox"/> Elements	58560
Mesh Metric	None

**Şekil 3.9.**  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları

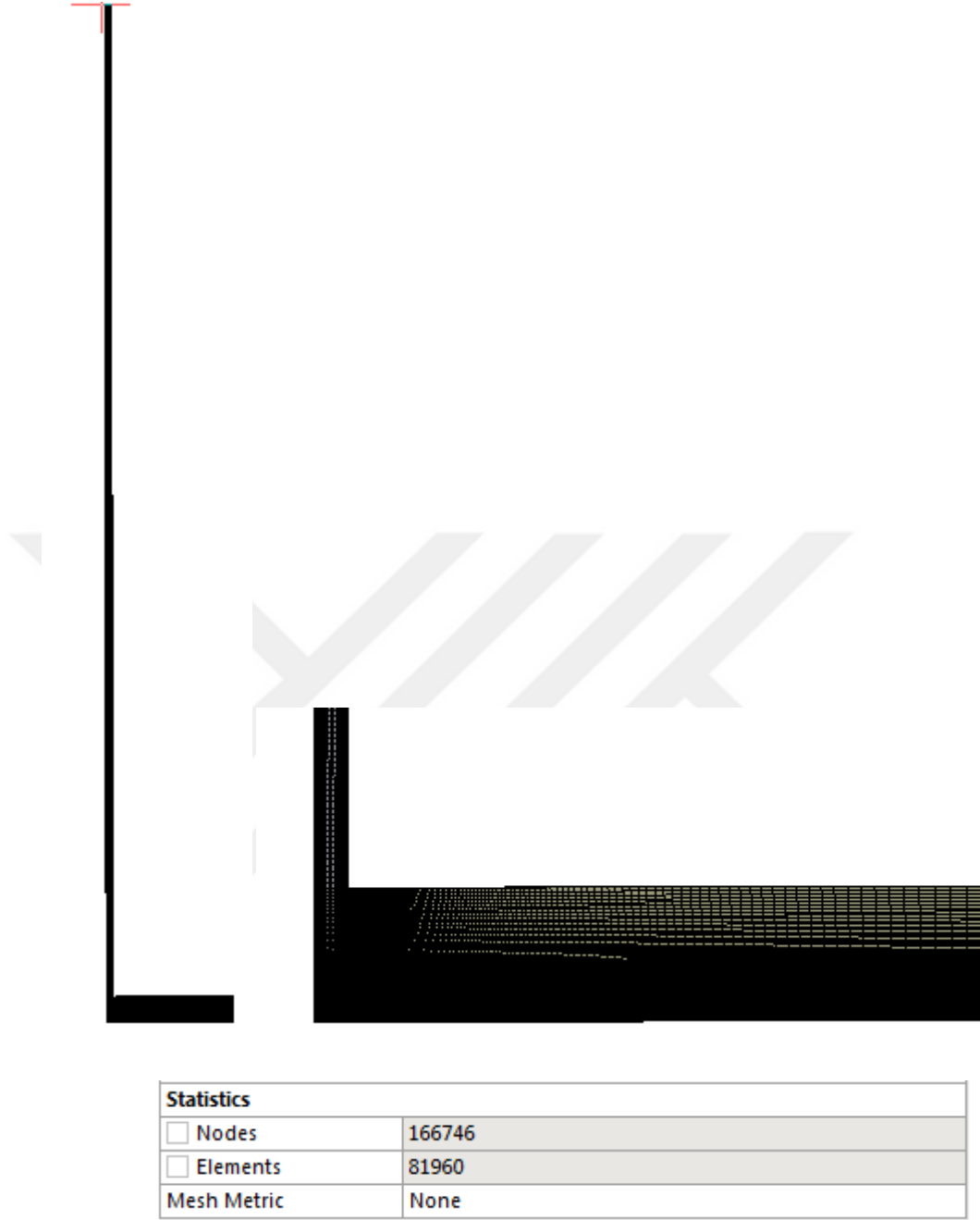


**Şekil 3.10.**  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları





**Şekil 3.11.**  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları

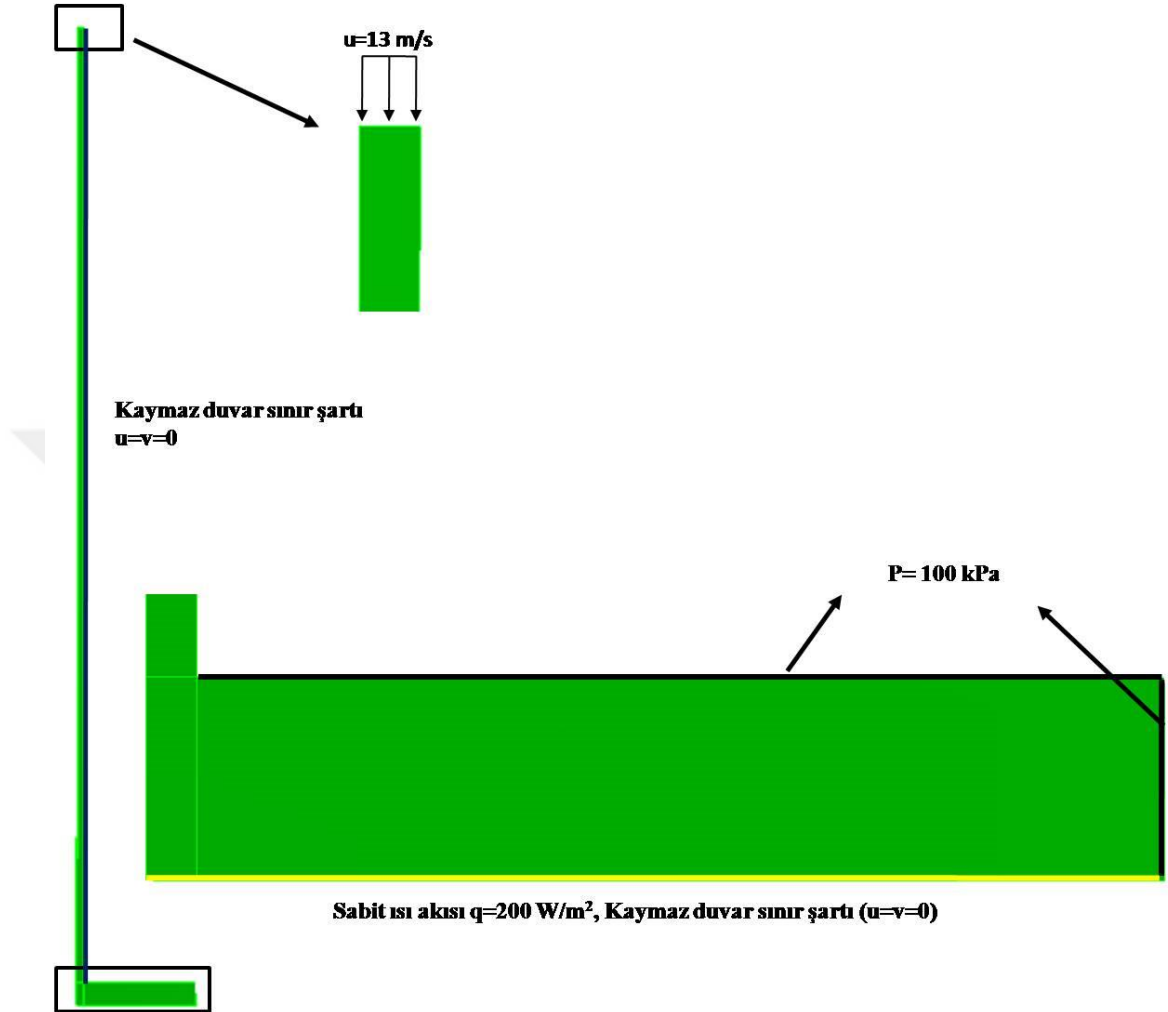


**Şekil 3.12.**  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları

#### b) Del Frote geometrisi sınır koşulları ve kullanılan havanın özellikleri

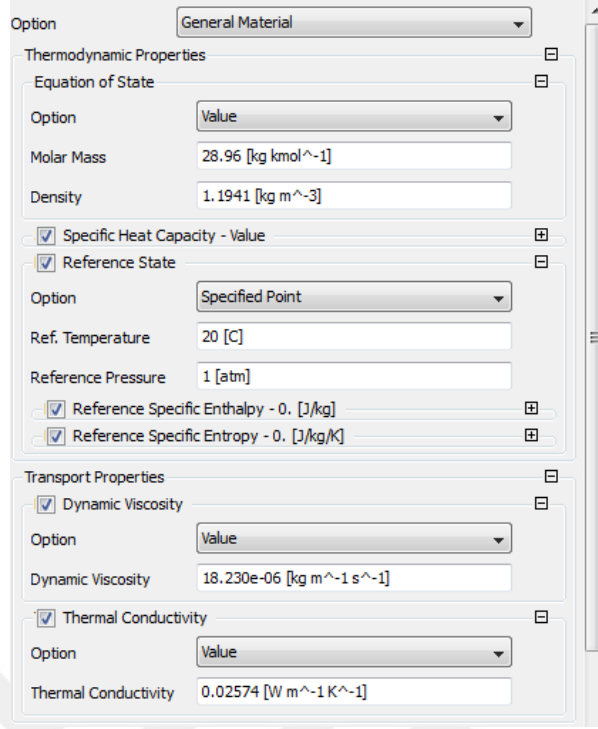
Kullanılan geometri aksisimetrik bir geometridir. 2 boyutlu olarak çözümlenebilmesi mümkündür. Ancak ANSYS CFX yazılımında bu tip problemler 2 boyutlu değil 3 boyutlu çözümlenebilmektedir. Bu problemi sanki 2 boyutlu gibi çözebilmek adına bu simülasyonlarda kalınlık diğer boyutlara göre çok küçük bir parça olarak alınmıştır.

Kalınlık değeri 1 mm olup tek sıra eleman ile geçilerek problem çözülmüştür. Şekil 3.13’de bu simülasyon için uygulanmış sınır koşulları görülmektedir.



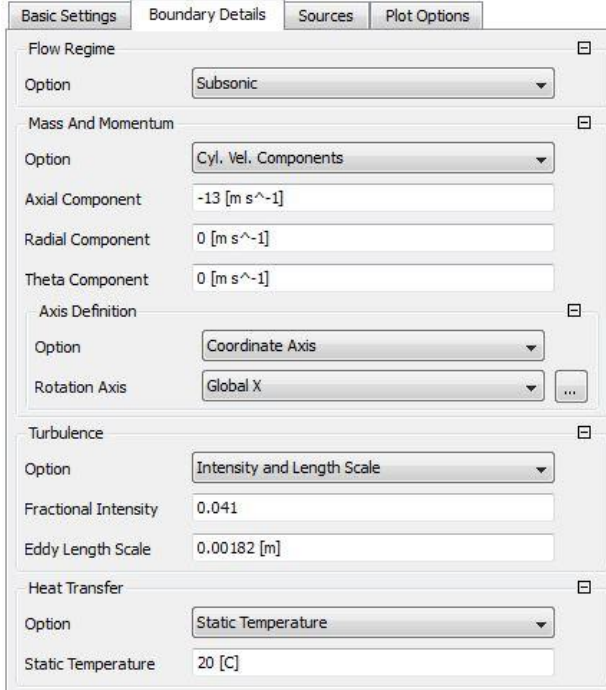
**Şekil 3.13.** Del Frote Geometrisi sınır koşulları

Bu simülasyonda kullanılan akışkan 293K’de hava olup termofiziksel özellikleri Şekil 3.14’deki gibi CFX’e tanıtılmıştır.



**Şekil 3.14.** 293 K sıcaklığa sahip havanın termofiziksel özellikleri

Ayrıca havaya ait olan RANS türbülans modelleri ve bu modellere ait olan duvar fonksiyonları Şekil 3.15’de görüldüğü gibidir.



**Şekil 3.15.** Kullanılan giriş hız sınır şartı

Önceki kısımlarda da anlatıldığı üzere k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modelleri ölçeklenebilir duvar fonksiyonu kullanırken k- $\omega$  ve SST türbülans modelleri ise otomatik duvar fonksiyonu kullanmaktadır.

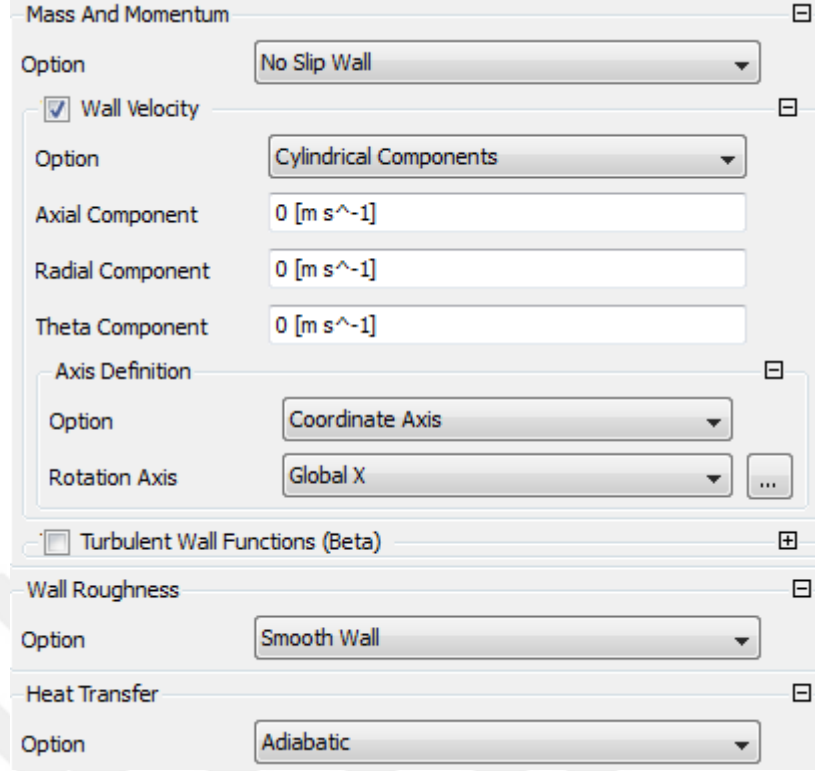
Şekilden de görüleceği üzere 100 kPa basınca sahip bölgeler CFX içinde açıklık(opening) olarak tanımlanmış olup bu sınır şartına sahip olan bölgelerin özellikleri Şekil 3.16'daki gibi tanımlanmıştır. Bu açıklık sınır şartında, türbülans şiddeti, yapılan test esnasında 0,041 olarak tespit edilmiş olup uzunluk ölçeği de 0,00182 m olarak hesaplanmıştır.

The image shows a screenshot of the CFX software interface for setting boundary conditions. The settings are as follows:

- Flow Regime:** Subsonic
- Mass And Momentum:** Opening Pres. and Dirn
- Relative Pressure:** 0 [atm]
- Flow Direction:** Normal to Boundary Condition
- Loss Coefficient:** (unchecked)
- Turbulence:** Intensity and Length Scale
- Fractional Intensity:** 0.041
- Eddy Length Scale:** 0.00182 [m]
- Heat Transfer:** Opening Temperature
- Opening Temperature:** 20 [C]

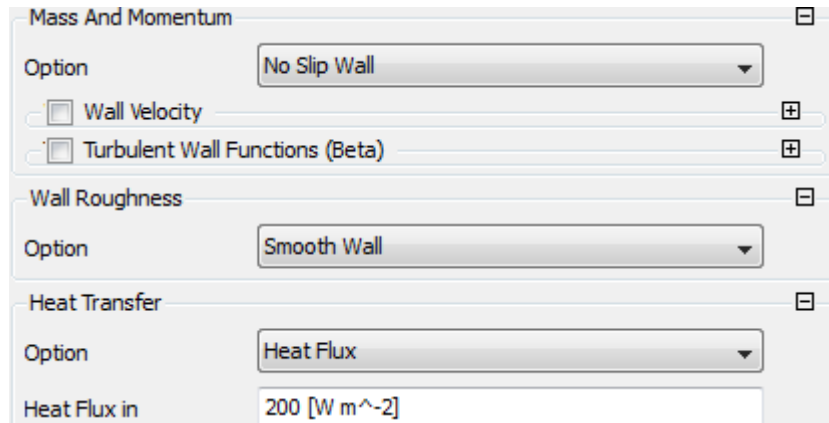
**Şekil 3.16.** Açıklık sınır şartı

Uzun cidar içerisinde geçen akışkanın cidar ile temas ettiği bölgeler kaymaz duvar şartı olarak tanımlanmış olup özellikleri Şekil 3.17'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.



**Şekil 3.17.** Uzun cidar içerisindeki akışkanın cidar ile temas ettiği bölgedeki kaymaz duvar sınır şartına ait olan sınır koşulu

Hava jetinin çarptığı yüzey, kaymaz duvar koşulu ve sabit ısı akılı olarak Şekil 3.18’deki gibi tanımlanmış olup değeri  $200 \text{ W/m}^2$ ’dir.



**Şekil 3.18.** Hava jetinin çarptığı yüzeye ait olan sınır koşulu

Diğer yüzeylerin tamamı simetri sınır koşuluna sahiptir.

### c) Del Frote geometrisi sonuçları

Çarpan hava jetinin sonuçları değerlendirilirken  $y^+$  değeri ve Nu sayısı değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi çizdirilir ve ayrıca Nu sayısı değişimi test sonuçları ile kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilir.

$r/D$ : Hava jetinin çarptığı yüzeyin uzunluğunun lüle çapına oranı

#### c1) Del Frote geometrisi ağdan bağımsızlık sonuçları

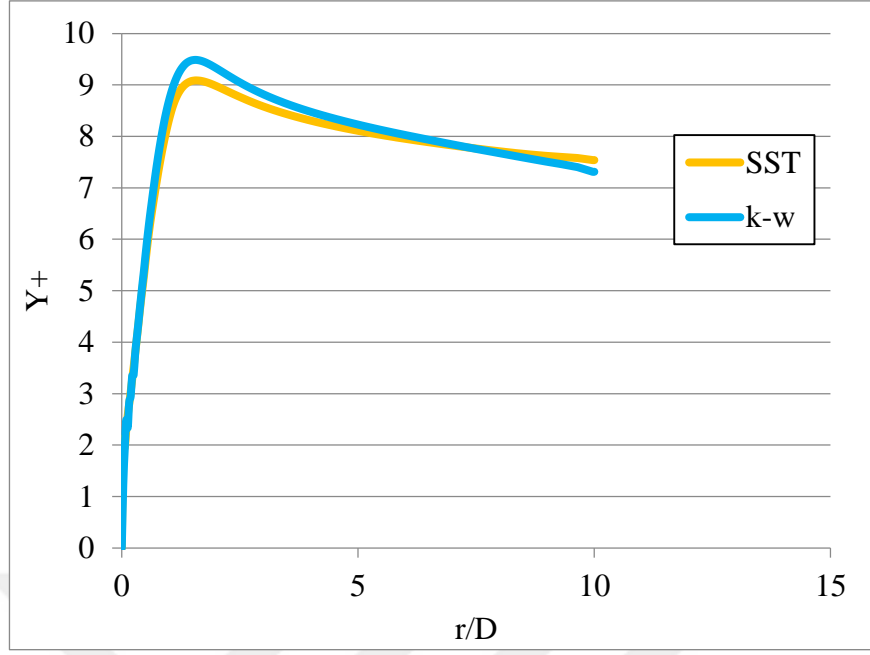
Ağdan bağımsızlık sonuçlarının değerlendirilmesi için kaba, orta ve sık ağ yapılı geometrilerin  $y^+$  değeri ve Nu sayısı değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir.

#### c2) Del Frote geometrisi $y^+$ değerlerinin sonuçları

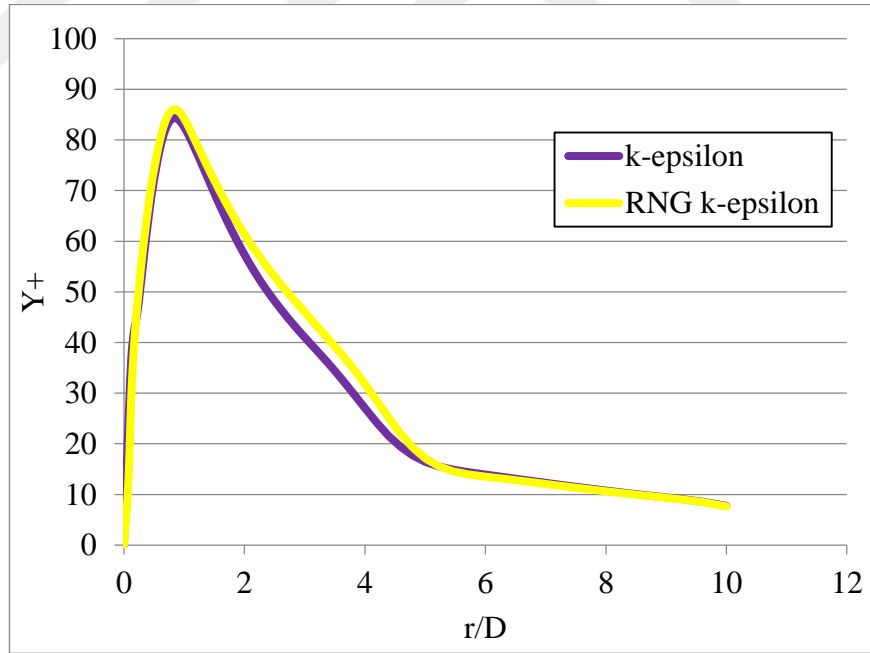
Simülasyonlar yapıldıktan sonra, seçilen türbülans modellerinin yeterli hassasiyette çözdüğünü anlayabilmek adına, her bir ağ yapısı için  $y^+$  değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değerleri kontrol edilmiş ve her bir türbülans modeli için yüzey boyunca değişimi incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda otomatik duvar fonksiyonu kullanan  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde  $y^+ < 2$  olması hatta olabiliyorsa ısı transferi problemlerinde  $y^+ < 1$  olması beklenmektedir. Ölçeklendirilebilir duvar fonksiyonu çözen  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinde  $y^+ > 10$  olması beklenmektedir. Bu bilgiler ışığında kaba, orta ve sık ağ yapıları için  $y^+$  değerleri sırasıyla Çizelge 3.3'den Çizelge 3.5' e kadar olan çizelgelerde ve dağılımları da Şekil 3.19 ile Şekil 3.24 arasındaki şekillerde belirtilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisi  $y^+$  değerleri

	Kaba Ağ Yapılı Del Frote Geometrisi		
	Maksimum $Y^+$	Ortalama $Y^+$	Minimum $Y^+$
k-epsilon	84,3	29,4	9,85E-6
k-w	9,5	7,9	1,89E-4
RNG k-epsilon	86,0	30,9	6,76E-6
SST	9,1	7,8	4,34E-5



**Şekil 3.19.** Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi

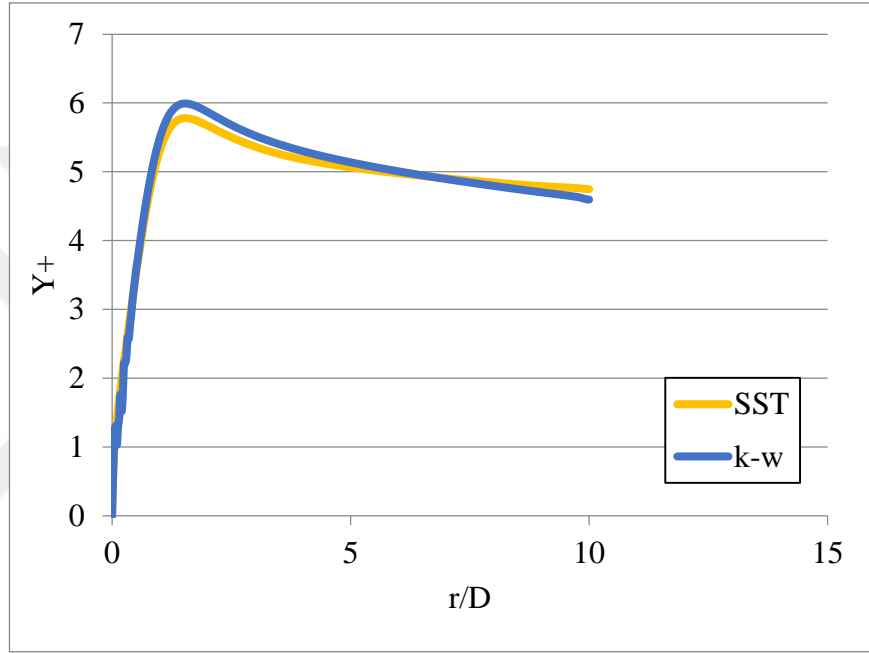


**Şekil 3.20.** Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi

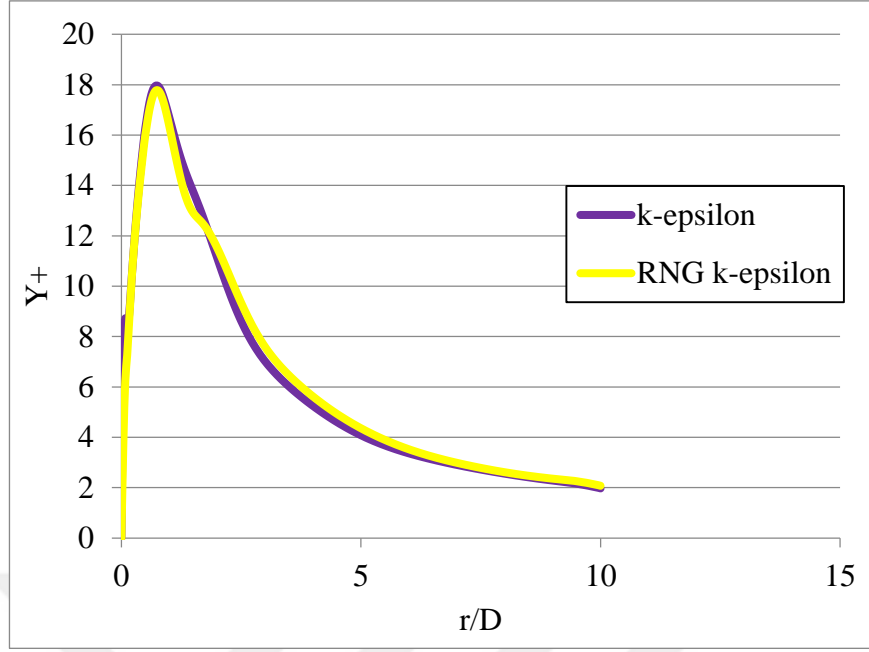


**Çizelge 3.4.** Orta ağ yapılı Del Frote geometrisi  $y^+$  değerleri

	Orta Ağ Yapılı Del Frote Geometrisi		
	Maksimum $Y^+$	Ortalama $Y^+$	Minimum $Y^+$
k-epsilon	18,0	18,0	2,61E-6
k-w	6,0	6,0	1,39E-5
RNG k-epsilon	17,8	17,8	2,50E-6
SST	5,8	5,8	1,12E-5



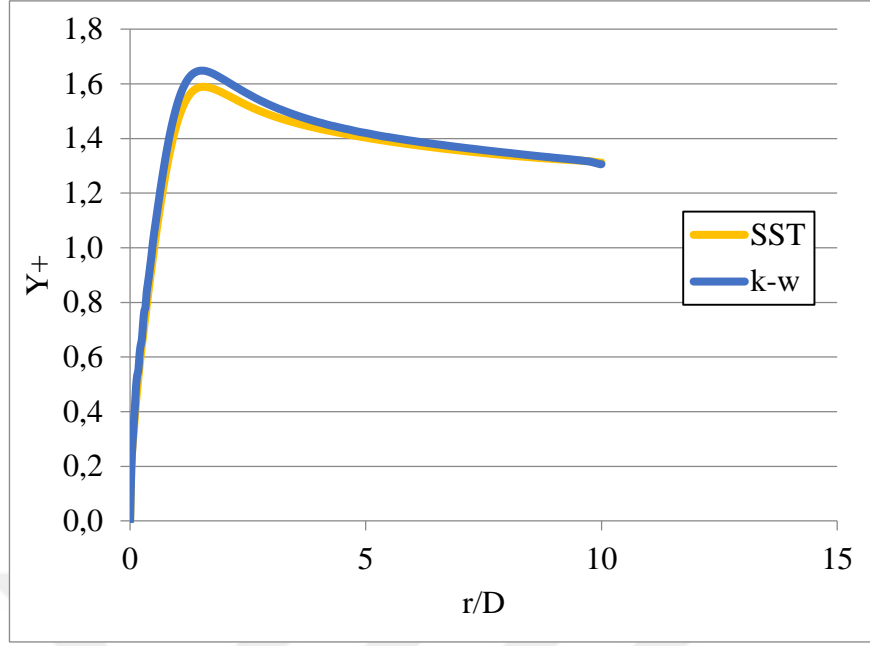
**Şekil 3.21.** Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi



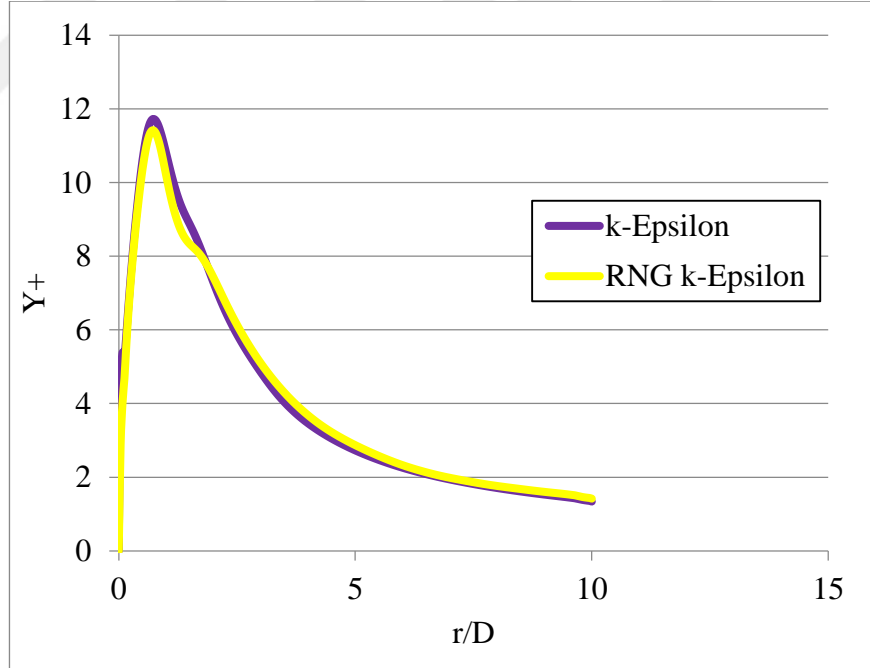
**Şekil 3.22.** Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi

**Çizelge 3.5.** Sık ağ yapılı Del Frote geometrisi  $y^+$  değerleri

	Sık Ağ yapılı Del Frote Geometrisi		
	Maksimum $Y^+$	Ortalama $Y^+$	Minimum $Y^+$
k-epsilon	11,7	11,7	1,55E-6
k-w	1,6	1,6	9,45E-7
RNG k-epsilon	11,4	11,4	1,67E-6
SST	1,6	1,6	4,94E-7



**Şekil 3.23.** Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi

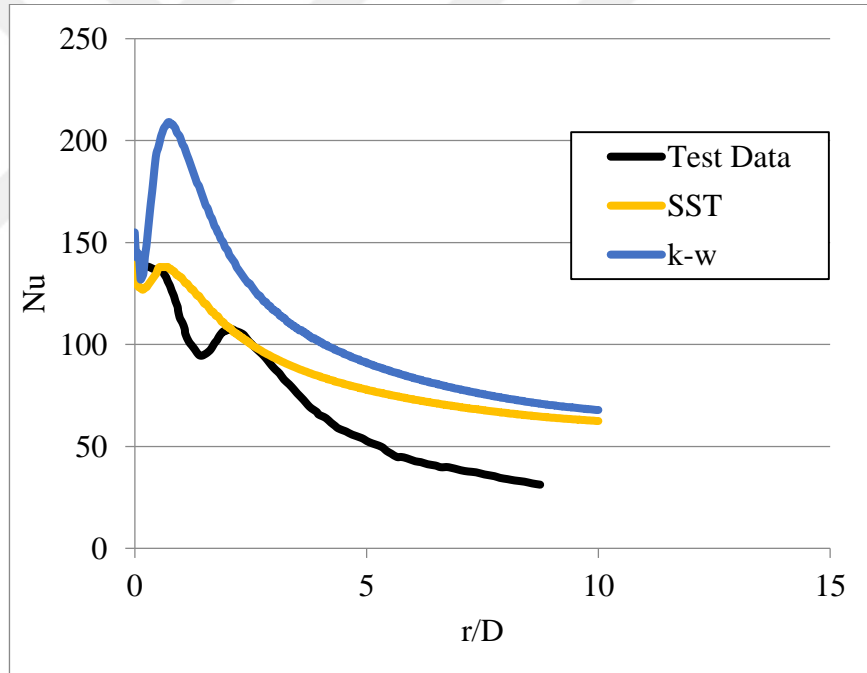


**Şekil 3.24.** Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi

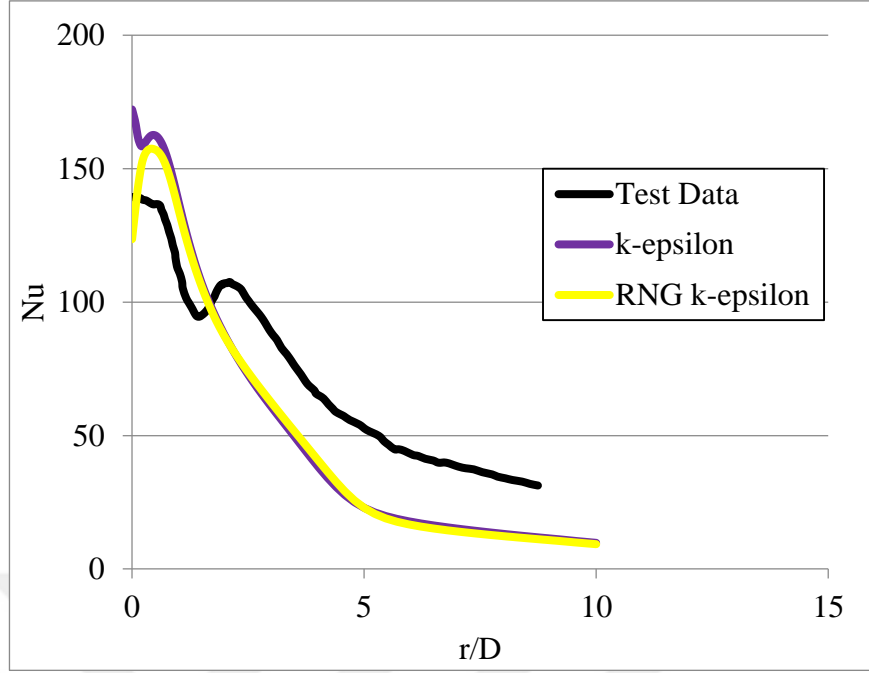
Yukarıdaki grafikler ve tablolardan görülebileceği üzere, kullanılan ağ sayısı arttıkça  $y^+$  değerlerinde düşüşler gözlenmektedir. Bu grafiklerden, otomatik duvar fonksiyonu kullanan SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinde  $y^+$  değerleri sık ağ yapısı kullanıldığında 2'nin altına düşmüş ve istenen  $y^+$  şartını sağlamıştır.  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinde ise bütün ağ yapılarında  $y^+$  şartını sağlamıştır.

### c3) Del Frote geometrisi Nusselt sayısı dağılımı sonuçları

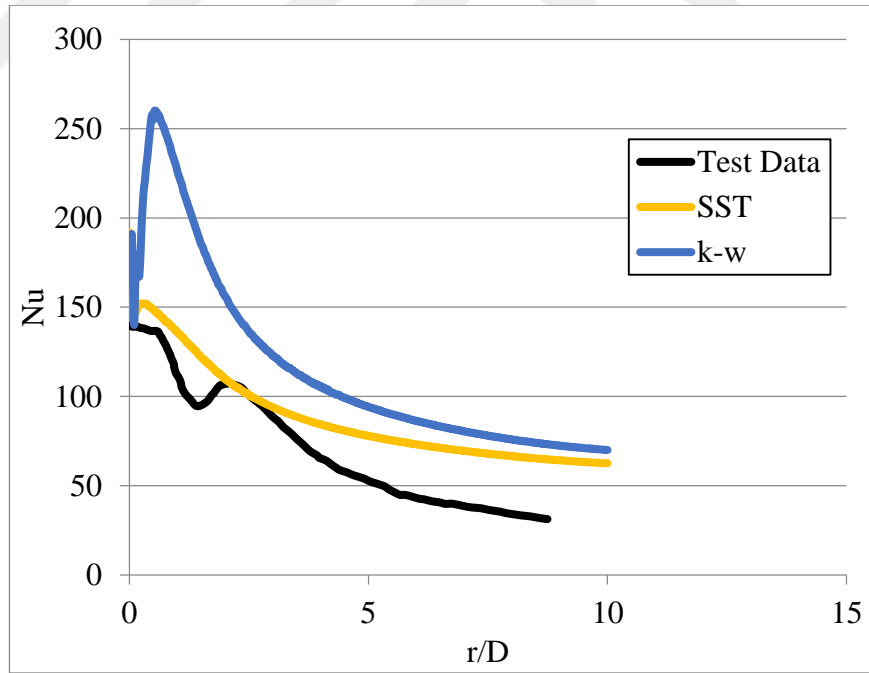
Yapılan bu nümerik çalışmada, her ne kadar  $y^+$  şartı sağlanmış olsa da aynı zamanda test sonuçları ile de uyumluluğu kontrol edilmelidir. Bu nedenle, Del Frote geometrisinin sonucundan elde edilen Nu sayısının dağılımı ile her bir ağ yapısından elde edilmiş olan Nu sayısı dağılımı sonuçları Şekil 3.25 ile Şekil 3.30 arasında çizdirilerek karşılaştırılmıştır.



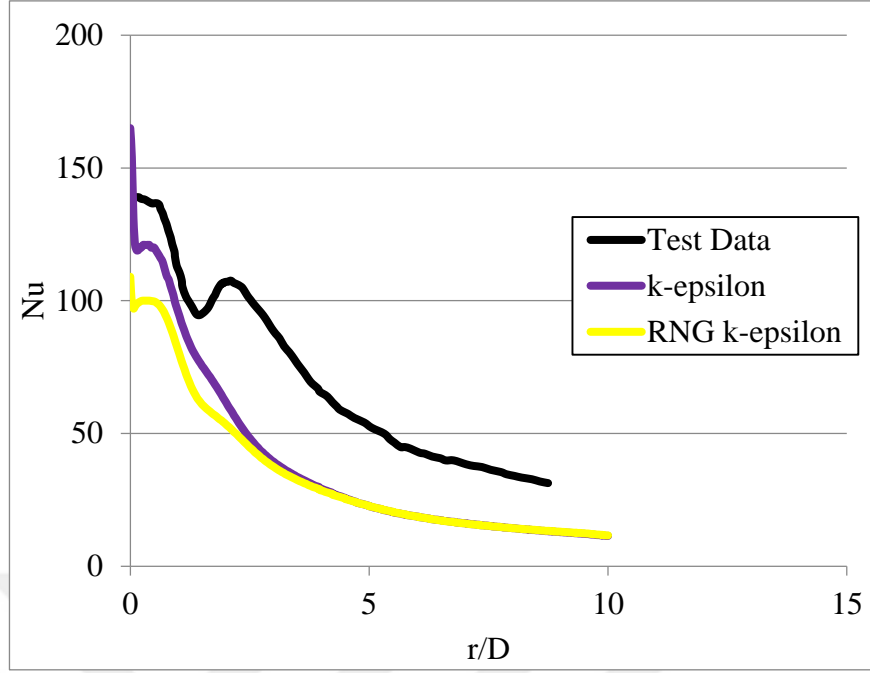
**Şekil 3.25.** Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



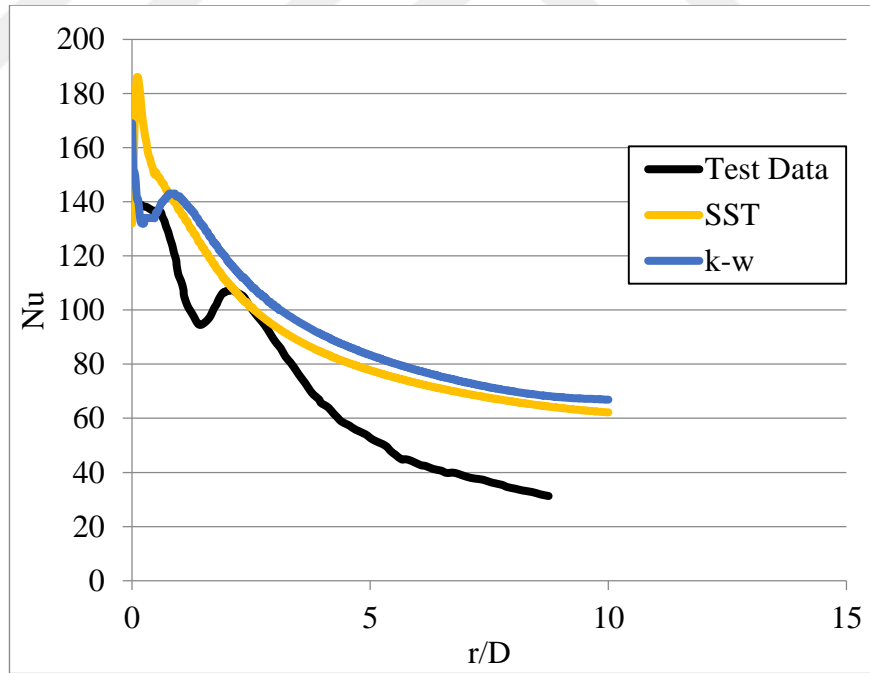
**Şekil 3.26.** Kaba ağ yapılı Del Frote geometrisine ait  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



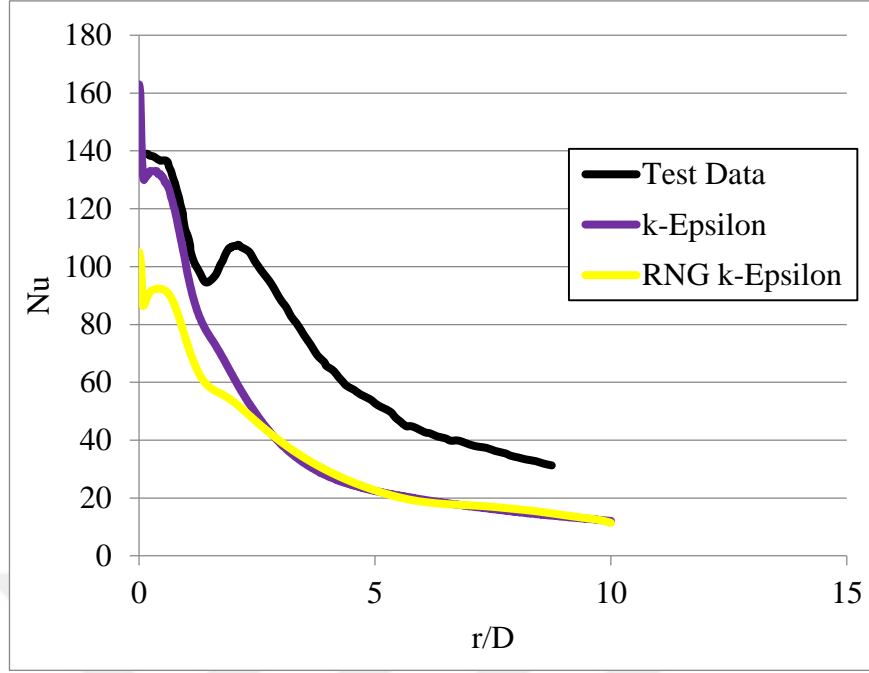
**Şekil 3.27.** Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



**Şekil 3.28.** Orta ağ yapılı Del Frote geometrisine ait  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



**Şekil 3.29.** Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



**Şekil 3.30.** Sık ağ yapılı Del Frote geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması

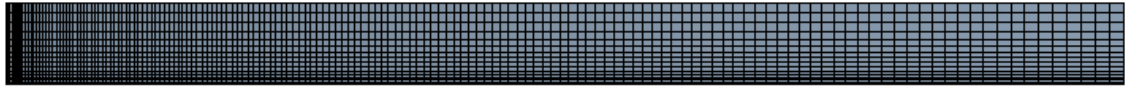
Daha önceki kısımda da belirtildiği üzere, sadece  $y^+$  değeri şartının sağlanması yeterli olmamaktadır. Örneğin; ölçeklendirilebilir duvar fonksiyonuna sahip olan k-ε ve RNG k-ε türbülans modeli tüm ağ yapılarında istenen  $y^+$  değeri şartını sağlamasına rağmen, Nu sayısı dağılımında test sonuçları ile uyumlu olmadığı ve istenen ikincil tepe noktasını hiçbir koşulda sağlayamadığı görülmüştür. Dolayısıyla böyle bir problem için kullanılması mümkün olmayan türbülans modelleri oldukları görülmüştür. Yine aynı düşünce tarzı ile otomatik duvar fonksiyonu kullanan SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinde yalnızca sık ağ yapısı kullanıldığında  $y^+$  kriteri sağlanabilmektedir. Bu durumdaki Nu sayısı dağılımları incelendiğinde k- $\omega$  türbülans modelinde ikincil tepe noktasının görüldüğü gözlemlenmiştir. Ancak bu ikincil tepe noktasının konumu ile şiddeti test datası ile uyumlu değildir.

### 3.9.3. Sınırlandırılmış Van Heiningen geometrisine ait doğrulama çalışması işlem adımları

Del Frote geometrisinin işlem adımları Van Heiningen geometrisine de aynı şekilde uygulanmıştır. Bu geometride de yine ağdan bağımsızlık çalışması yapılmış ve simülasyon sonuçları  $y^+$  kriterleri ve Nu sayıları test sonuçları ile kıyaslanmıştır.

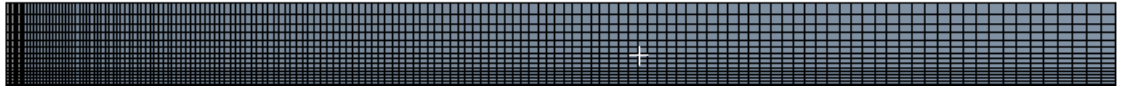
#### a) Van Heiningen geometrisi ağ yapıları

Daha önceki kısımlarda da belirtildiği üzere bu geometri, lüle çıkışının atmosfer basıncına açık olduğu geometridir. Bu geometri ile  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modelleri için farklı  $k-\omega$  ve SST türbülans modelleri için farklı ağ yapıları kullanılmıştır. Bunun sebebi ise  $k-\omega$  ve SST türbülans modelinde sınır tabakada çok sık ağ yapısı kullanıldığında  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modellerinde sonuç elde edilememesidir. Ayrıca her bir ağ yapısı kendi içinde kaba, orta ve sık olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 3.31 ile Şekil 3.36 arasındaki resimlerde bu geometri için kullanılmış olan ağ yapılarının görünüşleri, hangi türbülans modellerinde kullanıldıkları ve eleman sayıları görülmektedir.



Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	5152
<input type="checkbox"/> Elements	2400
Mesh Metric	None

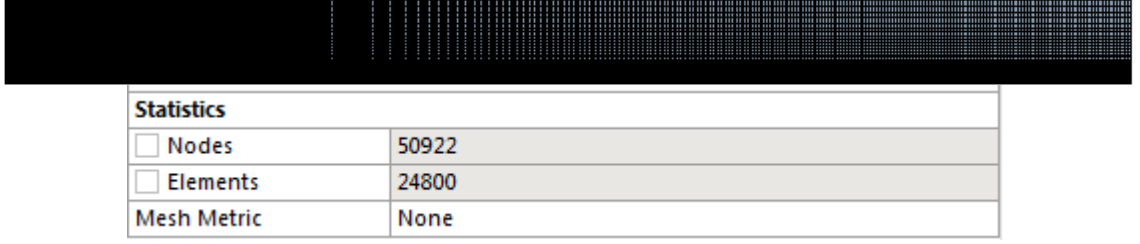
Şekil 3.31.  $k-\varepsilon$  ve RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları



Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	5056
<input type="checkbox"/> Elements	2355
Mesh Metric	None

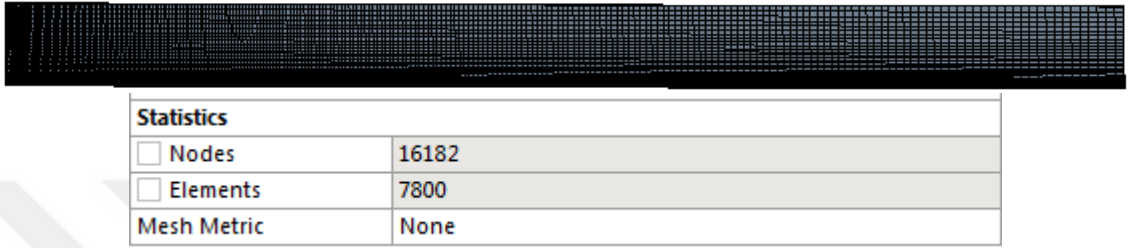
Şekil 3.32.  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan kaba elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları





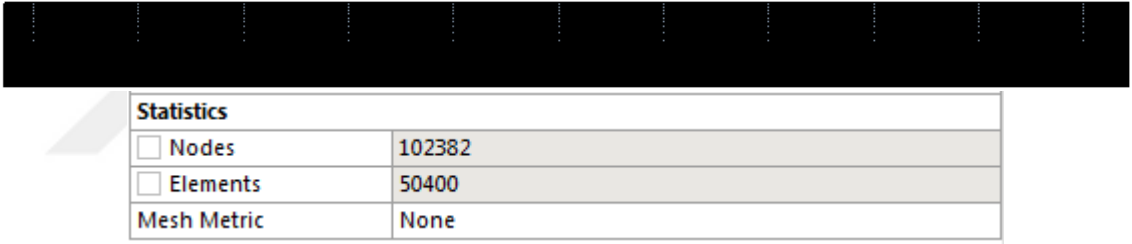
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	50922
<input type="checkbox"/> Elements	24800
Mesh Metric	None

**Şekil 3.33.**  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları



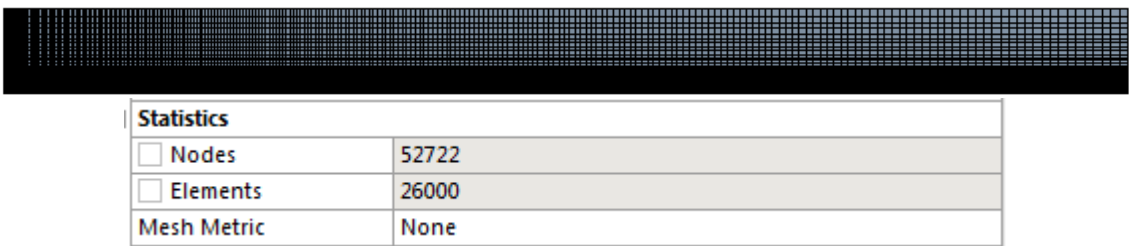
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	16182
<input type="checkbox"/> Elements	7800
Mesh Metric	None

**Şekil 3.34.**  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan orta elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları



Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	102382
<input type="checkbox"/> Elements	50400
Mesh Metric	None

**Şekil 3.35.**  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları



Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	52722
<input type="checkbox"/> Elements	26000
Mesh Metric	None

**Şekil 3.36.**  $k-\omega$  ve SST türbülans modellerinde kullanılmış olan sık elemanlı ağ yapısı ve eleman sayıları

#### b) Van Heiningen geometrisi sınır koşulları ve kullanılan havanın özellikleri

Kullanılan geometri aksisimetrik bir geometridir. 2 boyutlu olarak çözümlenebilmesi mümkündür. Ancak ANSYS CFX yazılımında bu tip problemler 2 boyutlu değil 3 boyutlu çözümlenebilmektedir. Bu problemi sanki 2 boyutlu gibi çözebilmek adına bu

simülasyonlarda kalınlık diğer boyutlara göre çok küçük bir parça olarak alınmıştır. Kalınlık değeri 1 mm olup tek sıra eleman ile geçilerek problem çözülmüştür. Şekil 3.37’de bu simülasyon için uygulanmış sınır koşulları görülmektedir.



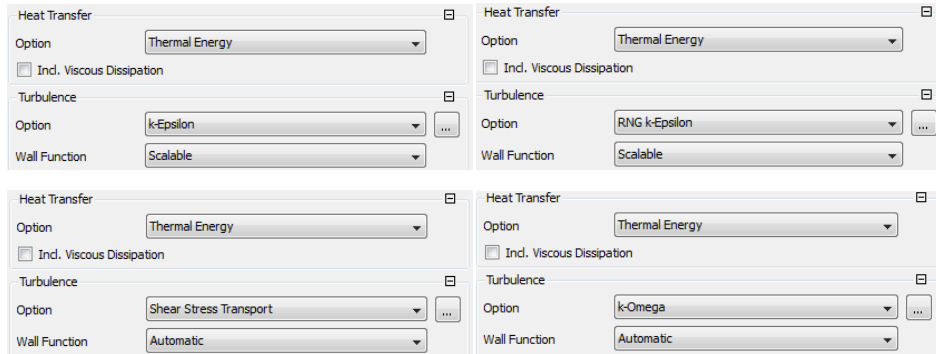
Şekil 3.37. Van Heiningen Geometrisi sınır koşulları

Bu simülasyonda kullanılan akışkan 310 K’de hava olup termodinamik özellikleri Şekil 3.38’deki gibi CFX’e tanımlanmıştır.

Option	Value
Equation of State	Value
Molar Mass	28.96 [kg kmol <sup>-1</sup> ]
Density	1.1281 [kg m <sup>-3</sup> ]
Specific Heat Capacity - Value	Value
Reference State	Specified Point
Ref. Temperature	37 [C]
Reference Pressure	1 [atm]
Reference Specific Enthalpy - 0. [J/kg]	0.
Reference Specific Entropy - 0. [J/kg/K]	0.
Dynamic Viscosity	1.906e-05 [kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ]
Thermal Conductivity	27.04e-3 [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]

Şekil 3.38. 310 K sıcaklığa sahip havanın termodinamik özellikleri

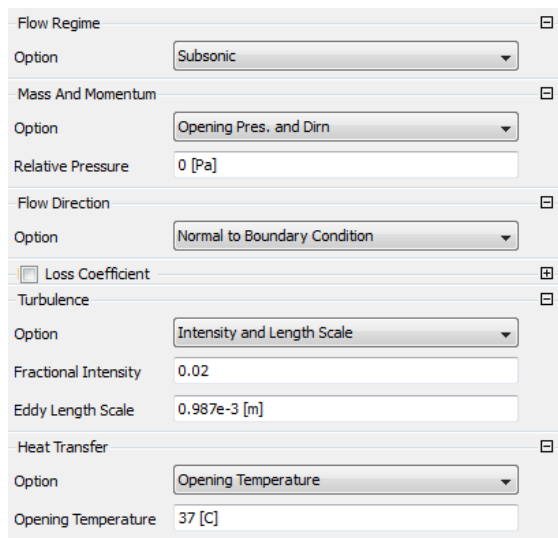
Ayrıca havaya ait olan RANS türbülans modelleri ve bu modellere ait olan duvar fonksiyonları Şekil 3.39’da tanımlandığı gibidir.



Şekil 3.39. Kullanılan türbülans modelleri ve duvar fonksiyonları

Önceki kısımlarda da anlatıldığı üzere  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modelleri ölçeklenebilir duvar fonksiyonu kullanırken  $k-\omega$  ve SST türbülans modelleri ise otomatik duvar fonksiyonu kullanmaktadır.

Şekilden de görüleceği üzere 100 kPa basınca sahip bölgeler CFX içinde açıklık(opening) olarak tanımlanmış olup bu sınır şartına sahip olan bölgelerin özellikleri Şekil 3.40’daki gibi tanımlanmıştır. Bu açıklık sınır şartında, türbülans şiddeti, yapılan test esnasında 0,02 olarak tespit edilmiş olup uzunluk ölçeği de 0,000987 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.40. Açıklık sınır şartı

Lüleden çıkan akışkanın hız koşulu ise –y ekseninde Şekil 3.41’de görüldüğü gibi 12 m/s olarak tanımlanmıştır.

Flow Regime  
Option: Subsonic

Mass And Momentum  
Option: Cart. Vel. Components  
U: 0 [m s<sup>-1</sup>]  
V: -12 [m s<sup>-1</sup>]  
W: 0 [m s<sup>-1</sup>]

Turbulence  
Option: Intensity and Length Scale  
Fractional Intensity: 0.02  
Eddy Length Scale: 0.987e-3 [m]

Heat Transfer  
Option: Static Temperature  
Static Temperature: 37 [C]

Şekil 3.41. Hız sınır koşulu

Test düzeneğinde hava jetinin çarptığı yüzey sabit sıcaklıkta uygulanmıştır. Bu nedenle simülasyon çalışmasında bu yüzey Şekil 3.42’de olduğu gibi sabit sıcaklıkta kaymaz duvar sınır koşulu olarak tanımlanmıştır.

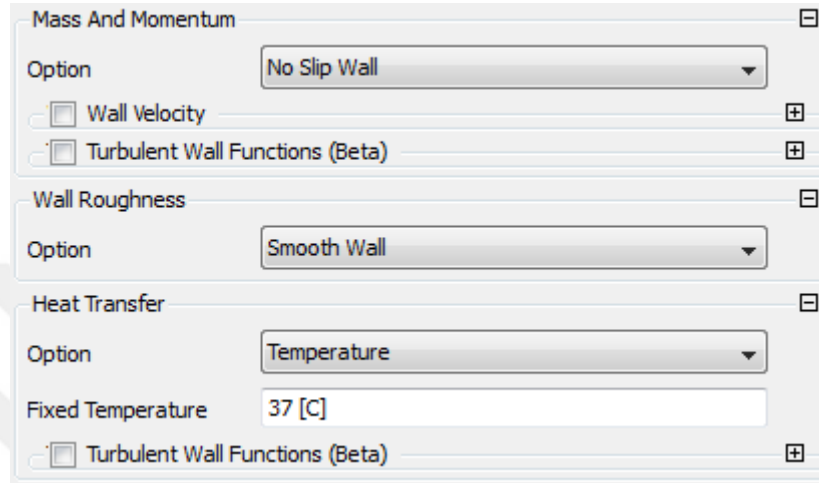
Mass And Momentum  
Option: No Slip Wall  
 Wall Velocity  
 Turbulent Wall Functions (Beta)

Wall Roughness  
Option: Smooth Wall

Heat Transfer  
Option: Temperature  
Fixed Temperature: 75 [C]  
 Turbulent Wall Functions (Beta)

Şekil 3.42. Hava jetinin çarptığı yüzeye ait olan sınır koşulu

Van Heiningen modelinin lüle çıkış yüzeyinden sınırlandırıldığı yani atmosfer ile ilişkisinin kesildiği daha önceki kısımlarda belirtilmiştir. Sınırlandırmanın yapıldığı yüzeydeki duvar koşulu da testte sabit sıcaklıkta 37 °C’de yapılmıştır. Bu nedenle simülasyonda bu yüzey sabit duvar sıcaklığı kaymaz duvar koşulunda Şekil 3.43’deki gibi tanımlanmıştır.



**Şekil 3.43.** Sabit sıcaklıkta kaymaz duvar sınır koşulu

### c) Van Heiningen geometrisi sonuçları

Çarpan hava jetinin sonuçları değerlendirilirken  $y^+$  değeri ve Nu sayısı değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi çizdirilir ve ayrıca Nu sayısı değişimi test sonuçları ile kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilir.

$r/D$ : Hava jetinin çarptığı yüzeyin uzunluğunun lüle çapına oranı

#### c1) Van Heiningen geometrisi ağdan bağımsızlık sonuçları

Ağdan bağımsızlık sonuçlarının değerlendirilmesi için kaba, orta ve sık ağ yapılı geometrilerin  $y^+$  değeri ve Nu sayısı değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir.

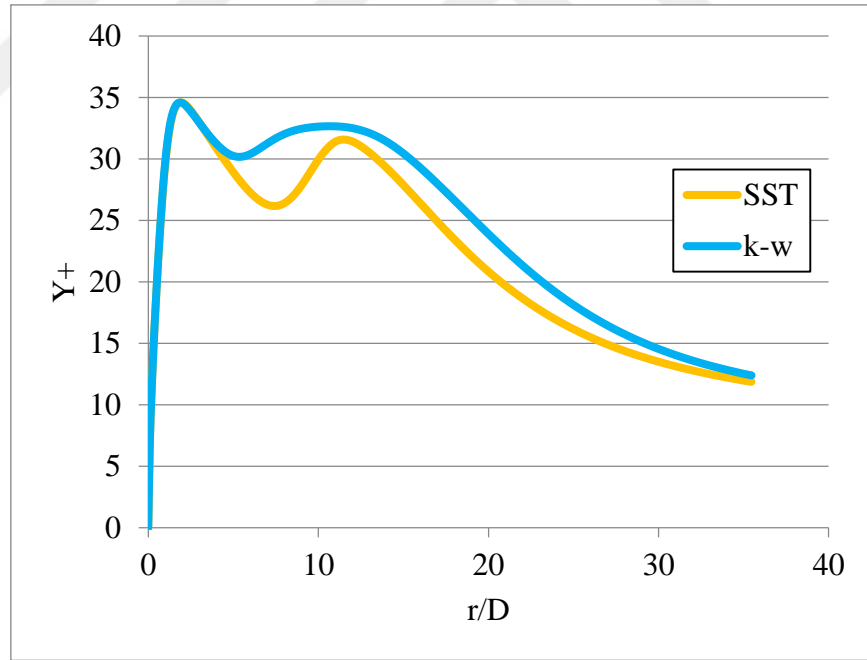
#### c2) Van Heiningen geometrisi $y^+$ değerlerinin sonuçları

Simülasyonlar yapıldıktan sonra, seçilen türbülans modellerinin yeterli hassasiyette çözdüğünü anlayabilmek adına, her bir ağ yapısı için  $y^+$  değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değerleri kontrol edilmiş ve her bir türbülans modeli için yüzey boyunca

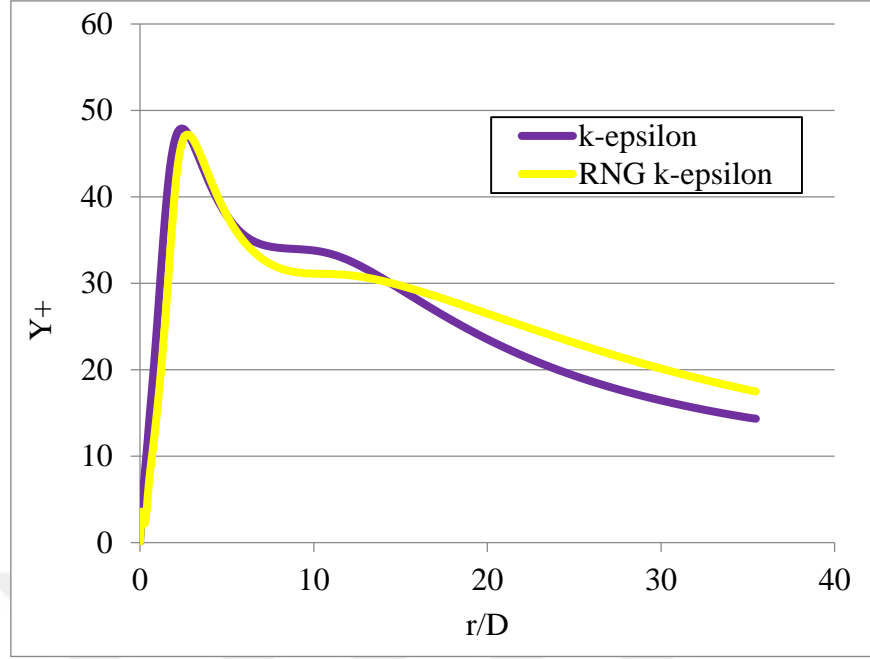
değişimi incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda otomatik duvar fonksiyonu kullanan k- $\omega$  ve SST türbülans modellerinde  $y^+ < 2$  olması hatta olabiliyorsa ısı transferi problemlerinde  $y^+ < 1$  olması beklenmektedir. Ölçeklendirilebilir duvar fonksiyonu çözen k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modellerinde  $y^+ > 10$  olması beklenmektedir. Bu bilgiler ışığında kaba, orta ve sık ağ yapıları için  $y^+$  değerleri Çizelge 3.6'dan Çizelge 3.8'e kadar olan çizelgelerde,  $y^+$  dağılımı ise Şekil 3.44'den Şekil 3.49'a kadar olan şekillerde gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisi  $y^+$  değerleri

	Kaba Ağ Yapılı Van Heiningen Geometrisi		
	Maksimum Y Plus	Ortalama Y Plus	Minimum Y Plus
k-epsilon	47,9	26,1	6,60E-2
k-w	34,6	24,2	4,18E-5
RNG k-epsilon	47,2	27,0	8,59E-2
SST	34,6	22,3	5,47E-5



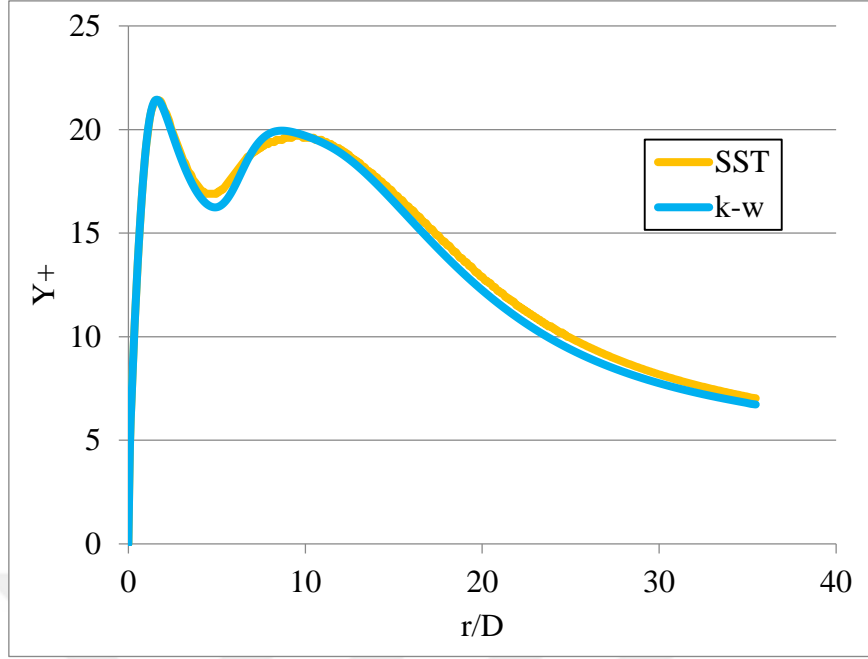
**Şekil 3.44.** Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi



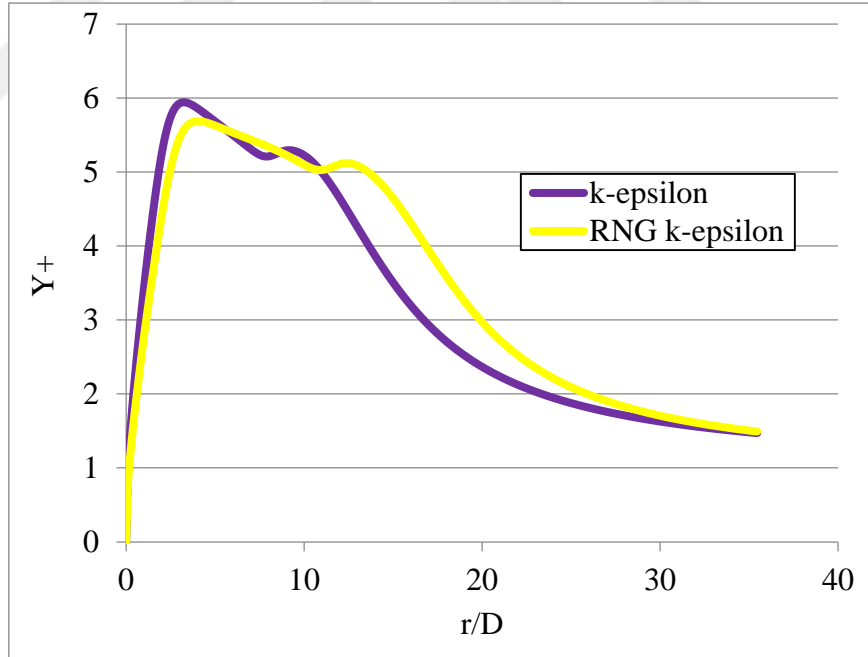
**Şekil 3.45.** Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi

**Çizelge 3.7.** Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisi  $y^+$  değerleri

	Orta Ağ Yapılı Van Heiningen Geometrisi		
	Maksimum $Y^+$	Ortalama $Y^+$	Minimum $Y^+$
k-epsilon	5,9	5,9	2,45E-10
k-w	21,4	21,4	1,39E-6
RNG k-epsilon	5,7	5,7	1,91E-10
SST	21,4	21,4	1,63E-6



**Şekil 3.46.** Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi

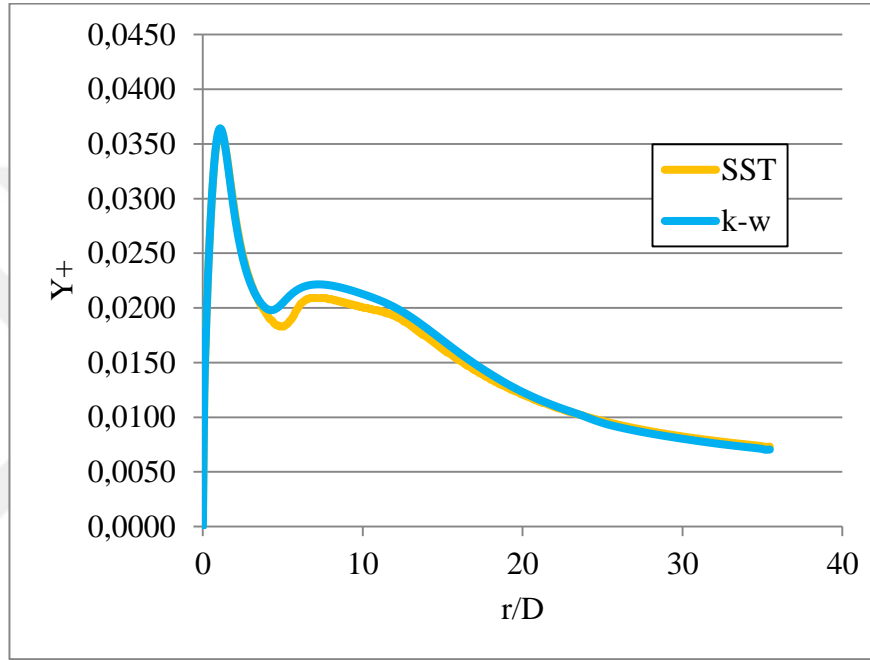


**Şekil 3.47.** Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi

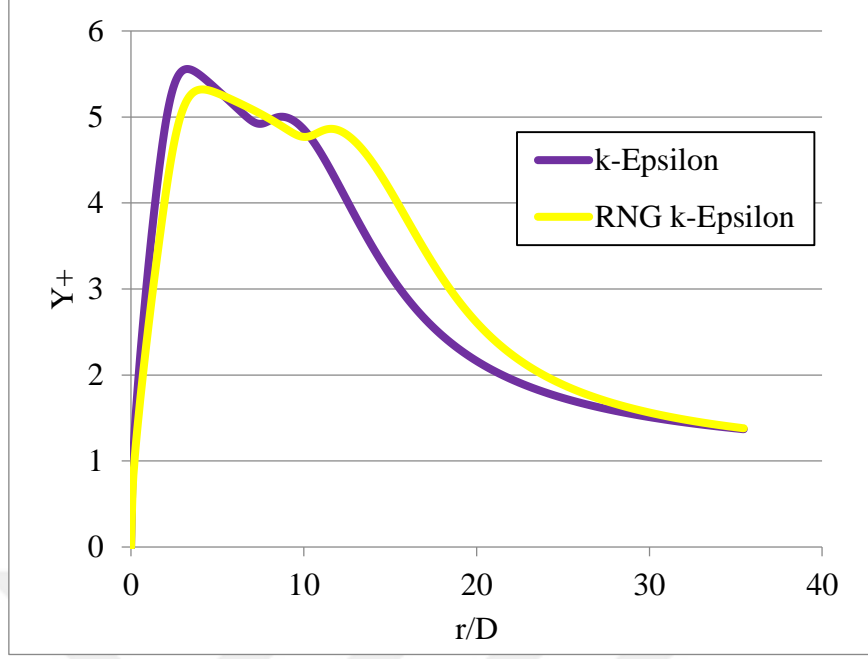


**Çizelge 3.8.** Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisi  $y^+$  değerleri

	Sık Ağ Yapılı Van Heiningen Geometrisi		
	Maksimum Y Plus	Ortalama Y Plus	Minimum Y Plus
k-epsilon	5,6	5,6	2,78E-10
k-w	0,04	0,04	1,20E-12
RNG k-epsilon	5,3	5,3	2,08E-10
SST	0,04	0,04	1,94E-13



**Şekil 3.48.** Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi

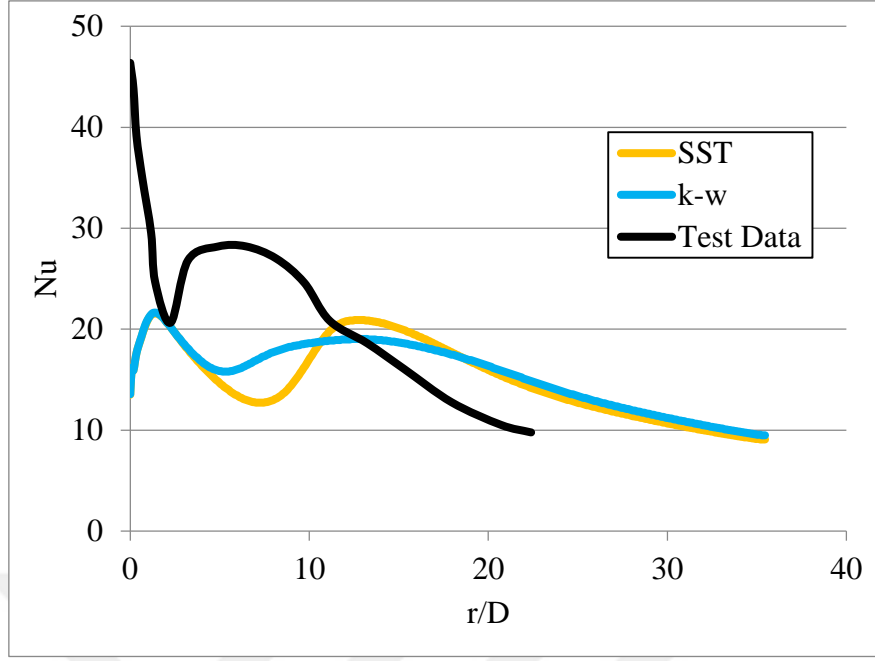


**Şekil 3.49.** Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin  $y^+$  değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi

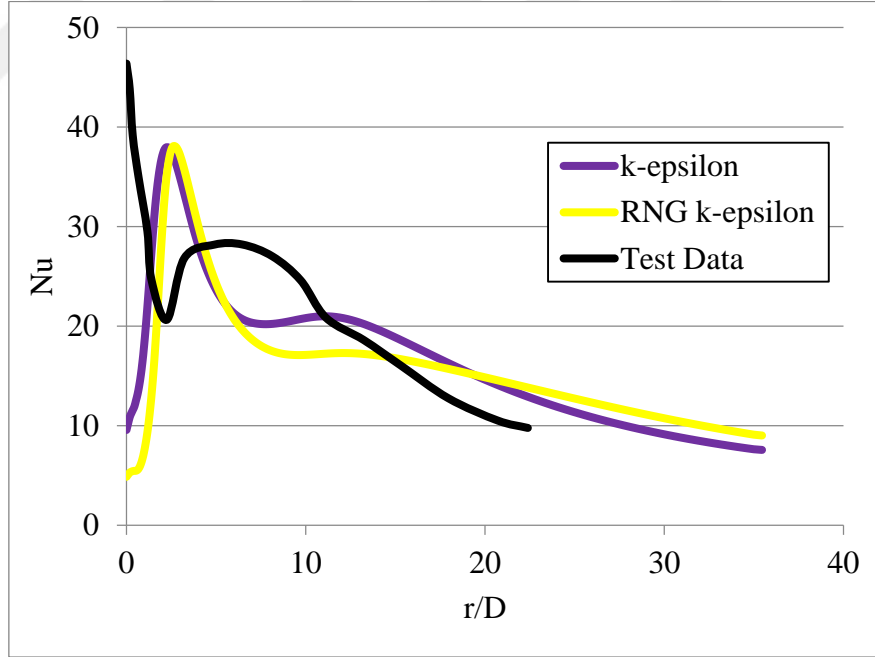
Yukarıdaki grafikler ve tablolardan görülebileceği üzere, kullanılan ağ sayısı arttıkça  $y^+$  değerlerinde düşüşler gözlenmektedir. Bu grafiklerden, otomatik duvar fonksiyonu kullanan SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinde  $y^+$  değerleri sık ağ yapısı kullanıldığında 2'nin altına düşmüş ve istenen  $y^+$  şartını sağlamıştır. k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde ise bütün ağ yapılarında  $y^+$  şartını sağlamıştır.

### c3) Van Heiningen geometrisi Nusselt sayısı dağılımı sonuçları

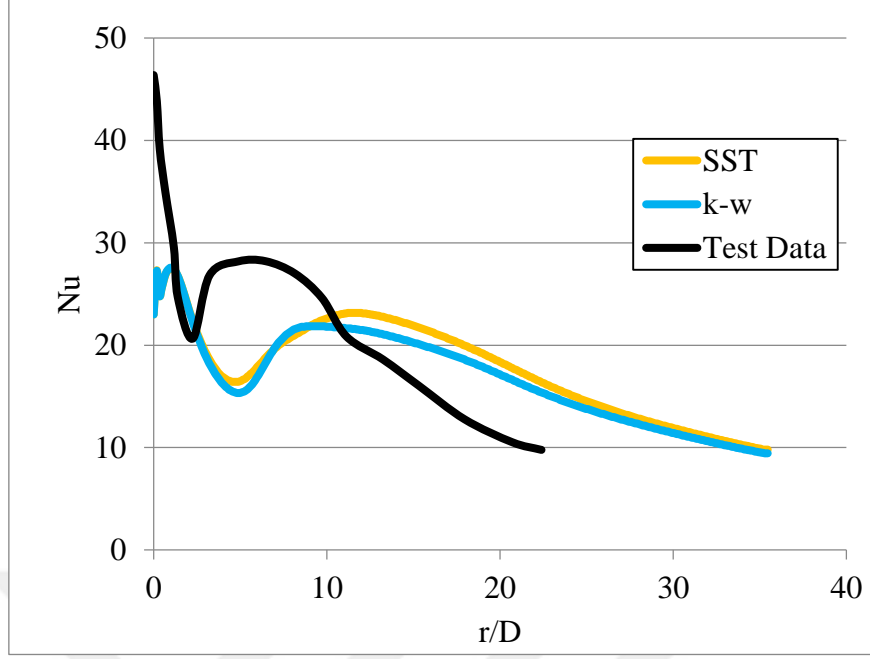
Yapılan bu nümerik çalışmada, her ne kadar  $y^+$  şartı sağlanmış olsa da aynı zamanda test sonuçları ile de uyumluluğu kontrol edilmelidir. Bu nedenle, Van Heiningen geometrisinin sonucundan elde edilen Nu sayısının dağılımı ile her bir ağ yapısından elde edilmiş olan Nu sayısı dağılımı sonuçları çizdirilerek karşılaştırılmış ve Şekil 3.50 ile Şekil 3.55 arasındaki şekillerde gösterilmiştir.



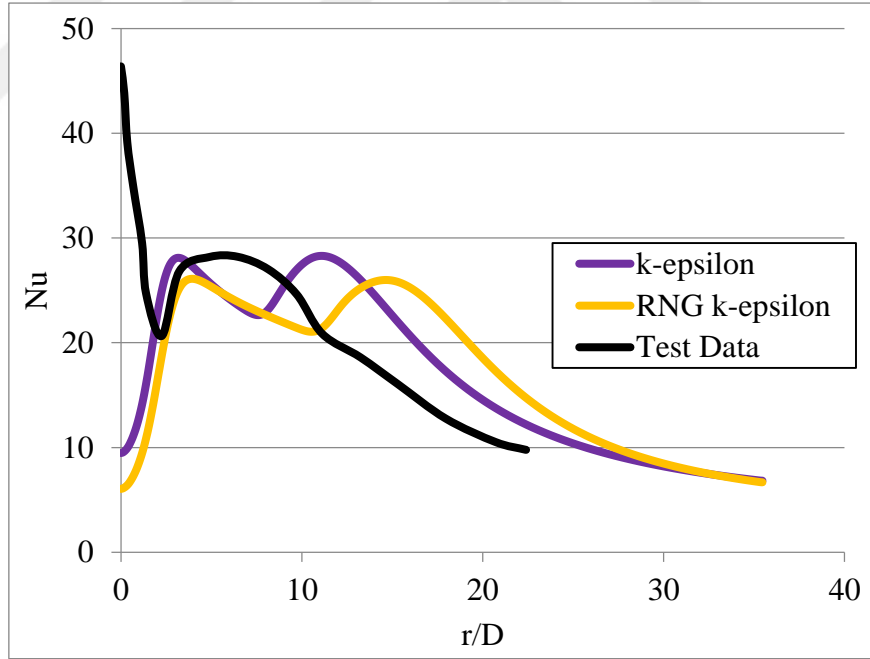
**Şekil 3.50.** Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



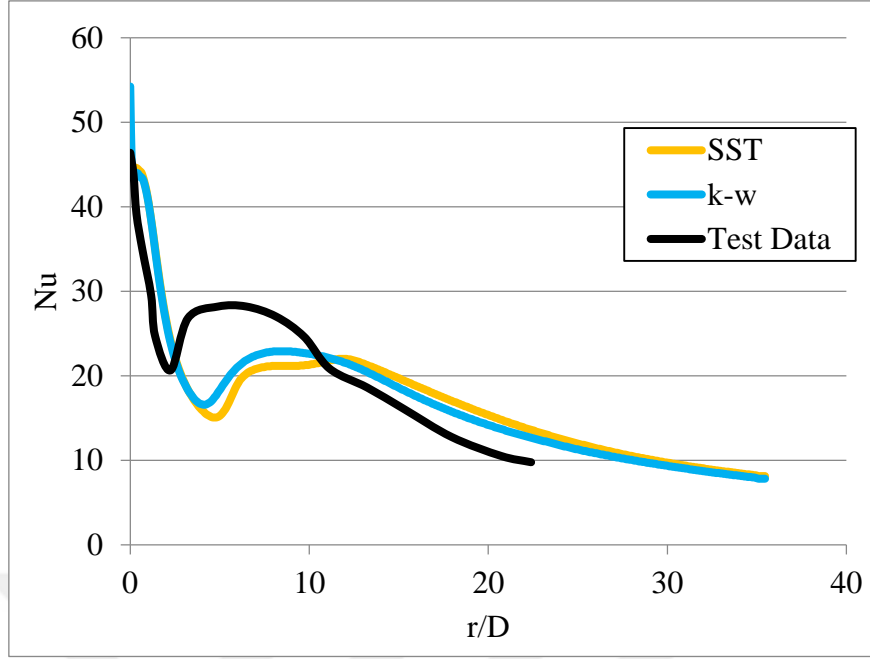
**Şekil 3.51.** Kaba ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



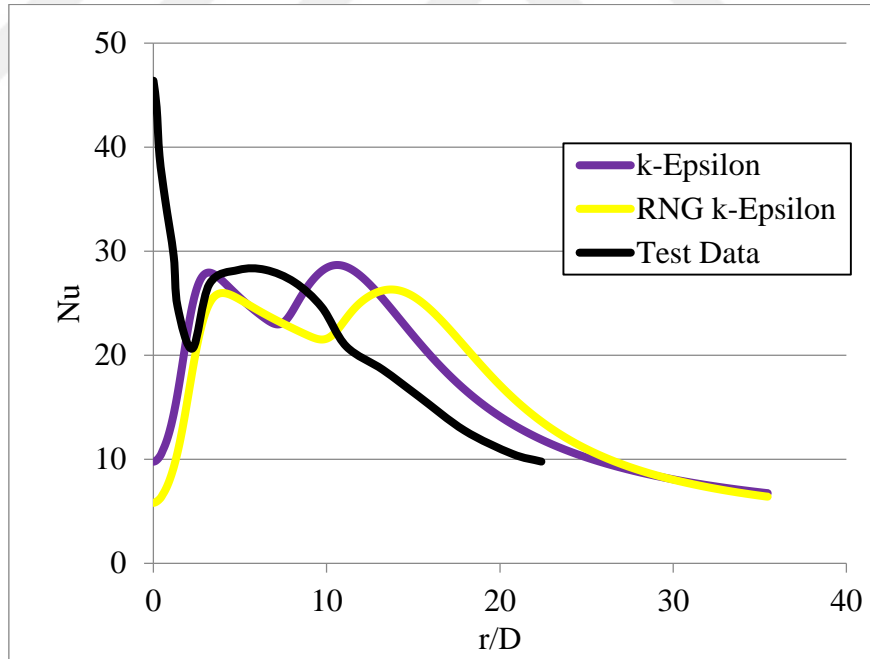
Şekil 3.52. Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



Şekil 3.53. Orta ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



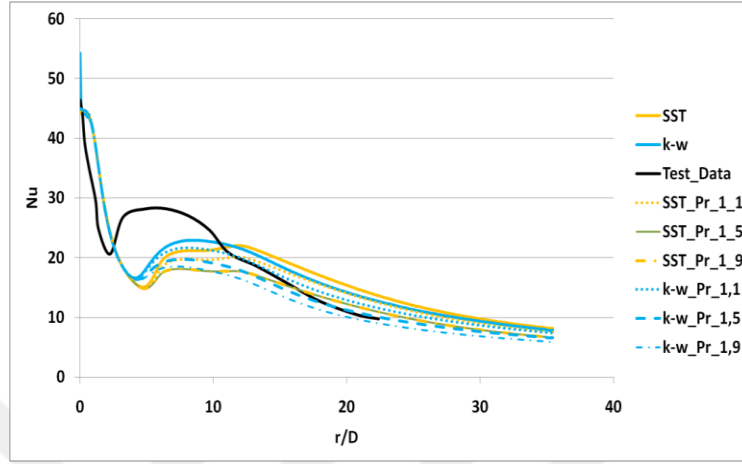
**Şekil 3.54.** Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait SST ve  $k-\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması



**Şekil 3.55.** Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait  $k-\epsilon$  ve RNG  $k-\epsilon$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin  $r/D$  oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması

Bu çalışmada Prandtl sayısı CFX'deki standart ayar olan 0,9 için çözdürülmüştür. Ayrıca ilave olarak Prandtl sayısının etkisini görmek amacıyla sık ağ yapılı geometri için SST ve

k- $\omega$  türbülans modelleriyle Pr sayısının 1,1, 1,5 ve 1,9 için ikincil tepe noktasına olan etkisi araştırılmıştır ve sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.56'daki grafikte çizdirilmiştir.



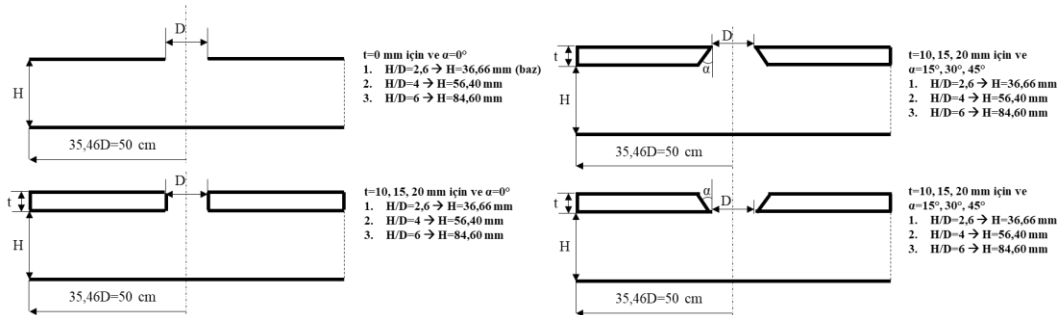
**Şekil 3.56.** Sık ağ yapılı Van Heiningen geometrisine ait farklı Pr sayılarında yapılmış olan SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin Nu değerlerinin r/D oranına bağlı değişimi ve test sonuçları ile kıyaslanması

Görüldüğü üzere Pr sayısı arttıkça ikincil tepe noktasının lokasyonu sola doğru kaymakta ve büyüklüğü azalmaktadır.

Sık ağ yapısı ile yapılmış simülasyon sonuçları incelendiğinde, SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin her ikisi de benzer özellikler göstermişlerdir. Tez çalışmasında kullanılan modeller de, SST ve k- $\omega$  türbülans modelleri ilk deneme çalışmalarında denenecek olup en uygun olan türbülans modeli kullanılacaktır.

### 3.10. Araştırılan Lüle Geometrileri

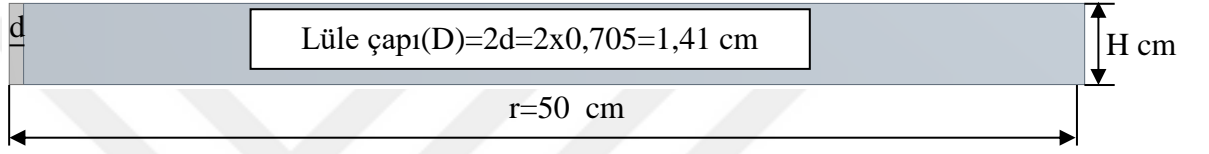
Araştırılan lüle geometrileri Şekil 3.57'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.57:** Tez çalışmasında araştırılan geometriler

### 3.11. Geometrilerin Bilgisayar Ortamındaki Modelleri

Bu tez çalışmasında, sınırlandırılmış geometri olan Van Heiningen geometrisi farklı lüle tasarımları kullanılarak oluşturulmuş ve bu geometrilerin farklı h/D oranlarında, farklı açılarda ve farklı kalınlıklarda Nu sayılarının üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tezdeki incelenen geometri sayısı 4 tanedir. Bu geometrilerden ilki bu çalışmada Model 1 olarak bahsedilecek olan materyal ve yöntem kısmında da kullanılmış olan Van Heiningen geometrisidir. Bu geometride lüle açısı “a” 0° olup farklı h/D oranlarının Nu sayıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 3.58a’de Model 1’e ait geometrik ölçüler ve Şekil 3.58b’de de çalışılan parametreler verilmiştir.



(a)

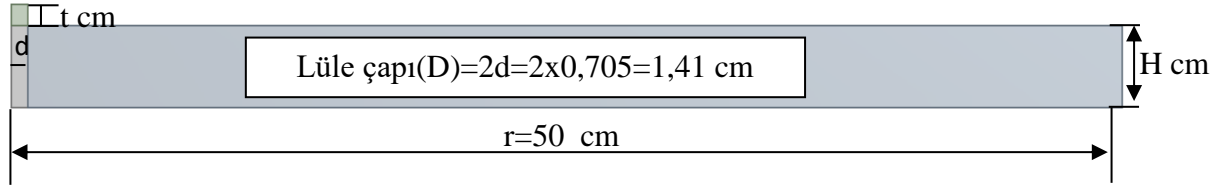
H(cm)	H/D	a(°)	t(cm)
3,666	2,6	0	0
5,64	4	0	0
8,46	6	0	0

(b)

**Şekil 3.58** (a) Model 1’e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 1’e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a’nın değerleri

Şekilde belirtilen bu değerler birbirleri arasında bir parametre seti oluşturularak çözdürülmüştür.

Çalışmada incelenen ikinci geometri Model 1 ile aynı H/D oranlarına ve sabit lüle açısına (0°) ve farklı kalınlıklara sahip bir plakanın Nu sayısı üzerinde oluşturduğu etkinin incelendiği durumdur. Şekil 3.59a’da bu geometriye ait boyutsal bilgiler ve Şekil 3.59b’de çalışılan parametreler verilmiştir.



(a)

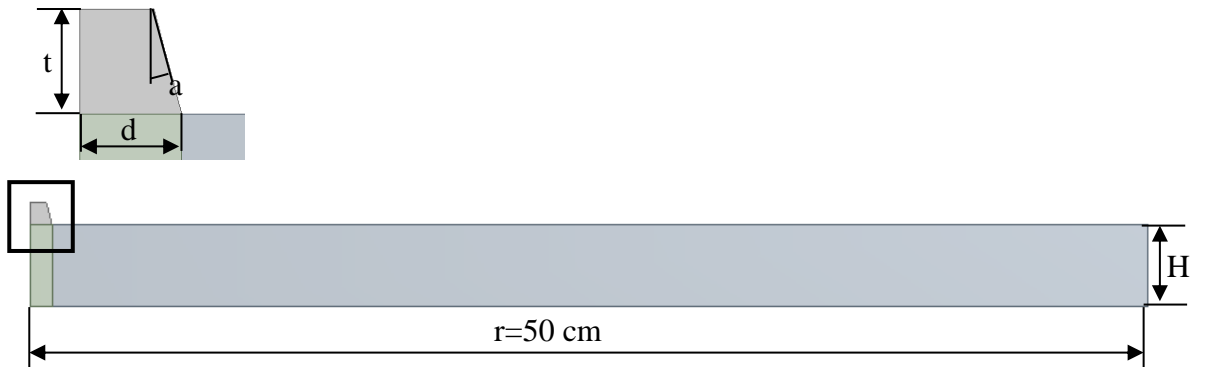
H(cm)	H/D	a(°)	t(cm)
3,666	2,6	0	1
5,64	4	0	1,5
8,46	6	0	2

(b)

**Şekil 3.59.** (a) Model 2'ye ait geometri ve ölçüleri (b) Model 2'ye ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri

Belirtilen bu ölçülerden H/D, a ve t üzerinden bir parametre seti oluşturulmuş ve geometrik özelliklerin lokal ve ortalama Nu sayıları üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

Çalışmada incelenen üçüncü geometri Model 1 ve Model 2 ile aynı H/D oranlarına sahip farklı lüle açıları ve farklı kalınlıklara sahip bir plakanın Nu sayısı üzerinde oluşturduğu etkinin incelendiği durumdur. Şekil 3.60a'da bu geometriye ait boyutsal bilgiler ve Şekil 3.60b'de ise çalışılan parametrelere ait bilgiler verilmiştir.



(a)

**Şekil 3.60.** (a) Model 3'e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 3'e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri



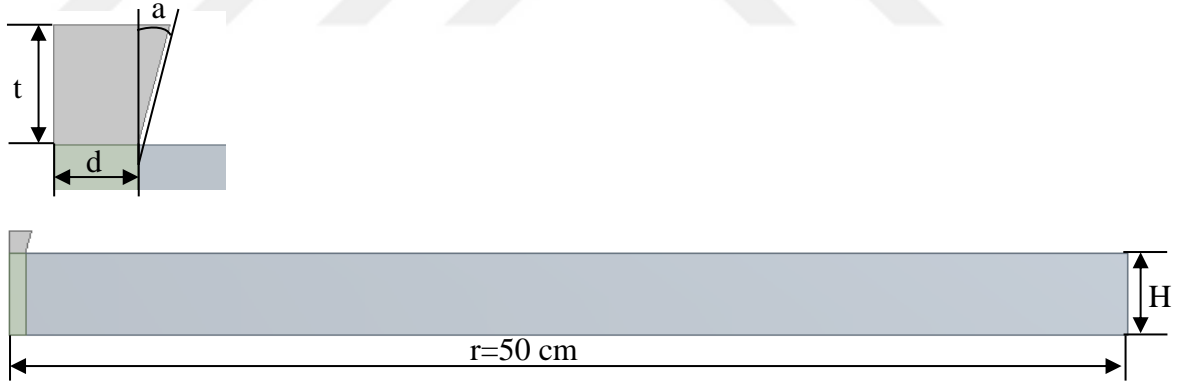
H(cm)	H/D	a(°)	t(cm)
3,666	2,6	15	1
5,64	4	30	1,5
8,46	6	45	2

(b)

**Şekil 3.60 (Devamı).** (a) Model 3'e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 3'e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri

Belirtilen bu ölçülerden H/D, a ve t üzerinden bir parametre seti oluşturulmuş ve geometrik özelliklerin lokal ve ortalama Nu sayıları üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

Çalışmada incelenen dördüncü geometri Model 1 ve Model 2 ile aynı H/D oranlarına sahip farklı lüle açıları ve farklı kalınlıklara sahip bir plakanın Nu sayısı üzerinde oluşturduğu etkinin incelendiği durumdur. Model 3'ten farkı ise açının oryantasyonudur. Şekil 3.61a'da bu geometriye ait boyutsal bilgiler ve Şekil 3.61b'de ise çalışılan parametrelere ait bilgiler verilmiştir.



(a)

H(cm)	H/D	a(°)	t(cm)
3,666	2,6	15	1
5,64	4	30	1,5
8,46	6	45	2

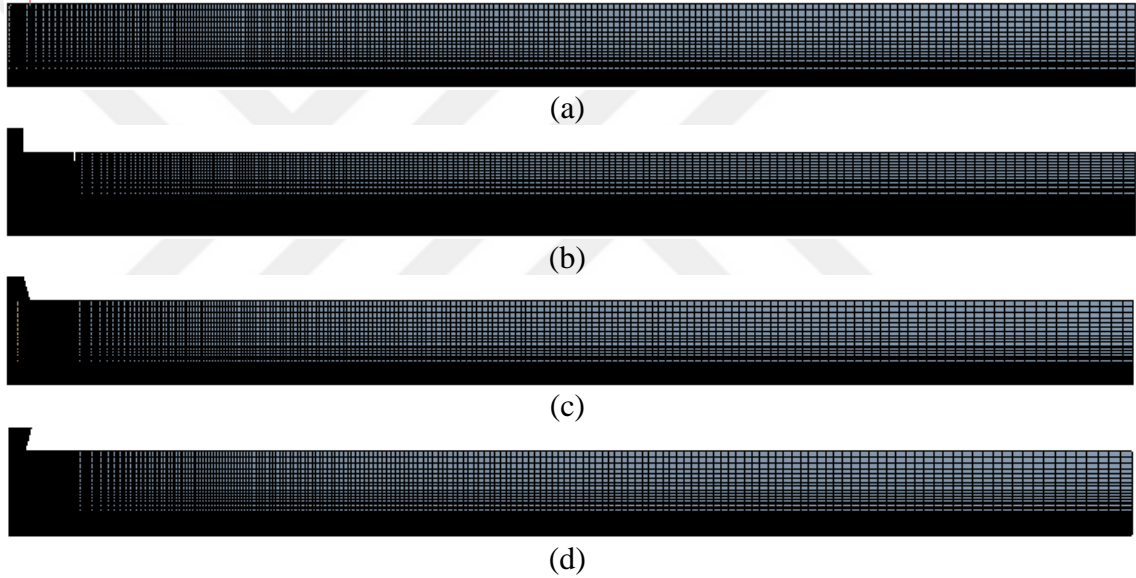
(b)

**Şekil 3.61.** (a) Model 4'e ait geometri ve ölçüleri (b) Model 4'e ait olan H yükseklikleri, H/D oranları ve lüle açısı a'nın değerleri

Belirtilen bu ölçülerden  $H/D$ ,  $a$  ve  $t$  üzerinden bir parametre seti oluşturulmuş ve geometrik özelliklerin lokal ve ortalama  $Nu$  sayıları üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

### 3.12. Lüle Geometrilerinin Ağ Yapıları

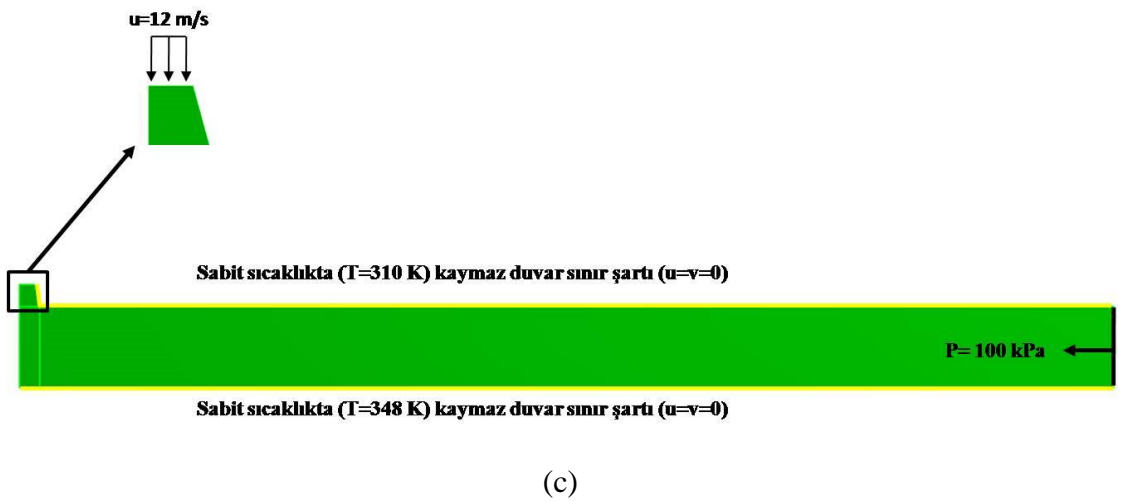
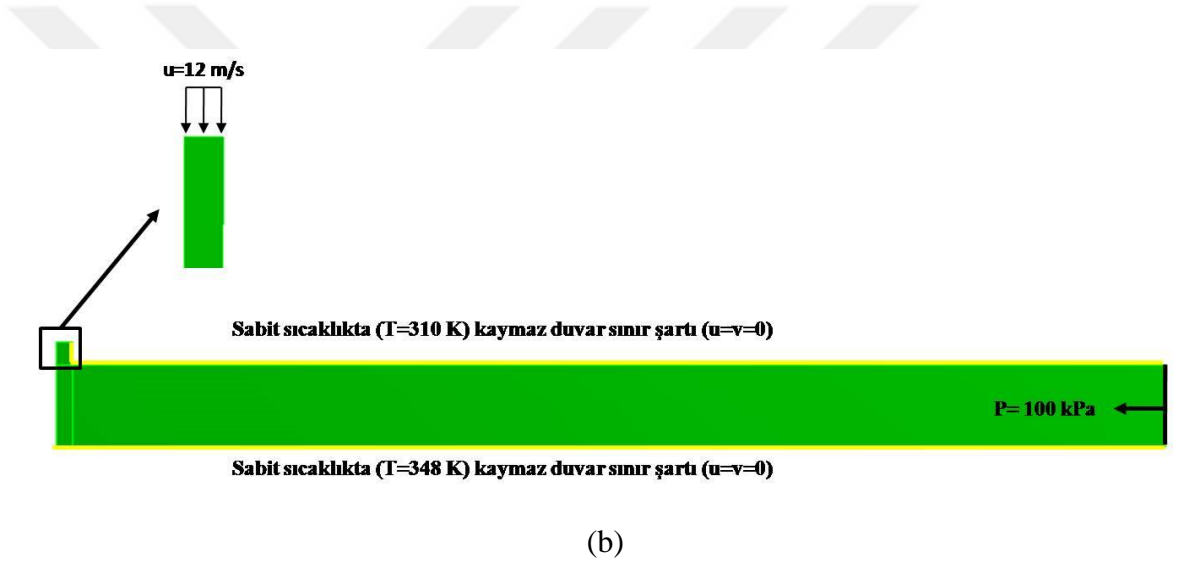
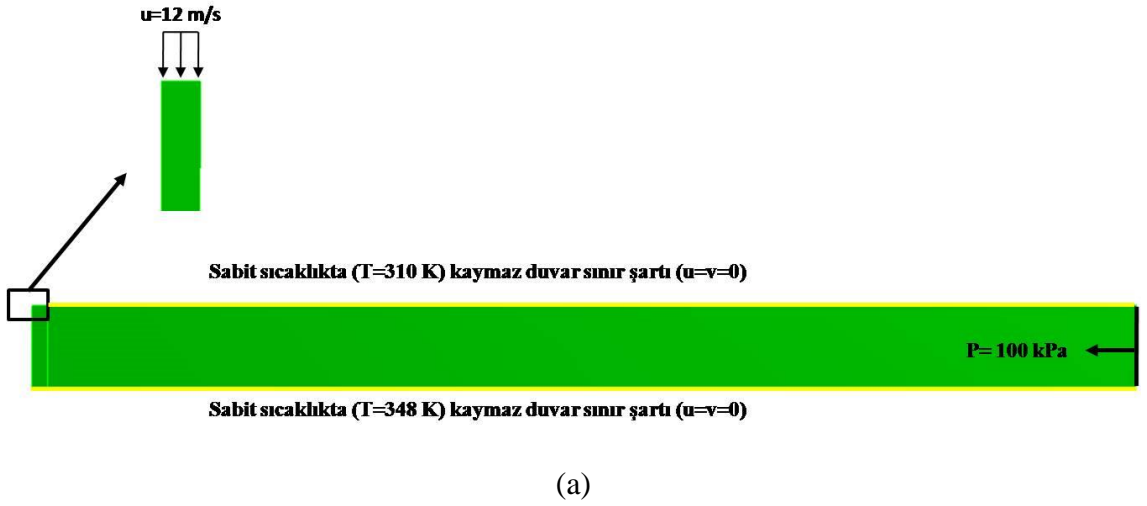
Tez çalışmasında kullanılan modeller, doğrulama çalışmasında kullanılan sınırlandırılmış Van Heiningen geometrisi ile benzer olduğundan aynı ağ yapısı ve ölçüleri ile çalışılmıştır. Çünkü Van Heiningen Modelinde elde edilen  $y^+$  değerleri 1'den küçük olup sık ağ yapısında maksimum 0,04 mertebesinde dirler. Şekil 3.62'de dört farklı model için,  $H/D=2,6$ 'daki ağ yapıları gösterilmiştir.



**Şekil 3.62.** (a) Model 1,  $t=0$ ,  $a=0$  ve  $H/D=2,6$  için ağ yapısı, (b) Model 2,  $t=10$  mm,  $a=0$  ve  $H/D=2,6$  için ağ yapısı, (c) Model 3,  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ağ yapısı, (d) Model 4,  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ağ yapısı

### 3.13. Lüle Geometrilerinin Sınır Koşulları

Bu tez çalışmasında incelenen lüle geometrilerinde kullanılan sınır koşulları sırası ile Şekil 3.63'de gösterilmiştir. Şekillerde sadece  $H/D=2,6$  olan modeller kullanılmıştır.  $H/D$  oranı 4 ve 6 olan modellerin de sınır koşulları aynı olduğundan ayrıca şekil ile gösterilmemiştir.



**Şekil 3.63.** (a) Model 1,  $t=0$ ,  $a=0$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları, (b) Model 2,  $t=10$  mm,  $a=0$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları, (c) Model 3,  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları, (d) Model 4,  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları



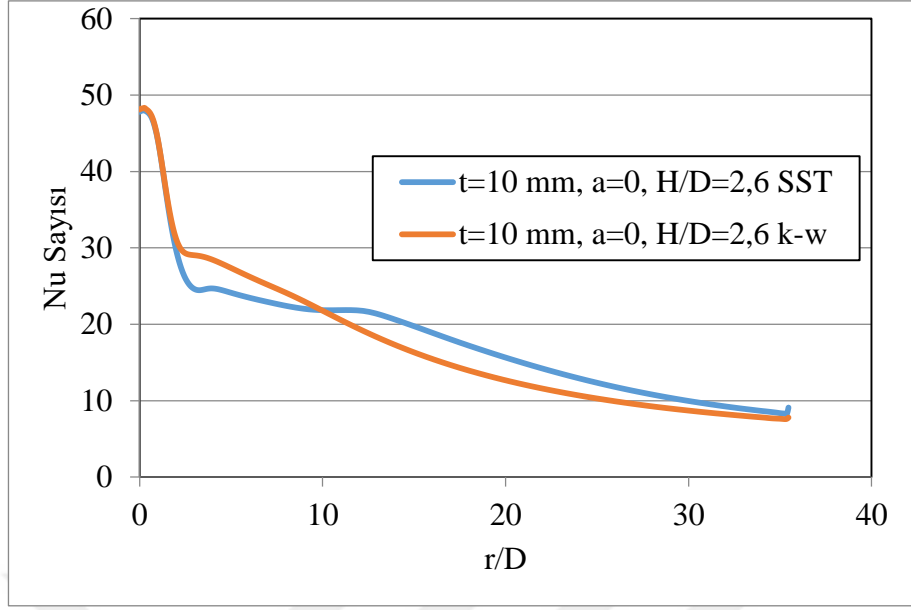
(d)

**Şekil 3.63 (Devamı).** (a) Model 1,  $t=0$ ,  $a=0$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları, (b) Model 2,  $t=10$  mm,  $a=0$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları, (c) Model 3,  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları, (d) Model 4,  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için sınır koşulları

Ayrıca bu simülasyonda kullanılan havanın özellikleri, sınır koşullarında kullanılan parametrelerin tamamı materyal ve metot kısmında Van Heiningen geometrisinde kullanılan özelliklerle aynıdır. Bu nedenle bu kısımda belirtilmemiştir.

### 3.14. Türbülans Modelinin Belirlenmesi

Materyal ve metod kısmında da belirtildiği üzere  $H/D=2,6$  ve  $t=0$ 'da hem  $k-\omega$  hem de SST ikincil tepe noktası göstermişlerdir. Ancak aynı simülasyon  $H/D=2,6$  ve  $t=10$  mm için gerçekleştirildiğinde Şekil 3.64'de verilmiş olan sonuçlarla karşılaşılmıştır. Her ne kadar kalınlığın etkisinden dolayı  $H/D$  artsa da,  $H/D$  oranı hala düşüktür ve SST ikincil tepe noktasını gösterirken  $k-\omega$  göstermemiştir. Bu nedenle bu tez çalışmasında kullanılması gereken türbülans modeli SST'dir.



Şekil 3.64. Model 2’de  $H/D=2,6$  için SST ve k- $\omega$  türbülans modellerinin kıyaslanması

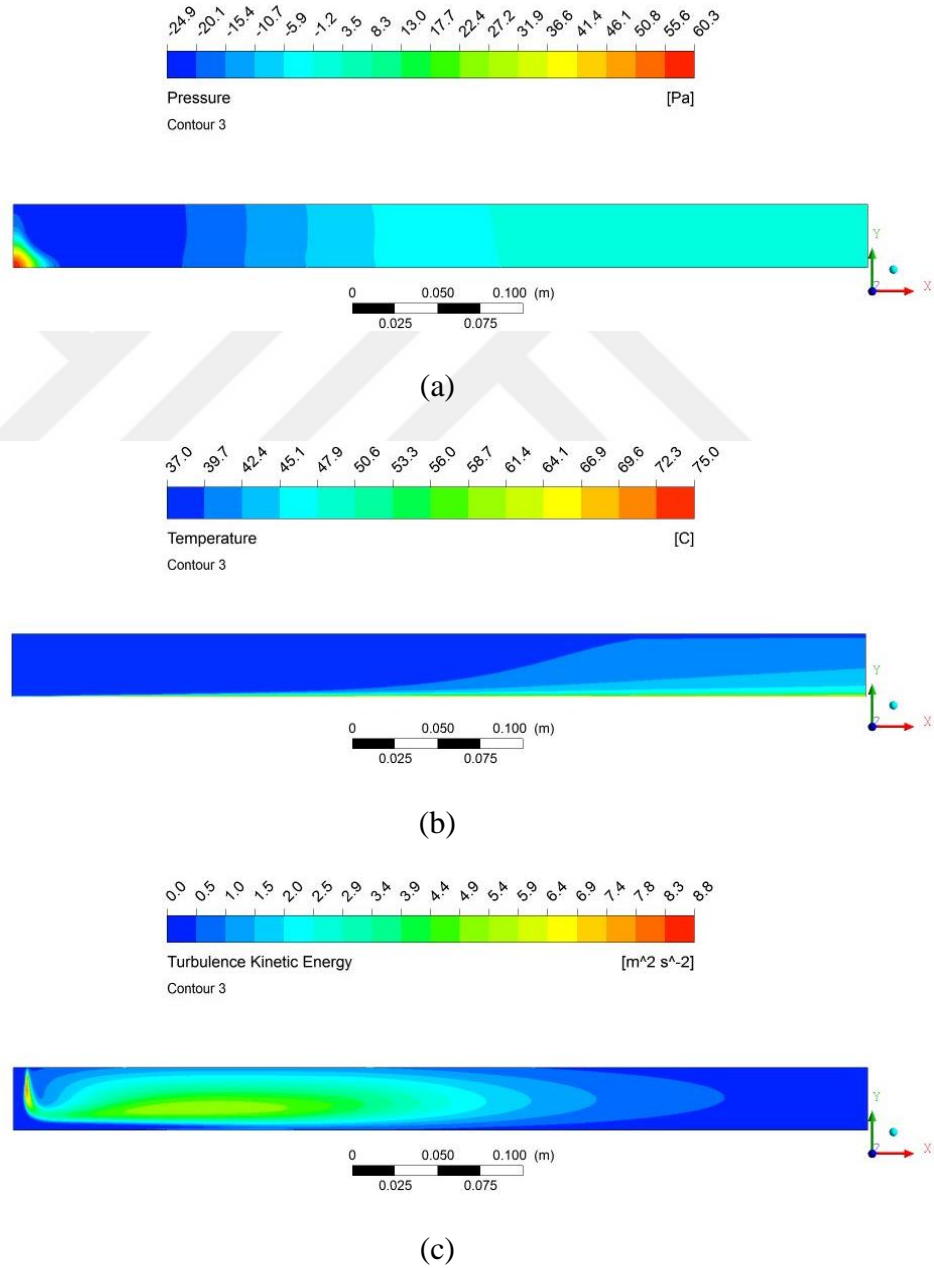
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Basınç, Sıcaklık ve Türbülans Kinetik Enerji Sonuçları

#### 4.1.1. Model 1 sonuçları

##### a) $t=0$ ve $H/D=2,6$ için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

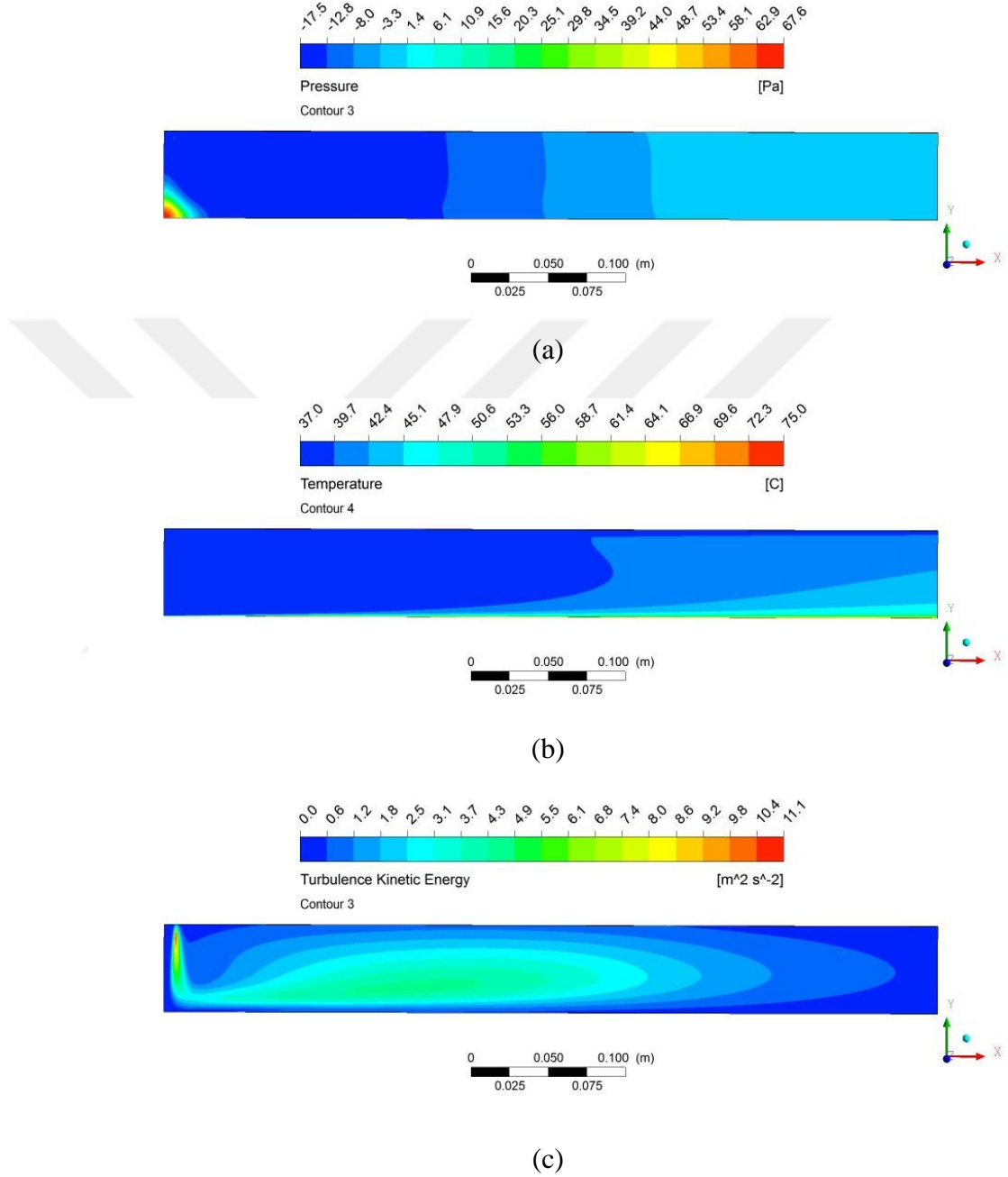
Şekil 4.1’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.1.  $t=0$ ,  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

b)  $t=0$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

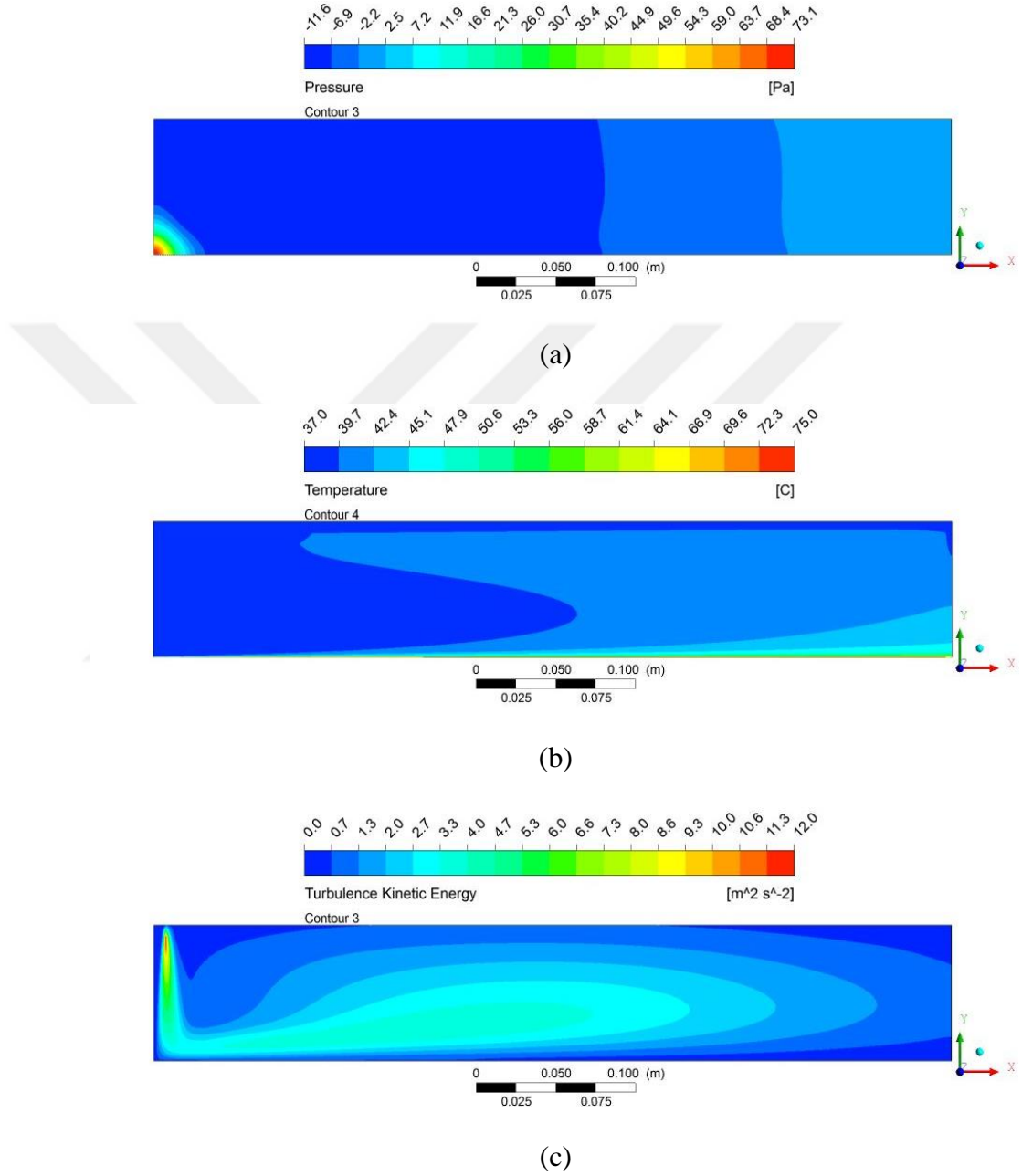
Şekil 4.2’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.2.  $t=0$ ,  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

c)  $t=0$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.3’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



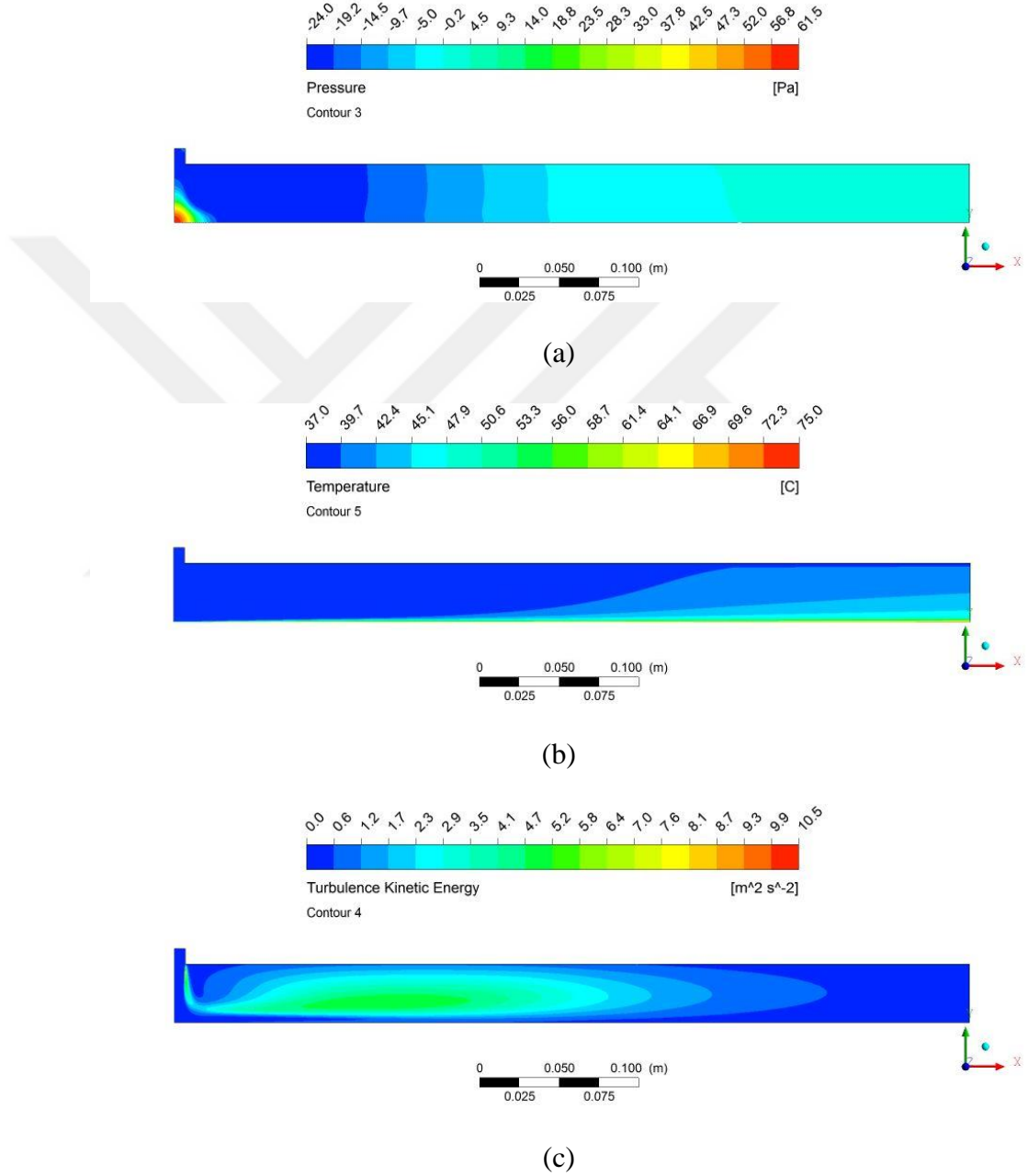
Şekil 4.3.  $t=0$ ,  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



## 5.1.2. Model 2 sonuçları

### a) $t=10$ mm ve $H/D=2,6$ için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

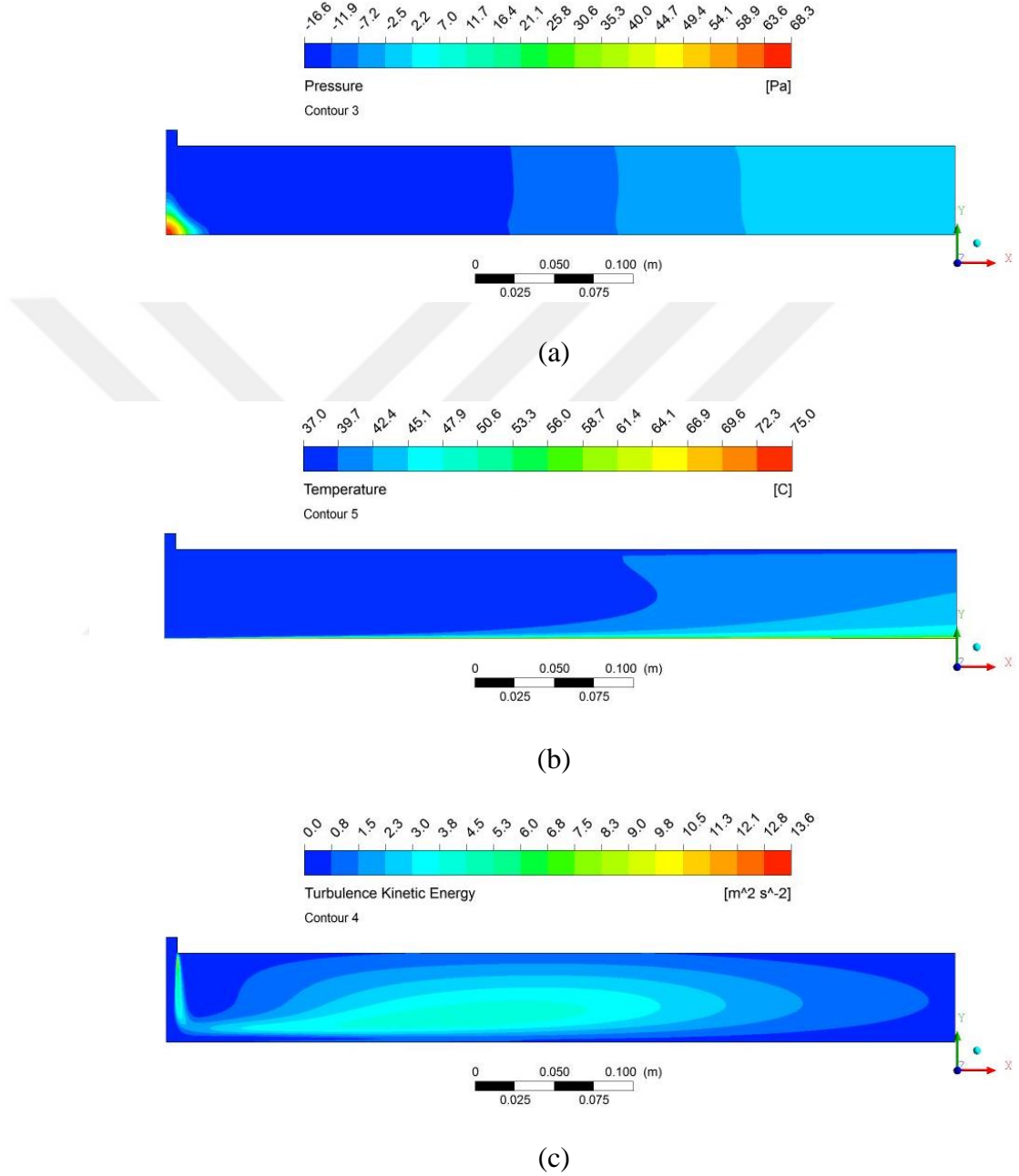
Şekil 4.4’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.4.  $t=10$  mm,  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

b)  $t=10$  mm ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

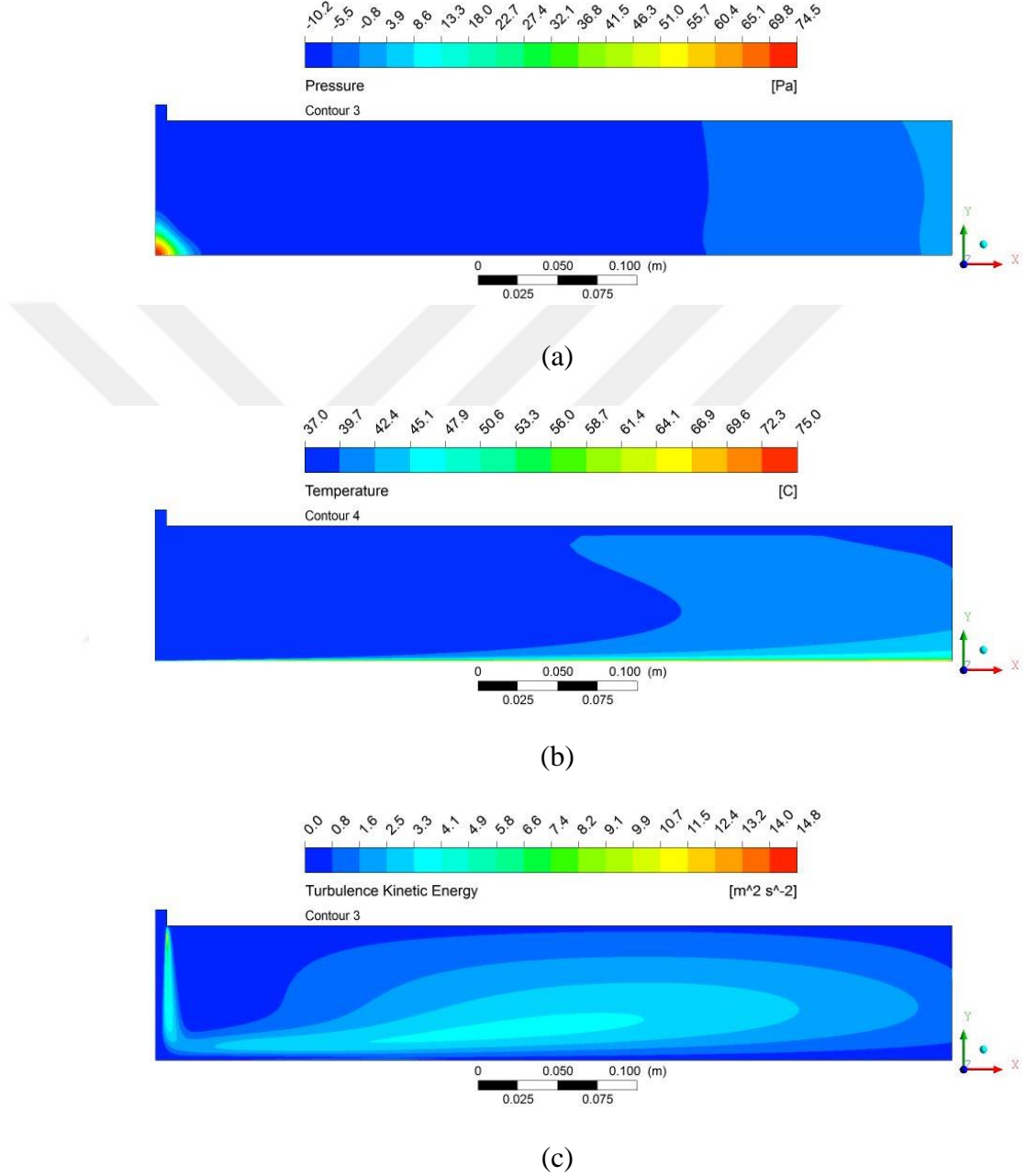
Şekil 4.5’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.5.  $t=10$  mm,  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

c)  $t=10$  mm ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

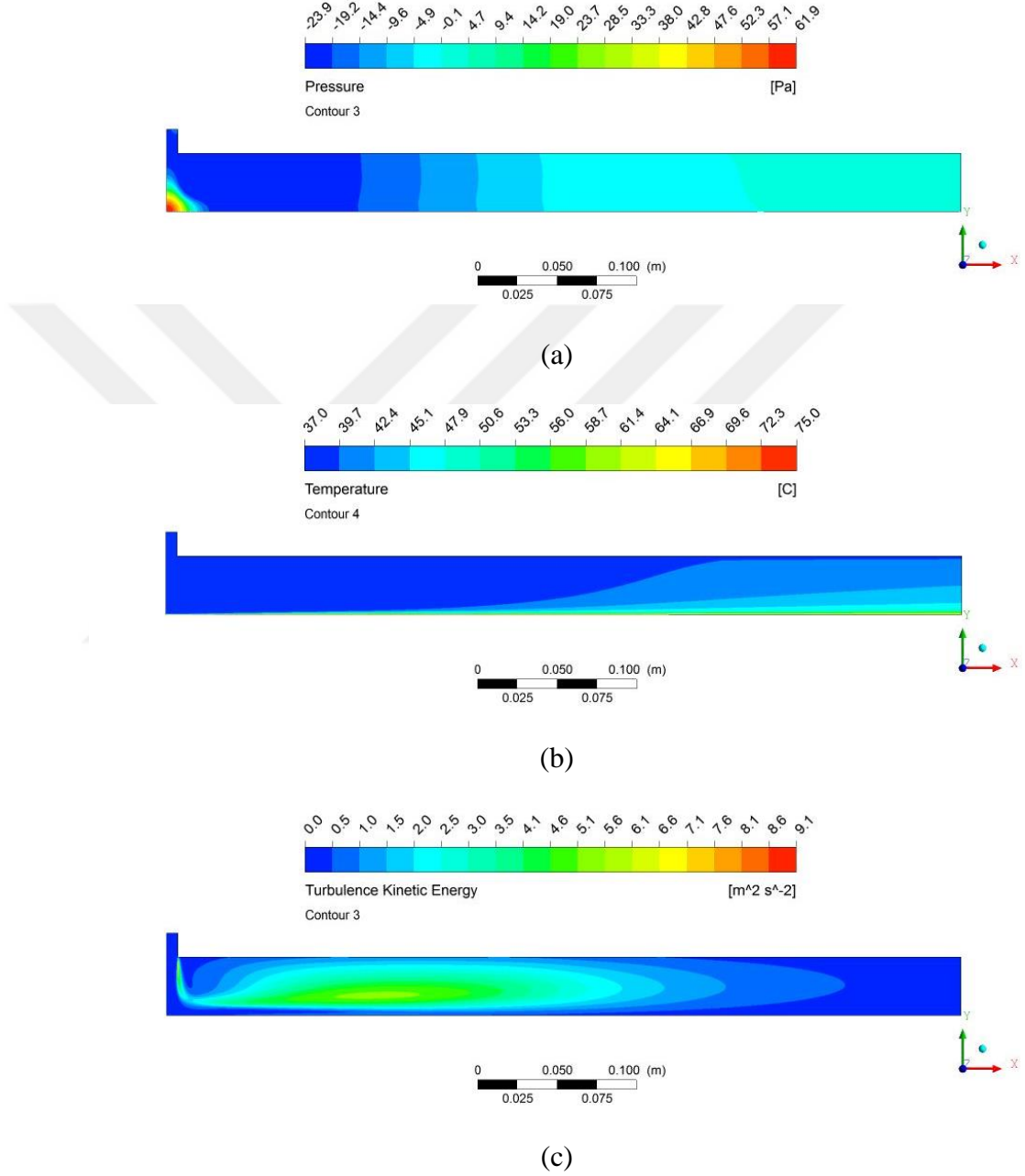
Şekil 4.6’da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.6.  $t=10$  mm,  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

d)  $t=15$  mm ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

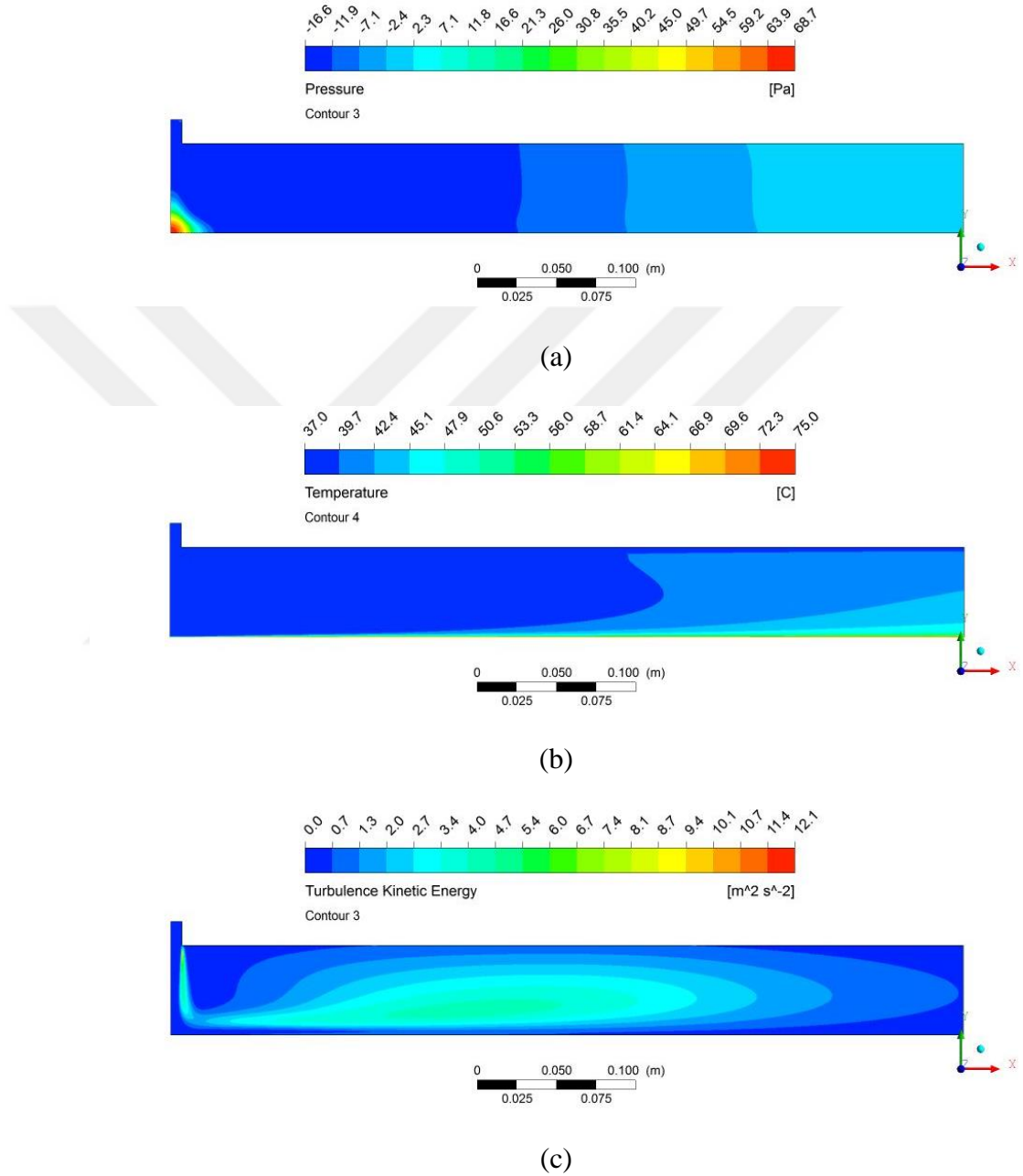
Şekil 4.7’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.7.  $t=15$  mm,  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

e)  $t=15$  mm ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

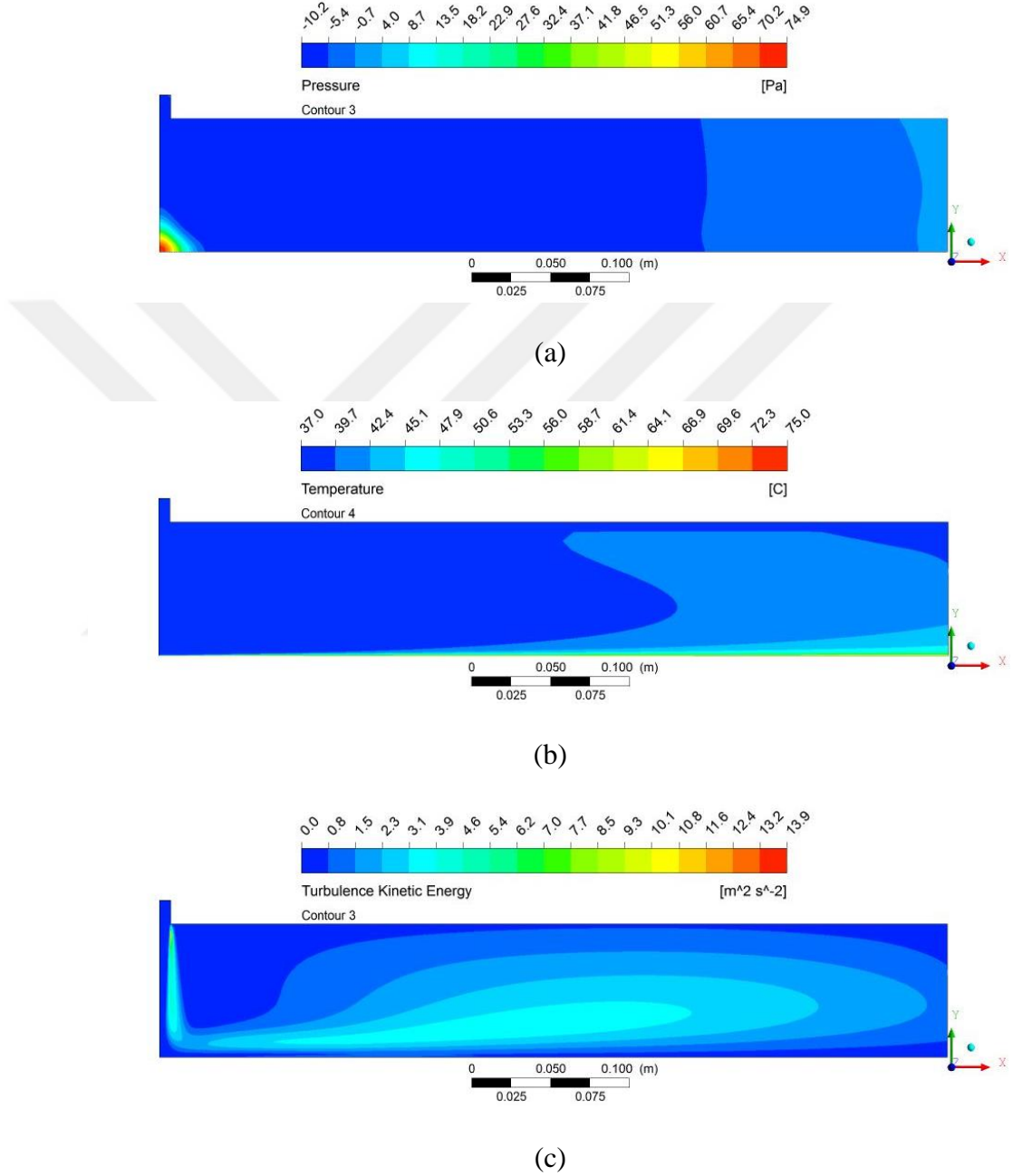
Şekil 4.8’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.8.  $t=15$  mm,  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

f)  $t=15$  mm ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

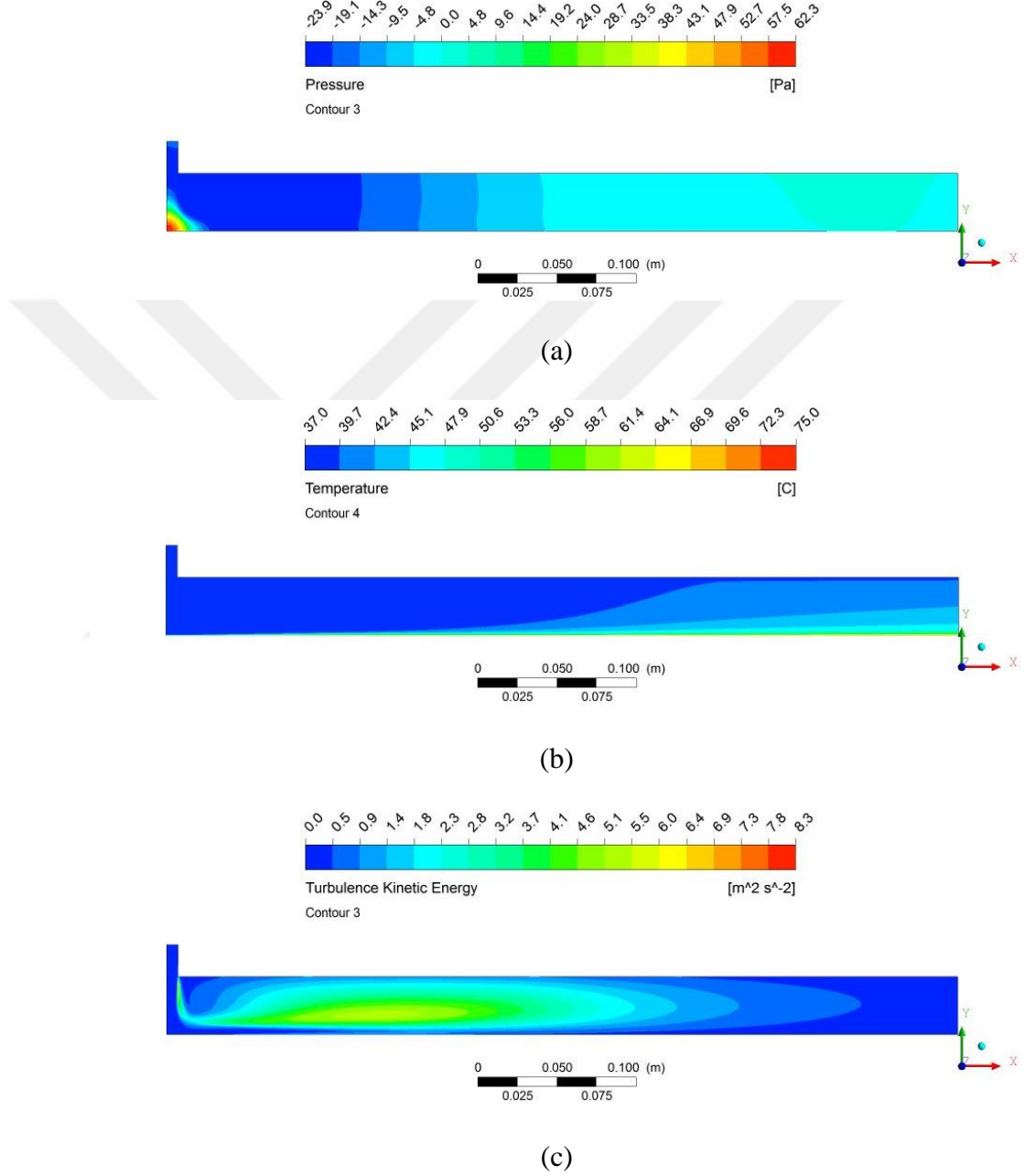
Şekil 4.9’da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.9.  $t=15$  mm,  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

g)  $t=20$  mm ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

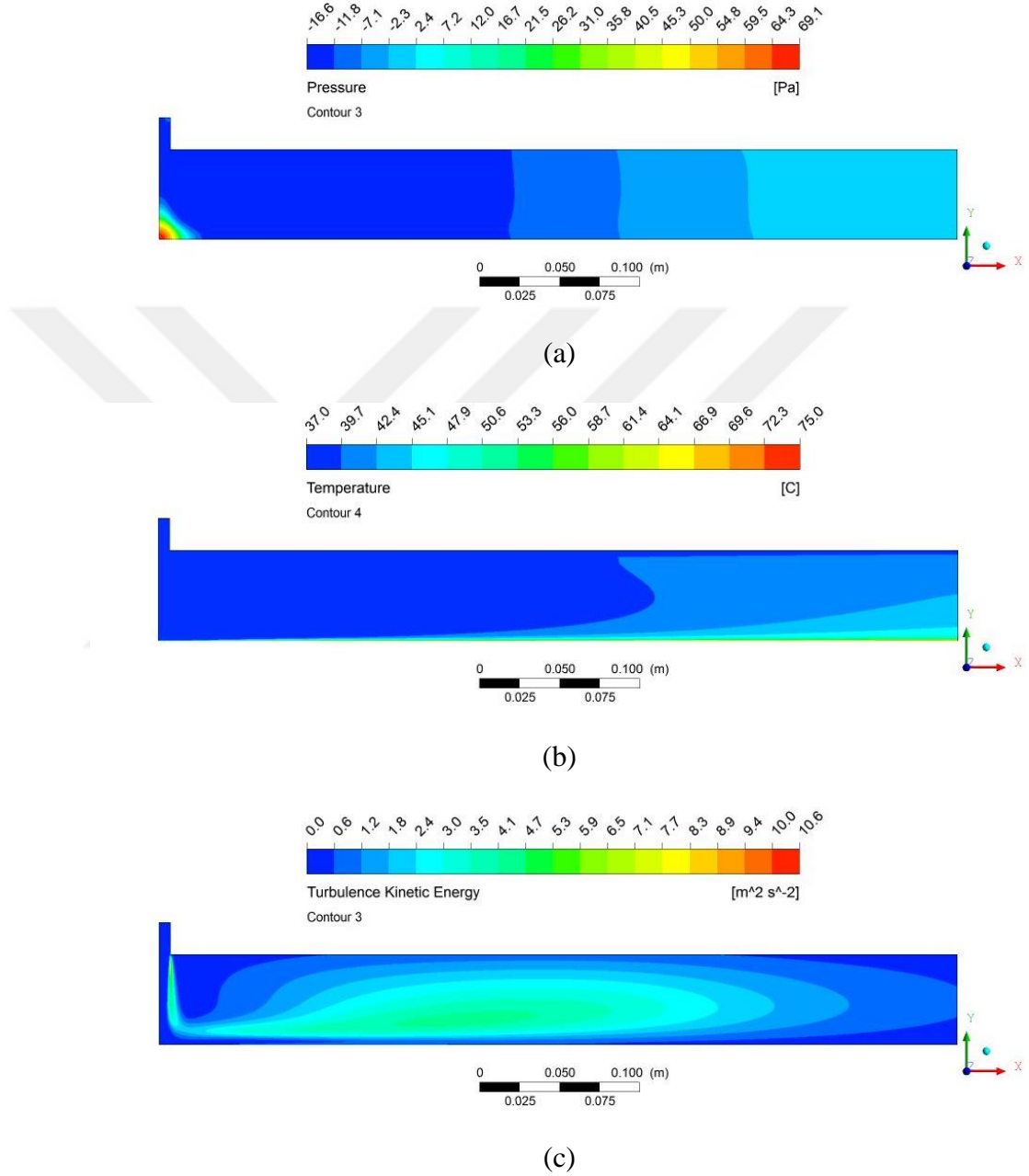
Şekil 4.10'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.10.  $t=20$  mm ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

h)  $t=20$  mm ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.11’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

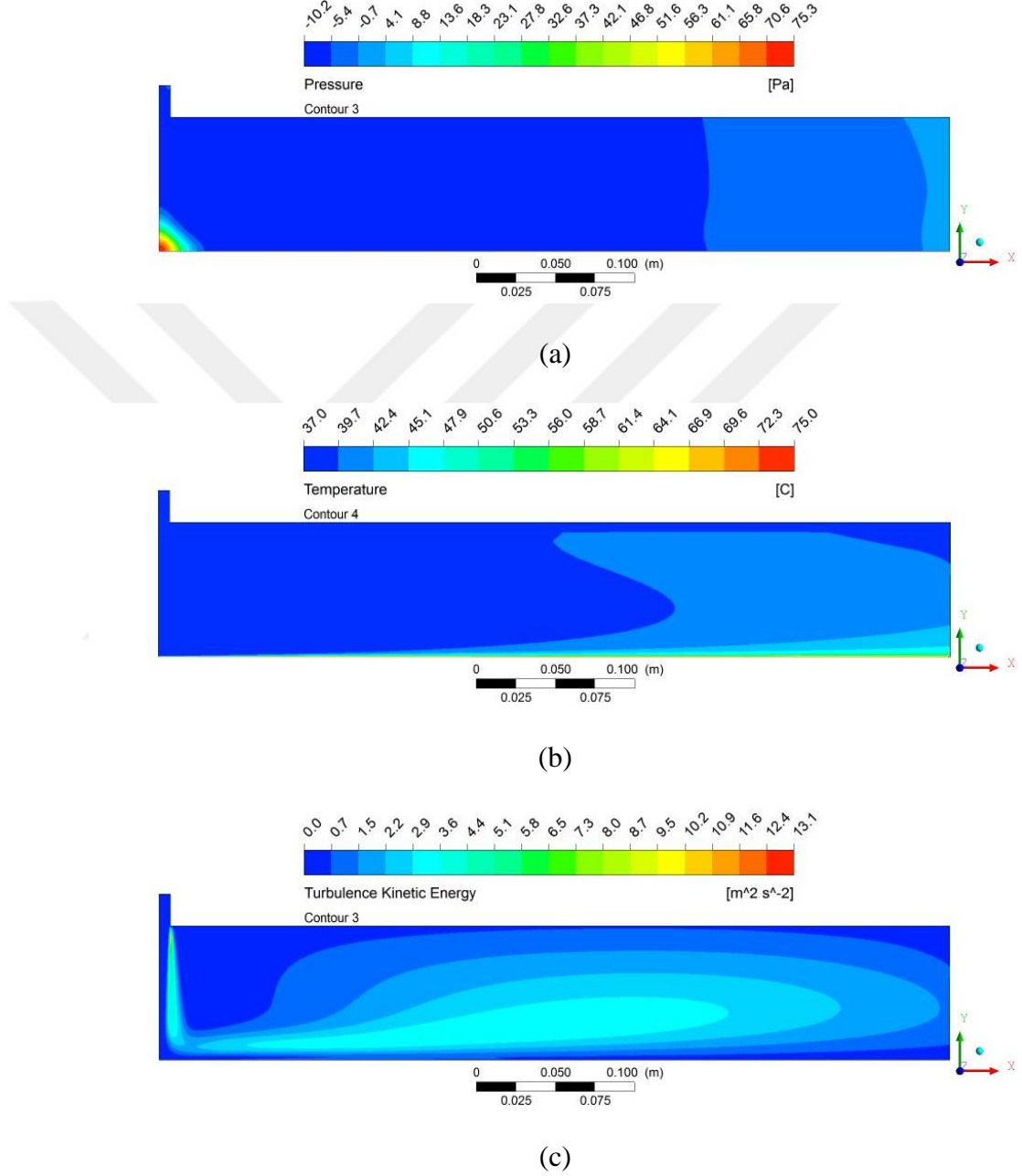


Şekil 4.11.  $t=20$  mm ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



i)  $t=20$  mm ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.12’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

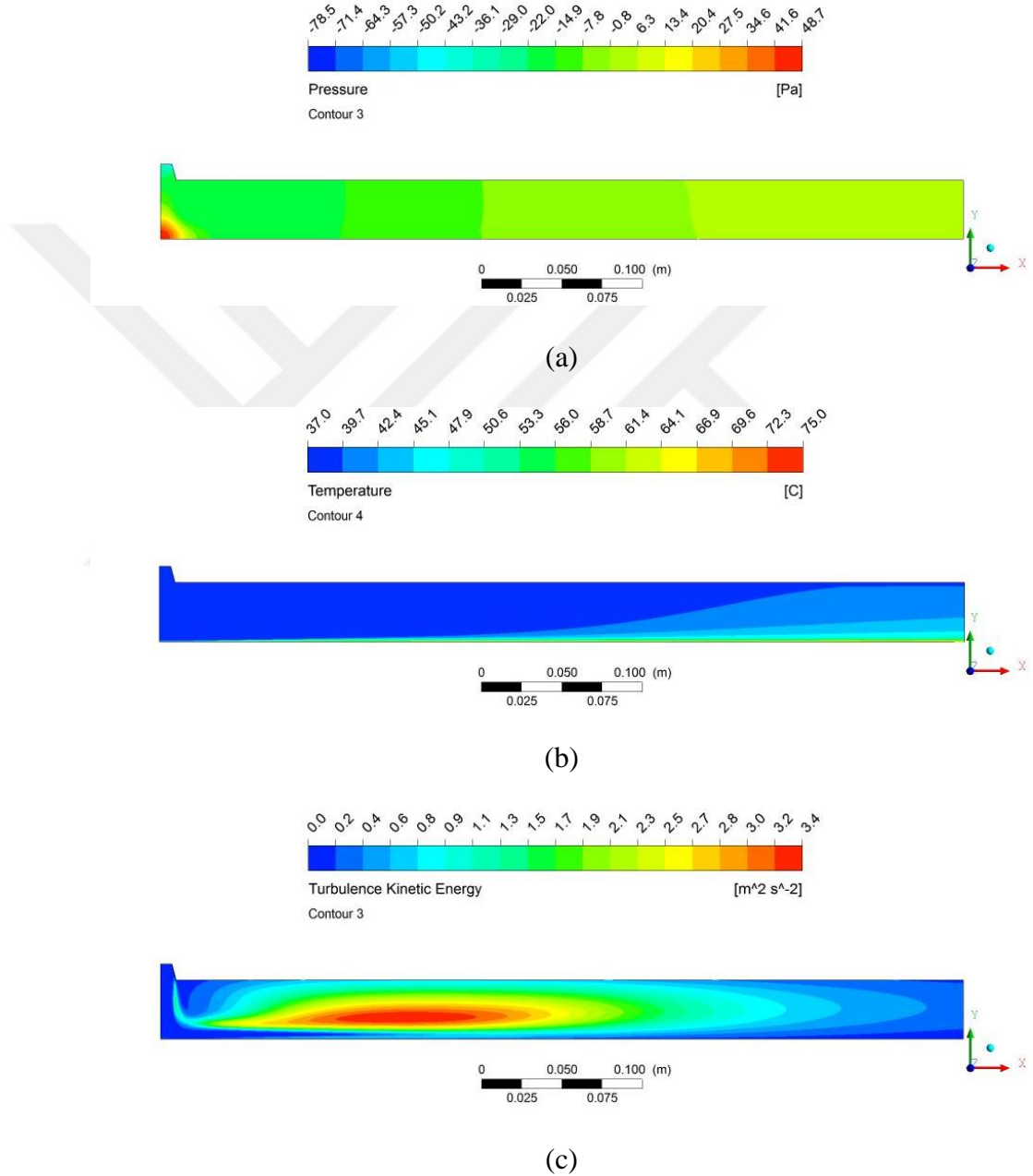


Şekil 4.12.  $t=20$  mm ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

### 5.1.3. Model 3 sonuçları

a)  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

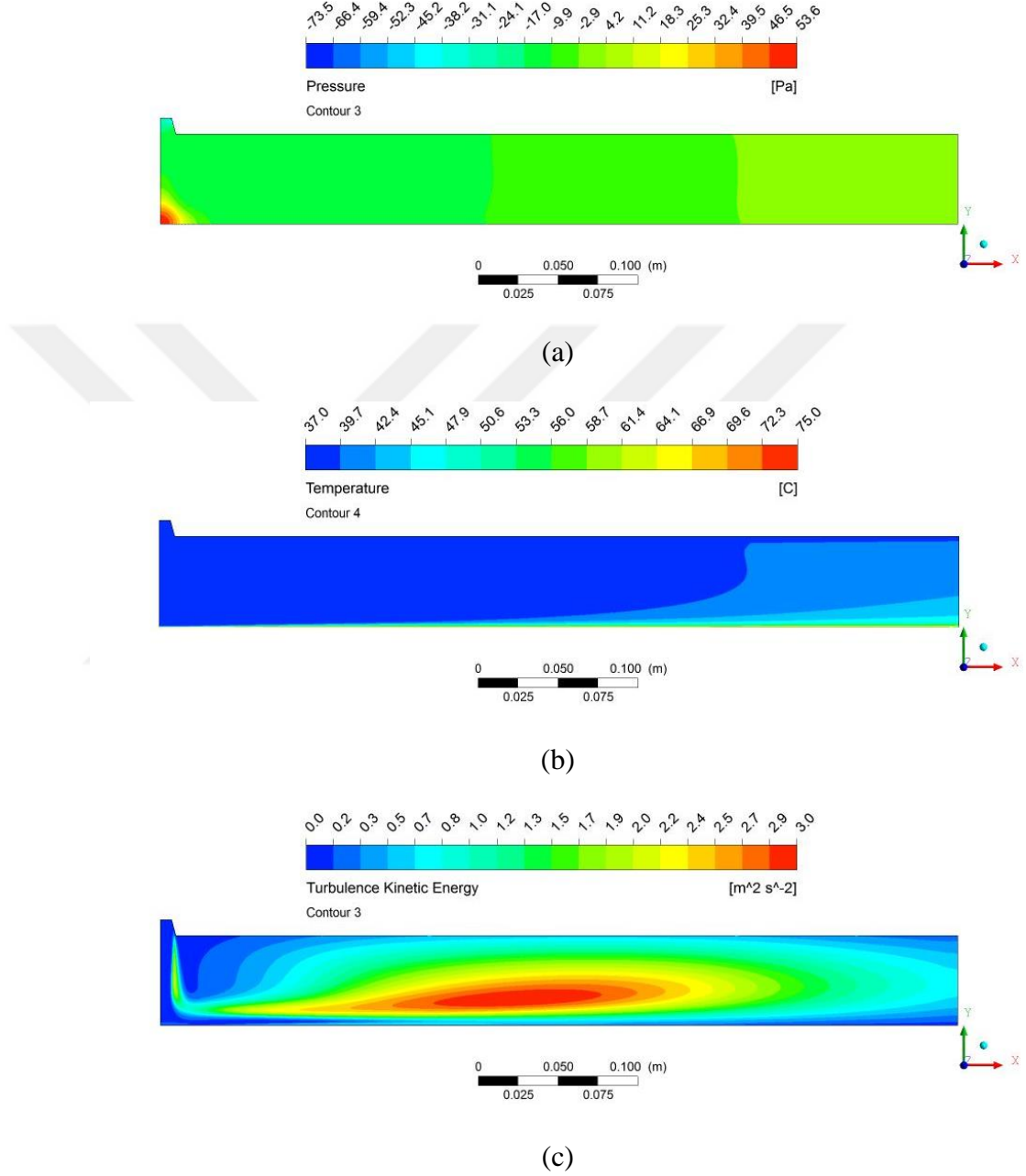
Şekil 4.13’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.13.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

b)  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

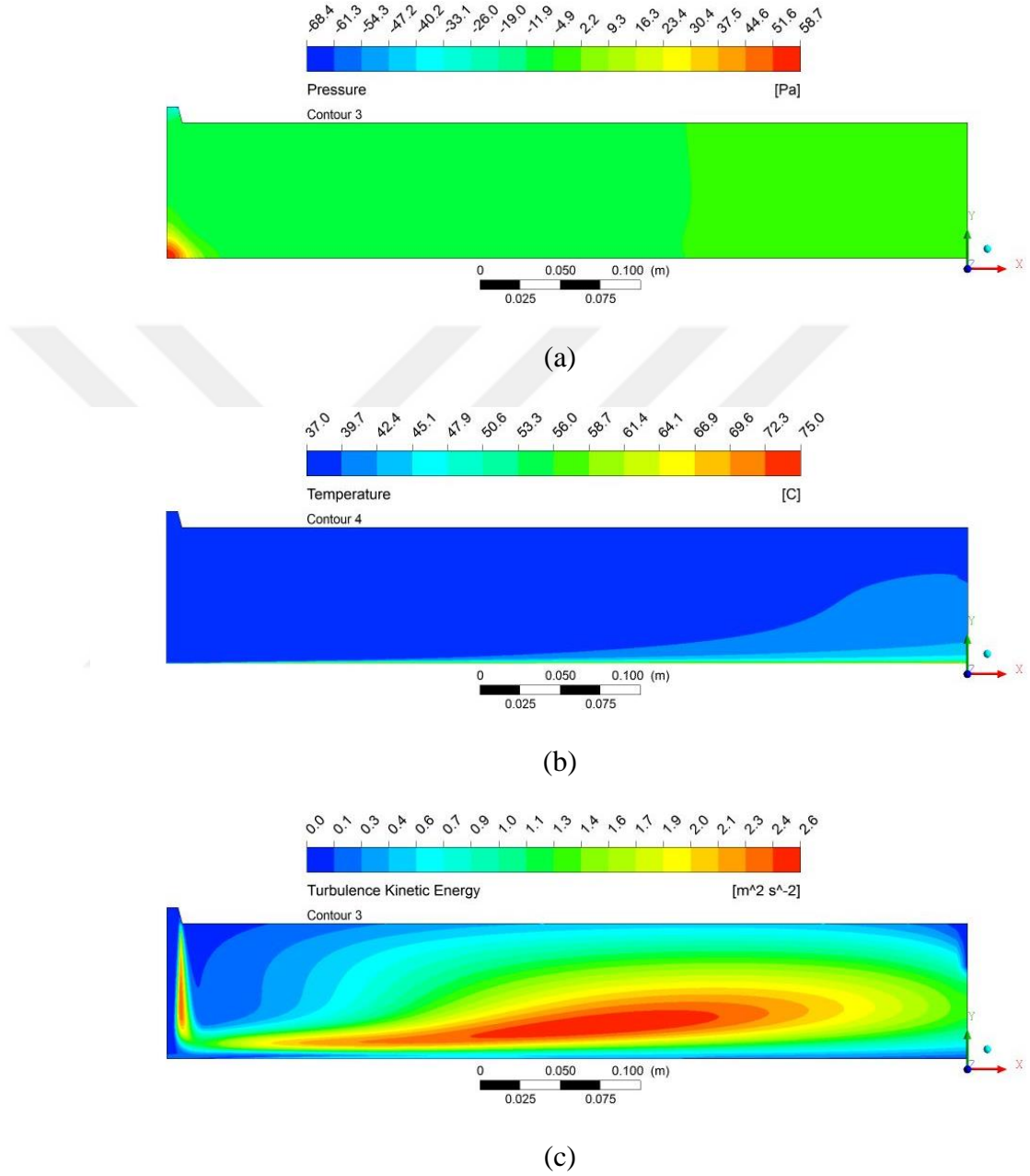
Şekil 4.14’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.14.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

c)  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

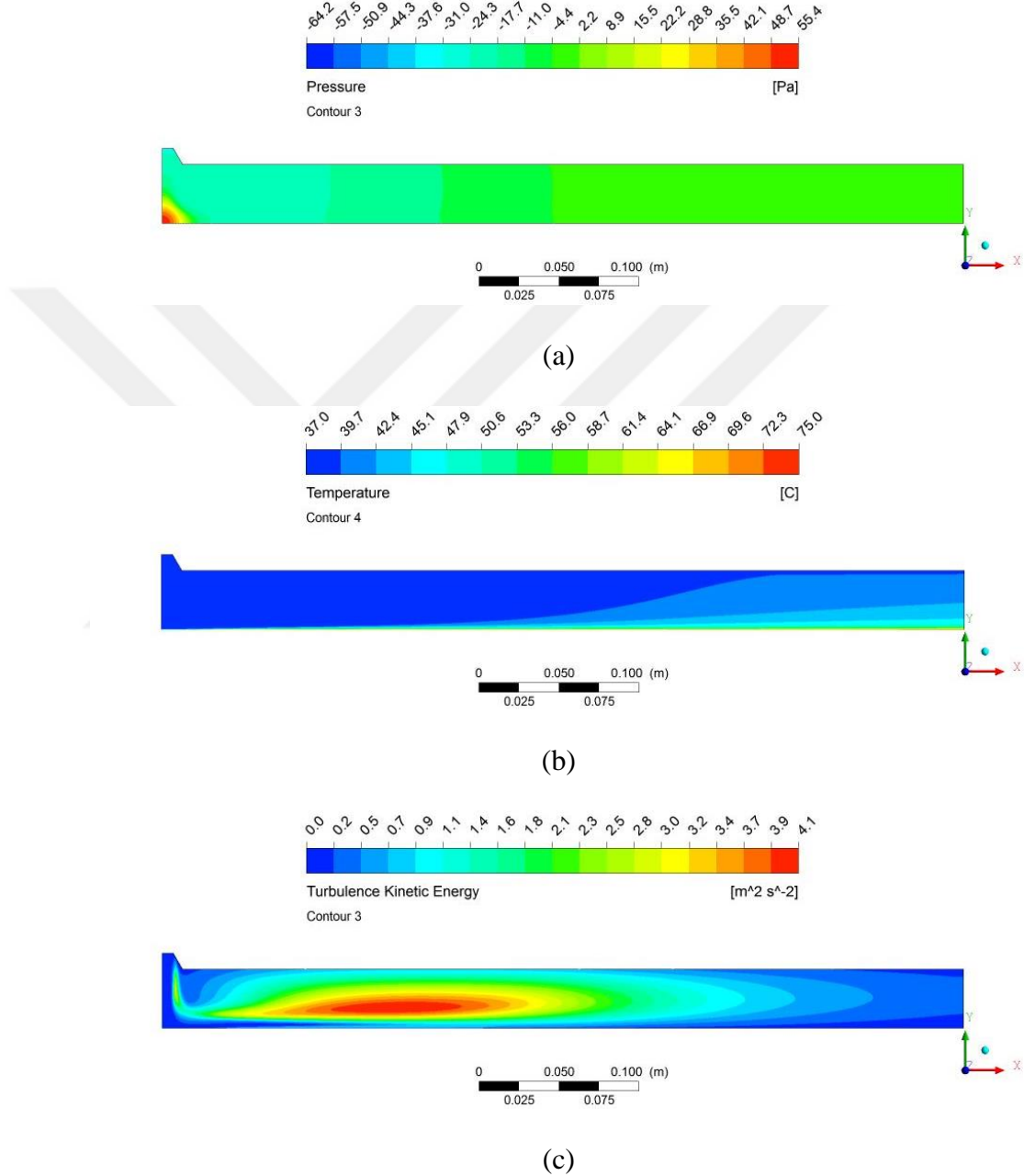
Şekil 4.15’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.15.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

d)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

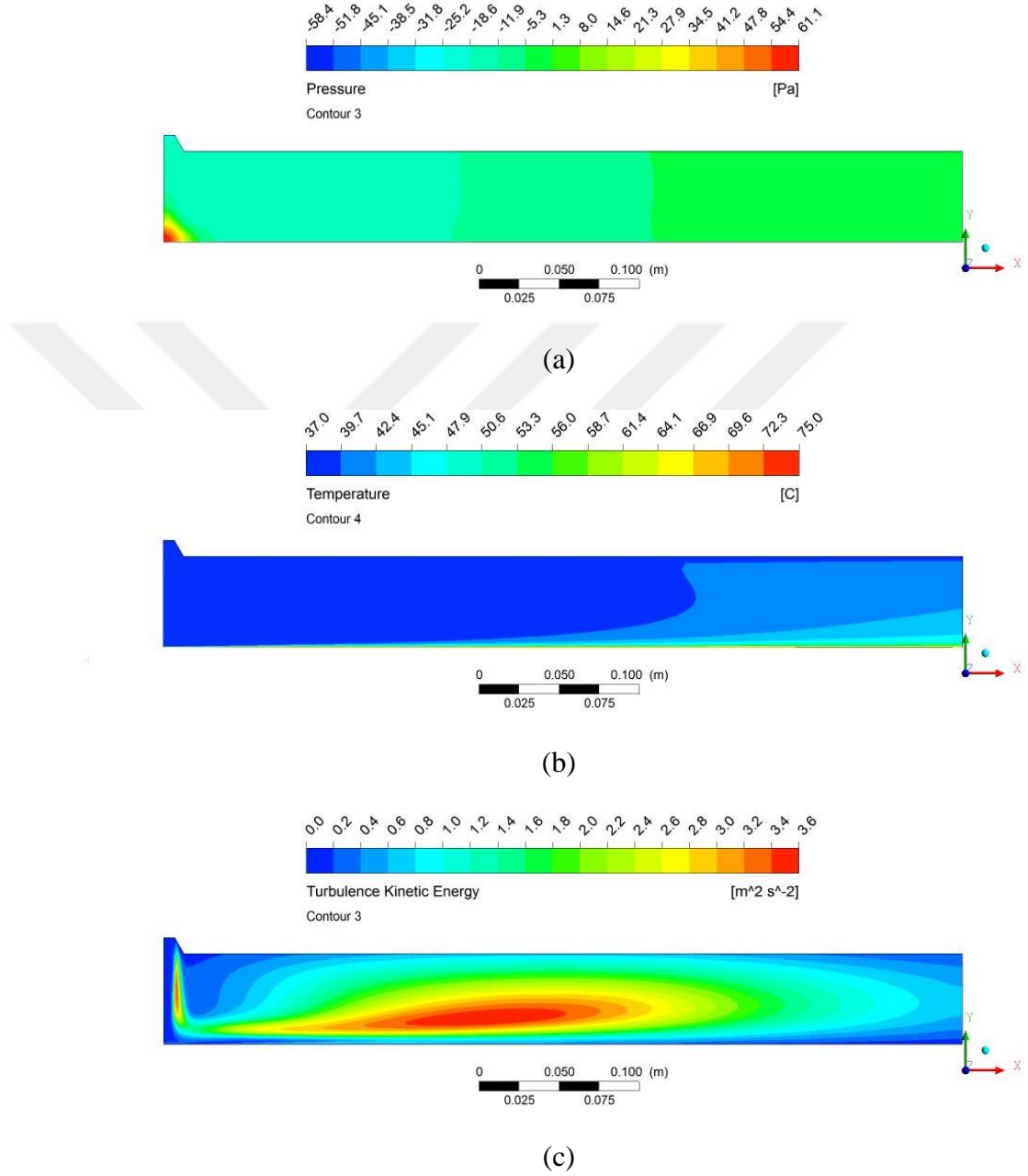
Şekil 4.16'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.16.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

e)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

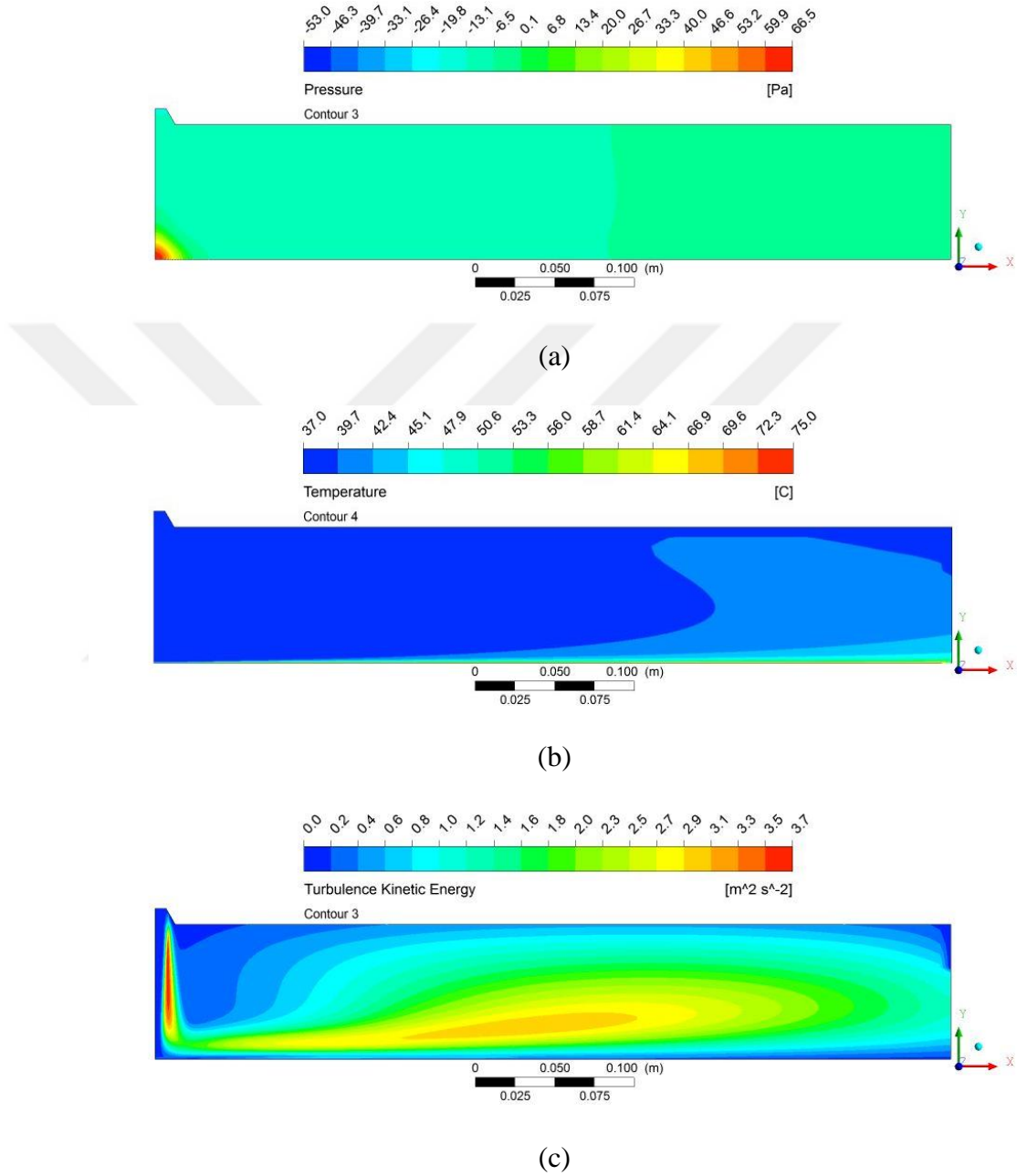
Şekil 4.17’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.17.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

f)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

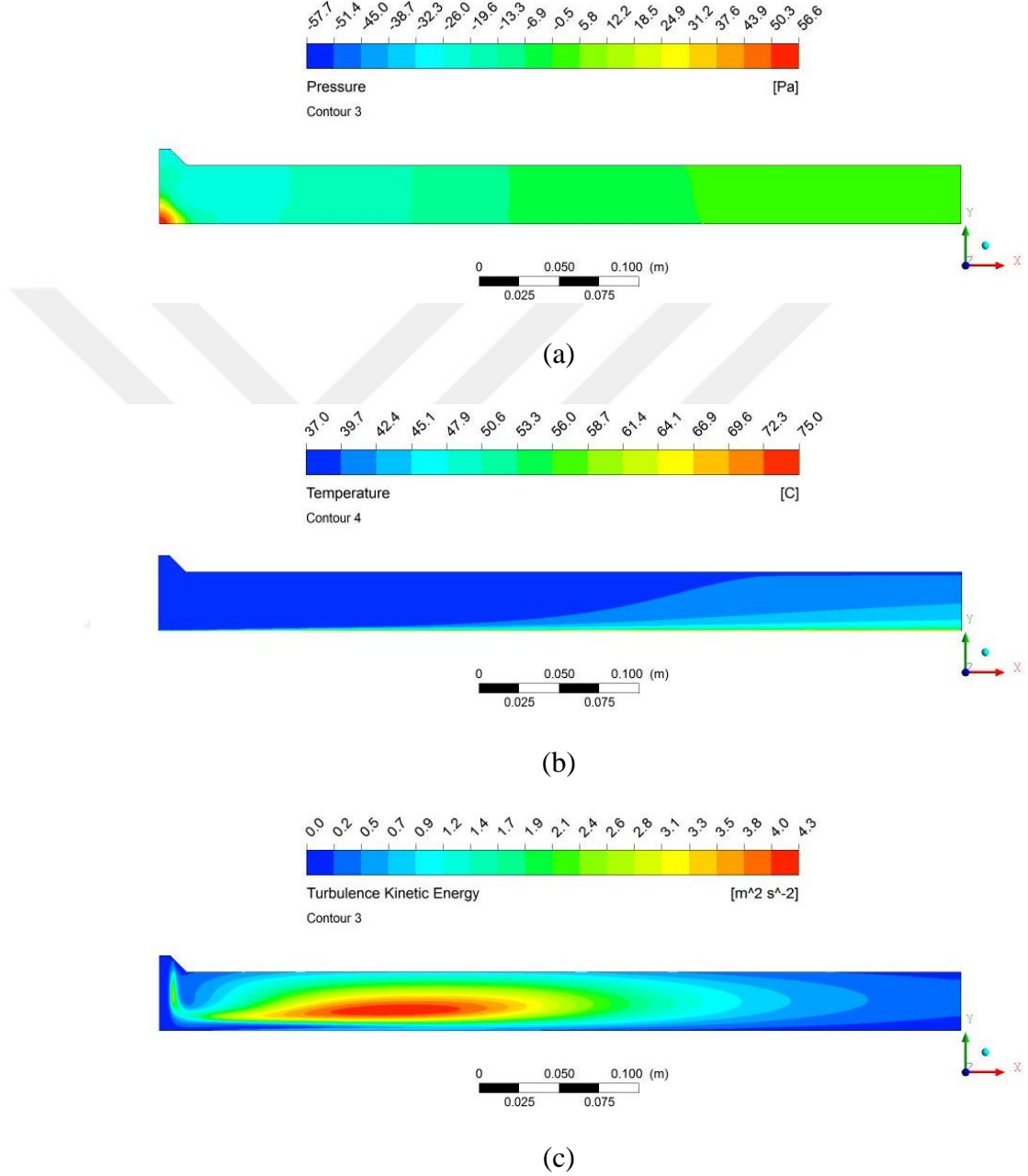
Şekil 4.18’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.18.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

g)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.19’da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

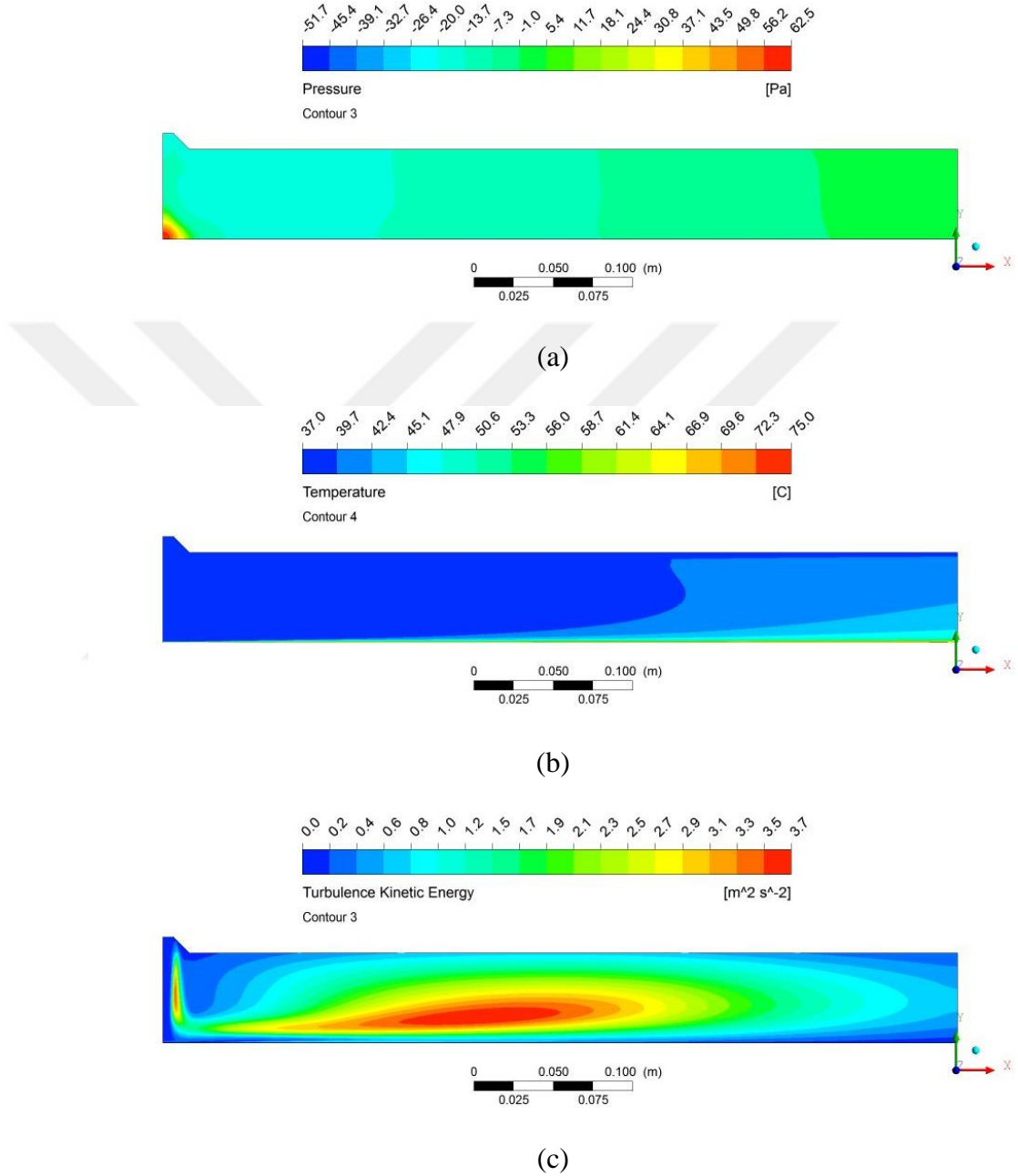


Şekil 4.19.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



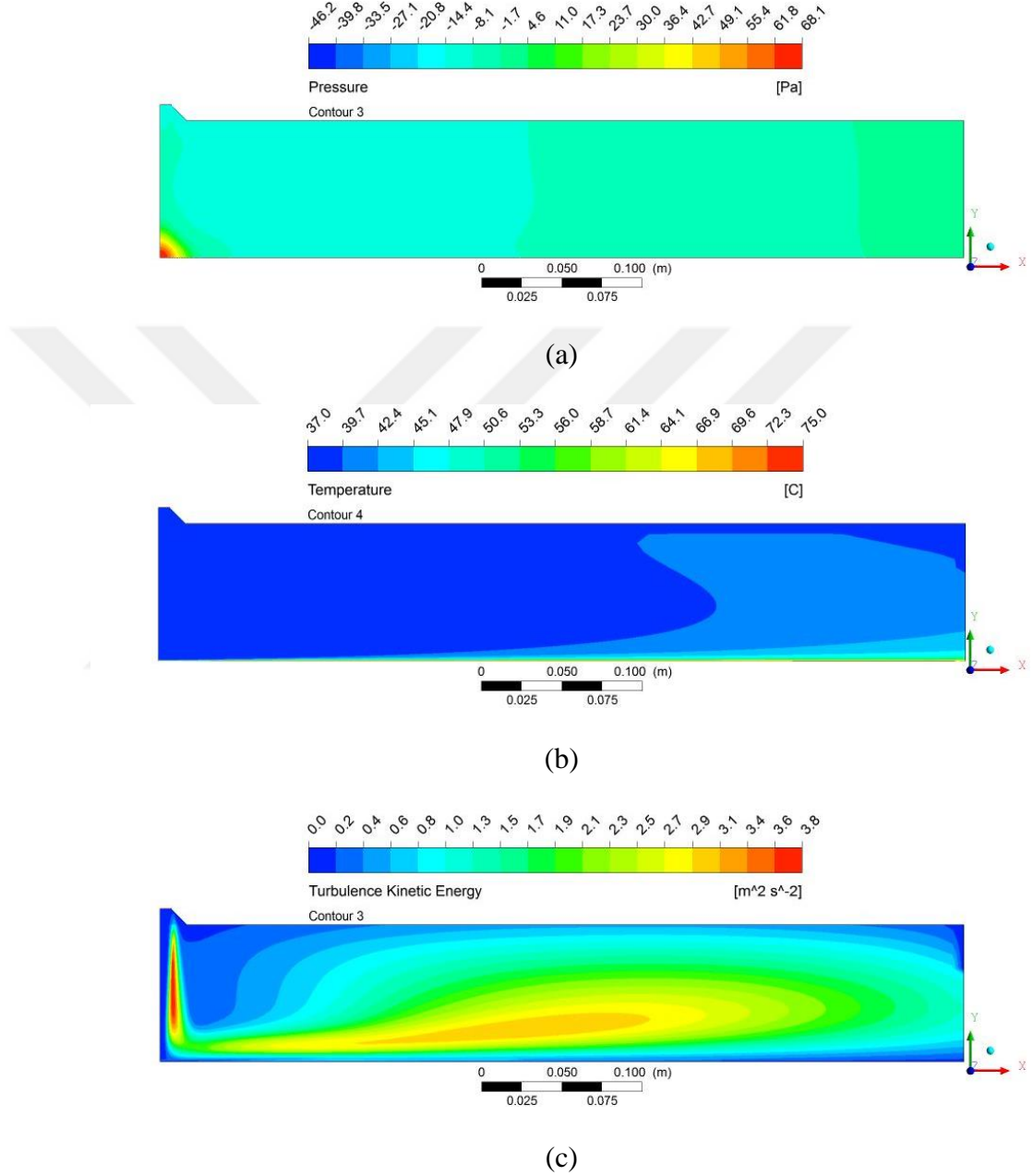
h)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.20’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.20.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

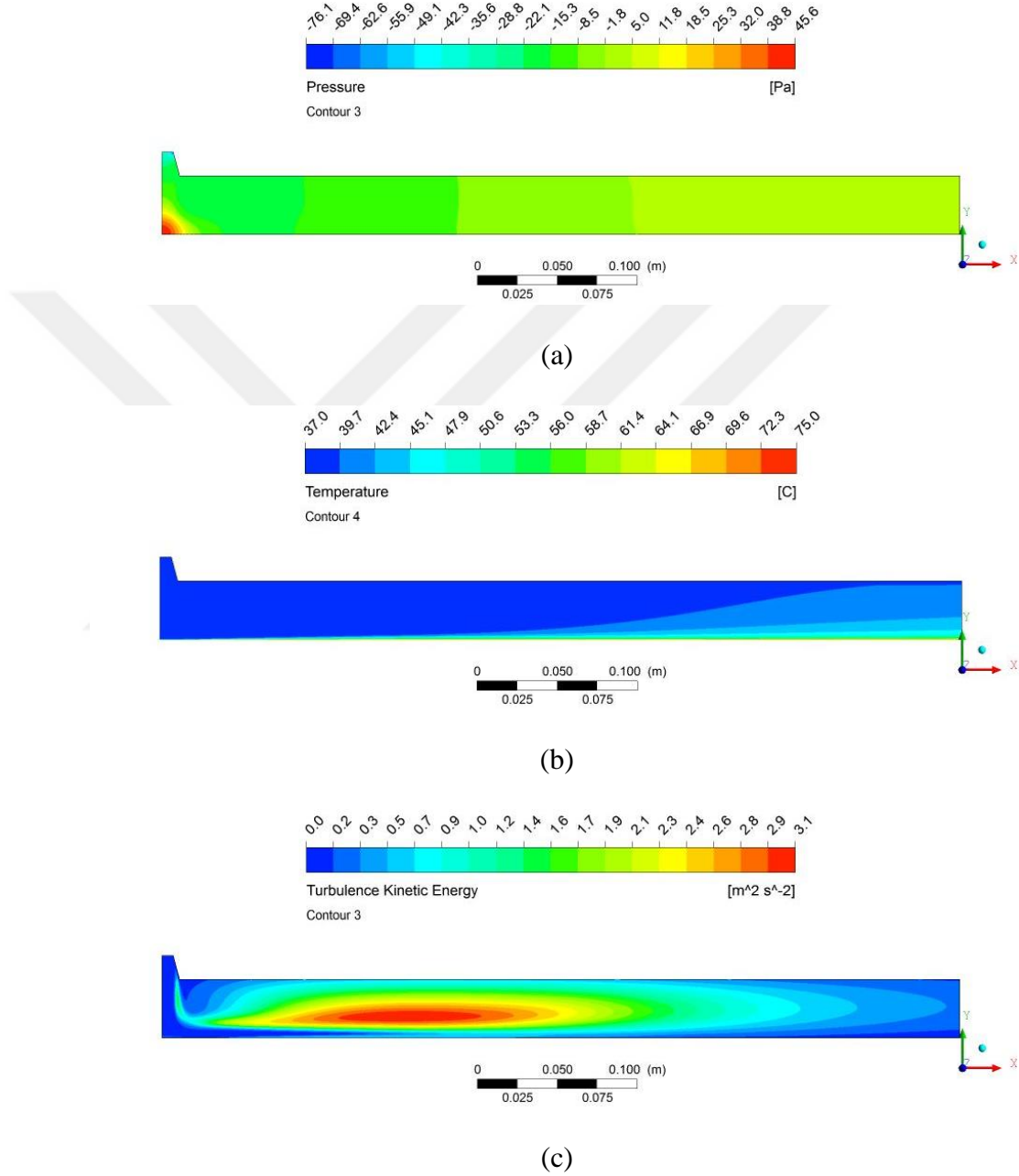
i)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.21’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.21.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

j)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

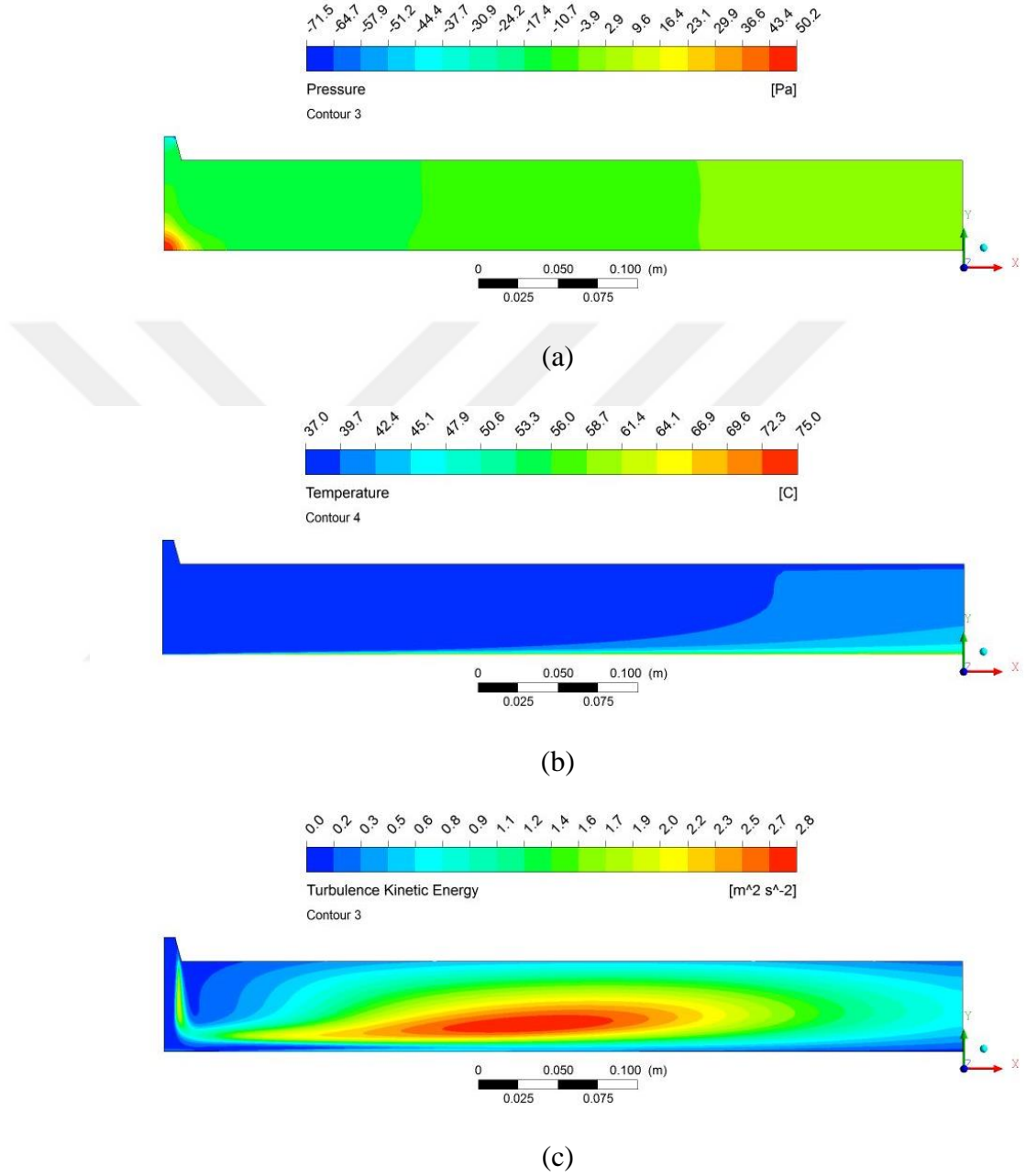
Şekil 4.22’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.22.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

k)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

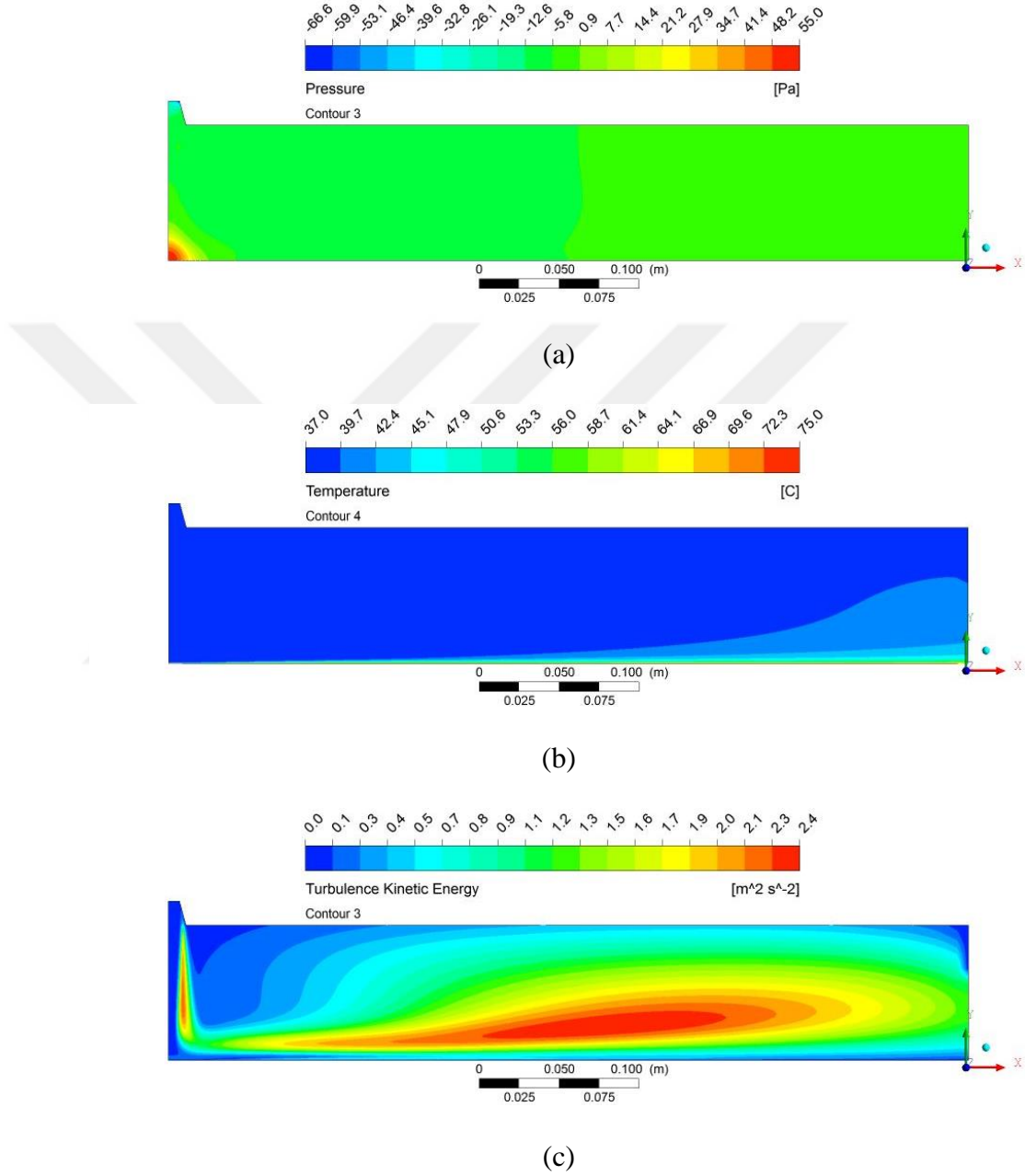
Şekil 4.23’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.23.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

1)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

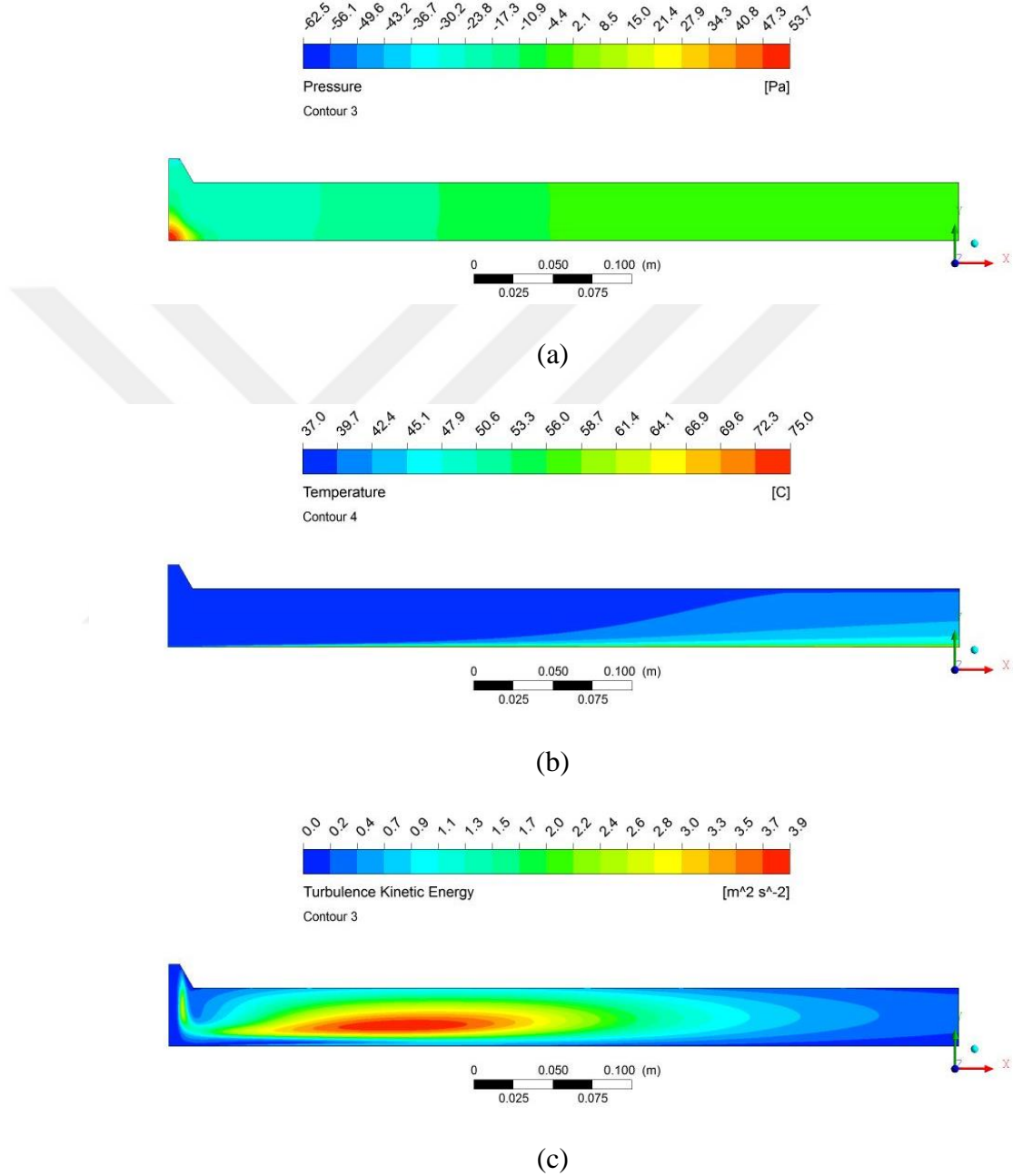
Şekil 4.24’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.24.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

m)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

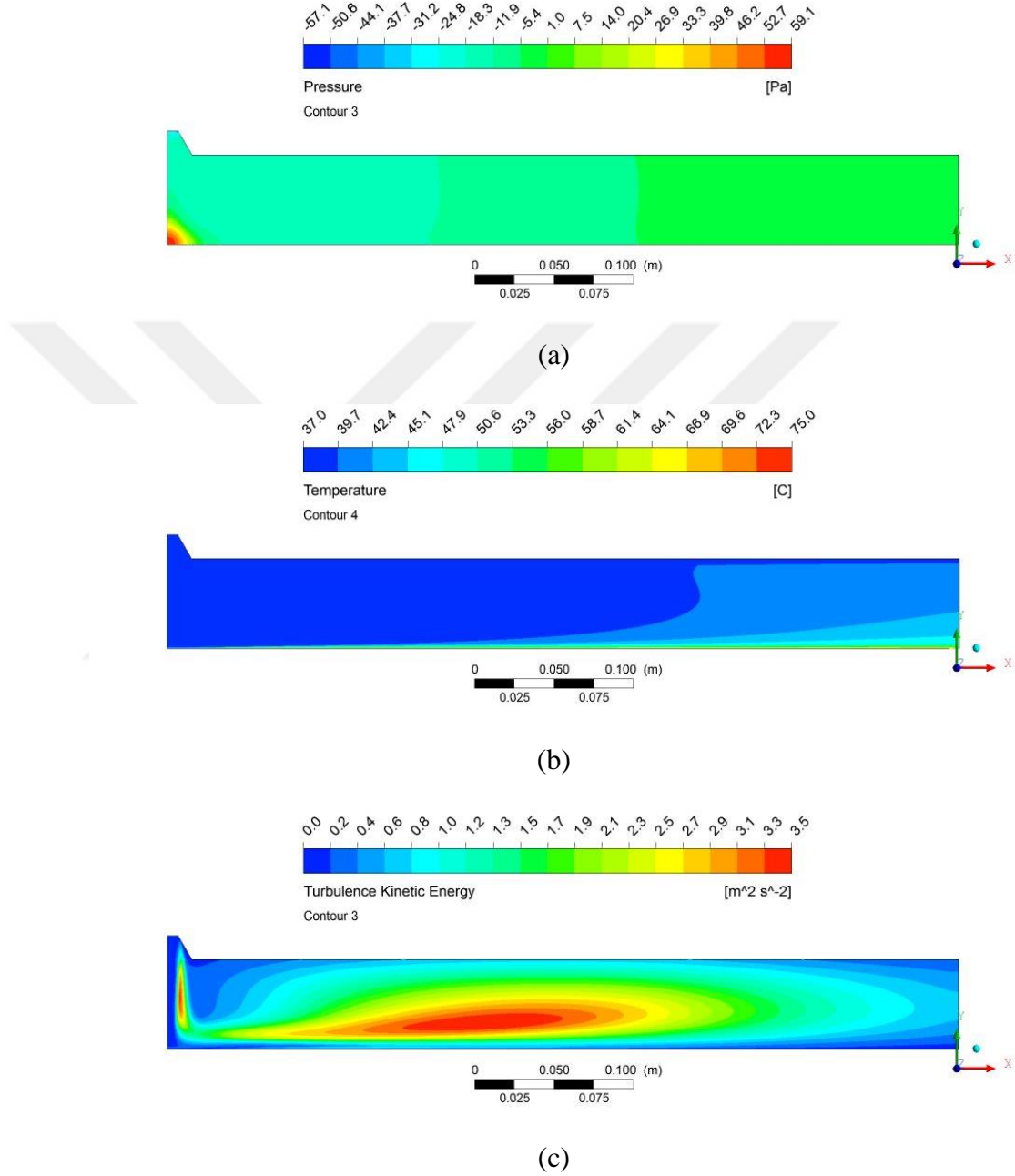
Şekil 4.25’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.25.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

n)  $t=15$  mm,  $\alpha=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

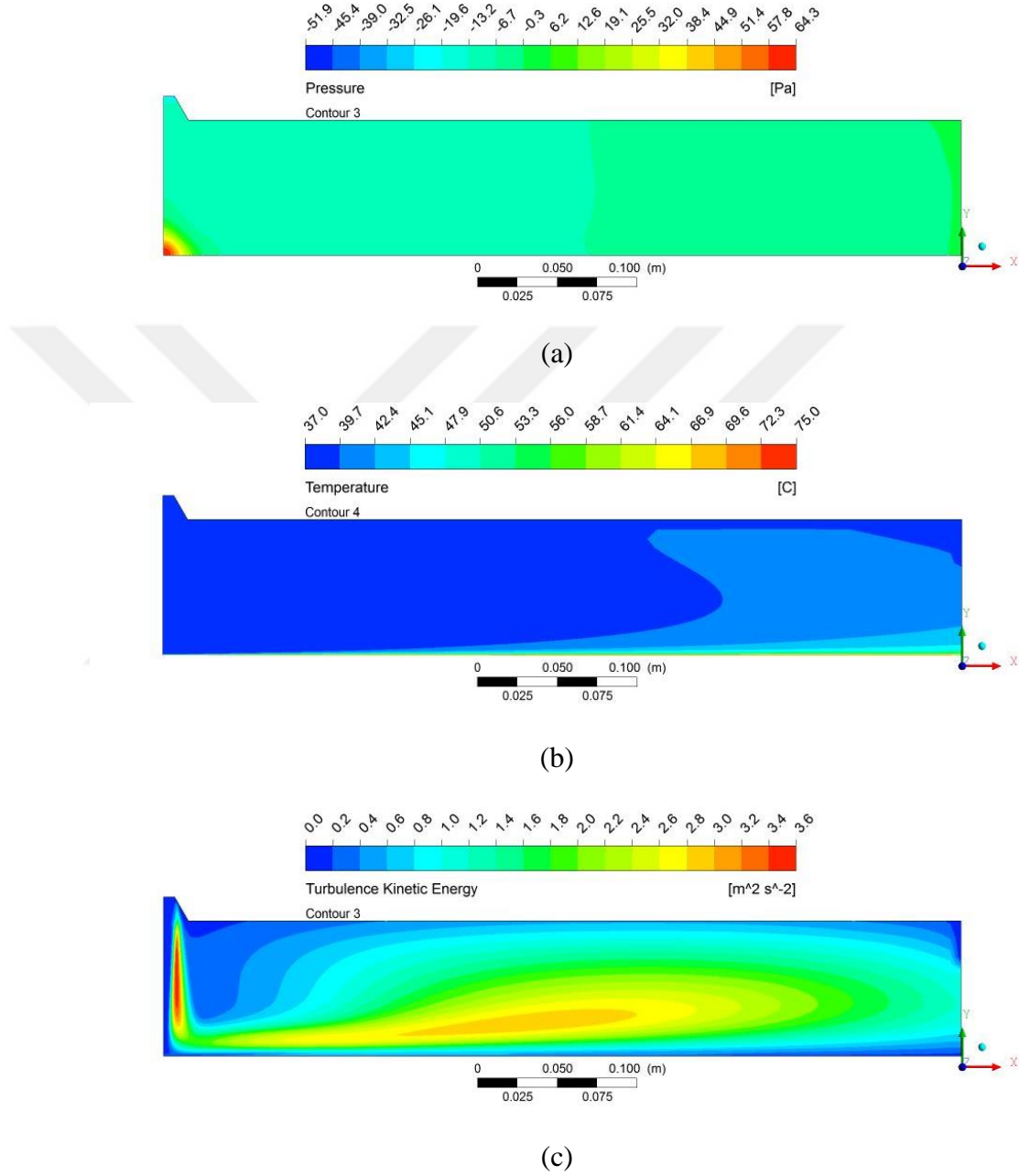
Şekil 4.26'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.26.  $t=15$  mm,  $\alpha=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

o)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.27’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

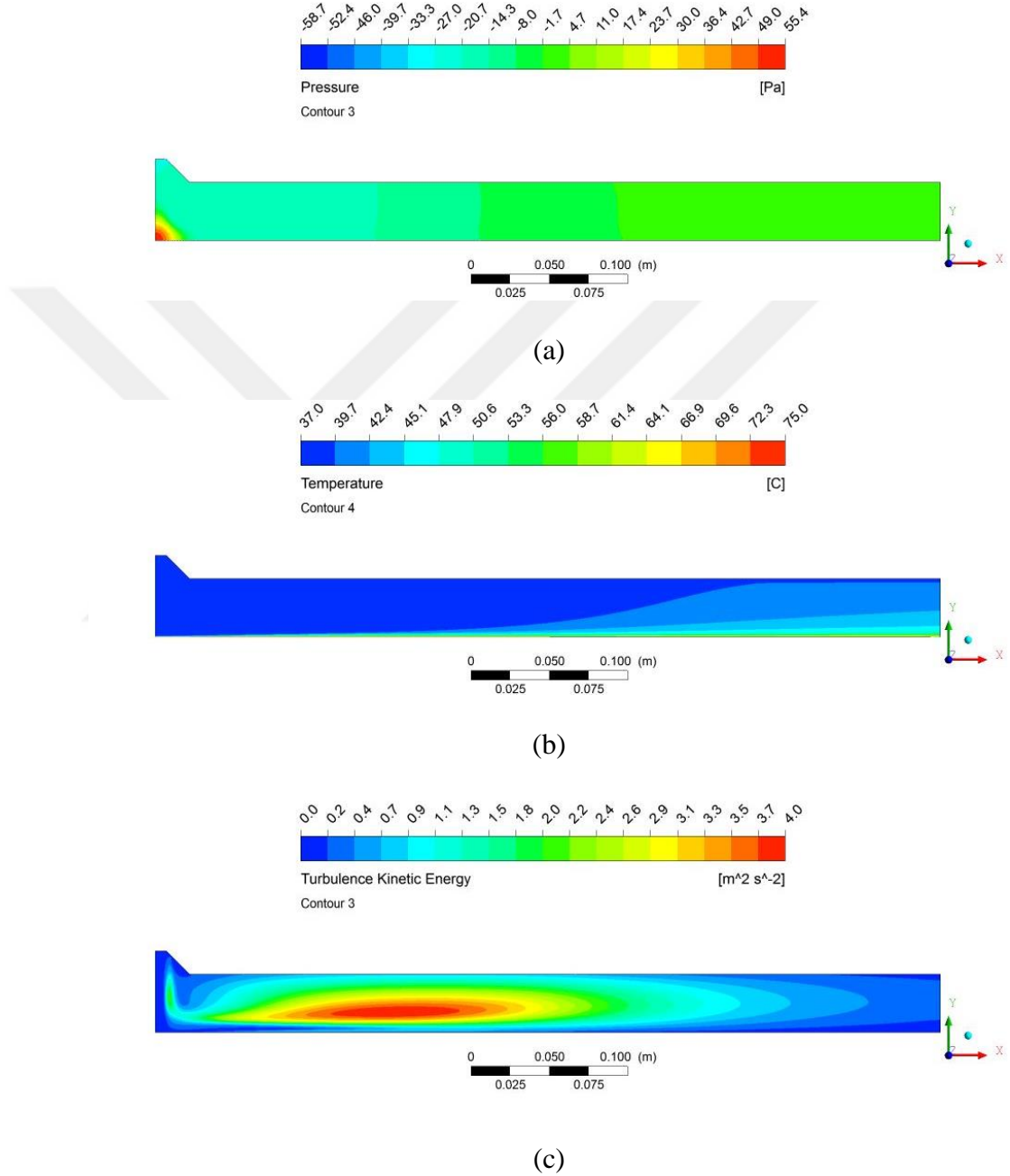


Şekil 4.27.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



p)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

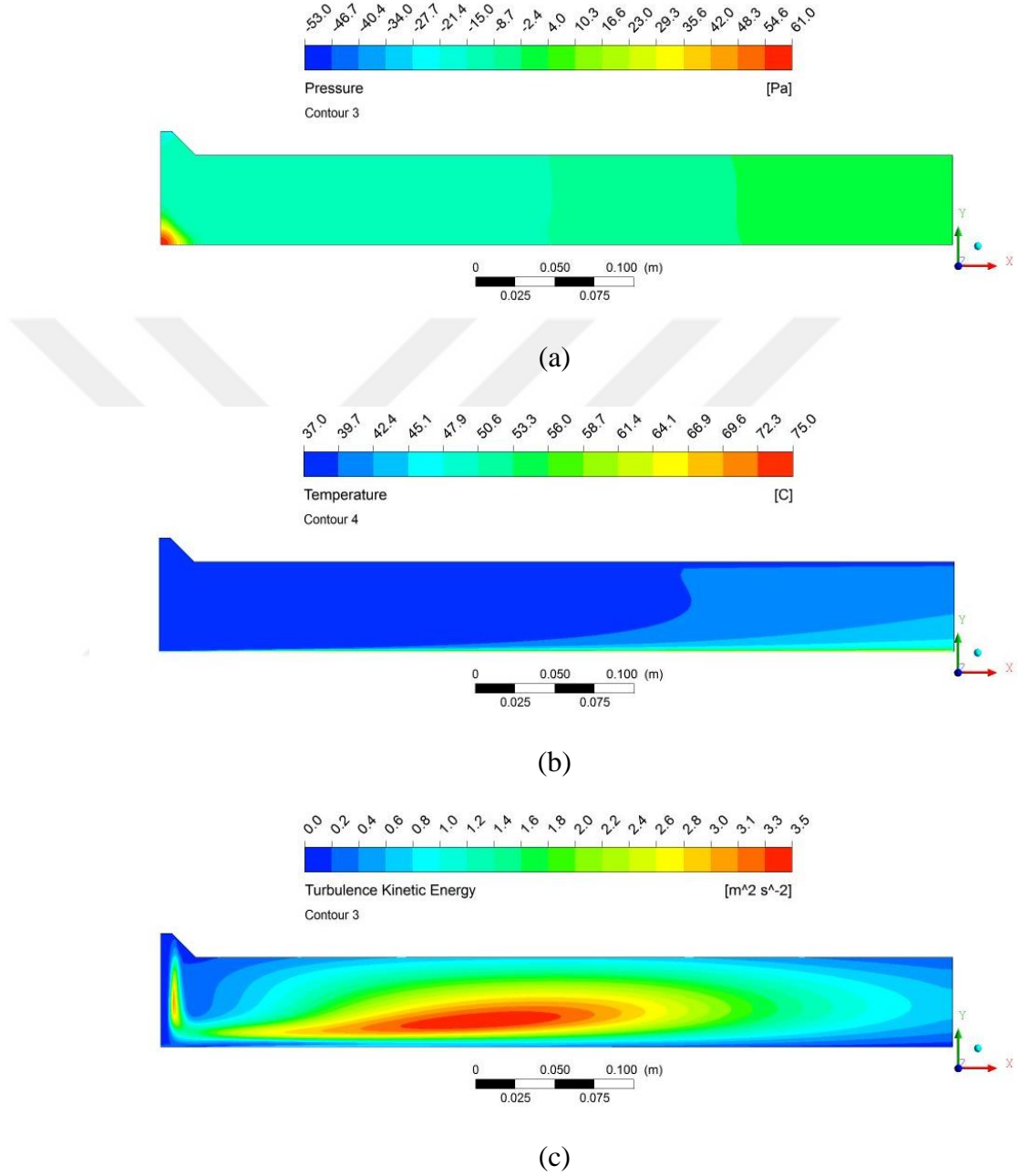
Şekil 4.28’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.28.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

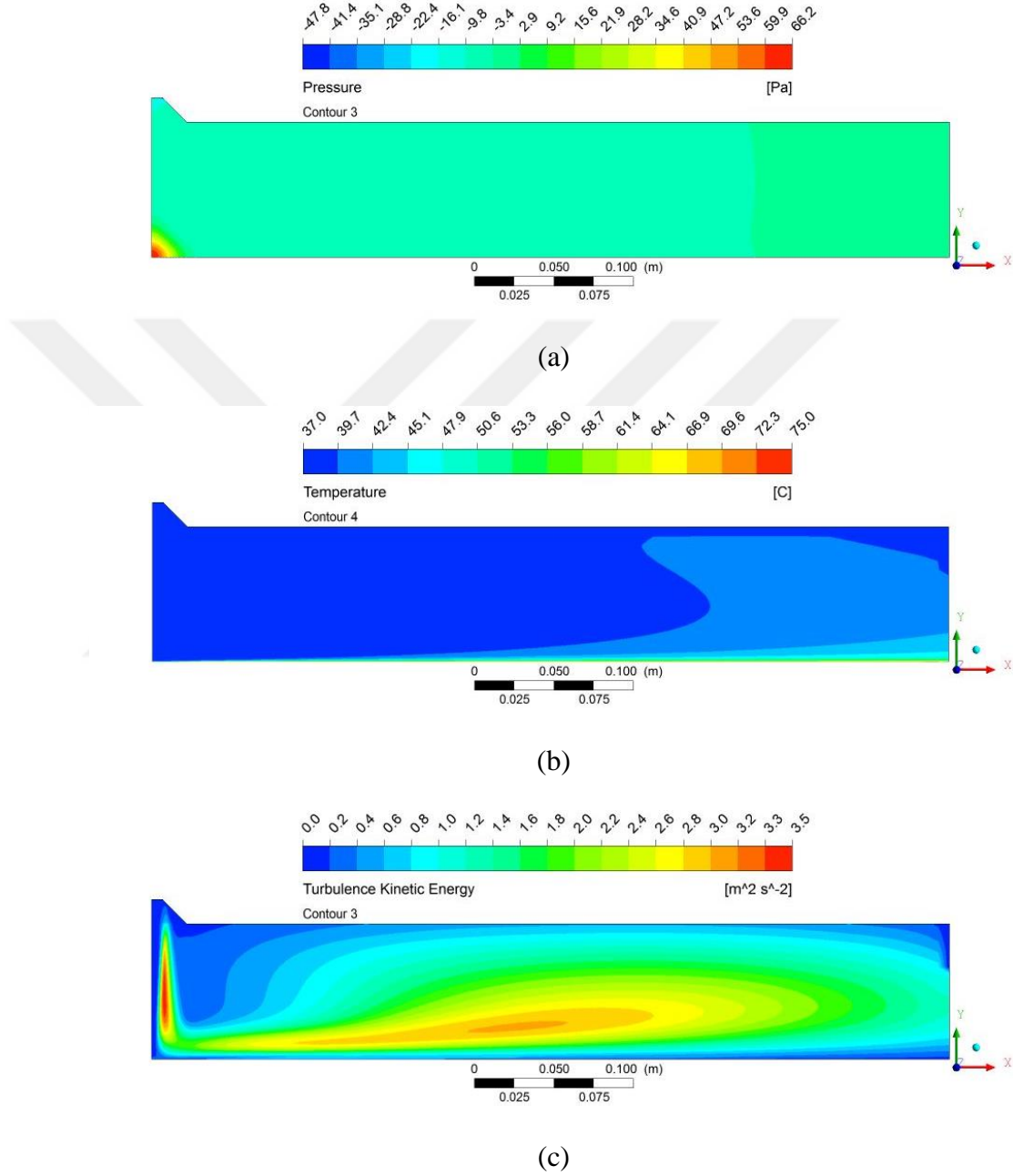
r)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.29'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.29.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

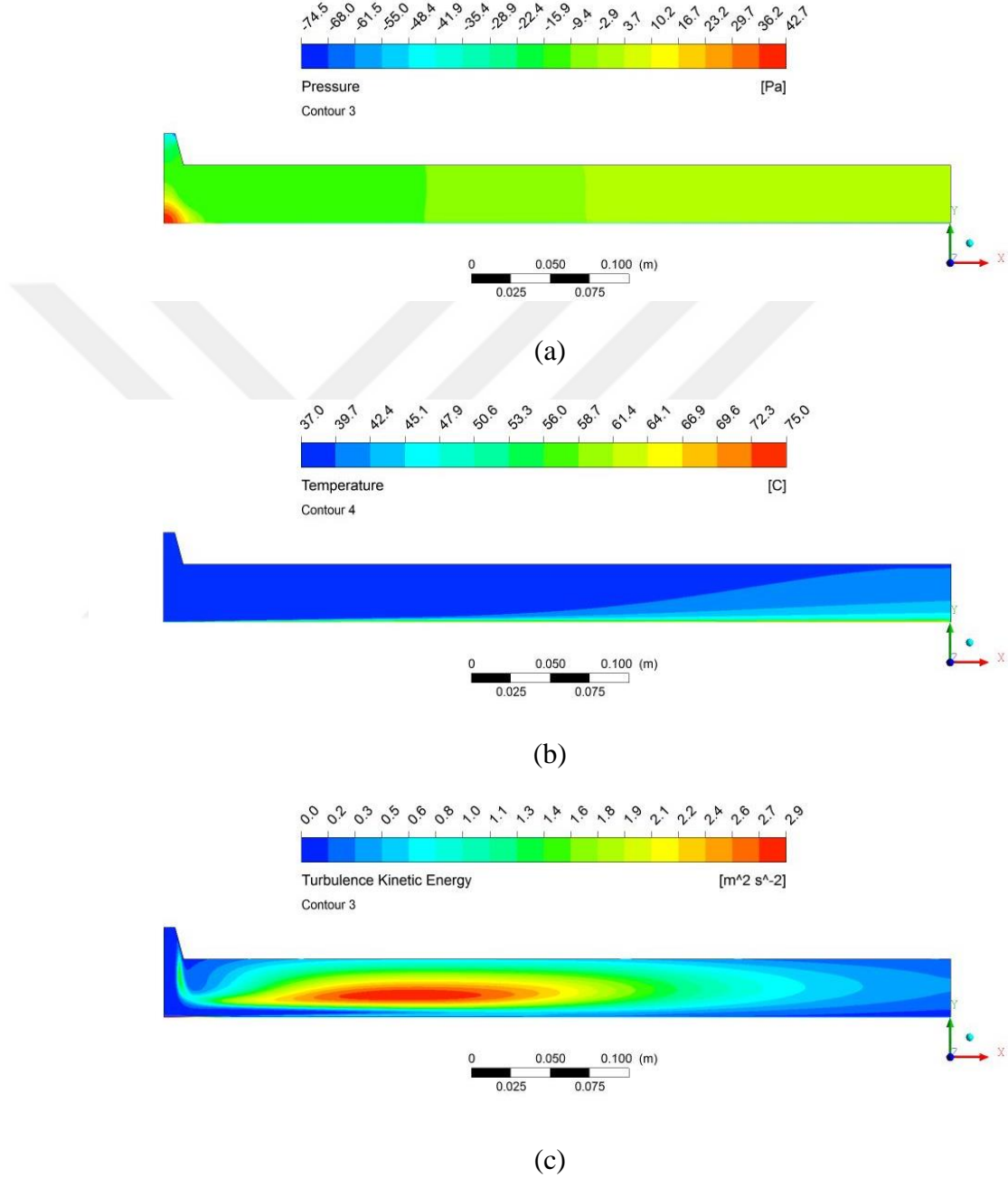
s)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.30'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları  
görülmektedir.



Şekil 4.30.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

t)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

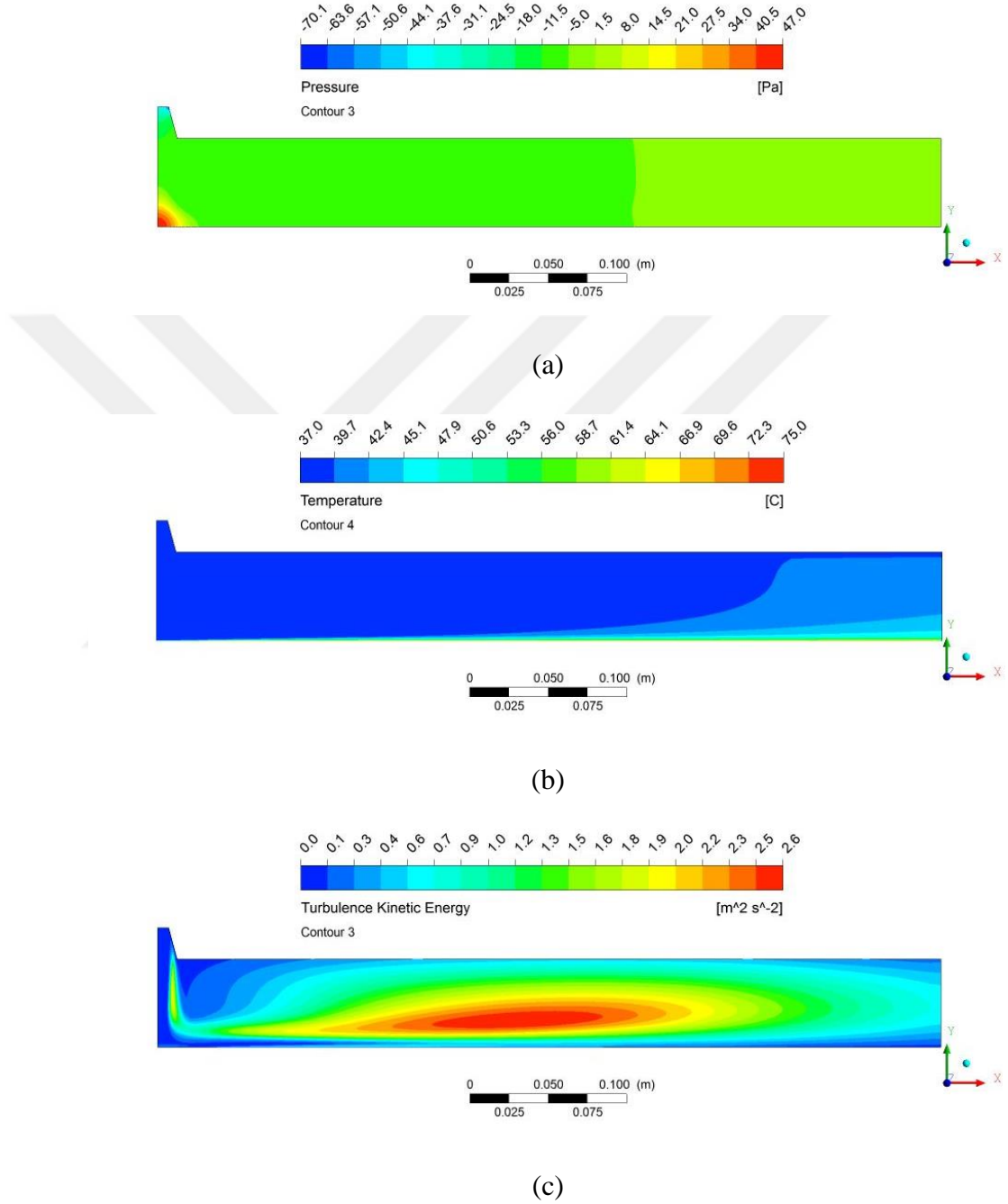
Şekil 4.31’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.31.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

u)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

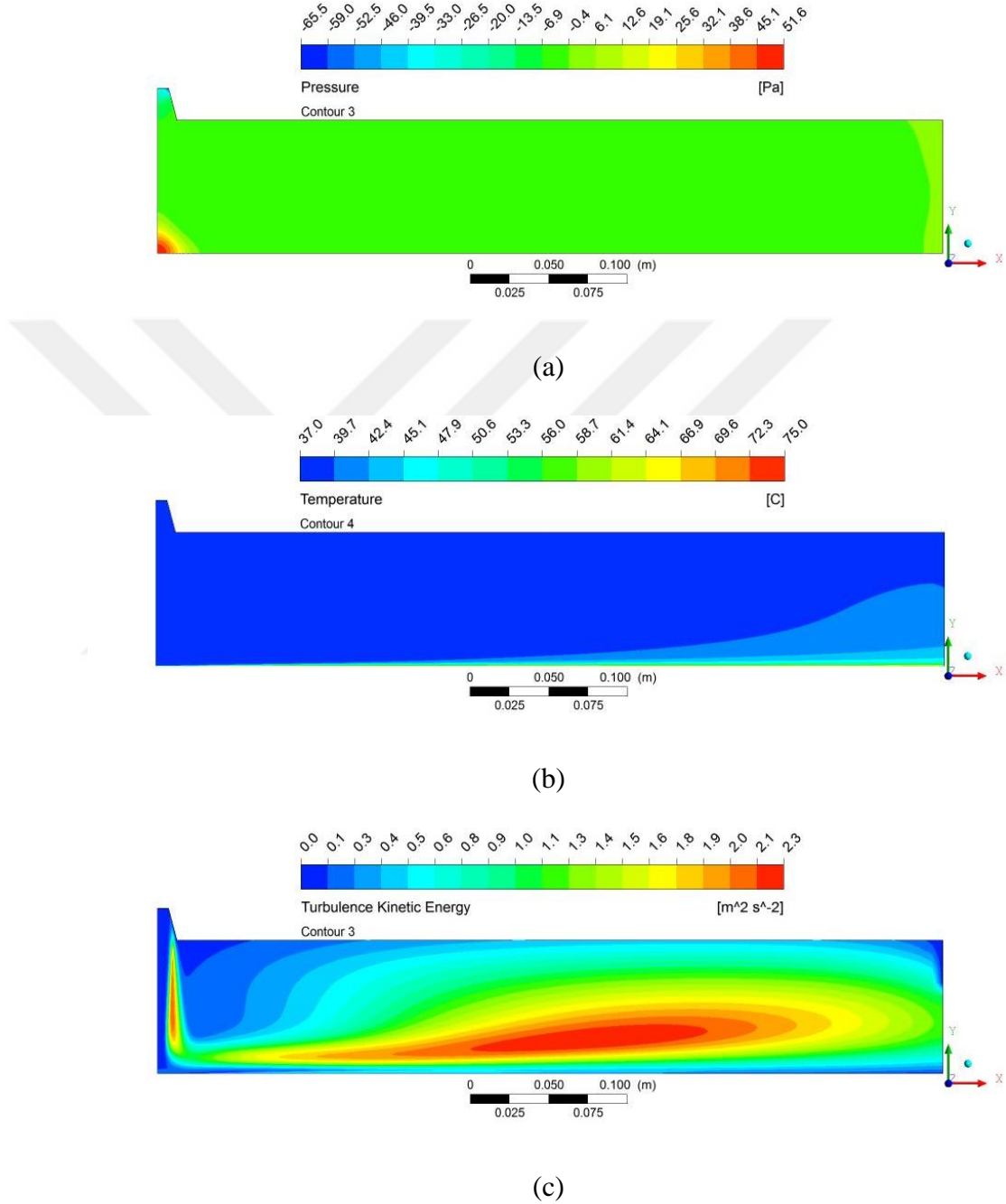
Şekil 4.32’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.32.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

v)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

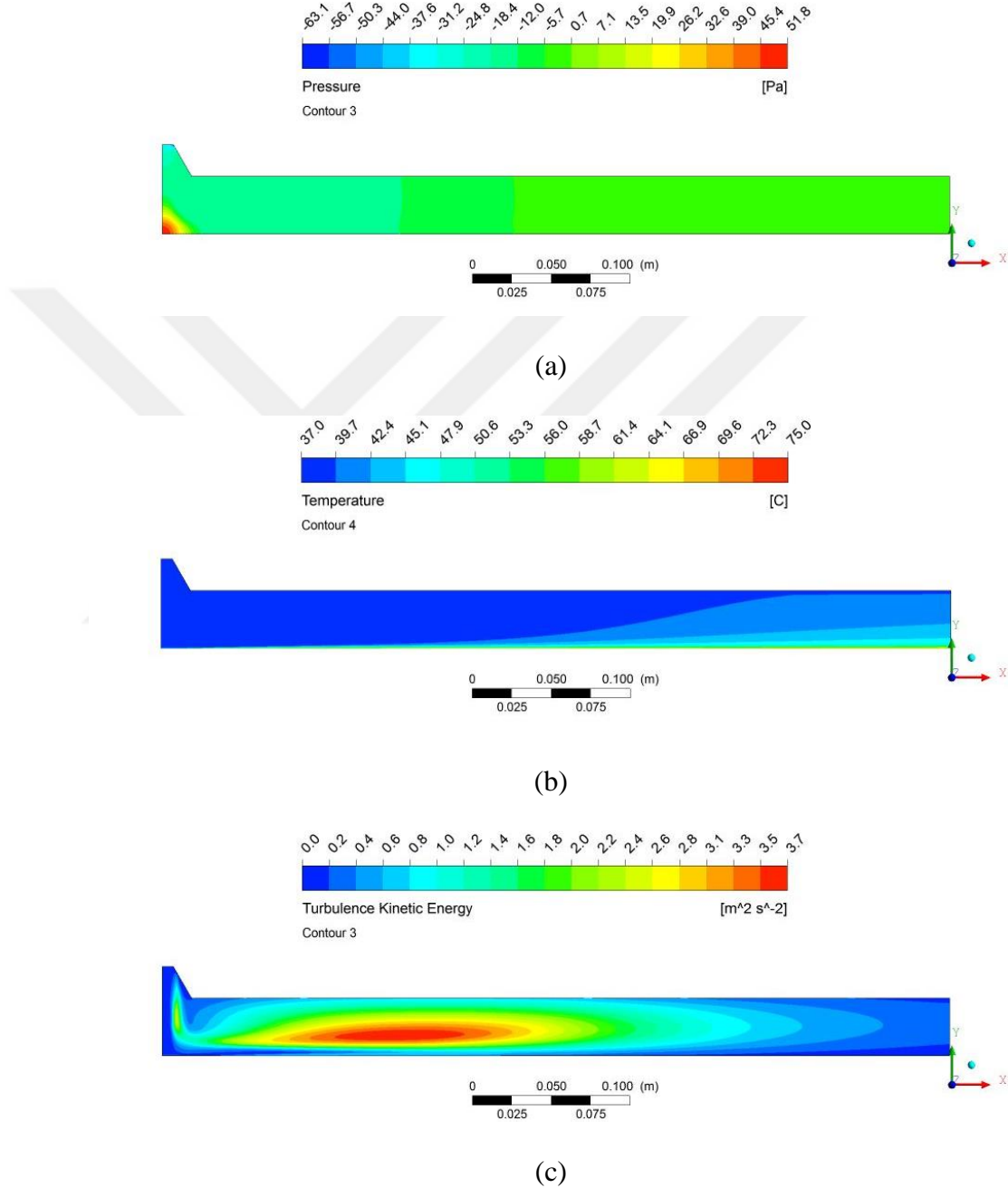
Şekil 4.33’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.33.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

y)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

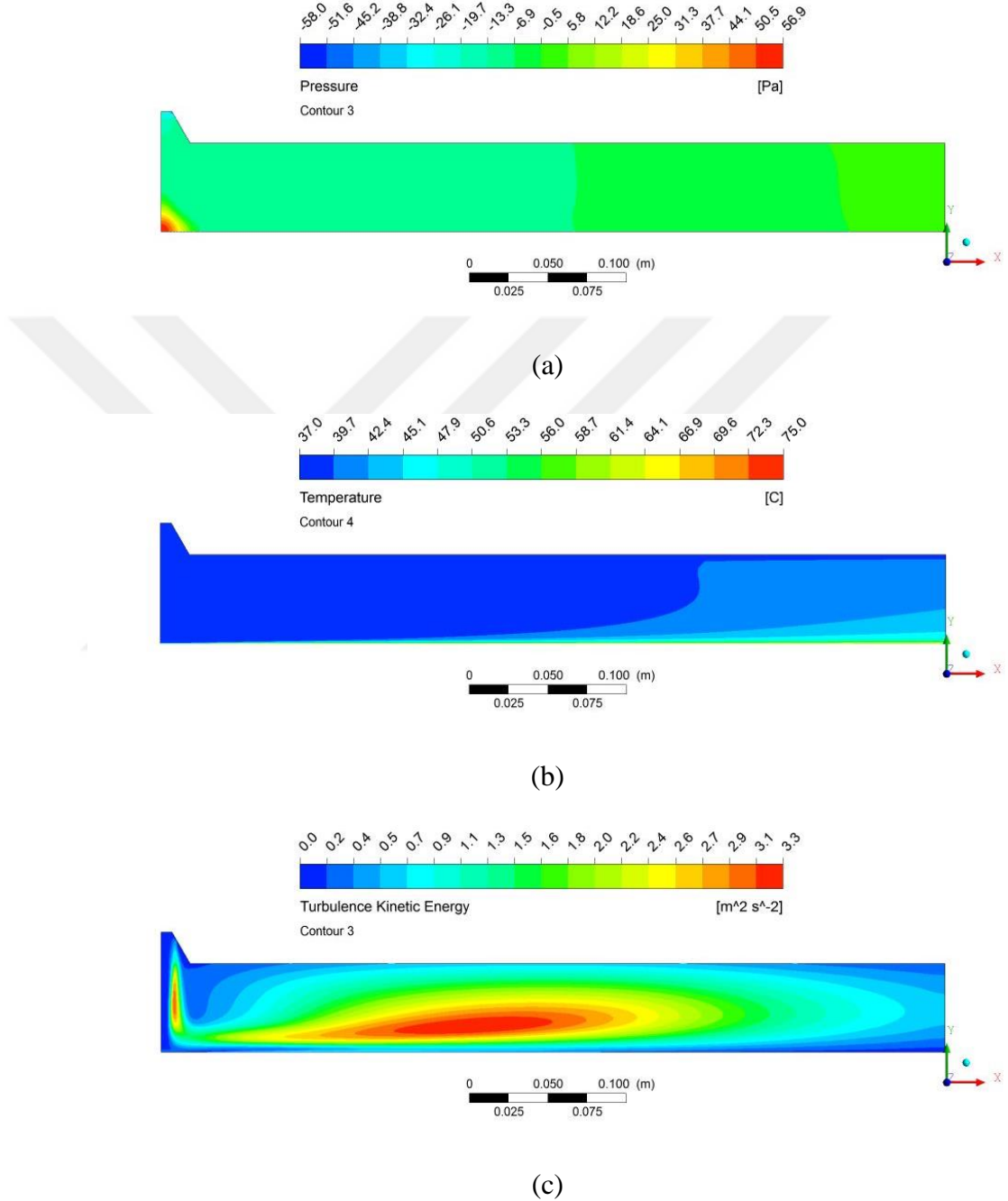
Şekil 4.34’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.34.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

z)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.35’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

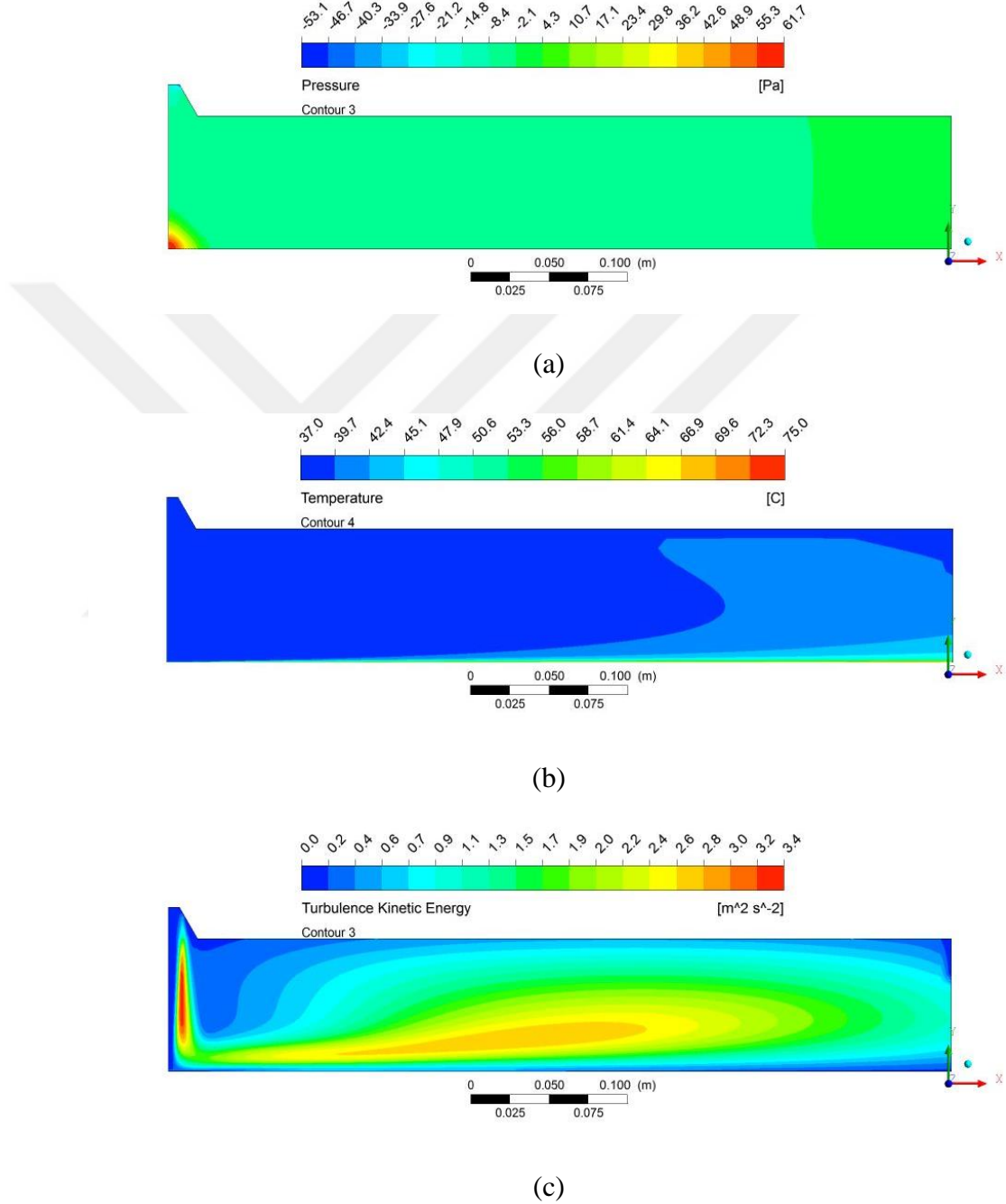


Şekil 4.35.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



aa)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

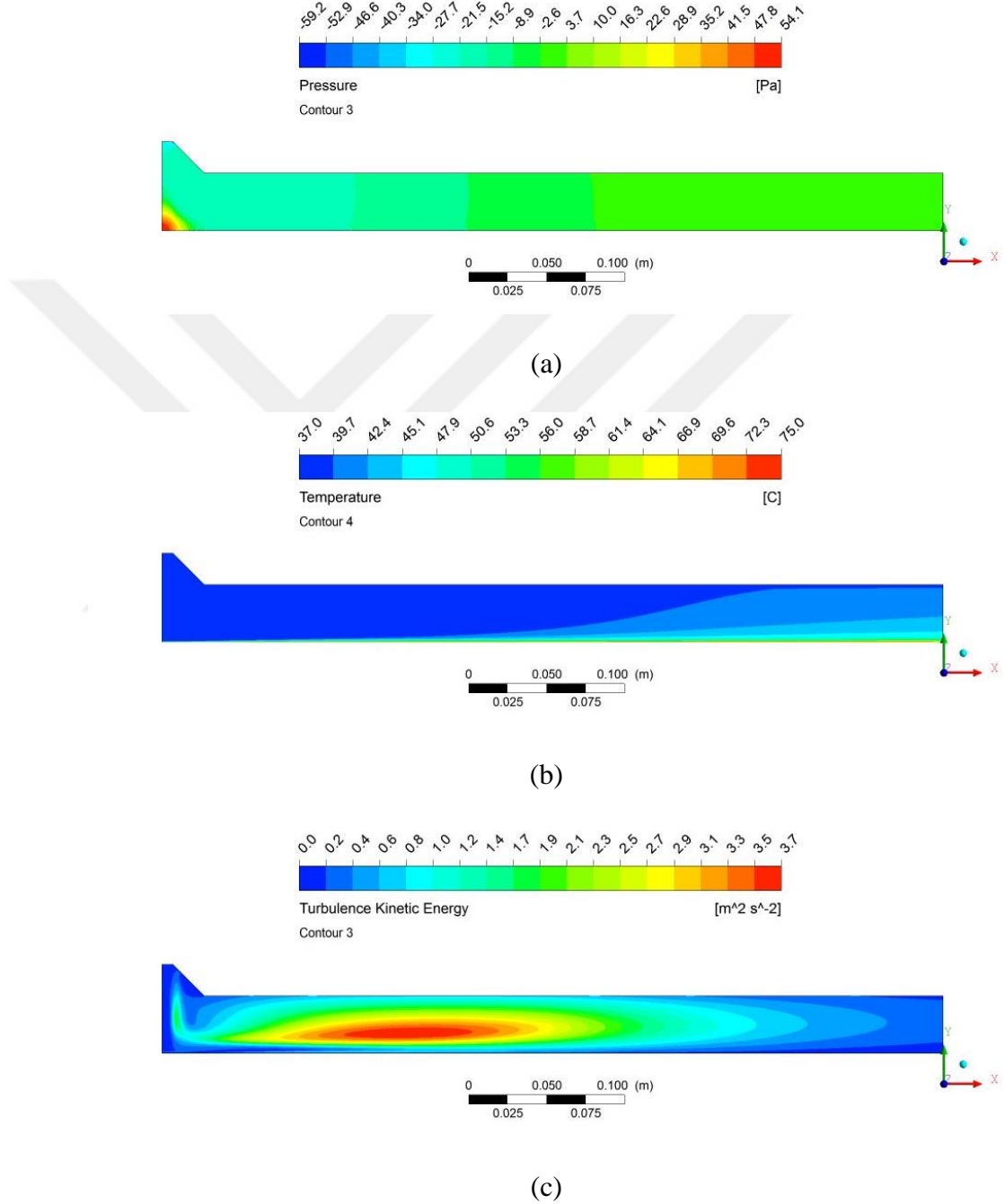
Şekil 4.36'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.36.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

ab)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

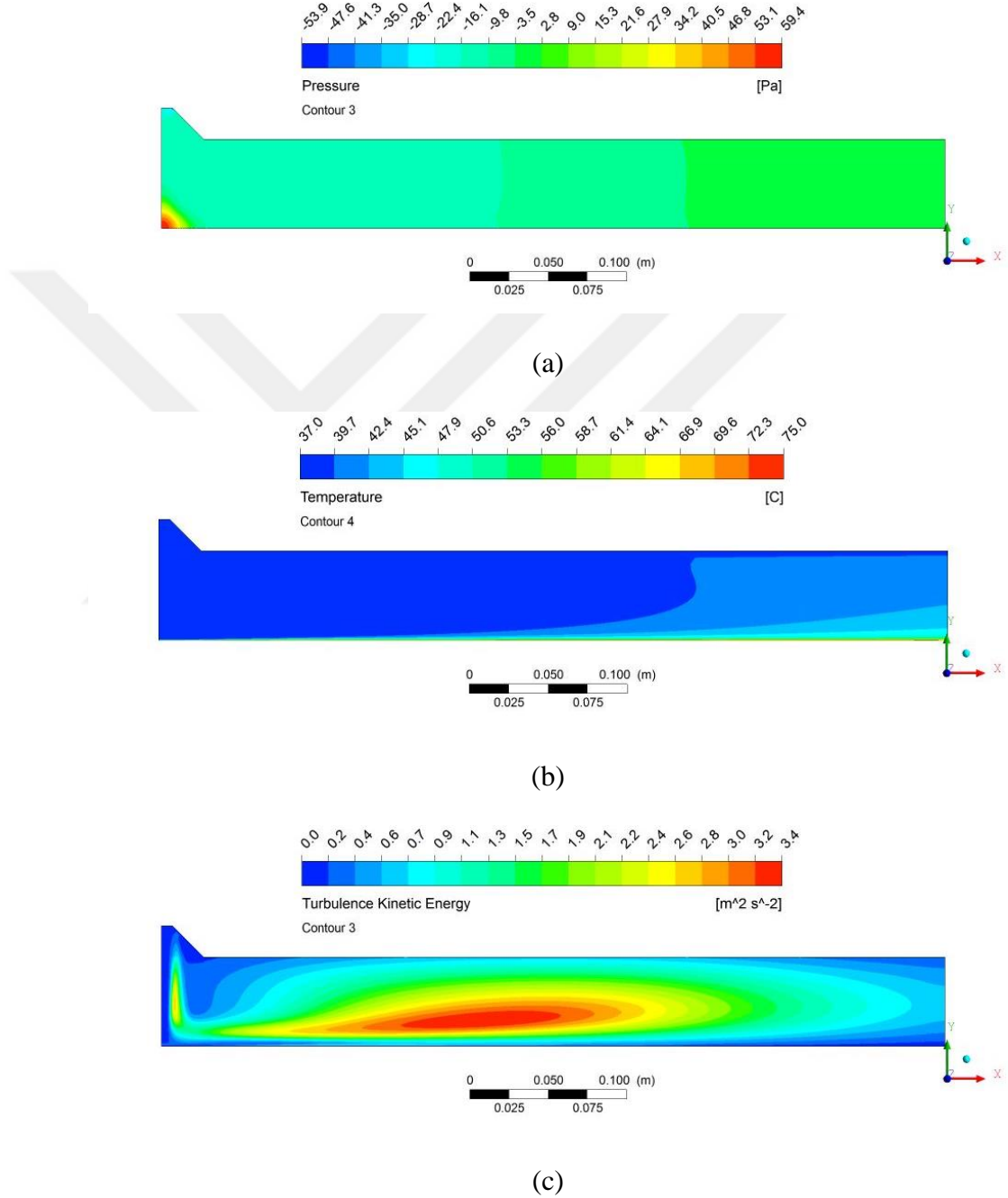
Şekil 4.37’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.37.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

ac)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

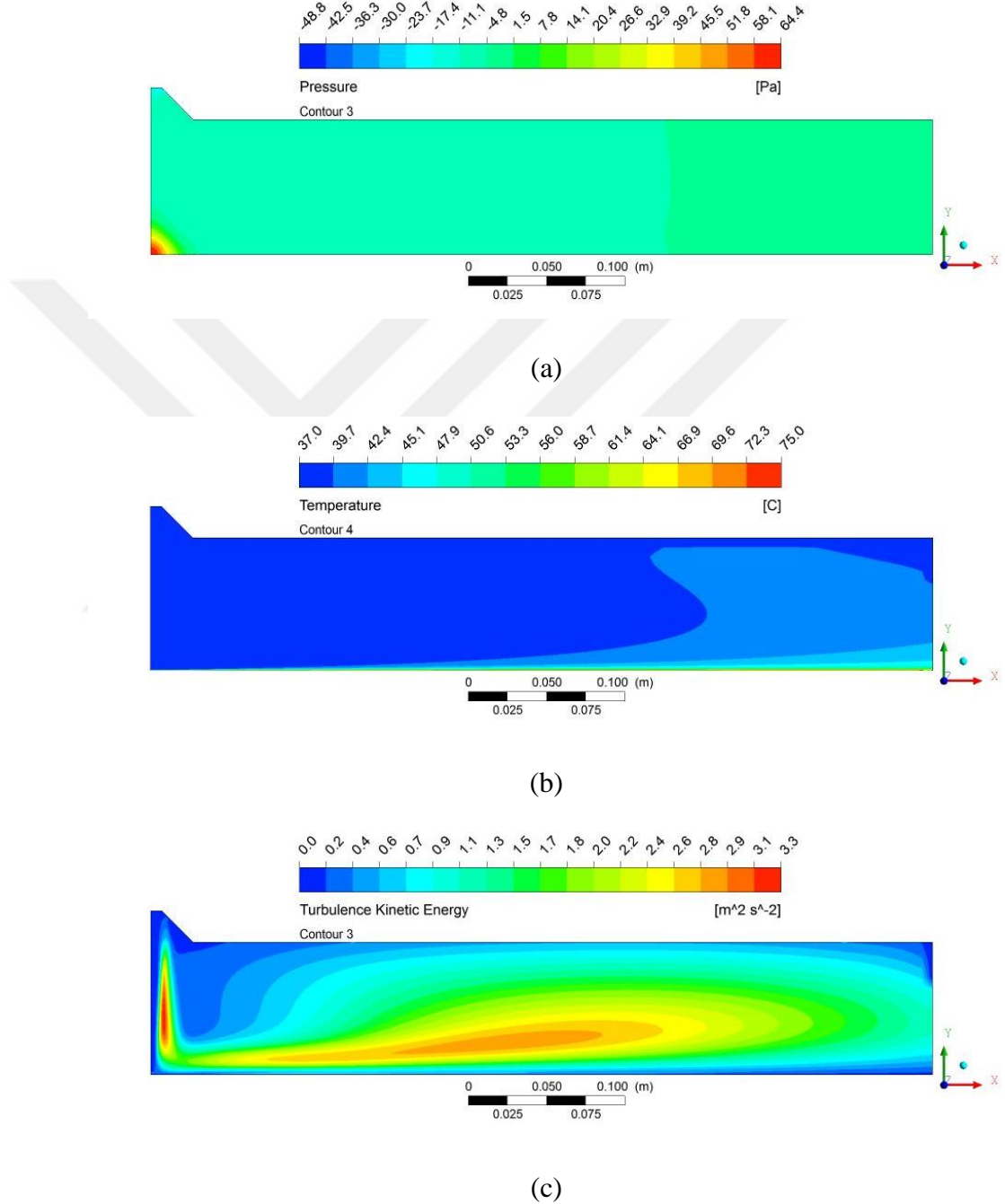
Şekil 4.38’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.38.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

ad)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.39'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

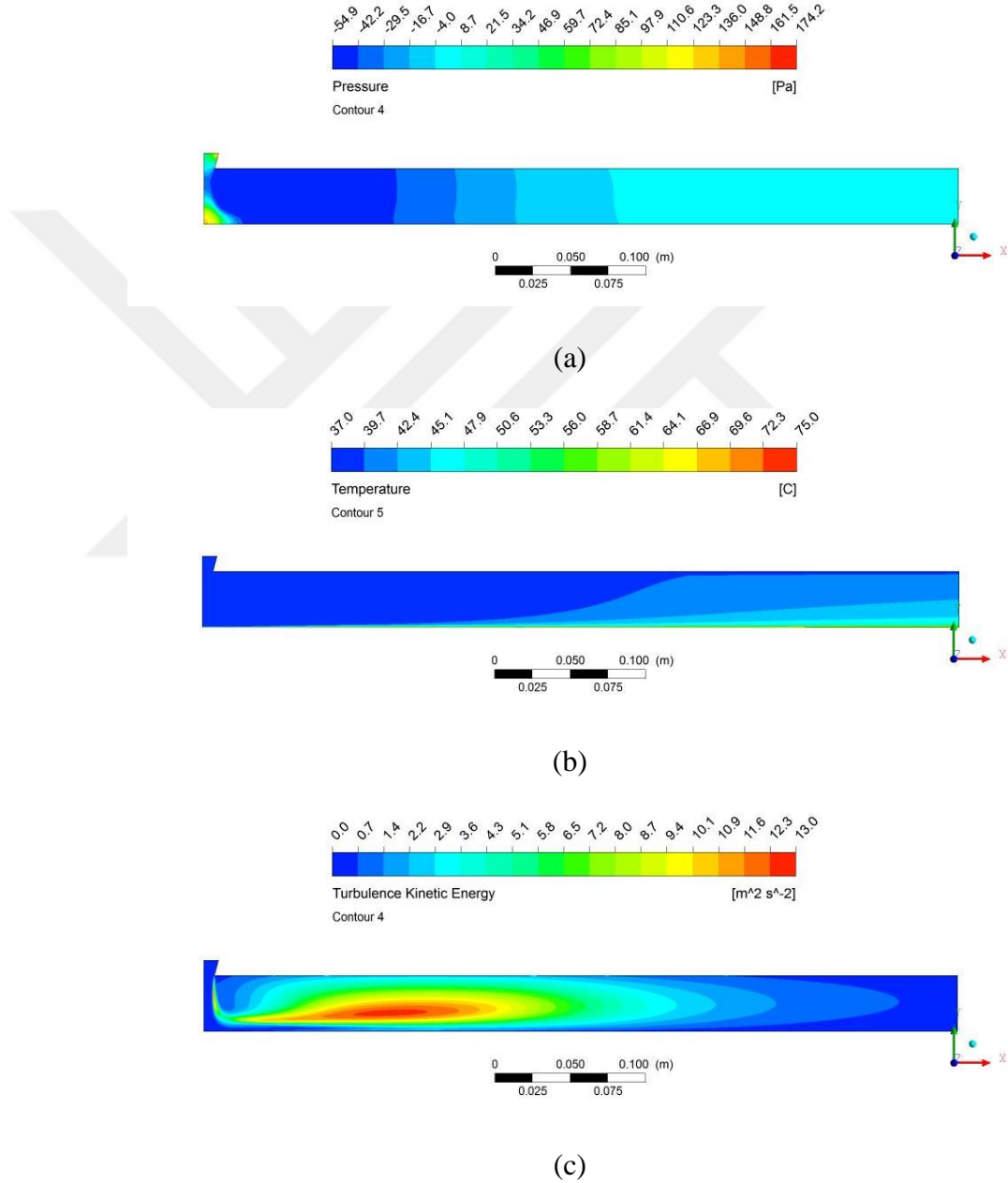


Şekil 4.39.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

#### 4.1.4. Model 4 sonuçları

a)  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

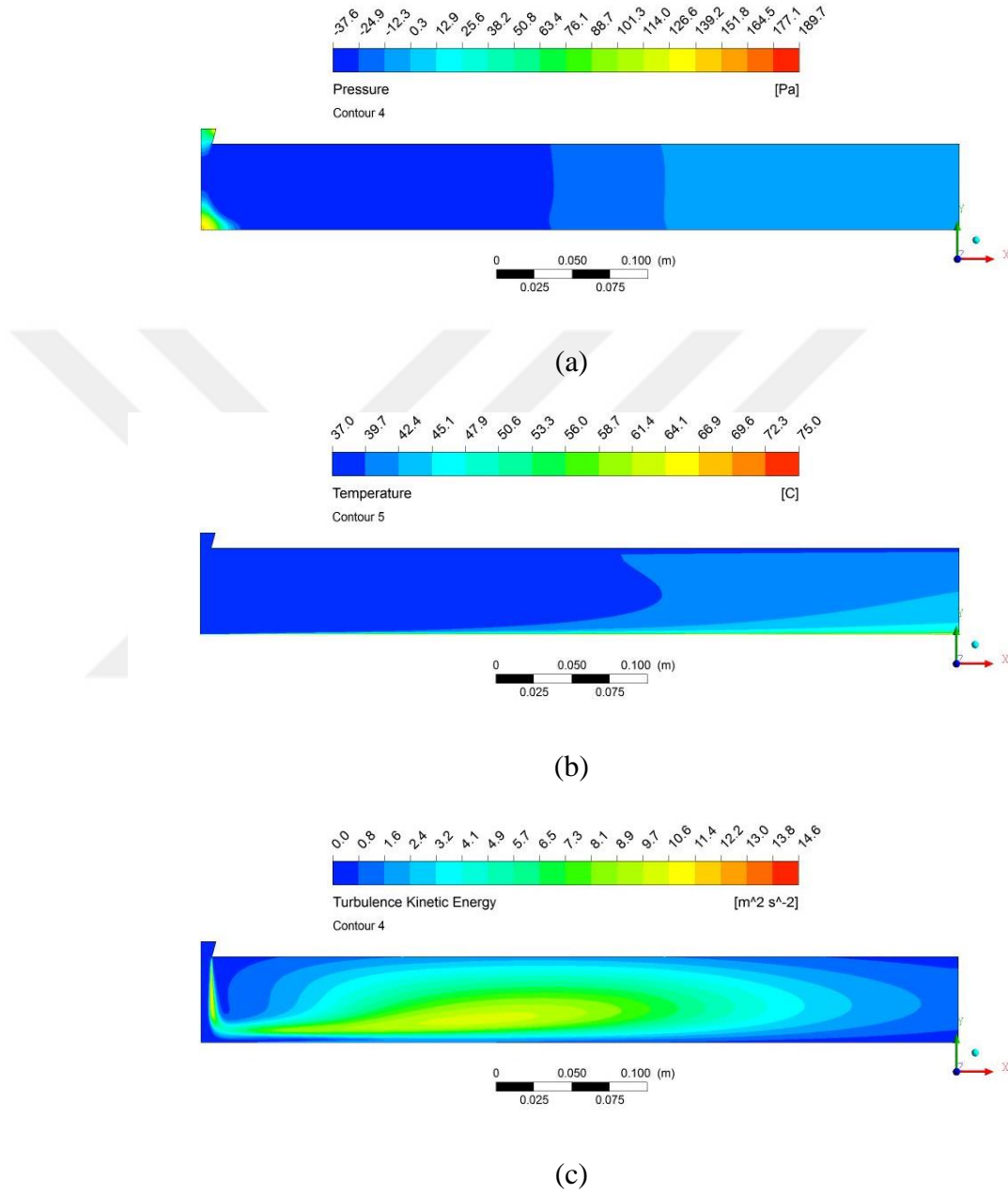
Şekil 4.40'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.40.  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

b)  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

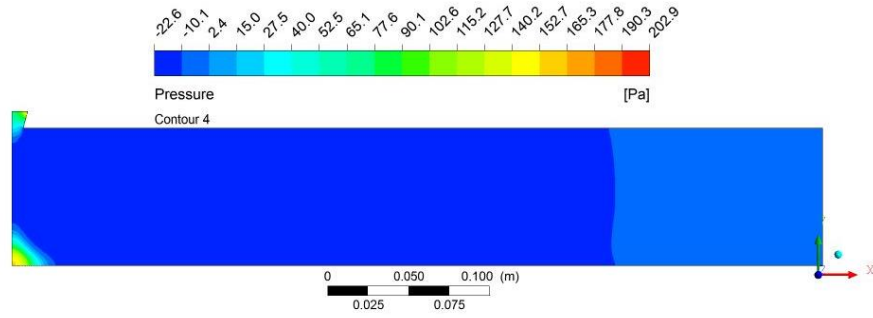
Şekil 4.41’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



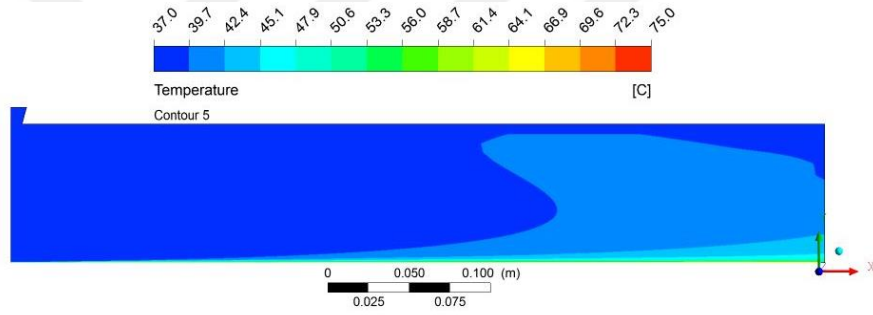
Şekil 4.41.  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

c)  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

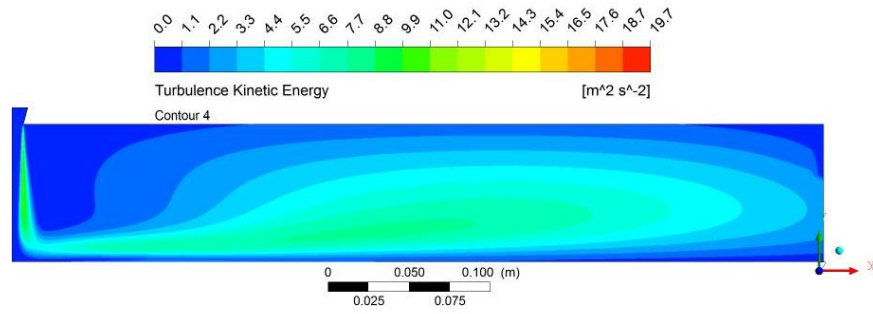
Şekil 4.42’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



(a)



(b)

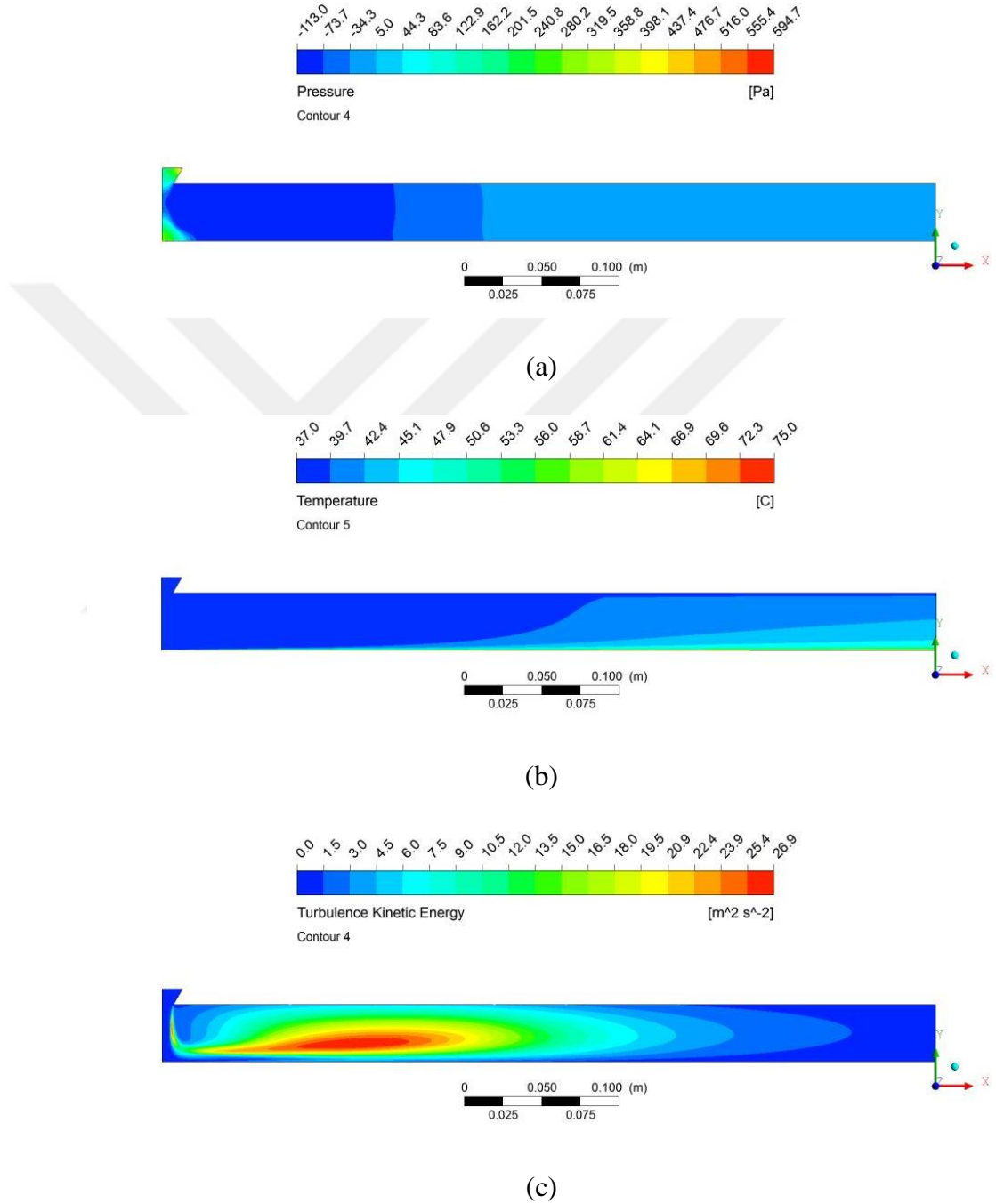


(c)

Şekil 4.42.  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

d)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.43’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

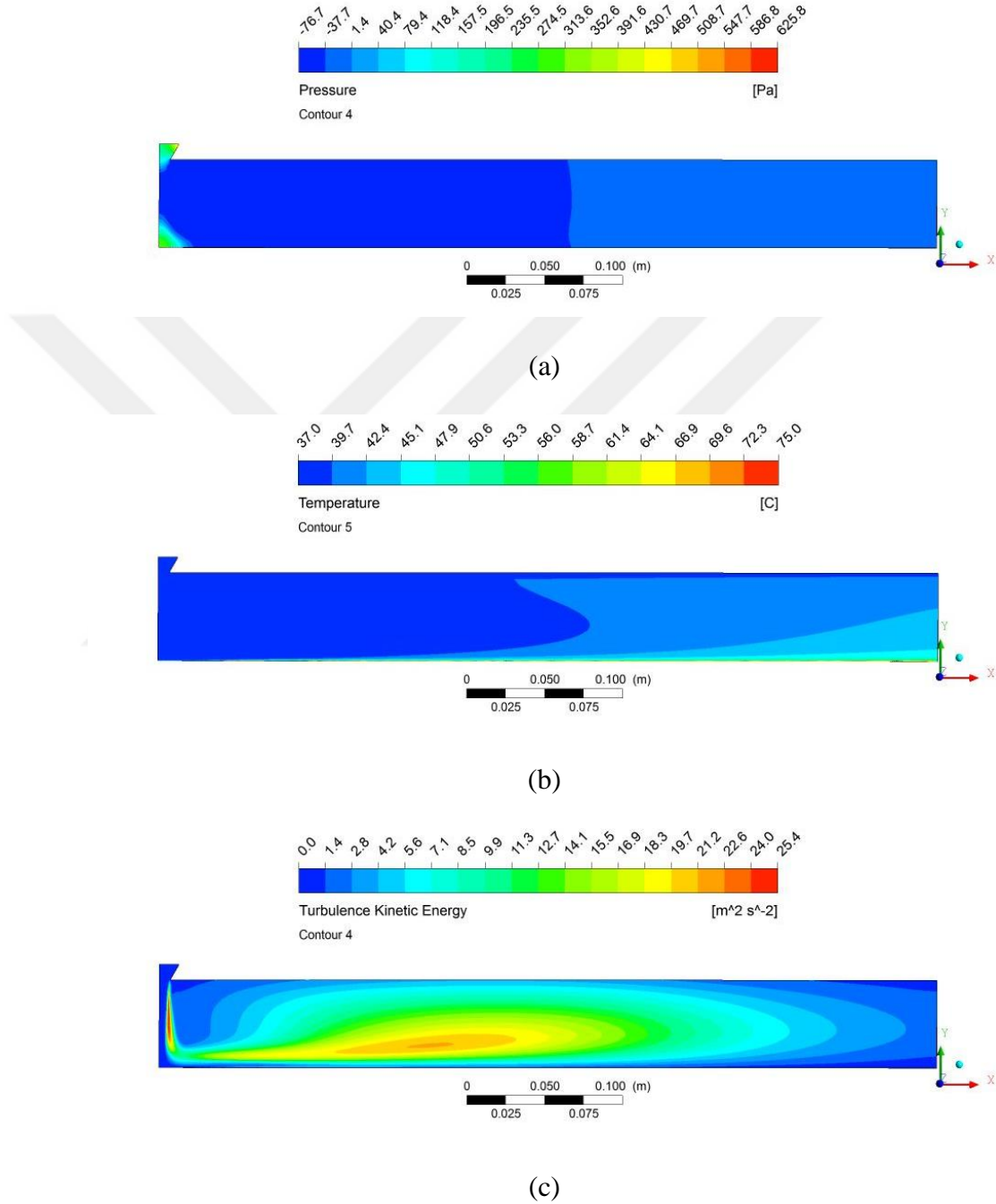


Şekil 4.43.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



e)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

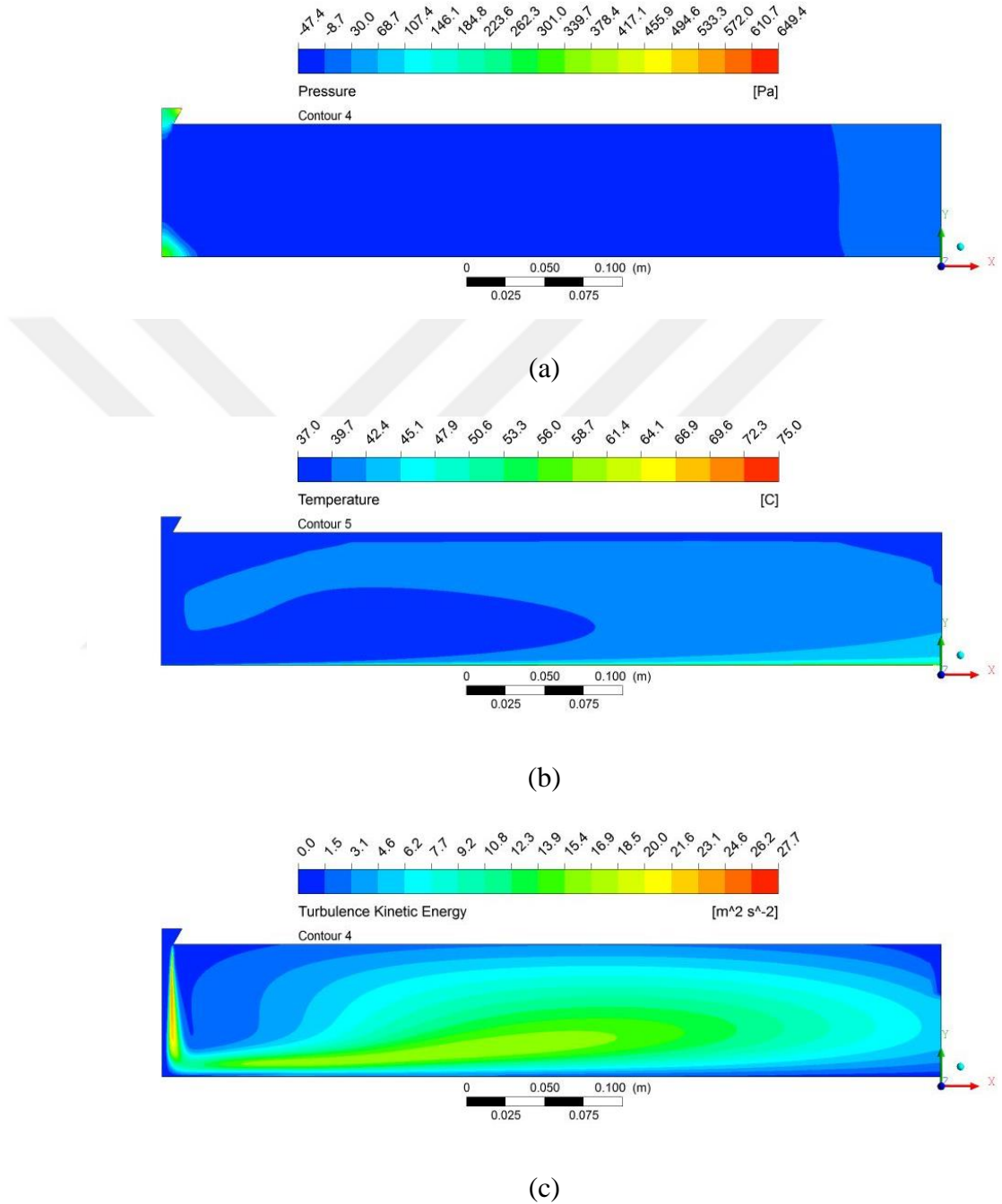
Şekil 4.44’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.44.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

f)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

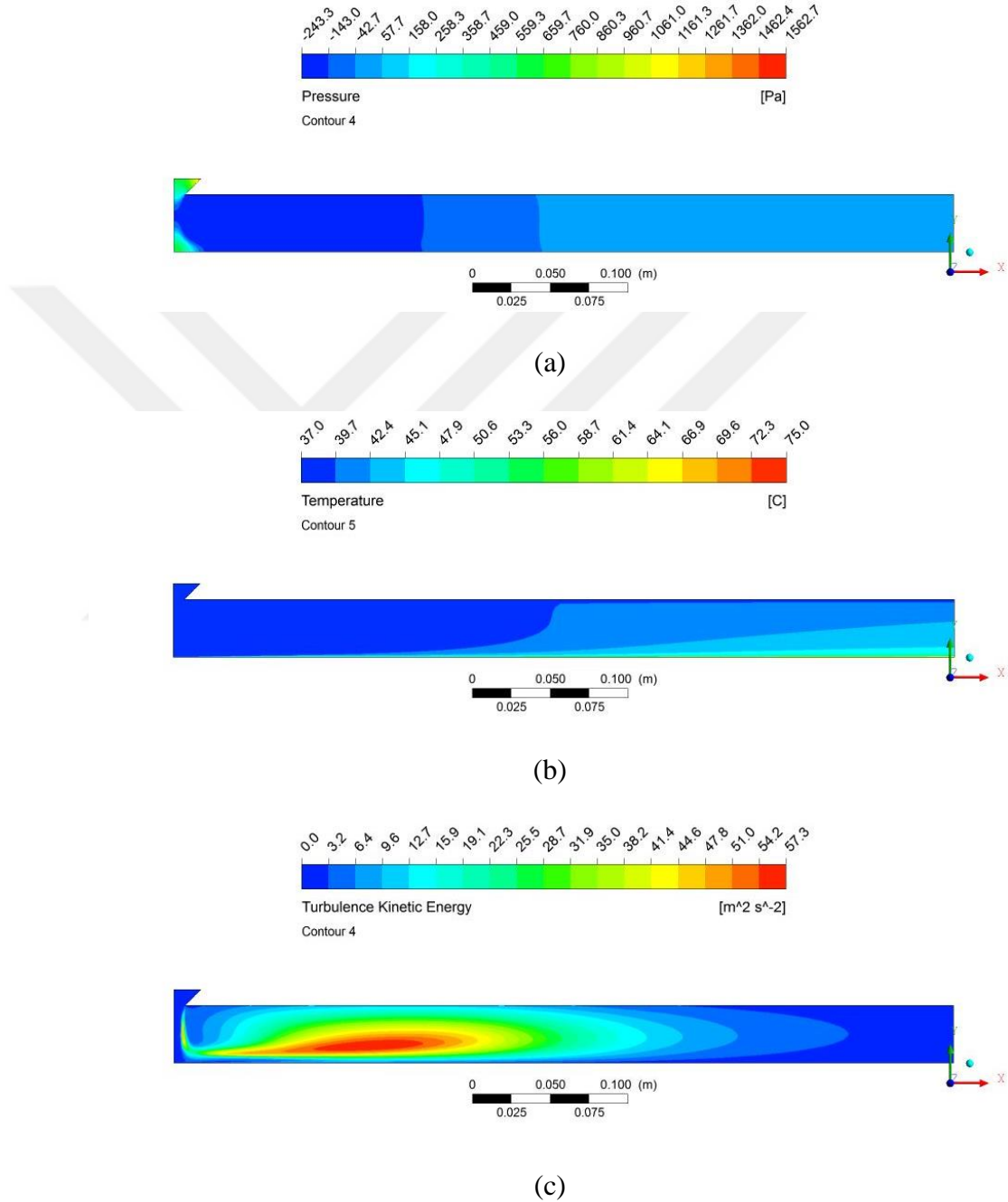
Şekil 4.45’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.45.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

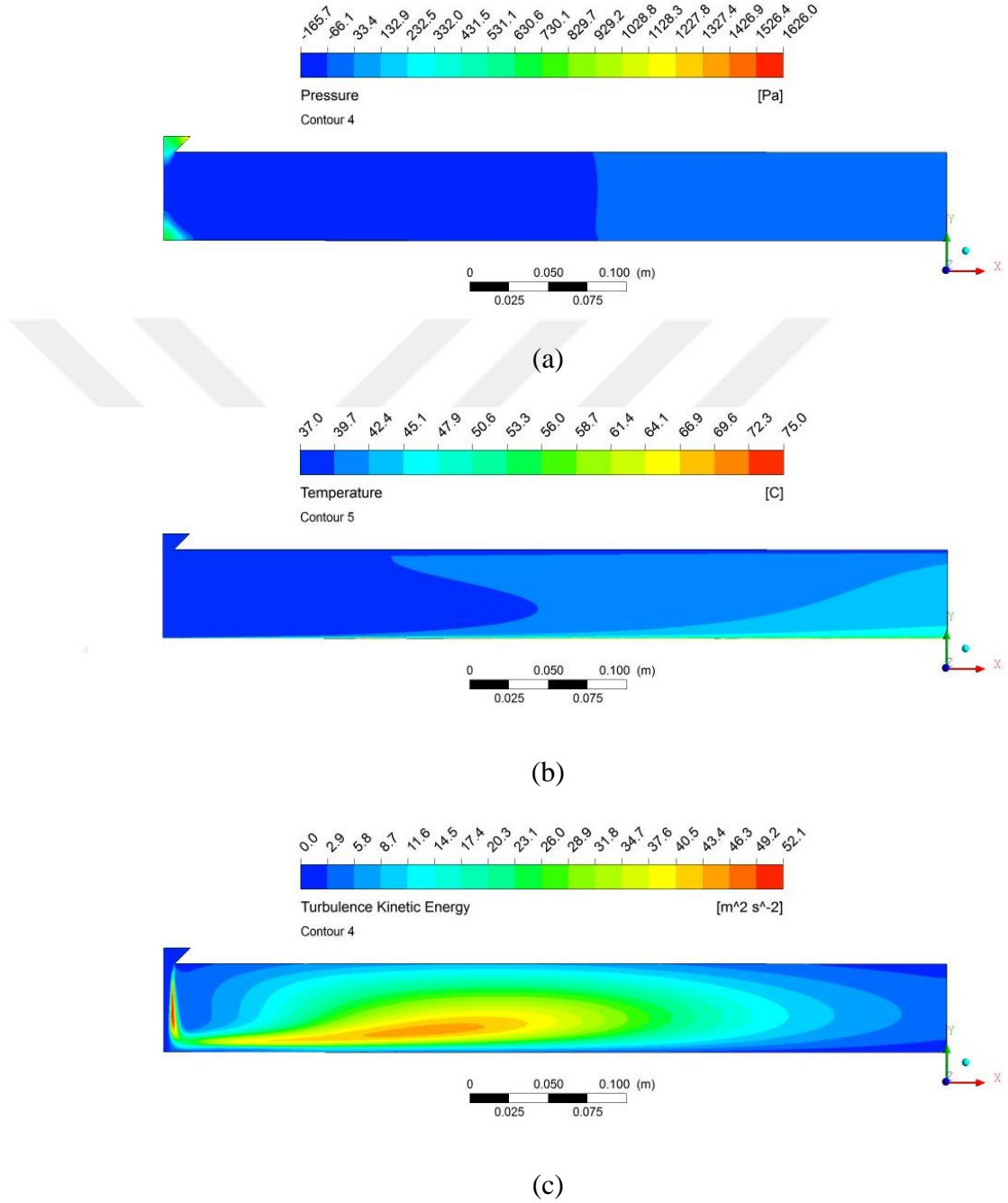
g)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.46'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.46.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

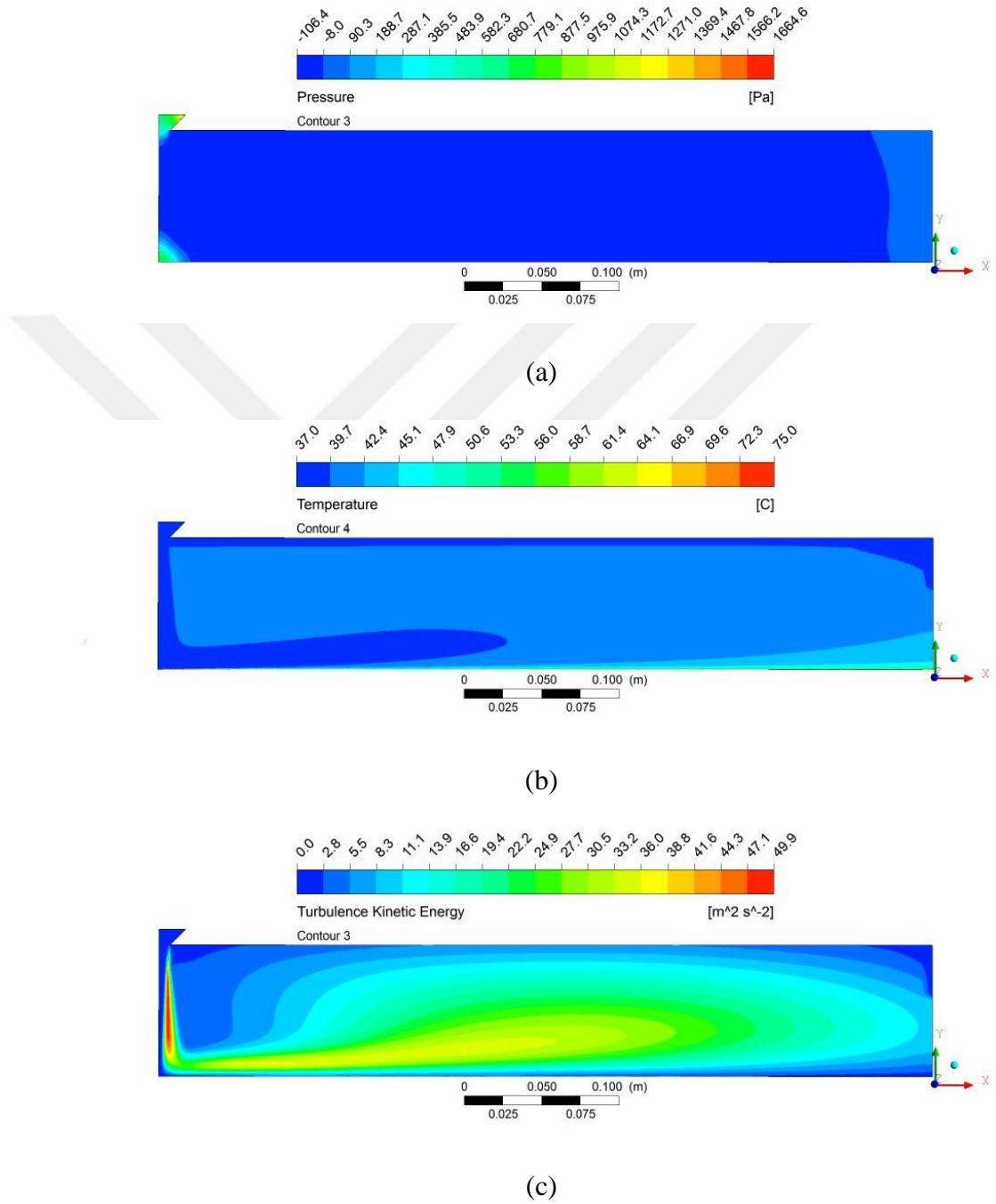
h)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.47’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.47.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

i)  $t=10$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

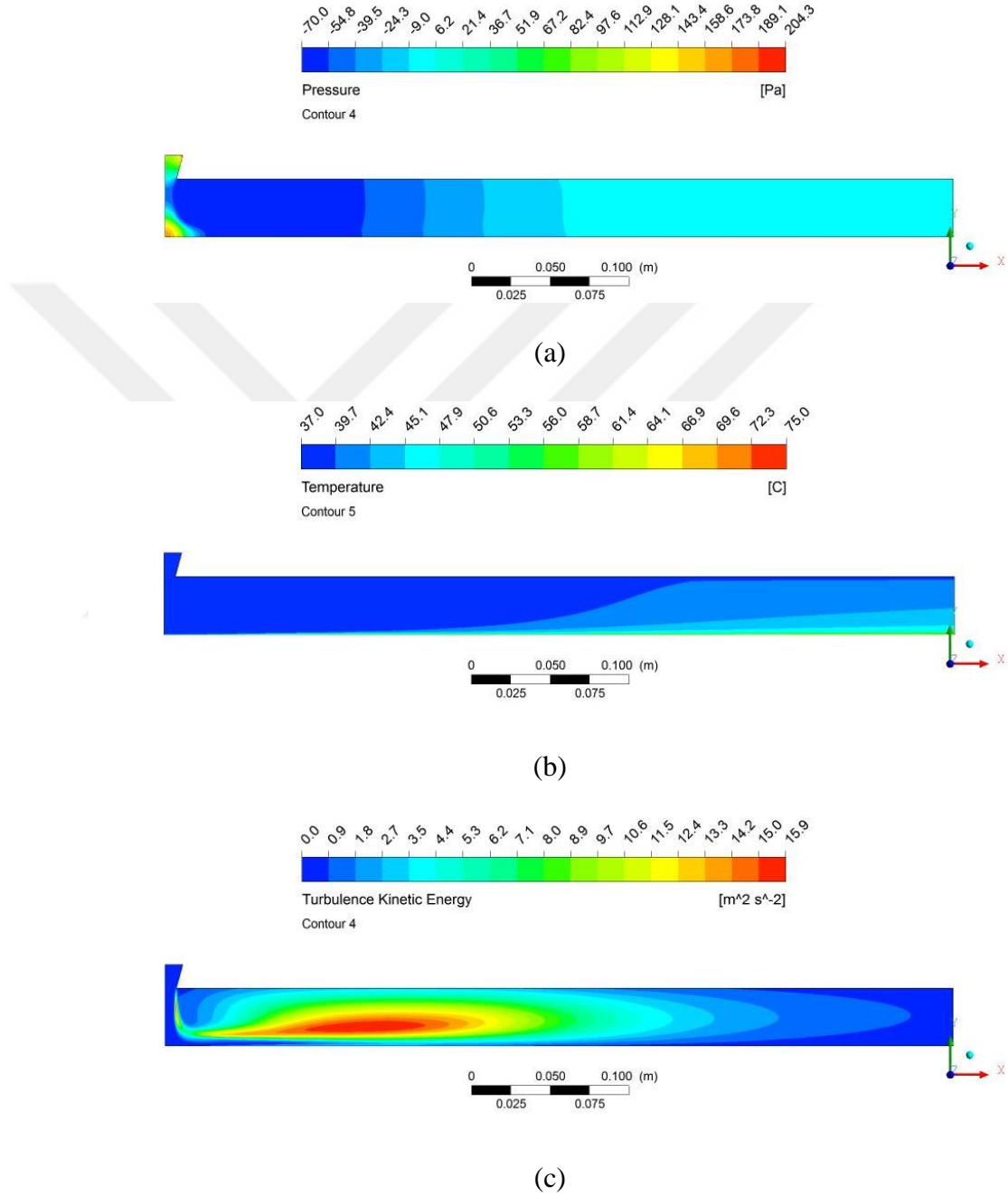
Şekil 4.48’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.48.  $t=10$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

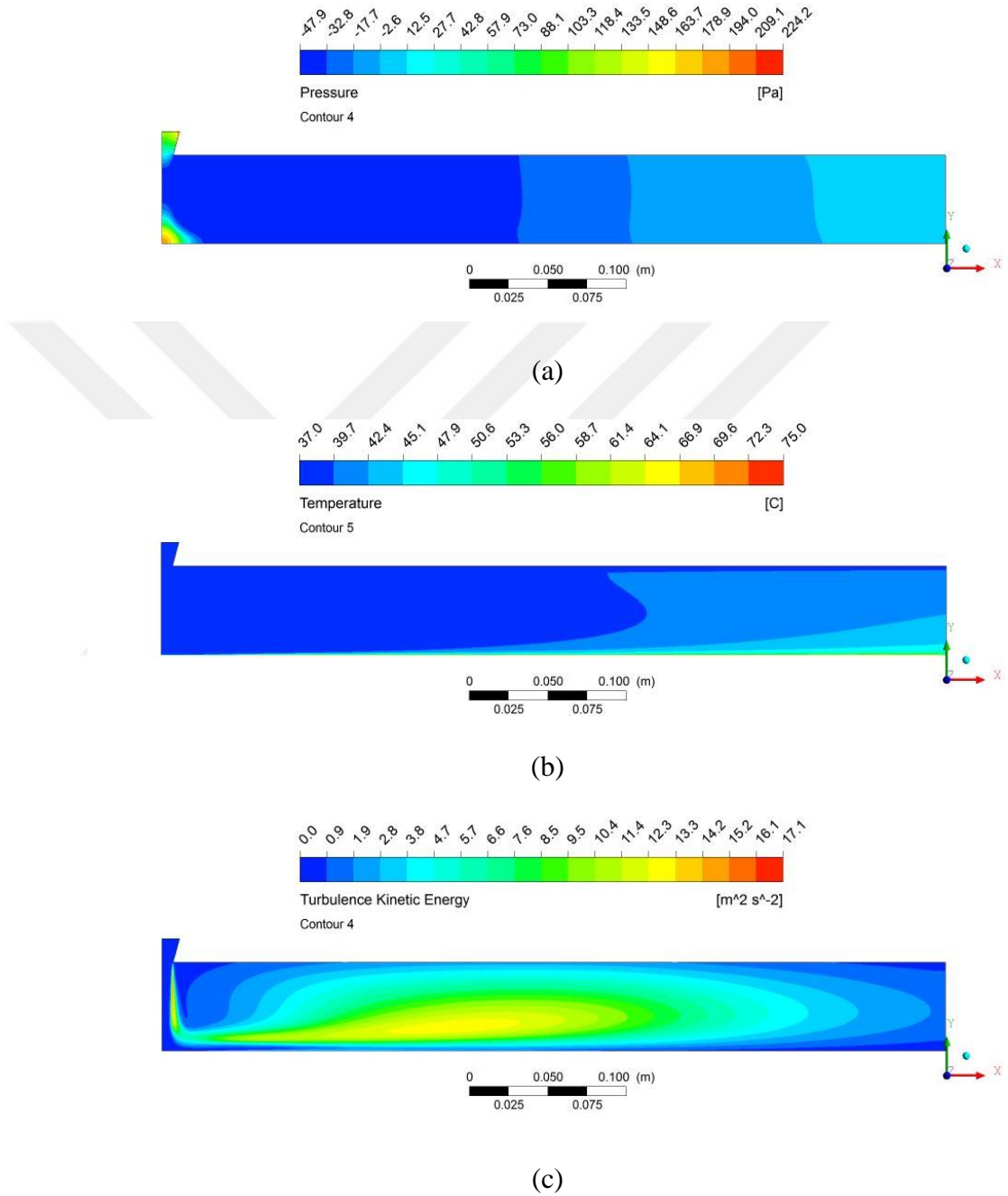
j)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.49'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.49.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

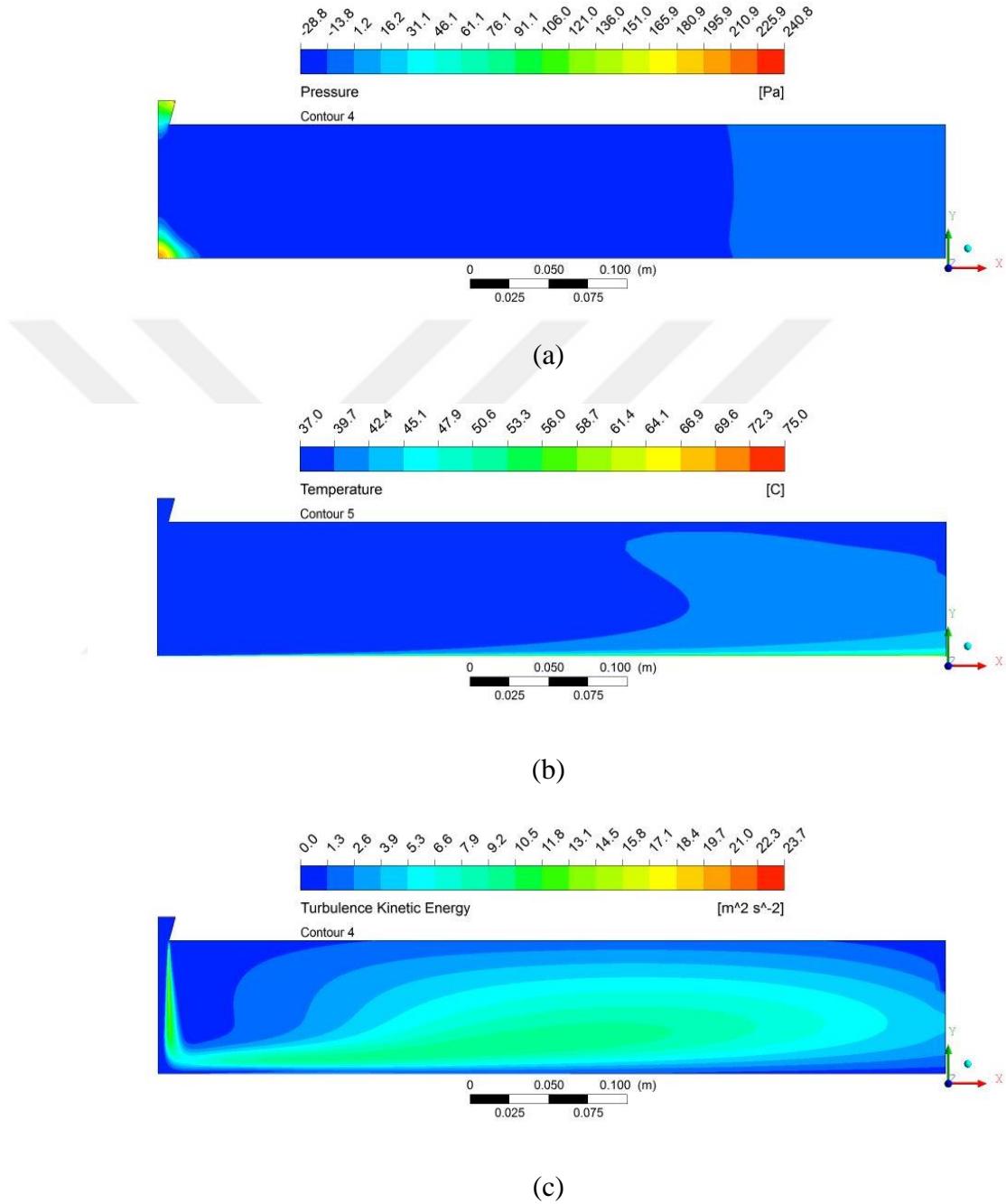
k)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.50’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.50.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

l)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.51’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

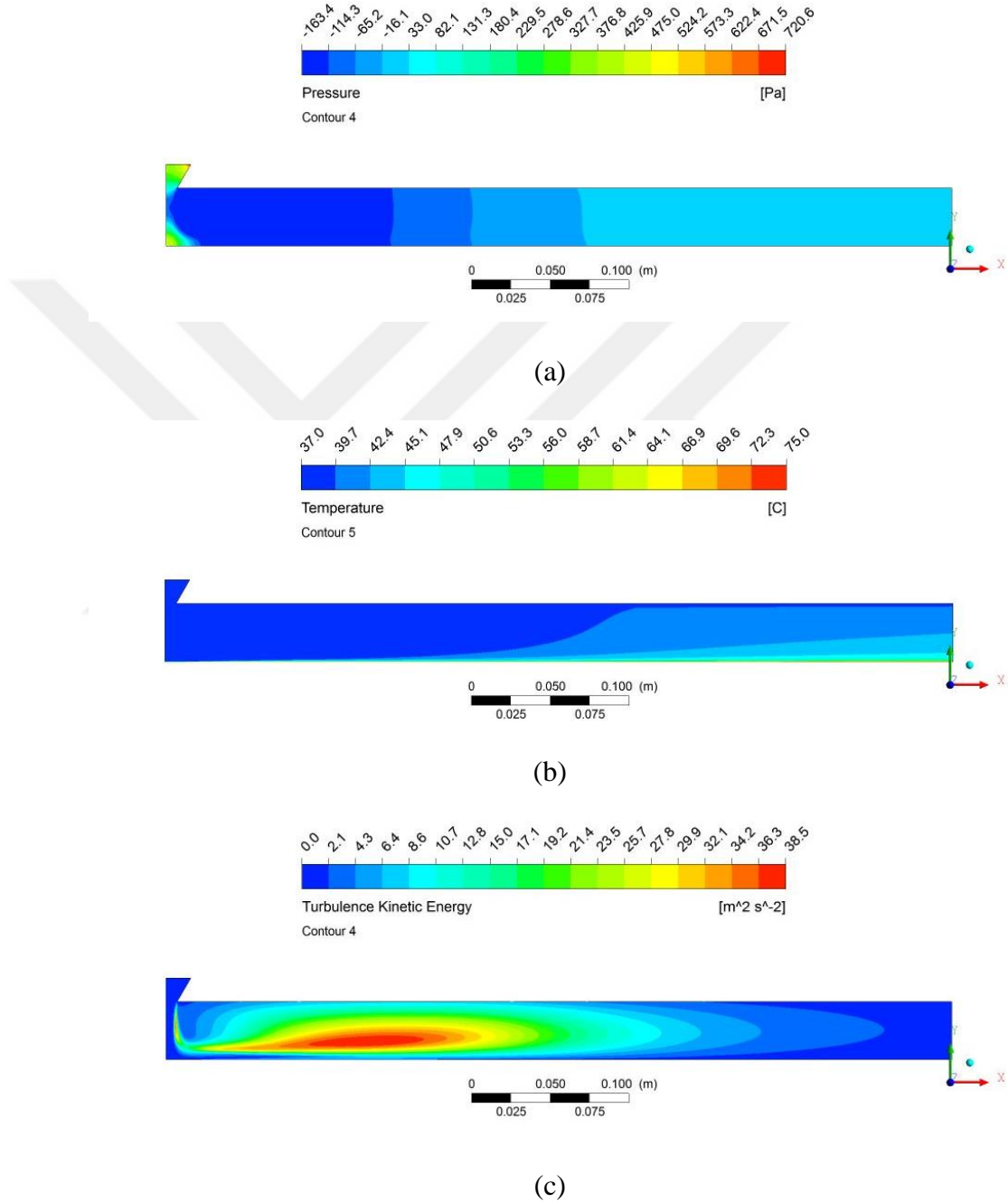


Şekil 4.51.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları



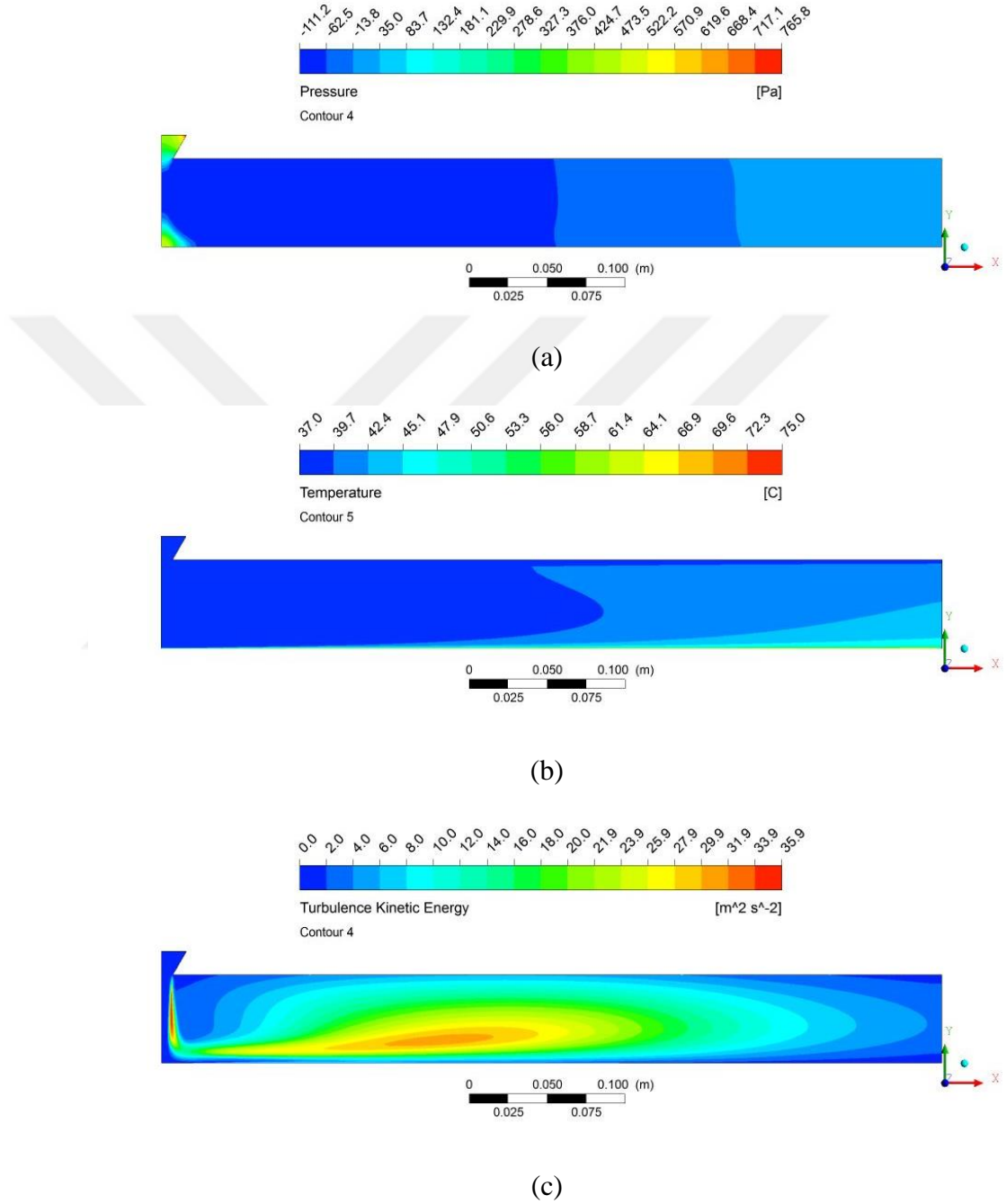
m)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.52’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



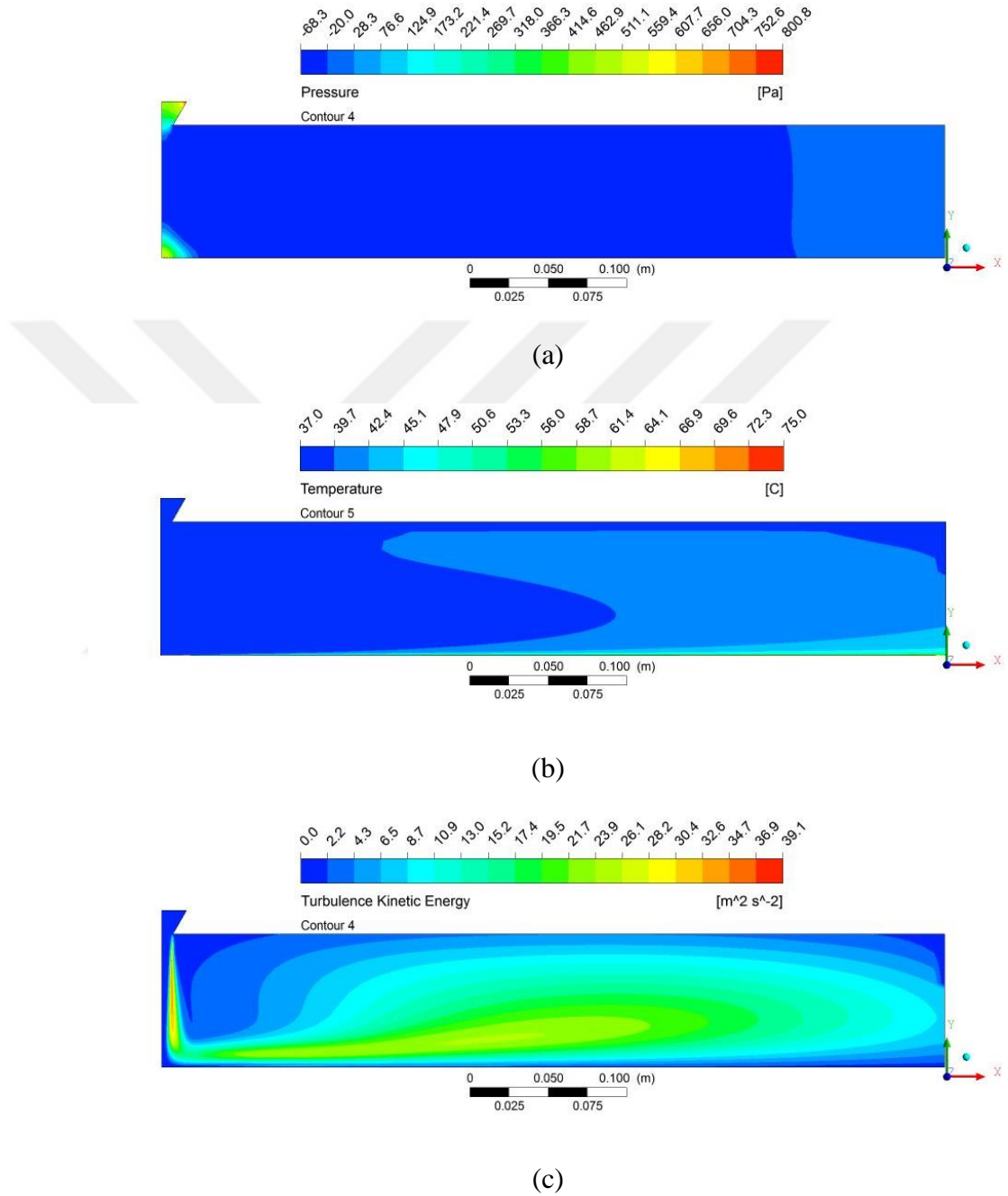
Şekil 4.52.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

n)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.53’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.53.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

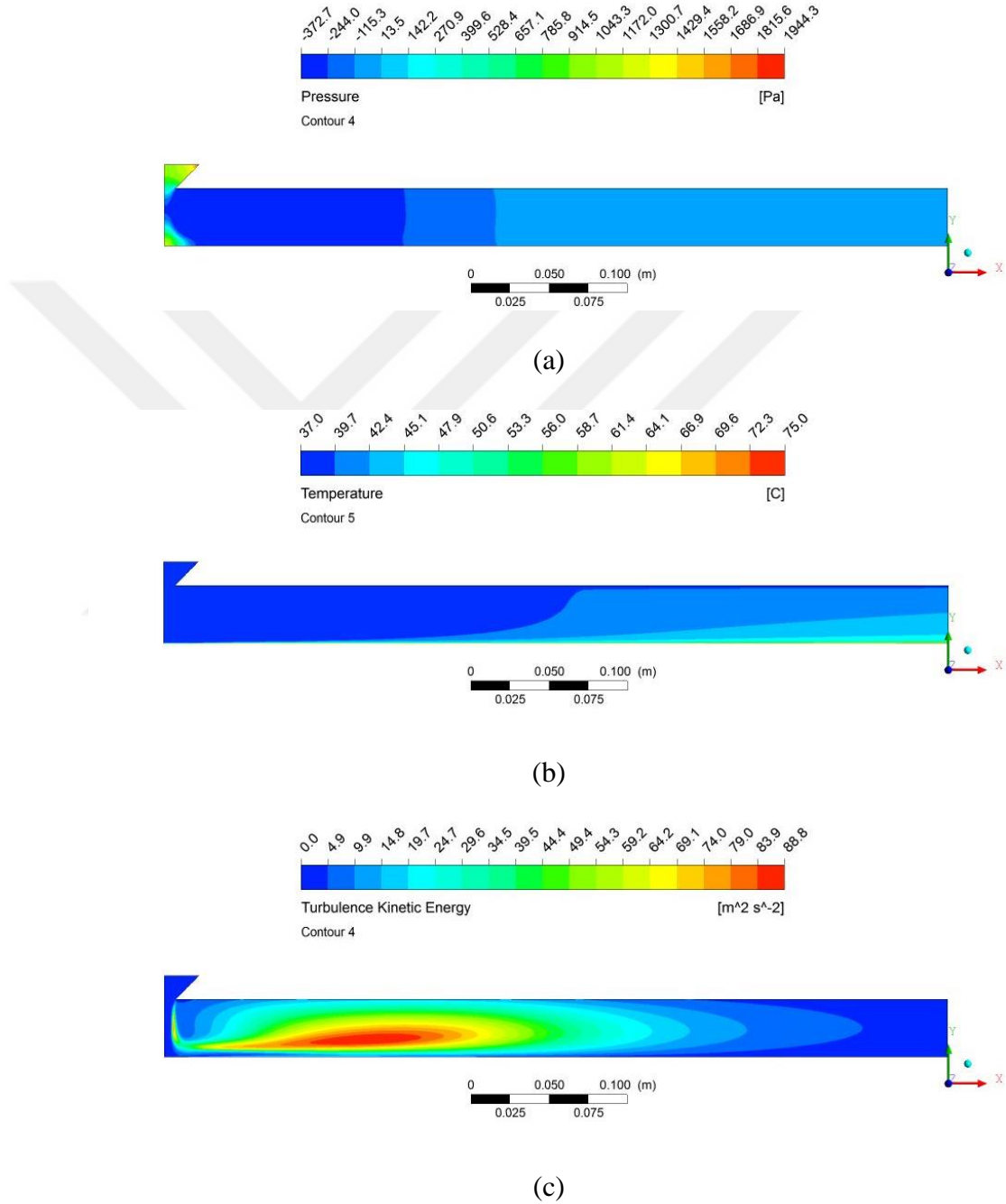
o)  $t=15$  mm,  $\alpha=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.54’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.54.  $t=15$  mm,  $\alpha=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

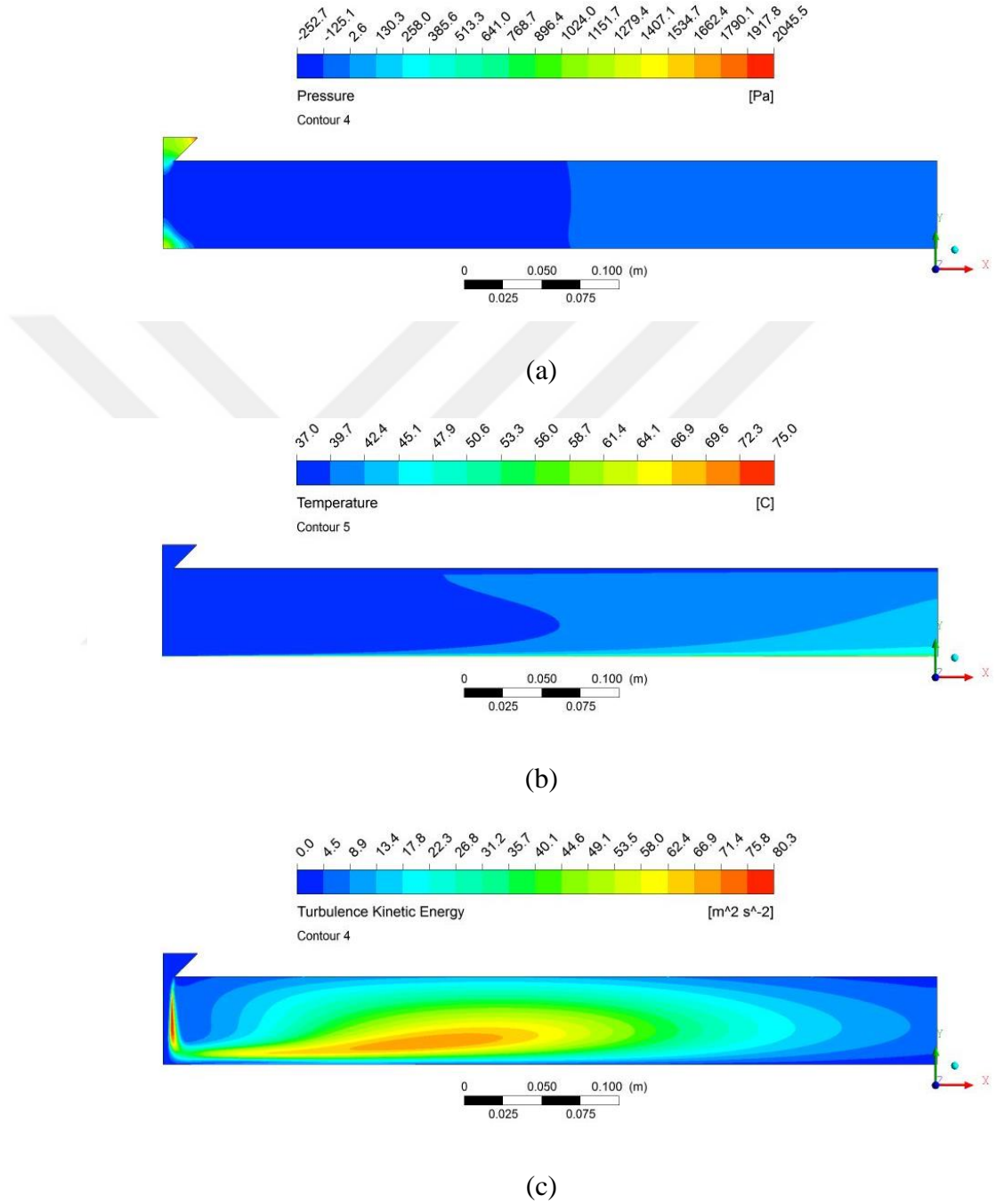
p)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.55’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



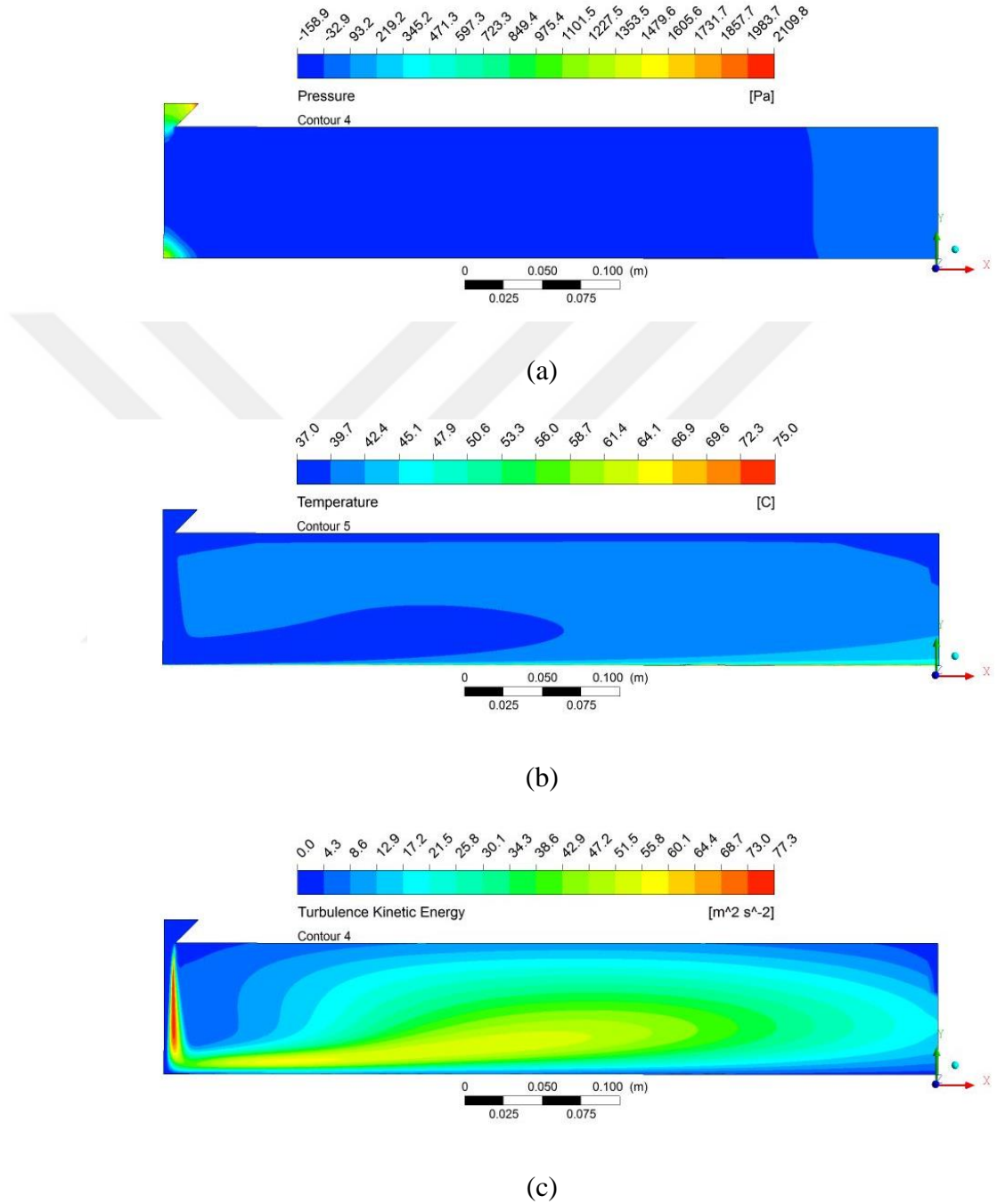
Şekil 4.55.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

r)  $t=15$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.56’da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları  
görölmektedir.



Şekil 4.56.  $t=15$  mm,  $\alpha= 45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

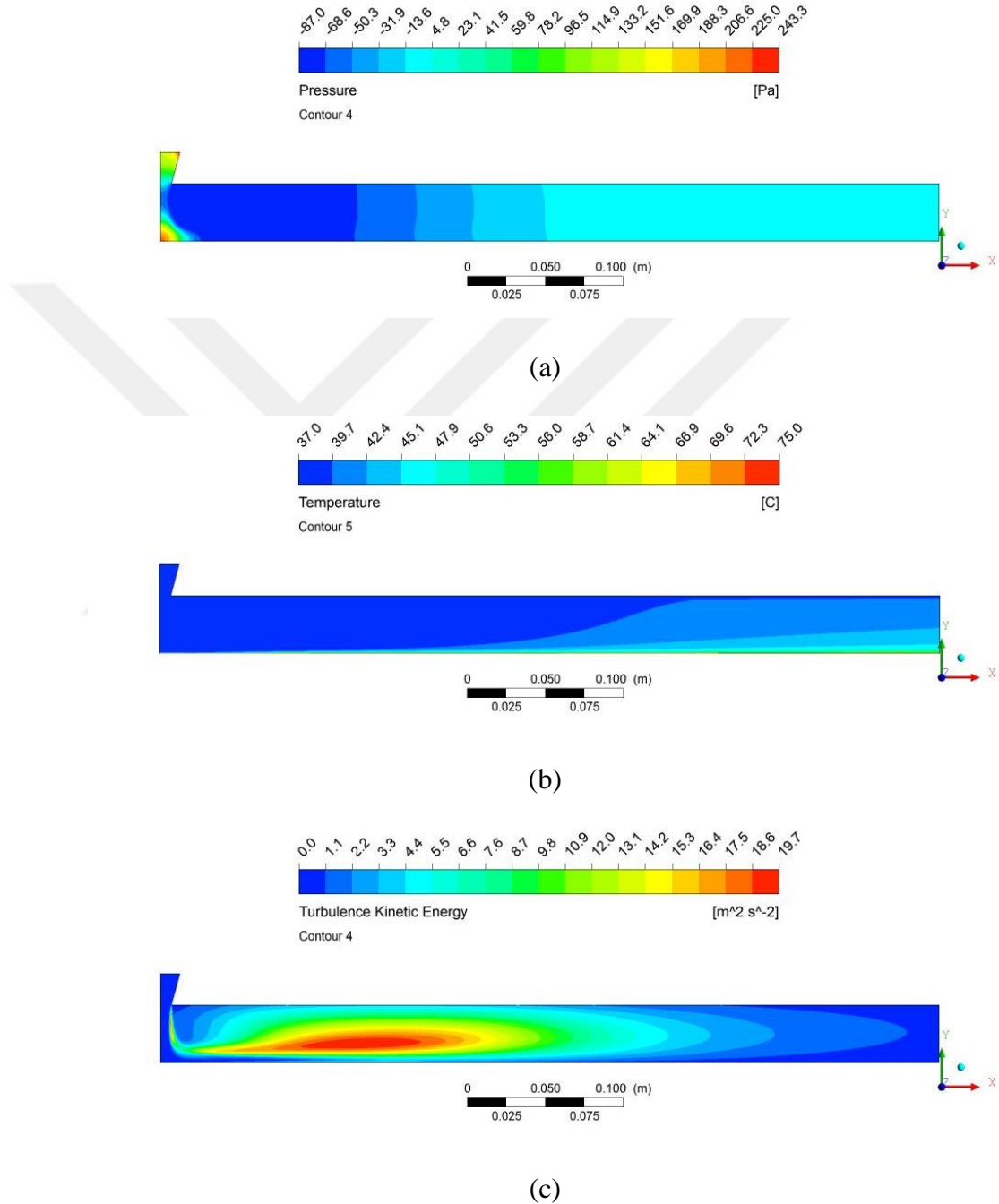
s)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.57’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları  
görölmektedir.



Şekil 4.57.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

t)  $t=20$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

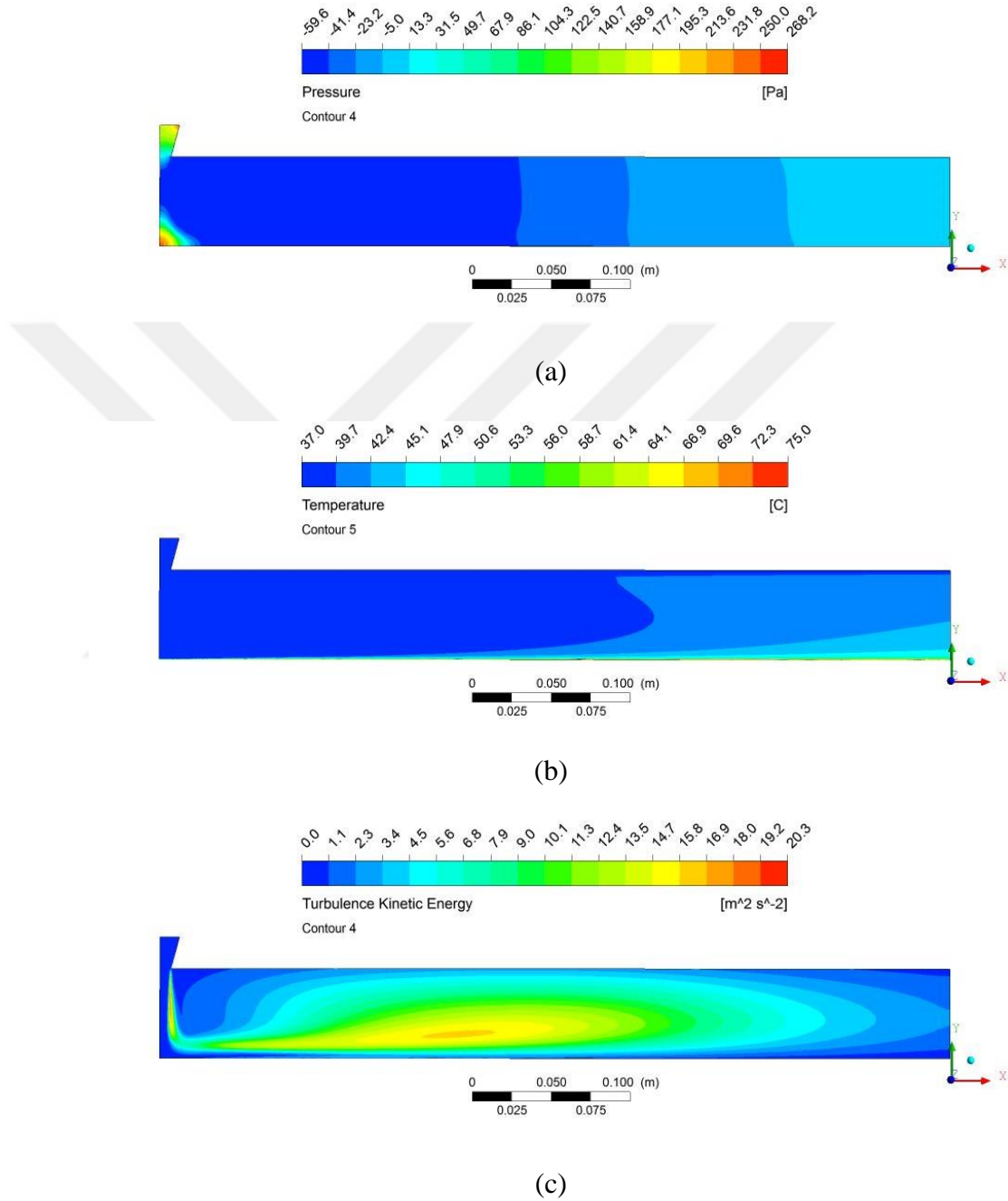
Şekil 4.58’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.58.  $t=20$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

u)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.59’da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.

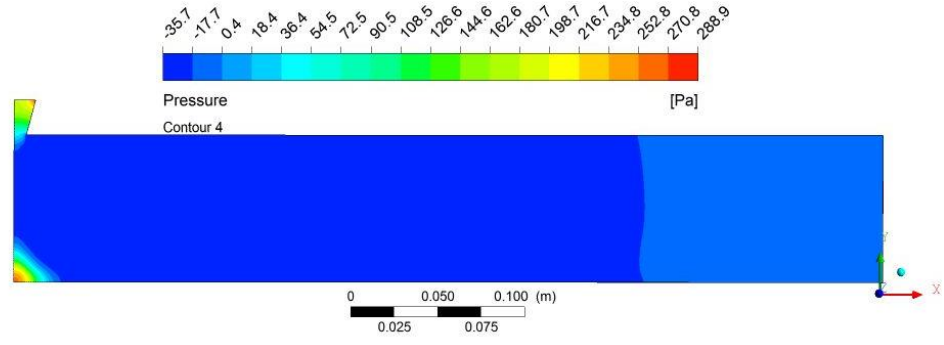


Şekil 4.59.  $t=20$  mm,  $a= 15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

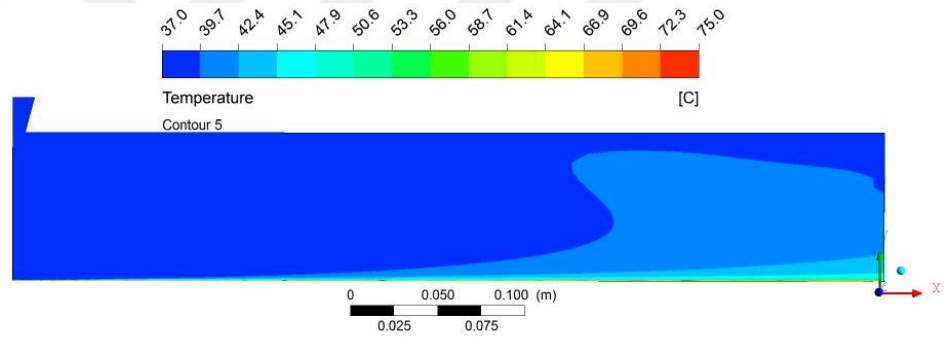


v)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

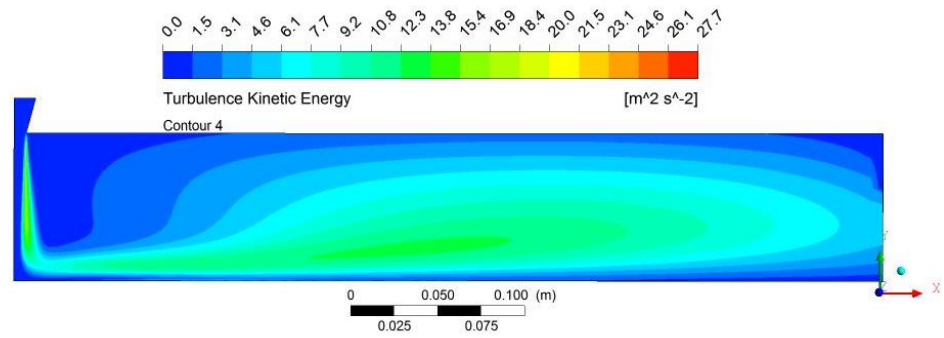
Şekil 4.60'da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



(a)



(b)

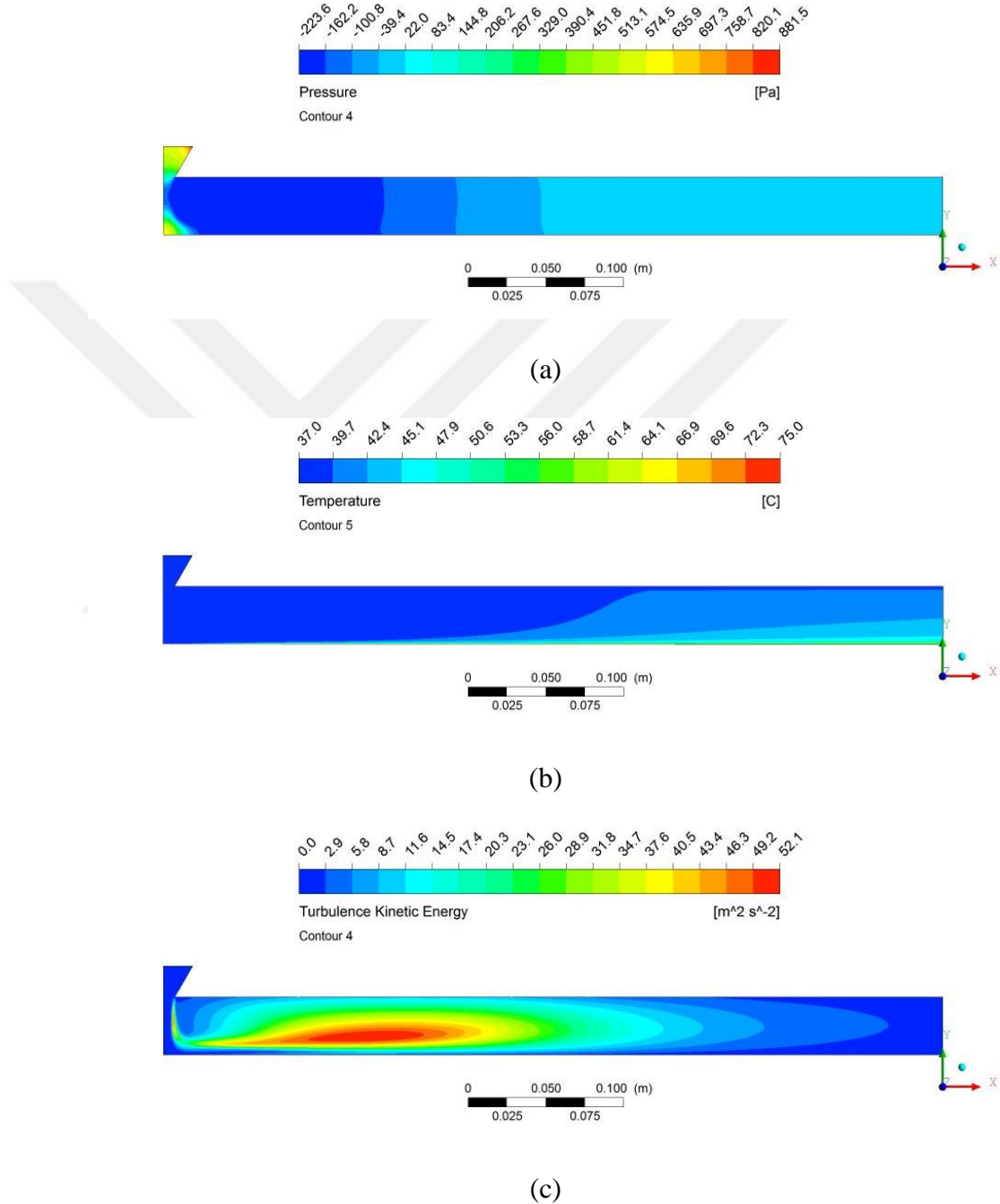


(c)

Şekil 4.60.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

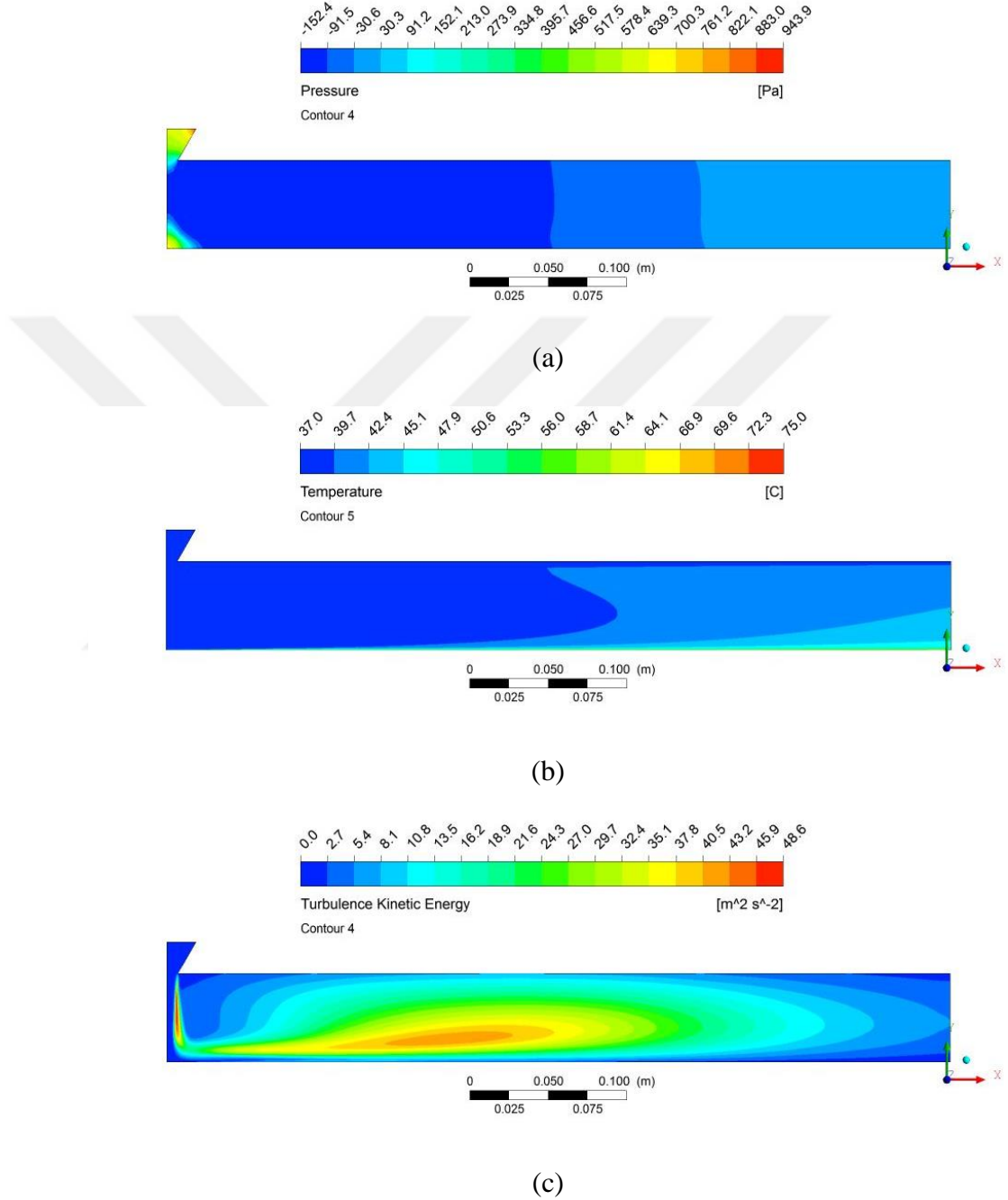
y)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.61’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



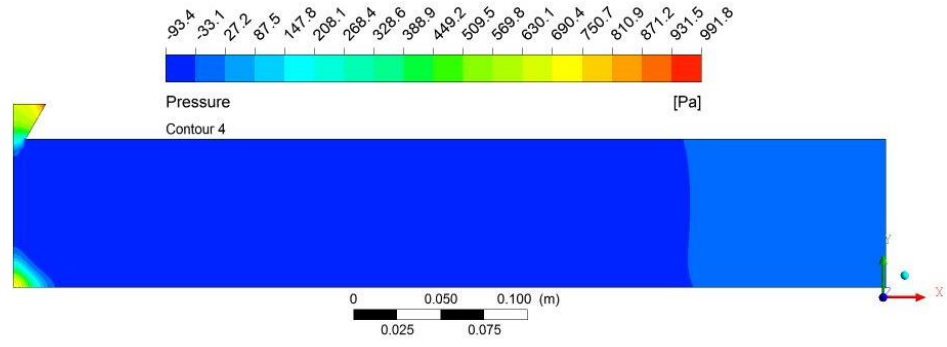
Şekil 4.61.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

z)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.62’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları  
görölmektedir.

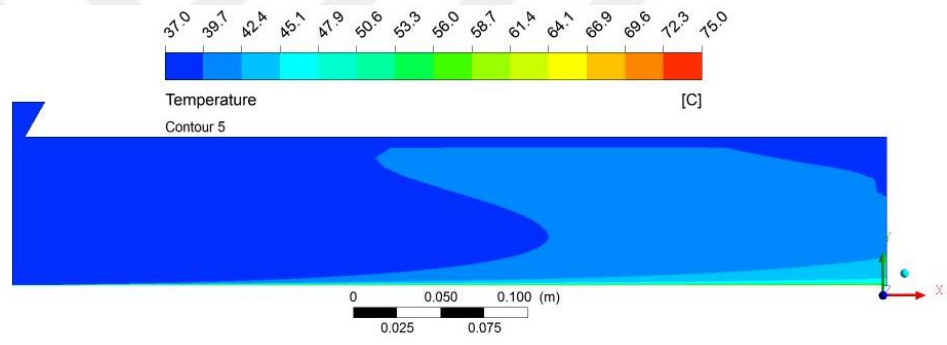


Şekil 4.62.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

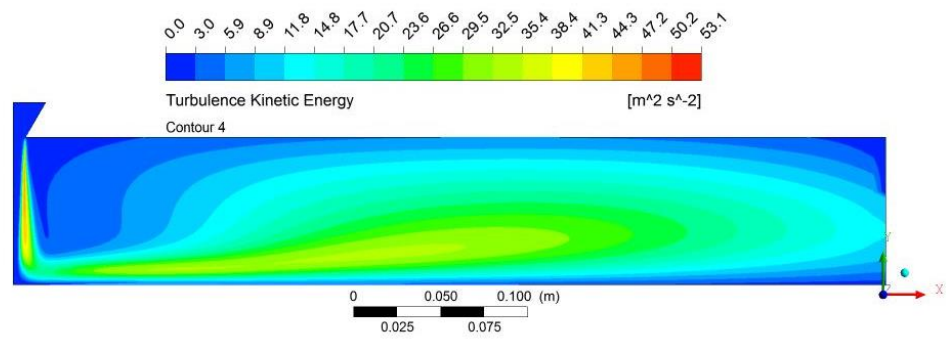
aa)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları  
Şekil 4.63’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



(a)



(b)

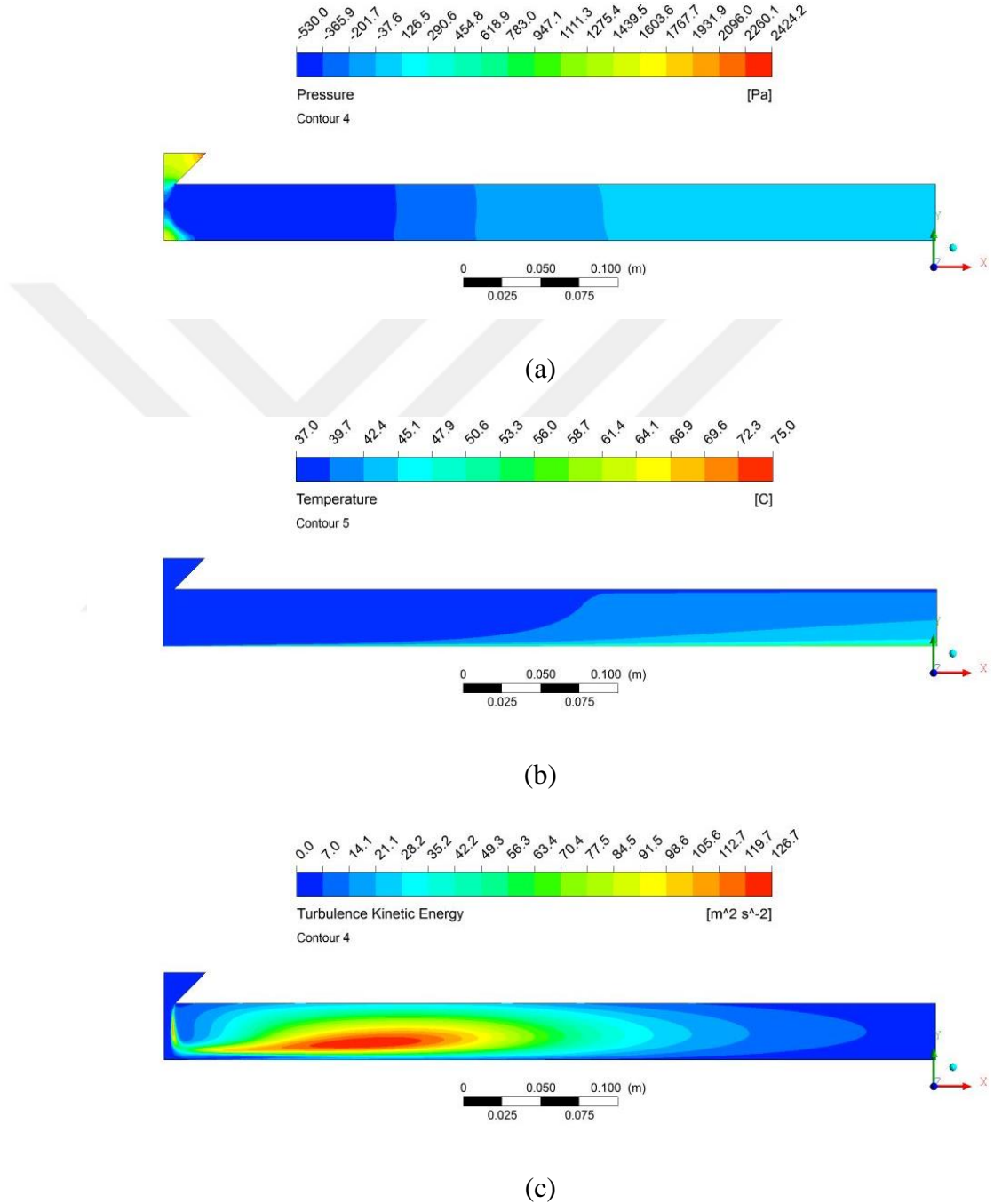


(c)

Şekil 4.63.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

ab)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

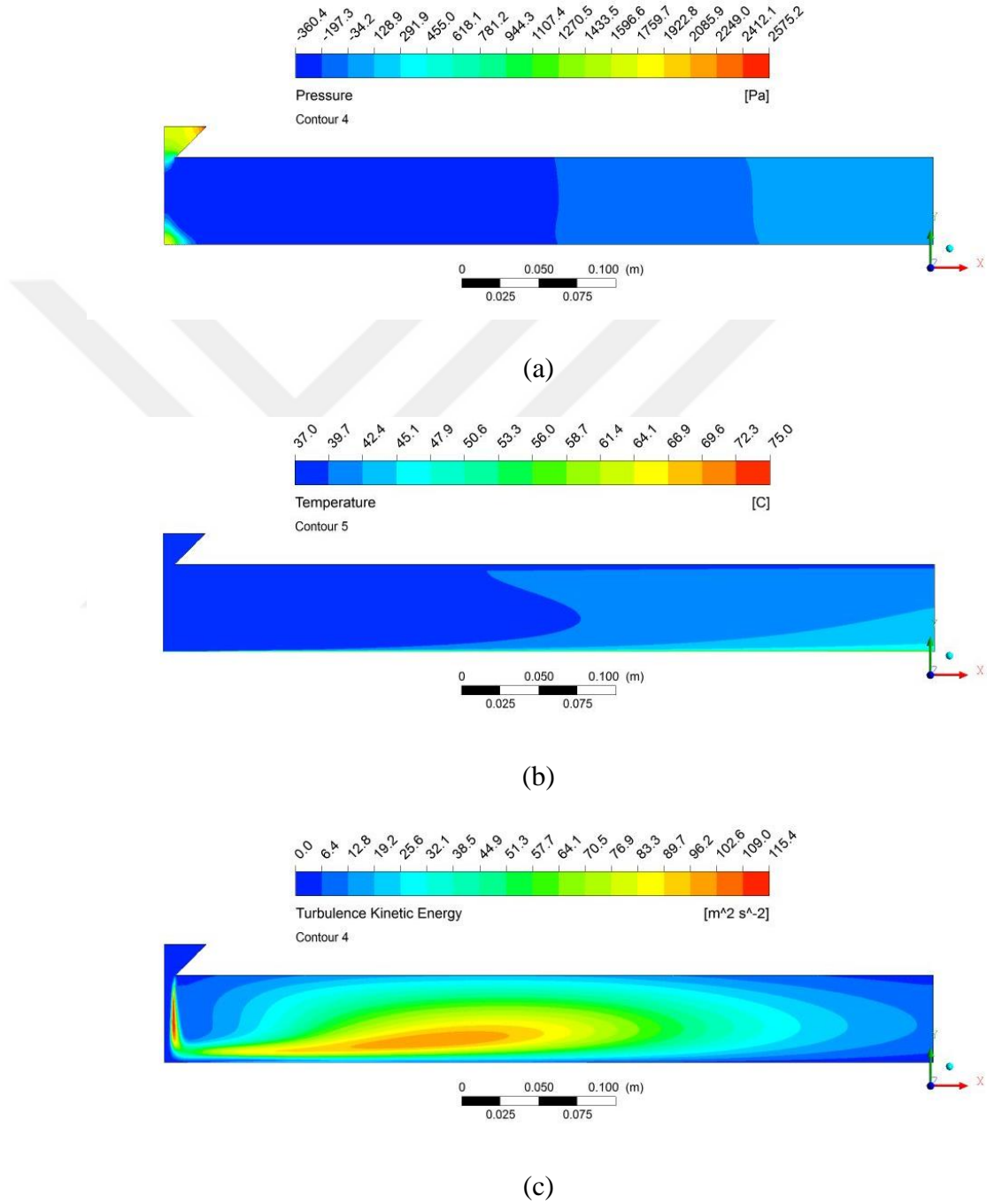
Şekil 4.64’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.64.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

ac)  $t=20$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

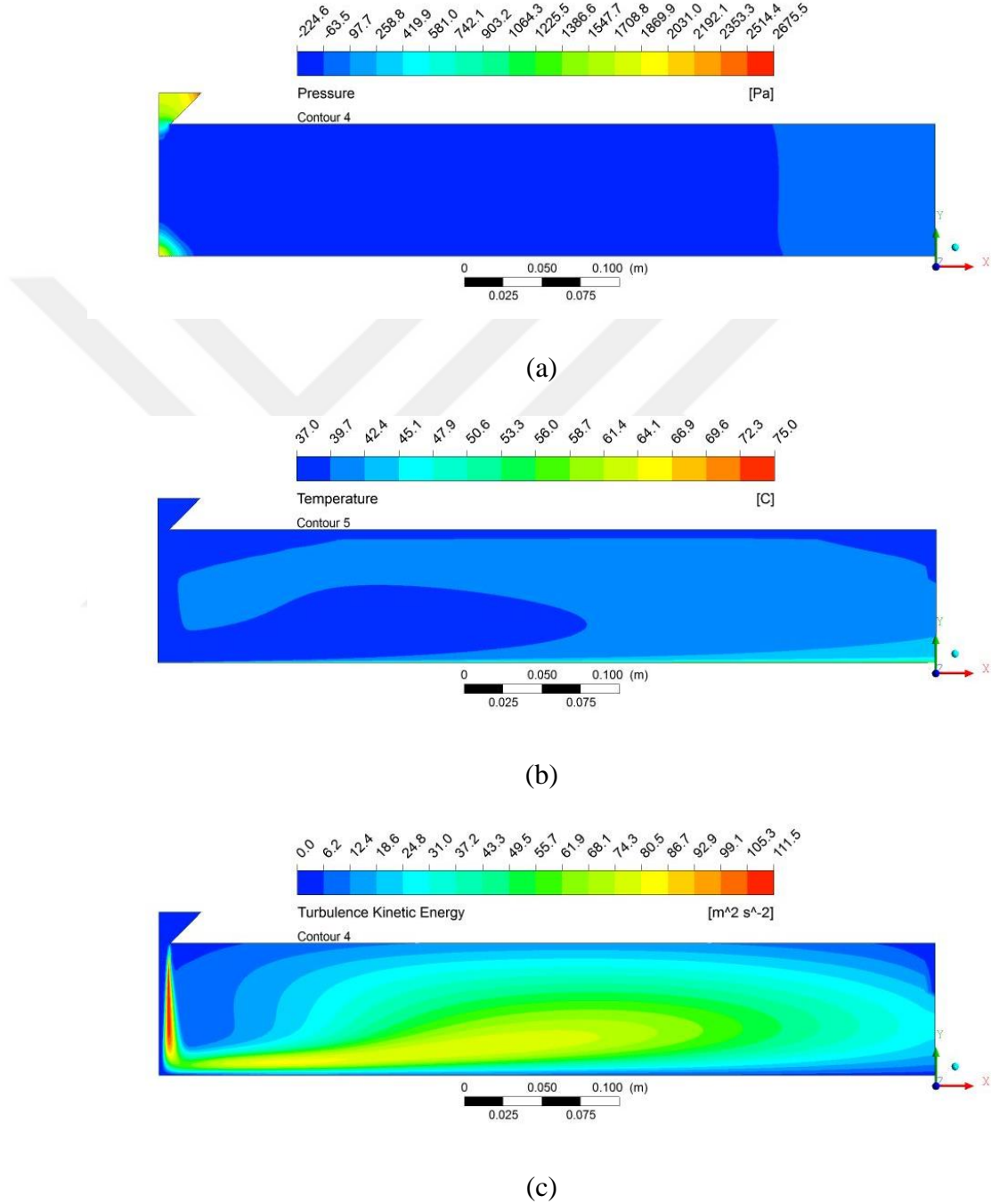
Şekil 4.65’de ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.65.  $t=20$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

ad)  $t=20$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerji sonuçları

Şekil 4.66’da ilgili parametreye ait basınç, sıcaklık ve türbülans kinetik enerji sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.66.  $t=20$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) basınç, (b) sıcaklık, (c) türbülans kinetik enerji dağılımları

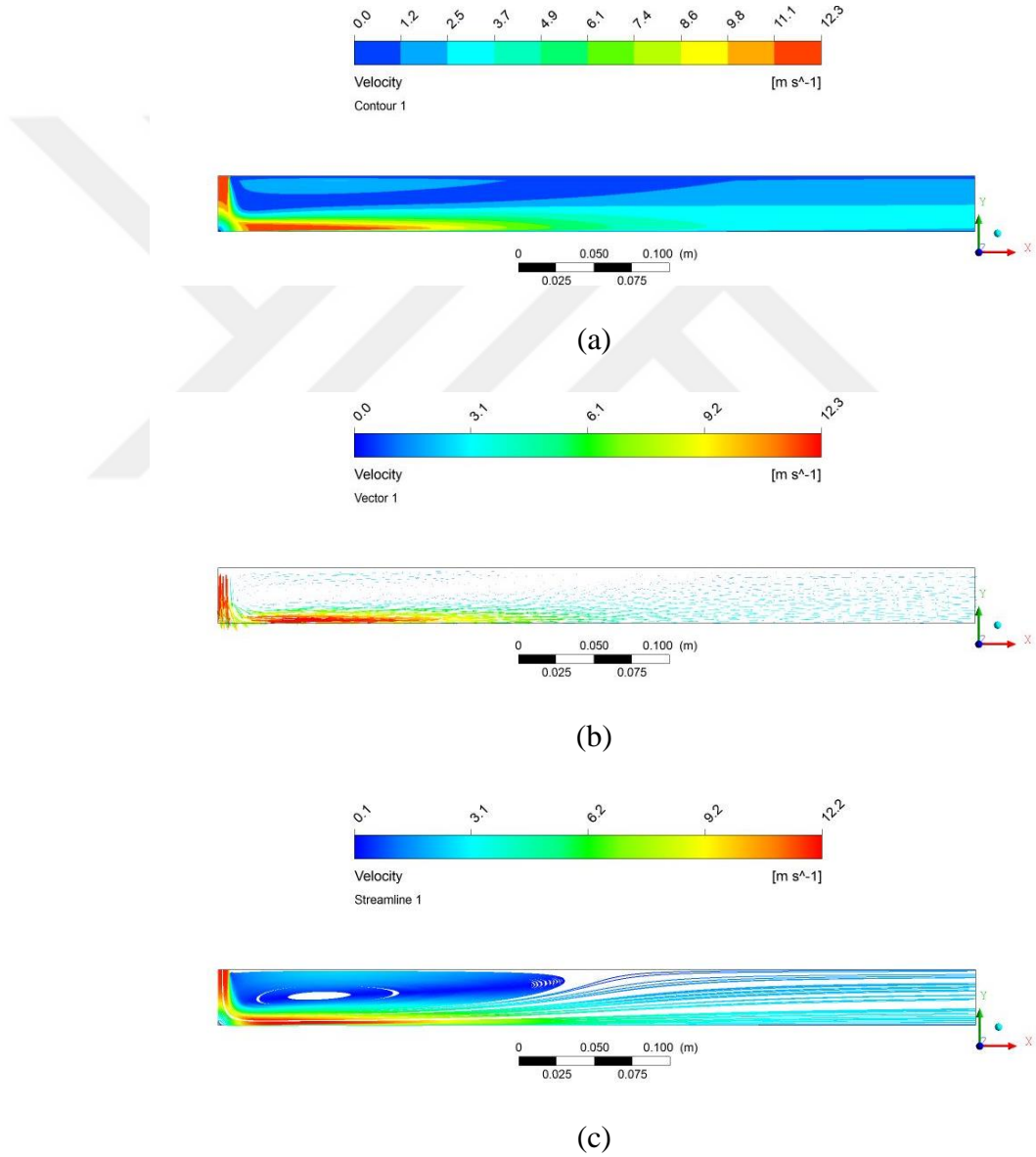
## 4.2. Hız Sonuçları

### 4.2.1. Model 1 hız sonuçları

Model 1' e ait hız dağılım sonuçları araştırılan parametrelere göre ayrı ayrı çizdirilmiştir.

#### a) $t=0$ ve $H/D=2,6$ için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.67'de gösterilmiştir.

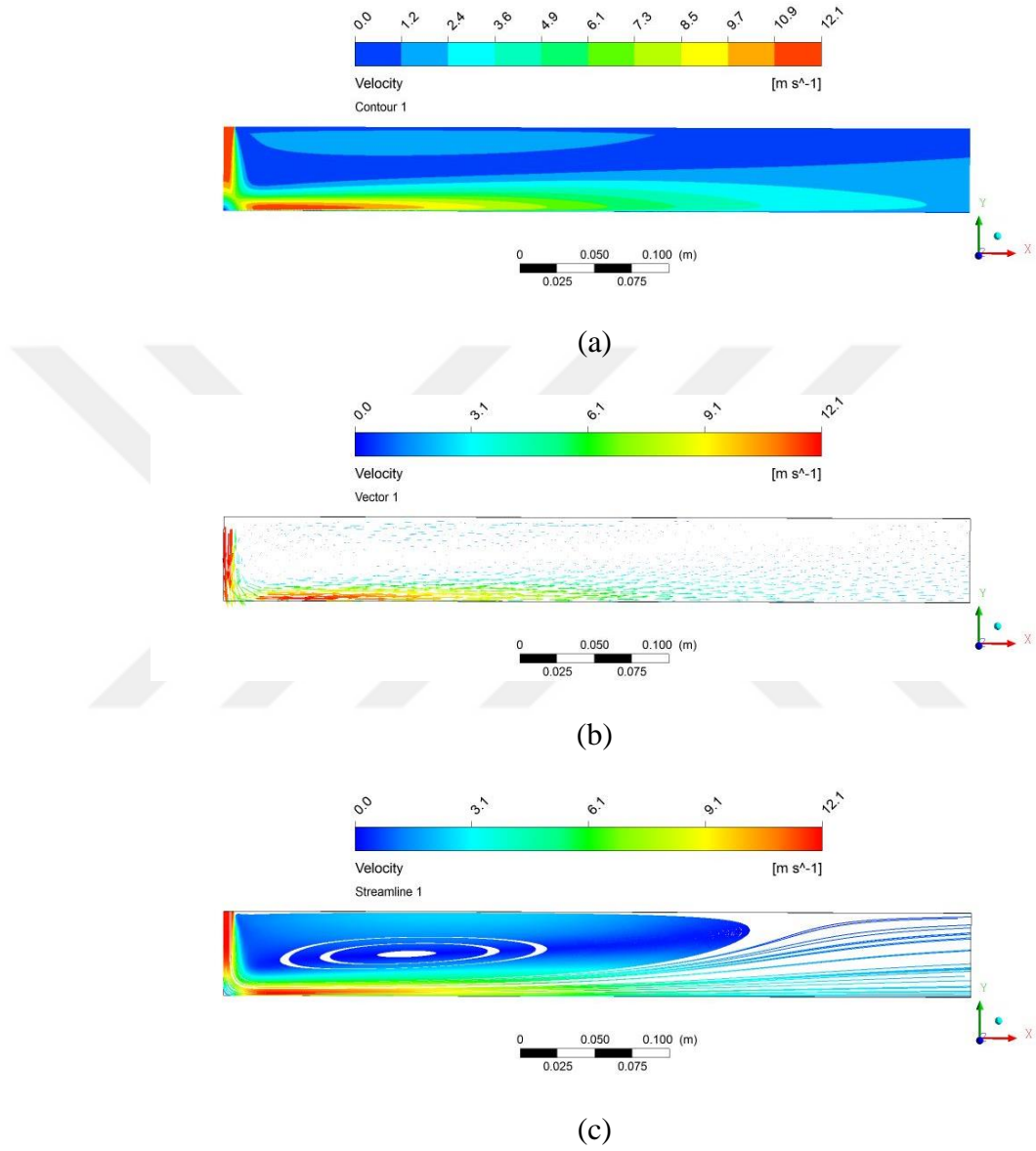


Şekil 4.67.  $t=0$ ,  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



b)  $t=0$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

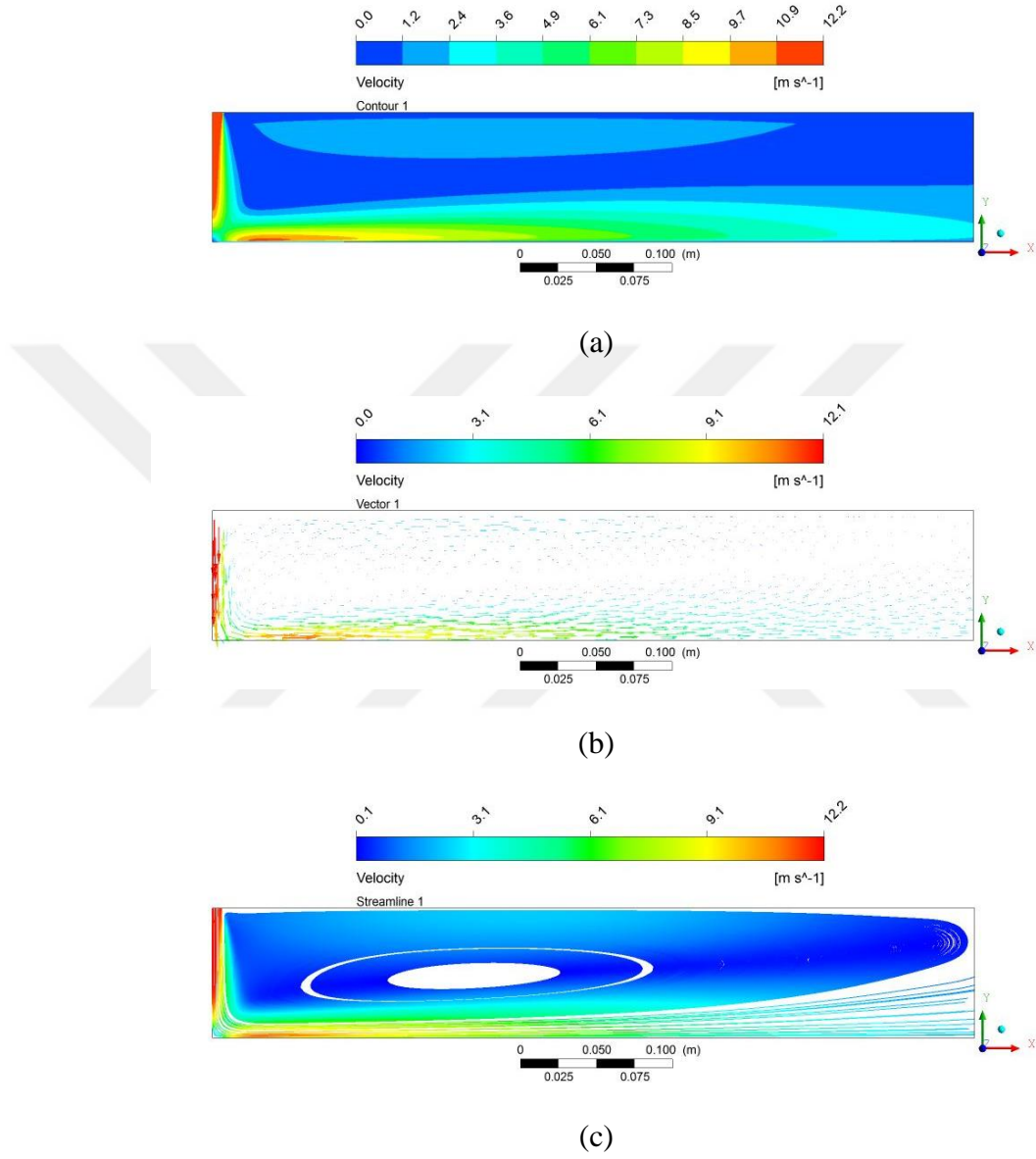
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.68'de gösterilmiştir.



Şekil 4.68.  $t=0$ ,  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

c)  $t=0$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.69'da gösterilmiştir.

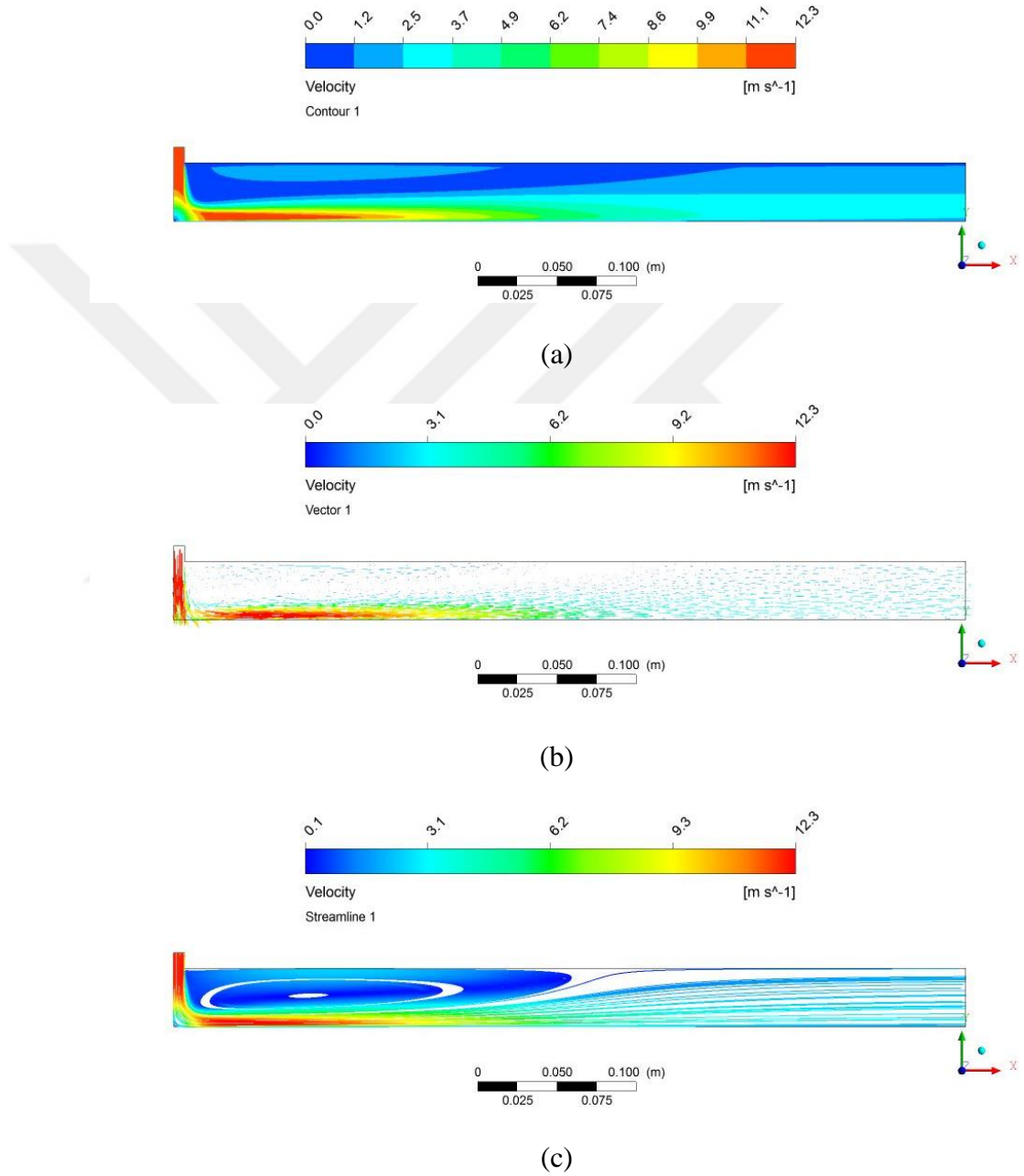


Şekil 4.69.  $t=0$ ,  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

## 4.2.2. Model 2 hız sonuçları

### a) $t=10$ mm ve $H/D=2,6$ için hız konturları

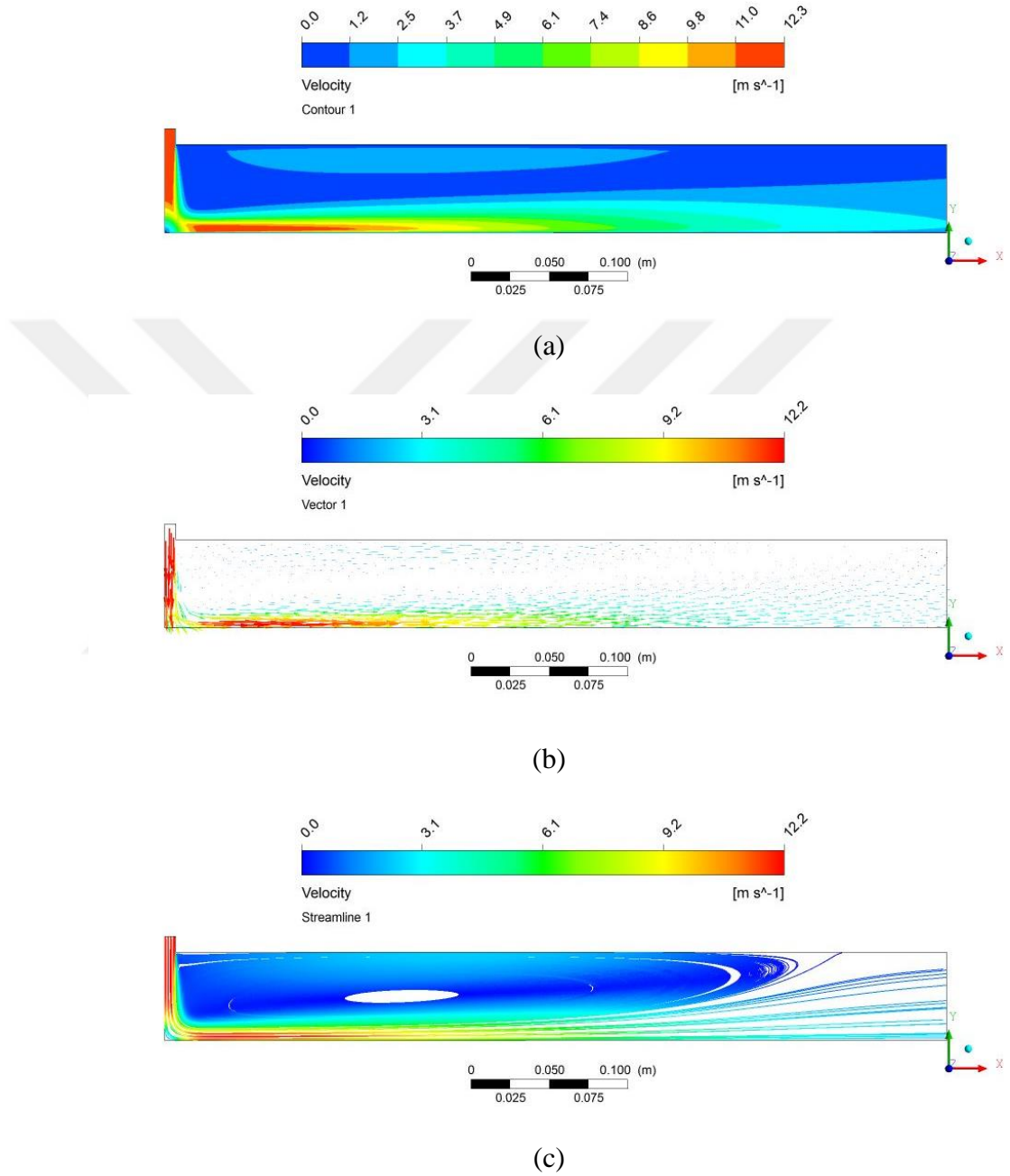
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.70'de gösterilmiştir.



Şekil 4.70.  $t=10$  mm,  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

b)  $t=10$  mm ve  $H/D=4$  için hız konturları

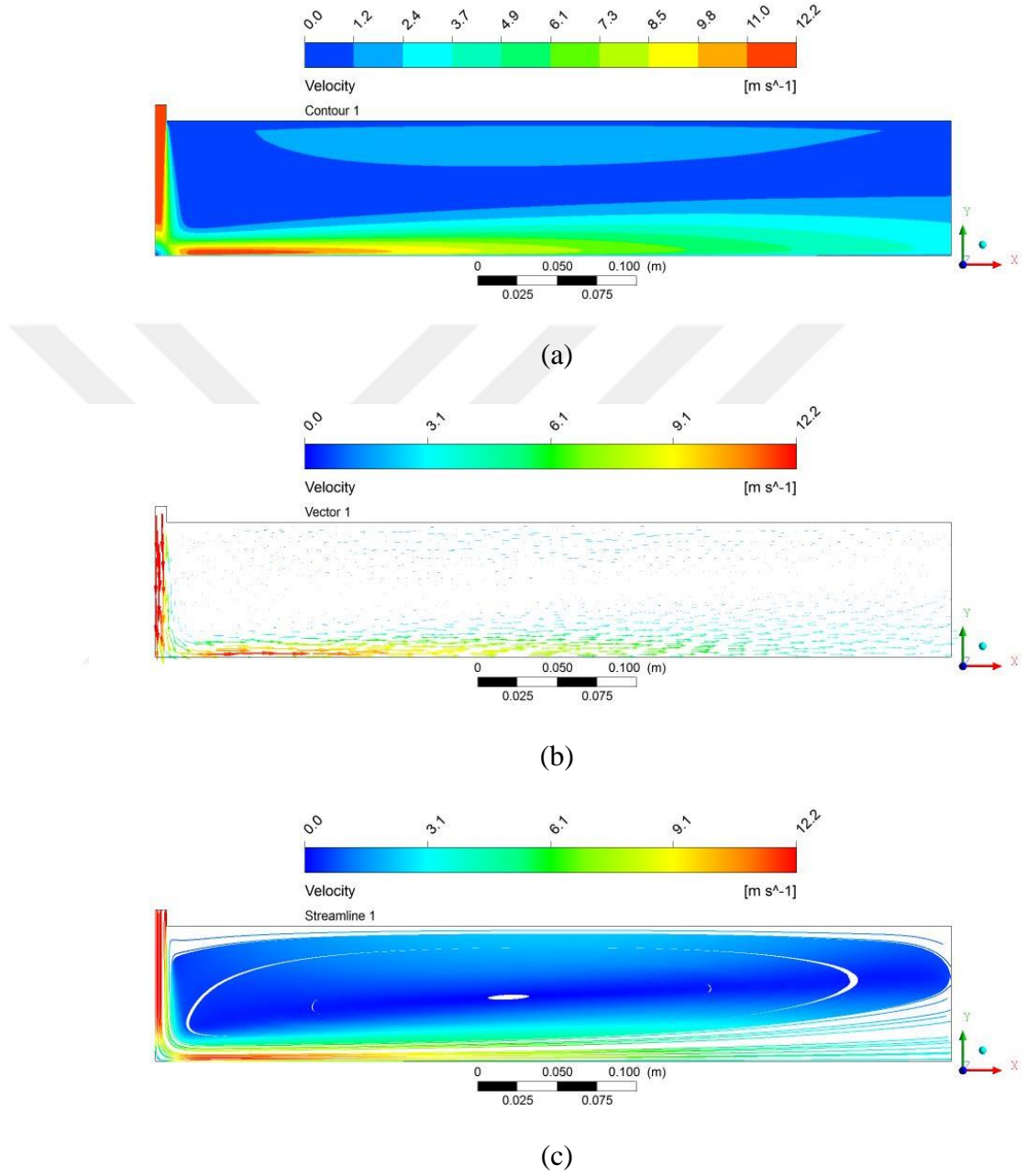
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.71’de gösterilmiştir.



Şekil 4.71.  $t=10$  mm,  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

c)  $t=10$  mm ve  $H/D=6$  için hız konturları

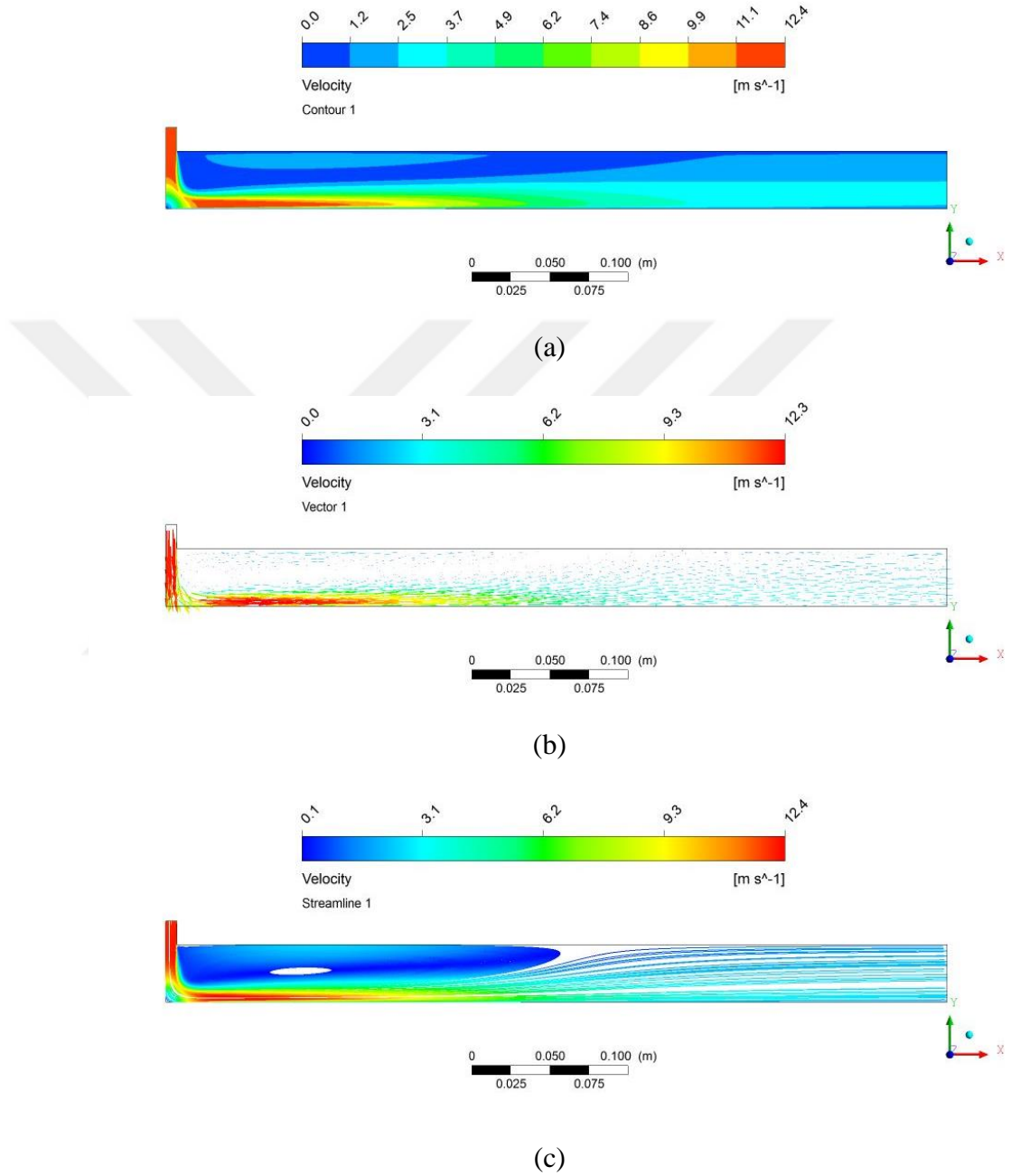
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.72'de gösterilmiştir.



Şekil 4.72.  $t=10$  mm,  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

d)  $t=15$  mm ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

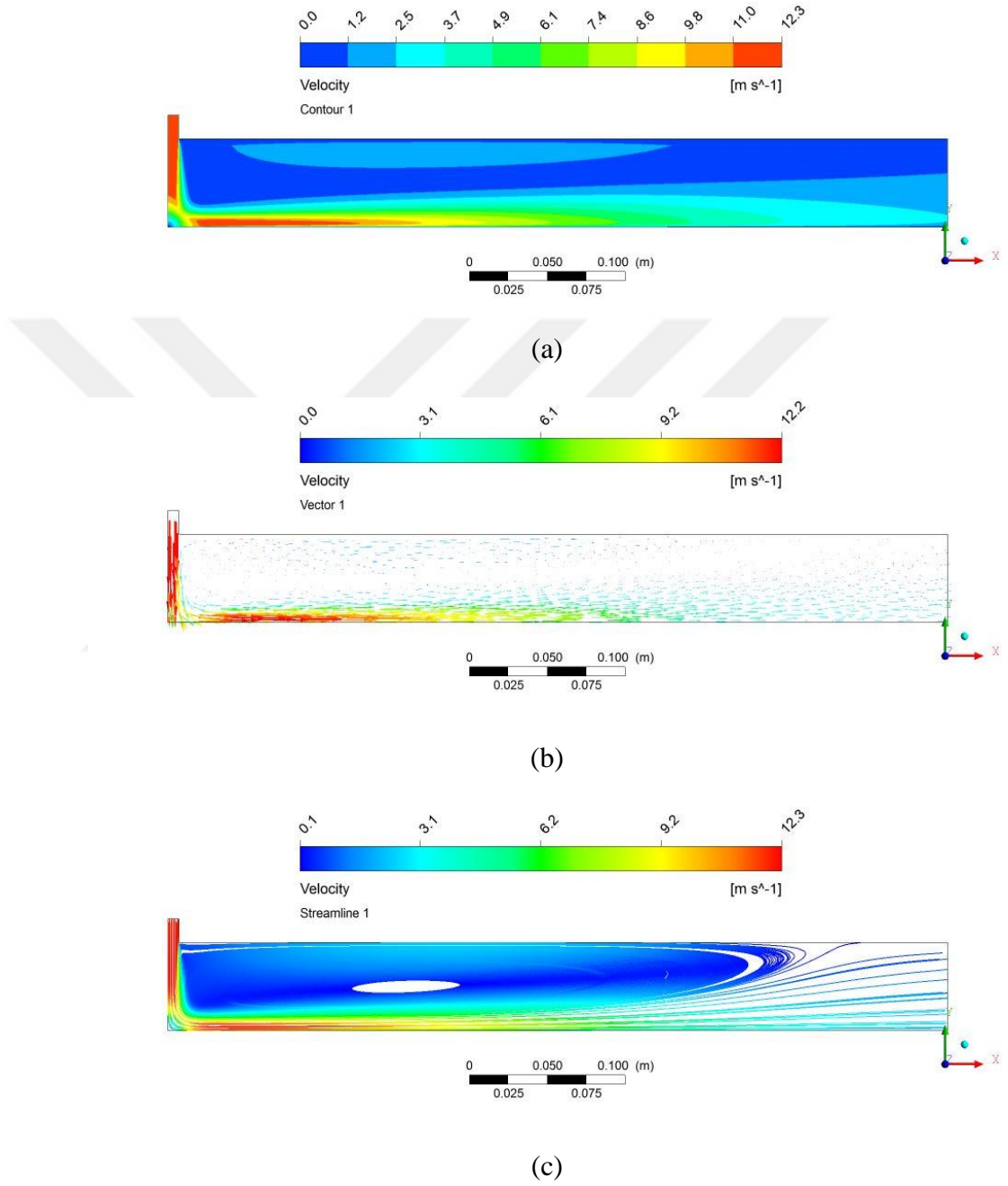
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.73’de gösterilmiştir.



Şekil 4.73.  $t=15$  mm,  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

e)  $t=15$  mm ve  $H/D=4$  için hız konturları

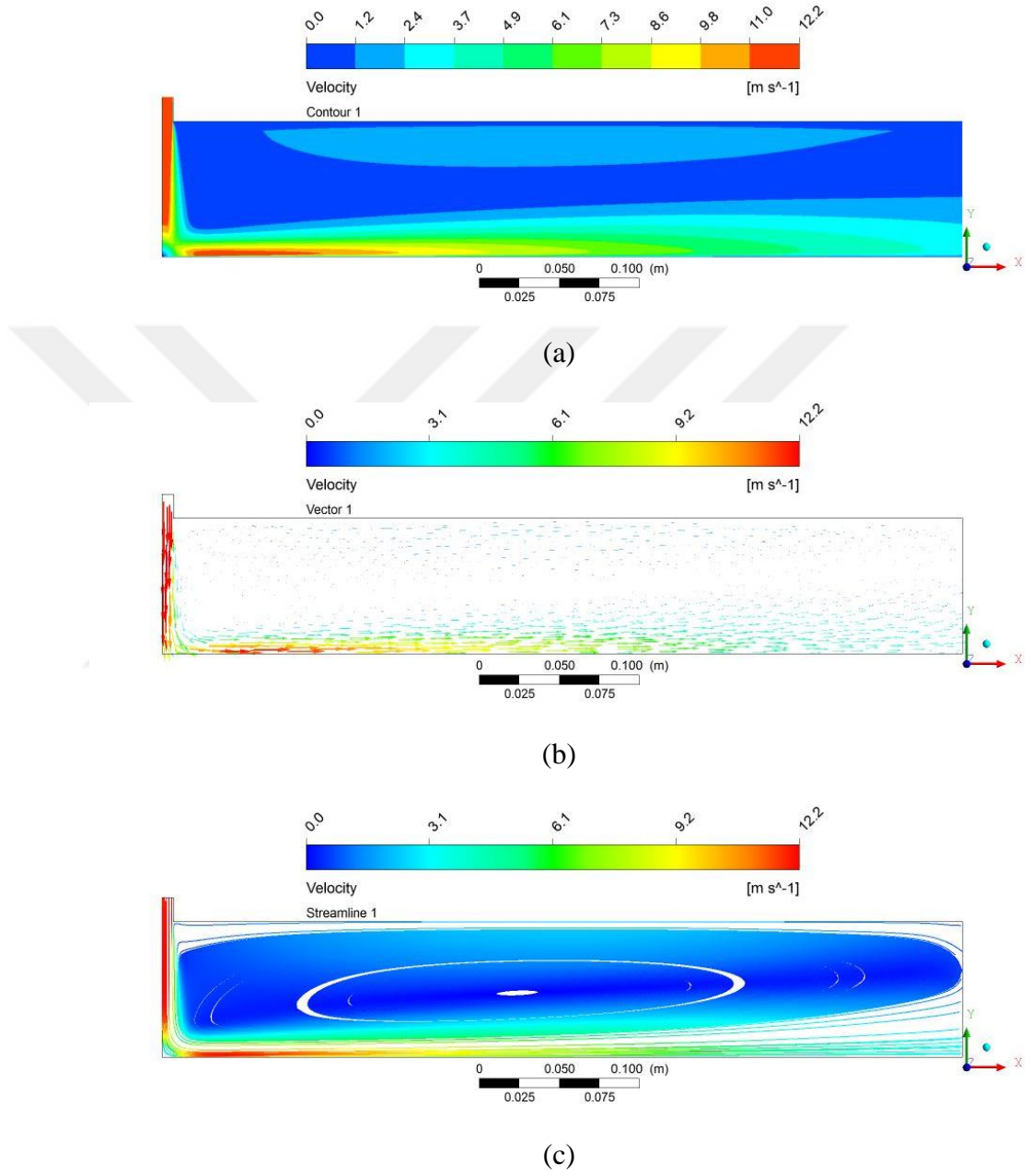
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.74'de gösterilmiştir.



Şekil 4.74.  $t=15$  mm,  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

f)  $t=15$  mm ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.75’de gösterilmiştir.

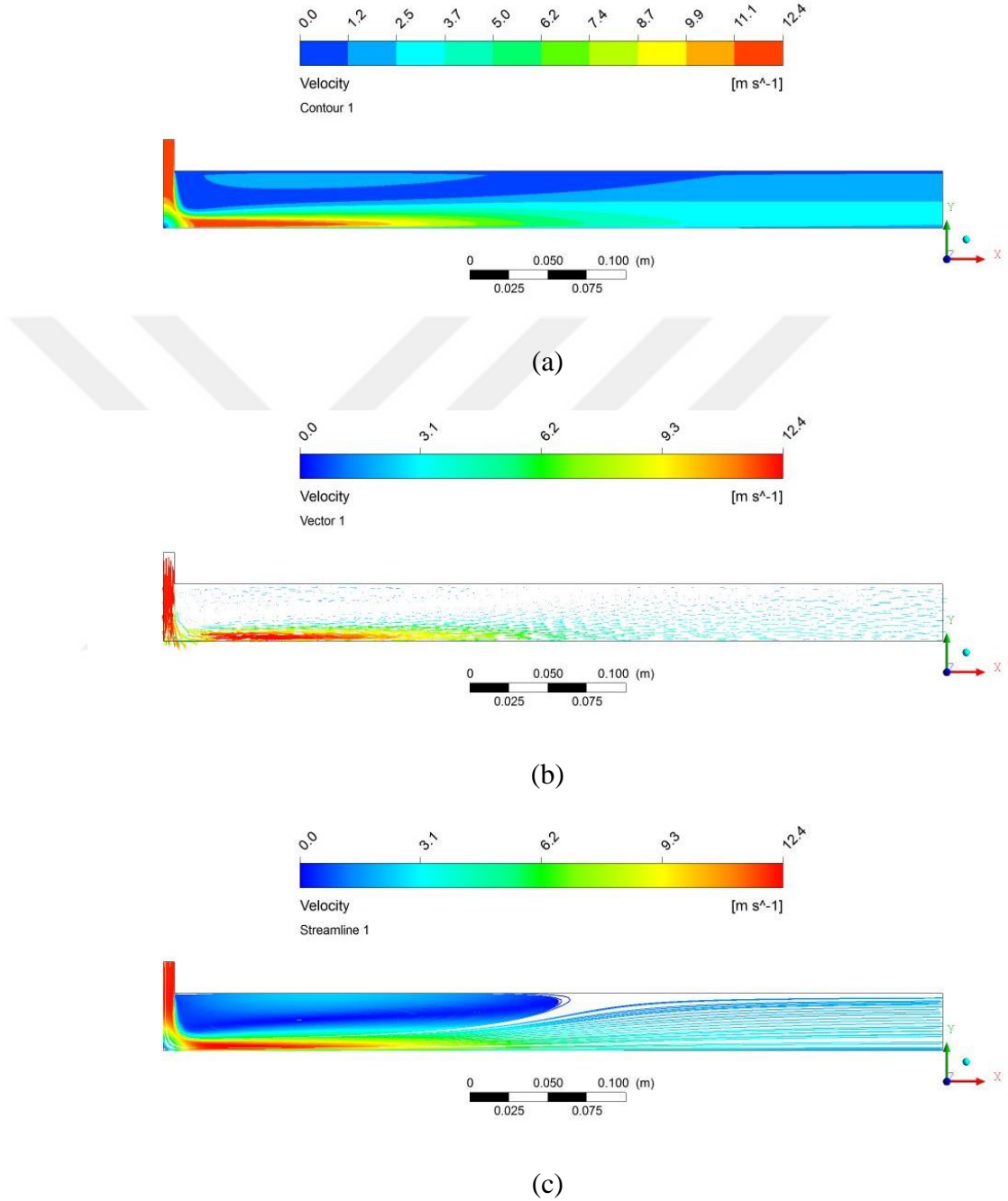


Şekil 4.75.  $t=15$  mm,  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



g)  $t=20$  mm ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

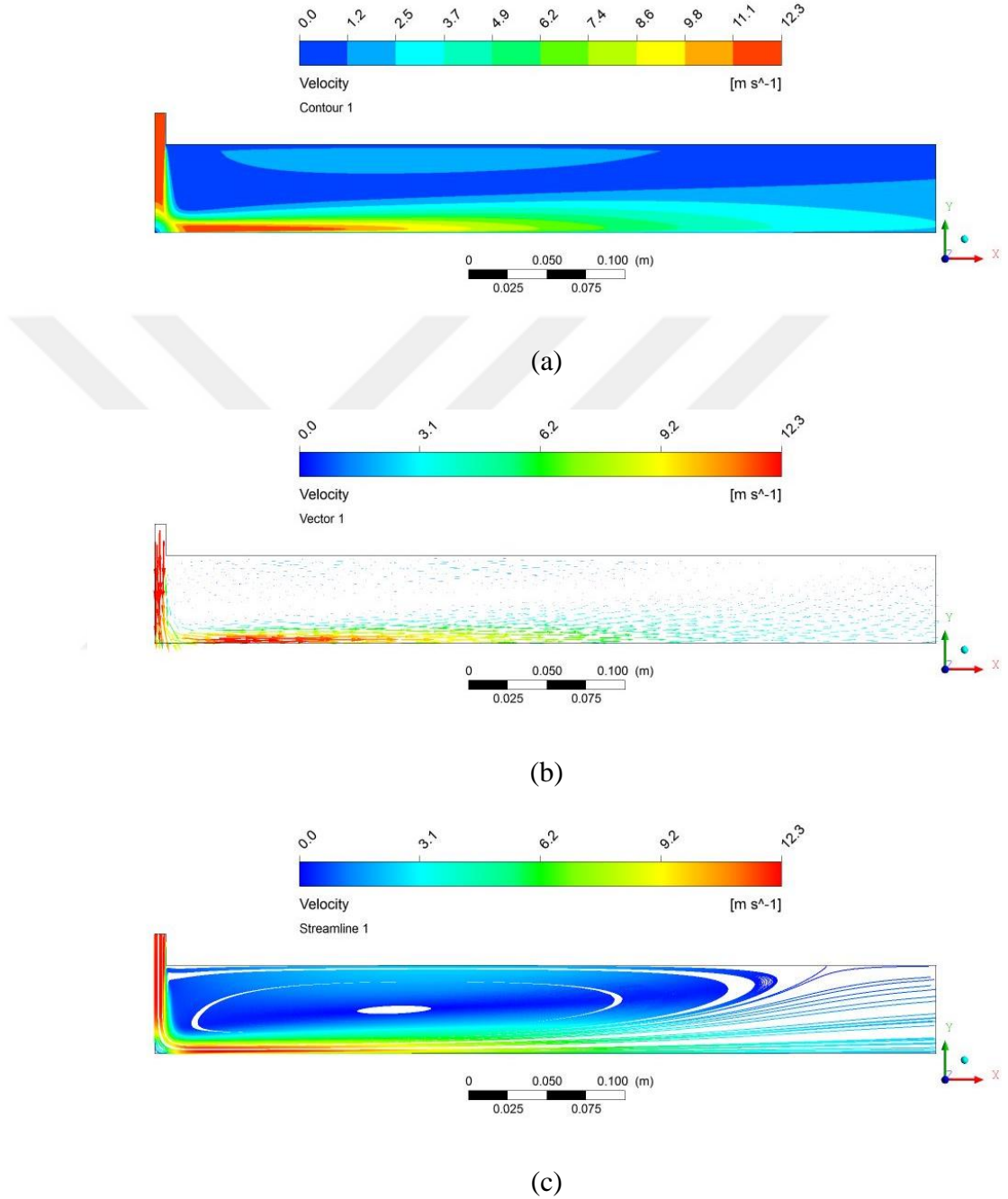
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.76'da gösterilmiştir.



Şekil 4.76.  $t=20$  mm ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

## h) $t=20$ mm ve $H/D=4$ için hız konturları

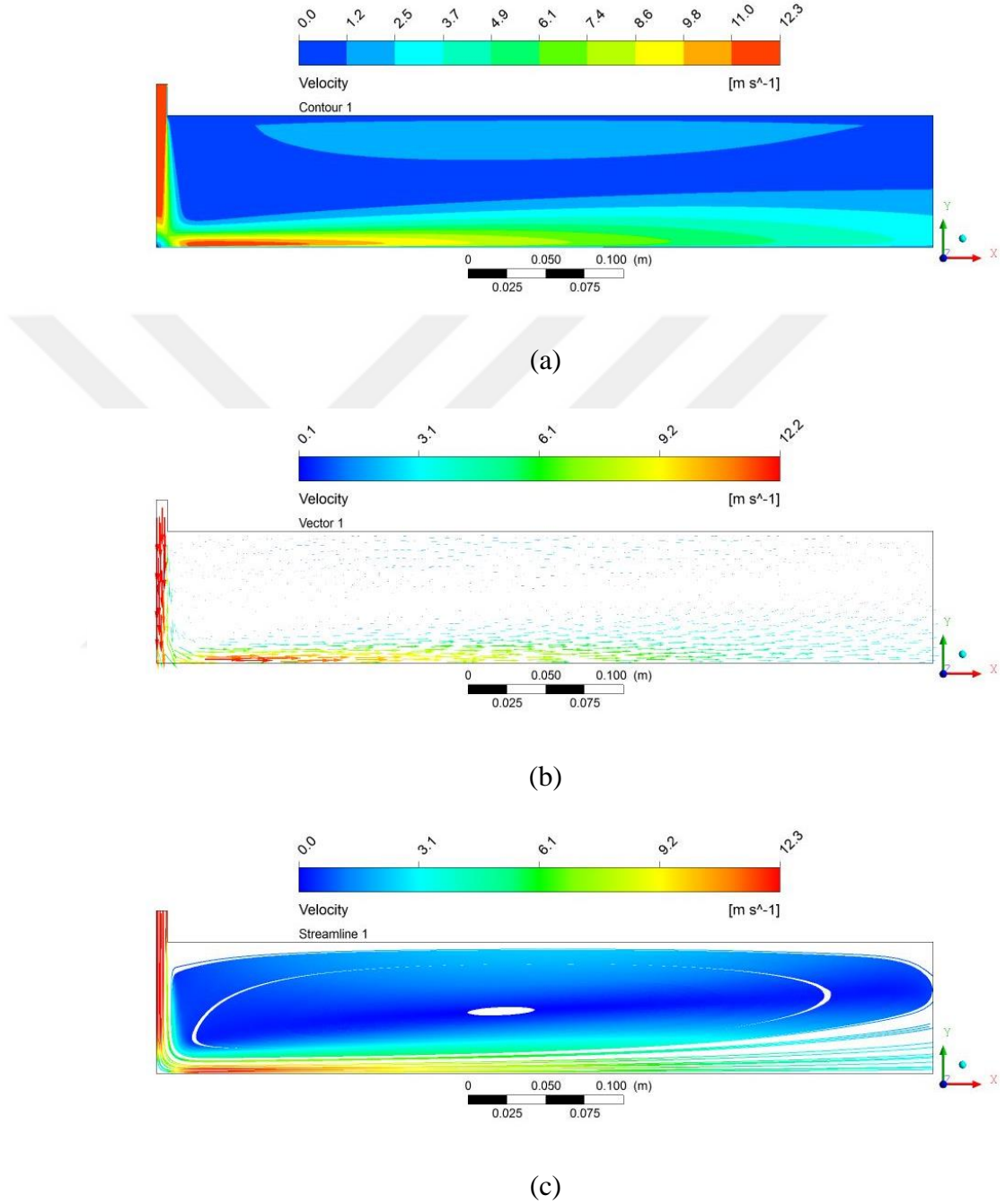
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77.  $t=20$  mm ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

i)  $t=20$  mm ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.78’de gösterilmiştir.

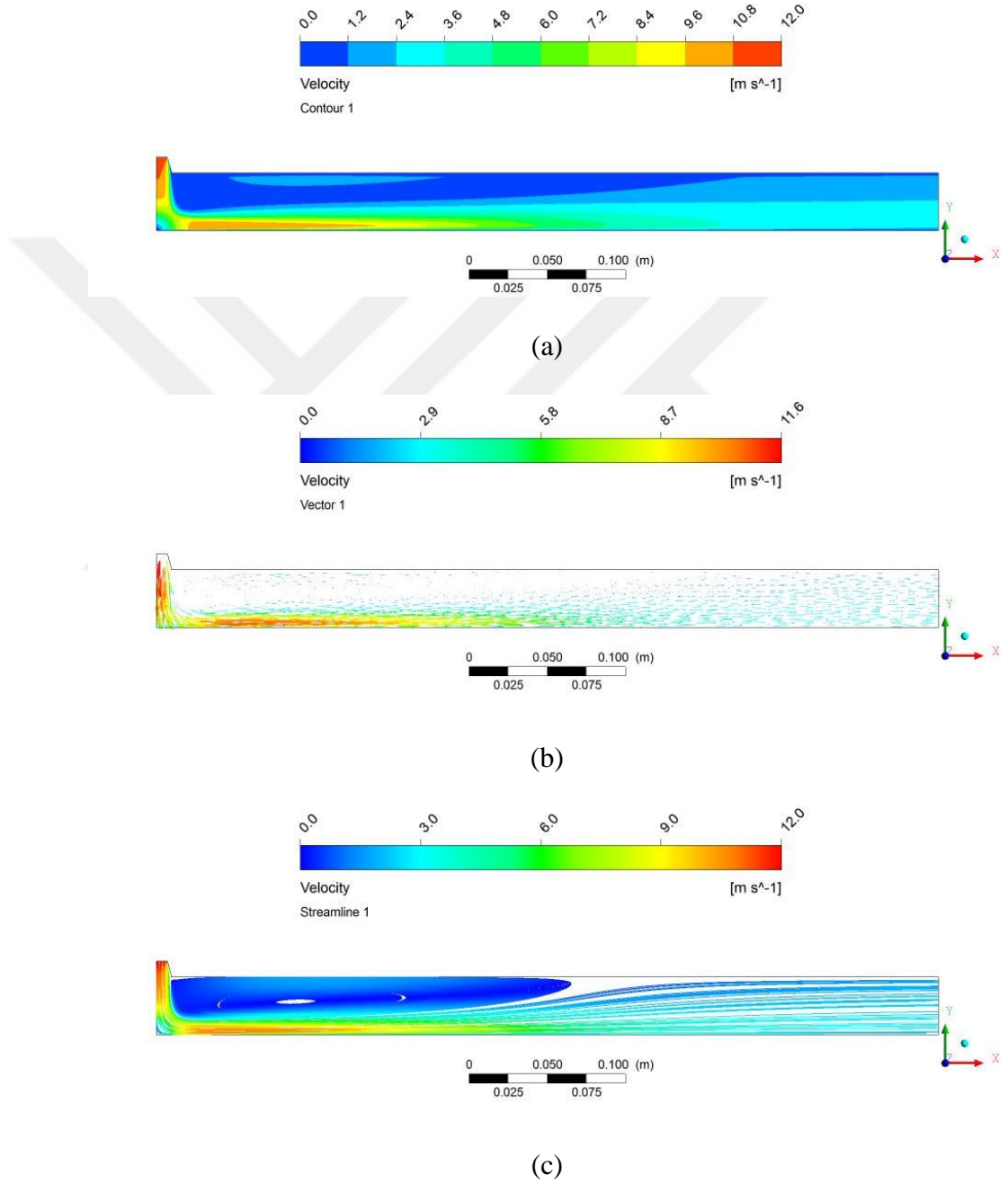


Şekil 4.78.  $t=20$  mm ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

### 4.2.3. Model 3 hız sonuçları

#### a) $t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için hız konturları

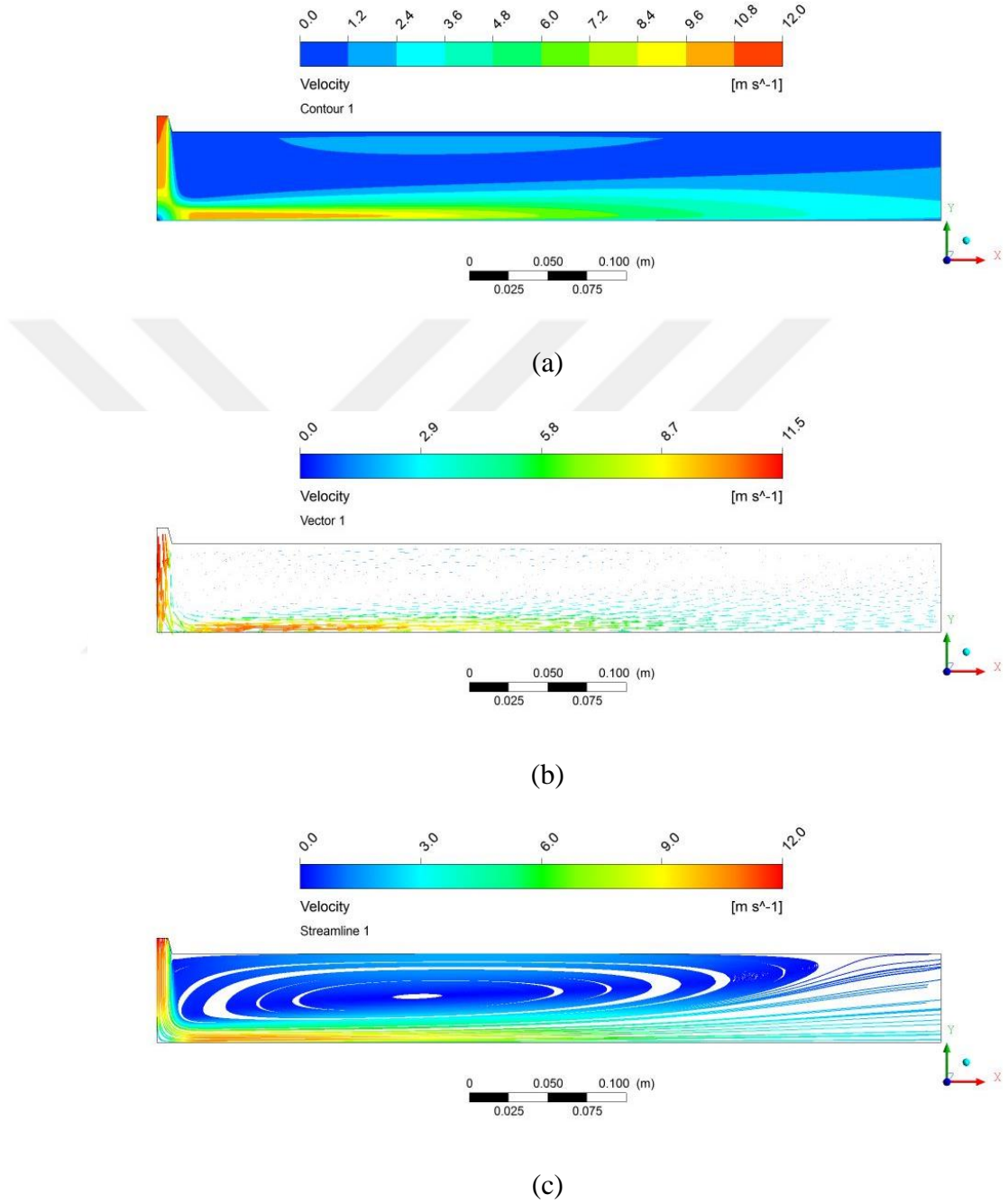
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.79'da gösterilmiştir.



Şekil 4.79.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

b)  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

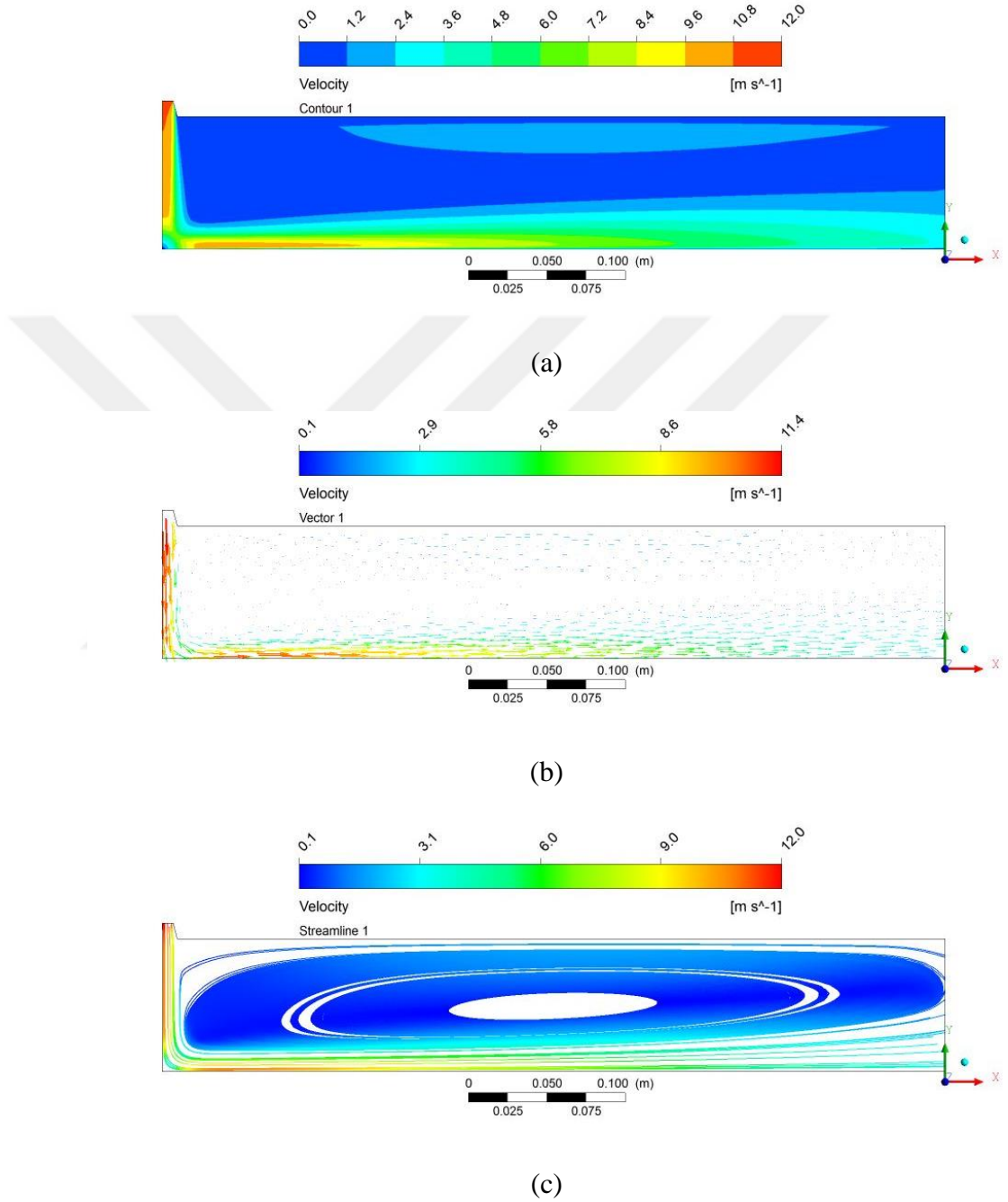
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.80’de gösterilmiştir.



Şekil 4.80.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

c)  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

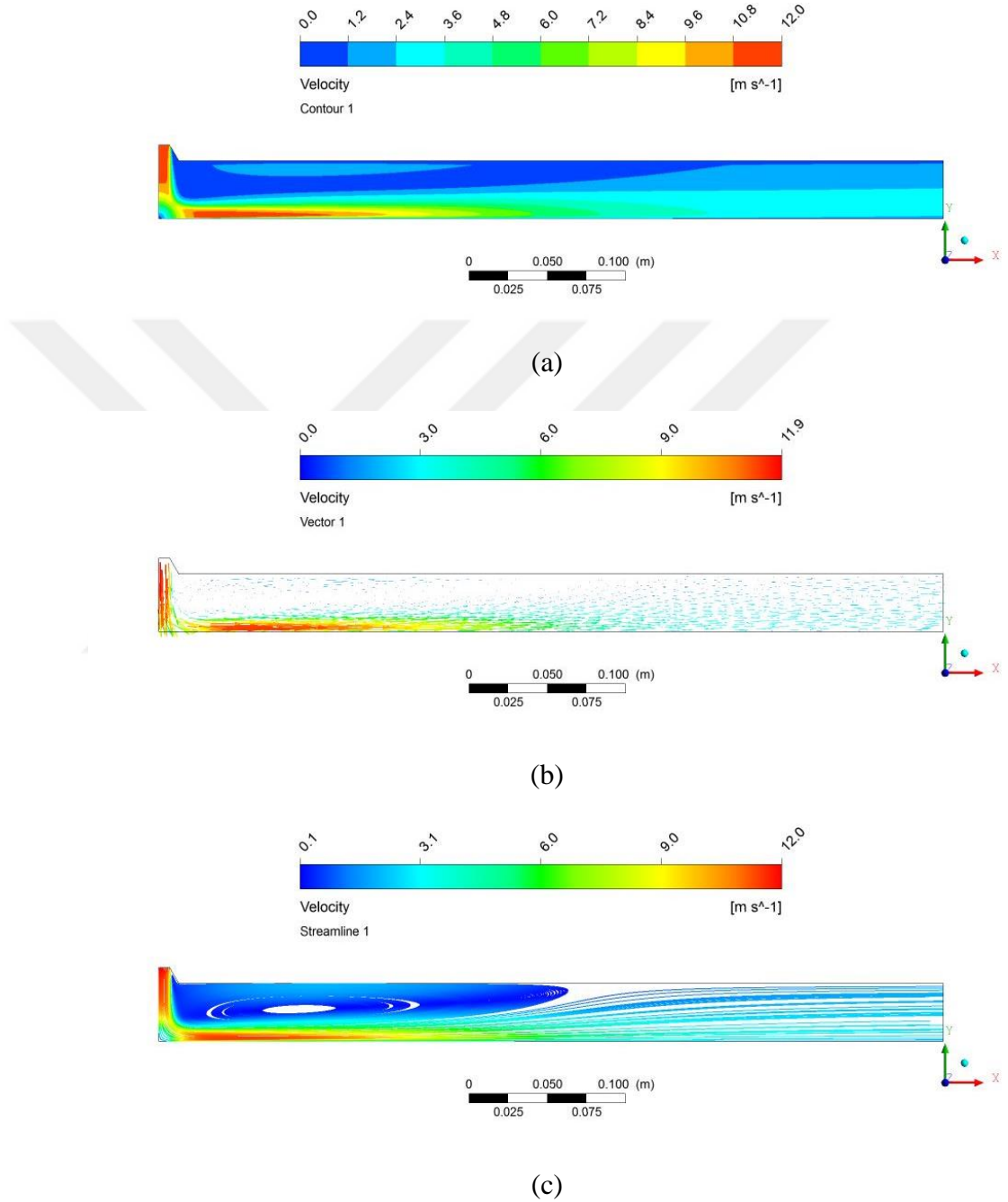
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.81'de gösterilmiştir.



Şekil 4.81.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

d)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

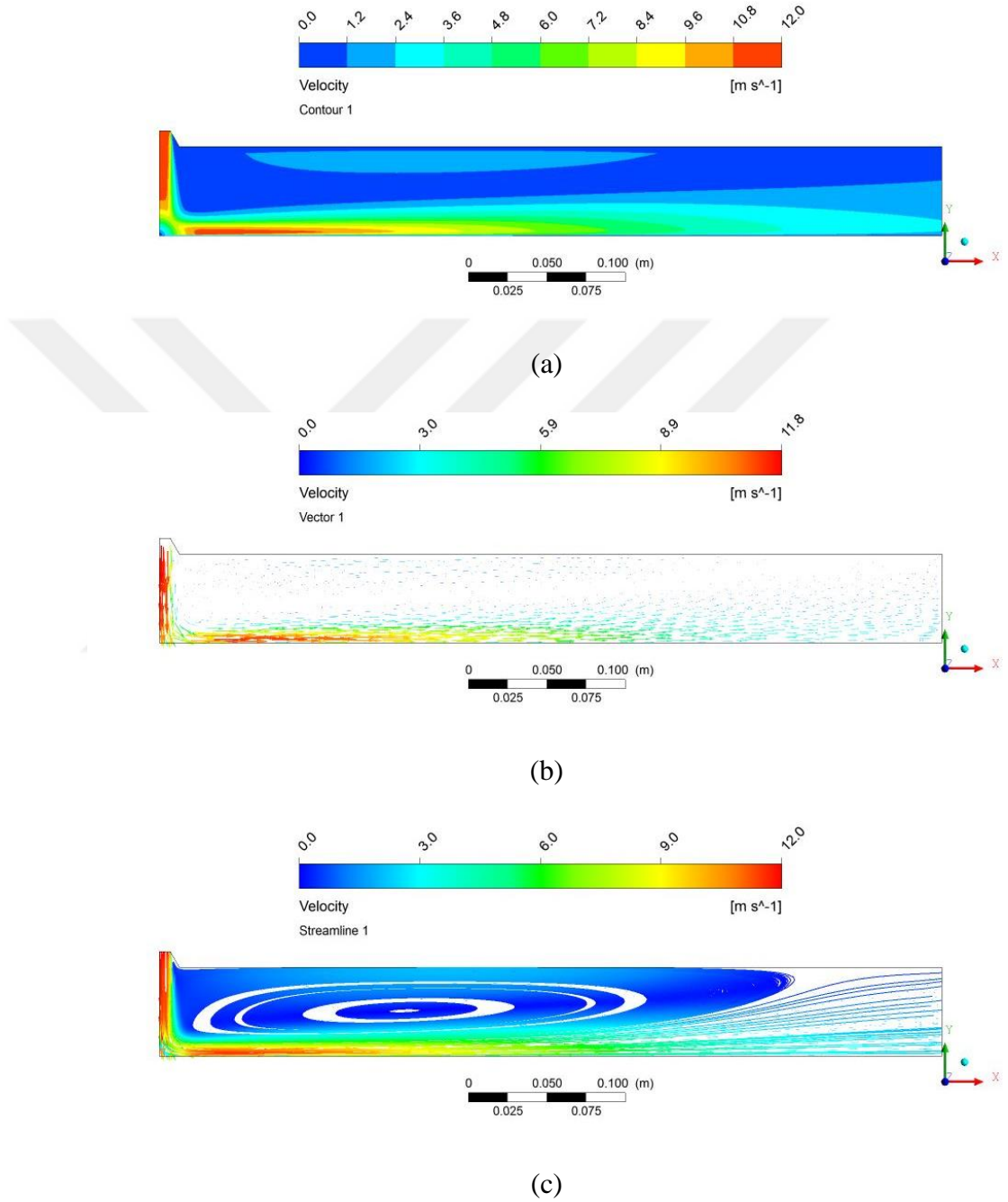
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.82’de gösterilmiştir.



Şekil 4.82.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

e)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.83’de gösterilmiştir.

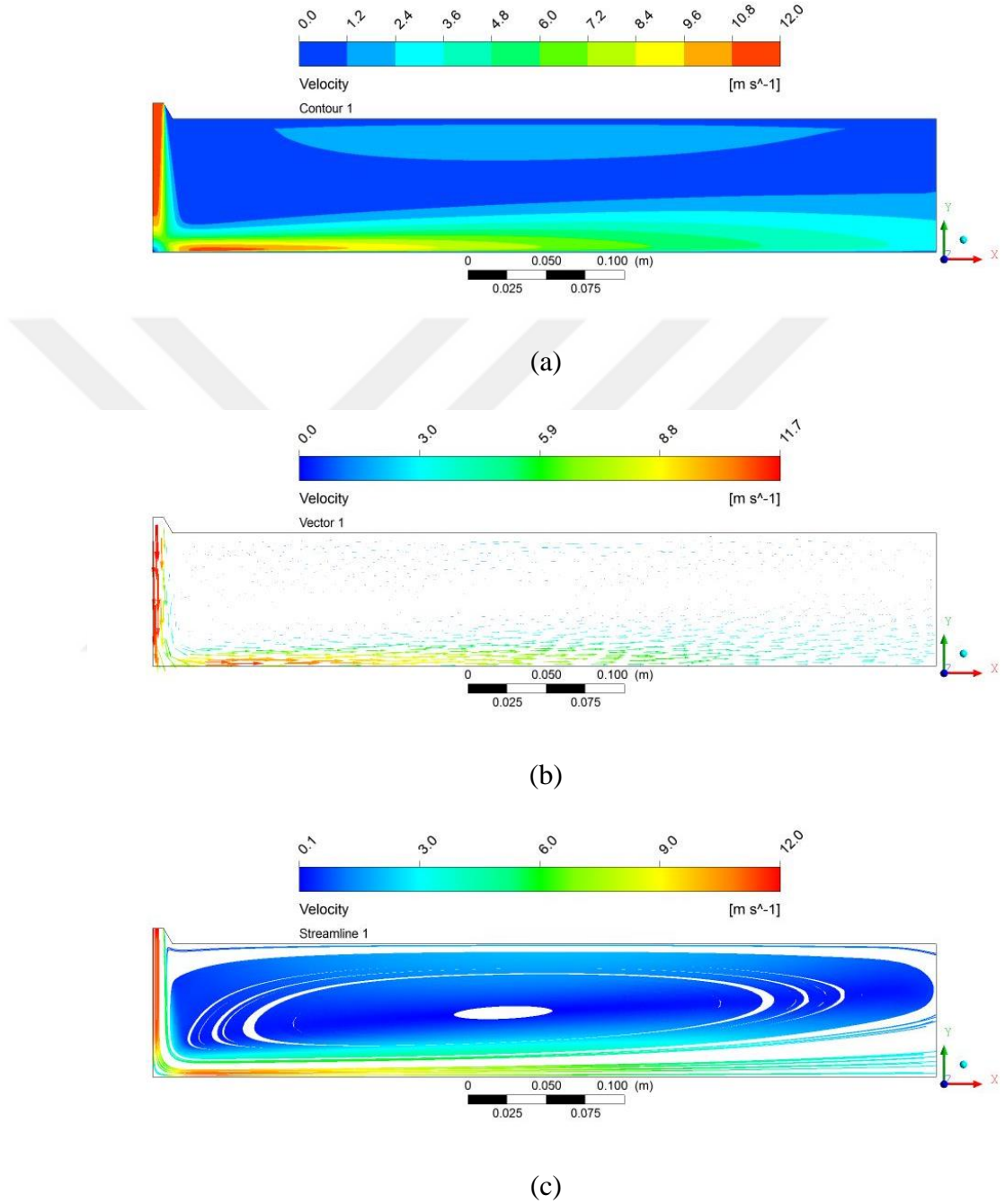


Şekil 4.83.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



f)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

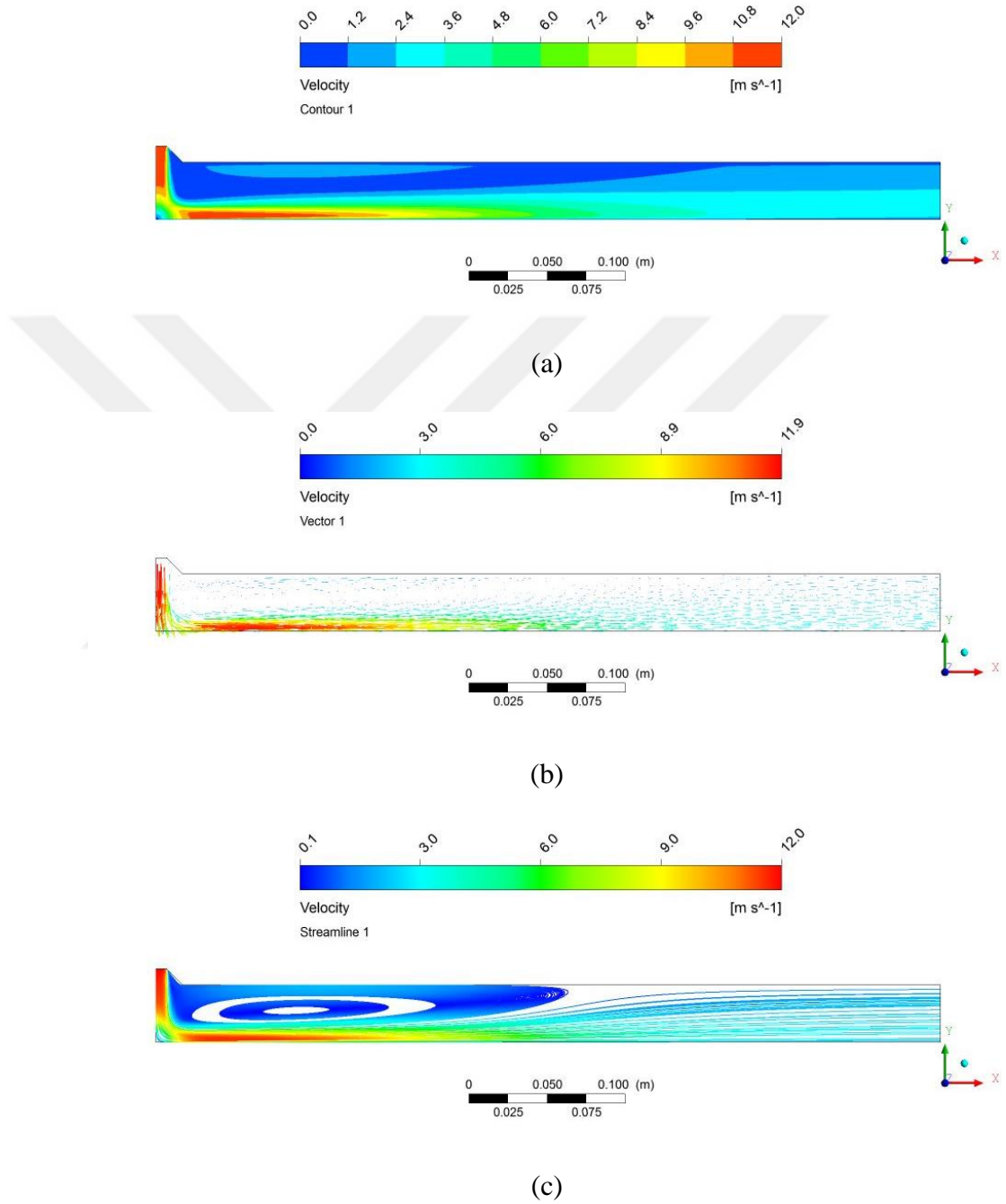
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.84'de gösterilmiştir.



Şekil 4.84.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

g)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

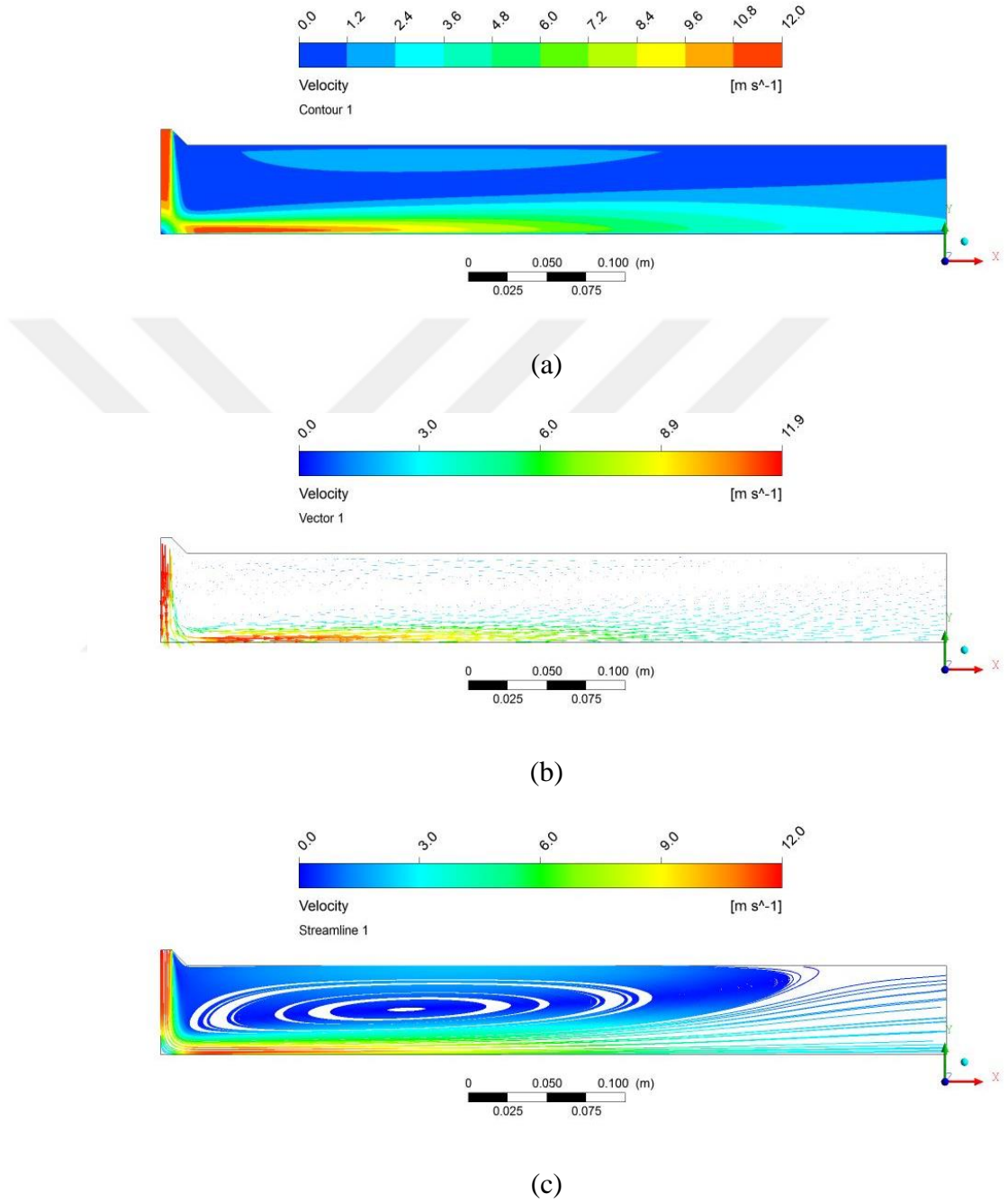
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.85’de gösterilmiştir.



Şekil 4.85.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

h)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

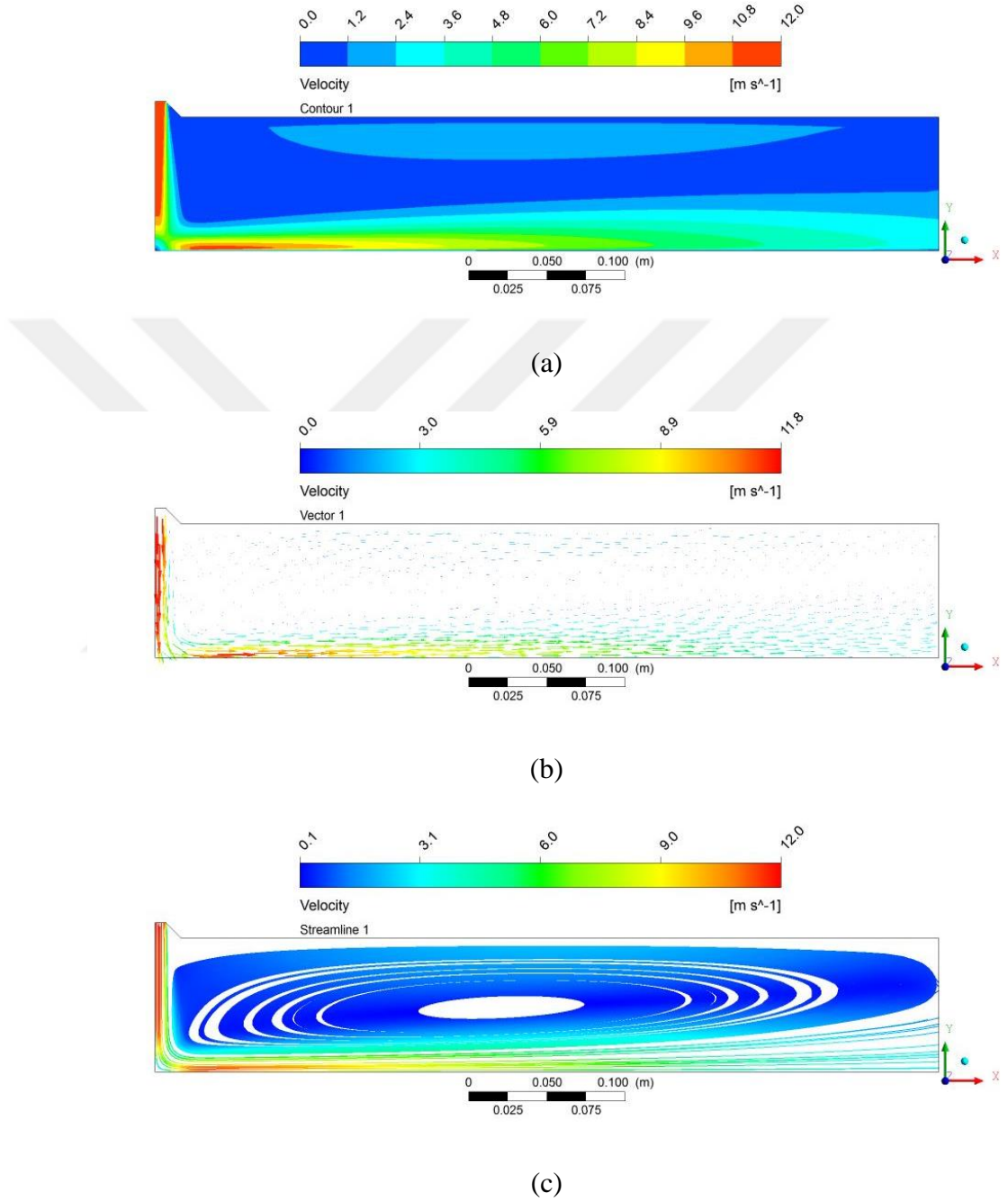
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.86'da gösterilmiştir.



Şekil 4.86.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

i)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

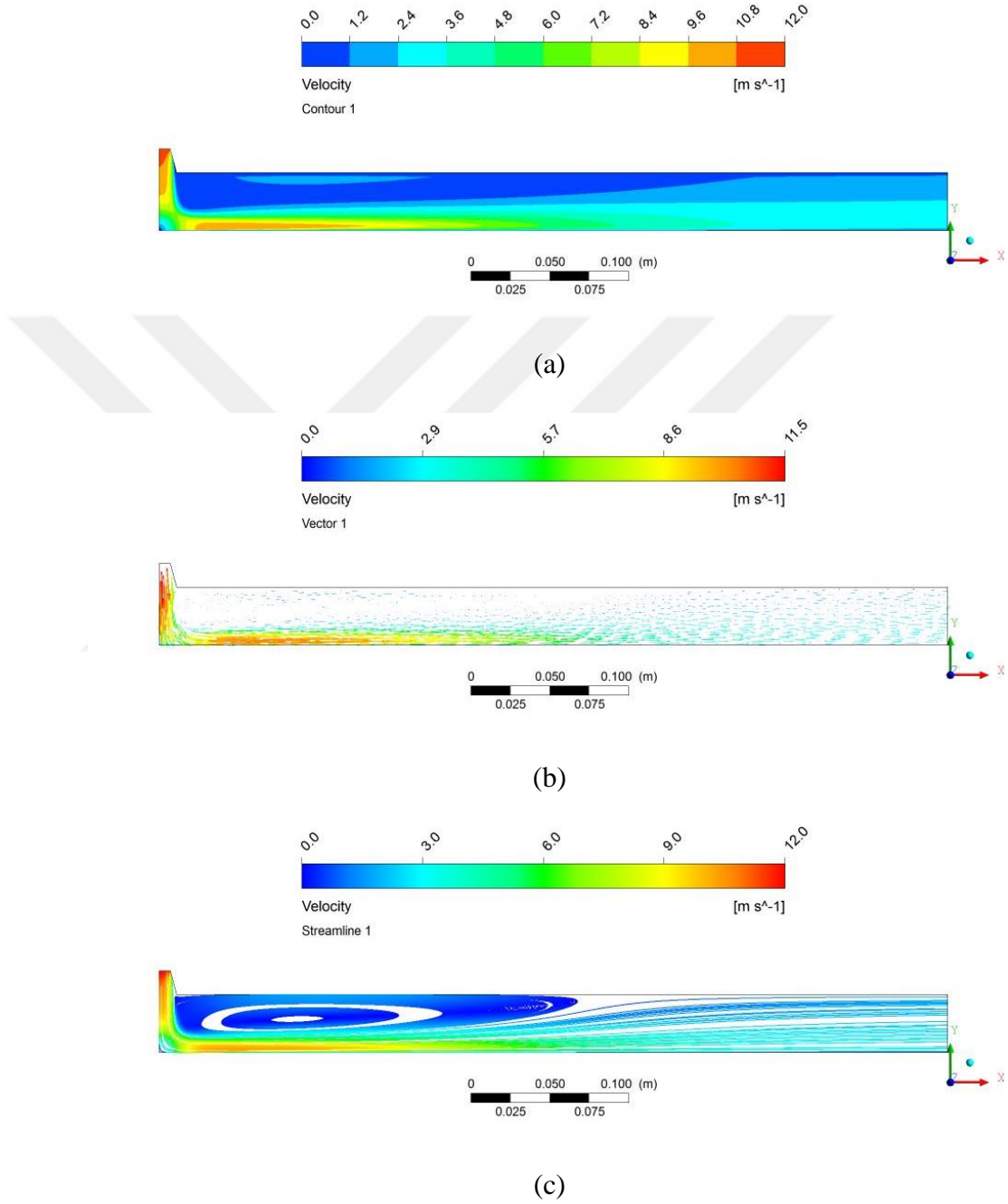
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.87’de gösterilmiştir.



Şekil 4.87.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

j)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

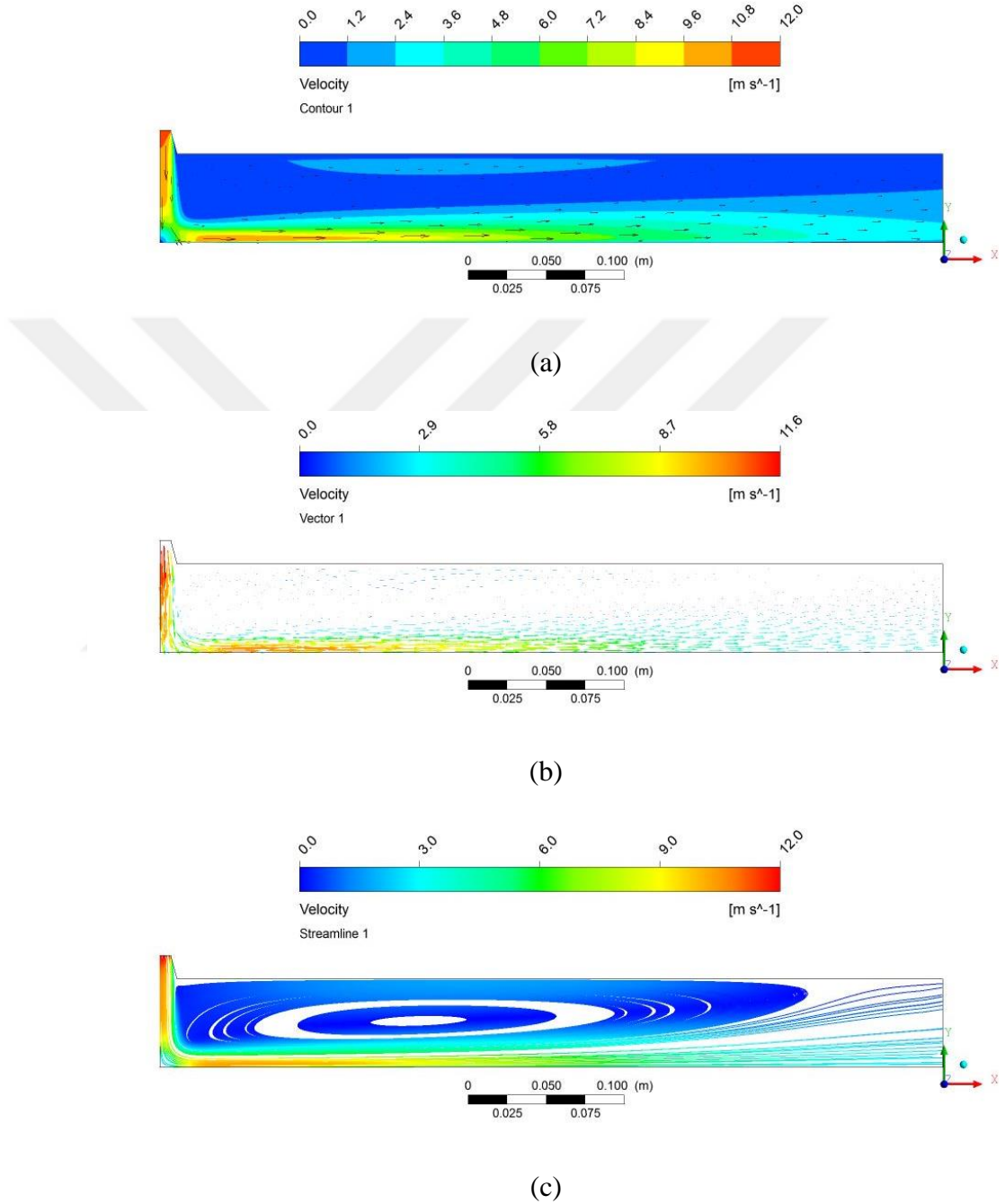
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.88’de gösterilmiştir.



Şekil 4.88.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

k)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

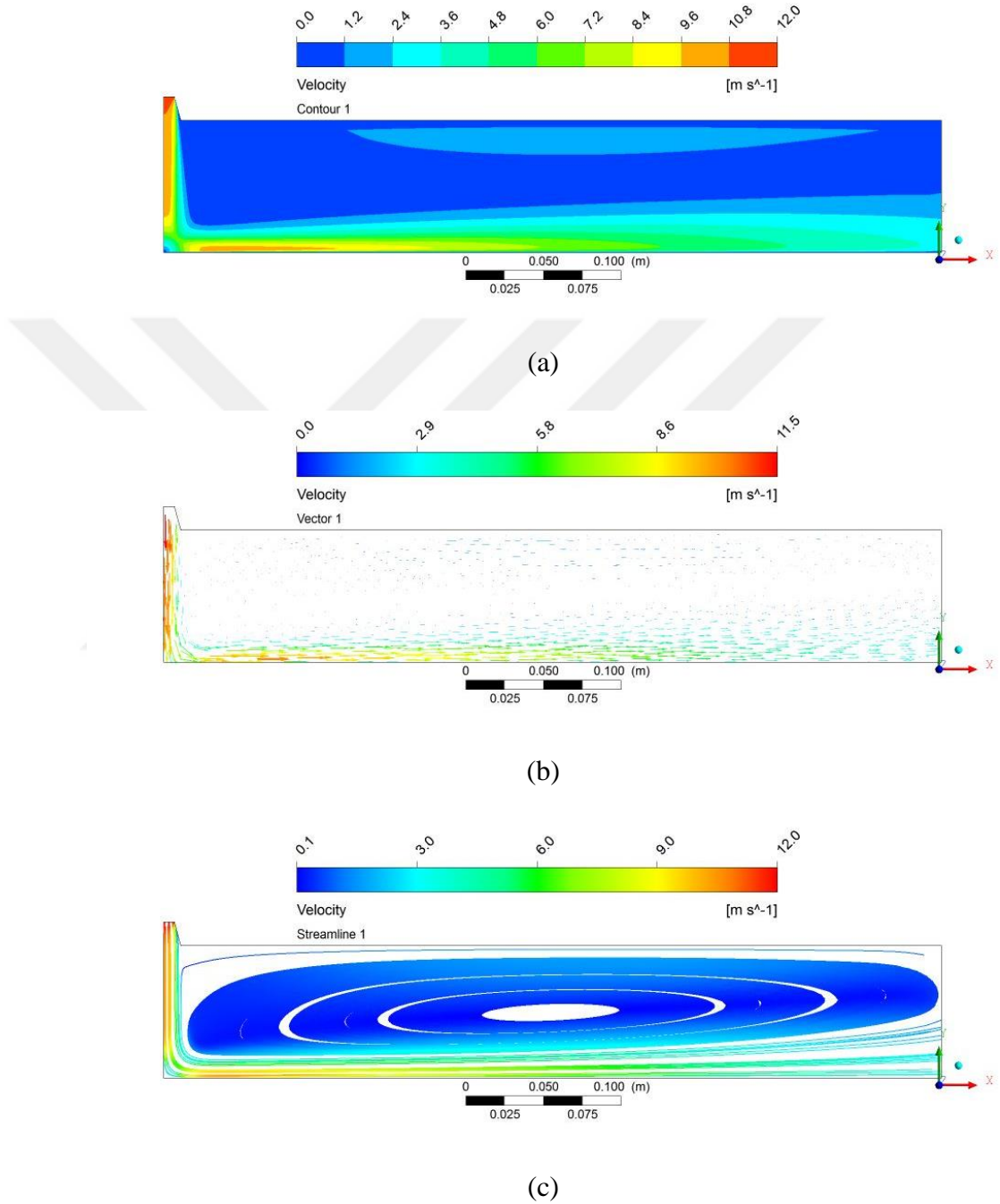
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.89’da gösterilmiştir.



Şekil 4.89.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

l)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

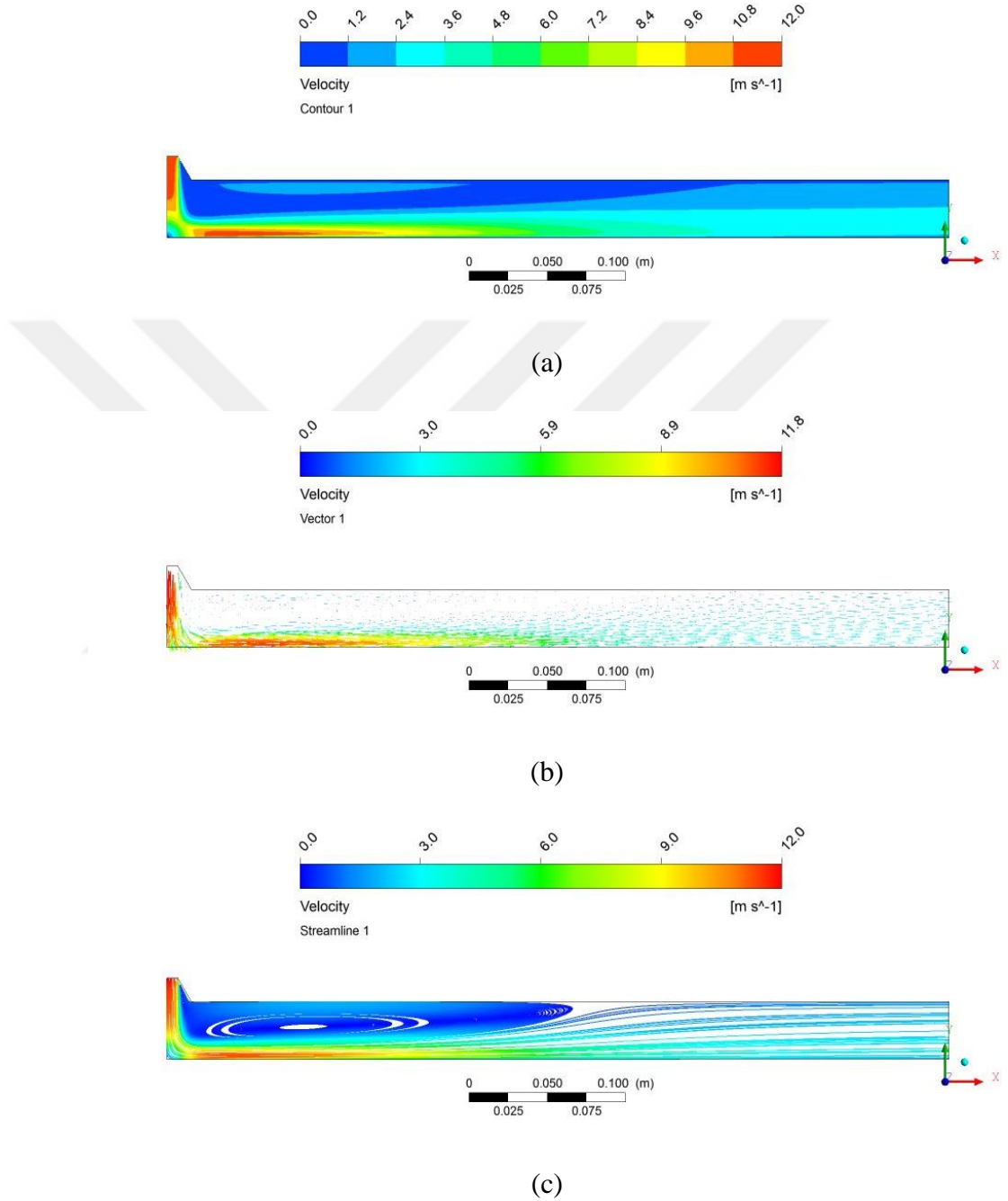
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.90'da gösterilmiştir.



Şekil 4.90.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

m)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.91’de gösterilmiştir.

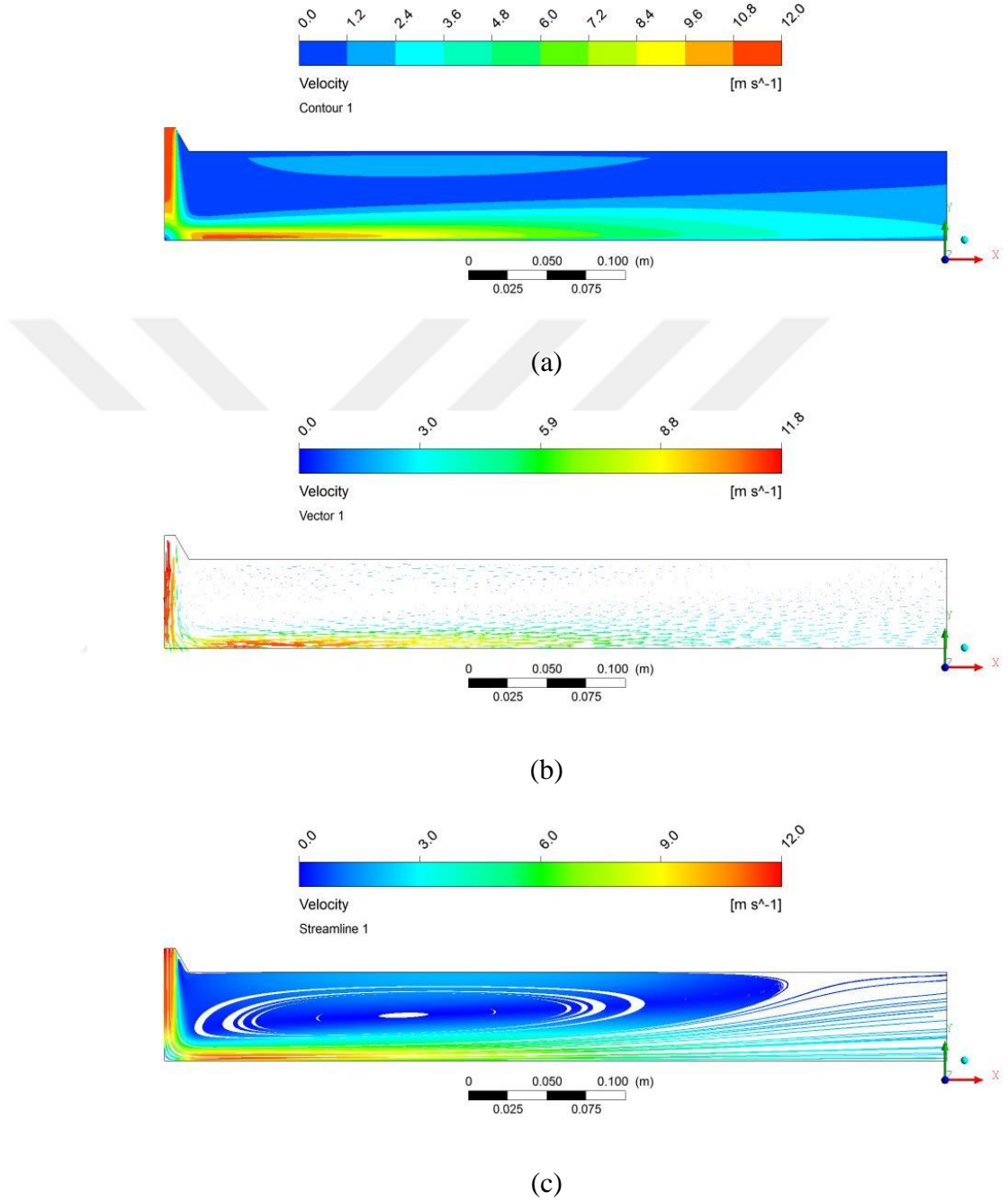


Şekil 4.91.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



n)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

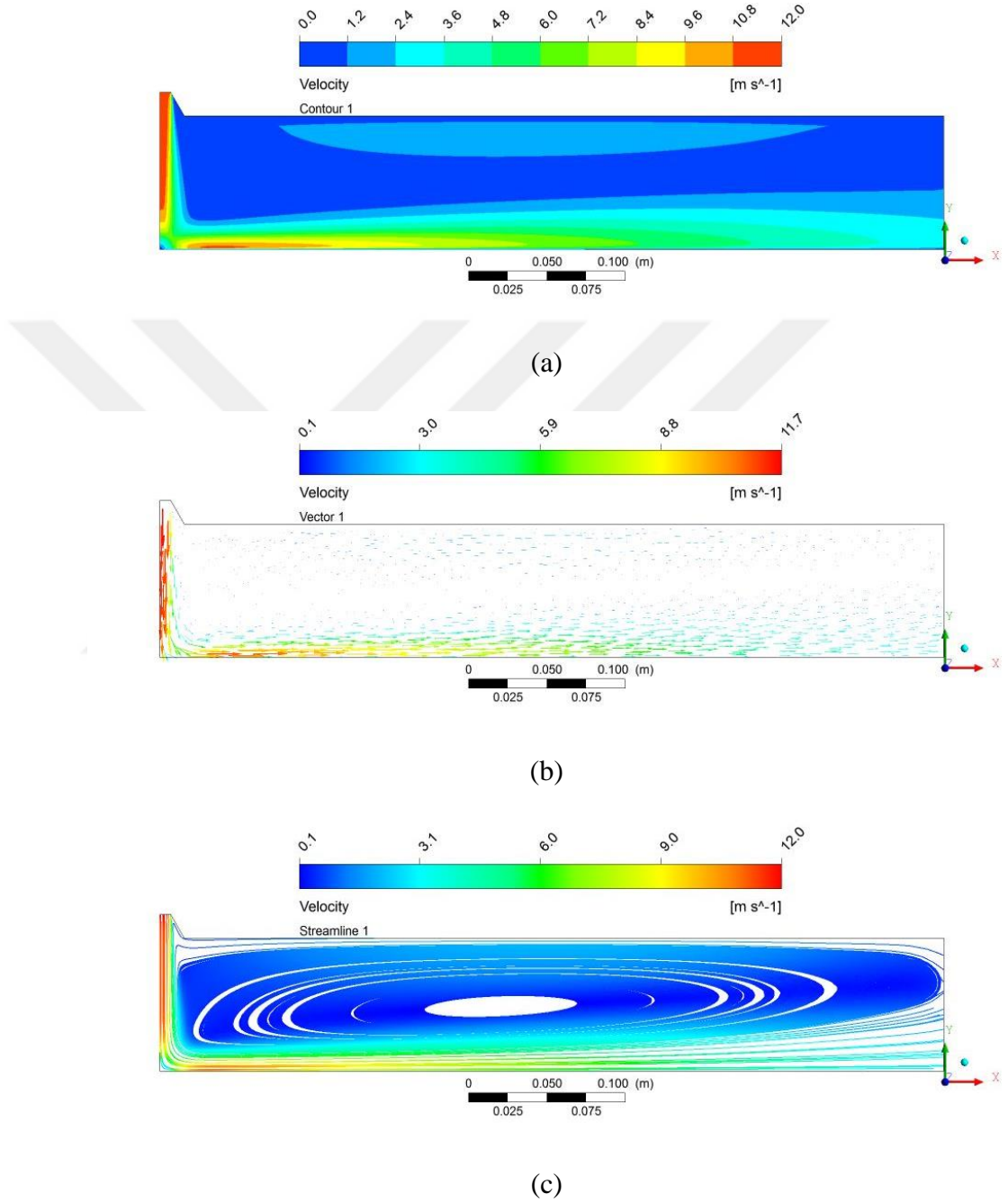
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.92’de gösterilmiştir.



Şekil 4.92.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

o)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

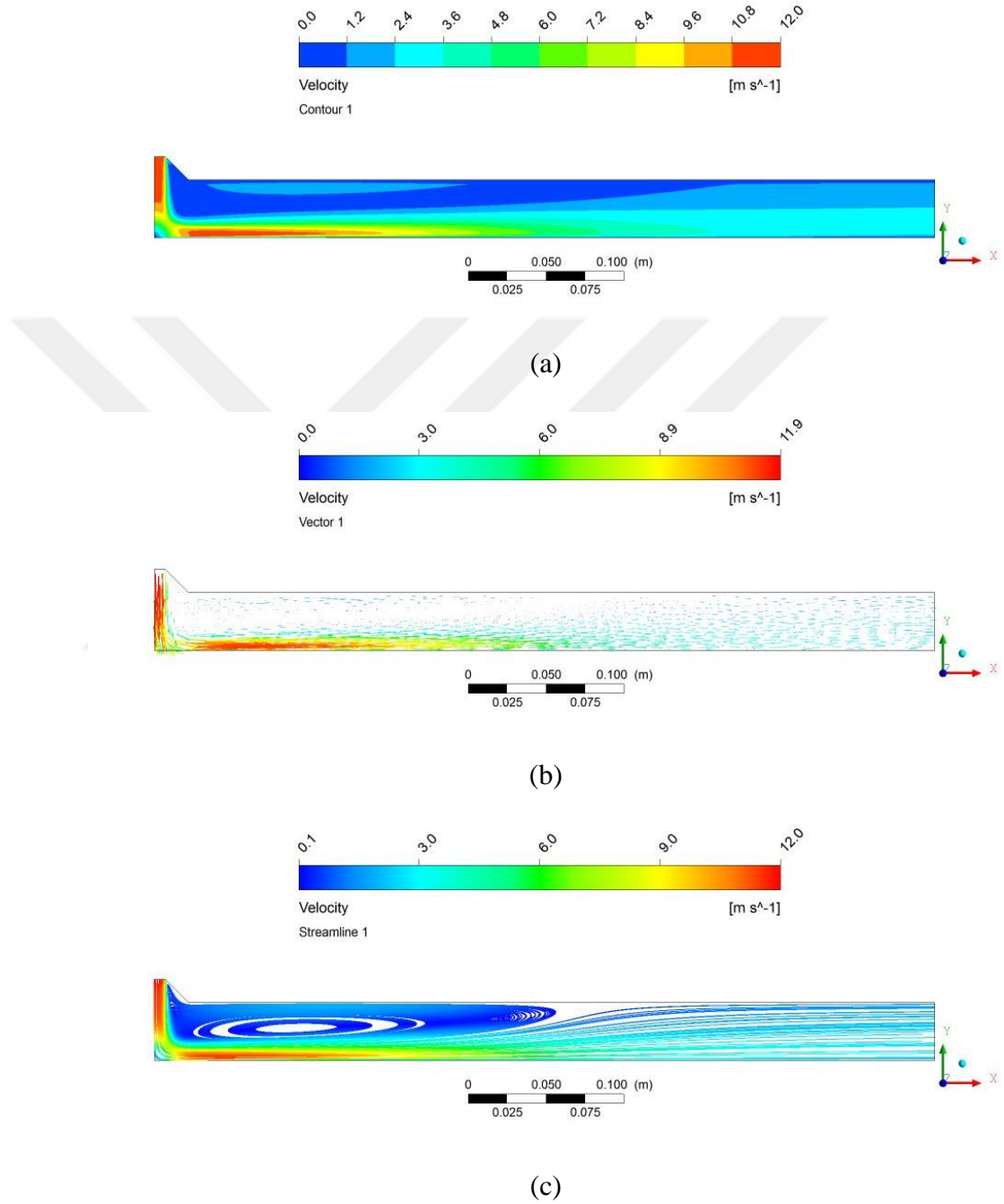
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.93'de gösterilmiştir.



Şekil 4.93.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

p)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

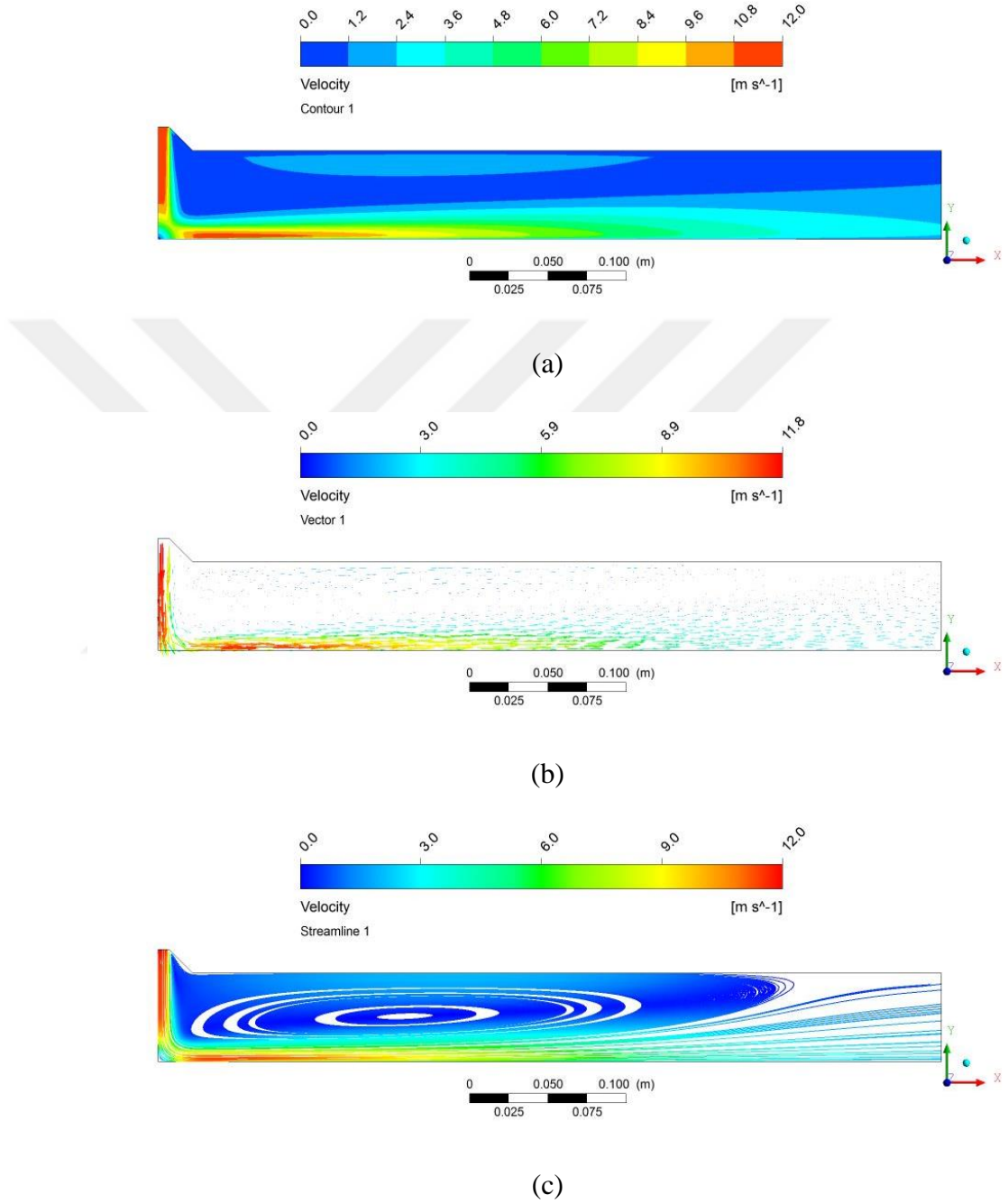
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.94'de gösterilmiştir.



Şekil 4.94.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

r)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

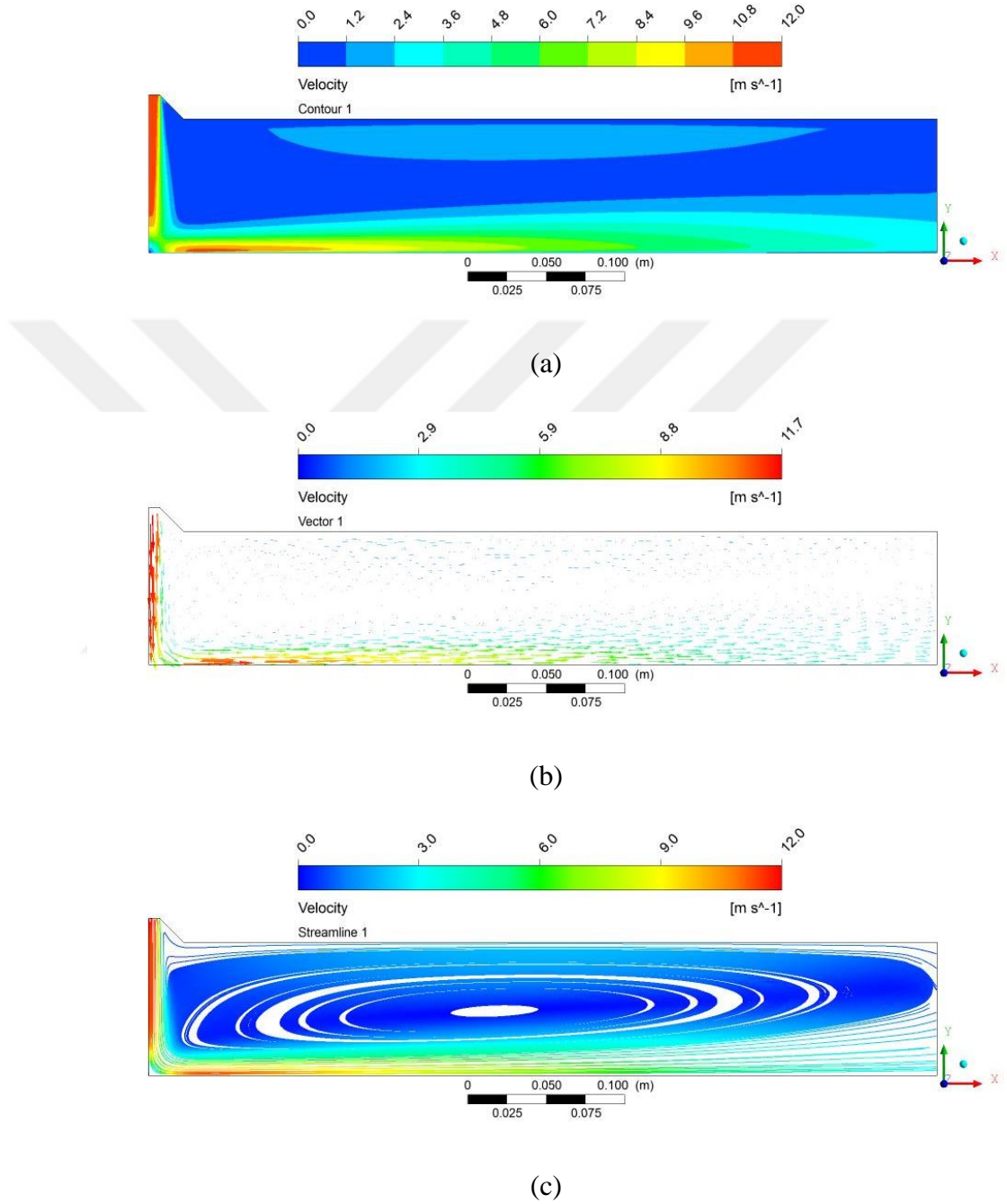
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.95’de gösterilmiştir.



Şekil 4.95.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

s)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

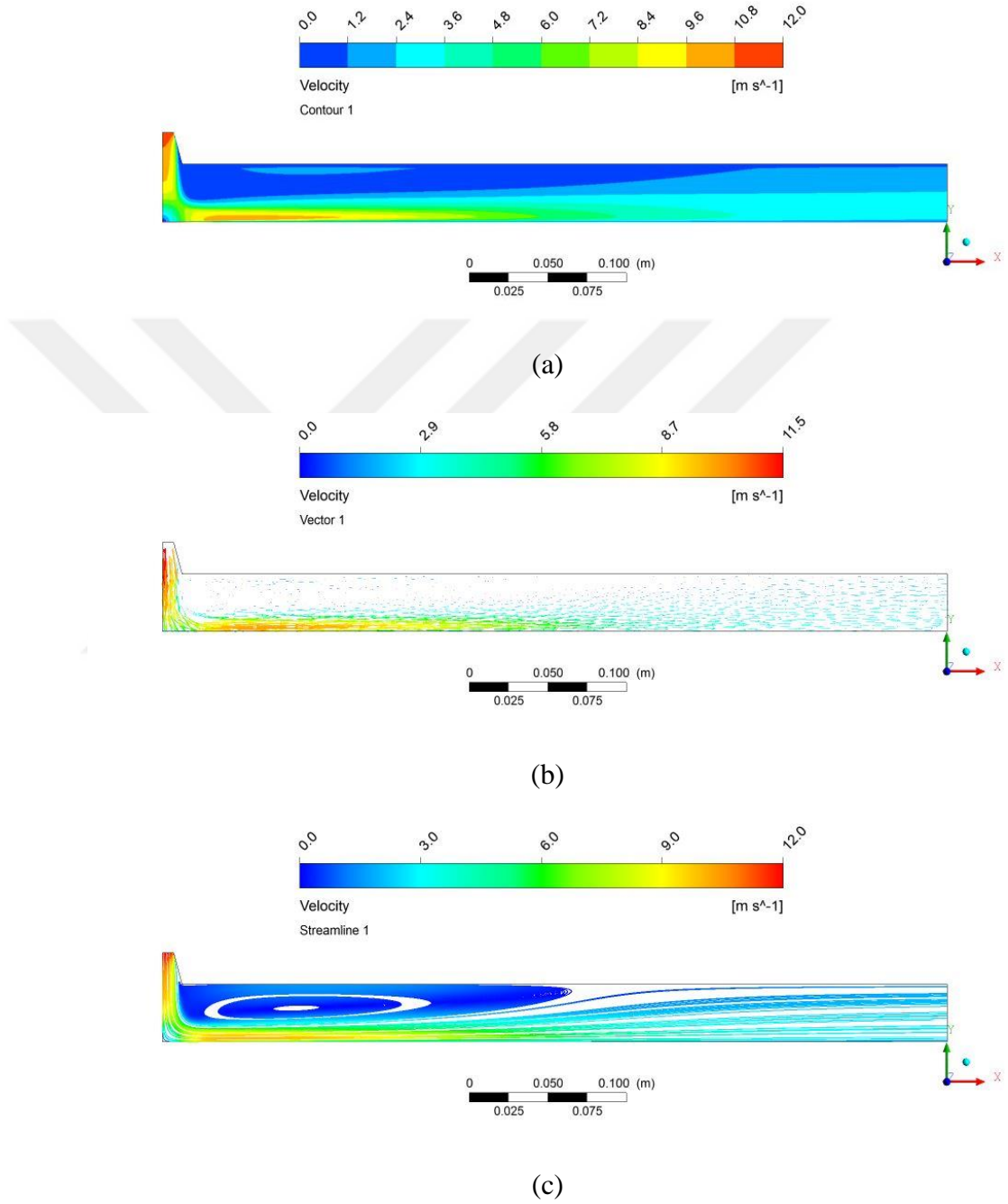
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.96'da gösterilmiştir.



Şekil 4.96.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

t)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

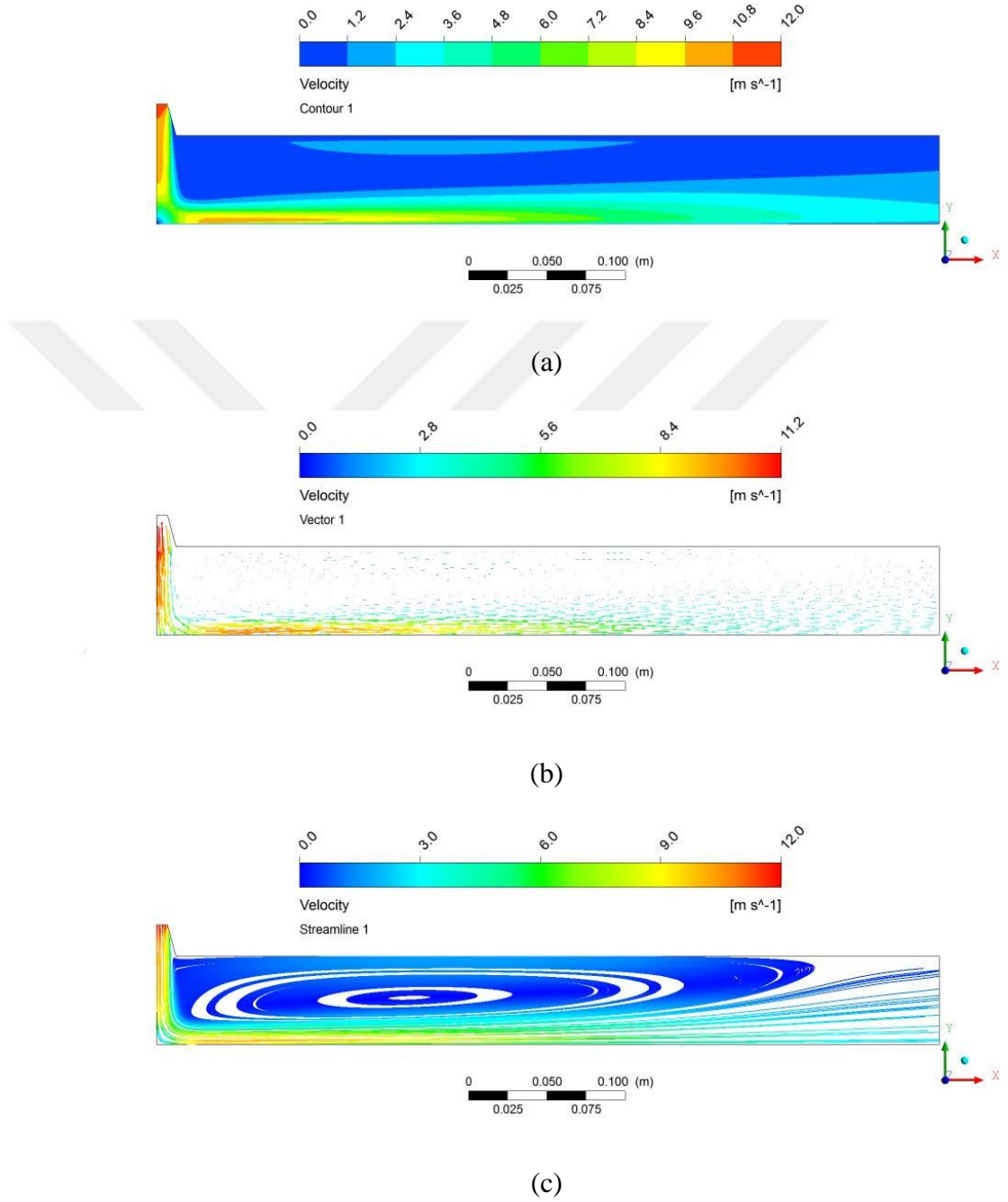
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.97’de gösterilmiştir.



Şekil 4.97.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

u)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

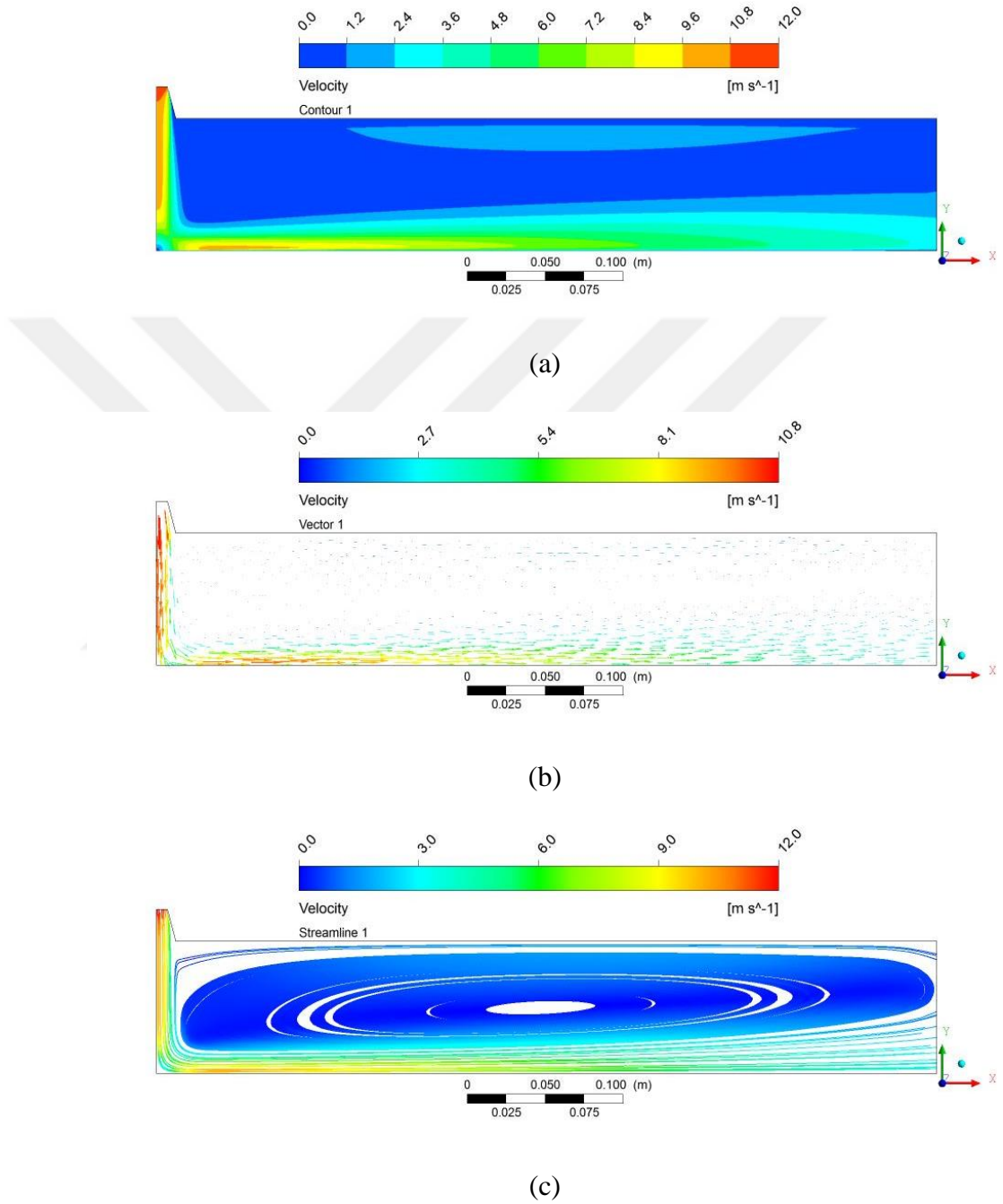
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.98'de gösterilmiştir.



Şekil 4.98.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

v)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.99'da gösterilmiştir.

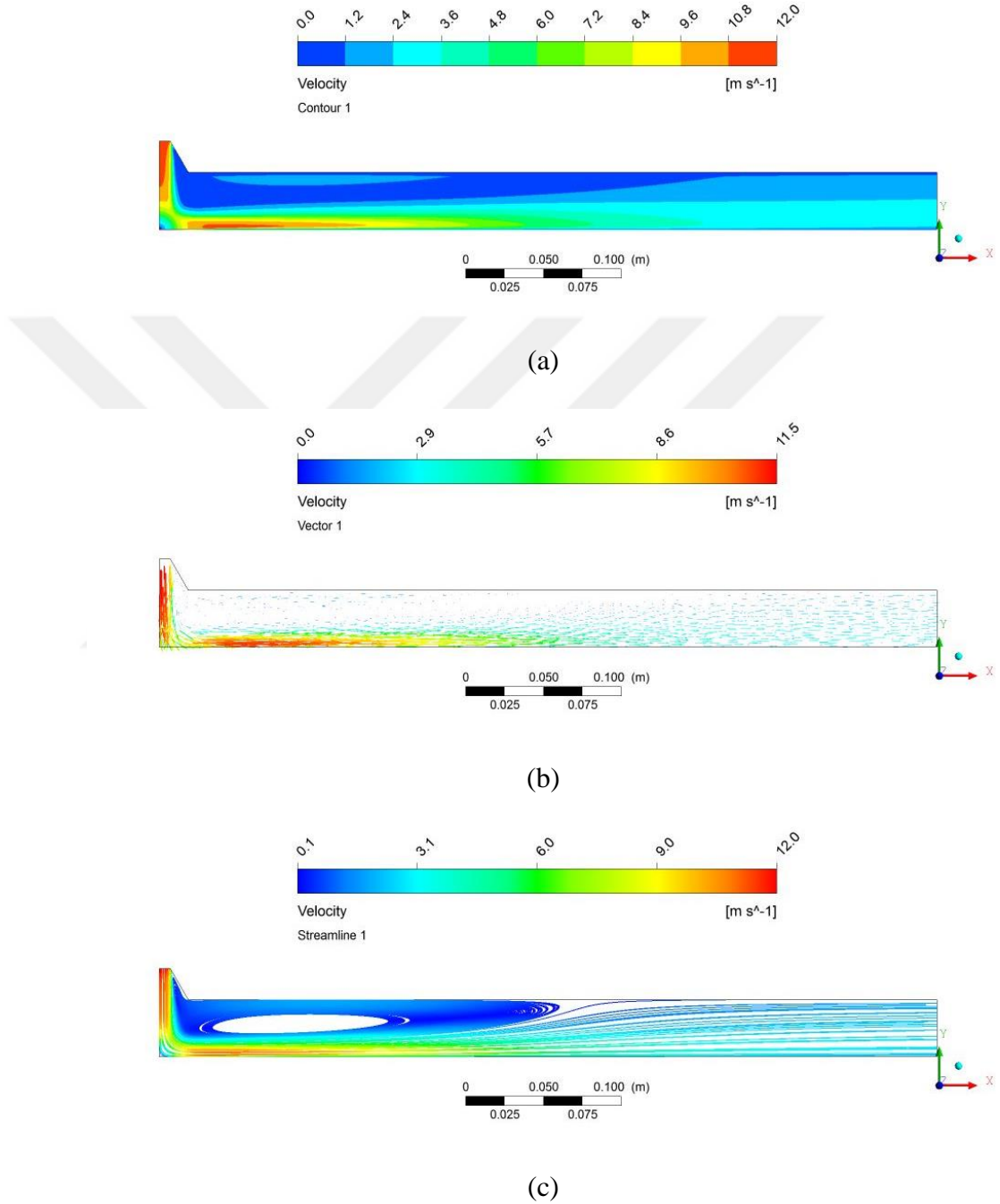


Şekil 4.99.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



y)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

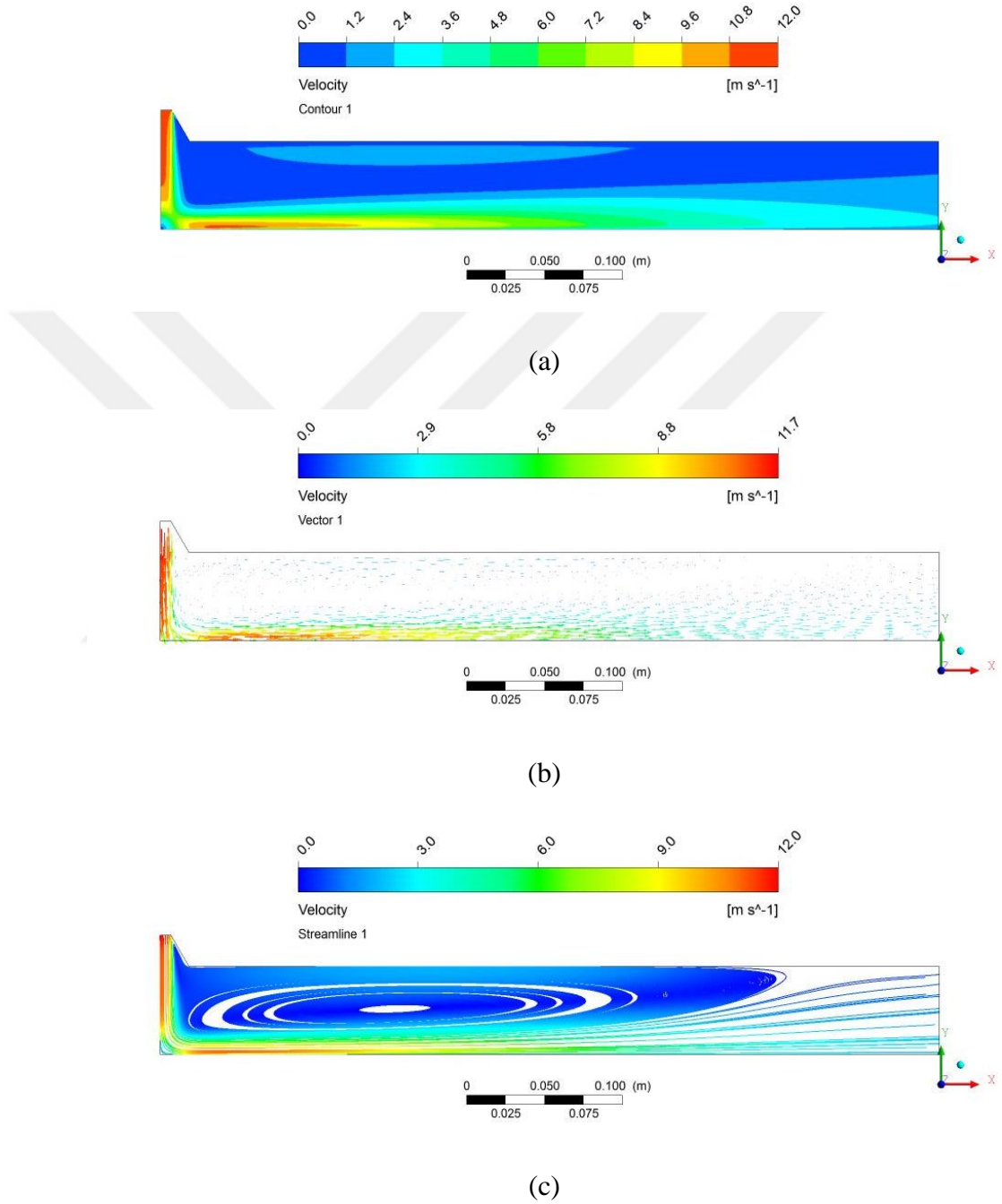
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.100'de gösterilmiştir.



Şekil 4.100.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

z)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

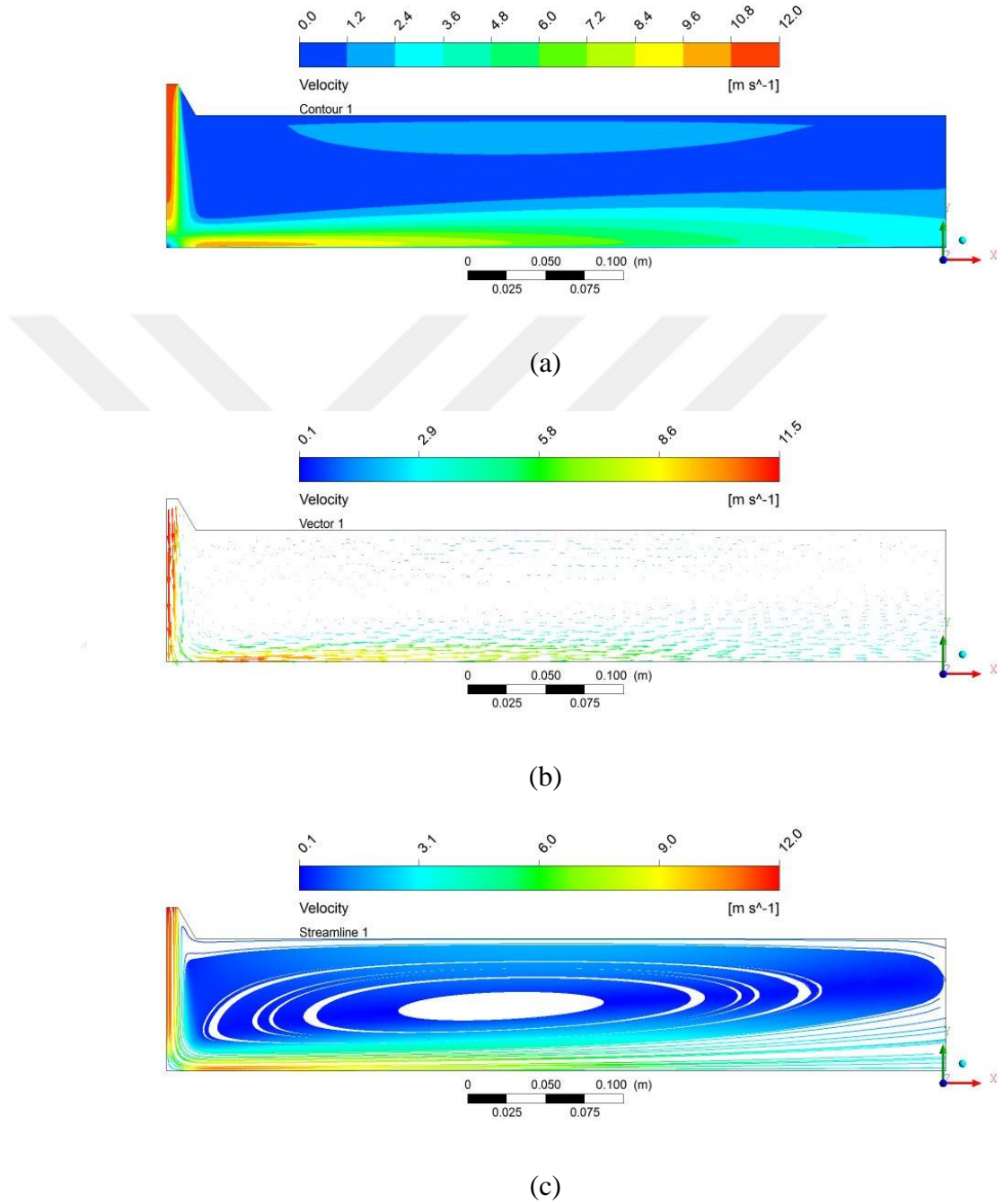
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.101'de gösterilmiştir.



Şekil 4.101.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

aa)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

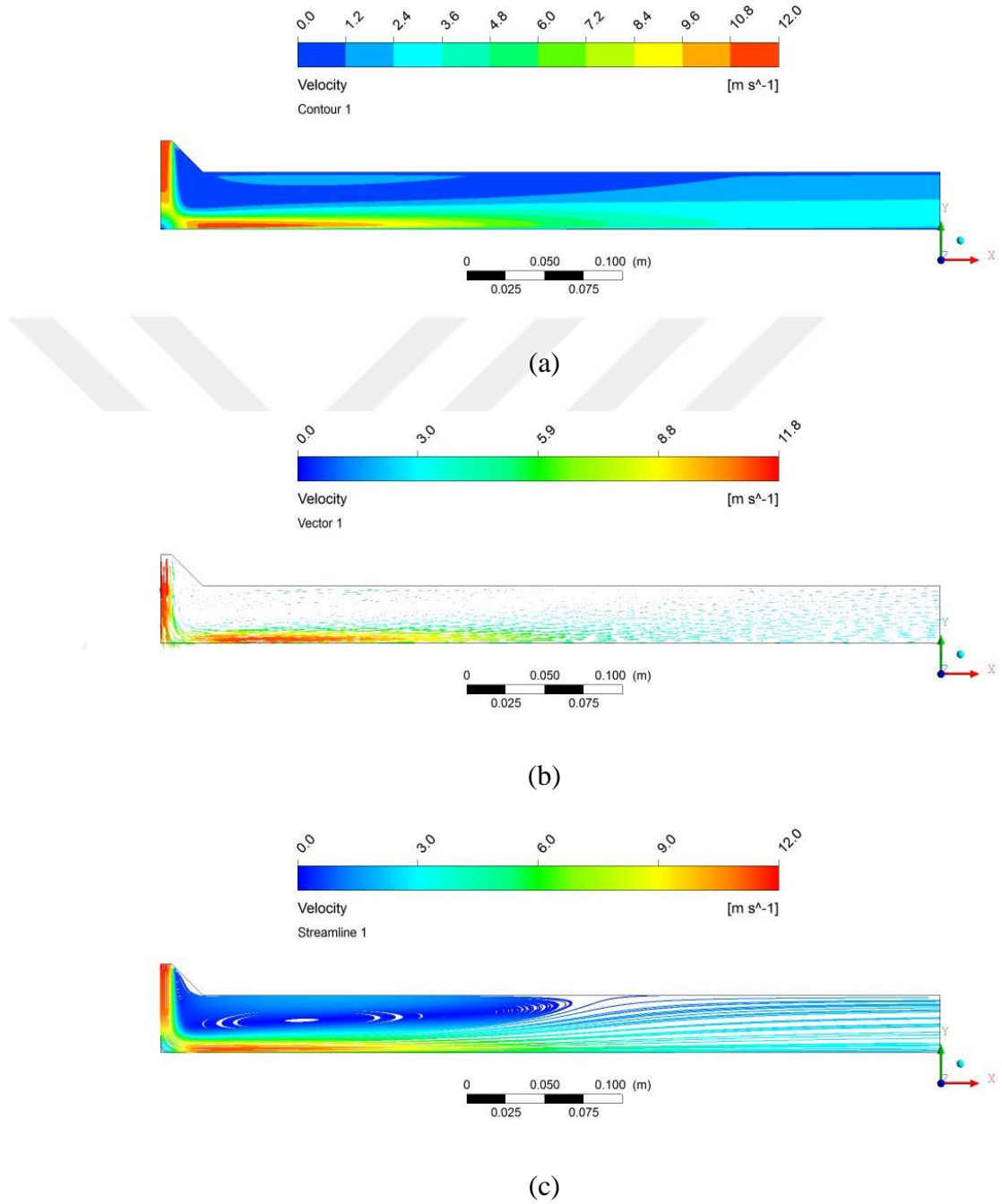
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.102'de gösterilmiştir.



Şekil 4.102.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

ab)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

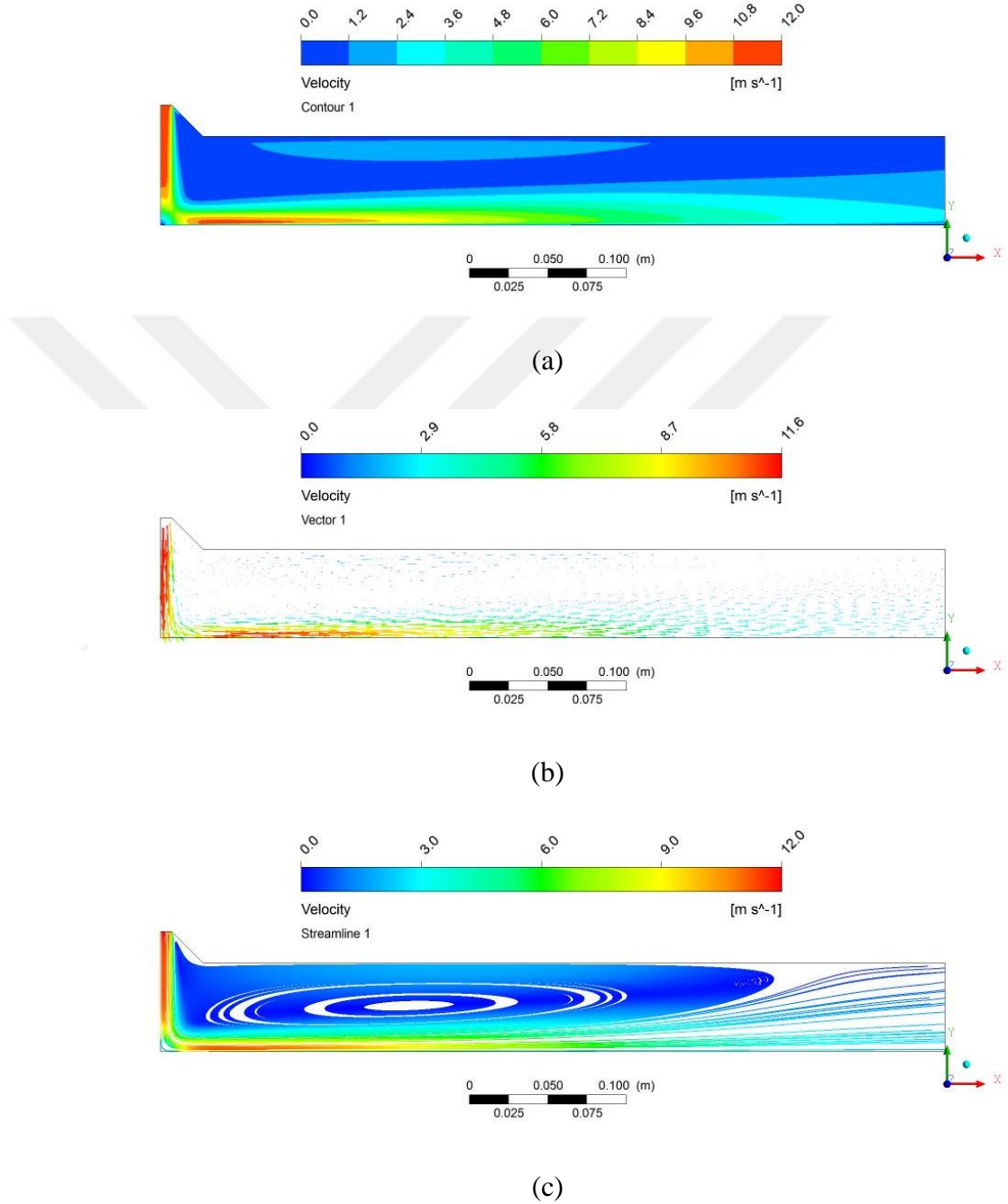
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.103'de gösterilmiştir.



Şekil 4.103.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

ac)  $t=20$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

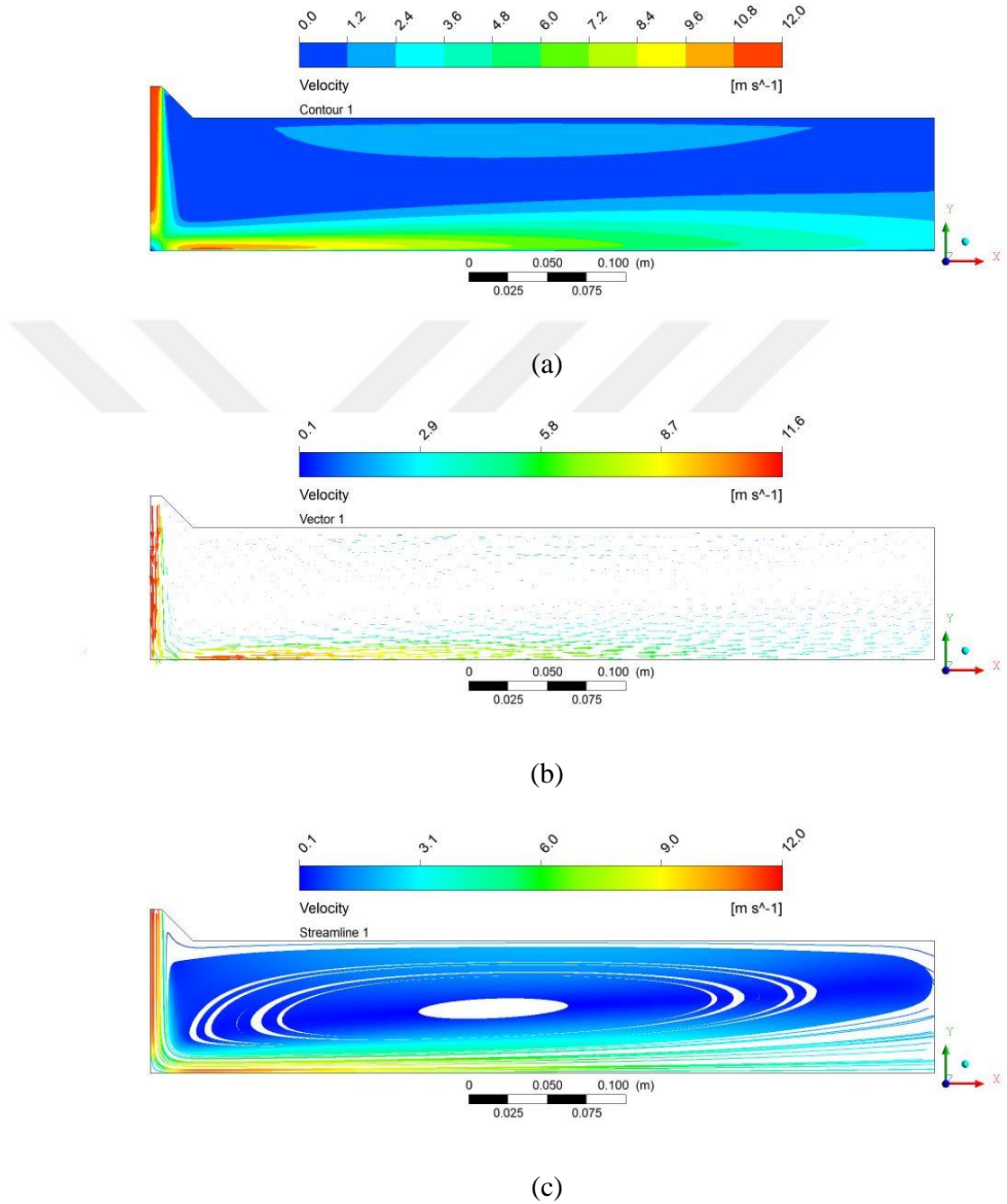
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.104'de gösterilmiştir.



Şekil 4.104.  $t=20$  mm,  $\alpha=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

ad)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.105’de gösterilmiştir.

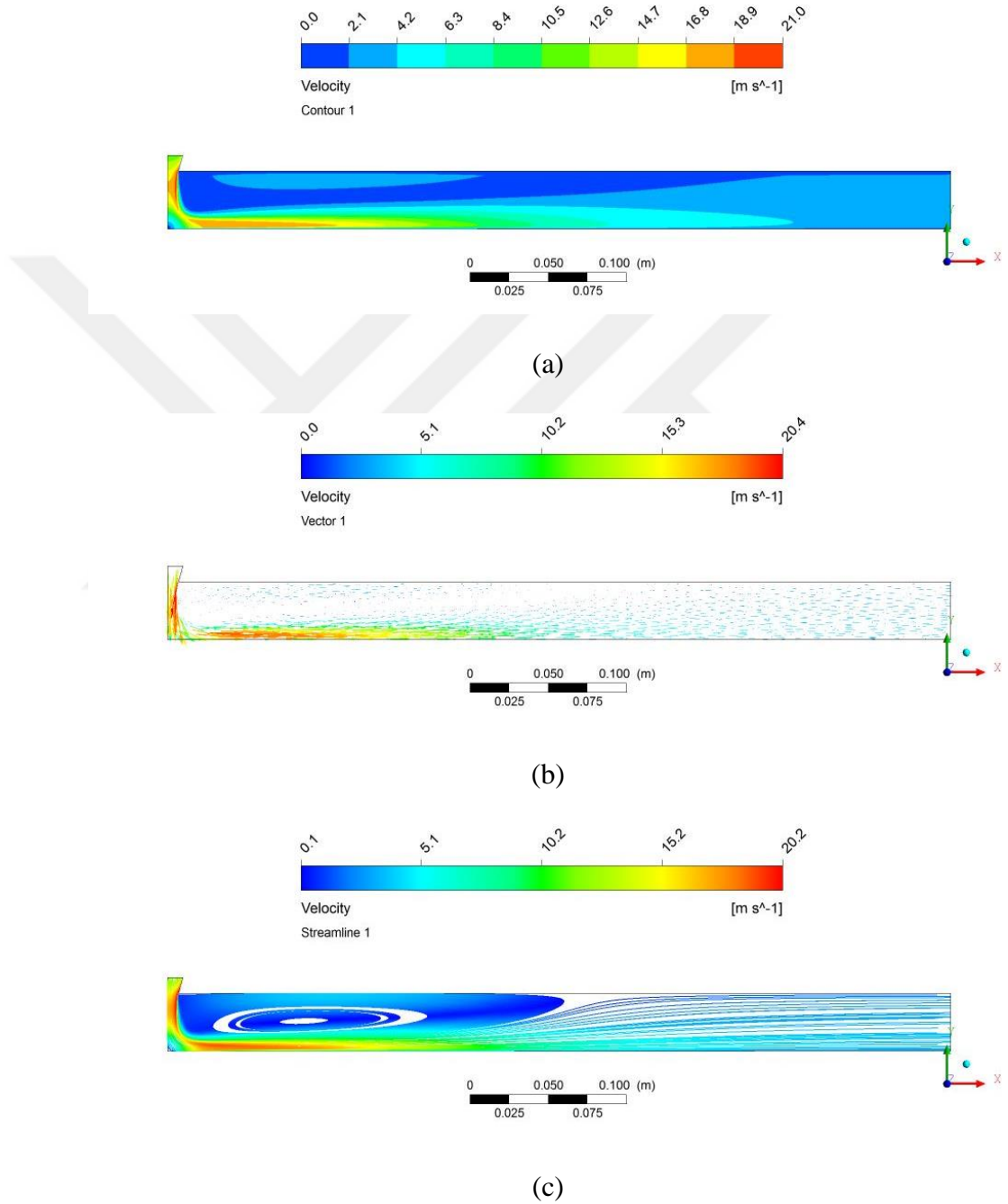


Şekil 4.105.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

#### 5.2.4. Model 4 hız sonuçları

##### a) $t=10$ mm, $a=15^\circ$ ve $H/D=2,6$ için hız konturları

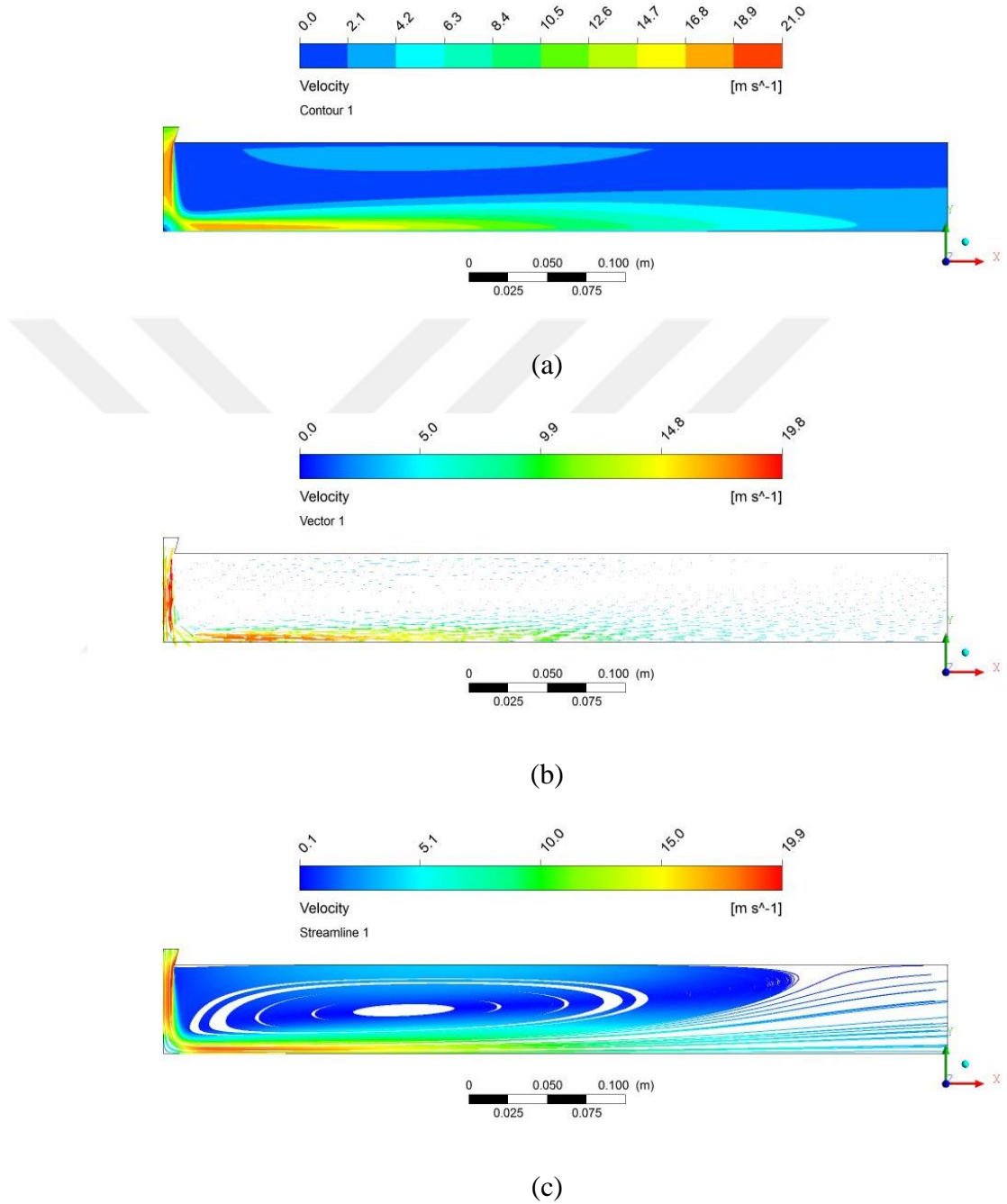
İlgili parametreye ait hız dağılımını, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.106'da gösterilmiştir.



Şekil 4.106.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

b)  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.107’de gösterilmiştir.

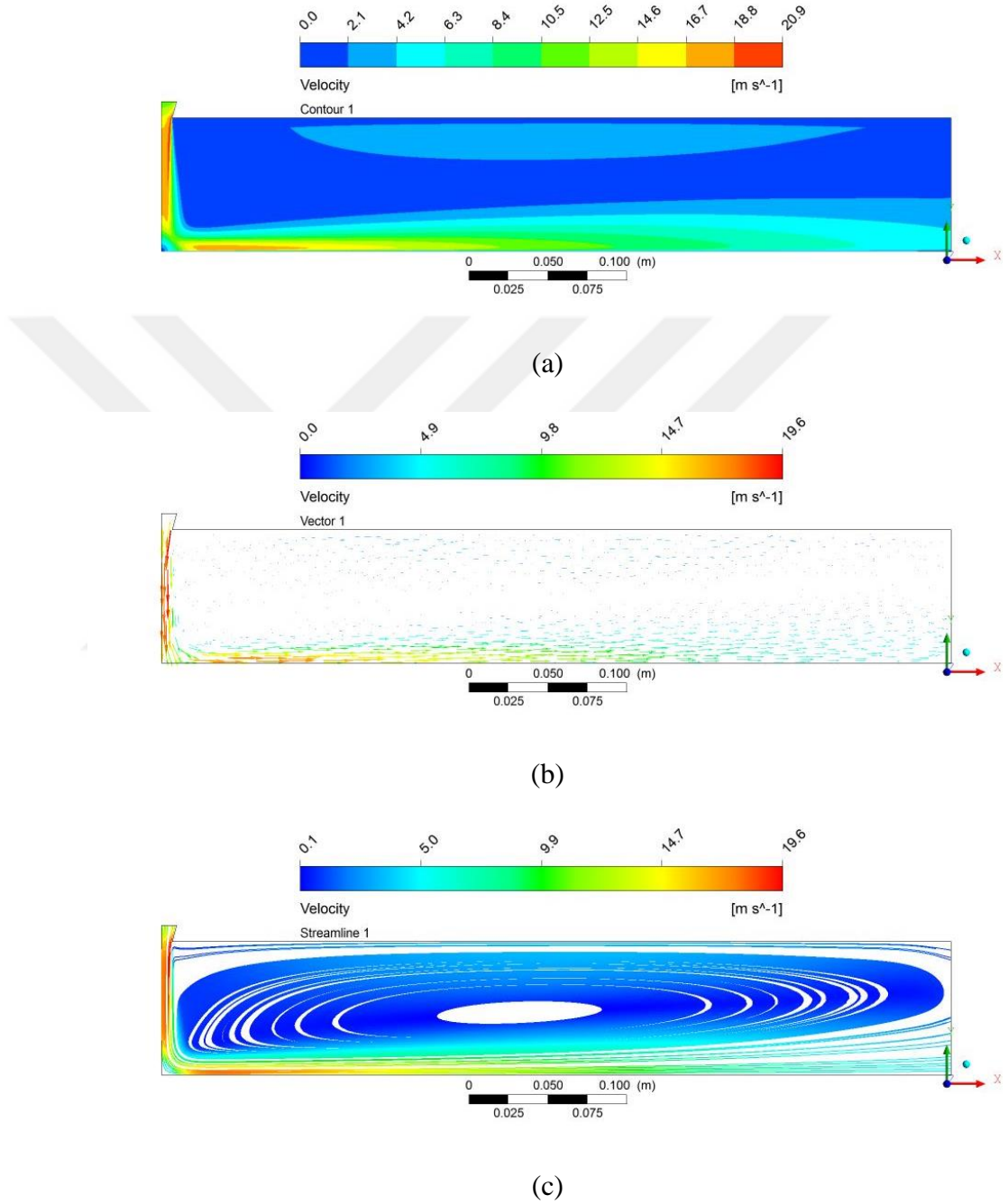


Şekil 4.107.  $t=10$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



c)  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

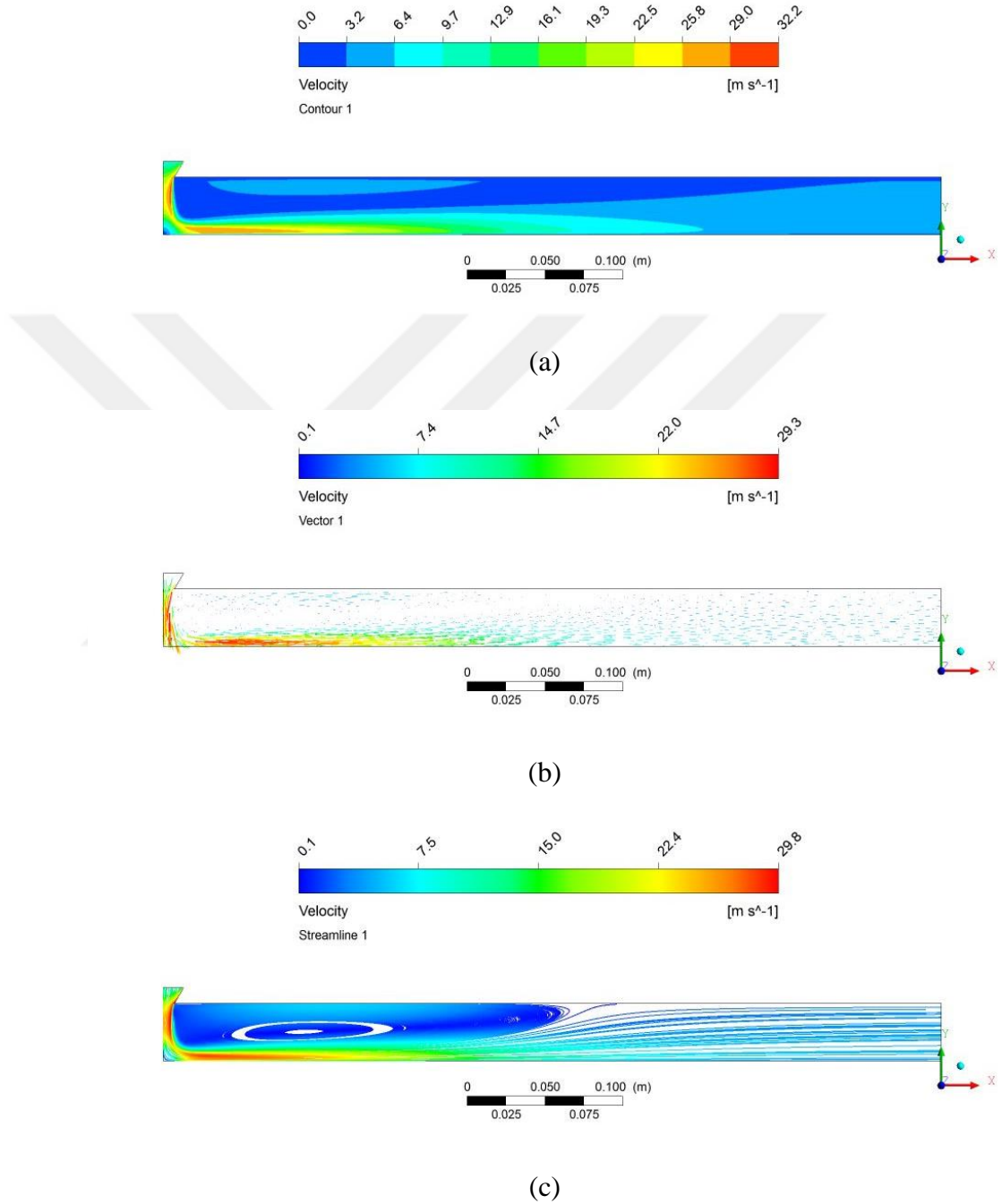
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.108'de gösterilmiştir.



Şekil 4.108.  $t=10$  mm,  $\alpha=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

d)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

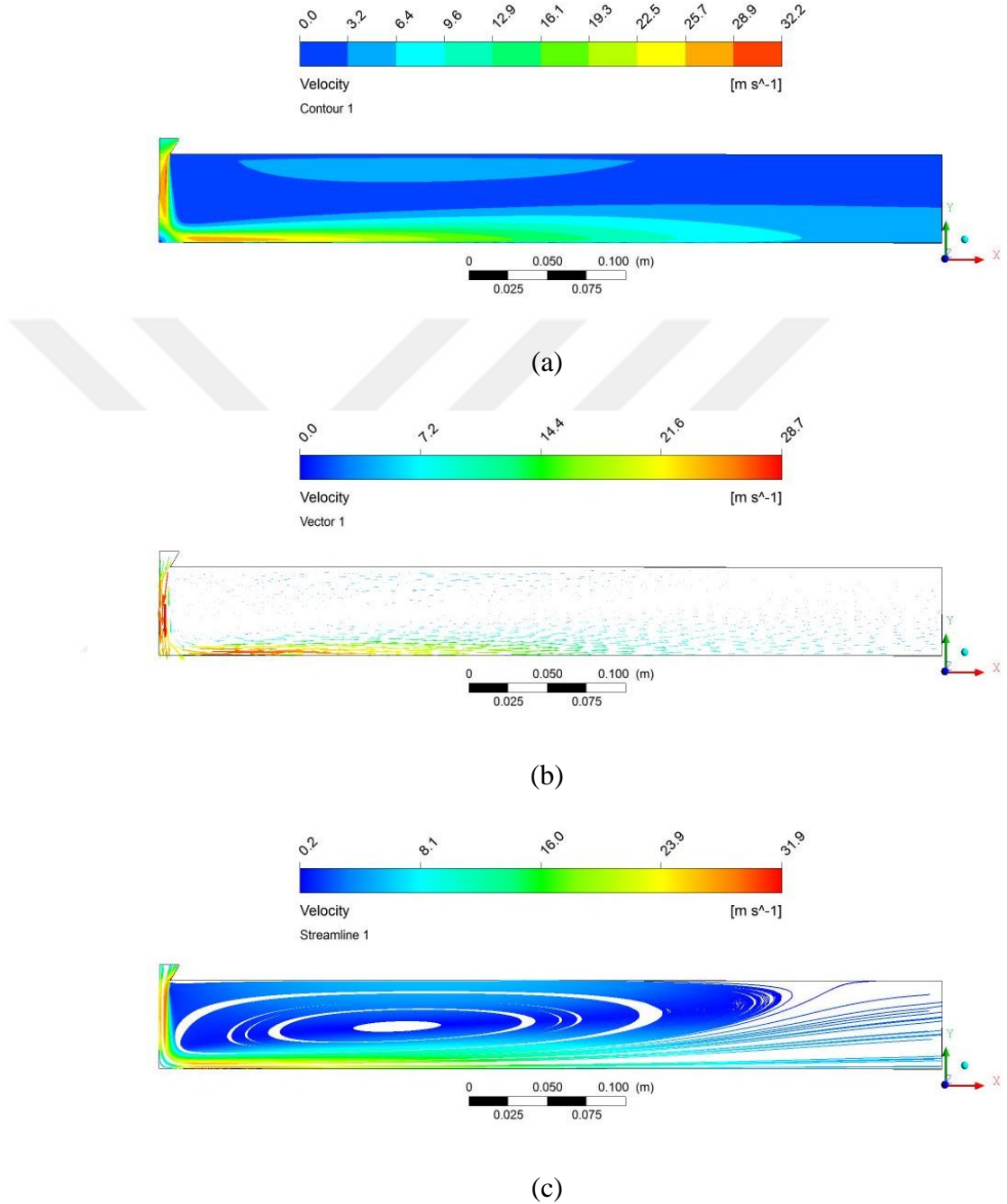
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.109'da gösterilmiştir.



Şekil 4.109.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

e)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

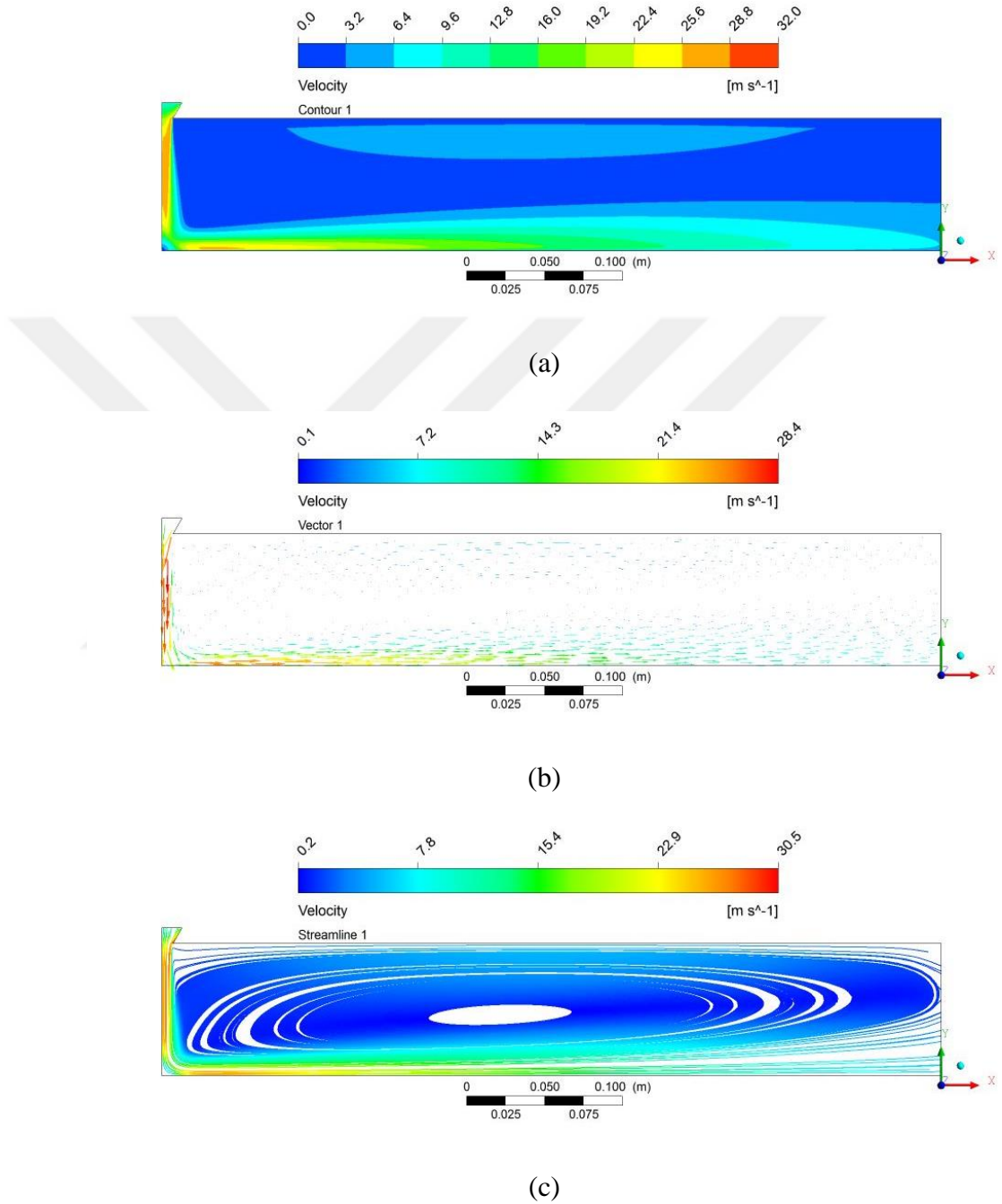
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.110'da gösterilmiştir.



Şekil 4.110.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

f)  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

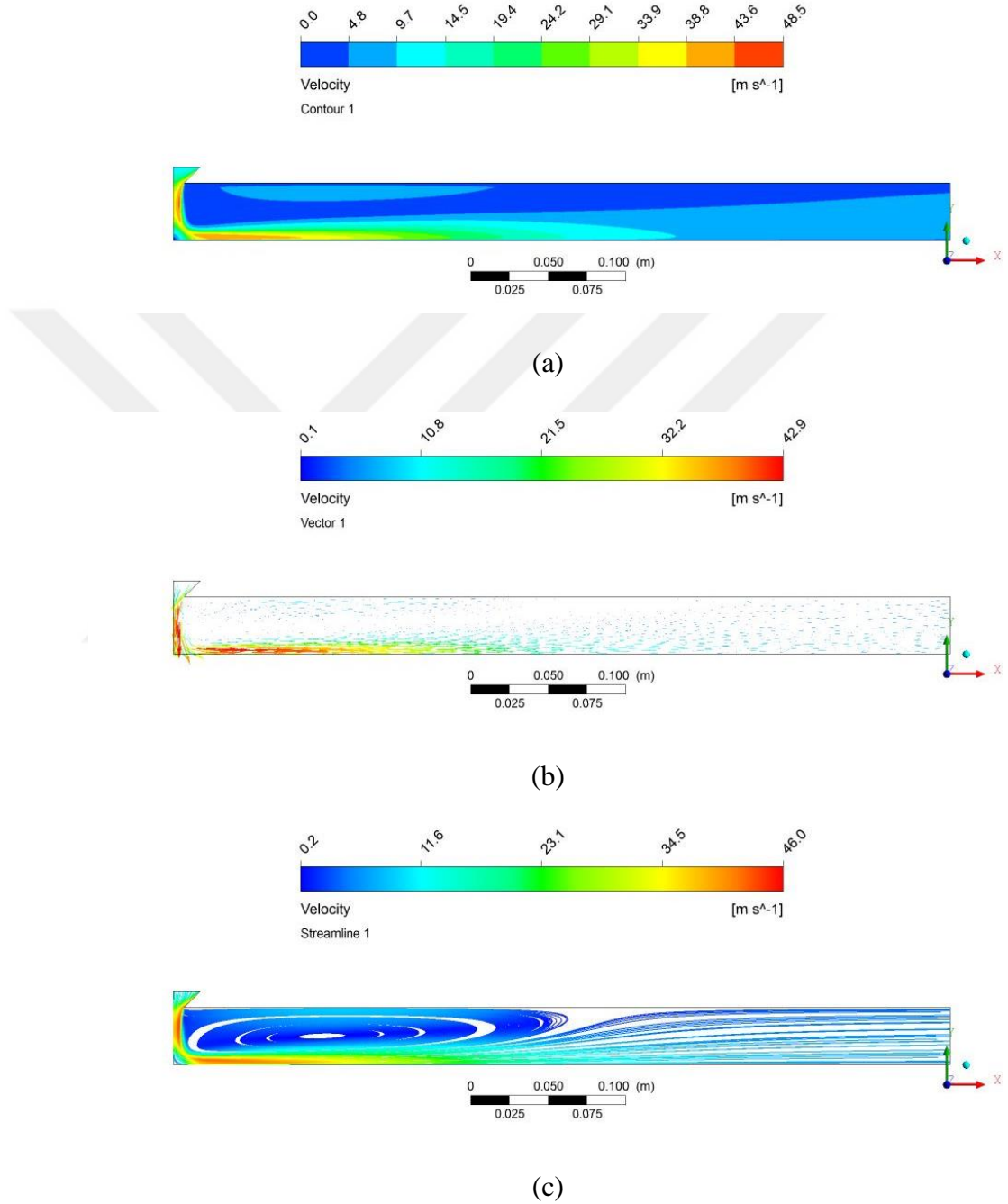
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.111'de gösterilmiştir.



Şekil 4.111.  $t=10$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

g)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

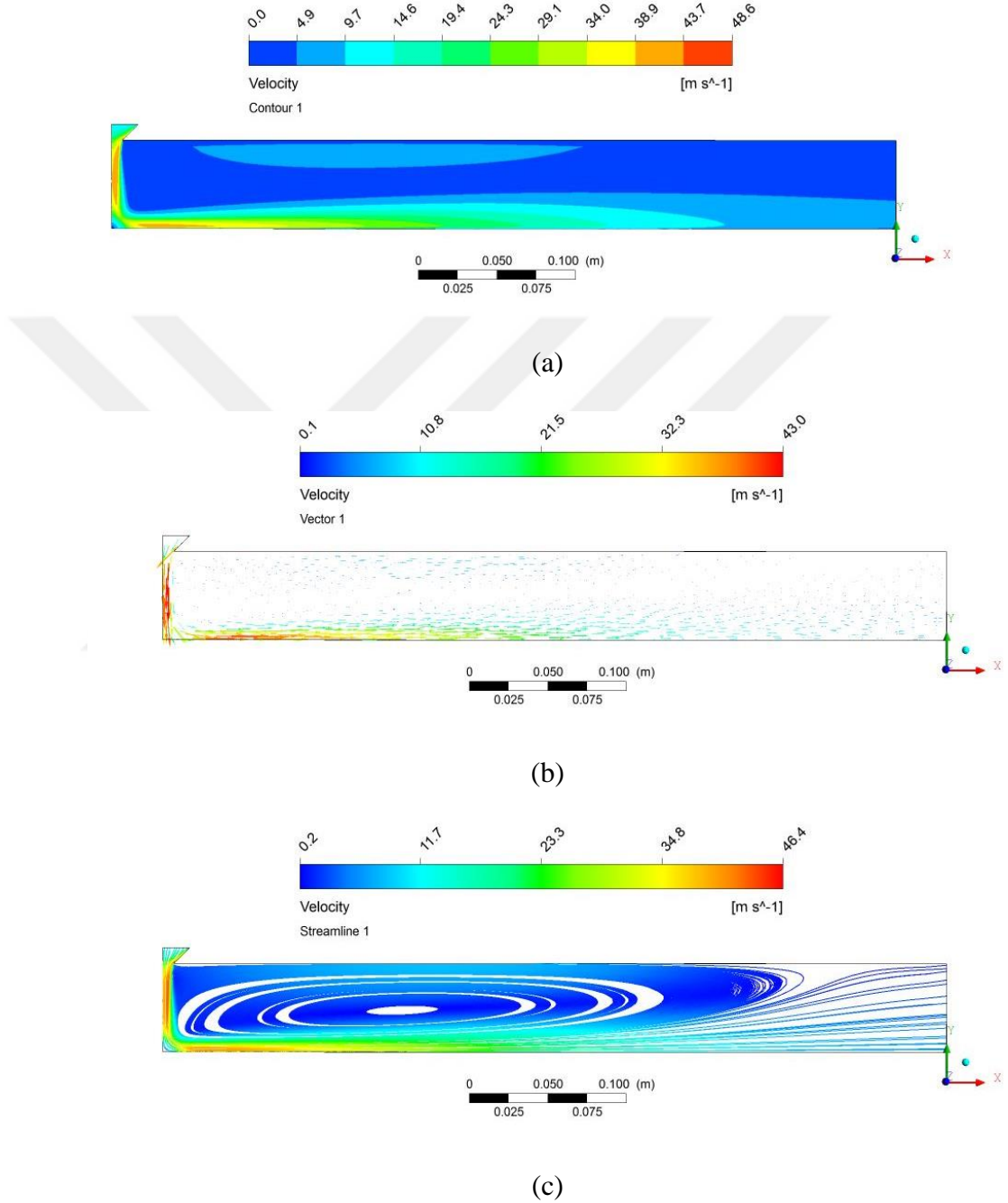
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.112’de gösterilmiştir.



Şekil 4.112.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

h)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

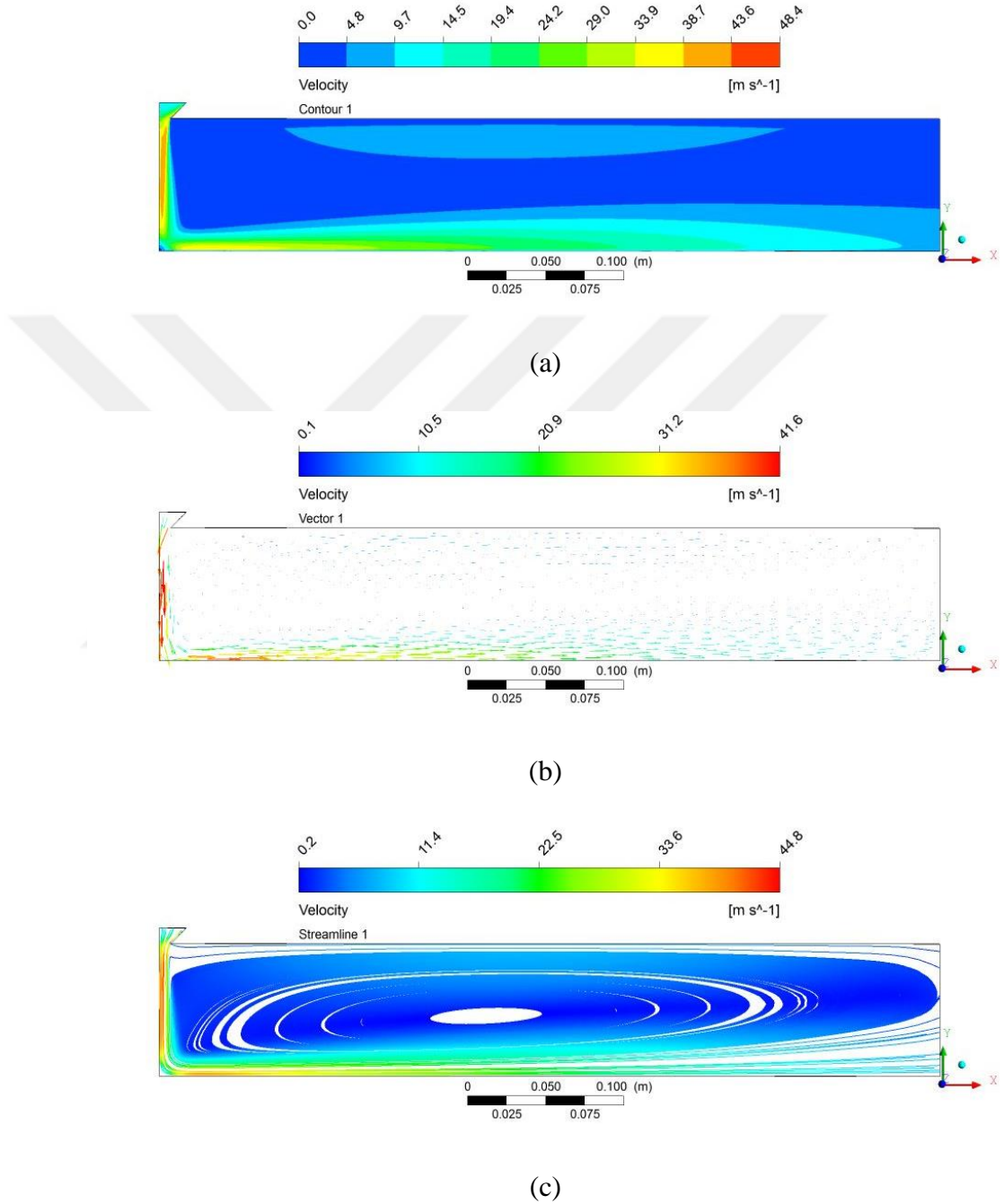
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.113’de gösterilmiştir.



Şekil 4.113.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

i)  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

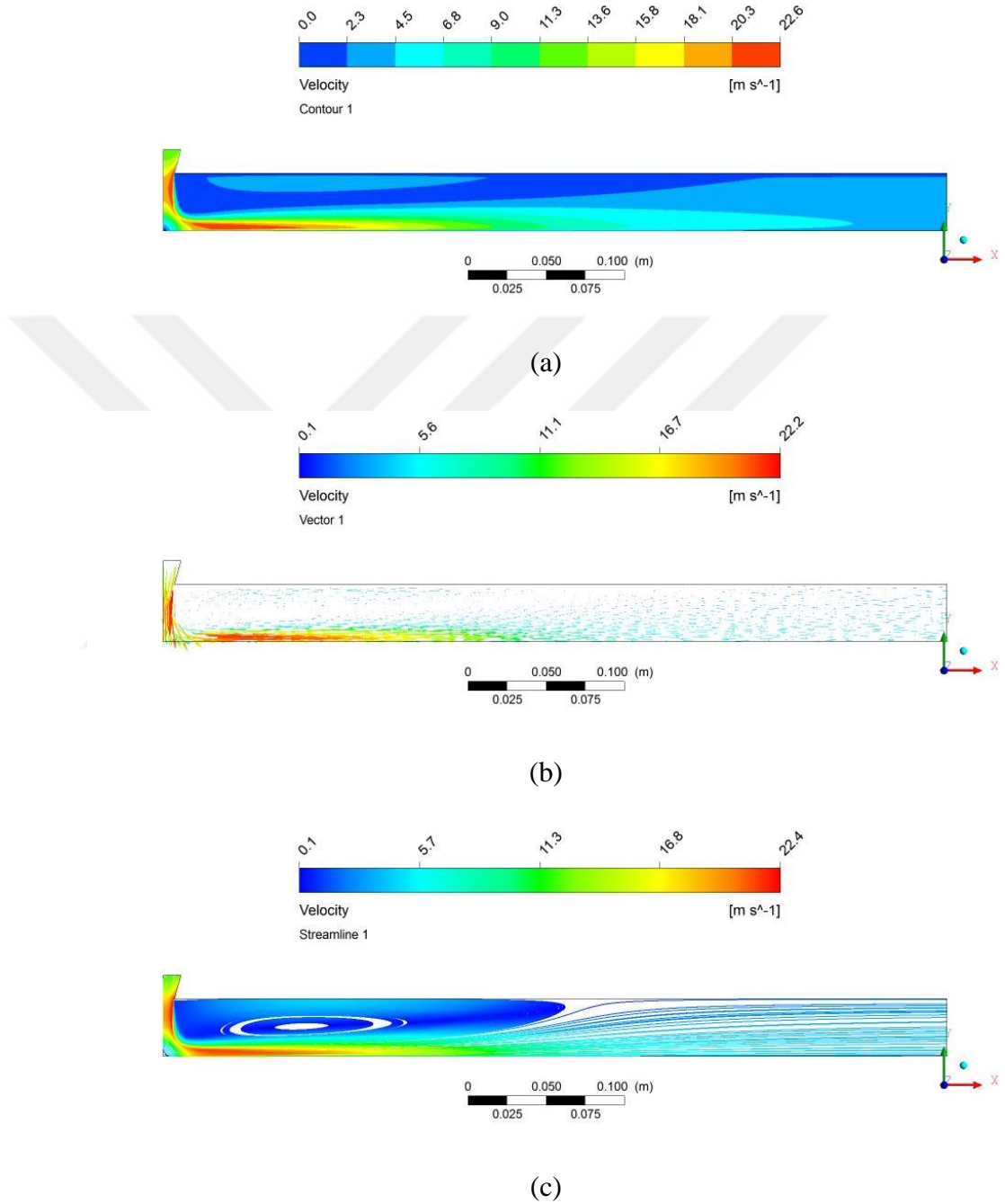
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.114'de gösterilmiştir.



Şekil 4.114.  $t=10$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

j)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.115’de gösterilmiştir.

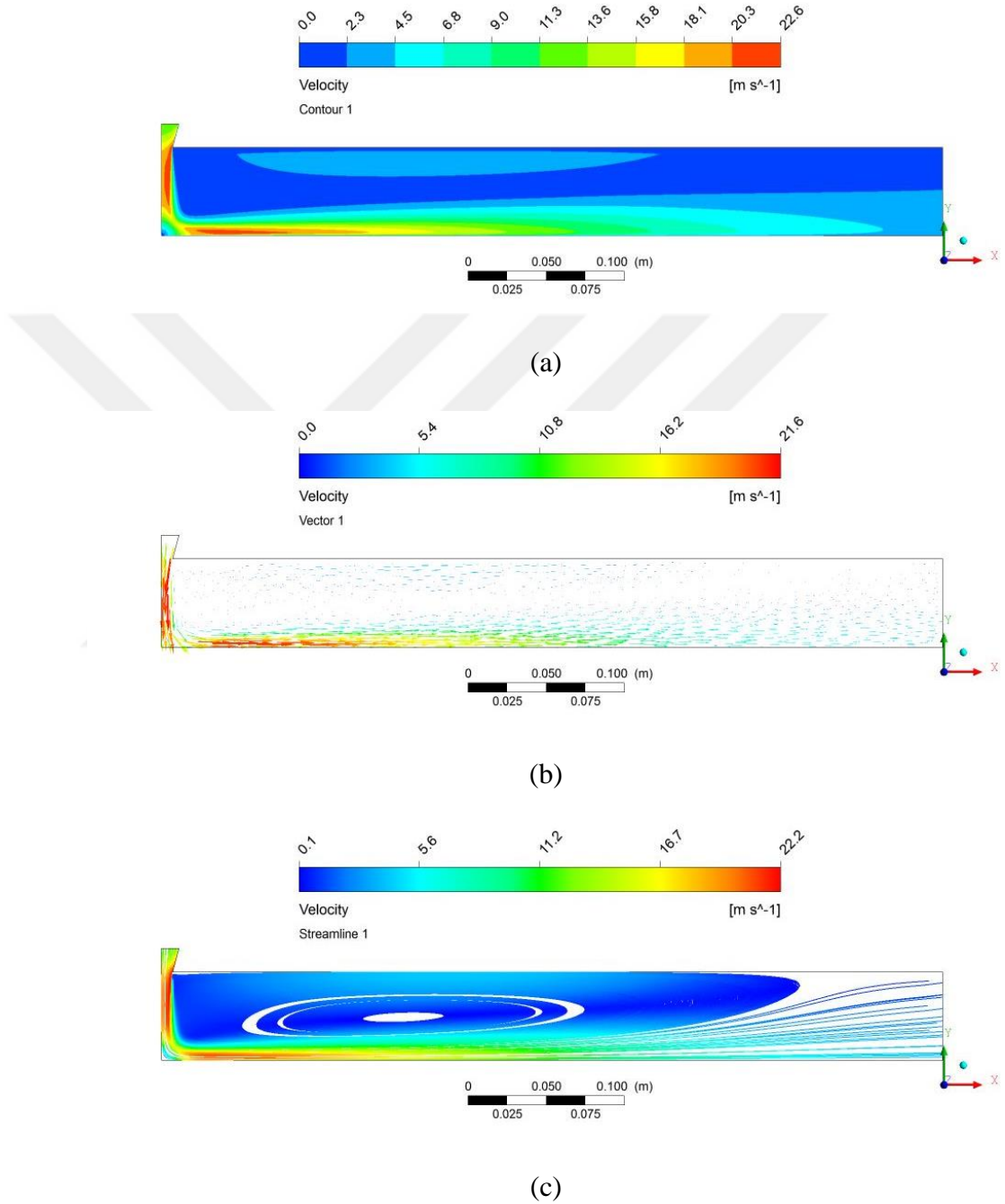


Şekil 4.115.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



k)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

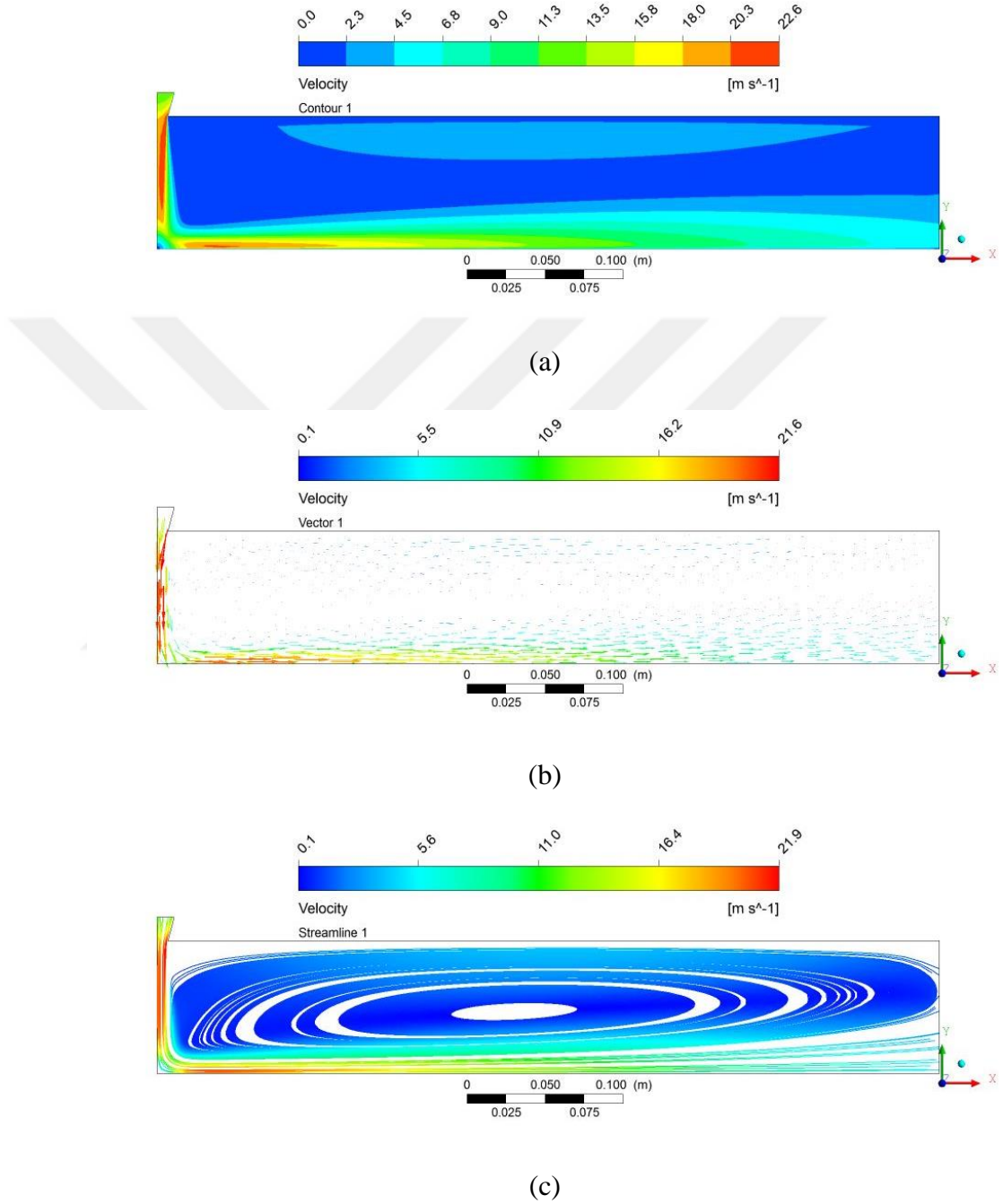
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.116'da gösterilmiştir.



Şekil 4.116.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

l)  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

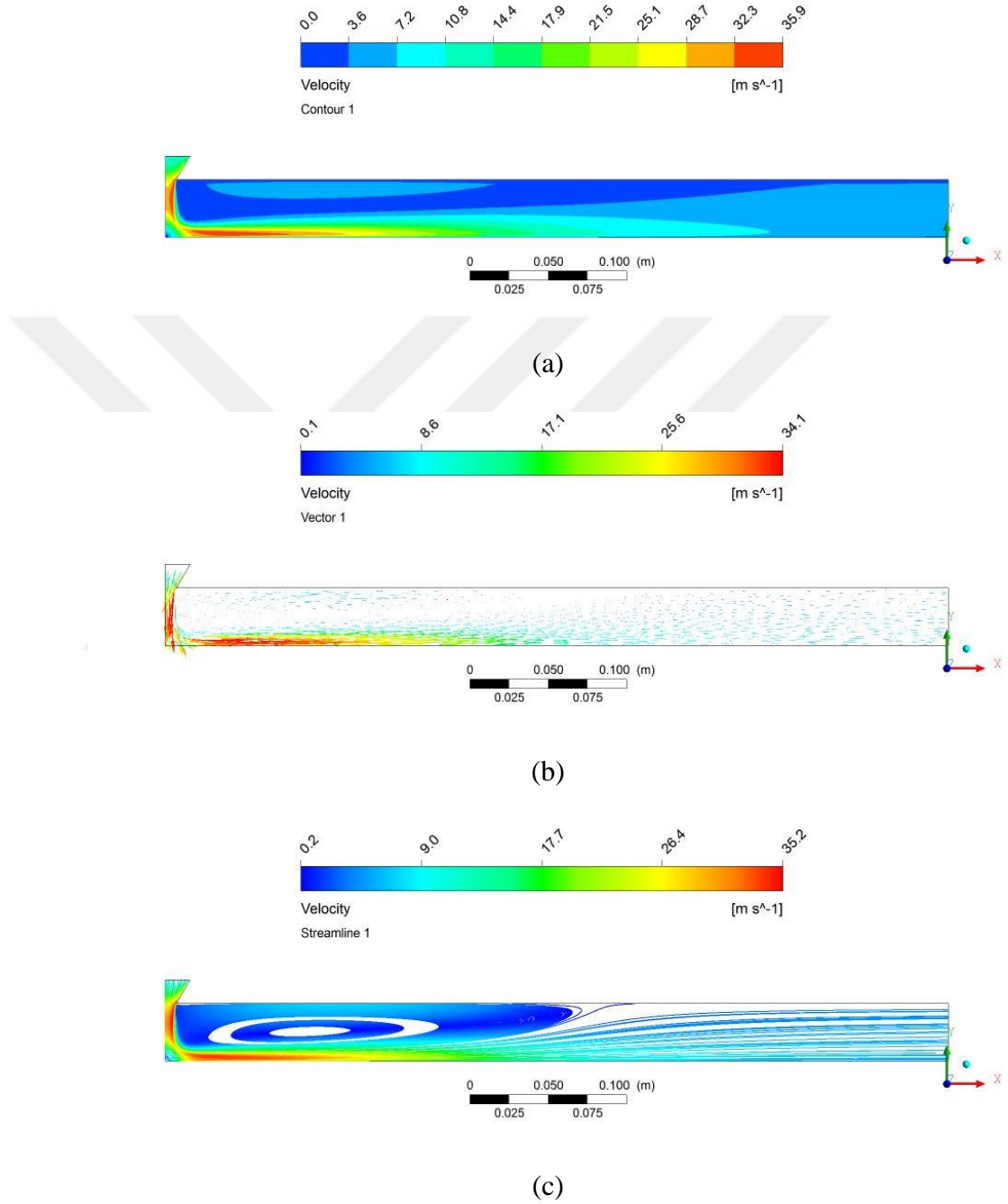
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.117’de gösterilmiştir.



Şekil 4.117.  $t=15$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

m)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

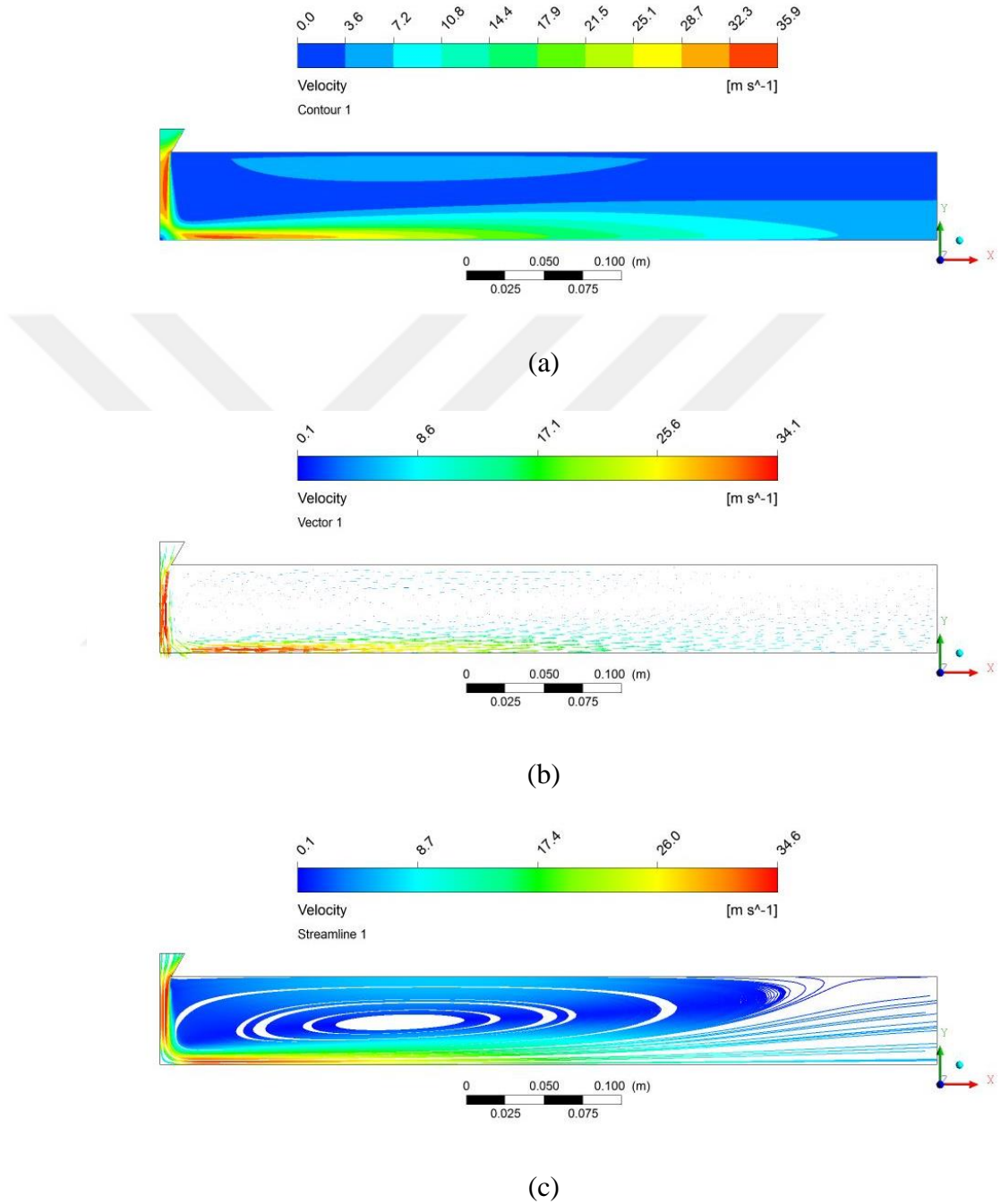
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.118'de gösterilmiştir.



Şekil 4.118.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

n)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

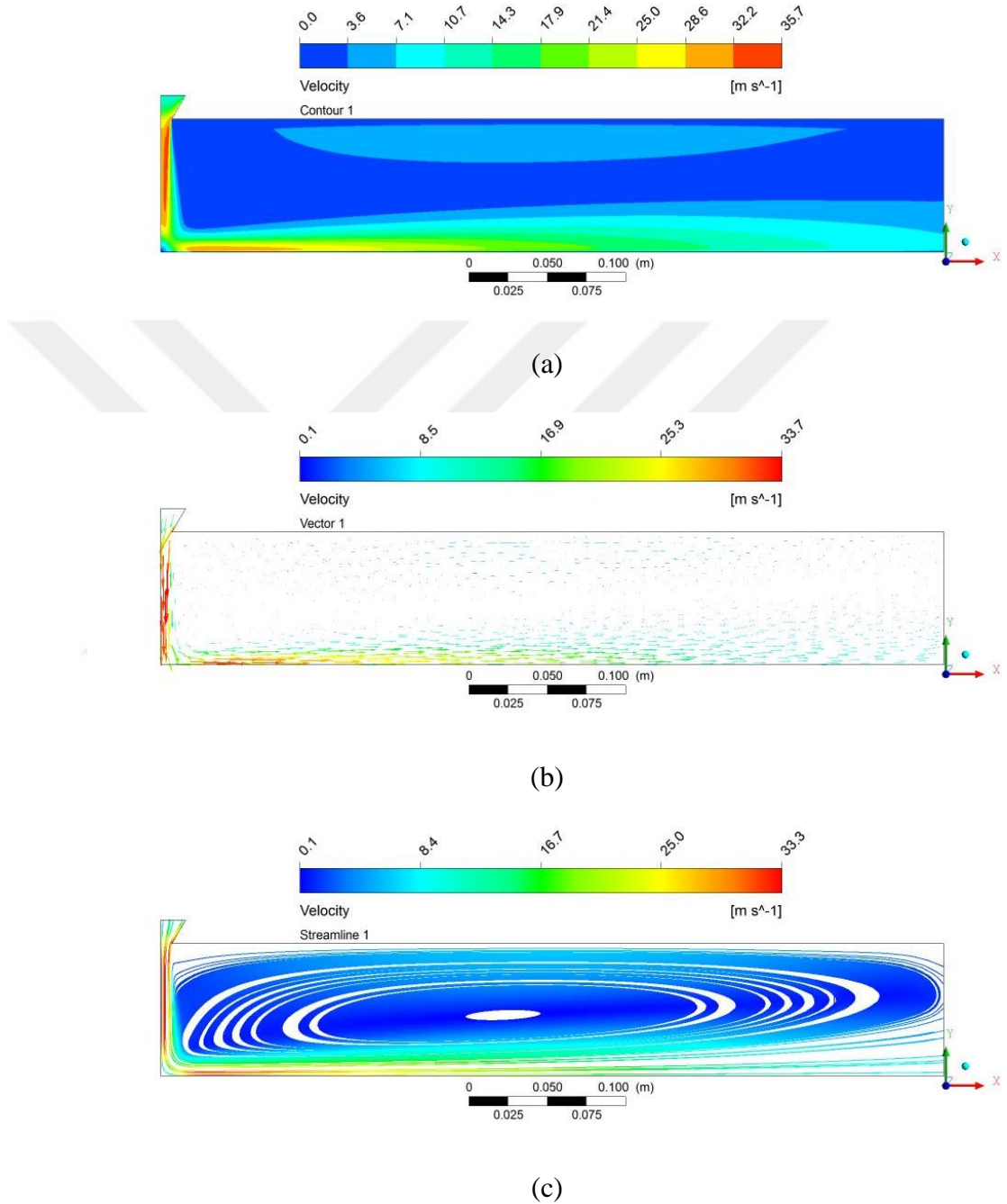
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.119'da gösterilmiştir.



Şekil 4.119.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

o)  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

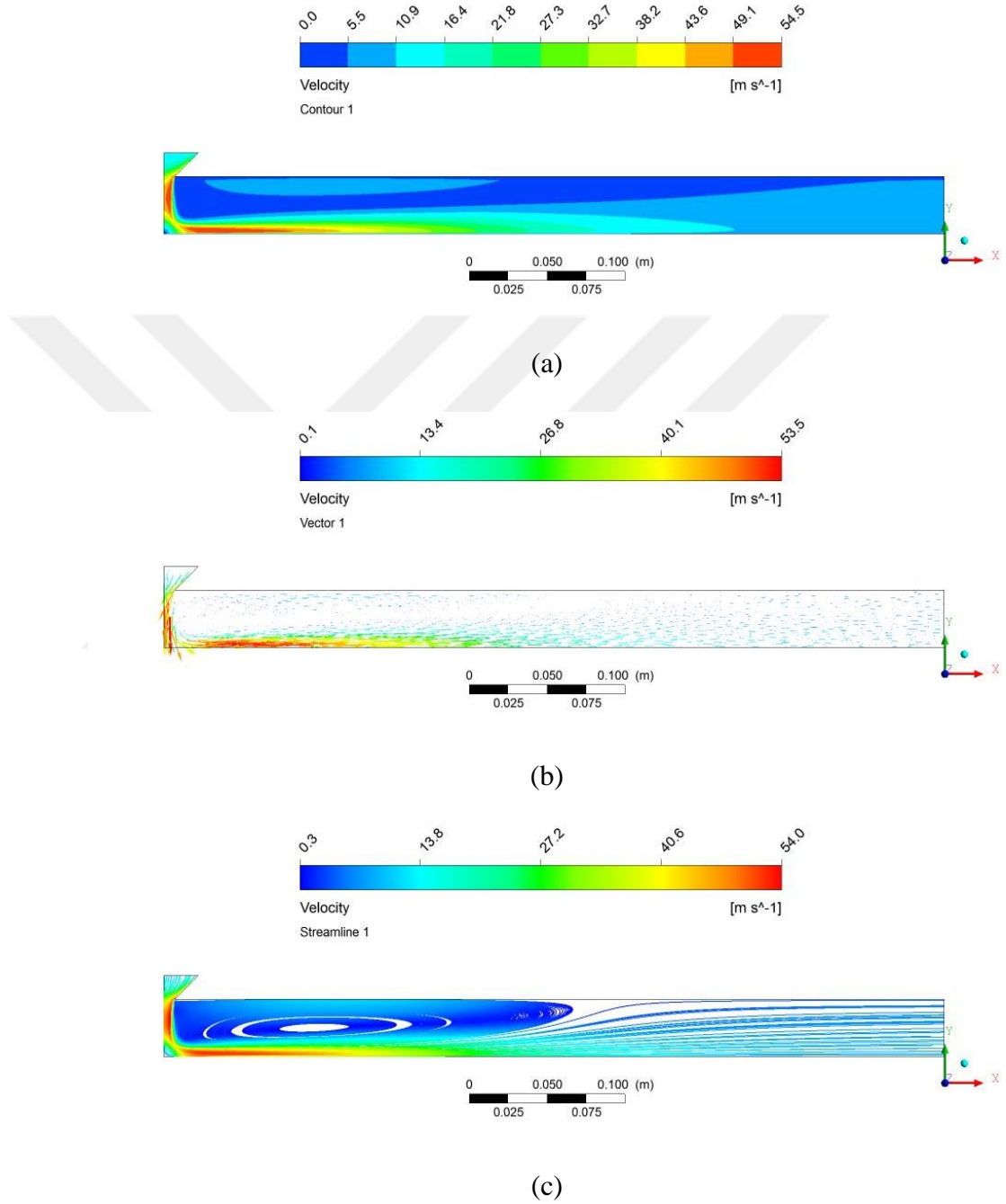
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.120'de gösterilmiştir.



Şekil 4.120.  $t=15$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

p)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

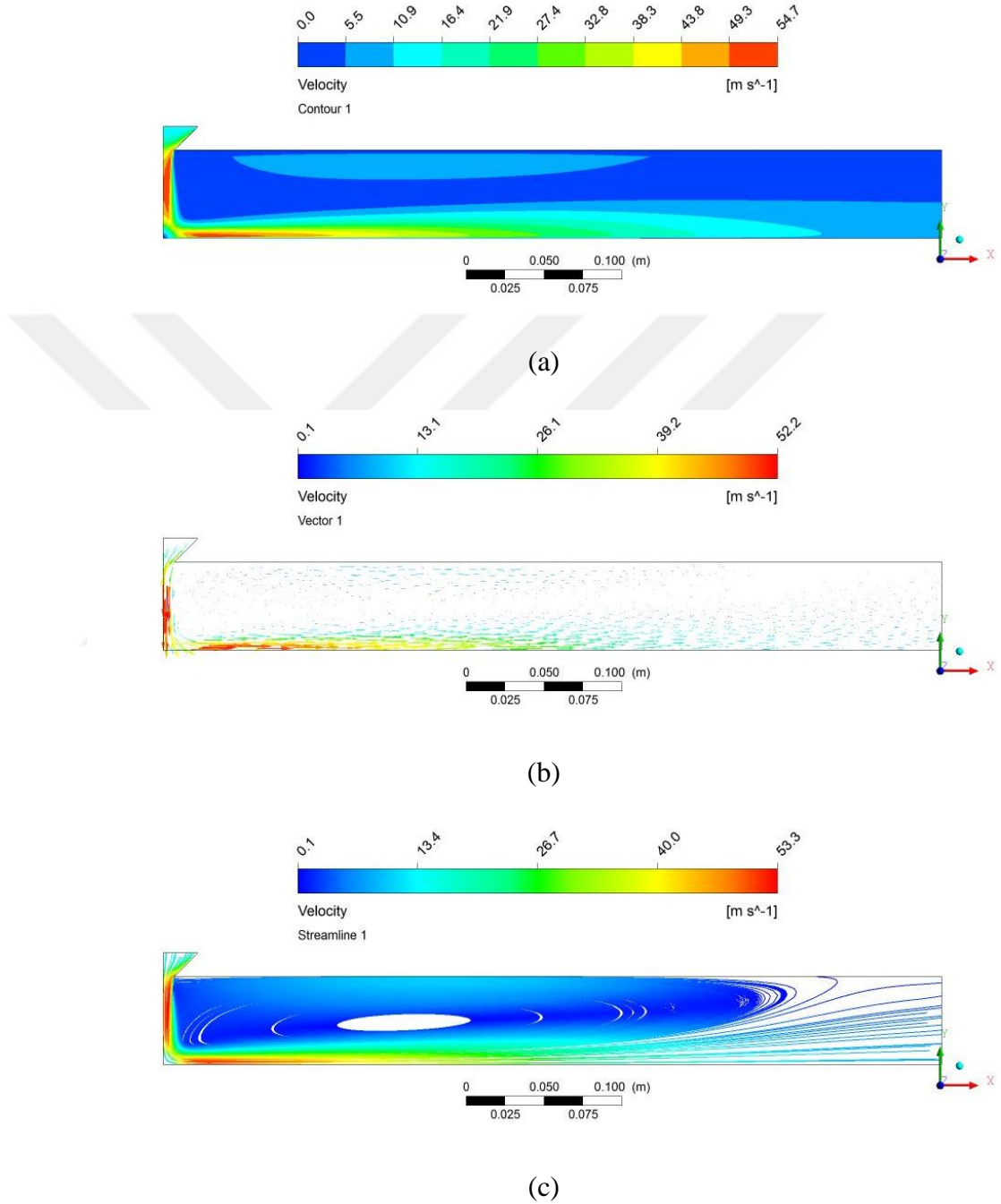
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.121’de gösterilmiştir.



Şekil 4.121.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

r)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

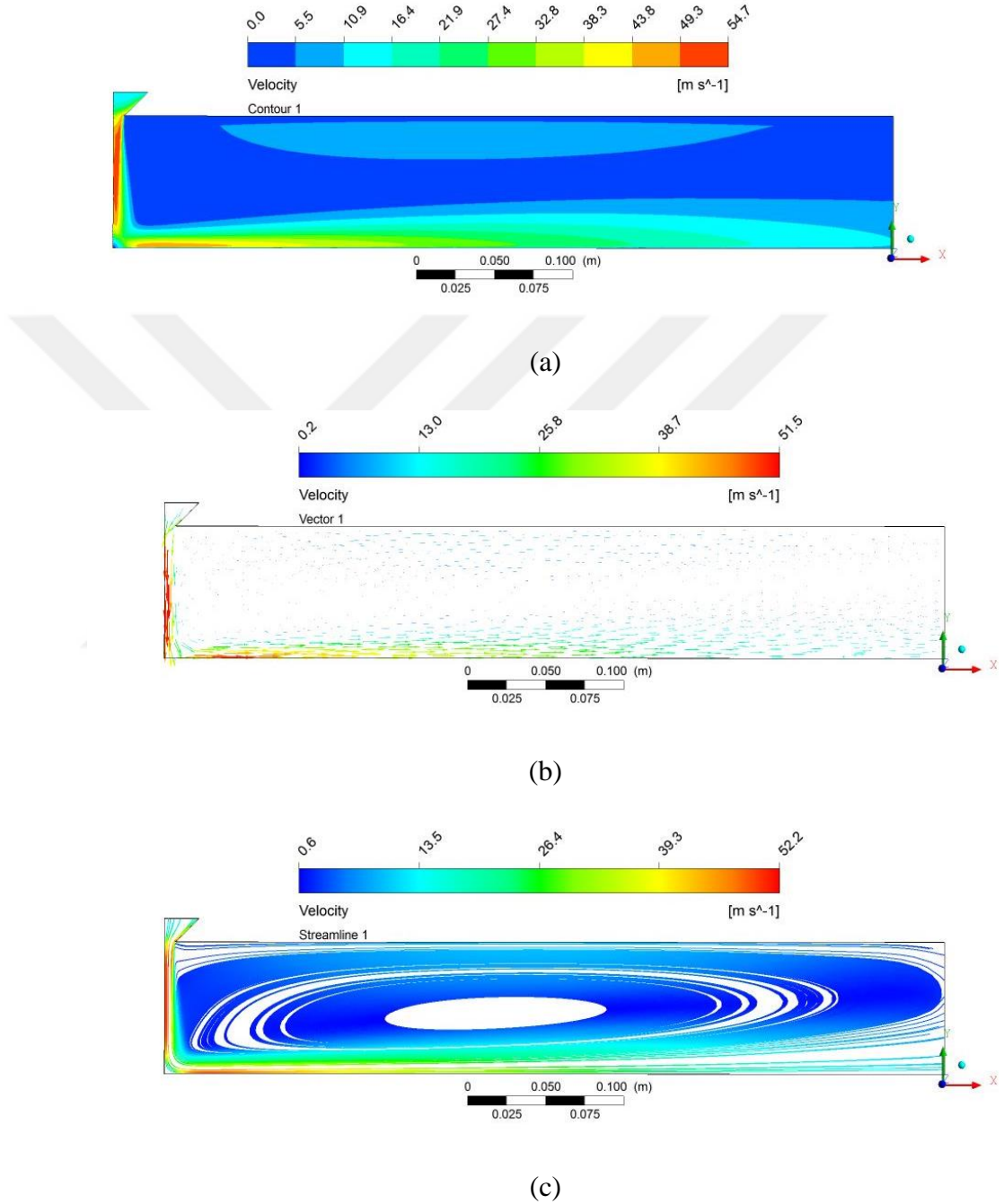
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.122'de gösterilmiştir.



Şekil 4.122.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

s)  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.123’de gösterilmiştir.

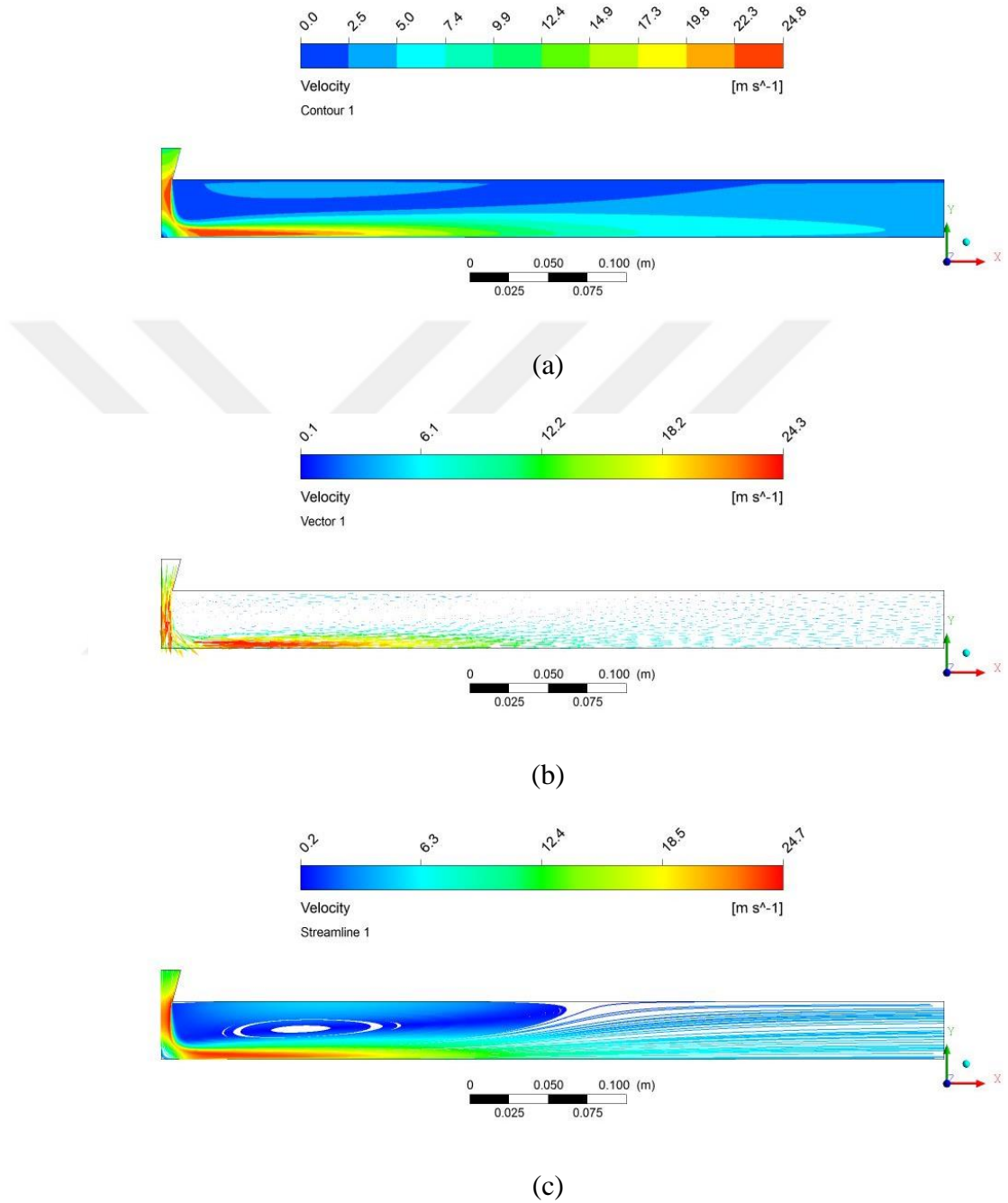


Şekil 4.123.  $t=15$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



t)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

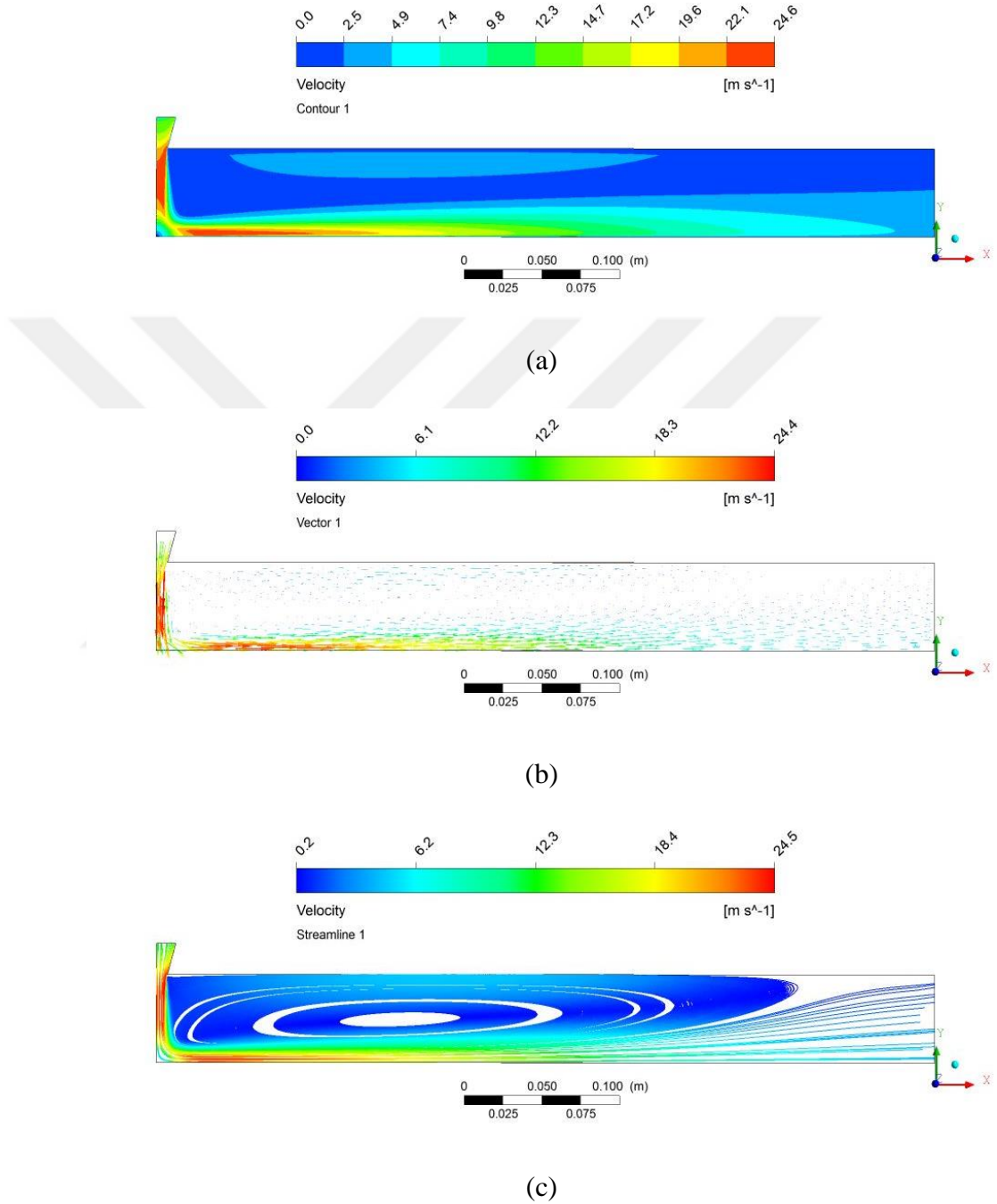
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.124'de gösterilmiştir.



Şekil 4.124.  $t=20$  mm,  $a= 15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

u)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

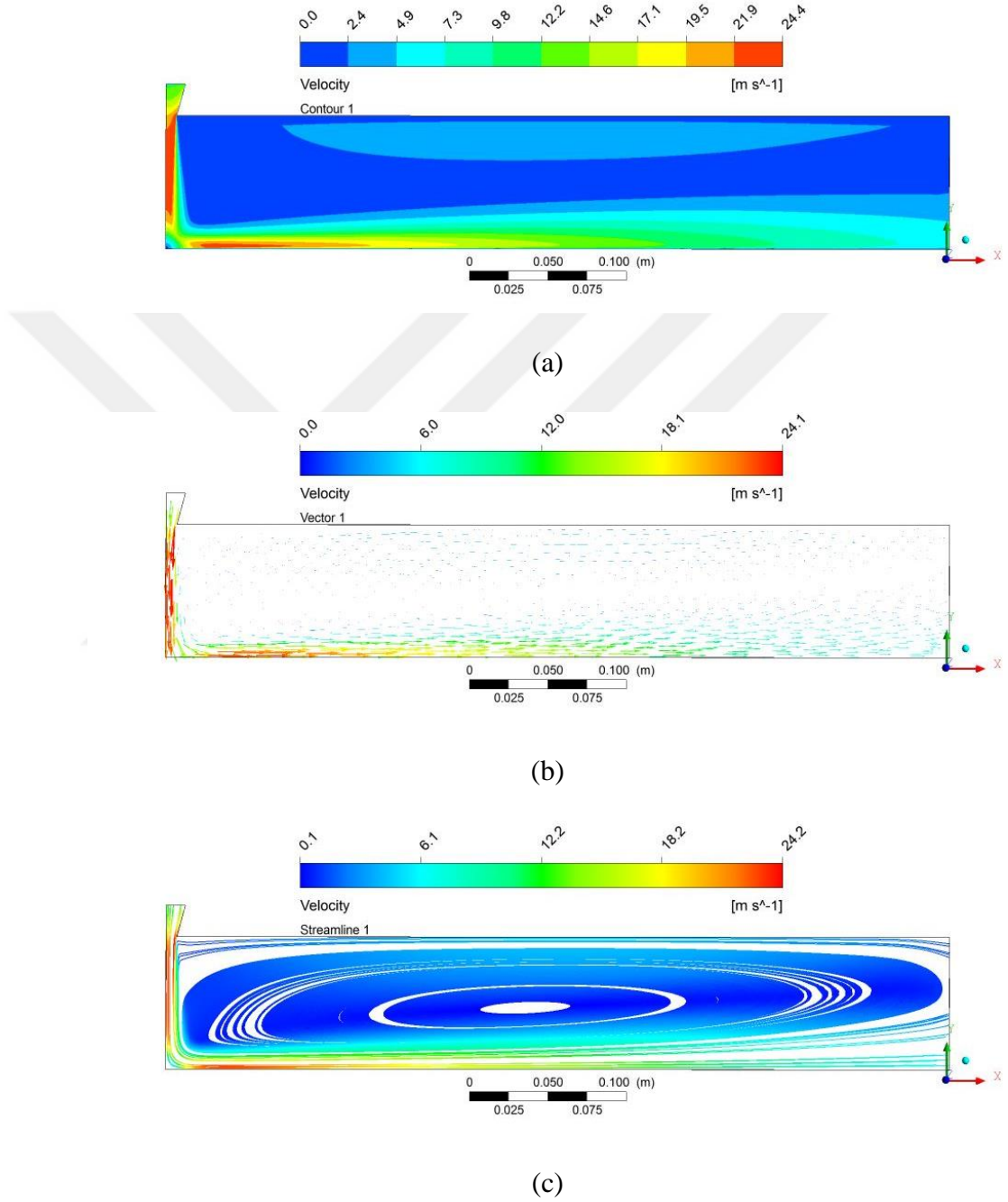
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.125’de gösterilmiştir.



Şekil 4.125.  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

v)  $t=20$  mm,  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

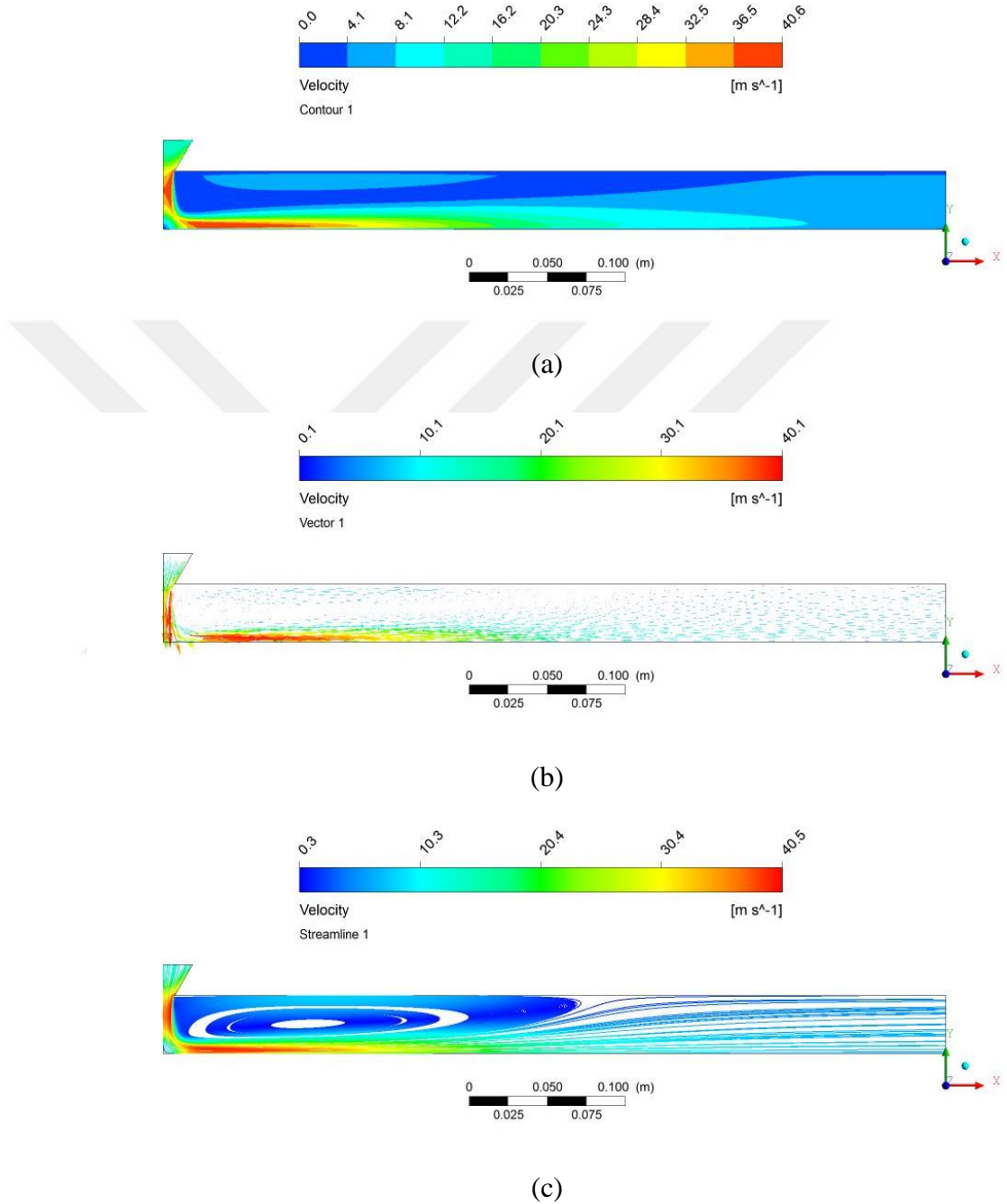
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.126'da gösterilmiştir.



Şekil 4.126  $t=20$  mm,  $a= 15^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

y)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

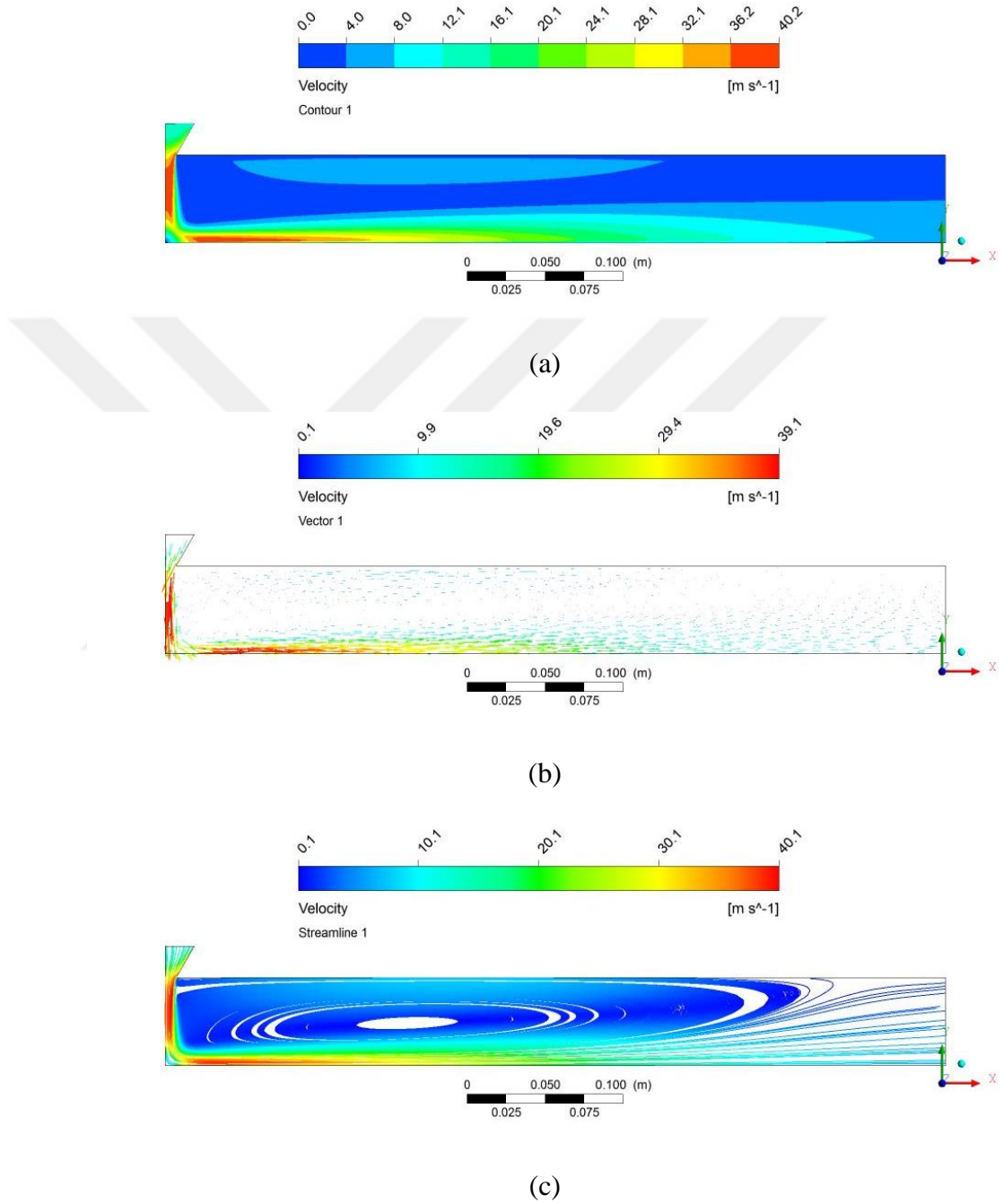
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.127’de gösterilmiştir.



Şekil 4.127.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

z)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

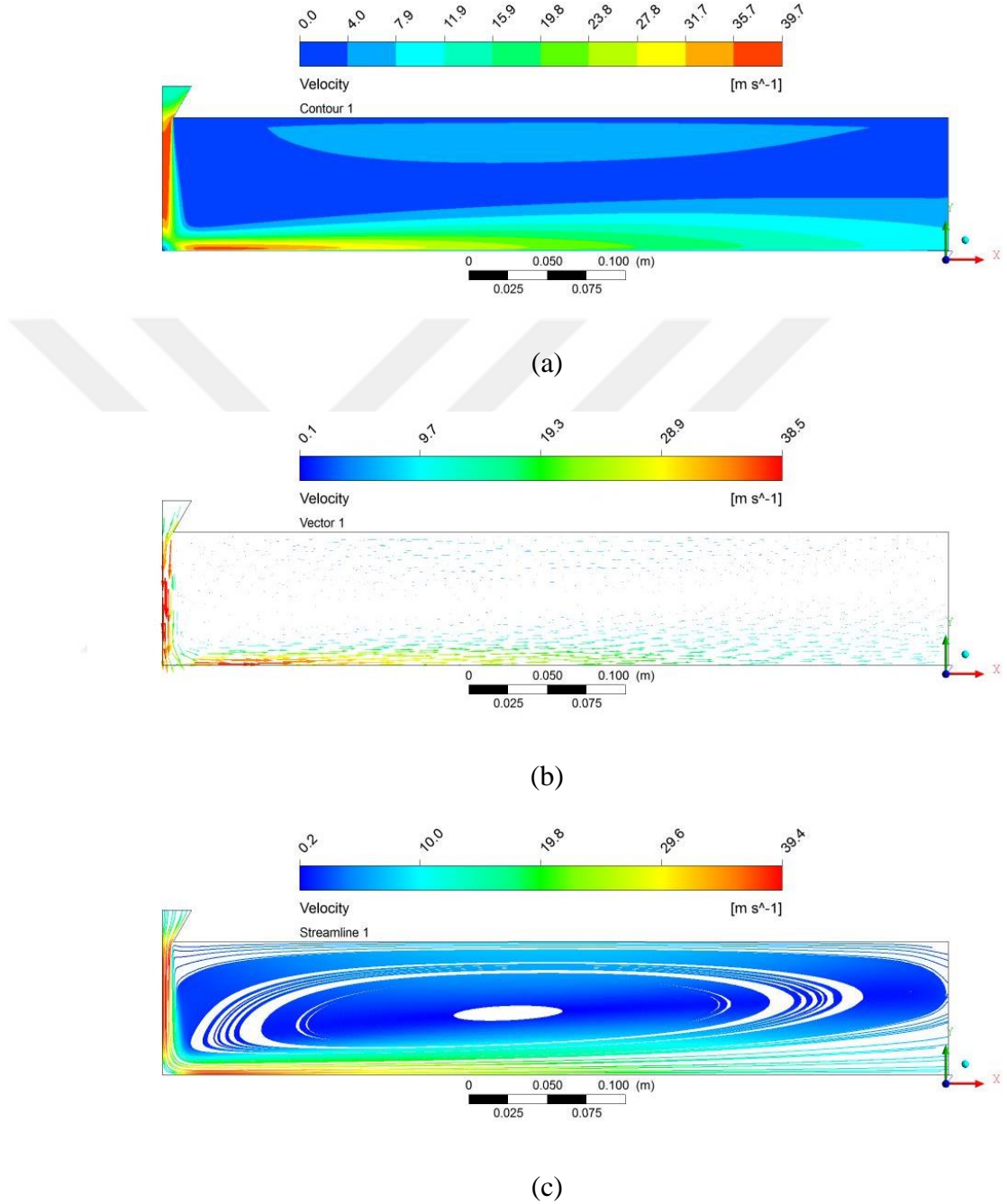
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.128’de gösterilmiştir.



Şekil 4.128.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

aa)  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

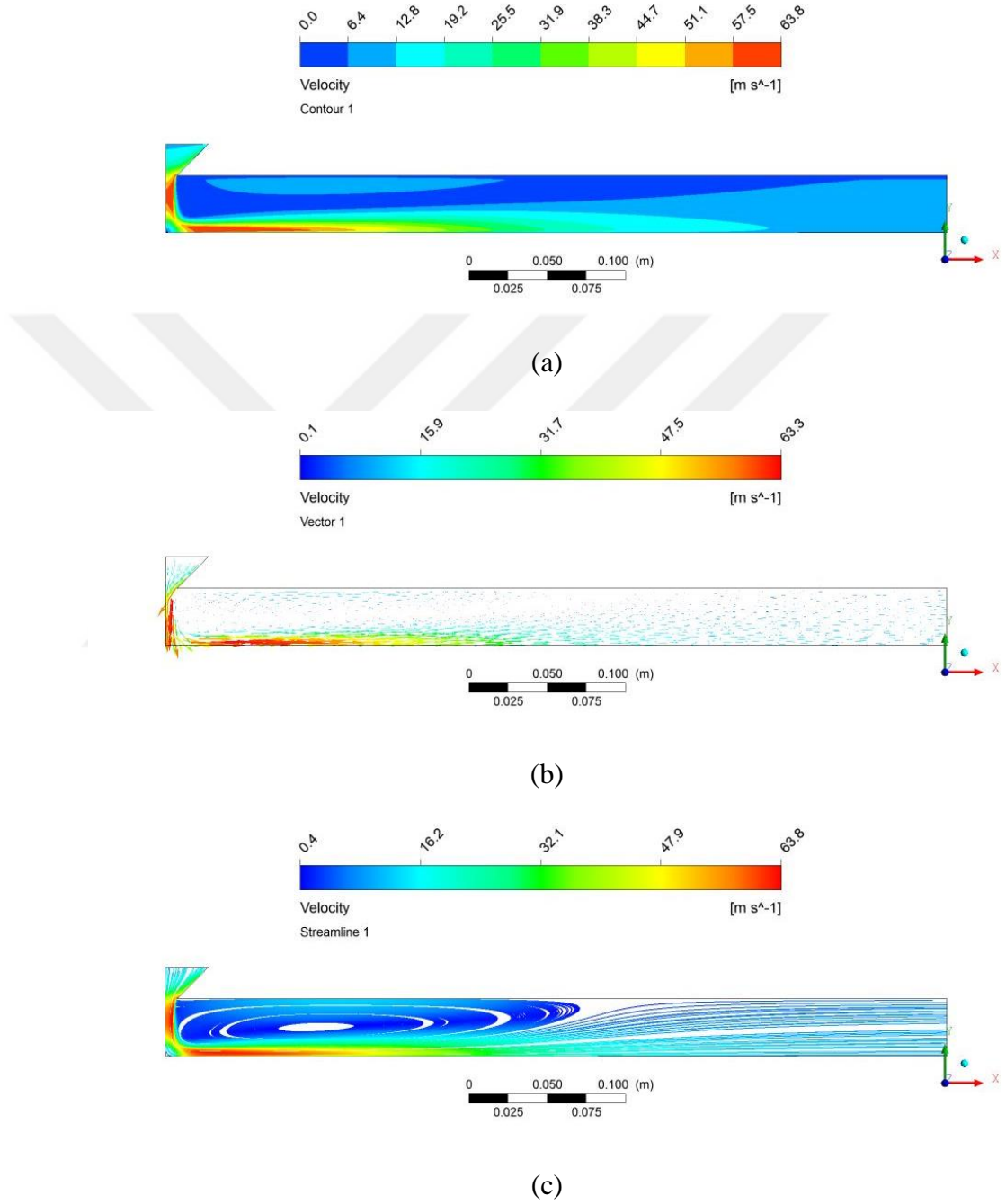
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.129'da gösterilmiştir.



Şekil 4.129.  $t=20$  mm,  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

ab)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için hız konturları

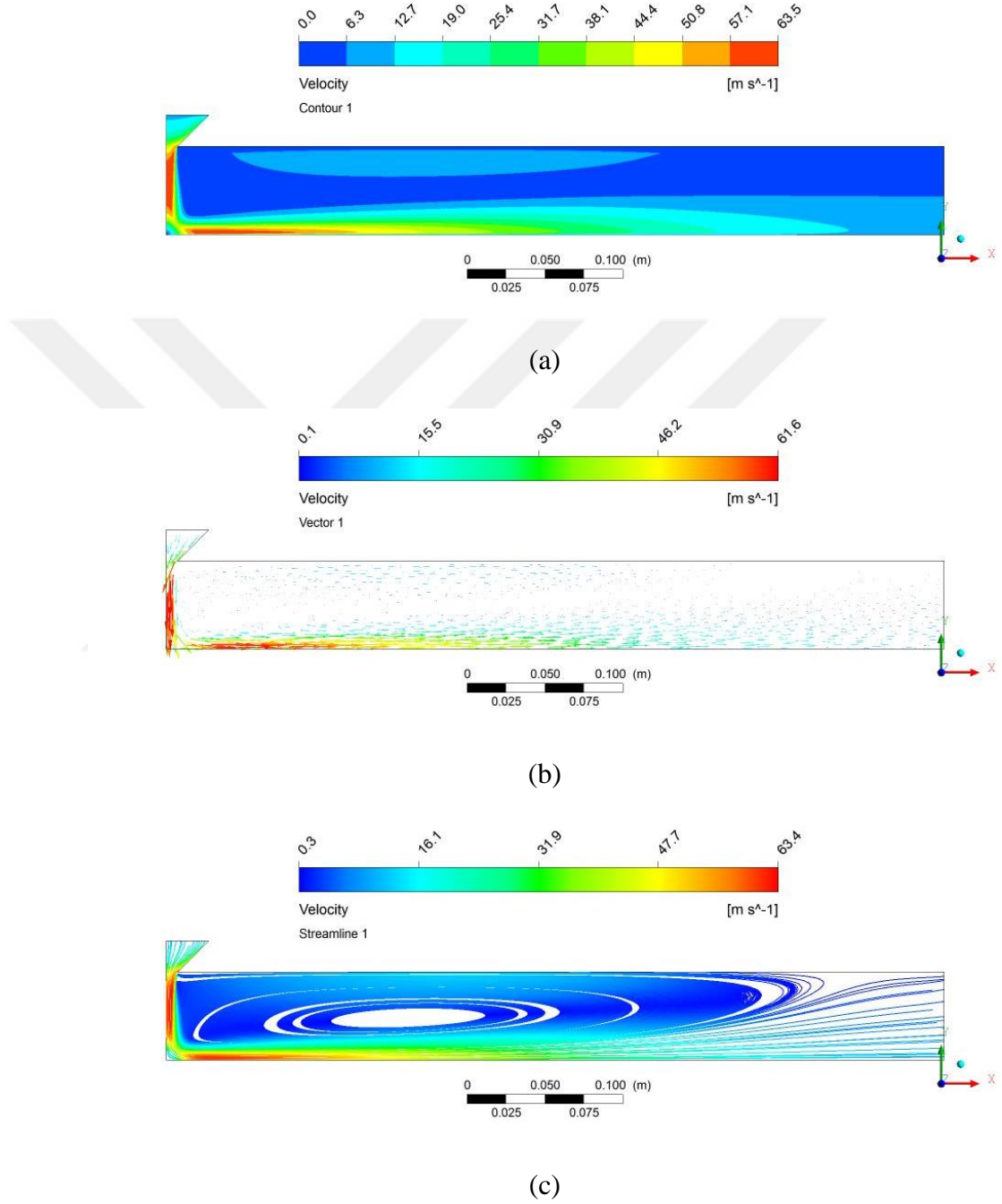
İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.130'da gösterilmiştir.



Şekil 4.130.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

ac)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.131’de gösterilmiştir.

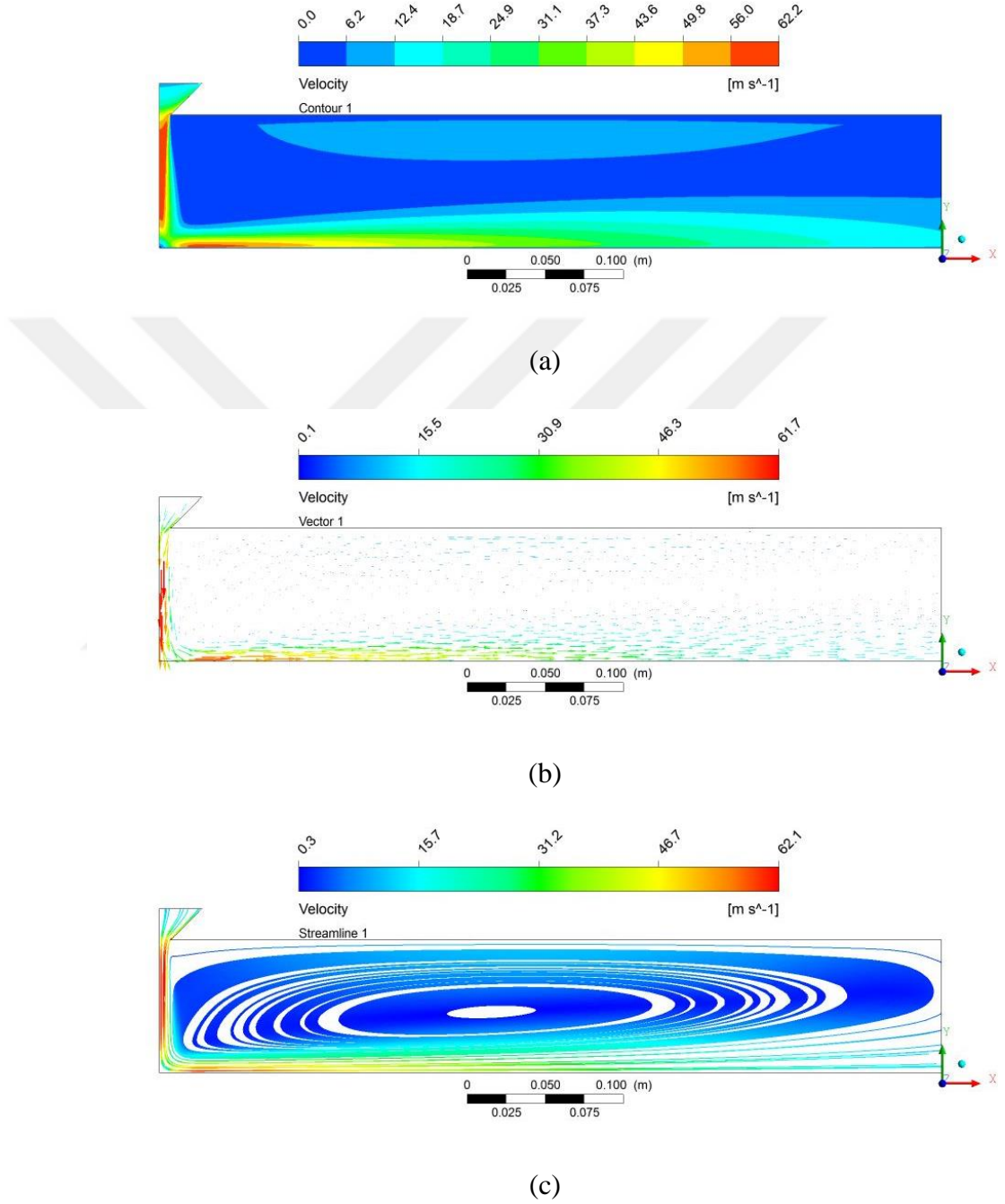


Şekil 4.131.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri



ad)  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için hız konturları

İlgili parametreye ait hız dağılımı, hız vektörleri ve akış çizgileri sonuçları Şekil 4.132’de gösterilmiştir.



Şekil 4.132.  $t=20$  mm,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için (a) hız konturları, (b) hız vektörleri, (c) hız akış çizgileri

### 4.3. Grafik Sonuçları

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular aşağıdaki sıra ile değerlendirilecektir:

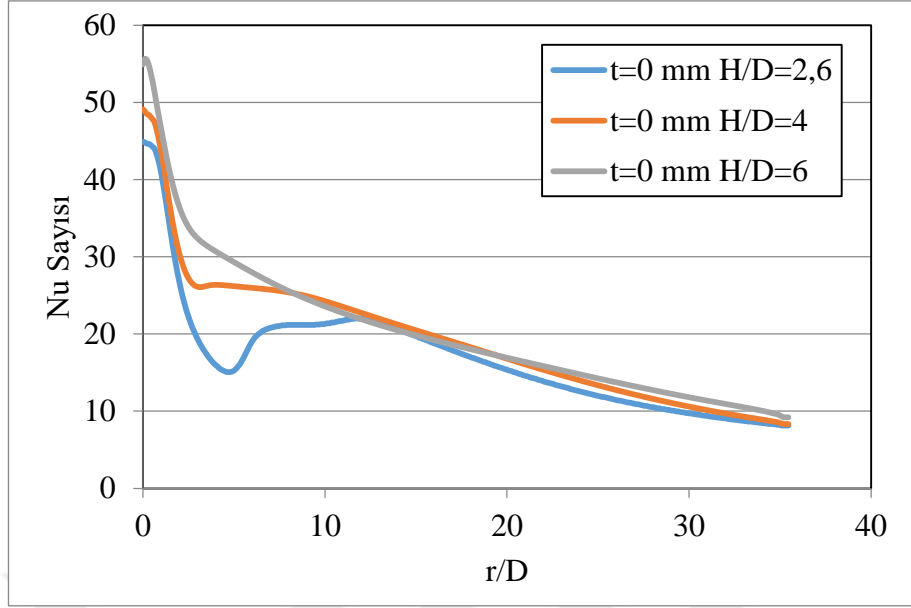
- a) Kalınlık ve açı sabit iken  $H/D$  etkisi
- b)  $H/D$  ve lüle açısı sabit iken kalınlığın etkisi
- c)  $H/D$  ve kalınlık sabit iken açının etkisi
- d) Açı ve kalınlık sabit iken Modelin etkisi

Model 1’de sadece  $H/D$ ’nin etkisini incelemek mümkün olduğundan sadece ilk durumda ele alınacaktır.

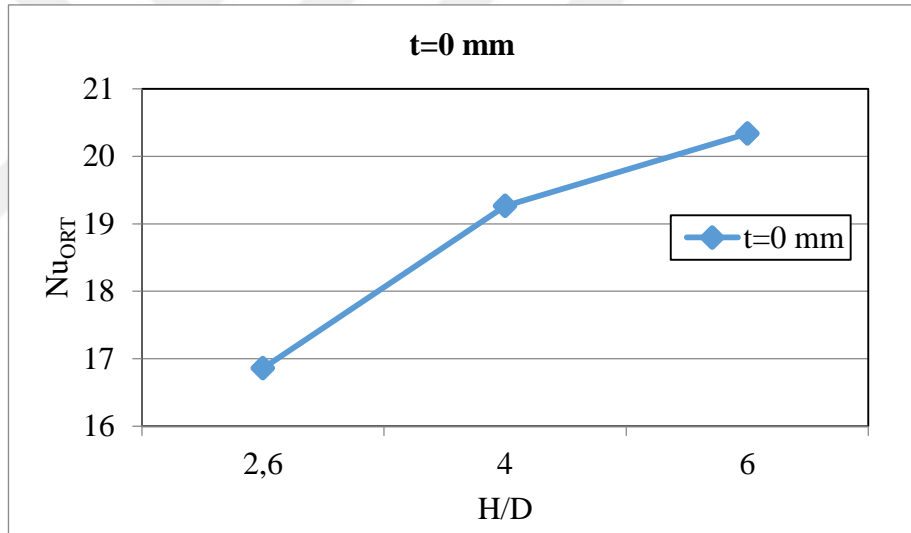
#### 4.3.1. Kalınlık ve açı sabit iken $h/d$ ’nin etkisi

##### a) Model 1 grafikleri

Model 1’e ait lokal  $Nu$  sayıları ve ortalama  $Nu$  sayılarının farklı  $H/D$  değerlerindeki değişimi Şekil 4.133’de görülmektedir. Buna göre Şekil 4.133(a)’da görüleceği üzere  $H/D$  oranı arttıkça ikincil tepe noktası azalmakta hatta  $H/D=6$ ’da ikincil tepe noktasının yok olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama  $Nu$  sayıları incelendiğinde (bkz. Şekil 4.133(b)), artan  $H/D$  oranı ile artmakta fakat bu artış çok büyük bir artış değildir.



(a)



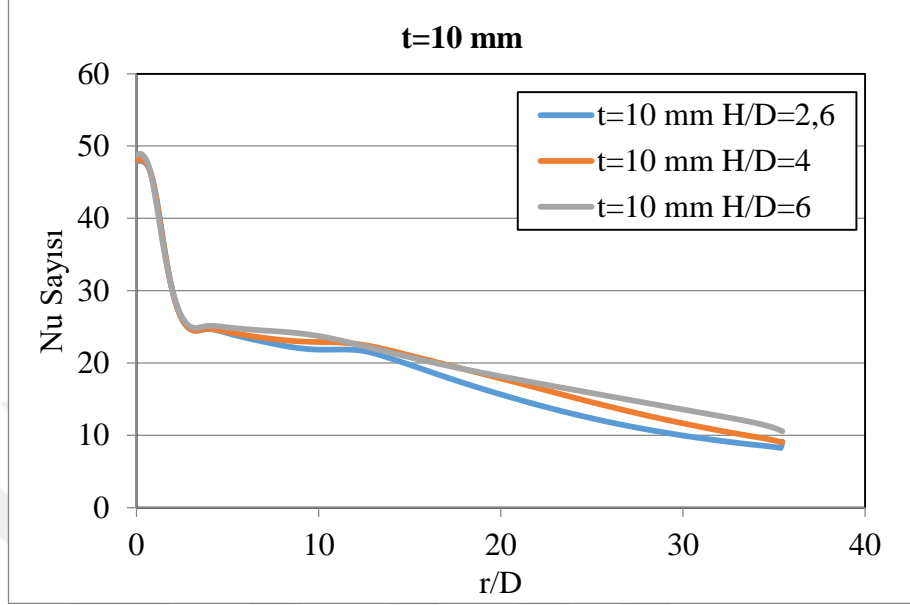
(b)

**Şekil 4.133.** Model 1  $t=0$  mm (a) Farklı  $H/D$  oranları için Lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının  $H/D$ 'ye bağlı değişimi

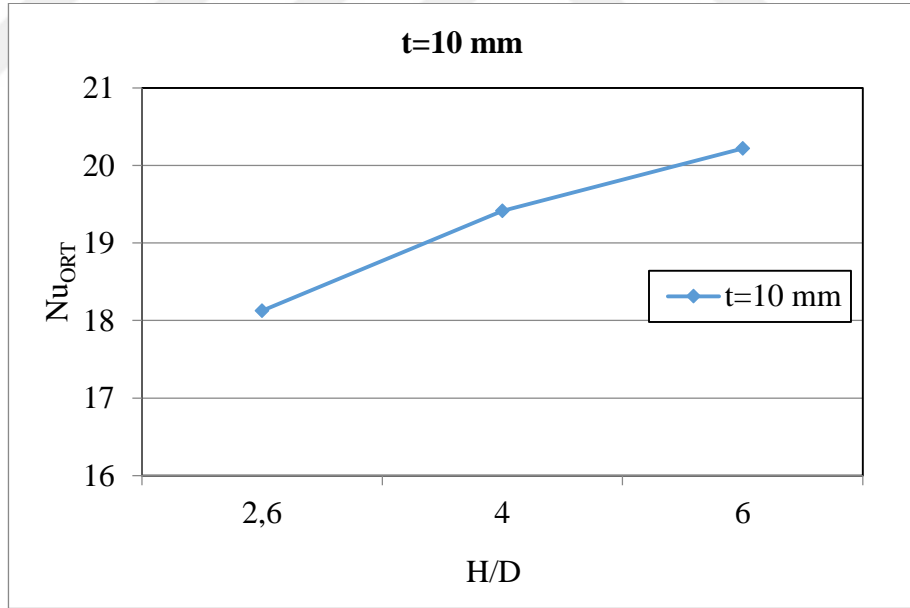
#### b) Model 2 grafikleri

Analiz sonuçlarına göre, sabit kalınlıkta farklı  $H/D$  değerleri uygulandığında lokal Nu sayıları üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise, modelde tanımlanan  $H/D$ 'ye ilave olarak gelen kalınlıktır. Kalınlık arttıkça havanın girdiği  $H$  değeri artmakta dolayısıyla  $H/D$  artmaktadır. Ayrıca kalınlık artışının Nu

sayıları dağılımı ve ikincil tepe noktası üzerinde bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bahsedilen sonuçlara ait grafikler Şekil 4.134 ile Şekil 4.137 arasında gösterilmiştir.

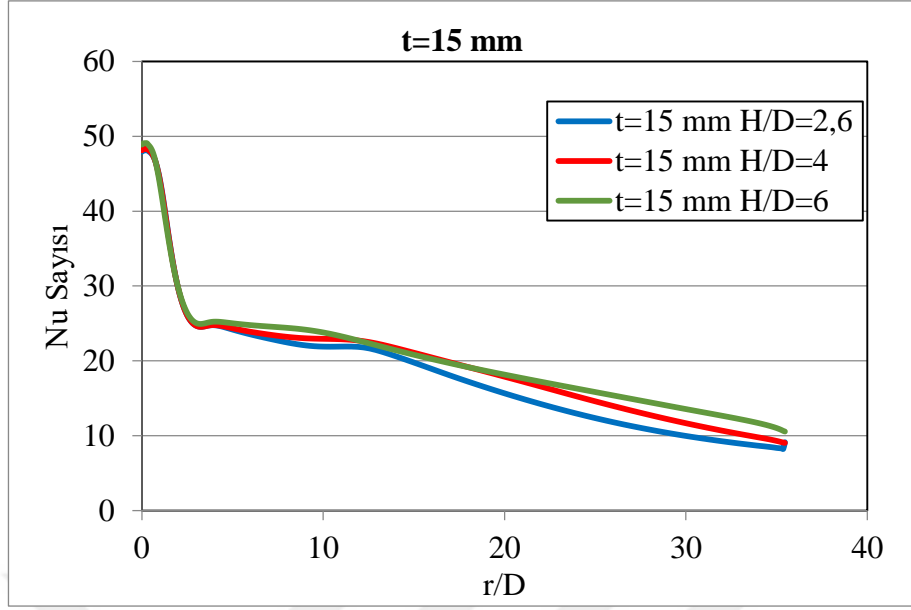


(a)

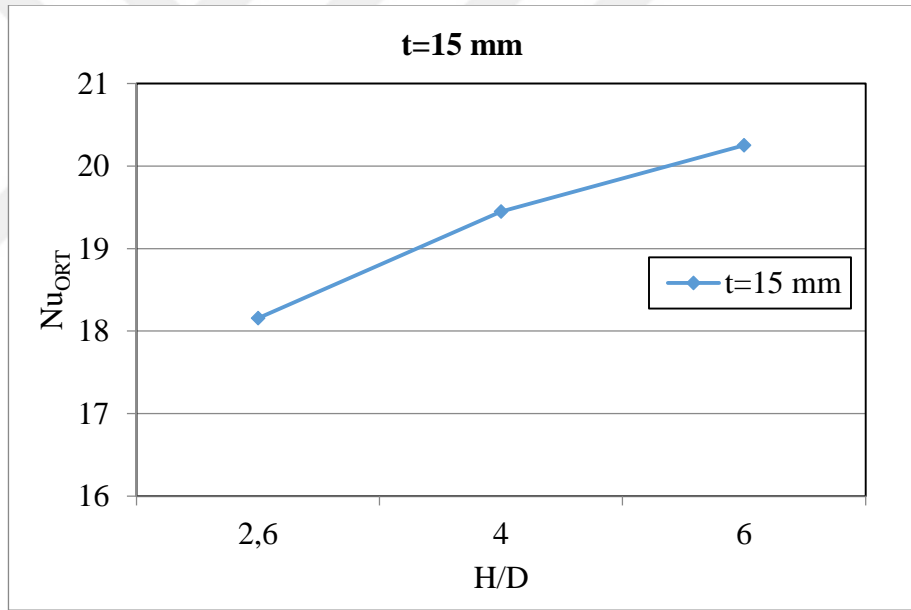


(b)

**Şekil 4.134.** Model 2 t=10 mm (a) Farklı H/D oranları için Lokal Nu sayılarının r/D'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının H/D'ye bağlı değişimi

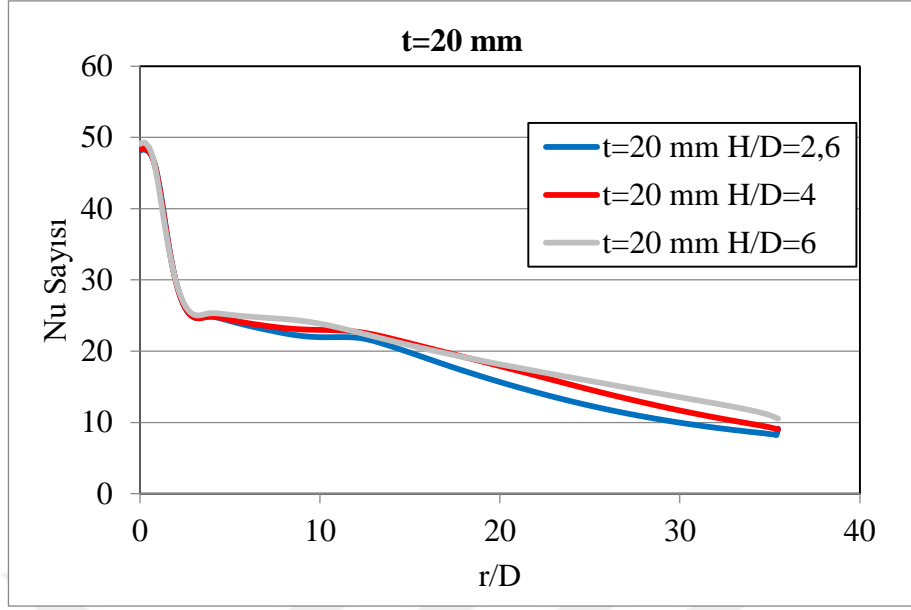


(a)

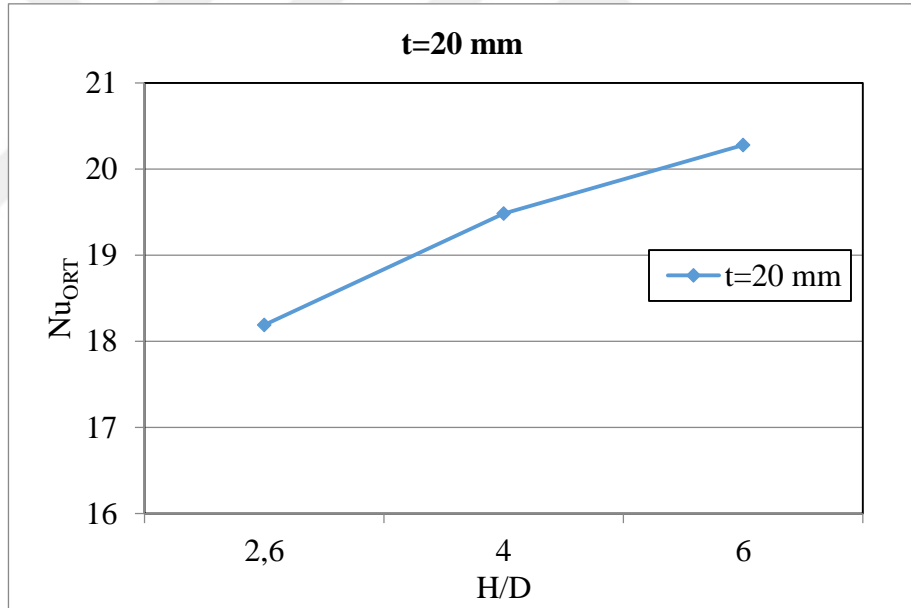


(b)

**Şekil 4.135.** Model 2  $t=15$  mm (a) Farklı  $H/D$  oranları için Lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının  $H/D$ 'ye bağlı değişimi



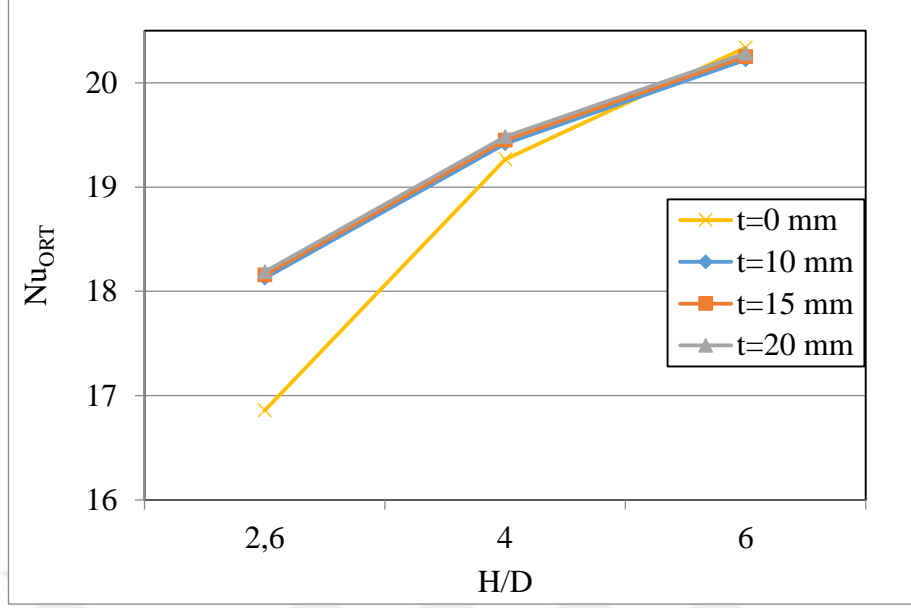
(a)



(b)

**Şekil 4.136.** Model 2  $t=20$  mm (a) Farklı H/D oranları için Lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Ortalama Nu sayılarının H/D'ye bağlı değişimi

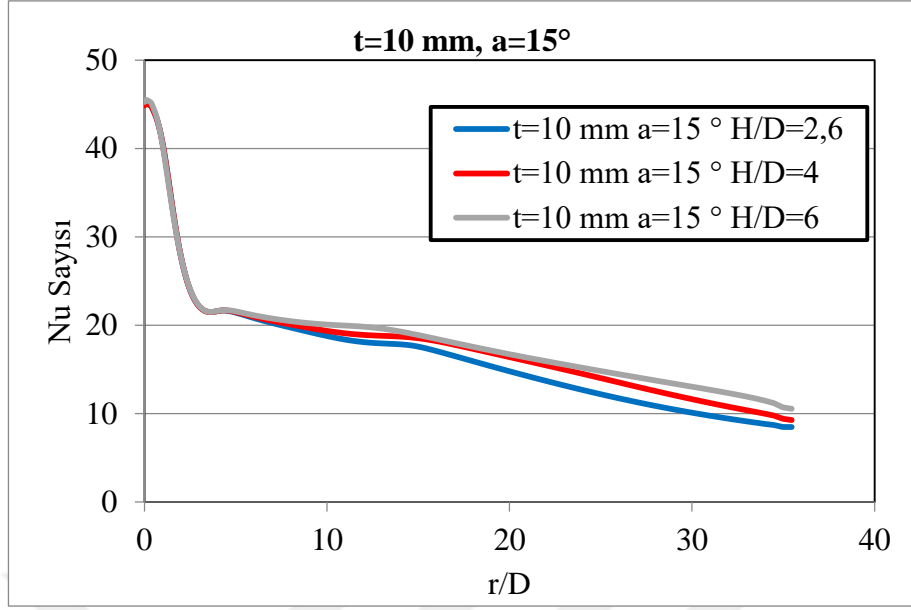
Model 1 ve Model 2'ye ait ortalama Nu sayılarının H/D'ye bağlı değişimleri incelendiğinde, H/D=2,6'da bir farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de Model 2'deki kalınlık artışından kaynaklandığı görülmüştür (bkz. Şekil 4.137).



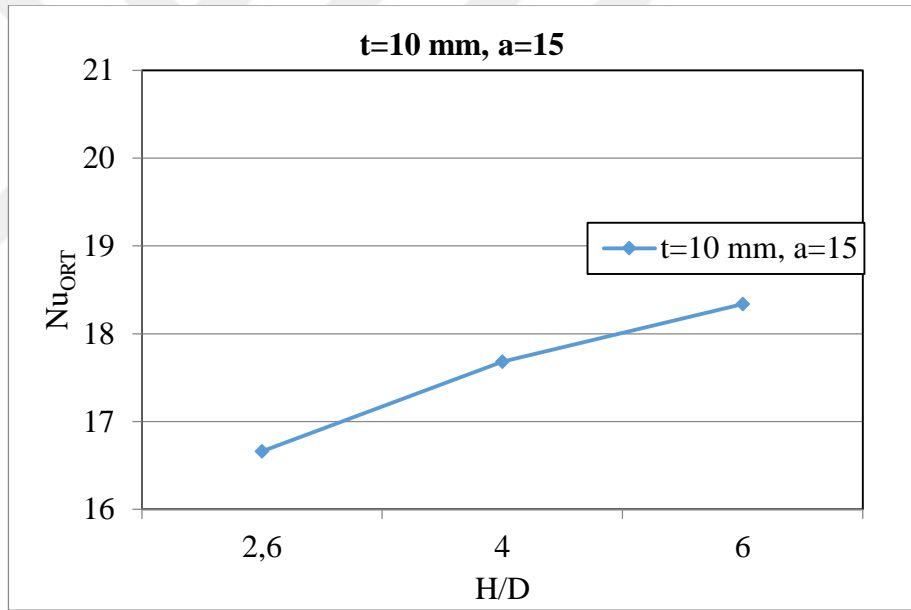
**Şekil 4.137.** Model 1 ve Model 2 için sabit kalınlıkta farklı H/D oranlarında ortalama Nu sayılarının değişimi

### c) Model 3 grafikleri

Kalınlık ve açı sabit kaldığındaki durum incelendiğinde genel olarak H/D'nin etkisi Model 2'ile benzer bir durum sergilemiştir. Bunun sebebi ise Model 2'deki gibi H yüksekliğine ilave olarak gelen plaka kalınlığıdır. Şekil 4.138 ile Şekil 4.149 arasında kalınlık ve açının sabit kaldığı durum için ortaya çıkan sonuçlar gösterilmiştir.



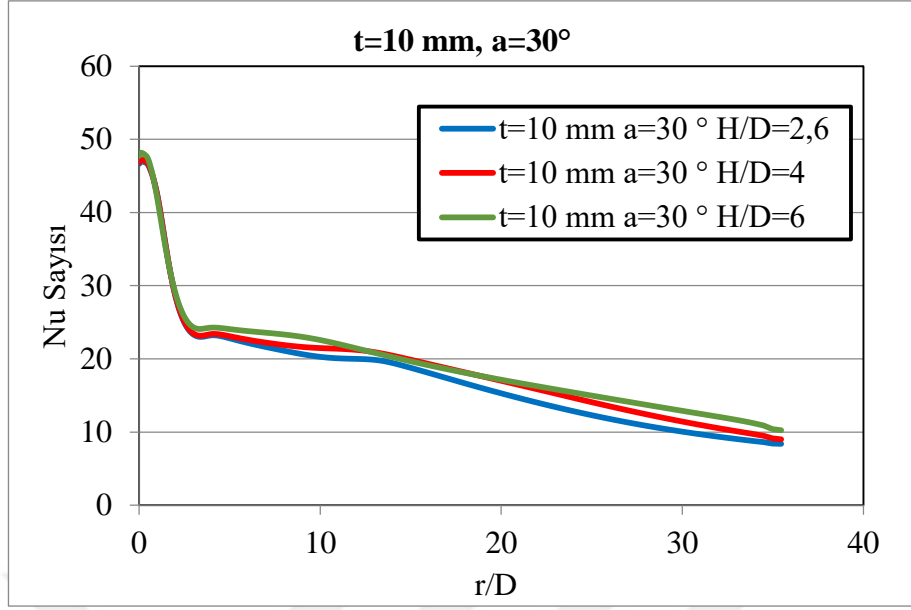
(a)



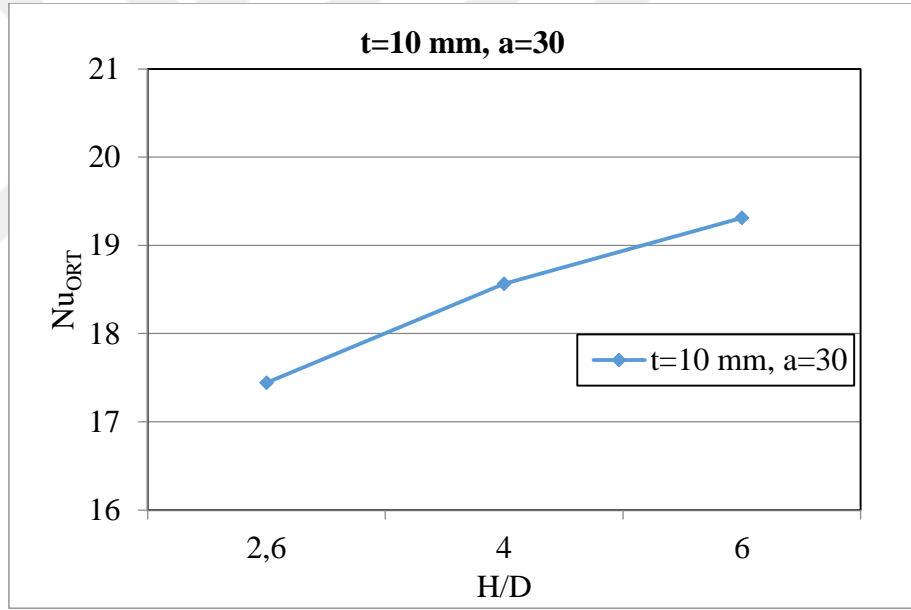
(b)

**Şekil 4.138.** Model 3 için (a) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



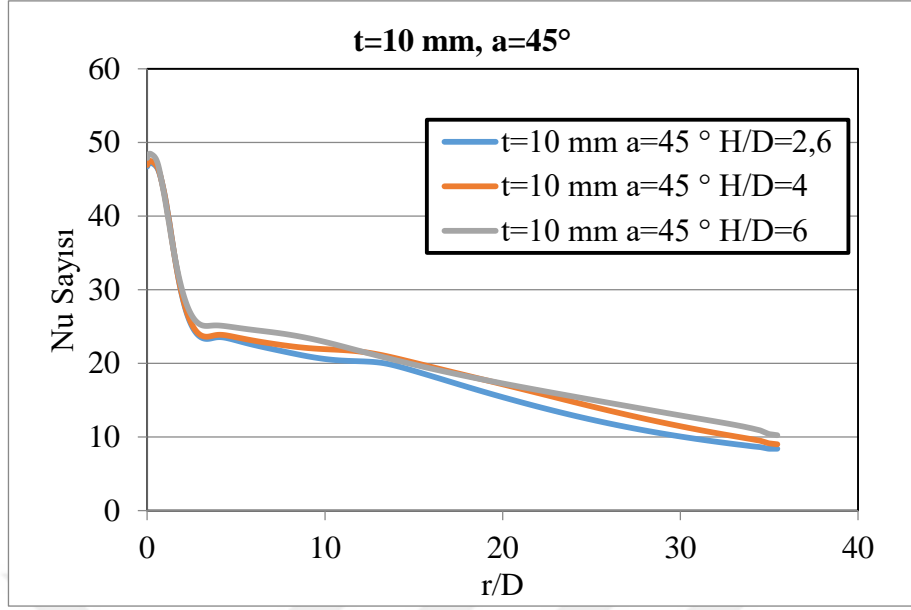


(a)

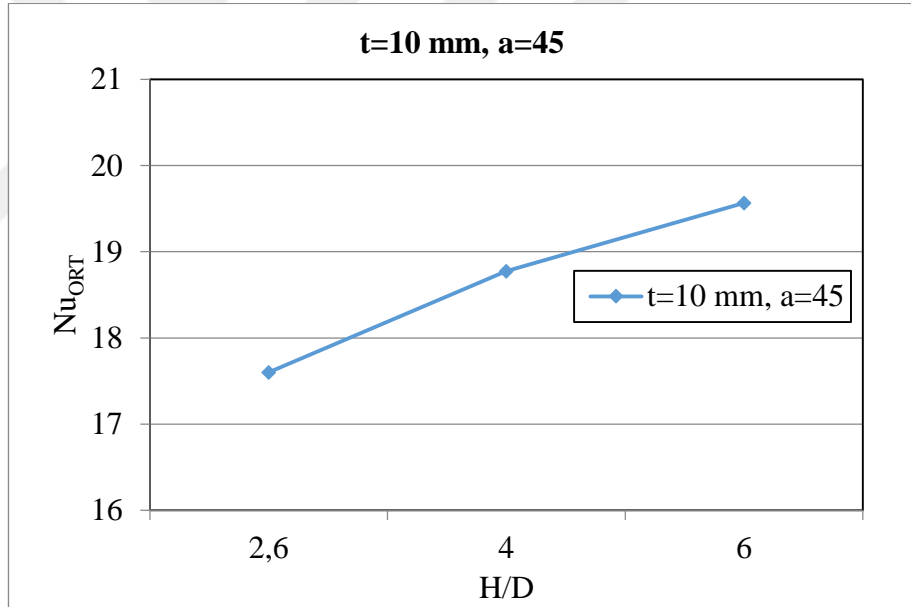


(b)

**Şekil 4.139.** Model 3 için (a) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

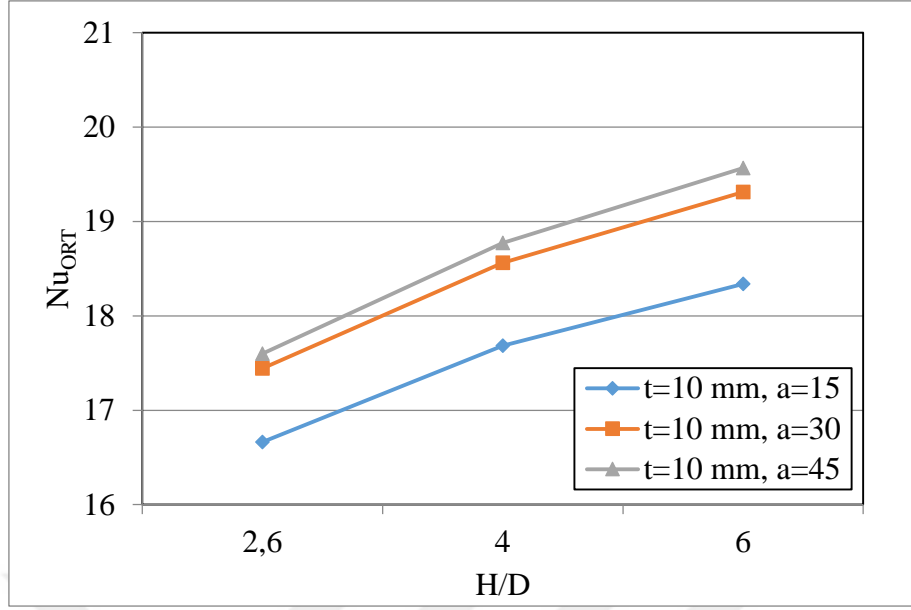


(a)

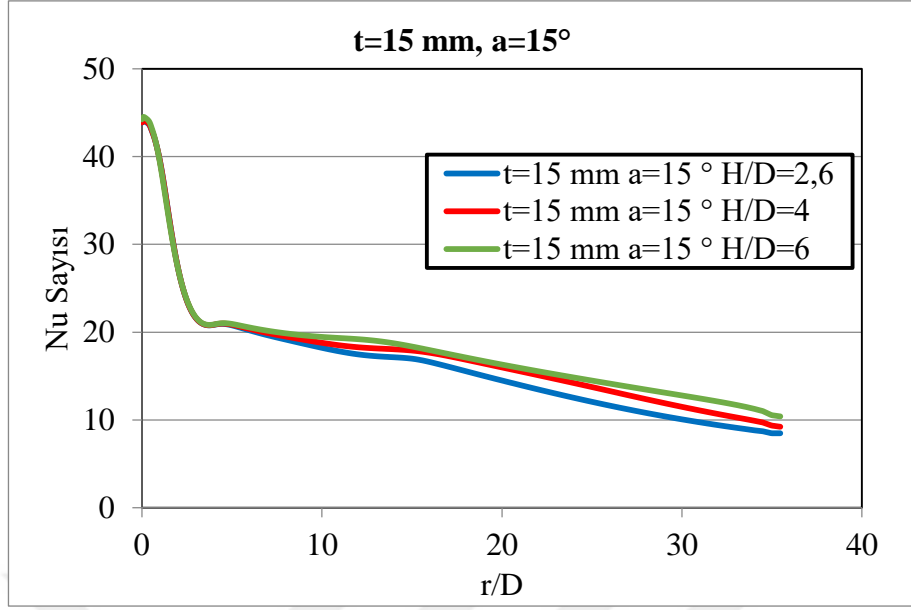


(b)

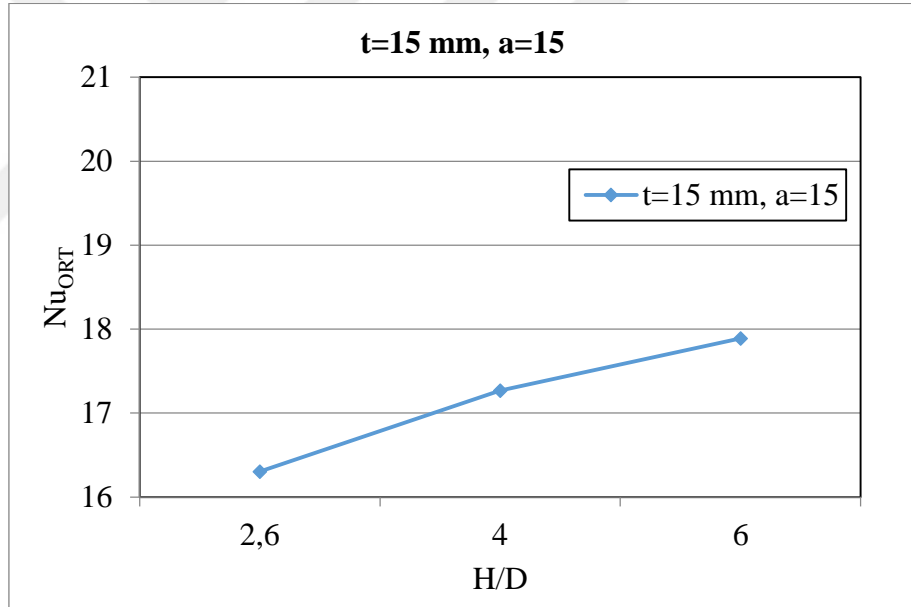
**Şekil 4.140.** Model 3 için (a) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.141.** Model 3 için sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit lüle açılarında  $H/D$  oranlarının ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkisi

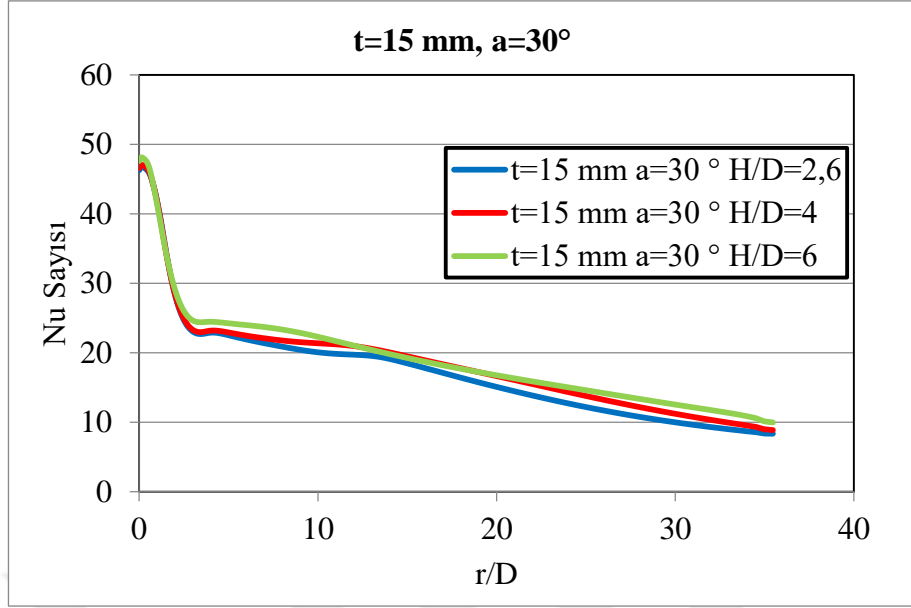


(a)

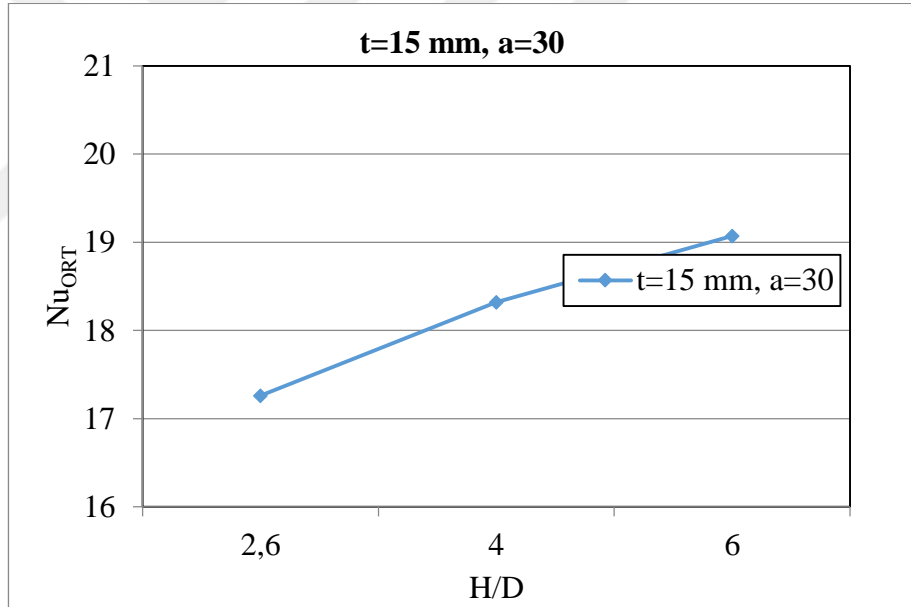


(b)

**Şekil 4.142.** Model 3 için (a) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

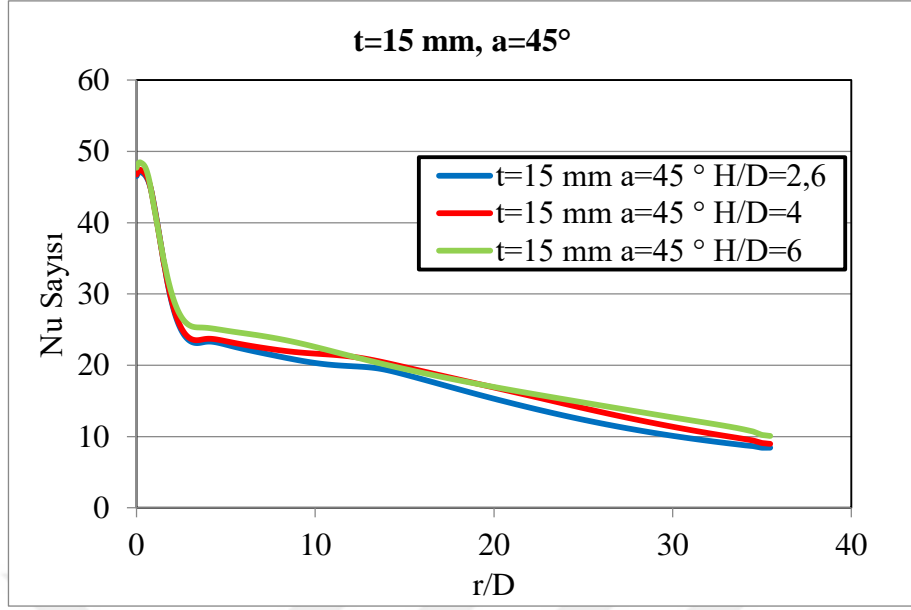


(a)

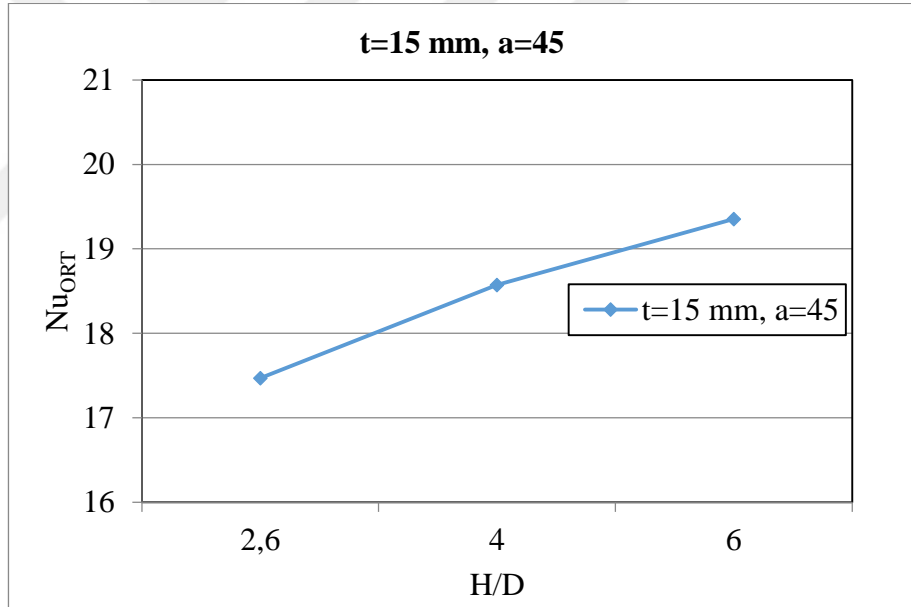


(b)

**Şekil 4.143.** Model 3 için (a) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

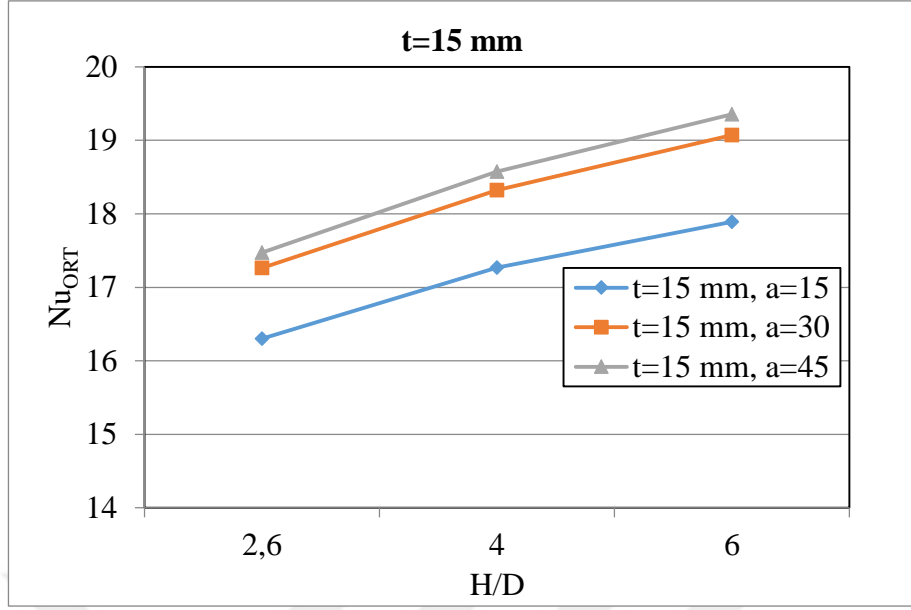


(a)

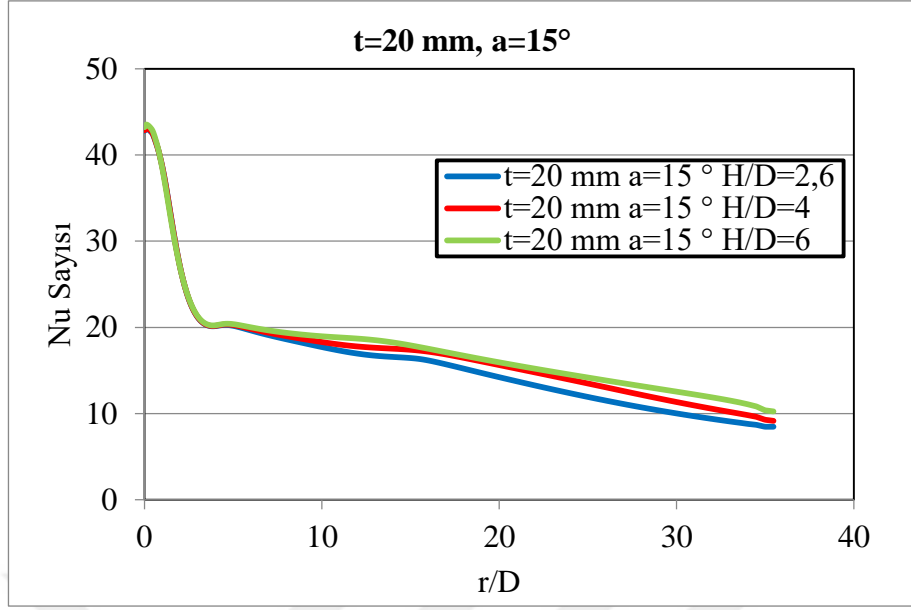


(b)

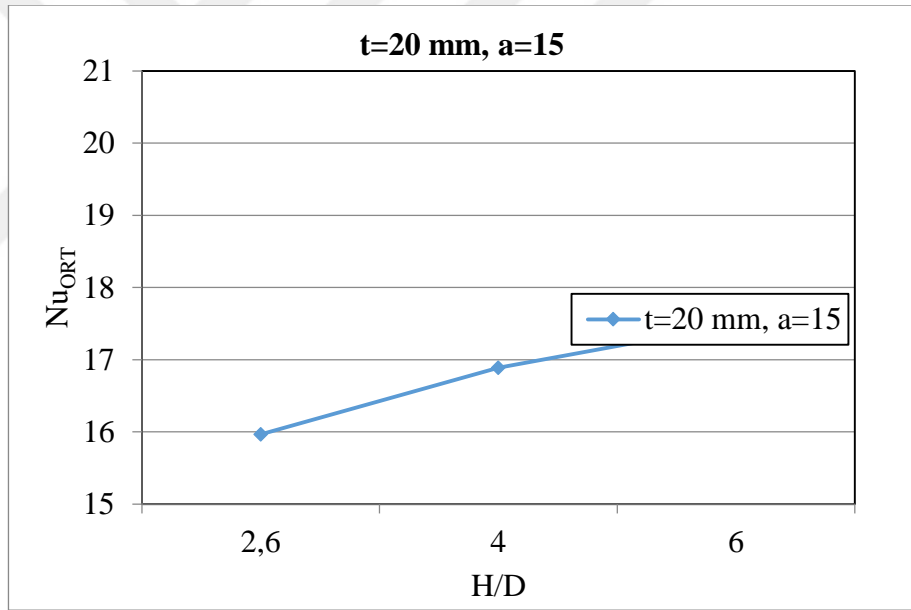
**Şekil 4.144.** Model 3 için (a) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.145.** Model 3 için sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit lüle açılarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi



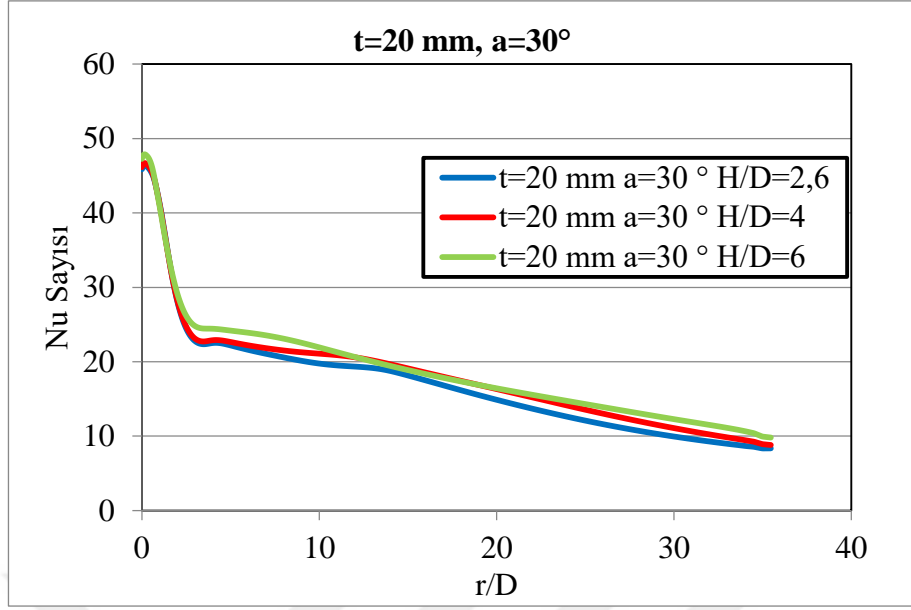
(a)



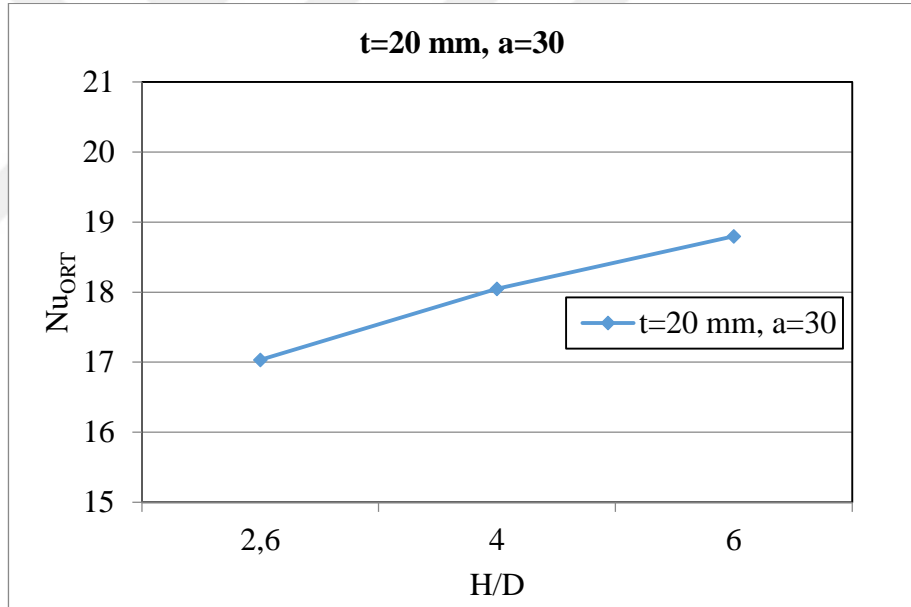
(b)

**Şekil 4.146.** Model 3 için (a) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



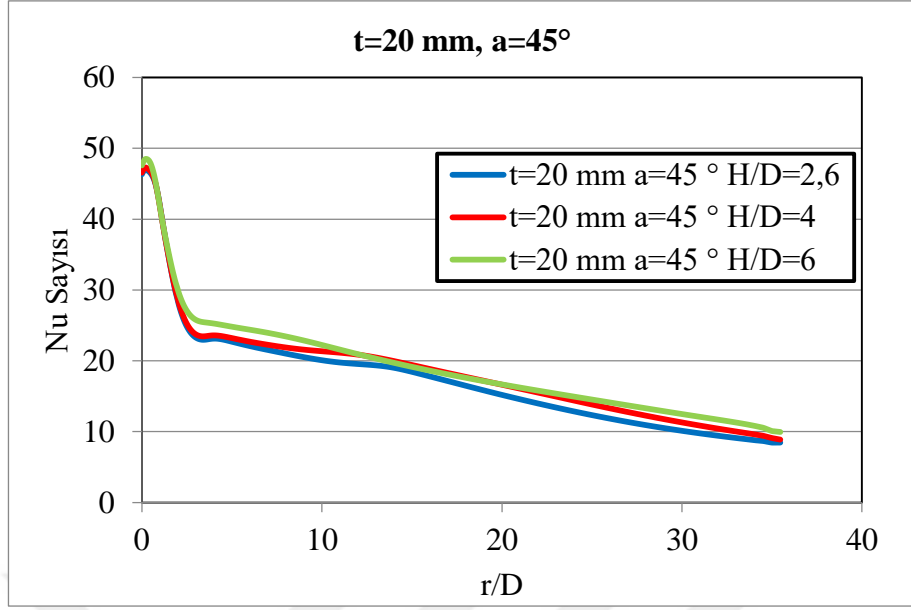


(a)

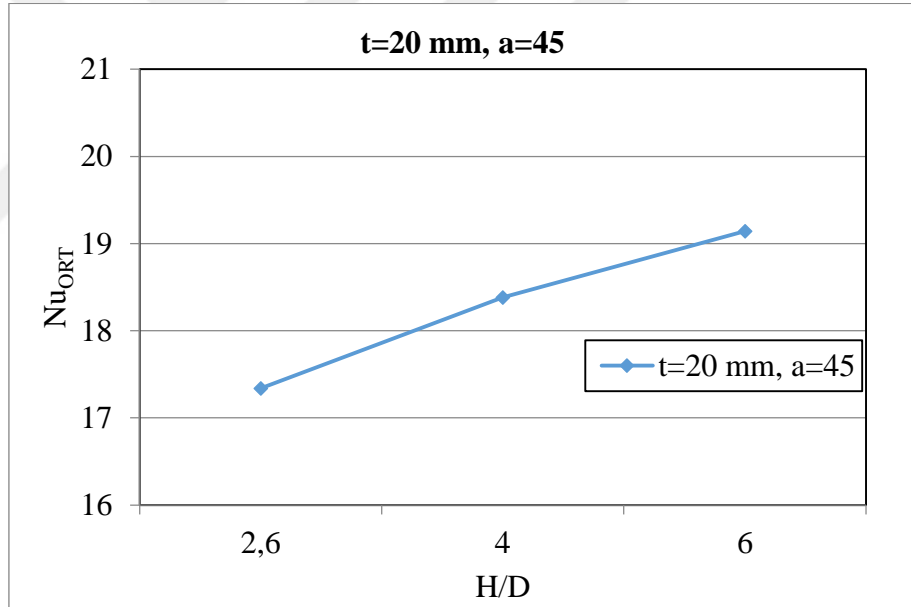


(b)

**Şekil 4.147.** Model 3 için (a) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

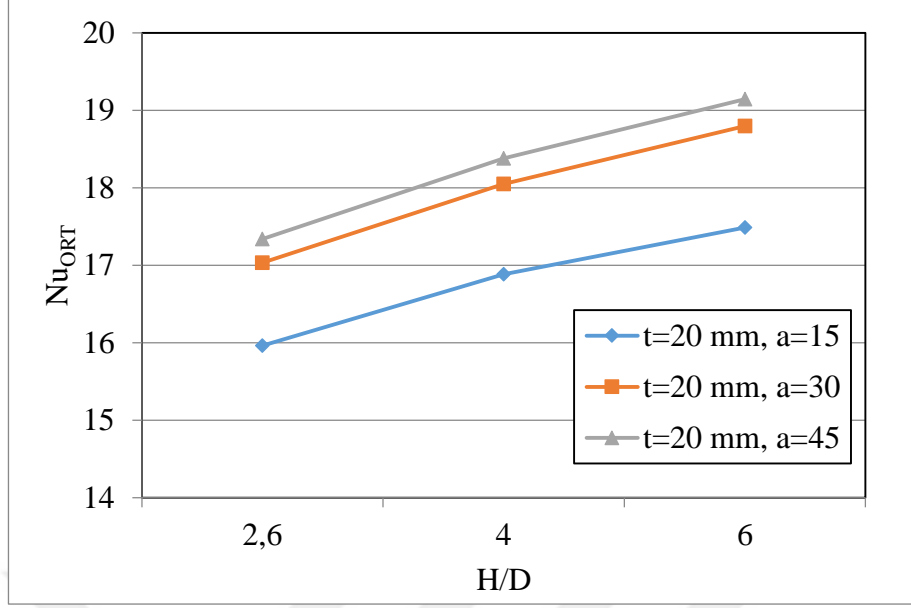


(a)



(b)

**Şekil 4.148.** Model 3 için (a) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

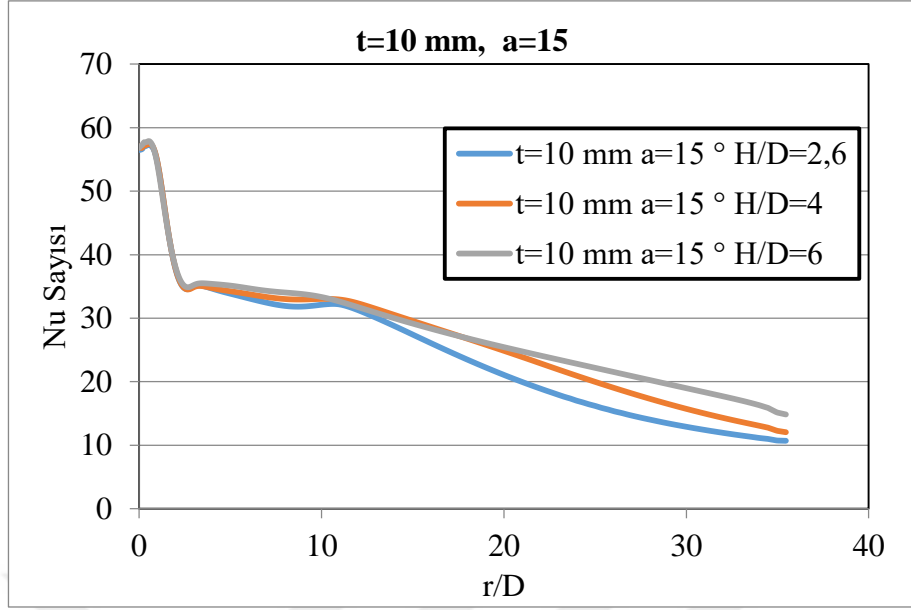


**Şekil 4.149.** Model 3 için sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit lüle açılarında  $H/D$  oranlarının ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkisi

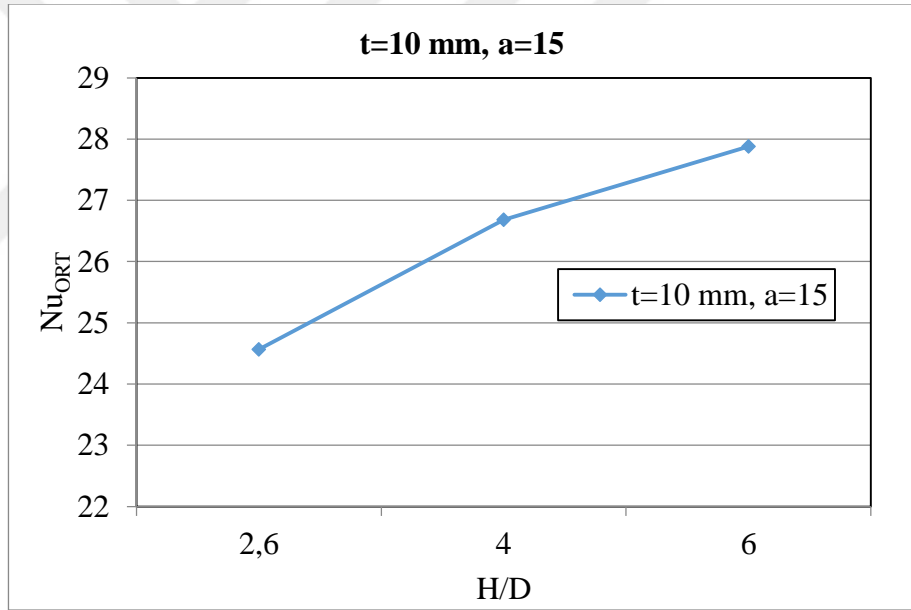
#### c) Model 4 grafikleri

Model 4’de lüle açısının püskürtülen yüzeye doğru daralması, dolayısıyla hız profilinin giriş yaptığı bölgede delik çapının artmasına sebep olmuştur. Çapın daraldığı bölgede hız ve Reynolds sayısının birlikte artmasından dolayı türbülansın da artmasına olanak sağlamıştır. Bu nedenle ortalama  $Nu$  sayıları diğer modellere nazaran yüksektir.

$H/D$ ’nin etkisinin incelendiği bu durumda, sabit açı ve sabit kalınlık değerlerinde durum Model 2 ve Model 3’deki durumlardan farksızdır. Şekil 4.150 ile Şekil 4.161 arasındaki şekillerde sonuçlar gösterilmiştir.

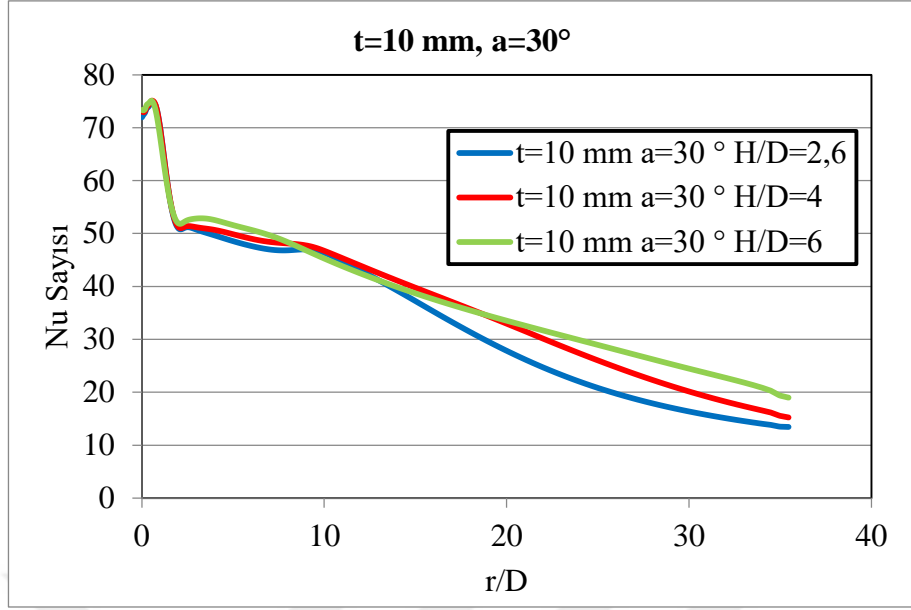


(a)

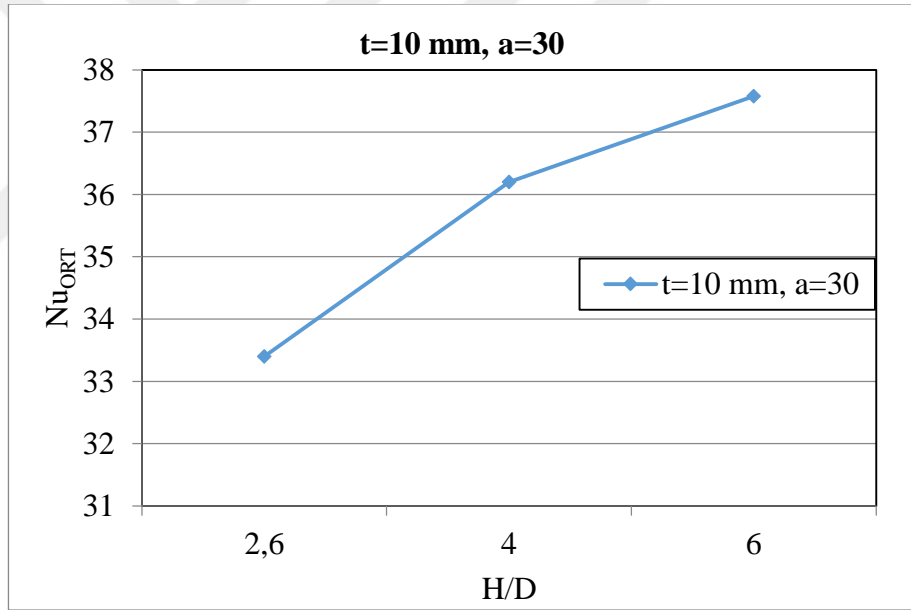


(b)

**Şekil 4.150.** Model 4 için (a) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

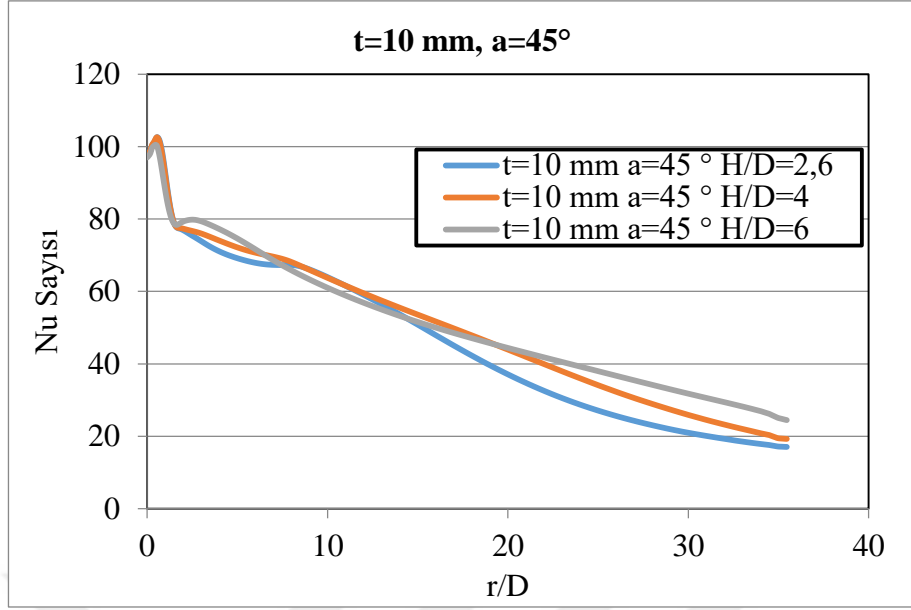


(a)

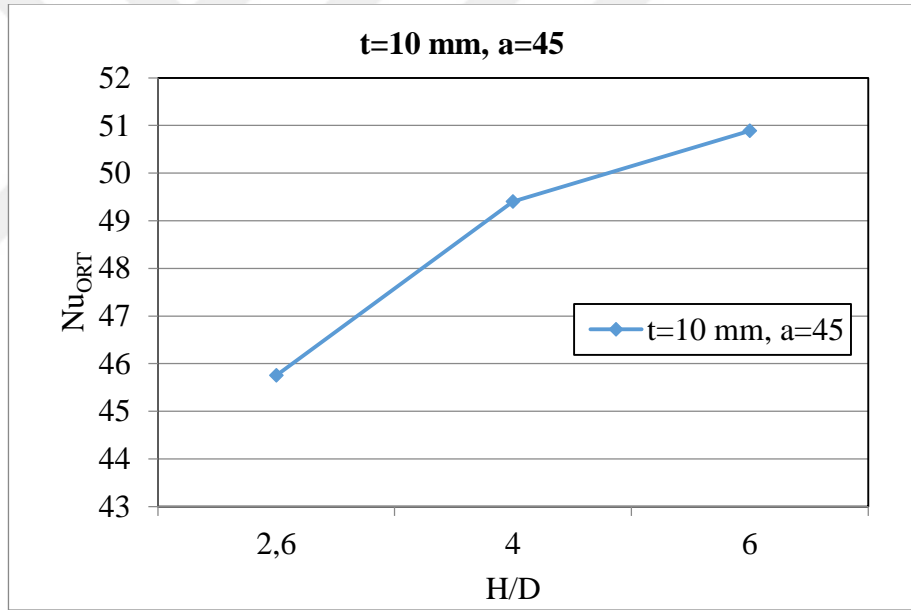


(b)

**Şekil 4.151.** Model 4 için (a) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

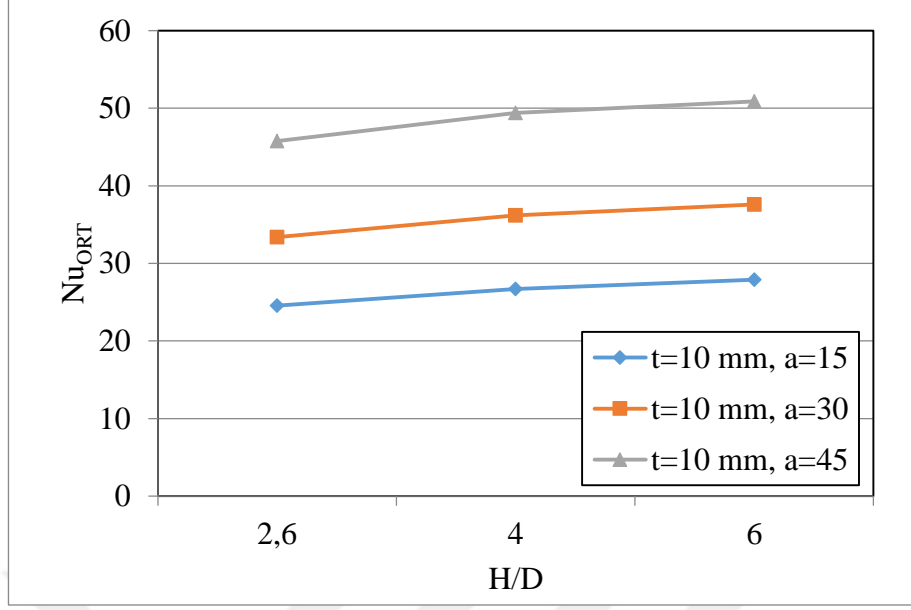


(a)

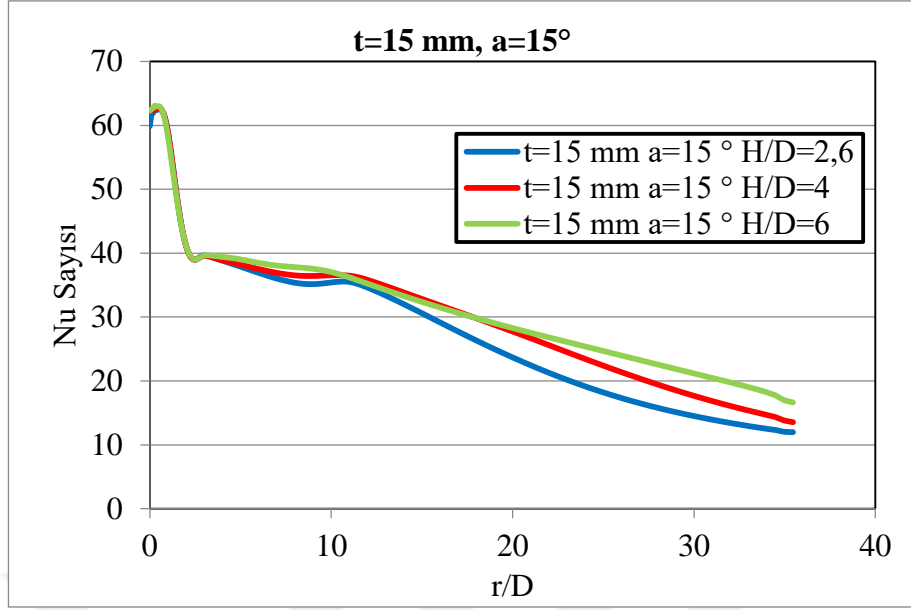


(b)

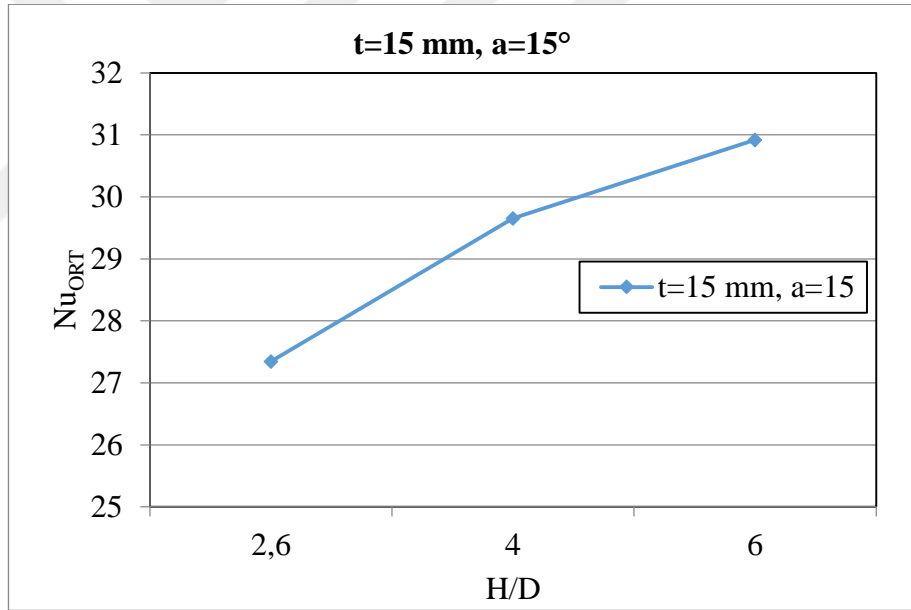
**Şekil 4.152.** Model 4 için (a) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.153.** Model 4 için sabit  $t=10$  mm kalınlık ve sabit lüle açılarında  $H/D$  oranlarının ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkisi



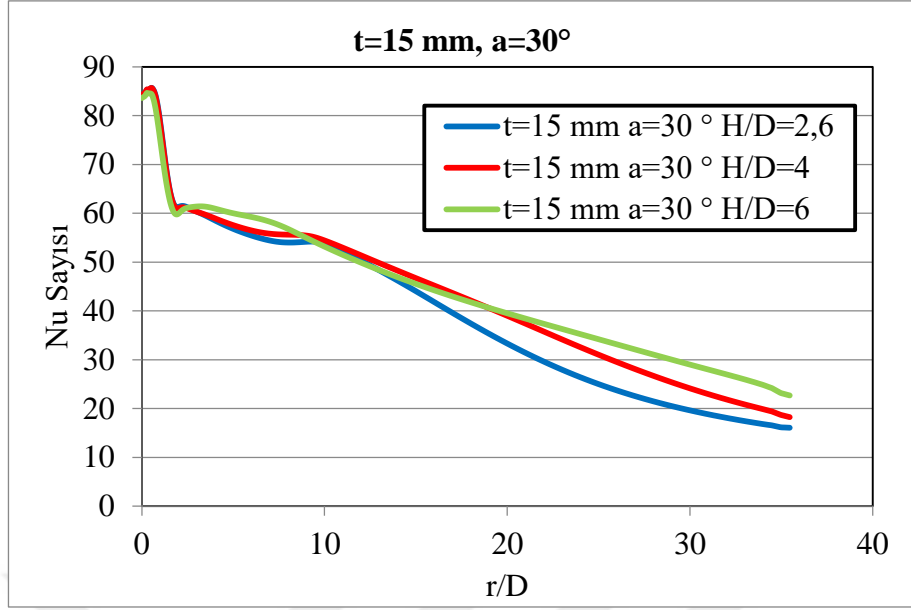
(a)



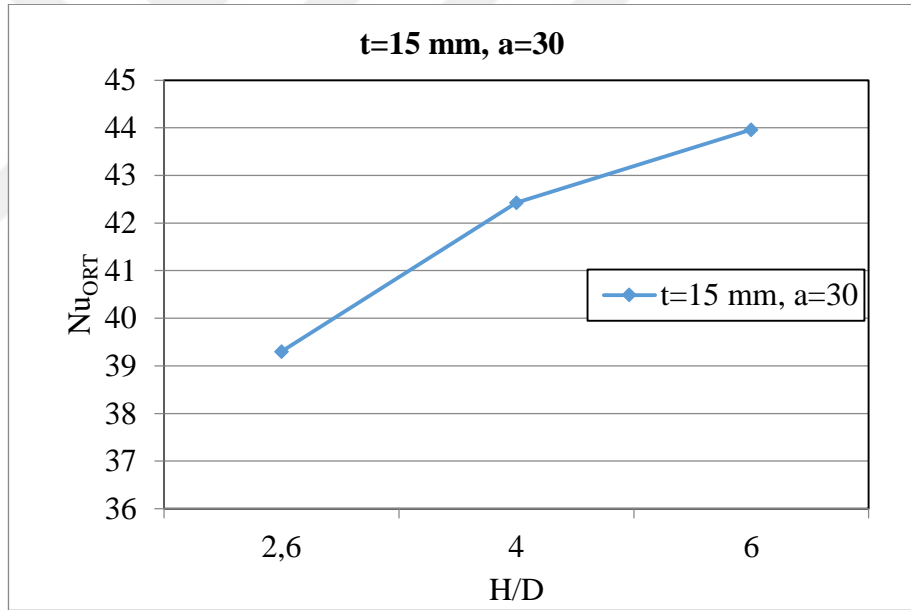
(b)

**Şekil 4.154.** Model 4 için (a) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



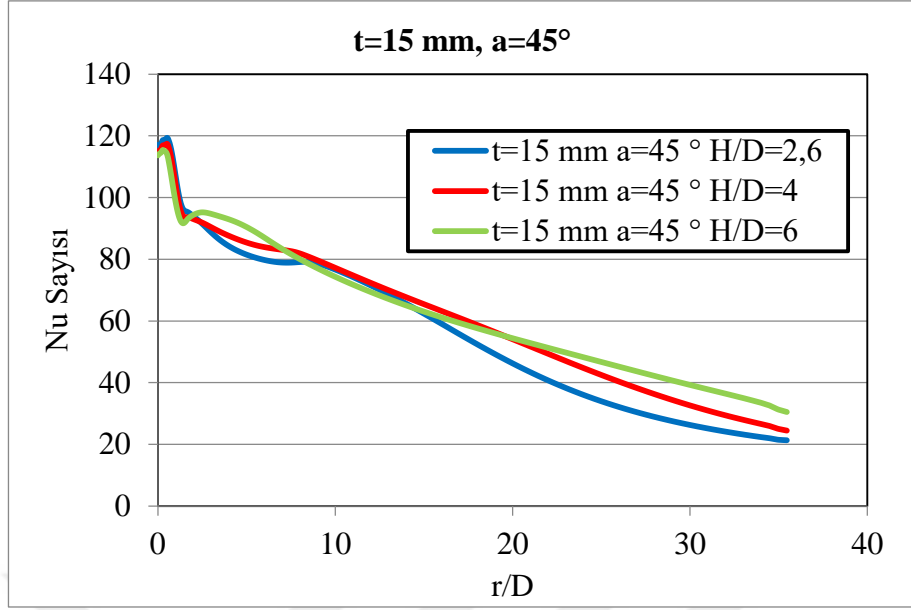


(a)

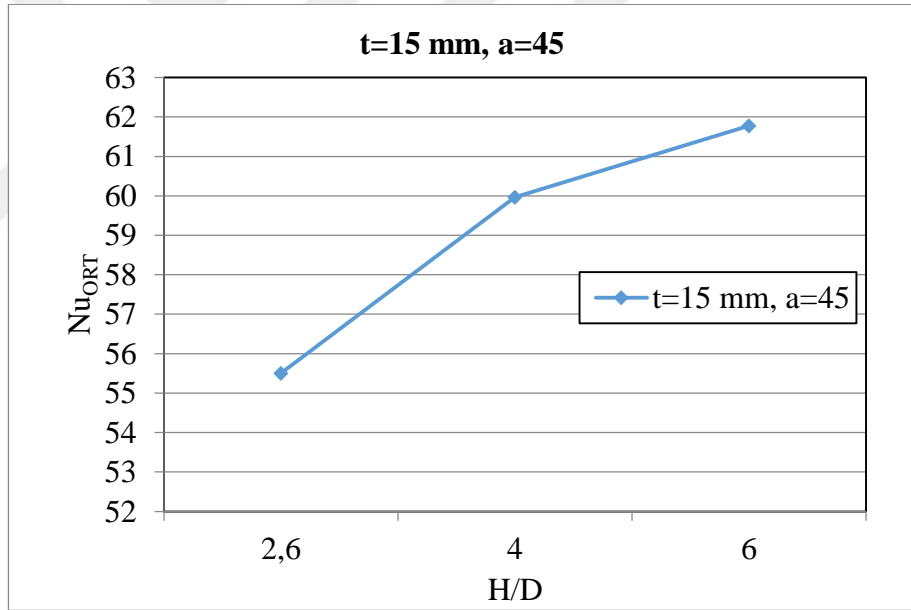


(b)

**Şekil 4.155.** Model 4 için (a) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

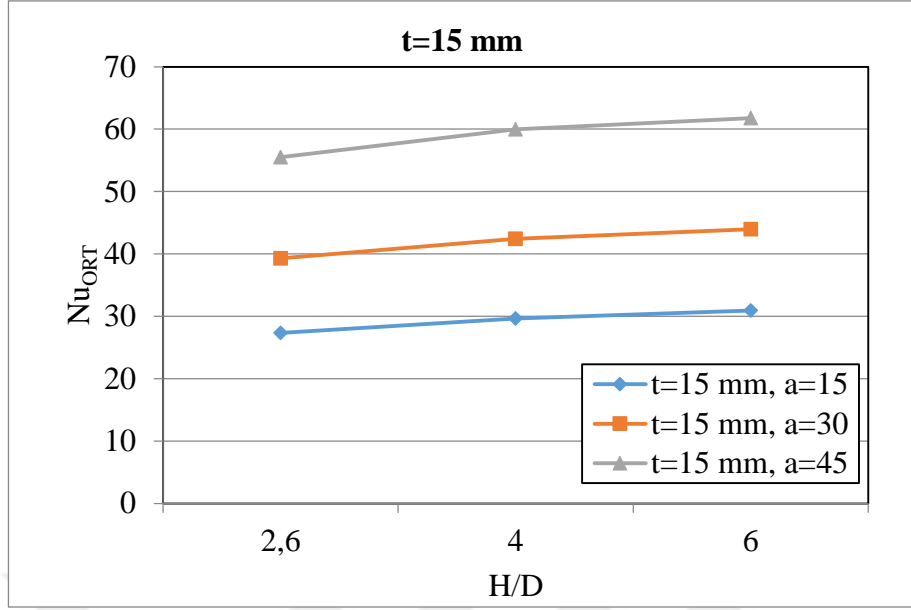


(a)

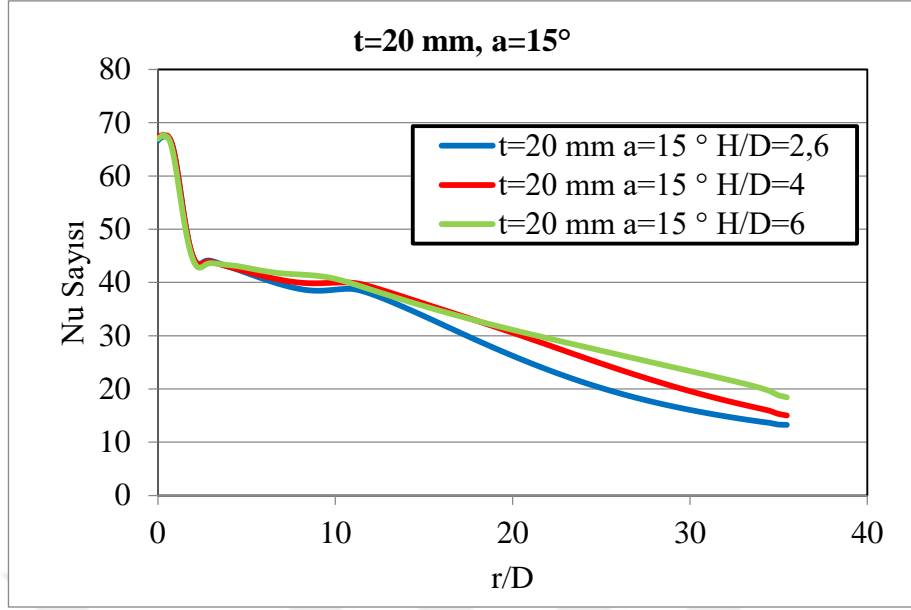


(b)

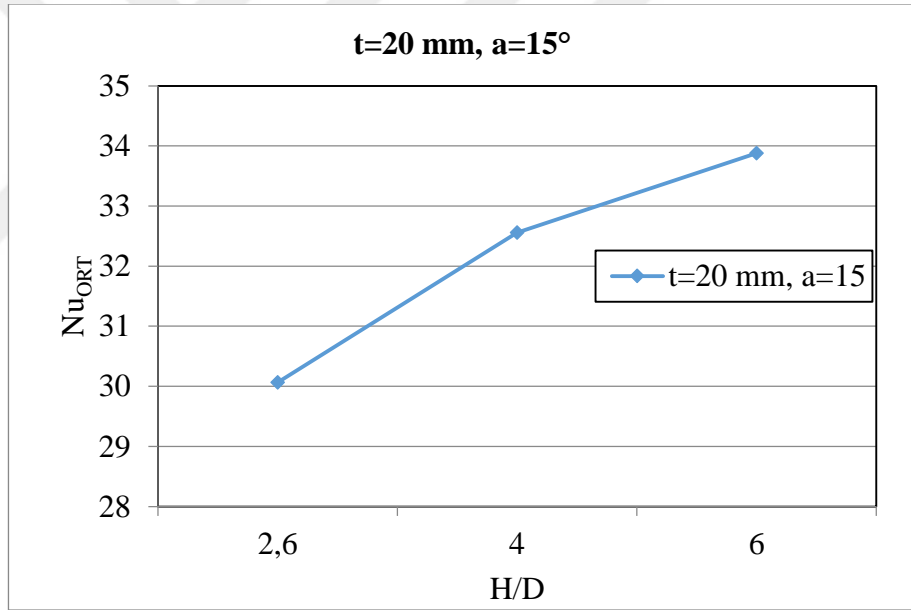
**Şekil 4.156.** Model 4 için (a) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.157.** Model 4 için sabit  $t=15$  mm kalınlık ve sabit lüle açıklarında H/D oranlarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi

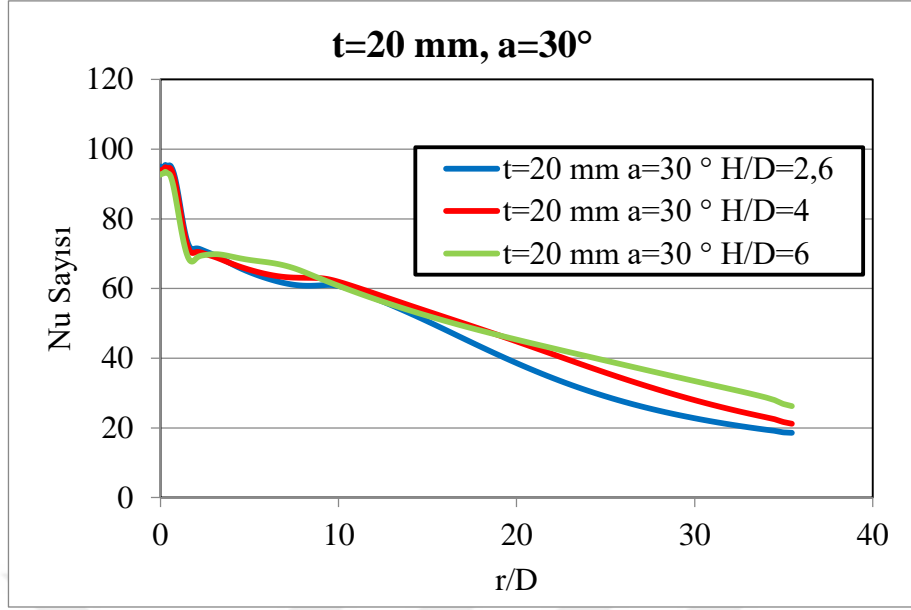


(a)

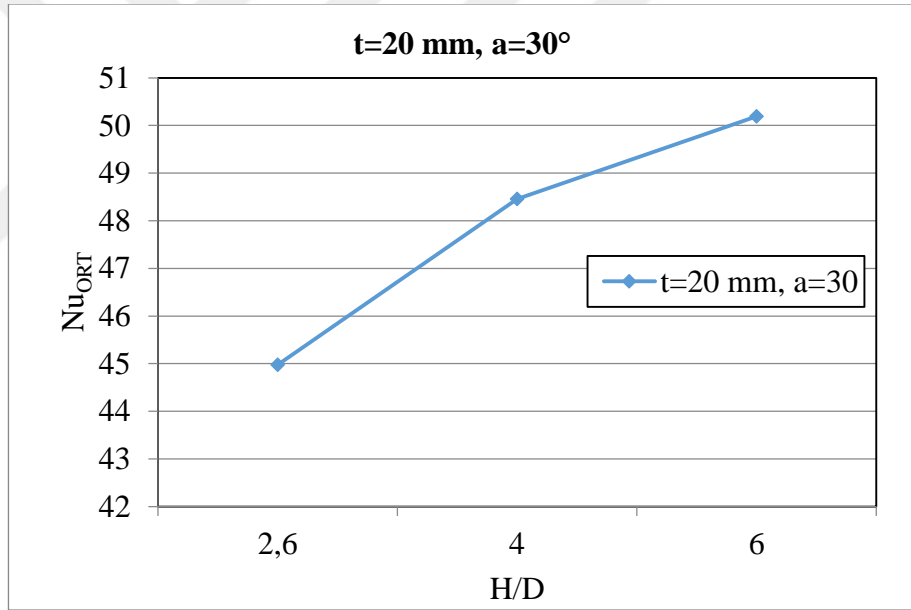


(b)

**Şekil 4.158.** Model 4 için (a) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

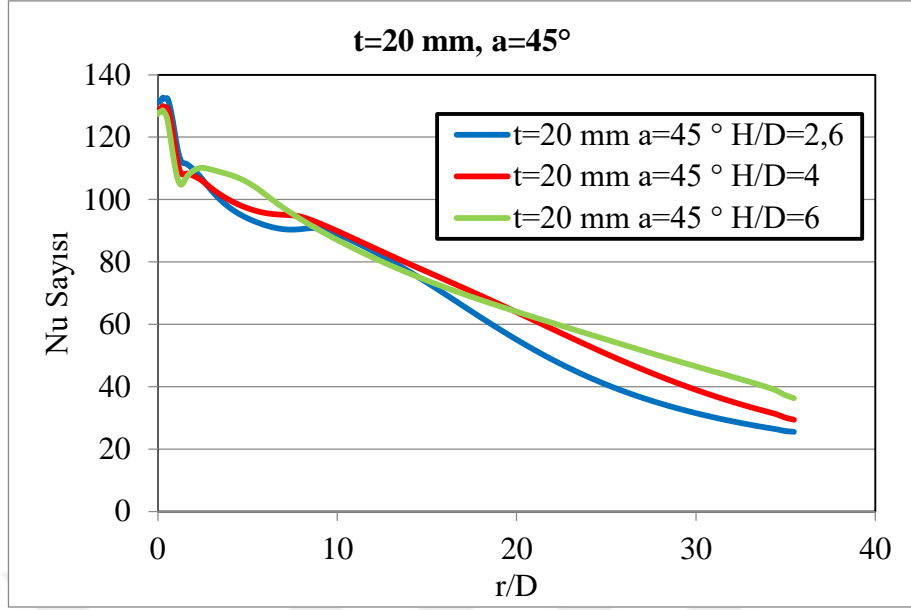


(a)

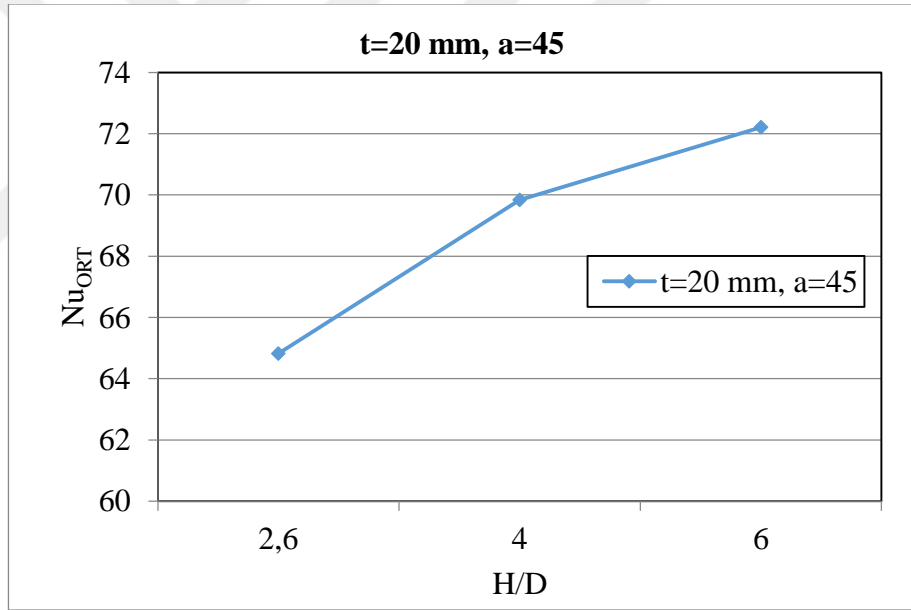


(b)

**Şekil 4.159.** Model 4 için (a) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

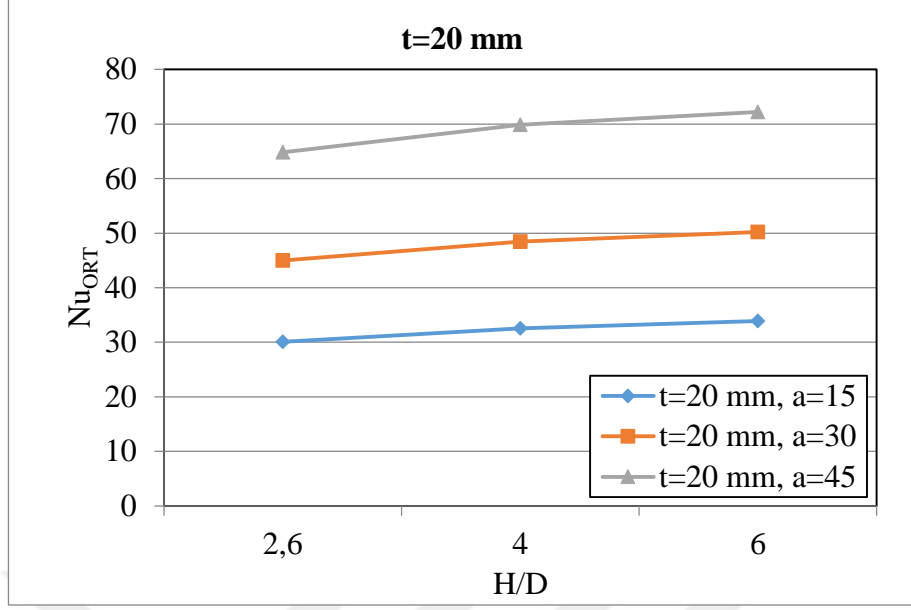


(a)



(b)

**Şekil 4.160.** Model 4 için (a) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı  $H/D$  oranlarında ortalama Nu sayısının değişimi

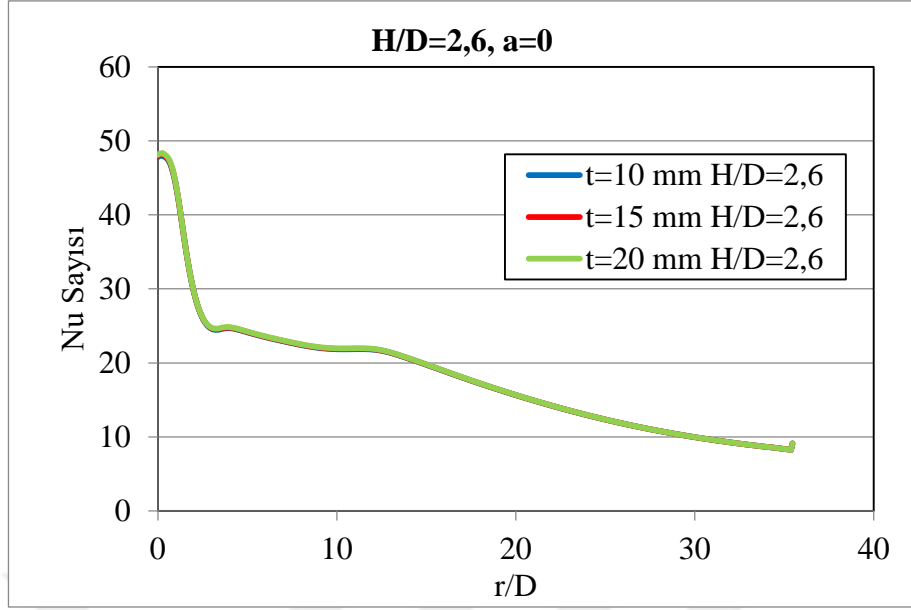


**Şekil 4.161.** Model 4 için sabit  $t=20$  mm kalınlık ve sabit lüle açılarında  $H/D$  oranlarının ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkisi

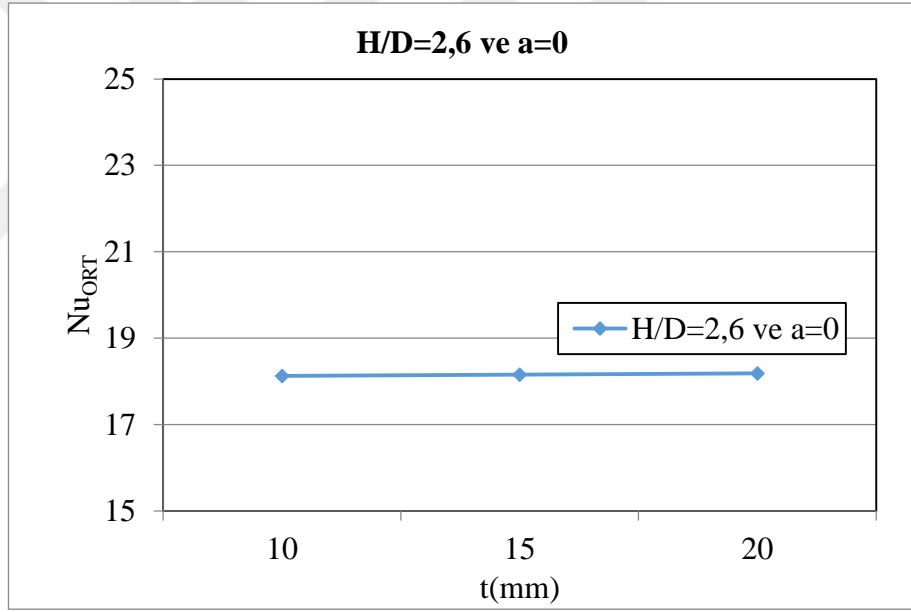
#### 4.3.2. $H/D$ ve lüle açısı sabit iken kalınlığın etkisi

##### a) Model 2 grafikleri

Model 2’de lüle açısı tüm koşullarda sabit ve  $0^\circ$ ’dir. Sabit  $H/D$  oranlarındaki kalınlığın etkisi incelendiğinde, kalınlık artışının  $Nu$  sayısı dağılımı ve ortalama  $Nu$  sayılarında değişiklik yaratmadığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.162 ile Şekil 4.165 arasında gösterilmiştir.



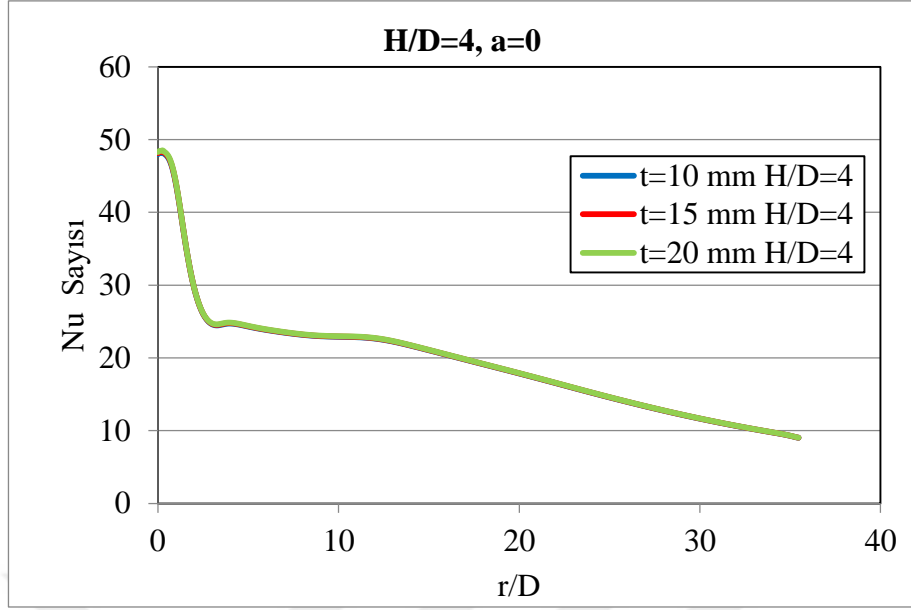
(a)



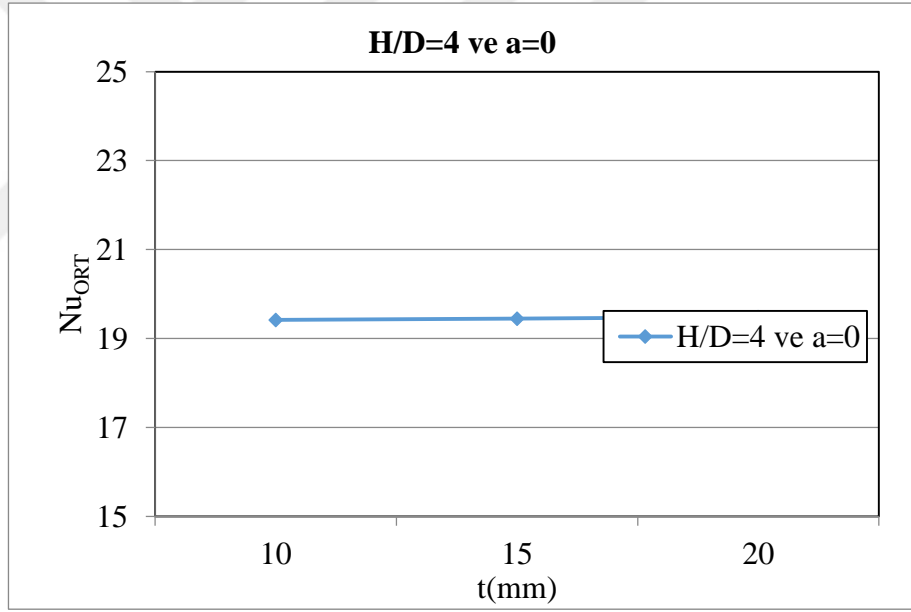
(b)

**Şekil 4.162.** Model 2 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



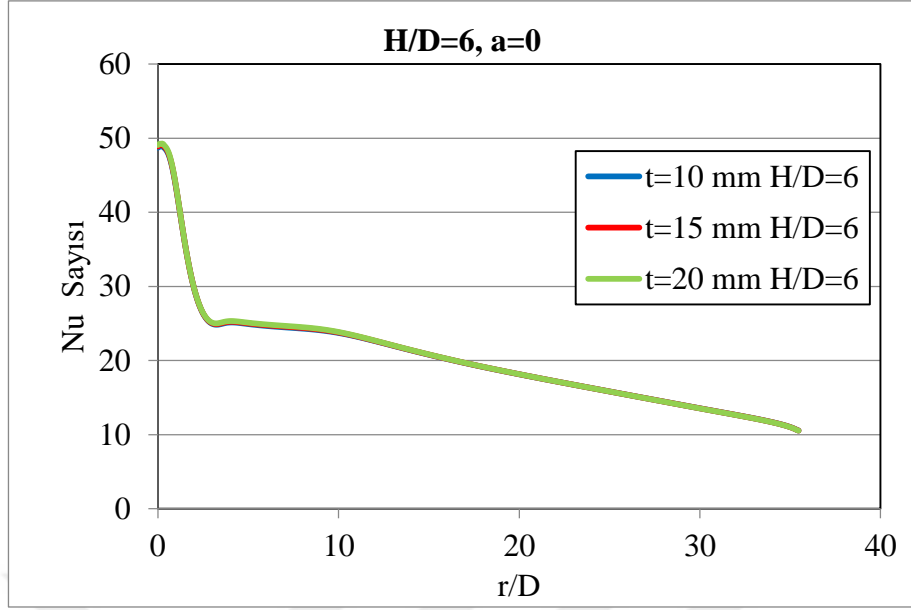


(a)

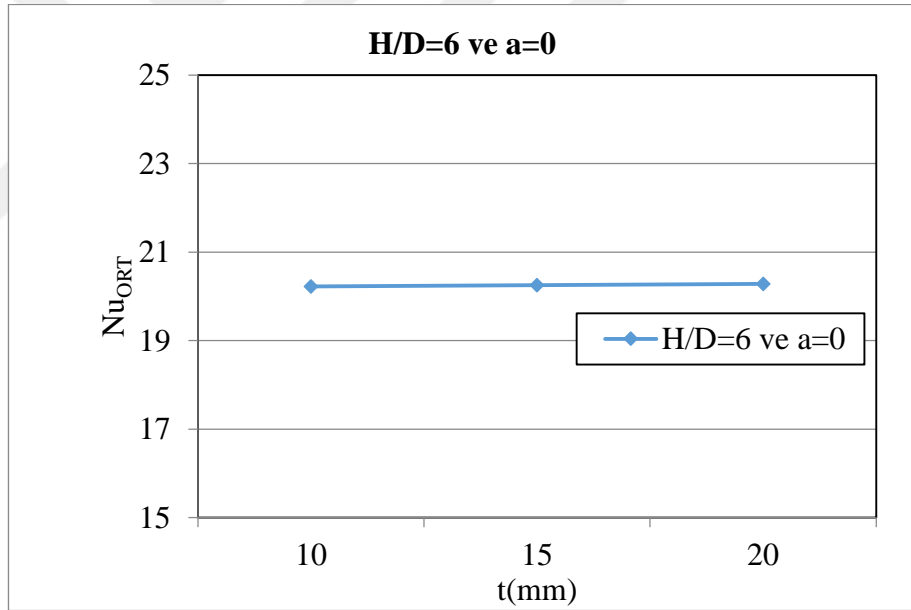


(b)

**Şekil 4.163.** Model 2 için (a) sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

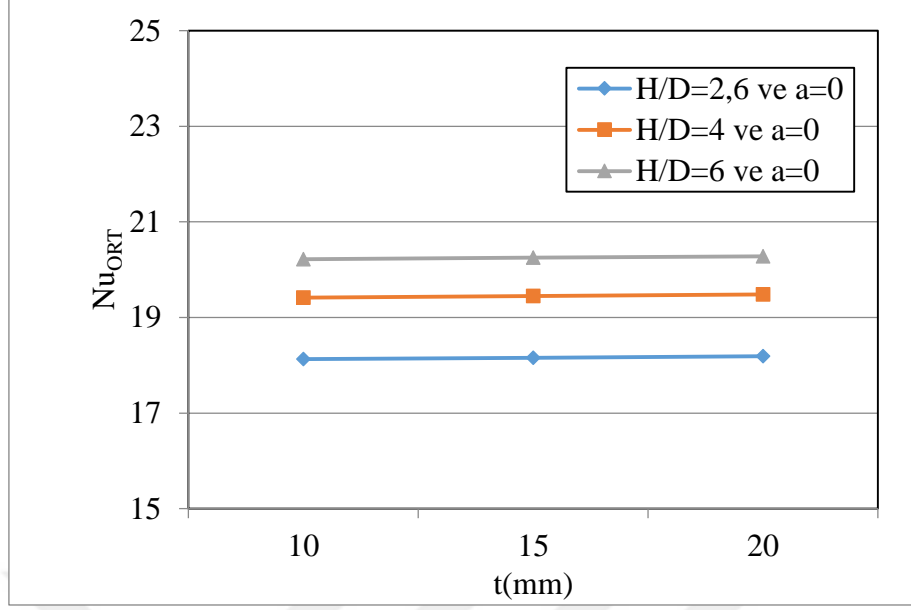


(a)



(b)

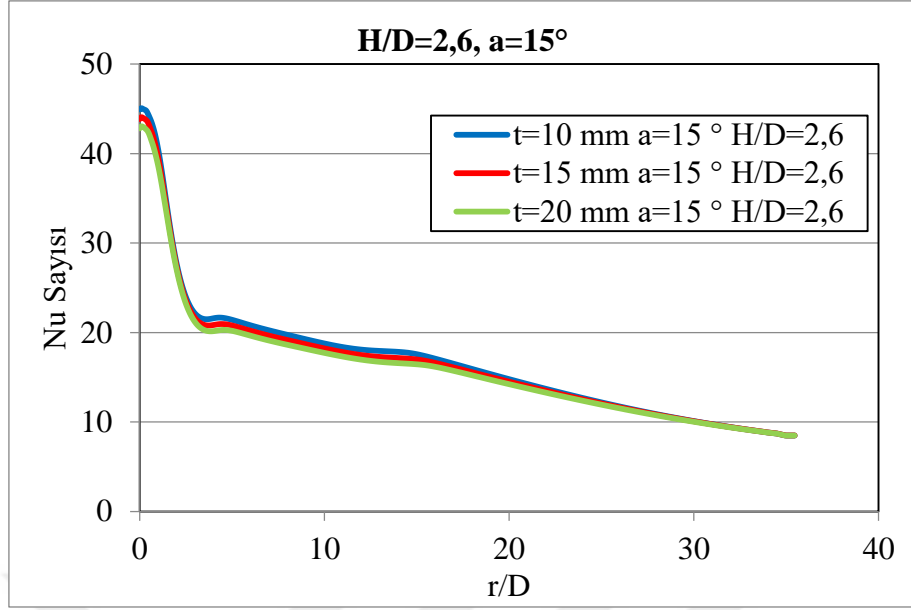
**Şekil 4.164.** Model 2 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



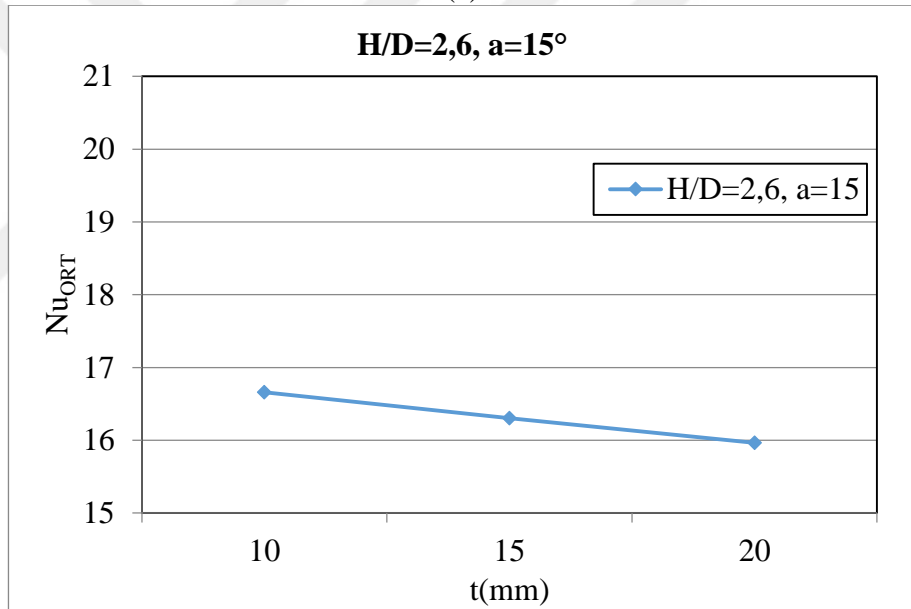
**Şekil 4.165.** Model 2 için sabit H/D oranlarında ve sabit  $a=0^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

#### b) Model 3 grafikleri

Model 3'e ait grafikler incelendiğinde genel olarak Model 2 ile lokal Nu sayılarının dağılımı benzer davranış sergilemektedir. Model 2'den farklı olarak ortalama Nu sayısı artan kalınlık ile çok az bir azalma eğilimi göstermektedir. Sonuçlar Şekil 4.166 ile Şekil 4.177 arasında gösterilmiştir.

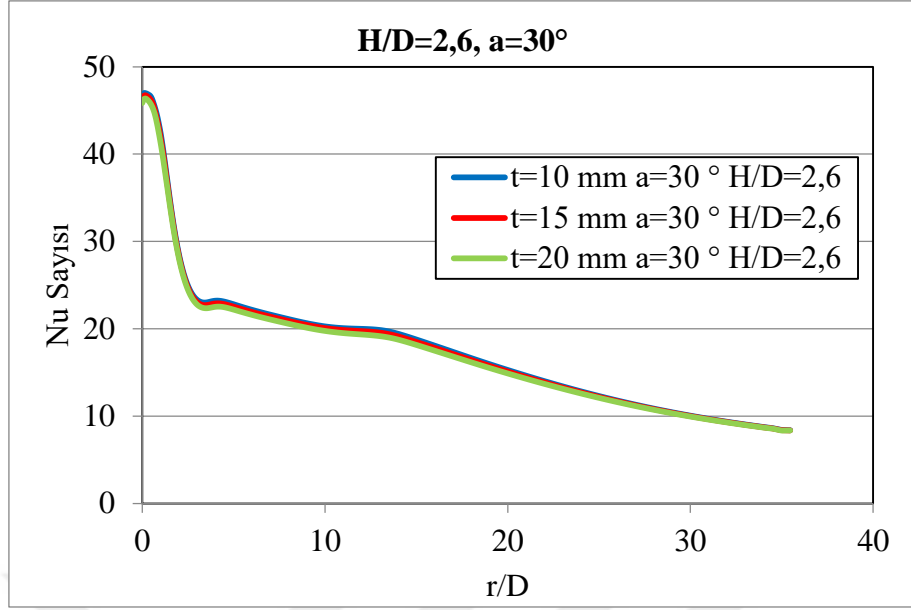


(a)

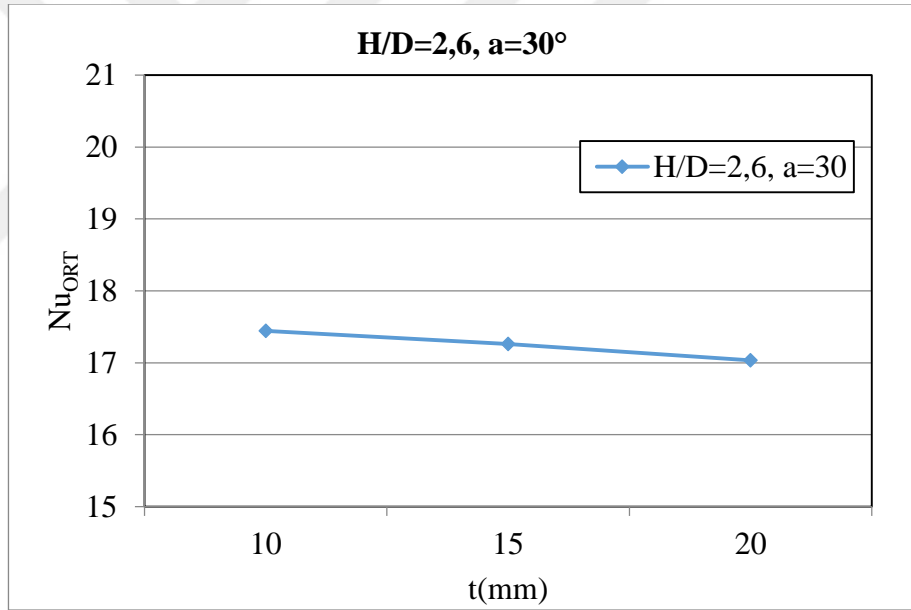


(b)

**Şekil 4.166.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

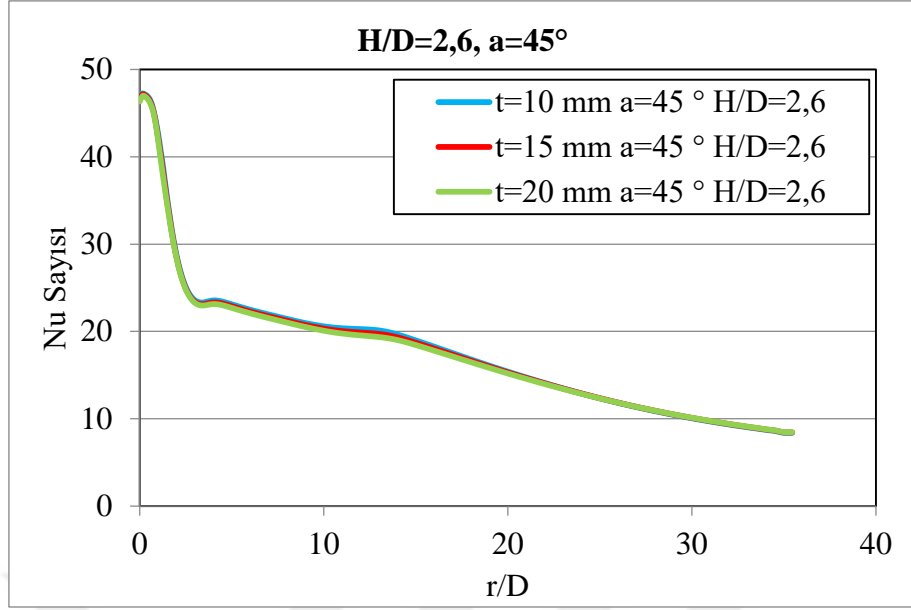


(a)

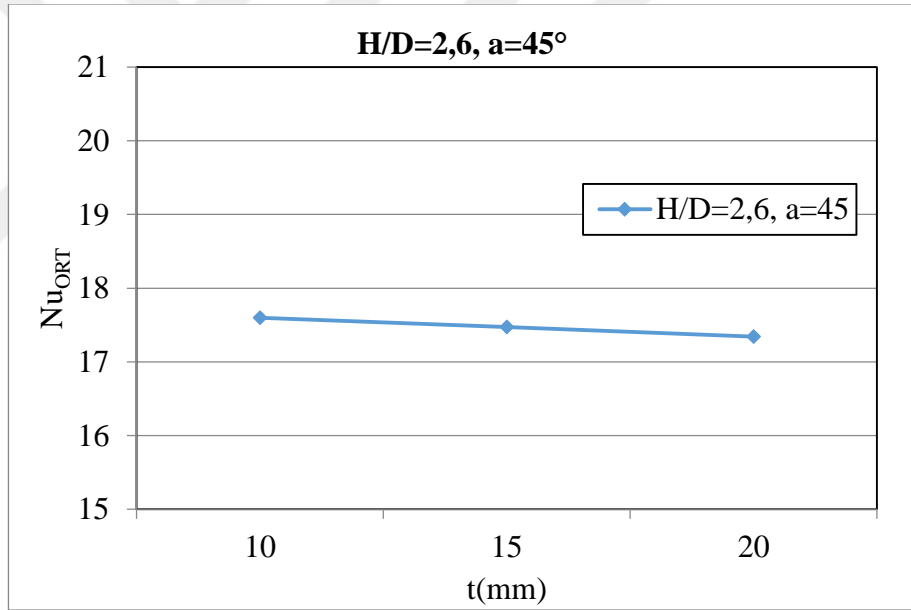


(b)

**Şekil 4.167.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

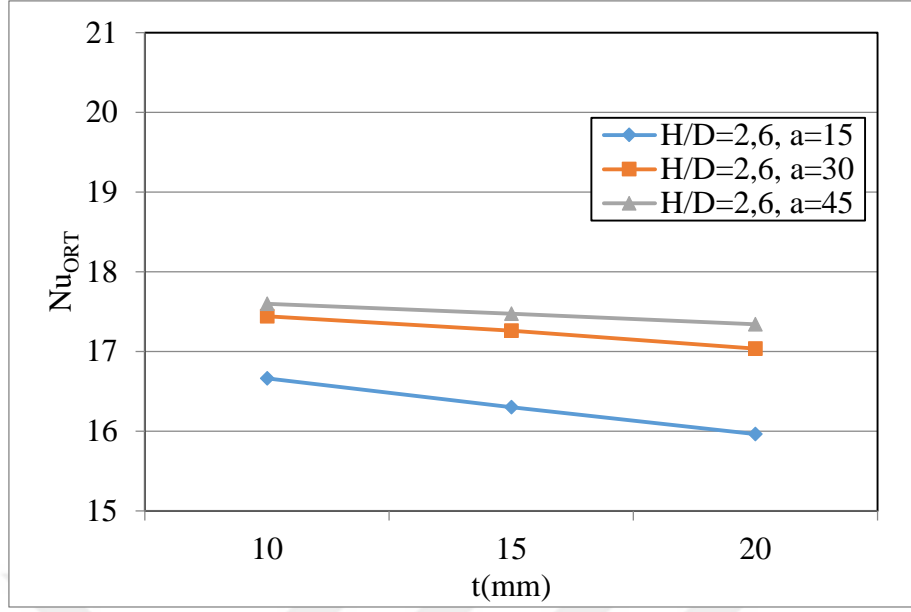


(a)

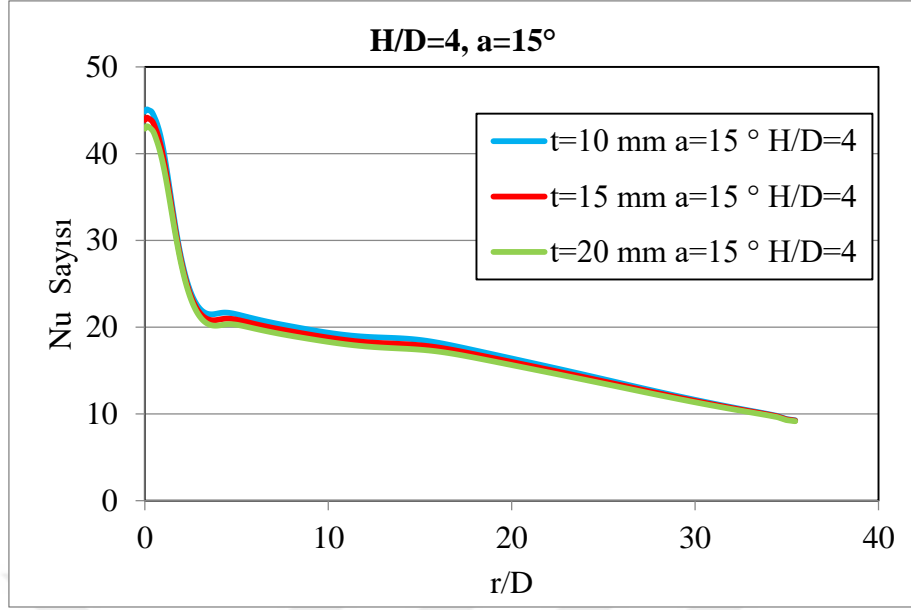


(b)

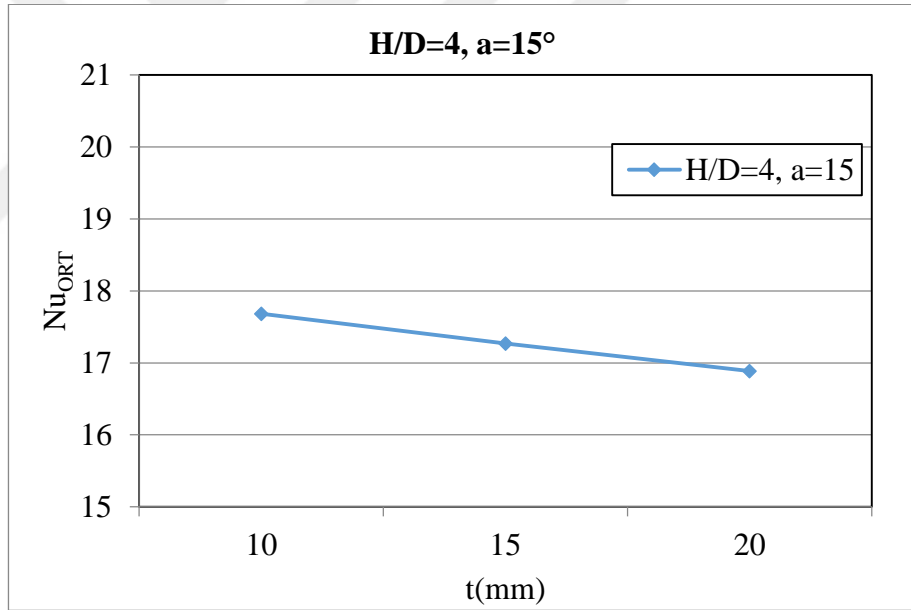
**Şekil 4.168.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.169.** Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit lüle açıklarında farklı kalınlıklarda ortalama  $Nu$  sayısının değişimi



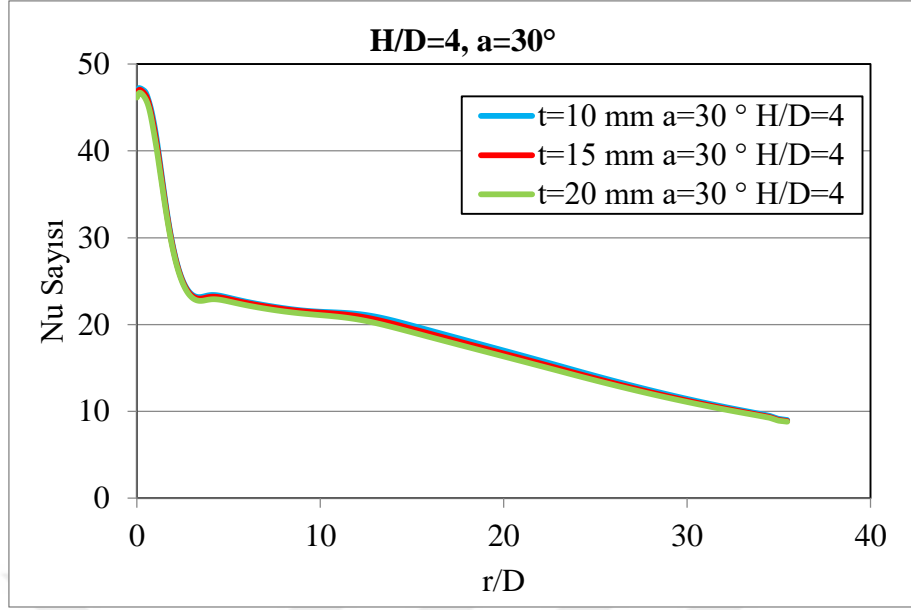
(a)



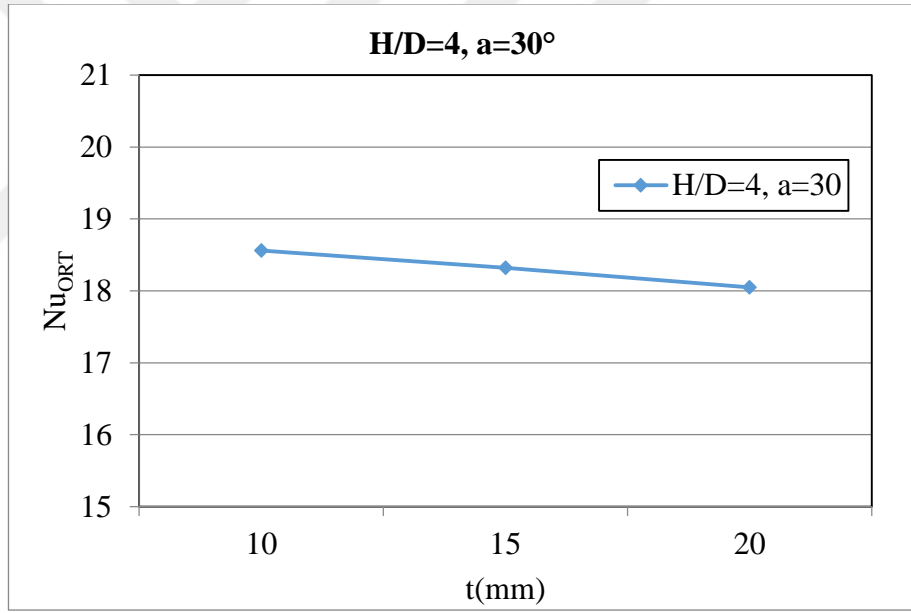
(b)

**Şekil 4.170.** Model 3 için (a) Sabit H/D=4 oranında ve sabit a= 15° lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının r/D'ye bağlı değişimi (b) Sabit H/D=4 oranında ve sabit a= 15° lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



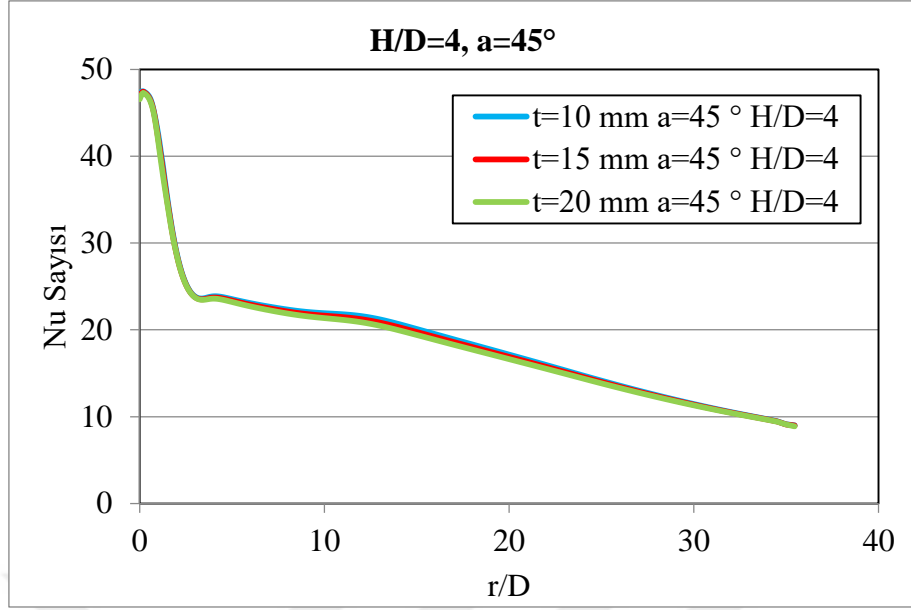


(a)

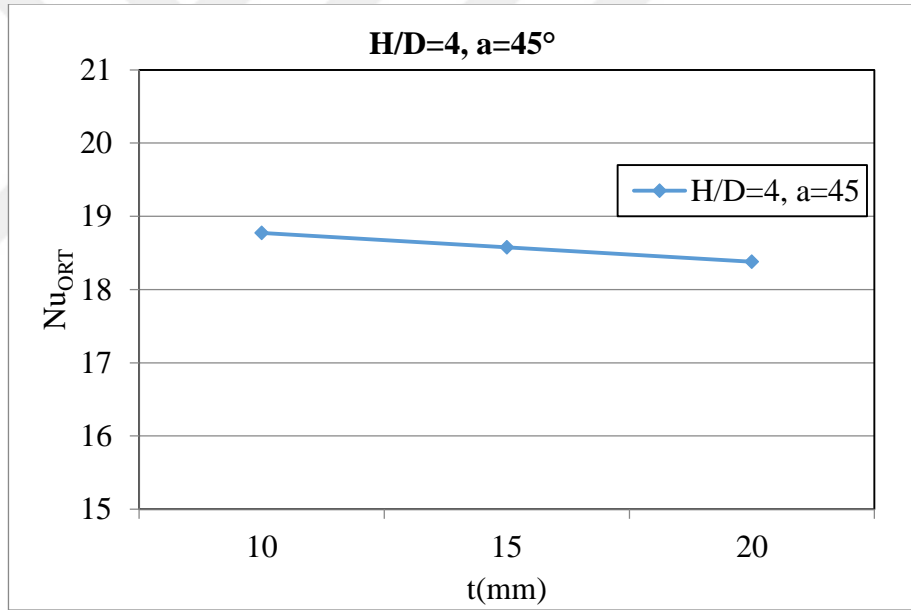


(b)

**Şekil 4.171.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a= 30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a= 30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

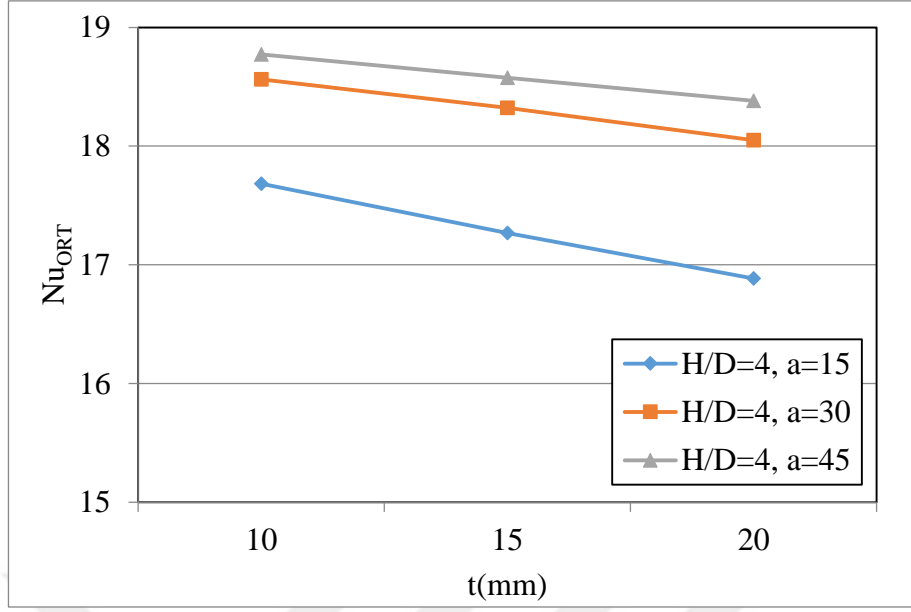


(a)

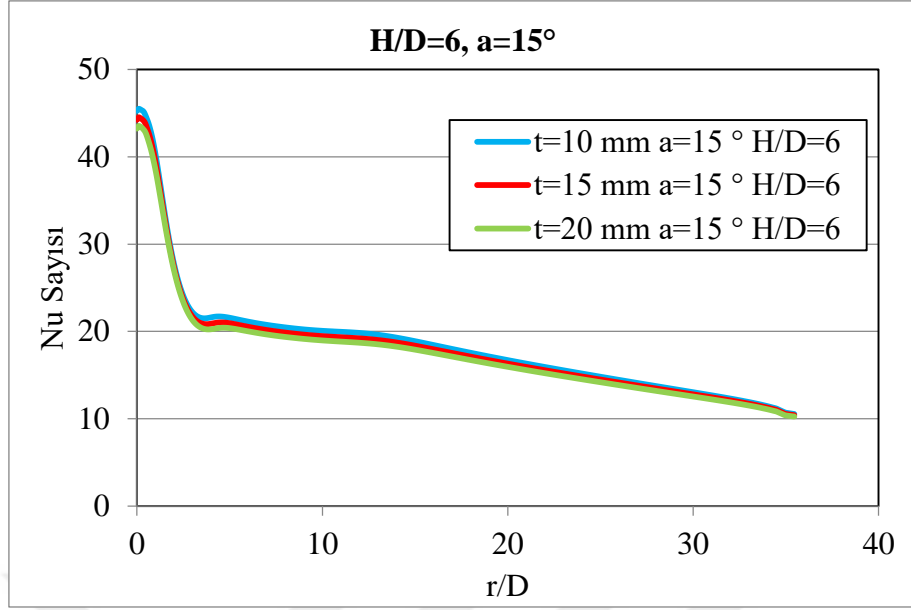


(b)

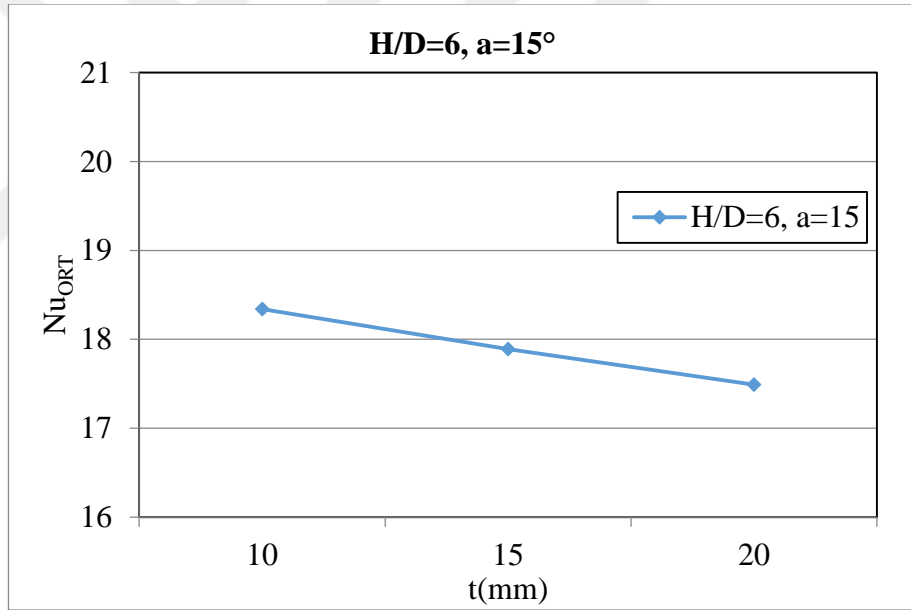
**Şekil 4.172.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.173.** Model 3 için sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri

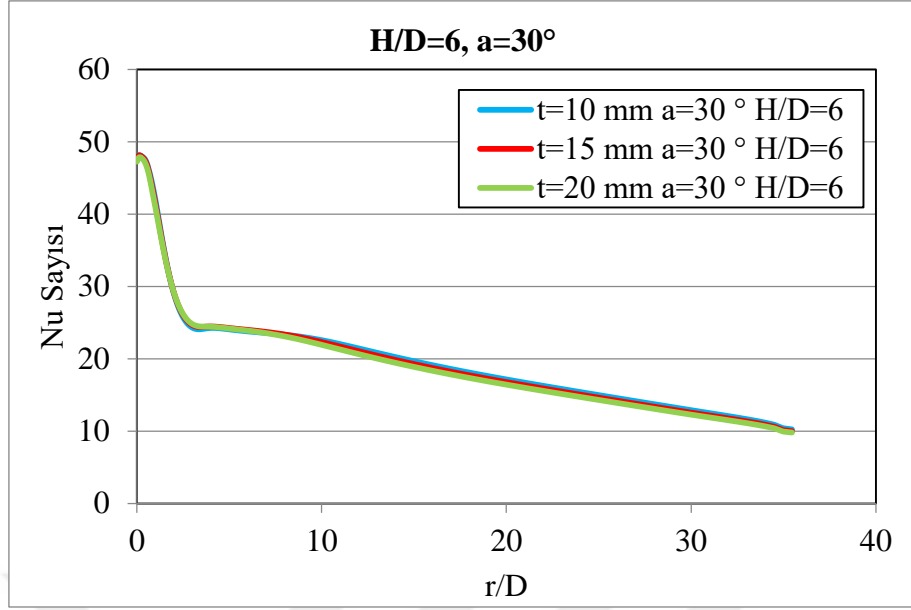


(a)

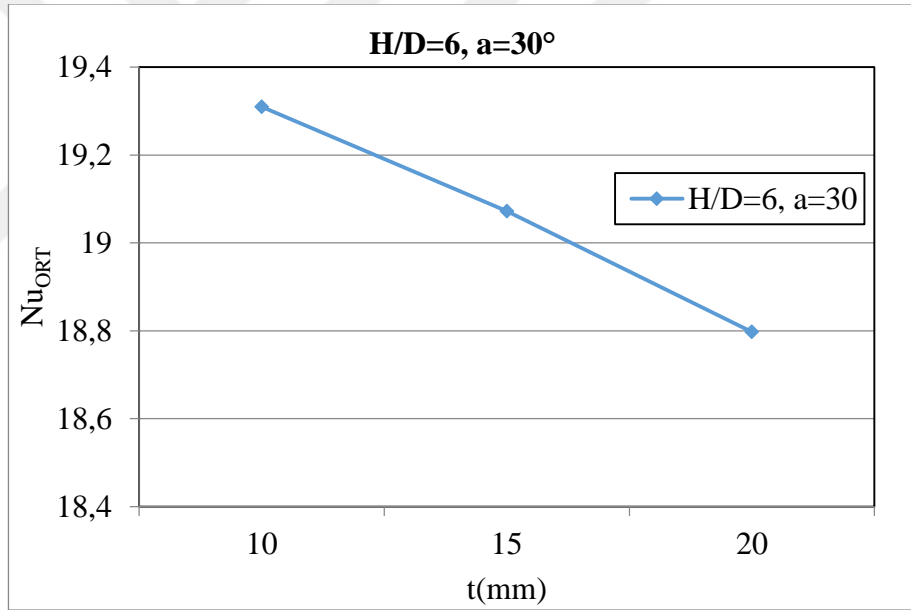


(b)

**Şekil 4.174.** Model 3 için (a) Sabit H/D=6 oranında ve sabit a= 15° lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının r/D'ye bağlı değişimi (b) Sabit H/D=6 oranında ve sabit a= 15° lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

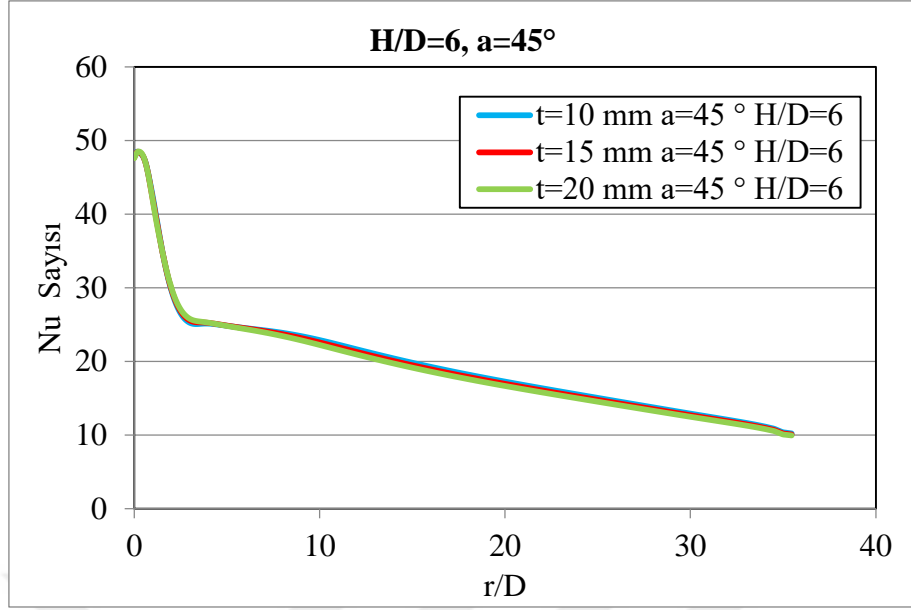


(a)

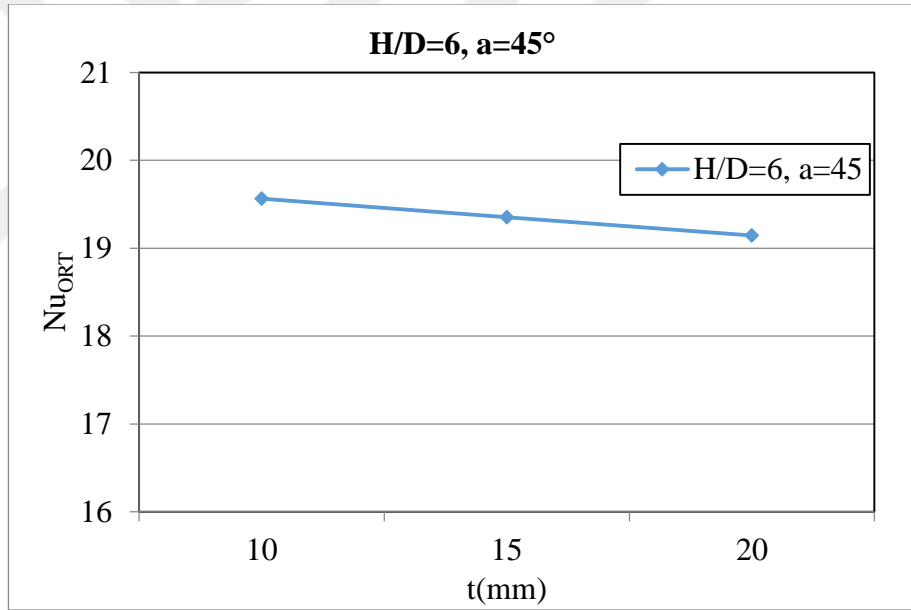


(b)

**Şekil 4.175.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

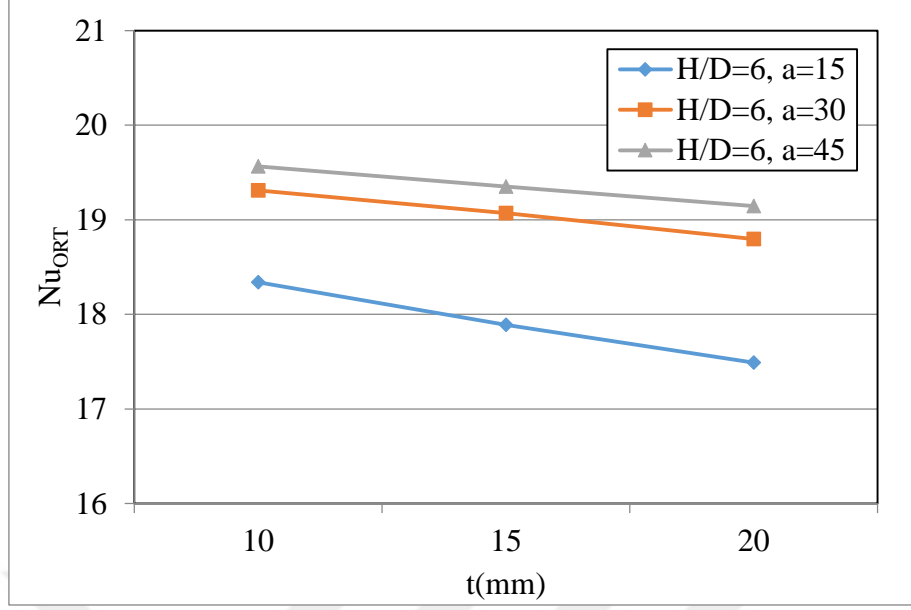


(a)



(b)

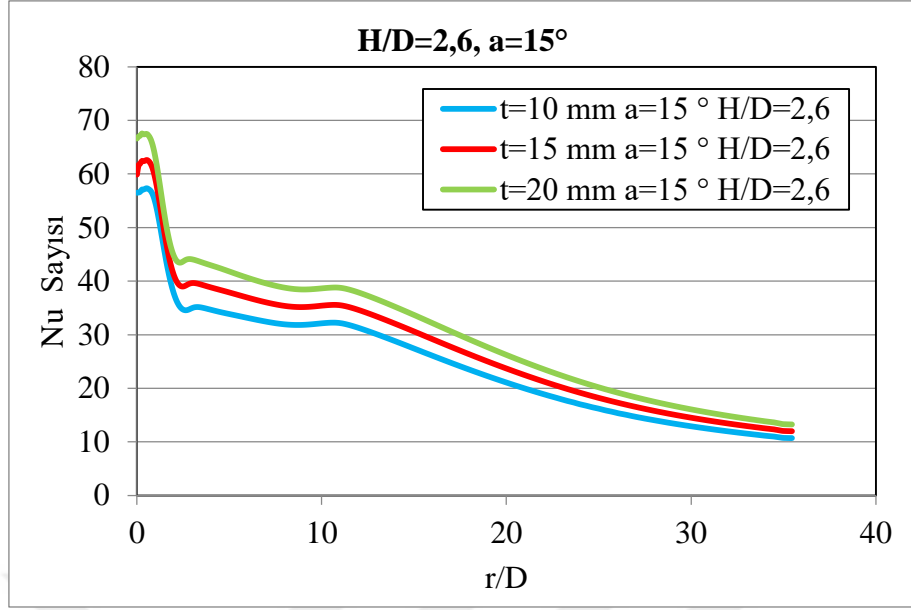
**Şekil 4.176.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



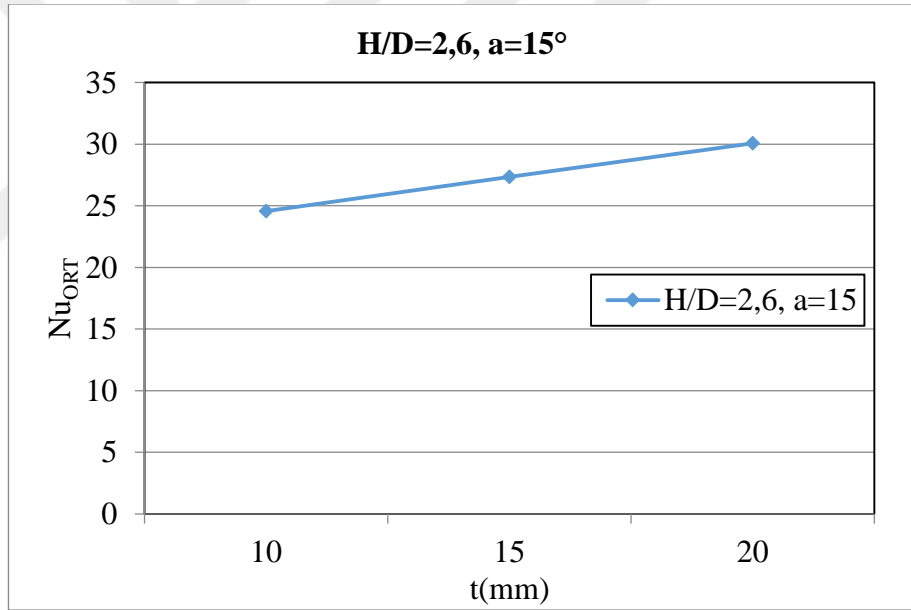
**Şekil 4.177.** Model 3 için sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkileri

#### d) Model 4 grafikleri

Model 4'e has bir özellik olarak, sabit  $H/D$  ve sabit lüle açısında kalınlık arttırıldığında havanın lüleye girdiği kısımdaki lüle giriş çapı artmakta daralan çapta Reynolds sayısı artmakta ve buna bağlı olarak türbülans artmaktadır. Bu nedenle bu modelde diğer modellere nazaran kalınlık arttıkça daha büyük artışlar gözlemlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.178 ile Şekil 4.189 arasında gösterilmiştir.



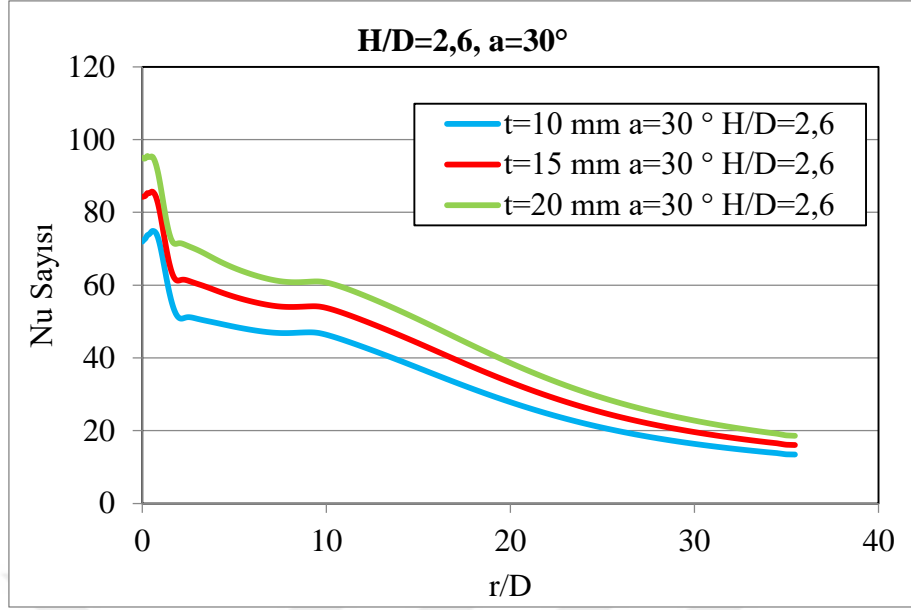
(a)



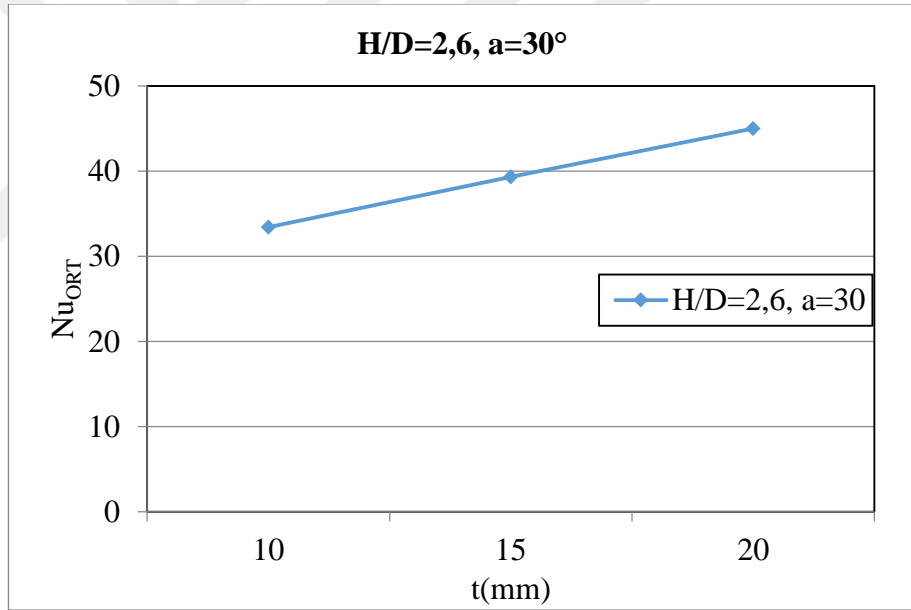
(b)

**Şekil 4.178.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



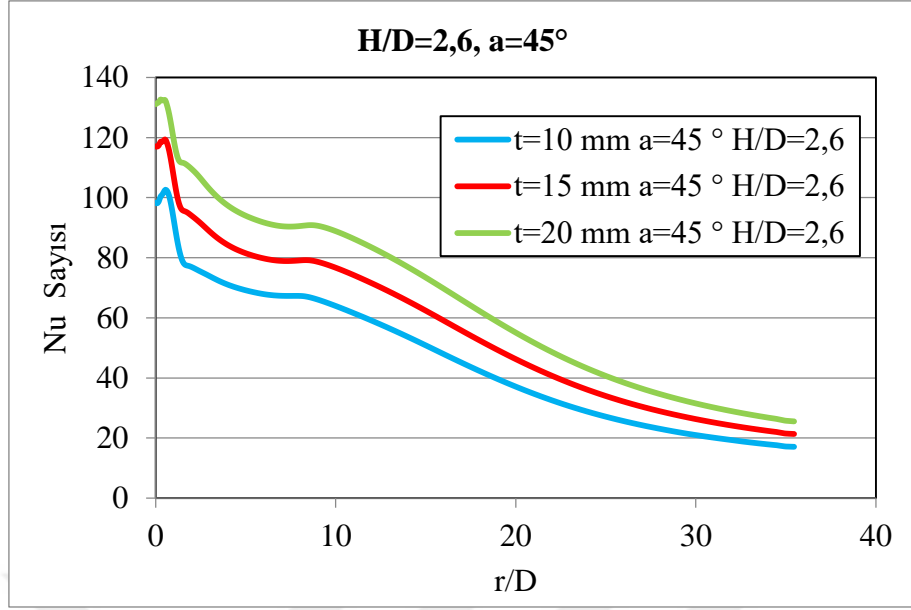


(a)

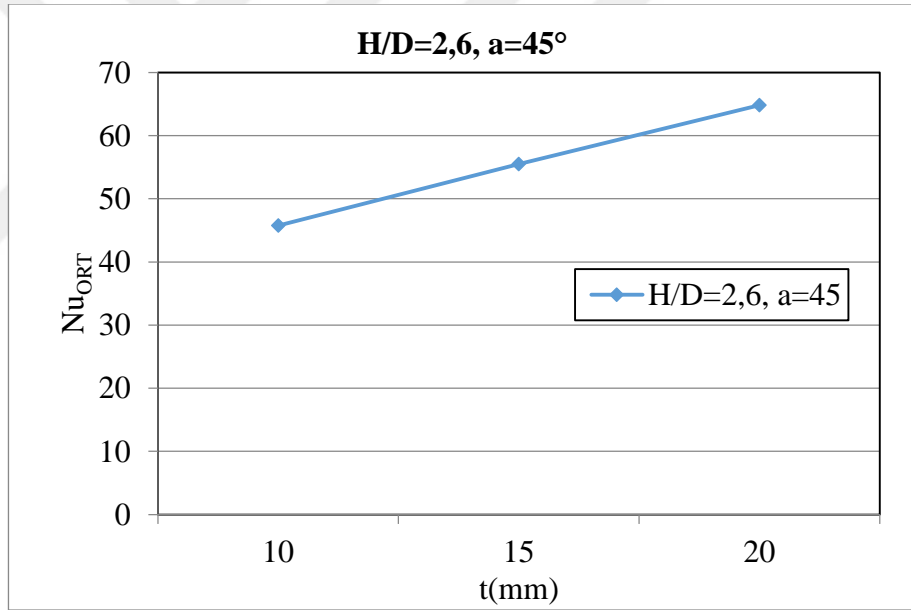


(b)

**Şekil 4.179.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

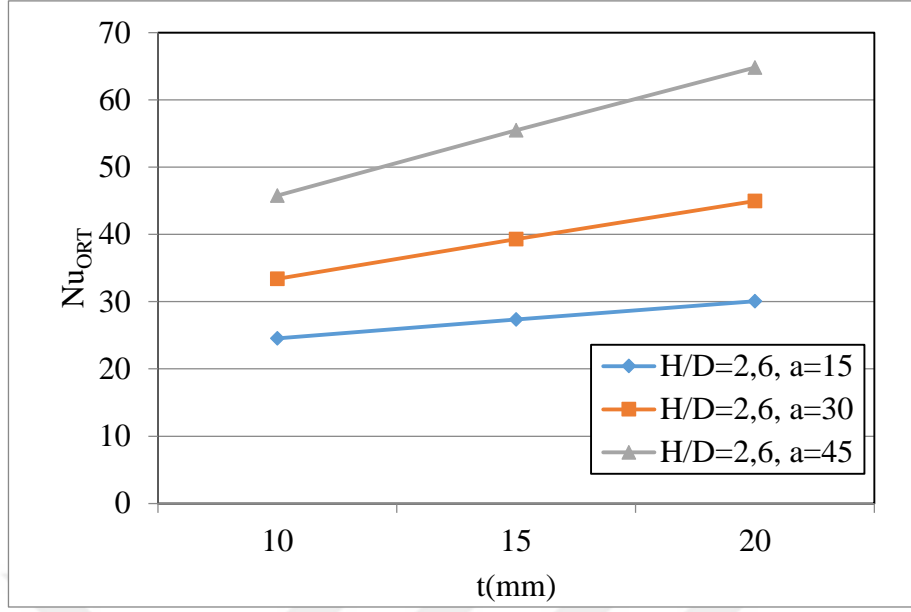


(a)

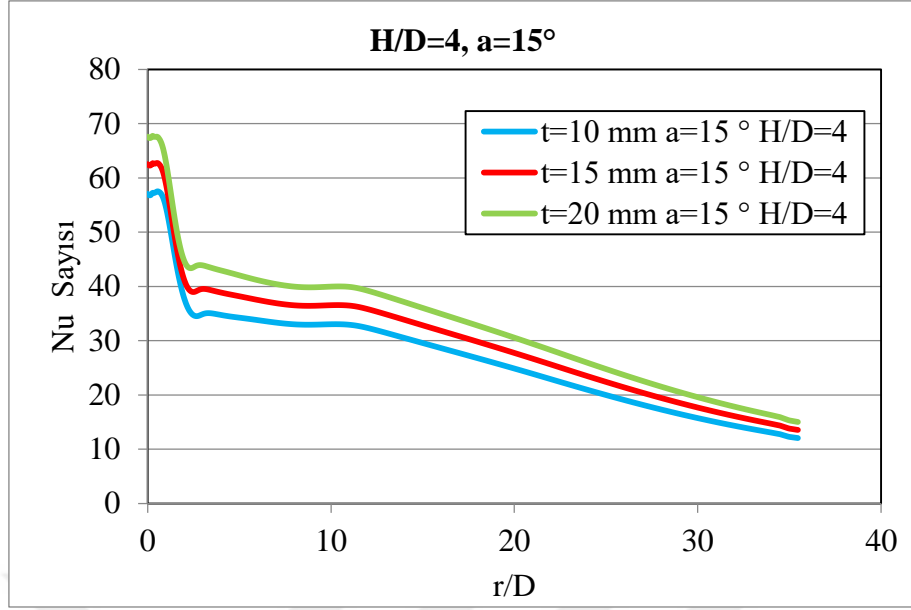


(b)

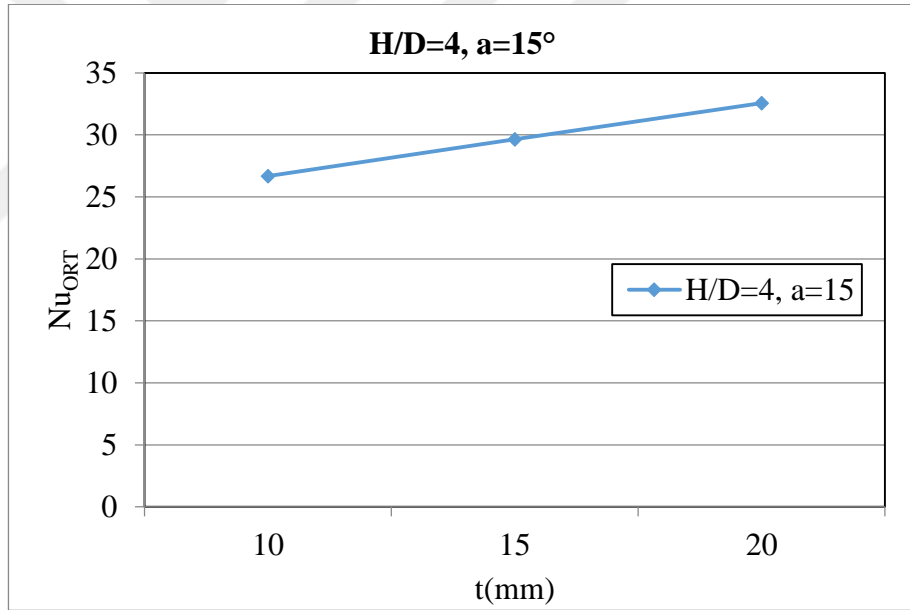
**Şekil 4.180.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.181.** Model 4 için sabit  $H/D= 2,6$  oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri

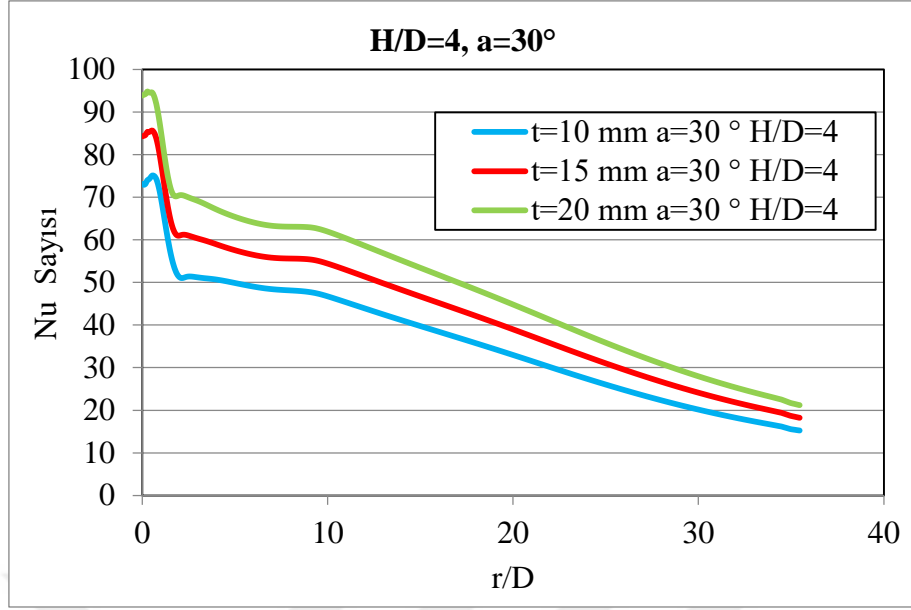


(a)

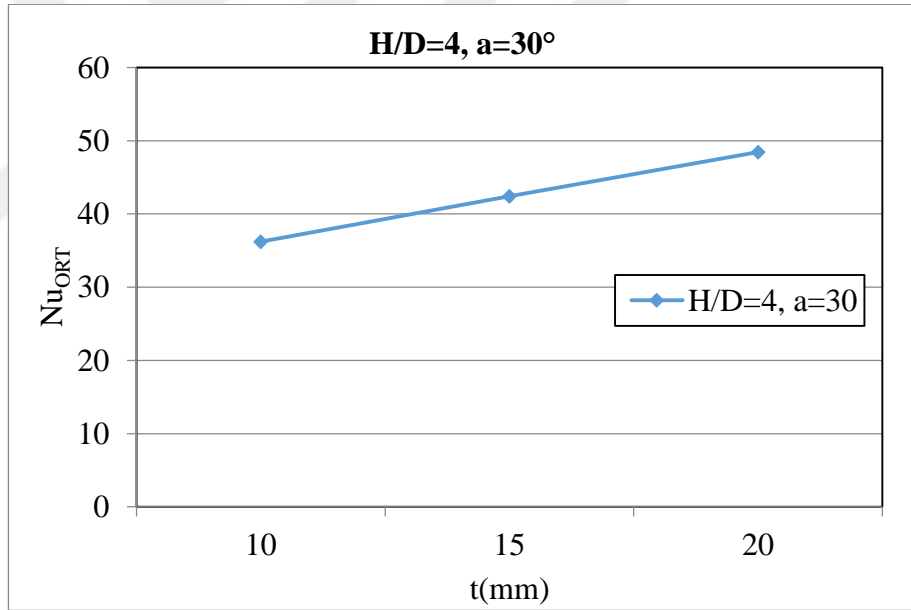


(b)

**Şekil 4.182.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

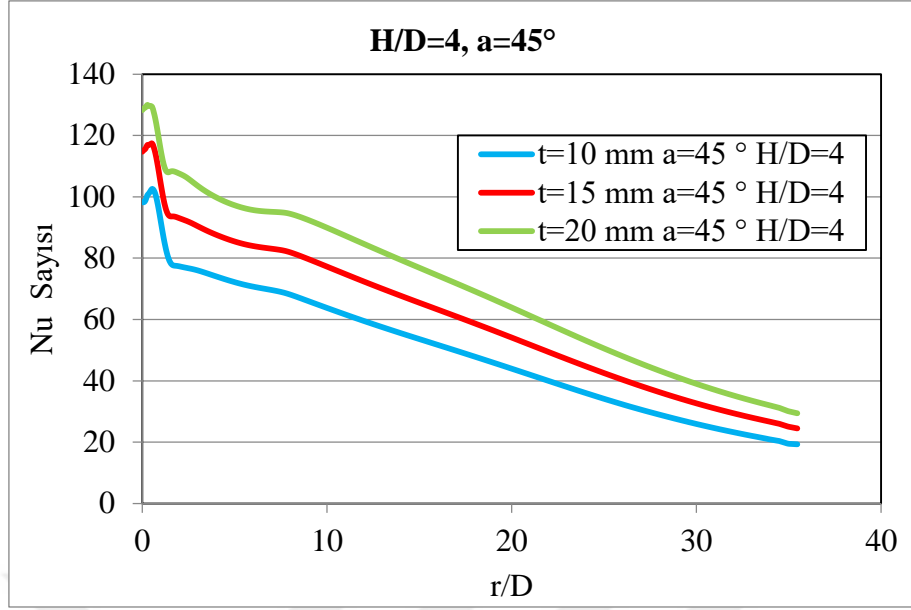


(a)

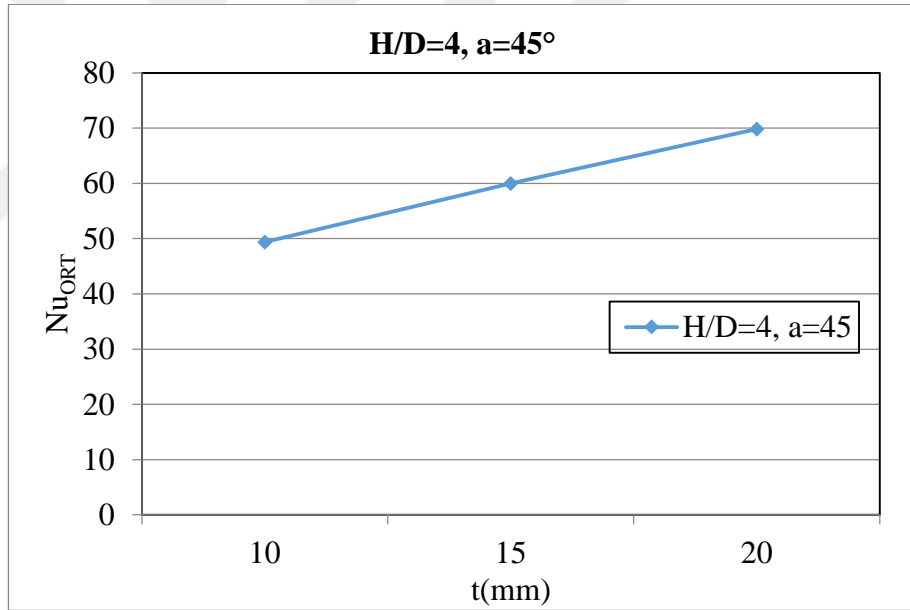


(b)

**Şekil 4.183.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

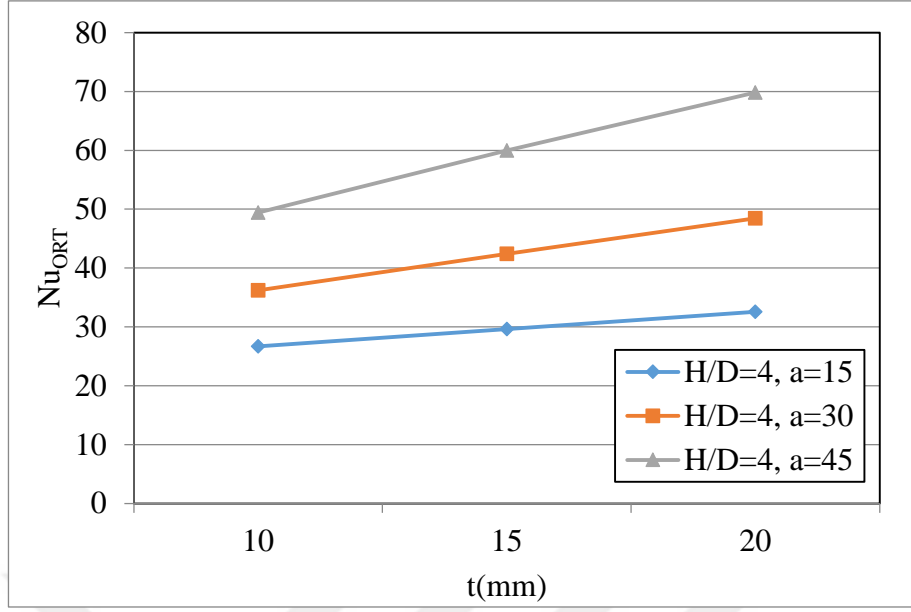


(a)

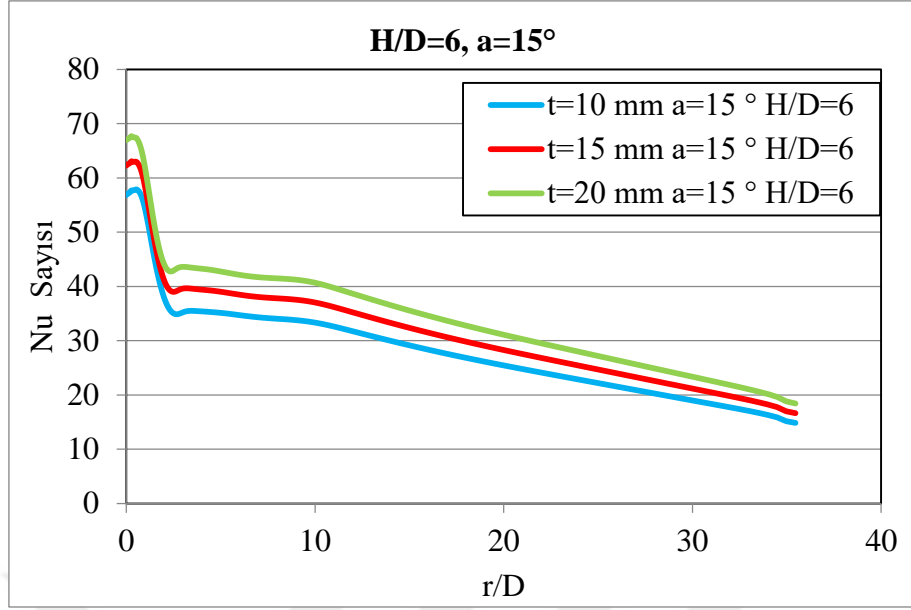


(b)

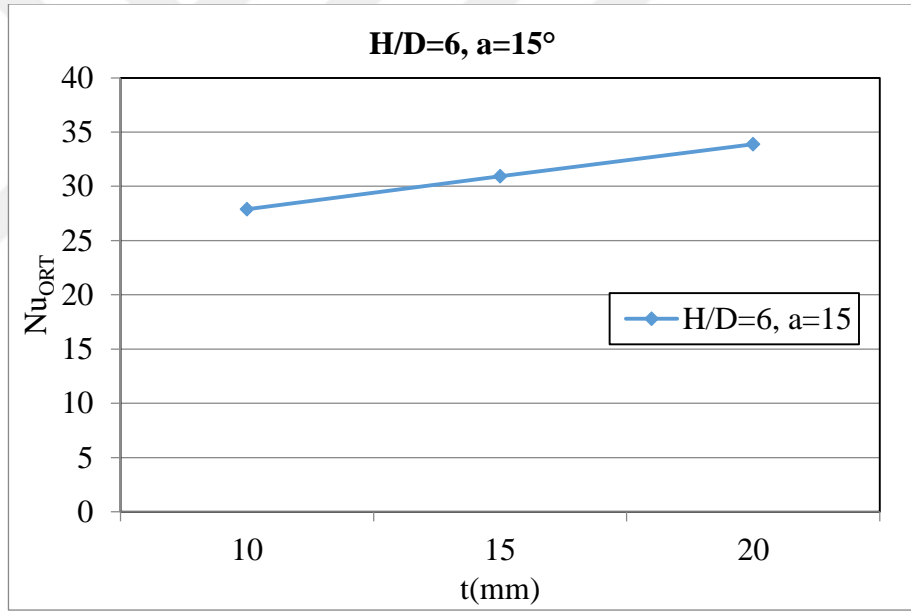
**Şekil 4.184.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.185.** Model 4 için sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkileri



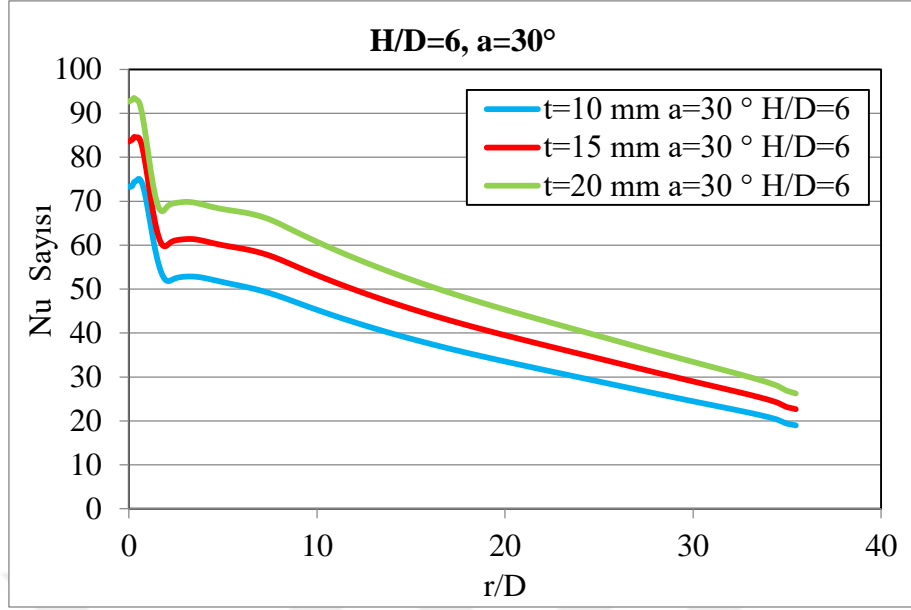
(a)



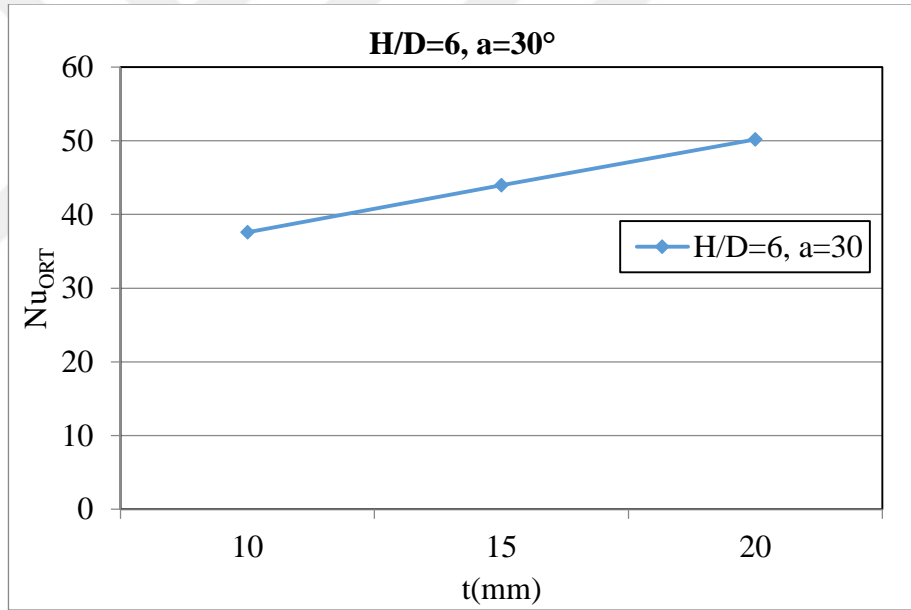
(b)

**Şekil 4.186.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=15^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi



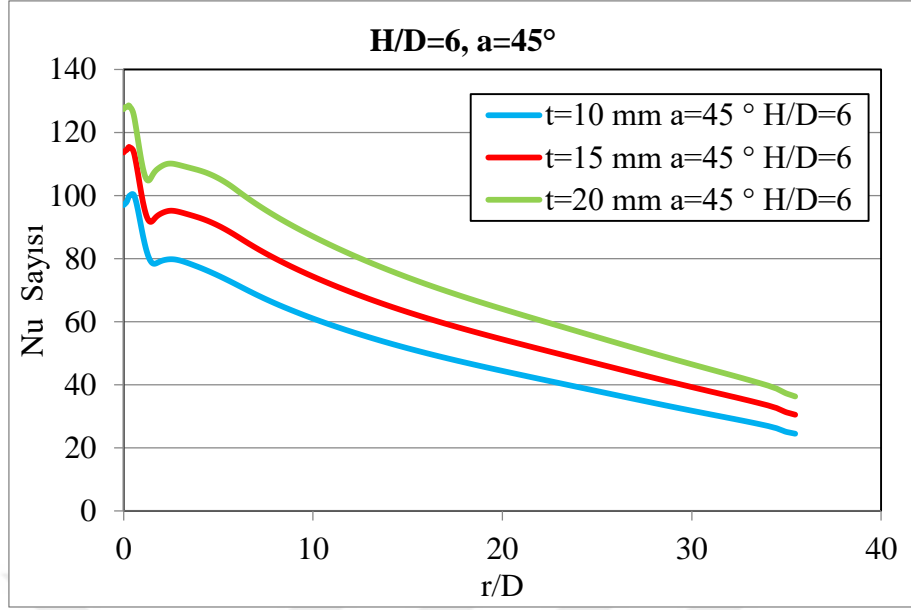


(a)

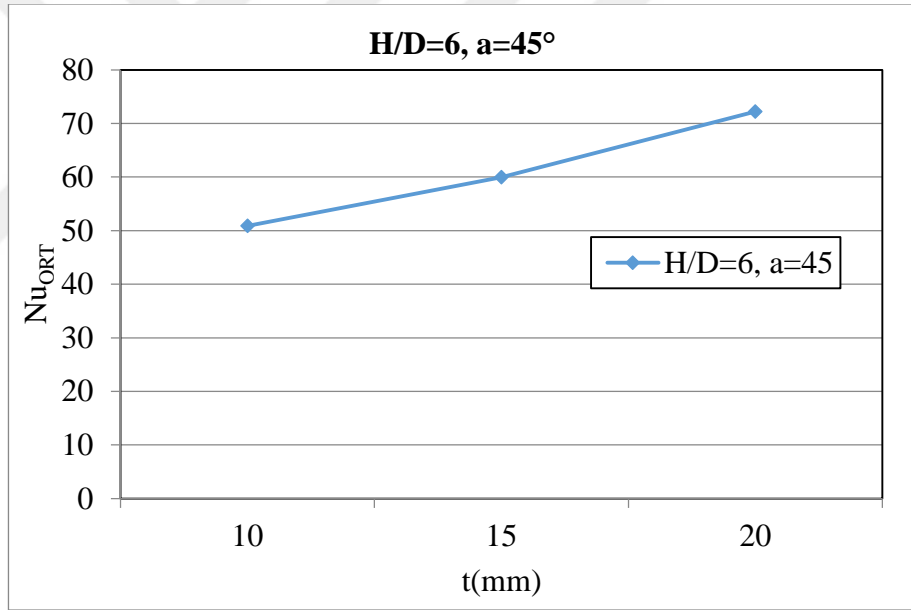


(b)

**Şekil 4.187.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=30^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

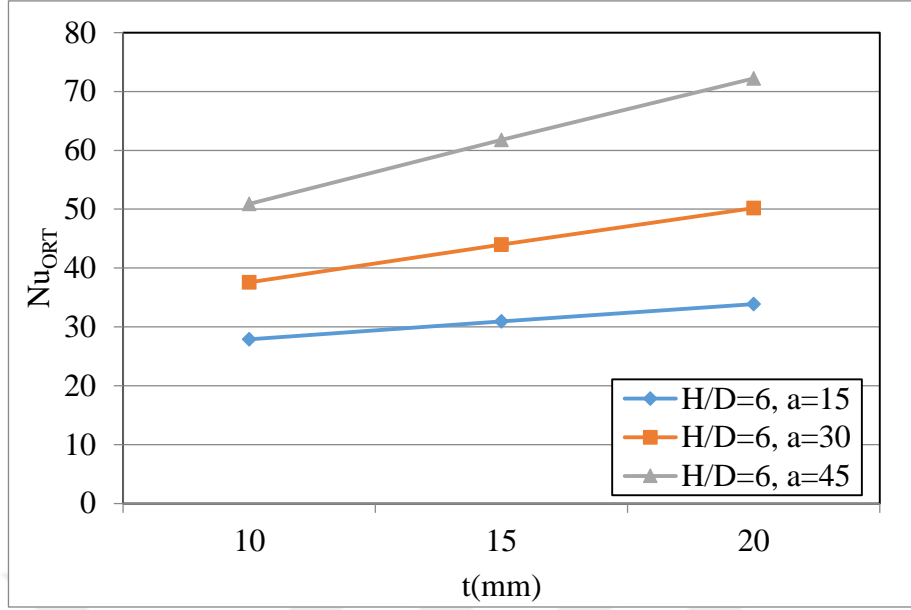


(a)



(b)

**Şekil 4.188.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $a=45^\circ$  lüle açısında farklı kalınlıklarda ortalama Nu sayısının değişimi

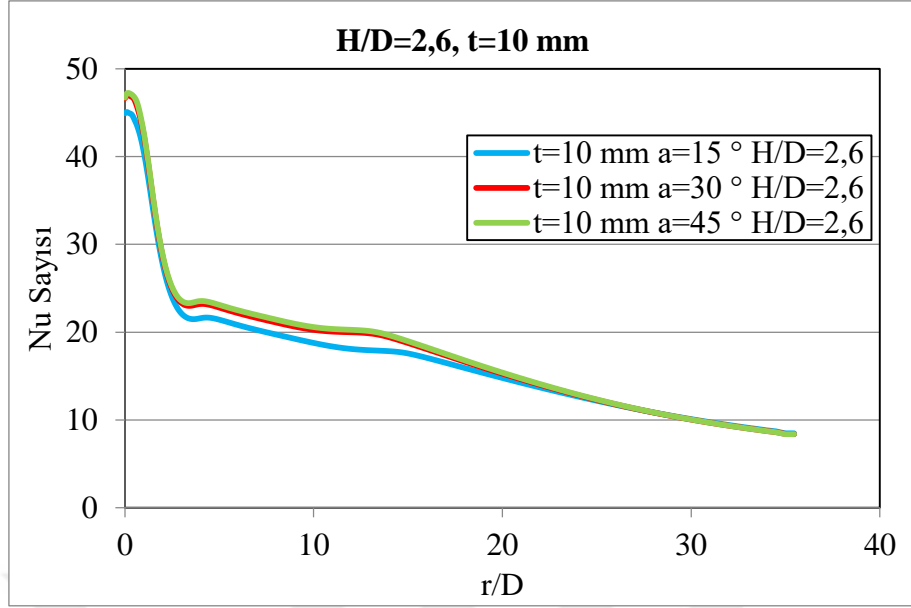


**Şekil 4.189.** Model 4 için sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit lüle açılarında farklı kalınlıkların ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkileri

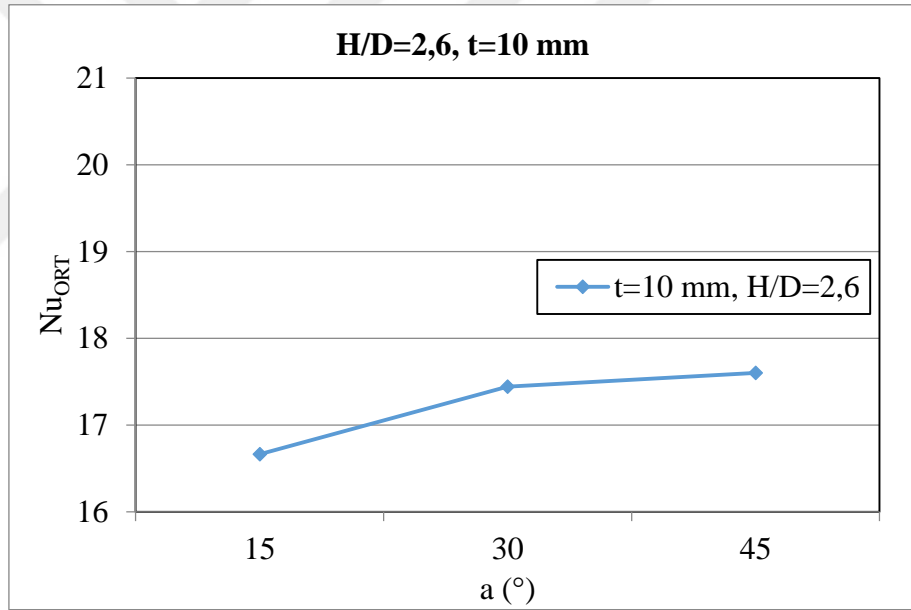
#### 4.3.3. $H/D$ ve kalınlık sabit iken açının etkisi

##### a) Model 3 grafikleri

Model 3'de  $H/D$  ve kalınlık sabit tutulup açının etkisi incelendiğinde, daha önceki incelenen durumlara benzer bir davranış gözlemlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.190 ile Şekil 4.201 arasında gösterilmiştir.

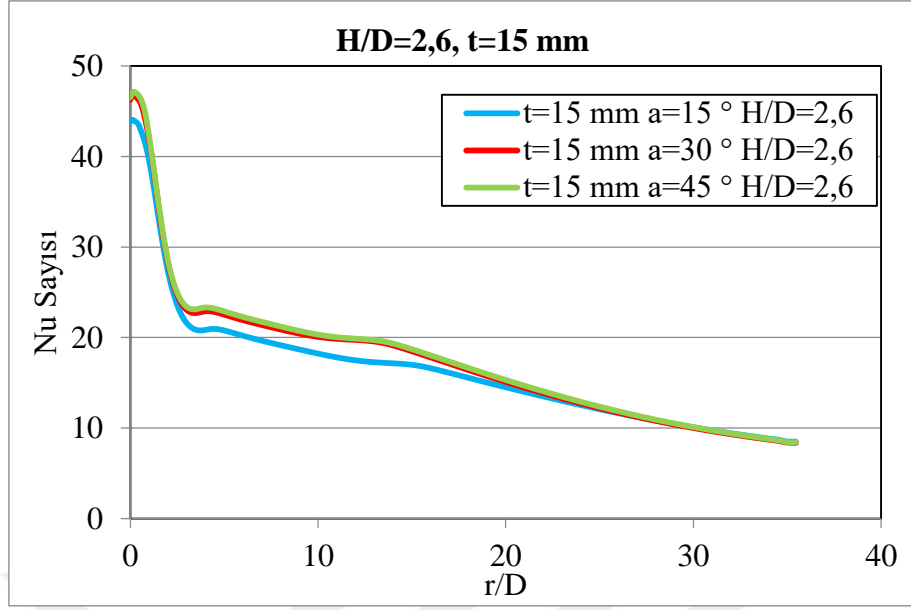


(a)

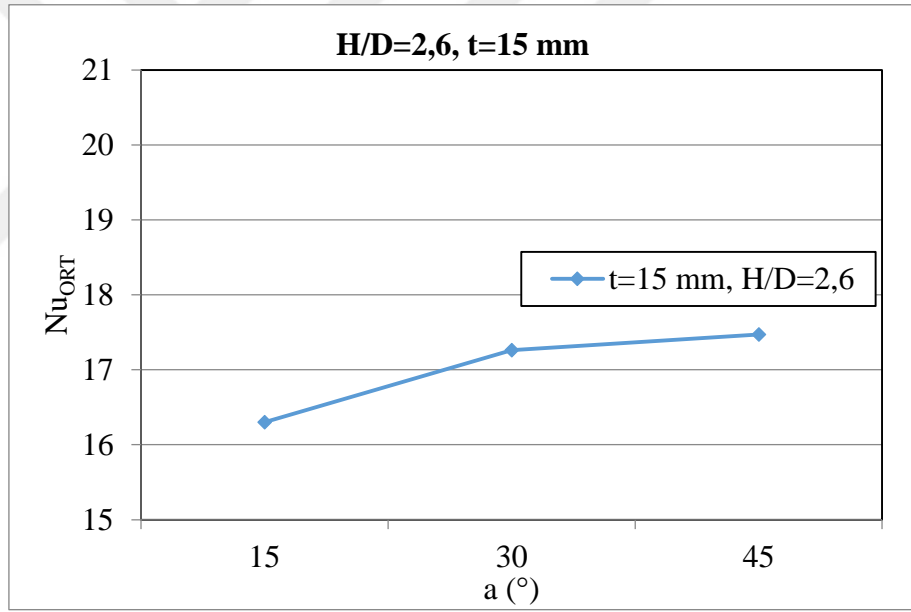


(b)

**Şekil 4.190.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

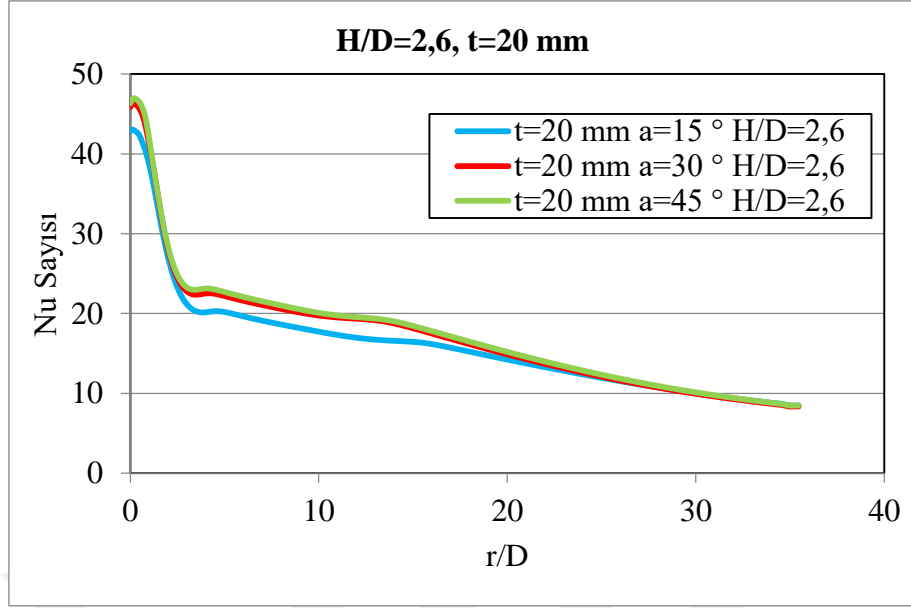


(a)

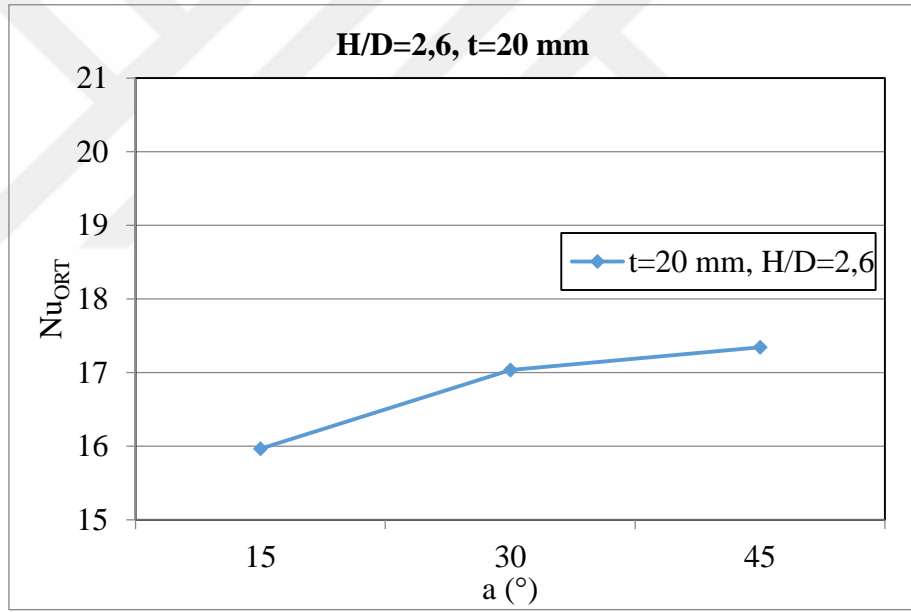


(b)

**Şekil 4.191.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t= 15$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t= 15$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

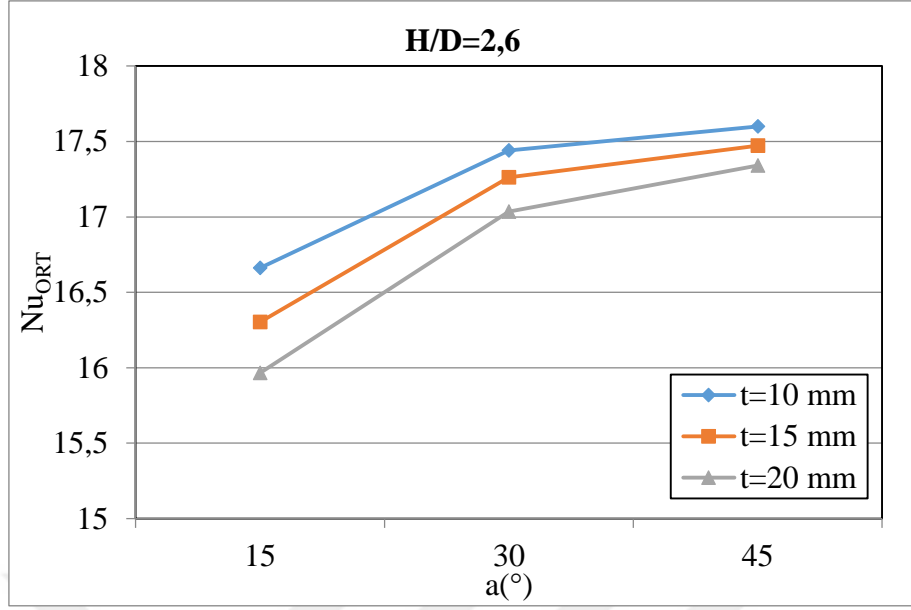


(a)

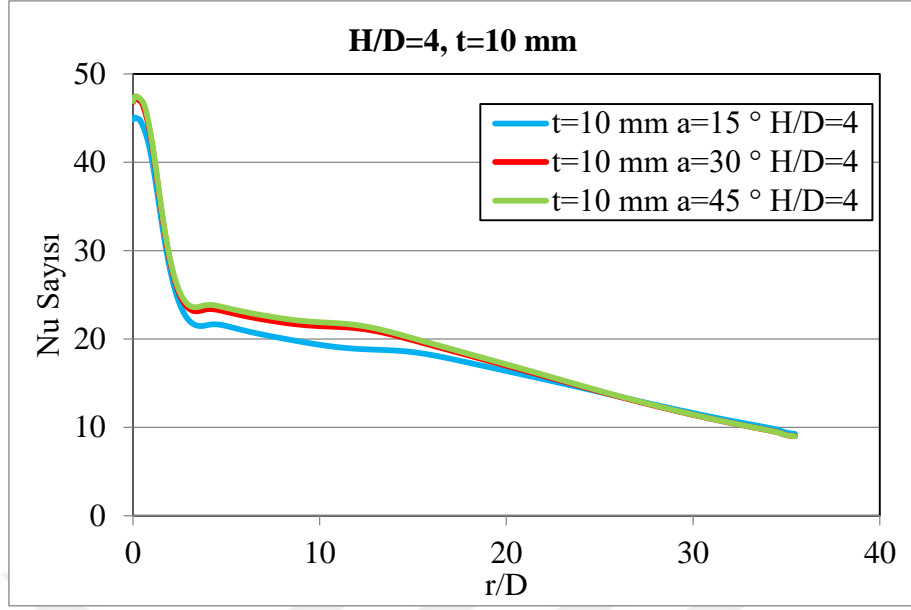


(b)

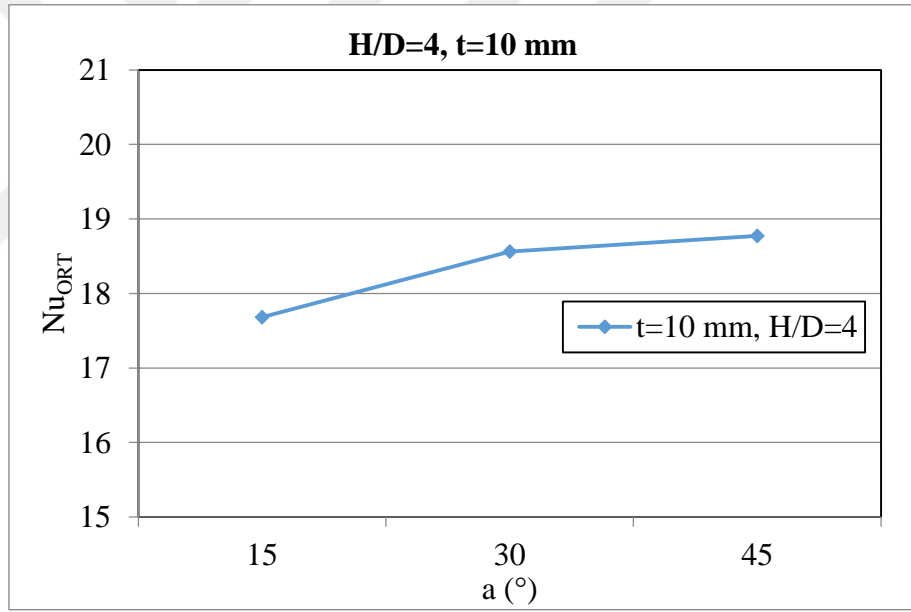
**Şekil 4.192.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t= 20$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t= 20$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.193.** Model 3 için sabit  $H/D= 2,6$  oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri



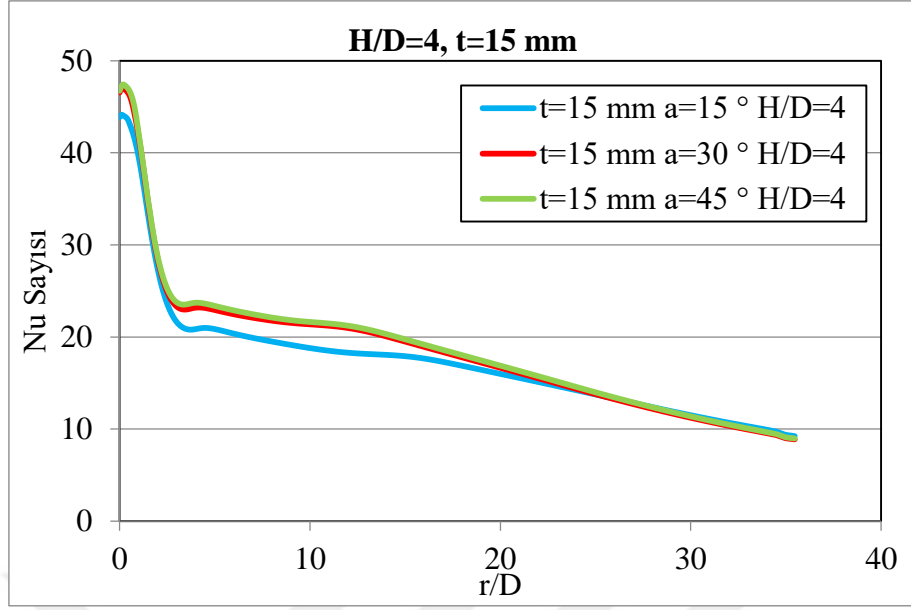
(a)



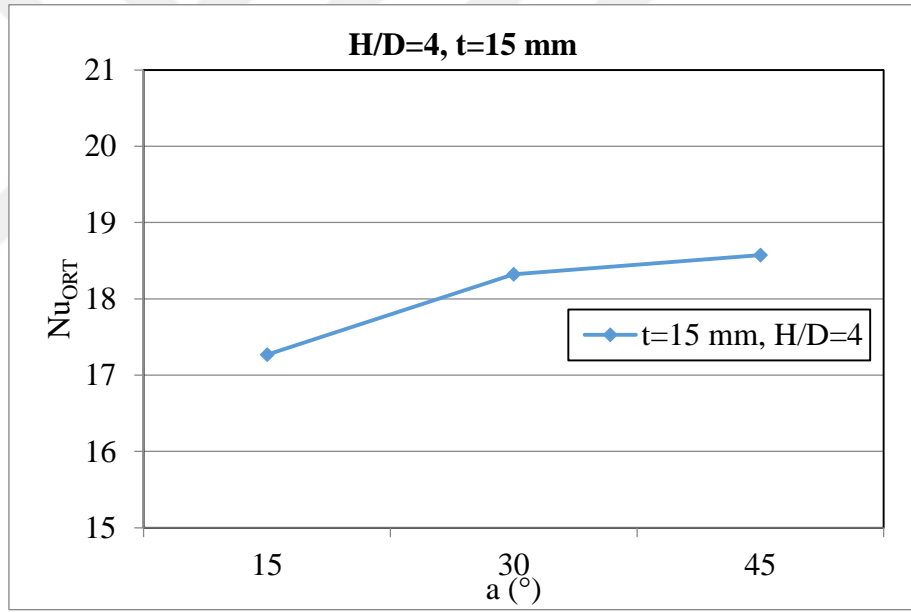
(b)

**Şekil 4.194.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



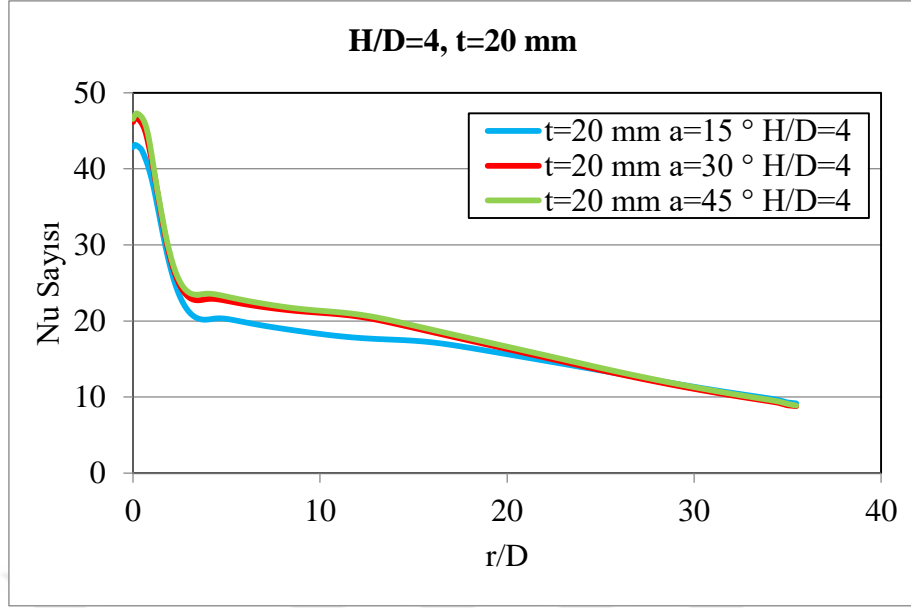


(a)

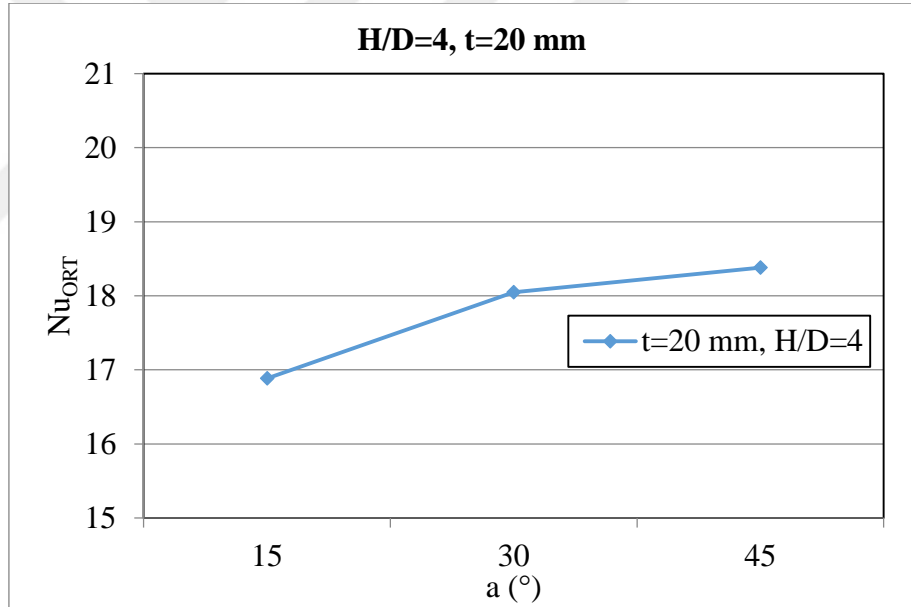


(b)

**Şekil 4.195.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=15$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=15$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

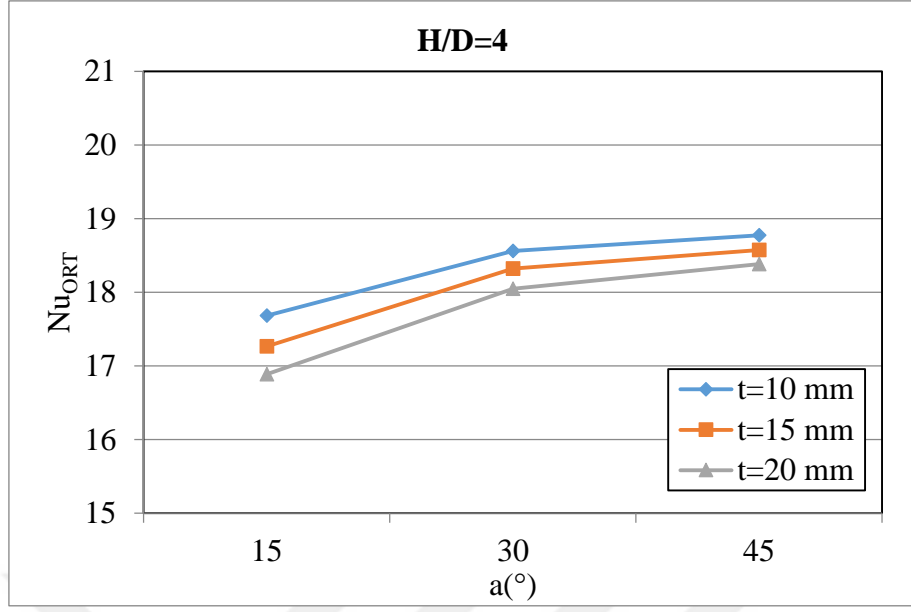


(a)

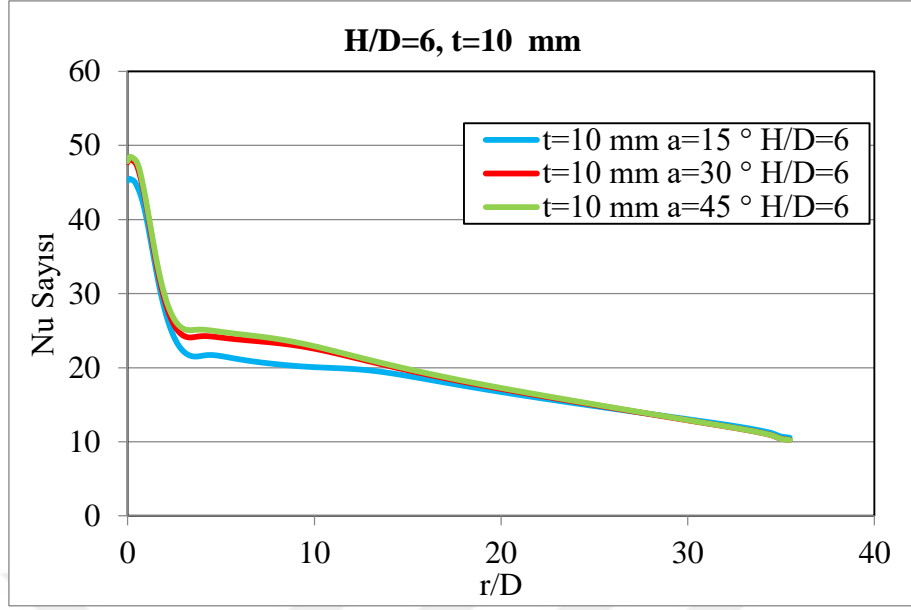


(b)

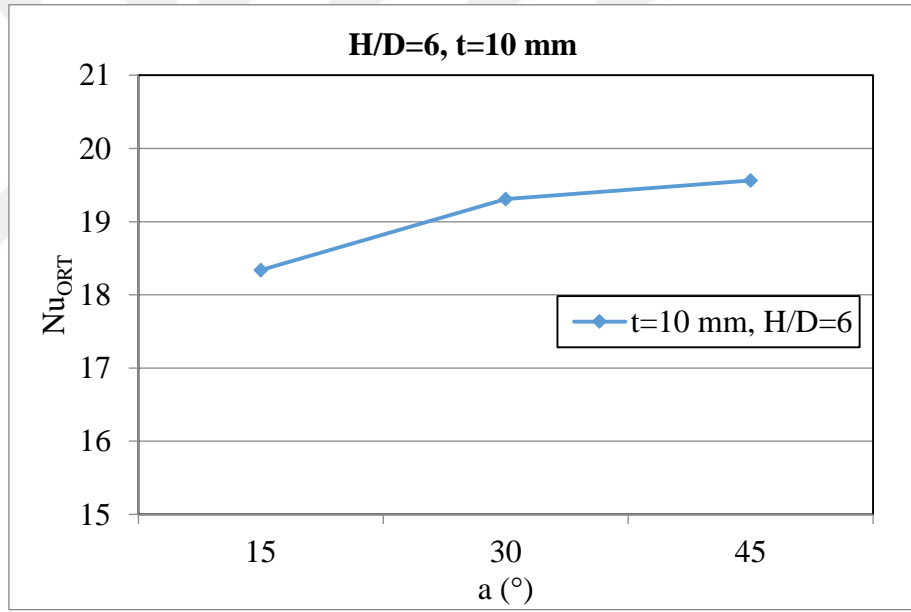
**Şekil 4.196.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.197.** Model 3 için sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkileri

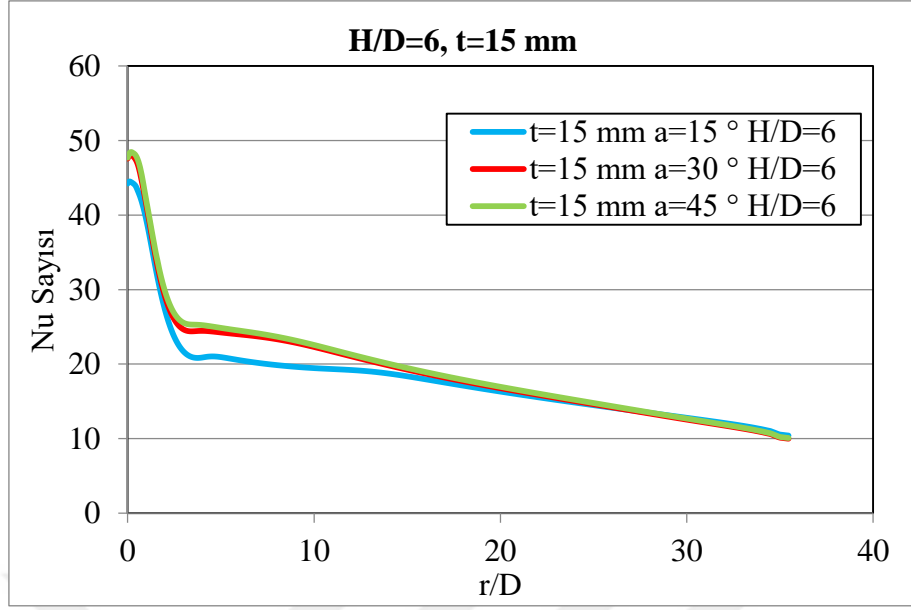


(a)

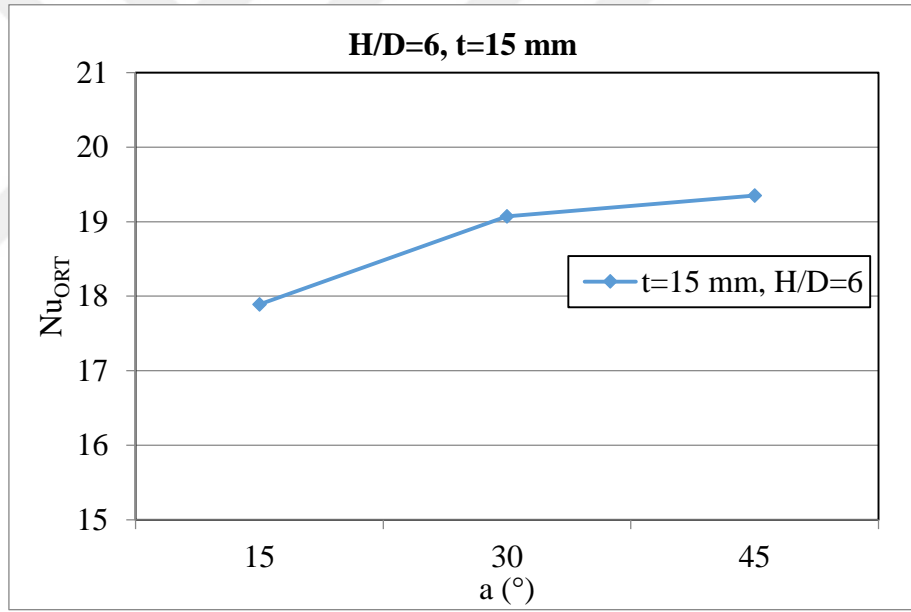


(b)

**Şekil 4.198.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

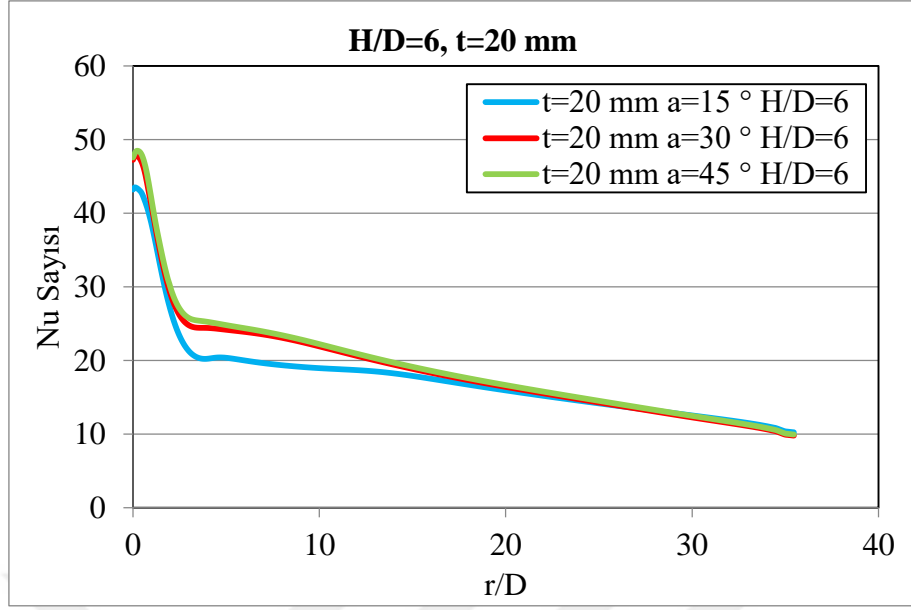


(a)

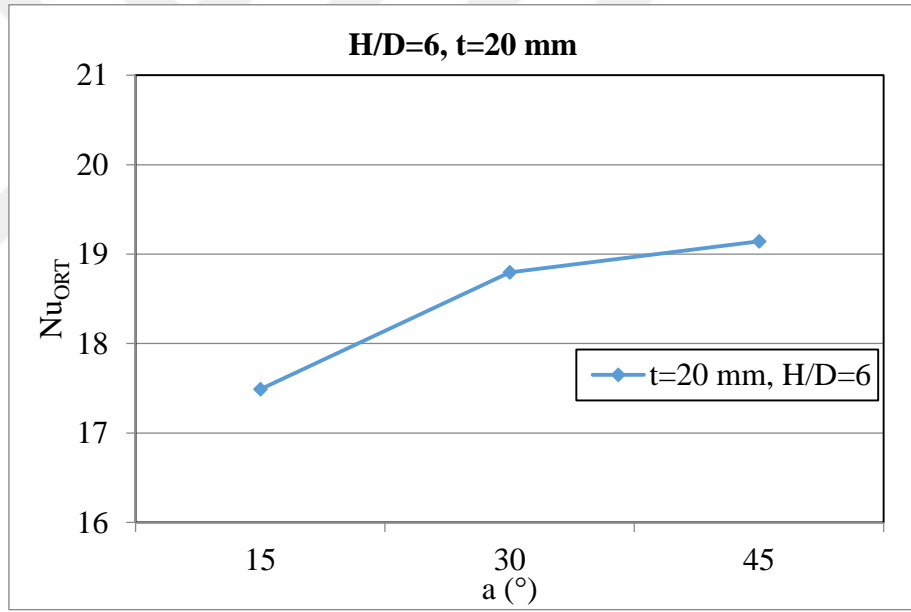


(b)

**Şekil 4.199.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t= 15$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t= 15$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

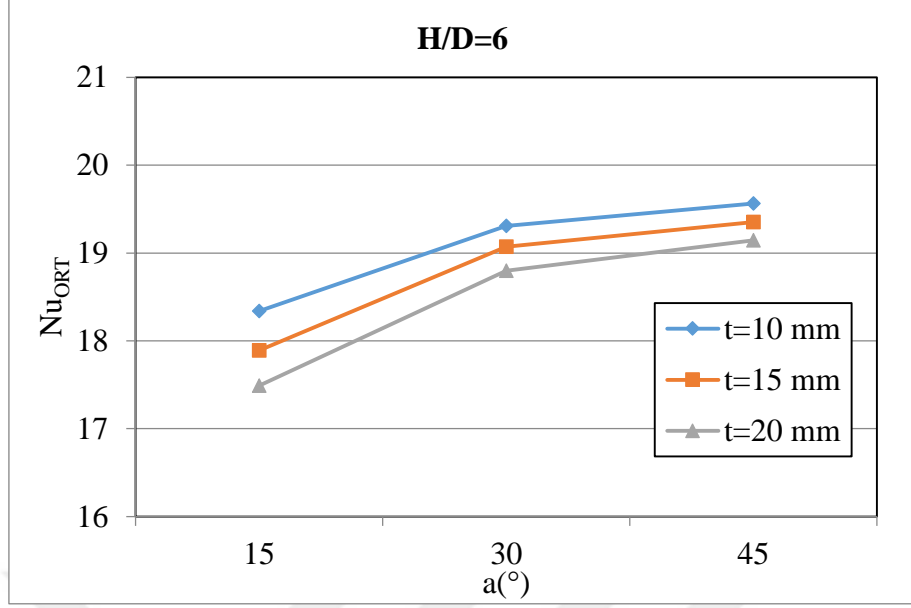


(a)



(b)

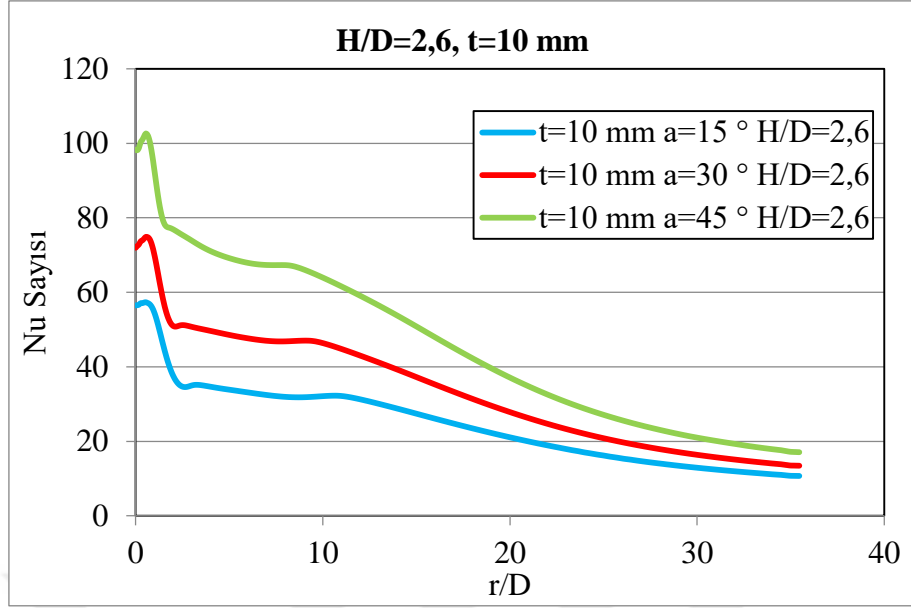
**Şekil 4.200.** Model 3 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



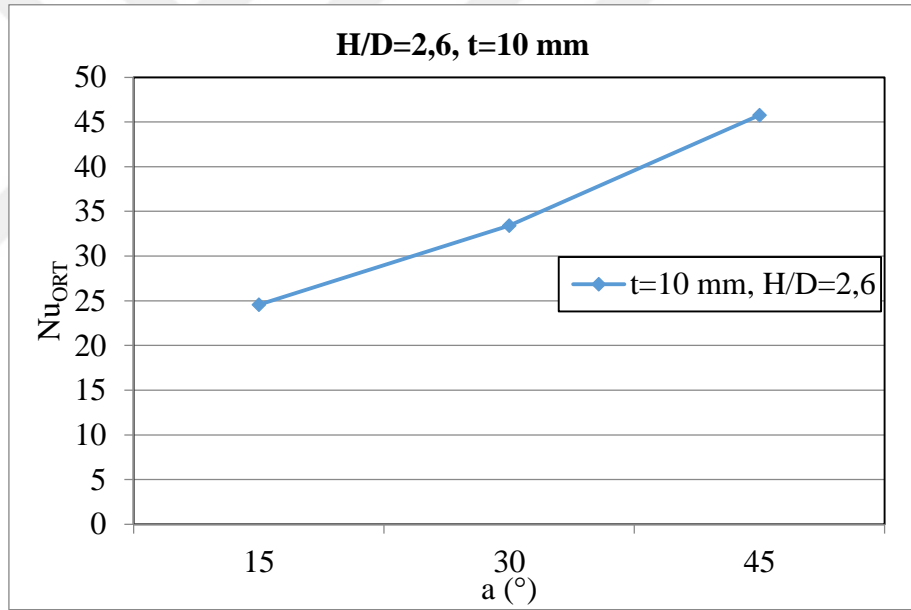
**Şekil 4.201.** Model 3 için sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri

#### d) Model 4 grafikleri

Model 4'e ait sonuçlar incelendiğinde, açının diğer parametrelere göre daha etkili olduğu görülmektedir. Çünkü açı arttıkça, lüle giriş çapı artmaktadır ve Reynolds sayısı artmaktadır. Buna bağlı olarak türbülans artmaktadır. Türbülansın artışı da ısı transfer katsayısını dolayısıyla Nu sayısını da arttırmaktadır. Sonuçlar Şekil 4.202 ile Şekil 4.213 arasında gösterilmiştir.



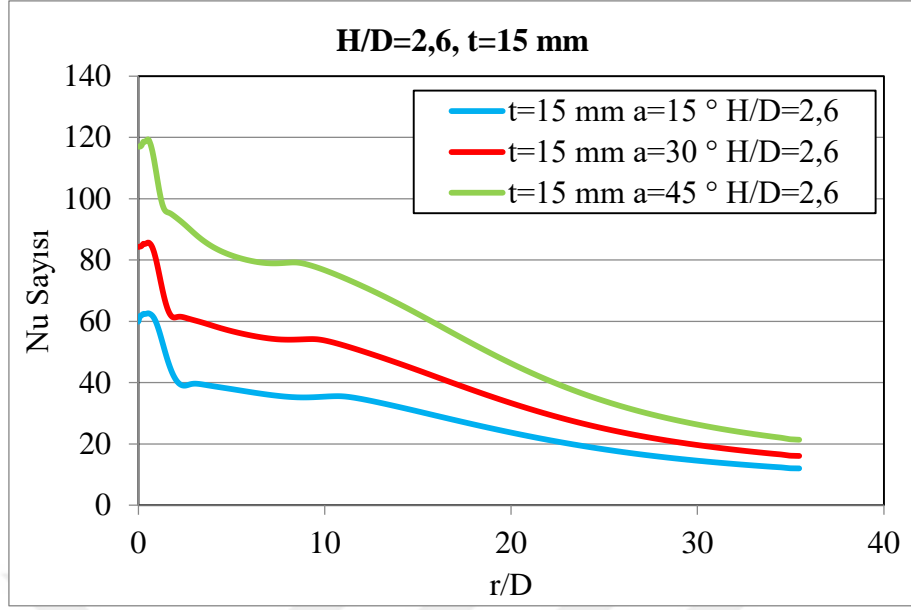
(a)



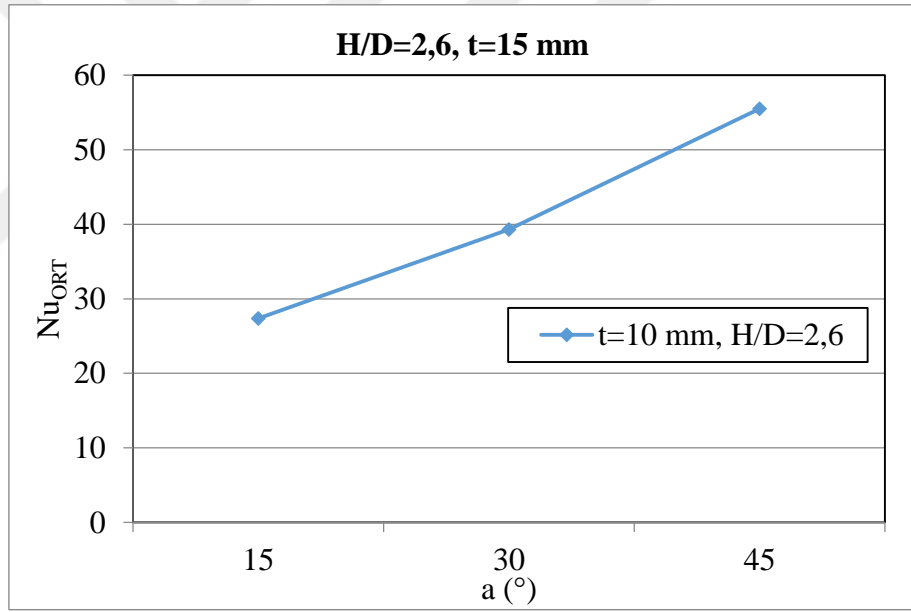
(b)

**Şekil 4.202.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t= 10$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t= 10$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



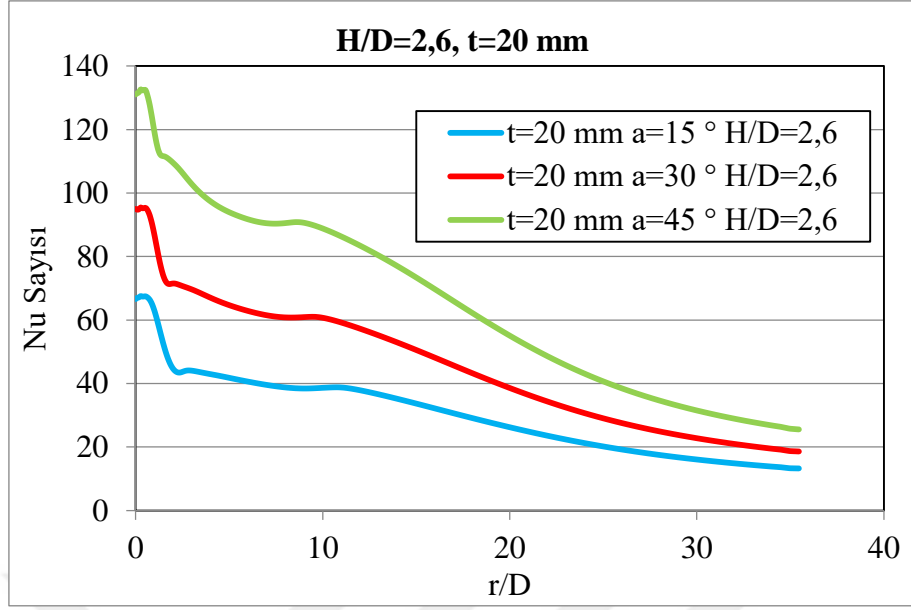


(a)

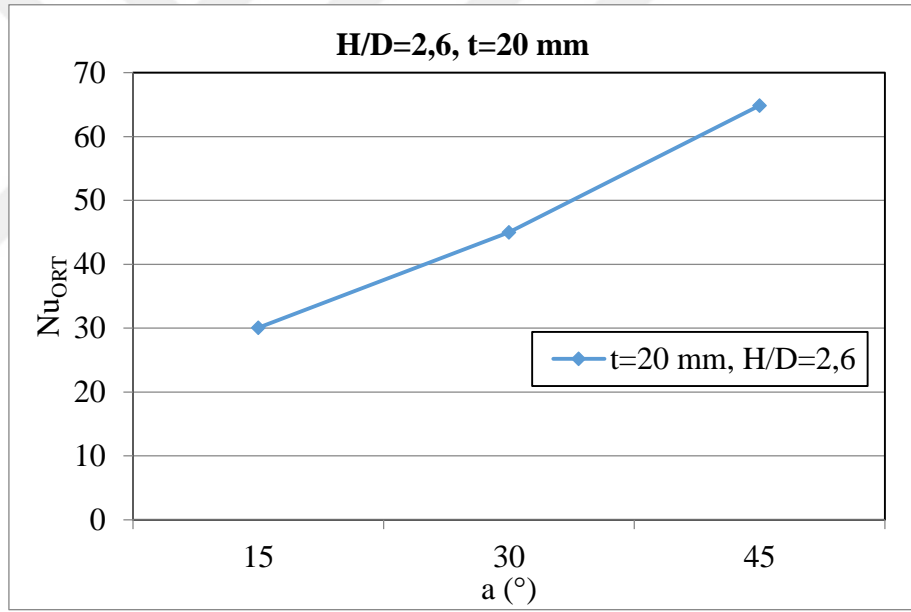


(b)

**Şekil 4.203.** Model 4 için (a) Sabit H/D=2,6 oranında ve sabit t= 15 mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının r/D'ye bağlı değişimi (b) Sabit H/D=2,6 oranında ve sabit t= 15 mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

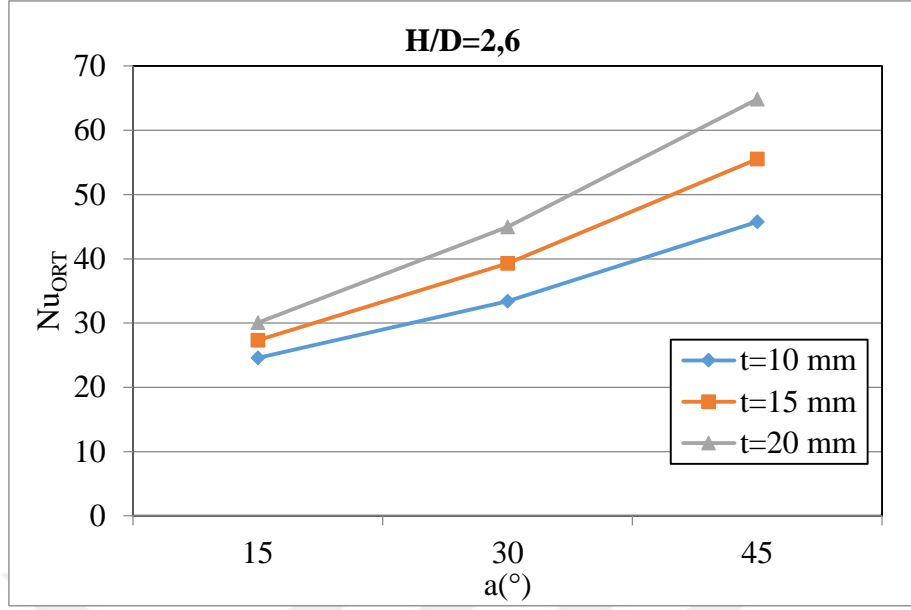


(a)

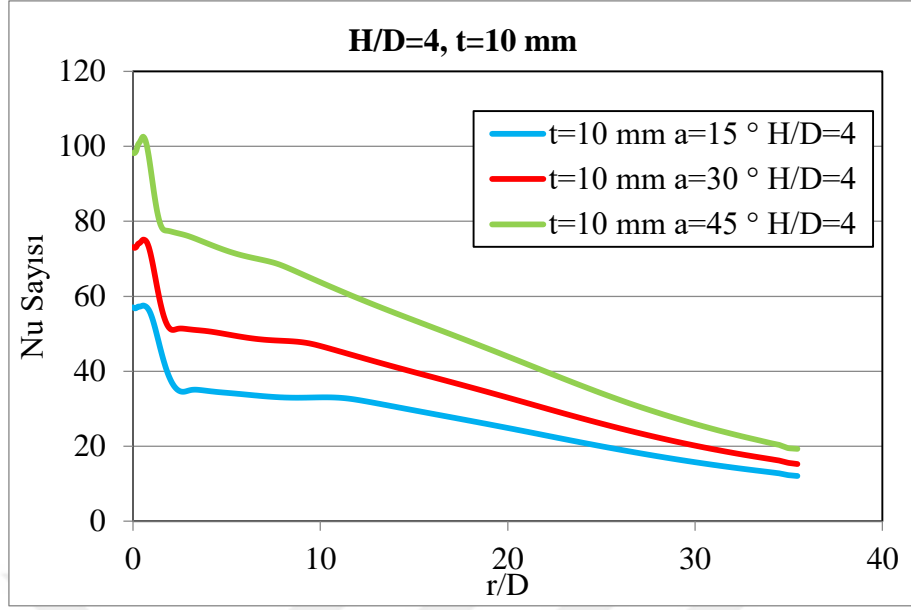


(b)

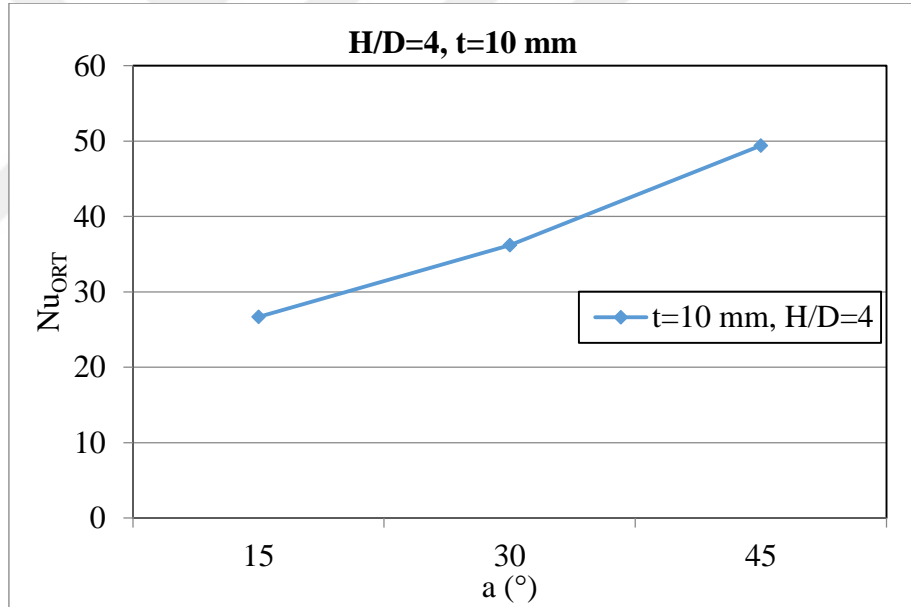
**Şekil 4.204.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=2,6$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.205.** Model 4 için sabit  $H/D= 2,6$  oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri

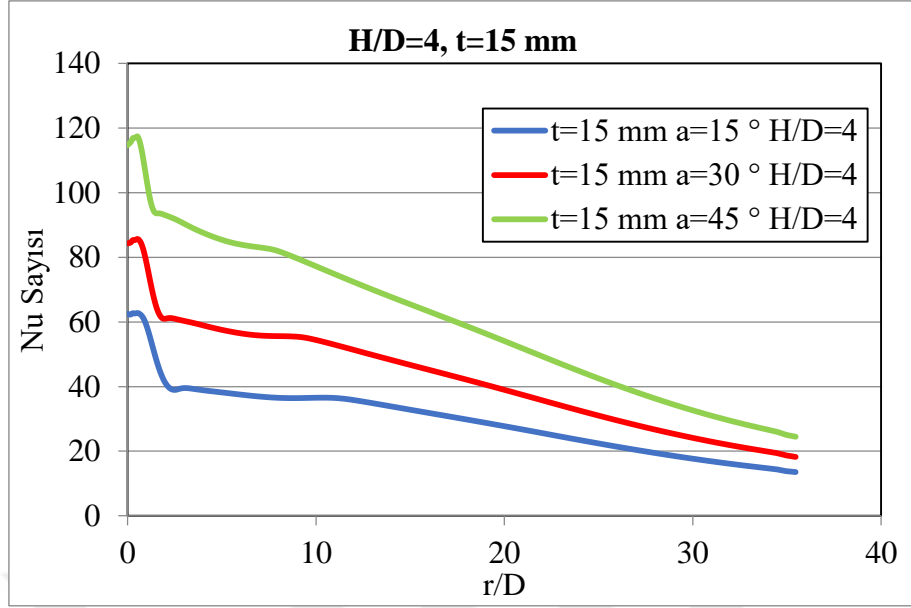


(a)

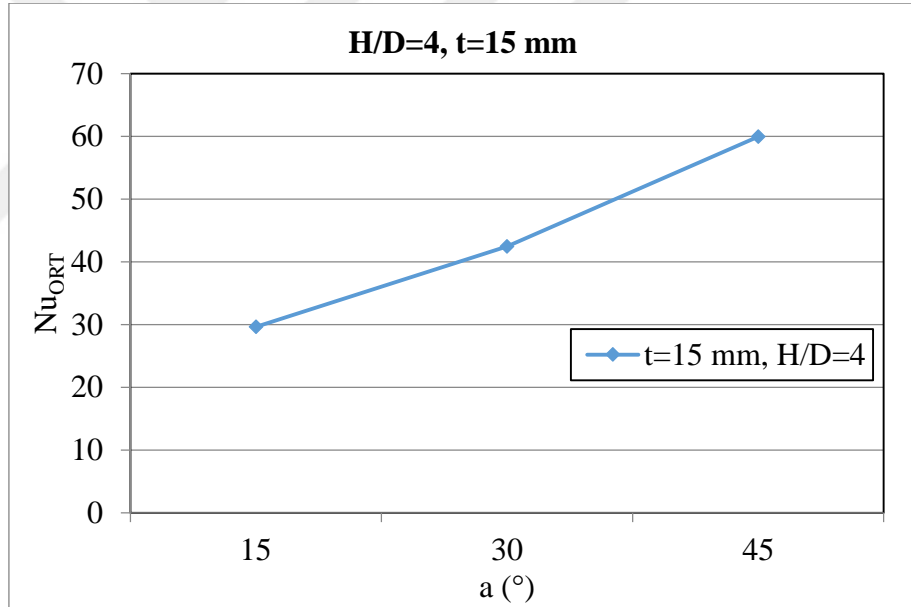


(b)

**Şekil 4.206.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

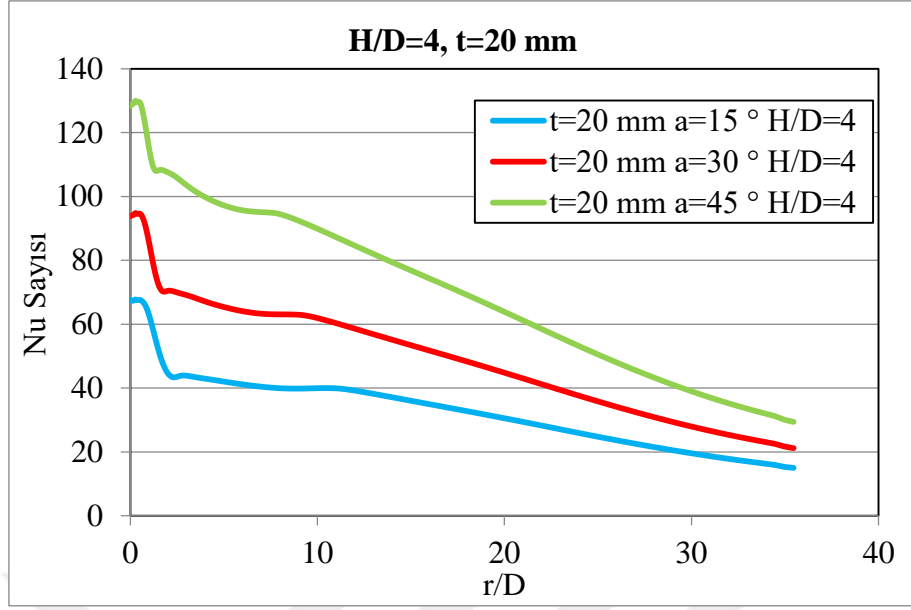


(a)

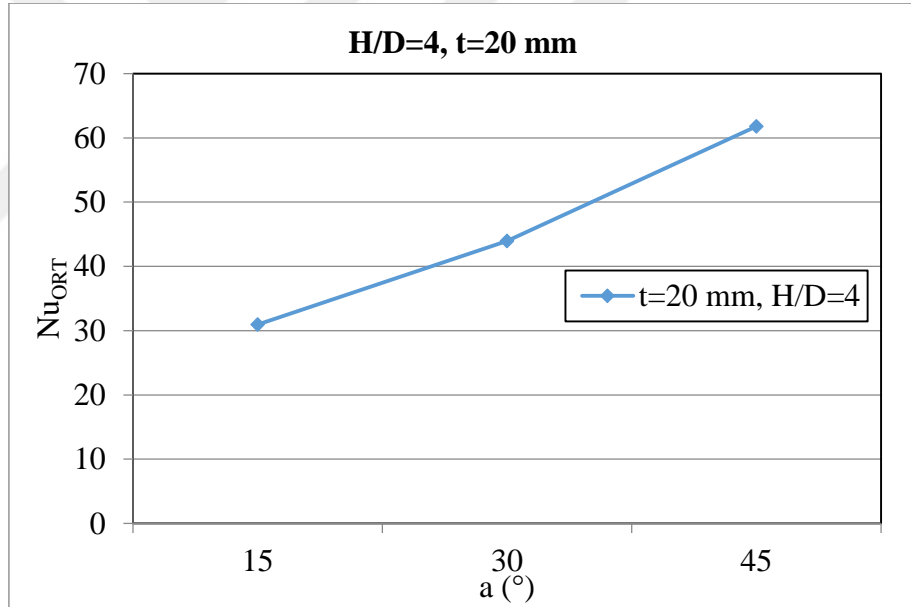


(b)

**Şekil 4.207.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=15$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=15$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

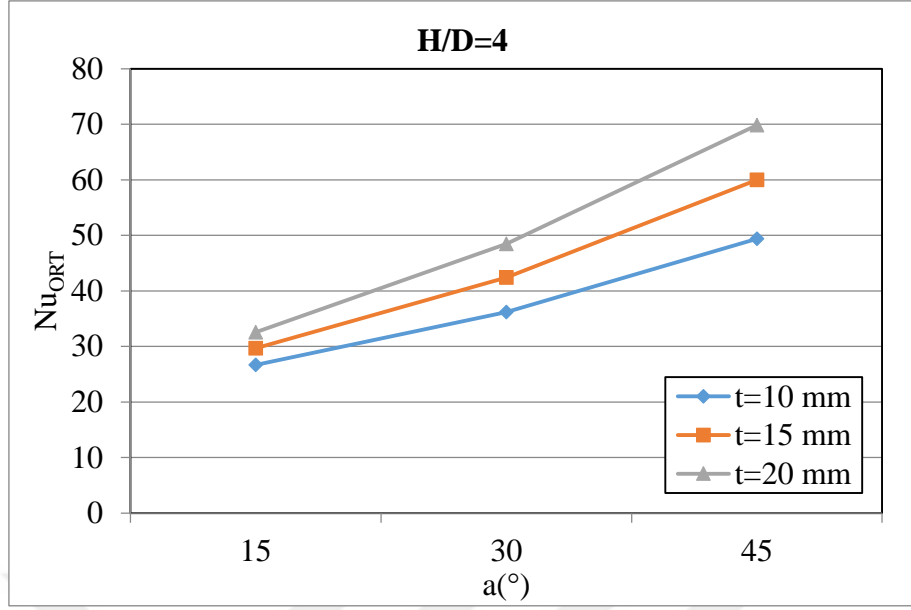


(a)

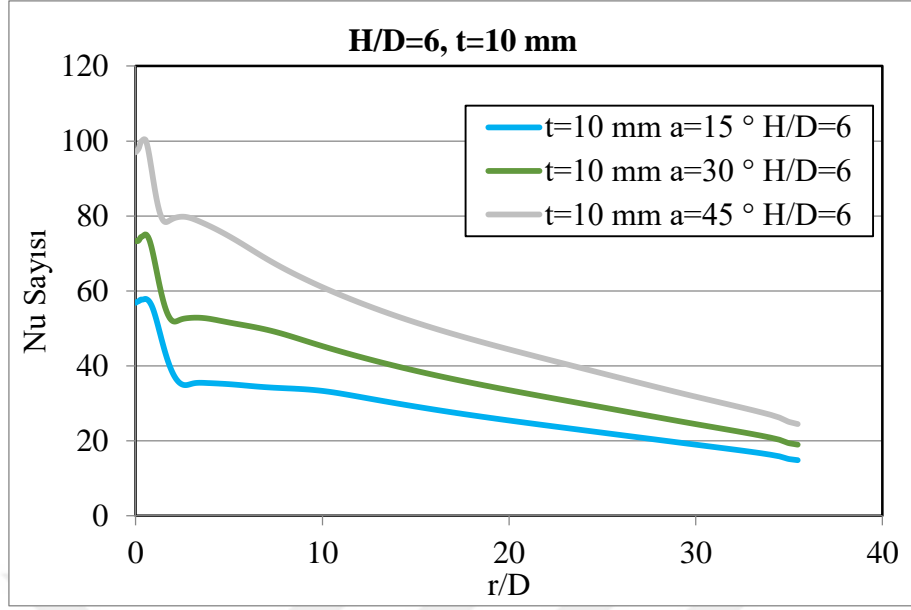


(b)

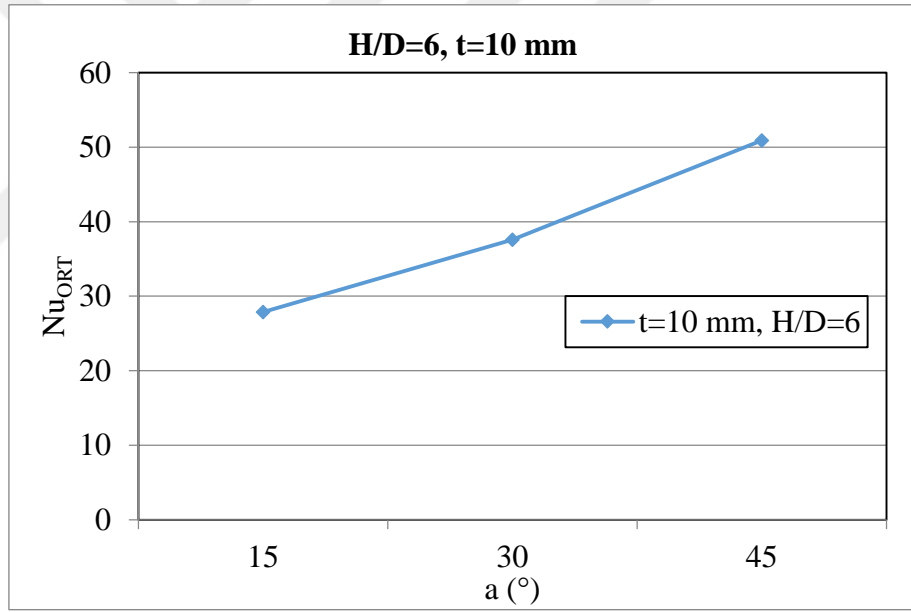
**Şekil 4.208.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açıların lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açıların ortalama Nu sayısının değişimi



**Şekil 4.209.** Model 4 için sabit  $H/D=4$  oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama  $Nu$  sayısı üzerindeki etkileri



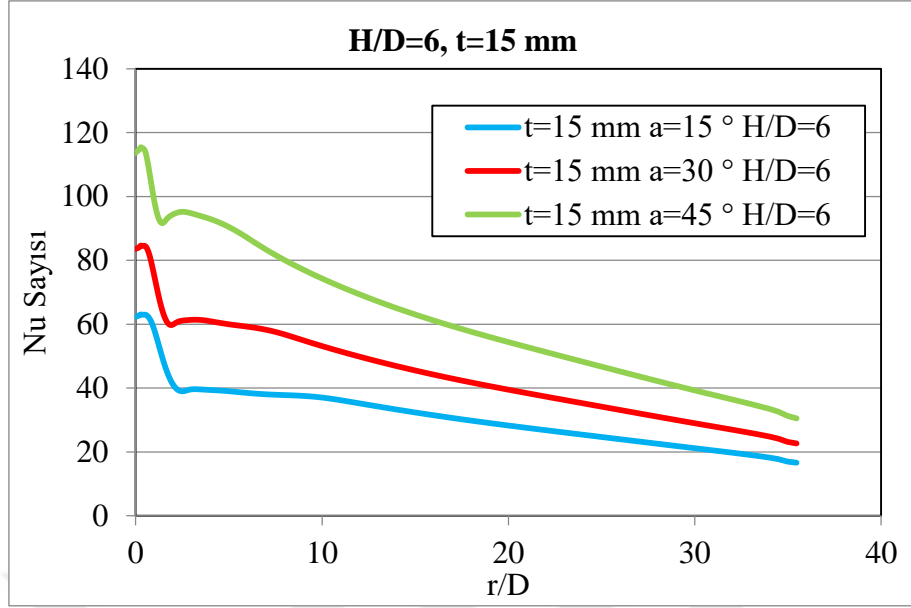
(a)



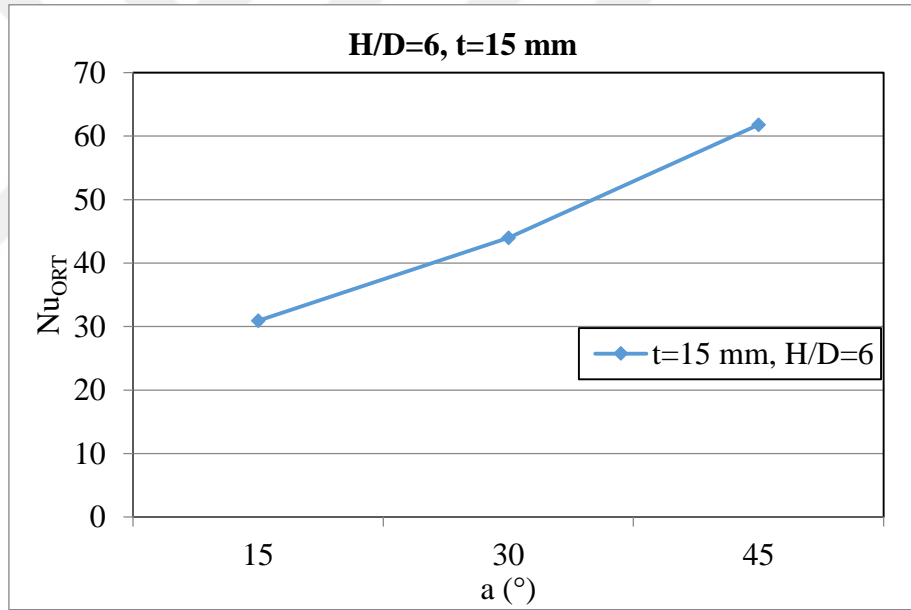
(b)

**Şekil 4.210.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimi (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=10$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



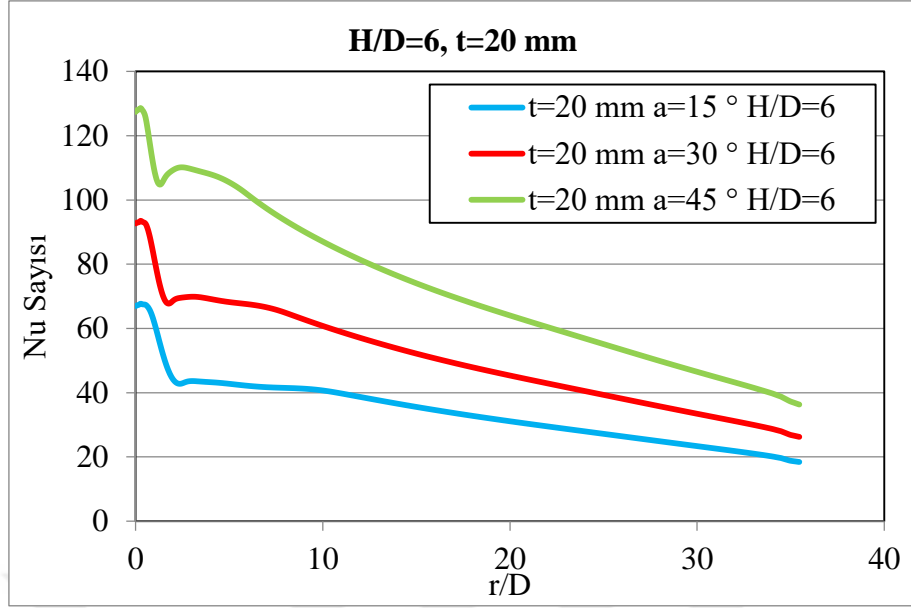


(a)

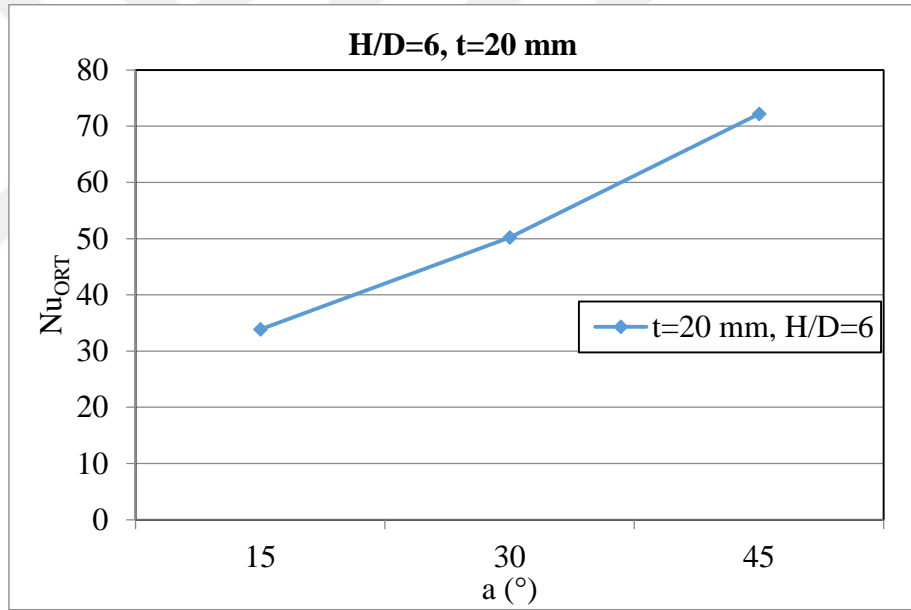


(b)

**Şekil 4.211.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=15$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=15$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi

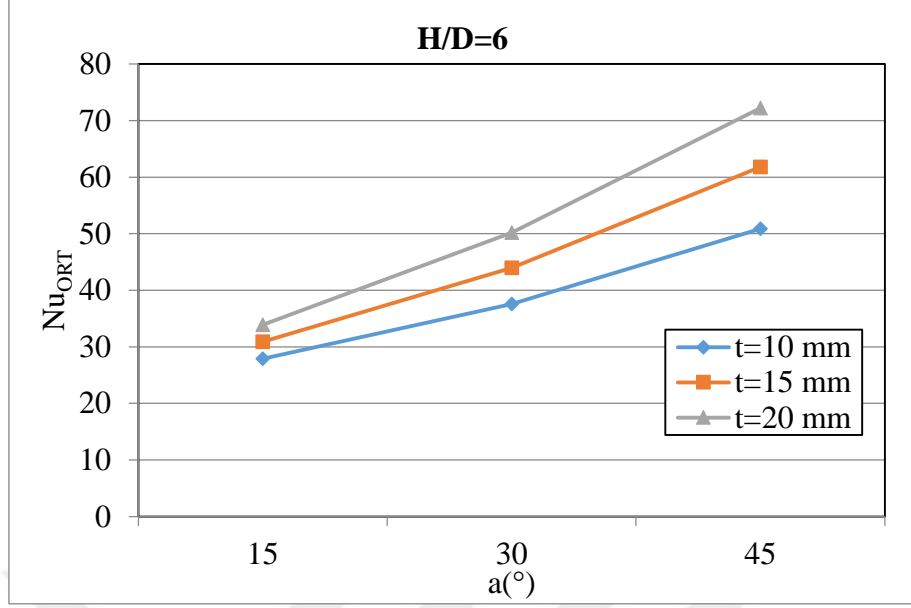


(a)



(b)

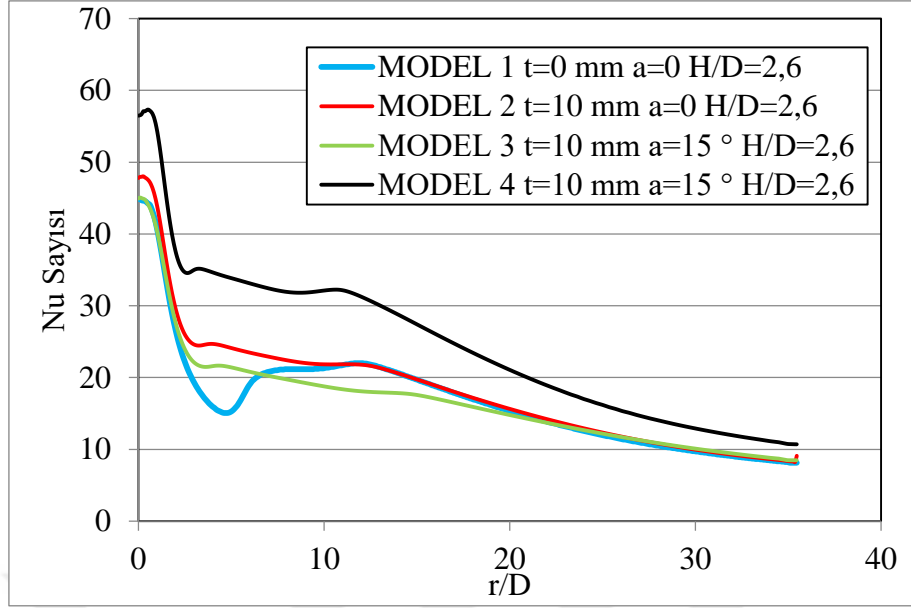
**Şekil 4.212.** Model 4 için (a) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının lokal Nu sayılarının  $r/D$ 'ye bağlı değişimin (b) Sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit  $t=20$  mm kalınlığında farklı açılarının ortalama Nu sayısının değişimi



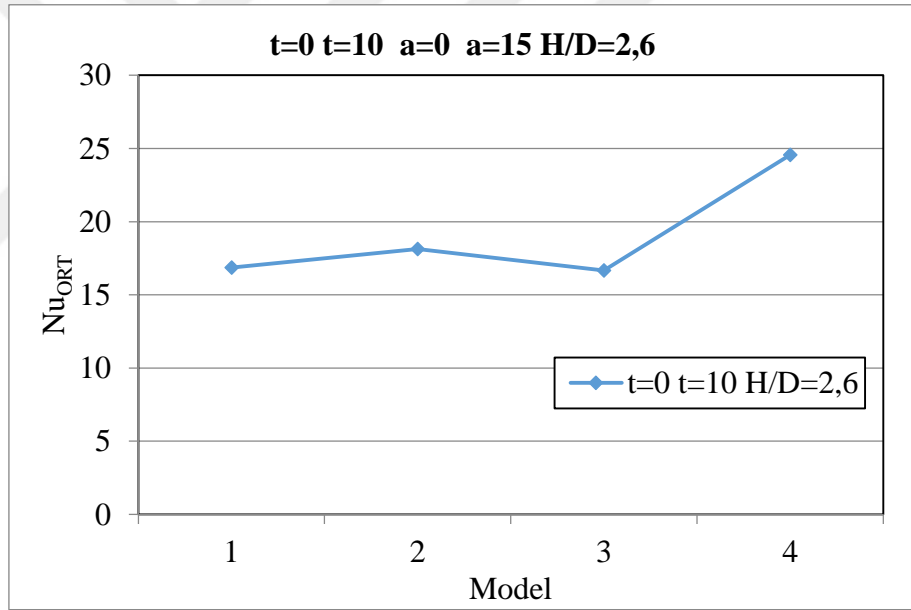
**Şekil 4.213.** Model 4 için sabit  $H/D=6$  oranında ve sabit kalınlıklarda farklı lüle açılarının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkileri

#### 4.3.4. Açı ve kalınlık sabit iken geometrinin etkisi

Açı ve kalınlık sabit iken, Modelin etkisinin kıyaslandığı bu kısımda Model 4'ün diğer Modellere kıyasla daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Çünkü lüle girişine doğru açılarak giden yapıya sahiptir ve bu yapı hem daha fazla soğutucu hava girişi sağlarken aynı zamanda da daralan çapta Reynolds sayısını artırıcı bir etki yaratmakta ve türbülansın artmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte püskürtülecek yüzeye doğru daralan Model yapısı sayesinde soğutucu havanın hızının artmasına sebep olmakta ve bu sayede yüzeyden daha çok ısının transfer edilmesi sağlanmaktadır. Sonuçlar Şekil 4.214 ile Şekil 4.249 arasında gösterilmiştir.

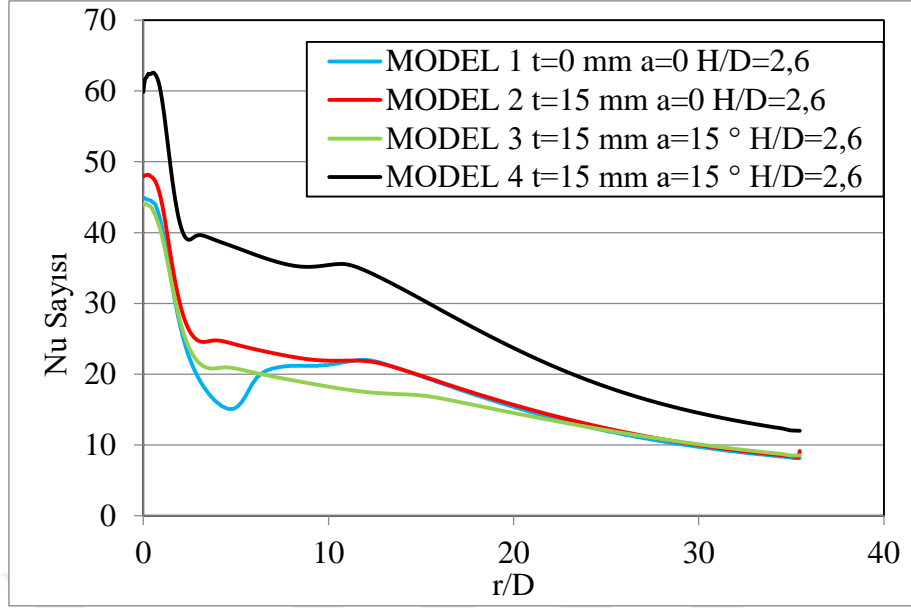


(a)

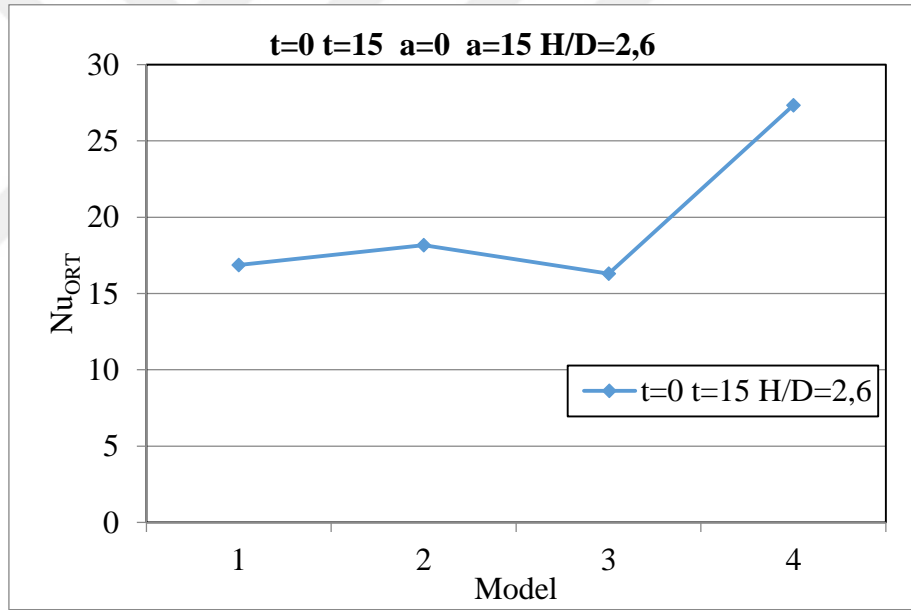


(b)

**Şekil 4.214.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

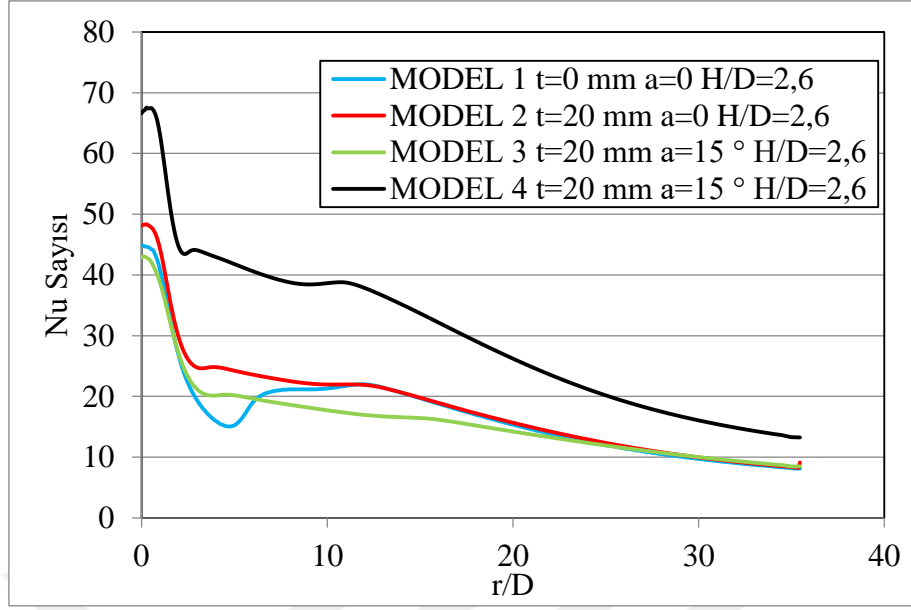


(a)

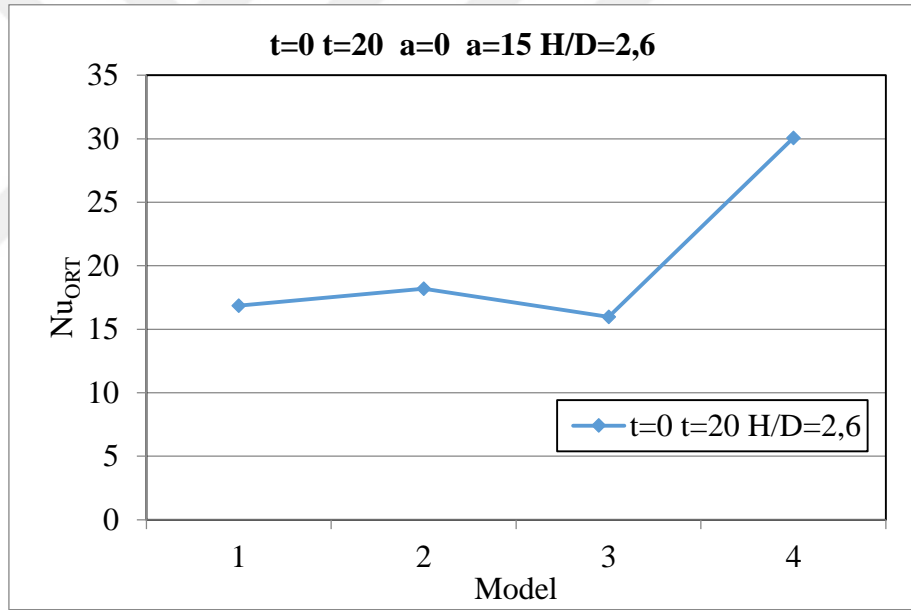


(b)

**Şekil 4.215.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

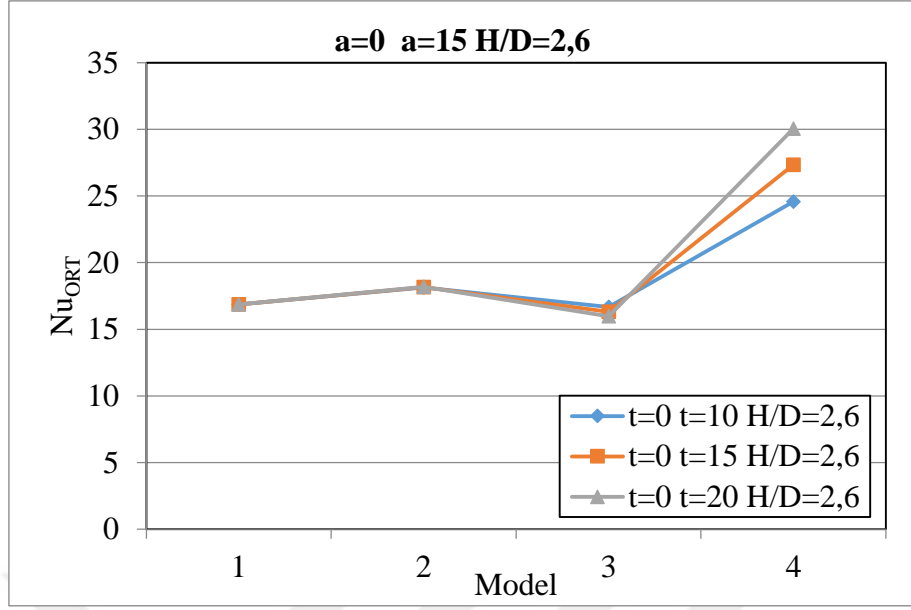


(a)

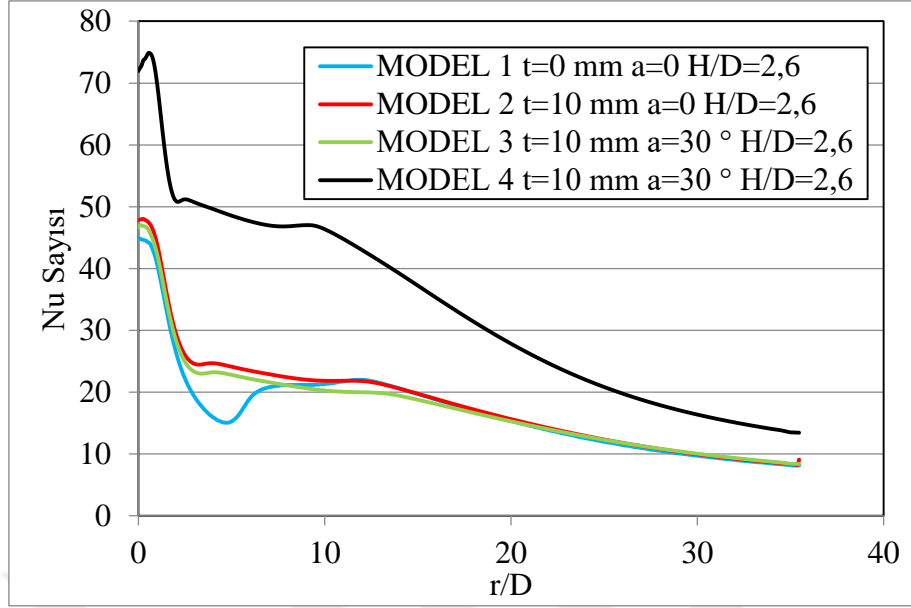


(b)

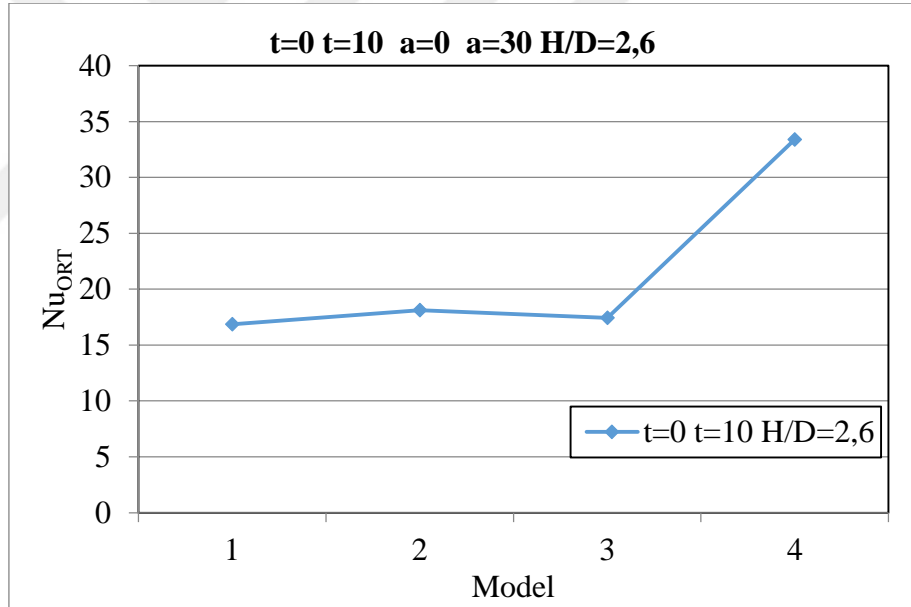
**Şekil 4.216.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.217.**  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi



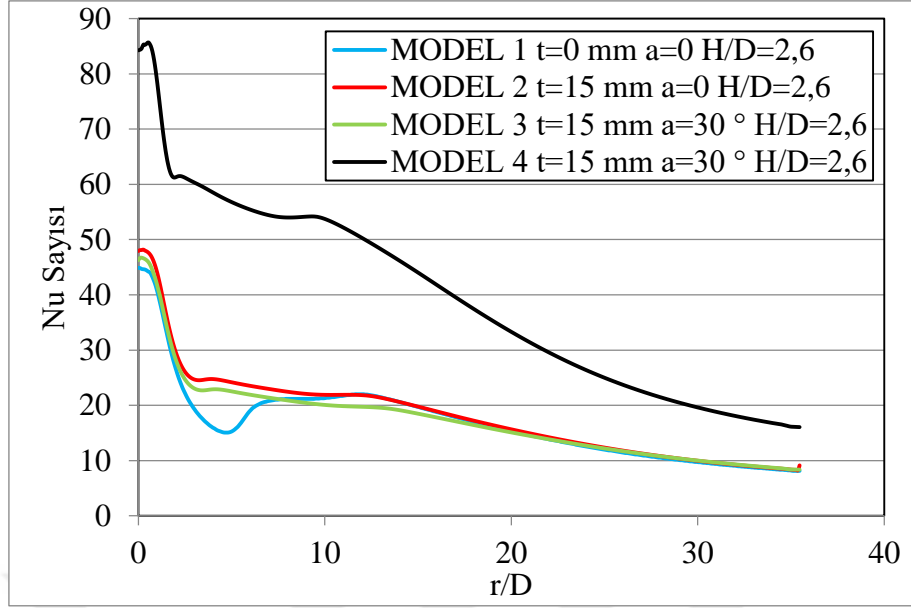
(a)



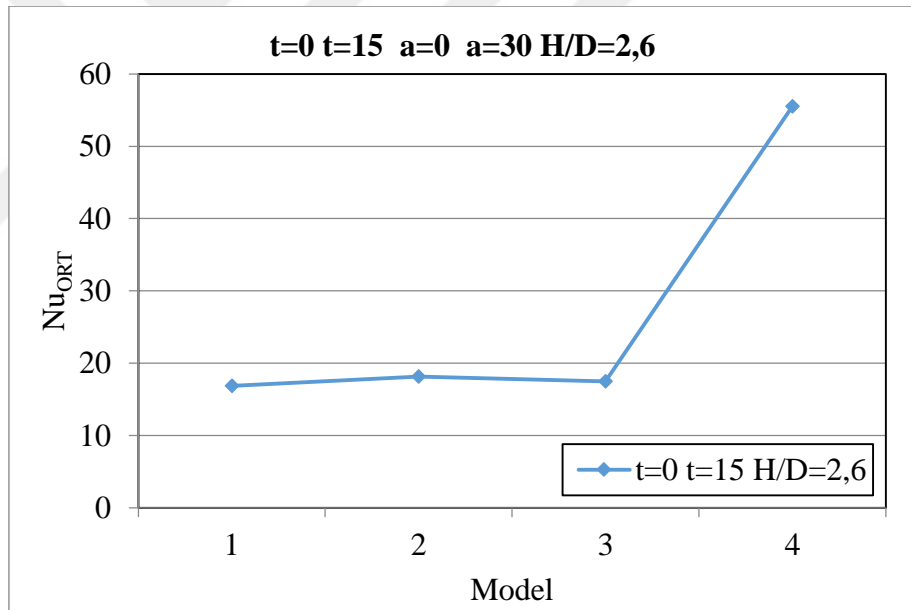
(b)

**Şekil 4.218.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



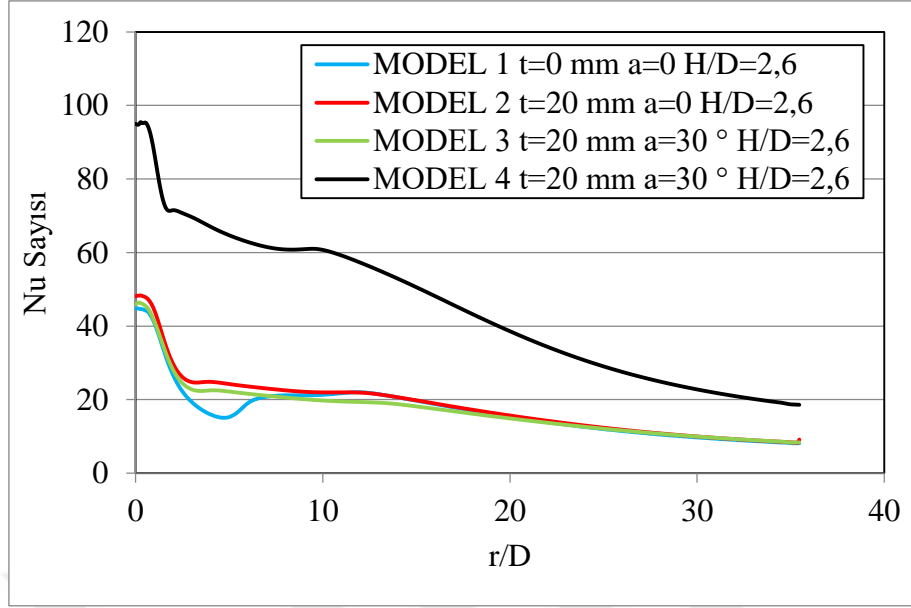


(a)

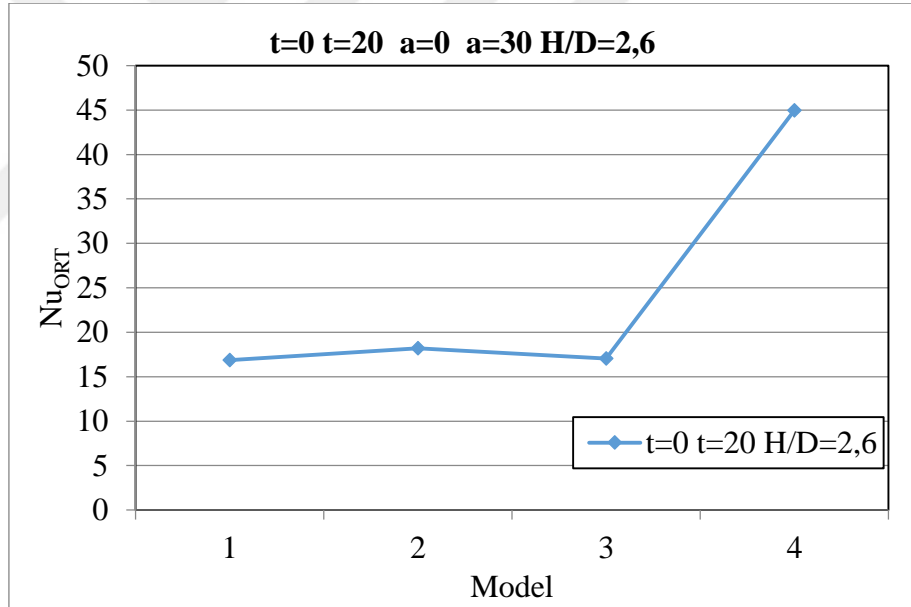


(b)

**Şekil 4.219.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

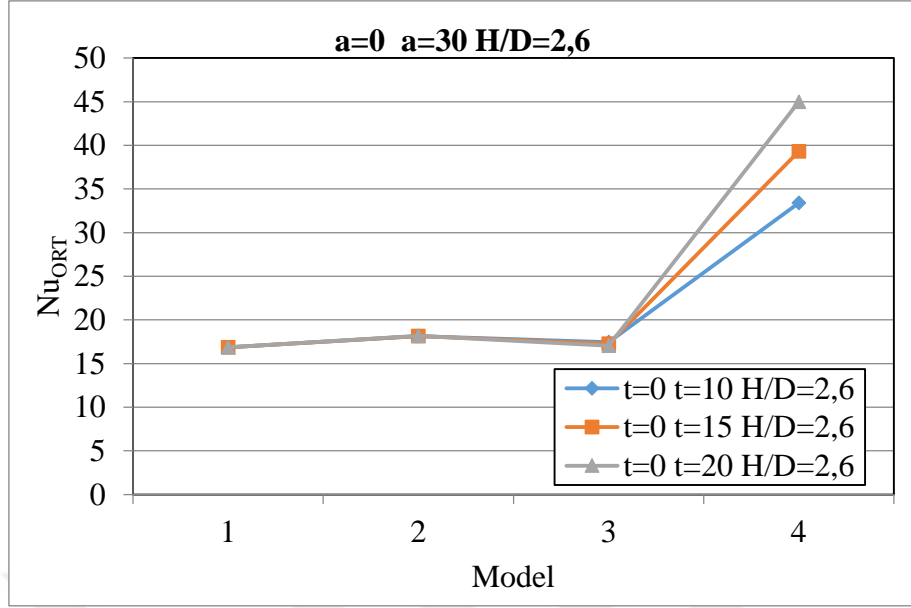


(a)

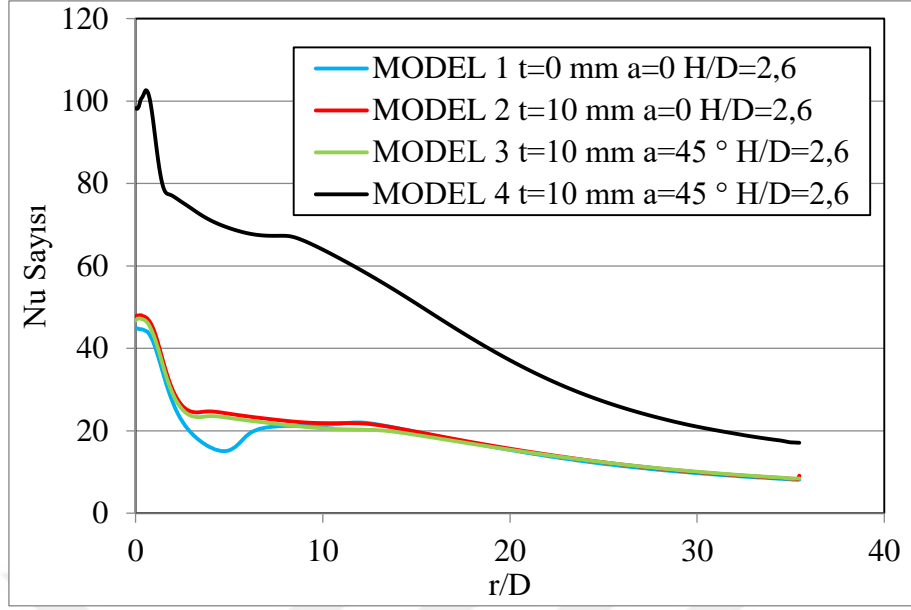


(b)

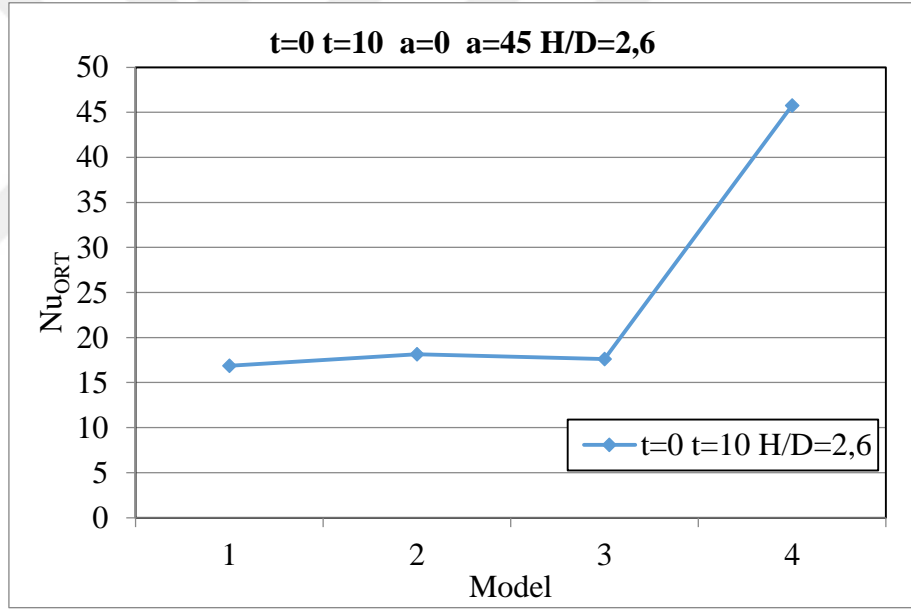
**Şekil 4.220.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.221.**  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi

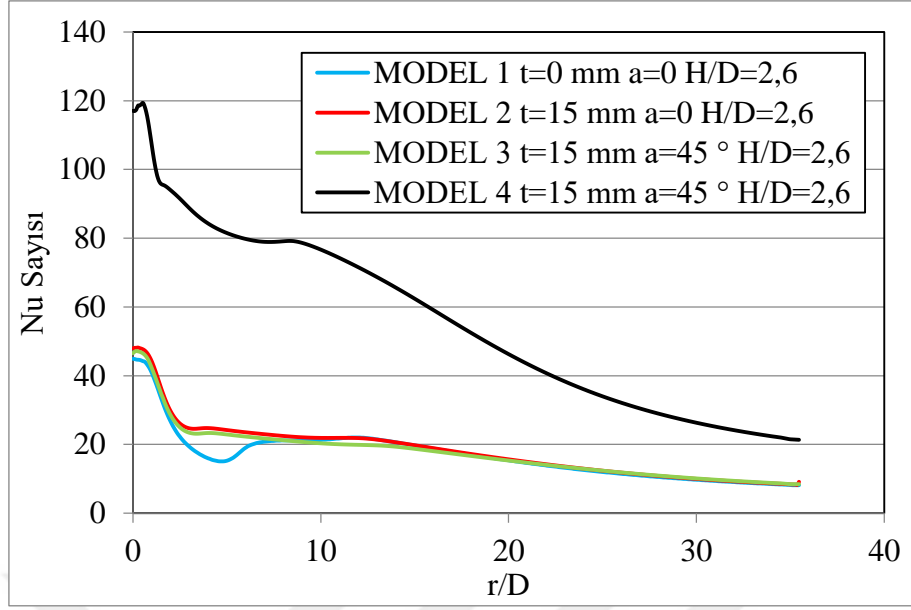


(a)

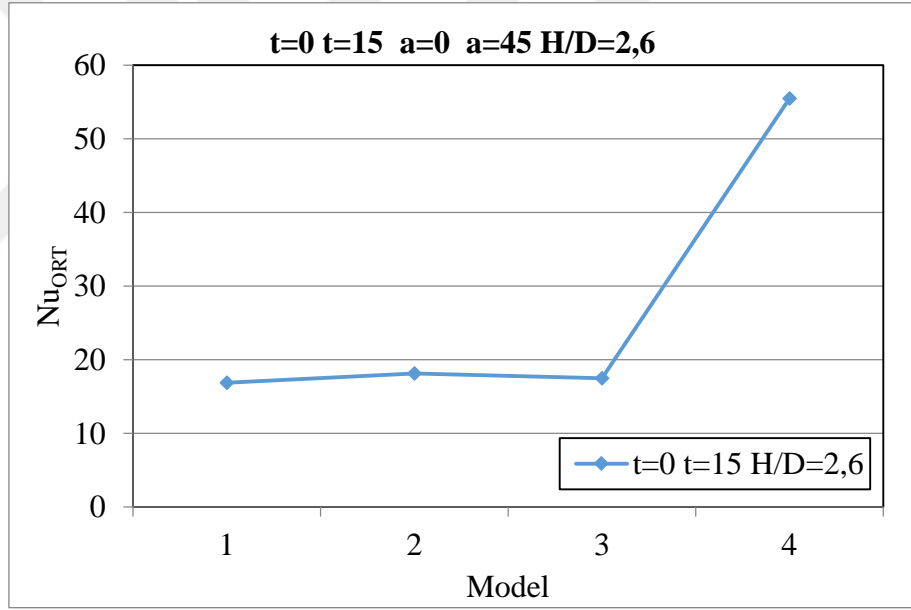


(b)

**Şekil 4.222.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin Modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının Modele göre kıyaslanması

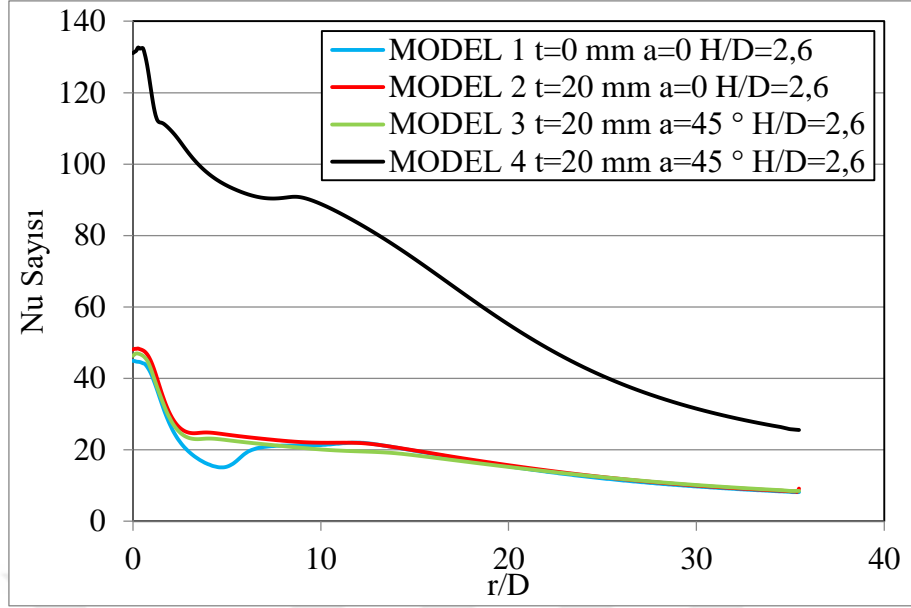


(a)

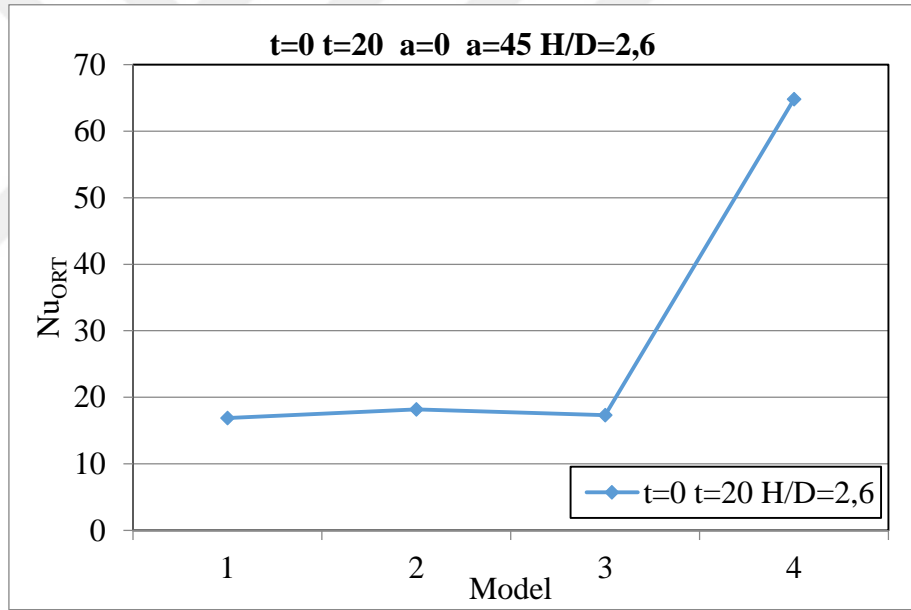


(b)

**Şekil 4.223.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için  $Nu$  sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama  $Nu$  sayısının modele göre kıyaslanması

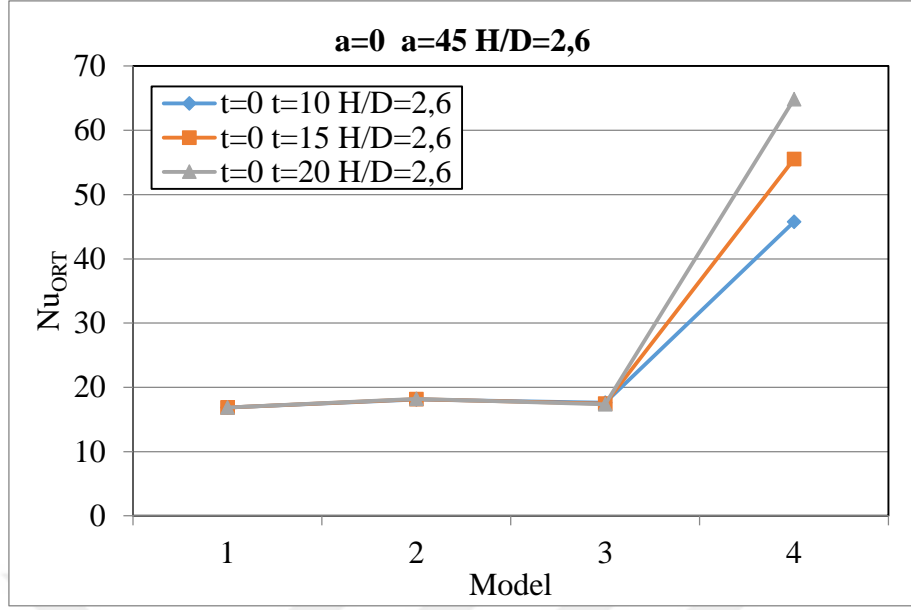


(a)

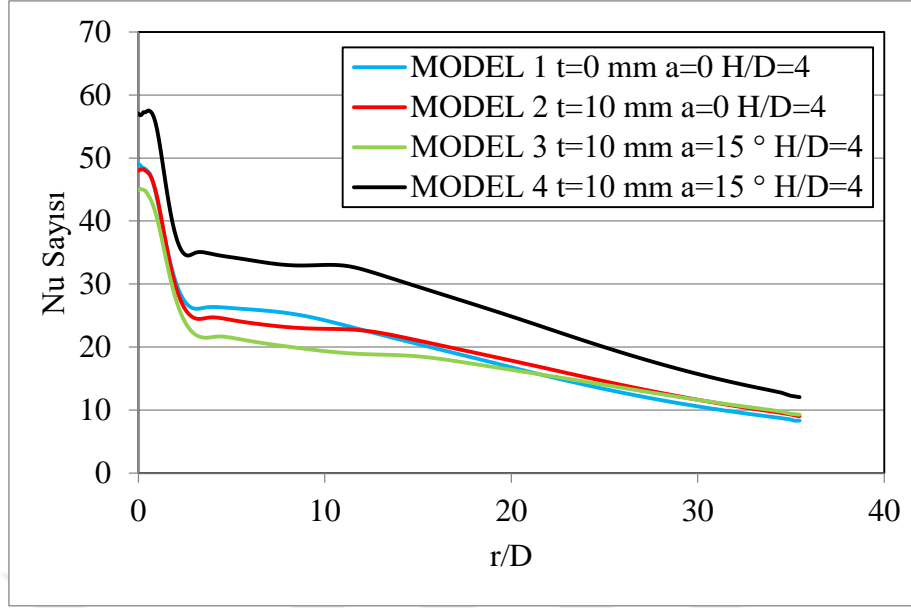


(b)

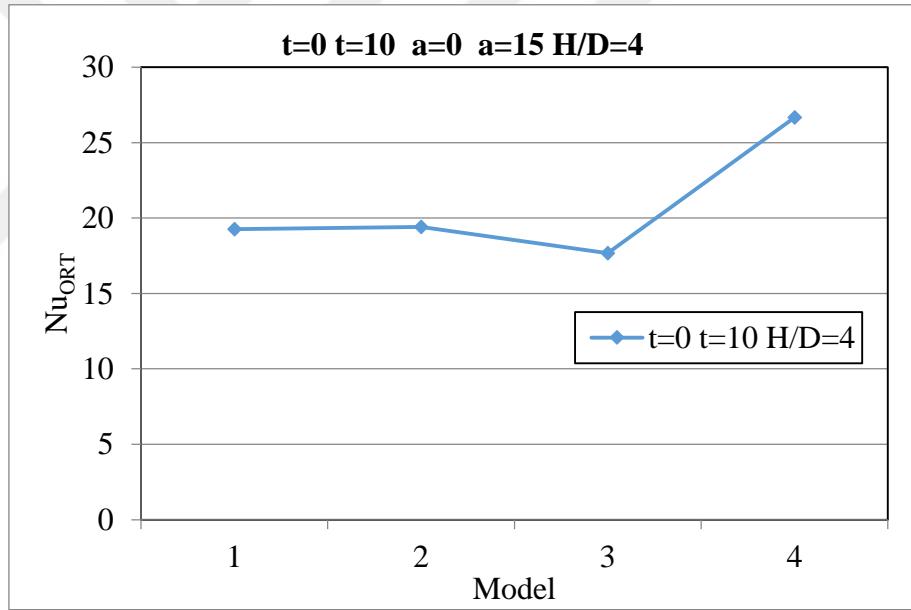
**Şekil 4.224.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.225.**  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi



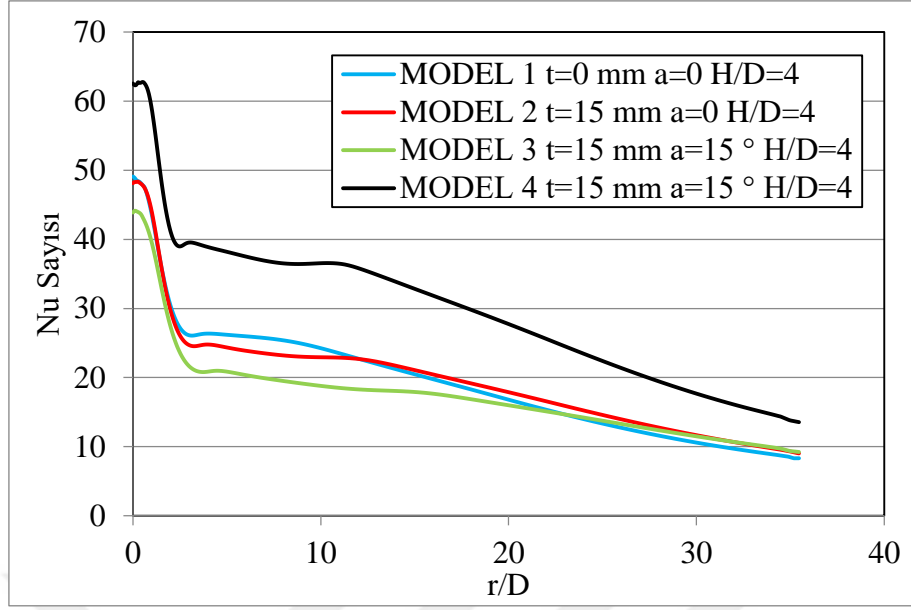
(a)



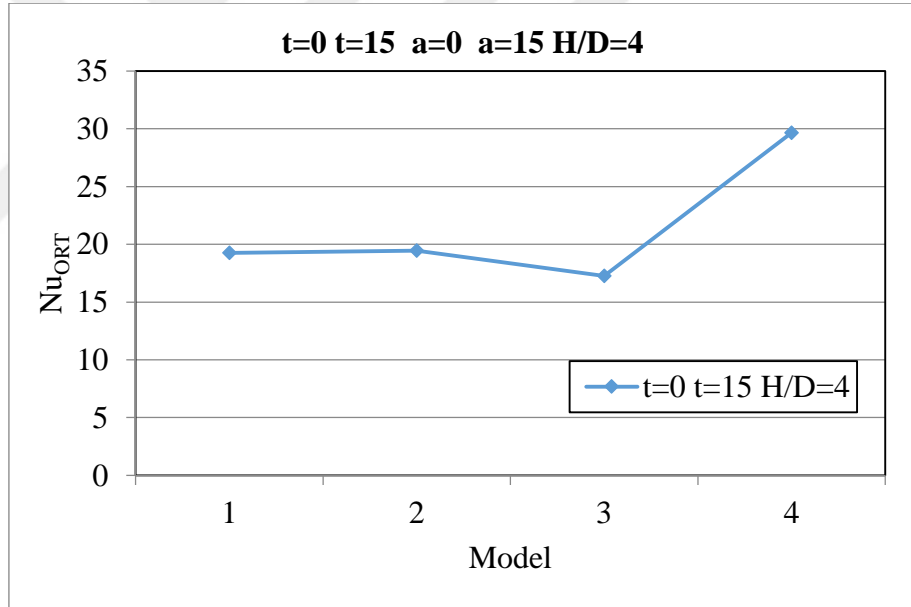
(b)

**Şekil 4.226.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



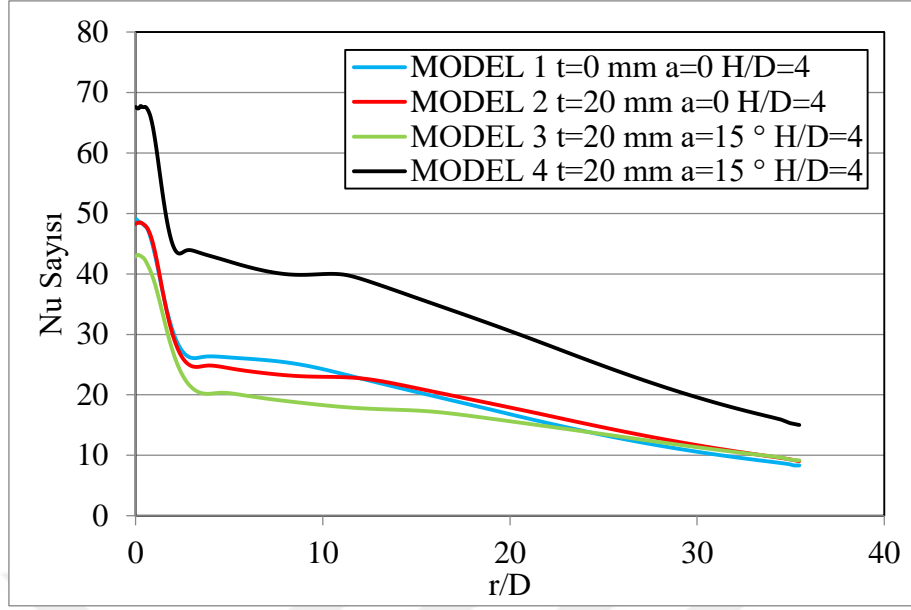


(a)

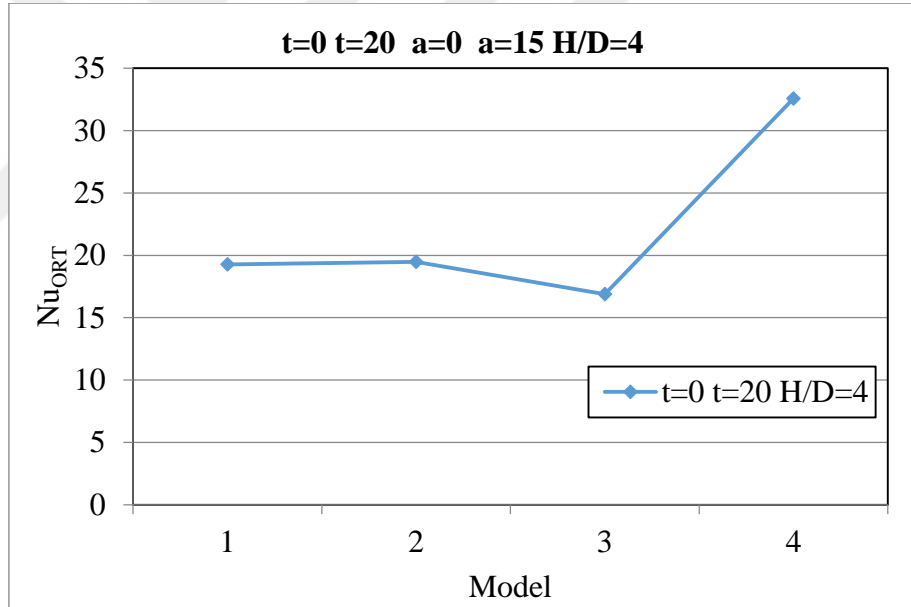


(b)

**Şekil 4.227.** Modelin etkisi(a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

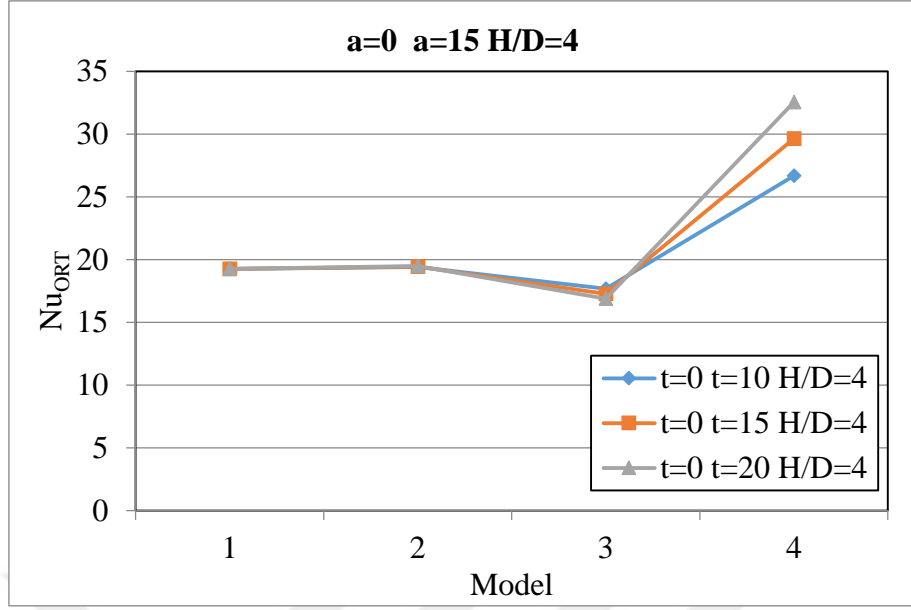


(a)

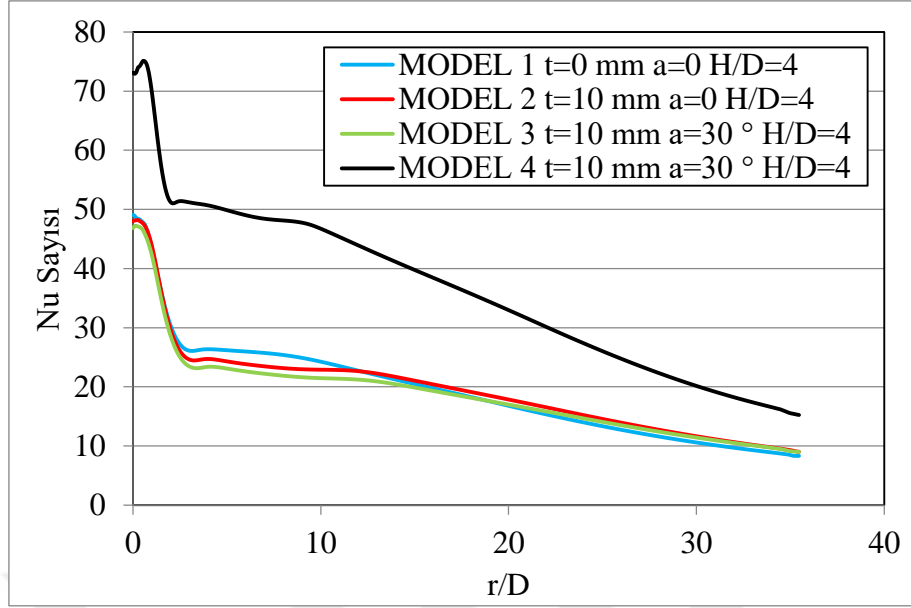


(b)

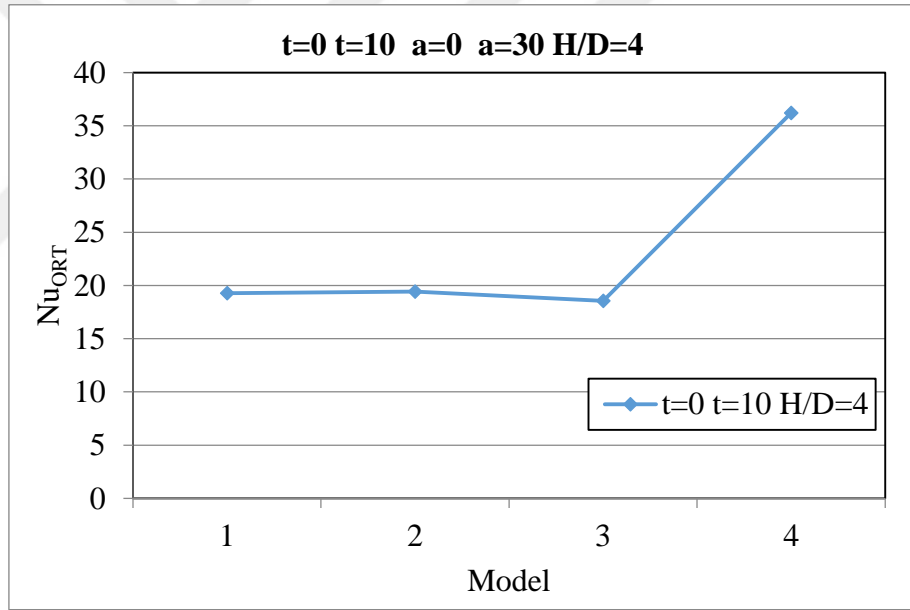
**Şekil 4.228.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.229.**  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi

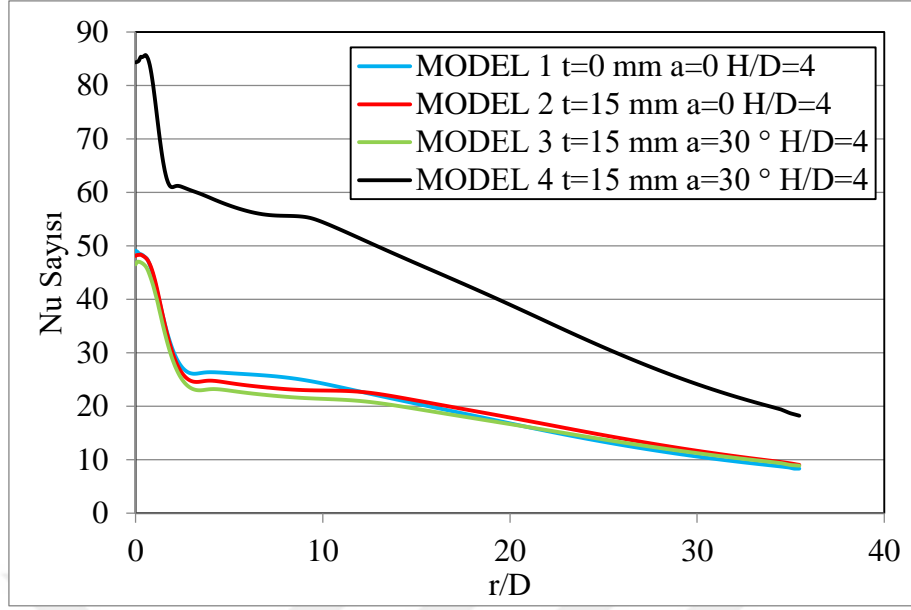


(a)

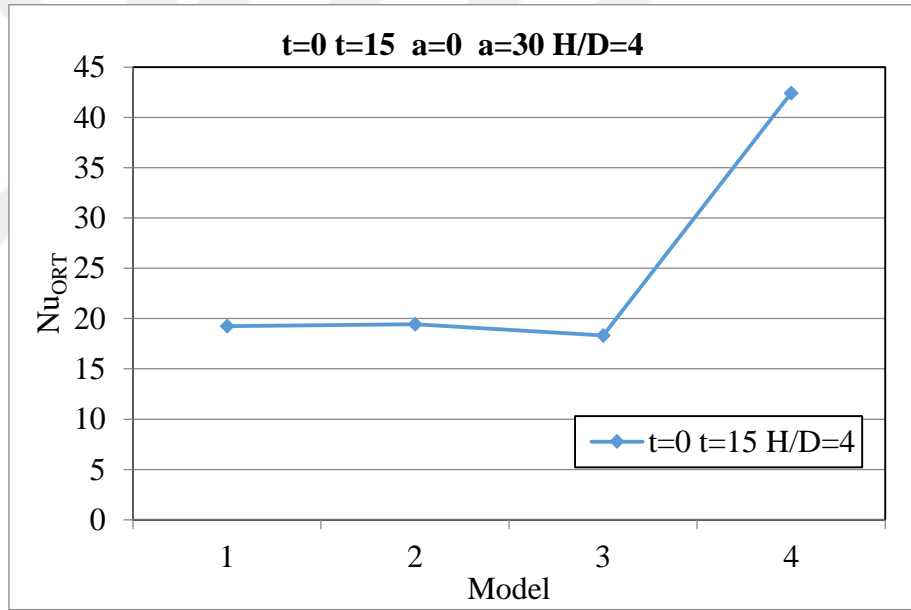


(b)

**Şekil 4.230.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

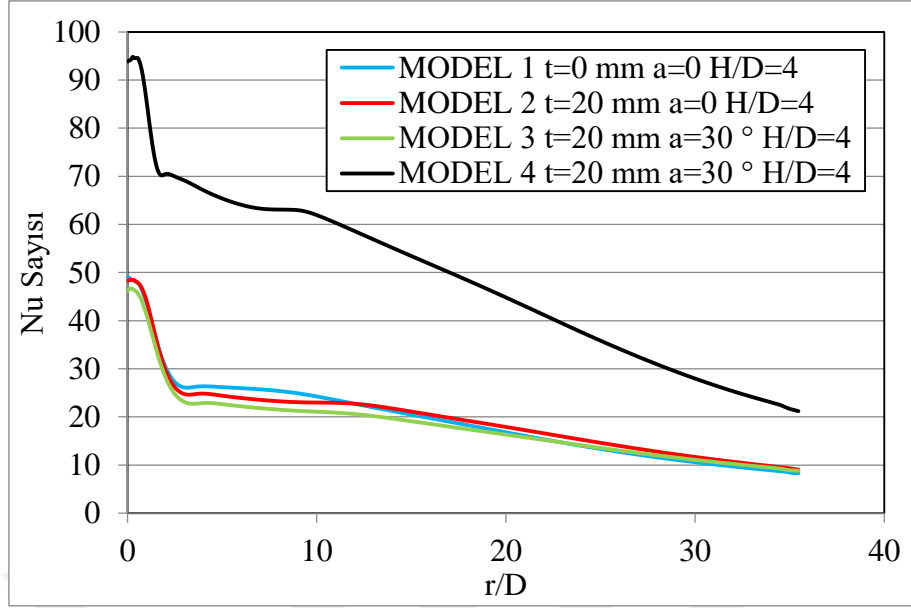


(a)

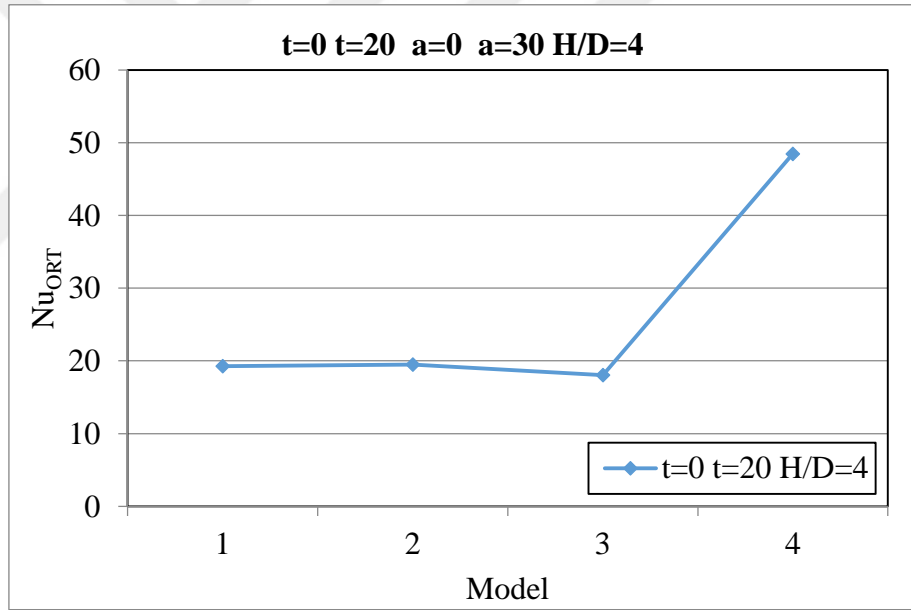


(b)

**Şekil 4.231.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

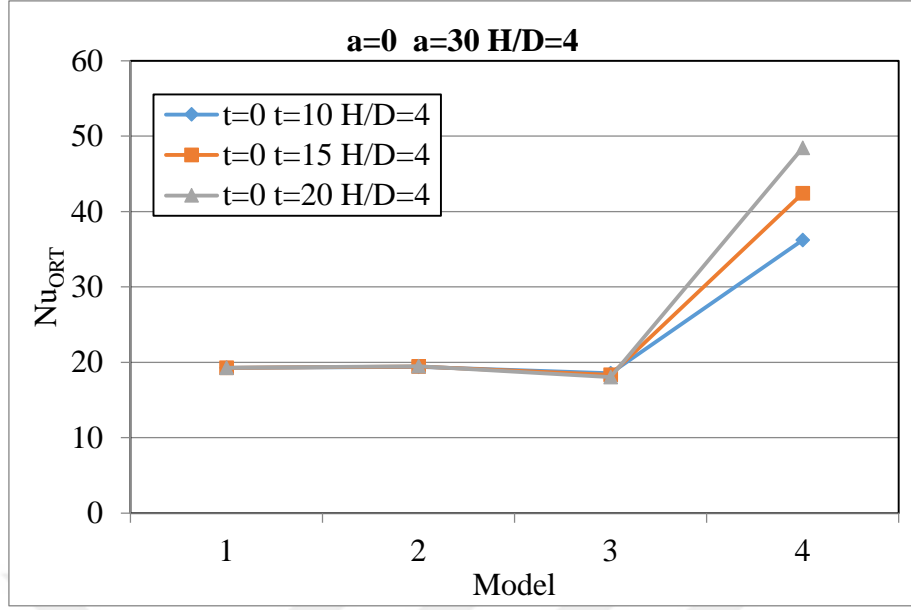


(a)

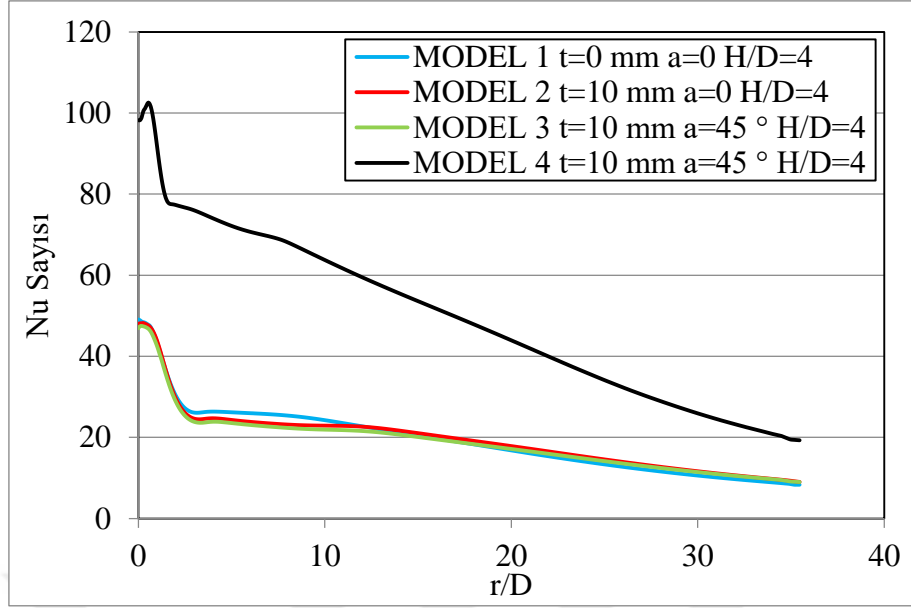


(b)

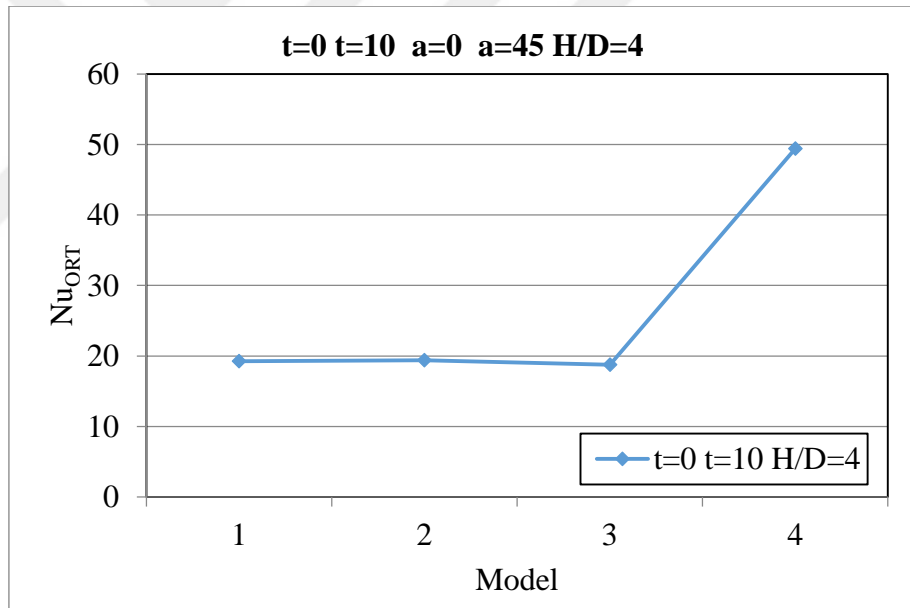
**Şekil 4.232.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.233.**  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi



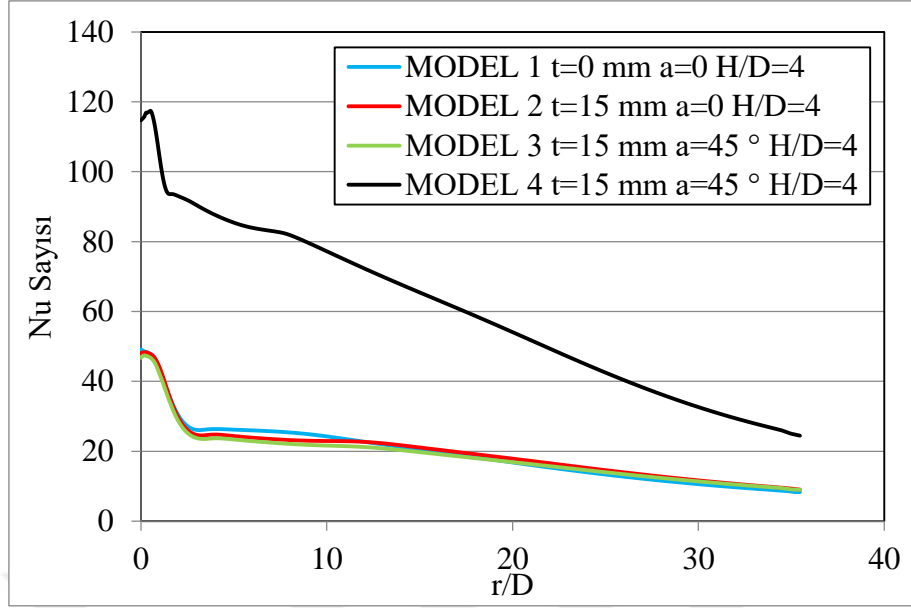
(a)



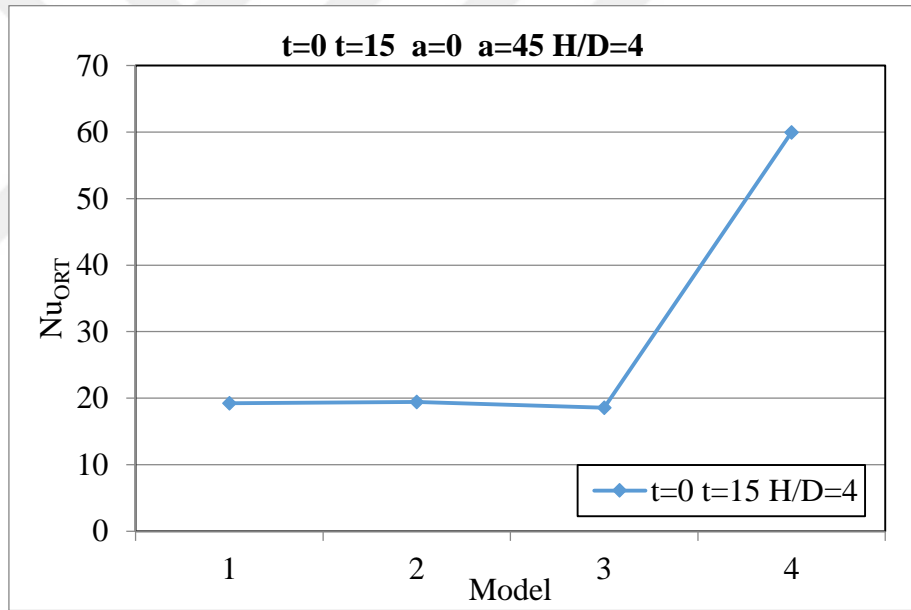
(b)

**Şekil 4.234.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



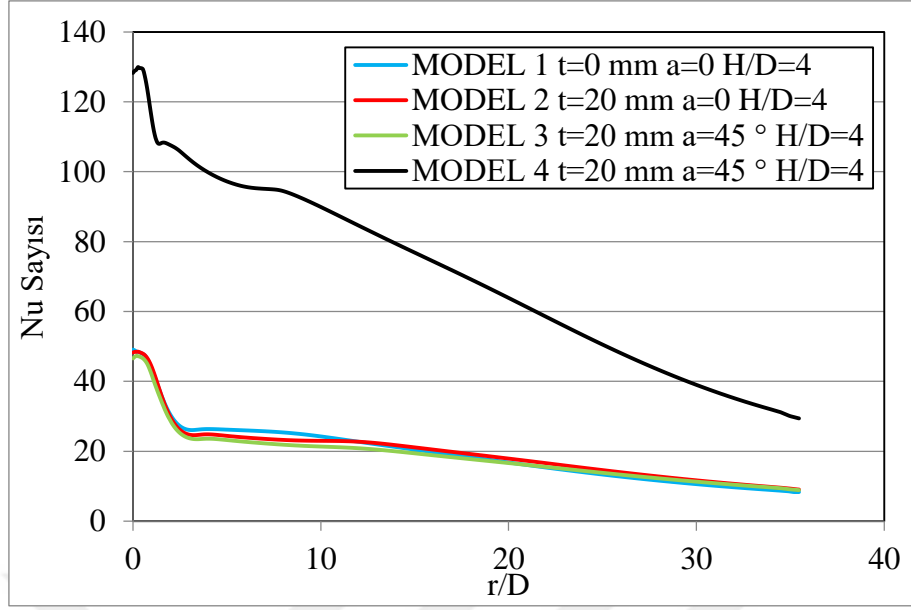


(a)

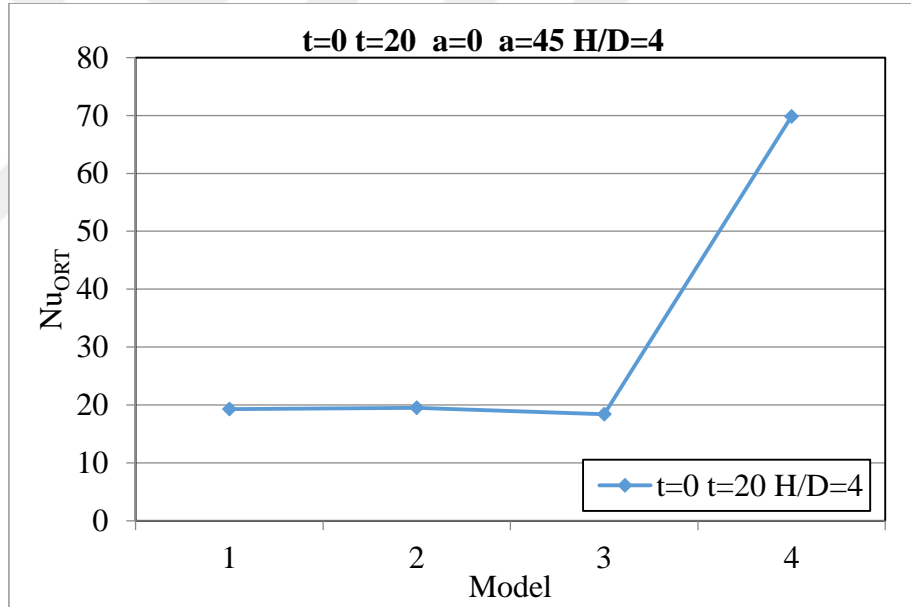


(b)

**Şekil 4.235.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

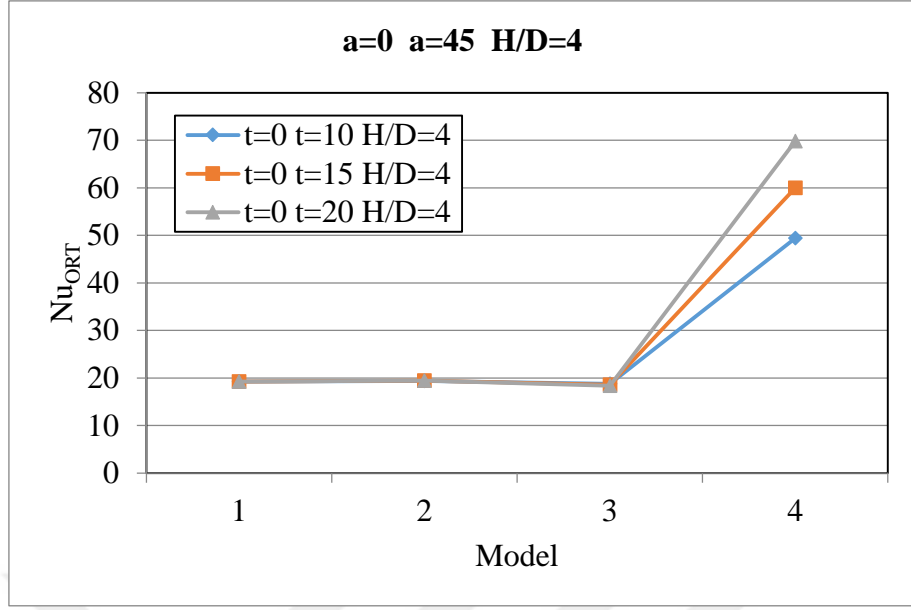


(a)

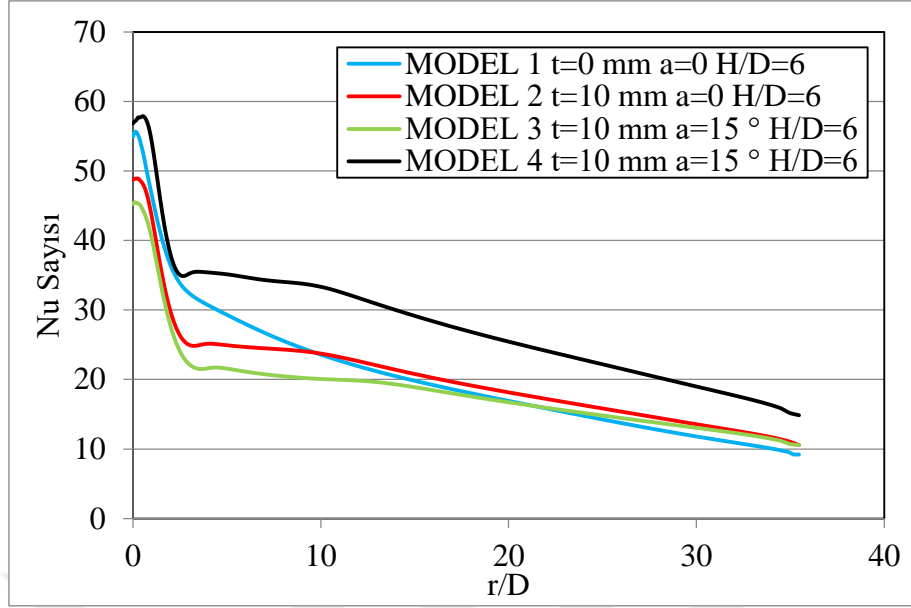


(b)

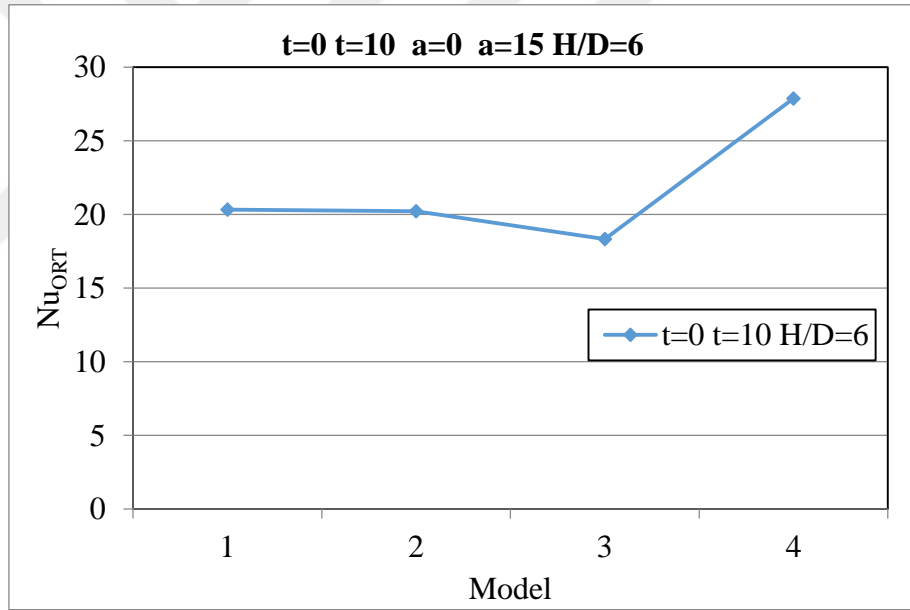
**Şekil 4.236.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.237.**  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=4$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi

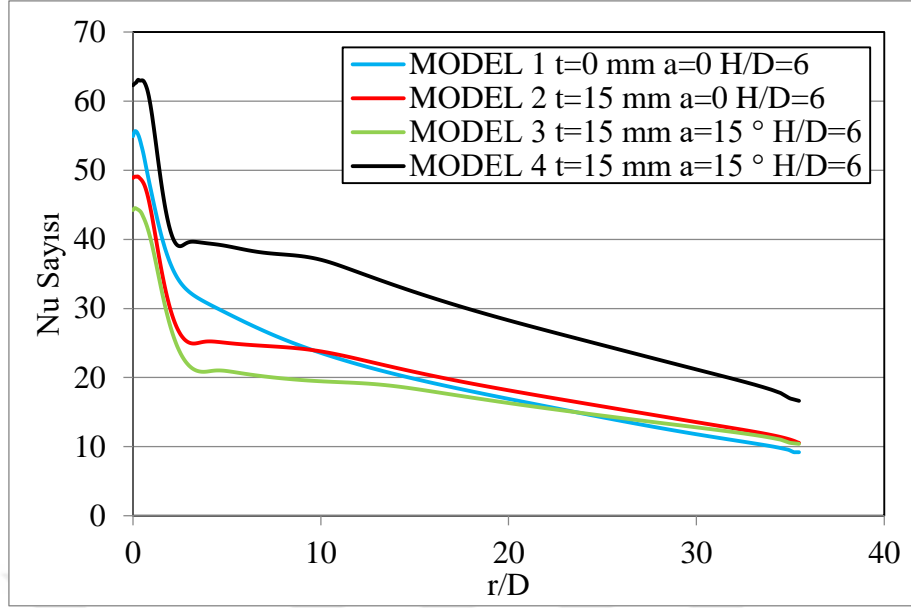


(a)

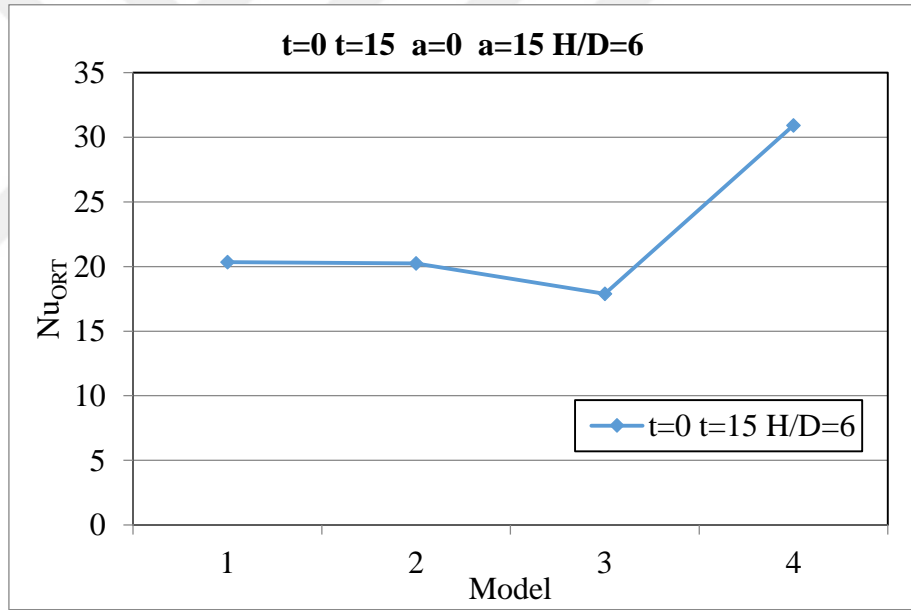


(b)

**Şekil 4.238.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

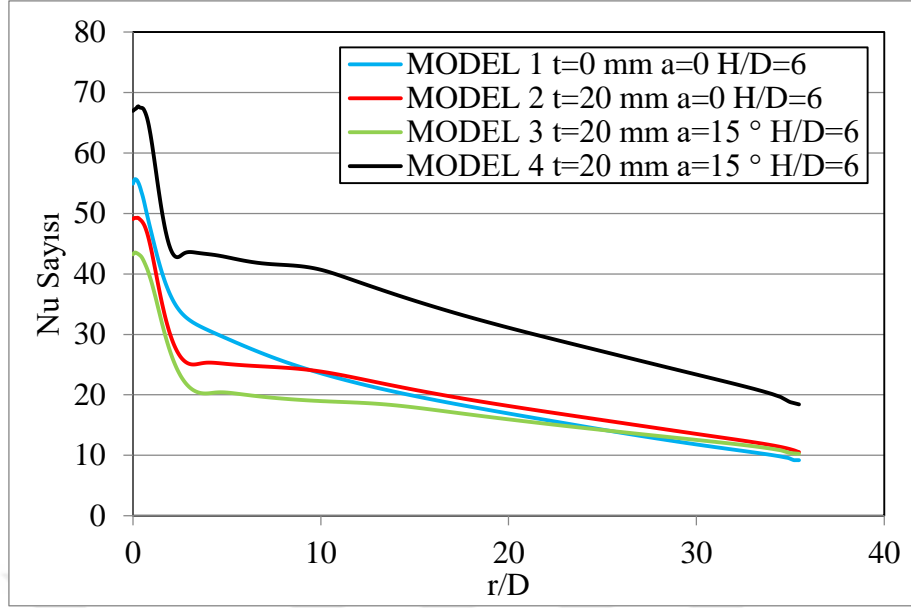


(a)

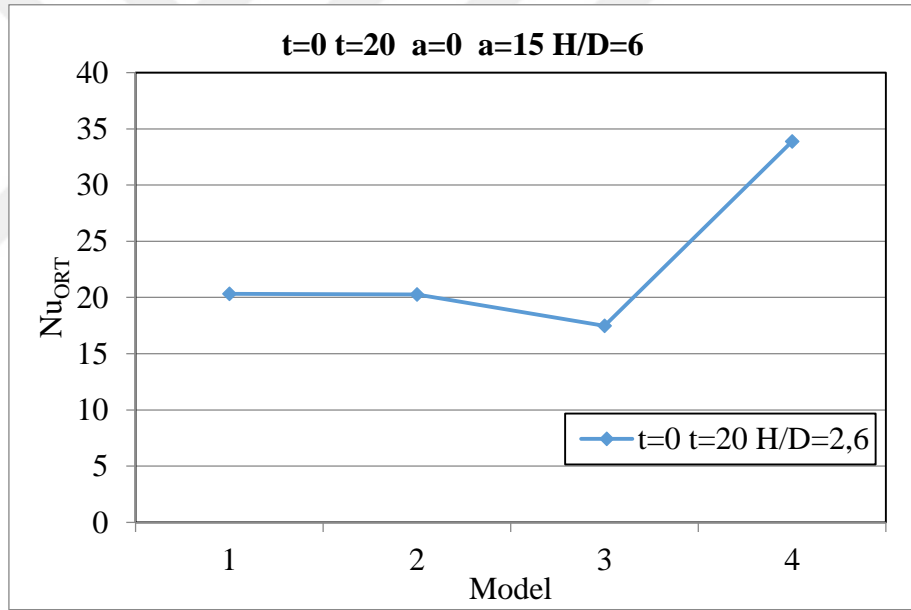


(b)

**Şekil 4.239.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

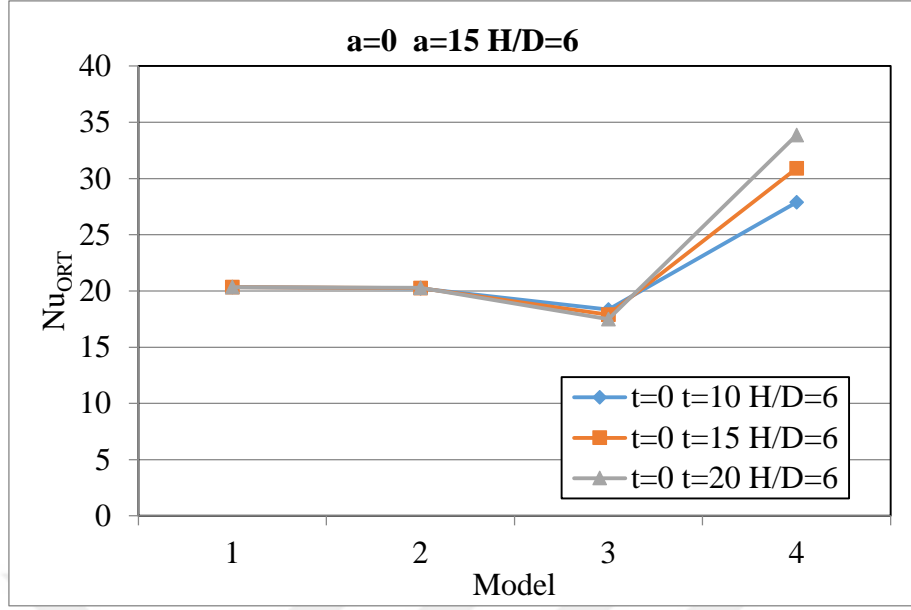


(a)

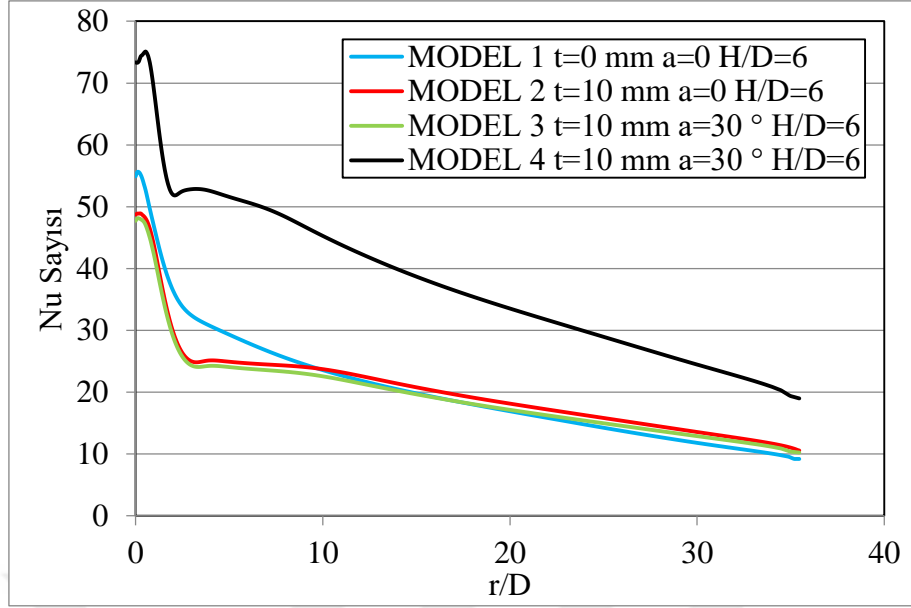


(b)

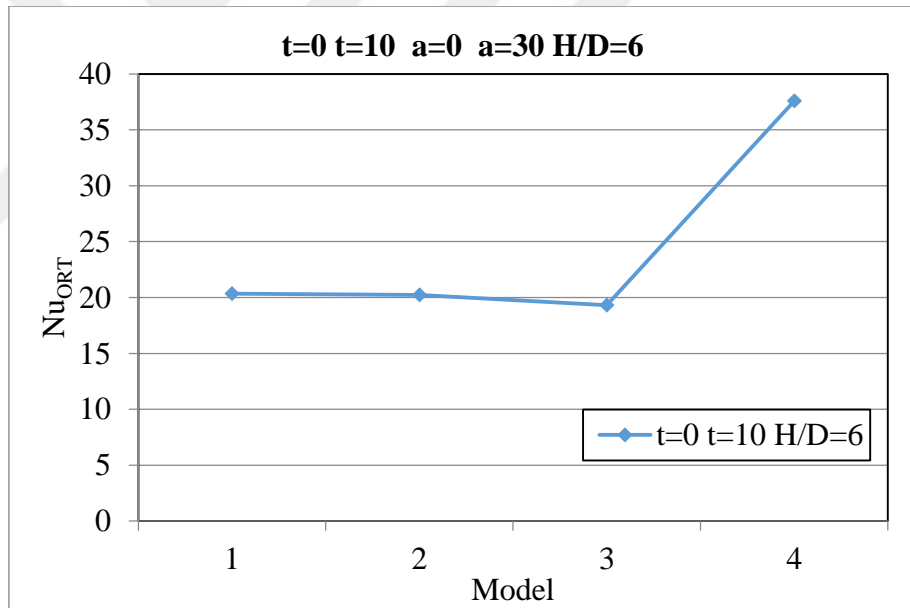
**Şekil 4.240.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.241.**  $a=0^\circ$  ve  $a=15^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi



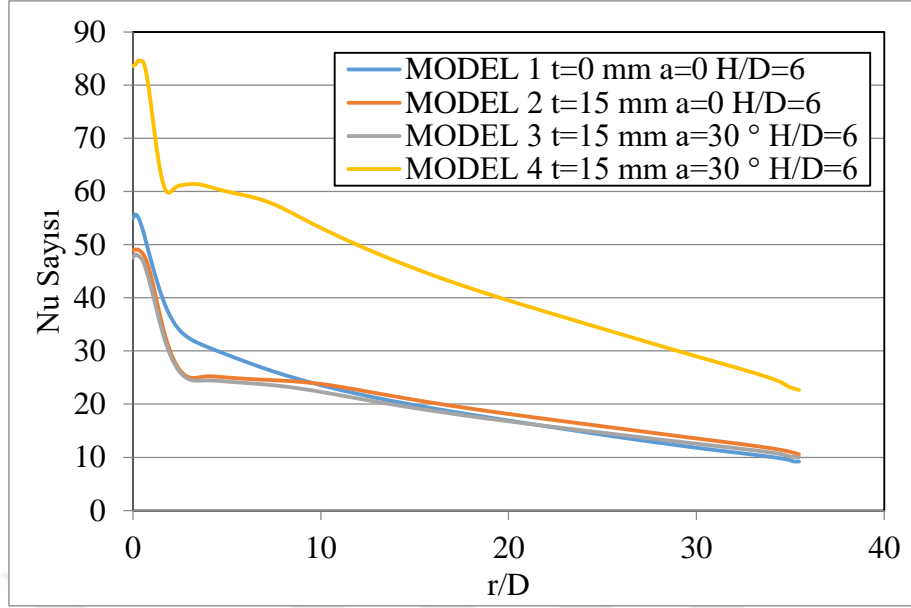
(a)



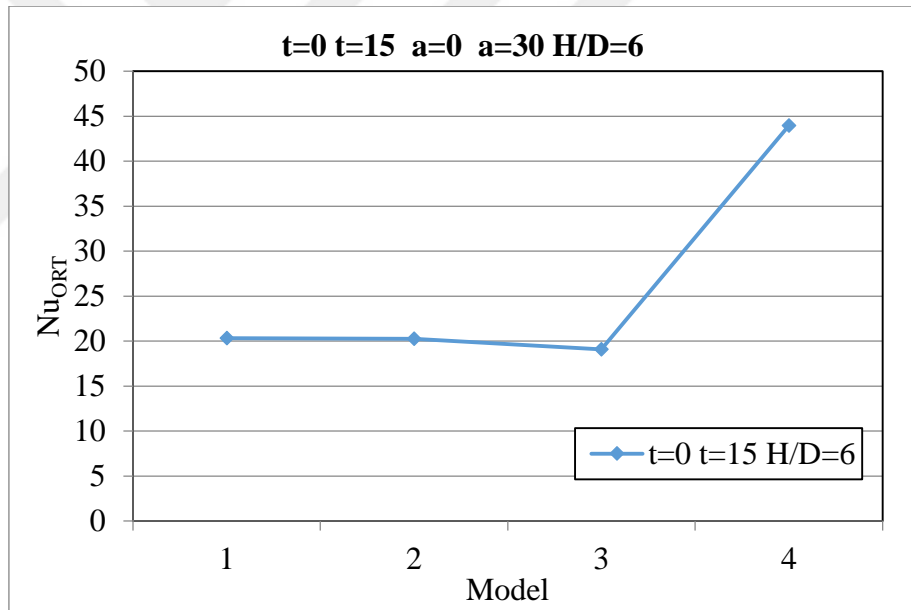
(b)

**Şekil 4.242.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



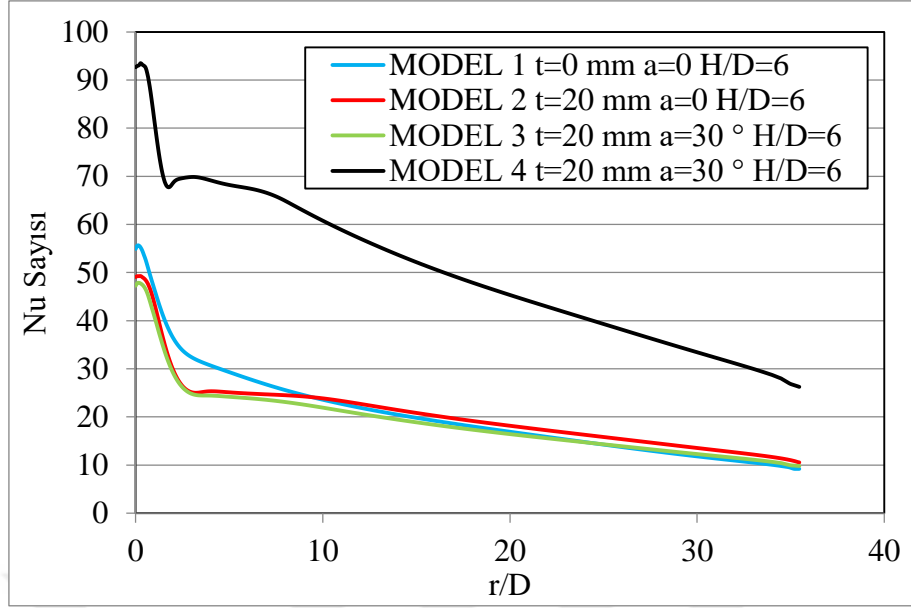


(a)

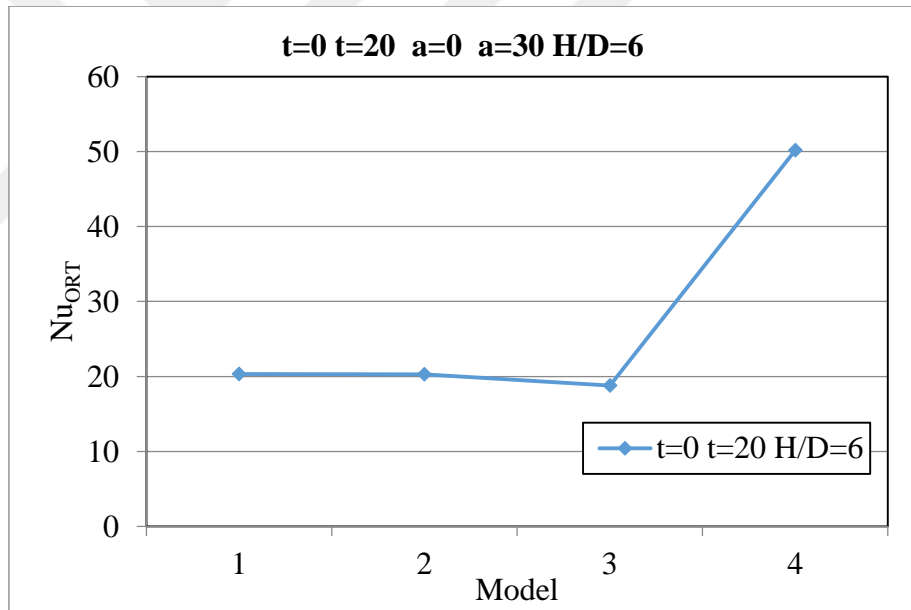


(b)

**Şekil 4.243.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

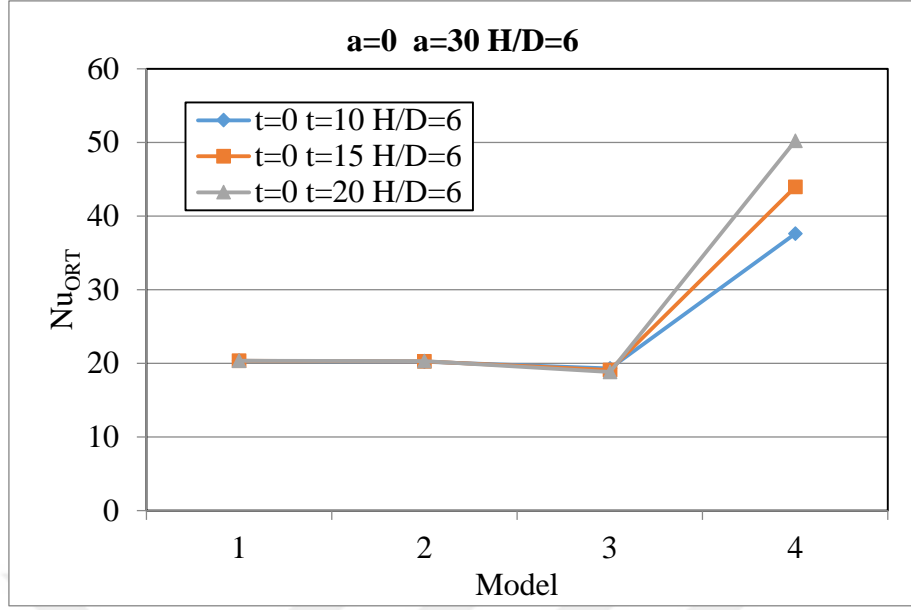


(a)

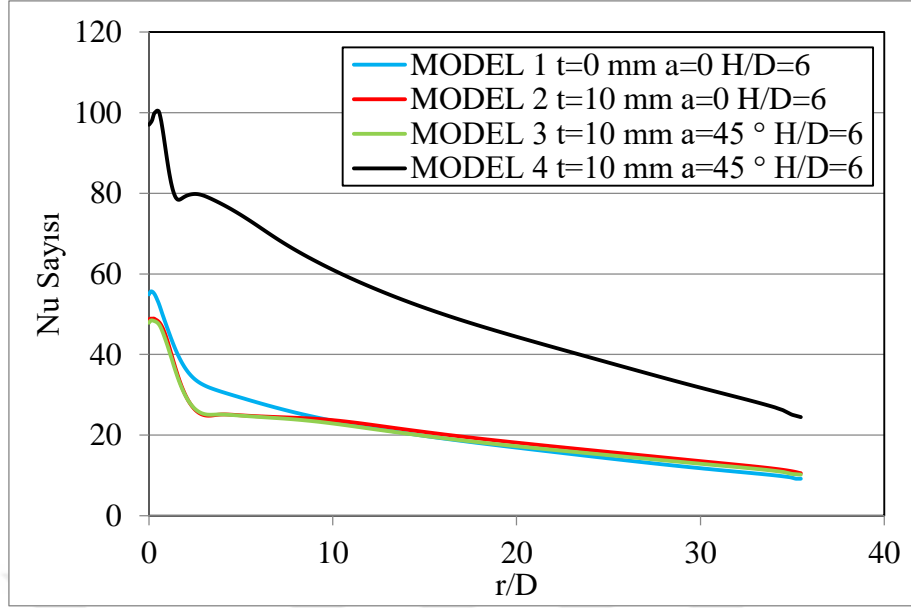


(b)

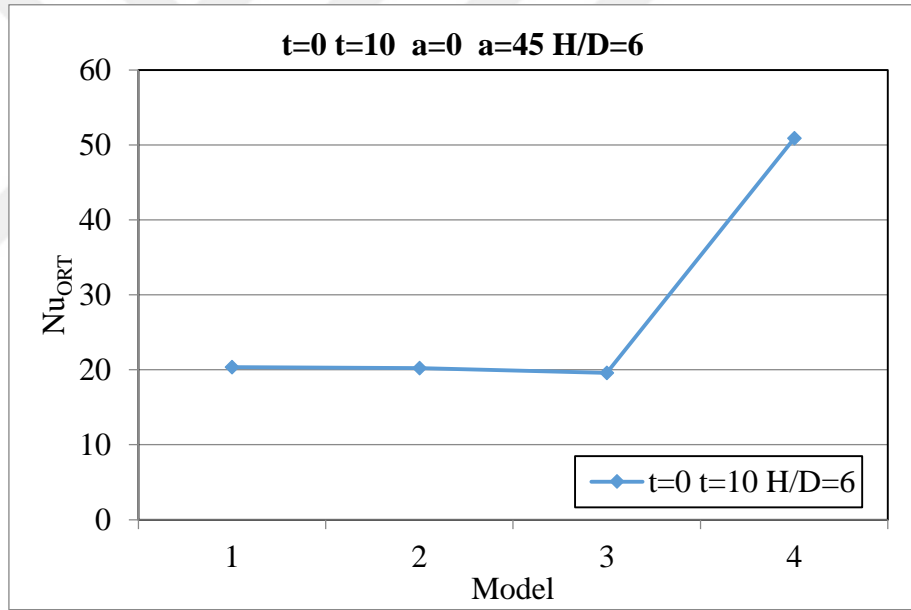
**Şekil 4.244.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.245.**  $a=0^\circ$  ve  $a=30^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi

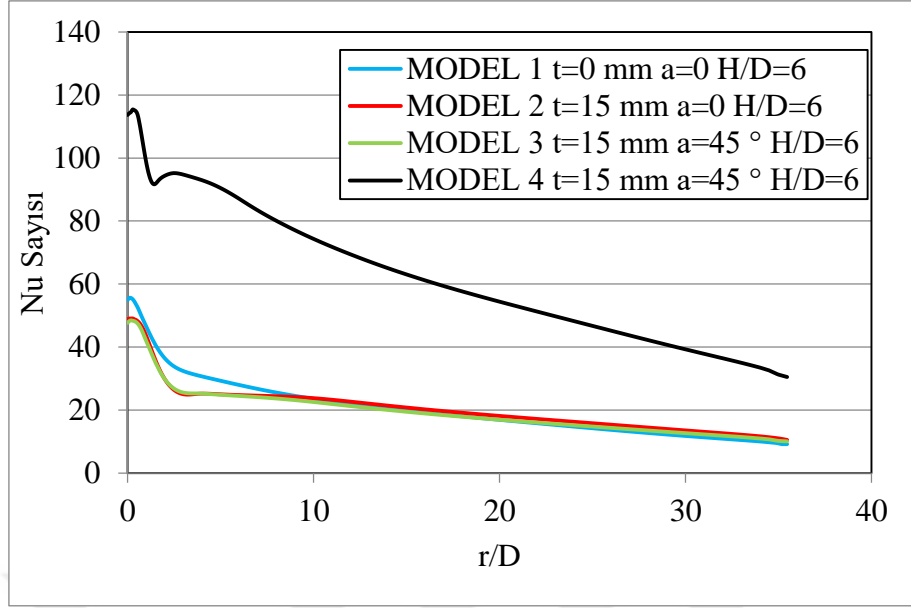


(a)

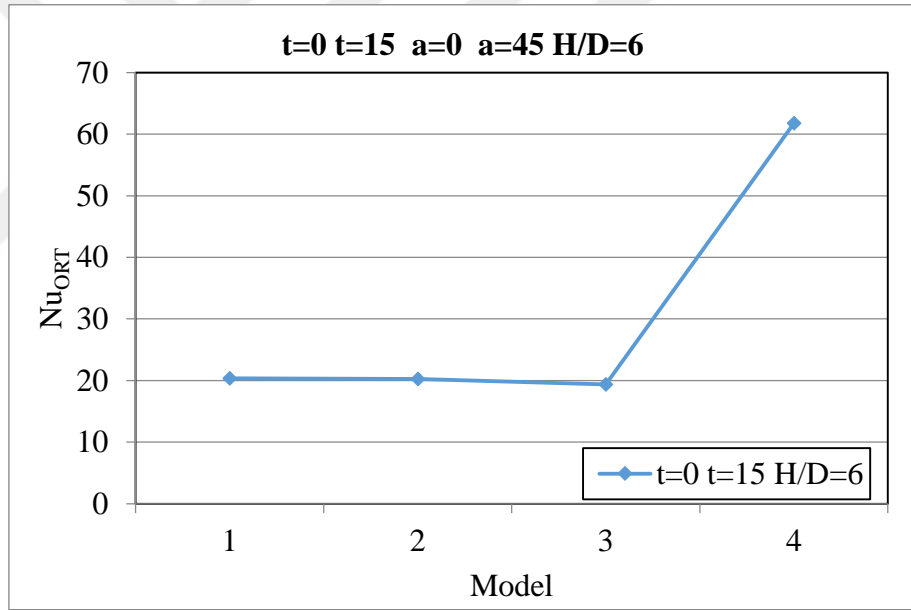


(b)

**Şekil 4.246.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının Modele göre kıyaslanması

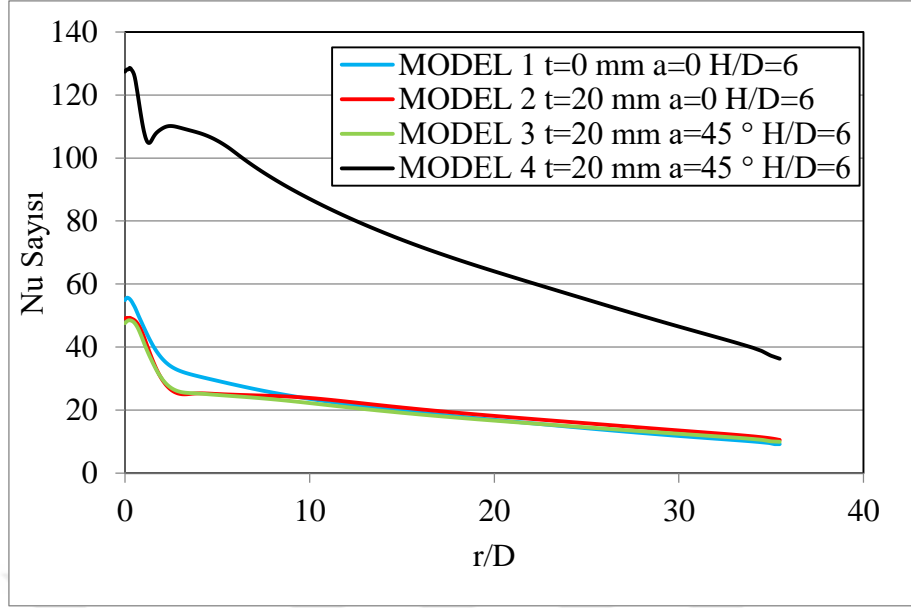


(a)

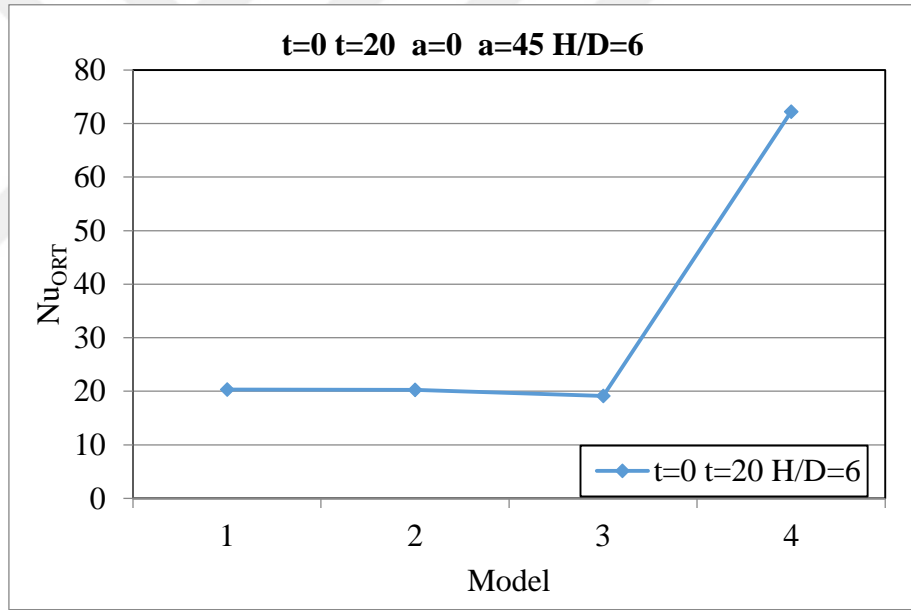


(b)

**Şekil 4.247.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması

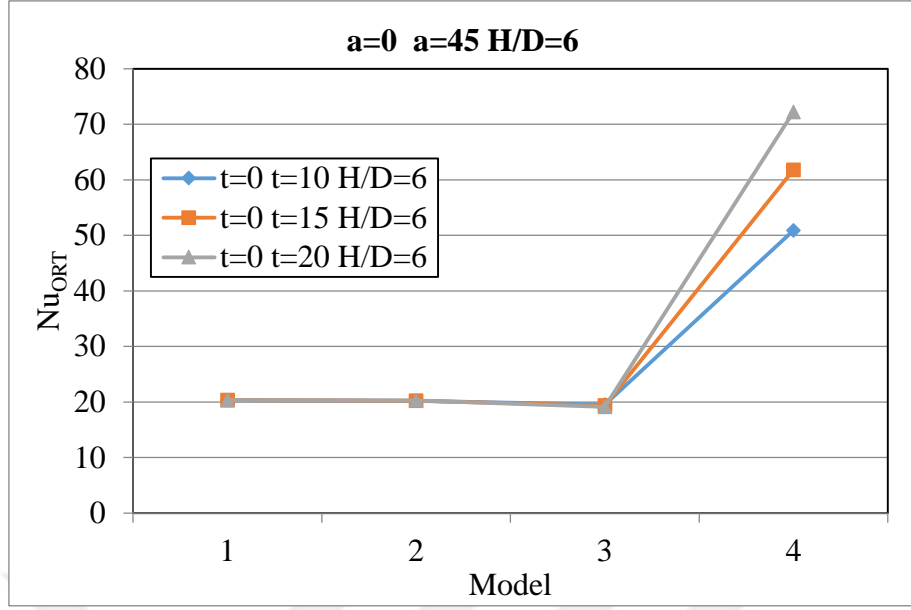


(a)



(b)

**Şekil 4.248.** Modelin etkisi (a)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre kıyaslanması (b)  $t=0$ ,  $t=15$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için ortalama Nu sayısının modele göre kıyaslanması



**Şekil 4.249.**  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  için Nu sayısı değişiminin modele göre lüle modellerinde kullanılan kalınlıkların ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, sınırlandırılmış çarpan hava jeti ile olan ısı transferi üzerine lüle geometrisinin etkisi hesaplamalı olarak araştırılmıştır. Lüle geometrisi, sınırlandırma plakasının kalınlığı değiştirilerek ve lüle düz, konik ve ters konik alınarak değiştirilmiştir. Sınırlandırma plakası kalınlıkları 10, 15 ve 20 mm olarak göz önüne alınmıştır. Düz lüle geometrisinde normal olarak koniklik olmadığından açı  $0^\circ$ 'dir. Ancak, konik ve ters konik geometrilerde, düz lüleden farklı olarak  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , ve  $45^\circ$  koniklik açılarının etkileri de dikkate alınmıştır. Ayrıca 3 farklı jet-çarpma plakası uzunluğu ( $H/D= 2.6, 4.0, 6.0$ ) etkisi de yukarıdaki parametrelerle birlikte araştırılmıştır.

### **Kalınlık ve açı sabit iken $H/D$ 'nin etkisi**

Sınırlandırma plakası kalınlığının olmadığı Model 1'de çarpma bölgesinde  $H/D$  arttıkça lokal Nu sayıları artmakta, ancak duvar jeti bölgesinde lokal Nu sayısı azalmakta ama tüm  $H/D$  oranlarında aynı kalmaktadır. İkincil tepe noktası  $H/D=2.6$ 'da ortaya çıkmakta ve  $H/D=6$ 'da tamamen ortadan kalkmaktadır. Bu modelde  $H/D$  oranları arttıkça ortalama Nu sayısı da artmaktadır.

Kalınlığın dikkate alındığı ancak konikliğin dikkate alınmadığı (düz) Model 2'de  $t= 10$  mm sabit sınırlandırma plakası kalınlığında lokal Nu sayısı tüm plaka kalınlıklarında çok az artmış neredeyse aynı kalmıştır. Dolayısıyla ortalama Nu sayıları da  $H/D$  arttıkça çok az artmıştır. Diğer iki sınırlandırma plakası kalınlığında ( $t=15$  ve  $20$  mm) da benzer bir davranış elde edilmiştir. fakat her 3 kalınlıktaki düz lüle, kalınlıksız lüle (Model 1) ile karşılaştırıldığında  $H/D=2.6$ 'da tüm kalınlıklarda ortalama Nu sayıları kalınlıksız lüleden yüksektir.

Hem kalınlığın hem de konikliğin (normal koniklik) dikkate alındığı Model 3'de, kalınlık ve koniklik açısı sabit olduğunda, lokal Nu sayıları birbirine oldukça yakın çıkmalarına rağmen duvar jeti bölgesinde  $H/D$  arttıkça lokal Nu sayısı az da olsa artmaktadır. Bu durum ortalama Nu sayıları sonuçlarına da yansımakta olup,  $H/D$  arttıkça ortalama Nu sayıları da hafifçe artmaktadır. Sabit bir sınırlandırma plakası kalınlığında koniklik açısı arttıkça ortalama Nu sayıları artmaktadır. Ancak, koniklik açısı büyüdükçe ( $30^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye) ortalama Nu sayısındaki artış oldukça azalmaktadır.



Hem kalınlığın hem de konikliğin (ters koniklik) dikkate alındığı Model 4’de, kalınlık ve koniklik açısı sabit olduğunda, lokal Nu sayıları birbirine yakın çıkmalarına rağmen duvar jeti bölgesinde H/D arttıa lokal Nu sayısı normal konikliğe göre daha fazla artmaktadır. Ortalama Nu sayıları da her sınırlandırma plakası kalınlığında H/D arttıa artmaktadır. Bu durum, ortalama Nu sayıları sonuçlarına yine yansımakta olup H/D arttıa ortalama Nu sayıları da hafifçe artmaktadır. Sabit bir sınırlandırma plakası kalınlığında koniklik açısı arttıa ortalama Nu sayıları artmaktadır. Fakat, normal koniklik duurumundan (Model 3) farklı olarak koniklik açısı büyüdükçe (30°’den 45°’ye) ortalama Nu sayısındaki artış azalmamakta 15°’den 30°’ye olan artış kadar olmaktadır.

### **H/D ve aı sabit iken kalınlığın etkisi**

Model 2’de H/D ve lüle açısı sabit iken kalınlığın lokal Nu sayısı üzerine etkisi yok denecek kadar azdır. Bu durum normal olarak ortalama Nu sayılarına da yansımakta ve ortalama Nu sayıları kalınlıkla çok az artmaktadır. H/D arttıa ortalama Nu sayısındaki çok az olan değişim artmaktadır.

Model 3’de H/D ve lüle açısı sabit iken kalınlığın lokal Nu sayısı üzerine etkisi oldukça az olmasına rağmen Model 2’deki kadar birbirine çakışık değildir. Fakat kalınlık arttıa hafif olarak azalmaktadır. Model 3’de Model 2’den farklı olarak H/D ve koniklik açısı sabit iken ortalama Nu sayıları lokal Nu sayısı değişimine paralel olarak birbirine yakın olmasına rağmen kalınlık arttıa hafifçe azalmaktadır. Sabit bir H/D oranında koniklik açısı arttıa ortalama Nu sayıları hafifçe azalmaktadır. Ancak, koniklik açısı büyüdükçe (30°’den 40°’ye) ortalama Nu sayısındaki artış oldukça azalmaktadır. H/D arttıa (2.6, 4, 6) ortalama Nu sayıları da kalınlıkla azalmasına rağmen artmaktadır.

Model 4’de H/D ve lüle açısı sabit iken, lokal Nu sayıları kalınlık arttıa artmaktadır. Bunun nedeni, Model 3’n tersine olarak bu artış bu modelde koniklik ters olduğu için koni ıkışımın daralmasına ve bundan dolayı hız artışına yorumlanabilir. Bu artış ters koniklik açısı arttıa daha da büyümektedir. Lokal Nu sayısındaki artışlar ortalama Nu sayılarına da yansiyarak ortalama Nu sayıları kalınlıkla artmakta olup her bir ters koniklik açısında aı arttıa ortalama Nu sayıları da artmaktadır. Model 4’de göze çarpan diğer bir husus tüm kalınlıklarda, yüksek H/D oranında (H/D=6) ve 30° ters koniklik açısından

itibaren ikincil tepe noktasının belirmeye başlaması ve 45°'de belirgin olarak ortaya çıkmasıdır.

### **H/D ve kalınlık sabit iken açının etkisi**

Model 3'de H/D ve kalınlık sabit iken, koniklik açısı artarken lokal Nu sayısı çarpma bölgesinde ve duvar jeti bölgesinin başlarında artmakta ve  $r/D=20$ 'den sonra duvar jeti bölgesinde aynı kalmaktadır. Artış 15°'den 30°'ye daha belirgin iken 30°'den 45°'ye azalmaktadır. Lokal Nu sayılarındaki artış ortalama Nu sayılarına da yansımakta olup H/D ve kalınlık sabit iken ortalama Nu sayıları artan koniklik açısı ile, 15°'en 30°'ye daha belirgin olarak artmaktadır. Ayrıca sabit H/D oranlarında ortalama Nu sayısının koniklik açısı ile artan değişimi kalınlık arttıkça azalmaktadır.

Model 4'de H/D ve kalınlık sabit iken, ters koniklik açısı artarken lokal Nu sayısı çarpma bölgesinde daha fazla, duvar jeti bölgesinde gittikçe artım hızı azalarak artmaktadır. Lokal Nu sayılarındaki artış ortalama Nu sayılarına da yansımakta olup H/D ve kalınlık sabit iken ortalama Nu sayıları artan koniklik açısı ile artmaktadır. Her bir kalınlıkta artan ters koniklik açısı ile ikincil tepe noktası belirginleşmektedir. Ayrıca sabit H/D oranlarında ortalama Nu sayısının ters koniklik açısı ile artan değişimi kalınlık arttıkça Model 3'ün tersine artmaktadır. Diğer bir nokta en yüksek H/D oranı olan 6'da ikincil tepe noktasının çarpma bölgesine oldukça yaklaşmasıdır ( $H/D=2.6$ 'da ikincil tepe noktası  $r/D=10$  civarında iken  $H/D=6$ 'da ikincil tepe noktası  $r/D=3$  civarına gelmiştir).

### **Açı ve kalınlık sabit iken geometrinin etkisi**

Açı ve kalınlık sabit iken, tüm H/D oranlarında lokal Nu sayısının  $r/D$  ile değişimi Model 4'de en yüksektir ve Model 2 onu takip etmesine rağmen diğer 2 model ancak ortalama Nu sayılarına göre kıyaslanabilir. Genel olarak, Model 1, 2 ve 3 yaklaşık aynı ortalama Nu sayısına sahip kabul edilebilir. Bütün modellerde, bütün H/D oranlarında ve bütün açılarda ilk üç modelde kalınlığın ortalama Nu sayısı üzerinde bir etkisi görülmezken Model 4'de kalınlık arttıkça ortalama Nu sayısı artmaktadır.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, Model 4'deki bu artışın sadece geometriden kaynaklanmadığının farkedilmesidir. Çünkü bütün durumlarda ve bütün geometrilerde giriş hızı aynı ve 12 m/s olarak alınmıştır. Halbuki Model 4'ü oluşturan ters koni geometrisinde diğer geometrilerden farklı olarak giriş ağzı daha geniştir ve bu durum da debide bir artışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla lokal Nu sayısındaki artış geometri değişimi ile birlikte bu değişimin sebep olduğu debi artışı ile birlikte düşünülmelidir. Lüle geometrisinin tek başına etkisini görebilmek için bu geometrinin giriş hızının diğer geometrilerle aynı debiyi verecek şekilde alınması gerekir. Bundan dolayı geometrileri daha anlamlı karşılaştırabilmek için hızın diğer geometrilerle aynı debiyi verecek şekilde girildiği bazı hesaplamalar Ek-1'de verilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Anonim, 2009.** Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations. [http://daad.wb.tu-harburg.de/fileadmin/BackUsersResources/Flood\\_Probability/2D/Steffi-2D/pdf/2D\\_Hydrodynamic\\_models.pdf](http://daad.wb.tu-harburg.de/fileadmin/BackUsersResources/Flood_Probability/2D/Steffi-2D/pdf/2D_Hydrodynamic_models.pdf) (Erişim tarihi: 25.11.2017)
- Anonim, 2010.** ANSYS CFX R13 Modelling Guide, 2010.
- Anonim, 2012.** ANSYS CFX R14.5 Modelling Guide, 2012.
- Anonim, 2015.** Jet impingement heat transfer. <http://www.cpdrl.com/notes-articles-engineering/298-jet-impingement-heat-transfer.html> (Erişim tarihi: 15.11.2017)
- Anonim, 2017a.** Reynolds number regimes. <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number> (Erişim tarihi: 20.11.2017)
- Anonim, 2017b.** Reynolds number and external flow. <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number> (Erişim tarihi: 20.11.2017)
- Baughn, J.W., Shimizu, S. 1989.** Heat transfer measurements from a surface with uniform heat flux and an imping jet. *Journal of Heat Transfer*, 111: 1096-1098.
- Brian, W.P., Robinson, A.J. 2009.** Nozzle geometry effects in liquid jet array impingement. *Applied Thermal Engineering*, 29: 2211-2221.
- Brignoni, L.A., Garimella, V.S. 1999.** Effects of nozzle–inlet chamfering on pressure drop and heat transfer in confined air jet impingement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43: 1133-1139.
- Colucci, D.W., Viskanta, R. 1996.** Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined imping air jet. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 13: 71-80.
- Erşan, H.A. 2012.** Dış turbulansın akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerine etkilerinin sayısal olarak araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Huber, A.M., Viskanta R. 1994.** Effect of jet-jet spacing on convective heat transfer to confined, impinging arrays of axisymmetric air jets. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37(18): 2859-2869.
- Isman, M.K., Pulat, E., Etemoglu, A.B., Can, M. 2008.** Numerical investigation of turbulent impinging jet cooling of a constant heat flux surface. *Numerical Heat Transfer*, 53: 1109-1132.
- Lee, J., Lee, J.S. 2000.** The effect of nozzle configuration on stagnation region heat transfer enhancement of axisymmetric jet impingement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43: 3497-3509.
- Peng, W., Jizu, L., Minli, B., Yuyan, W., Chengzi, H. 2014.** Numerical investigation of the flow and heat behaviours of an impinging jet. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 28: 301-315.
- Pulat, E., Isman, M.K., Etemoglu, A.B., Can, M. 2011.** Effect of turbulence models and near-wall modeling approaches on numerical results in impingement heat transfer. *Numerical Heat Transfer*, 60: 486-519.
- Royne, A., Dey, C.J. 2006.** Effect of nozzle geometry on pressure drop and heat transfer in submerged jet arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 800-804.
- Uddin, N., Neumann, S.O., Weigand, B., Younis, B.A. 2009.** Large-eddy simulations and heat-flux modeling in a turbulent impinging jet. *Numerical Heat Transfer*, 55: 906-930.
- Zuckerman, N., Lior, N. 2006.** Jet impingement heat transfer: Physics, correlations, and numerical modeling. *Advances in Heat Transfer*, 39: 565-630.

## EKLER

### EK 1 Model 4 İçin Alternatif Yaklaşım



## EK 1 Model 4 İçin Alternatif Yaklaşım

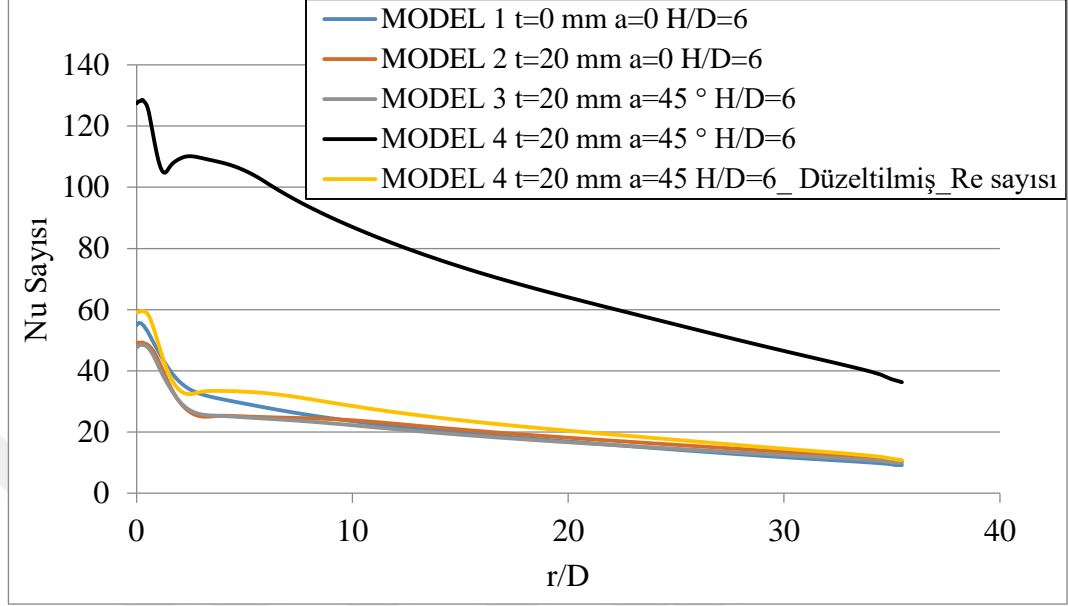
Daha önce de belirtildiği üzere Model 4’de kullanılan giriş uzunluk değeri diğer modellerin uzunluklarından büyüktür. Dolayısıyla debi miktarı diğer modellerin debi miktarlarından büyük ayrıca Reynolds sayısı da büyüktür. Bu nedenle daha yüksek ısı transfer katsayılarına sahip olması doğaldır. Sonuçlar konusunda daha fazla yorum yapabilmek adına, Model 4 diğer modellerle aynı Reynolds sayısına sahip olacak şekilde hızı düşürülüp tekrar analiz yapılmıştır. Simülasyonda uygulanacak hız değeri giren ve çıkan bölgedeki debilerin eşitliğinden faydalanılarak hesaplanır. Hesaplama yapılacak olan Model 4’ün özellikleri  $H/D=6$ , plaka kalınlığı 20 mm ve koniklik açısı  $45^\circ$  olarak belirlenmiştir. Çünkü en yüksek ısı transfer katsayısına sahip olan model bu modeldir. Diğer modellerde olduğu gibi (bkz. Şekil E1.1)  $r_2$  yarı uzunluğundan geçen havanın hızının 12 m/s olarak hatırlanırsa, simülasyonda  $r_1$  yarı uzunluğuna uygulanacak olan hız aşağıdaki kütle korunumu denklemi ile hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda  $r_1$  yarı uzunluğuna uygulanacak hız 3,128 m/s olarak hesaplanır. Bu modelde sadece hız değeri değiştirilir ve geri kalan sınır koşulları aynı kabul edilir.



Şekil E1.1. Hızın hesaplandığı kontrol hacmi ve uygulanan sınır koşulları

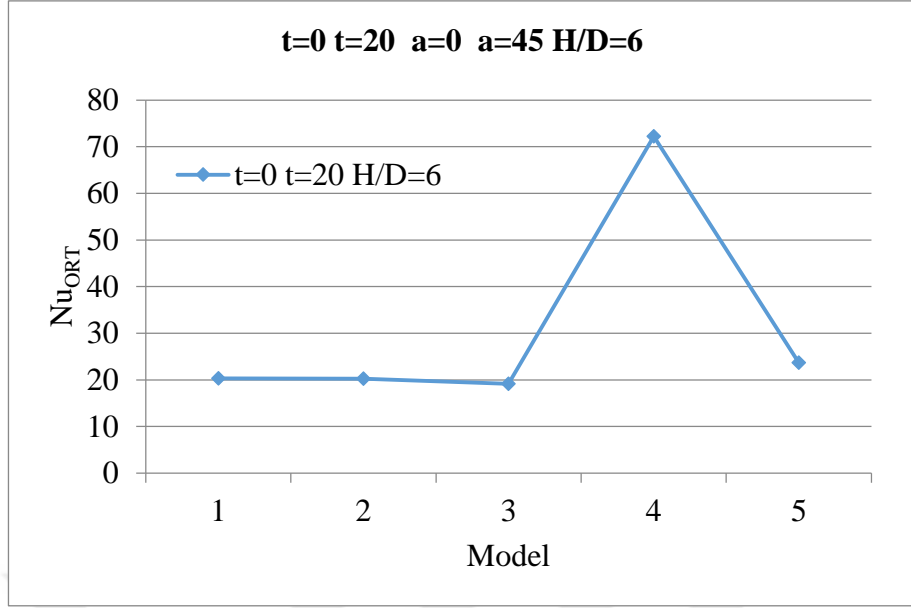
$$\begin{aligned}Q_1 &= Q_2 \\V_1 \times r_1 &= V_2 \times r_2 \\V_1 \times 0,02705 &= 12 \times 0,00705 \\V_1 &= 3,128 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Düzeltilmiş hız sonuçları ile 5. kısımda Şekil 5.247(a)'da gösterilmiş olan simülasyon sonuçları ile kıyaslandığında Şekil E1.2'deki karşılaştırma grafikleri elde edilmektedir.



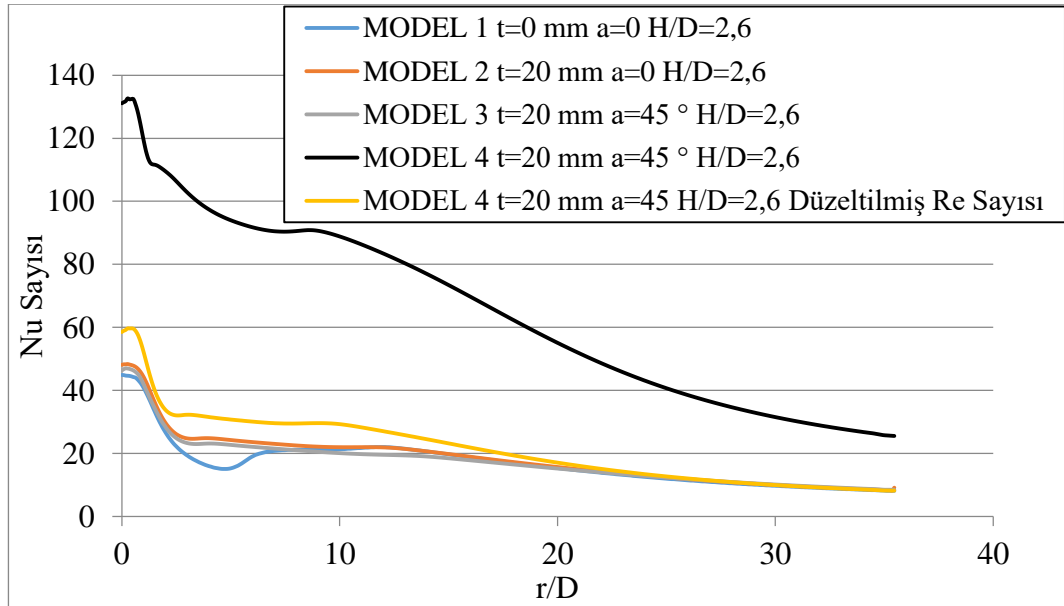
**Şekil E1.2.**  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  koşullarında Nu sayısı değişiminin düzeltilmiş Re sayısı kullanılarak elde edilen Nu sayısı ile kıyaslanması

Şekil E1.2'den de görülebileceği üzere, aynı Re sayısına sahip Model 4 oluşturulduğunda Nu sayısının düştüğü ve diğer modellerin lokal Nu sayılarına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Ortalama Nu sayılarının değişimi de Şekil E1.3'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. 5 nolu model Düzeltilmiş Re sayısı ile yapılmış olan Model 4 modelidir.



**Şekil E1.3.**  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=6$  koşullarında ortalama Nu sayılarının düzeltilmiş Re sayısı kullanılarak elde edilen ortalama Nu sayısı ile kıyaslanması

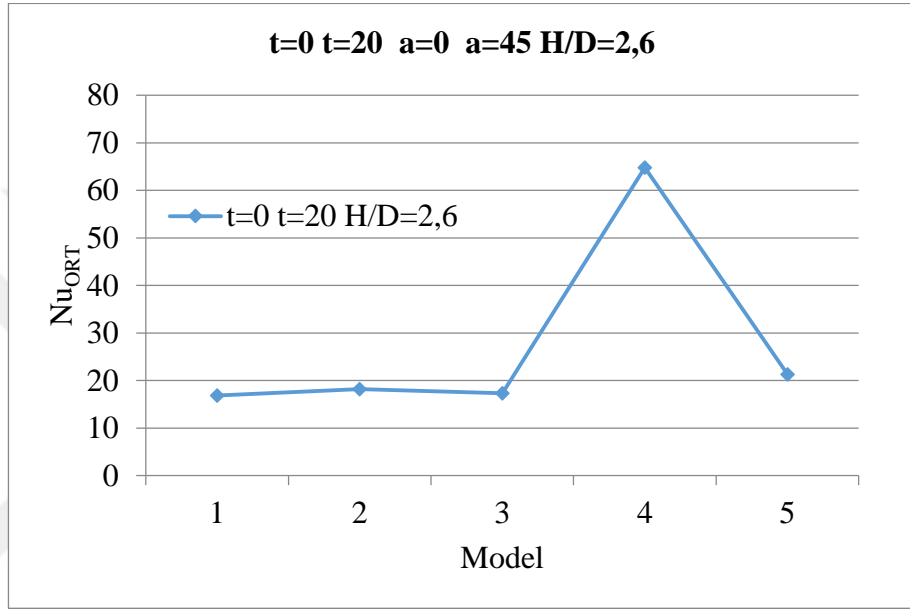
Daha doğru bir değerlendirme yapabilmek adına, aynı simülasyon referans alınan  $H/D=2,6$  ve  $v=3,13$  m/s koşullarında simüle edilmiş ve sonuçları Şekil 5.215(a)'da bulunan grafiğe ilave edilerek Şekil E1.4'deki kıyaslama grafiği oluşturulmuştur.



**Şekil E1.4.**  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  koşullarında Nu sayısı değişiminin düzeltilmiş Re sayısı kullanılarak elde edilen Nu sayısı ile kıyaslanması

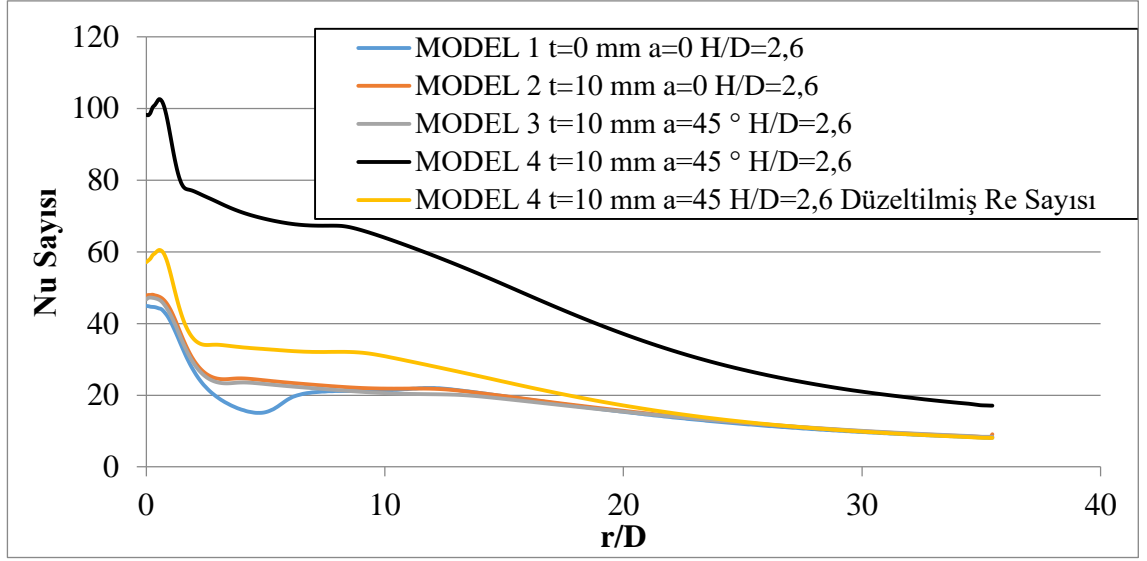


Şekil E1.4'den de görülebileceği üzere, aynı Re sayısına sahip Model 4 oluşturulduğunda Nu sayısının düştüğü ve diğer modellerin lokal Nu sayılarına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Model 4'ün düzeltilmiş Re sayısı modelinde  $r/D=3$  ve  $r/D=10$  civarında ikincil tepe noktaları mevcuttur. Ayrıca düzeltilmiş Re sayısına sahip simülasyon modelinde lokal Nu sayılarının sayısal değerleri diğer modellerinkinden büyüktür. Şekil E1.5'deki ortalama Nu sayıları da incelenerek yorum yapmak mümkün olacaktır.



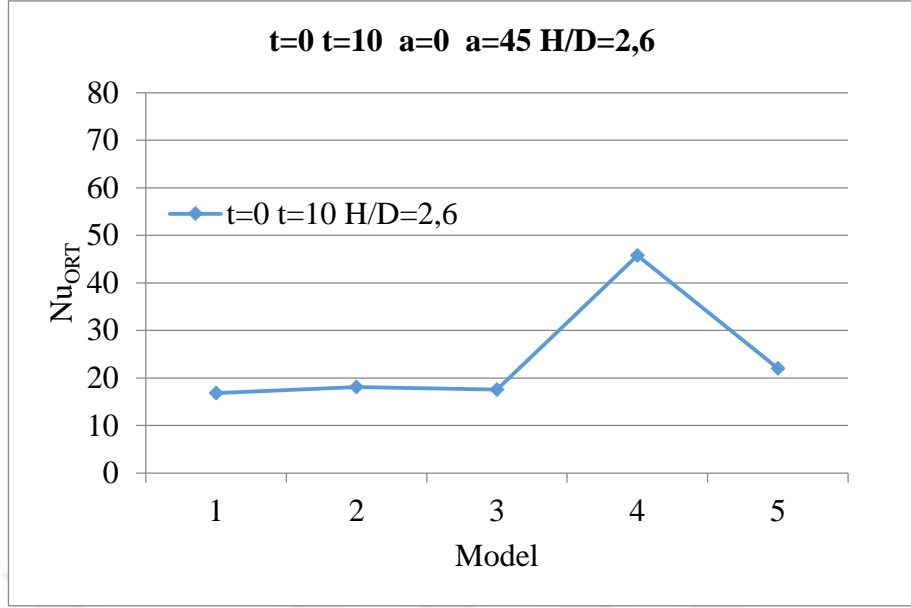
**Şekil E1.5.**  $t=0$ ,  $t=20$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  koşullarında ortalama Nu sayılarının düzeltilmiş Re sayısı kullanılarak elde edilen ortalama Nu sayısı ile kıyaslanması

Kalınlığın etkisini incelemek amacı ile bir simülasyon daha gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda kullanılan durum; kalınlığı 10 mm ve  $H/D=2,6$  olan düzeltilmiş hızı hesaplanarak 4,96 m/s bulunmuş olan Model 4'dür. Bu simülasyondan elde edilen sonuç Şekil 5.221(a)'da görülen sonuçların üzerine çizdirilerek kıyaslanmış ve Şekil E1.6'daki grafik elde edilmiştir.



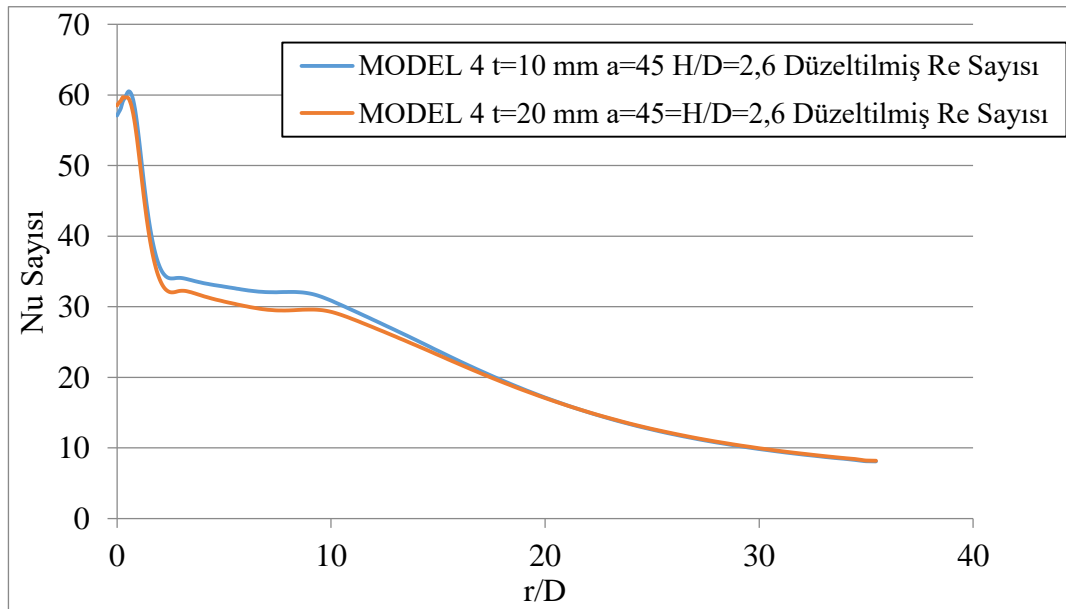
**Şekil E1.6.**  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  koşullarında Nu sayısı değişiminin düzeltilmiş Re sayısı kullanılarak elde edilen Nu sayısı ile kıyaslanması

Şekil E1.6'dan da görülebileceği üzere, aynı Re sayısına sahip Model 4 oluşturulduğunda Nu sayısının düştüğü ve diğer modellerin lokal Nu sayılarına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Model 4'ün düzeltilmiş Re sayısına modelinde  $r/D=3$  ve  $r/D=9$  civarında ikincil tepe noktaları mevcuttur. Ayrıca düzeltilmiş Re sayısına sahip simülasyon modelinde, lokal Nu sayılarının sayısal değerleri Model 1, Model 2 ve Model 3'e ait lokal Nu sayılarının sayısal değerlerinden daha büyüktür. Bu durum ayrıca ortalama Nu sayılarının verildiği Şekil E1.7'de de net bir şekilde görülebilmektedir.



**Şekil E1.7.**  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $a=0^\circ$  ve  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  koşullarında ortalama Nu sayılarının düzeltilmiş Re sayısı kullanılarak elde edilen ortalama Nu sayısı ile kıyaslanması

Düzeltilmiş Re sayısı modelinin 10 mm ve 20 mm kalınlıklarının Nu sayıları üzerindeki etkilerinin incelendiği durumlar için çizdirilmiş olan kıyaslama grafiği Şekil E1.8’de gösterilmiştir.



**Şekil E1.8.**  $t=10$ ,  $t=20$ ,  $a=45^\circ$  ve  $H/D=2,6$  koşullarında düzeltilmiş Re sayısı modellerinin lokal Nu sayılarının kıyaslanması

Şekil E1.8'den de görülebileceği üzere her iki durum için  $r/D=3$  ve  $r/D=10$  değerlerinde ikincil tepe bölgeleri mevcuttur.  $r/D=18$  civarında eğriler çakışmış ve aynı lokal Nu sayılarına sahip olmuşlardır. durağan bölge olarak bölgede 10 mm'lik kalınlığa sahip olan durumda lokal Nu sayılarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Re sayıları eşitlenirken kullanılan debi formülünde hızın lüle girişinden itibaren artarak devam edeceği durumunun göz ardı edilmiş olmasıdır. Bütün hesaplar lüle çıkışında 12 m/s olacak şekilde yapılmıştır. Ancak daha önce de belirtildiği üzere lüle çıkışındaki hız değeri 12 m/s'den daha büyüktür.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet EFENDİ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bulgaristan – 19.07.1986  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Anadolu Lisesi – 2004  
Lisans : Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık  
Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü - 2008  
Yüksek Lisans : U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği  
ABD – 2018

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Robert Bosch Benzinli Sistemler Fabrikası 2015-...  
İletişim (e-posta) : mefendy@gmail.com