ODA HAVALANDIRILMASINDA HAVA AKIŞI, SICAKLIK DAĞILIMI, ISI TRANSFERİ ve ISIL KONFORUN SAYISAL SİMÜLASYONLARI Bahadır Erman YÜCE T.C. ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ODA HAVALANDIRILMASINDA HAVA AKIŞI, SICAKLIK DAĞILIMI, ISI TRANSFERİ VE ISIL KONFORUN SAYISAL SİMÜLASYONLARI

Bahadır Erman YÜCE

Yrd. Doç. Dr Erhan PULAT (Danışman)

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

BURSA-2015 Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Bahadır Erman YÜCE tarafından hazırlanan "ODA HAVALANDIRMASINDA HAVA AKIŞI, SICAKLIK DAĞILIMI, ISI TRANSFERİ VE ISIL KONFORUN SAYISAL SİMÜLASYONLARI" 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: Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT

- Başkan : Yrd. Doç. Dr. Erhan PULATUludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- **Üye :** Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- **Üye :** Yrd. Doç. Dr. Mustafa Kemal İŞMAN Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bil., Mim. ve Müh. Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR Enstitü Müdürü

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

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde et-tiğimi,

- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uy-gun 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.

25/08/2015

İmza

Bahadır Erman YÜCE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ODA HAVALANDIRMASINDA HAVA AKIŞI, SICAKLIK DAĞILIMI, ISI TRANSFERİ VE ISIL KONFORUN SAYISAL SİMÜLASYONLARI

Bahadır Erman YÜCE

Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT

Bu çalışmada, iki farklı oda geometrisi için oda havalandırması Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği metodu ile incelenmiştir. İncelenen geometriler iki boyutlu Uluslararası Enerji Ajansı Annex20 odası (IEA Annex20) ve iki ve üç boyutlu Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan ısıl konfor odası geometrileridir. Birinci geometri tabandan ısıtılan, tavandan girişin ve tabandan çıkışın olduğu havalandırma tipidir. İkinci geometri ise duvar tipi klimaya sahip ısıtma yapılan havalandırma şeklidir. Birinci geometri iki boyutludur ve boş halde modellenmiştir. İkinci geometri masalı ve insanlı olarak hem iki ve hem de üç boyutlu olarak modellenmiştir. Akış sürekli, şıkıştırılamaz ve türbülanslı olup korunum denklemleri ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Kaldırma kuvveti etkileri Boussinesq yaklaşımı kullanılarak ele alınmıştır. Annex20 odasında Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemleri tabanlı beş farklı türbülans modeli ve dört farklı duvar yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Deneysel verilerle en uyumlu sonuçlar Standard Duvar Fonksiyonuyla Standard k-ɛ modeliyle elde edilmesine rağmen aynı duvar fonksiyonuyla RNG k-ɛ modeli de Std. k-ɛ modeline çok yakın sonuçlar vermiştir. Diğer geometrideki tüm analizler Standard Duvar Fonksiyonuyla Std. k-ɛ modeli kullanılarak yapılmış olup hız ve sıcaklık dağılımlarıyla yüzde memnuniyetsizlik olarak ısıl konfor dağılımları elde edilmiştir. İnsanların ve oda içindeki eşyaların hava akışına, sıcaklığa ve konfor parametresine olan etkileri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Oda Havalandırması, IEA Annex20 Odası, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD),Hız ve Sıcaklık Dağılımları, Isıl Konfor, Türbülans Modelleri, Duvar Yaklaşımı

2015, xxxvii + 530 sayfa

ABSTRACT MS a Thagia

MSc Thesis

NUMERICAL SIMULATIONS OF AIRFLOW, TEMPERATURE DISTRIBUTION, HEAT TRANSFER AND THERMAL COMFORT IN ROOM VENTILATION

Bahadır Erman YÜCE

Uludağ University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Mechanical Engineering **Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Erhan PULAT

In this study, room ventilation is investigated for two different room geometries by using Computational Fluid Dynamics Method. Investigated geometries are the two dimensional International Energy Agency Annex20 room geometry and room geometry modeled in two and three dimensions for thermal comfort studies in the Mechanical Engineering Laboratory of Uludag University. First geometry is the ventilation case with ceiling inlet, floor heating, and floor outlet. Second geometry is a winter ventilation case with wall type air conditioner. First geometry is two dimensional and modeled as empty. Second geometry is modeled in two and three dimensional with a table and human. Flow is steady, incompressible and turbulent, and conservation equations are solved by using ANSYS Fluent software. Buoyancy effects are considered by using Boussinesq approach. In the case of Annex20, results obtained with five different turbulence models and four different near wall modeling approaches based on Reynolds Averaged Navier-Stokes equations are compared with experimental values. Although results most consistent with experimental data are obtained by using Standard k-E model with standard wall function, very close results to Standard k- ε model are obtained by using RNG k- ε model with standard wall function. All other analysis with second geometry are performed by using Standard k-ɛ model with Standard wall function, and velocity, temperature and percent dissatisfaction distributions are obtained. Effects of furniture and human to the distributions of velocity, temperature and comfort are determined.

Key words: Room ventilation, IEA Annex20 room, Computational Fluid Dynamics (CFD), Velocity and temperature distributions, Thermal comfort, Turbulence models, Near wall modelling.

2015, xxxvii + 530 pages

TEŞEKKÜR

Tüm öğrenim hayatım boyunca bende emekleri çok olan değerli aileme tüm kalbimle teşekkür ederim. Bu tezin ortaya çıkarılmasında emeğini ve vaktini hiçbir zaman esirgemeyen değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT'a ayrıca teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bahadır Erman YÜCE

25/08/2015



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİx	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. METARYAL VE YÖNTEM	5
3.1. HAD Tarihi	5
3.2 HAD İşleyişi	6
3.3. Korunum Denklemleri	8
3.4. Türbülans ve Türbülans Modelleri	9
3.5 Reynolds Ortalamalı Navier Stokes Denklemleri (RANS)	11
3.5.1. Standard k- $\boldsymbol{\varepsilon}$ Modeli	15
3.5.2. RNG k- $\boldsymbol{\varepsilon}$ Modeli	17
3.5.3. Realizable k- $\boldsymbol{\varepsilon}$ Modeli	18
3.5.4.k- $\boldsymbol{\omega}$ türbülans modeli	19
3.5.5. SST k-ω Türbülans Modeli	20
3.6. Duvar Yaklaşımları	22
3.6.1. Standard Wall Function	24
3.6.2. Scalable Wall Function	24
3.6.3. Non Equilibrium Wall Function	25
3.6.4. Enhanced Wall Treatment	27
3.7. Isıl Konfor	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Annex20 Odası	30
4.1.1. Geometrik Model	30

4.1.2. Sayısal Model	
4.1.3. Sınır Koşulları ve Sayısal Yöntem	32
4.1.4. Sonuçlar ve Tartışma	34
4.2. Üç Boyutlu Boş Oda Geometrisi	147
4.2.1. Geometrik Model	147
4.2.2. Sayısal Model	150
4.2.3. Sınır Koşulları ve Sayısal Yöntem	152
4.2.4. Sonuçlar ve Tartışma	152
4.2.4.1. 1. Durum	154
4.2.4.2. 2. Durum	171
4.2.4.3. 3. Durum	189
4.2.4.4. 4. Durum	
4.2.4.5. 5. Durum	
4.2.4.6. 6. Durum	240
4.2.4.7. 7. Durum	257
4.2.4.8. 8. Durum	274
4.2.4.9. 9. Durum	
4.3. İki Boyutlu Mankenli Oda Geometrisi	
4.3.1. Geometrik Model	
4.3.2. Sayısal Model	
4.3.3. Sınır Koşulları ve Sayısal Yöntem	
4.3.4. Sonuçlar ve Tartışma	
4.3.4. 1. Durum	
4.3.4. 2. Durum	
4.3.4. 3. Durum	
4.3.4. 4. Durum	
4.3.4. 5. Durum	
4.3.4. 6. Durum	
4.3.4. 7. Durum	
4.3.4. 8. Durum	
4.3.4. 9. Durum	
4.4. Üç Boyutlu Mankenli Oda Geometrisi	
4.4.1. Geometrik Model	
4.4.2. Sayısal Model	

4.4.3. Sınır Koşulları	
4.4.4. Sonuçlar ve Tartışma	
4.4.4.1. 1. Durum	
4.4.4.2. 2. Durum	
4.4.4.3. 3. Durum	
4.4.4.4. 4. Durum	406
4.4.4.5. 5. Durum	
4.4.4.6. 6. Durum	445
4.4.4.7. 7. Durum	467
4.4.4.8. 8.Durum	
4.4.4.9. 9. Durum	504
5. SONUÇLAR	
6.KAYNAKLAR	
7. ÖZGEÇMİŞ	530

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
D	Hidrolik Çap
3	Türbülans Kinetik Enerji Yayılımı
k	Türbülans Kinetik Enerjisi
μ	Viskozite
μeff	Efektif Viskozite
μι	Türbülans Viskozitesi
ρ	Yoğunluk
Р	Basınç
Re	Reynolds Sayısı
Re _x	Yerel Reynolds Sayısı
Re _{dh}	Hidrolik Çapa Göre Tanımlanmış Reynolds Sayısı
Nu	Nusselt Sayısı
Pr	Prandtl Sayısı
D	Çap
PD	Yüzde Memnuniyetsizlik
Re _{ij}	Reynolds Gerilmeleri Tensörü
$ au_{ m w}$	Duvar Kayma Gerilmesi
p'	Modifiye Basınç
Cμ	Standard k-E Türbülans Modeli Sabiti

$C\epsilon_1$	Standard k- abla Türbülans Modeli Sabiti
$C\epsilon_2$	Standard k- E Türbülans Modeli Sabiti
C_k	Standard k- E Türbülans Modeli Sabiti
C_{ϵ}	Standard k- E Türbülans Modeli Sabiti
Ceirng	RNG k- ε Türbülans Modeli Sabiti
Ce _{2RNG}	RNG k- ε Türbülans Modeli Sabiti
ω	Türbülans Frekansı
St	Stanton Sayısı
t	Zaman
Т	Sıcaklık
Tu	Türbülans Şiddeti
\overline{U}	Ortalama Hız
u	x Yönündeki Hız Bileşeni
u'	Ortalama Hızdan Sapmanın x Bileşeni
\overline{u}	Ortalama Hız x Bileşeni
u ₀	Giriş Hızı
v	y Yönündeki Hız Bileşeni
W	z Yönündeki Hız Bileşeni
β'	Standard k-
β	Standard k-@ Türbülans Modeli Sabiti
Ar	Archimeds Sayısı
α	Standard k-w Türbülans Modeli Sabiti



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
CAD	Computer Aided Design
DNS	Direct Numerical Simulation
LES	Large Eddy Simlation
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CFD	Computational Fluid Dynamics
RANS	Reynolds Avaraged Navier Stokes
RNG k-ε	RNG k-ɛ Türbülans Modeli
SAS	Scale Adaptive Simulation
SST	SST k-E Türbülans Modeli
Std k- ε	Standard k-E Türbülans Modeli
Std k-w	Standard k-w Türbülans Modeli
Wf	Wall Function
Ewt	Enhanced Wall Treatment

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Ar	nnex 20 odası (Nielsen-1972)	2
Şekil 3. 1 Ha	d İşleyiş Algoritması (Introduction to Ansys Fluent, 15.0 Realese) 6	
Şekil 3. 2 Ağ	g yapısı şematik gösterimi	7
Şekil 3. 3 Ele	eman sayısı ve sonuç arasındaki ilişki	8
Şekil 3. 4 Or	talama hız ve çalkantı değerlerinin gösterimi	9
Şekil 3. 5 Or	talama sıcaklık ve dalgalanma değerlerinin gösterimi	10
Şekil 3.6 Tü	rbülans Modelleri (Introduction to Ansys Fluent, 15.0 Realese)	15
Şekil 3. 7 SS	T k-ω modelinin farklı yüzeylerdeki hesap şekli (Turbulence Modeling	
using ANSY	S Fluent, 15.0 Realease)	20
Şekil 3. 8 Ya	ıkın duvar katmanları (Turbulence Modeling using ANSYS Fluent, 15.0	
Realease)		23
Şekil 3. 9 Sta	andart duvar fonksiyonu (Vieser ve ark. 2004)	25
Şekil 3. 10 S	calable Wf (Vieser ve ark. 2004)	25
Şekil 3. 11 N	Ion Equlibrium duvar fonksiyonu çözüm alanları (Turbulence Modeling	
using ANSY	S Fluent, 15.0 Realease)	26
Şekil 4. 1 Ar	mex20 Odası Ölçüleri 30	
Solvil 1 2 Ar	nav20 odasi kaba ağ yanısı	31
Şekil 4, 2 Al Sekil 4, 3 Ar	nnex20 odasi orta siklikta ağ yapısı	31
Şekil 4. 5 Al	nnex20 odasi olla sikilikia ag yapisi	32
Sekil 4, 5 Ar	nex 30 odası üzerinde sınır sartlarının gösterimi	32
Şekil 4. 6 x=	H doğrultusunda Std k-e Standard Wf modelinde ağ vanısına göre	55
boyutsuz hiz	sonuclari	34
Sekil 4, 7 x	=Η doğrultusunda Std k-ε Ewt modelinde ağ vanısına göre boyutsuz hız	51
sonucları	Traogranda, Stark o Erre modernide ag yapisina gore ooyasaz mz	35
Sekil 4, 8 x=	H doğrultusunda Std k-e Non Fa Wf modelinde ağ vanısına göre	55
boyutsuz hiz	sonuclari	35
Sekil 4. 9 $x=$	H doğrultusunda. Std k-ε Scalable Wf. modelinde ağ vapısına göre	
bovutsuz hiz	sonuclari	36
Sekil 4. 10 x	=H doğrultusunda, Std k-ε modelinde Duvar Fonksivonlarına göre	
boyutsuz hız	sonucları	36
Sekil 4. 11 x	-H doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre	
boyutsuz hız	sonuçları	37
Şekil 4. 12 x	=H doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz h	IZ
sonuçları		37
Şekil 4. 13 x	=H doğrultusunda, RNG k-ε Non Eq. modelinde ağ yapısına göre boyuts	uz
hız sonuçları		38
Şekil 4. 14 x	=H doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre	
boyutsuz hız	sonuçları	38
Şekil 4. 15 x	=H doğrultusunda, RNG k-ε modelinde Duvar Fonksiyonlarına göre	
boyutsuz hız	sonuçları	39

Şekil 4. 16 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 17 x=H doğrultusunda, Realizable k-ɛ Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 18 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Standart Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları41
Şekil 4. 19 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları41
Şekil 4. 20 x=H doğrultusunda, Realizable k-ɛ modelinde Duvar Fonksiyonlarına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 21 x=H doğrultusunda, Std k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları
Şekil 4. 22 x=H doğrultusunda, SST k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları
Şekil 4. 23 x=H doğrultusunda, Ewt duvar yaklaşımının farklı türbülans modellerindeki
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 24 x=H doğrultusunda, Scalable Wf duvar yaklaşımının farklı türbülans
modellerindeki boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 25 x=H doğrultusunda, Non Eq. Wf duvar yaklaşımının farklı türbülans
modellerindeki boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 26 x=H doğrultusunda, Std k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 27 x=H doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 28 x=H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 29 x=H doğrultusunda, Std k- ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 30 x=H doğrultusunda, Std k-ε modelinde duvar fonksiyonlarına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 31 x=H doğrultusunda, RNG k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 32 x=H doğrultusunda, RNG k- ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 33 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Stanard Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 34 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Non Eq. modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Sekil 4. 35 $x=H$ doğrultusunda, RNG k- ε modelinde duvar yaklasımlarına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 36 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 37 x=H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları

Şekil 4. 38 x=H doğrultusunda, Realizable k-ɛ Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 39 x=H doğrultusunda, Std k-E Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 40 x=H doğrultusunda, Realizable k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 41 x=H doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik
enerjisi sonuçları
Şekil 4. 42 x=H doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik
enerjisi sonuçları
Şekil 4. 43 $x=2H$ doğrultusunda, Std k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 44 $x=2H$ doğrultusunda, Std k- ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 45 $x=2H$ doğrultusunda, Std k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonucları
Sekil 4. 46 x=2H doğrultusunda, Std k- ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 47 x=2H doğrultusunda. Std k- ε modelinde duvar fonksiyonlarına göre
boyutsuz hız sonucları
Sekil 4. 48 x=2H doğrultusunda, RNG k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz
hız sonuçları
Sekil 4. 49 x=2H doğrultusunda, RNG k- ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 50 x=2H doğrultusunda, RNG k- ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 51 x=2H doğrultusunda, RNG k- ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 52 x=2H doğrultusunda, RNG k- ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 53 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 54 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 55 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 56 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 57 x=2H doğrultusunda, Realizable k- ε modelinde duvar yaklaşımına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 58 x=2H doğrultusunda, STF k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları
Şekil 4. 59 x=2H doğrultusunda, SST k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları

Şekil 4. 60 x=2H doğrultusunda, Ewt duvar yaklaşımı modelinde farklı türbülans	
modellerine göre boyutsuz hız sonuçları	.65
Şekil 4. 61 x=2H doğrultusunda, Scalable Wf. duvar yaklaşımı modelinde farklı	
türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları	.65
Şekil 4. 62 x=2H doğrultusunda, Standard Wf. duvar yaklaşımı modelinde farklı	
türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları	.66
Şekil 4. 63 x=2H doğrultusunda, Non Equilibrium duvar yaklaşımı modelinde farklı	
türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları	.66
Şekil 4. 64 x=2H doğrultusunda, Boyutsuz hız gösteriminde en iyi sonuç veren	
modellerin karşılaştırılması	.67
Şekil 4. 65 $x=2H$ doğrultusunda, Std k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans	
kinetik enerjisi sonuçları	.67
Sekil 4. 66 $x=2H$ doğrultusunda, Std k- ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.68
Sekil 4. 67 x=2H doğrultusunda. Std k- ε Standard Wf. modelinde ağ vapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.68
Sekil 4. 68 $x=2H$ doğrultusunda. Std k- ε Non-Eq. Wf modelinde ağ vapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.69
Sekil 4. 69 $x=2H$ doğrultusunda Std k- ε modelinde duyar yaklasımlarına göre türbüla	ans
kinetik eneriisi sonucları	.69
Sekil 4. 70 x=2H doğrultusunda RNG k-ɛ Ewt modelinde ağ vapısına göre türbülans	
kinetik eneriisi sonucları	.70
Sekil 4. 71 $x=2H$ doğrultusunda. RNG k- ε Scalable Wf. modelinde ağ vapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.70
Sekil 4. 72 x=2H doğrultusunda RNG k-ɛ Standard Wf modelinde ağ yapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.71
Sekil 4. 73 $x=2H$ doğrultusunda. RNG k- ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ vapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.71
Sekil 4. 74 x=2H doğrultusunda. RNG k- ε modelinde duvar vaklasımlarına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.72
Sekil 4. 75 $x=2H$ doğrultusunda. Realizable k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.72
Sekil 4. 76 x=2H doğrultusunda Realizable k- ε Scalable Wf modelinde ağ vapısına	
göre türbülans kinetik eneriisi sonucları	.73
Sekil 4. 77 $x=2H$ doğrultusunda Realizable k- ε Standard Wf modelinde ağ vapısına	
göre türbülans kinetik eneriisi sonucları	.73
Sekil 4. 78 $x=2H$ doğrultusunda. Realizable k- ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ vapısına	
göre türbülans kinetik eneriisi sonucları	74
Sekil 4. 79 $x=2H$ doğrultusunda Realizable k- ε modelinde duyar yaklasımlarına göre	
türbülans kinetik eneriisi sonucları	.74
Sekil 4. 80 x=2H doğrultusunda Std k- ω modelinde ağ vapısına göre türbülans kineti	k.
eneriisi sonuclari	75
Sekil 4. 81 x=2H doğrultusunda SST k- ω modelinde ağ vanısına göre türbülans kinet	ik.
eneriisi sonuclari	75
	15

Şekil 4. 82 y=h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre
Sekil 4 83 v= $h/2$ doğrultuşunda Standard k-e Scalable Wf modelinde ağ vanışına göre
boyutsuz hiz sonuclari
Sekil 4. 84 v= $h/2$ doğrultusunda. Standard k- ε Standard Wf. modelinde ağ vapısına göre
boyutsuz hiz sonuclari
Sekil 4. 85 v= $h/2$ doğrultusunda. Standard k- ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ vapısına göre
bovutsuz hiz sonuclari
Sekil 4. 86 v= $h/2$ doğrultusunda. Standard k- ε modelinde duvar vaklasımlarına göre
boyutsuz hız sonucları
Sekil 4. 87 y= $h/2$ doğrultusunda, RNG k- ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz
hız sonucları
Sekil 4. 88 y=h/2 doğrultusunda, RNG k- ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 89 y= $h/2$ doğrultusunda, RNG k- ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 90 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 91 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar fonksiyonuna göre
boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 92 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ Ewt modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 93 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ Scalable Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 94 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ Standard Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 95 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 96 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ modelinde duvar yaklaşımlarına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 97 y=h/2 doğrultusunda, Std k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları
Şekil 4. 98 y=h/2 doğrultusunda, SST k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları
Şekil 4. 99 y=h/2 doğrultusunda, Standard Wf. modelinde türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 100 y=h/2 doğrultusunda, Scalable Wf. modelinde türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 101 y=h/2 doğrultusunda, Ewt modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz
hız sonuçları
Şekil 4. 102 y=h/2 doğrultusunda, Non-Eq. modelinde türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 103 y=h/2 doğrultusunda, Std-SST k- ω türbülans modellerine göre boyutsuz hız
sonuçları

Şekil 4. 104 y=h/2 doğrultusunda, En iyi sonuç veren türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonuçlarının karşılaştırılması
Şekil 4. 105 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 106 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 107 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 108 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Non-Eq. Wf modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları90
Şekil 4. 109 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları90
Şekil 4. 110 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları91
Şekil 4. 111 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ɛ Standard Wf modelinde ağ yapısına göre
göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları91
Şekil 4. 112 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf modelinde ağ yapısına göre
göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları92
Şekil 4. 113 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları92
Şekil 4. 114 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ Scalable Wf modelinde ağ yapısına
göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları93
Şekil 4. 115 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ɛ Standard Wf modelinde ağ yapısına
göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları93
Şekil 4. 116 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf modelinde ağ yapısına
göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 117 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 118 y=h/2 doğrultusunda, SST k- ω modelinde ağ yapısına göre göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 119 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 120 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 121 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları97
Şekil 4. 122 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 123 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε modelinde duvar fonksiyonlarına
göre boyutsuz hız sonuçları98
Şekil 4. 124 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ɛ Ewt modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 125 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ɛ Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları

Şekil 4. 126 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları100
Şekil 4. 127 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları100
Şekil 4. 128 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre
boyutsuz hız sonuçları101
Şekil 4. 129 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre
boyutsuz hız sonuçları101
Şekil 4. 130 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 131 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 132 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k- ε Non Eq. Wf modelinde ağ yapısına
göre boyutsuz hız sonuçları
Şekil 4. 133 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k- ε modelinde türbülans modellerine
göre boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 134 y=H-h/2 doğrultusunda, Std k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonuçları
Sekil 4. 135 y=H-h/2 doğrultusunda, SST k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonucları
Sekil 4. 136 y=H-h/2 doğrultusunda, SST k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
sonucları
Sekil 4. 137 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard Wf modelinde türbülans modellerine
göre boyutsuz hız sonuçları
Sekil 4. 138 y=H-h/2 doğrultusunda, Ewt modelinde türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonucları
Sekil 4. 139 y=H-h/2 doğrultusunda, Scalable Wf modelinde türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonucları
Sekil 4. 140 y=H-h/2 doğrultusunda, Non-Eq. Wf modelinde türbülans modellerine göre
boyutsuz hız sonucları
Sekil 4. 141 y=H-h/2 doğrultusunda, k- ω türbülans modellerine göre boyutsuz hız
sonucları
Sekil 4. 142 v=H-h/2 doğrultusunda, en doğru sonuc veren türbülans modellerine göre
bovutsuz hiz sonuclari
Sekil 4. 143 $v=H-h/2$ doğrultusunda Standard k- ε Ewt modelinde ağ vapısına göre
türbülans kinetik eneriisi sonucları
Sekil 4. 144 $v=H-h/2$ doğrultusunda Realizable k- ε Scalable Wf modelinde ağ vapısına
göre türbülans kinetik eneriisi sonucları
Sekil 4. 145 v=H-h/2 doğrultusunda Standard k- ε Standart Wf modelinde ağ vanısına
göre türbülans kinetik eneriisi sonucları
Sekil 4. 146 v=H-h/2 doğrultusunda Standard k- ϵ Non-Fa Wf modelinde ağ vapısına
göre fürbülans kinetik eneriisi sonucları
Sekil 4. 147 v=H-h/2 doğrultusunda RNG k- ε Fwt modelinde ağ vanısına göre
türbülans kinetik eneriisi sonucları
urourung knieuk energigi gonuçian

Şekil 4. 148 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına
göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları111
Şekil 4. 149 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ɛ Standart Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları111
Şekil 4. 150 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları112
Şekil 4. 151 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k- ϵ Ewt modelinde ağ yapısına göre
türbülans kinetik enerjisi sonuçları112
Şekil 4. 152 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Standart Wf. modelinde ağ yapısına
göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları113
Şekil 4. 153 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına
göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları113
Şekil 4. 154 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Sacalable Wf. modelinde ağ
yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları114
Şekil 4. 155 y=H-h/2 doğrultusunda, Std k- ω modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 156 y=H-h/2 doğrultusunda, SST k-w modelinde ağ yapısına göre türbülans
kinetik enerjisi sonuçları
Şekil 4. 157 y=0 doğrultusunda, SST k-ω ve Std k-ω türbülans modellerine göre Nusselt
ayısı sonuçları116
Şekil 4. 158 y=0 doğrultusunda, SST k- ω ve Std k- ω türbülans modellerine göre
sıcaklık sonuçları117
Şekil 4. 159 y=0 doğrultusunda, Realizable k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre
Nusselt Sayısı sonuçları117
Şekil 4. 160 y=0 doğrultusunda, Realizable k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre
sıcaklık sonuçları
Şekil 4. 161 y=0 doğrultusunda, RNG k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre Nusselt
Sayısı sonuçları
Şekil 4. 162 y=0 doğrultusunda, Realizable k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre
sıcaklık sonuçları
Şekil 4. 163 y=0 doğrultusunda, Std k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre Nusselt
Sayısı sonuçları
Şekil 4. 164 y=0 doğrultusunda, Std k-ɛ modelinde duvar yaklaşımına göre sıcaklık
sonuçları
Şekil 4. 165 y=0 doğrultusunda Ewt duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine
göre Nusselt Sayısı sonuçları
Şekil 4. 166 y=0 doğrultusunda Ewt duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine
göre sıcaklık sonuçları
Şekil 4. 167 y=0 doğrultusunda Non Equilibrium duvar yaklaşımında, farklı türbülans
modellerine göre Nusselt Sayısı sonuçları
Şekil 4. 168 y=0 doğrultusunda Non Equilibrium duvar yaklaşımında, farklı türbülans
modellerine göre sıcaklık sonuçları
Şekil 4. 169 y=0 doğrultusunda Scalable duvar yaklaşımında, farklı türbülans
modellerine göre Nusselt Sayısı Sonuçları

Şekil 4. 170 y=0 doğrultusunda Scalable duvar yaklaşımında, farklı türbülans	
modellerine göre sıcaklık sonuçları	123
Sekil 4. 171 y=0 doğrultusunda Standard duvar yaklaşımında, farklı türbülans	
modellerine göre Nusselt Sayısı sonuçları	123
Şekil 4. 172 y=0 doğrultusunda Standard duvar yaklaşımında, farklı türbülans	
modellerine göre sıcaklık sonuçları	124
Şekil 4. 173 Tabanda Yerel Nu Sayısı Dağılımları, a) Bu çalışma, Kontrol Hacmi	
Metodu, SIMPLE Algoritması, b) Kontrol Hacmi Metodu, SIMPLEC Algoritması	L
(Triphati ve Moulic 2007)	126
Şekil 4. 174 Std k-ɛ Standard duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	127
Şekil 4. 175 Std k-E Standard duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	127
Şekil 4. 176 Std k-e Standard duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	128
Şekil 4. 177 Std k-ε Ewt duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	128
Sekil 4. 178 Std k-E Ewt duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	129
Sekil 4. 179 Std k-E Ewt duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	129
Şekil 4. 180 Std k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	130
Sekil 4. 181 Std k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	130
Şekil 4. 182 Std k-e Scalable duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	131
Şekil 4. 183 Std k-e Non Equilibrium duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	131
Şekil 4. 184 Std k-e Non Equilibrium duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	i132
Şekil 4. 185 Std k-e Non Equilibrium duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı göster	imi
	132
Şekil 4. 186 RNG k-ɛ Standard duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	133
Şekil 4. 187 RNG k-ɛ Standard duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	133
Şekil 4. 188 RNG k-ɛ Standard duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	134
Şekil 4. 189 RNG k-E Ewt duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	134
Şekil 4. 190 RNG k-E Ewt duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	135
Şekil 4. 191 RNG k-E Ewt duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	135
Şekil 4. 192 RNG k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	136
Şekil 4. 193 RNG k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	136
Şekil 4. 194 RNG k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	137
Şekil 4. 195 RNG k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi.	137
Şekil 4. 196 RNG k-E Non Equilibrium duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterin	mi 138
Şekil 4. 197 RNG k-E Non Equilibrium duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı göst	erimi
	138
Şekil 4. 198 Realizable k-ɛ Standard duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	139
Şekil 4. 199 Realizable k-ɛ Standard duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi.	139
Şekil 4. 200 Realizable k-ɛ Standard duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterin	mi 140
Şekil 4. 201 Realizable k-ɛ Ewt duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	140
Şekil 4. 202 Realizable k-E Ewt duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi	141
Şekil 4. 203 Realizable k-E Ewt duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi	141
Şekil 4. 204 Realizable k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi	142
Şekil 4. 205 Realizable k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi .	142
Şekil 4. 206 Realizable k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterir	ni.143

Şekli 4. 207 Realizable k-e iyon Equilibrium duvar yaklaşımında bileşi	xe niz gosterimi 1/13
Şekil 4. 208 Realizable k-ε Non Equilibrium duvar yaklaşımında akım	çizgileri
gösterimi	144
Şekil 4. 209 Realizable k-ε Non Equilibrium duvar yaklaşımında sıcak	lık dağılımı
gösterimi	
Sekil 4. 210 Lemaire'in çalışması	
Sekil 4. 211 Annex 20 odasında Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Sekil 4. 212 Oda geometrisinin önden görünüsü (Ölcüler mm cinsinder	n verilmistir.) 147
Sekil 4. 213 Oda geometrisinin perpektif görünüsü (Ölcüler mm cinsin	den verilmistir.)
, , , , ,	
Sekil 4. 214 Klimanın ölcüleri (Ölcüler mm cinsinden verilmistir.)	
Sekil 4. 215 Klimanın önden görünüsü ve ölcüleri (Ölcüler mm cinsing	len verilmistir.)
Sekil 4. 216 328470 eleman sayısında kaba mesh gösterimi	
Sekil 4. 217 468529 eleman sayısında orta sıklıkta meshin gösterimi	
	1 Toc429833617
Sekil 4. 224 1. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonucları	
Sekil 4. 225 2. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	155
Sekil 4. 226 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	156
Sekil 4. 227 4. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	156
Sekil 4. 228 5. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	150
Sekil 4. 229 6. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	157
Sekil 4 230 7 Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	158
Sekil 4 231 8 Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	158
Sekil 4. 237 9. Düzlemde Sicaklık dağılımı sonuçları	
Sekil 4 233 10 Düzlemde Sicaklık dağılımı sonuçları	159
Sekil 4. 233 10. Düzlemde Sicaklık dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 235 1. Düzlemde bileske hiz dağılımı sonuçları	160
Sekil 4. 236 7. Düzlemde bileske hiz dağılımı sonuçları	160
Sekil 4. 230 2. Duzlemde Bileske hiz dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 238 / Düzlemde Bileske hız dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 230 5. Düzlemde Bileske hız dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 200 6. Düzlemde Bileske hız dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 241 7. Düzlemde Bileske hız dağılımı sonuçları	
Sokil 4. 241 7. Duzlemde Bileske hiz dağılımı sonuçları	103
Sokil 4. 242 8. Duzlemde Bileske hiz dağılımı sonuçları	104
Sekil 4. 243 9. Duzielinde Bileske niz dağılımı sonuçları	104
Sekil 4. 244 10. Duzienide Bileşke niz dağılımı sonuçları	
genii 4. 243 11. Duziemue Dileske miz uagimmi somuçian	
gekii 4. 240 1. Duzienide Dieşke turbulans kinetik enerjisi sonuçları	
gekii 4. 24/2. Duziemde Bileşke turbulans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 248 3. Duziemae Bileşke turbulans kinetik enerjisi sonuçları .	
Şekil 4. 249 4. Duzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 250 5. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 251 6. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	168

Sekil 4, 207 Realizable k-s Non Equilibrium duyar vaklasımında hileske hız gösterimi

Şekil 4. 252 7. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	169
Şekil 4. 253 8. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	169
Şekil 4. 254 9. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	170
Şekil 4. 255 10. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	170
Şekil 4. 256 11. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları	171
Şekil 4. 258 1. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	172
Şekil 4. 259 2. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	172
Şekil 4. 260 3. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	173
Şekil 4. 261 4. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	173
Şekil 4. 262 5. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	174
Şekil 4. 263 6. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	174
Şekil 4. 264 7. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	175
Şekil 4. 265 8. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	175
Şekil 4. 266 9. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	176
Şekil 4. 267 10. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	176
Şekil 4. 268 11. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları	177
Şekil 4. 269 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	177
Şekil 4. 270 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	178
Şekil 4. 271 Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	178
Şekil 4. 272 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	179
Şekil 4. 273 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	179
Şekil 4. 274 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	180
Şekil 4. 275 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	180
Şekil 4. 276 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	181
Şekil 4. 277 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	181
Şekil 4. 278 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	182
Şekil 4. 279 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	182
Şekil 4. 280 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	183
Şekil 4. 281 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	183
Şekil 4. 282 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	184
Şekil 4. 283 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	184
Şekil 4. 284 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	185
Şekil 4. 285 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	186
Şekil 4. 286 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	186
Şekil 4. 287 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	187
Şekil 4. 288 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	187
Şekil 4. 289 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	188
Şekil 4. 290 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	189
Şekil 4. 291 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	189
Şekil 4. 294 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	190
Şekil 4. 295 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	190
Şekil 4. 296 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	191
Şekil 4. 297 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	191
Şekil 4. 298 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	192
Şekil 4. 2996. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	192

Şekil 4. 300 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	193
Şekil 4. 301 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	193
Şekil 4. 302 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	194
Şekil 4. 303 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	194
Şekil 4. 304 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	195
Şekil 4. 305 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	195
Şekil 4. 306 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	196
Şekil 4. 307 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	196
Şekil 4. 308 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	197
Şekil 4. 309 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	197
Şekil 4. 310 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	198
Şekil 4. 311 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	198
Şekil 4. 312 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	199
Şekil 4. 313 9. Düzlemde bileşik hız dağılımı sonuçları	199
Şekil 4. 314 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	200
Şekil 4. 315 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	200
Şekil 4. 316 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	201
Şekil 4. 317 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	201
Şekil 4. 318 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	202
Şekil 4. 319 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	202
Şekil 4. 320 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	203
Şekil 4. 321 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	203
Şekil 4. 322 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	204
Şekil 4. 323 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	204
Şekil 4. 324 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	205
Şekil 4. 325 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	205
Şekil 4. 326 11. Düzlemde türbülans kınetik enerjisi sonuçları	206
Şekil 4. 327 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	206
Şekil 4. 328 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	207
Şekil 4. 329 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	207
Şekil 4. 330 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	208
Şekil 4. 331 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	208
Şekil 4. 332 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	209
Şekil 4. 333 /. Duzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	209
Şekil 4. 334 8. Duzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	210
Şekil 4. 335 9. Duzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	210
Şekil 4. 336 10. Duziemde sicaklik dağılımı sonuçları	211
Sekil 4. 337 11. Duziemde sicaklik dagilimi sonuçları	212
şekil 4. 330 1. Duzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	212
Sekil 4. 339 2. Duzlemae bileşke hiz sonuçları	212 212
Sekil 4. 340 5. Duzielinde bileşke iliz sonuçları	
Şekil 4. 341 4. Duzlemde bileşke hiz sonuçları	
Şekii 4. 342 5. Duziemde bileşke niz sonuçları	
Şekil 4. 343 b. Duziemde bileşke niz sonuçları	
Şekii 4. 344 /. Duziemde bileşke niz sonuçları	215

Şekil 4. 345 8. Düzlemde bileşke hız sonuçları	215
Şekil 4. 346 9. Düzlemde bileşke hız sonuçları	
Şekil 4. 347 10. Düzlemde bileşke hız sonuçları	
Şekil 4. 348 11. Düzlemde bileşke hız sonuçları	217
Şekil 4. 349 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	217
Şekil 4. 350 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 351 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 352 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	219
Şekil 4. 353 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	219
Şekil 4. 354 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 355 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 356 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 357 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 358 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 359 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 360 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 361 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	224
Şekil 4. 362 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	224
Şekil 4. 363 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 364 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 365 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 366 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 367 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 368 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 369 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 370 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 371 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 372 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 373 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	230
Şekil 4. 374 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	230
Şekil 4. 375 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	231
Şekil 4. 376 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	231
Şekil 4. 377 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	232
Şekil 4. 378 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	232
Şekil 4. 379 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	233
Şekil 4. 380 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 381 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 382 1. Düzlemde türbülans kınetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 383 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 384 3. Düzlemde türbülans kınetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 385 4. Düzlemde türbülans kınetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 386 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 387 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 388 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 389 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	

Şekil 4. 390 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 391 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	239
Şekil 4. 392 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	239
Şekil 4. 393 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 394 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 395 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 396 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 397 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 398 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 399 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 400 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	244
Şekil 4. 401 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	244
Şekil 4. 402 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	245
Şekil 4. 403 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	245
Şekil 4. 404 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 405 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 406 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	247
Şekil 4. 407 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 408 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 409 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 410 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 411 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 412 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 413 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 414 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 415 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 416 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 417 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 418 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 419 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 420 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 421 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 422 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 423 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 424 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 425 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 426 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 427 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 428 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 429 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 430 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 431 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 432 /. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 433 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 434 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	

Şekil 4. 435 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	262
Şekil 4. 436 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	262
Şekil 4. 437 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	263
Şekil 4. 438 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 439 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	264
Şekil 4. 440 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	264
Şekil 4. 441 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	265
Şekil 4. 442 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	265
Şekil 4. 443 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	266
Şekil 4. 444 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	266
Şekil 4. 445 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	267
Şekil 4. 446 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	267
Şekil 4. 447 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	268
Şekil 4. 448 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	268
Şekil 4. 449 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	269
Şekil 4. 450 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	269
Şekil 4. 451 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	270
Şekil 4. 452 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	270
Şekil 4. 453 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	271
Şekil 4. 454 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	271
Şekil 4. 455 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	272
Şekil 4. 456 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	272
Şekil 4. 457 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	273
Şekil 4. 458 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	273
Şekil 4. 459 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	274
Şekil 4. 460 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	274
Şekil 4. 461 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	275
Şekil 4. 462 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	275
Şekil 4. 463 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	276
Şekil 4. 464 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	276
Şekil 4. 465 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	277
Şekil 4. 466 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	277
Şekil 4. 467 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	278
Sekil 4. 468 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 469 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	279
Sekil 4. 470 1. Düzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 471 2. Duzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	280
Şekil 4. 472 3. Düzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	
Sekii 4. 4/3 4. Duzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	281
Şekii 4. 4 /4 5. Duziemde bileşke niz dagilimi sonuçları	281
Sekii 4. 475 6. Duziemde blieşke hiz dagilimi sonuçları	282
Sekii 4. 476 /. Duzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	282
Sekil 4. $4/7$ 8. Duzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	283
Sekii 4. 478 9. Duziemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	283
Şekil 4. 479 10. Düzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	284

Şekil 4. 480 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 481 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 482 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 483 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 484 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 485 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 486 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 487 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 488 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 489 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 490 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 491 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Şekil 4. 492 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 493 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 494 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 495 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 496 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 497 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 498 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 499 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 500 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 501 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 502 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 503 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 504 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Şekil 4. 505 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 506 4. Důzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 507 5. Düzlemde bileşke hiz dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 508 6. Duzlemde bileşke hiz dagilimi sonuçları	
Sekil 4. 509 /. Duzlemde bileşke hiz dagilimi sonuçları	
Sekil 4. 510 8. Duziemde bileşke niz dagilimi sonuçları	
Sekil 4. 511 9. Duziemde bileşke niz dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 512 10. Duzlemde bileşke hiz dagilimi sonuçları	
Sekil 4. 513 11. Duziemde blieşke niz dağılımı sonuçları	
Sekil 4. 514 1. Duziemde turbulans kinetik enerjisi sonuçları	
Sekil 4. 515 2. Duziemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Sekil 4, 510 5. Duzlemde turbulans kinetik energisi sonuçları	
Sekil 4. 517 4. Duzienide turbulans kinetik enerjisi sonuçları	
Sekil 4. 510 6. Düzlemde türbülene kinetik enerjisi sonuçları	
Sekil 4. 519 0. Duzlemde turbulans kinetik enerjisi sonuçları	
Sakil 4 521 8 Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları	
Solvil 4. 521 0. Duziemue turbulans kinetik enerjisi sonuçları	
Solil 4 523 10 Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonueleri	
Sakil 4 524 11 Düzlemde türbülans kinetik eneriisi sonuoları	200 206
Serie 2. 224 11. Duziemue unoutans kinetik energisi sonuçian	

Şekil 4. 525 İki boyutlu Oda geometrisi ölçüleri (Ölçüler mm cinsinden ve	rilmiştir.) 307
Şekil 4. 526 İki boyutlu oda geometrisi ağ yapısı	
Şekil 4. 527 İki Boyutlu oda geometrisi sınır şartları gösterimi	
Şekil 4. 528 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 529 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üz	eri bölgeler
için)	
Şekil 4. 530 1.5 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 531 1.5 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	
Şekil 4. 532 1.5 m/s'de akım çizgileri dağılımı	
Şekil 4. 533 1.5 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Şekil 4. 534 1.5 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı	
Şekil 4. 535 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 536 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzer	ri bölgeler
için)	
Şekil 4. 537 2 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 538 2 m/s'de akım çizgileri dağılımı	
Şekil 4. 539 2 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	
Şekil 4. 540 2 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Şekil 4. 541 2 m/s'de türbülans kınetik enerjisi dağılımı	
Şekil 4. 542 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzer	1 bölgeler
1 ç \ln)	
Sekil 4. 545 3 m/s de yuzde memnuniyetsizlik orani dağılımı	
Sekil 4. 544 5 m/s de mz dagmin	
Sekil 4. 545 5 m/s'de hiz değilimi vektörel gösterimi	
Sekil 4. 540 5 m/s de mz daginini vektorer gösterinir	
Sekil 4. 548 3 m/s ² de türbülans kinetik eneriisi dağılımı	321
Sekil 4 549 1 5 m/s'de vüzde memnunivetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üz	veri hölgeler
icin)	322
Sekil 4 550 1 5 m/s'de vüzde memnunivetsizlik oranı dağılımı	322
Sekil 4. 551 1 5 m/s'de hiz dağılımı	323
Sekil 4, 552 1 5 m/s'de akım cizgileri dağılımı	323
Sekil 4. 553 1.5 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	324
Sekil 4. 554 1.5 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Sekil 4. 555 1.5 m/s'de türbülans kinetik eneriisi dağılımı	
Şekil 4. 556 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzer	ri bölgeler
için)	
Şekil 4. 557 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 558 2 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 559 2 m/s'de akım çizgileri dağılımı	
Şekil 4. 560 2 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	
Şekil 4. 561 2 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Şekil 4. 562 2 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı	
Şekil 4. 563 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzer	ri bölgeler
için)	

Şekil 4. 564 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 565 3 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 566 3 m/s'de akım çizgileri dağılımı	
Şekil 4. 567 3 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	
Şekil 4. 568 3 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Şekil 4. 569 3 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı	
Şekil 4. 570 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üz	eri bölgeler
için)	
Şekil 4. 571 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 572 1.5 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 573 1.5 m/s'de akım çizgileri dağılımı	
Şekil 4. 574 1.5 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	
Şekil 4. 575 1.5 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Şekil 4. 576 1.5 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı	
Şekil 4. 577 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzer	i bölgeler
için)	
Şekil 4. 578 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 579 2 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 580 2 m/s'de akım çizgileri dağılımı	
Şekil 4. 581 2 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi	
Şekil 4. 582 2 m/s'de sıcaklık dağılımı	
Şekil 4. 583 2 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı	
Şekil 4. 584 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzer	i bölgeler
için)	
Şekil 4. 585 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı	
Şekil 4. 586 3 m/s'de hız dağılımı	
Şekil 4. 587 3 m/s de akım çızgıleri dağılımı	
Şekil 4. 588 3 m/s'de hiz dağılımı vektörel gösterimi	
Sekil 4. 589 3 m/s de sicaklik dagilimi	
Sekil 4. 590 3 m/s de turbulans kinetik enerjisi dagilimi	
Şekil 4. 591 Uç boyutlu oda geometrisinin yan gorunuşu	
Sekil 4. 592 Uç boyutlu oda geometrisinin on gorunuşu	
Sekil 4. 593 Uç boyutlu oda geometrisinin ust duziemden gorunuşu	
Şekil 4. 594 Üç böyütlü öda geometrisinin izometrik görünüşü	
Sekil 4. 595 Oç böyülü öda geometrisinin ağı yapısı	
Sekil 4. 596 2. Duzieni Cereyan Dağılımı	
Sekil 4. 600 6. Düzlem Cereyan Dağılımı	
Sekil 4. 600 0. Duziem Cereyan Dağılımı	
Sekil 4. 601 7. Duziem Cereyan Dağılımı	340
Sekil 4 603 9 Düzlem Cerevan Dağılımı	
Sekil 4 604 10 Düzlem Cereyan Dağılımı	
Sekil 4 605 1 Düzlem Sicaklık Dağılımı	
Sekil 4 606 2 Düzlem Sicaklık Dağılımı	
Sekil 4 607 3 Düzlem Sicaklık Dağılımı	
yerre it ov / 5. Duziem Steurink Duginini	

Şekil 4. 608 4. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	352
Şekil 4. 609 5. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	352
Şekil 4. 610 6. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	353
Şekil 4. 611 7. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	353
Şekil 4. 612 8. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	354
Şekil 4. 613 9. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	354
Şekil 4. 614 10. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	355
Şekil 4. 615 11. Düzlem Sıcaklık Dağılımı	355
Şekil 4. 616 1. Düzlemde Hız Dağılımı	356
Şekil 4. 617 2. Düzlemde Hız Dağılımı	356
Şekil 4. 618 3. Düzlemde Hız Dağılımı	357
Şekil 4. 619 4. Düzlemde Hız Dağılımı	357
Şekil 4. 620 5. Düzlemde Hız Dağılımı	358
Şekil 4. 621 6. Düzlemde Hız Dağılımı	358
Şekil 4. 622 7. Düzlemde Hız Dağılımı	359
Şekil 4. 623 8. Düzlemde Hız Dağılımı	359
Şekil 4. 624 9. Düzlemde Hız Dağılımı	360
Şekil 4. 625 10. Düzlemde Hız Dağılımı	360
Şekil 4. 626 11. Düzlemde Hız Dağılımı	361
Şekil 4. 627 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	361
Şekil 4. 628 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	362
Şekil 4. 629 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	362
Şekil 4. 630 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	363
Şekil 4. 631 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	363
Şekil 4. 632 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	364
Şekil 4. 633 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	364
Şekil 4. 634 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	365
Şekil 4. 635 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 636 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 637 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 638 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 639 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 640 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 641 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 642 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 643 1. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	370
Şekil 4. 644 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Sekil 4. 645 3. Düzlemde Sicaklik Dağılımı	
Sekil 4. 646 4. Důzlemde Sicaklik Dagilimi	
Sekil 4. 647 5. Duzlemde Sicaklik Dagilimi	
Sekii 4. 648 6. Duziemae Sicaklik Dagilimi	
Sekii 4. 649 /. Duziemae Sicaklik Dagilimi	
Sekil 4. 650 8. Duziemde Sicaklik Dagilimi	
Sekii 4. 651 9. Duziemde Sicaklik Dagilimi	
Şekii 4. 052 10. Duziemde Sicaklik Dagilimi	

Şekil 4. 653 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 654 1. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 655 2. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 656 3. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 657 4. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 658 5. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 659 6. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 660 7. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 661 8. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 662 9. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 663 10. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 664 11. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 665 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 666 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 667 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 668 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 669 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 670 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 671 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 672 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 673 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 674 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 675 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 676 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 677 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 678 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 679 6. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 680 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 681 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 682 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 683 1. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 684 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 685 3. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 686 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 687 5. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 688 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 689 7. Düzlemde Sicaklik Dağılımı	
Şekil 4. 690 8. Düzlemde Sicaklik Dağılımı	
Şekil 4. 691 9. Düzlemde Sicaklik Dağılımı	
Şekil 4. 692 10. Duzlemde Sicaklik Dağılımı	
β ekii 4. 693 11. Duziemae Sicaklik Dagilimi S_{2} <	
β ekii 4. 694 1. Duziemae Hiz Dagilimi β ekii 4. (05 2. Displayed H. D. S.)	
β ekii 4. 695 2. Duziemae Hiz Dagilimi β ekii 4. 696 2. Düziemae Hiz Dagilimi	
Şekii 4. 090 3. Duziemde Hiz Dagilimi	
Şekii 4. 09/4. Duziemde Hiz Dagilimi	

398 398 399 400 400 400 401 401 402 403 403 404 404 405 405 406
398 399 400 400 401 401 402 402 403 403 404 404 405 405 406
399 399 400 401 401 401 402 402 403 403 404 405 405 405
399 400 400 401 401 402 402 403 403 404 404 405 405 406
400 400 401 401 402 402 403 403 403 404 405 405 406
400 401 401 402 402 403 403 404 404 405 405 406
401 401 402 402 403 403 403 404 405 405 405
401 402 402 403 403 404 404 404 405 405 406
402 402 403 403 404 404 404 405 405
402 403 403 404 404 405 405 405
403 403 404 404 405 405 406
403 404 404 405 405 406
404 404 405 405 406
404 405 405 406
405 405 406
405 406
406
406
407
407
408
408
409
409
410
410
411
411
412
412
413
413
414
414
415
415
116
410
416
410 416 417
410 416 417 417
410 416 417 417 418
410 416 417 417 418 418
410 416 417 417 418 418 418

Şekil 4. 743 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 744 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 745 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 746 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 747 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 748 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 749 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 750 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 751 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 752 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	424
Şekil 4. 753 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 754 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 755 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 756 6. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 757 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 758 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 759 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 760 10. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 761 1. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 762 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 763 3. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 764 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 765 5. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	431
Şekil 4. 766 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	431
Şekil 4. 767 7. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 768 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 769 9. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 770 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 771 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 772 1. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 773 2. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 774 3. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 775 4. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 776 5. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 777 6. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 778 /. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 779 8. Düzlemde Hiz Dağılımı	
Şekil 4. 780 9. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 781 10. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. /82 11. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. /83 1. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 784 2. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 785 3. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 786 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 787 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 788 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	442
---	-----
Şekil 4. 789 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	443
Şekil 4. 790 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	443
Şekil 4. 791 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	444
Şekil 4. 792 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	444
Şekil 4. 793 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	445
Şekil 4. 794 1. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	445
Şekil 4. 795 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	446
Şekil 4. 796 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	446
Şekil 4. 797 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	447
Şekil 4. 798 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	447
Şekil 4. 799 6. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	448
Şekil 4. 800 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	448
Şekil 4. 801 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	449
Şekil 4. 802 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	449
Şekil 4. 803 10. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	450
Şekil 4. 804 11. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	450
Şekil 4. 805 1. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	451
Şekil 4. 806 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	451
Şekil 4. 807 3. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	452
Şekil 4. 808 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	452
Şekil 4. 809 5. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	453
Şekil 4. 810 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	453
Şekil 4. 811 7. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	454
Şekil 4. 812 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	454
Şekil 4. 813 9. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	455
Şekil 4. 814 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	455
Şekil 4. 815 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	456
Şekil 4. 816 1. Düzlemde Hız Dağılımı	456
Şekil 4. 817 2. Düzlemde Hız Dağılımı	457
Şekil 4. 818 3. Düzlemde Hız Dağılımı	457
Şekil 4. 819 4. Düzlemde Hız Dağılımı	458
Şekil 4. 820 5. Düzlemde Hız Dağılımı	458
Şekil 4. 821 6. Düzlemde Hız Dağılımı	459
Şekil 4. 822 7. Düzlemde Hız Dağılımı	459
Şekil 4. 823 8. Düzlemde Hız Dağılımı	460
Şekil 4. 824 9. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 825 10. Düzlemde Hız Dağılımı	461
Şekil 4. 826 11. Düzlemde Hız Dağılımı	461
Şekil 4. 827 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 828 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 829 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	463
Şekil 4. 830 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	463
Şekil 4. 831 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	464
Şekil 4. 832 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	464

Şekil 4. 833 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 834 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 835 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 836 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 837 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	467
Şekil 4. 838 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 839 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 840 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 841 1. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 842 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 843 3. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	470
Şekil 4. 844 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	470
Şekil 4. 845 5. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	471
Şekil 4. 846 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	471
Şekil 4. 847 7. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	472
Şekil 4. 848 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	472
Şekil 4. 849 9. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	473
Şekil 4. 850 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	473
Şekil 4. 851 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	474
Şekil 4. 852 1. Düzlemde Hız Dağılımı	474
Şekil 4. 853 2. Düzlemde Hız Dağılımı	475
Şekil 4. 854 3. Düzlemde Hız Dağılımı	475
Şekil 4. 855 4. Düzlemde Hız Dağılımı	476
Şekil 4. 856 5. Düzlemde Hız Dağılımı	476
Şekil 4. 857 6. Düzlemde Hız Dağılımı	477
Şekil 4. 858 7. Düzlemde Hız Dağılımı	477
Şekil 4. 859 8. Düzlemde Hız Dağılımı	478
Şekil 4. 860 9. Düzlemde Hız Dağılımı	478
Şekil 4. 861 10. Düzlemde Hız Dağılımı	479
Şekil 4. 862 11. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 863 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 864 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 865 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 866 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 867 5. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 868 6. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 869 7. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 870 8. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 871 9. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 872 10. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 873 11. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 874 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 875 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 876 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 877 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	

Şekil 4. 878 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Şekil 4. 879 1. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 880 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 881 3. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	489
Şekil 4. 882 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 883 5. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	490
Şekil 4. 884 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	490
Şekil 4. 885 7. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	491
Şekil 4. 886 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	491
Şekil 4. 887 9. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 888 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 889 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	
Şekil 4. 890 1. Düzlemde Hız Dağılımı	493
Şekil 4. 891 2. Düzlemde Hız Dağılımı	494
Şekil 4. 892 3. Düzlemde Hız Dağılımı	494
Şekil 4. 893 4. Düzlemde Hız Dağılımı	495
Şekil 4. 894 5. Düzlemde Hız Dağılımı	495
Şekil 4. 895 6. Düzlemde Hız Dağılımı	496
Şekil 4. 896 7. Düzlemde Hız Dağılımı	496
Şekil 4. 897 8. Düzlemde Hız Dağılımı	497
Şekil 4. 898 9. Düzlemde Hız Dağılımı	497
Şekil 4. 899 10. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 900 11. Düzlemde Hız Dağılımı	
Şekil 4. 901 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 902 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 903 3. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 904 4. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 905 5. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 906 6. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 907 /. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 908 8. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 909 9. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Şekil 4. 910 10. Düzlemde Türbülans Kınetik Enerjisi Dağılımı	
Sekil 4. 911 11. Dúzlemde Túrbúlans Kinetik Enerjisi Dagilimi	
Şekil 4. 912 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı	
Sekil 4. 913 3. Důzlemde Yůzde Memnuniyetsizlik Dagilimi	
Sekii 4. 914 4. Duziemae Yuzae Memnuniyetsizlik Dagilimi	
Sekil 4. 915 6. Duzlemde Yuzde Memnuniyetsizlik Dagilimi	
Şekli 4. 910 /. Duziemae Yuzde Memnuniyetsizlik Dagilimi Salail 4. 017 9. Düalamda Vüzda Memnuniyetsizlik D. Xilana	
Şekli 4. 91 / 8. Duziemae Yuzae Memnuniyetsizlik Dagilimi	
Şekli 4. 918 9. Duziemae Yuzde Memnuniyetsizlik Dagilimi	
Şekii 4. 919 1. Duziemde Sicaklik Dagilimi Salai 4. 020 2. Dialamda G., 111 D. 21	
Şekii 4. 920 2. Duzlemde Sicaklik Dagilimi	
Şekil 4. 921 3. Duzlemde Sicaklik Dağılımı	
Şekil 4. 922 4. Düzlemde Sicaklik Dağılımı	509

Şekil 4. 923 5. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	510
Şekil 4. 924 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	510
Şekil 4. 925 7. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	511
Şekil 4. 926 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	511
Şekil 4. 927 9. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	512
Şekil 4. 928 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	512
Şekil 4. 929 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı	513
Şekil 4. 930 1. Düzlemde Hız Dağılımı	513
Şekil 4. 931 2. Düzlemde Hız Dağılımı	514
Şekil 4. 932 3. Düzlemde Hız Dağılımı	514
Şekil 4. 933 4. Düzlemde Hız Dağılımı	515
Şekil 4. 934 5. Düzlemde Hız Dağılımı	515
Şekil 4. 935 6. Düzlemde Hız Dağılımı	516
Şekil 4. 936 7. Düzlemde Hız Dağılımı	516
Şekil 4. 937 8. Düzlemde Hız Dağılımı	517
Şekil 4. 938 9. Düzlemde Hız Dağılımı	517
Şekil 4. 939 10. Düzlemde Hız Dağılımı	518
Şekil 4. 940 11. Düzlemde Hız Dağılımı	518
Şekil 4. 941 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	519
Şekil 4. 942 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	519
Şekil 4. 943 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	520
Şekil 4. 944 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	520
Şekil 4. 945 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	521
Şekil 4. 946 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	521
Şekil 4. 947 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	522
Şekil 4. 948 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	522
Şekil 4. 949 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	523
Şekil 4. 950 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	523
Şekil 4. 951 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı	524

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1 Std k- ε türbülans modeli sabitleri (Launder ve Spalding 1974)	16
Çizelge 3. 2 PMV değerleri	27
Çizelge 3. 3 PMV'ye bağlı PPD değerlendirmeleri	
Çizelge 4. 1 Ağ modellerine göre y ⁺ modelleri	
Çizelge 4. 2 Farklı Sınır Şartlarının Tablo Olarak Görünümü	
Çizelge 4. 3 Geometri üzerinde incelenecek olan farklı sınır şartları	



1. GİRİŞ

Günümüzde ev, ofis, okul ve benzer kapalı mekânların havalandırılmasının ısıl konfora ve buna bağlı olarak yaşam kalitesi ve çalışma performansına büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir.

Klima konfor ve havalandırma uygulamalarında ki temel cihazdır. Yaşam standartlarının gelişen teknoloji ile artmış olması konfor uygulamalarını da yansımaktadır. Isıl konforu sağlamak amacıyla ortama verilen havanın miktarı, hızı, sıcaklığı ve basıncı istenilen şartları sağlamak önemli parametrelerdir. Ayrıca içeri giren taze havanın hızı ve yönü, içeride dağılımı iç ortam tasarımını belirleyen faktörlerdir. Tasarımcının bu faktörleri dikkate alarak yapacağı tasarım hem konfor hem de enerji tasarrufu sağlanması açısından önemlidir.

Oda içerisindeki materyaller akışın karakteristiğini değiştirerek türbülans oluşturabilmektedir. Türbülans oluşumunda her ne kadar ısı transferi artsa da, hız dağılımı değişmekte ve basınç düşümü yaşanmaktadır. Bu durum ise konfor açısından istenmeyen bir durumdur. Olması gereken durum düşük hızda, laminer ve mümkün olduğunca türbülanssız bir akıştır.

Kapalı ortamlarda havalandırma ve ısıl konfor uygulamalarında günümüzde deneysel ve nümerik olarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) simülasyonları için ANSYS-Fluent paket programı kullanılmıştır. Çalışmada iki boyutlu IEA Annex 20 (International Energy Agency Annex20) odası (Şekil 2.1) ve Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Isı tekniği laboratuvarında bulunan ve ısıl konfor çalışmaları için tasarlanmış bir oda geometrisinde akış, sıcaklık ve konfor çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın IEA Annex20 oda geometrisi kullanılan ilk bölümünde farklı türbülans modelleri, farklı duvar yaklaşımlarıyla denenerek akış, sıcaklık ve yüzde memnuniyetsizlik (PD: Percent Dissatisfaction) dağılımları elde edilerek uygun türbülans modeli belirlenmiştir. Çalışmanın split klimalı iki boyutlu ve üç boyutlu



Şekil 2. 1 Annex 20 odası (Nielsen-1972)

ikinci oda geometrisinde, insanlı ve insansız halde birinci bölümde doğrulanan türbülans modeli ve duvar yaklaşımı kullanılarak akış ve sıcaklık dağılımlarıyla yüzde memnuniyetsizlik ısıl konfor dağılımları elde edilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Oda havalandırmasında HAD yetmişli yıllardan beri kullanılmasına rağmen (Nielsen ve ark. 1978) son zamanlarda araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Pitarma ve ark. 2004 HAD metodunun bina içi hava dağılımı çalışmalarındaki önemini vurgulamışlar ve oda içerisindeki havanın kalitesi, enerji tüketimi ve ısıl konfora etki eden parametreleri bu yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Oda havalandırmasının konfor üzerine etkileri ve konforun yaşam kalitesinin yanında iş verimine de etkileri bu alana olan ilginin sürekli artmasına sebep olmuştur (Akimoto ve ark. 2010).

Termal konfor kişinin termal çevre ile olan memnuniyetini ifade eden öznel bir değerlendirmedir. (ASHRE Standard 55)

Isıl konforu etkileyen parametreler kişisel ve çevresel olarak sınıflandırılabilir. Çevresel parametreler olarak ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi, ortam hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığıdır. Kişisel parametreler ise kişinin metabolik aktivite düzeyi ve giyinme durumudur (Atmaca ve ark. 2009).

Rong ve Nielsen (2010), Annex20 odasında yaptıkları bir çalışmada ANSYS CFX HAD yazılımı kullanarak farklı türbülans modellerinden elde ettikleri sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada k- ε , k- ω ve BSL k- ω modellerini kullanmışlardır. Odanın farklı noktalarında farklı modellerin birbirine göre farklı doğrulukta sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Belirli bir modeli önermemişlerdir.

Voigt (2005), Annex20 odasında daha önce Neilsen'in yapmış olduğu deneysel çalışmaya farklı bir metotla yapılan deneysel sonuçları ekleyip üç boyutlu olarak elde edilen HAD analiz sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. HAD analizinde farklı türbülans modelleri kullanmıştır. Rong ve Nielsen in çalışmasına benzer şekilde sonuçların odanın farklı noktalarında birbirlerine karşı üstünlüklerinin olduğunu göstermiştir. Fakat akışın dağılımı ve şeklini incelediğinde bu modeller arasındaki farkın daha belirgin bir şekilde ortaya çıktığını belirtmiştir.

Costa ve ark. (1999), Sınırlandırılmış iki termal ısıl yüzey jetinin oluşturduğu akımı deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Chieng ve Launder'in (1980) basitleştirilmiş iki kademeli duvar yaklaşımı ile birlikte, sekiz düşük Reynolds sayısında k- ε türbülans modeli karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Sınır tabakada ki ölçüm zorluğu ve nümerik hatalardan dolayı genel bir sonuca ulaşılamamıştır.

Yukarıdaki çalışmalardan görüleceği üzere oda havalandırmasında belirli bir türbülans modeli önerilmemesine rağmen Chen ve Srebric (2002), çoğu oda hava akışı simülasyonlarında Standard k- ε (Std k- ε) ve RNG k- ε modelinin tatmin edici sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Yine kapalı mahallerde hava akışı ve türbülansın tahmininde kullanılan çeşitli türbülans modellerinin HAD açısından genel bir değerlendirmesi Zhai ve ark. (2002) tarafından yapılmıştır.

IEA Annex20 Odası yukarıda belirtildiği gibi birçok hava akışı problemlerinde, özellikle türbülans modellerinin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılmasına rağmen ısıl konfor ve cereyan çalışmalarında yazarların bilgisi dahilinde kullanıldığına rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı IEA Annex20 Odasında hava cereyanını sayısal olarak araştırmaktır. Bu amaçla türbülans modelleri karşılaştırılmış ve hava cereyanı standart duvar fonksiyonu kullanan Std k-ε modeliyle incelenmiştir.

3. METARYAL VE YÖNTEM

Çalışmada çözüm metodu olarak nümerik bir yol izlenmiştir. Korunum denklemleri sonlu hacim metodunu kullanan HAD programıyla çözülmüştür. HAD sonlu hacim metodu dışında sonlu elemanlar metodu da kullanılmaktadır fakat akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinde sonlu hacim metodunun kullanılması daha yaygındır (Tu ve ark. 2008).

Momentum denklerini de kapsayan korunum denklemlerinin sınır tabaka yaklaşımı dışında analitik çözümleri bulunmadığından sayısal yöntemler bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak önem kazanmış ve bunun için pek çok bilgisayar programı geliştirilmiştir. HAD metodu bina enerji simülasyonu (BES: Building Energy Simulation) ve zonal modeller gibi metodlar arasında oda havalandırmasında en çok kullanılan metodlardan birisidir (Chen 1997, Pitarma 2004).

3.1. HAD Tarihi

Bütün CFD problemlerinin temelinde gaz ya da sıvılar için akışı tanımlayan Navier Stokes denklemleri vardır. İki boyutlu olarak, silindir üzerindeki akıştan kanat geometrisi üzerindeki akış konformal dönüşümler ile 1930 da çözülmüştür. (Milne-Thomson,L.M. (1973))

CFD kullanımının ilk örneklerinden biri de Lewis Fry Richardson tarafından sonlu farklar metodu ve bölünmüş hücresel alanlar yoluyla hesaplanarak elde edilmiştir. Bu hesaplamalar büyük ölçüde başarısız olsa da Richardson'in kitabı olan Weather prediction by numerical process (1922) ile birlikte moden CFD'nin ve nümerik hesaplamanın temelini oluşturmuşlardır.

Bilgisayar teknolojisindeki artış ile beraber zamana bağlı ve üç boyutlu analizler için gelişme şansı doğmuştur. İlk üç boyutlu analiz için yayınlanan yayın John Hess ve A.M.O. Smith of Douglas Aircraft tarafından 1967'de yayınlanmıştır. 1980 yılı sonrası ise HAD kullanımında bir ivmelenme olmuştur. Teknoloji gelişimindeki artışa paralel olarak yanma, parçacık ve çok fazlı analizler yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde pek çok güçlü ticari programlar geliştirilmiştir. Önceleri yüksek performanslı bilgisayarların

maliyeti nedeniyle HAD kullanımı bilimsel araştırma merkezleri ile sınırlıyken sonraları özel sektörde HAD'dan yoğun olarak faydalanmıştır. Savunma, havacılık, otomotiv, havalandırma, enerji ve pek çok sektörde yoğun olarak kullanılmaktadırlar.

3.2 HAD İşleyişi

HAD yazılımı kullanmadan önce problemin dikkatle tanımlanması gerekir çünkü sonraki aşamalarda bu tanıma göre seçimler yapılır. Hedeflenen çözüm belirlenir. Bundan sonraki adım olarak çözüm geometrisinin oluşturulması gerekmektedir. İşleyiş Şekil 3.1'de gösterilmiş ayrıca aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

- 1) Problemin Tanımı
- 2) Ön-İşleme (Pre-Processing)
- 3) Çözüm
- 4) Sonuçların Değerlendirilmesi (Post-Processing)



Şekil 3. 1 Had İşleyiş Algoritması (Introduction to Ansys Fluent, 15.0 Realese)

Günümüzde pek çok HAD yazılımı geometri oluşturma hususunda güçlü modüller geliştirmiştir fakat yine de karmaşık geometrilerde CAD (Computer Aided Design) programlarına ihtiyaç duyulmakta ki buda tasarım süresini kısaltmakta fakat ek maliyet getirmektedir. Özellikle bazı yüzey çalışmalarında güçlü bir CAD yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Geometrinin elde edilmesinden sonra çoğu zaman bir takım ek düzeltmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ağ yapısı oluştururken minimum hata ve maksimum kalite elde etmek için kimi zaman geometriler basitleştirilir. Ağ yapısının kalitesinin yanı sıra çözüme etki etmeyen alanlar fazladan çözüm alanı oluşturacağından analiz süresini uzatacaklardır. Geometri istenilen şartlara göre hazırlandıktan sonra ağ yapısı oluşturulur.

Akış problemlerinin (hız, sıcaklık, basınç) çözümünde akış alanı hücrelere ayrılır. Bu hücrelerin birleştiği köşe noktalarına ise düğüm denir. Bu yapı Şekil 3.2'de ifade edilmiştir. Paket programlarda geometrinin şekli ve yapısına göre farklı ağ modelleri bulunmaktadır. Piramit, üçgen prizma, dörtyüzlü ve dikdörtgen prizma bunlara örnektir.



Şekil 3. 2 Ağ yapısı şematik gösterimi

Ağ yapısının sıklığı doğru çözüm için önemlidir. Çözüm ağı içerisindeki eleman sayısı arttıkça çözüm o kadar doğru olacaktır fakat aynı zamanda çözüm süreside uzayacaktır. Yapılan çalışmalarda farklı sıklıklarda ağ yapıları elde edilip hepsi için çözüm elde edilir. Bu işlemin ardından ağ yapısı arttıkça çözümün değiştiğini fakat her çözüm arasındaki farkın Şekil 3.3'te görüldüğü gibi giderek azaldığı saptanır. Belirli bir noktada ise çözümün değişmediği sabit kaldığı görülür. Bu noktadaki ağ sayısına ise bağımsız eleman sayısı denir.



Şekil 3. 3 Eleman sayısı ve sonuç arasındaki ilişki

3.3. Korunum Denklemleri

HAD yazılımlarının çözümleme aşamasında kullandığı sürekli rejimde üç boyutlu sıkıştırılamaz akışkanlar için kartezyen koordinatlarda korunum denklemleri Denklem 3.1-4'te verilmiştir.

Süreklilik Denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Momentum Denklemleri;

$$\rho(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}) + F_x$$
(3.1)

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

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

Enerji Denklemi;

$$\rho C_{p} \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + k \left(\frac{\partial^{2} T}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} T}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} T}{\partial z^{2}} \right) + \mu \Phi$$
(3.4)

3.4. Türbülans ve Türbülans Modelleri

Türbülans akış özelliklerinin kaotik bir şekilde değiştiği bir akış durumudur. Zaman ve konuma bağlı birer fonksiyon olarak hız, sıcaklık ve basınçta Şekil3.4-5'te ki gibi dalgalanmalar olur. (Habip Umur). Deneysel çalışmalara bağlı olarak kritik Reynolds sayısından sonra ortaya çıktığı ve akış karakteristiğine baskın şekilde etki ettiği gözlenmiştir.



Şekil 3. 4 Ortalama hız ve çalkantı değerlerinin gösterimi



Şekil 3. 5 Ortalama sıcaklık ve dalgalanma değerlerinin gösterimi

Türbülanslı akıştaki bu dalgalanmaları ölçmek hesaplayabilmek için çok küçük boyutlarda ağ yapıları kullanmamız gerekmektedir. Şu an ki bilgisayar teknolojisi ile bu durum gerçekleştirilememektedir. Bu sebeple araştırmacılar birtakım türbülans modelleri geliştirmiştir. Bu modeller şu şekilde sıralanabilir;

- 1. Reynolds Ortalamalı Navier Stokes Denklemleri
 - 1.1.Reynolds Gerilme Modelleri (RSM)
 - 1.1.1. E temelli RSM'ler
 - 1.1.2. W temelli RSM'ler.
 - 1.2.Eddy viskozitesi Modelleri
 - 1.2.1. Spalart-Allmaras Model
 - 1.2.2. Standart k-e modeli
 - 1.2.3. RNG k-e modeli
 - 1.2.4. Realizable k-e modeli
 - 1.2.5. Stanadrt k-w modeli
 - 1.2.6. Baseline (BSL) k-w modeli
 - 1.2.7. SST k-w modeli
 - 1.2.8. Eddy viskozitesi modeli
- 2. Large Eddy Simulasyonu (LES)
- 3. Direkt Nümerik Simülasyon

3.5 Reynolds Ortalamalı Navier Stokes Denklemleri (RANS)

RANS modelleri ortalama akım ve ve bu akımdaki dalgalanmaların özellikleri ile ilgilenir. Reynolds ortalamalı eşitliklerde karşımıza ekstra terimler çıkar. RANS modelinde, Navier Stokes denklemlerine ilave çözüm değişkenleri (zaman ortalamalı) olarak ortalama ve dalgalanma hız bileşenleri eklenir.

$$u_i = \overline{u}_i + u_i$$

Burada u_i ve u_i ortalama ve dalgalanma hız bileşenleridir. Basınç ve diğer skaler birimler için ise aşağıdaki ifade kullanılır.

 $\phi = \overline{\phi} + \phi$

Zaman ortalamalı bileşen;

$$\Phi = \frac{1}{\Delta \tau} \int_{\tau}^{\tau + \Delta \tau} \phi d\tau$$

x,y,z yönlerindeki anlık hızın zaman ortalamalı ve çalkantı bileşenleri;

$$v_x = V_x + v_x'$$
$$v_y = V_y + v_y'$$
$$v_z = V_z + v_z'$$

Süreklilik denkleminde anlık hız yerine hız bileşenleri yazılır ve aşağıdaki eşitlik elde edilir, ardından denklemin ortalaması alınır.

$$\frac{\partial v_{x}}{\partial x} + \frac{\partial v_{y}}{\partial y} + \frac{\partial v_{z}}{\partial z} = \frac{\partial (V_{x} + v_{x}')}{\partial x} + \frac{\partial (V_{y} + v_{y}')}{\partial y} + \frac{\partial (V_{z} + v_{z}')}{\partial z} = \frac{\partial V_{x}}{\partial x} + \frac{\partial V_{y}}{\partial y} + \frac{\partial V_{z}}{\partial z} + \frac{\partial v_{x}'}{\partial x} + \frac{\partial v_{y}'}{\partial y} + \frac{\partial v_{z}'}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial V_{x}}{\partial x} + \frac{\partial V_{y}}{\partial y} + \frac{\partial V_{z}}{\partial z} + \frac{\partial v_{x}'}{\partial x} + \frac{\partial v_{y}'}{\partial y} + \frac{\partial v_{z}'}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial V_{x}}{\partial x} + \frac{\partial V_{y}}{\partial y} + \frac{\partial V_{z}}{\partial z} + \frac{\partial v_{x}'}{\partial x} + \frac{\partial v_{y}'}{\partial y} + \frac{\partial v_{z}'}{\partial z} = 0$$

Ortalama değerin tekrar ortalaması alındığında kendisine eşit olur. Dalgalanma terimlerinin ortalaması sıfırdır. Bu sebeple denklemin ortalamışının son hali;

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

Navier Stokes denklemlerinin zaman ortalaması;

Anlık hız gösterimi ile;

$$\rho(\frac{\partial \mathbf{v}_x}{\partial \tau} + \mathbf{v}_x \frac{\partial \mathbf{v}_x}{\partial x} + \mathbf{v}_y \frac{\partial \mathbf{v}_x}{\partial y} + \mathbf{v}_z \frac{\partial \mathbf{v}_x}{\partial z}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 \mathbf{v}_x}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \mathbf{v}_x}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 \mathbf{v}_x}{\partial z^2} + S_x$$

Ortalama hız ve çalkantı bileşeni gösterimi ile x yönünde;

$$\rho(\frac{\partial V_x}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} - \rho \frac{\partial v_x \dot{v}_x}{\partial x} - \rho \frac{\partial v_x \dot{v}_y}{\partial y} - \rho \frac{\partial v_x \dot{v}_z}{\partial z} + S_x$$

Y yönünde;

$$\rho(\frac{\partial V_{y}}{\partial \tau} + V_{x}\frac{\partial V_{y}}{\partial x} + V_{y}\frac{\partial V_{y}}{\partial y} + V_{z}\frac{\partial V_{y}}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu\frac{\partial^{2}V_{y}}{\partial x^{2}} + \mu\frac{\partial^{2}V_{y}}{\partial y^{2}} + \mu\frac{\partial^{2}V_{y}}{\partial z^{2}} - \rho\frac{\partial v_{y}v_{x}}{\partial x} - \rho\frac{\partial v_{y}v_{y}}{\partial y} - \rho\frac{\partial v_{y}v_{z}}{\partial z} + S_{y}\frac{\partial V_{y}}{\partial z} + \frac{$$

Z yönünde;

$$\rho(\frac{\partial V_z}{\partial \tau} + V_x\frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y\frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z\frac{\partial V_z}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \mu\frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \mu\frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} - \rho\frac{\partial v_z v_x}{\partial x} - \rho\frac{\partial v_z v_y}{\partial y} - \rho\frac{\partial v_z v_z}{\partial z} + S_z$$

Zaman Ortalamalı Süreklilik denklemi

Anlık hız cinsinden;

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Ortalama hız cinsinden;

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

Zaman Ortalamalı Enerji Denklemi

Anlık sıcaklık ve hız ile gösterimi;

$$\rho c_{p} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + V_{x} \frac{\partial T}{\partial x} + V_{y} \frac{\partial T}{\partial y} + V_{z} \frac{\partial T}{\partial z}\right) = k \frac{\partial^{2} T}{\partial x^{2}} + k \frac{\partial^{2} T}{\partial y^{2}} + k \frac{\partial^{2} T}{\partial z^{2}} + \Phi + q$$

Ortalama sıcaklık, ortalama hız ve çalkantı bileşenleri cinsinden gösterimi;

$$\rho c_{p} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + V_{x} \frac{\partial T}{\partial x} + V_{y} \frac{\partial T}{\partial y} + V_{z} \frac{\partial T}{\partial z}\right) = k \frac{\partial^{2} T}{\partial x^{2}} + k \frac{\partial^{2} T}{\partial y^{2}} + k \frac{\partial^{2} T}{\partial z^{2}} - \rho \frac{\partial T' v_{x}}{\partial x} - \rho \frac{\partial T' v_{y}}{\partial y} - \rho \frac{\partial T' v_{z}}{\partial z} + \Phi + q$$

Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemleri;

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned}$$

$$\rho(\frac{\partial V_x}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z}) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} - \rho \frac{\partial v_x v_x}{\partial x} - \rho \frac{\partial v_x v_y}{\partial y} - \rho \frac{\partial v_x v_z}{\partial z} + S_x \end{aligned}$$

$$\rho(\frac{\partial V_y}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z}) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} - \rho \frac{\partial v_y v_x}{\partial x} - \rho \frac{\partial v_y v_y}{\partial y} - \rho \frac{\partial v_y v_z}{\partial z} + S_y \end{aligned}$$

$$\rho(\frac{\partial V_z}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z}) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} - \rho \frac{\partial v_y v_x}{\partial x} - \rho \frac{\partial v_y v_y}{\partial y} - \rho \frac{\partial v_y v_z}{\partial z} + S_y \end{aligned}$$

Reynolds gerilmelerinden dolayı toplam 4 denklem ve altı bilinmeyen vardır. Bu sebeple Reynolds gerilmelerinin modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Eddy Viskozitesi Modelleri

$$\rho \overline{\mathbf{v}_{x} \mathbf{v}_{x}} = -\mu_{t} \left(2 \frac{\partial V_{x}}{\partial x} \right) + \frac{2}{3} \rho k$$
$$\rho \overline{\mathbf{v}_{y} \mathbf{v}_{y}} = -\mu_{t} \left(2 \frac{\partial V_{y}}{\partial y} \right) + \frac{2}{3} \rho k$$
$$\rho \overline{\mathbf{v}_{z} \mathbf{v}_{z}} = -\mu_{t} \left(2 \frac{\partial V_{z}}{\partial z} \right) + \frac{2}{3} \rho k$$

Şeklinde ifade edilir. Buradaki k türbülans kinetik enerjisidir.

$$\mathbf{k} = \frac{\overline{\mathbf{v}_{x}^{'}\mathbf{v}_{x}^{'}}}{2} + \frac{\overline{\mathbf{v}_{y}^{'}\mathbf{v}_{y}^{'}}}{2} + \frac{\overline{\mathbf{v}_{z}^{'}\mathbf{v}_{z}^{'}}}{2}$$

$$\rho \overline{\mathbf{v}_{x} \mathbf{v}_{y}} = \rho \overline{\mathbf{v}_{y} \mathbf{v}_{x}} = -\mu_{t} \left(\frac{\partial V_{x}}{\partial y} + \frac{\partial V_{y}}{\partial x} \right)$$
$$\rho \overline{\mathbf{v}_{x} \mathbf{v}_{z}} = \rho \overline{\mathbf{v}_{z} \mathbf{v}_{x}} = -\mu_{t} \left(\frac{\partial V_{x}}{\partial z} + \frac{\partial V_{z}}{\partial x} \right)$$
$$\rho \overline{\mathbf{v}_{z} \mathbf{v}_{y}} = \rho \overline{\mathbf{v}_{y} \mathbf{v}_{z}} = -\mu_{t} \left(\frac{\partial V_{z}}{\partial y} + \frac{\partial V_{y}}{\partial z} \right)$$

Bu terimler reynold Ortalamalı eşitliklerde yerine yazıldığı zaman denklemler son halini almış olacaktır.

Süreklilik;

$$\frac{\partial \mathbf{V}_{x}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{V}_{y}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{V}_{z}}{\partial z} = 0$$

X momentum;

$$\rho(\frac{\partial V_x}{\partial \tau} + V_x\frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y\frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z\frac{\partial V_x}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}[(\mu + \mu_t)\frac{\partial V_y}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[(\mu + \mu_t)\frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_t)\frac{\partial V_y}{\partial z}] + S_{Tx}$$

Y momentum;

$$\rho(\frac{\partial V_{y}}{\partial \tau} + V_{x}\frac{\partial V_{y}}{\partial x} + V_{y}\frac{\partial V_{y}}{\partial y} + V_{z}\frac{\partial V_{y}}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial z}] + S_{Ty}(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial z}] + S_{Ty}(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_{y}}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[(\mu + \mu_{t})\frac{\partial V_$$

Z momentum;

$$\rho(\frac{\partial V_z}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial z}] + S_{Tz} \frac{\partial V_z}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial V_z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_t) \frac{\partial V_y}{\partial y}] +$$

$$S_{\mathrm{Tz}} = \mathbf{S}_{\mathrm{z}} + s_{\mathrm{tz}} = \mathbf{S}_{\mathrm{z}} + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_{\mathrm{t}}) \frac{\partial \mathbf{v}_{\mathrm{x}}}{\partial x} + (\mu + \mu_{\mathrm{t}}) \frac{\partial \mathbf{v}_{\mathrm{y}}}{\partial y} + (\mu + \mu_{\mathrm{t}}) \frac{\partial \mathbf{v}_{\mathrm{z}}}{\partial z}]$$

 μ_t türbülans viskozitesidir.

Süreklilik ve momentum denklemlerinin son haliyle dört denklem ve beş bilinmeyen elde edilmiş olur. Bundan sonraki işlemlerde türbülans viskozitesinin modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli türbülans modelleri geliştirilmiştir ve bu modeller Şekil 3.6'da listelenmiştir.



Şekil 3. 6 Türbülans Modelleri (Introduction to Ansys Fluent, 15.0 Realese)

Bu çalışmada Standart k- $\boldsymbol{\varepsilon}$ standart k-w tabanlı modeller kullanılmıştır.

3.5.1. Standard k- & Modeli

Standart terimi kullanılan sabit standartlara atfen verilmiştir. Boyut analizi uygulayarak eddy viskozitesini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz;

$$\mu_t = C\rho \mathcal{P}\ell = \rho C_{\mu} \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Standart k- ε modeli k ve ε için aşağıdaki iki transport denklemini kullanır;

k transport denklemi;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t S^2 - \rho \varepsilon$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

 ε transport denklemi;

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon}} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} \mu_t S^2 - \rho C_{2\varepsilon} \varepsilon)$$

Buoyancy etkisi ve genişleme dağılımı için transport denklemi için aşağıda görülen ek ifadeler kullanılır;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t S^2 - \rho \varepsilon - g_i \frac{\mu_t}{\rho \operatorname{Pr}_t} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} - 2\rho \varepsilon \frac{k}{\gamma RT}$$

 $\sigma_k, \sigma_{\varepsilon}, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ gibi boyutsuz sayılar su ve hava ile yapıla deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 3. 1 Std k- <i>ɛ</i> türbülans mod	eli sabitleri (Launder	ve Spalding 1974)
--	------------------------	-------------------

$\sigma_{_k}$	1
$\sigma_{_{arepsilon}}$	1,3
$C_{1arepsilon}$	1,44
$C_{2\varepsilon}$	1,92
C_{ε}	0,09

Std k- ε modelinin avantajlı yanları;

- Güçlü
- Ekonomik
- Çoğu akış tipleri için doğru sonuçlar vermesidir.

Dezavantajları ise;

• Güçlü girdap akışlarında, dönen durumlarda, akışın ayrıldığı bölgelerde, düşük reynold sayılarında pasif kalmaktadır.

k- ε modelininin bazı zayıflıkları üzerine aynı model üzerinden farklı türbülans modelleri geliştirilmiştir.

3.5.2. RNG k-*ε* Modeli

RNG terimi Renormalization Group k- ε şeklindeki isminden türemiştir. Navier-Stokes denklemlerine ölçek eleminasyon (scale-elimination technique) tekniği uygulanır. Böylece denklemler özel akış şekilleri için daha duyarlı hale gelir.

k denklemi Std k- ε modeli ile benzerdir. Aralarındaki en belirgin fark ε denklemine gerinim oranının eklenmesidir. Boussinesq yaklaşımı denklemde tanımlıdır ve seçilmeksizin kullanılır.

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\alpha_{\varepsilon} \mu_{eff} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} \left(C_{1\varepsilon} \mu_t S^2 - \rho C^*_{2\varepsilon} \varepsilon \right)$$
$$C^*_{2\varepsilon} = C_{2\varepsilon} + \frac{C_{\mu} \rho n^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right)}{1 + \beta \eta^3}$$
$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon}$$

 η_0, β sabit sayılardır.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_{eff}$$

Olarak tanımlanır. Model sabitleri ise;

$$C_{1\varepsilon} = 1.42$$

 $C_{2\epsilon} = 1.68$

3.5.3. Realizable k-*ε* Modeli

Realizable k- ε modeli Std k- ε modelinden iki şekilde ayrılır;

- Realizable k- ε türbülans modeli, türbülans viskozitesini farklı bir formülle ifade eder.
- ε transport denklemi, türbülans dalgalanmasının ortalama karekök metodu ile ifade edilmesi ile türetilmiştir.

"Realizable" terimi bu türbülans modelinin Reynolds gerilmelerindeki matematiksel kısıtlamaları sağladığını ve türbülanslı akılın fiziği ile uyumlu olduğunu ifade eder.

 ε transport denklemi;

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \left(C_1 S \rho \varepsilon - C_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} \right)$$
$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right]$$
$$\eta = Sk / \varepsilon,$$
$$C_2 = 1.0$$

Türbülans viskozitesi

$$\mu_{t} = \rho C_{\mu} \frac{k^{2}}{\varepsilon}$$

$$C_{\mu} = \frac{1}{A_{0} + A_{S}} \frac{U^{*}k}{\varepsilon}$$

$$A_{0} = 4.04$$

$$A_{S} = \sqrt{6} \cos \phi$$

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\sqrt{6}W\right)$$

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \Omega_{ij}\Omega_{ij}}$$
$$W = \frac{S_{ij}S_{ij}S_{ki}}{S}$$
$$S = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}$$

3.5.4.k-w türbülans modeli

k- ω modeli (Wilcox, 1998) bir geçiş modelidir. Bu model sınır tabaka gelişimini ve geçiş başlangıcını elde etmekte kullanılmaktadır. Sınır tabakada laminer akıştan türbülanslı akışa geçişi net bir şekilde elde edebilen bir modeldir. Düşük Reynolds sayılı k- ε modeline gibi nonlineer sönümleme fonsiyonları içermediğinden daha net ve doğru sonuç vermektedir. Model 1998 yılında Wilcox tarafından geliştirilmiştir.

Türbülans Kinetik enerjisi;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \beta^* f_{\beta^*} k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$

Türbülans yayınım oranı;

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = a \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \beta f_\beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right]$$

Türbülans viskozitesi aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\mu_{t} = a^{*} \rho \frac{k}{\omega}$$

$$a^{*} = a_{\infty}^{*} \left(\frac{a_{0}^{*} + \operatorname{Re}_{T} / R_{k}}{1 + \operatorname{Re}_{T} / R_{k}} \right)$$

$$a_{0}^{*} = \frac{\beta_{i}}{2}$$

$$\beta_i = \frac{9}{125}$$

3

$$R_k = 6$$
$$Re_T = \frac{\rho k}{w\mu}$$
$$a_{\infty}^* = 1.0$$

 $a^* = 1$ olduğunda akış tam türbülanslı hale gelmiş olur dolayısıyla $\operatorname{Re}_T = \infty$ olur.

3.5.5. SST k-ω Türbülans Modeli

SST k-ω türbülans modeli (Menter,1994) son zamanlarda çok popüler hale gelmiş iki denklemli eddy viskozitesi modelidir. Akışı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi hem cidarda hem de cidarın üstündeki kısma göre incelediğinden cidarlarda ve cidar üstü kısımlarda yüksek doğruluk sağlayabilmektedir. Cidar tabakasının üst kısmını ayrı olarak incelemesi k-ω modeline göre avantaj sağlamaktadır.



Şekil 3.7 SST k-ω modelinin farklı yüzeylerdeki hesap şekli (Turbulence Modeling using ANSYS Fluent, 15.0 Realease)

İç Yüzey için

Türbülans Kinetik Enerjisi;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta^* k \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k1}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$

Türbülans yayınım oranı;

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\gamma_1}{\nu_i} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta_1 \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_{\omega 1}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$

$$\beta_1 = 0.075$$

$$\sigma_{k1} = 1.176$$

$$\sigma_{\omega 1} = 2.0$$

$$\beta^* = 0.09$$

$$\gamma_1 = \beta_1 / \beta^* - \kappa^2 / \left(\sqrt{\beta^*} \sigma_{\omega 1} \right)$$

$$\kappa = 0.41$$
Türbülans Viskozitesi;

$$\mu_t = \rho \frac{a_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, \Omega F_2)}$$

$$F_2 = \tanh\left(\arg_2^2\right)$$

$$\arg_2 = \max\left(\frac{2\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\nu}{y^2\omega}\right)$$

Üst Yüzey İçin;

Türbülans Kinetik Enerjisi;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta^* k \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_{k2}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$

Türbülans yayınım oranı;

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\gamma_1}{v_t} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta_1 \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 2}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$
$$\beta_2 = 0.0828$$
$$\sigma_{k2} = 1.0$$
$$\sigma_{\omega 2} = 1.168$$

$$\beta^* = 0.09$$

$$\gamma_2 = \beta_2 / \beta^* - \kappa^2 / \left(\sqrt{\beta^* \sigma_{\omega 2}}\right)$$

$$\kappa = 0.41$$

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega}$$

3.6. Duvar Yaklaşımları

Türbülanslı akışlar duvarların varlığından önemli ölçüde etkilenmektedirler. Kaymama koşulu ile duvardan etkilenen ortalama hız alanı, duvara yakın bölgelerde karakterini değiştirmektedir. Türbülans parametreleri de aşikâr olmayan sebeplerden ötürü cidarların varlığından etkilenmektedir. Cidara çok yakın bölgelerde viskoz sönümlerden dolayı teğetsel hız bileşeni dalgalanmaları azalırken aynı zamanda kinematik blokaj da normal dalgalanmaları azaltmaktadır. Bunlara karşın sınır tabakanın dış kısmında ortalama hızdaki türbülans kinetik enerjisinin artmasından dolayı türbülans artmaya başlar.

Cidarlar türbülans ve girdapların temel sebebi olduklarından nümerik çözümlerde cidar etkileri önemli bir yer tutar. Dolayısıyla, duvar yakınında da büyük değişkenlerinde büyük değişiklikler meydana gelmektedir, momentum ve diğer skaler parametreler şiddetli şekilde değişir.

Nümerik çalışmalar göstermiştir ki yakın duvar bölgesi Şekil 3.8'de görüleceği üzere üç farklı bölgeye ayrılmaktadır. En alt katman viskoz alt tabaka olarak adlandırılmaktadır, burada akış daima laminer ve moleküler viskozite momentum, ısı ve kütle transferinde önemli bir rol oynar. Dış katman yani tam türbülanslı katmanda en büyük etki türbülansındır. Bu iki katman arasında da bir geçiş katmanı bulunmaktadır ve burada hem viskoz alt tabakanın hem de türbülansın ortak etkisi vardır.



Şekil 3. 8 Yakın duvar katmanları (Turbulence Modeling using ANSYS Fluent, 15.0 Realease)

Duvar fonksiyonları yarı amprik fonksiyonlardır ve yakın duvar hücrelerindeki çözüm değişkenleri ile duvar üzerinde bunlara karşılık gelen değerler arasında köprü kurarlar. Duvar fonksiyonları;

- Ortalama hız ve sıcaklık için duvar yasasını
- Yakın duvar türbülans değerleri formüllerini içerir.

Duvar yasasına göre viskoz alt tabaka;

$$u^+ = y^+$$

Giriş tabakası;

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(y^+) + C$$

Lokal denge;

$$k = u_{\tau}^{2} / C_{\mu}^{1/2}$$
$$\varepsilon = u_{\tau}^{3} / \kappa y$$

k ve ε yalnızca u_{τ} 'nin bir fonksiyonudur.

3.6.1. Standard Wall Function

Fluent yazılımında kullanılan Launder ve Spalding tarafından 1974 yılında geliştirilmiştir.

$$U^* = \frac{1}{\kappa} \ln\left(Ey^*\right)$$

$$U^* \equiv \frac{U_P C_\mu^{1/4} k_P^{1/2}}{\tau_W / \rho}$$

 U^* boyutsuz hızdır.

$$y^{*} \equiv \frac{\rho C_{\mu}^{1/4} k_{P}^{1/2} y_{P}}{\mu}$$

 y^* duvardan olan boyutsuz uzaklığı temsil eder.

 κ = von Kármán sabiti = 0.4187

E = emprik sabit = 9.793

y* değerinin limiti Re sayısına bağlıdır. Alt sınır değer değeri y*=15'dir. Bu değerin altına düştüğünde duvar fonskiyonu doğruluğunu sürdürememektedir. Üst limit ise tamamen Re sayısına bağlıdır. Gemi ve havacılık uygulamaları gibi yüksek Re sayısının bulunduğu durumlarda y* değeri rahatlıkla 1000 üzeri olabiliyor iken türbin kanatçığı çalışmalarında üst sınır 100'ün altında olabilmektedir. Y* değerinin yakalanabilmesi için cidar yakınında uygun sıklıkta mesh oluşturulmalıdır. Bu modelde Düşük Re sayıları akış geneline hakimse sonuçlar doğruluğunu yitirmeye başlar. Standart Wall function ile ilk düğüm noktasının Şekil 3.9'da olduğu gibi 30 < y+ < 300 aralığına denk getirilmesi önerilir (Vieser 2004).

3.6.2. Scalable Wall Function

Bu duvar yaklaşımında Std. duvar fonksiyonunda oluğu gibi y*=11'in altında çözümde bir bozulma beklenmemektedir. y*<11 olduğu bölgelerde ek ağlar oluşturarak sonuca

ulaşmaktadır. y*>11 olduğu bölgelerde ise Std duvar fonksiyonu ile benzer sonuçlar vermektedir.

Scalable Wall Function yaklaşımı ile, logaritmik formülasyonda kullanılan y* değerinin $y^{"} = \max(y^{*}, 11.06)$ fonksiyonu ile değiştirilerek 11.06 da sınırlandırılır ve hiçbir noktada y* değeri bunun altına inmez. Böylece duvar yakınındaki sık ağ yapısının oluşturduğu hatalı sonuçlar engellenmiş olmaktadır.



Şekil 3. 9 Standart duvar fonksiyonu (Vieser ve ark. 2004)



Şekil 3. 10 Scalable Wf (Vieser ve ark. 2004)

3.6.3. Non Equilibrium Wall Function

Genel olarak standard Wall Function ile benzer özelliklere sahiptir, ondan ayrıran özellikleri ise;

Launder ve Spalding'in ortalama hız için duvar yasası, basınç gradyanı etkileri için hassaslaştırılmıştır.

$$\frac{\overset{\square}{U}C_{\mu}^{1/4}k_{P}^{1/2}}{\tau_{W}/\rho} = \frac{1}{\kappa}\ln\left(E\frac{\rho C_{\mu}^{1/4}k_{P}^{1/2}y}{\mu}\right)$$
$$\overset{\square}{U} = U - \frac{1}{2}\frac{dp}{dx}\left[\frac{y_{\nu}}{\rho\kappa\sqrt{k}}\ln\left(\frac{y}{y_{\nu}}\right) + \frac{y-y_{\nu}}{\rho\kappa\sqrt{k}} + \frac{y_{\nu}^{2}}{\mu}\right]$$

Burada y_{ν} viskoz sınır tabaka kalınlığıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$y_{v} \equiv \frac{\mu y_{v}^{*}}{\rho C_{\mu}^{1/4} k_{P}^{1/2}}$$

 y_v^* değeri 11.225'tir.

Çift katmanlı model yakın duvar civarında türbülans knetik enerjisini hesaplayabilmek için modifiye edilmiştir.

$$\tau_{t} = \begin{cases} 0, \quad y < y_{v} \\ \tau_{w}, \quad y > y_{v} \end{cases} k = \begin{cases} \left(\frac{y}{y_{v}}\right)^{2} k_{P}, \quad y < y_{v} \\ k_{P}, \quad y > y_{v} \end{cases} \varepsilon = \begin{cases} \frac{2vk}{y^{2}}, \quad y < y_{v} \\ \frac{k^{3/2}}{C_{\ell} * y}, \quad y > y_{v} \end{cases}$$

$$Turbulent core$$

$$\bullet P$$

$$Cell Center$$

$$Viscous sublayer$$

$$y_{v}$$

$$Wall$$

Şekil 3. 11 Non Equlibrium duvar fonksiyonu çözüm alanları (Turbulence Modeling using ANSYS Fluent, 15.0 Realease)

3.6.4. Enhanced Wall Treatment

ε denklemleri için Enhanced Wall Treatment iki katman modelini harmanlar. Bu sebeple Enhanced (geliştirilmiş) ismini alır.

Momentum sınır şartı, harmanlanmış duvar yasası ile elde edilir. Aynı şekilde bu yasalar enerji ve diğer parametreler üzerinde de uygulanır.

3.7. Isıl Konfor

Fanger, yaptığı araştırmalar sonucunda elde ettiği psikolojik ve istatistiksel verileri birleştirmiş, ısıl duyarlılığı temel alan bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu çalışmaya göre aktivite hızı, giysi, hava sıcaklığı ve hızı, ortalama radyant sıcaklık, ve bağıl nem gibi konfor parametreleri ısıl konfor şartlarını belirlemek için kullanılan PMV (Tahmini ortalama oy) göstergesini meydana getirmektedir. Fanger, PMV göstergesini standart bir ısıl duyarlılık ölçeğine göre ortam değişkenlerinin (hava sıcaklığı ve hızı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklık) ve kişisel parametrelerin (aktivite hızı ve giysi) herhangi bir bileşiminin kalabalık bir insan grubu üzerindeki etkisini tesbit eden bir parametre olarak tanımlamaktadır. Bu ölçek Şekil 3.2'de ifade edilmiştir.

Ölçek	İnsanlar Üzerindeki Etkisi
+3	Sıcak
+2	Ilık
+1	Hafif Ilık
0	Nötr
-1	Hafif Serin
-2	Serin
-3	Soğuk

Cizelge 3. 2 PMV değerleri

PPD (Tahmini yüzde memnuniyetsizlik oranı) göstergesi, PMV indeksini kullanarak ısıl olarak memnuniyetsiz insan sayısını tahmin etmektedir. Kalabalık bir insan grubu içerisinde standart ısıl his ölçeğine göre memnuniyetsizlik hisseden insanlar sıcak, ılık,

serin veya soğuk; memnun hissedenler ise nötr, hafif ılık veya hafif serin seçeneklerinden birini oylamaktadır. Deneyler 1300 insanı içeren bir grupta yapılmıştır. Deneyin sonucu Şekil 3.3'te gösterildiği gibi ifade edilmiştir.

		Oylamaya Katılan Kişilerin Sayısı		
			-	
PMV	PPD	0	1,0,+1	-2,-1,0,+1,-2
2	75	5	25	70
1	25	30	75	95
0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
-0,5	10	55	90	98
-1	25	30	75	95
-2	75	5	25	70

Çizelge 3. 3 PMV'ye bağlı PPD değerlendirmeleri

Uluslar Arası Enerji Ajansı Annex20 Odası (IEA Annex20 ROOM) binalarda enerji korunumu araştırmaları için geliştirilmiş yirmi beş programdan biridir. (Anonim 1993) Nielsen (Nielsen 1990) deneysel olarak Annex20 odasında bazı çalışmalar yapmıştır. Oda geometrisinde termal ve izotermal olmak üzere çalışmasını sınıflandırmış ve odadaki belirli noktalarda hız ve sıcaklık ölçümü yapmıştır. Aynı zamanda bu noktalardaki türbülans kinetik enerji profilini elde etmiştir.

Cereyan hissi, hava hızı, rahatsızlığın derecesi, hava sıcaklığı, vücudun etkilenen alanı ve kişinin ısıl durumuna bağladır. Bulunduğu ortamın sıcaklığı istediği konforun üzerinde olan bir kişi cereyanı hoş bir esinti olarak algılayabilirken, üşüyen bir kişi için cereyan çok rahatsız edici olabilir (Parsons 2003). ISO 7730 hava hareketi sebebiyle vücudun bazı bölgelerinde istenmeyen lokal yüzde memnuniyetsizliği (Percent Dissatisfaction-PD) aşağıdaki denklemle tanımlar. Lokal yüzde memnuniyetsizlik draft oranı olarak da bilinmektedir. Lokal yüzde memnuniyetsizlik eşitliği Denklem 3.5'te verilmiştir.

$$PD = (34-t_a)(V-0.05)^{0.62}(0.37V Tu + 3.14)$$
(3.5)

PD = Memnuniyetsizlik yüzdesi (%)

Tu = Türbülans şiddeti (%) (%10-60)

 $t_a =$ Hava sıcaklığı (°C) (20-26°)

V = Lokal ortalama hava hızı (m/s) (V<0.5 m/s)

$$Tu = \frac{u'}{\overline{u}} x100\%$$

Tu denkleminde \overline{u} ortalama hız, u' da ortalama hızın çalkantısıdır.

Yüzde memnuniyetsizlik denklemi korunum denklemleri çözüldükten sonra program içine bir formül girilerek çözdürülmüş ve çözüm sonucu kontur olarak elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle oda havalandırmasında hava akışı, sıcaklık dağılımı, ısı transferi ve ısıl konfor incelenmiştir. Farklı oda geometrileri, farklı sınır sartları altında incelenmiştir. Cözüme etki eden cözüm araçlarının farklılığını saptayabilmek adına da pek çok çalışma yapılmış ve bu calışmaların sonucu sayısal veriler halinde elde edilmiştir. İki boyutlu analizler için Annex20 odası, üç boyutlu Oda geometrisi için ise Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan ısıl konfor odası ele alınmıştır. Bu oda boş olarak ve içinde eşyalar ve oturan bir insanın olacağı şekilde iki farklı durum olarak modellenmiştir. Annex20 odası için 5 farklı türbülans modeli ve 4 farklı duvar yaklaşımı kullanılarak çözümler elde edilmiş ve bu çözümler var olan deneysel sonuçlar ile sayısal olarak, grafik üzerinde kıyaslanmıştır. Boş oda için 9 farklı senaryo belirlenip, bu senaryolarda oda içindeki farklı noktalarda sıcaklık ve hız dağılımları incelenmiştir.

4.1. Annex20 Odası

Bu bölümde IEA (International Energy Agency) Annex20 odası üzerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodu ile hava ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Ayrıca Deneysel verilerle en uyumlu modeller ısıl konfor açısından ayrı olarak incelenmiştir. Oda geometrisi Std- ε , Std k- ω , RNG k- ε , Realizable k- ε , SST k- ω türbülans modelleri ve Standard Wall Function, Enhanced Wall Treatment, Scalable Wall Function ve Non-equilibrium Wall function duvar fonksiyonları kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak en uygun sonuç veren modeller belirlenmeye çalışılmıştır. Buradan ulaşılan çıktıya göre ısıl konfor parametrelerinden yüzde memnuniyetsizlik yüzdesi elde edilmiştir.

4.1.1. Geometrik Model

IEA Annex20 odasının geometrik ölçüleri aşağıda Şekil 4.1.'de verilmiştir. Yapılan çalışmada bu ölçüler birebir olarak kullanılmıştır. Hava odaya sol üst köşeden girmekte ve sağ alt köşeden çıkmaktadır. Oda iki boyutlu olarak modellenmiştir.



Şekil 4. 1 Annex20 Odası Ölçüleri

4.1.2. Sayısal Model

Ağ yapısı çözüme etki eden en önemli parametrelerden biridir. Ağ yapısının sıklığı ve kalitesi doğru sonuca ulaşmanın yanı sıra çözüm süresine de etki etmektedir. Cidarlarda daha yoğun bir ağ yapısı elde edilmiş, eleman olarak da hexahedral eleman türü seçilmiştir. Çözümde ağ yapısından bağımsızlığı sağlamak amacıyla Şekil 4.2-4'de görülebileceği gibi üç farklı sıklıkta 4525, 18110, 28500 ağ yapısında sonuçlar alınmıştır.

Deneysel verilerle olan karşılaştırma sonucu 28500 ağ yapısında işlemlere devam edilmiştir. k- ε tabanlı standard ve dengesiz duvar fonksiyonu (Std Wf. ve Non Eq. Wf.) kullanan türbülans modellerinde ağ yapısının sıklığının yanında ayrıca cidara olan boyutsuz uzaklık y+ da sonuçların güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Viskoz alt tabaka duvar fonksiyonu ile modellendiğinden cidara en yakın ağ noktasının bu tabakanın dışından başlaması yani 30 < y⁺ < 500 olması önerilmektedir (Versteeg Malalasekera, 2007). Ancak ayrılma, dönme ve basınç gradyanına sahip karmaşık akışlarda bu şartın kesinkes sağlanması çoğu zaman mümkün olmamakta ve bu aralığın alt limiti oldukça düşük değerlere sahip olabilmektedir. En azından 11'den küçük olmamasına dikkat edilmelidir (bkz. Şekil 3. 12) Maalesef yukarıda bahsedilen karmaşık akışlarda geometrinin tüm yüzeylerinde bu değeri tutturmak çoğu zaman mümkün olmamasına rağmen deneysel verilerle uyumlu sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada tüm yüzeylerdeki y+ değerleri Std k- ε modeli standard duvar fonksiyonu ile kullanılarak elde edilmiş ve minimum, maksimum ve ortalama değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4. 2 Annex20 odası kaba ağ yapısı



Şekil 4. 3 Annex20 odası orta sıklıkta ağ yapısı


Şekil 4. 4 Annex20 odası sık ağ yapısı

	KABA AĞ MODELİ			ORTA AĞ MODELİ			SIK AĞ MODELİ		
	y+	y+	y+	y+	y+	y+	y+	y+	y+
	(min)	(max)	(ort)	(min)	(max)	(ort)	(min)	(max)	(ort)
Alt	0.468311	17.0328	7.70653	0.104166	7.45034	3.69524	0.0252646	5.4475	2.24936
Üst	1.35478	34.6811	24.9941	0.577031	22.9396	15.6456	0.159265	13.4009	8.74325
Sağ	1.61503	29.2921	21.222	0.690293	16.9606	12.4268	0.164289	8.88483	6.22552
Sol	0.294846	12.1339	5.30602	0.1175	6.63797	2.92948	0.0546398	4.46617	1.58277
Giriş	26.7331	34.7164	32.7858	18.0559	22.956	21.864	11.4457	13.4683	12.419
Altı									
Çıkış	4.49198	21.324	9.57989	1.47331	12.0936	4.78034	0.839403	6.83572	3.25271
Üstü									
Çıkış	23.4003	20.1739	16.5137	13.3709	8.90543	7.75642	6.9796	6.31798	5.16562
Altı									

Çizelge 4. 1 Ağ modellerine göre y⁺ modelleri

4.1.3. Sınır Koşulları ve Sayısal Yöntem

Sisteme hava 0.455 m/s hızla girmektedir. Ardından sağ alt köşedeki kanaldan çıkmaktadır. Sürekli rejimde bir çözüm yapılmıştır. Alt yüzeyde 63.08 W/m² lik ısı akısı mevcuttur. Yan ve üst duvarlar adyabatik olarak alınmıştır. Giriş için türbülans şiddeti %4 alınmıştır. Çıkış basıncı ise 0 Pa'dır.



Şekil 4.5 Annex30 odası üzerinde sınır şartlarının gösterimi

Şekil 4.5'te sınır şartları gösterilmiştir ve H değeri 3 m'dir. Akışkanın yoğunluğu 1.225 kg/m3, özgül ısı 1006.43 j/kgK, ısıl iletkenlik 0.0242 W/Mk, viskozite ise 1.7894x10-6'dır. Referans sıcaklığı 300 K'dir.

Havalandırma literatüründe kaldırma kuvveti etkisi genellikle aşağıdaki denklemdeki gibi Arşimet sayısıyla ifade edilir

$$Ar = \frac{\beta g h \Delta T_0}{u_0^2}$$

Burada ΔT_0 giriş ve çıkıştaki sıcaklık farkı, h ve u₀ sırasıyla giriş yüksekliği ve giriş hızı, g yer çekimi ivmesi ve β (1/K) ısıl genleşme katsayısıdır.

Hız ve basınç için korunum denklemleri eşzamanlı olarak SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Basınç alanının çözümü için Second Order, momentum denklemlerinde Second Order Upwind, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılım oranlarında ise First Order Upwind algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri ise 10⁻⁶ olarak ayarlanmıştırEnerji denklemi second order upwind algoritması kullanılarak çözülmüştür.

4.1.4. Sonuçlar ve Tartışma

Annex20 geometrisinde üç değişik ağ yapısındaki Std k-ɛ modelinin standard duvar fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş x=H kesitindeki hızın x bileşeninin giriş hızına bölünmesiyle bulunan (u/u₀) boyutsuz hız değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 4.6 - 4.10'da verilmiştir. Genelde tüm ağ yapılarındaki çözümler birbirine yakın olup deneysel verilerden en büyük sapma oda tabanından 0.5 m oda yüksekliğine kadar olmaktadır. Bu sapmalar Şekil 4.6'da Standard duvar fonksiyonunda bütün ağ yapılarında neredeyse birbirleriyle aynıdır. Şekil 4.8 de dengesiz duvar fonksiyonu kullanıldığında da hemen hemen benzer bir sonuç elde edilmesine rağmen Şekil 4.7 ve 4.9 dan da görülebileceği gibi güçlendirilmiş duvar fonksiyonu ve Scalable Wf kullanıldığında ağlar arasında az da olsa farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu son iki gelişmiş duvar fonksiyonu yaklaşımlarında en iyi sonuç kaba ağ yapısıyla elde edilmektedir. Ancak farklılık oldukça az kabul edilebilir. Standard k-ɛ modelinde bütün duvar fonksiyonlarındaki boyutsuz hız değerlerini karşılaştırabilmek için sık ağdaki sonuçlar Şekil 4.10 da verilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere bu ağ yapısında tabana yakın bölgede deneysel verilerle en uyumlu sonuçların Std. ve Scalable Wf ile elde edildiği görülmektedir. Ancak yine diğer duvar fonksiyonları ile farklılığın oldukça az olduğu kabul edilebilir.



Şekil 4. 6 x=H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4.7 x=H doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 8 x=H doğrultusunda, Std k-ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 9 x=H doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 10 x=H doğrultusunda, Std k-ε modelinde Duvar Fonksiyonlarına göre boyutsuz hız sonuçları

Yukarıda Standard k-ɛ modeli için yapılan benzer karşılaştırmalar duvar fonksiyonu kullanan RNG k-ɛ modeli için Şekil 4.11-4.15'de verilmiştir. RNG k-ɛ modelinde bütün duvar fonksiyonlarındaki boyutsuz hız değerlerini karşılaştırabilmek için sık ağdaki

sonuçlar Şekil 4.15'de verilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere bu ağ yapısında tabana yakın bölgede deneysel verilerle en uyumlu sonuçların güçlendirilmiş ve dengesiz duvar fonksiyonuyla elde edildiği görülmektedir. Ancak yine diğer duvar fonksiyonları ile farklılığın oldukça az olduğu kabul edilebilir.



Şekil 4. 11 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 12 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 13 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Non Eq. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 14 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 15 x=H doğrultusunda, RNG k-ε modelinde Duvar Fonksiyonlarına göre boyutsuz hız sonuçları

Yukarıda Standard k-ɛ ve RNG k-ɛ modelleri için yapılan benzer karşılaştırmalar Realizable k-ɛ modeli için de Şekil 4.16-4.20'de verilmiştir. Realizable k-ɛ modelinde bütün duvar fonksiyonlarındaki boyutsuz hız değerlerini karşılaştırabilmek için sık ağdaki sonuçlar Şekil 4.20'de verilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere bu ağ yapısında tabana yakın bölgede deneysel verilerle en uyumlu sonuçların güçlendirilmiş ve dengesiz duvar fonksiyonuyla elde edildiği görülmektedir. Ancak yine diğer duvar fonksiyonları ile farklılığın oldukça az olduğu kabul edilebilir.



Şekil 4. 16 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 17 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 18 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Standart Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 19 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 20 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde Duvar Fonksiyonlarına göre boyutsuz hız sonuçları

Std k- ω ve SST k- ω modelleri duvar fonksiyonu kullanmadığından Şekil 4.21 ve 4.22'de sırasıyla bu modellerin kaba, orta ve sık ağdaki x=H kesitindeki hızın x bileşeninin giriş hızına bölünmesiyle bulunan (u/u₀) boyutsuz hız değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Std k- ω modelinde tavandan 1.0 m yüksekliğe kadar sonuçlar birbirine yakın kabul edilebilmesine rağmen, 1.0 m yükseklikten tabana kadar olan mesafede sonuçlar birbirinden farklıdır. SST k- ω modelinde ise Şekil 4.20'den de görüldüğü gibi tüm ağ yapılarında tüm sonuçlar birbirinden farklıdır. Yani k- ε tabanlı modellerde göz önüne alınan durumların büyük çoğunluğunda x-H mesafesinde boyutsuz hızların karşılaştırılmasıyla ağdan bağımsızlık sağlanmasına rağmen k- ω tabanlı modellerde ağdan bağımsızlık sağlanamamıştır.



Şekil 4. 21 x=H doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 22 x=H doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 23 x=H doğrultusunda, Ewt duvar yaklaşımının farklı türbülans modellerindeki boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 24 x=H doğrultusunda, Scalable Wf duvar yaklaşımının farklı türbülans modellerindeki boyutsuz hız sonuçları



Şekil 1 x=H doğrultusunda, Standard Wf duvar yaklaşımının farklı türbülans modellerindeki boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 25 x=H doğrultusunda, Non Eq. Wf duvar yaklaşımının farklı türbülans modellerindeki boyutsuz hız sonuçları

Sayısal çalışmalarda hız, basınç ve sıcaklık birincil değişkenler, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kinetik enerjisinin yayılma hızı da ikincil değişkenler olarak ele alındığında ağdan bağımsızlık çalışması ikincil değişkenlerden türbülans kinetik enerjisi için her bir duvar yaklaşımında k-ε tabanlı türbülans modelleri için Şekil 4.26-4.40'da ve k-ω tabanlı modeller içinse Şekil 4.41 ve 4.42'de verilmiştir. Bu şekillerin çoğunda türbülans kinetik

enerjilerinin dağılımı benzer eğilime sahip olmakla birlikte çoğunda ağdan bağımsızlık tamamen sağlanmasına rağmen çok azında, benzer eğilime rağmen, ağdan bağımsızlığın tamamen sağlandığı söylenemez.



Şekil 4. 26 x=H doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 27 x=H doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 28 x=H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 29 x=H doğrultusunda, Std k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 30 x=H doğrultusunda, Std k-ε modelinde duvar fonksiyonlarına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 31 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 32 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 33 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Stanard Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 34 x=H doğrultusunda, RNG k-ε Non Eq. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 35 x=H doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 36 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 37 x=H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 38 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 39 x=H doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 40 x=H doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 41 x=H doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 42 x=H doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları

X=3m'ye tekabül eden çizgi boyunca y ekseninde deneysel ve nümerik veriler elde edilmiştir. Deneysel veriler Nielsen'in 1990 yılında elde ettiği verilerden oluşmaktadır. Elde edilen hız verileri u/u_o şeklinde boyutsuzlaştırılmıştır. Bu bölümde farklı modellerin deneysel verilere olan yakınlığının yanı sıra ağ yapılarının da etkisi incelenmiştir. Ağ yapılarının farklı modellerde farklı doğruluk değerleri gösterdiği görülmüştür.

Std k-ε Standard Wf. modelinde farklı ağ yapıları için sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Kaba ağ yapısı boyutsuz hız profilinin bazı bölgelerinde beklenenin aksine iyi sonuç vermiştir. Ewt duvar yaklaşımında ise alt bölgelerde kaba ağ deneysel sonuçlara daha yakın çıkmıştır. Literatür incelendiğinde ise Rong ve Nielsen bulgularında 28500 eleman sayısına sahip ağ yapısının daha doğru sonuç verdiğini göstermiştir. Bazı bölgelerde kaba ağ yapısı daha iyi sonuç verse de bunun ağ dağılımı ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Std k-ε modelinde duvar yaklaşımları kıyaslandığında ise sonuçların birbirine çok yakın olduğu görünmektedir fakat en başarılı model Standard Wf. olmuştur. Özellikle alt bölgede bu duvar yaklaşımın diğer yaklaşımlara göre deneysel sonuçlarla daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum Rong ve Nielsen'in çalışmaları ile uyumludur.

RNG k-ε modelinde ise duvar yaklaşımları arasında Ewt deneysel sonuçlara en yakın değerleri veren modeldir. Scalable Wf ise deneysel sonuçlarla en uyumsuz model olmuştur.

Realizable k-ɛ sık ağ yapısının gayet başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Orta ağ yapısında sonuçların deneysel verilerle çok uyumsuz olduğu anlaşılmaktadır. Bu model de şaşırtıcı şekilde kaba ağ orta ağdan iyi sonuç vermiştir ve bu durumun ağ yapısı ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada türbülans modellerinin farklı duvar fonksiyonları ile karşılaştırılmalarının yanı sıra aynı duvar yaklaşımında farklı türbülans modelleri de birbiri ile kıyaslanmıştır.

Ewt modeli üç farklı ε tabanlı türbülans modeli ile kıyaslandığında Std ve RNG k- ε modelleri alt bölgedeki hız profilini yakalamada en başarılı modellerdir. Bu iki model birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Realizable k- ε modeli ise alt kısımdaki hız profilini yakalayamamıştır.

Scalable Wf. modelinde Std k-ε modeli genel olarak deneysel sonuçlarla uyumlu ve diğer modellerle kıyaslandığında doğruluk değerinin yüksek olduğu görülmektedir. RNG ve Realizable k- ε modelleri neredeyse aynı sonuçları vermişlerdir. Genel olarak incelendiğinde 2 m'nin altında deneysel sonuçlardan uzaklaşılmaktadır.

Standard Wf. Scalable Wf ile oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Çok az bir farkla Scalable Wf'dan daha iyi sonuçlar vermiştir. Deneysel sonuçlarla en uyumlu türbülans modeli Std k- ε olmuştur.

Non Eqiulibrium Wf. modelinde ise genel olarak tüm modeller benzer sonuçlar vermiştir ve bu sonuçlar deneysel verilerle uyumludur. Kıyaslama yapıldığı zaman ise en iyi modelin Std k- ε , deneysel sonuçlara en uzak değerleri veren modelin ise Realizable k- ε olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 43 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 44 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 45 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 46 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 47 x=2H doğrultusunda, Std k-ε modelinde duvar fonksiyonlarına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 48 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 49 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Non Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 50 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 51 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 52 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 53 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 54 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 55 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 56 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 57 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 58 x=2H doğrultusunda, STF k- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız





Şekil 4. 59 x=2H doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 60 x=2H doğrultusunda, Ewt duvar yaklaşımı modelinde farklı türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 61 x=2H doğrultusunda, Scalable Wf. duvar yaklaşımı modelinde farklı türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 62 x=2H doğrultusunda, Standard Wf. duvar yaklaşımı modelinde farklı türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 63 x=2H doğrultusunda, Non Equilibrium duvar yaklaşımı modelinde farklı türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 64 x=2H doğrultusunda, Boyutsuz hız gösteriminde en iyi sonuç veren modellerin karşılaştırılması



Şekil 4. 65 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları


Şekil 4. 66 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 67 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 68 x=2H doğrultusunda, Std k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 69 x=2H doğrultusunda, Std k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 70 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 71 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 72 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 73 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 74 x=2H doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 75 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 76 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 77 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 78 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 79 x=2H doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 80 x=2H doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 81 x=2H doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları

x=2H doğrultusunda var olan deneysel veriler ışığında farklı türbülans modelleri ve bu modellere ait duvar yaklaşımlarında çözümler elde edilmiştir. Std k-ε modelinde farklı duvar fonksiyonları ile yapılan çalışmalarda tüm duvar fonksiyonlarının benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. En iyi sonucu Scalable Wf. vermiştir. Bu modelde x=H doğrultusuna göre kıyaslandığında özellikle alt bölgelerde yani 1 m'nin altında çok daha istikrarlı sonuçlar elde edilmiştir.

RNG k- ε modelinde tüm duvar fonksiyonlarında aynı sonuçlar alınmıştır. Genel olarak kararlı ve deneysel verilerle uyumlu çıktılar elde edilmiştir.

Realizable k-ɛ modelinde en iyi sonuçlar Standard ve Non Equilibrium Wf. Modellerinde elde edilmiştir. 2 m'ye kadar bu iki model en başarılı sonuçları vermiş ardından üst bölgede tüm modeller aynı sonuçları vermiştir. Genel değerlendirmede bu modeller içinde deneysel sonuçlardan en uzak olan duvar yaklaşımı Ewt olmuştur.

 ϵ tabanlı modeller haricinde, k- ω modeli incelendiğinde, deneysel sonuçlara yakınlık bağlamında en başarılı modellerden biri olmuştur. Ayrıca modelden beklenileceği üzere özellikle cidarlarda deneysel sonuçlarla büyük bir uyum vardır.

SST k- ω modeli ise diğer modeller ile kıyaslandığında deneysel sonuçlara en uzak değerleri veren modeldir.

 ε tabanlı modeller x=2H doğrultusunda duvar yaklaşımlarına göre de incelenmiştir. Buna göre Ewt duvar fonksiyonu için en başarılı model açık şekilde Std k- ε olmuştur. Alt bölgede neredeyse deneysel sonuçlarla tamamen uyum içindedir. X=1m den sonra neredeyse tüm modeller deneysel verilerle uyum içindedir. En başarısız model ise Realizable k- ε olmuştur.

Scalable Wf. Duvar fonksiyonu incelendiğinde Std k- ε tüm bölgelerdeki en başarılı modeldir. Alt cidarda deneysel verilere yakın değerler vermiştir. RNG ve Realizable k- ε modelleri alt cidar yakınlarında deneysel verilerden uzak sonuçlar vermiştir ve iki modelde genel olarak tüm bölgelerde aynı sonuçları vermiştir.

Standard Wf. Modeli incelendiğinde ise Scalable Wf. İle benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. En başarılı model yine Std k- ε olmuştur. Fakat bu duvar yaklaşımında Std k- ε duvar yaklaşımlarının çok az da olsa diğer modellere nazaran daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



Şekil 4. 82 y=h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 83 y=h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 84 y=h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 85 y=h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 86 y=h/2 doğrultusunda, Standard k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 87 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 88 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 89 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 90 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 91 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar fonksiyonuna göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 92 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 93 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 94 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 95 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 96 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 97 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 98 y=h/2 doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 99 y=h/2 doğrultusunda, Standard Wf. modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 100 y=h/2 doğrultusunda, Scalable Wf. modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 101 y=h/2 doğrultusunda, Ewt modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 102 y=h/2 doğrultusunda, Non-Eq. modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 103 y=h/2 doğrultusunda, Std-SST k-ω türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 104 y=h/2 doğrultusunda, En iyi sonuç veren türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4. 105 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 106 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 107 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Standard Wf modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 108 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ε Non-Eq. Wf modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 109 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 110 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 111 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 112 y=h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 113 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 114 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 115 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 116 y=h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 117 y=h/2 doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 118 y=h/2 doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları

y=h/2 doğrultusunda alınan yatay ölçekli boyutsuz hız sonuçları farklı türbülans modelleri ve bu modellere ait duvar fonksiyonları ile karşılaştırılmıştır.

Std k-ε türbülans modeli için farklı duvar yaklaşımlarında sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre Cidara yakın bölgelerde en iyi sonucu Ewt duvar yaklaşımı vermiştir ve bu model cidar yakınındaki deneysel hız profilini yakalayan tek modeldir. X=2 m'den sonra tüm modeller birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Genel olarak karşılaştırma yapıldığında ise en başarısız model Non. Eq. Wf. olmuştur.

RNG k- ε modelindede cidar hız profili yalnızca Ewt yaklaşımında yakalanmıştır. X=3 m'den sonra bütün modeller hemen hemen aynı sonucu vermiştir. Genel olarak en başarısız model Scalable Wf. olmuştur.

Realizable k- ε modelinde ise x=0m'ye yakın bölgelerdeki hız profilini hiçbir model yakalayamamıştır. Ewt modeli ise istikrarsız sonuçlar vermiştir. Diğer modeller hemen hemen benzer sonuçlar vermiştir.

k- ω modellerinde stabil sonuçlar alınamamıştır. x = 4 m'den sonra sonuçlar istikrarlı hale gelmeye başlamıştır.

Standard duvar fonksiyonu için yapılan çalışmalarda ε tabanlı türbülans modelleri kullanılmıştır. En iyi sonuç bariz bir şekilde Std k- ε modelinde hesaplanmıştır. x=0'daki

hız profili yakalanamamıştır. Diğer modeller genel olarak aynı sonucu vermiş, en başarısız model Realizable k- ε olmuştur.

Scalable Wf. çözümlerinde Standard Wf. hesaplamalarında elde edilen sonuçların benzerine ulaşılmıştır. RNG k- ε modeli en başarısız model olmuştur.

Ewt çözümlerinde Std k- ε modeli açıkça deneysel sonuçlarla en uyumlu model olmuştur. Realizable k- ε modeli istikrarlı sonuçlar vermemiştir.

Non Equilibrium Wf. yaklaşımında en başarılı model Std k- ε olmuştur. Diğer modeller önceki yaklaşımlarla benzer sonuçlar sonçlar vermiştir. x=0'daki hız profili yakalanamamıştır.



Şekil 4. 119 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 120 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 121 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 122 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 123 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε modelinde duvar fonksiyonlarına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 124 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 125 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 126 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Standard Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 127 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 128 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar yaklaşımlarına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 129 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 130 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 131 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Standard Wf modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 132 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Non Eq. Wf modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 133 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları


Şekil 4. 134 y=H-h/2 doğrultusunda, St
dk- ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız
 sonuçları

Sst kw



Şekil 4. 135 y=H-h/2 doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 136 y=H-h/2 doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 137 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard Wf modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 138 y=H-h/2 doğrultusunda, Ewt modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 139 y=H-h/2 doğrultusunda, Scalable Wf modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 140 y=H-h/2 doğrultusunda, Non-Eq. Wf modelinde türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 141 y=H-h/2 doğrultusunda, k-ω türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 142 y=H-h/2 doğrultusunda, en doğru sonuç veren türbülans modellerine göre boyutsuz hız sonuçları



Şekil 4. 143 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 144 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 145 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Standart Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 146 y=H-h/2 doğrultusunda, Standard k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları

Rng ke



Şekil 4. 147 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 148 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Scalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 149 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Standart Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 150 y=H-h/2 doğrultusunda, RNG k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları





Şekil 4. 151 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Ewt modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 152 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Standart Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 153 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Non-Eq. Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 154 y=H-h/2 doğrultusunda, Realizable k-ε Sacalable Wf. modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 155 y=H-h/2 doğrultusunda, Std k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 156 y=H-h/2 doğrultusunda, SST k-ω modelinde ağ yapısına göre türbülans kinetik enerjisi sonuçları

Std k- ε türbülans modeli farklı duvar fonksiyonlarına göre incelenip deneysel sonuçlarla mukayese edildiği zaman görülmüştür ki tüm duvar yaklaşımları benzer sonuçlar vermiştir ve deneysel sonuçlarla uyum içindedirler. Ewt diğer yaklaşımlara kıyasla en başarısız duvar modeli olmuştur. x=7 m'den sonra Non-Equilibrium duvar fonksiyonunun doğruluğu azalmıştır. En iyi modeller Standard ve Scalable Wf. olmuştur.

RNG k- ε sonuçları Std k- ε sonuçları ile benzer veriler sunsa da, RNG k- ε deneysel sonuçlarla yakınlığı açısından daha başarılıdır.

Realizable k- ε modelinde, x=2 m ve x=7 m arasında tüm duvar fonksiyonları benzer hata yüzdelerinde deneysel sonuçlarla uyumludur. x=7 m'den sonra Ewt hassasiyetini yitirmektedir. En başarılı modeller Standard ve Scalable Wf. olmuştur.

Std k- ω x=7 m'ye kadar en başarılı sonuçları veren model olmuştur.x=7'den sonra ise hassasiyeti düşmüştür. Cidarlarda daha iyi sonuç vermesi beklenen bu modelden elde edilen sonuçlar bu bağlamda şaşırtıcıdır.

SST k-ω türbülans modelinde x=4 m'den sonra sonuçlar hassasiyetini yitirmiştir.

Standard duvar fonksiyonunda bütün türbülans modelleri genel olarak deneysel sonuçlarla uyumludur. x=7 m ve x=9 m arasındaki hız profilini hiçbir model yakalayamamıştır. En başarılı model RNG k- ε olmuştur.

Ewt x=7 m ile x=9 m arasında sonuçlar deneysel verilerden uzaklaşmıştır. Genel olarak tüm modeller benzer sonuçlar verse de en başarılı türbülans modeli Std k-ε olmuştur.

Scalable Wf. ile denenen türbülans modellerinde elde edilen sonuçlar Standard Wf. ile elde edilen sonuçlarla benzerdir.

Non Equilibrium Wf. ile elde edilen sonuçlarda Ewt x=8 m'ye kadar çok başarılı sonuçlar vermiştir.



Şekil 4. 157 y=0 doğrultusunda, SST k-ω ve Std k-ω türbülans modellerine göre Nusselt ayısı sonuçları



Şekil 4. 158 y=0 doğrultusunda, SST k- ω ve Std k- ω türbülans modellerine göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 159 y=0 doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre Nusselt Sayısı sonuçları



Şekil 4. 160 y=0 doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 161 y=0 doğrultusunda, RNG k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre Nusselt Sayısı sonuçları



Şekil 4. 162 y=0 doğrultusunda, Realizable k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 163 y=0 doğrultusunda, Std k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre Nusselt Sayısı sonuçları



Şekil 4. 164 y=0 doğrultusunda, Std k-ε modelinde duvar yaklaşımına göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 165 y=0 doğrultusunda Ewt duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre Nusselt Sayısı sonuçları



Şekil 4. 166 y=0 doğrultusunda Ewt duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 167 y=0 doğrultusunda Non Equilibrium duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre Nusselt Sayısı sonuçları



Şekil 4. 168 y=0 doğrultusunda Non Equilibrium duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 169 y=0 doğrultusunda Scalable duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre Nusselt Sayısı Sonuçları



Şekil 4. 170 y=0 doğrultusunda Scalable duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre sıcaklık sonuçları



Şekil 4. 171 y=0 doğrultusunda Standard duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre Nusselt Sayısı sonuçları



Şekil 4. 172 y=0 doğrultusunda Standard duvar yaklaşımında, farklı türbülans modellerine göre sıcaklık sonuçları

Nusselt sayısı ve sıcaklığın taban boyunca değişimni gösteren grafikler Şekil 4.153-172 arasında verilmiştir. Karşılaştırma amacıyla benzer bir geometri için (Taban uzunluğu L=6 m) Nusselt sayısı değişimi de Şekil 4.173'de verilmiştir (Triphati ve Moulic 2007). Bu çalışma da laminer durum (Re=2000, Ar=0.1 ve tüm duvarlar sabit sıcaklıkta) söz konusudur ve sayısal olarak elde edilmiştir. Annex 20 odası için deneysel Nusselt sayısı verileri olmadığı için mukayese etmek için bu geometri kullanılmıştır. Şekil 4.172 incelendiğinde Nusselt sayısı değişimin bazı modellerde farklılıklar gösterdiği göze çarpmaktadır. SST ve Std k- ω modellerinin x=7 m'ye kadar ε modellerinden farklı bir eğri ortaya çıkardığı görülmektedir, bu noktadan sonra ise ε tabanlı modellerle uyumlu sonuçlar vermişlerdir. Realizable k-ε modeli ise hız sonuçlarında olduğu gibi Nusselt ve sıcaklık dağılımlarında da diğer ε modellerinden farklı olarak ω modellerine benzer sonuçlar vermiştir. En yüksek Nusselt sayıları ɛ türbülans modellerinde elde edilmiştir. En düşük Nusselt sayıları dağılımı ise ω türbülans modellerinde elde edildiği görülmüştür. En Düşük sıcaklık dağılımlarının RNG ve Std. k-e modellerinde olduğu görülmektedir. Sıcaklık dağılımını en düşük gösteren modeller Nusselt sayısında en yüksek değerleri vermişlerdir. Şekil 4.173 incelendiğinde bu çalışmada Nusselt sayısının en yüksek olduğu nokta yaklaşık x=8m dolaylarıdır ve bu noktada da akış dönmekte ve türbülans etkileri görülmektedir. Bu noktanın ardından Nusselt sayısında ani bir düşüş yaşanmıştır. türbülanslı Nusselt dağılımının Şekil 4.173'de laminer ve sabit sıcaklıklı durumla karşılaştırıldığında değişimin aynı eğilimde olduğu görülmektedir. Triphati ve Moulic'in Şekil 4.173'te gösterildiği çalışmalarında elde edilen genel Nusselt dağılımın bu çalışmada elde edilen sonuçla genel eğilim bağlamında benze4diği görülmektedir.





Şekil 4. 173 Tabanda Yerel Nu Sayısı Dağılımları, a) Bu çalışma, Kontrol Hacmi Metodu, SIMPLE Algoritması, b) Kontrol Hacmi Metodu, SIMPLEC Algoritması (Triphati ve Moulic 2007)



Şekil 4. 174 Std k-ɛ Standard duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 175 Std k-ɛ Standard duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 176 Std k-E Standard duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 177 Std k-E Ewt duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 179 Std k-E Ewt duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 180 Std k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 181 Std k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 182 Std k-E Scalable duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 183 Std k- ε Non Equilibrium duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



50

Şekil 4. 184 Std k-E Non Equilibrium duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 185 Std k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 186 RNG k-E Standard duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 187 RNG k-ɛ Standard duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 188 RNG k-E Standard duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 189 RNG k-E Ewt duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 190 RNG k-E Ewt duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 191 RNG k-E Ewt duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 192 RNG k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 193 RNG k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 194 RNG k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 195 RNG k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 196 RNG k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 197 RNG k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 198 Realizable k-ɛ Standard duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 199 Realizable k-ɛ Standard duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi


Şekil 4. 200 Realizable k-ɛ Standard duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 201 Realizable k-E Ewt duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 202 Realizable k-E Ewt duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 203 Realizable k-E Ewt duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 204 Realizable k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 205 Realizable k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 206 Realizable k-ɛ Scalable duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi



Şekil 4. 207 Realizable k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında bileşke hız gösterimi



Şekil 4. 208 Realizable k-ɛ Non Equilibrium duvar yaklaşımında akım çizgileri gösterimi



Şekil 4. 209 Realizable k-ε Non Equilibrium duvar yaklaşımında sıcaklık dağılımı gösterimi

Şekil 4.174-209'da Annex20 odasında hız ve sıcaklık dağılımları farklı türbülans modelleri ve duvar yaklaşımlarında sık ağ yapısı dikkate alınarak verilmiştir. Sıcaklık dağılımları, Annex20 odasında sıcaklık dağılımları deneysel olarak mevcut olmadığı için Şekil 4.210'da Lemaire'in sayısal çalışması ile verilmiştir. Sıcaklık dağılımları

incelendiğinde de k-ε modelinin Lemaire'in sonuçlarıyla diğer modellerden daha uyumlu olduğu görünmekte en uyumlu diğer sonucun ise RNG k-ε modelinde alındığı görülmektedir. Sıcaklık dağılımları, akış alanlarının tahminleriyle uyumlu olarak elde edilmiştir. Akış alanını deneysel sonuçlarla uyumlu tahmin edemeyen modeller sıcaklık alanını da Lemaire'in çalışmasıyla uyumlu tahmin edememiştir.



Şekil 4. 210 Lemaire'in çalışması

Şekil 4.211'de deneysel sonuçlarla mukayese edildiğinde en iyi sonucu veren modellere göre yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Hız ve sıcaklık dağılımlarında deneysel sonuçlarla en uyumlu model olan Std k-ɛ modeli göz önüne alındığında en küçük ve en yüksek yüzde memnuniyetsizliklerin sırasıyla -3.872 ile 12.704 olarak tahmin edildiği görülmektedir. Bu modele en yakın sonuçlar RNG k-ɛ modeli ile elde edilmiştir. Diğer modeller konfor dağılımını lokal olarak bu iki modelden farklı tahmin etmelerine rağmen sayısal değer olarak minimum ve maksimum değerler bu modellere yakındır. Negatif değerler lokal hava sıcaklığının 26 °C den büyük olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Tabandan ısı akısı verildiğinden tabana yakın bölgelerde negatif değerlerin elde edilmesi zaten beklenmektedir. Havanın tam üflendiği yerin alt kısımlarında negatif değerlerin elde edilmesi ise tabanda ısınan havanın saat yönündeki ana hava akımı yardımıyla üflenen havayı ısıtması yüzündendir. Odanın sol taraftan yaklaşık üçte birlik kısmıyla ortalara doğru uzanan dağılımların elde edilemediği bölge hava hızının 0.05 m/s den küçük olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Zaten ASHRAE Standard 55-1992 Draft kriteri de 0.05 m/s den küçük hızlar için 0.05 m/s hızın alınmasın önermektedir. Yine bu standard göz önüne alındığında odanın tamamındaki yüzde memnuniyetsizlik %15 in altında olduğu için sınırlandırılmış bölge (Occupied zone) dışında bile tüm oda incelenen şartlar altında konforlu kabul edilebilir.



Şekil 4. 211 Annex 20 odasında Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

4.2. Üç Boyutlu Boş Oda Geometrisi

Üç boyutlu oda çalışması Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan, ısıl konfor çalışmaları için dizayn edilen odadan esinlenerek oluşturulmuştur.

4.2.1. Geometrik Model

Odada bir adet split klima bulunmakta, hava girişi de split klima üzerinden sağlanmaktadır. Diğer çıkış ise sağ alt köşede bulunmaktadır. Bu çıkış kapı altı aralığını temsil etmektedir. Şekil 4.212-215'de geometrik ölçüler ayrıntılı olarak verilkmiştir.



Şekil 4. 212 Oda geometrisinin önden görünüşü (Ölçüler mm cinsinden verilmiştir.)



Şekil 4. 213 Oda geometrisinin perpektif görünüşü (Ölçüler mm cinsinden verilmiştir.)



Şekil 4. 214 Klimanın ölçüleri (Ölçüler mm cinsinden verilmiştir.)



Şekil 4. 215 Klimanın önden görünüşü ve ölçüleri (Ölçüler mm cinsinden verilmiştir.)

4.2.2. Sayısal Model

Sayısal model için üç farklı ağ yapısı kullanıldı. 328470, 468529 ve 468529 eleman sayılarında yapılan çalışmalarda 468529 eleman sayılı ağ yapısı en uygun sonucu veren yapı seçildi. Şekil 4.216-2018'te ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4. 216 328470 eleman sayısında kaba mesh gösterimi



Şekil 4. 217 468529 eleman sayısında orta sıklıkta meshin gösterimi



Şekil 4. 218 Üç boyutlu odanın ağ yapısı (670540 eleman)

4.2.3. Sınır Koşulları ve Sayısal Yöntem

Klimanın üfleme yüzeyinden 3 farklı hız ve sıcaklıkta hava üflenmektedir. Bu geometride toplam 9 farklı durum incelenmiştir. Bu senaryolar Çizelge 4.2'de verilmiştir. Klima yüzeyi harici tüm oda dış yüzeyleri 293 K sıcaklıktadır. Üflenen havanın amacı odayı ısıtmaktır bu sebeple oda içindeki split klima kış kliması görevini yapmaktadır. Hız ve basınç için korunum denklemleri eşzamanlı olarak SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Basınç alanının çözümü için Second Order, momentum denklemlerinde Second Order Upwind, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılım oranlarında ise First Order Upwind algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri ise 10^{-6} olarak ayarlanmıştır. Annex20 odasında elde edilen sonuçlara binaen türbülans modeli olarak Std k- ε duvar yaklaşımı olarak ise Standard Wf. seçilmiştir.

Senaryolar	Sınır Şartları		
	Giriş Hızı	Giriş Sıcaklığı	Duvar Sıcaklığı
1. Durum	1.5 m/s	303 K	293 K
2. Durum	2 m/s	303 K	293 K
3. Durum	3 m/s	303 K	293 K
4. Durum	1.5 m/s	300 K	293 K
5. Durum	2 m/s	300 K	293 K
6. Durum	3 m/s	300 K	293 K
7. Durum	1.5 m/s	298 K	293 K
8. Durum	2 m/s	298 K	293 K
9. Durum	3 m/s	298 K	293 K

Çizelge 4. 2 Farklı Sınır Şartlarının Tablo Olarak Görünümü

4.2.4. Sonuçlar ve Tartışma

Elde edilen sonuçları görselleştirmek ve her bölgeyi daha iyi analiz edebilmek adına 11 farklı düzlem seçilmiştir. YZ ekseninde beş, XY ekseninde altı farklı düzlem tanımlanmıştır. Klimadan çıkan akışın net manada ortaya kayulabilmesi için klimaya dik olarak üç farklı düzlem yerleştirilmiştir. Düzlemler Şekil 4.219-220'de verilmiştir.



Şekil 4. 219 YZ ekseni yönünde oluşturulan düzlemler (soldan sağa doğru 1,2,3,4 ve 5. Düzlemler)



Şekil 4. 220 XY ekseni yönünde oluşturulan düzlemler (Soldan sağa doğru 6,7,8,9,10 ve 11. Düzlemler)

4.2.4.1. 1. Durum

1.5 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.224-524 arasında dokuz farklı senaryo için sonuçlar incelenmiştir.

Şekil 4. 224'de 1.5 m/s de oda içine giren havanın 1. Düzlemdeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Burada düşük hızdaki havanın tüm bölgeyi homojen olarak ısıtmakta yetersiz olduğu görülmektedir. Akışın yönünden dolayı alt kısımlar, akışın dönmesinden dolayı üst kısımlar orta kısımlara göre daha sıcaktır. Kapı aralığının sıcaklık dağılımına bu düzlemde pek etki etmediği görülmektedir.

Şekil 4. 227'te klimadan çıkan havanın açısının 2. ve 3. düzlemlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. 4. düzlemde bu açıdan dolayı hava odanın diğer kısımlarına daha rahat ulaşmakta ve bu düzlemin daha homojen ısındığını görülmektedir.

Şekil 4. 228'te ise 5. düzlemdeki sıcak dağılımın klimanın üfleme etkilerinden ziyade oda içi gelişen akış şekline bağlılık gösterdiği görülmektedir. Bu dağılım akışın dönüş yerlerine göre kimi yerin daha sıcak kimi yerin ise daha soğuk olmasına sebep olmuştur.

Şekil 4.229'dan Şekil 4.234'e kadar olan düzlemlerde ise klimadan uzaklaştıkça odanın sıcaklığının düştüğü görülmektedir. Klima üfleme alanının diğer alanlara göre daha sıcak durumda olduğu anlaşılmakta, oluşan girdapların bu sıcaklık dağılımının yönünü değiştirdiği görülmektedir.

Şekil 4. 221 incelenip Şekil 4. 210 ile mukayese edildiğinde akış alanlarının ortasında kalan bölgenin bu akışa bağlı olarak daha soğuk olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca oda içi en yüksek hava hızının 1.75 m/sn olduğu görülmektedir.

Giriş hızı küçük olduğundan tüm düzlemlerde genel olarak türbülans kinetik enerjisi düşüktür



Şekil 4. 222 1. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 223 2. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 225 4. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 227 6. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



[K]







Şekil 4. 229 8. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Temperature Contour 1 303.0 302.4 301.9 301.3 300.7 300.2 299.6 299.6 299.6 299.6 299.5 298.5 298.0 297.4 296.9 296.3 295.8 295.8 295.8 295.2 294.7 294.1 293.6 293.0

[K]



Şekil 4. 231 10. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları

0.750



Conduit 1 1.66 1.66 1.46 1.46 1.27 0.88 0.49 0.29 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.19 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.29 0.19 0

Şekil 4. 233 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 234 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 235 3. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 236 4. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 237 5. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları







ANSYS R15.0

Şekil 4. 238 6. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları





x x

Şekil 4. 239 7. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları











Şekil 4. 241 9. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları





Şekil 4. 243 11. Düzlemde Bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 244 1. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 245 2. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 246 3. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 247 4. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 248 5. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 249 6. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 250 7. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 251 8. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 252 9. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 253 10. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 254 11. Düzlemde Bileşke türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.2. 2. Durum

2 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4. 258'e bakıldığında Şekil 4. 224'e nazaran daha karmaşık bir sıcaklık dağılımı söz konusudur. Bu durumun başlıca sebebi 1. Düzlemin klima üfleme alanına çok yakın olması ve 2. durumda klima üfleme hızının 1.5 m/sn den 2 m/sn ye çıkmış olmasıdır. Akışın hızı arttıkça türbülans etkileri sebebiyle sıcaklık profilleri değişmiş homojenliği bozulmuştur. Çıkış bölgelerinde özellikle odanın geometrisinden dolayı sıcaklıklar düşüktür. Kapı aralığının sıcaklık dağılımına bu düzlemde pek etki etmediği görülmektedir.

Şekil 4. 259 ve Şekil 4. 260'ta sıcaklık dağılımı üfleme alanı haricinde son derece homojendir. 2. Düzlemde ise akış daha zayıf olduğundan akışta dağılmalar meydana gelmiş ve bu sebeple türbülans etkilerinden dolayı sıcaklık dağılımı farklılık göstermiştir.

Şekil 4. 262'de ise 5. düzlemdeki sıcak dağılımın 1. Duruma göre çok daha homojen bir yapıda olduğu görülmektedir.

Şekil 4. 263'ten Şekil 4.272'ye kadar olan düzlemlerde ise klimadan uzaklaştıkça odanın sıcaklığının düştüğü görülmektedir. Birinci duruma göre 2 m/sn hızda bu düşüş azalmaktadır.

Giriş hızı arttığından genel olarak türbülans kinetik enerjisi artmıştır ve yoğunluğunun arttığı bölgeler hızın yüksek olduğu türbülanslı bölgelerdir.



Şekil 4. 256 2. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 258 4. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 260 6. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Temperature Contour 1 302.96 302.41 301.86 301.30 300.75 300.20 299.64 299.09 298.54 297.43 296.87 296.32

296.87 296.32 295.77 295.21 294.66 294.11 293.55 293.00

[K]



x

ANSYS R15.0







Şekil 4. 262 8. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları


Şekil 4. 264 10. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları

0.500

0.750

0.250

1.000 (m)



Şekil 4. 265 11. Düzlemde Sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 266 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 268 Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 270 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları

0.250

0.750











Şekil 4. 272 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





x





Şekil 4. 274 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 276 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 277 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 278 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları







Şekil 4. 280 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları









Şekil 4. 283 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları







Şekil 4. 285 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları













Şekil 4. 287 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

Şekil 4. 288 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.3. 3. Durum

3 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir.

Şekil 4.292'ye bakıldığında Şekil 4. 258'deki gibi sıcaklık dağılımı akış yapısı ile benzer şekilde karmaşıktır. Akış türbülanslı ve dağınık olduğundan homojen bir sıcaklık dağılımı yoktur. Bu durumun başlıca sebebi 1. Düzlemin klima üfleme alanına çok yakın olması ve 2. durumda klima üfleme hızının 3 m/sn olmasıdır. Akışın hızı arttıkça türbülans etkileri sebebiyle sıcaklık profilleri değişmiş homojenliği bozulmuştur. Çıkış bölgelerinde özellikle odanın geometrisinden dolayı sıcaklıklar düşüktür. Kapı aralığının sıcaklık dağılımına bu düzlemde pek etki etmediği görülmektedir.

Şekil 4.298'de 5. düzlemdeki sıcak dağılımın 1. Duruma göre çok daha homojen bir yapıda olduğu görülmektedir.

Giriş hızı arttığından genel olarak türbülans kinetik enerjisi artmıştır ve yoğunluğunun arttığı bölgeler hızın yüksek olduğu türbülanslı bölgelerdir.



Şekil 4. 289 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 290 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları







Şekil 4. 292 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 294 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları





Şekil 4. 296 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları

L•__ x



Şekil 4. 298 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları







Şekil 4. 300 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 302 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





Şekil 4. 304 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 306 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 308 9. Düzlemde bileşik hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 309 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları

Velocity Contour 1 3.2 2.7 2.5 2.3 2.2 2.0 1.8 1.4 1.3 1.4 1.3 1.4 1.3 0.7 0.5 0.4 0.2 0.0 [m s^-1]



Şekil 4. 310 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 311 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 312 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 313 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 314 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 315 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 316 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 317 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 318 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 319 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 320 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 321 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.4. 4. Durum

1.5 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar Şekil 4.327-259 arasında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir.



Şekil 4. 322 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 323 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 324 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 325 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 326 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 327 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları





Y X

Şekil 4. 328 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları







Şekil 4. 329 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları





ANSYS R15.0



Şekil 4. 330 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 331 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 332 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları


Şekil 4. 333 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 334 2. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 335 3. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 336 4. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 337 5. Düzlemde bileşke hız sonuçları





ANSYS R15.0



Şekil 4. 338 6. Düzlemde bileşke hız sonuçları







Şekil 4. 339 7. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 340 8. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 342 10. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 343 11. Düzlemde bileşke hız sonuçları



Şekil 4. 344 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 345 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 346 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 347 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 348 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 349 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 350 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 351 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 352 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 353 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 354 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.5. 5. Durum

2 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar Şekil 4.360-292 arasında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir.



Şekil 4. 355 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 356 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 357 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 358 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 359 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 360 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 361 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 362 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 363 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 364 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 365 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 366 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 367 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 368 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 369 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 370 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 371 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 372 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 373 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 374 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 375 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 376 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 377 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 378 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 379 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 380 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 381 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 382 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 383 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 384 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 385 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 386 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 387 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.6. 6. Durum

3 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar Şekil 4.393-425 arasında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir.



Şekil 4. 388 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 389 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 390 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 391 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 392 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 393 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları







Şekil 4. 394 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 395 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları

×



[K]

Şekil 4. 396 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 397 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 398 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 399 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 400 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 401 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 402 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları


Şekil 4. 403 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 404 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







•

Şekil 4. 405 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





Şekil 4. 406 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 407 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





× ×

Şekil 4. 408 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 409 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 410 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 411 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 412 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 413 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 414 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 415 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 416 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 417 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 418 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 419 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 420 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.7. 7. Durum

1.5 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar Şekil 4.426-458 arasında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir.



Şekil 4. 421 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 422 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 423 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 424 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 425 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 426 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 427 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 428 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 429 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 430 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 431 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 432 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 433 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 434 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 435 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 436 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 437 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 438 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





x x

Şekil 4. 439 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





Şekil 4. 440 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 441 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 442 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 443 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 444 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 445 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 446 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 447 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 448 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 449 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 450 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 451 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 452 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 453 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.8. 8. Durum

2 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar Şekil 4.459-491 arasında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir.



Şekil 4. 454 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 455 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 456 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 457 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 458 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 459 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 460 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 461 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları





0.500

0.250

1.000 (m)

0.750



Şekil 4. 464 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 465 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 466 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 467 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 468 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 469 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





Şekil 4. 470 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 471 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







Şekil 4. 472 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





Y •

Şekil 4. 473 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları




0.500

0.750

0.250

1.000 (m)

•



Şekil 4. 476 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 477 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 478 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 479 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 480 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 481 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 482 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 483 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 484 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 485 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 486 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.2.4.9. 9. Durum

3 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar Şekil 4.492-524 arasında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir.



Şekil 4. 487 1. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 488 2. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 489 3. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 490 4. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 491 5. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 492 6. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 493 7. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 494 8. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 495 9. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 496 10. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 497 11. Düzlemde sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 4. 498 1. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 499 2. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 500 3. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 501 4. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 502 5. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 503 6. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları







ANSYS R15.0

Şekil 4. 504 7. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları









Şekil 4. 505 8. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları





Şekil 4. 506 9. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 507 10. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 508 11. Düzlemde bileşke hız dağılımı sonuçları



Şekil 4. 509 1. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 510 2. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 511 3. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 512 4. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 513 5. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 514 6. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 515 7. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 516 8. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 517 9. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 518 10. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları



Şekil 4. 519 11. Düzlemde türbülans kinetik enerjisi sonuçları

4.3. İki Boyutlu Mankenli Oda Geometrisi

Bu bölümde Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan ısıl konfor odası iki boyutlu olarak modellenip, farklı sıcaklık ve hızların hava hızı, dağılımı ve ısıl konfor üzerindeki etkileri incelenecektir. Yöntem olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılmaya devam edilecektir. Annex20 odası üzerinde yapılan çalışmalarda en iyi sonuç veren model Std k-ɛ, ve Standard duvar yaklaşımı olduğu için bu türbülans modeli ve duvar yaklaşımı kullanılmıştır.





Şekil 4. 520 İki boyutlu Oda geometrisi ölçüleri (Ölçüler mm cinsinden verilmiştir.)

Isıl konfor Odası iki boyutlu olarak modellenmiş ve oda içerisindeki cisimlerin ve insanların hava akışı, hava hızı, sıcaklık, türbülans kinetik enerjisi ve ısıl konfora olan etkileri incelenmiştir. Şekil 4.525'de gerekli ölçüler verilmiştir.

4.3.2. Sayısal Model



Şekil 4. 521 İki boyutlu oda geometrisi ağ yapısı

Sayısal model 147286 elemandan ve 104590 düğüm noktasından oluşmaktadır. Geometri farklı yüzey alanlarına bölünerek eleman sayısını azaltmak amaçlanmıştır. Manken ve klimanın içinde bulunduğu yüzey alanlar, içindeki geometrinin şekli sebebiyle üçgen elemanlara bölünmüştür. Geri kalan kısıımlar ise düzgün hexahedral ağ yapısında oluşturulmuştur. Şekil 4.526'da ağ yapısı gösterilmiştir.





Şekil 4. 522 İki Boyutlu oda geometrisi sınır şartları gösterimi

Oda geometrisinde iki çıkış bulunmaktadır. Bunlardan biri klimanın üstünde diğeri ise geometrinin sol alt köşesindedir. 2. Çıkış kapı aralığını temsil etmektedir. Mankenin yüzey sıcaklığı 32° olarak belirlenmiştir Sınır şartları genel olarak Şekil 4.527'de gösterilmiş olup, senaryolar ise tablo halinde Çizelge 4.3'te verilmiştir. Hız ve basınç için korunum denklemleri eşzamanlı olarak SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Basınç alanının çözümü için Second Order, momentum denklemlerinde Second Order Upwind, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılım oranlarında ise First Order Upwind algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri ise 10⁻⁶ olarak ayarlanmıştır. Annex20 odasında elde edilen sonuçlara binaen türbülans modeli olarak Std k-ε duvar yaklaşımı olarak ise Standard Wf. seçilmiştir.

Senaryolar	Sınır Şartları		
	Giriş Hızı	Giriş Sıcaklığı	Duvar Sıcaklığı
1. Durum	1.5 m/s	303 K	293 K
2. Durum	2 m/s	303 K	293 K
3. Durum	3 m/s	303 K	293 K
4. Durum	1.5 m/s	300 K	293 K
5. Durum	2 m/s	300 K	293 K
6. Durum	3 m/s	300 K	293 K
7. Durum	1.5 m/s	298 K	293 K
8. Durum	2 m/s	298 K	293 K
9. Durum	3 m/s	298 K	293 K

Çizelge 4. 3 Geometri üzerinde incelenecek olan farklı sınır şartları

4.3.4. Sonuçlar ve Tartışma

İki boyutlu bu oda geometrisinde yüzde memnuniyetsizlik, hız, sıcaklık ve türbülans kinetik enerjisi dağılımları incelenmiştir. Bu sonuçlardan en ilginci akışın düşük hızlarda ters dönmesi olmuştur. Bu durum sınır şartı tanımından veya klimanın konumuyla ilgili olabilir. Bu husus ayrı bir araştırma konusudur ve bu tez kapsamında nedeni derin olarak incelenmemiştir. Fakat literatürde HAD analizlerinde çözüm çokluğu ile alakalı yayınlar bulunmaktadır. (Pulat E., Ersan H.A. 2015)

4.3.4. 1. Durum

1.5 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.528-534'de birinci senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Bu senaryoda akış ters dönmüştür. Üç boyutlu boş oda çalışmasıyla bu bağlamda ayrılmaktadır.

Yüzde memnuniyetsizlik dağılımı incelendiğinde %15 ve üzeri bölgeler sadece klimanın üfleme kısmına yakın bölgelerdedir ve oda cereyan bakımından incelendiğinde genel olarak konforludur yorumu yapılabilir.

Geometri iki boyutlu olduğundan mankenin arka tarafına hava sadece mankenin üzerinden ulaşabilmektedir. Bu durum mankenin arkasında çözümün doğruluğunu düşürmüştür. Manken ve oda içerisinde bulunan masa türbülanslı bölgeler oluşmasına sebep olmuştur.



Şekil 4. 523 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 524 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 525 1.5 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 526 1.5 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 527 1.5 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 528 1.5 m/s'de sıcaklık dağılımı



Şekil 4. 529 1.5 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 2. Durum

2 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.535-541'de bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. İlk durumun aksine akış olağan ve beklendiği şekilde oluşmuştur. Üç boyutlu boş oda çalışması ile akış şekli bağlamında benzer sonuçlar vermiştir.

Yüzde memnuniyetsizlik dağılımı incelendiğinde %15 ve üzeri bölgeler artmış ve mankene yakın alanlara doğru ilerlemiştir. Fakat genel yapı hala cereyan değeri bakımından konforludur denilebilir.

Manken çevresindeki akış yapısı ise değişmemiştir.



Şekil 4. 530 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 531 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 532 2 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 533 2 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 534 2 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 536 2 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 3. Durum

3 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.542-548'de bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. İlk durumun aksine akış olağan ve beklendiği şekilde oluşmuştur. Üç boyutlu boş oda çalışması ile akış şekli bağlamında benzer sonuçlar vermiştir. Hızın düşük olduğu bölgelerde yüzde memnuniyetsizlik değerleri hesaplanamamıştır, bu bölgeler hızın 0.05 m/sn den küçük olduğu bölgelerdir.

Yüzde memnuniyetsizlik dağılımı incelendiğinde %15 ve üzeri bölgeler biraz daha artmış ve mankene yakın alanlara doğru ilerlemiştir. Fakat genel yapı hala cereyan değeri bakımından konforludur denilebilir.



Manken çevresindeki akış yapısı ise değişmemiştir.

Şekil 4. 537 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 538 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 539 3 m/s'de hız dağılımı


Şekil 4. 540 3 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 541 3 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 542 3 m/s'de sıcaklık dağılımı



Şekil 4. 543 3 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 4. Durum

1.5 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.549-555'de bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. İlk durumun gibi akış ters dönmüştür. Düşük hızlarda akış yapısı değişmektedir.

Diğer parametreler ilk durumla benzerdir, farklılık gösteren ana husus sıcaklık düştükçe yüzde memnuniyetsizlik değerleri gözle görülür şekilde azalmaktadır.



Şekil 4. 544 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 545 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 546 1.5 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 547 1.5 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 548 1.5 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 549 1.5 m/s'de sıcaklık dağılımı



Şekil 4. 550 1.5 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 5. Durum

2 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.556-562'de bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar ikinci senaryo ile benzerdir. Sıcaklık düştüğü için yüzde memnuniyetsizlik değerleri azalmıştır.



Şekil 4. 551 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 552 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 553 2 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 555 2 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 557 2 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 6. Durum

3 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.563-569'da bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar üçüncü senaryo ile benzerdir. Sıcaklık düştüğü için yüzde memnuniyetsizlik değerleri azalmıştır.



Şekil 4. 558 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 559 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 560 3 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 561 3 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 562 3 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 563 3 m/s'de sıcaklık dağılımı



Şekil 4. 564 3 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 7. Durum

1.5 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.570-576'da bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar ilk senaryo ile benzerdir. Sıcaklık düştüğü için yüzde memnuniyetsizlik değerleri önemli ölçüde azalmıştır. Akış yönü yine ters dönmüştür. İki boyutlu analizlerde 1.5 m/sn de yapılan tüm incelemelerde akışın ters döndüğü saptanmıştır. Bu durum üç boyutlu analizlerde görülmemiştir.



Şekil 4. 565 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 566 1.5 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 567 1.5 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 568 1.5 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 569 1.5 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi





Şekil 4. 571 1.5 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 8. Durum

2 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.577-583'de bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Yüzde memnuniyetsizlik değerleri düşen sıcaklık ile beraber düşmüştür. Diğer değerler önceki benzer hızlara sahip senaryolarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. 572 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 573 2 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 575 2 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 576 2 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 577 2 m/s'de sıcaklık dağılımı



Şekil 4. 578 2 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.3.4. 9. Durum

3 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.584-590'da bu senaryoya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki sonuçlarla benzerdir. Akış yönünde değişim yaşanmamıştır.



Şekil 4. 579 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı (%15 ve üzeri bölgeler için)



Şekil 4. 580 3 m/s'de yüzde memnuniyetsizlik oranı dağılımı



Şekil 4. 581 3 m/s'de hız dağılımı



Şekil 4. 582 3 m/s'de akım çizgileri dağılımı



Şekil 4. 583 3 m/s'de hız dağılımı vektörel gösterimi



Şekil 4. 584 3 m/s'de sıcaklık dağılımı



Şekil 4. 585 3 m/s'de türbülans kinetik enerjisi dağılımı

4.4. Üç Boyutlu Mankenli Oda Geometrisi

Bu kısımda Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan ısıl konfor odası üç boyutlu olarak modellenip, farklı sıcaklık ve hızların hava hızı, dağılımı ve ısıl konfor üzerindeki etkileri incelenecektir. Yöntem olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılmaya devam edilecektir. Annex20 odası üzerinde yapılan çalışmalarda en iyi sonuç veren model Std k-ɛ, ve Standard duvar yaklaşımı olduğu için bu türbülans modeli ve duvar yaklaşımı kullanılmıştır. Daha önce yapılan iki boyutlu ve üç boyutlu oda çalışmaları üzerinde mukayeseler yapılmıştır.

4.4.1. Geometrik Model

Geometri daha önce yapılan iki boyutlu çalışmaya benzerlik göstermesi açısından bir manken ve bir masa ile tasarlanmıştır. Oda ölçüleri aşağıdaki şekillerde detaylı olarak Şekil 4.591-594'de verilmiştir.



Şekil 4. 586 Üç boyutlu oda geometrisinin yan görünüşü



Şekil 4. 587 Üç boyutlu oda geometrisinin ön görünüşü



Şekil 4. 588 Üç boyutlu oda geometrisinin üst düzlemden görünüşü



Şekil 4. 589 Üç boyutlu oda geometrisinin izometrik görünüşü

4.4.2. Sayısal Model

Ağ yapısı 3125566 eleman, 60264 düğüm noktasına sahiptir. Ağ yapısı için üçgen elemanlar kullanılmıştır. Elde edilen ağ yapısı Şekil 4.595'de görülmektedir.



Şekil 4. 590 Üç boyutlu oda geometrisinin ağ yapısı

4.4.3. Sınır Koşulları

Klimanın üfleme yüzeyinden 3 farklı hız ve sıcaklıkta hava üflenmektedir. Bu geometride de toplam 9 farklı durum incelenmiştir. Klima yüzeyi harici tüm oda dış yüzeyleri 293 K sıcaklıktadır. Üflenen havanın amacı odayı ısıtmaktır bu sebeple oda içindeki split klima kış kliması görevini yapmaktadır. Hız ve basınç için korunum denklemleri eşzamanlı olarak SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Basınç alanının çözümü için Second Order, momentum ve enerji denklemlerinde Second Order Upwind, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılım oranlarında ise First Order Upwind algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri ise 10⁻⁶ olarak ayarlanmıştır. Annex20 odasında elde edilen sonuçlara binaen türbülans modeli olarak Std k-ε duvar yaklaşımı olarak ise Standard Wf. seçilmiştir. Sınır şartları her farklı senaryo için Tablo 5.1'de verilmiştir.

Senaryolar	Sınır Şartları		
	Giriş Hızı	Giriş Sıcaklığı	Duvar Sıcaklığı
1. Durum	1.5 m/s	303 K	293 K
2. Durum	2 m/s	303 K	293 K
3. Durum	3 m/s	303 K	293 K
4. Durum	1.5 m/s	300 K	293 K
5. Durum	2 m/s	300 K	293 K
6. Durum	3 m/s	300 K	293 K
7. Durum	1.5 m/s	298 K	293 K
8. Durum	2 m/s	298 K	293 K
9. Durum	3 m/s	298 K	293 K

Tablo 5.1

4.4.4. Sonuçlar ve Tartışma

Üç boyutlu bu çalışmada daha önceki çalışmalara benzer olarak 11 farklı düzlem üzerinde incelemeler yapılmıştır. Şekil 4.219 ve Şekil 4.220'deki düzlemler bu çalışmada da geçerlidir. Elde edilen sonuçlar iki boyutlu ve manken bulunduran geoemtrideki sonuçlara benzerdir. Farklılık gösteren tarafları ise akışta ters dönme durumunun gerçekleşmemesidir. Bu yönden içi boş olan oda ile benzer sonuçlar göstermiştir.

4.4.4.1. 1. Durum

1.5 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.598-604 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Hızın yüksek olduğu bölgelerde yüzde memnuniyetsizliğin yüksek düşük olduğu yerlerde de düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca oda içi materyaller ve modelin etrafında oluşan türbülans da yüzde memnuniyetsizlik değerlerine etki etmiştir.



Şekil 4. 591 2. Düzlem Cereyan Dağılımı



Şekil 4. 592 3. Düzlem Cereyan Dağılımı







•

Şekil 4. 593 6. Düzlem Cereyan Dağılımı



14.7 13.41 12.41 11.40 10.40 9.40 8.39 7.39 6.39 7.39 6.39 5.38 4.38 3.38 2.37 1.37 0.37













•

Şekil 4. 595 8. Düzlem Cereyan Dağılımı









.12 .32 .52 .72 15

92 13 10

9.53 8.73 7.93 7.13 6.33 5.53 4.74 3.94 2.34 1.54 0.74 654332



Şekil 4. 597 10. Düzlem Cereyan Dağılımı

Şekil 4.605-615 arasında 1. Düzlemde sıcaklık dağılımları verilmiştir. Üfleme eksenindeki bölgelerde üflenen sıcak hava odanın uç bölgelerine ulaşmıştır dolayısıyla bu düzlemlerde daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 4. 598 1. Düzlem Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 600 3. Düzlem Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 602 5. Düzlem Sıcaklık Dağılımı



• x

• _ x

Şekil 4. 604 7. Düzlem Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 606 9. Düzlem Sıcaklık Dağılımı





• ×

Şekil 4. 607 10. Düzlem Sıcaklık Dağılımı

1.000 (m)

0.750



[K]



Şekil 4. 608 11. Düzlem Sıcaklık Dağılımı
Şekil 4.616-626 arasında hız dağılımları verilmiştir. Klimadan üflenen havanın belirli bir mesafeden sonra türbülansa girerek akış dağılımının karmaşıklaştığı görülmektedir. Manken ve masa etrafında çarpma etkilerinden dolayı türbülans oluşmuştur.



Şekil 4. 609 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 610 2. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 611 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 612 4. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 614 6. Düzlemde Hız Dağılımı







- X

Şekil 4. 615 7. Düzlemde Hız Dağılımı













Şekil 4. 617 9. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 618 10. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4.627-637 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen bu dağılımlar hız sonuçları ile benzerdir. Hızın yüksek olduğu bölgelerde türbülans kinetik enerjisi artmıştır. Hızın düşük olduğu bölgelerde ise türbülans kinetik enerjisi değerleri



Şekil 4. 620 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 621 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 622 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 623 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 624 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 625 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 626 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 627 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 628 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 629 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





4.4.4.2. 2. Durum

2 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.638-639 arasında yüzde memnuniyetsizlik değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 1. Senaryo ile benzerdir.



Şekil 4. 631 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 632 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 633 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 634 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 635 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.643-653 arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 1. Senaryo ile benzerdir.



Şekil 4. 637 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 639 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 641 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 643 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 645 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 646 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.654-664 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 1. Senaryo ile benzerdir.



Şekil 4. 647 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 649 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 651 5. Düzlemde Hız Dağılımı





• x



•____ ×

Şekil 4. 653 7. Düzlemde Hız Dağılımı



• ×

•____ x

Şekil 4. 655 9. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 657 11. Düzlemde Hız Dağılımı

Şekil 4.665-675 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 1. Senaryo ile benzerdir.



Şekil 4. 658 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 659 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 660 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 661 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 662 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 663 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

•





•

Şekil 4. 664 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 665 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





•

Şekil 4. 666 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 667 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 668 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.3. 3. Durum

3 m/s hızda ve 303 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.676-682 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir.



Şekil 4. 669 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 670 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 671 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



















Şekil 4. 674 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 675 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.683-693 arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 677 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 679 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı


Şekil 4. 681 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 683 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 685 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 686 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.694-704 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 687 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 688 2. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 689 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 691 5. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 692 6. Düzlemde Hız Dağılımı





x

Şekil 4. 693 7. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 694 8. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 695 9. Düzlemde Hız Dağılımı







•

Şekil 4. 696 10. Düzlemde Hız Dağılımı





Şekil 4. 697 11. Düzlemde Hız Dağılımı

Şekil 4.705-715 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 698 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 699 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 700 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 701 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 702 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



×

Şekil 4. 703 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 704 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı









Şekil 4. 706 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 707 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 708 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.4. 4. Durum

1.5 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.716-718 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Klimanın üfleme sıcaklığı azaldıkça oda içerisindeki yüzde memnuniyetsizlik dağılımının sıfıra eşit olduğu bölgelerin arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 709 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı







Şekil 4. 711 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.719-729 arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. Klimanın üfleme sıcaklığı düştüğü için dışarıya olan ısı kaybı artmış ve oda içerisindeki ortamın önceki senaryoya göre serinlediği fakat olması gereken duruma bakıldığında ise 300 K civarında bir dağılım olduğundan ısıl olarak rahat bir sıcaklıkta olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 713 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 715 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 717 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



* • ×



•

Şekil 4. 719 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



•

•

Şekil 4. 721 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 722 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.730-740 arasında hız dağılımları verilmiştir. Diğer senaryolardan farklı olarak klimadan odaya giren havanın giriş şekli değişmiş, havanın dağılımı daha farklı bir görüntü almıştır.



Şekil 4. 723 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 725 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 727 5. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 728 6. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 729 7. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 730 8. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 731 9. Düzlemde Hız Dağılımı





• z • x

Şekil 4. 733 11. Düzlemde Hız Dağılımı

0 0.500 1.000 (m) 0.250 0.750



Şekil 4. 734 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 735 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 736 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 737 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 738 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 739 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

•





Şekil 4. 740 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 741 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 742 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 743 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 744 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.5. 5. Durum

2 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.752-760 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. Hız ve sıcaklık değerleri düştükçe yüzde memnuniyetsizlik değerleri düşmüş ve sıfıra eşit olduğu bölgeler artmıştır.



Şekil 4. 745 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 746 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 747 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 748 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı







Şekil 4. 750 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı







Şekil 4. 751 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı








.,

Şekil 4. 753 10. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.761-771 arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 755 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 757 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 759 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 761 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 763 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 764 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.772-782 arasında hız verilmiştir. 4. Duruma göre klimadan odaya giren hacanın akış yapısı olağan görünmektedir ve klimadan çıkar çıkmaz bir dağılmaya rastlanmamıştır. Bu dağılmanın sebebinin ise havanın düşük hızlarda yapısının daha çabuk bozulması yönündedir.



Şekil 4. 765 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 766 2. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 767 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 769 5. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 770 6. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 771 7. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 772 8. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 773 9. Düzlemde Hız Dağılımı







•

Şekil 4. 774 10. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4.780-790 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 776 1. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 777 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 778 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 779 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 780 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 781 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

•





Şekil 4. 782 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 783 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 784 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 785 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 786 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.6. 6. Durum

3 m/s hızda ve 300 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.794-804 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. Hız değeri artsada sıcaklık değeri düştüğünden 3. Senaryo ile kıyaslandığında yüzde memnuniyetsizlik dağılımında düşme görülmektedir.



Şekil 4. 787 1. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 788 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 789 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 790 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 791 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 792 6. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





•

Şekil 4. 793 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 794 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı







Şekil 4. 795 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 796 10. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 797 11. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.805-815arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. Oda içindeki genel hava sıcaklığı 25 °C civarındadır.



Şekil 4. 799 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 801 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 803 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 805 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 807 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı





Şekil 4.813-823 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 809 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 810 2. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 811 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 813 5. Düzlemde Hız Dağılımı







•

Şekil 4. 814 6. Düzlemde Hız Dağılımı













Şekil 4. 816 8. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 817 9. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 818 10. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 819 11. Düzlemde Hız Dağılımı

Şekil 4.824-834 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir







Şekil 4. 821 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 822 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 823 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı




0

0.500

1.000 (m)





Şekil 4. 827 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 829 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 830 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.7. 7. Durum

1.5 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.838-840 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. En düşük sıcaklık ve hızda yapılan çalışma olduğundan bu senaryoda en düşük yüzde memnuniyetsizlik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. 831 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 832 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



15.23 14.41 13.58 12.76 11.94 11.12 10.29 9.47 8.65 7.83 7.00 6.18 5.36 4.53 3.71 2.89 2.07 1.24 0.42

Şekil 4. 833 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.41-851 arasında sıcaklım dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. Dışarıya olan ısı kaybı etkisini özellikle odanın köşe kısımlarında olmak üzere genel olarak etkisini hissettirmektedir. En soğuk bölgeler mankenin arka tarafındaki bölgeler olmuştur. Bu bölgedeki sıcaklığın düşük olması klimadan odaya üflenen havanın hızının düşük olmasından da kaynaklanmaktadır.







Şekil 4. 835 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 837 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 839 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 841 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 843 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 844 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.852-862 arasında hız dağılımları verilmiştir. Bu senaryoda da üflenen hava klimadan çıkar çıkmaz dağılmış düzgün bir akış yolu takip etmemiştir. Bu duruma düşük üfleme hızlarında rastlanmıştır.



Şekil 4. 845 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 847 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 849 5. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 850 6. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 851 7. Düzlemde Hız Dağılımı







• ×

Şekil 4. 852 8. Düzlemde Hız Dağılımı









• ×

Şekil 4. 855 11. Düzlemde Hız Dağılımı

Şekil 4.860-870 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir







Şekil 4. 857 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 858 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 859 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 860 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 861 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 862 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 863 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı





Şekil 4. 864 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 865 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 866 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.8. 8.Durum

2 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.874-878 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir.



Şekil 4. 867 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 868 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 869 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 870 5. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 871 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.879-889 arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. 7. Senaryoya nazaran köşelerdeki ısı kaybı azalmıştır bunun sebebi üflenen havanın hızının artması ve köşe noktalara daha rahat ulaşması olarak öngörülmektedir.







Şekil 4. 873 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 875 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 877 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 879 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 881 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4.890-900 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki

Şekil 4.890-900 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir. Bu senaryoda farklı olan durum ise burada da 1.5 m/sn'deki senaryolar da rastlanan akışın klimadan çıkar çıkmaz dağılması durumudur.



Şekil 4. 883 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 885 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 887 5. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 888 6. Düzlemde Hız Dağılımı







Şekil 4. 889 7. Düzlemde Hız Dağılımı





• _ _ _ X

Şekil 4. 891 9. Düzlemde Hız Dağılımı

0 0.500 1.000 (m) 0.250 0.750



• _ _ _ X



Şekil 4.901-911 arasında türbülans kinetik enerjisi dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir.







Şekil 4. 895 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı


Şekil 4. 896 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 897 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 898 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 899 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 900 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 901 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 902 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 903 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 904 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

4.4.4.9. 9. Durum

3 m/s hızda ve 298 K sıcaklıkta klimadan odaya giren havanın özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.912-918 arasında yüzde memnuniyetsizlik dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 905 2. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 906 3. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı



Şekil 4. 907 4. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 908 6. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 909 7. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı







Şekil 4. 910 8. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı





Şekil 4. 911 9. Düzlemde Yüzde Memnuniyetsizlik Dağılımı

Şekil 4.919-929 arasında sıcaklık dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 913 2. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 915 4. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 917 6. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 919 8. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 921 10. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. 922 11. Düzlemde Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.930-940 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir



Şekil 4. 923 1. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 925 3. Düzlemde Hız Dağılımı



Şekil 4. 927 5. Düzlemde Hız Dağılımı







• x

Şekil 4. 928 6. Düzlemde Hız Dağılımı













, • _ _ ×

Şekil 4. 930 8. Düzlemde Hız Dağılımı





Şekil 4. 931 9. Düzlemde Hız Dağılımı









Şekil 4. 933 11. Düzlemde Hız Dağılımı

0

0.500 1.000 (m) 0.750

Şekil 4.941-951 arasında hız dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki senaryolar ile benzerdir







Şekil 4. 935 2. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 936 3. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 937 4. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 938 5. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 939 6. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 940 7. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 941 8. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 942 9. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 943 10. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı



Şekil 4. 944 11. Düzlemde Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımı

5. SONUÇLAR

Annex20 odasında farklı ağ yapılarında, farlı türbülans modelleri ve duvar yaklaşımları denenmiştir. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalardan elde edilmiş hız verileri ile bu çalışmadaki analiz verileri mukayese edilmiştir. Ayrıca hız ve sıcaklık ölçümü yapılan noktalarda ek olarak türbülans kinetik enerjisi de incelenmiştir.

Nielsen'in 1990'da yaptığı çalışma da elde ettiği deneysel verilerle bu çalışmada yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. Farklı bölgelerde yapılan mukayeseler sonucu deneysel verilere en yakın değerler Std. k-ε Standard Wf.'da elde edilmiştir. Deneyler çalışmalar sonucu elde edilmiş sayısal verilere Std. k-ε Standard Wf. haricinde en yakın sonuçları veren model ise Std. k- ε Scalable Wf olmuştur.

Nielsen'in 1974'te yaptığı deneysel bir çalışmada ki Annex20 odasında akış dağılımı yine aynı şekilde en iyi Std. k-ɛ Standard Wf'da elde edilmiştir. Lemaire'in 1991'de elde ettiği nümerik sıcaklık dağılımı sonuçları da Std. k-ɛ standard wf.'da elde edilmiştir. Bu üç farklı kıyastan sonra bu çalışmalardan elde edilen sonuç oda havalandırması için Std. k-ɛ türbülans modeli ve Standard duvar yaklaşımı kullanımının uygun olduğudur. Bu geometriden sonraki çalışmalarda da bu modeller kullanılmıştır.

Üç boyutlu boş oda geometrisinde dokuz farklı senaryo on bir farklı düzlemde incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda düşük hızlarda klimadan çıkan havanın oda içerisinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı oluşturduğu görülmektedir. Fakat hız arttıkça odanın köşe ve uzak noktalarının da daha iyi ısındığı anlaşılmıştı Ayrıca klimadan üflenen havanın sıcaklığı 298 K'e düştüğünde duvarlardan olan ısı kaybının da gözle görülür hale geldiği ve oda içi dağılımı etkilediği görülmüştür. Klimadan üflenen havanın sıcaklığı düştükçe akış yapısı ve dağılımı değişmiştir. Düşük klima hızlarında akış yapısı erken bozulmakta ve türbülanslı duruma geçiş süreci hızlanmaktadır.

İki boyutlu oda geometrisi incelendiğinde hemen hemen bütün durumlarda odanın tamamında cereyan etkisi mevcuttur. Genel durumda mankenin arkasında bölgelerde düşük hızlar sebebi ile cereyan etkileri görülmemektedir. Aynı şekilde masanın da mankenin özellikle ayak ve bacak bölgelerinde cereyan oluşmasını önlediği anlaşılmaktadır. Geometri iki boyutlu olduğundan masa ayağı hava akışını engelleyeceği için oluşturulmamıştır. Masanın sadece üst yüzeyi geometride belirtilmiştir. Bu da hava akışının sağlıklı olarak ayak bölgesine ulaşmasını sağlamıştır. Genel yapı incelendiğinde çözüm çokluğu da göze çarpmaktadır. Akış özellikle düşük hızlarda ters dönmektedir. Bu hususta incelenmesi gereken bir konudur.

Manken ve masadan dolayı oda içinde genel olarak çok sayıda girdap oluşmuştur. Hız düştükçe cereyan etkileri azalmaktadır. Fakat düşük hızlarda oda içinde sıcaklık dağılımının homojenliğini yitirdiği görülmektedir. Giriş hızı ve sıcaklığı arttıkça, giren havanın sıcaklığı dışarıya olan ısı kaybına baskın gelmekte ve homojen bir sıcaklık profili oluşmaktadır. Bu durum aynı zamanda yüzde memnuniyetsizlik etkisini de arttırmaktadır. Fakat bu oda için masanın konumundan dolayı manken üzerinde olumsuz bir etki oluşmamaktadır. Aynı zamanda klimanın üflediği havanının sıcaklığı düştükçe yüzde memnuniyetsizlik oranı önemli ölçüde azalmaktadır.

Varılan bu sonuçlar boş oda geometrisi için de geçerlidir. Fakat boş oda geometrisinde ters yönde akışa rastlanmamıştır.

Üç boyutlu, içinde bir mankenin bulunduğu oda geometrisi için genel olarak üçgen ağ yapısı kullanılmıştır. Manken ağ sayısını azaltmak adına köşeli olarak modellenmiştir. Bu geometride de ters akışa rastlanmamıştır. Konfor bulguları diğer bulgulara benzerdir. Oda içinde ki mobilyalar yüzde memnuniyetsizliğe büyük oranda etki etmektedir. Yüzde memnuniyetsizliğin %15 ve üzeri olduğu bölgeler düşük hızlarda giriş bölgesinde ve mankenin ayak uçlarına yakın bölgelerdedir. Hız arttıkça bu bölgelerin alanının arttığı gözlemlenmiştir. Bu geometride üflenen havanın farklı hızlarda yapasının değiştiği görülmüştür.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, bu çalışmada rastlanan akış yönünün ve yapısının hızlara bağlı olarak değişmesi durumu incelenip, araştırılabilir.

6.KAYNAKLAR

AKBULUT C. 2010. Düşük Hızlı Düşey Milli Mekanik Yüzey Havalandırıcının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi

AKIMOTO ve Ark. 2010. Thermal Comfort And Productivity - Evaluation Of Workplace Environment in a Task Conditioned Office, Building and Environment,

ANSYS Fluent Theory Guide. 15.0 Realese

ANSYS Fluent User Guide. 15.0 Realese

ASHRE Standard 55. Handbook of Fundementals

ATMACA Y., YİĞİT A. 6-9 Mayıs 2009. Isıl Konfor İle İlgili Mevcut Standartlar Ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller İle İncelenmesi". IX. Tesisat Mühendisliği Kongresi,

Anonim-IEA Annex20 Air Flow Patterns in Buildings, room air and contaminent flow, evaluation of computitional methods, Substask-1 summary report, december1993. The Netherlands

BEDİR K., 2012. Radyant Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Isıl Konfor ve Enerji Verimliliğinin Sayısal Analizi

CHEN Q., SREBRIC, J. 2002. A procedure for verification, validation, and reporting of indoor environment CFD analyses, HVAC&R Research 8 (2), 201-216,

CHIENG C.C., LAUNDER B.E. 1980. On the calculation of turbulent heat transfer transport downstream an abrupt pipe expansion. Numerical Heat Transfer, 3:189–207.

COSTA J.J. 1999. Test Of Several Versions For The k-ε Type Turbulence Modelling Of Internal Mixed Convection Flows, International Journal Of Heat And Mass Transfer,

EPPLER R.; Somers, D. M., 1980. A Computer Program for the Design and Analysis of Low-Speed Airfoils. NASA TM-80210,

ERŞAN H. A. 2012. Dış Türbülansın Akış Ve Isi Transferi Karakteristikleri Üzerine Etkilerinin Sayısal Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi

FANGER P. O. 1970. Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen.

HESS J.L.; A.M.O. Smith, 1967. Calculation of Potential Flow About Arbitrary Bodies. Progress in Aerospace Sciences 8: 1–138.

HUNT 1998. Lewis Fry Richardson and his contributions to mathematics, meteorology, and models of conflict. Annual Review of Fluid Mechanics 30.

Introduction to Ansys Fluent, 15.0 Realese

ISO 7730, "Ergonomics of the thermal environment, 2015. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the Pmv And Ppd Indices And Local Thermal Comfort Criteria. Third Edition.

İŞMAN M.K. 2011. Tekli ve Çoklu Çarpan Hava Jetlerinde Zorlanmış Taşınımla Isı ve Kütle Transferinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi

JAYATİLLAKA C. 1969. The Influence of Prandtl Number and Surface Roughness on the Resistance of the Laminar Sublayer to Momentum and Heat Transfer. Prog. Heat Mass Transfer. 1. 193–321.

KADER B., 1981. Temperature and Concentration Profiles in Fully Turbulent Boundary Layers". Int. J. Heat Mass Transfer. 24(9). 1541–1544.

KESEN M. 2009. Oda Klima Sistemleri Hız Ve Sıcaklık Dağılımlarının Sayısal Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi

LAUNDER B.E., Spalding, D.B. 1972. Lectures in Mathematical Models of Turbulence, Academic Press, London.

LEMAIRE A.D., May 1991. Int. Energy Agency, Energy conservation in building and community systems, Annex 20: Air flow patterns within buildings, Subtask 1: Room Air and Contaminant Flow, Research Item No 1.46NL Simulation of Simple Test Cases 2D1,2D2, Report No AN20.1-NL-90-TNO-TPD10

MILNE-THOMSON, L.M. 1973. Theoretical Aerodynamics. Dover Publications. ISBN 0-486-61980-X.

NIELSEN, P.V. 1978. RESTIVO, A., WHITELAW, J.H., The Velocity Characteristics of Ventilated Rooms, ASME Journal of Fluids Engineering, 100, 291-298, September

NIELSEN P. V. 1990. Specification of a Two-dimensional Test Case. Department of Building Technology and Structure Engineering. Aalborg University.

NIELSEN P.V. 2008. Rong, L., Simulation with different turbulence models in an annex 20 room benchmark test using Ansys CFX 11.0, Technical Report, Aulborg University,

PARSONS K.C. 2003. Human Thermal Environments, Taylor & Francis.

PITARMA R A 2004. RAMOS, J E, FERREİRA, M E and CARVALHO, M G. Computational Fluid Dynamics an advanced active tool in environmental management and education. Management of Environmental Quality: An International Journal. Vol. 15(2), pp 102-110.

PULAT E., ERSAN H.A. 2015. Numerical Simulation of Turbulent Airflow in a Ventilated Room: Inlet Turbulence Parameters and Solution Multiplicity, Energy And BulldIngs 93 · FEBRUARY 2015

RİCHARDSON L. F.; CHAPMAN S. 1965. Weather prediction by numerical process. Dover Publications.

TU J., Yeoh, H. G., Liu, C., 2008. Computational Fluid Dynamics a Practical Approach, Elsevier, USA.

VERTENSENG H.K., MALALASEKARA W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics, 2nd. Edition, Pearson Education Ltd., Harlow, Essex, UK,

VIESER, W., ESCH, T., MENTER, F. R., 2004. Heat transfer predictions using advanced two-equation turbulence models, AEA Technology.

VOIGT, F. K. 2005. Evaluating Turbulence Models For 3-D Flows In Enclosure By Topology, Ninth International IBPSA Conference Montréal, Canada August 15-18,

WILCOX, D.C. 2000. Turbulance Modelling for CFD, DCW industries, Inc., La Canada, California, USA, 314 pp

TANEBE ve Ark. 2002. Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD)

TRIPHATI B. Ve MOULIC G. 2007. Investigation of Airflow Patterns Inside a Room Rhrough the Low Re k-ε Model, Vol.25, n.1, India

TU, J., YEOH, H. G., LIU, C., 2008. Computational Fluid Dynamics a Practical Approach, Elsevier, USA.

Turbulence Modeling using ANSYS Fluent, 15.0 Realease

YÜCE B.E., PULAT E., 2015. Oda Havalandırmasında Isıl Konforun Sayısal Simülasyonu, 12. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, İzmir

ZHAI, Z., ZHANG, Z., ZHANG, W., CHEN, Q. 2002. Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD: Part 1 Summary of Prevalent Turbulence Models, ASHRAE HVAC&R Research, 13, 6, 853-870.

http://www.alarko-carrier.com.tr/tr/Medya/Makaleler/makale2.pdf (09.01.2015'te indirilmiştir.)

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Bahadır Erman YÜCE
Doğum Yeri ve Tarihi	: ERZURUM 1991
Yabancı Dili	: İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	: Bursa Atatürk Lisesi (Y.D.A.)
Lisans	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği
Bölümü	

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl İletişim (e-posta) Yayınları* : Uludağ Üniversitesi 2013 – Devam Ediyor : bahadirermanyuce@gmail.com

Yüce, B.E., Pulat E., 2015, 12. Oda Havalandırmasının Sayısal Simülasyonları, 12. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, İzmir

Tan, Fuat., Canbolat A.S., Türkan ., Yüce, B.E., 2015, Elektronik Cihazların Soğutulmasının Farklı Türbülans Modelleri ve Duvar Yaklaşımları ile Cfd Simülasyonu, 12. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, İzmir