

**BİR ODANIN DOĞAL HAVALANDIRILMASININ
SAYISAL ANALİZİ**

Cengizhan DOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2008

ANKARA

Cengizhan DOĞAN tarafından hazırlanan BİR ODANIN DOĞAL HAVALANDIRILMASININ SAYISAL ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU
Tez Danışmanı, Makine Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nuri YÜCEL
Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU
Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Doç Dr. Ö. Murat Doğan
Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 25/01/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Cengizhan DOĞAN

BİR ODANIN DOĞAL HAVALANDIRILMASININ**SAYISAL ANALİZİ****(Yüksek Lisans Tezi)****Cengizhan DOĞAN****GAZİ ÜNİVERSİTESİ****FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Ocak 2008****ÖZET**

Sosyal gelişmelere bağlı olarak konfor şartları da sürekli olarak artmaktadır. Bina içinde konfor seviyesi ya bir iklimlendirme sistemi kurularak ya da doğal yollarla sağlanabilmektedir. Bir iklimlendirme sistemi kurulması durumunda, hem ilk yatırım maliyeti hem de işletme maliyeti artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı doğal havalandırma önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal havalandırma uygulamaları son yıllarda artış göstermiştir. Bu çalışmada, bir odanın doğal havalandırması sayısal olarak incelenmiştir. Oda içindeki hava hareketi, sıcaklık dağılımı, hava içindeki kirletici gazın (karbondioksit) konsantrasyonu dağılımı değişik pencere konumları ve rüzgâr hızı için sayısal olarak simüle edilmiştir. Bunun için problemin temel denklemleri olan süreklilik, momentum, enerji ve konsantrasyon denklemi zamana bağlı olarak FLUENT paket programı kullanılarak çözülmüştür. Türbülans realizable k-ε modeli kullanılarak modellenmiştir. Simülasyonlar yaz ve kış şartları havalandırması için değişik pencere konumları için farklı rüzgar hızlarında (0, 1,0 ve 1,5 m/s) yapılmıştır. Yaz şartları için yapılan analizlerde, yazın günün serin vakitlerinde birim zamanda ne kadar ısının doğal havalandırma yoluyla dışarıya atılabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kış şartları için yapılan analizlerde, bir oda içindeki kirli havanın doğal havalandırma yoluyla ne kadar zaman içinde dışarıya atılabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Simülasyon

sonuçları, örnek alınan odanın içindeki karbondioksit konsantrasyonunun kabul edilebilir seviyeler düşmesi rüzgâr hızına ve pencere konumlarına bağlı olmakla birlikte, yaklaşık ilk 60 saniye içerisinde oda içindeki karbondioksit konsantrasyonunun %90 azaldığını göstermiştir.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Doğal havalandırma, air flow, oda, SAD
Sayfa Adedi : 136
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

**NUMERICAL ANALYSIS FOR NATURAL VENTILATION
OF A ROOM**

(M.Sc. Thesis)

Cengizhan DOĞAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2008

ABSTRACT

Depending on the social development, the indoor comfort conditions are increasing. The indoor comfort is obtained either by an air conditioning system or natural ventilation. Initial and operational cost of an air conditioning system constitutes a considerable amount of investment. Hence, in recent years, the natural ventilation has been emerging as an important alternative system for ventilation of indoors. In this study, natural ventilation of a room is numerically analysed. The airflow, temperature distribution and concentration distribution of carbon dioxide in the air were numerically simulated with different window locations and wind speed (0, 1,0 and 1,5 m/s). The time depended continuity, momentum, energy and concentration equations of the problem were solved using FLUENT software package. The turbulence was modelled using realizable k- ϵ turbulence model. The buoyancy effect was modelled considering the full effect of the density variation due to temperature distribution. Simulations were performed for the natural ventilation in summer and winter conditions. From the results of the simulations in summer conditions, the heat removal rate from the room during a cool period of the day was determined. From the results of the simulations in winter conditions, the time needed to remove the polluted air from the room was determined. The simulations showed that the time needed

for removal of the polluted air from the room depends on the window locations and wind speed. For the room considered in this study, it was observed that in the first 60 seconds of the ventilation, carbon dioxide concentration 90% decreases.

Science Code : 914.1.065
Key Words : Natural convection, air flow, room, CFD
Page Number : 136
Adviser : Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, hocam Prof. Dr. Haşmet TÜRKOğLU'na, FLUENT programında tecrübelerinden faydalandığım Mak. Müh. Emre ÖZTÜRK'e, çalıőmam boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Mak. Müh. Mehmet Gürkan ALTUNBAŐ'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Eőim Filiz YILMAZ DOğAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	7
3. FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL MODEL.....	12
3.1. Problemin Tanımlanması.....	12
3.2. Matematiksel Formülasyon	13
3.2.1. Kütle korunumu denklemi	14
3.2.2. Momentum denklemleri.....	14
3.2.3. Enerji denklemi.....	16
3.2.4. Konsantrasyon denklemi	16
3.2.5. Türbülans kinetik enerjisi (k) denklemi.....	17
3.2.6. Türbülans enerjisinin yayılım oranı (ϵ) denklemi.....	17
3.4. Sınır Şartları	19
3.4.1. Başlangıç şartı.....	19
3.4.2. Pencerelelerdeki sınır şartları	19
3.4.3. Duvar sınır şartı	19

Sayfa

3.4.4. Simetri sınır şartı.....	20
4. SAYISAL ÇÖZÜM	21
4.1. Fluent Bilgisayar Programı.....	21
4.1.1. Gambit modülü.....	21
4.1.2. Xserver (Hummingbird Connectivy) modülü	22
4.1.3. Tgrid modülü	22
4.1.4. Fluent modülü.....	22
4.2. Fluent'in Bu Çalışmada Kullanımı	22
4.2.1. Uygun grid (kafes) yapısının oluşturulması ve seçilmesi.....	22
4.2.2. Uygun relaksasyon parametrelerinin seçilmesi	23
4.2.3. Yakınsama kriterleri	24
4.2.4. Matematik ve sayısal modelin doğruluğunun test edilmesi.....	25
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	27
5.1. Yaz Koşullarında Doğal Havalandırma Analizleri.....	27
5.1.1. Tek pencereleli oda doğal havalandırılmasının yaz koşulları için analizi.....	28
5.1.2. İki pencereleli oda doğal havalandırılmasının yaz koşulları için analizi.....	31
5.2. Kış Koşullarında Doğal Havalandırma Analizleri.....	38
5.2.1. Birinci durum	39
5.2.2. İkinci durum.....	59
5.2.3. Üçüncü durum	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	104
KAYNAKLAR	106

Sayfa

EKLER.....	108
EK-1 Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi.....	109
EK-2 Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	136

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve konsantrasyonları	3
Çizelge 3.1. “k-ε” Türbülans modeli için kullanılan ampirik sabit değerler	18
Çizelge 4.1. Yaz şartlarında yapılan simülasyonda odanın değişik hücre sayılarına bölünerek yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar.....	23
Çizelge 4.2. hesaplamalarda kullanılan relaksasyon değerleri.....	24
Çizelge 4.3. Literatürde yapılan çalışmanın tekrar çözülmesi ile elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması.....	26
Çizelge 5.1. Yaz şartlarında yapılan analizlerde sayısal olarak incelenen pencere konumları için bulunan sonuçlar	37
Çizelge 5.2. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda kullanılan pencere konumları	38

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Simülasyonlarda kullanılan oda geometrisi ve koordinat sistemi	13
Şekil 4.1. Yaz şartlarında yapılan simülasyonlarda kalıntıların iterasyonla değişimi	24
Şekil 4.2. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda kalıntıların ilk 900 iterasyonda (30 zaman adımında) değişimi.....	25
Şekil 4.3. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda kalıntıların iterasyonla değişimi	25
Şekil 5.1. Yaz şartlarında yapılan analizlerde kullanılan oda geometrileri	28
Şekil 5.2. Yaz şartlarında tek pencereli oda analizlerinde kullanılan çözüm alanı	29
Şekil 5.3. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda tek pencereli odanın simetri düzlemindeki hız dağılımı	30
Şekil 5.4. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda tek pencereli odanın simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı	30
Şekil 5.5. Yaz şartlarında iki pencereli oda analizlerinde kullanılan çözüm alanı	31
Şekil 5.6. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda iki pencereli odanın simetri düzlemindeki hız dağılımı	32
Şekil 5.7. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda iki pencereli odanın simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı	33
Şekil 5.8. Yaz şartlarında 1 m/s rüzgar hızında simetri düzlemindeki hız dağılımı	34
Şekil 5.9. Yaz şartlarında 1 m/s rüzgar hızında simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı	34
Şekil 5.10. Yaz şartlarında 1.5 m/s rüzgar hızında simetri düzlemindeki hız dağılımı	35
Şekil 5.11. Yaz şartlarında 1.5 m/s rüzgar hızında simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı	36

Şekil	Sayfa
Şekil 5.12. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda birinci durumdaki oda geometrisi.....	40
Şekil 5.13. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	40
Şekil 5.14. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	40
Şekil 5.15. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	41
Şekil 5.16. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	41
Şekil 5.17. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	42
Şekil 5.18. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	42
Şekil 5.19. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	43
Şekil 5.20. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	43
Şekil 5.21. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	44
Şekil 5.22. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	44

Şekil	Sayfa
Şekil 5.23. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	45
Şekil 5.24. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	45
Şekil 5.25. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	46
Şekil 5.26. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	47
Şekil 5.27. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	47
Şekil 5.28. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	48
Şekil 5.29. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	49
Şekil 5.30. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	49
Şekil 5.31. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	50
Şekil 5.32. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	50
Şekil 5.33. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	51
Şekil 5.34. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı	51

Şekil	Sayfa
Şekil 5.35. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	52
Şekil 5.36. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	52
Şekil 5.37. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	53
Şekil 5.38. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	53
Şekil 5.39. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	54
Şekil 5.40. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	55
Şekil 5.41. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	55
Şekil 5.42. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	56
Şekil 5.43. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	56
Şekil 5.44. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı	57
Şekil 5.45. Kış şartlarında çeşitli rüzgar hızlarında 1. durumdaki oda içindeki hava sıcaklığının zamanla değişimi.....	58
Şekil 5.46. Kış şartlarında çeşitli rüzgar hızlarında 1. durumdaki oda içindeki kabondioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi	59
Şekil 5.47. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda ikinci durumdaki oda geometrisi.....	60

Şekil	Sayfa
Şekil 5.48. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	60
Şekil 5.49. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	61
Şekil 5.50. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	61
Şekil 5.51. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	62
Şekil 5.52. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	63
Şekil 5.53. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	63
Şekil 5.54. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	64
Şekil 5.55. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	64
Şekil 5.56. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	65
Şekil 5.57. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	65
Şekil 5.58. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.59. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	66
Şekil 5.60. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	68
Şekil 5.61. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	68
Şekil 5.62. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	69
Şekil 5.63. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	69
Şekil 5.64. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	70
Şekil 5.65. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	71
Şekil 5.66. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	71
Şekil 5.67. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	72
Şekil 5.68. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	72
Şekil 5.69. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı	73
Şekil 5.70. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	74

Şekil	Sayfa
Şekil 5.71. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	74
Şekil 5.72. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	75
Şekil 5.73. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	75
Şekil 5.74. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	76
Şekil 5.75. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	77
Şekil 5.76. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	77
Şekil 5.77. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	78
Şekil 5.78. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	78
Şekil 5.79. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı	79
Şekil 5.80. Kış şartlarında çeşitli rüzgar hızlarında 2. durumdaki oda içindeki hava sıcaklığının zamanla değişimi.....	80
Şekil 5.81. Kış şartlarında çeşitli rüzgar hızlarında 2. durumdaki oda içindeki kabondioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi	81
Şekil 5.82. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda üçüncü durumdaki oda geometrisi.....	82
Şekil 5.83. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	82

Şekil	Sayfa
Şekil 5.84. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	83
Şekil 5.85. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	83
Şekil 5.86. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	84
Şekil 5.87. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	85
Şekil 5.88. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	85
Şekil 5.89. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	86
Şekil 5.90. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	86
Şekil 5.91. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	87
Şekil 5.92. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	88
Şekil 5.93. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	88
Şekil 5.94. Kış şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımı.....	89

Şekil	Sayfa
Şekil 5.95. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	90
Şekil 5.96. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	90
Şekil 5.97. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	91
Şekil 5.98. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	91
Şekil 5.99. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	92
Şekil 5.100. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	93
Şekil 5.101. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	93
Şekil 5.102. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	94
Şekil 5.103. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	94
Şekil 5.104. Kış şartlarında rüzgar hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı	95
Şekil 5.105. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	96
Şekil 5.106. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki sıcaklık dağılımı	96

Şekil	Sayfa
Şekil 5.107. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı	97
Şekil 5.108. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	97
Şekil 5.109. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	98
Şekil 5.110. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen XY düzlemindeki hız dağılımı.....	99
Şekil 5.111. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	99
Şekil 5.112. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen YZ düzlemindeki hız dağılımı.....	100
Şekil 5.113. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	100
Şekil 5.114. Kış şartlarında rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3.durumdaki odanın yatay orta XZ düzlemindeki hız dağılımı.....	101
Şekil 5.115. Kış şartlarında çeşitli rüzgar hızlarında 3. durumdaki oda içindeki hava sıcaklığının zamanla değişim.....	102
Şekil 5.116. Kış şartlarında çeşitli rüzgar hızlarında 3. durumdaki oda içindeki kabondioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Toplam alan, m^2
C	Konsantrasyon
Deff	Difüzyon katsayısı
Gr	$= \frac{gD_h^3 \Delta T_0 / T_m}{\nu^2}$, Grashof sayısı
g	Yerçekimi ivmesi, m/s^2
k	Isı iletim katsayısı, $W/m.K$
P	Basınç, Pa
P_∞	Ortam basıncı, Pa
P_w	Binanın dış cephesine etki eden rüzgâr Basıncı, Pa
Pr	Prandtl sayısı
Re	$= \frac{U_r D_h}{\nu}$, Reynold sayısı
Q	Akış debisi, m^3 / s
T	Sıcaklık, K
T_∞	Dış ortam sıcaklığı, K
u	x - yönündeki hız bileşeni, m/s
v	y - yönündeki hız bileşeni, m/s
w	z - yönündeki hız bileşeni, m/s
x	Oda uzunluğu yönündeki koordinat, m

Simgeler	Açıklama
y	Oda yüksekliği yönündeki koordinat, m
z	Oda genişliği yönündeki koordinat, m
x	Oda uzunluğu yönündeki koordinat, m
α	$= \frac{k}{\rho c_p}$, ısı yayılım katsayısı, m ² /s
β	$= -\frac{1}{\rho} \frac{(\rho_\infty - \rho)}{(T_\infty - T)}$, hacimsel genleşme katsayısı, K ⁻¹
Δ	Fark
ρ	Akışkan yoğunluğu, kg/m ³
ν	$\frac{\mu}{\rho}$, Kinematik viskozite, m ² /s
μ	Dinamik viskozite, kg/m.s

Kısaltmalar	Açıklama
HVAC	Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme
LES	Geniş eddy simülasyonu
NPL	Nötr basınç yüksekliği
RANS	Ortalama Reynolds Navier- Stokes eşitliği
RNG	Renormalisation group
SAD/(CFD)	Sayısal akışkanlar dinamiği

1. GİRİŞ

Günümüzde kapalı alanlarda termal konfor ve iyi bir hava kalitesi elde etmek için mekanik havalandırma yaygın olarak kullanılmaktadır. Havalandırma tesisinin oluşturulmasında ana veri havalandırma miktarıdır. Bu hava miktarının belirlenmesi, insanların temiz hava ihtiyacı, belirli kirleticilerin derişiklik seviyelerinin limit değerler altında tutulması, basınç kontrolü ve sıcaklık kontrolü gibi bazı temel kriterlerden biri veya birkaçı esas alınarak yapılır. Geçmiş dönemlerde enerji maliyetleri sistemin tasarımında önemli belirleyici bir parametre oluşturmuştur. Günümüzde enerji maliyetleri yanında, iç hava kalitesi ikinci bir belirleyici parametre haline gelmiştir. Havalandırma, ısıtma ve iklimlendirme HVAC (ısıtma / havalandırma / iklimlendirme) sistemlerinin enerji tüketimi oldukça yüksektir. Bina içindeki servislerde tüketilen enerjinin yaklaşık %68'i HVAC sistemlerine gitmektedir [Orme, 2001]. Tüketilen bu enerji büyük oranda fosil kaynaklı olup, küresel ısınmaya ve atmosferik kirlenmeye sebep olmaktadır.

Havalandırmayı kapalı bir hacimdeki havanın değiştirilmesi işlemi olarak tarif edebiliriz. Havalandırmanın amacı;

1. Ortamdaki havanın oksijen içeriğinin azalmasını önlemek,
2. Ortamdaki havanın içerisindeki karbondioksit gazı, vücut kokuları, sigara dumanı, nem içeriğinin artışıını önlemek,
3. Makinelere, insanlardan ve aydınlatmadan kaynaklanan ortamdaki ısı kazancını dışarı atmak,
4. Makinelere, pişirmelerden ve insanlardan kaynaklanan ortamdaki nem kazancını dışarı atmak,
5. Zehirli gazları ve tozu ortamdaki uzaklaştırmak,
6. Bakteri ve zararlı mikro organizma sayılarını düşürmektir.

Havalandırmanın amacı yukarıdaki nedenlerden biri veya birkaçı olabilir.

Doğal Havalandırma, binalarda kullanılan enerjiyi azaltan alternatif enerji kazanım yöntemi olmasından, taze havanın içeriye alınmasından ve HVAC sistemlerinin yol açtığı sağlık problemlerinden dolayı son yıllarda önemi artmıştır. Bu sebeplerden dolayı binalarda doğal havalandırma büyük önem kazanmıştır. Doğal havalandırmanın HVAC sistemlerine göre avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz,

1. İlk yatırım maliyetlerinden (%15 civarında) ve işletme maliyetlerinde (%40 civarında) düşüş sağlayabilir,
2. Enerji tüketimini azalttığından çevre kirliliğinin (CO_2 emisyonu) ve sera etkisinin azalmasına katkıda bulunur,
3. Ozon tabakasının incelmeye sebep olan gazların daha az kullanılmasını sağlar,
4. Bakım maliyetleri daha düşüktür,
5. Tesisat yeri ve enerji dağıtım yönlerinden daha az yer gerektirir,
6. Şimdiye kadarki uygulamalarda çok daha az hasta bina sendromu şikâyetleri rapor edilmiştir.

Doğal havalandırmada; havalandırmayı gerçekleştiren temel kuvvetler rüzgâr gücü ve sıcaklık farkından kaynaklanan kaldırma kuvvetleridir. Maalesef bu doğal güçler ortadan kalktığında doğal havalandırma durur. Bu nedenle bazı zamanlarda mekanik havalandırma gerekmektedir. Günümüzdeki yapılar genellikle tamamen fan gücüyle gerçekleşen mekanik havalandırmaya bağlıdır. Ancak enerji tasarrufu, iç hava kalitesi ve son yıllarda öne çıkan sürdürülebilirlik kavramı (1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan bir raporda sürdürülebilirlik, “Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılama yetisinden yoksun bırakmadan karşılamak” olarak tanımlanmaktadır.) yeni sistemlerin ve çözümlerin geliştirilmesini zorlamaktadır. Bu çerçevede içinde yapı teknolojisinde yeni yönelimler ortaya çıkmıştır. Bu yeni yaklaşıma uygun yapılarda doğal havalandırma büyük önem taşımaktadır. Mekanik sistemler bu yeni yaklaşıma göre, ancak doğal havalandırma yetersiz kaldığında devreye girmelidir. Bu konularda bütün dünyada yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Konfora etki eden faktörler

Yapılan çalışmalar insan yaşamının %70'inin kapalı ortamlarda geçtiğini göstermektedir. Burada kapalı ortam terimi konutları, okulları, resmi binaları, taşıtları kapsamaktadır. Eğer iş yerleri de eklenecek olursa insan hayatının hemen hemen %90'ı kapalı ortamda geçmektedir [Güler, 1994]. İç hacimlerdeki insan yoğunluğunun ileride daha fazla olacağı ve bundan kaynaklanan problemlerin artacağı rahatça tahmin edilebilir. Yine son yıllarda yapılan çalışmalarda hasta bina sendromu gibi bir kavram ortaya çıkmış ve iç hacimlerdeki kirlilikten kaynaklanan hastalıklar teşhis edilmiştir. Konu ile ilgili çalışmalar buna paralel olarak artmış, bilimsel makaleler yayımlanmış, bilimsel toplantılar yapılmış ve yaptırım gücü olan yeni standartlar ortaya çıkmıştır. Bu standartlardan ASHRAE 6289 numaralı olanı en geniş biçimde konuyu ele almaktadır. Bu standardın kuralları ve örneği enerji tasarrufu ilkeleri ile çatışması en çok tartışılan konulardan biri olmuştur. Çizelge 1.1'de kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve konsantrasyonları gösterilmektedir [Lynech, 1960].

Çizelge 1.1. Kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve konsantrasyon sınır değerleri [Lynech 1960]

Kirleticisi	Kaynak	Konsantrasyon sınırı
Solunabilir parçalar	Tütün dumanı, Sobalar, Spreyler, Ocaklar	0,05-0,7 mg/m ³
Karbonmonoksit	Sobalar, Ocaklar, Gazlı ısıtıcılar	1-115 mg/ m ³
Azotdioksit	Gazlı ocaklar, Sigara	0,05-1,0 mg/ m ³
Kükürtdioksit	Yanma	0,02-1,0 mg/ m ³
Karbondioksit	Solunum	600-9 000 mg/ m ³
Benzen, toluen vb.	Solvent, yapıştırıcı	0,01-1,0 mg/ m ³

Çizelge 1.1 (Devam). Kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve konsantrasyon sınır değerleri [Lynech 1960]

Ozon	Elektrik arkı, UV ışık	0,02-0,4 mg/ m ³
Radon ve türevleri	İnşaat maddeleri	10-3 000 Bp/m ³
Asbest	İzolasyon, yangın	1 + Lif/cm ³
Mineral lifleri	Değişik araç ve gereçler	100-10 000 mg/m ³

Doğal havalandırmanın amacı insan konforunu sağlamak olduğuna göre öncelikle bunu nelerin etkilediğini incelemek gerekir. Bunlar; kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı (veya bağıl nem), insan vücudu etrafındaki hava hareketi, çevrenin ortalama radyant sıcaklığı ve iç hava kalitesi olarak verilebilir. Sıcak bölgelerde tesis edilecek iklimlendirme sistemleri sıcak/kuru veya sıcak/nemli gibi çevresel şartlara bağlı olarak seçilebilir. Doğal havalandırma sistemlerinin verimliliği sıcak ve kuru iklimlerde çok daha yüksektir. Bina çevresinin gürültü, hava kirliliği ve nem düzeyi ile binanın soğutma yüküne bağlı olarak doğal havalandırma kararı verilmeli ve aktif sistemler ile uyumlu biçimde tasarlanmalıdır. Günümüzde bu tür sorunların çoğu çözülmüş ve yüksek binalarda dahi, doğal havalandırma yapılabilmesini sağlayacak cephe tasarımları geliştirilmiştir. Yüzeyleri arasında, doğal havalandırmaya olanak veren çift cephe boşluğu taşıyan ilginç yapı örnekleri bulunmaktadır. Örneğin içteki cam cephe açılabilir kanatlara sahipken dıştaki cam cephe tamamen kapalı bırakılmakta ve baca etkisi ile cam yüzeyler arasındaki hava boşluğundan kontrollü doğal havalandırma yapılabilmektedir. Ancak bu tür analizlerin yapılabilmesi için CFD yazılımlarına (bilgisayar simülasyonları) ihtiyaç vardır.

Doğal havalandırmanın sıcaklık farklarından kaynaklanan yoğunluk farkları ile rüzgâr gücü sonucu oluştuğunu daha önce belirtmiştik. Dikdörtgen biçimli bir binanın herhangi bir yüzeyinden giren rüzgâr, karşılaştığı yüzeyde pozitif, arka yüzeyde negatif basınç oluşturmaktadır. Dolayısıyla hava pozitif basınç olan yüzeydeki

açıklıklardan içeri girmek, negatif olan yüzeydeki açıklıklardan dışarı çıkmak istemektedir. İç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farklılıkları basınç farklılıklarına sebep olan hava yoğunluğunda değişimlere yol açmaktadır. İç ortam hava sıcaklığı dış ortamdaki yüksek olduğunda, içerdeki hava binanın en yüksek kotundan dışarı, daha serin dış hava ise binanın alçak kotlarından içeri girmektedir. Bu iki hava hareketi birbirlerini etkilemeyecek şekilde düşünülmelidir. Bu husus binanın mimarisinin ve açıklıkların, doğal havalandırma şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanması ile dikkate alınmalıdır. Havalandırmanın amaçlarından birisi de yeterli iç hava kalitesi sağlamaktır. İç ve dış sıcaklıklara bağlı olarak havalandırma soğutma etkisi de yapacaktır.

İyi bir tasarım binada çalışanlar için sağlık, güvenlik ve konfor şartlarını yerine getirebilmelidir. Bu bağlamda fazla havalandırma enerji kayıplarına ve konforsuzluğa sebep olabilir. *İyi iç hava kalitesi için kış havalandırmasında hava kalitesi ile ısı kayıplarının dengesi iyi kurulmalıdır.* Bunun yanında yaz havalandırması için aşırı sıcaklık artışları engellenmelidir. Yapılan araştırmalar yeterli hava kalitesi için ofislerde 3-6, sınıflarda 2-4, tiyatrolarda 6-10, depo gibi yerlerde 1-2 değişim/saat'lik hava değişiminin yeterli olacağını göstermiştir [Çakmanus, 2006]. Rüzgâr hızı ve gerekli hava değişim sayısı bilindiğinde bina cephelerinde doğal havalandırma için bırakılması gereken açıklıklar hakkında yeterli fikir sahibi olunabilir.

Doğal havalandırma, kontrol edilemeyen kuvvetlerin etkisi ile meydana geldiğinden, iç mekânlarda konfor şartlarının kontrolü her zaman mümkün değildir. Fakat kabul edilebilir bir konfor sağlamak için çoğu zaman komplike kontrol sistemlerine gerek olmayabilir. Ancak kabul edilebilir oranda bir aralıkta sıcaklık kontrolü ve yeterli miktarda taze hava sağlayacak bir imkân sağlanabilmelidir. Çünkü uygun ortamlarda çalışmak iş verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca bazı araştırmalar personelin psikolojik olarak doğal havalandırılan ve açılan pencereleri olan binaları tercih ettiğini göstermiştir. Diğer yandan havalandırma ısıl konfor ile birlikte düşünülmesi gereken bir husustur. Yani çalışılan mahalde yoğun ısı kazançları varsa doğal havalandırmanın sınırlı olabilen soğutma etkisi iyi hesaplanmalıdır. Çünkü eğer iç ısı kazançları veya çevre kirliliği fazla ise karışık mod veya sadece mekanik

havalandırma tercih edilmelidir. Pencere yerleştirilmesi, boyutlandırılması ve hava akış düzenleri bir mekânda oluşacak hava akımı, binanın çevresindeki hava basınç düzeyleri, hava giriş noktalarının yerleri, boyutları ve havanın sıcaklık düzeyine bağlıdır. Pencere yerleri bir mekândaki hava hareket yönünü belirleyen en önemli etkidir. Hava giriş ve çıkış noktaları arasında doğrudan bir aks olmaması ve giriş noktasının etkin rüzgâr yönüne dik doğrultuda bulunması durumunda, hava akımı doğrudan dışarı yönelmekte, mekânın diğer bölgelerinde çok az hava hareketi oluşmaktadır. Giriş alanlarının çıkış alanlarından daha büyük boyutlu tasarlanması önerilmektedir. Pencere komşu duvarlara yerleştirilmesi ve rüzgârın da bu pencerelerden en az birine dik doğrultuda gelmesi durumunda da mekânda hızlı akım oluşmaktadır.

Karşılıklı havalandırma durumunda pencere boyutlarının, hava akış hızını belirlemesi açısından büyük önemi vardır. Pencere yalnızca bir duvar üzerinde yer aldığı mekânlarda pencere boyutları çok önem taşımayabilir. Mekâna havanın girebilmesi için hava çıkış olanağının da sağlanmış olması gerekmektedir. Karşılıklı pencereler yardımıyla havalandırılan mekânlarda açıklık boyutlarındaki artış ancak hem giriş, hem de çıkış bölgelerinin birlikte büyütülmesi ile mümkün olmaktadır. Bu durumda hava akış hızının küçük açıklığın boyutlarıyla doğrudan ilişkili olduğu unutulmamalıdır.

Havalandırılan oda içerisindeki akışın analizi için SAD (sayısal akışkanlar dinamiği) modeli önerilmektedir. Hava akışları için SAD programı detaylı tanımlar verdiği için yaygın olarak kullanılır. SAD uygulamaları, türbülans modellerinin geliştirilmesiyle gittikçe popüler olmaktadır. Bu modeller arasında olan “k-ε modeli”, “Ortalama Reynolds Navier-Stokes” eşitliği (RANS) ve “Geniş Eddy Simülasyonu (LES)” en yaygın olanlarıdır. Bu çalışmada FLUENT paket programı ve k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde binaların ve yaşam ortamlarının, mekanik ve/veya doğal havalandırma kullanılarak, uygun konfor şartlarının oluşturulması üzerine birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan doğal havalandırma ile bir ortamın havalandırılması analizleri genelde yaz koşullarında gece soğutmasının performansının araştırılması üzerine yapılmıştır. Ayrıca bir ortamın doğal havalandırılmasında türbülans modellerinin performanslarının araştırılması ile ilgili de birçok çalışma mevcuttur.

Bir pencere açıklığı ile tek yönlü doğal olarak havalandırılan bir odadaki taze hava dağılımının incelendiği bir çalışmada [Gan, 2000], 15x3x3 metre ebatlarındaki tek pencereli bir oda da, pencere boyutlarını değiştirilerek, sadece bouyancy etkileri ile taze havanın oda içine yayılma derinliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada “k-ε” türbülans modeli kullanılmıştır. Zorlanmış konveksiyonda, sınır tabakadaki hızın, yüzeyden uzaklıkla arttığı; doğal konveksiyonda, hızın önce yüzeyden artan uzaklık ile attığı ve bir maksimum değere ulaşır sonra azaldığı belirtilmiştir. Etkin derinliğin, oda ısı kazançları ile birlikte açıklığın genişlik ve yüksekliğinden etkilendiği görülmüştür. Dış ortam tasarım sıcaklığı da etkin derinliği etkileyebilmektedir.

Türkiye’de yeni binaların dizaynında doğal havalandırma potansiyeli üzerine yapılan bir çalışmada [Ayata ve Yıldız, 2005], yapılan simülasyona göre 3 farklı bina geometrisi 1:1 - 1:1,14 - 1:1,7 boyutsal oranları ile 1 m/s ve 1,5 m/s rüzgar hızlarında, kare biçimli bir bina ile iki dikdörtgen biçimli binaya konfor şartları uygulanmıştır. Kare kesitli binanın, dikdörtgen kesitli binalara göre göreceli olarak daha düşük rüzgâr potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Rüzgâr tüneli içinde bulunan kübik bir odanın (250x250x250 mm) içinde hava akışları ve basınç dağılımının araştırıldığı bir çalışmada [Evola ve Popov, 2005], üç durum ele alınmıştır.

Durum 1: Rüzgârın geldiği yöndeki duvarda tek bir açıklığın olduğu (tek taraflı)

Durum 2: Rüzgâr almayan duvarda tek bir açıklığın olduğu (tek taraflı)

Durum 3: Çapraz havalandırmanın olduğu (çift taraflı)

Yapılan çalışmada bina etrafında ve içinde hız ve basınç dağılımı tespit edilmiştir. Bu tespitlerde yukarıda belirtilen üç farklı konfigürasyon için havalandırma oranları ele alınmıştır. Çalışmalarda k- ϵ ve RNG modeli kullanılmış, özellikle RNG modeli kullanıldığında oda içindeki akış dağılımını uygun biçimde ifade etmek mümkün olmuştur. Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında “RNG” modeli ile yapılan çözümde, çapraz havalandırmada %6, tek taraflı havalandırmada ise %2 sapma miktarı tespit edilmiştir.

Rüzgâr ile tahrik havalandırmasında LES modelinin araştırıldığı bir çalışmada, kübik bir modelin etrafında ve içindeki basınç ve hız dağılımlarını tespit etmede “LES” modeli kullanılmıştır [Jiang ve Alexander, 2003]. Deneysel ve nümerik sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. LES modelleri, çapraz doğal havalandırmanın yapılacağı grup binalar için de başarılı sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte LES modelleri zaman alan modeller olduğu için çok hassas sonuçların tespitine ihtiyaç duyulmadıkça kullanılmazlar.

LES ve RANS modellerinin doğal havalandırma deneyinde karşılaştırıldığı bir çalışma sonucunda, RANS modelinin havalandırma oranının belirlenmesinde uygun olamayacağı tespit edilmiştir [Jiang ve Chen, 2001]. Doğal havalandırma simülasyonlarında RANS modelinin daha yaygın uygulanabilmesi için modelin üzerinde daha birçok araştırmanın yapılması gerektiğini belirtilmiştir. Model binada; hava dağılımı, basınç dağılımı ile etraflıca bilgiler elde edilerek Jiang’ın deneysel ölçümleriyle karşılaştırılmıştır.

Yatay kapalı bir ortamda ayrık ısı kaynaklarından olan doğal taşınım akışının sayısal incelemesinin yapıldığı bir çalışmada, Duvarlarında düzlemsel ayrık ısı kaynakları

bulunan iki boyutlu yatay bir kapalı ortamda, sürekli şartlarda, laminer doğal taşınım akış özellikleri sayısal olarak incelenmiştir [Başkaya ve Alpay, 2003]. İki boyutlu laminer sayısal modellemeler, tam eliptik korunum denklemlerinin sonlu hacimler metoduna dayalı sayısal akışkanlar dinamiği (SAD) ile çözülmesi ile elde edilmiştir. Isı transferleri ve akış özellikleri hız vektörleri ile sabit sıcaklık kontur grafikleri ile incelenmiştir. Ortamın duvar sıcaklıkları ile ısıtıcı sıcaklıkları sabit tutulmuştur. Değişik ayrık ısı kaynakları konumları altında altı değişik durum incelenmiştir. Ayrık ısı kaynakları konumlarının önemli derecede doğal taşınım akış özelliklerini değiştirdiği gözlenmiştir. Her bir incelenen durum için farklı hava hareketi karakteristikleri elde edilmiştir.

CFD ile bir atrium ile bağlantılı tek odalı bir alandaki doğal havalandırmanın incelendiği bir çalışmada, atrium havalandırılan alandan daha yüksek olup, Oda içinde oluşturulan ısı ile atriumun ısınması sağlanmıştır [Ji ve ark., 2005]. Atrium içinde bir akış tabakası oluşturmuş, deney sonuçları analitik model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. CFD modeli ile hava akışı, sıcaklık dağılımı, ventilasyon akış oranları tahmin edilmiş, bulunan sonuçların analitik ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu çalışma CFD'nin basit bağlantılı alanlardaki doğal havalandırma hareketinin perforansı incelenmiştir.

CFD modeli kullanılarak tek yönlü havalandırmanın, aynı zamanda analitik ve ampirik yöntemlerin incelendiği bir çalışmada, CFD modelini iç hacimdeki buoyancy etkilerini, rüzgâr etkisini ve bunların kombinasyonlarını tespit etmekte kullanılmıştır [Allocca ve ark., 2003]. Buoyancy akımı için CFD sonuçları ile yarı analitik sonuçlar arasında %10 fark bulunmuştur.

Tek taraflı geniş açıklıklı bir oda için doğal havalandırmanın CFD ile çözümünün yapıldığı bir çalışmada, odanın içinde ve dışında havalandırma oranları ve hava akış karakteristikleri detaylı olarak ölçülmüştür [Jiang ve Chen, 2003]. Deneysel sonuçlar iki CFD modelinin geçerliliği için kullanılmıştır. Bunlar RANS modeli ve LES

modelidir. (RANS Navier- Stokes eşitliği), LES (geniş eddy simülasyonu). Burada LES modeli RANS modelinden daha iyi sonuçlar verdiğini tespit edilmiştir.

Tropik binalardaki enerji verimliliğini sağlamakla ilgili yapılan bir çalışmada, doğal havalandırma ve daha iyi bioklimatik dizayn ile binalarda uygulanan iklimlendirme miktarının azaltılabileceğini tespit edilmiştir (mekanik havalandırma) [Bastide ve ark., 2006]. Doğal havalandırmada, sıcak ve nemli iklimlerde dizayn yaparken hava akış yolları ve binaların tasarım şekilleri, önem kazanmaktadır. İlk adım olarak, bina içi ve dışı arasında enerji transferi için noktasal ve bölgesel zon modelleri geniş oranda uygulanmıştır. İkinci adım olarak, geniş bir alanda üç boyutlu hava hızı analizi değerlendirilmiştir. Bu işlem yapılırken CFD modeli detaylı olarak kullanılmıştır. İyi havalandırılmış bir yaşam alanı için yeni bir yaklaşım modeli temel alınmıştır. İyi havalandırılmış bir alan için bina çevresindeki hava akışının zaman analizi yapılmalıdır. 12 yaşam birimi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Farklı şekillerde açıklıklar bulunan bu birimler için elde edilen havalandırma performansları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan bir çalışmada, bir odanın doğal havalandırılması analizlerinde, sıcaklık ve rüzgar etkilerini gerek ikisini bir arada gerekse ayrı ayrı olarak detaylı analiz yapılmış, sonuçta ampirik bir model geliştirilmiştir [Phaff ve Gids, 1980]. Çalışmalarda 3 tane bina ele alınmış, bunların farklı yönlere bakan en alttaki daireleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İzli gaz tekniğini kullanılarak, geniş bir pencerenin içinden geçen havalandırma debisini etkileyen, rüzgâr ve yükselme etkileri (buoyancy) incelenmiştir. Sonuçta ampirik bir model geliştirilmiştir. Bu formül rüzgârın, sıcaklığın ve türbülansın, tek taraflı havalandırmada etkilerini göstermektedir. Havanın hız değerlerindeki değişimler gözlemlenerek türbülans etkileri tayin edilmiştir. Oluşturulan ampirik modelle etkili hız hesaplamış, (V_{eff}) efektif hız, yarı pencere açıklığında ölçülen debiden direk olarak aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$V_{eff} = \frac{\nabla_{total}}{A/2} = \sqrt{\frac{2}{g}(\Delta p_{wind} + \Delta p_{stack} + \Delta p_{turbulence})} = \sqrt{C_1 V_{met}^2 + C_2 h \Delta T + C_3} \quad (2.1)$$

Burada ∇_{total} toplam hava debisi, V_{met} meteorolojik rüzgar hızı, h pencerenin düşey yüksekliği, C_1 rüzgar hızı sabiti, C_2 yükselme sabiti, C_3 türbülans sabitidir. Bazı deneyler sonucunda $C_1=0,001$, $C_2=0,0035$, $C_3=0,01$ olarak bulunmuştur. Bu değerler Eş.2.1'de yerlerine yazılarak

$$V_{eff} = \frac{\nabla_{total}}{A/2} = \sqrt{0,001 V_{met}^2 + 0,0035 h \Delta T + 0,01} \quad (2.2)$$

eşitliği elde edilmiştir.

Bu çalışmada iki farklı problem ele alınmıştır. Birinci problemde bir odanın yaz koşullarında doğal havalandırılması ile ilgili analizler, ikinci problemde ise bir odanın kış koşullarında doğal havalandırılması ile ilgili analizler yapılmıştır. Bu simülasyonlarda dış ortam hava hızının (rüzgâr hızının) sıfır olduğu kabul edilerek, havalandırmanın sadece sıcaklık farkından kaynaklanan kaldırma kuvveti etkisiyle olduğu durumda ve belirli rüzgâr hızlarının olduğu durumlarda analizler yapılmıştır. Analizlerde akışın türbülanslı olduğu kabul edilmiş ve k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Simülasyonlarda FLUENT paket programı kullanılmıştır.

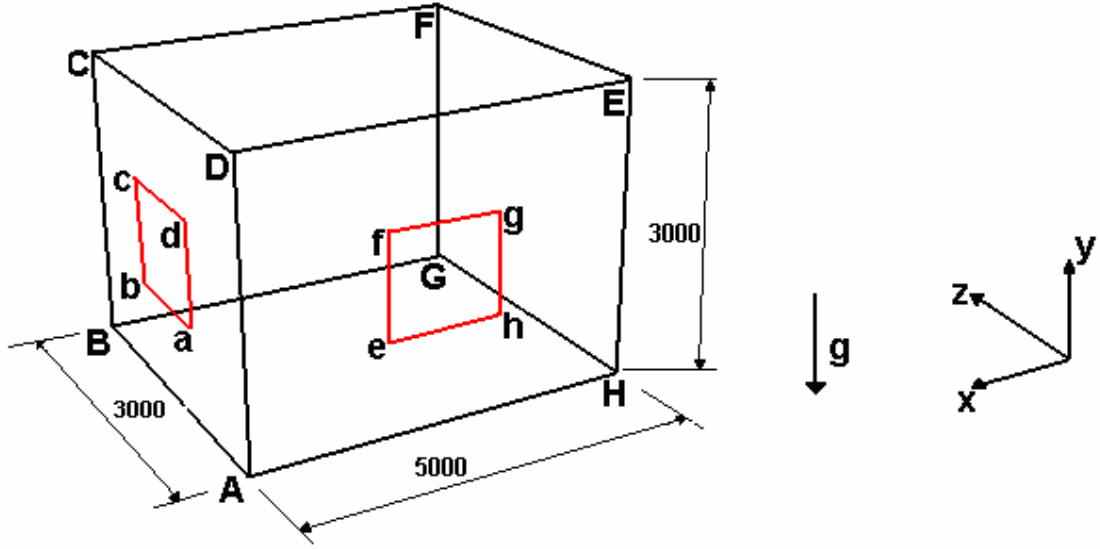
3. FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde problemin tanımlanması, fiziksel ve matematiksel modelleme, çeşitli varsayımlar, kullanılan koordinat sistemi ve hesaplama bölgesi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada, birincisi yaz koşullarında ikincisi ise kış koşullarında doğal havalandırma olmak üzere iki problem ele alınmıştır. Yaz koşulları için yapılan simülasyonlarda iki farklı pencere konumu ele alınmış belirli iç ve dış hava sıcaklıklarında odanın, rüzgâr hızının sıfır olduğu durumda ve belirli rüzgâr hızlarının olduğu durumlarda havalandırılmasının analizi yapılmıştır. Kış koşulları için yapılan analizlerde ise üç farklı pencere konumu ele alınmış, belirli iç ve dış hava sıcaklıklarında, oda içinde kirletici gaz olduğu varsayılarak odanın, rüzgâr hızının sıfır olduğu durumda ve belirli rüzgâr hızlarının olduğu durumlarda doğal havalandırılmasının analizi yapılmıştır. Ele alınan tipik bir problemin geometrisi ve koordinat sistemi Şekil 3.1’de verilmiştir.

Bir odanın doğal havalandırılmasında, iç ve dış hava sıcaklık farkından dolayı ve rüzgârın etkisiyle dış ortamdaki temiz ve soğuk hava pencerenin bazı kısımlarından veya bir pencereden içeriye girerken, içerideki sıcak ve kirli hava pencerenin bazı kısımlarından veya bir başka pencereden dışarıya çıkar. Böylece bir taraftan iç ortamdaki hava temizlenirken diğer taraftan iç ortamdan dış ortama ısı transferi olmaktadır.



Şekil 3.1. Simülasyonlarda kullanılan oda geometrisi ve koordinat sistemi

3.2. Matematiksel Formülasyon

Doğal olarak havalandırılan bir odada pencerelerden giren ve çıkan havadan dolayı, oda içerisinde üç boyutlu bir hava hareketi oluşur. Bu hava hareketinin oluşumunda rüzgârın ve sıcaklık farkının etkisi vardır. Kısa süreli havalandırmalarda oda içerisindeki hava hızı, sıcaklığı ve kirletici konsantrasyonunun zamanla değişimi önemli hale gelir. Odanın boyutları büyük olduğu için genel olarak akış türbülanslıdır. Buna göre doğal havalandırma sonucu bir oda içinde oluşan akış için aşağıdaki kabuller yazılabilir:

1. Akış kararsızdır.
2. Yoğunluğun sıcaklık ile değişimi önemlidir.
3. Akış üç boyutludur.
4. Akış türbülanslıdır.
5. Hava ideal gaz olarak kabul edilmiştir.

Bunlara göre problemin analiz edilebilmesi için süreklilik, momentum, enerji ve konsantrasyon denklemlerinin çözülmesi gerekir. Aynı zamanda akışın türbülansını belirlemek için bir türbülans modeli de kullanılmalıdır.

Kartezyen koordinatlarda, süreklilik, momentum, enerji ve konsantrasyon denklemleri aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Kütlenin korunumu denklemi

Kütlenin korunumu denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla (\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.1)$$

Bu denklemde kullanılan ∇ ve \vec{V} , vektörel büyüklükler olup, gradyan ve hızı temsil eder. Kartezyen koordinatlarda ∇ ve \vec{V} şu şekilde ifade edilir.

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (3.2)$$

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k} \quad (3.3)$$

Böylece süreklilik denklemi,

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

Şeklinde yazılabilir. Bu denklemlerde u , x yönündeki hızı, v , y yönündeki hızı, w , z yönündeki hızı temsil etmektedir.

3.2.2. Momentum denklemleri

Zamana bağlı ve üç boyutlu bir akış için türbülanslı momentum denklemleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir:

x yönündeki momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho uw) = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial z}) + S_u \end{aligned} \quad (3.5)$$

y yönündeki momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vv) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho vw) = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial z}) + S_v \end{aligned} \quad (3.6)$$

z yönündeki momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uw) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vw) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho ww) = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial z}) + S_w \end{aligned} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemlerdeki S_u , S_v ve S_w kaynak terimleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir:

$$S_u = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial x}) - \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3.8)$$

$$S_v = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial y}) - \frac{\partial P}{\partial y} - g\rho \quad (3.9)$$

$$S_w = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial z}) - \frac{\partial P}{\partial z} \quad (3.10)$$

Burada g yerçekimi ivmesi, ρ havanın yoğunluğu ve μ_{ef} etkili dinamik viskozitedir.

μ_{ef} laminer viskozite ve türbülans viskozitelerinin toplamına eşittir ($\mu_{ef} = \mu + \mu_t$).

3.2.3. Enerji denklemi

Enerji denklemi genel bir ifadeyle;

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho T) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v T) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w T) = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_{ef} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma_{ef} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\Gamma_{ef} \frac{\partial T}{\partial z}) \end{aligned} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada T sıcaklığı, Γ_{ef} ise etkili ısı iletim katsayısını göstermektedir. Etkili ısı iletim katsayısı laminar ve türbülanslı ısı iletim katsayılarının toplamıdır ($\Gamma_{ef} = \frac{k}{C_p} + \frac{\mu_t}{\sigma_t}$).

3.2.4. Konsantrasyon denklemi

Genel ifadeyle akış içerisindeki herhangi bir maddenin konsantrasyonu denklemi şöyle ifade edilebilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (3.12)$$

Burada “C” konsantrasyonu, “ D_{eff} ” ise konsantrasyonu C ile gösterilen maddenin akış içindeki difüzyon katsayısını gösterir ($D_{eff} = D + \frac{\mu_t}{\sigma_s}$). Burada μ_t türbülans viskozitesi, σ_s ise türbülanslı Schmidt sayısıdır.

3.2.5. Türbülans kinetik enerjisi (k) denklemi

Üç boyutlu bir akış için türbülans kinetik enerjisi denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uk) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vk) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho wk) = \\ \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z}\right) + G_K + G_B - \rho \varepsilon \end{aligned} \quad (3.13)$$

Burada σ_k türbülans model sabiti, G_K kayma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranı ve G_B kaldırma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranıdır. G_K ve G_B terimleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir;

$$\begin{aligned} G_K = \mu_t \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$G_B = -g \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} \quad (3.15)$$

Burada μ_t türbülans viskozitesi, σ_t ise türbülanslı Prandtl sayısıdır.

3.2.6. Türbülans kinetik enerjisinin yayını (ε) denklemi

Üç boyutlu bir akış için türbülans kinetik enerjisinin yayını oranı denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\varepsilon) &= \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial\varepsilon}{\partial y}\right) + \\ \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial\varepsilon}{\partial z}\right) &+ \frac{\varepsilon}{k}[C_{1\varepsilon}G_K + C_{3\varepsilon}G_B + -\rho C_{2\varepsilon}\varepsilon] \end{aligned} \quad (3.16)$$

Burada σ_ε , $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$ türbülans model sabitleridir. Türbülans viskozitesi aşağıdaki ifadeden hesaplanır.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.17)$$

Türbülans ısı iletim (difüzyon) katsayısı ise şöyle hesaplanır.

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \quad (3.18)$$

Burada μ_t türbülans viskozitesi, ρ akışkan yoğunluğu, C_μ türbülans model sabiti, Γ_t türbülans ısı difüzyon katsayısıdır.

Türbülans model sabitlerinin değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. [Launder ve Spalding, 1974].

Çizelge 3.1. “k-ε” Türbülans modeli için kullanılan ampirik sabit değerler

C_μ	0,09
$C_{1\varepsilon}$	1,44
$C_{2\varepsilon}$	1,92
σ_k	1
σ_ε	1,314
σ_t	1
σ_s	0,7

Burada C_μ , σ_k , σ_ε , $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$ türbülans model sabitleridir. σ_t türbülans Prandtl, σ_s türbülans schmidt sayısıdır.

3.4. Sınır Şartları

Süreklilik, momentum, enerji, konsantrasyon ve k - ε denklemleri için uygun başlangıç ve sınır şartlarının belirlenmesi gerekir. Hız, sıcaklık, basınç ve konsantrasyon gibi bilinmeyenler yukarıdaki denklemlerin uygun başlangıç ve sınır şartlarıyla çözümü ile bulunabilir.

3.4.1. Başlangıç şartı

Başlangıçta oda içerisindeki ve dışarıdaki hava belirli sıcaklıklardadır. Dış ve iç ortam başlangıç sıcaklıkları yaz ve kış aylarına göre uygun değerlerde alınmıştır. Başlangıçta oda içindeki havanın hızı sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca oda içerisinde kirletici madde konsantrasyonunun belli bir değerde olduğu ve dışarıdan giren havanın tamamen temiz olduğu kabul edilmiştir.

3.4.2. Pencerelerdeki sınır şartları

Oda içerisine hava girişi, rüzgâr hızının sıfır olduğu durumda herhangi bir zorlanma olmaksızın doğal konveksiyon nedeniyle olmaktadır. Belirli hızda rüzgârın olduğu durumlarda havanın girdiği (rüzgâra karşı olan) pencerede belirli bir hava giriş hızı olmaktadır. Bu durumda pencerede hız belirlenmiş olan rüzgâr hızına eşit alınmıştır. Pencerede hızın belirlenmediği, sadece sıcaklık farkından dolayı havalandırmanın gerçekleştiği durumlarda pencere yüzeyindeki basınç atmosfer basıncına eşit alınmıştır. Pencereleden giren havanın sıcaklık ve konsantrasyonu dış hava sıcaklık ve konsantrasyonuna eşit alınmıştır. Pencereleden havanın dışarıya çıktığı durumlarda ise sıcaklık ve konsantrasyon pencereye en yakın düğüm noktasındaki değerlere eşit alınmıştır.

3.4.3. Duvar sınır şartı

Oda duvarları üzerinde kaymasızlık şartının sağlandığı kabul edilerek hızlar sıfır alınmıştır. Ayrıca duvarların iyi yalıtıldığı varsayılarak duvarlardan olan ısı kaybı

ihmal edilmiştir. Ancak, yaz şartları havalandırmasının simülasyonun yapıldığı durumlarda, duvar sıcaklığının belirlenmiş olan bir sıcaklıkta sabit kaldığı kabul edilmiştir.

3.4.4. Simetri sınır şartı

Simetri şartının sağlandığı durumlarda, çözüm odanın yarısında yapılarak çözüm zamanının kısaltılması yoluna gidilmiştir. Bu durumda, simetri düzleminde sıcaklığın hız bileşenlerinin ve konsantrasyonun simetri şartlarını sağladığı varsayılmıştır.

4. SAYISAL ÇÖZÜM

Problemin yukarıda verilen denklemlerinin çözümü için FLUENT paket programı kullanılmıştır. Bu bölümde FLUENT ile ilgili kısa bilgi verilmiştir.

4.1. Fluent Bilgisayar Programı

Isı ve kütle transferi, akışkanlar mekaniği, kimyasal reaksiyonlar gibi çalışmalarda sayısal akışkanlar dinamiği uygulamalarından yararlanılmaktadır. Sayısal Akışkanlar Dinamiği ile çözümlenelerde kullanılan paket programlardan biri de FLUENT paket programıdır.

FLUENT sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Problemin kısmi diferansiyel denklemleri diskritize edilerek lineer cebirsel denklemlere dönüştürülür. Problemin çözümü için önce problemin geometrisi gambit programında oluşturulup, oluşturulan geometri istenilen sayıda hücrelere (grid) ayrılarak, FLUENT ile sayısal olarak çözüme hazır hale getirilmiştir [Fluent Inc., 2003].

Fluent programı; Gambit, Xserver, Tgrid, Fluent vb. modüllerden oluşmaktadır. Bütçeye ihtiyaca ve isteğe bağlı olarak modüller tedarik edilir. En temel konfigürasyonda fluent, xserver (hummingbird connectivity) ve gambit modülleri yeterlidir.

4.1.1. Gambit modülü

Problem alanının, cismin veya geometrinin oluşturulacağı, bu modelin hücrelere (mesh) bölüneceği ve sınır şartlarını Fluent programında detaylandırmadan önce bu sınırların tanımlanacağı yüzeylerin belirleneceği modüldür. Gambit'te model hazırlanabileceği gibi, programa CAD programlarında hazırlanmış model de aktarılabilir. İki veya üç boyutlu modelleme yapılabilen programda, uzantısı “dbs” olan bir katı model dosyası oluşturulur, daha sonra bu “dbs” uzantılı dosyadan “msh”

uzantılı bir dosya export edilerek oluşturulur. “msh” uzantılı dosya Fluent modülünün okuyacağı formattaki dosyadır.

4.1.2. Xserver (Hummingbird Connectivity) modülü

Gambit’in Windows ortamında çalışmasını sağlayan arayüz modülüdür. Bu modül olmadan Gambit Windows ortamında çalışmaz.

4.1.3. Tgrid modülü

Katı modele mesh atılabilen ve mesh yapısının tadil edildiği programdır. Mesh yapısı tadil edilerek daha kolay ve hassas sonuç elde edilebilecek meshler oluşturularak problemler çözülür.

4.1.4. Fluent modülü

Gambit modülünde oluşturulan “msh” uzantılı dosya fluent modülünde okutulur. Fluent modülünde sınır şartlarının düzenlenmesi, girilmesi, malzemenin termofiziksel özelliklerinin girilmesi, çözümlenmeyle ilgili kriterlerin girilerek problemin çözümlenmeye hazır hale getirilmesi sağlanır. Fluent modülü “msh” uzantılı dosyanın “cas” uzantılı dosyasının elde edildiği ve bu “cas” uzantılı dosya kullanılarak iterasyonlar yapıp yakınsama sağlanarak sayısal çözümün elde edildiği modüldür. Çözüm “dat” uzantılı dosya olarak saklanır. Fluent modülünde çözüme ilişkin grafikler ve kesitler alınabilir.

4.2. FLUENT’in Bu Çalışmada Kullanımı

4.2.1. Uygun grid (kafes) yapısının oluşturulması ve seçilmesi

Sayısal hesaplama sonucunun doğru elde edilmesi için uygun grid yapısının oluşturulması çok önemlidir. Uygun oluşturulmayan grid yapısı, sonucun

iraksamasına veya hatalı sonuç elde edilmesine neden olur. Dolayısıyla kullanılan grid yapısının doğru sonuç verip vermediğinin incelenmesi gerekmektedir.

Boyutları 5x3x3 metre olan tek pencereleri oda 118 300, 216 000 ve 432 000 hücreye bölünmüş ve her üç durum için ayrı ayrı çözüm yapılmıştır. Grid yapısı oluşturulurken heksagonal elemanlar seçilmiştir, gridler duvarlara doğru yoğunlaştırılmıştır. Çözüm sonucunda elde edilen, ortalama sıcaklık ve pencereden olan net ısı akısı değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yaz şartlarında yapılan simülasyonda odanın değişik hücre sayılarına bölünerek yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar

Hücre sayısı	Ortalama iç sıcaklık (K)	Pencereden olan net ısı transferi (W)
118 300	296,94	-128,94
216 000	298,02	-89,97
432 000	298,05	-90,39

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, 216 000 hücre ve 432 000 hücre oluşturulup yapılan çözümlerde elde edilen sonuçlar birbirine çok yakındır. Dolayısıyla 5x3x3 metre boyutlarındaki tek pencereleri oda için yapılan çözümde 216 000 hücre sayısı uygundur.

4.2.2. Uygun relaksasyon parametrelerinin seçilmesi

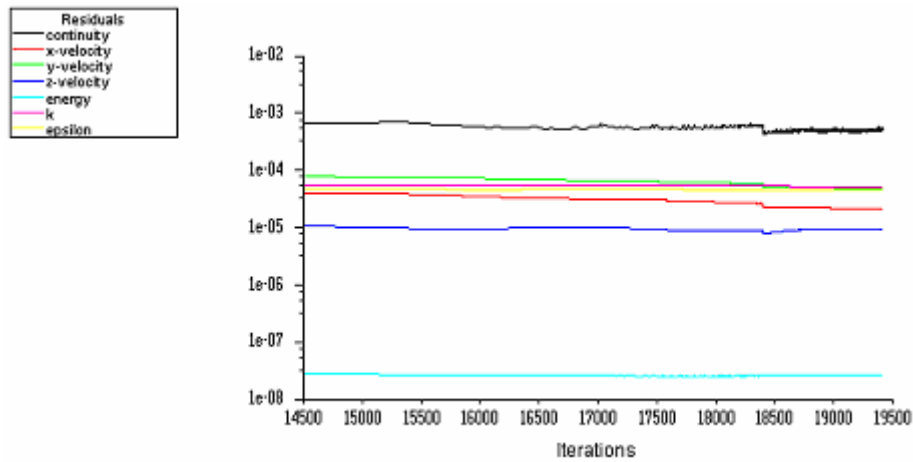
Sayısal hesaplama sonucunu bulabilmek için uygun relaksasyon parametrelerinin seçilmesi de önemlidir. Relaksasyon parametrelerinin seçimi iterasyon sayısının az ya da çok olması veya çözüm elde edilip edilememesi ile neticelenir. Relaksasyon parametreleri olarak, FLUENT’in çeşitli durumlar için uygulanması sonucunda, problemin sağlıklı yakınsamasını sağlayacak olan değerler seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan relaksasyon parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hesaplmalarda kullanılan relaksasyon değerleri

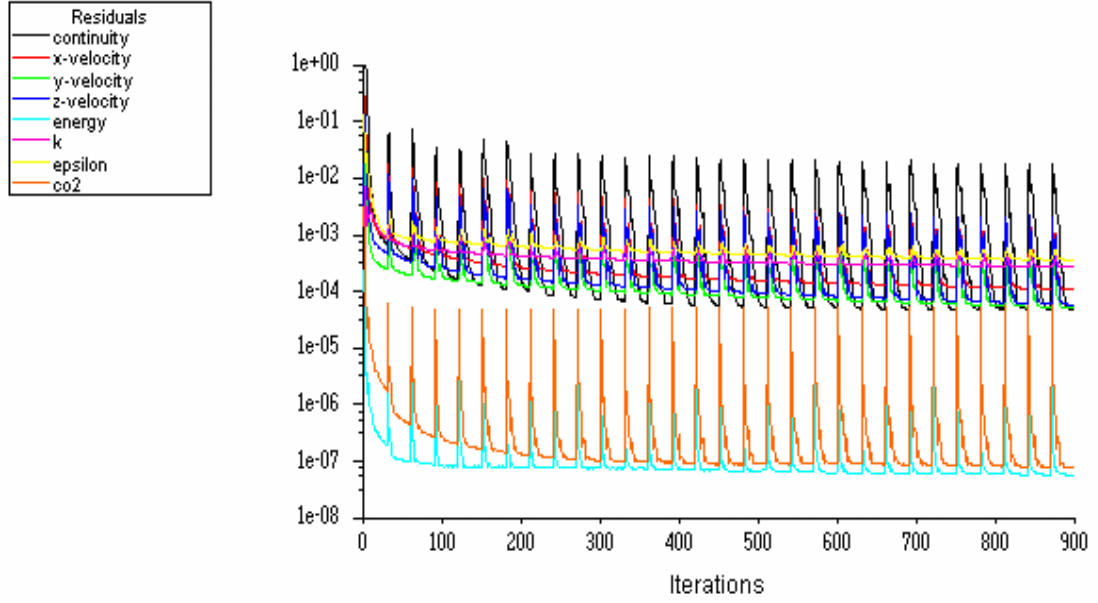
Relaksasyon parametreleri	Relaksasyon Değeri
Pressure için	0,65
Density için	1
Body force için	1
Momentum için	0,30
Turbulence kinetik energy için	0,40
Turbulence dissipation rate için	0,60
Turbulent viscosity için	1
CO ₂ için	1
Enerji için	1

4.2.3. Yakınsama kriterleri

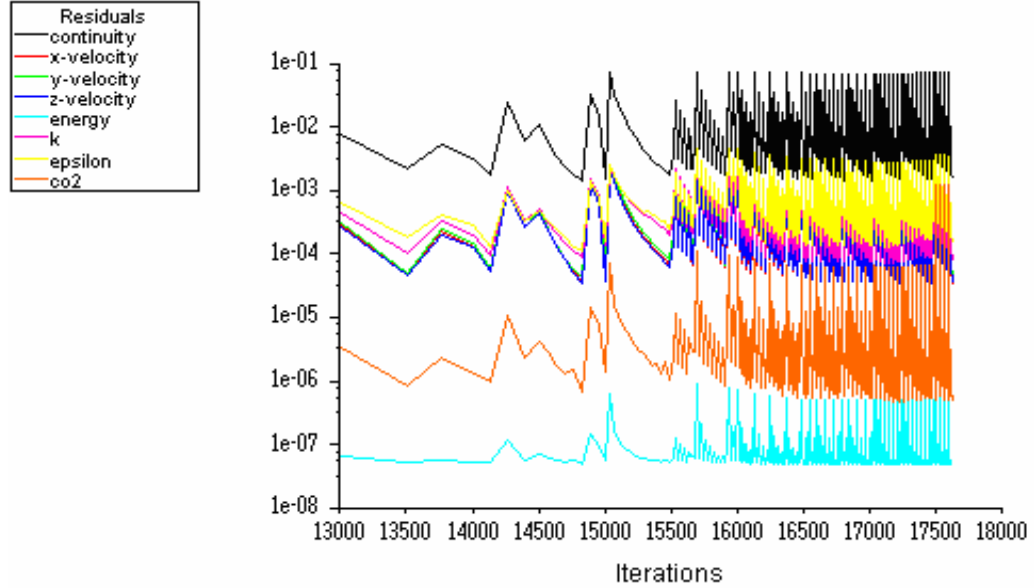
Normalize edilmiş kalıntılar yakınsamayı elde etmek için takip edilmektedir. Kalıntılar 10^{-3} değerinde olduğu zaman hesaplamanın yakınsadığı kabul edilmiştir. Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de x hızı, y hızı, z hızı, enerji, türbülans kinetik enerjisi, türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı, karbondioksit konsantrasyonu değerlerindeki kalıntıların iterasyon sayısı ile değişimi görölmektedir.



Şekil 4.1. Yaz şartlarında yapılan simölasyonda kalıntıların iterasyonla değişimi



Şekil 4.2. Kış şartlarında yapılan simülasyonda kalıntıların ilk 900 iterasyonda (30 zaman adımında) değişimi



Şekil 4.3. Kış şartlarında yapılan simülasyonda kalıntıların iterasyonla değişimi

4.2.4. Matematik ve sayısal modelin doğruluğunun test edilmesi

Çözüm sonuçlarının doğru olup olmadığını test etmek için Gan'ın [2000] çeşitli pencere boyutlarına ve ortamın ısı kazancı miktarına göre sekiz farklı durum için

yapmış olduğu çalışmadaki, 1x1,5 metre boyutlarındaki pencere ve 15 W/m² ısı kazancının olduğu durum (3'üncü durum), ile 1x1,5 metre boyutlarındaki pencere ve 5 W/m² ısı kazancının olduğu durum (4'üncü durum) için tekrar çözüm yapılmış, elde edilen sonuçlar Gan'ın elde ettiği sonuçlarla Çizelge 4.3'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.3. Literatürde yapılan çalışmanın tekrar çözülmesi ile elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılması

	1x1,5 metre boyutlarında pencerenin ve 15 W/m ² ısı kazancının olduğu durum		1x1,5 metre boyutlarında pencerenin ve 5 W/m ² ısı kazancının olduğu durum	
	Gan'ın çözümü (Gan, 2000)	Bu çalışma	Gan'ın çözümü (Gan, 2000)	Bu çalışma
Q l/s	134	129	94	92
Ti °C	24,1	22,12	22	22,26

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Çalışmada iki farklı problem ele alınmıştır. Birinci problemde bir odanın yaz koşullarında, rüzgâr hızının sıfır olduğu durumdaki havalandırılması ve belirli bir rüzgâr hızının olduğu durumdaki havalandırılması ile ilgili analizler yapılmıştır. İkinci problemde ise bir odanın kış koşullarında, rüzgâr hızının sıfır olduğu ve belirli bir rüzgâr hızının olduğu hava koşullarında analizi yapılmıştır.

Yaz koşullarında bir odanın havalandırılması analizlerinde; boyutları belirlenen bir odanın gece koşullarında, kararlı rejimde simülasyonu yapılarak, odadan doğal havalandırma yoluyla birim zamanda dışarı atılan ısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla simülasyonlar iki farklı pencere konumu için tekrarlanmıştır. Gece hava sıcaklığının düştüğü zamanda, doğal havalandırma ile odadan dışarı atılan ısının belirlenmesi, doğal havalandırmanın odanın soğutulmasında ne ölçüde etkili olduğunun belirlenmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda iki farklı rüzgâr hızı değeri içinde simülasyonlar yapılmıştır.

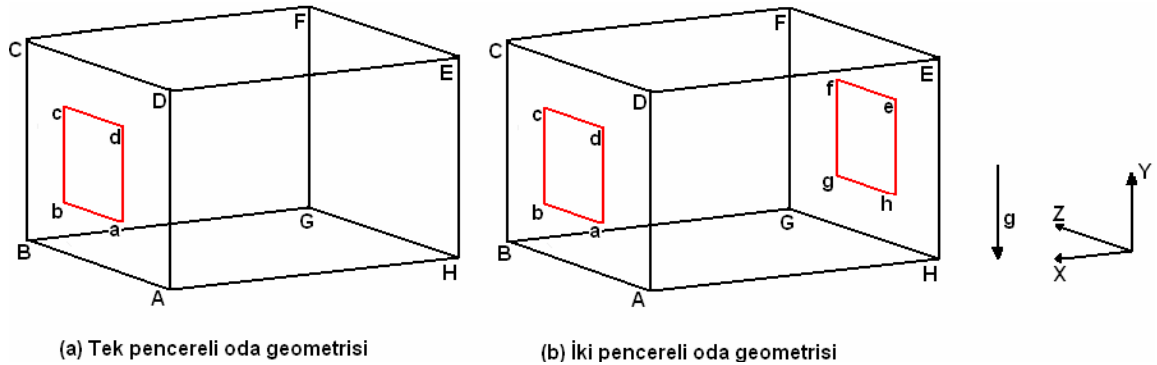
Kış koşulları doğal havalandırması için yapılan analizlerde, havası belli bir kirlilik derecesine sahip odanın, hava kalitesinin kirleticiler açısından istenilen düzeye gelmesi için gerekli olan havalandırma süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı pencere konumları ile yapılan simülasyonlar sonunda optimum havalandırma süresi araştırılmıştır. Bu simülasyonlar dış ortamdaki rüzgâr hızının sıfır ve sıfırdan farklı olduğu şartlar için tekrarlanmıştır.

Aşağıda bu iki problemle ilgili yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

5.1. Yaz Koşullarında Doğal Havalandırma Analizleri

Yaz koşulları için yapılan analizlerde, 5 metre uzunluğunda, 3 metre genişliğinde ve 3 metre yüksekliğinde bir oda ele alınmış ve iki farklı pencere durumu (konumu) için simülasyonlar yapılmıştır. Birinci analizde 1 metre eninde ve 1,50 metre

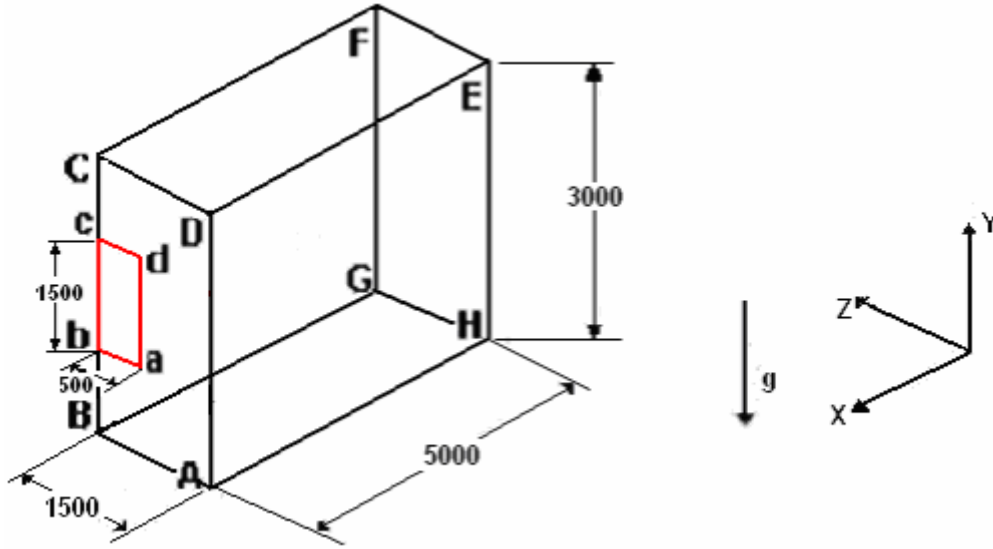
yüksekliğinde olan pencere ön duvarın tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.1 (a)). İkinci analizde ise yine aynı boyutlardaki iki pencereden birincisi ön duvarın tam ortasına, ikincisi ise arka duvarın tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.1 (b)). Bu simülasyonlar, yaz koşullarında gece havanın serinlediği zaman dilimindeki doğal havalandırmayı analiz etmek için yapılmıştır. Bu simülasyonlarda, rüzgâr hızının sıfır, dış ortam hava sıcaklığının 20 °C, oda duvarlarının sıcaklığının 26 °C olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Ayrıca iki pencereli durumda, rüzgâr hızının 1 m/s ve 1,5 m/s olduğu durumlar için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Bu şartlar karasal iklim bölgesindeki gece çevre şartlarını temsil etmek üzere belirlenmiştir. Bu şartların kısa zaman aralığındaki değişimi ihmal edilecek düzeyde olduğu düşünülerek simülasyonlar kararlı rejimde yapılmıştır.



Şekil 5.1. Yaz şartlarında yapılan analizlerde kullanılan oda geometrileri

5.1.1. Tek pencereli oda doğal havalandırmasının yaz koşulları için analizi

Yaz aylarında gece koşullarında sürekli rejimde yapılan çalışmada, 5 metre uzunluğunda, 3 metre genişliğinde ve 3 metre yüksekliğinde bir odaya 1 metre eninde ve 1,50 metre yüksekliğinde olan pencere ön duvarın tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.1a). Oda geometrisi pencerenin ortasından geçen düşey düzleme göre simetrik olduğundan simülasyonlar odanın yarısı için yapılmıştır (Şekil 5.2).



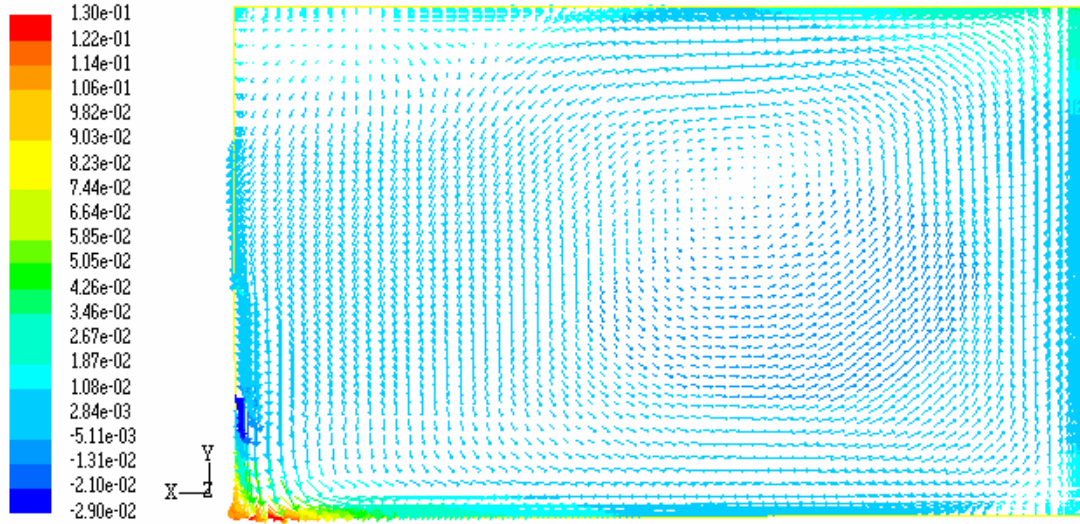
Şekil 5.2. Yaz şartlarında tek pencereli oda analizlerinde kullanılan çözüm alanı

Yaz aylarında gece vakitlerinde pencerenin tam açık olduğu varsayılarak birim zamanda odadan dışarı atılan ısı miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için oda içindeki havanın hız ve sıcaklık dağılımları simüle edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak pencereden dışarı çıkan hava ile dışarı atılan ısı miktarı belirlenmiştir.

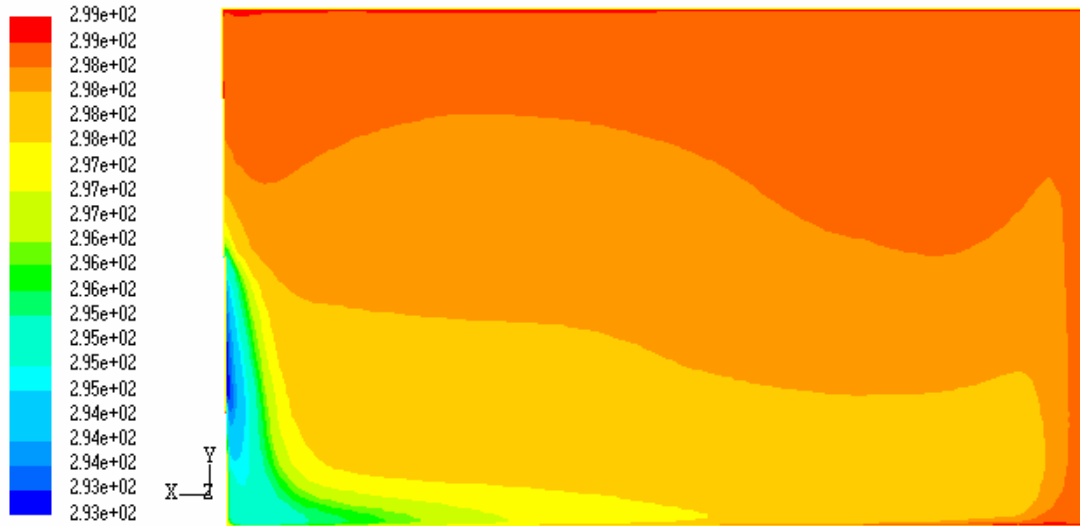
Oda içerisinde, simetri düzlemindeki hız dağılımı Şekil 5.3'de verilmiştir. Oda içerisine giren hava, ısınmanın etkisiyle yoğunluğu azalır ve yukarı çıkmaktadır. Havanın ısınır ve yukarı doğru hareket etmesi ile oda içerisinde hava akışı oluşmaktadır. Hızın en fazla olduğu yer, Şekil 5.3'de görüldüğü gibi pencereden içeri girip aşağıya doğru yönelen kısımda oluşmakta ve en fazla hız değeri 0,3525 m/s olmaktadır. Odanın pencere üst seviyesinden yukarıda kalan kısmında oldukça durgun bir bölge oluşmaktadır.

Oda içerisinde, dikey simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.4'de görülmektedir. Görüldüğü gibi, pencerenin alt kotlarından giren soğuk hava aşağıya doğru inerek tabandan oda içine yayılmaktadır. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselerek pencerenin üst kotundan dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisinde ortalama sıcaklık 298,02 K'dir. Havanın en yüksek sıcaklık değeri 299 K olarak duvar yüzeylerinde, en düşük sıcaklık değeri ise 293 K olarak pencere yüzeyinin alt

kısımlarında hesaplanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda odadan dışarıya 89,97 W ısı transferi olduğu tespit edilmiştir.



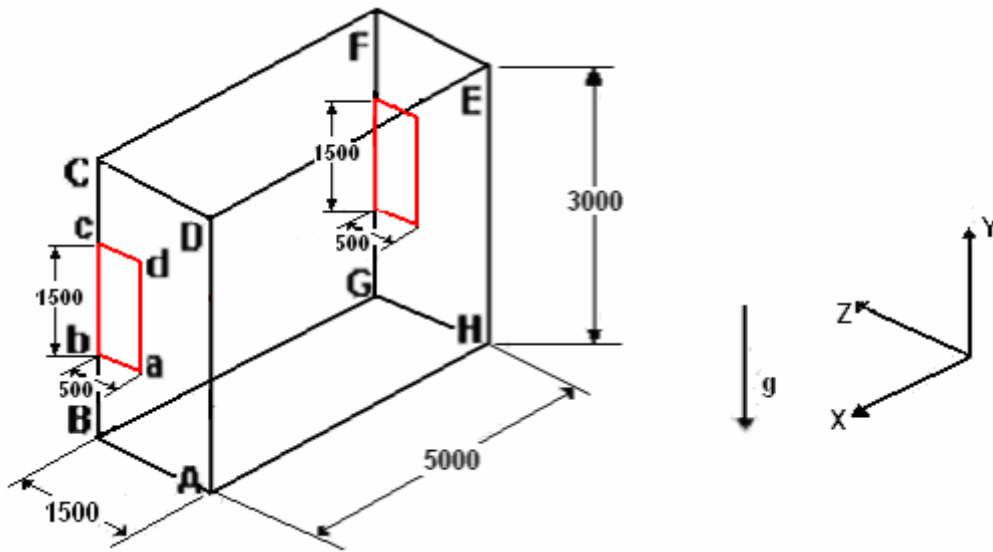
Şekil 5.3. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda tek pencere odanın simetri düzlemindeki hız dağılımı



Şekil 5.4. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda tek pencere odanın simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı

5.1.2. İki pencereleli oda doğal havalandırılmasının yaz koşulları için analizi

Yaz koşullarında, iki pencereleli odada gece saatlerindeki havalandırması için yapılan çalışmada, 5 metre uzunluğunda, 3 metre genişliğinde ve 3 metre yüksekliğinde bir oda ele alınmıştır. Odaya 1 metre eninde ve 1,50 metre yüksekliğinde iki pencereden birincisi ön duvarın tam ortasına gelecek şekilde, ikincisi ise arka duvarın tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu pencere konumları için analizler, rüzgâr hızının sıfır olduğu durum için ve rüzgâr hızının sıfırdan farklı olduğu durumlar için tekrarlanmıştır. Oda geometrisi pencerenin ortasından geçen düşey düzleme göre simetrik olduğundan simülasyonlar yine Şekil 5.5’de görüldüğü gibi odanın yarısı için yapılmıştır.

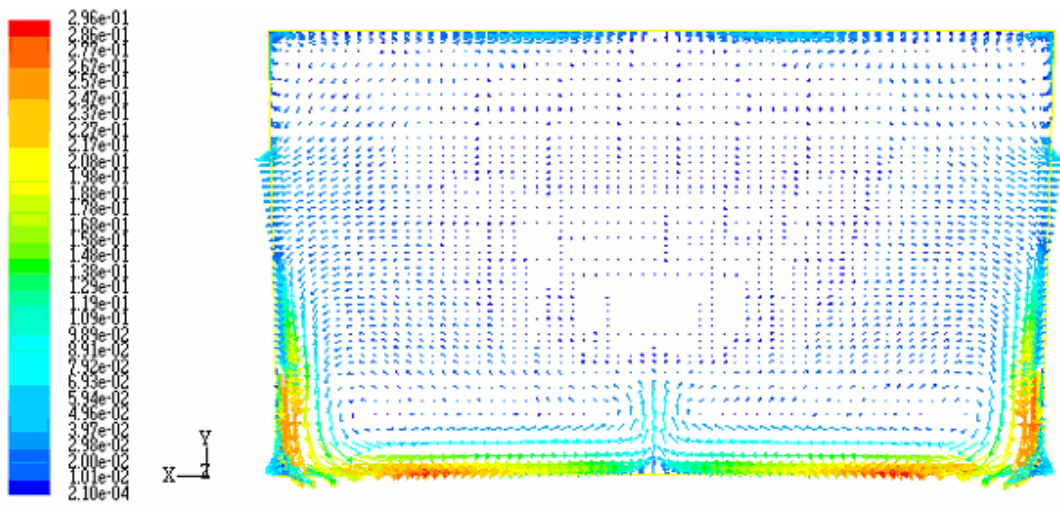


Şekil 5.5. Yaz şartlarında iki pencereleli oda analizlerinde kullanılan çözüm alanı

Rüzgâr hızının sıfır olduğu durumdaki analizler

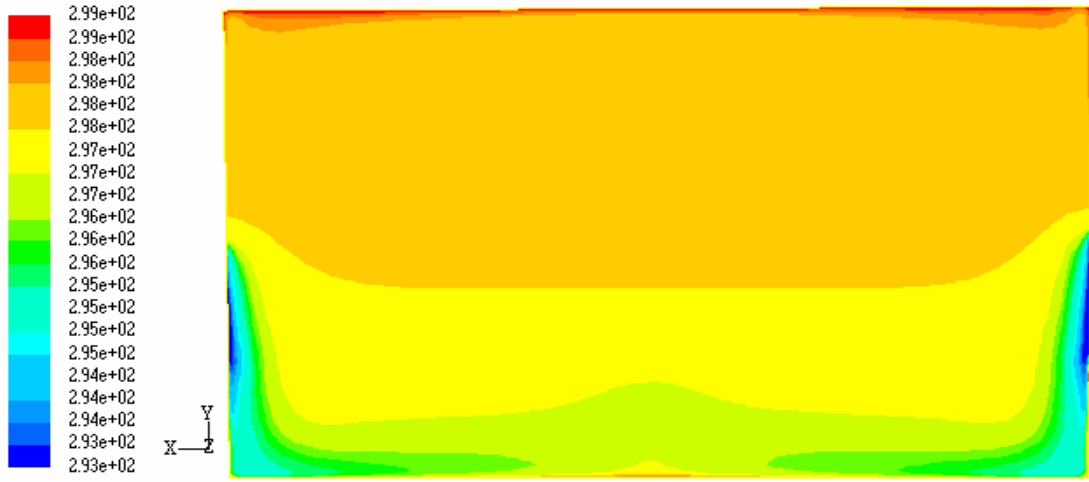
Yaz aylarında gece vakitlerinde iki pencerenin de tam açık olduğu varsayılarak birim zamanda odadan dışarı atılan ısı miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Doğal havalandırma ile yapılan havalandırmada, oda içindeki havanın hız ve sıcaklık dağılımları simüle edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak pencereden dışarı çıkan hava ile dışarı atılan ısı belirlenmiştir.

Oda içerisinde, simetri düzlemindeki hız dağılımı Şekil 5.6'da verilmiştir. Oda içerisine giren hava, ısınma etkisiyle yoğunluğu azalıp yukarı çıkmaktadır. Havanın ısınıp yukarı doğru hareket etmesi ile oda içerisinde hava akışı oluşmaktadır. Hızın en fazla olduğu yer, Şekil 5.6'da görüldüğü üzere pencerelerin alt kısımlarında oluşmakta ve en fazla hız değeri 0,29297 m/s olmaktadır. Hızın minimum değeri sıfır ile duvar yüzeylerinde oluşmaktadır, odanın pencere üst seviyesinden yukarıdaki bölgesinde de minimum hıza çok yakın hız oluşmaktadır.



Şekil 5.6. Yaz şartlarında rüzgar hızı sıfır olduğunda iki pencereli odanın simetri düzlemindeki hız dağılımı

Oda içerisinde, düşey simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.7'de verilmiştir. Görüldüğü gibi pencerenin alt kotlarından giren soğuk hava aşağıya doğru inerek tabandan oda içine yayılmaktadır. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselerek pencerenin üst kotundan dışarıya doğru yönelmiştir. Oda içerisinde ortalama sıcaklık 296,99 K'dir. Havanın en yüksek sıcaklık değeri 299 K olarak duvar yüzeylerinde, en düşük sıcaklık değeri ise 293 K olarak pencere yüzeyinin alt kısımlarında hesaplanmıştır. Pencereden dışarı çıkan hava ile dışarı atılan ısı miktarı, ön pencereden 77,07 W, arka pencereden 77,59 W olmak üzere toplam 154,66 W'dir.

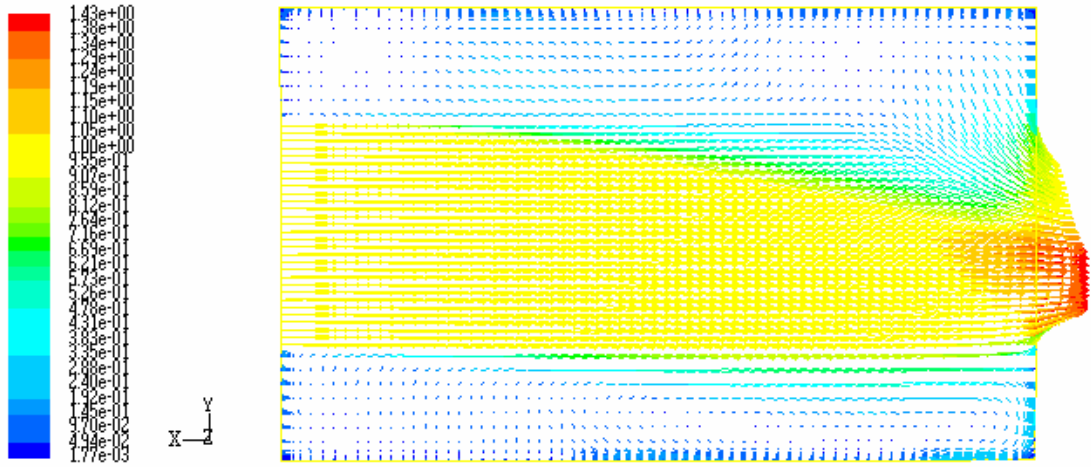


Şekil 5.7. Yaz şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda iki pencereleli odanın simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı

Rüzgârın doğal havalandırmadaki etkisini incelemek için, yaz koşullarında, bir odanın doğal havalandırması ile ilgili yapılan analizler rüzgâr hızının 1 m/s ve 1,5 m/s olduğu durumlar için tekrarlanmıştır. Rüzgârın ön pencereye dik olarak estiği kabul edilerek, ön pencereden havanın rüzgâr hızına eşit bir hızla odaya girdiği varsayılmıştır. Arka pencere yüzeyinde sabit basınç şartı kullanılarak havanın bu pencereden dışarı çıktığı kabul edilmiştir.

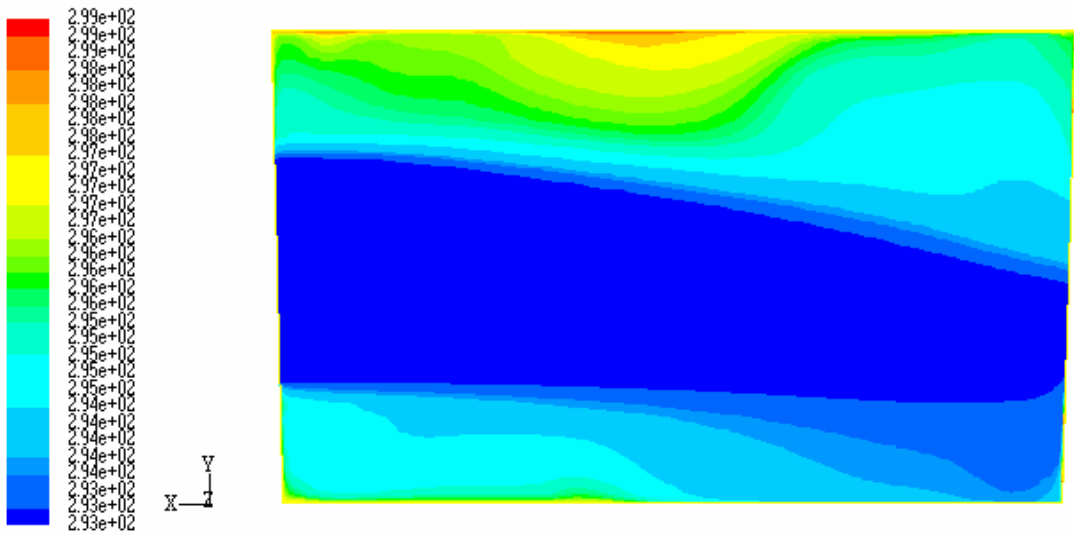
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumdaki analizler

Ön pencereden 1 m/s hızla havanın içeriye girdiği durumda oda içerisinde, simetri düzlemindeki hız dağılımı Şekil 5.8’de verilmiştir. Oda içerisine ön pencereden 1 m/s hızla giren hava direk arka pencereye yönelmekte ve odanın üst ve alt seviyelerindeki havayı da etkileyerek arka pencereden dışarı çıkmaktadır. Hızın en yüksek olduğu yer, Şekil 5.8’de görüldüğü üzere arka pencere yüzeyinin alt kısımlarındadır ve değeri 1,43 m/s olmaktadır.



Şekil 5.8. Yaz şartlarında 1 m/s rüzgar hızında simetri düzlemindeki hız dağılımı

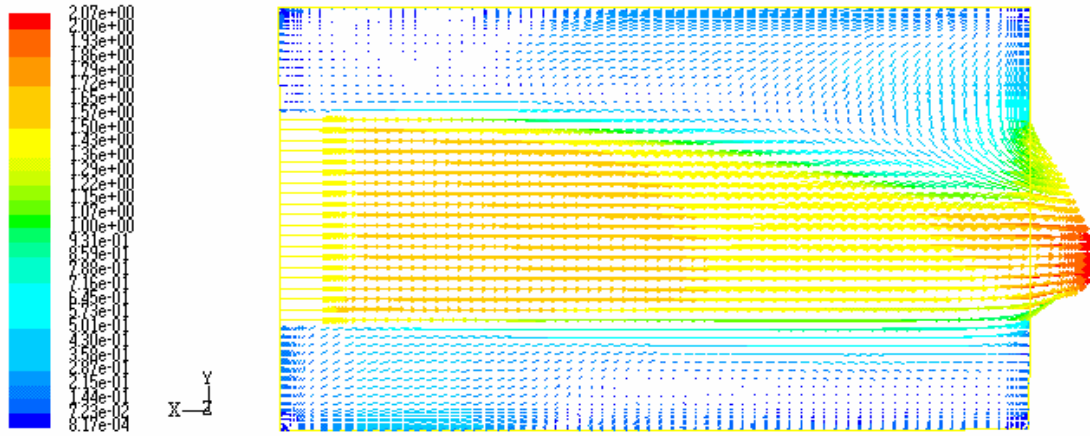
Oda içerisinde, düşey simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi ön pencereden 1 m/s hızla giren soğuk hava hafif aşağıya doğru yönelerek arka pencereden dışarı çıkmaktadır. İçerideki sıcak havanın belli bir kısmı bu akımın etkisiyle dışarı doğru yönelmektedir. Ayrıca iç ortamdaki havanın sıcaklığı tavan ve tabana yaklaştıkça artmaktadır. Oda içerisinde ortalama sıcaklık 294,26 K'dir. Havanın en yüksek sıcaklık değeri 299 K olarak duvar yüzeylerinde, en düşük sıcaklık değeri ise 293 K olarak pencere yüksekliğindeki seviyelerde olmaktadır. Oda içerisinden dışarı atılan ısı miktarı toplam 504,46 W'dır.



Şekil 5.9. Yaz şartlarında 1 m/s rüzgar hızında simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı

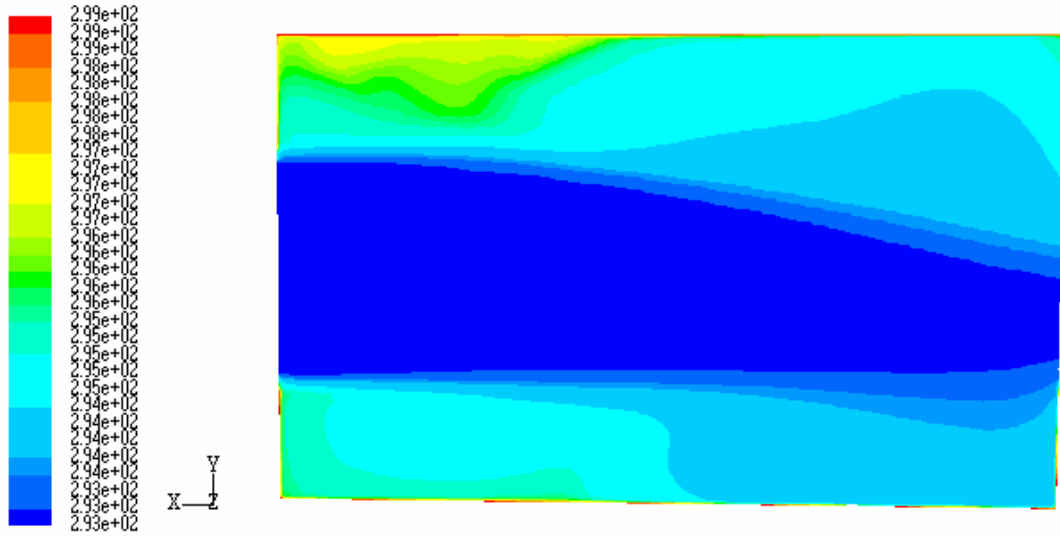
Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumdaki analizler

Ön pencereden 1,5 m/s hızla havanın içeriye girdiği durumda oda içerisinde, simetri düzlemindeki hız dağılımı Şekil 5.10'da verilmiştir. Oda içerisine ön pencereden 1,5 m/s hızla giren hava direk arka pencereye yönelmekte ve odanın üst ve alt seviyelerindeki havayı da etkileyerek arka pencereden dışarı çıkmaktadır. Hızın en fazla olduğu yer, Şekil 5.10'da görüldüğü üzere arka pencere yüzeyinin alt kısımlarında ve değeri 2,07 m/s olmaktadır.



Şekil 5.10. Yaz şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızında simetri düzlemindeki hız dağılımı

Oda içerisinde, düşey simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.11'de verilmiştir. Görüldüğü gibi ön pencereden 1,5 m/s hızla giren soğuk hava hafif aşağıya doğru yönelerek arka penceren dışarı çıkmaktadır. İçerideki sıcak havanın belli bir kısmı bu akımın etkisiyle dışarı doğru yönelmektedir. Ayrıca iç ortamdaki havanın sıcaklığı tavan seviyesinde ön pencerenin üstüne geldiği kısımda artmaktadır. Oda içerisinde ortalama sıcaklık 294,38 K'dir. Havanın en yüksek sıcaklık değeri 299 K olarak duvar yüzeylerinde, en düşük sıcaklık değeri ise 293 K olarak pencere girişinde olmaktadır. Pencereden dışarı çıkan hava ile dışarı atılan ısı miktarı toplam 649,77 W'dir.



Şekil 5.11. Yaz şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızında simetri düzlemindeki sıcaklık dağılımı

Yaz koşullarında, farklı dış ortam şartlarında bir odanın doğal havalandırması ile ilgili simülasyonları Çizelge 5.1’de toplanmıştır. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi yaz koşullarında yapılan analizler sonucunda; tek pencere odası içerisinde maksimum hız 0,3525 m/s iken çift pencere odası içerisindeki maksimum hız değeri 0,29297 m/s olarak hesaplanmıştır. Tek pencere odası içerisindeki ortalama sıcaklık değeri 298,02 K iken, çift pencere odası içerisindeki ortalama sıcaklık değeri 296,99 K olarak hesaplanmıştır. Yine tek pencere odadan atılan ısı miktarı 89,97 W iken, çift pencere odadan atılan ısı miktarı toplam 154,66 W olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan görüldüğü gibi çift pencere odası içerisinden dışarıya atılan ısı miktarı daha fazladır. Ayrıca oda içerisindeki ortalama sıcaklık, çift pencere odası da tek pencere odasına göre yaklaşık 1 °C daha düşük olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Yaz şartlarında yapılan analizlerde sayısal olarak incelenen pencere konumları için bulunan sonuçlar

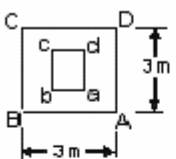
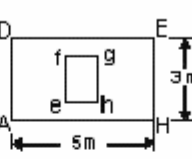
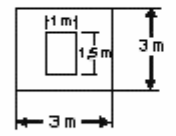
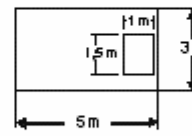
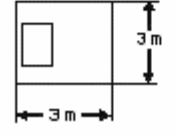
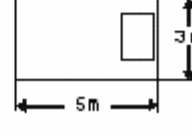
Pencere konumları	Max. Sıcaklık (K)	Min. Sıcaklık (K)	Ort. Sıcaklık (K)	Max. Yerel Hız (m/s)	Min. Yerel Hız (m/s)	Dış ortama atılan ısı miktarı (W)
Tek pencereli durum	299	293	298,02	0,3525	0	89,97
İki pencereli durum	299	293	296,99	0,2930	0	154,66
İki pencereli durum 1 m/s hız	299	293	294,26	1,4295	0	504,47
İki pencereli durum 1.5 m/s hız	299	293	294,38	2,0700	0	649,77

Yaz koşullarında çift pencereli odanın havalandırılması ile ilgili yapılan analizlerde, rüzgâr hızının sıfır olduğu zaman iç ortamda maksimum hava hızı 0,29297 m/s olurken, rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda maksimum hız 1,4295 m/s, rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda ise maksimum hız 2,0728 m/s olmaktadır. Ortalama sıcaklık, rüzgâr hızının sıfır olduğu durumda 296,99 K olarak hesaplanırken, rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda ortalama sıcaklık 294,26 K, rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda ise ortalama sıcaklık 294,38 K olarak hesaplanmaktadır. Doğal havalandırma durumunda iç ortamdan dışarıya atılan ısı miktarı 154,66 W olarak hesaplanırken, 1 m/s'lik rüzgâr hızında 504,4648 W, 1,5 m/s'lik rüzgâr hızında ise 649,7739 W olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak hem pencere sayısı arttırıldıkça hem de rüzgâr hızı arttırıldıkça oda içerinden dış ortama atılan ısı miktarı artmaktadır.

5.2. Kış Koşullarında Doğal Havalandırma Analizleri

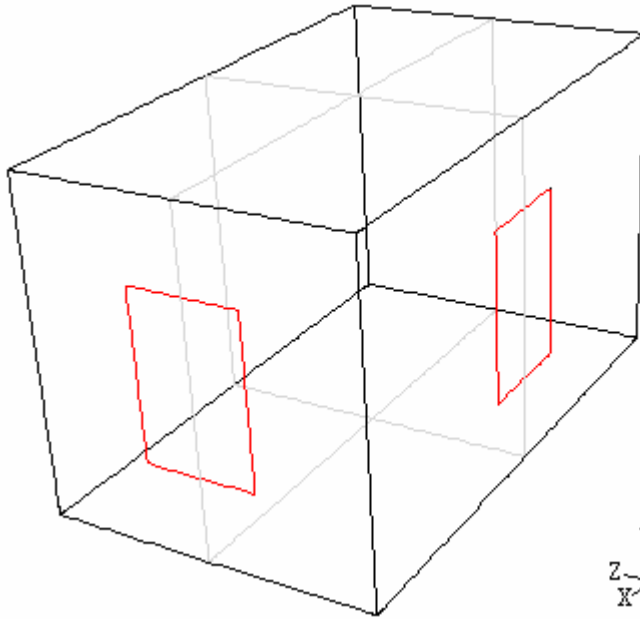
Kış koşullarında yapılan çalışmada 5 metre uzunluğunda, 3 metre genişliğinde ve 3 metre yüksekliğinde bir oda ele alınmış ve 3 farklı pencere durumu (konumu) için simülasyonlar yapılmıştır. Analizlerde 1 metre eninde ve 1,50 metre yüksekliğinde olan iki adet pencereden birincisi ön duvara, ikincisi ise sağ yan duvara yerleştirilmiştir. Pencerelerin duvarlar üzerindeki konumu Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Oda içerisinde üniform olarak dağılmış CO_2 gazı kirletici gaz olarak kabul edilmiştir. Kapalı ortamdaki karbondioksit konsantrasyonu 600-9000 mg/m^3 [Lynech, 1960] aralığında olması gerektiğinden simülasyonlarda, başlangıçta oda içerisinde maksimum seviye olan 9000 mg/m^3 kirletici gazın (kütle oranı olarak 0,00750923) olduğu, rüzgâr hızının sıfır olduğu, dış ortam hava sıcaklığının sıfır derece olduğu, iç ortam sıcaklığının 22 °C olduğu ve oda duvarlarının çok iyi yalıtıldığı düşünülerek duvarlardan olan ısı transferinin sıfır olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Simülasyonlarda zamanla oda içindeki kirletici konsantrasyonunun ve oda sıcaklığının değişimi incelenmiş, minimum ısı kaybının olması ve oda havasının uygun kirletici gaz (CO_2) seviyesine ulaşması için pencerelerin ne kadar süre açık kalması gerektiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 5.2. Kış şartlarında yapılan simülasyonlarda kullanılan pencere konumları

Durum	Ön Pencere konumu	Yan Pencere konumu
1	 Ön duvarın tam ortasında	 Yan duvarın tam ortasında
2	 Ön duvarın tam ortasında	 Arka duvara 10 cm uzaklıkta
3	 Sol yan duvara 10 cm uzaklıkta	 Arka duvara 10 cm uzaklıkta

5.2.1. Birinci durum

Kış koşullarında yapılan çalışmada 5 metre uzunluğunda, 3 metre genişliğinde ve 3 metre yüksekliğinde bir odaya 1,50 m yüksekliğindeki ve 1,00 m genişliğindeki iki pencereden birincisi ön duvarın ortasına, ikincisi ise sağ yan duvarın ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.12). Kış aylarında pencerenin tam açık olduğu varsayılarak oda içindeki sıcaklığın ve kirletici CO_2 gazı konsantrasyonunun zamanla değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için oda içindeki havanın hızı, kirletici gaz konsantrasyonu ve sıcaklık dağılımları simüle edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak oda içindeki sıcaklığının ve kirletici gaz konsantrasyonunun zamanla değişimi belirlenmiştir.

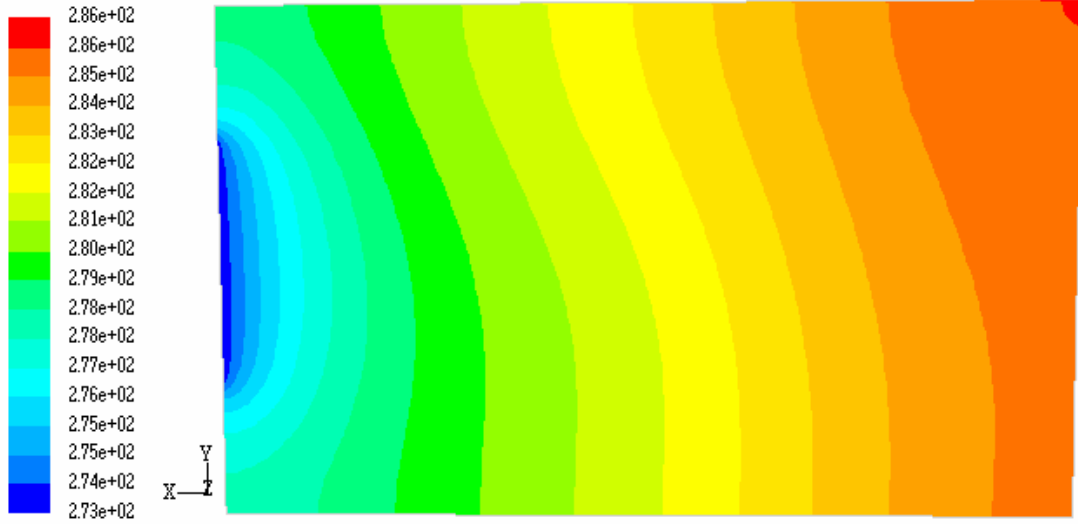


Şekil 5.12. Kış şartlarında yapılan simülasyonda birinci durumdaki oda geometrisi

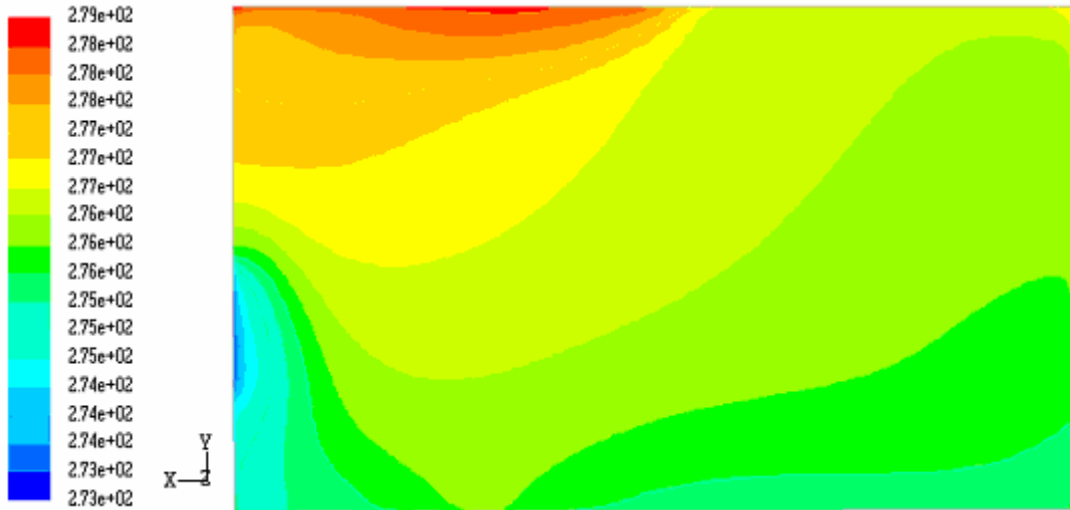
Rüzgâr hızının sıfır olduğu durumdaki analizler

Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava pencerelerin alt kısımlarından

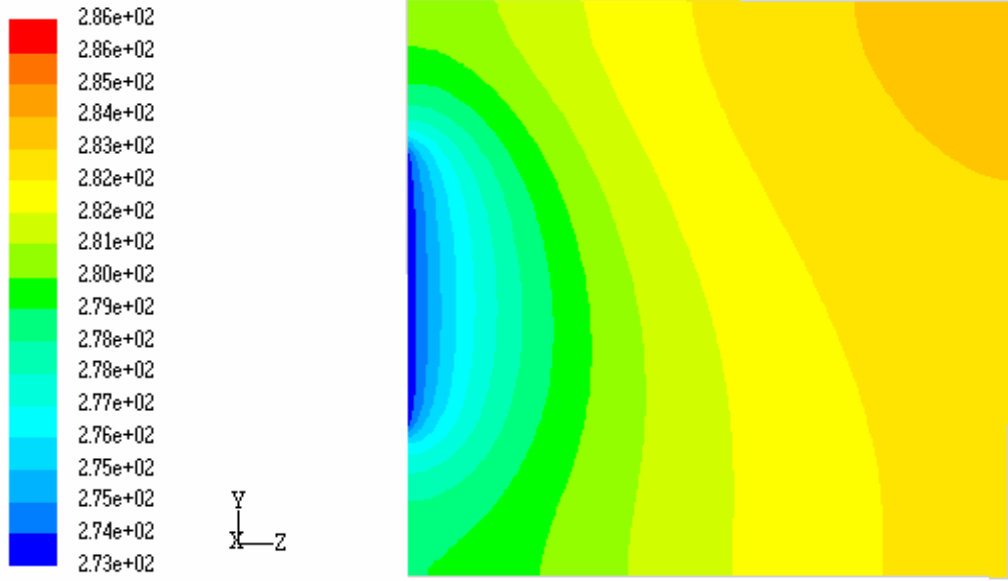
içeriye girmekte ve aşağıya doğru inerek tabandan oda içerisine yayılmaktadır. İçerideki sıcak hava ise tavana doğru yükselmekte ve pencerelerin üst kısımlarından dışarıya çıkmaktadır.



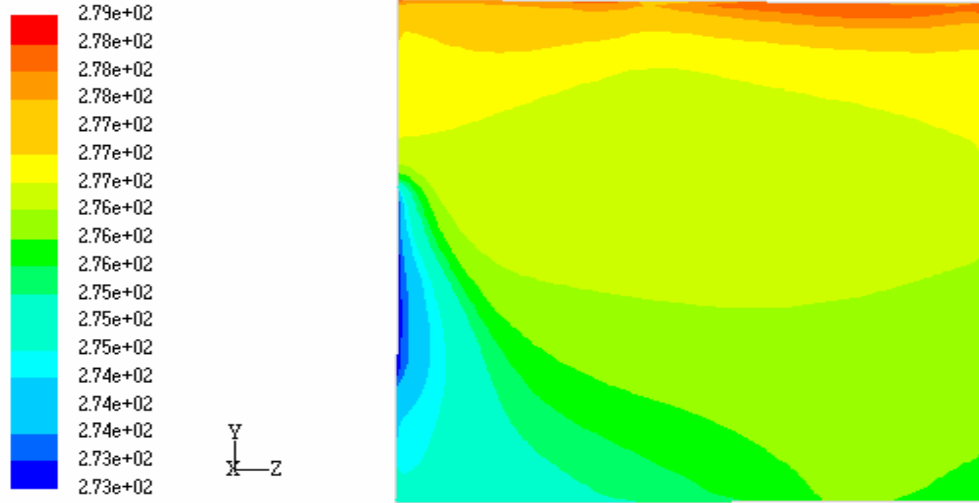
Şekil 5.13. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.14. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



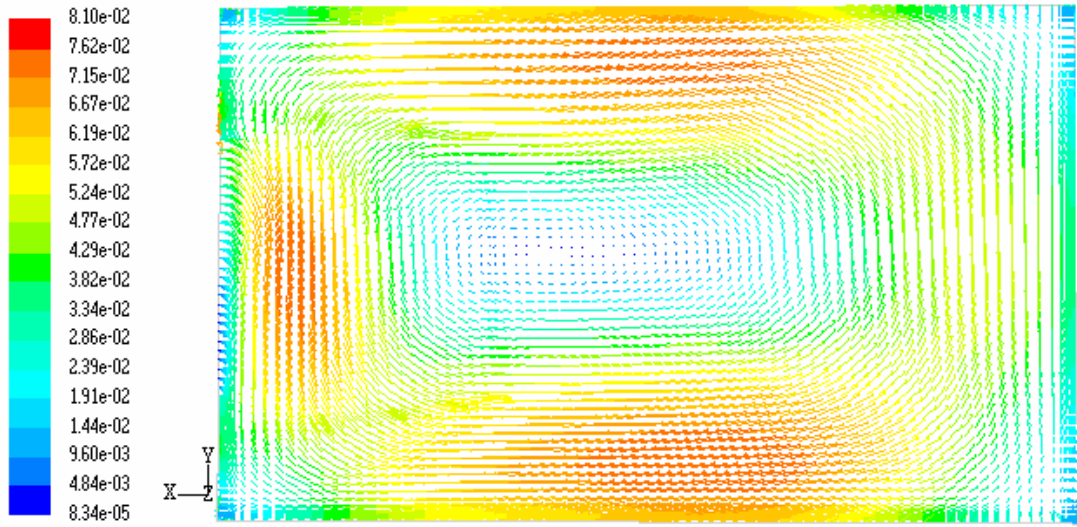
Şekil 5.15. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) sıcaklık dağılımı



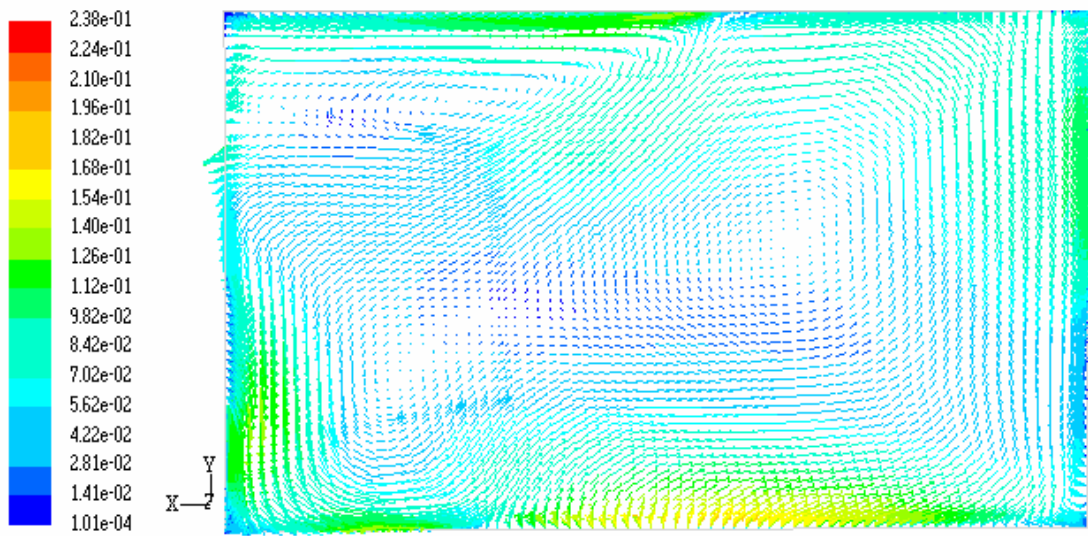
Şekil 5.16. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

Minimum sıcaklık 273 K ile pencere yüzeylerinin alt kısımlarında oluşmaktadır. 30. saniyede ortalama sıcaklık 281,62 K iken 120. saniyedeki ortalama sıcaklık 276,3 K olmaktadır yani ilk 30 saniyede sıcaklık 13,38 °C azalmışken, sonraki 90 saniye içinde sıcaklık 5,32 °C azalmıştır.

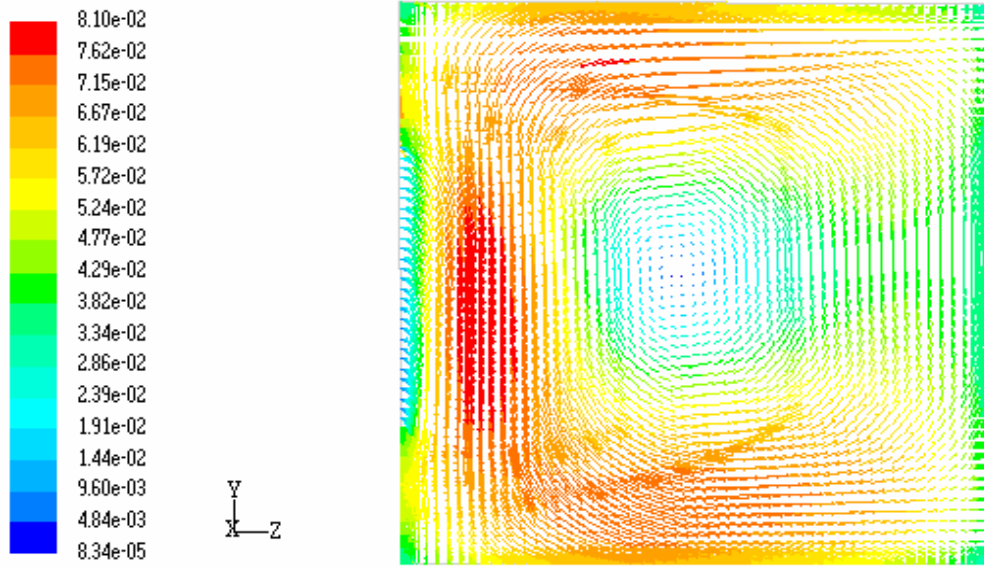
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmiştir.



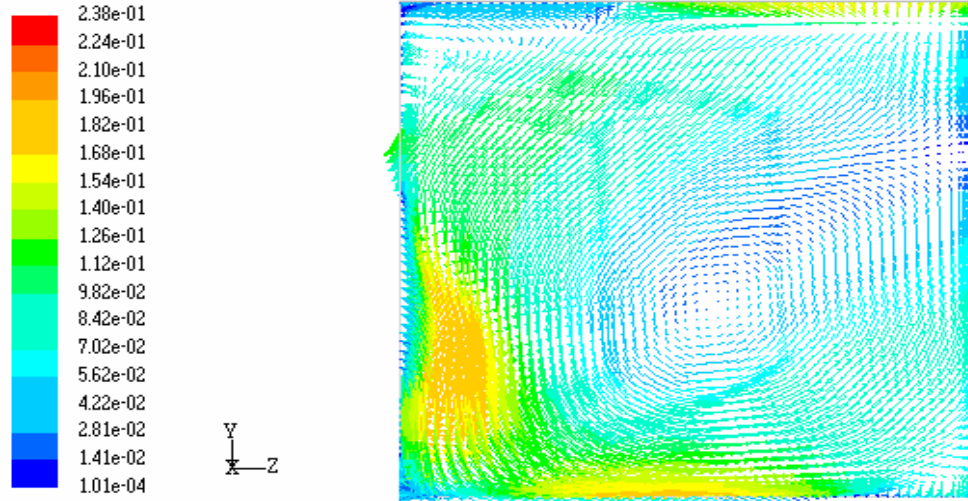
Şekil 5.17. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede. 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.18. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede. 1.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



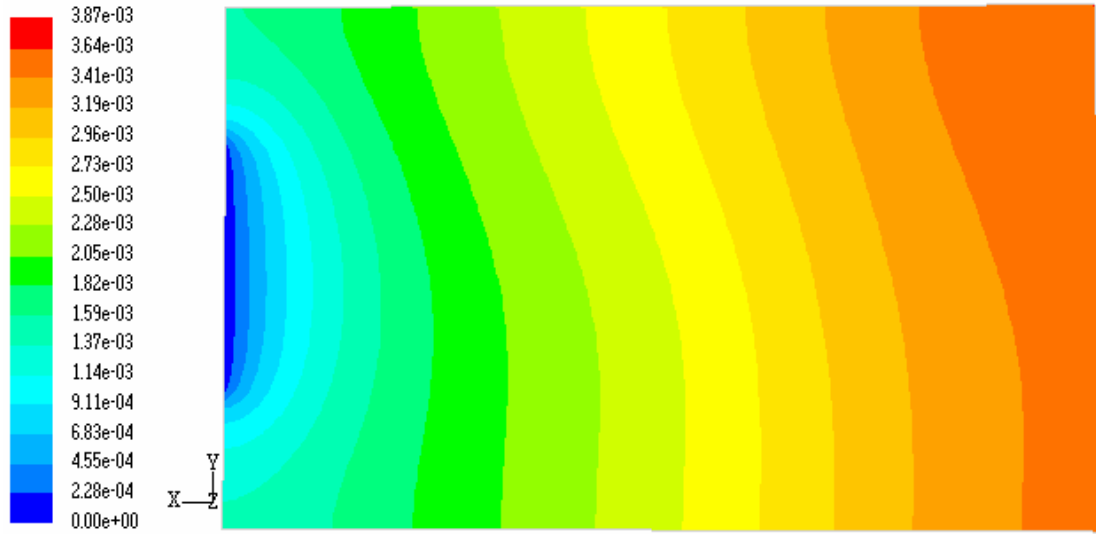
Şekil 5.19. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



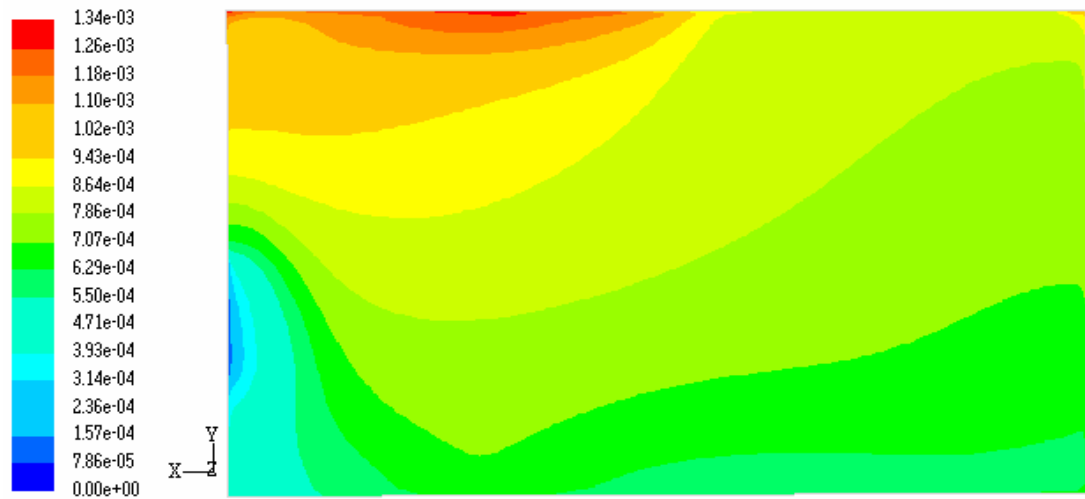
Şekil 5.20. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı

Duvar yüzeylerinde kaymasızlık sınır şartı uygulandığından minimum hız duvar yüzeylerindedir ve değeri sıfırdır. 30. saniyede maksimum hız 0,08 m/s ile pencerelerin giriş kısımlarından aşağıya doğru yönelen hava akımında olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız 0,35 m/s olarak tespit edilmiştir.

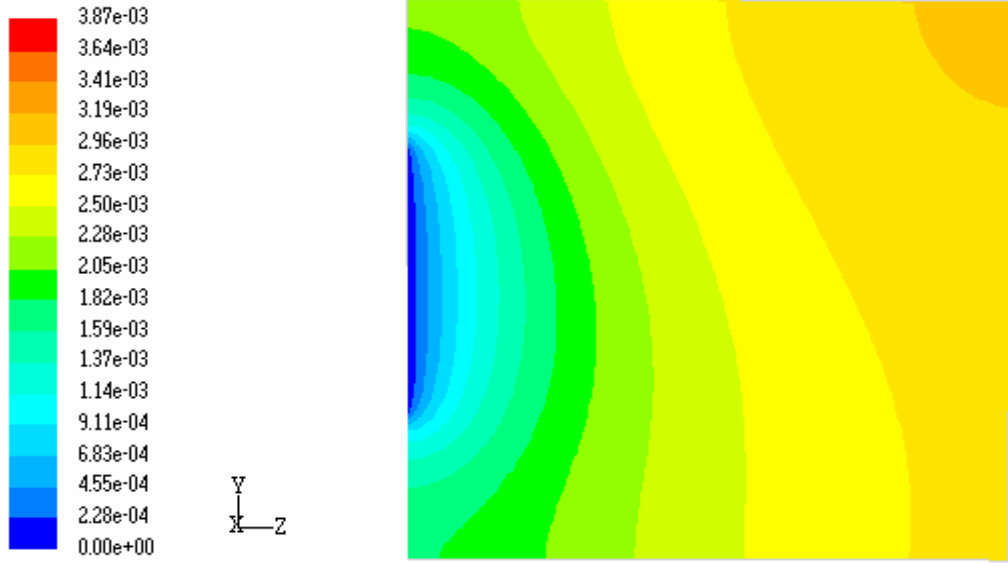
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımları sırasıyla Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de verilmiştir.



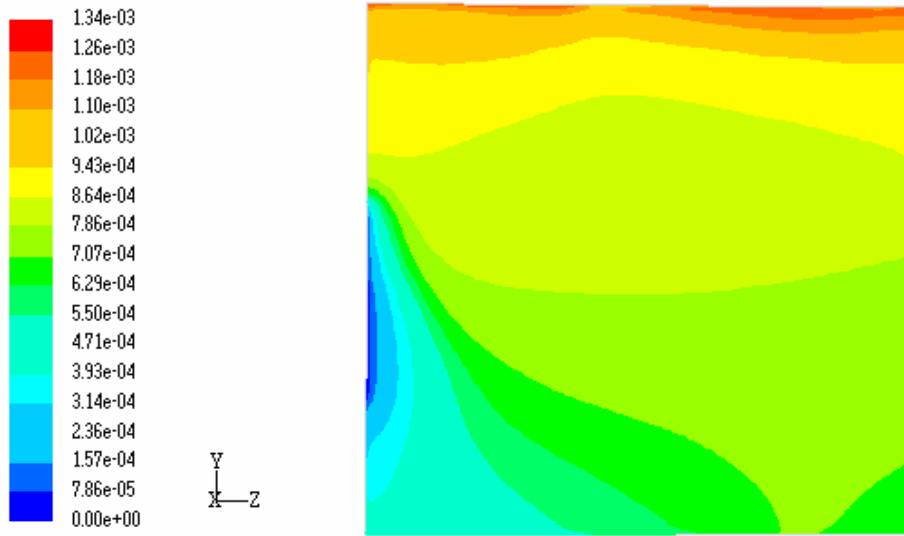
Şekil 5.21. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.22. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.23. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.24. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı

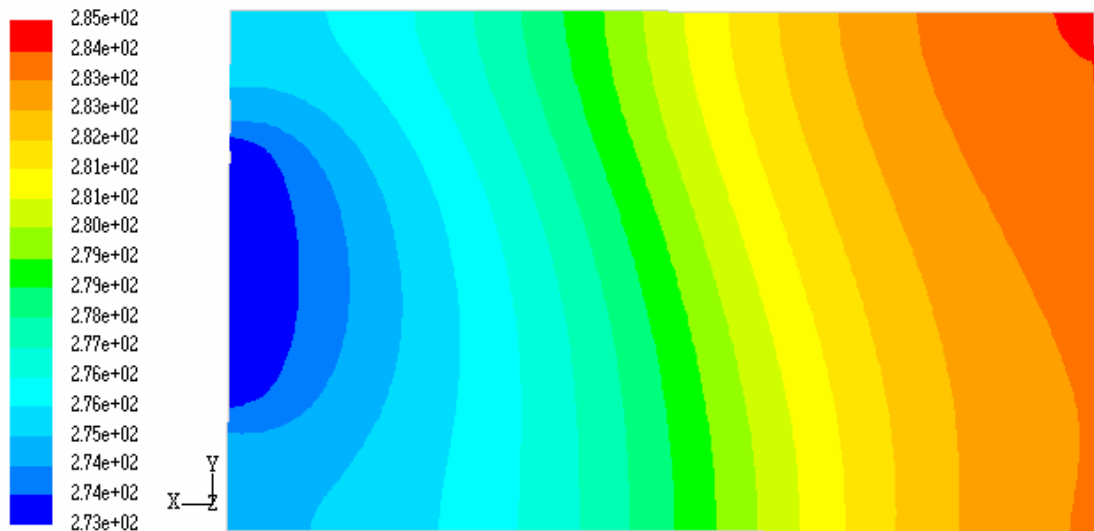
Şekillerden de görüldüğü gibi karbondioksit konsantrasyonu, pencerelerin giriş kısımlarında sıfır olmaktadır ve odanın tabanından tavanına doğru gittikçe karbondioksit konsantrasyonu da artmaktadır. Ayrıca Şekil 5.21, Şekil 5.22 ile ve Şekil 5.23, Şekil 5.24 ile karşılaştırıldığında 30. saniyeye göre 120. saniye de oda

içindeki karbondioksit konsantrasyonunun tavan kısmında yoğunlaştığını ve taban kısımlarında sifıra yaklaştığının görmekteyiz. 30. saniyede ortalama karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,00247 iken 120. saniyede ortalama karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,000586 olmaktadır. 30. saniyede maksimum karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,00387 iken 120. saniyede maksimum karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,00134 olmaktadır.

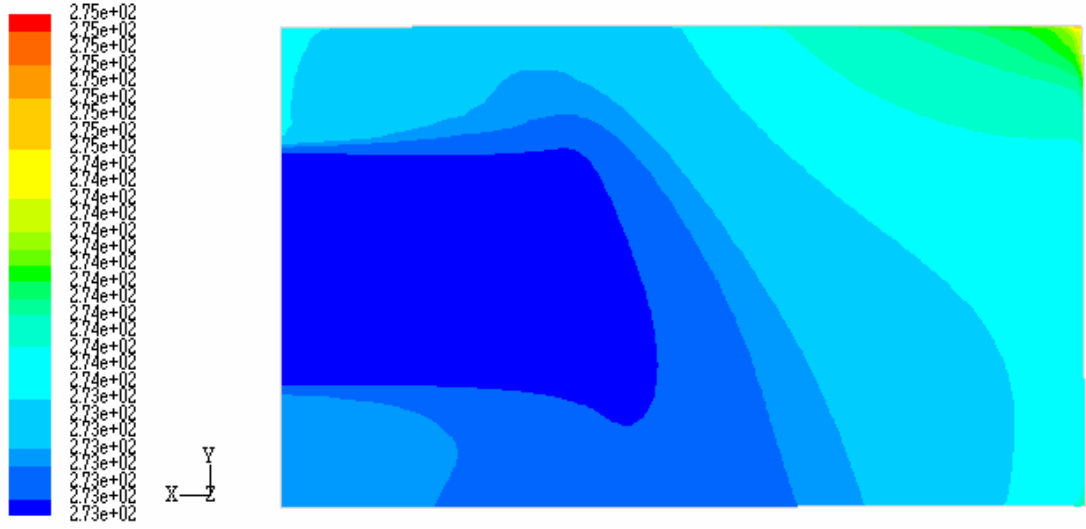
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumdaki analizler

Kış koşullarında yapılan analizlerde 1. durumdaki odada ön pencereden giren havanın hızı 1 m/s olduğu kabul edilmiş ve diğer sınır şartları ve başlangıç şartı değiştirilmeden analizler tekrarlanmıştır.

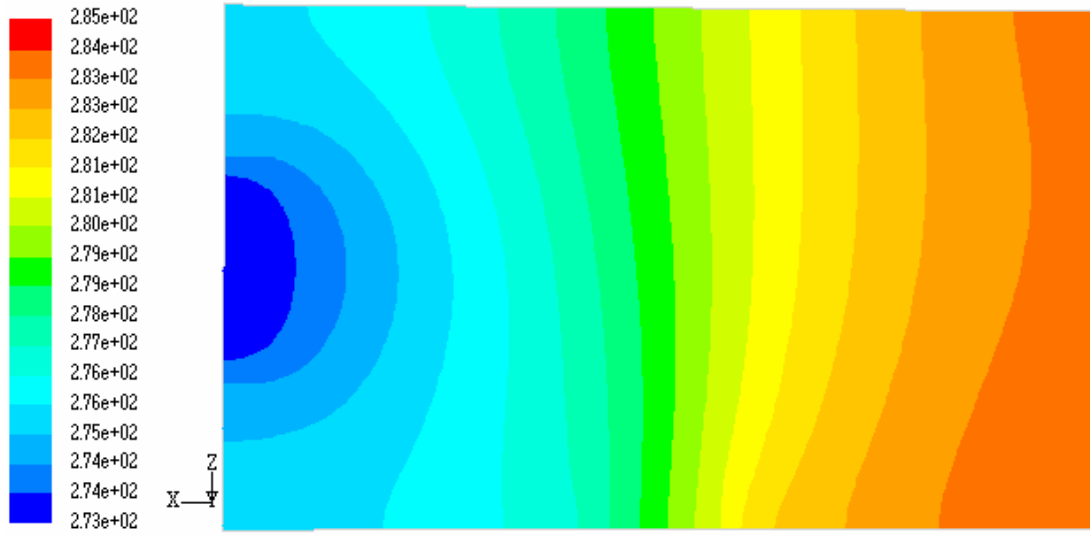
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda, ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir.



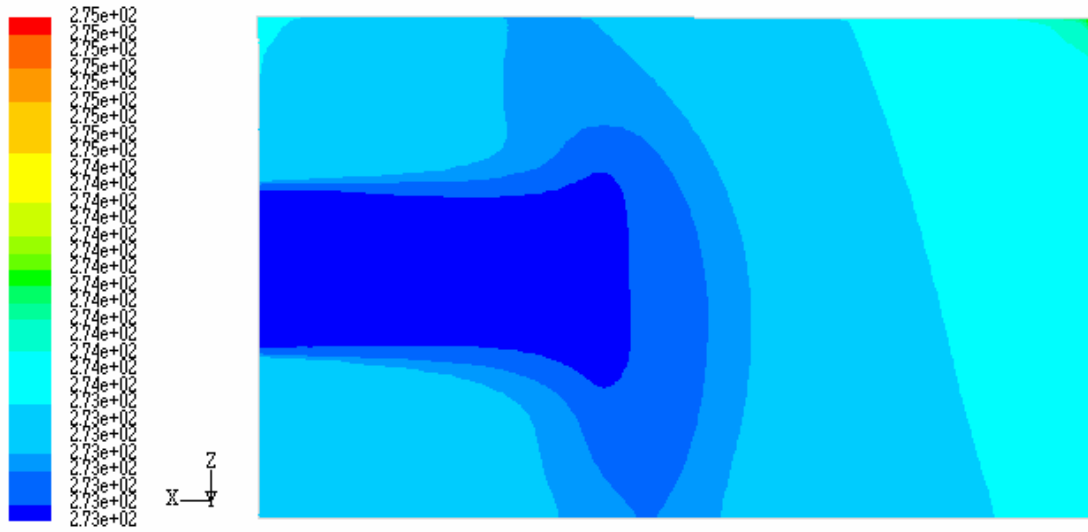
Şekil 5.25. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.26. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



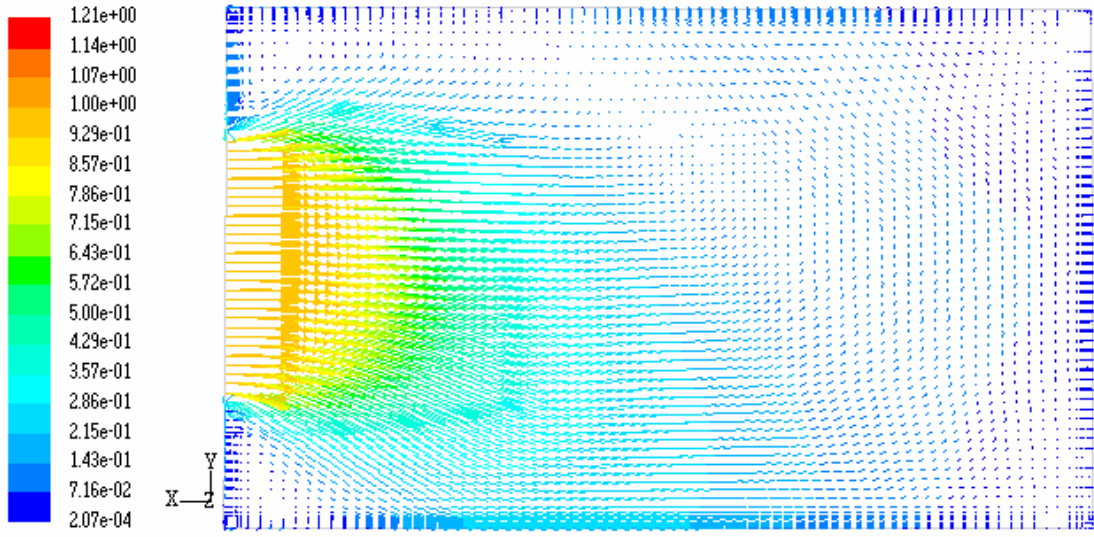
Şekil 5.27. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı



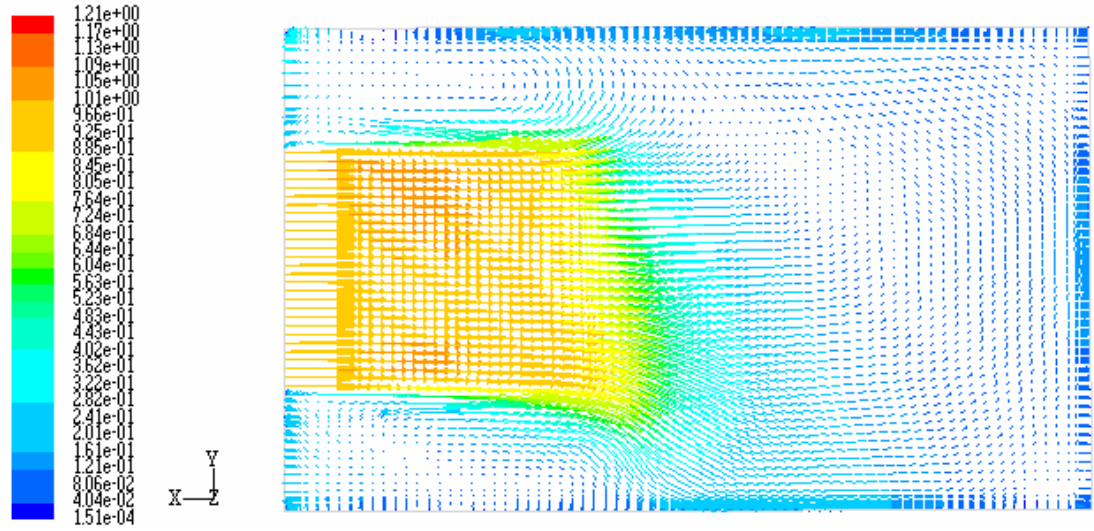
Şekil 5.28. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava ön pencereden içeriye girmekte belli bir mesafeden sonra aşağıya doğru yönelmektedir. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisindeki minimum sıcaklık ön pencerede olmaktadır ve değeri 273 K'dir. 30. saniyedeki maksimum sıcaklık 284,89 K olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum sıcaklık 273,09 K olmaktadır.

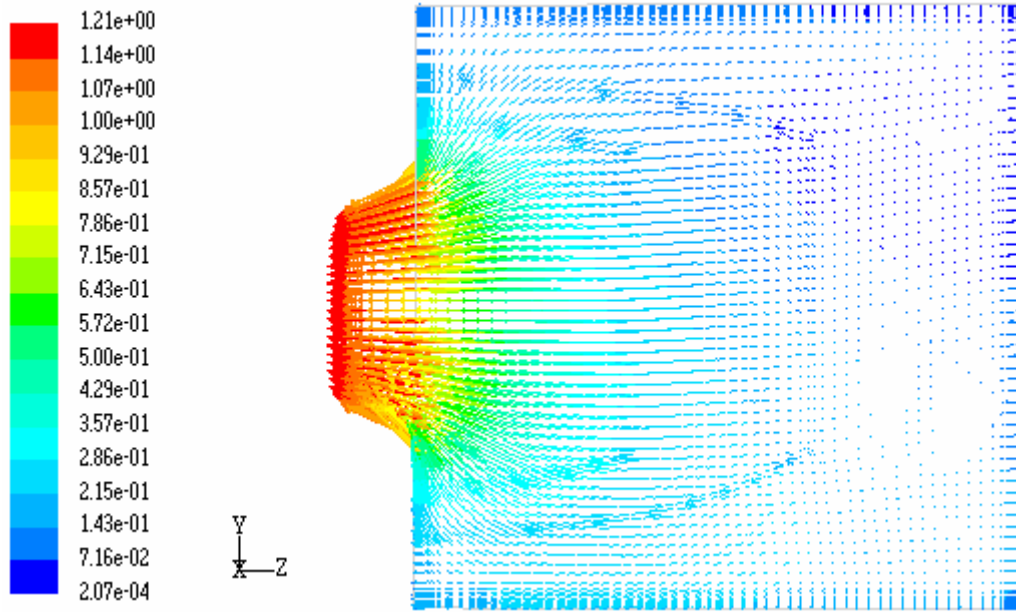
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'de verilmiştir.



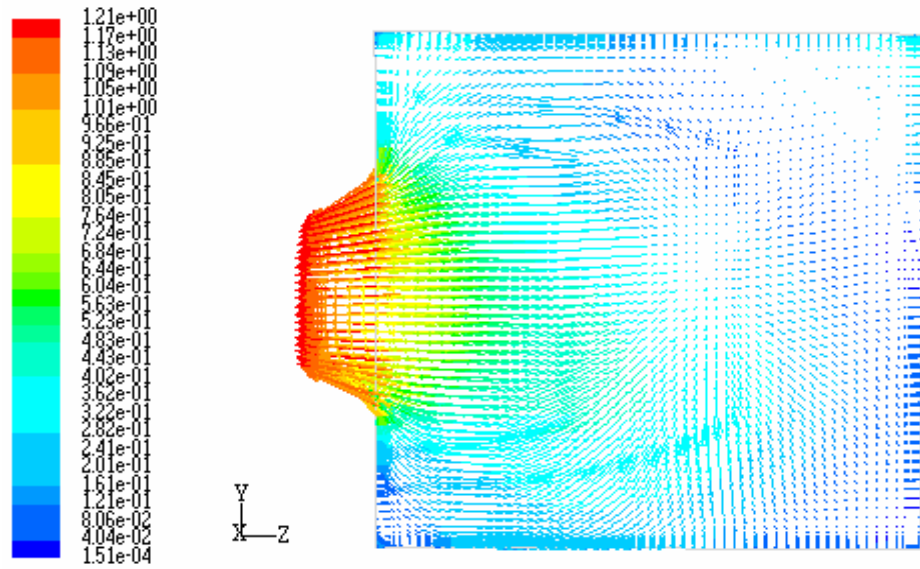
Şekil 5.29. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



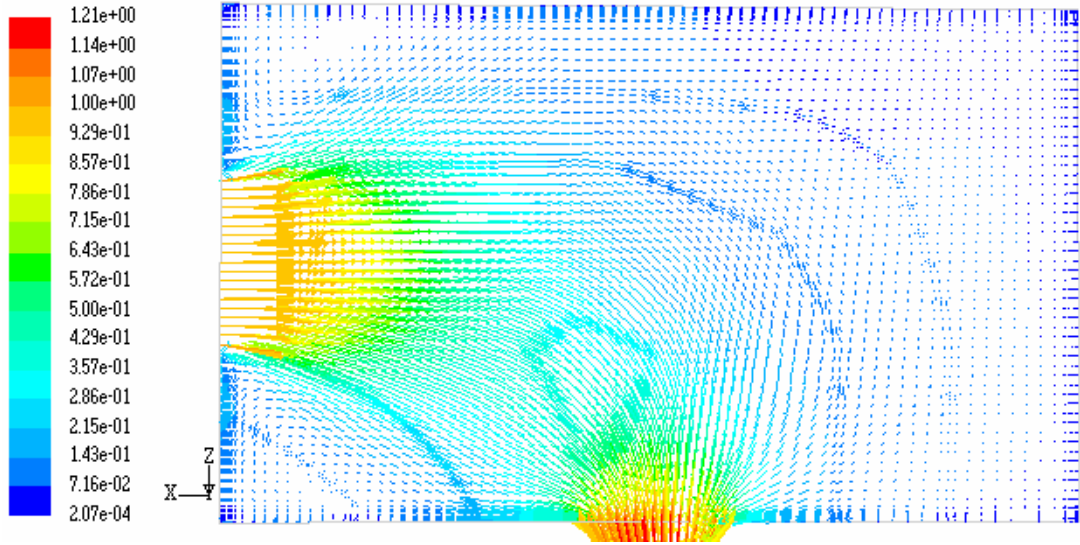
Şekil 5.30. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



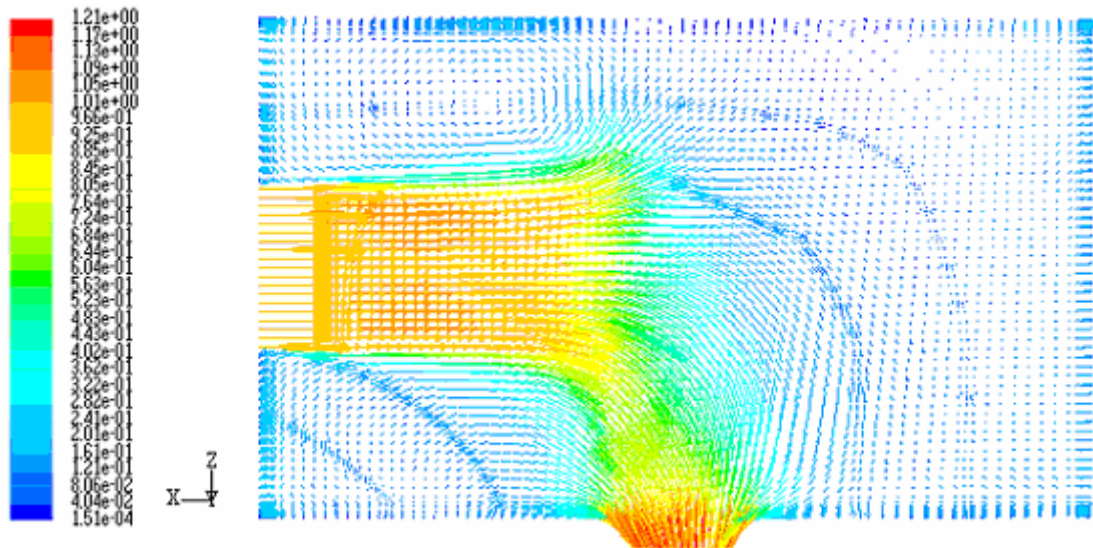
Şekil 5.31. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.32. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.33. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

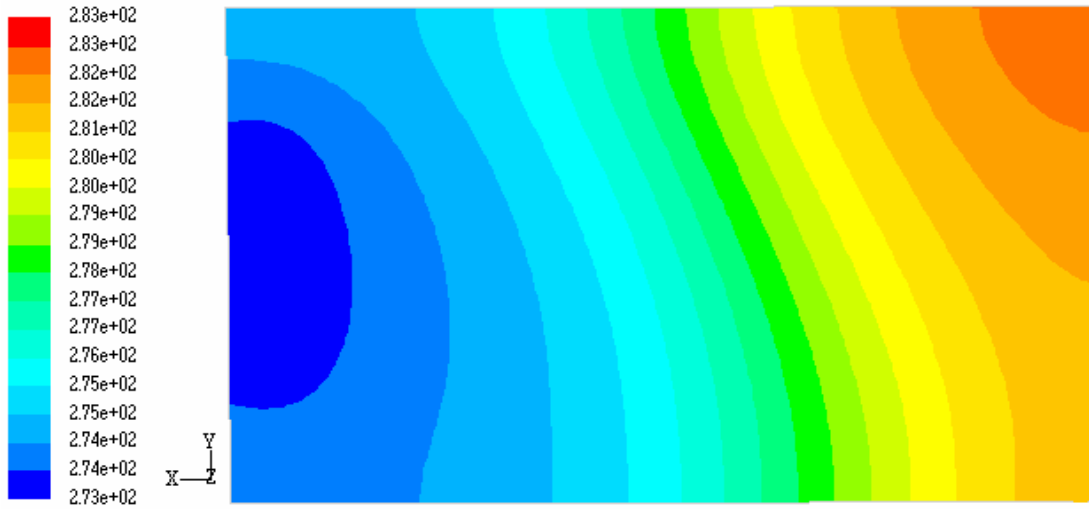


Şekil 5.34. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

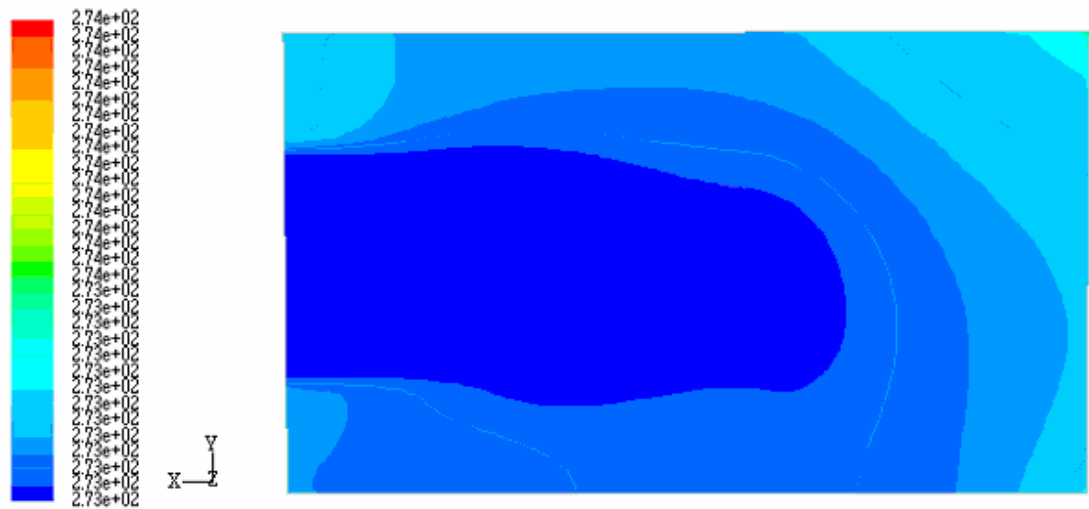
Dış ortamdaki soğuk hava 1 m/s hızla ön pencereden içeriye girmekte ve şekillerde görüldüğü gibi odanın içerisine yayılmaktadır. Ön pencereden giren hava odanın ortasına doğru gelirken yan pencereye doğru yönelmektedir. Oda içerisinde 30. saniyedeki maksimum hız 1,22 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 1,21 m/s olmaktadır.

Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumdaki analizler

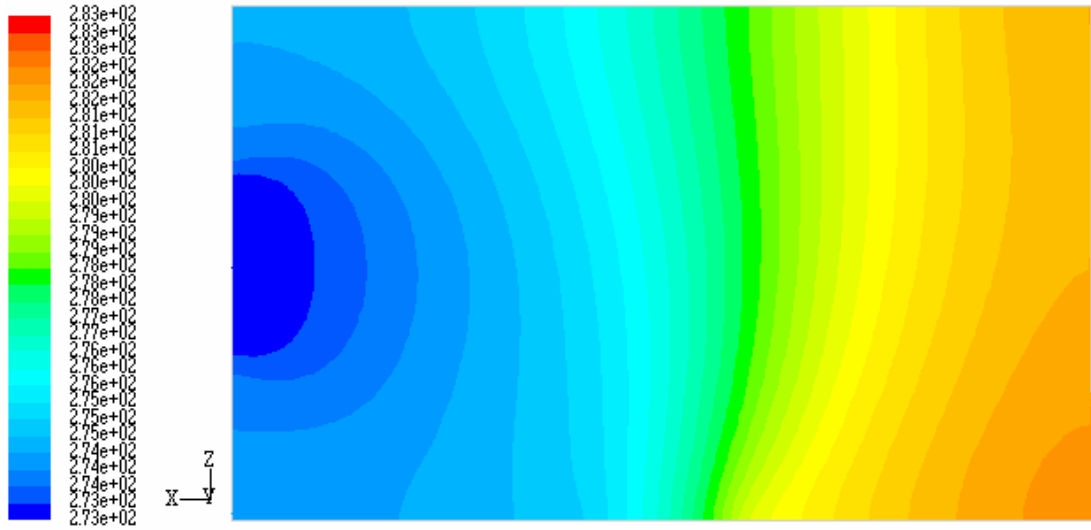
Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de verilmiştir.



Şekil 5.35. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.36. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



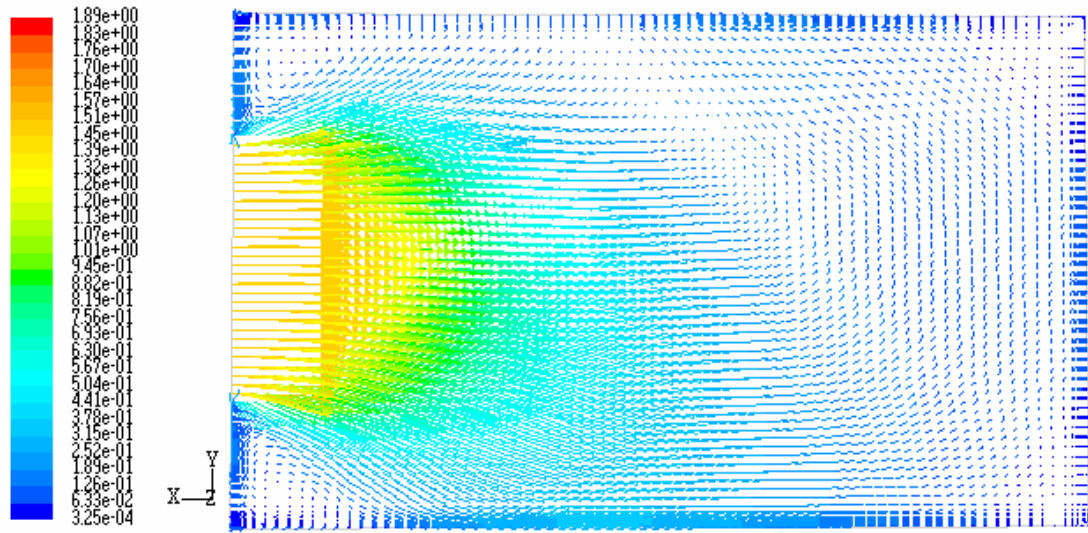
Şekil 5.37. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı



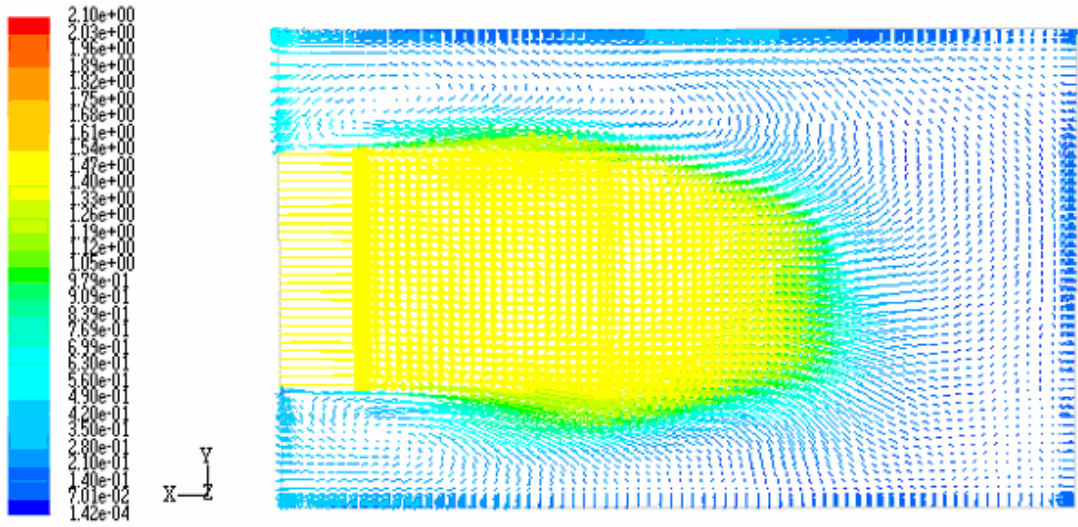
Şekil 5.38. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava ön pencereden girmekte belli bir mesafeden sonra aşağıya doğru yönelmektedir. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisindeki minimum sıcaklık ön pencerede olmaktadır ve değeri 273 K'dir. 30. saniyedeki maksimum sıcaklık 283,42 K, ortalama sıcaklık ise 277,43 K olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum sıcaklık 274,10 K, ortalama sıcaklık ise 273,12 K olmaktadır.

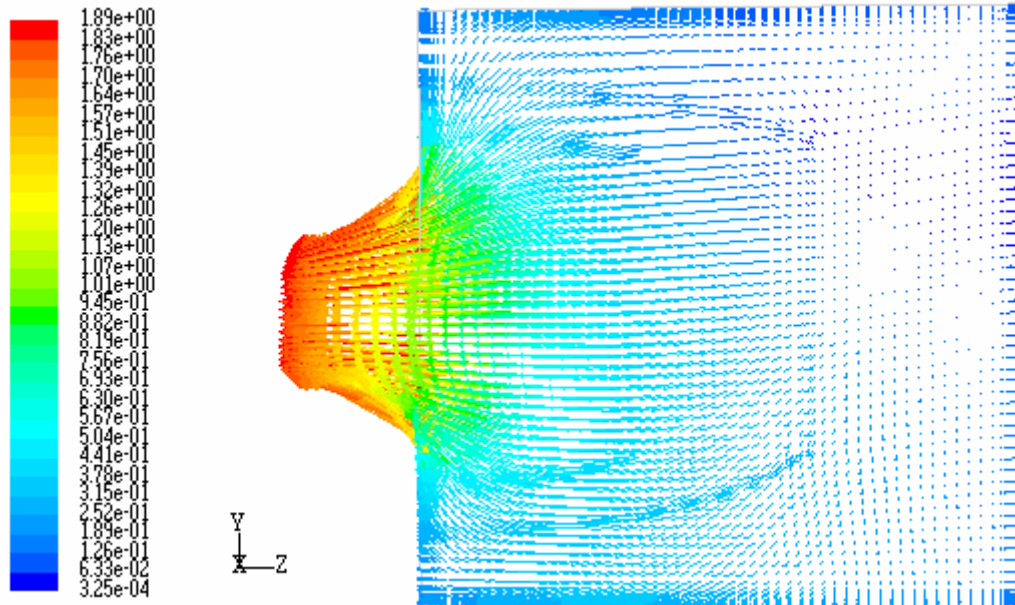
Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.43 ve Şekil 5.44'de verilmiştir.



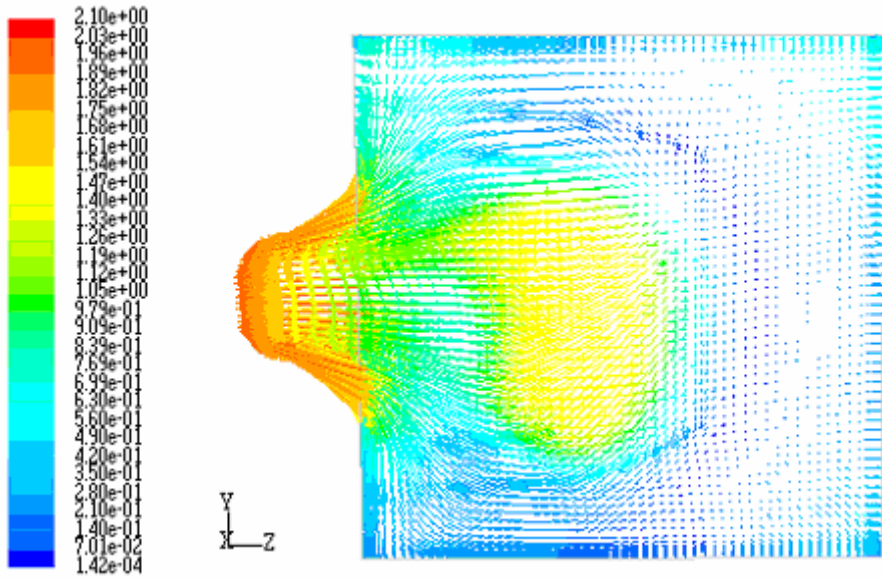
Şekil 5.39. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



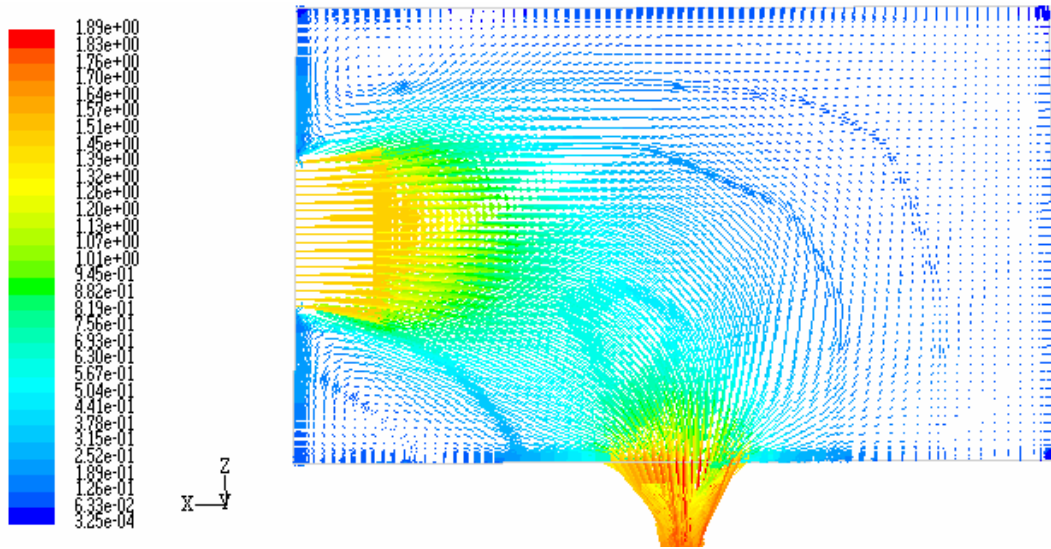
Şekil 5.40. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120.saniyede 1. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



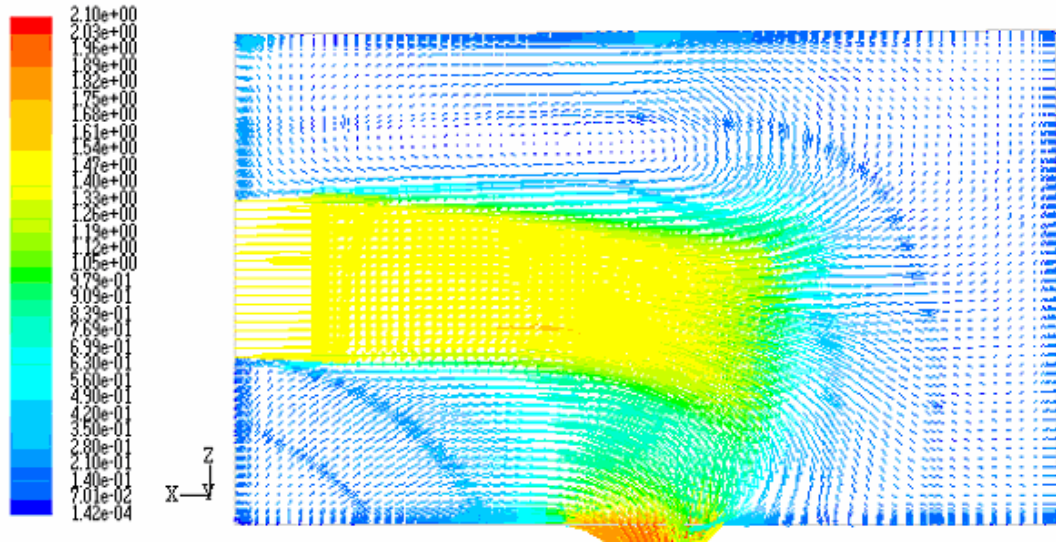
Şekil 5.41. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.42. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



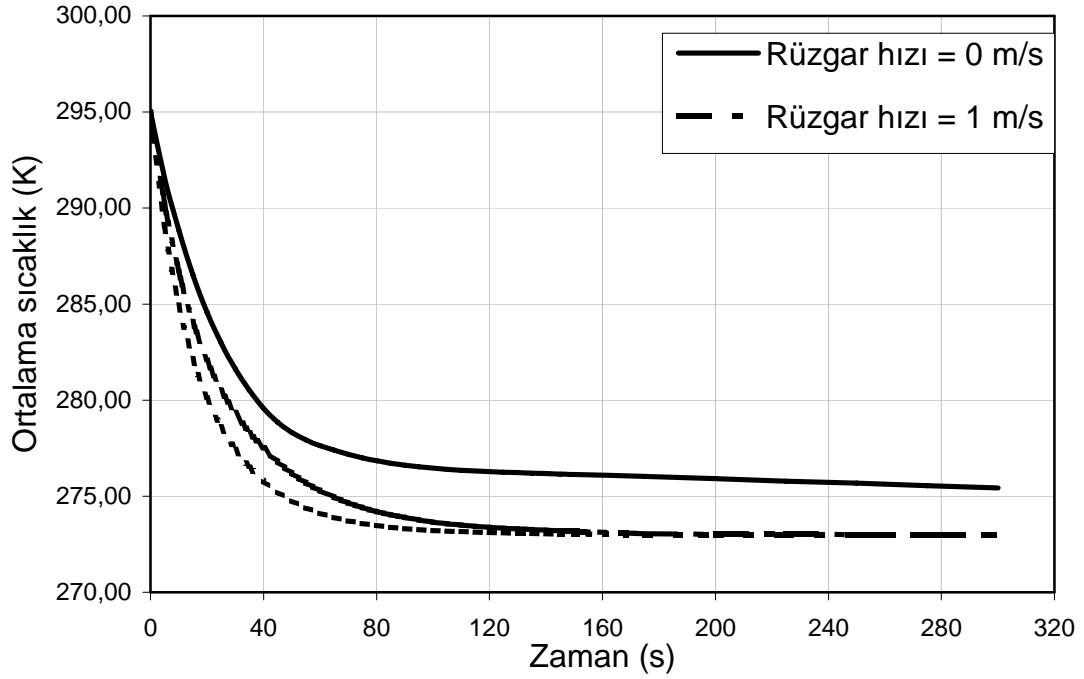
Şekil 5.43. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.44. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 1. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

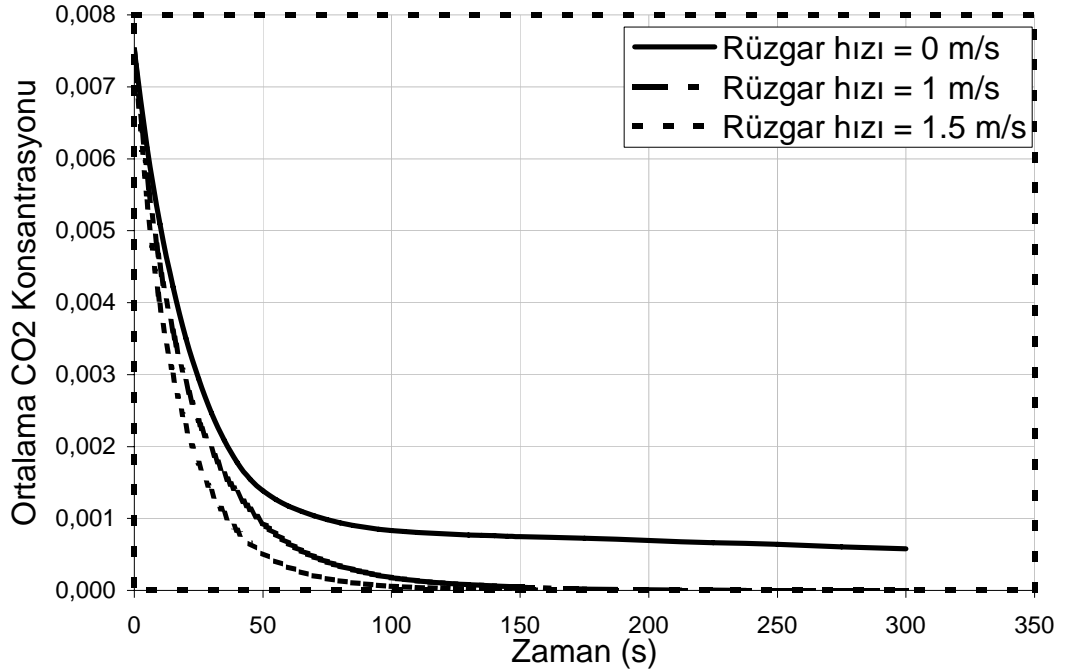
Dış ortamdaki soğuk hava 1,5 m/s hızla ön pencereden içeriye girmekte ve odanın ortalarına doğru hızı azalmaktadır. Ön pencereden giren hava belli bir hızla yan pencereye doğru yönelmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisinde 30. saniyedeki maksimum hız 1,89 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 2,08 m/s olmaktadır.

Oda içerisindeki ortalama sıcaklığın çeşitli rüzgâr hızlarında, zamanla değişimi Şekil 5.45'de verilmiştir. Oda içerisindeki ortalama sıcaklık ilk 100 saniye içerisinde hızla düştüğü daha sonraki saniyelerde düşüş hızının azaldığı görülmektedir. Şekil 5.45'den de görüldüğü gibi rüzgâr hızı arttıkça oda içerisindeki havanın ortalama sıcaklığının azalma hızı da artmaktadır.



Şekil 5.45. Kış şartlarında çeşitli rüzgâr hızlarında 1. durumdaki oda içindeki hava sıcaklığının zamanla değişimi

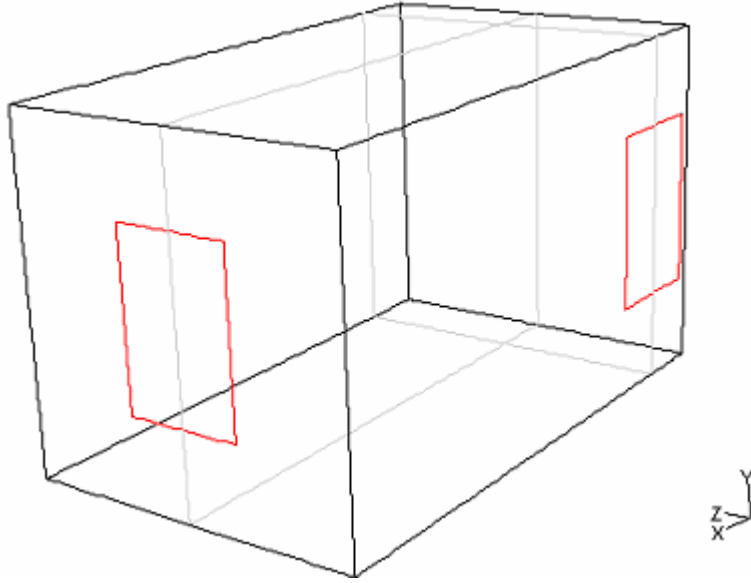
Oda içerisindeki karbondioksit konsantrasyonunun çeşitli rüzgâr hızlarında, zaman içerisindeki değişimi Şekil 5.46'da verilmiştir. Oda içerisindeki Ortalama karbondioksit konsantrasyonu ilk 100 saniye içerisinde hızla düşmüş daha sonraki saniyelerde düşüş hızı azalmış ve yaklaşık 3 dakika içinde sıfıra çok yaklaşmıştır. Şekil 5.46'dan da görüldüğü gibi rüzgâr hızı arttıkça oda içerisindeki karbondioksit konsantrasyonunun azalma hızı da artmaktadır. Karbondioksit konsantrasyonunun değeri 600 mg/m^3 (kütle oranı olarak 0,000486) olduğu zaman temiz havadaki değerine ulaşmış demektir. Rüzgâr hızının sıfır olduğu durumda yaklaşık 300. saniyede karbondioksit konsantrasyonu temiz havadaki değerine ulaşırken, rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda yaklaşık 80 saniyede, rüzgâr hızının $1,5 \text{ m/s}$ olduğu durumda ise yaklaşık 60 saniyede karbondioksit konsantrasyonu temiz havadaki değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, kış şartlarında bir odanın havalandırılması rüzgâr olmadığı durumda yaklaşık 5 dakikada, rüzgâr olduğu durumda ise yaklaşık 1,5 dakikada gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısı kaybını azaltmak amacıyla havalandırma süresinin çok uzun tutulmaması gerekir.



Şekil 5.46. Kış şartlarında çeşitli rüzgâr hızlarında 1. durumdaki oda içindeki karbondioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi

5.2.2. İkinci durum

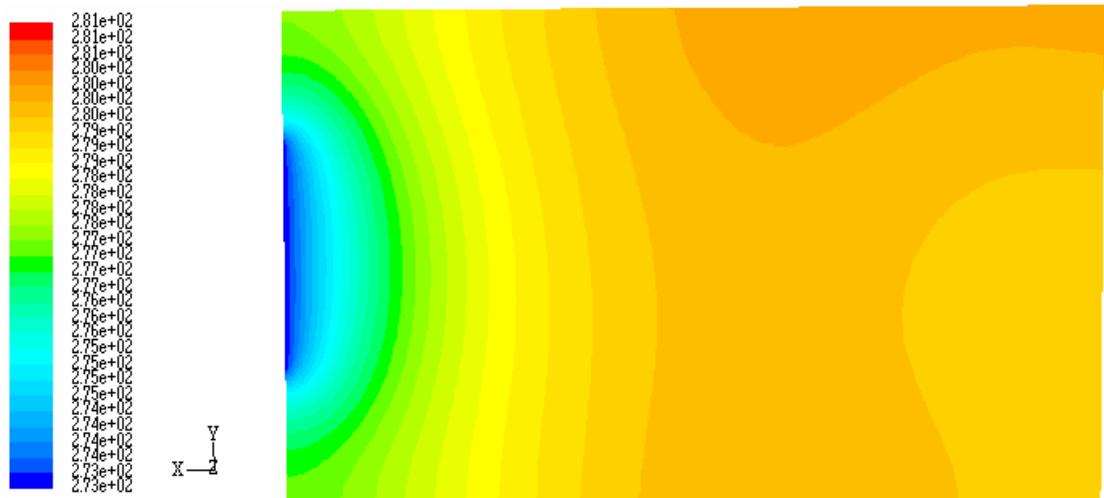
Bu durumda iki pencereden birincisi ön duvarın tam ortasına, ikincisi ise sağ yan duvarın arka duvar ile birleştiği köşeye 10 cm uzaklığa yerleştirilmiştir (Şekil 5.47). Kış aylarında pencerenin tam açık olduğu varsayılarak oda içindeki sıcaklığın ve kirletici CO_2 gazı konsantrasyonunun zamanla değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için oda içindeki havanın hızı, kirletici gaz konsantrasyonu ve sıcaklık dağılımları simüle edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak oda içindeki sıcaklığının ve kirletici gaz konsantrasyonunun zamanla değişimi belirlenmiştir.



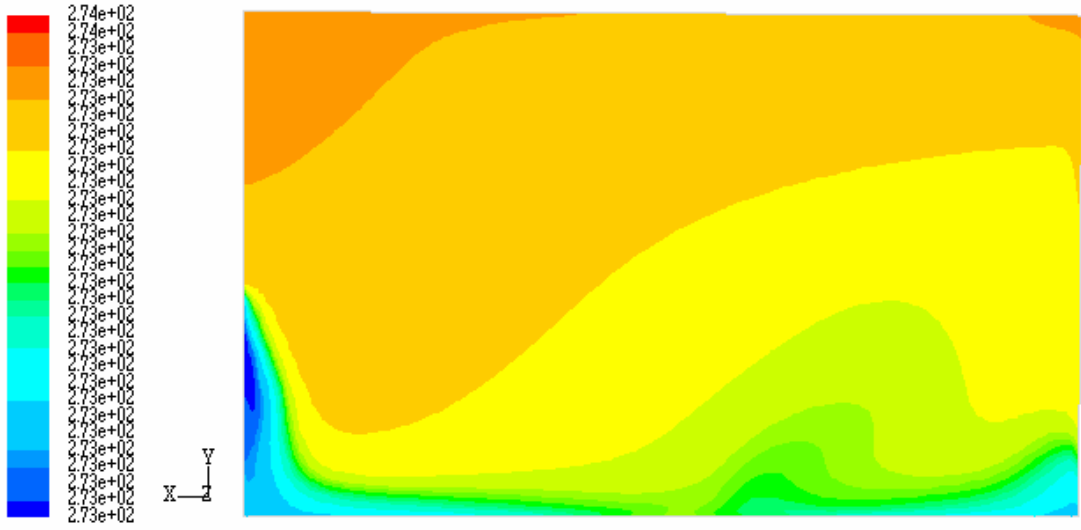
Şekil 5.47. Kış şartlarında yapılan simülasyonda ikinci durumdaki oda geometrisi

Rüzgâr hızının sıfır olduğu durumdaki analizler

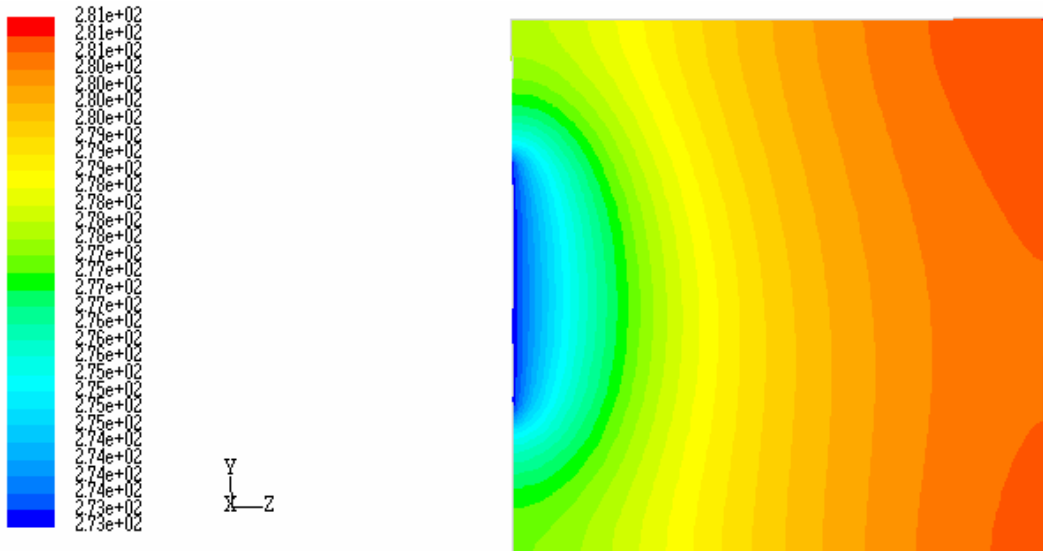
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 5.48 ve Şekil 5.49'da verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.50 ve Şekil 5.51'de verilmiştir.



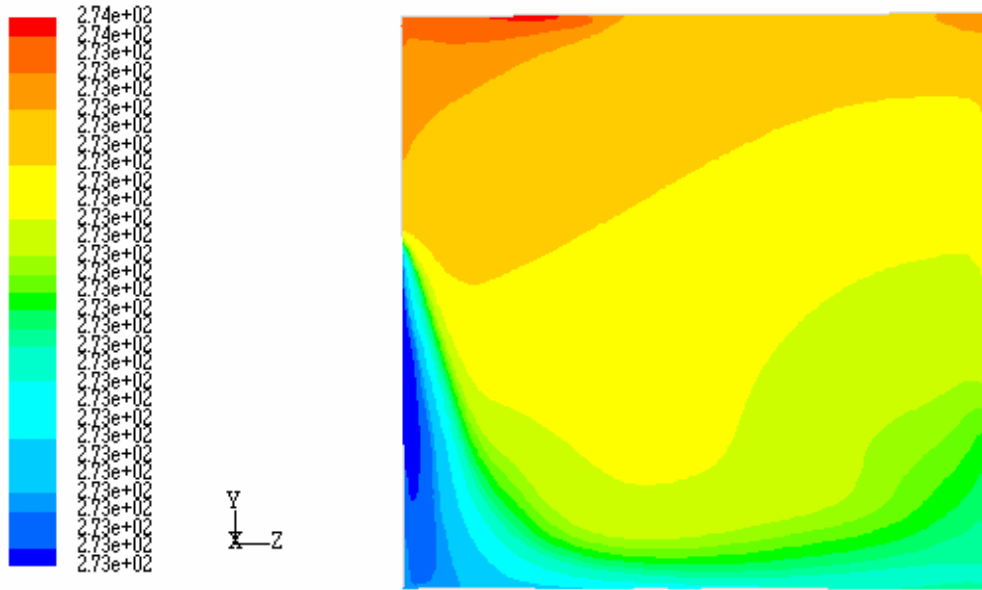
Şekil 5.48. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.49. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



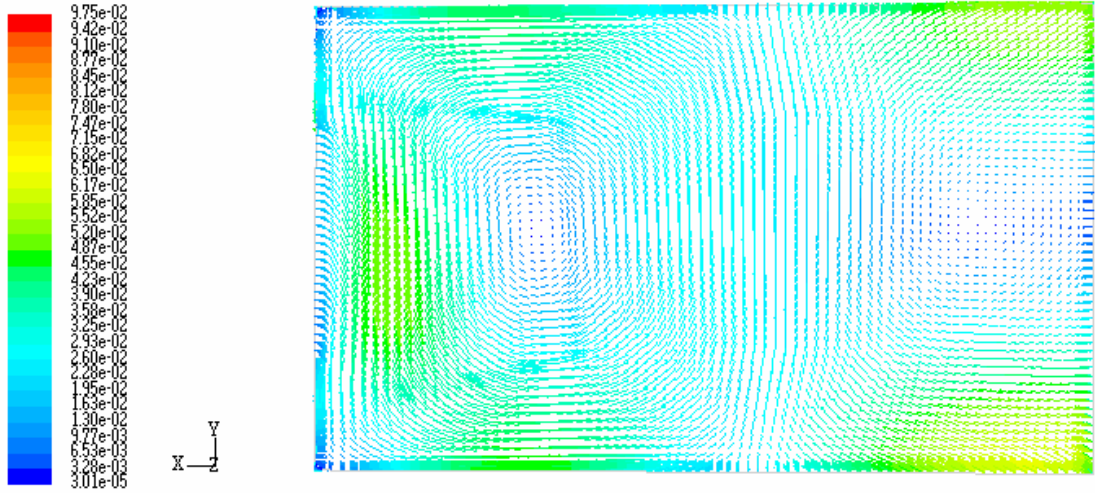
Şekil 5.50. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) sıcaklık dağılımı



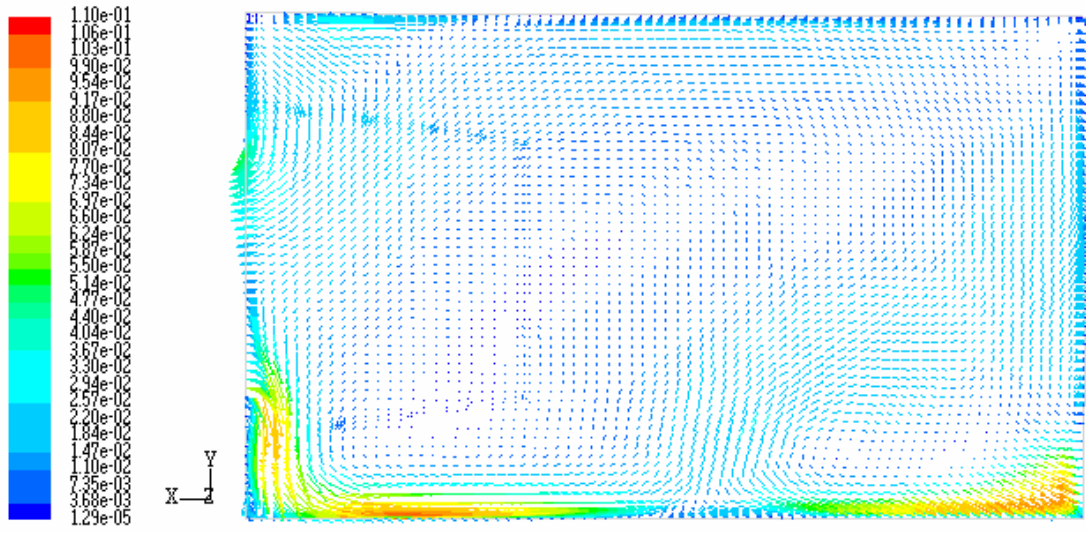
Şekil 5.51. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava pencerelerin alt kısımlarından içeriye girmekte ve aşağıya doğru inerek tabandan oda içerisine yayılmaktadır. İçerideki sıcak hava ise tavana doğru yükselmekte ve pencerelerin üst kısımlarından dışarıya çıkmaktadır. Minimum sıcaklık 273 K ile pencere yüzeylerinin alt kısımlarında oluşmaktadır. 30. saniyede ortalama sıcaklık 278,94 K iken 120. saniyedeki ortalama sıcaklık 273,58 K olmaktadır yani ilk 30 saniyede sıcaklık 16,06 °C azalmışken, sonraki 90 saniye içinde sıcaklık 5,36 °C azalmıştır.

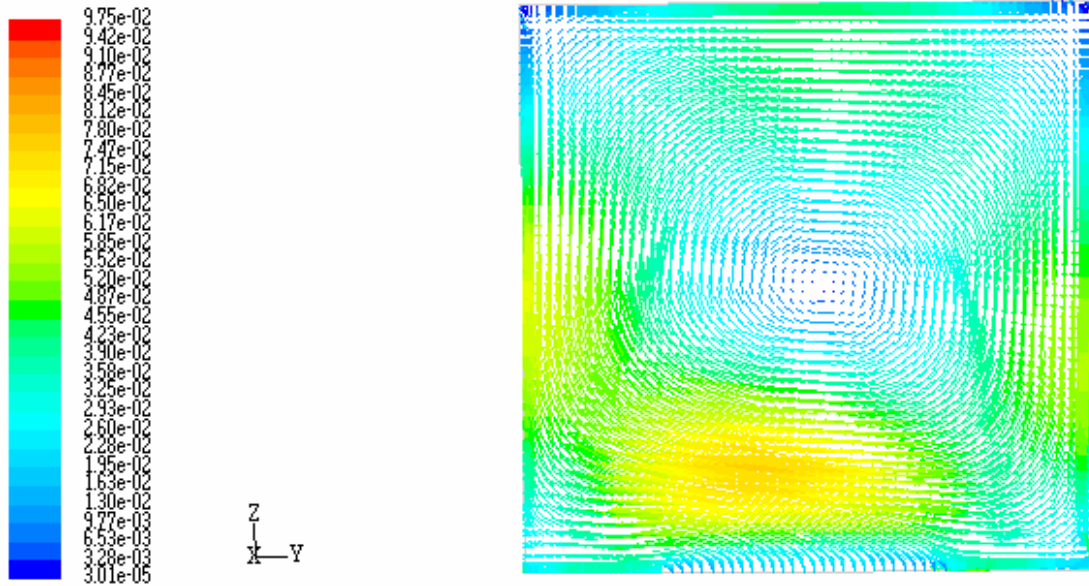
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'de verilmiştir.



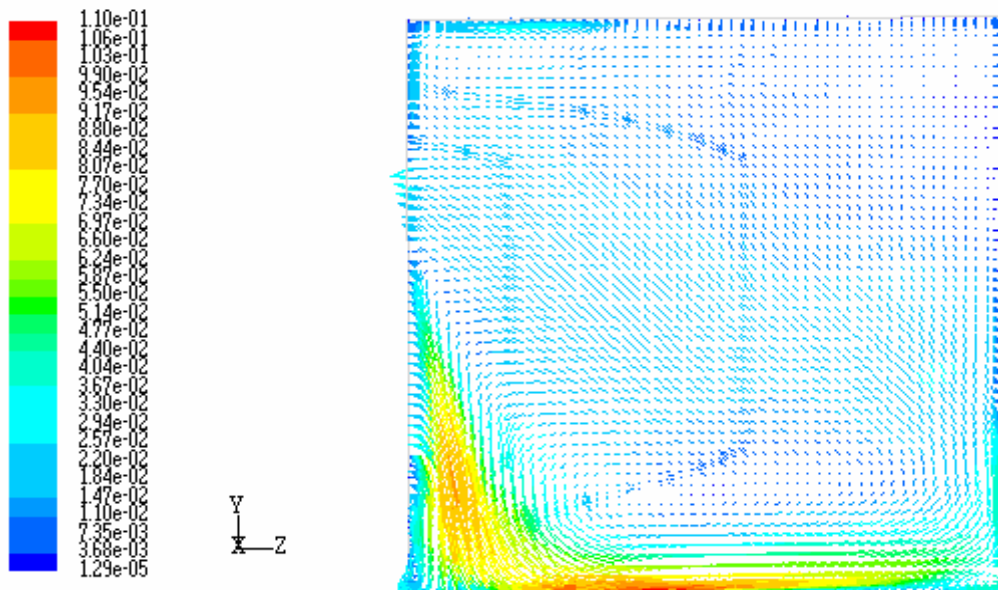
Şekil 5.52. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede. 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.53. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede. 2.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



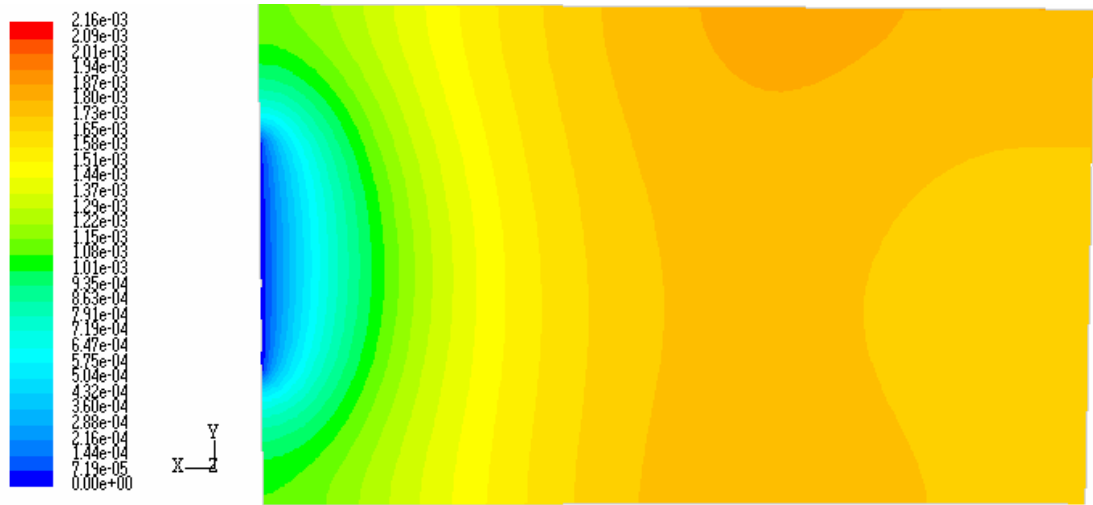
Şekil 5.54. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



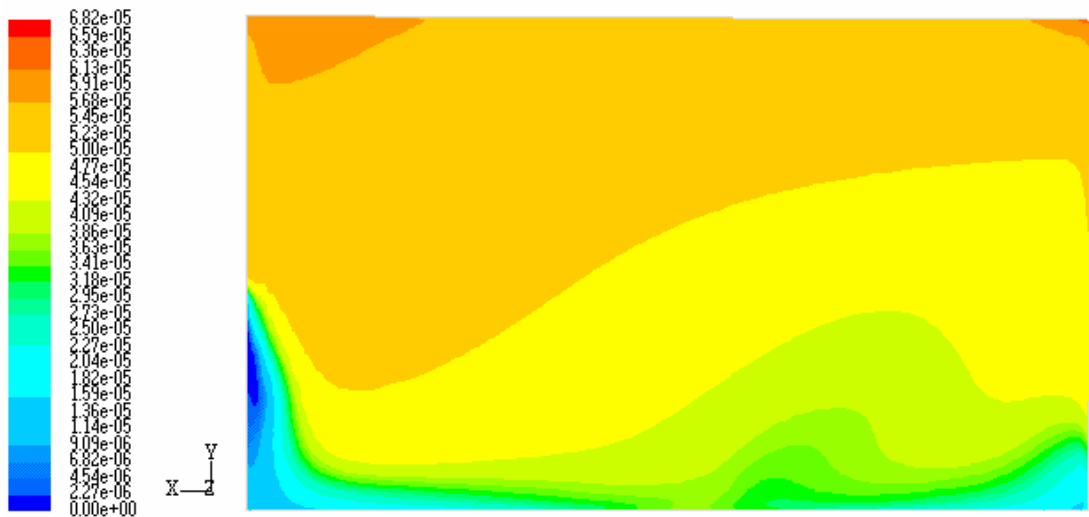
Şekil 5.55. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı

Duvar yüzeylerinde kaymasızlık sınır şartı uygulandığından minimum hız duvar yüzeylerindedir ve değeri sıfırdır. 30. saniyede maksimum hız 0,097 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 0,11 m/s olmaktadır.

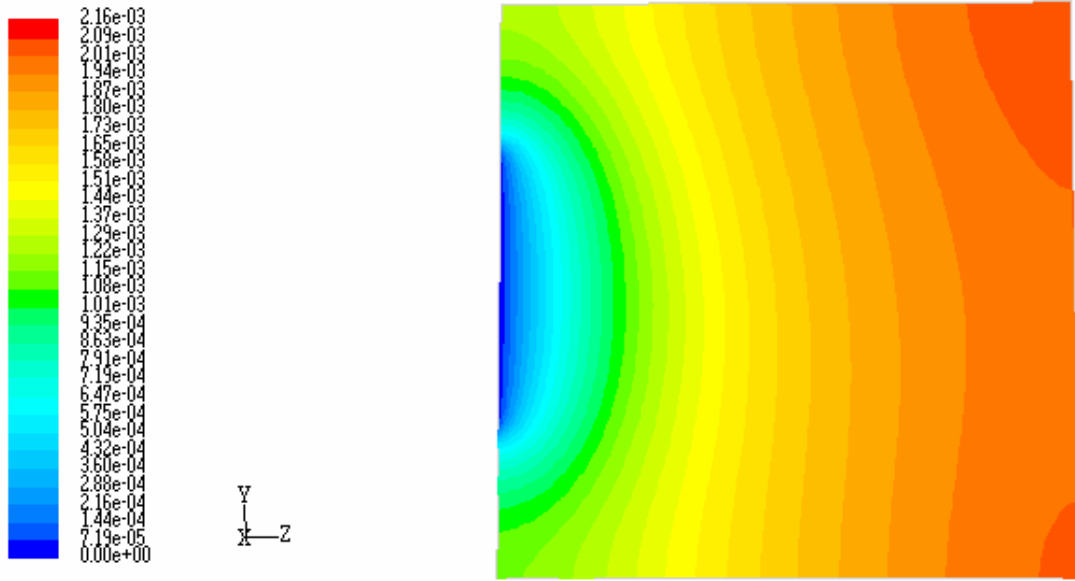
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımları sırasıyla Şekil 5.56 ve Şekil 5.57’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.58 ve Şekil 5.59’da verilmiştir.



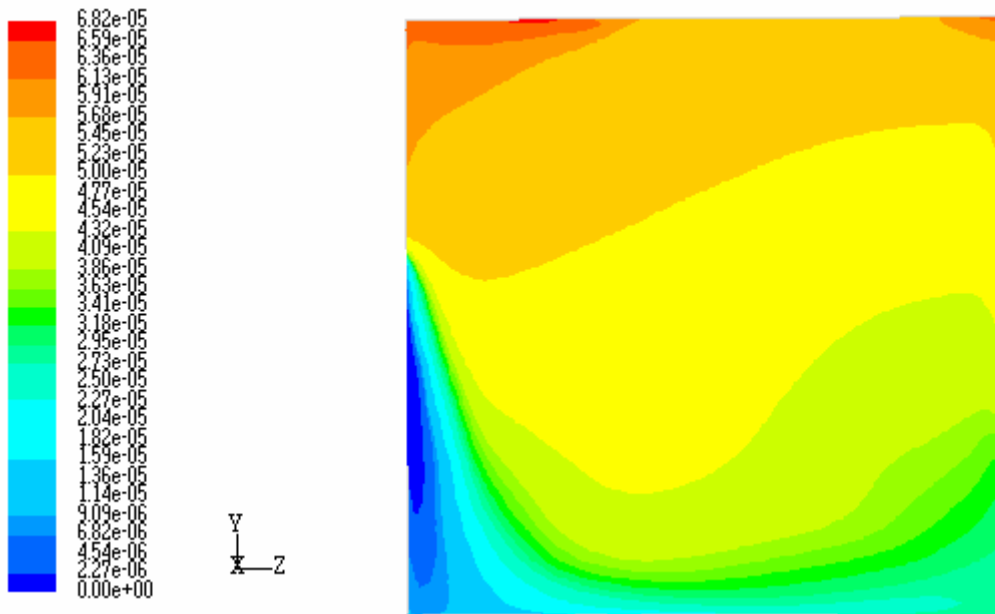
Şekil 5.56. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.57. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.58. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



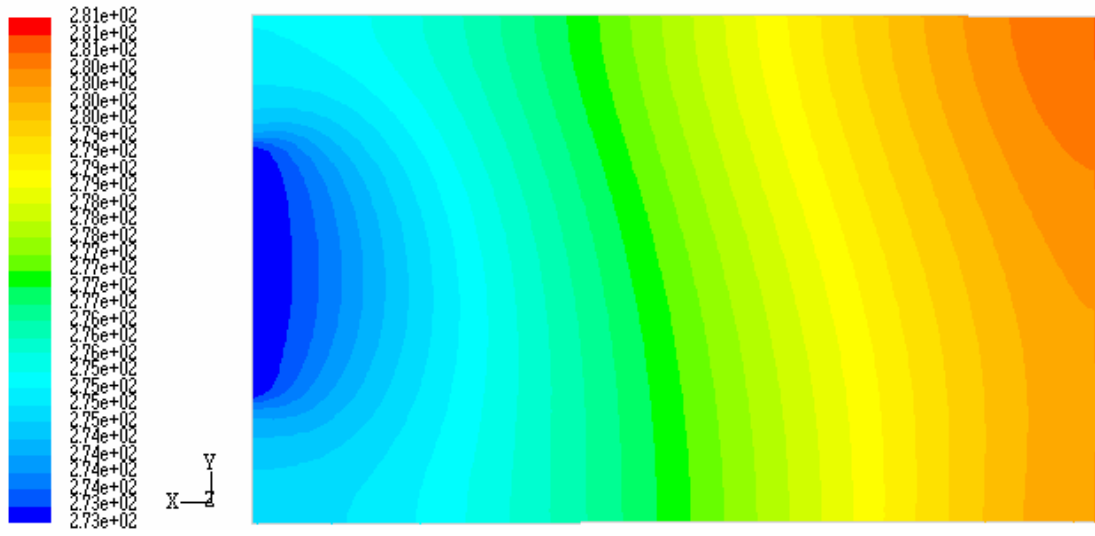
Şekil 5.59. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı

Şekillerden de görüldüğü gibi karbondioksit konsantrasyonu, pencerelerin giriş kısımlarında sıfır olmaktadır ve odanın tabanından tavanına doğru gittikçe karbondioksit konsantrasyonu da artmaktadır. Ayrıca Şekil 5.56 Şekil 5.57 ile ve Şekil 5.58 Şekil 5.59 ile karşılaştırıldığında 30. saniyeye göre 120. saniye de oda içindeki karbondioksit konsantrasyonunun tavan kısmında yoğunlaştığını ve taban kısımlarında sıfıra yaklaştığının görmekteyiz. 30. saniyede ortalama karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,0015525 iken 120. saniyede ortalama karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,0000797 olmaktadır. 30. saniyede maksimum karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,002158 iken 300. saniyede maksimum karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,00021 olmaktadır.

Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumdaki analizler

Kış koşullarında yapılan analizlerde 2. durumdaki odada ön pencereden giren havanın hızı 1 m/s olduğu kabul edilmiş ve diğer sınır şartları ve başlangıç şartı değiştirilmeden analizler tekrarlanmıştır.

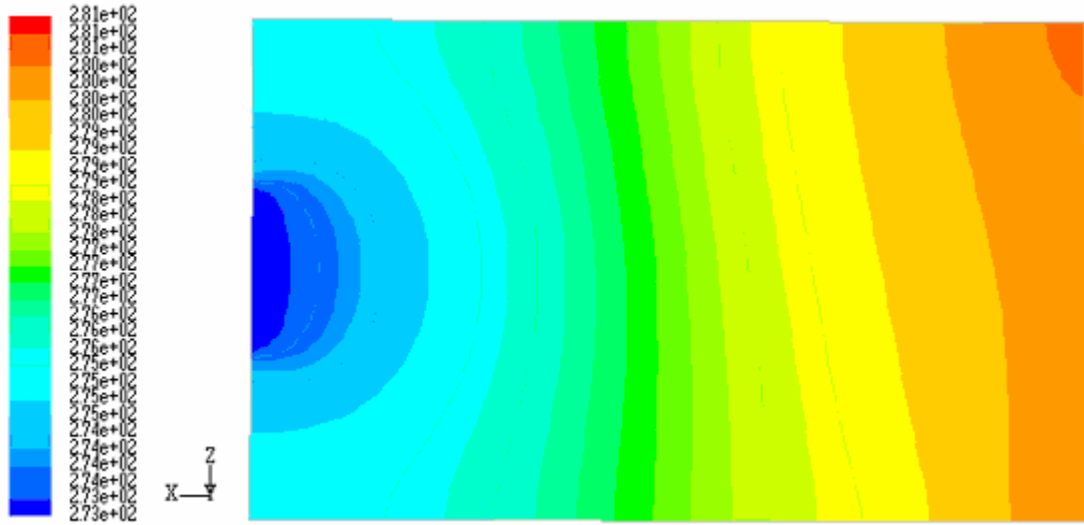
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.60 ve Şekil 5.61'de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.62 ve Şekil 5.63'de verilmiştir.



Şekil 5.60. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.61. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.62. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

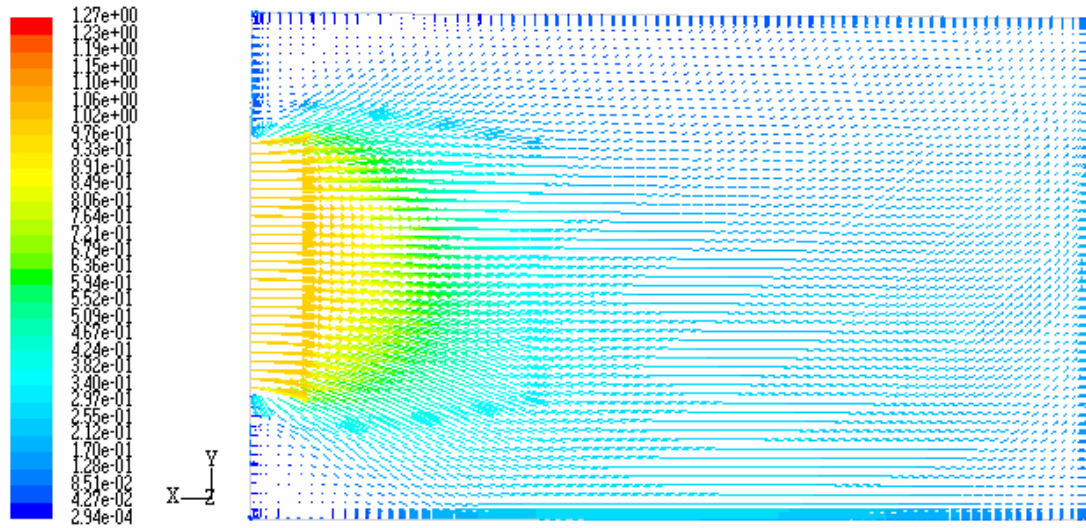


Şekil 5.63. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

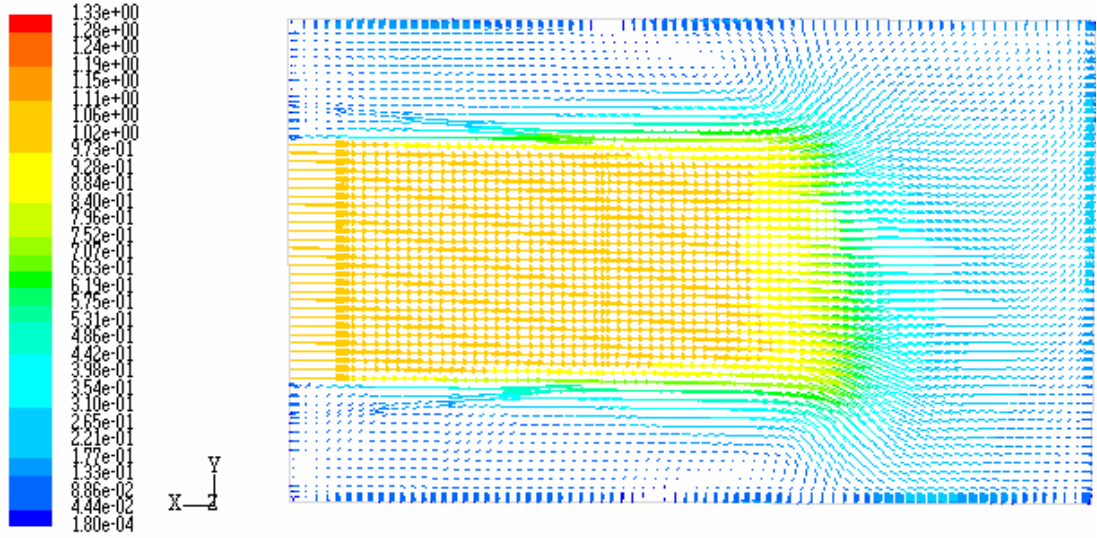
Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava ön pencereden girmekte belli bir mesafeden sonra aşağıya doğru yönelmektedir. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisindeki minimum sıcaklık ön pencerede olmaktadır ve değeri 273 K'dir. 30. saniyedeki

maksimum sıcaklık 281,29 K, ortalama sıcaklık ise 27,45 K olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum sıcaklık 275,76 K, ortalama sıcaklık ise 273,97 K olmaktadır.

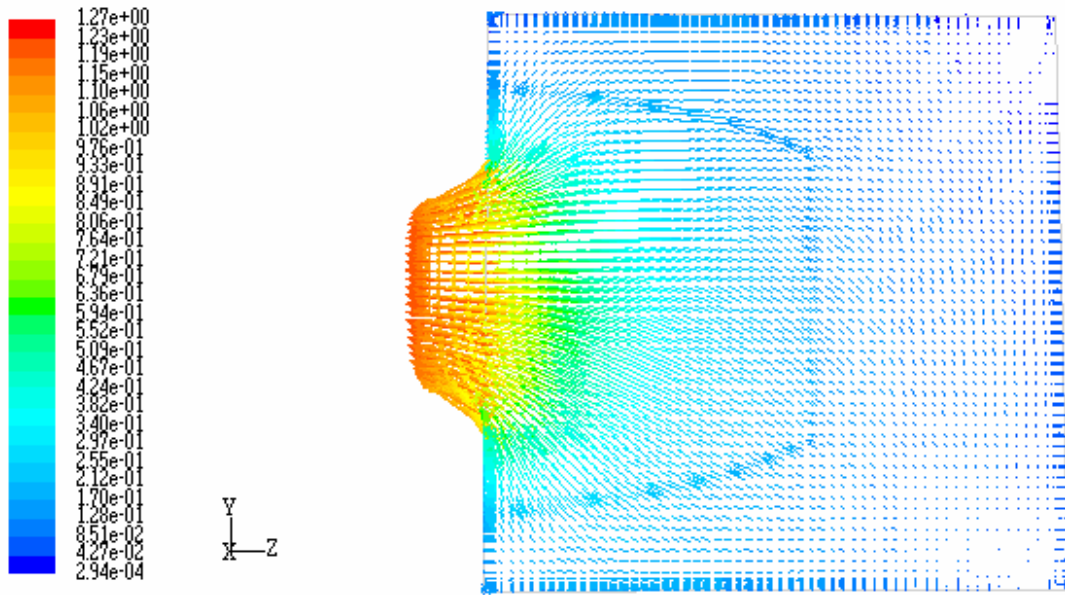
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.64 ve Şekil 5.65’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.66 ve Şekil 5.67’de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.68 ve Şekil 5.69’da verilmiştir.



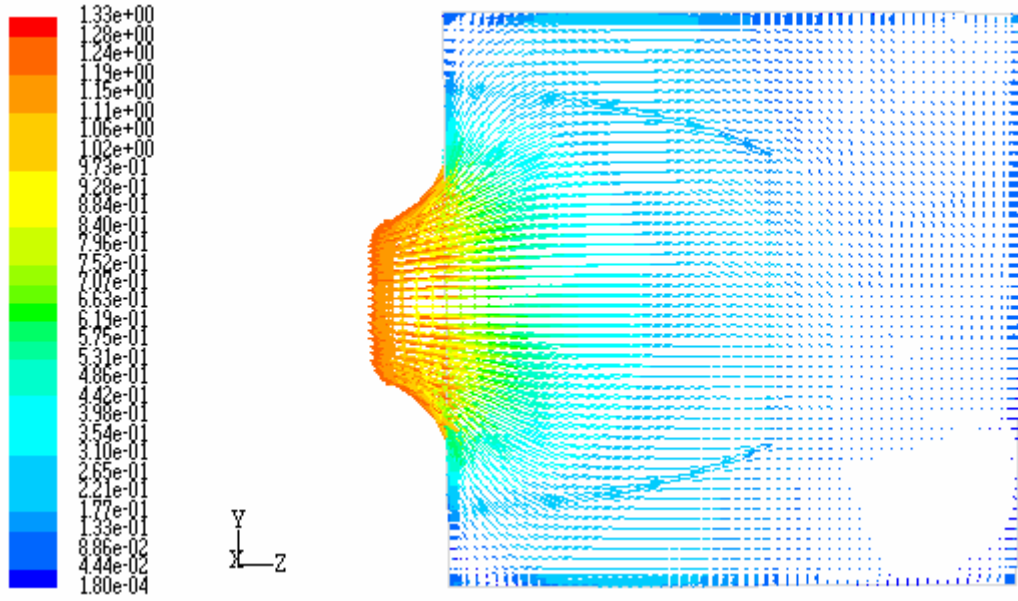
Şekil 5.64. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



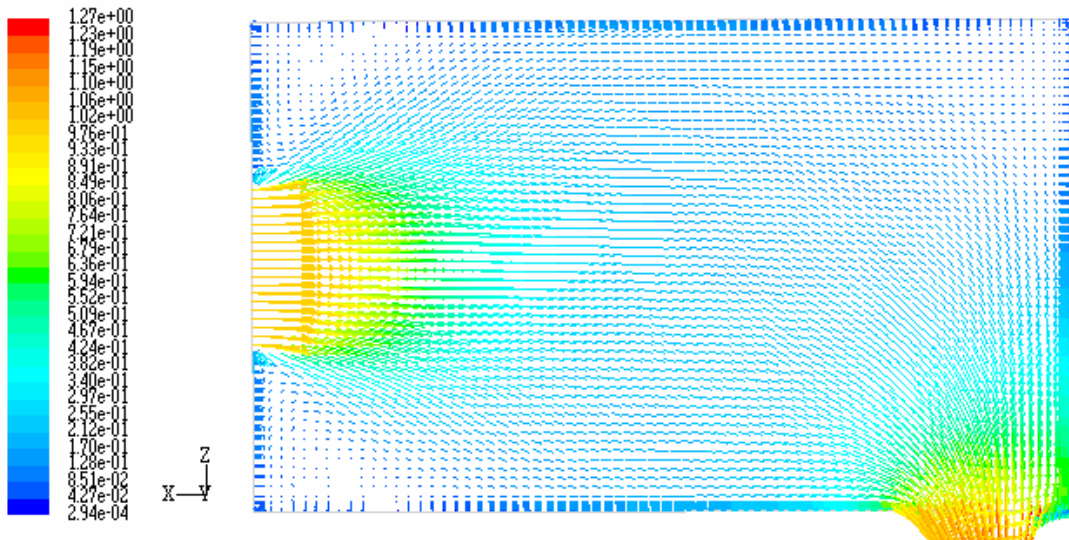
Şekil 5.65. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



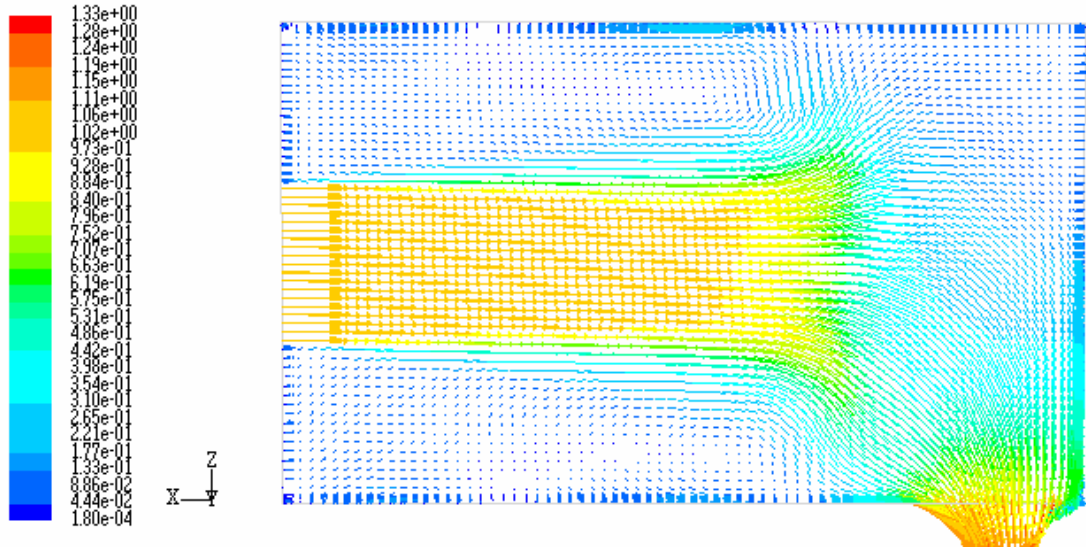
Şekil 5.66. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.67. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.68. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

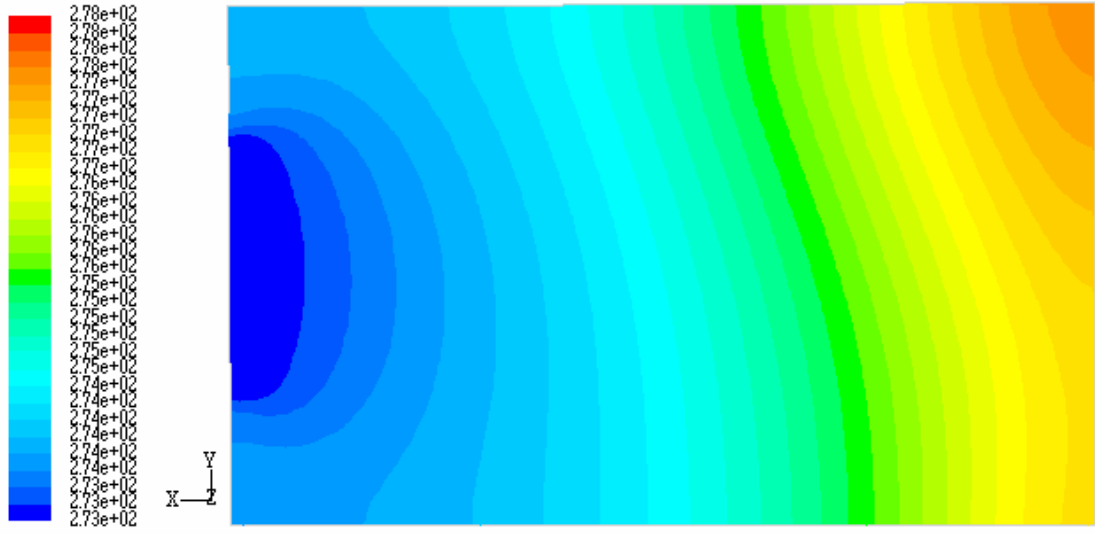


Şekil 5.69. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

Dış ortamdaki soğuk hava 1 m/s hızla ön pencereden içeriye girmekte ve şekillerde görüldüğü gibi odanın içerisine yayılmaktadır. Ön pencereden giren hava odanın ortasına doğru gelirken yan pencereye doğru yönelmektedir. Oda içerisinde 30. saniyedeki maksimum hız 1,26 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 1,31 m/s olmaktadır.

Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumdaki analizler

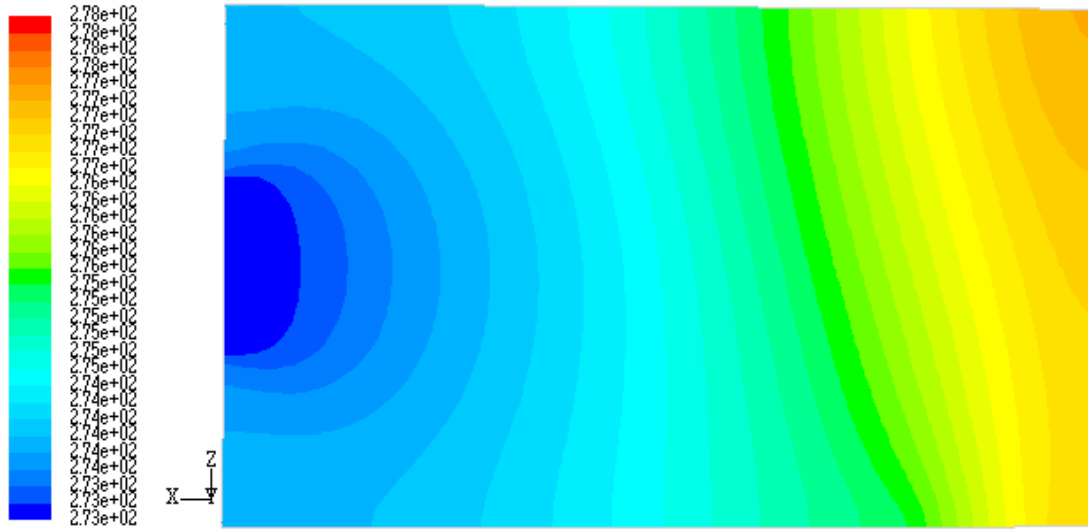
Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.70 ve Şekil 5.71'de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.72 ve Şekil 5.73'de verilmiştir.



Şekil 5.70. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.71. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı

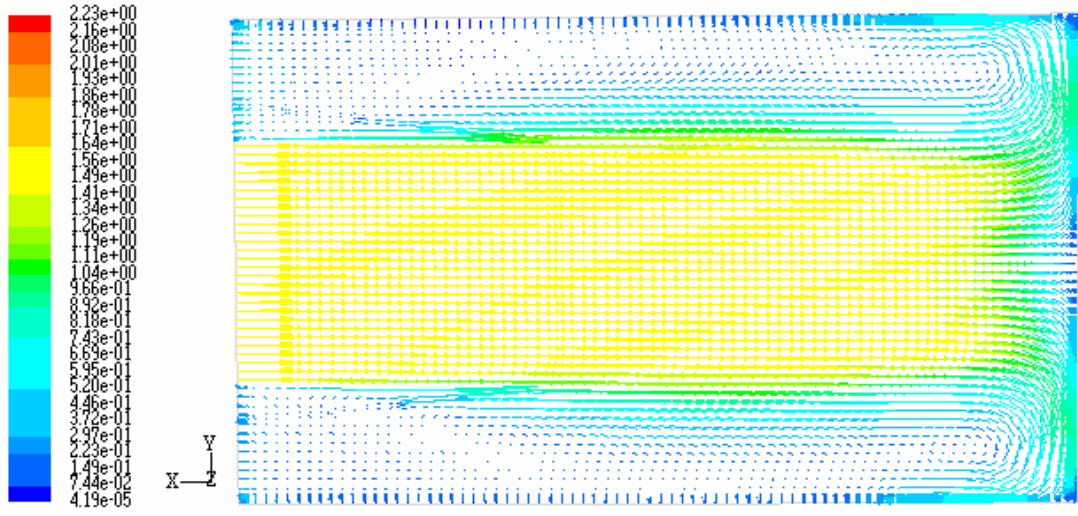


Şekil 5.72. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

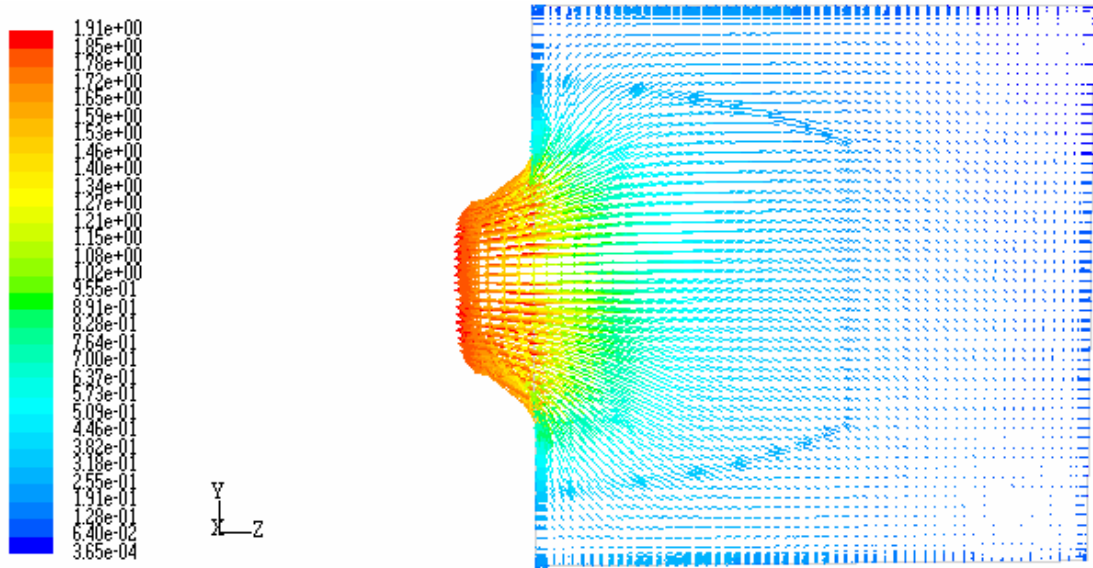


Şekil 5.73. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

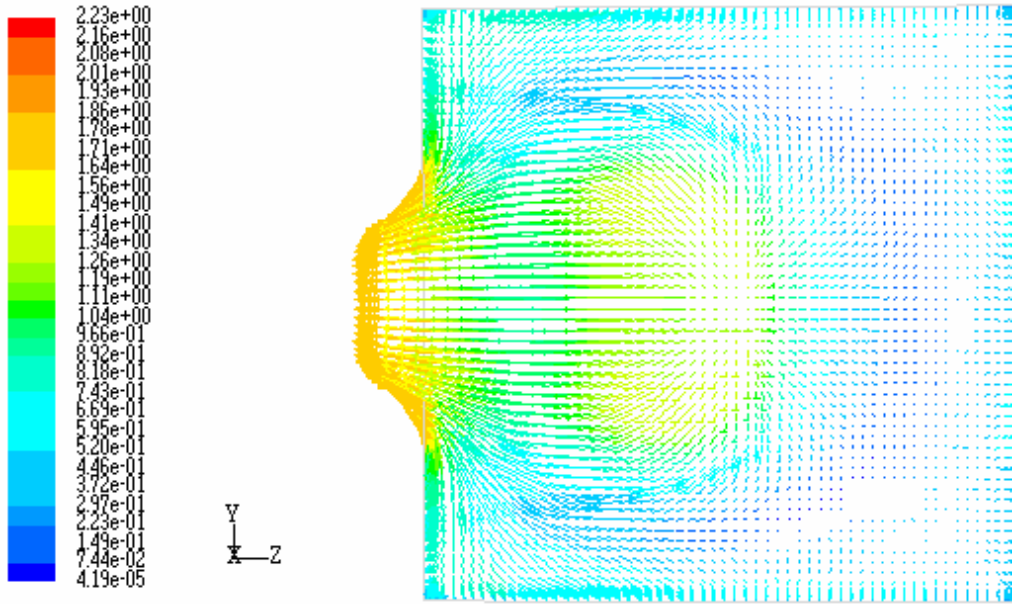
Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava ön pencereden girmekte belli bir mesafeden sonra aşağıya doğru yönelmektedir. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisindeki minimum sıcaklık ön pencerede olmaktadır ve değeri 273 K'dir. 30. saniyedeki



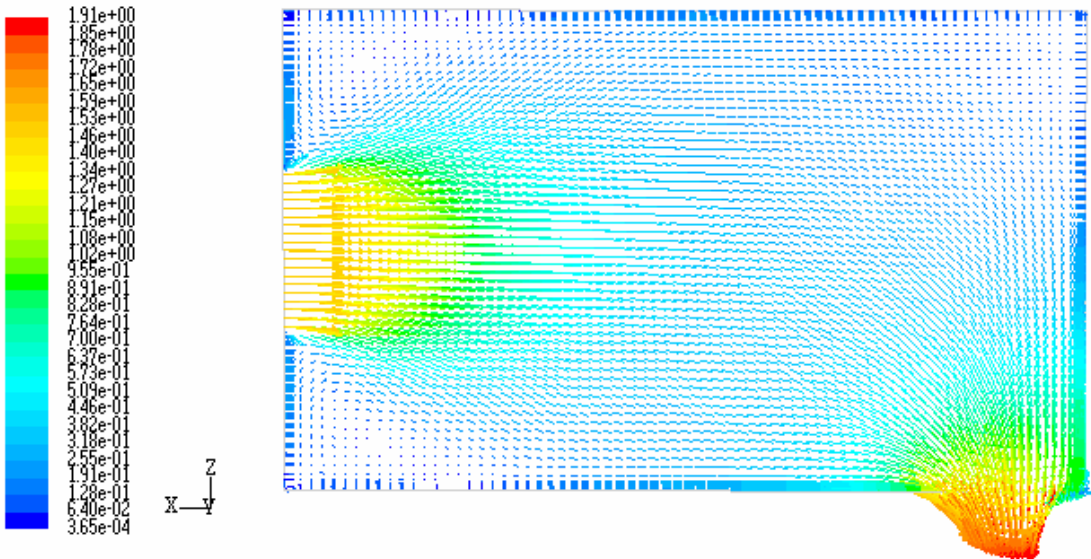
Şekil 5.75. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120.saniyede 2. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



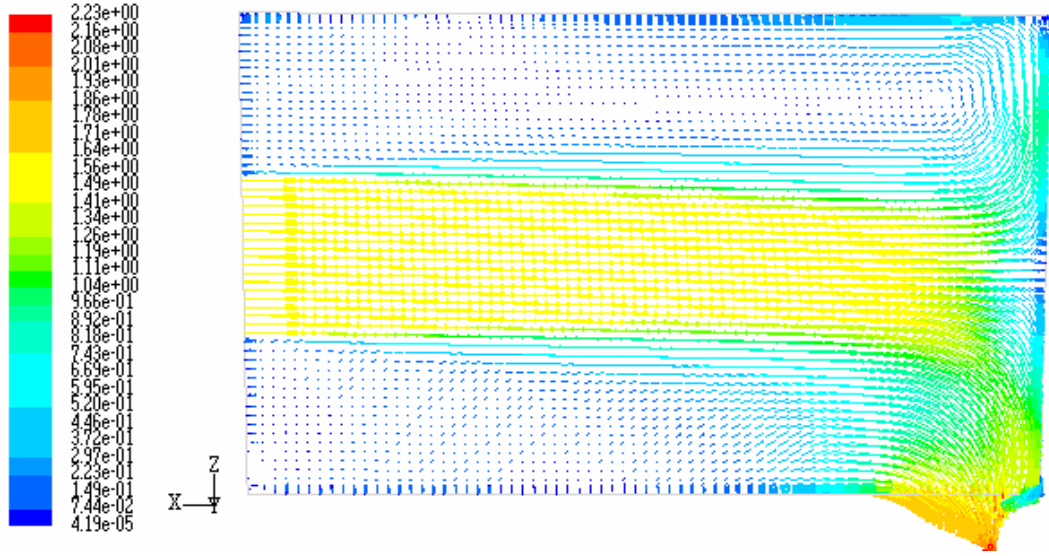
Şekil 5.76. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.77. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



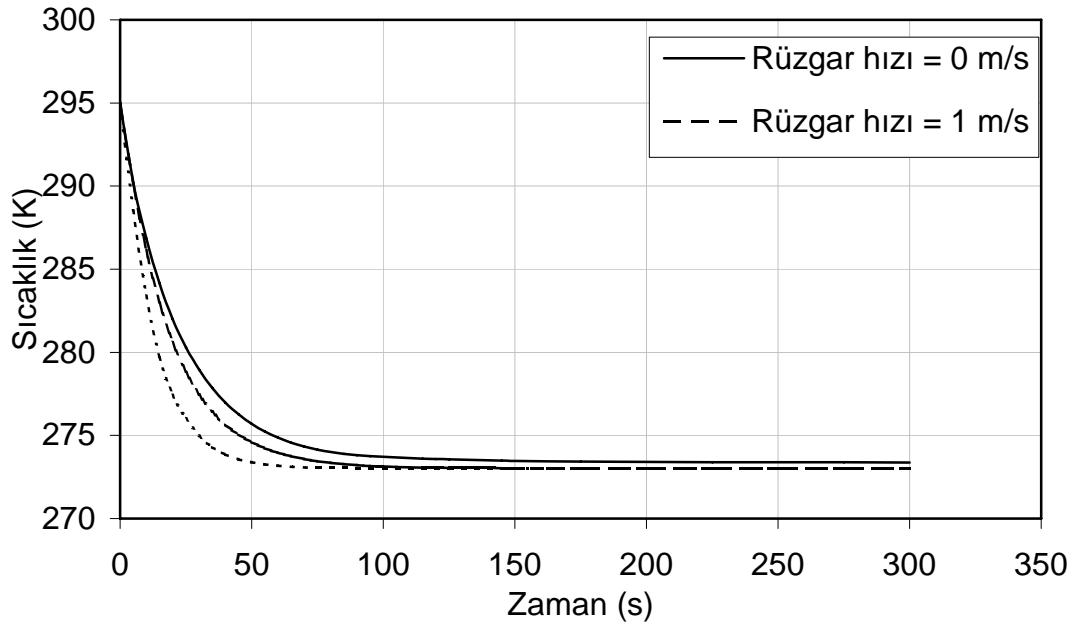
Şekil 5.78. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.79. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 2. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

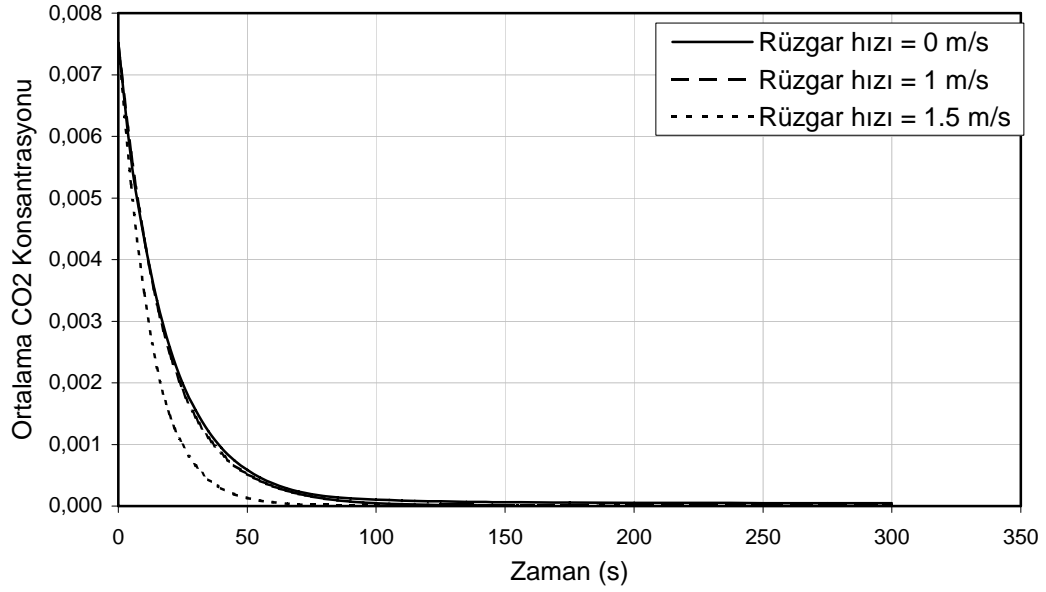
Dış ortamdaki soğuk hava 1,5 m/s hızla ön pencereden içeriye girmekte ve Şekillerden de görüldüğü gibi odanın içerisine yayılmaktadır. Ön pencereden giren hava belli bir hızla yan pencereye doğru yönelmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisinde 30. saniyedeki maksimum hız 1,90 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 2,22 m/s olmaktadır.

Oda içerisindeki ortalama sıcaklığın çeşitli rüzgâr hızlarında, zamanla değişimi Şekil 5.80'de verilmiştir. Oda içerisindeki ortalama sıcaklık ilk 80 saniye içerisinde hızla düştüğü daha sonraki saniyelerde düşüş hızının azaldığı görülmektedir. Şekil 5.80'den de görüldüğü gibi rüzgâr hızı arttıkça oda içerisindeki havanın ortalama sıcaklığının azalma hızı da artmaktadır.



Şekil 5.80. Kış şartlarında çeşitli rüzgâr hızlarında 2. durumdaki oda içindeki hava sıcaklığının zamanla değişimi

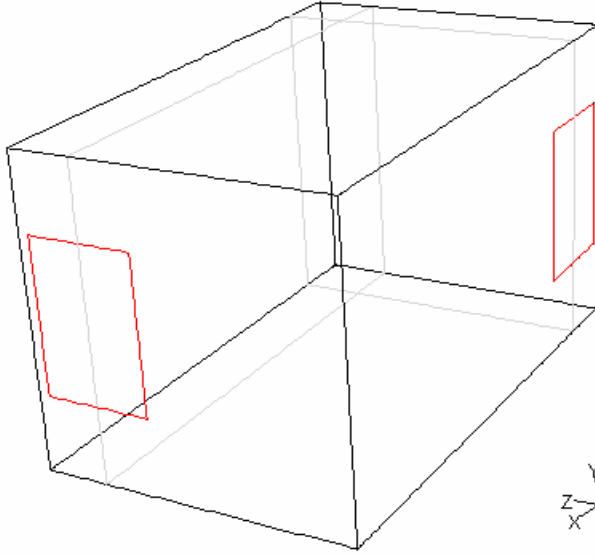
Oda içerisindeki karbondioksit konsantrasyonunun çeşitli rüzgâr hızlarında, zaman içerisindeki değişimi Şekil 5.81'de verilmiştir. Oda içerisindeki Ortalama karbondioksit konsantrasyonu ilk 80 saniye içerisinde hızla düşmüş daha sonraki saniyelerde düşüş hızı azalmış ve yaklaşık 2 dakika içinde sifira çok yaklaşmıştır. Şekil 5.81'den de görüldüğü gibi rüzgâr hızı arttıkça oda içerisindeki karbondioksit konsantrasyonunun azalma hızı da artmaktadır. Karbondioksit konsantrasyonunun değeri 600 mg/m^3 (kütle oranı olarak 0,000486) olduğu zaman temiz havadaki değerine ulaşmış demektir. Rüzgâr hızının sıfır ve 1 m/s olduğu durumda yaklaşık 60. saniyede karbondioksit konsantrasyonu temiz havadaki değerine ulaşırken, rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda yaklaşık 40 saniyede karbondioksit konsantrasyonu temiz havadaki değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, kış şartlarında bir odanın havalandırılması rüzgâr olmadığı ve rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda yaklaşık 1 dakikada, rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda ise yaklaşık 40 saniyede gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısı kaybını azaltmak amacıyla havalandırma süresinin çok uzun tutulmaması gerekir.



Şekil 5.81. Kış şartlarında çeşitli rüzgâr hızlarında 2. durumdaki oda içindeki karbondioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi

5.2.3. Üçüncü durum

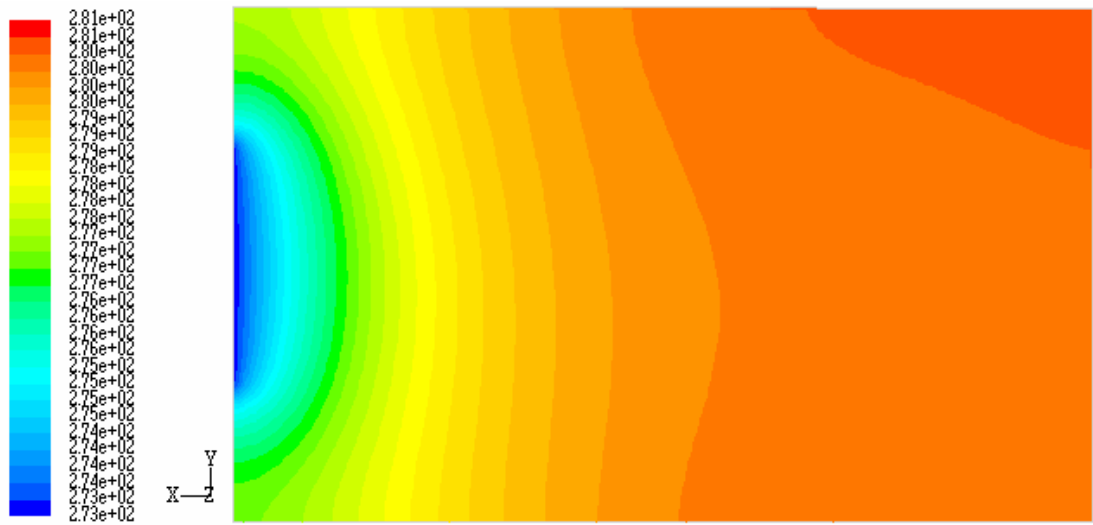
Bu durumda iki pencereden birincisi ön duvarın sol kenarına 10 cm uzaklığa, ikincisi ise sağ yan duvarın arka duvar ile birleştiği köşeye 10 cm uzaklığa yerleştirilmiştir (Şekil 5.82). Kış aylarında pencerenin tam açık olduğu varsayılarak oda içindeki sıcaklığın ve kirletici CO_2 gazı konsantrasyonunun zamanla değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için oda içindeki havanın hızı, kirletici gaz konsantrasyonu ve sıcaklık dağılımları simüle edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak oda içindeki sıcaklığının ve kirletici gaz konsantrasyonunun zamanla değişimi belirlenmiştir.



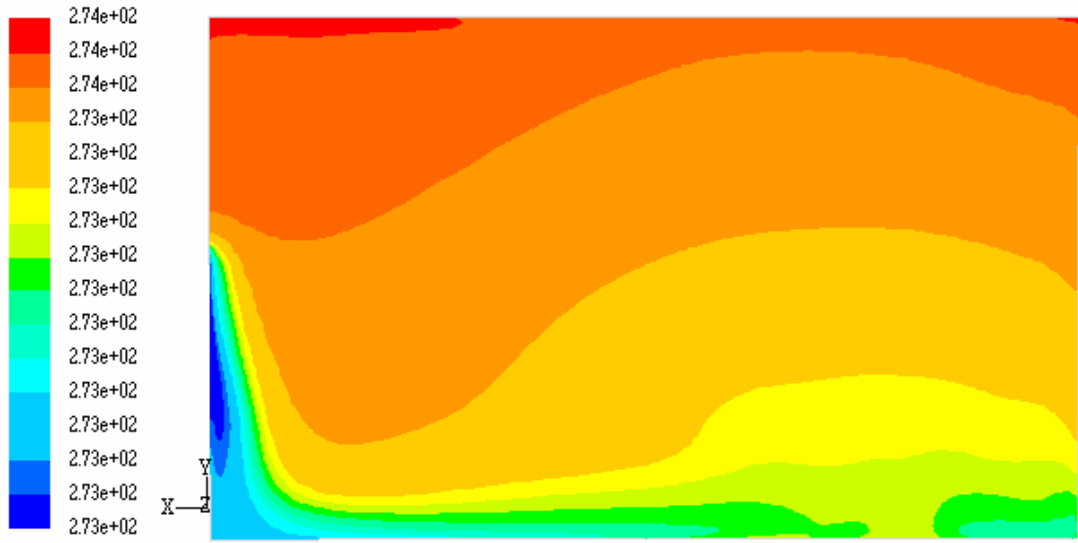
Şekil 5.82. Kış şartlarında yapılan simülasyonda üçüncü durumdaki oda geometrisi

Rüzgâr hızının sıfır olduğu durumdaki analizler

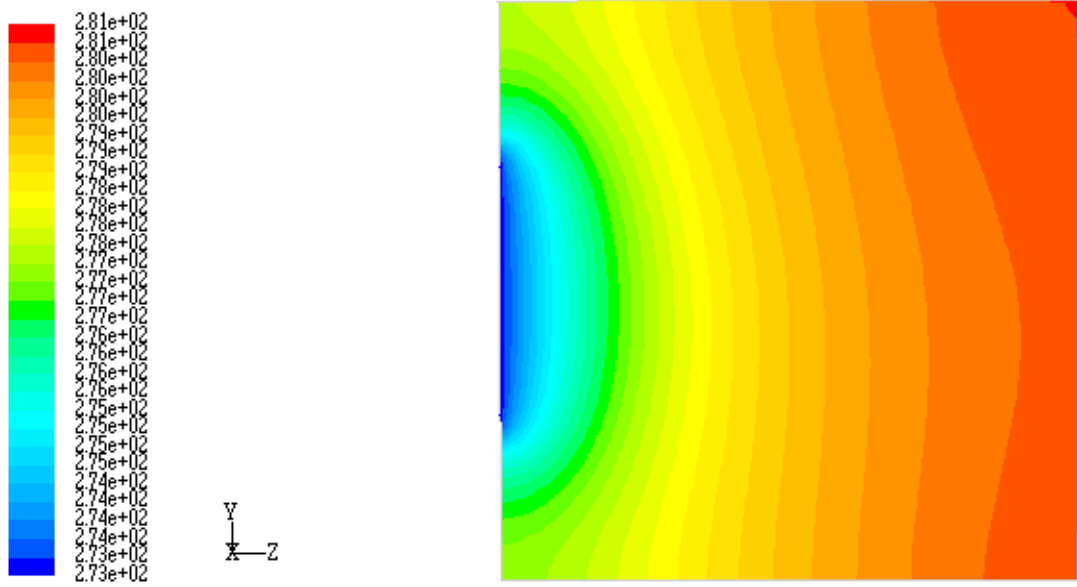
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 5.83 ve Şekil. 5.84’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.85 ve Şekil 5.86’da verilmiştir.



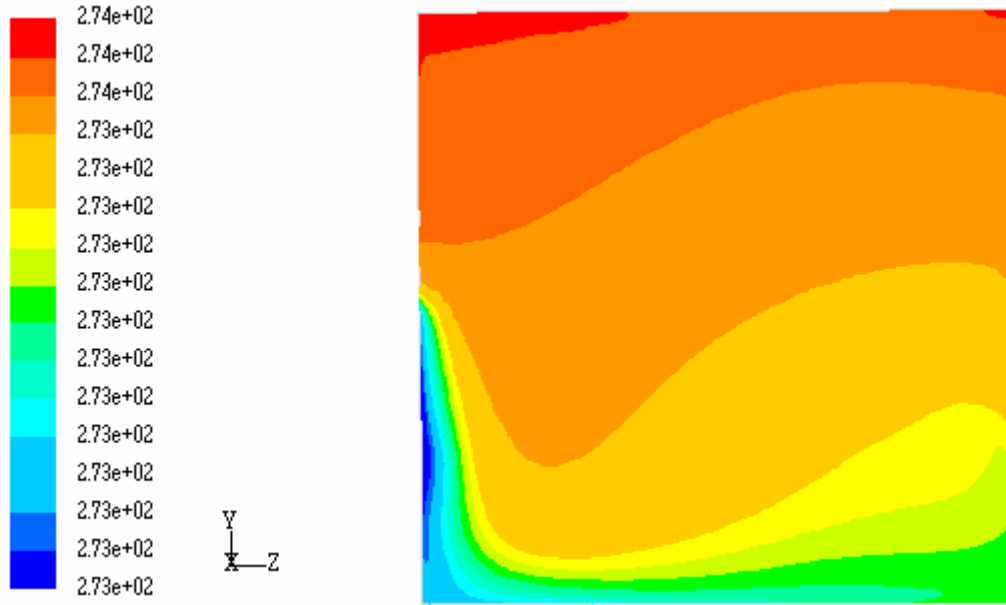
Şekil 5.83. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.84. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



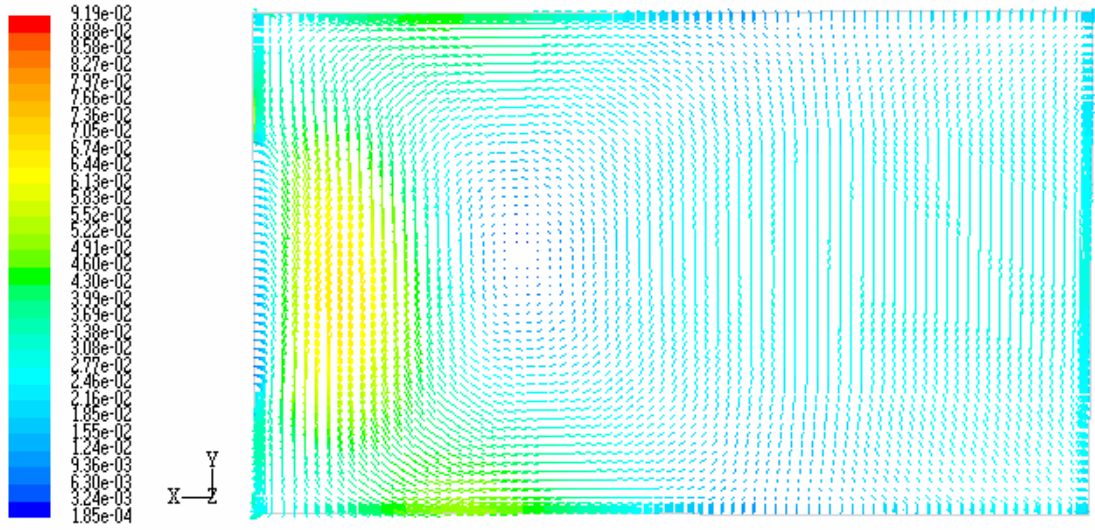
Şekil 5.85. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) sıcaklık dağılımı



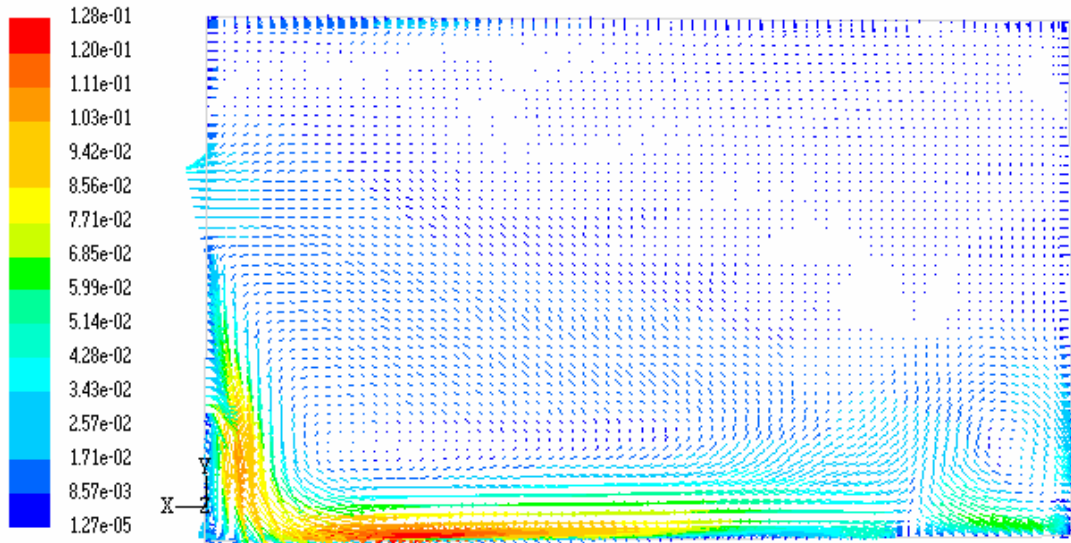
Şekil 5.86. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava pencerelerin alt kısımlarından içeriye girmekte ve aşağıya doğru inerek tabandan oda içerisine yayılmaktadır. İçerideki sıcak hava ise tavana doğru yükselmekte ve pencerelerin üst kısımlarından dışarıya çıkmaktadır. Minimum sıcaklık 273 K ile pencere yüzeylerinin alt kısımlarında oluşmaktadır. 30. saniyede ortalama sıcaklık 279,18 K iken 120. saniyedeki ortalama sıcaklık 273,72 K olmaktadır yani ilk 30 saniyede sıcaklık 15,82 °C azalmışken, sonraki 90 saniye içinde sıcaklık 5,46 °C azalmıştır.

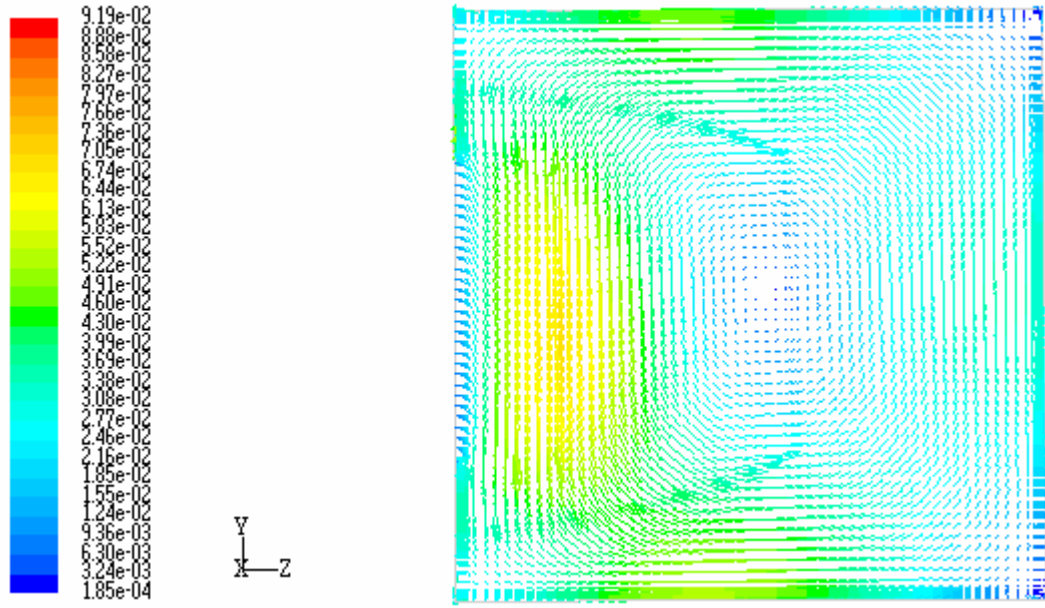
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.87 ve Şekil 5.88’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.89 ve Şekil 5.90’da verilmiştir.



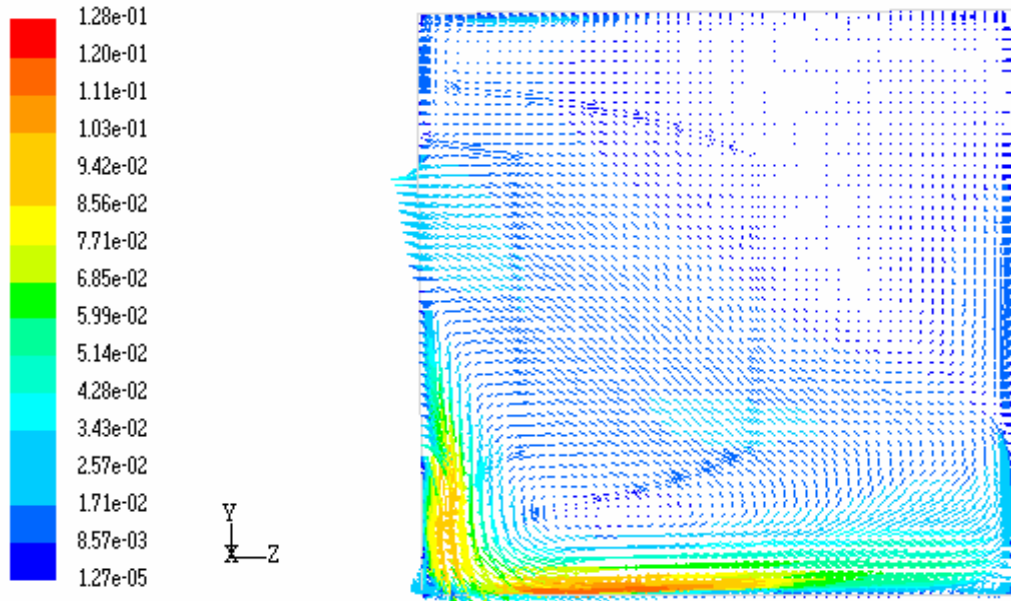
Şekil 5.87. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede. 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.88. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede. 3.durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



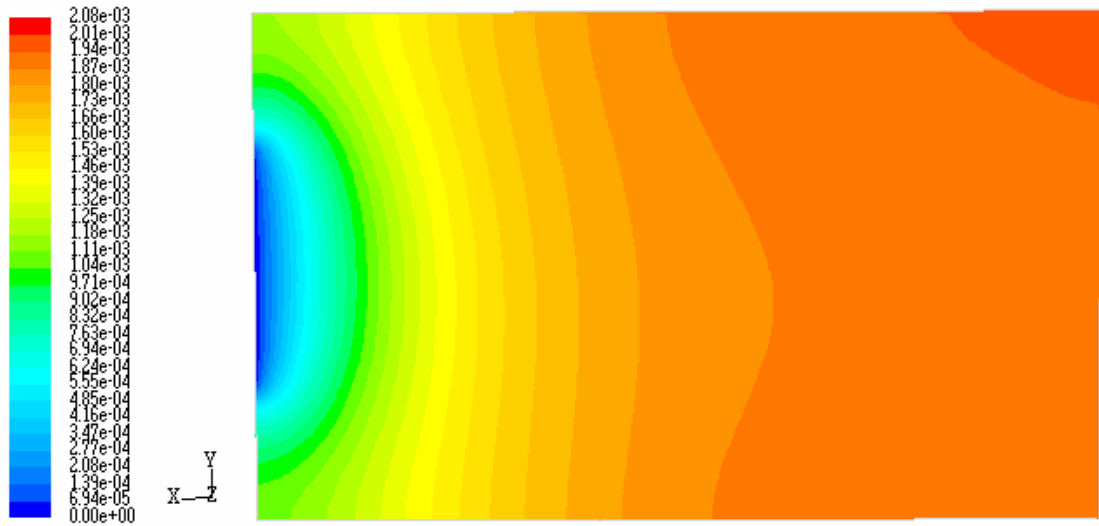
Şekil 5.89. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



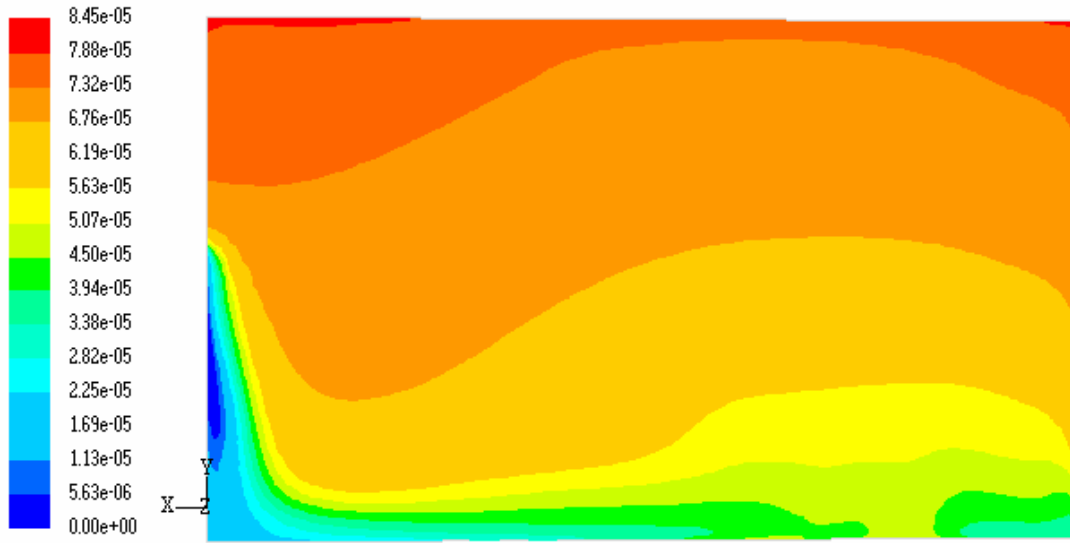
Şekil 5.90. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı

Duvar yüzeylerinde kaymasızlık sınır şartı uygulandığından minimum hız duvar yüzeylerindedir ve değeri sıfırdır. 30. saniyede maksimum hız 0,09 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 0,13 m/s olmaktadır.

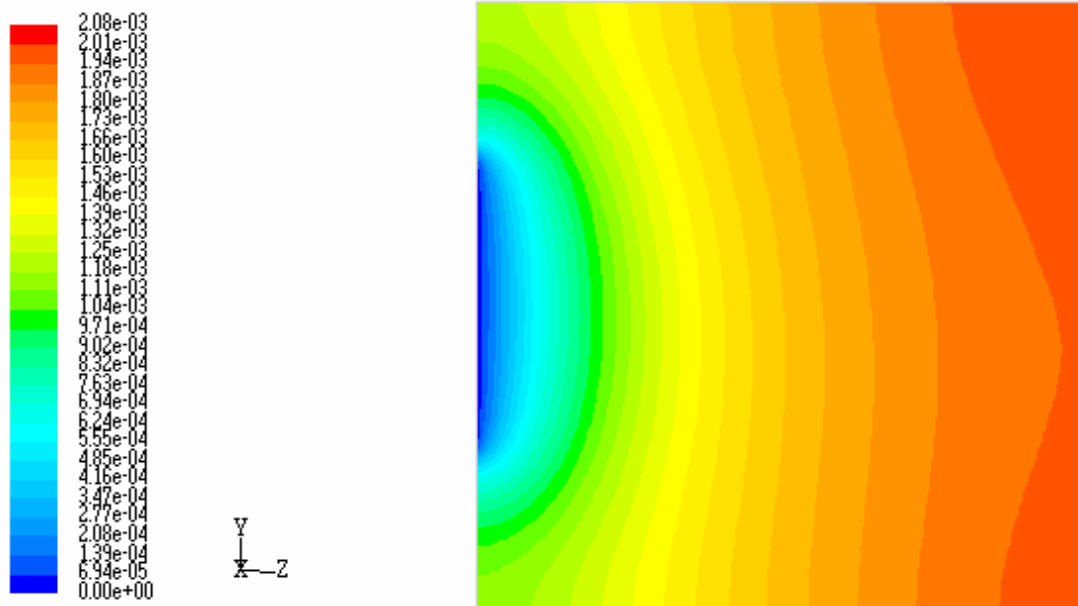
Oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımları sırasıyla Şekil 5.91 ve Şekil 5.92’de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki karbondioksit konsantrasyonu dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.93 ve Şekil 5.94’de verilmiştir.



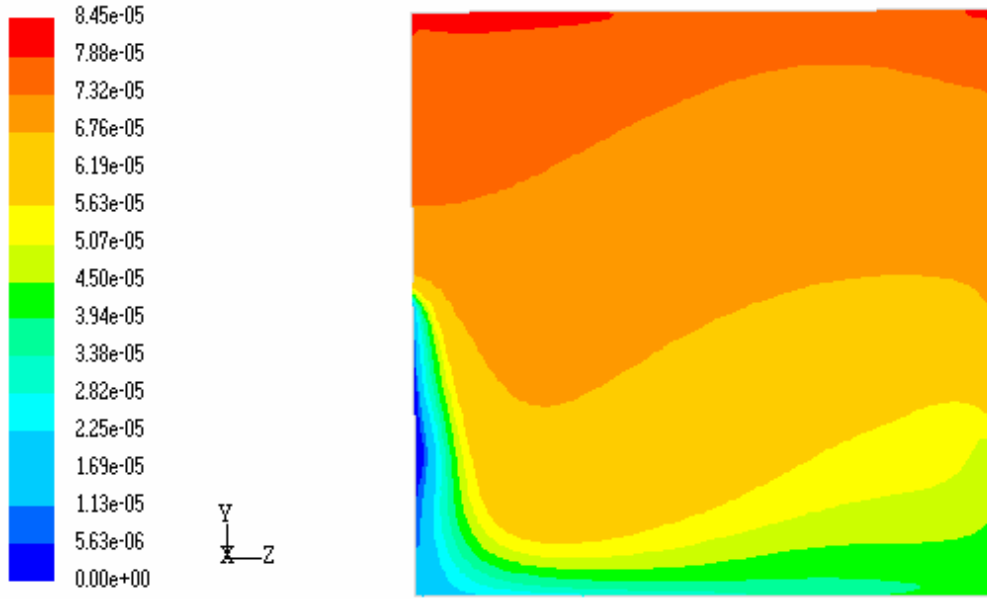
Şekil 5.91. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.92. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



Şekil 5.93. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı



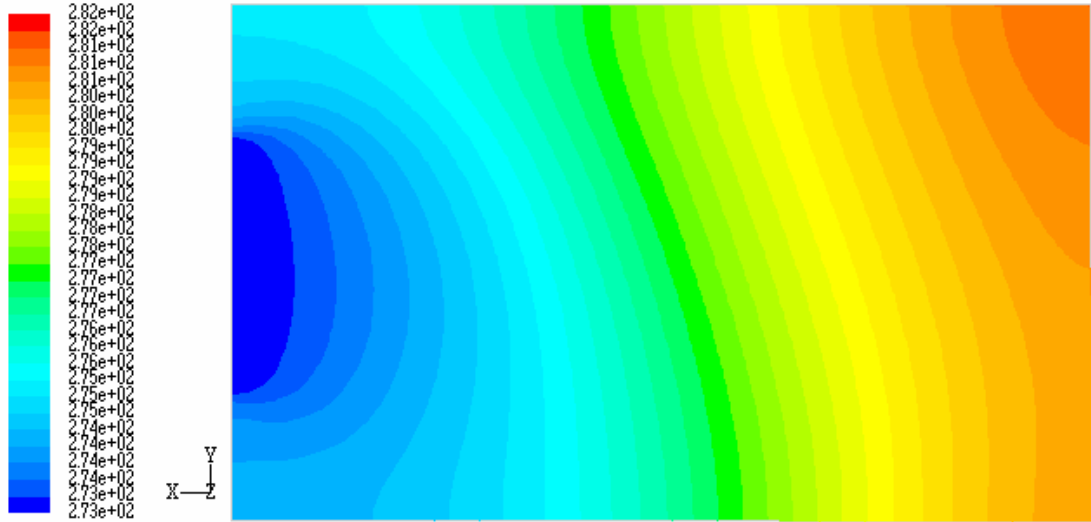
Şekil 5.94. Kış şartlarında rüzgâr hızı sıfır olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) CO_2 konsantrasyonu dağılımı

Şekillerden de görüldüğü gibi karbondioksit konsantrasyonu, pencerelerin giriş kısımlarında sıfır olmaktadır ve odanın tabanından tavanına doğru gittikçe karbondioksit konsantrasyonu da artmaktadır. Ayrıca Şekil 5.91 Şekil 5.92 ile ve Şekil 5.93 Şekil 5.94 ile karşılaştırıldığında 30. saniyeye göre 120. saniye de oda içindeki karbondioksit konsantrasyonunun tavan kısmında yoğunlaştığını ve taban kısımlarında sıfıra yaklaştığını görmekteyiz. 30. saniyede ortalama karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,0016 iken 120. saniyede ortalama karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,000105 olmaktadır. 30. saniyede maksimum karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,0021 iken 120. saniyede maksimum karbondioksit konsantrasyonu değeri 0,00022 olmaktadır.

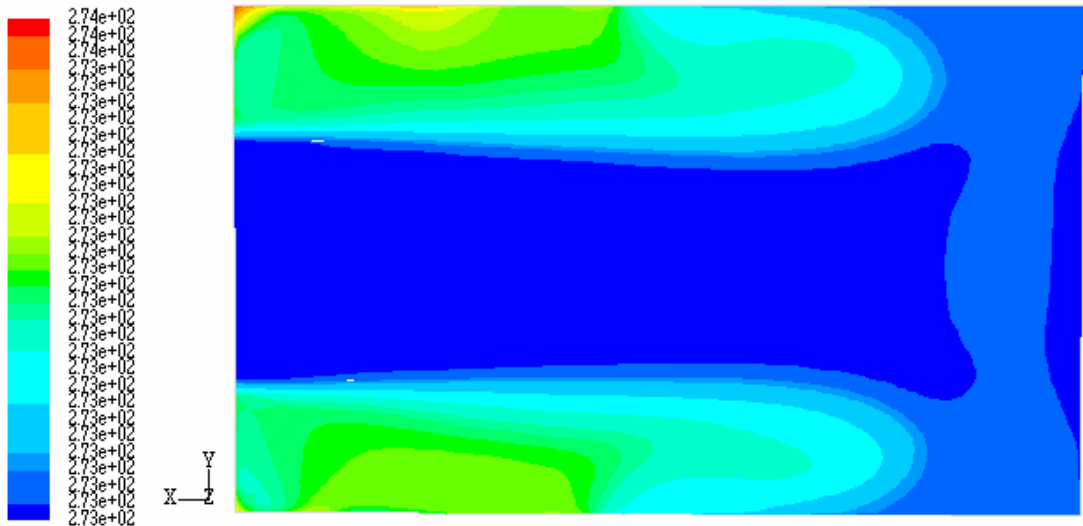
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumdaki analizler

Kış koşullarında yapılan analizlerde 3. durumdaki odada ön pencereden giren havanın hızı 1 m/s olduğu kabul edilmiş ve diğer sınır şartları ve başlangıç şartı değiştirilmeden analizler tekrarlanmıştır.

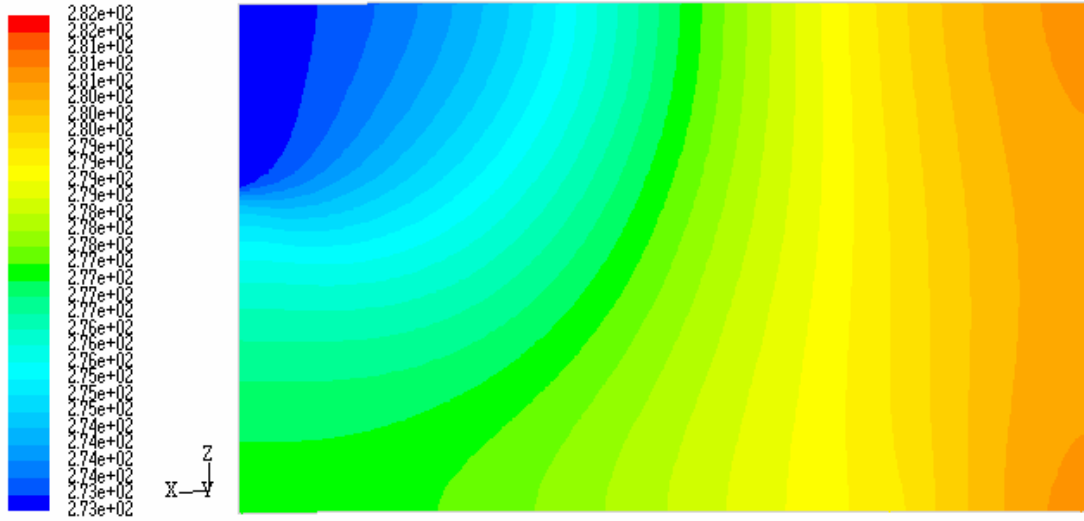
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.95 ve Şekil 5.96'da verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.97 ve Şekil 5.98'de verilmiştir.



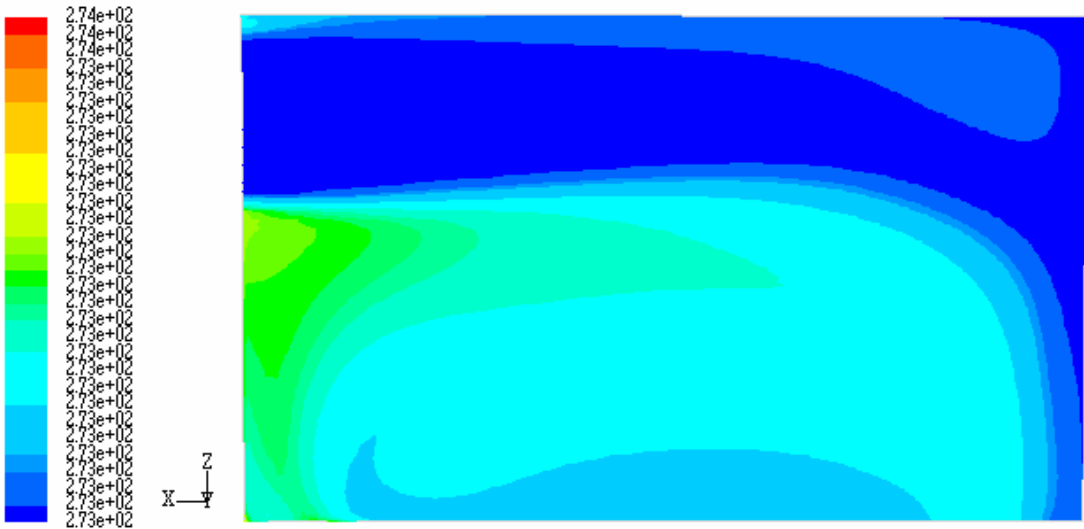
Şekil 5.95. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.96. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.97. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

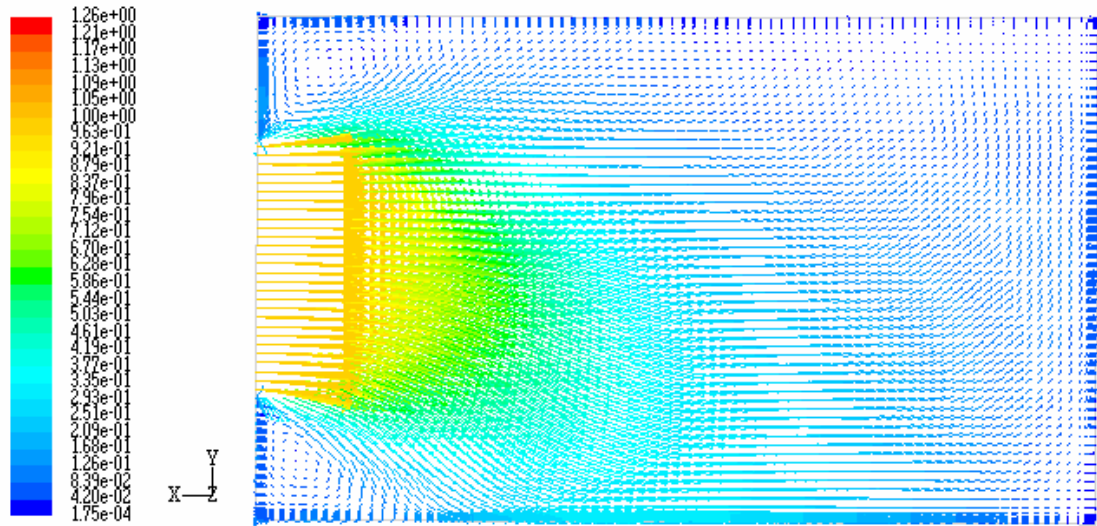


Şekil 5.98. Kış şartlarında 1 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

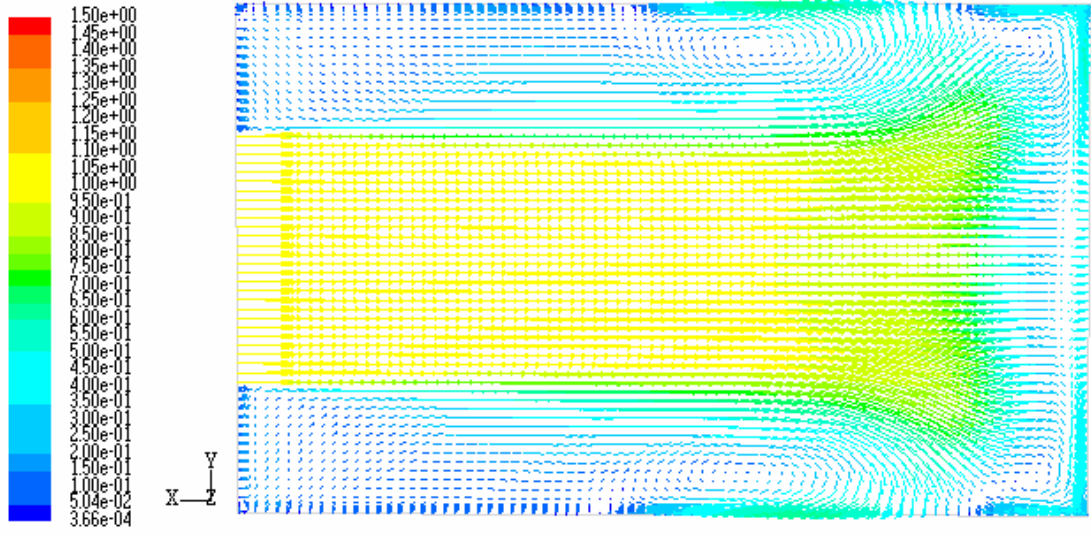
Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava ön pencereden girmekte belli bir mesafeden sonra aşağıya doğru yönelmektedir. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisindeki minimum sıcaklık ön pencerede olmaktadır ve değeri 273 K'dir. 30. saniyedeki

maksimum sıcaklık 281,83 K, ortalama sıcaklık ise 277,81 K olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum sıcaklık 273,54 K, ortalama sıcaklık ise 273,14 K olmaktadır.

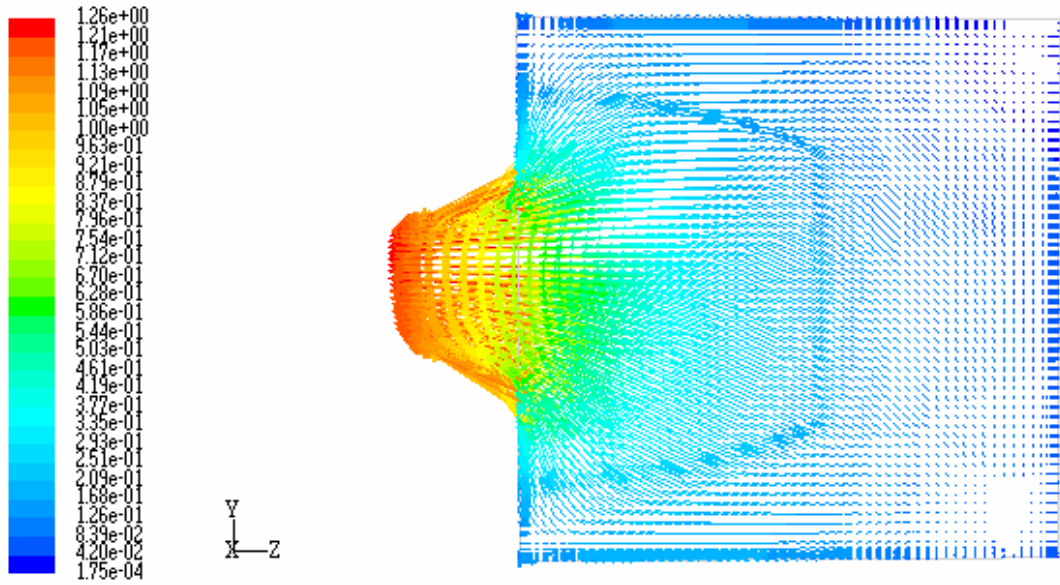
Rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.99 ve Şekil 5.100'de verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.101 ve Şekil 5.101'de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.103 ve Şekil 5.104'de verilmiştir.



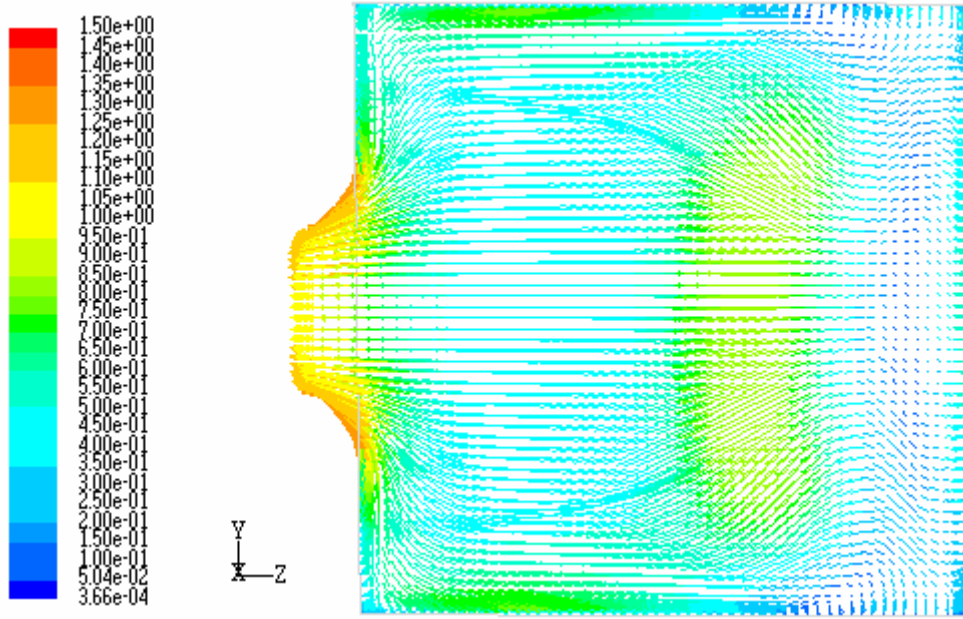
Şekil 5.99. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



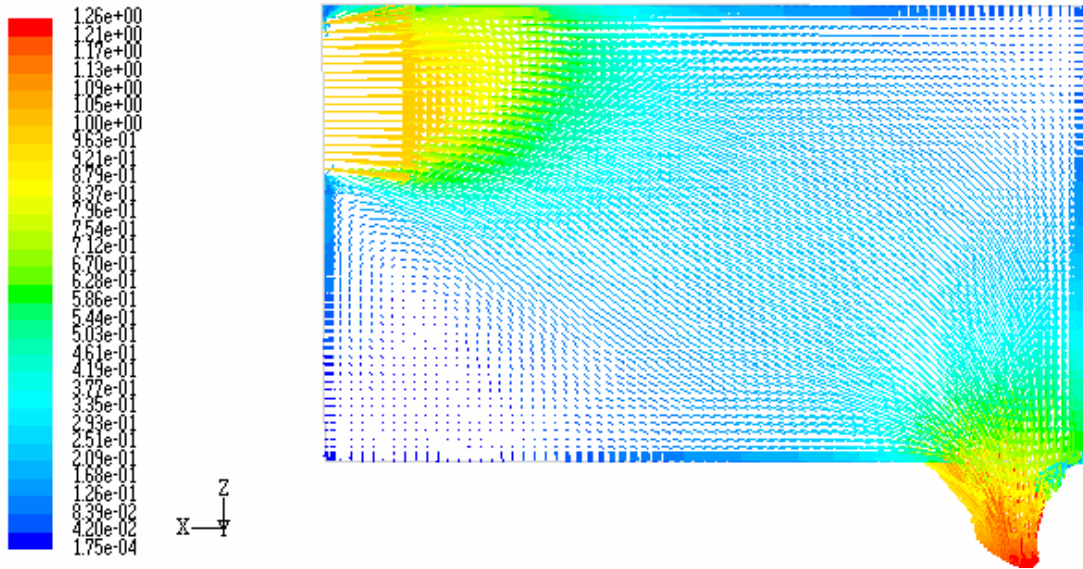
Şekil 5.100. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



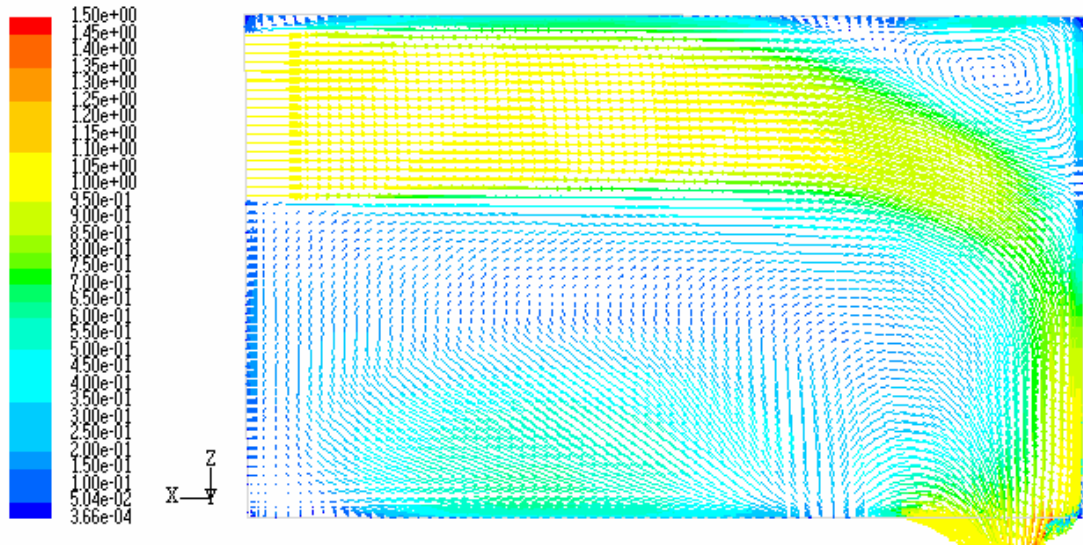
Şekil 5.101. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.102. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.103. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

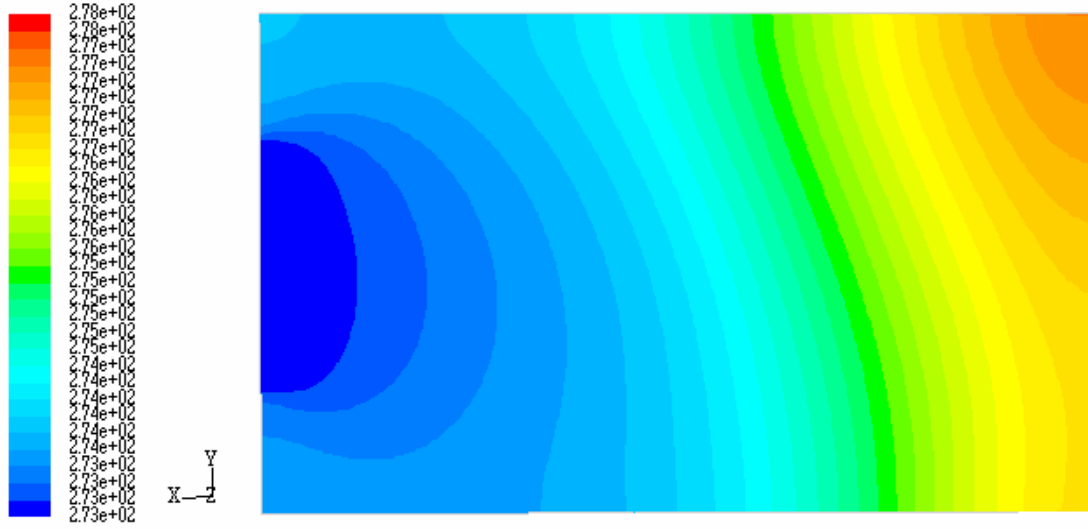


Şekil 5.104. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1 m/s olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

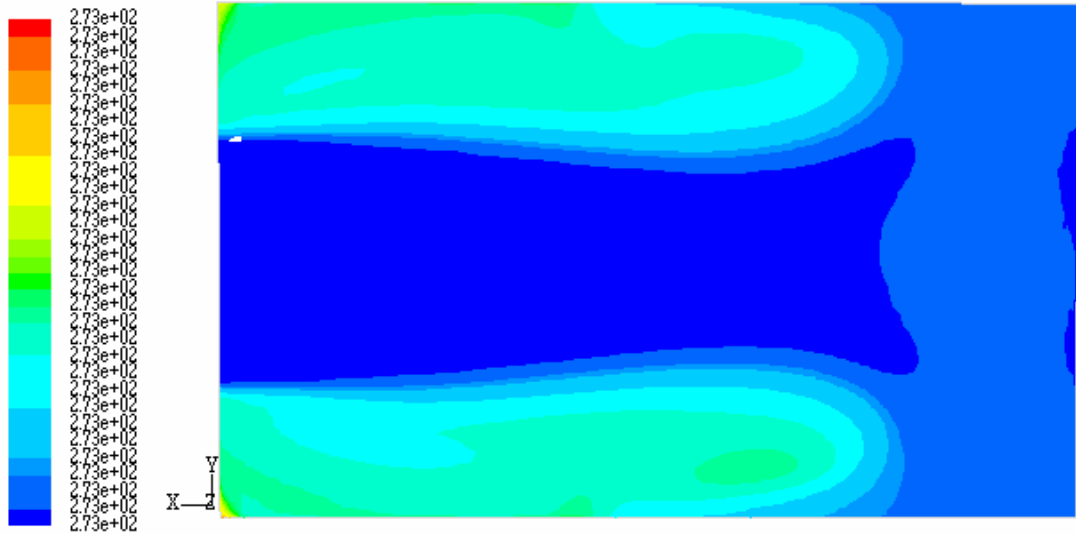
Dış ortamdaki soğuk hava 1 m/s hızla ön pencereden içeriye girmekte ve şekillerde görüldüğü gibi odanın içerisine yayılmaktadır. Ön pencereden giren hava odanın ortasına doğru gelirken yan pencereye doğru yönelmektedir. Oda içerisinde 30. saniyedeki maksimum hız 1,26 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 1,49 m/s olmaktadır.

Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumdaki analizler

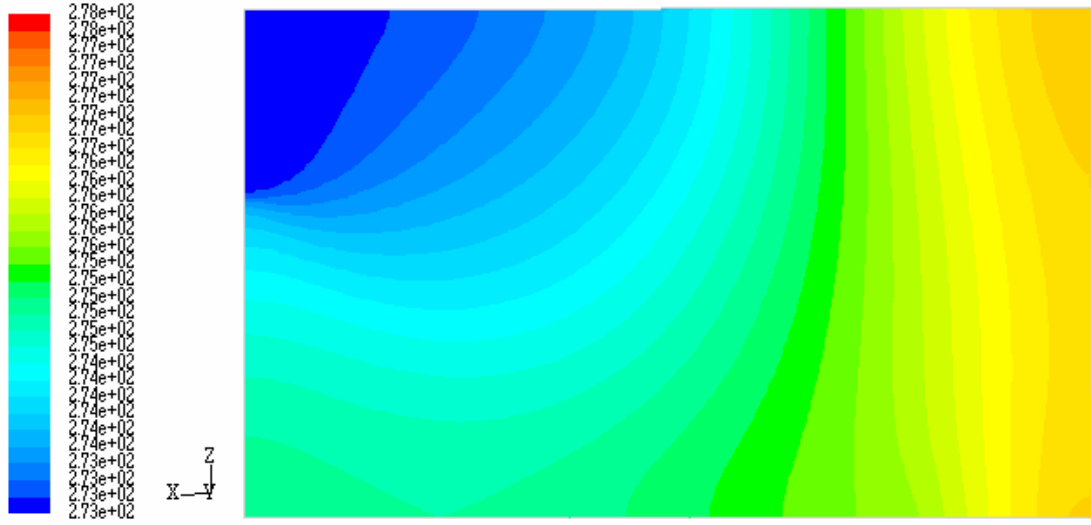
Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.105 ve Şekil 5.106'da verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.107 ve Şekil 5.108'de verilmiştir.



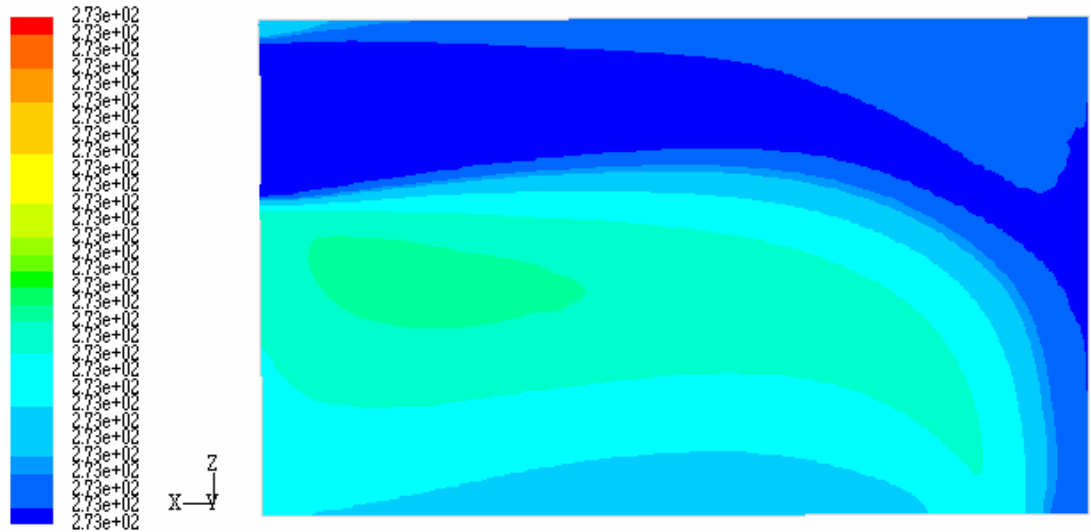
Şekil 5.105. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.106. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) sıcaklık dağılımı



Şekil 5.107. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

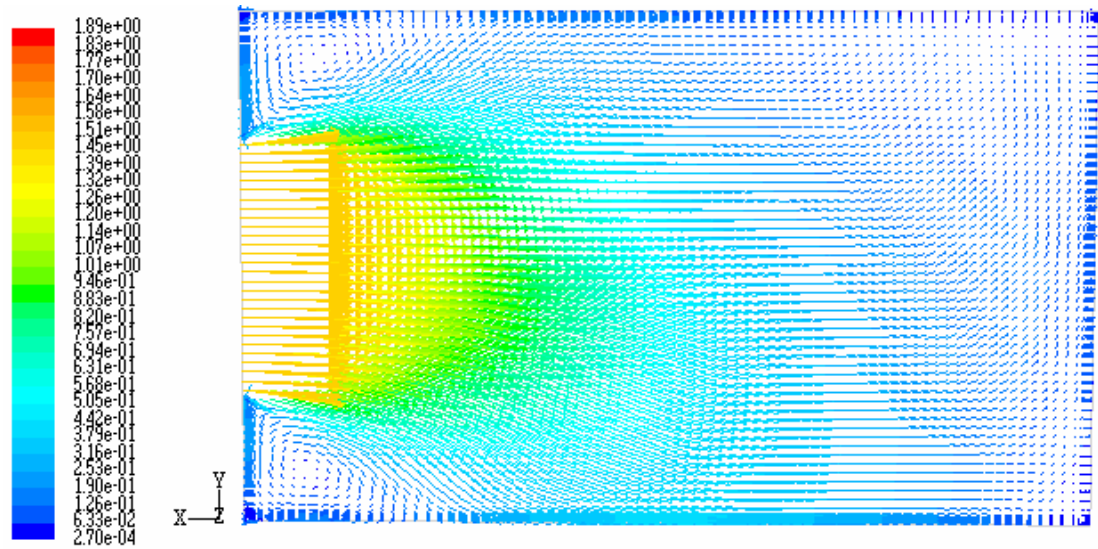


Şekil 5.108. Kış şartlarında 1,5 m/s rüzgâr hızı olduğu olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) sıcaklık dağılımı

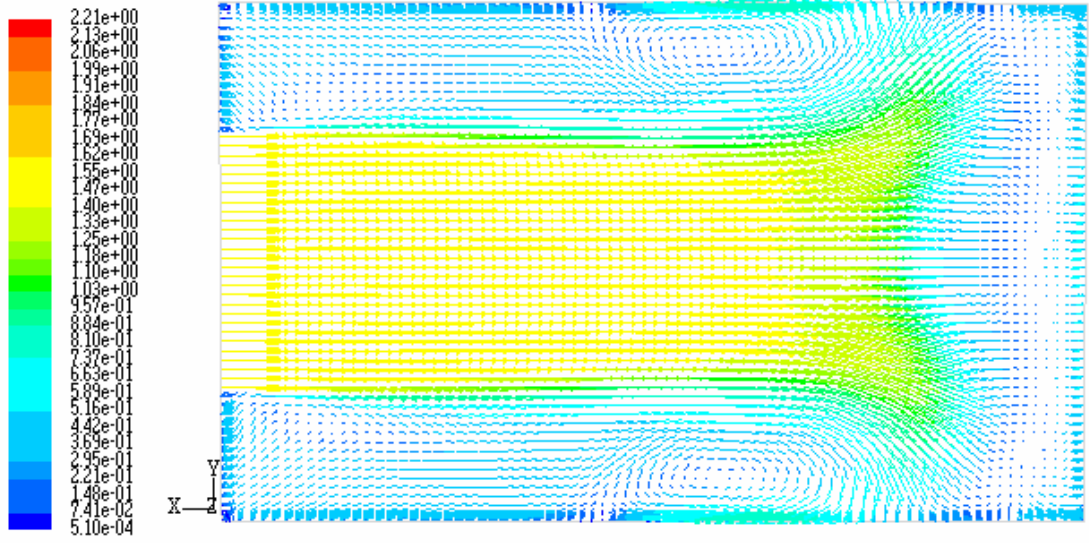
Şekillerden de görüldüğü gibi soğuk hava ön pencereden girmekte belli bir mesafeden sonra aşağıya doğru yönelmektedir. İçerideki sıcak hava ise yukarıya doğru yükselmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisindeki minimum sıcaklık ön pencerede olmaktadır ve değeri 273 K'dir. 30. saniyedeki

maksimum sıcaklık 277,81 K, ortalama sıcaklık ise 274,99 K olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum sıcaklık 273,06 K, ortalama sıcaklık ise 273,02 K olmaktadır.

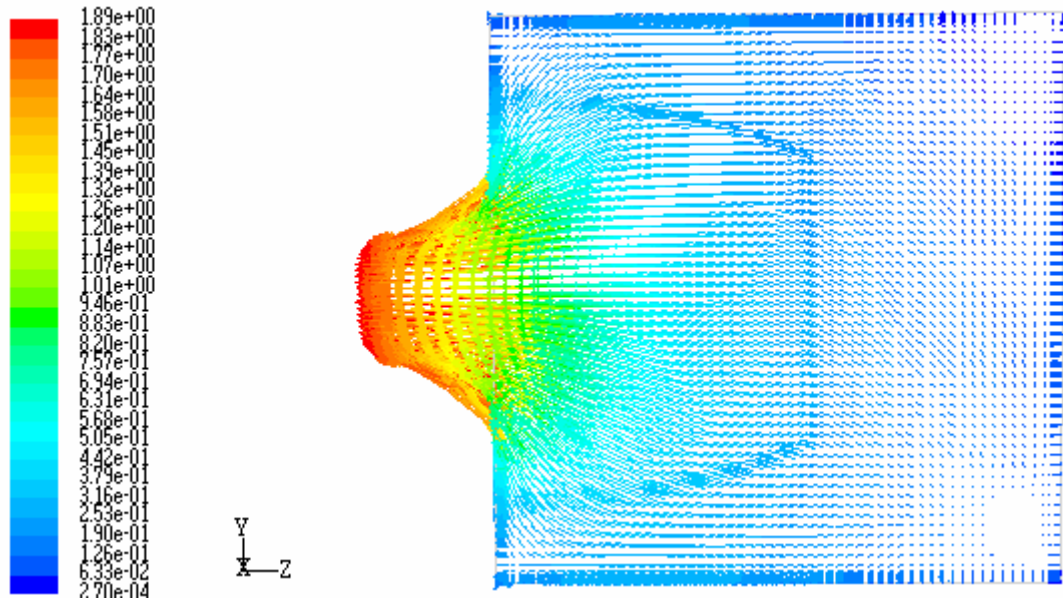
Rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda oda içerisinde ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.109 ve Şekil 5.110'da verilmiştir. Yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzleminde) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları sırasıyla Şekil 5.111 ve Şekil 5.112'de verilmiştir. Odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemindeki) 30. ve 120. saniyelerdeki hız dağılımları ise sırasıyla Şekil 5.113 ve Şekil 5.114'de verilmiştir.



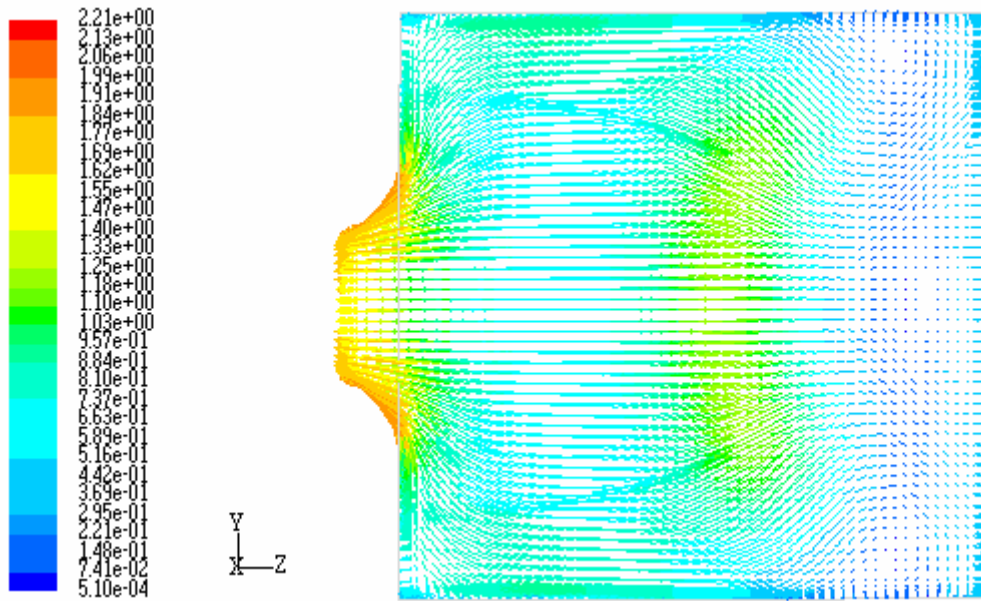
Şekil 5.109. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



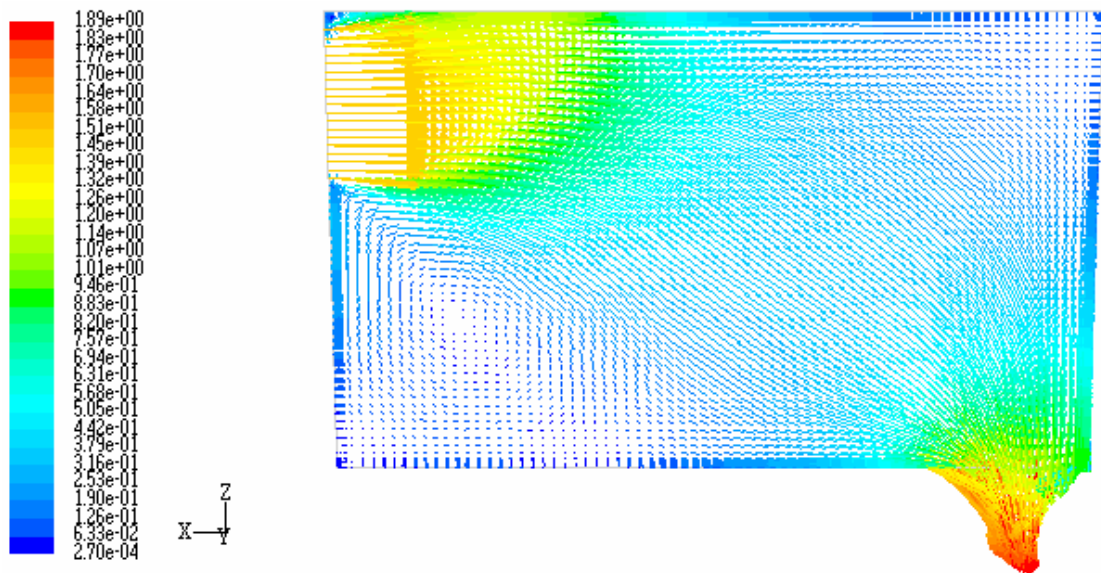
Şekil 5.110. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120.saniyede 3. durumdaki odanın ön pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (XY düzlemi) hız dağılımı



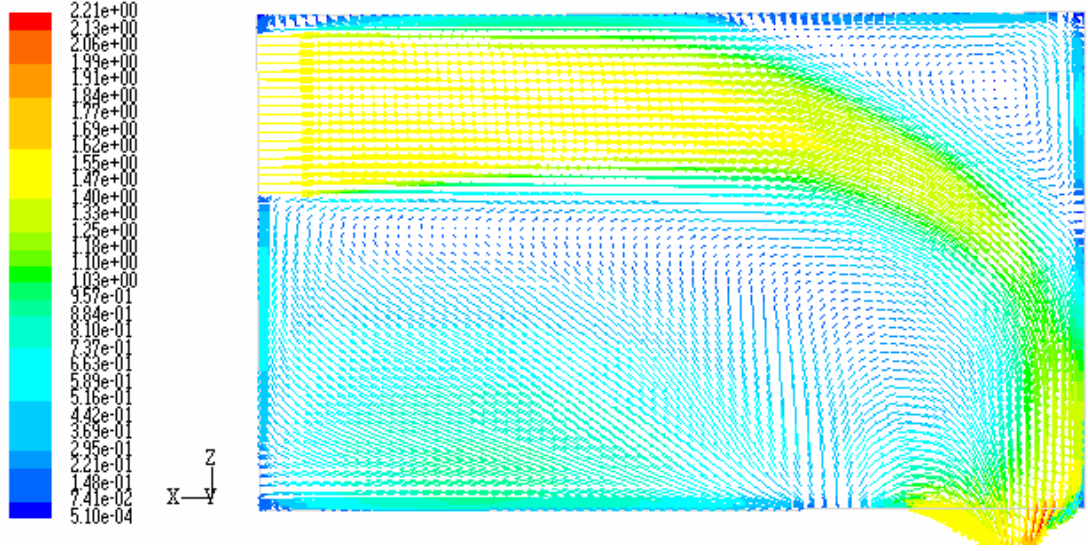
Şekil 5.111. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.112. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın yan pencerenin ortasından geçen düşey düzlemdeki (YZ düzlemi) hız dağılımı



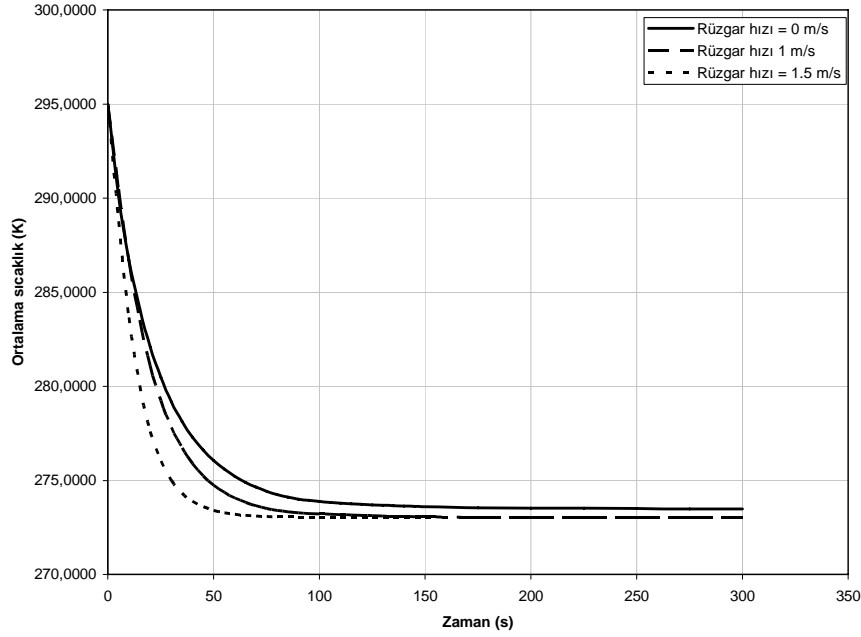
Şekil 5.113. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 30. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı



Şekil 5.114. Kış şartlarında rüzgâr hızı 1,5 m/s olduğunda 120. saniyede 3. durumdaki odanın ortasından geçen yatay düzlemdeki (XZ düzlemi) hız dağılımı

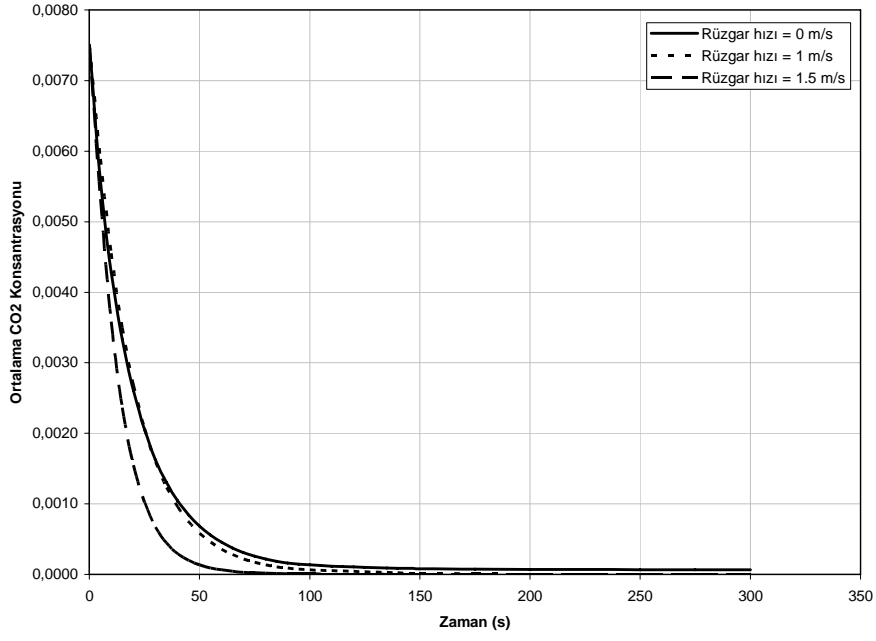
Dış ortamdaki soğuk hava 1,5 m/s hızla ön pencereden içeriye girmekte ve Şekillerden de görüldüğü gibi odanın içerisine yayılmaktadır. Ön pencereden giren hava belli bir hızla yan pencereye doğru yönelmekte ve yan pencereden dışarıya çıkmaktadır. Oda içerisinde 30. saniyedeki maksimum hız 1,89 m/s olmaktadır. 120. saniyedeki maksimum hız ise 2,18 m/s olmaktadır.

Oda içerisindeki ortalama sıcaklığın çeşitli rüzgâr hızlarında, zamanla değişimi Şekil 5.115'de verilmiştir. Oda içerisindeki ortalama sıcaklık ilk 90 saniye içerisinde hızla düştüğü daha sonraki saniyelerde düşüş hızının azaldığı görülmektedir. Şekil 5.115'den de görüldüğü gibi rüzgâr hızı arttıkça oda içerisindeki havanın ortalama sıcaklığının azalma hızı da artmaktadır.



Şekil 5.115. Kış şartlarında çeşitli rüzgâr hızlarında 3. durumdaki oda içindeki hava sıcaklığının zamanla değişimi.

Oda içerisindeki karbondioksit konsantrasyonunun çeşitli rüzgâr hızlarında, zaman içerisindeki değişimi Şekil 5.116'da verilmiştir. Oda içerisindeki Ortalama karbondioksit konsantrasyonu ilk 80 saniye içerisinde hızla düşmüş daha sonraki saniyelerde düşüş hızı azalmış ve yaklaşık 2 dakika içinde sıfıra çok yaklaşmıştır. Şekil 5.116'dan da görüldüğü gibi rüzgâr hızı arttıkça oda içerisindeki karbondioksit konsantrasyonunun azalma hızı da artmaktadır. Karbondioksit konsantrasyonunun değeri 600 mg/m^3 (kütle oranı olarak 0,000486) olduğu zaman temiz havadaki değerine ulaşmış demektir. Rüzgâr hızının sıfır ve 1 m/s olduğu durumda yaklaşık 60. saniyede karbondioksit konsantrasyonu temiz havadaki değerine ulaşırken, rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda yaklaşık 40 saniyede karbondioksit konsantrasyonu temiz havadaki değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, kış şartlarında bir odanın havalandırılması rüzgâr olmadığı ve rüzgâr hızının 1 m/s olduğu durumda yaklaşık 1 dakikada, rüzgâr hızının 1,5 m/s olduğu durumda ise yaklaşık 40 saniyede gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısı kaybını azaltmak amacıyla havalandırma süresinin çok uzun tutulmaması gerekir.



Şekil 5.116. Kış şartlarında çeşitli rüzgâr hızlarında 3. durumdaki oda içindeki karbondioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 5,00x3,00x3,00 metre boyutlarındaki bir odanın, çeşitli pencere konumlarında doğal havalandırılması sayısal olarak incelenmiştir. Birinci problemde yaz koşullarında gece vakitlerinde tek pencere ve çift pencere açıklıklarında odadan olan ısı transferi miktarı sayısal olarak incelenmiş, ikinci problemde üç değişik pencere konumunda kış koşullarında oda içerisindeki kirletici gazın ve oda içi sıcaklığının zamanla değişimi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal incelemede Fluent 6.2. programı kullanılmış, sıcaklık konturları, hız vektörleri çizdirilmiştir.

Yaz koşullarında simülasyonu yapılan pencere konumlarındaki sayısal analizlerde bulunan sonuçlar yaz koşullarında yapılan sayısal analiz sonucunda karşılıklı duvarlarda iki pencere konulması durumunda odadan olan ısı transferi yaklaşık 1,7 kat artmıştır. Oda içi sıcaklık tek pencere olduğu durumda yaklaşık 1 °C azalmıştır, iki pencere olduğu durumda ise sıcaklık yaklaşık 1,5 °C azalmıştır.

Yaz koşullarında yapılan analizlerde rüzgâr hızı sıfır olduğu zaman odadan olan ısı transferi, tek pencere olduğu zaman 89,97 W, karşılıklı duvarlarda olmak üzere iki pencere olduğu zaman 154,66 W olmaktadır. Karşılıklı duvarlarda iki pencere olduğu durumda ön pencereden giren havanın 1 m/s hızı sahip olduğu koşullarda odadan olan ısı transferi 504,47 W olmuştur, yani hızın sıfır olduğu duruma göre 3,26 kat artmıştır. Ön pencereden giren havanın 1,5 m/s hızı sahip olduğu koşullarda odadan olan ısı transferi 649,77 W olmuştur, yani rüzgâr hızının sıfır olduğu duruma göre 4,20 kat artmıştır. Sonuç olarak yaz koşullarında yapılan analizlerde pencere sayısı arttırıldıkça ve rüzgâr hızı arttıkça odadan olan net ısı transferi miktarı da önemli miktarda artmaktadır.

Kış koşullarında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre ikinci ve üçüncü durumlarda sıcaklık ve CO_2 konsantrasyonu, birinci duruma göre daha kısa sürede dış hava koşullarındaki değerlere yaklaşmıştır. İlk 60 saniye içerisinde, birinci durumda sıcaklık 22 °C'den yaklaşık 4 °C'ye, ikinci ve üçüncü durumda ise sıcaklık 22 °C'den yaklaşık 2 °C'ye düşmüştür. Bu dakikadan sonra daha düşük bir hızla

azalmaya devam etmiştir. Karbondioksit konsantrasyonunda ise ilk 60 saniye içerisinde %90 oranında azalma meydana gelmiştir. 60. saniyeden sonra ise karbondioksit konsantrasyonundaki azalma da düşük bir hızla devam etmiştir.

Bu çalışmada kış koşullarında yapılan analizlerde rüzgâr hızı arttırıldıkça iç ortam havası daha hızlı bir şekilde temizlenmektedir. Pencereler hava akımı bütün odayı kaplayacak şekilde yerleştirildiğinde (2. ve 3. durumlar) odanın havalandırması daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Yeterli havalandırmanın mümkün olduğu kadar az ısı kaybı ile gerçekleşmesi için pencerelerin açık kalma süresi; birinci durumdaki oda için, rüzgâr hızı sıfır olduğu durumda yaklaşık 300 saniye, rüzgâr hızı 1 m/s olduğu durumda 100 saniye, rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 80 saniye, ikinci ve üçüncü durumlardaki odalar için, rüzgar hızı sıfır olduğu durumda yaklaşık 50 saniye, rüzgar hızı 1 m/s olduğu durumda 50 saniye, rüzgar hızı 1,5 m/s olduğunda 40 saniye olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak çalışmada denenen çeşitli geometrideki odalardan doğal konveksiyonla ısı transferinin deneysel olarak analizi yapılabilir.

Ayrıca bu çalışmada yer alan pencere büyüklükleri, iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı değeri ve pencere sayısı değiştirilerek bunların ısı transferine etkisinin sayısal analizi yapılabilir.

KAYNAKLAR

Allocca, C., Chen, Q., “L.R. Glicksman, Design analysis of single-sided natural ventilation”, *Energy and Buildings*, 35: 785-795 (2003).

Ayata, T., Yıldız, O., “Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in turkey”, *Energy and Building*, 38: 170-185 (2005).

Bastide, A., Lauret, P., Gadre, F., Boyer, H., “Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well- ventilated living spaces in buildings using natural ventilation”, *Energy and Building*, 40: 528-546 (2006).

Başkaya, Ş., Alpay, E., , “Yatay Kapalı Bir Ortamda Ayrık Isı Kaynaklarından Olan Doğal Taşınım Akışının Sayısal İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 18 (2): 49-62 (2003).

Çakmanus, İ., “Ekolojik Binalar ve Doğal Havalandırma”, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*, Ankara, 2-28 (2006).

Davidson, L., “An Introduction to Turbulence Model”, *Department of Thermo and Fluid Dynamics*, Göteborg, Sweden, 22-26 (2003).

Evola, G., Popov, V., “Computational analysis of wind driven natural ventilation in buildings”, *Energy and Building*, 38: 2-13 (2005).

Gan, G., “Effective Depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation”, *Energy and Buildings*, 31: 65-73 (2000).

Güler, Ç., “Kapalı Ortam Hava Kirlenmesi”, *Aydoğdu Ofset*, Ankara, 14-16 (1994).

Ji, Y., Cook, M.J., Hanby, V., “CFD modelling of natural displacement ventilation in an enclosure connected to an atrium”, *Building and Environment*, 40: 225-266 (2005).

Jiang, Y., Chen, Q., “Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89: 1155-1178 (2001).

Jiang, Y., Alexander, D., “H. Jenkins, R. Arthur, Q. Chen, Natural ventilation in buildings: measurements in a wind tunnel and numerical simulation with large-eddy simulation”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91: 331-353 (2003).

Jiang, Y., Chen, Q., “Buoyancy-driven single-sided natural ventilation in buildings with large openings”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46: 973-988 (2003).

Lynch, K., “The image of the city”, Mass, *MIT pres*, Cambridge 5-12 (1960).

Orme, M., “Estimates of the energy o ventilation and associated financial expenditures”, *Energy and Building*, 33: 199–225 (2001).

Phaff, J.C., Gids, W.F., Ton, J.A., Ree, D.V., Schijndel, L.L.M., “The ventilation of buildings: investigation of the consequences of opening one window on the internal climate of a room, Report C 448, *TNO Institute for Environmental Hygiene and Health Technology (IMG-TNO)*, Delft, The Netherlands, 86-92 (1980).

Sev, A., Özgen, A., “Yüksek binalarda sürdürülebilirlik ve doğal havalandırma”, *Yapı* 262, 92-99 (2003).

Versteeg, H.K., Malalasekera, W., “An Introduction to Computational Fluid Dynamics”, *Longman*, 15-60 (1995).

Wong, N.H., Heryanto, S., “The study of active effect to enhance natural ventilation using wind tunnel and computational fluid dynamics (CFD) simulation”, *Energy And Buildings*, 36: 668-678 (2004).

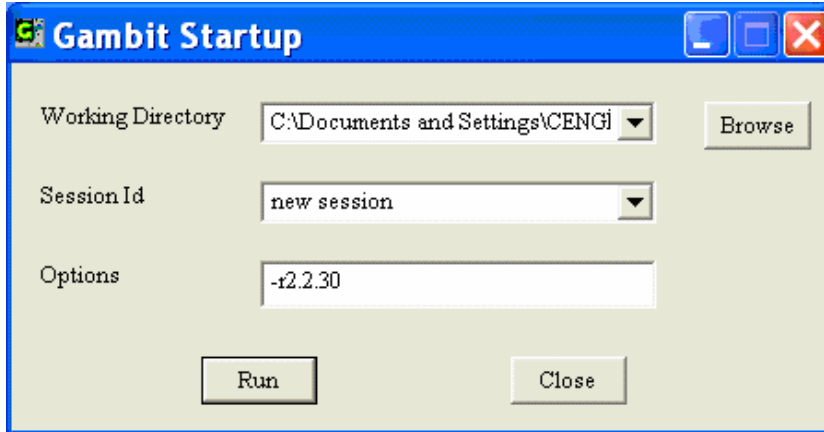
Xue, H., Shu, C., “Mixing Characteristics in a Ventilated Room with Non-Isothermal Ceiling Air Supply”, *Bulding and Environment*, 34: 245-251 (1999).

Yücel, N., Türkoğlu, H., “Numerical analysis of fluid flow and mass transfer in a channel with a porous bottom wall”, *International Journal For Numerical Methods in Fluids*, 21: 391-399 (1995).

EKLER

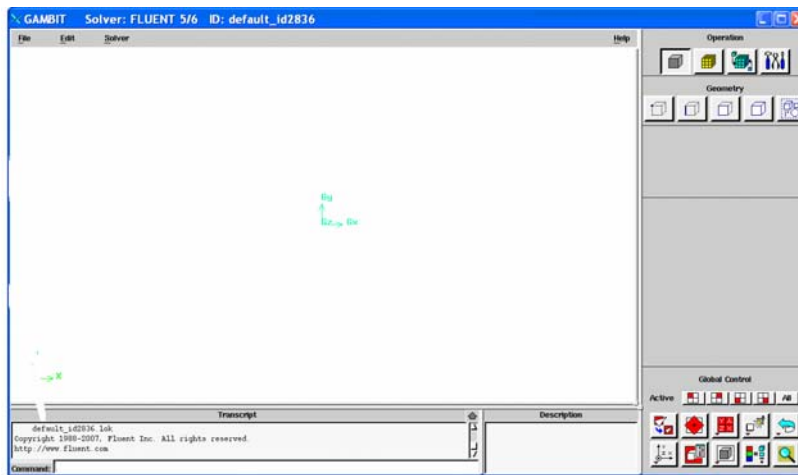
EK-1 Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi

Windows XP işletim sistemli bilgisayarda masa üstündeki gambit kısa yolu tıklandığında Ekrana Şekil Ek 1.1’de görülen pencere gelir.



Şekil 1.1. Gambit’in Açılması

Burada Run ikonu tıklandığında ekranda Şekil Ek 1.2. görüldüğü gibi Gambit programı açılır.

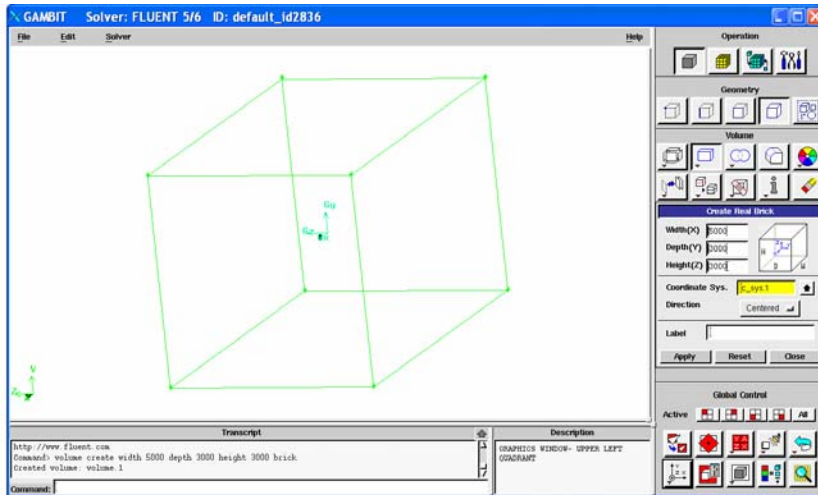


Şekil 1.2. Gambit’in açılmış hali

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi

Gambit çalıştığında default_id dbs. isminde bir dosya açar. Bu dosya ilk açılışta boştur, ikinci açılışta daha önce modelleme yapıldı ve kayıt edildi ise, gambit bu kayıt işleminde default_id. dbs isimli dosyayı kaydeder, biz daha sonra bu dosyayı açmak istediğimizde Şekil 1.1’de bulunan Session Id penceresinden bu dosya seçilerek Run ikonu tıklanır ve daha önce kayıt etmiş olduğumuz bu dosya açılmış olur.

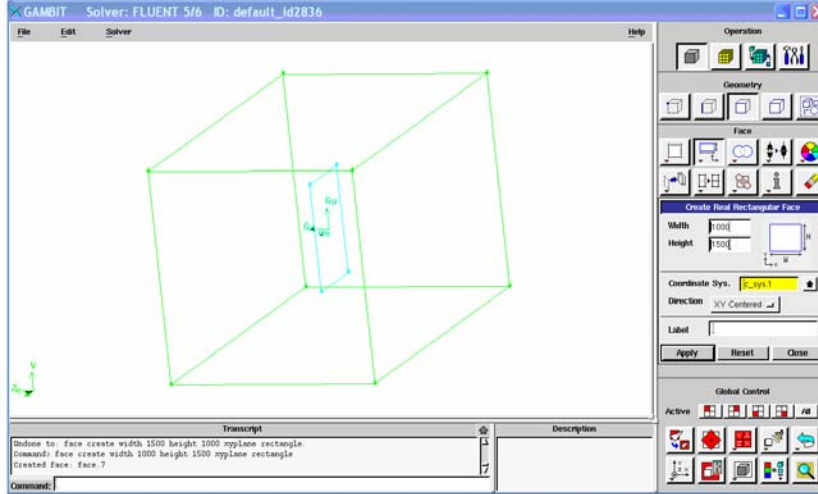
Operation → Geometry → Volume → Create Real Brick tıklanıp açılan Create Real Brick penceresinde oluşturulacak hacmin genişlik, derinlik ve uzunluk değerleri girilerek Apply ikonu tıklanır.



Şekil 1.3. Gambit programında oda hacminin oluşturulması

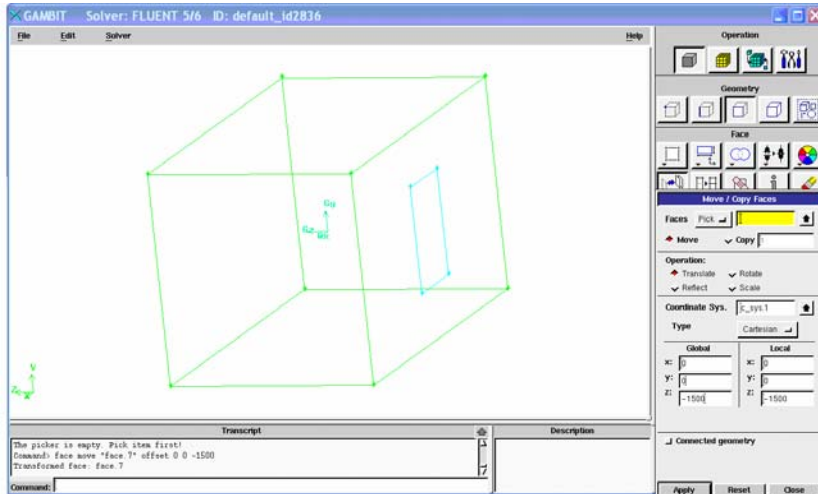
Operation → Geometry → Face → Create Real Rectangular Face tıklanıp açılan Create Real Rectangular Face penceresinde, oluşturulacak pencerenin genişlik ve uzunluk değerleri girilir, Direction’da XY centered seçilir. Apply ikonu tıklanınca Şekil 1.4’de görüldüğü gibi hacmin içerisine pencere çizilmiş olur.

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi



Şekil 1.4. Gambit programında hacmin içerisinde pencerenin oluşturulması

Operation → Geometry → Face → Move / Copy Face tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile pencere kenarına tıklanarak pencere seçilir, Move / Copy Face penceresinde Global altında Z kısmına -1500 girilerek pencere -Z yönünde 1500 mm kaydırılarak duvar üzerine taşınır (Şekil 1.5).

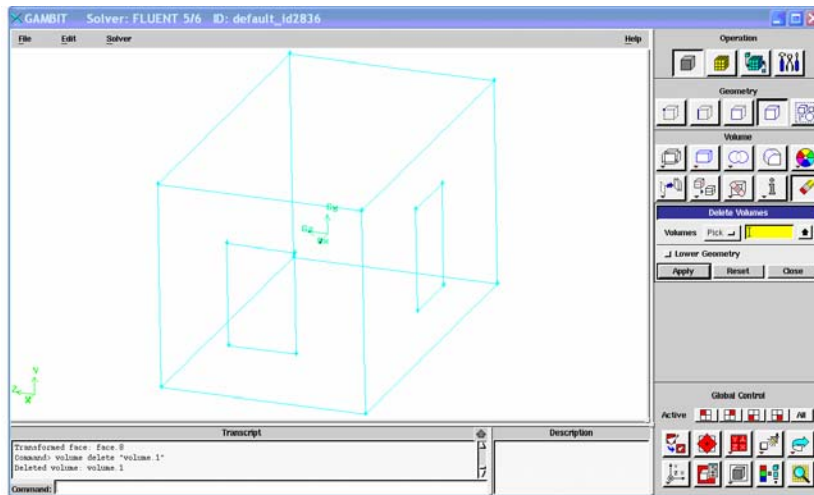


Şekil 1.5. Gambit programında hacmin içerisindeki pencerenin duvar üzerine taşınması

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi

Aynı işlemler yapılarak diğer pencerede çizilir. (sadece Şekil 1.4’de Direction’da YZ centered seçilir ve pencere X yönünde 2500 mm kaydırılır.)

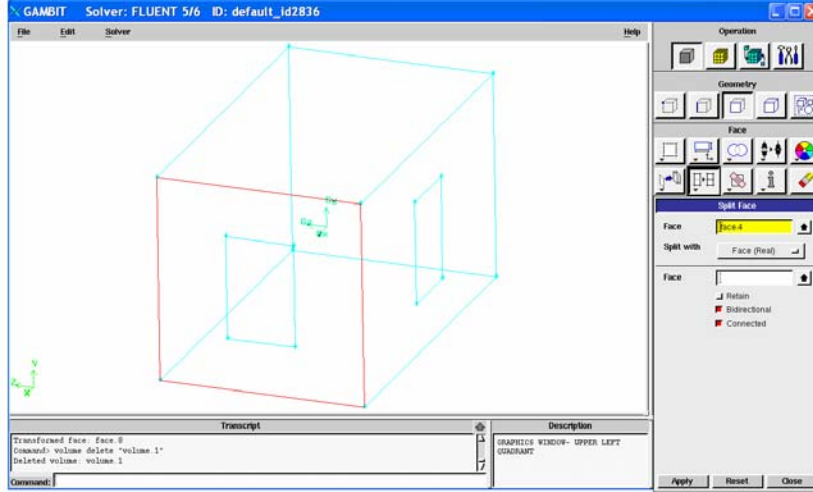
Operation → Geometry → Volume → Delete Volumes tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile hacmin üzerine tıklanarak hacim seçilir (seçilen cisimler kırmızı renge döner) Delete Volumes penceresinde Lower Geometry ikonu seçilmez ve Apply ikonu tıklanır böylece hacim yüzeylere parçalanır. (hacimken yeşildi yüzeylere dönüşünce mavi oldu)



Şekil 1.6. Gambit programında hacmin yüzeylere dönüştürülmesi

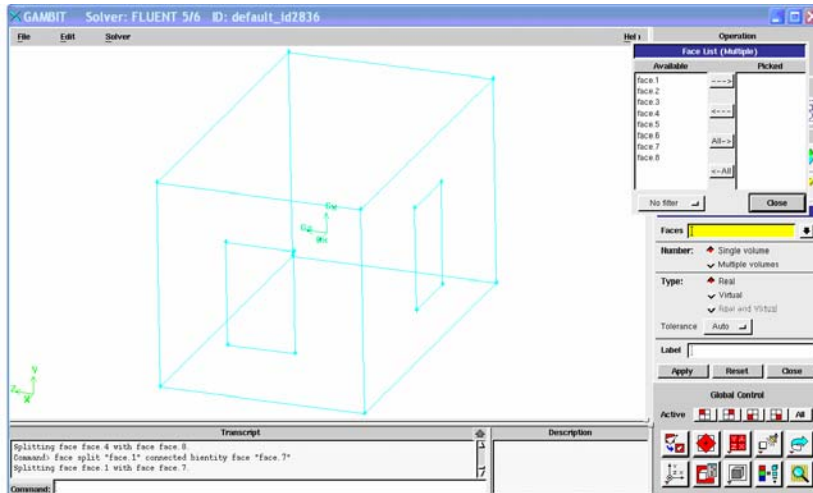
Operation → Geometry → Face → Split Face tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile pencerenin bulunduğu duvar üzerine tıklanarak bu duvar seçilir (Split face penceresinde üstteki face kısmı), Shift + farenin sol tuşu ile pencerenin üzerine tıklanarak bu pencere seçilir (Split face penceresinde alttaki face kısmı) Split face penceresinde Bidirectional ve Connected ikonları seçilerek Apply ikonu tıklanır böylece pencere ile duvar birbirlerinden ayrılır, aynı işlemler diğer pencere içinde yapılır (Şekil 1.7).

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi



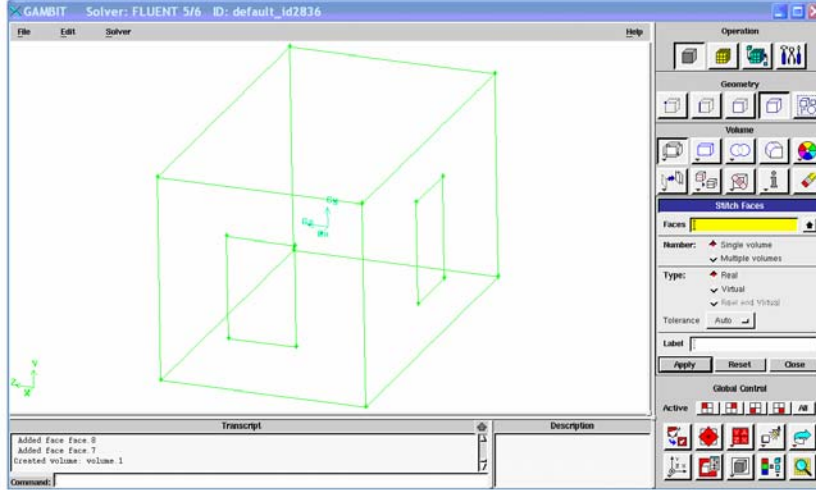
Şekil 1.7. Gambit programında pencere ile duvarın ayrıştırılması

Operation → Geometry → Volume → Stitch Faces tıklanıp açılan Stitch Faces penceresinde Faces kısmı tıklandığında Şekil 1.8'deki Face list (Multiple) penceresi açılır. Burada hacim oluşturacağımız yüzeyler seçilip (face1 den face 6 ya kadar seçilir, face 7 ve face 8 pencereler) sağ tarafa atılır ve close ikonuna basılır. Apply ikonuna basılarak hacim oluşturulur (Şekil 1.9).



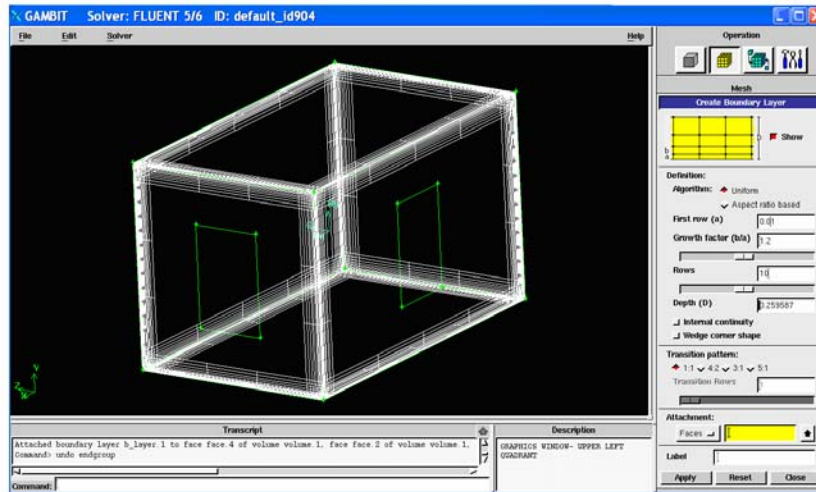
Şekil 1.8. Gambit programında hacim oluşturulması

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi



Şekil 1.9. Gambit programında hacmin oluşturulmuş hali

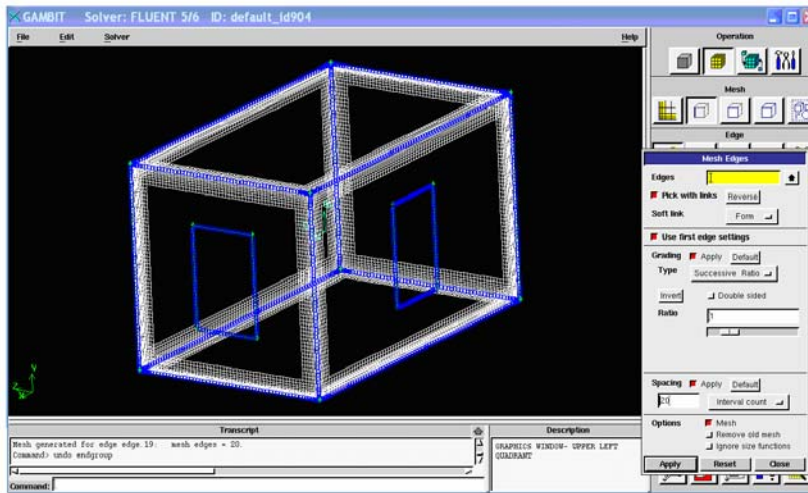
Operation → Mesh → Create Boundary Layer tıklanıp açılan pencerede first row, Growth factor ve Rows değerleri girilir. Pencerenin alt kısmında bulunan Faces penceresinde yüzeyler seçilerek Apply ikonuna basılır, böylece duvar kenarlarına sınır tabaka mesh'i atılmış olur. (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Gambit programında yüzeylerde sınır tabaka meshinin oluşturulmuş hali

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi

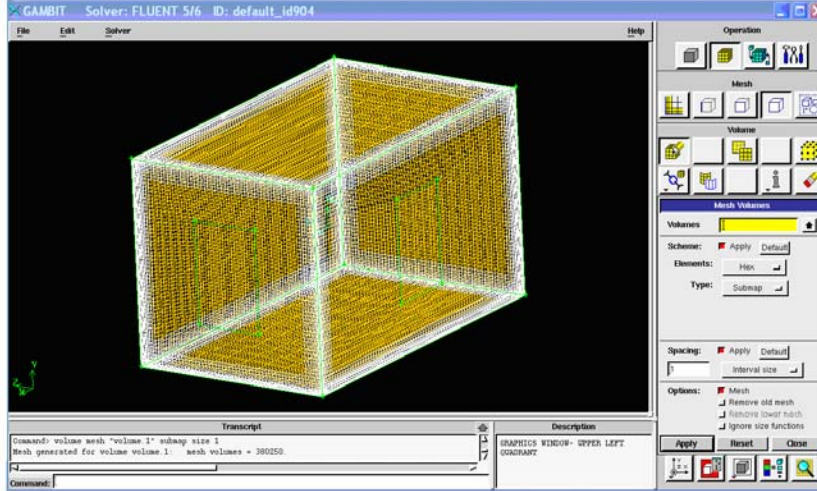
Operation → Mesh → Edge → Mesh Edges tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile bir pencerenin alt ve üst kenarları seçilir. Mesh edges penceresindeki değerler girilerek Apply ikonuna basılır böylece o pencerenin alt ve üst kenarları meshlenmiş olur. Daha sonra diğer kenarlara da aynı işlem uygulanarak tüm kenarlar meshlenir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Gambit programında tüm kenarlarının hücelere bölünmesi

Operation → Mesh → Volume → Mesh Volumes tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile odanın herhangi bir kenarlarına tıklanarak oda seçilir (Şekil 1.15). Mesh volumes penceresindeki değerler girilerek Apply ikonuna basılır böylece odanın içi hücelere bölünmüş olur (Şekil 1.12).

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi



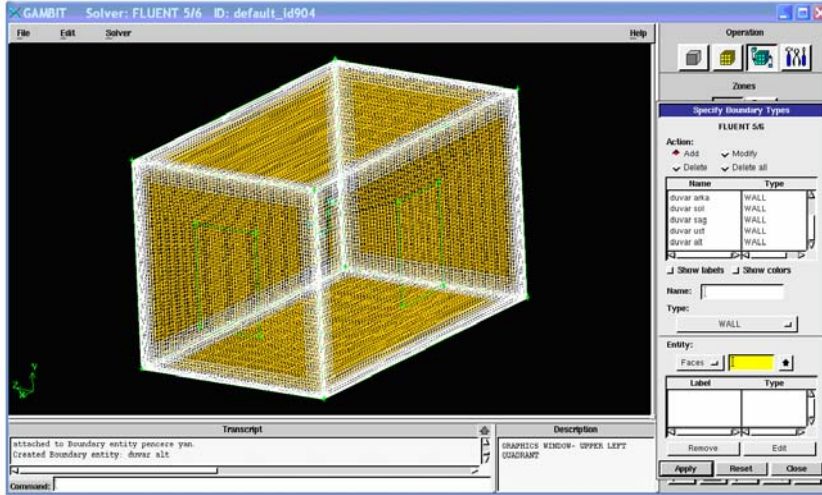
Şekil 1.12. Gambit programında geometrinin hücelere bölünmesi

Operation → Zones → Specify Boundary Types tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile pencerenin biri tıklanarak seçilir Name kısmına önpencere girilir, Type kısmında Pressure_Outlet seçilir. Apply ikonu tıklandığında ön pencerenin sınır şartı girilmiş olur.

Operation → Zones → Specify Boundary Types tıklanıp açılan pencerede Shift + farenin sol tuşu ile duvarlardan biri tıklanarak seçilir Name kısmına üstduvar girilir, Type kısmında Wall seçilir. Apply ikonu tıklandığında üst duvarın sınır şartı girilmiş olur.

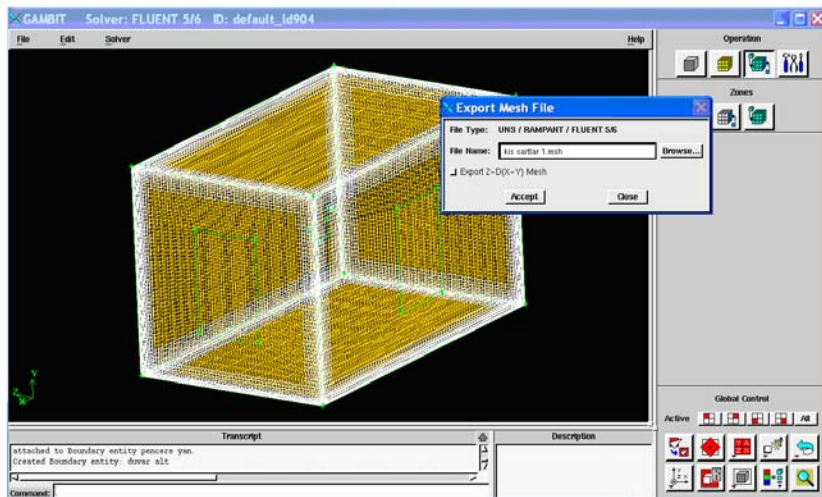
Aynı işlemler diğer duvarlar içinde yapılarak bütün duvarların sınır şartları girilmiş olur (sadece Name kısmında her duvara ayrı ayrı uygun olan isim verilir) (Şekil 1.13).

EK-1 (Devam) Yapılan çalışmaların gambit programında modellenmesi



Şekil 1.13. Gambit programında sınır şartının girilmesi

File → Export → Mesh tıklanarak açılan Export Mesh File penceresinde File Name kısmına uygun isim girilerek ecept ikonu tıklanır (Şekil 1.14). Böylece Gambit'te yaptığımız işlemler fluentin okuyacağı şekilde kaydedilmiş olur.

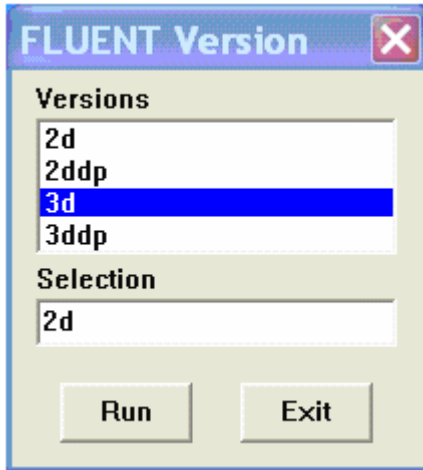


Şekil 1.14. Gambit programında yapılan işlemlerin “mesh” uzantılı kaydedilmesi

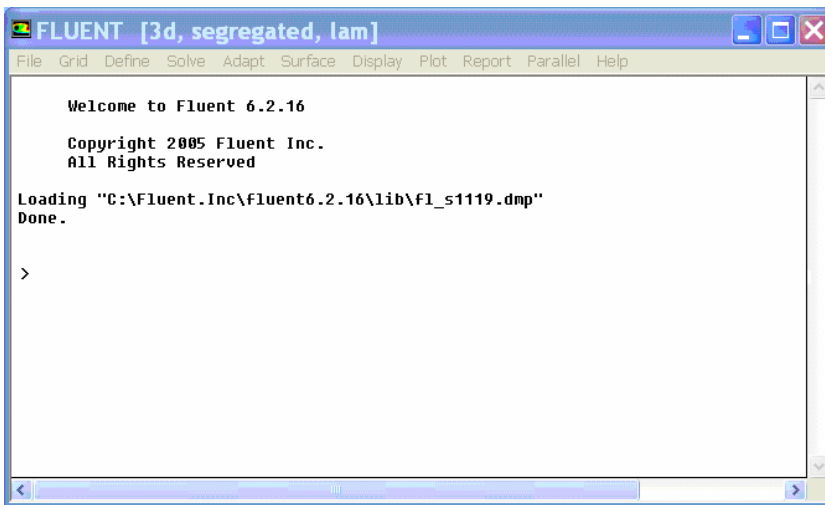
EK-2 Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Fluent 6.2.16. programında yapılan işlemler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Masa üstündeki Fluent 6.2.16. kısa yolu tıklanarak veya Start, programs, fluent inc, fluent 6.2.16 yolu izlenerek açılan fluent versions penceresinde (Şekil 2.1) 3d işaretlenip Run ikonuna basılarak fluent paket programı çalıştırılır. Açılan pencere Şekil 2.2’de görüldüğü gibidir.



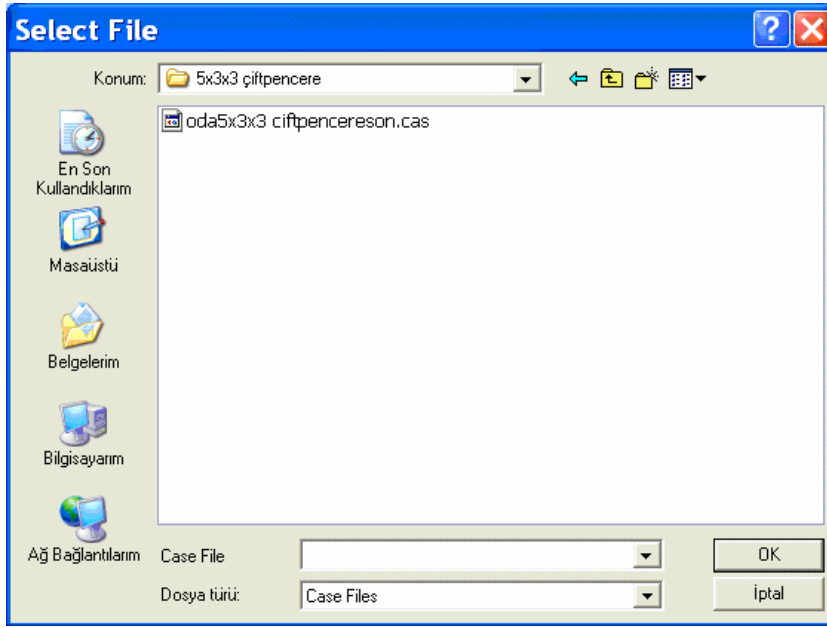
Şekil 2.1. Fluent version penceresi



Şekil 2.2. Fluent programının açılışı

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

File →Read→ Case kullanılarak oda5x3x3 çiftpencereson.cas dosyası bulunur, select file penceresinde ok ikonuna basılarak okutulur. Okuma işlemi Şekil 2.3’de okumadan sonraki ekranın son hali Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.3. Fluent programında case dosyasının okutulması için açılan select file penceresi

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

```

FLUENT [3d, segregated, spe, rke, unsteady]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help
Reading "C:\Documents and Settings\CENGİZHAN\kis sartlar 10310a.cas"...
441000 hexahedral cells, zone 2, binary.
1305500 quadrilateral interior faces, zone 12, binary.
6300 quadrilateral wall faces, zone 5, binary.
6300 quadrilateral wall faces, zone 6, binary.
4368 quadrilateral wall faces, zone 7, binary.
4900 quadrilateral wall faces, zone 8, binary.
6300 quadrilateral wall faces, zone 9, binary.
5768 quadrilateral wall faces, zone 10, binary.
532 quadrilateral pressure-outlet faces, zone 3, binary.
532 quadrilateral pressure-outlet faces, zone 4, binary.
458731 nodes, binary.
458731 node flags, binary.

Building...
grid,
materials,
interface,
domains,
mixture
zones,
default-interior
yanduvuar2
altduvar
arkaduvuar
onduvar
ustduvar
yanduvuar1
onpencere
yanpencere
fluid
shell conduction zones,
Done.
Reading "C:\Documents and Settings\CENGİZHAN\kis sartlar 10310a.dat"...
Done.

```

Şekil 2.4. Fluent programında case dosyasının okutulması

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Grid →Check kullanılarak grid yapısı kontrol edilir. Ekranda yazan ifadelerden minimum hacim değerlerine bakılır ve tüm hacimlerin pozitif olması şartının sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Çözüm yapabilmek için tüm hacimlerin pozitif olması gerekmektedir. Kontrol işleminden sonra ekranda Şekil 2.5'deki görüntü oluşur.

```

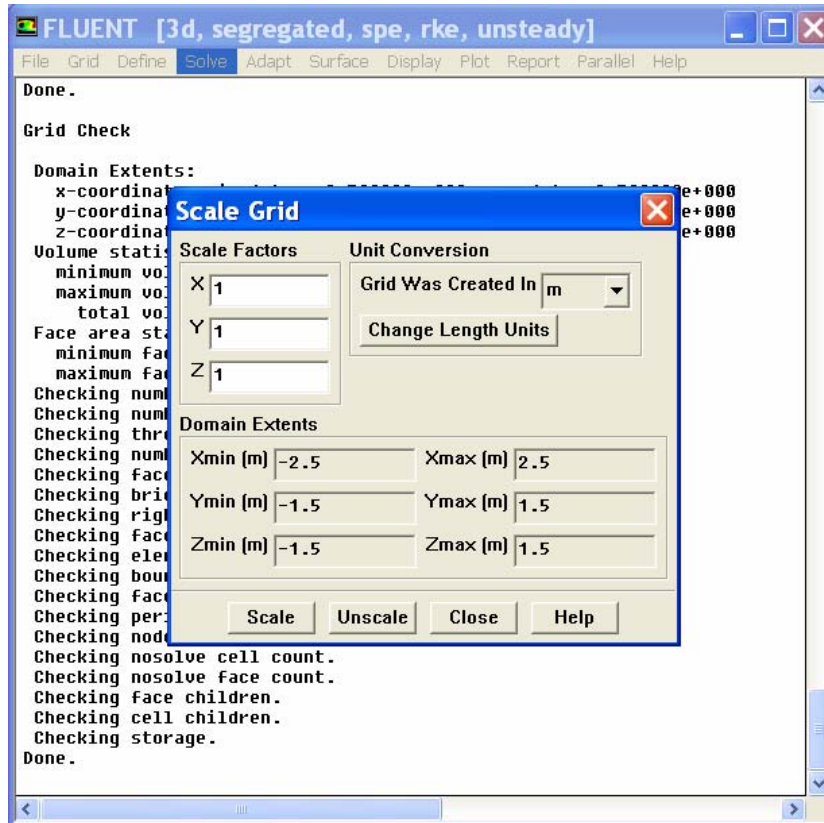
FLUENT [3d, segregated, spe, rke, unsteady]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help
Done.
Grid Check
Domain Extents:
  x-coordinate: min (m) = -2.500000e+000, max (m) = 2.500000e+000
  y-coordinate: min (m) = -1.500000e+000, max (m) = 1.500000e+000
  z-coordinate: min (m) = -1.500000e+000, max (m) = 1.500000e+000
Volume statistics:
  minimum volume (m3): 1.250026e-007
  maximum volume (m3): 3.490075e-004
  total volume (m3): 4.500000e+001
Face area statistics:
  minimum face area (m2): 2.499995e-005
  maximum face area (m2): 6.447502e-003
Checking number of nodes per cell.
Checking number of faces per cell.
Checking thread pointers.
Checking number of cells per face.
Checking face cells.
Checking bridge faces.
Checking right-handed cells.
Checking face handedness.
Checking element type consistency.
Checking boundary types:
Checking face pairs.
Checking periodic boundaries.
Checking node count.
Checking nosolve cell count.
Checking nosolve face count.
Checking face children.
Checking cell children.
Checking storage.
Done.

```

Şekil 2.5. Fluent programında check işleminin yapılması

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

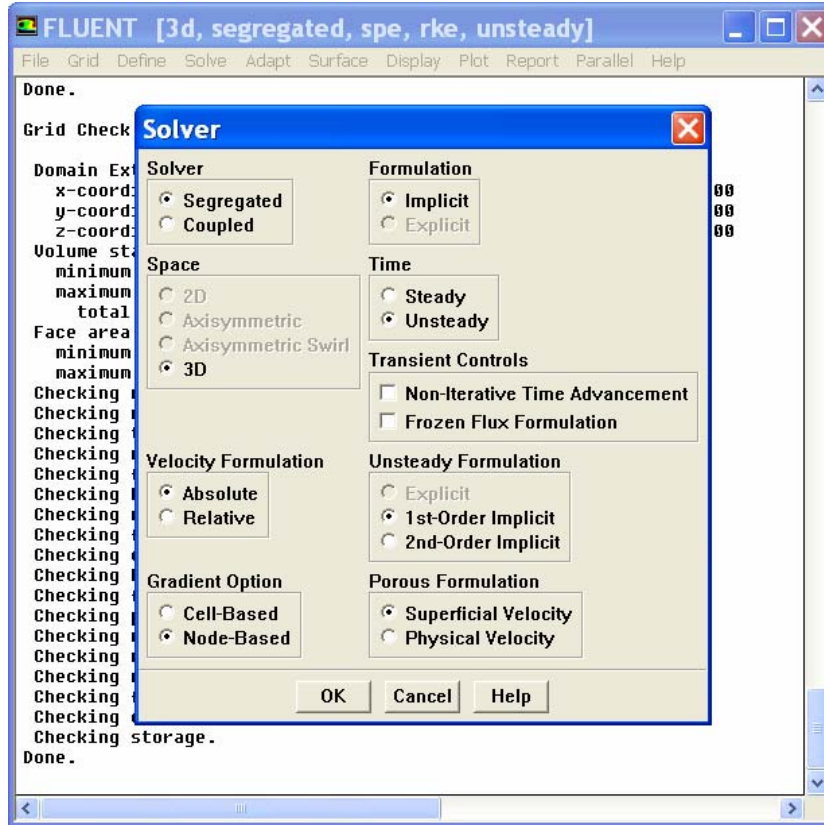
Grid → Scale kullanılarak açılan scale grid penceresinde grid was created in karşısında m seçilerek scale grid penceresi kapatılır. Kapatmadan önce scale grid penceresinde yer alan ölçülerin doğru olup olmadığı kontrol edilir. Eğer hata varsa scale veya unscale kullanılarak doğru olmaları sağlanır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Fluent programında scale işleminin yapılması

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

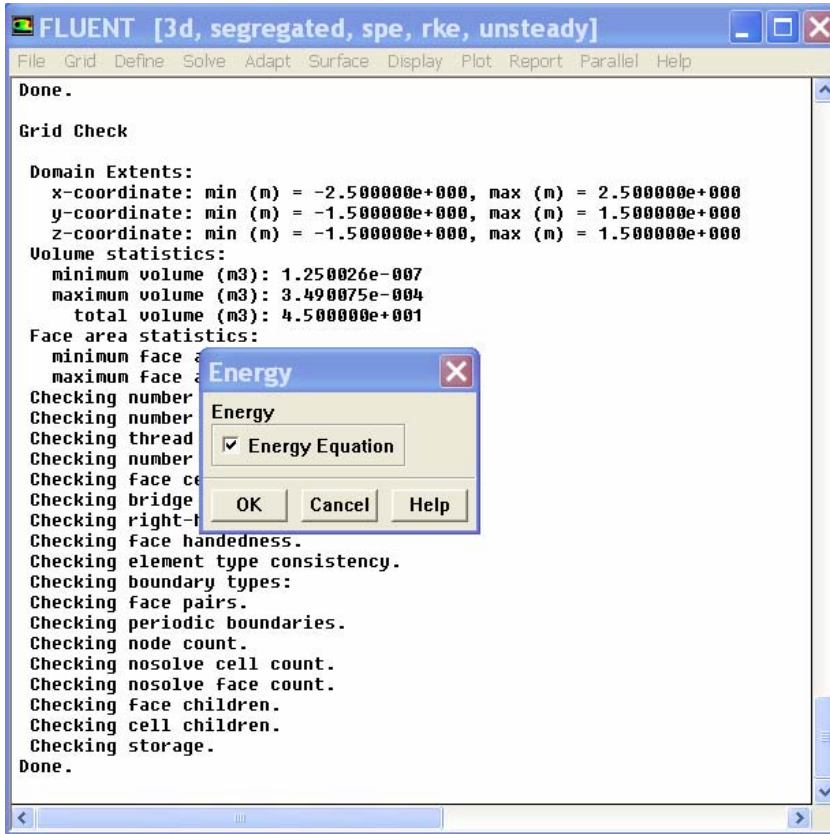
Define →Models →Solver kullanılarak açılan solver penceresinde segregated çözüm seçilidir, time penceresinde unsteady, gradient option penceresinde de node-based seçilir ve ok ikonuna tıklanır. Solver penceresi açıkken ekran Şekil 2.7'deki gibidir.



Şekil 2.7. Çözüm yönteminin seçilmesi

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

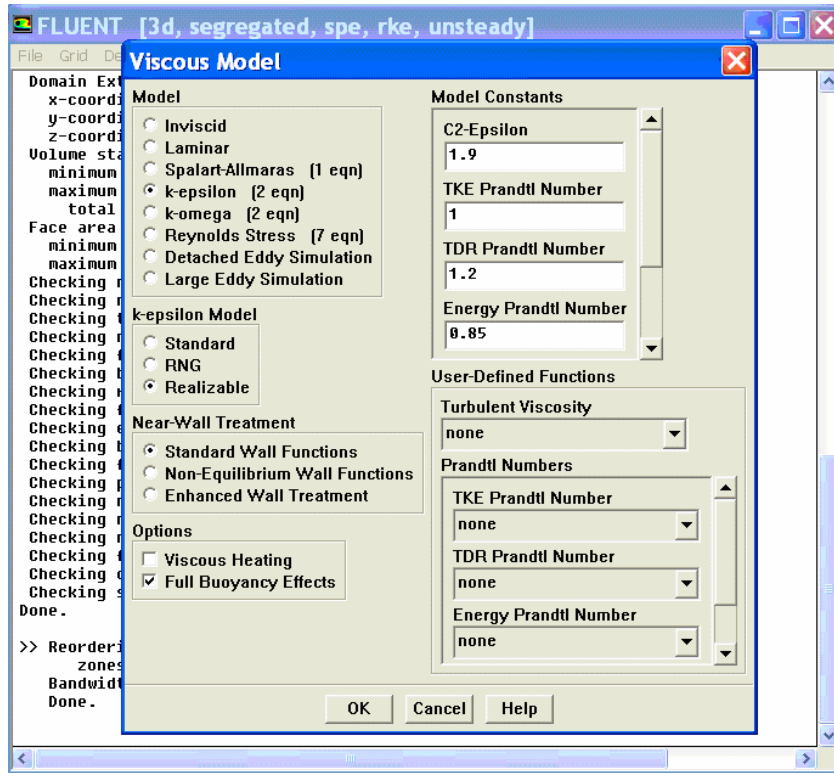
Define →Models → Energy kullanılarak açılan energy penceresinde energy equation aktif hale getirilir. Energy penceresi açıkken ekran Şekil 2.8'deki gibidir. Energy penceresindeki ok ikonu tıklanır.



Şekil 2.8. Enerjinin denkleminin aktif hale getirilmesi

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

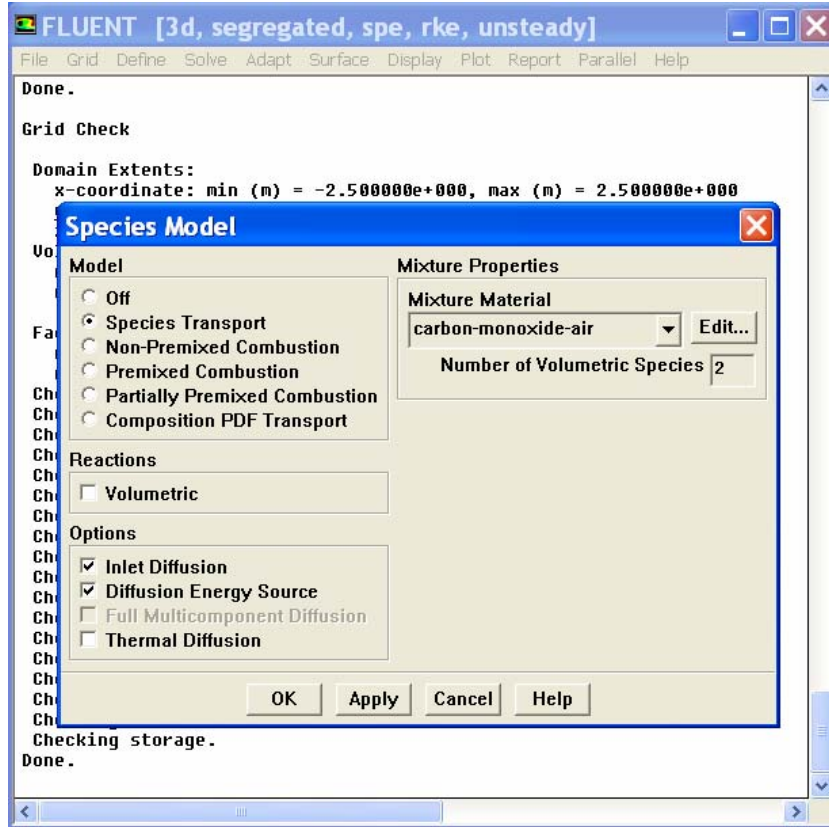
Define → Models → Viscous kullanılarak açılan viscous model penceresinde model altında k-epsilon (2 eqn) aktif hale getirilir, k-epsilon model altında realizable aktif hale getirilir, options altında full buoyancy effects aktif hale getirilerek ok ikonu tıklanır (Şekil 2.8).



Şekil 2.9. Akış şartlarının belirtilmesi 1

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

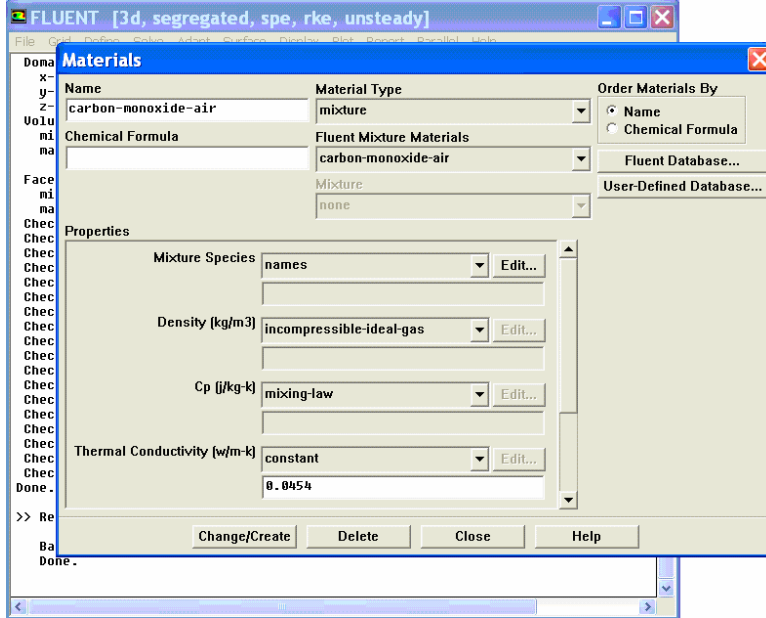
Define → Models → Species → Transport & Reaction kullanılarak açılan species model penceresinde model altında species transport aktif hale getirilir, mixture material altında carbon-monoxide-air seçilerek ok ikonu tıklanır (Şekil 2.10).



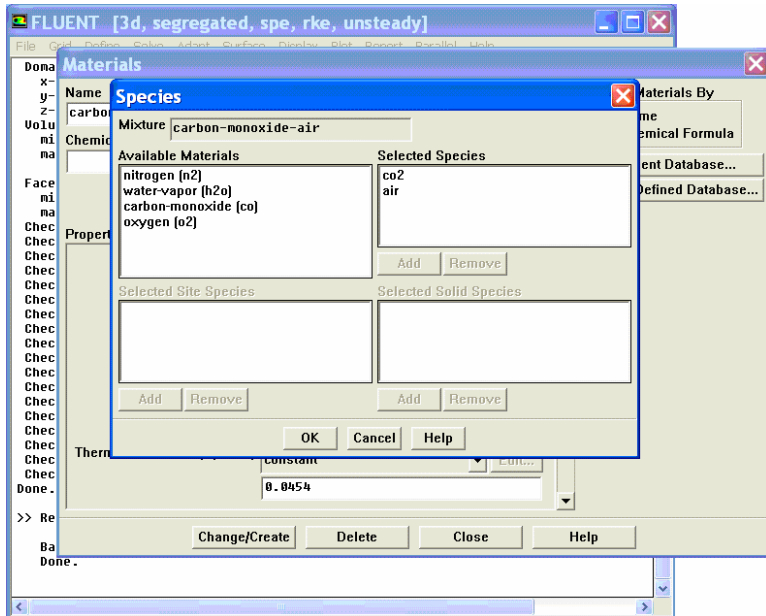
Şekil 2.10. Akış şartlarının belirtilmesi 2

Define → Materials kullanılarak açılan materials penceresinde (Şekil 2.11) properties penceresinde mixture species kısmında edit'e tıklanır Şekil 2.12'deki ekran gelir, burada selected species bölümüne CO2 ve air gelecek şekilde seçim yapılır ve ok ikonu tıklanır. Materials penceresinde sırasıyla change/create ve close ikonları tıklanır.

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi



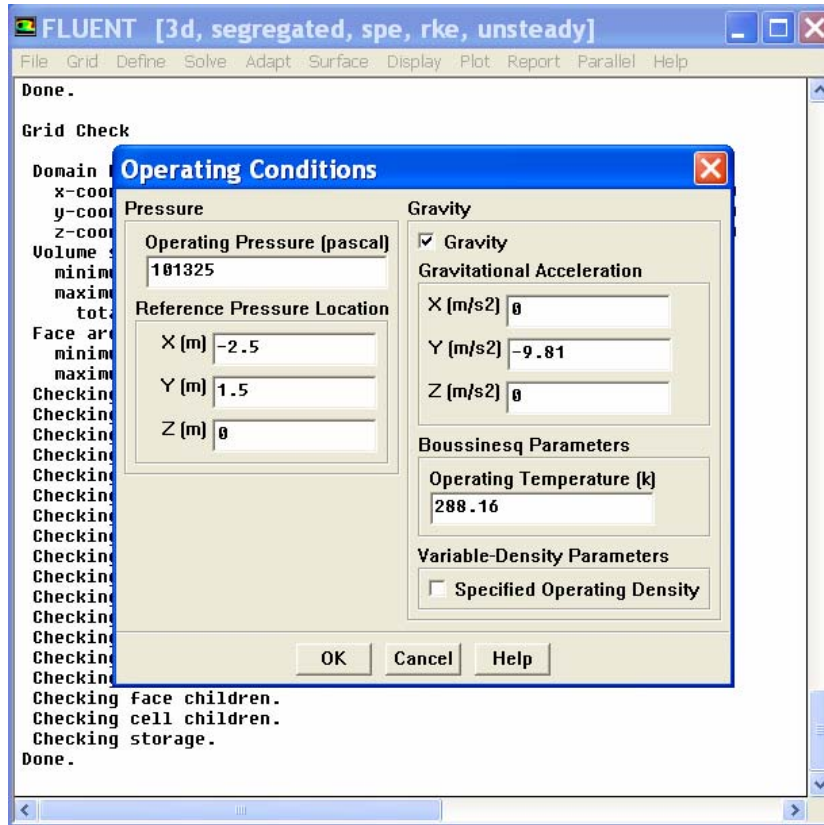
Şekil 2.11. Madde özelliklerinin seçilmesi 1



Şekil 2.12. Madde özelliklerinin seçilmesi 2

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Define →Operating Conditions kullanılarak açılan operating conditions penceresinde Şekil 2.13’de görülen, yerçekimi ivmesi değeri, basınç değeri, referans basınç noktasının yeri ve sıcaklık değerleri girilir. Operating conditions penceresindeki ok ikonu tıklanır.



Şekil 2.13. Operating conditions penceresi ve değerleri

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Define→Boundary Conditions kullanılarak açılan boundary conditions penceresinde sınır şartlarına değerler girilir.

Boundary conditions penceresinde pencereyan için pressure outlet sınır şartı seçilir ve set ikonuna tıklanır, açılan pressure outlet penceresinde Şekil 2.14'deki değerler girilir. Pressure outlet penceresindeki ok ikonu tıklanır. Ön pencere içinde aynı işlemler yapılarak pencerelerin sınır değerleri girilir.

Pressure Outlet

Zone Name
pencereyan

Gauge Pressure (pascal) 0 constant

Radial Equilibrium Pressure Distribution

Backflow Total Temperature (K) 273 constant

Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary

Turbulence Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter

Backflow Turbulence Intensity (%) 3

Backflow Hydraulic Diameter (m) 1.5

Species Mass Fractions
co2 0 constant

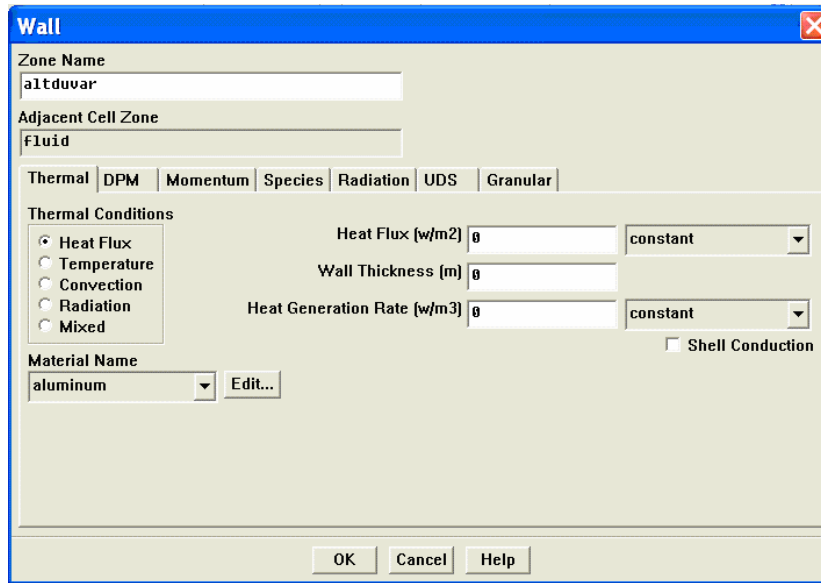
Target mass-flow rate

OK Cancel Help

Şekil 2.14. Yan pencere için pressure outlet penceresi ve değerleri

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

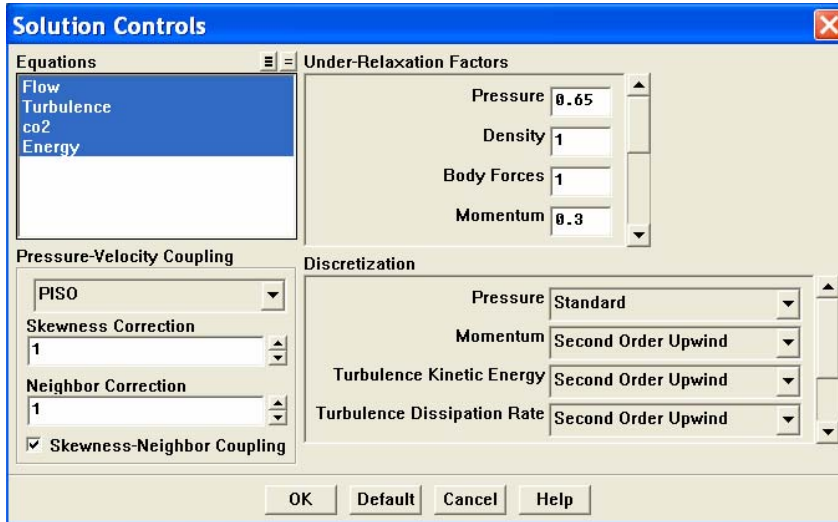
Boundary conditions penceresinde alt duvar için wall sınır şartı seçilir ve set ikonuna tıklanır, açılan wall penceresinde Şekil 2.15'deki değerler girilir. Wall penceresindeki ok ikonu tıklanır. Diğer duvarlar içinde aynı işlemler yapılarak duvarların sınır şartları girilir.



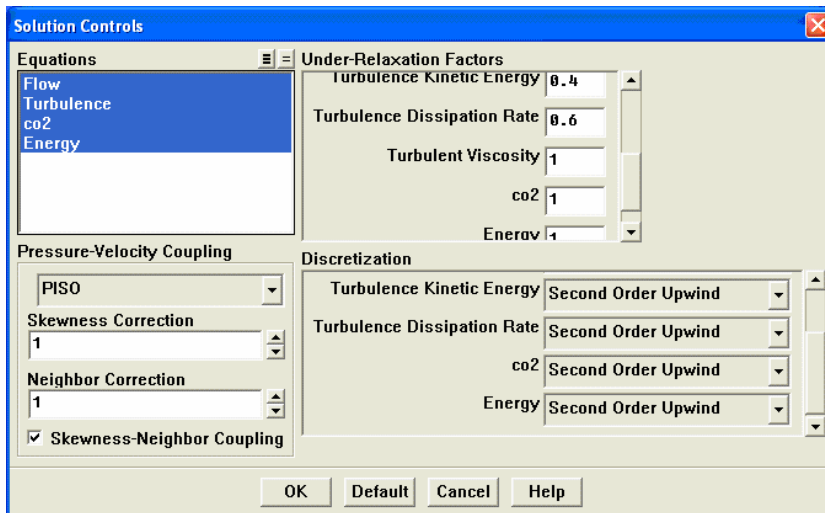
Şekil 2.15. Alt duvar için wall penceresi ve değerleri

Solve→Controls →Solution kullanılarak solution controls penceresinde relaxation factors'ler değiştirilebilir. Pressure için 0,65, Density için 1, Body Forces için 1, Momentun için 0,3, Turbulence Kinetik Energy için 0,4, Turbulence Dissipation Rate için 0,6, Turbulent Viscosity için 1, CO_2 için 1, Energy için 1 olarak girilir. Diğer özellikler Şekil 2.16'da ve Şekil 2.17'de gösterildiği gibi seçilir.

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi



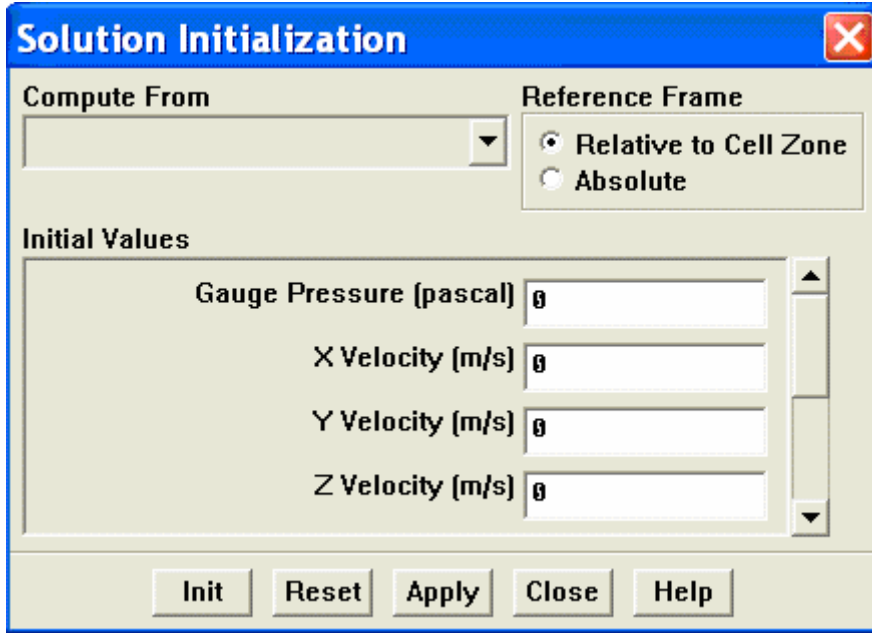
Şekil 2.16. Solution penceresi ve değerleri 1



Şekil 2.17. Solution penceresi ve değerleri 2

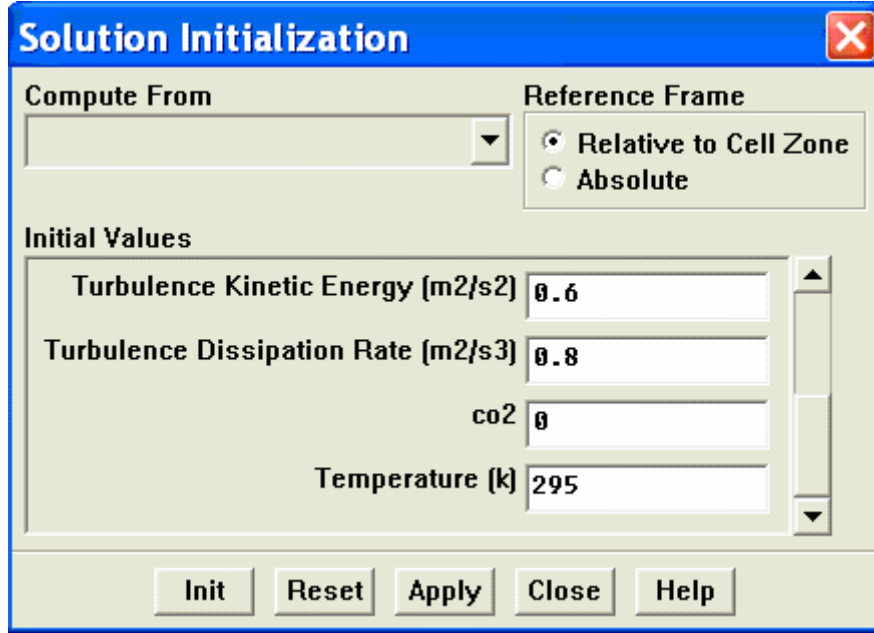
EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Solve→Initialize→Initialize penceresi kullanılarak çözümden kullanılacak ilk değerler seçilir (Şekil 2.18) ve (Şekil 2.19).



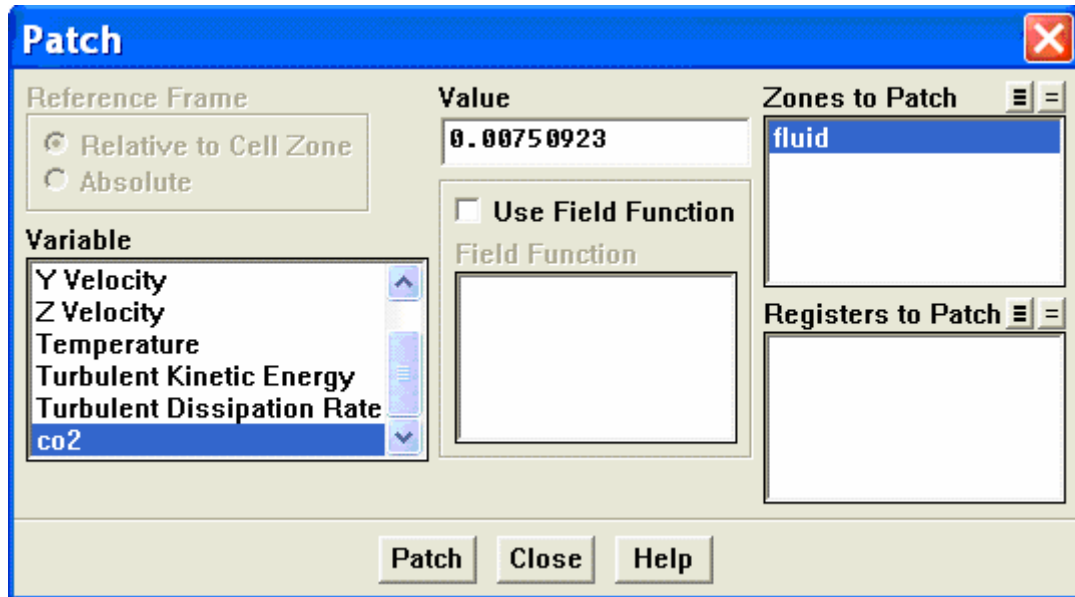
Şekil 2.18. Initialization penceresi ve değerleri 1

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi



Şekil 2.19. Initialization penceresi ve değerleri 2

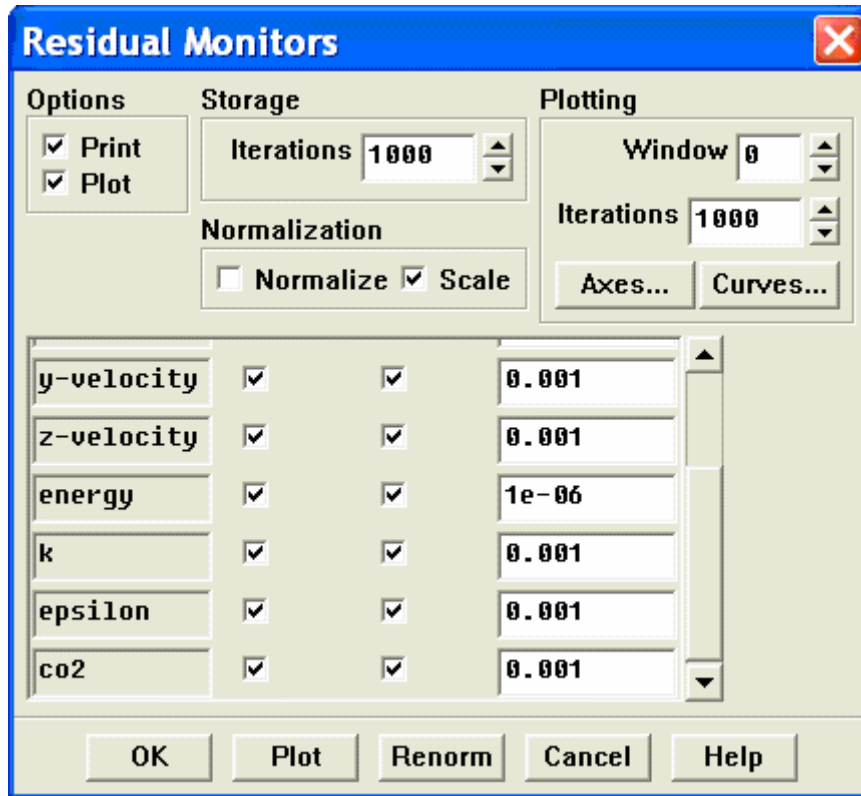
Solve→Initialize→Patch tıklanarak açılan patch penceresinde value penceresine CO_2 in ilk değeri girilir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Initialization penceresi ve değerleri 2

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Solve→Monitors→ Residual kullanılarak açılan residual monitors penceresinde convergence criterion'lar (10^{-3}) değiştirilebilir, options kısmında plot aktif hale getirilir (Şekil 2.21). Residual Monitors penceresindeki ok ikonuna tıklanır.

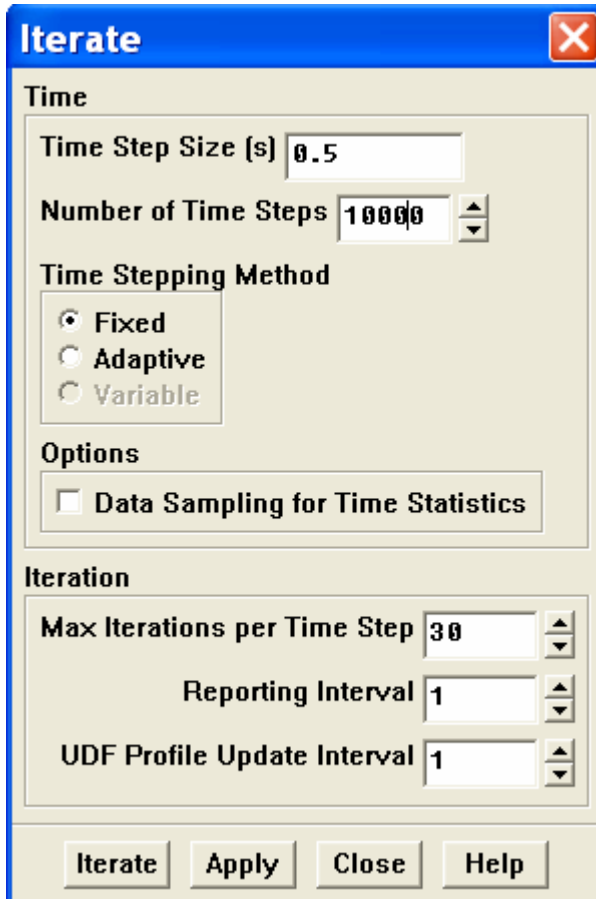


Şekil 2.21. Residual monitors penceresi ve değerleri

File →Write→ Case ile son hal kaydedilir, açılan select file penceresinde ok ikonu tıkladığında oda5x3x3 çiftpencereson.cas isimli bir dosya kayıt edilir.

EK-2 (Devam) Yapılan çalışmaların fluent programında çözümlenmesi

Solve→Iterate kullanılarak açılan iterate penceresinde Şekil 2.22'deki değerler girilerek iterate ikonuna tıklanır ve iterasyonlar başlatılmış olur.



Şekil 2.22. Iterate penceresi ve değerleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DOĞAN, Cengizhan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.06.1971 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 402 31 81, 0 (542) 724 91 12
 e-mail : cengizhan1971@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi / Makina Mühendisliği	1997
Lise	Keçiören Lisesi/ ANKARA	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-	Milli Savunma Bakanlığı	Kes.Hes.İnc.Müh.
1999-2000	F.A.F. A.Ş.	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Sinema, spor, yüzme, seyahat