

**ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN
GÜNEŞ KULESİ İÇİNDEKİ DOĞAL KONVEKSİYONUN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

İbrahim METİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

İbrahim METİN tarafından hazırlanan ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN GÜNEŞ KULESİ İÇİNDEKİ DOĞAL KONVEKSİYONUN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu çalışmanın Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA
Tez Yöneticisi

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

Başkan : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Üye : Prof. Dr. Taner ALTINOK

Üye : Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Üye : Doç. Dr. İrfan AR

Üye : Doç.Dr. Ö. Murat DOĞAN

Tarih : 19 / 06 / 2006

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

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.

İbrahim METİN

**ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN GÜNEŞ KULESİ
İÇİNDEKİ DOĞAL KONVEKSİYONUN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

İbrahim METİN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2006

ÖZET

Yeryüzünde kullanılan enerji kaynakları güneş kökenlidir. Gelişen teknoloji ve insan nüfusundaki artışa paralel olarak fosil yakıt tüketimi artmıştır. Gerekli olan enerji ihtiyacının karşılanmasında alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, güneş kulesi içindeki doğal konveksiyon akışı sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın amacı, farklı ısı akıllarında, kolektör yüksekliği, kolektör uzunluğu, çevre sıcaklığındaki değişimle güneş kulesi içindeki ısı transferine ve kule performansına etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, momentum, kütle ve enerjinin korunumunu temsil eden denklemler, uygun sınır şartlarında PHOENICS paket programından faydalanılarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ısı akıllarının, çevre sıcaklığının, kolektör yüksekliği ve uzunluğunun, artması hava hızı ve sıcaklığını artırmıştır. Artan hava hızı ve sıcaklığının kütsel debiyi ve güneş kulesi çıkış gücünü artırdığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Güneş kulesi, SAD, doğal konveksiyon
Sayfa Adedi : 151
Tez Yöneticisi : Prof Dr. Şenol BAŞKAYA

**NUMERICAL INVESTIGATION OF NATURAL CONVECTION
IN A SOLAR CHIMNEY USED FOR ELECTRICAL ENERGY
PRODUCTION
(M.Sc.Thesis)**

İbrahim METİN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2006**

ABSTRACT

The origins of energy sources, which are used in the world, originate from the sun. As a result of developing technologies and growing human population, fossil fuel consumption has increased. We need alternative energy sources to meet the increasing energy demand. In this study, natural convection flow in a solar chimney was investigated numerically. The purpose of this study was to investigate effects of different heat flux, collector height, collector length and ambient temperature values on heat transfer and performance of the solar chimney. For this purpose; momentum, mass and energy conservation equations are solved by using the PHOENICS computer program together with suitable boundary conditions. According to numerical results air speed and temperature increase with increasing ambient temperature, collector height, collector length and heat flux. It has been observed that mass flow rate and output power of the solar chimney increase with increasing air speed and temperature.

Science Code : 914.1.065

Key Words : Solar chimney, CFD, natural convection

Page Number: 151

Adviser : Prof.Dr. Şenol BAŞKAYA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Sayın Prof.Dr.Şenol Başkaya'ya sonsuz teşekkürü borç bilirim. Ayrıca çalışmalarım esnasında kaybettiğim babam Polis Baş Müfettişi (1.Sınıf Emniyet Müdürü) Hikmet METİN'e ve her zaman destekte bulunup yalnız bırakmayan değerli aileme, Mehmet Emin-Filiz METİN çiftine, kardeşim Bilgisayar Öğretmeni Ali METİN'e, Dr.Vicdan KOÇAK'a ve mesai arkadaşlarım Makine Yüksek Mühendisi Şevket DENİZ, Makine Mühendisi Refik ÇAPA ve Dr. A. Kadir ATLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ KULESİ SİSTEMİ.....	10
2.1. Sistemin Tanıtılması.....	10
2.2. Güneş Kulesi Teknolojisi.....	12
2.2.1. Toplayıcı.....	12
2.2.2. Kule.....	13
2.2.3. Türbin.....	14
2.3. Manzanares/ İspanya Prototip Uygulamasının Tanıtımı.....	15
2.4. Güneş Kulesi Uygulamaları.....	18
3. PROBLEMİN TANIMLANMASI	20
3.1. Problemin Tanımı.....	20
3.2. Fiziksel Model.....	21
3.2.1. Yapılan kabuller.....	21
3.3. Kullanılan Koordinat Sistemi ve Hesaplama Bölgesi.....	22
3.4. Matematiksel Model.....	22
3.4.1. Temel denklemler.....	22
3.5. k-e Türbülans Modeli.....	25
3.5.1. Türbülans model denklemleri	26
3.6. Sınır Şartları.....	27

Sayfa

4. SAYISAL YÖNTEM.....	29
4.1. PHOENICS Programının Tanıtımı.....	29
4.2. Hücre Yapısı.....	34
4.3. Sonlu Hacimler Metodu ile Diskritizasyon Yöntemi.....	35
4.4. SAD Çözümlerinin ve Sonuçlarının Doğruluğunun ve Geçerliliğinin Kontrolü	38
4.5. Akışkanlar Mekaniği ve Isı Transferine Uygulaması.....	40
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	44
5.1. Yakınsama Kriterlerinin Kontrol Edilmesi.....	46
5.2. Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	48
5.3. Kolektör Yüksekliği ile Isı Akısı Değişimlerinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi.....	52
5.3.1. $H_k=1,7m$ kolektör yüksekliği $R_k=120-240$ m kolektör örtü uzunluğu ve ısı akısı değişiminin ısı transferine etkisinin incelenmesi.....	52
5.3.2. $H_k=3,4m$ kolektör yüksekliğinde değişen ısı akısının ısı transferine etkisinin incelenmesi	80
5.3.3. $H_k=0,85m$ kolektör yüksekliğinde değişen ısı akısının ısı transferine etkisinin incelenmesi	94
5.4. Kolektör Yüksekliğindeki Değişimin Karşılaştırılması	109
5.5. Çevre Sıcaklığının Kütlesel Debiye Etkisinin İncelenmesi	111
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121
KAYNAKLAR.....	124
EKLER.....	126
EK-1 Örnek Q1 kütüğü.....	127
EK-2 Örnek RESULT dosyası.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	151

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sınır şartları.....	27
Çizelge 5.1. Parametrik çalışma tablosu	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Güneş kulesinin çalışma prensibi: Cam toplayıcı, baca ve türbin	10
Şekil 2.2. Enerji depolanması (a) Gündüz (b) Gece	12
Şekil 3.1. Güneş kulesi 3 boyutlu görüntüsü	20
Şekil 3.2. Problemin çözüm alanının iki boyutlu olarak gösterimi	21
Şekil 3.3. PHOENICS programında modelin 110x110 hücre dağılımı (y-z düzlemi)	28
Şekil 4.1. PHOENICS program şeması	29
Şekil 4.2. PHOENICS'te kullanılan silindirik koordinat sistemi ve hücre yapısı	34
Şekil 5.1. Sabit ısı akısında, farklı süpürme sayılarında elde edilen T_c ortalama kolektör çıkış sıcaklığının değişimi, ($H_k=1,7m$, $R_k=120 m$, $D_b=10 m$, $H_b=195 m$)	47
Şekil 5.2. Sabit ısı akısında hücre sayısı değişimi ile T_c ortalama kolektör çıkış sıcaklığının değişimi, ($H_k=1,7m$, $R_k=120 m$, $D_b=10 m$, $H_b=195 m$).....	48
Şekil 5.3. Deneysel çalışma ile PHOENICS çözümünün sıcaklık karşılaştırması ($z=H_k/2$).....	49
Şekil 5.4. Deneysel çalışma ile PHOENICS çözümünde hızın karşılaştırması	50
Şekil 5.5. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında ve kolektör örtü uzunluğunda değişimi ($q''=100-1000 W/m^2$, $H_k=1,7m$).....	53
Şekil 5.6. Ra sayısına bağlı Nu sayısının değişimi ($q''=100-1000 W/m^2$, $H_k=1,7m$).....	53
Şekil 5.7. Isı akısı değişimine bağlı ortalama sıcaklık değişimi ($H_k=1,7 m$ $z=H_k/2$)	55
Şekil 5.8. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi ($H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$, $z=H_k/2$)	55
Şekil 5.9. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi ($H_k=1,7 m$, $R_k=240 m$, $z=H_k/2$)	56

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Isı akısı ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı kolektör çıkış sıcaklığının değişimi ($H_k=1,7m$)	56
Şekil 5.11. Isı akısına bağlı kolektör çıkışı hava hızı değişimi ($H_k= 1,7 m$).....	57
Şekil 5.12. Isı akısına bağlı hava hızı değişimi ($R_k=120 m$, $H_k=1,7 m$).....	58
Şekil 5.13. Isı akısına bağlı hava hızı değişimi ($R_k=240 m$, $H_k=1,7m$).....	58
Şekil 5.14. Isı akısına ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı kütleli debi değişimi ($H_k=1,7 m$).....	59
Şekil 5.15. Kütleli debi ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı çıkış gücü değişimi($H_k=1,7m$)	60
Şekil 5.16 Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 100 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	61
Şekil 5.17 Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 100 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	62
Şekil 5.18 Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 100 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	63
Şekil 5.19. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 500 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	64
Şekil 5.20. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 500 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	65
Şekil 5.21. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 500 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	66
Şekil 5.22. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 1000 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	67
Şekil 5.23. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''= 1000 W/m^2$, $H_k=1,7 m$, $R_k=120 m$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	68

Şekil	Sayfa
Şekil 5.24. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	69
Şekil 5.25. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	71
Şekil 5.26. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	72
Şekil 5.27. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	73
Şekil 5.28. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	74
Şekil 5.29. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	75
Şekil 5.30. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	76
Şekil 5.31. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	77
Şekil 5.32. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $D_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	78
Şekil 5.33. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $D_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	79
Şekil 5.34. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında değişimi, ($q''=100-1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$).....	80
Şekil 5.35. Ra sayısına bağlı Nu sayısının değişimi, ($q''=100-1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$).....	80

Şekil	Sayfa
Şekil 5.36. Isı akısı bağlı ortalama sıcaklık değişimi, ($z = H_k/2$, $H_k=3,4$ m).....	81
Şekil 5.37. Isı akısı bağlı sıcaklık değişimi, ($H_k=3,4$ m).....	81
Şekil 5.38. Isı akısı bağlı kolektör çıkış sıcaklık değişimi, ($H_k=3,4$ m).....	82
Şekil 5.39. Isı akısına bağlı kolektör çıkış hava hızı değişimi, ($H_k=3,4$ m).....	82
Şekil 5.40. Isı akısına bağlı kolektör çıkış hava hızı değişimi, ($H_k=3,4$ m).....	83
Şekil 5.41. Isı akısına bağlı kütleli debi değişimi, ($H_k=3,4$ m).....	83
Şekil 5.42. Kütleli debiye bağlı çıkış gücü değişimi, ($H_k=3,4$ m).....	84
Şekil 5.43. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 100$ W/m ² , $H_k = 3,4$ m,) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	85
Şekil 5.44. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 100$ W/m ² , $H_k = 3,4$ m) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	86
Şekil 5.45. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 100$ W/m ² , $H_k = 3,4$ m) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	87
Şekil 5.46. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500$ W/m ² , $H_k = 3,4$ m,) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	88
Şekil 5.47. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500$ W/m ² , $H_k = 3,4$ m) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	89
Şekil 5.48. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500$ W/m ² , $H_k = 3,4$ m) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	90

Şekil	Sayfa
Şekil 5.49. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	91
Şekil 5.50. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	92
Şekil 5.51. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	93
Şekil 5.52. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında değişimi, ($q''=100-1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$).....	94
Şekil 5.53. Ra sayısına bağlı Nu sayısının değişimi, ($q''=100-1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$).....	95
Şekil 5.54. Isı akısı bağlı ortalama sıcaklık değişimi, ($z=H_k/2$, $H_k=0,85 \text{ m}$).....	95
Şekil 5.55. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi, ($z=H_k/2$).....	96
Şekil 5.56. Isı akısı bağlı kolektör çıkış sıcaklık değişimi, ($H_k=0,85 \text{ m}$).....	96
Şekil 5.57. Isı akısına bağlı kolektör çıkışı hava hızı değişimi, ($H_k=0,85 \text{ m}$).....	97
Şekil 5.58. Isı akısına bağlı hız değişimi, ($H_k=0,85 \text{ m}$)	97
Şekil 5.59. Isı akısına kütleli debi değişimi ($H_k=0,85$)	98
Şekil 5.60. Kütleli debiye bağlı çıkış gücü değişimi, ($H_k=0,85 \text{ m}$).....	99
Şekil 5.61. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	100
Şekil 5.62. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	101

Şekil	Sayfa
Şekil 5.63. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	102
Şekil 5.64. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$,) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	103
Şekil 5.65. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	104
Şekil 5.66. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	105
Şekil 5.67. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$,) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	106
Şekil 5.68. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	107
Şekil 5.69. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	108
Şekil 5.70. Isı akısı bağlı ortalama sıcaklık değişimi, ($z=H_k/2$).....	109
Şekil 5.71. Isı akısına bağlı kolektör çıkış sıcaklığı değişimi, ($z=H_k/2$).....	109
Şekil 5.72. Isı akısı bağlı kolektör çıkış hızı değişimi.....	110
Şekil 5.73. Isı akısına bağlı kütleli debi değişimi.....	110
Şekil 5.74. Kütleli debiye bağlı çıkış gücü değişimi,.....	111
Şekil 5.75. T_o sıcaklığına bağlı kütleli debi değişimi.....	112
Şekil 5.76. $T_o=20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığında kolektör girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	112

Şekil	Sayfa
Şekil 5.77. $T_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör çıkışı baca girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık konturları b. Hız vektörleri	113
Şekil 5.78. $T_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında baca çıkışı sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık konturları b. Hız vektörleri	114
Şekil 5.79. $T_o=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	115
Şekil 5.80. $T_o=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör çıkışı baca girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık konturları b. Hız vektörleri	116
Şekil 5.81. $T_o=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında baca çıkışı sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık konturları b. Hız vektörleri	117
Şekil 5.82. $T_o=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri	118
Şekil 5.83. $T_o=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör çıkışı baca girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık konturları b. Hız vektörleri	119
Şekil 5.84. $T_o=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında baca çıkışı sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık konturları b. Hız vektörleri	120

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Resim 2.1. Kulenin yapısı	14
Resim 2.2. Baca içerisine yerleştirilmiş olan rüzgar türbini	15
Resim.2.3. Manzanares/İspanya prototip güneş kulesi	17

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$a_e, \dots, a_n$	Denklem katsayıları
A	Yüzey alanı, m^2
c_p	Sabit basınçta özgül ısı, kJ/kgK
D_b	Kule çapı, m
R_k	Kolektör yarı çapı, m
g	Yerçekimi ivmesi, $9,81 \text{ m/s}^2$
G_K	Kayma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranı
G_B	Kaldırma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranı
h	Isı transfer katsayısı, W/m^2K
H_b	Kule yüksekliği, m
H_k	Kolektör yüksekliği, m
k	Havanın ısı iletkenliği, W/mK
L_z	Zemin uzunluğu, m
Nu	Nusselt sayısı, $Nu = \frac{h H_k}{k}$
P_{el}	Elektriksel güç (W)
Pr	Prandtl sayısı
σ_k	Türbülans model sabiti
μ_t	Türbülans vizkositesi
q''	Isı akısı, W/m^2
T_φ	Kolektör çıkış sıcaklığı, $^\circ C$
T_e	Eksen sıcaklık değişimi ($z=H_k/2$), $^\circ C$

Simgeler

T_{eort}	Ortalama sıcaklık değışimi ($z=H_k/2$) , °C
T_k	Kolektör sıcaklığı, °C
T_o	Çevre ve kolektör yüzey sıcaklığı, °C
T_z	Yüzey (zemin) sıcaklığı, °C
T_{zo}	Yüzey ortalama sıcaklığı, °C
T_1	1.hücre yüzey sıcaklığı, °C
v,w	y ve z yönlerinde hız bileşenleri, (m/s)
ρ	Hava yoğunluğu, kg/m ³
μ	Dinamik vizkosite, kg/ms
ν	Kinematik vizkosite, m ² /s

Kısaltmalar

b	Kule (baca)
ç	Çıkış
CFD	Computational Fluid Dynamic
<i>f</i>	Sürtünme kayıp faktörü
z	Zemin
k	Kolektör
MW	Megawatt
SAD	Sayısal akışkanlar dinamiği
r	Rotor
t	Türbin

Açıklama

1.GİRİŞ

Yeryüzünde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının tümü güneş kökenlidir. Yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yüzyıllar öncesinde güneşten aldıkları enerji sayesinde özelliklerini değiştirmiş ve bugünkü kullanılan şekillerini almışlardır. Fosil yakıtların bulunmasıyla birlikte kullanım alanları hızla artmış, çok yakın zamanda bitme tehlikesiyle karşı karşıya kalınmıştır. Bu nedenle, enerji ihtiyacının bilinen enerji kaynaklarının dışında, alternatif olabilecek kaynaklarla karşılanması çalışmaları başlamıştır.

Medeniyetlerin kurulması, artan dünya nüfusu ve gelişen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyacı artmıştır. Artan bu ihtiyacın karşılanması yeryüzünde varolan enerji kaynaklarının özellikle enerji hammaddesinin temelini oluşturan fosil yakıtların hızlı tükenmesine yol açmıştır. Son yıllarda enerji tüketim hızının artması, yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki çalışmaları artırmıştır. Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik üretimi için yeni yöntemlerin bulunarak, hayata geçirilmesine çalışılmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanılarak enerji üretimini sağlayan teknolojilerden biri de güneş kulesidir.

“Güneş Kulesi” ile elektrik üretimi, son yılların en önemli çalışmalarında biri sayılmaktadır. Bu teknoloji, güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmasını amaçlayan, bilinen enerji kaynaklarından farklı bir yöntemle güç üretimini içermektedir. Çevre dostu olan bu teknoloji, uzun süreli çalışmalar sonucu tasarlanmıştır. Bu teknolojinin en büyük özelliği, güneş ışınlarını kullanılmasıdır.

Güneş kulesi ile enerji üretimi, sıcak havanın yükselmesi prensibine dayanmaktadır. 21. yüzyıl enerji teknolojisinin temelini oluşturacak bu çalışmada yer alan teknolojinin birinci aşamasını güneş ışınları yardımıyla geniş bir alanda hava kütlesinin ısıtılması sağlanır. Isınan hava kütlesi sistemin ortasında bulunan bir baca vasıtasıyla yükseltilir. İkinci aşamasında ise ısınan havanın bu hızlı yükseliş

esnasında oluşan hava akımı yardımıyla baca üzerine yerleştirilen enerji türbinlerini çalıştırması sağlanır. Türbinler vasıtasıyla da elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada güneş kulesi sistemi içinde oluşan doğal konveksiyonun PHOENICS programı ile modellenmesi yapılmıştır.

Kaynak araştırması

Backström ve Gannon (2000); sıkıştırılabilir akış uygulamaları için termodinamik değişkenlerin, baca yüksekliği, duvar sürtünme ve akış kayıpları, iç sürüklenme ve alan değişikliklerinin hesabı için yaklaşımlar sunmaktadır. Bu metodun ısı transferi ve mil işi olan yerlerde uygulanabileceği ifade edilmektedir [1].

Backström T.W. (2003); güneş kulelerinin çok yüksek bacalarındaki basınç düşmesini hesaplama metodları için geliştirilmiştir. Metod, yoğunluk ve yükseklik değişimleriyle birlikte akış alanı değişimi, duvar sürtünme ve iç destekleme sürüklemesinin çözümlemesini sağlamaktadır [2].

Backström T.W. ve ark. (2003); uzun güneş kuleleriyle birlikte yuvarlanma köşeleri içindeki akışı araştırmak için yapılmış çalışmadır. Mevcut deneysel veriler Ø 0,63 m çaplı model baca ile birlikte 7 destek çemberi dışından ölçülmüştür. Her bir çember baca içinden dışarı doğru çıkan 12 parmaklı, her biri kare kesitli bir çift barla desteklenmektedir. Araştırmacılar, duvar sürtünme kayıplarını, destekle çember kayıplarını ve kinetik enerji kayıplarının saptanması, ideal dönmesiz uniform akış ve değişken dönmeli akışın her ikisi için modelleme yapmıştır. Fan ve difüzer tarafından bacaya giren akış ve bacanın dibinde türbinden ayrılan akış simule edilmiştir. Yüzey sürtünme kayıpları, oldukça kaba, düz kule yüzeylerinde göreceli olarak küçüktür. Destek çemberlerinin tasarımı, aralıkları büyük yüzey kayıplarına neden olduğu belirtilmektedir. Kayıplardaki en büyük faktör destek çemberlerinin kenarlarıdır ve % 70 olarak hesaplamışlardır. Kule üzerine yerleştirilen çemberler

kinetik enerjiyi % 20 oranında artırmıştır. Sonuçta güneş kulelerinde destekleme çemberlerinin tasarımı ve yerleştirilmeleri konusunun daha fazla incelenmesi, kulenin giriş ve çıkışlarına özel olarak tasarlanmış, uygun pozisyonlarda yerleştirilmesi gerekliliği belirtilmektedir. Desteklerin düzgün biçimde yerleştirilmeleri ile direnç katsayılarının yaklaşık 0,01-0,1 oranında azaltılabileceği düşünülmektedir [3].

Backström ve Gannon (2003); eksenel bir türbine ve radyal akışa sahip güneş kulesi türbininde kanat sayısı ve türbin kayıplarının verime etkisini incelemişlerdir. Türbin veriminin, türbin jilet sayısı ve difüzer sayısına bağlı olduğu ifade edilmektedir. Bu çalışma türbin akışı açısından analitik eşitlikler sunar. Eşitliklerdeki katsayıların verime etkisi araştırılmış olup, maksimum türbin verimi ve gücü için gerekli türbin ölçülerinin tespiti araştırılmıştır [4].

Bernardes M.A.S. et al (1998); bu çalışmada radyal güneş ısıtıcısında bilinen sıcaklık sınır koşullarıyla laminar, doğal taşınımli termo hidrodinamik akım incelenmiştir. Çalışma, bu tür sistemlerin tasarımı için daha ayrıntılı incelemelerin gerekli olduğu ortaya konulmuştur. Burada sunulan yöntem anılan sistemin incelenmesi için yeterince hassas ve küçük bölgelerdeki türbülansları hissedebilmektedir. Bazı denemeler akışta türbülansa neden olmuş, konik baca geometrisi debiyi artırmıştır. Baca ile kaplamanın sert köşede birleşmesi türbülansa ve kayba neden olmakta ve buranın yuvarlatılması ile de debi artmaktadır. Gerçek bir sistemin tasarımı için daha ayrıntılı incelemelere gerek olduğu, bunlar arasında meteorolojik koşullar ve türbülanslı akım başta geldiğini belirtmişlerdir. Hesapların doğruluğunu sınamak için düşey paralel plakalar arasındaki akış modeli kullanılmıştır. Kullanılan hesaplamalı yöntemin doğruluğunu sınamak için giriş yüksekliği 0,02 m, baca çıkış yarıçapı 0,05 m, baca yüksekliği 2 m kaplama çapı 1 m, sıcaklıklar $T_o = 300 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_b = 300 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_o = 300 \text{ }^\circ\text{K}$ olarak kullanılmıştır. Bu değerler gerçek durumu yansıtmayıp laminar akış sağlamak içindir. Yumuşak dönüşler iyi bir sıcaklık dağılımı ve türbülanssız akış ve yüksek debi sağlamıştır. Köşeler baca dibinde türbülansa neden olmuştur.

Yuvarlanmış ve difüzörlü bağlantılarda da türbülans yoktur. Bacanın konik olması da debiyi arttırmaktadır [5].

Bernardes M.A.S. ve ark (2003); güneş kulesinin performansını tarif eden kapsamlı, analitik ve sayısal modelleri parçalar halinde geliştirmişlerdir. Bu modelde, çeşitli çevre koşullarının etkisinin incelenmesi, güneş bacası sisteminde güç çıkışının hesaplanması ve sistemin boyutlandırılması amaçlanmıştır. Matematiksel modellemeler sonucunda elde edilen sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Güneş bacası ile ilgili yaptıkları çalışmada baca yüksekliği, baca çapı, türbin basınç faktörü ve kolektör örtüsünün optik özellikleri ile ilgili parametrelerin etkisi incelenmiştir [6].

Bilgen ve Rheault (2005); yüksek performanslı güneş kulesi sistemi tasarlayıp, performans analizlerini değerlendirmişlerdir. Geliştirilen matematiksel modelde aylık meteorolojik verilerin ve termodinamik dönüşüme dayalı verilere göre MATLAB platformunda modeli geliştirilmiştir. Kanada’da Ottawa, Winnipeg ve Edmonton adlı 3 bölgede nominal gücü 5 MW olan tesis için termal performans üzerinde çalışmışlardır. Dik kısa bacaya, eksenel hava türbini eklenerek yapılan çalışmalar sonucunda, güneş kulesi sisteminin tatmin edici bir termal performansa sahip olduğunu ve güneydeki bazı tesislerdeki kolektörlerin % 85’e kadar üretim yaptıklarını tespit etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, tipik güneş kulesi sisteminin inşaa ve bakım bedeli gibi inşaat mühendisliği problemlerinin % 90 oranında azaldığını göstermiştir. Bu durum gerçek olmakla birlikte eğimli yüzeylere yerleştirilen kolektörler inşa işini arttırabilir. Doğal tepelerdeki eğimler değişken olmakla beraber yüzeyin en uygun eğiminde yaklaşık 20-25° kadar değişirse, bütün performansın yaklaşık olarak % 13’ten fazlasını kaybedileceğini belirtmektedir [7].

Dai Y.J. ve ark. (2002); kuzey batı Çin’ de güneş radyasyonunu bol alan Ningxia Hui Autonomous bölgesinde tasarlanan güneş kulesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada baca yüksekliği ve çapı sırasıyla 200 m. ve 10 m., kolektör çapı 500 m.dir. Bütün yıl boyunca aylık ortalama olarak 110-190 kw elektrik üretilmiştir.

Baca yüksekliği, kolektör çapı, evre sıcaklığı, güneş radyasyonu ve türbin verimi gibi parametrelerin üretilen güce etkisi incelenmiştir. Ayrıca kolektör yapının altında kalan bölgenin tarımsal amaçlı kullanılabileceğini belirtilmiştir. Baca yüksekliği, kolektör verimi, türbin verimi, yüzey pürüzlülüğü, yüksek güneş radyasyonu, yüksek komponent verimliliği sistem performansı için önemli olduğu belirtmektedirler [8].

Denantes ve Bilgen (2005); ters dönüşlü türbin performansı ve verimi için model geliştirmişlerdir [9].

Gannon ve Backström (2000); güneş kulesinin ideal hava çevriminde performans, verim ve ana değişkenler arasındaki ilişkiyi içermektedir. Mevcut çalışmada ilk adım olarak, baca ağzındaki sürtünme, sistem, türbin ve çıkış kinetik enerji kayıplarının analizi ve sistemin çıkış gücünün daha gerçekçi olarak tahmin edilmesine çalışılmıştır. Analizin son adımımda, kolektör ünitesini kapsamaktadır ve kuvvetli ktle akışı ve sıcaklık düşümü açısından önemlidir. Gerçek koşullar iyi simule edildiğinde sistem performansının daha iyi temsil edileceği, işletilecek bölgenin doğru tahmini daha etkin türbin tasarımınnın yapılmasıyla sonuçlanacağı belirtilmektedir. Analitik model, tam ölçekli tesisin çıkış gücünün hesaplanmasında inşa edilen Manzanares sistemin, küçük ölçekli bir modeli üzerinde yapılarak deneysel verilerinin doğruluğunun iyi anlaşılmasına çalışılmıştır [10].

Gannon ve Backström (2003); türbin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Tasarım zellikleri, tek rotor ve baca girişinde kılavuz kanatlar kullanılmıştır. Difüzör girişinde, türbin çıkış kinetik enerjisini azaltmakla birlikte rotor kanalındaki dönen akışa yardım etmiştir. Ölçümler model türbin kullanılarak türbin performansı ve verimi hesaplanmıştır. Tasarımın toplam verimi % 85-90, toplam statik performansı % 77-80'nin üzerinde çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar ile ölçüm değerleri yardımıyla kanat kayıpları ve difüzör verim tahminleri açısından gelecekte güneş kulesi simülasyonlarında kullanılabileceği ifade edilmiştir [11].

Lodhi M.A.K. (1997); çalışmada türbin rotor gücünün 3 faktöre bağlı olduğunu belirtmektedir. Birincisi, havanın doğal özelliği olan sıcaklığın fonksiyonu, ikinci faktör, havanın sıcaklığına belirgin şekilde etkileyen örtü altındaki arazi yüzeyi, üçüncü ve son faktör ise sistemin fiziksel boyutudur. Değişken hava sıcaklıkları rotor gücü için anahtar rol oynar. Rotor gücünün düzenli olarak hesap edilmesinde ölçüm istasyonlarında sıcaklık değerleri düzenli olarak ölçülmüştür. Burada (Manzanares) tespit edilen değerler $T_z = 348K$, $T_c = 323K$, $T_t = 313K$, $T_o = 302K$ olarak belirlenmiştir. 67 kW rotor gücü için sistem boyutları; baca çapı 10 m., kolektör çapı 244 m., baca yüksekliği 195 m. olarak verilmiştir. Bu elektrik gücü için jeneratör sürtünme kayıp faktörü $\eta_f = 0,9$, türbün verimi $\eta_t = 0,83$, güç rotor verimliliği $\eta_R = 0,67$ olarak belirlenmiştir [12].

Michaud L.M. (1999); atmosferde ısı konveksiyonla yukarı doğru taşındığında mekanik enerji üretildiğini, bu mekanik enerjinin üretildiği yerdeki konsantrasyonu ve kontrolü için proseslerin, güneş enerjisinin yararlı hale getirilmesinin bir metodu olabileceğini ifade etmişlerdir. Elde edilen mekanik enerjinin vorteks gibi bir kasırganın kontrolü ve üretimi için bir proses olarak öneriliyor. Vorteks prosesi, aynı termodinamik temeli paylaşan, güneş bacası uygulaması ile mukayese edilmiştir. Güneş bacasının fiziksel tüpü bir vorteks ile değiştirilir ve atmosferik sınır tabakası bir kolektör gibi rol alır. Hava yerden troposferin üstüne doğru yükseldiğinde üretilen iş, tipik olarak 150 j/kg dır ki bu iş yaklaşık olarak bir kilogram suyun 150 m.'den düşmesiyle elde edilen işin aynısıdır. İş elde edilen yüzeye doğru transfer edilebileceği ve bir vorteks güç istasyonunun 100 mW'lık bir elektrik kapasitesine sahip olabileceği belirtilmektedir. Bu prosesin gelişimi için meteoroloji ile mühendislik branşları arasında işbirliğinin gerekeceği ifade edilmiştir [13].

Ninic N.(2005); Kolektörden geçen havanın iş potansiyelinin analizi yapılmıştır. Çeşitli tip kolektörlerde kuru ve nemli havanın analizi yapılmıştır. Baca yüksekliğinin iş potansiyeline etkisi incelenmiştir [14].

Papagorgiou C.D.(2003); güneş kulesinin verimliliğinin incelenmesini yapmıştır. Verim analizinde ana boyutların (D_K, H_B, D_B), çalışma katsayıları (k, α) ve kolektör giriş şartlarının (T_0, P_0) etkileri incelenmiştir. Çalışma da jeneratör verimi 0,8 olarak düşünülmüştür [15].

Papagorgiou C.D. (2003); kule inşasının düşük maliyette yapılabilirliği üzerinde bir yapılmış çalışmadır [16].

Papagorgiou C.D.(2003); değişken güneş kulesi güç istasyonu teknolojisi incelenmiştir. Güç istasyonlarının eksenel örtülü hava türbinlerinin, elektrik jeneratörlerine uyarlamaları için donatılmış olduğu ifade edilmektedir. Çalışmada, iki kat beslemeli küçük elektronik üniteli indüksiyon jeneratörleri (jeneratör güç oranları % 3,5 dan daha fazla olmayan) en iyi ve en ekonomik çözümleri denenmiştir. Değişken güneş kulesi güç istasyon karakteristiklerinden dolayı, teorik olarak % 97 maksimum enerji üretimi sağlayabilirliğinin kanıtlanabilir olduğu belirtilmektedir [17].

Pasmurthi ve Sherif (1997); güneş bacalarının teorik olarak performans özelliklerinin değerlendirilmesi için modelleme yapılmıştır. Modellemede hava sıcaklığı, hava hızı, yapısal boyutlar gibi parametrelerin çıkış gücüne etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada matematiksel modelle, deneysel çalışma sonuçları doğrulanmıştır [18].

Pasmurthi ve Sherif (1997); güneş kulesi konseptinin yapılabilirliğine ait kavramların değerlendirilmesine ait bir gösteri modeli tasarlanıp ve inşa etmek için deneysel program yürütülmüş ve deneysel performans incelenmiştir. İki deneysel değişiklik kolektör ünitesi üzerinde denenmiştir. İlkinde kolektör uzatılmış, ikincisinde ise emici bir orta madde yerleştirilmiştir. İlk değişikliğin hava girişine yardımcı olduğu, son değişikliğin ise bacaya giren hava sıcaklığının artışına neden olduğu görülmüştür. Her iki artış güç çıkışını arttırmıştır. Matematiksel modelin

sonuçları, güneş kulesi sisteminde İspanya/ Manzanares'teki veriyi kullanarak onaylanmış, aynı zamanda sistem bedelinin ekonomik olduğunu göstermişlerdir [19].

Padki ve Sherif (1998); basit analitik modelleme yapılarak güneş kulesinin performansı tahmin edilmesinde bir takım denklemler elde edip, bunların çözümlerini geliştirmişlerdir. Sisteme ait çeşitli geometrik ve işletme değerlerindeki değişime göre modellemenin anlaşılmasına çalışmışlardır. Analitik modelin, yapılan tahminlere göre % 4-6 arasında hata payı olduğu ifade edilmektedir. Çalışma, güneş kulesi sisteminin optimizasyonuna ışık tutulması açısından yararlı olduğu belirtilmektedir [20].

Pastohr ve ark. (2004); çalışma sistemi ve çevrimin geliştirilmesi amacıyla yapılmış çalışmadır. Bu çalışmada parçaların yeri, kolektör ünitesi, baca sayısal olarak bir bütün halinde modellenmiştir. Modellemede CFD fluent programı kullanılmıştır. Modellemede çözüm ve parametrelerin etkileri üzerinde çalışılmıştır [21].

Pretorius ve Kröger (2005); büyük ölçekli tesisler için konvektif ısı transfer denklemleri, türbin giriş kayıp katsayıları, kolektör kalitesi ve çeşitli tip toprakların (kireç taşı ve kum) performansa etkilerini incelemişlerdir [22].

Quraeshi S. (1986); dizayn, konstrüksiyon, bedel ve ekonomik açıdan güneş kulesi sistemleri ve 50 kW güçte İspanya'da inşa edilen konseptin yapılabilirliğinin teorik olarak doğrulanmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. Çalışma büyük megawatt ölçekli sistemler için güneşli, verimsiz ya da az verimli bölgelere uygulanabilirliği tartışılmıştır. Sonuçta; geleneksel yakıtlarla rekabette büyük ölçekli (MW güçte) güneş kulelerinin dünyada bir çok iklim bölgelerinde uygulanabilirliği ve fiyat yönünden olumlu olduğu ifade edilmektedir [23].

Schlaich J. (2005); çalışma güneş kuleleri ile ilgili teori, pratik deneme ve ekonomik analizleri içermektedir. Birinci bölümde güneş kulesi teorisi basitleştirilerek tanımlanmıştır. İspanya'da küçük ölçekli prototipin tasarım, inşaat ve çalışma

sonuçları sunulmuştur. Teknik sonuçlar ve ekonomik veriler gelecekte Avustralya’da planlanan ticari güneş kuleleri için tartışılmıştır. Çalışma sonucunda termodinamik verimin kule yüksekliği ile arttığını, sistemlerin bedel olarak rekabete dayanacak boyutta olmasının gerekliliği ifade edilmiştir. Bu sistemlerin geliştirilmesinin toplum yaşamında yüksek hizmet üretimi, vergi geliri, insanlarda saygınlık, sosyal uyumun yanında pahalı fosil yakıt tüketiminin azalacağını belirtmektedirler. Bütün bunlarla birlikte petrol ve kömüre bağımlılığın azalacağı, özellikle de şehirlerin gelişimi açısından önemli olduğu ifade edilmektedir [24].

Schlaich J.(2002); güneş kulesi sistemi çalışması, maliyeti, avantajları ve teknolojisi tanıtılmıştır. İspanya Manzanares uygulaması ve sistem özelliklerinin tanıtımını yapmıştır [25].

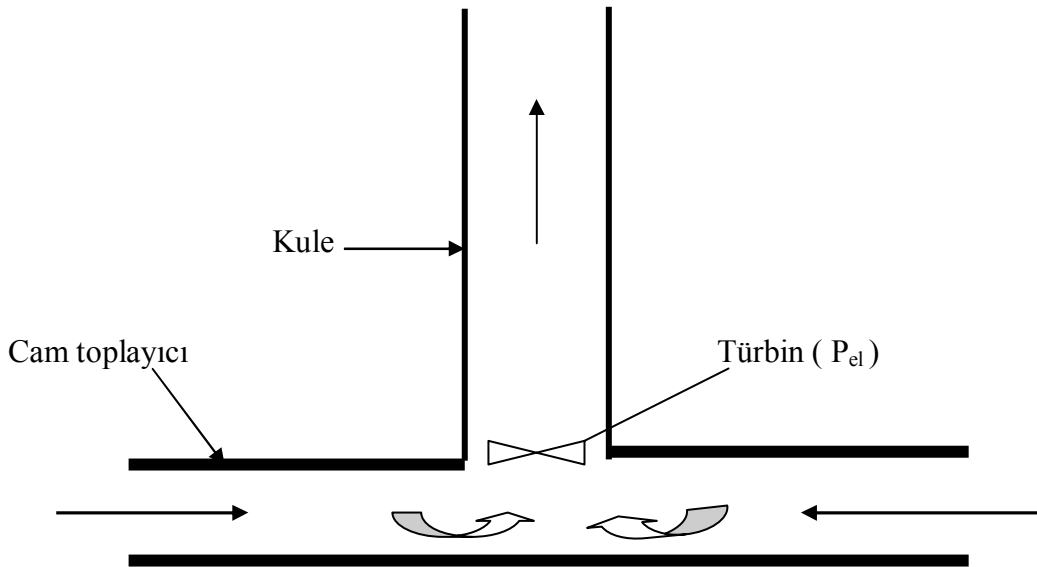
Weinrebe G.(2004); güneş kulesi sisteminin yapısı ve çalışma prensibi ile yapıyı oluşturan ana aksamı tanıtılmış. İspanya Manzanares prototip uygulaması üzerinde yapılan çalışma hakkında bilgiler sunulmuştur [26].

2. GÜNEŞ KULESİ SİSTEMİ

2.1. Sistemin Tanıtılması

Güneş enerjisi, temiz ve yenilebilir enerji kaynağıdır. Bu konsept 1980 yılında J. Schlaich ve arkadaşları tarafından dizayn edilmiştir. Prensip olarak, rüzgar türbini prensibine göre ve kolektörce ısıtılan hava akımının kulede oluşturduğu çekiş etkisiyle çalışır. Güneş kulesi bilinen tekniklerin bileşimidir. Bu teknolojinin genelde güneş radyasyonunu bol alan, elektrik enerjisinin olmadığı uzak yerlerde uygulanması önerilir [25].

Tipik bir güneş kulesinin üç temel bileşeni cam toplayıcı, baca ve rüzgar türbünüdür. Güneş kulesi bunları yeni bir biçimde biraraya getiriyor (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Güneş kulesinin çalışma prensibi: Cam toplayıcı, baca ve türbin.

Hava, cam kaplama altında kaplamaca emilen güneş radyasyonunca ısıtılır. Kenarları açık olan sistem içerisine dışarıdan sürekli hava akışı mevcuttur.

Sistemin ortasında dikey bir kule (baca) bulunur. Sıcak hava yükselirken altta ısınan havayı da çeker ve böylece çevreden sisteme soğuk hava ısınmak üzere girer. Genel

uygulamalarda ısınan havanın yön değiştirmesinin önlenmesi amacıyla, kolektör kaplama merkezine doğru eğimli olarak yerleştirilebilir. Bu sayede güneş enerjisi bacada sürekli bir hava akımı (çekiş) sağlar. Isınan havanın bu kinetik enerjisi, kulenin girişine yerleştirilen rüzgar türbini aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilir.

Güneş kulelerinin çalışma prensibi basittir ve avantajları da şöyle sıralanabilir [25]:

- * Toplayıcı doğrudan ve dağınık tüm güneş ışığı toplayabilir. Diğer güneş enerjisi sistemlerinin tümünde doğrudan güneş ışığı gereklidir.
- * Güneş enerjisinin kolektör altına yerleştirilecek su dolu borularda veya ısı depolanabilecek başka malzemeler kullanılmasıyla biriktirilerek güneş kulesinde gece de enerji üretilebilir.
- * Sistem güvenilirdir, işleyen tek aksam türbin-jeneratördür ve arıza yapma olasılığı çok düşüktür. Yakıt ve atık yoktur. Düşük çalıştırma maliyetine sahiptir.
- * Diğer termik santraller (ve güneş enerjisi sistemleri) gibi soğutma suyuna gereksinim duymaz. Pek çok ülkede kolaylıkla kullanılabilir.
- * İnşası için gerekli malzemeler cam, çimento ve taştır. Bu da hemen her yerde kolaylıkla bulunan yapı malzemeleridir ve güneş kulesi yerinde inşa edilebilir.
- * Yüksek teknoloji her hangi bir ürün gerektirmediği için her ülkede kurulabilir.
- * Fakir ülkeler bile güneş kulelerini kendi olanakları ile kurup işletebilirler.

Güneş kuleleri topladıkları güneş enerjisinin ancak küçük bir bölümünü enerjiye çevirebilirler, yani verimleri çok düşüktür. Ancak basit yapıları, bakım gerektirmemeleri nedeniyle bu dezavantajı avantaja çevirebilirler.

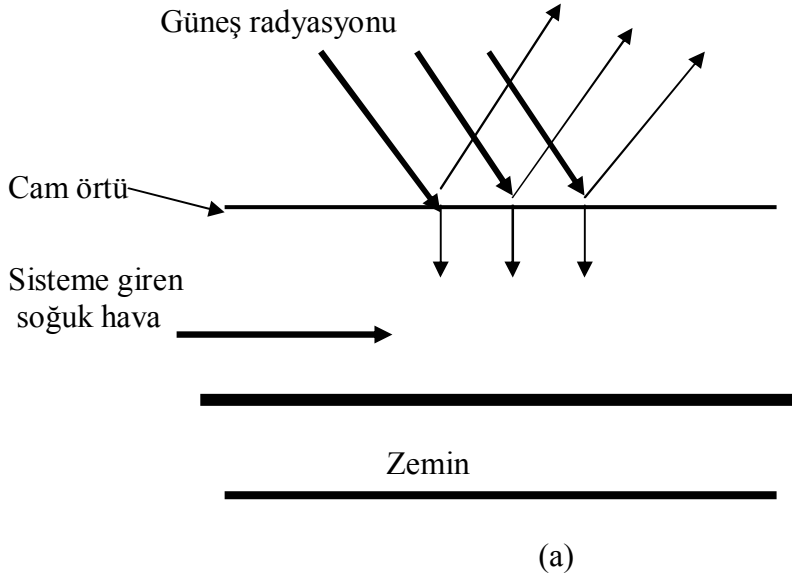
En büyük dezavantajı ise, güneş kuleleri kapasitelerine göre büyük toplama alanları gerektirmeleri nedeniyle her yere kurulamamalarıdır. Ancak bol güneş alan geniş çöller için büyük alan gereksinimi bir dezavantaj değildir. Öte yandan çöllerin de karmaşık biyosistemleri olduğu göz önüne alınmalı ve bu yapının korunmasına özen gösterilmelidir.

2.2. Güneş Kulesi Teknolojisi

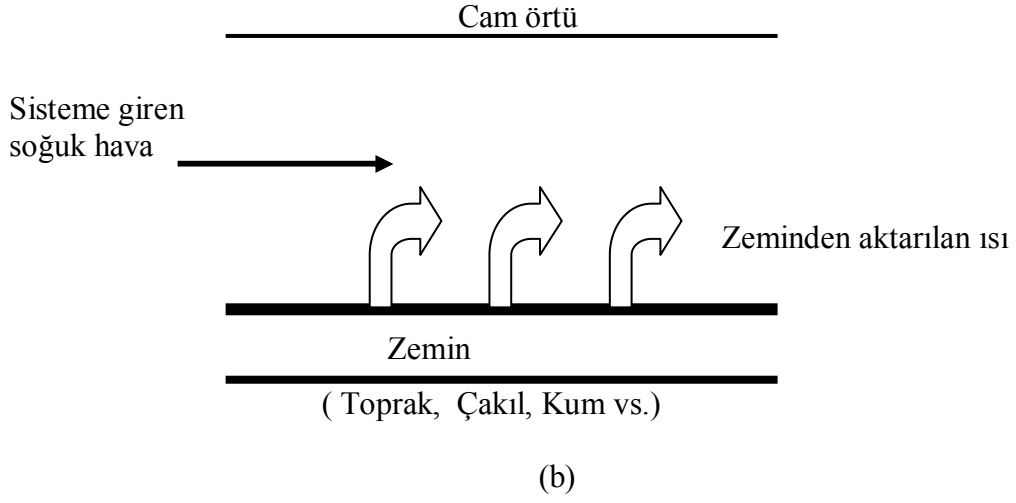
2.2.1. Toplayıcı

Sıcak hava, yerden belli bir yükseklikte döşenmiş cam, plastik veya transparan kaplamanın içinde sera etkisi ile üretilmektedir (Şekil 2.2). Kuleye yaklaştıkça cam yüksekliği arttırılabilir. Bu da radyal yöndeki sürtünme etkisi artmasını önler. Ayrıca kaplama yüksek frekanslı ışıınımı geçirirken alçak frekanslı ışıınımı (yerden yansıma) tutarak havanın ısınmasına yardımcı olur.

Bazı uygulamalarda elektrik üretimini 24 saat boyunca sağlamak için toplayıcının altına siyah su dolu borular veya başka malzemeler yerleştirilerek ısının depolanması sağlanabilir. Bu malzemeler, gündüz ısınır, gece depoladıkları ısıyı çevreye yayar. Böylelikle güç üretimim 24 saat boyunca maksimum seviyede olması sağlanır [25].



Şekil 2.2. Enerji depolanması (a) Gündüz (b) Gece.



Şekil 2.2. (Devam) Enerji depolanması (a) Gündüz (b) Gece.

2.2.2. Kule

Kule, sistemin asıl termal motorudur (Resim 2.1). Bu basınçlı ve çok az kayıplı bir borudur. Isınan havanın yükselmesi yaklaşık olarak toplayıcıdaki sıcaklık yükselmesi, ΔT ve kule hacmi (yükseklikle çapın çarpımı) ile doğru orantılıdır [25]. Büyük bir güneş kulesi hava sıcaklığını 35 K kadar yükseltebilir. Bu da 15 m/s hıza sahip baca akımına neden olur. Böylelikle işleyen bir güneş kulesinin içine bakım için girilebilme imkanı sağlar.

Bu tip bacaları yapmak için değişik yöntemler vardır. En iyi yöntem demirli beton yapıdır. Boru biçimli veya oluklu metal veya kablo ağı ve kabuklardan oluşan yapılar da düşünülebilir. Tüm bu yöntemler soğutma kulelerinde kullanılan bilinen yöntemlerdir [25].



Resim 2.1. Kulenin yapısı [25].

2.2.3. Türbin

Türbinler, kuledeki hava akımını dönen mekanik enerjiye çevirir. Güneş kulesindeki türbin rüzgar enerjisi üretmekte kullanılanlardan farklı, daha çok hidroelektrik santralindeki türbinler gibidir (Resim 2.2). Çıkış gücü basınç kaybı ile akış hacminin çarpımına eşittir, giriş ve çıkış hızları hemen hemen eşittir.

Kanat aralığı güç çıkışını regüle etmek için değişen hız ve debiye göre ayarlanır. Kanatların düz tarafı hava akışına dikse türbin dönmez. Kanatlar hava akımına paralel olursa ve akışa izin verirse basınç kaybı olmaz ve elektrik enerjisi üretilemez. Bu iki uç durum arasında bir optimum durum vardır [25].



Resim 2.2. Baca içerisine yerleştirilmiş olan rüzgar türbini [25].

2.3. Manzanares/İspanya Prototip Uygulamasının Tanıtımı

Ayrıntılı ön araştırmalar ve rüzgar tüneli deneylerinden sonra 50 kW azami güçteki İspanya’da Madrid’in 150 km güneyinde Manzanares’de 1981-2 yıllarında Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı kaynaklarıyla kurulmasına başlanmıştır (Resim 2.3). Bu araştırmanın amacı, hesaplamalarla kestirilen işletme koşullarının deneylerle doğrulanmasıdır. Bu amaçla 240 m çaplı bir toplayıcı ve 10 metre çaplı, 195 m yüksekliğinde bir baca yapılmıştır. Tüm santral ayrıntılı ölçüm sistemleri ile donatılmıştır. 180 algılayıcıdan her saniye veri toplanmıştır.

Toplayıcı çatısının tipi güneş bacasının performansı açısından belirleyici bir role sahiptir. Bu sistem için en uygun yükseklik olan 2 m seçilmiştir. Aslında 50 cm yüksekliğin bu boyutta bir üretici için en uygun yükseklik olduğu hesaplanmıştır. Bu sistemin 50 kW güç üreteceği hesaplanmış ve türbinlere bacanın altından da ulaşılabilir. Toplayıcının sera olarak kullanılması da araştırılmıştır [25].

Manzanares'deki deneysel sistem 1982'den beri yaklaşık 15 000 saat çalışmıştır. Bu sürede şu testler yapılmıştır:

- 1) 1986'da yapısal iyileştirme tamamlanmıştır.
- 2) 1986'dan 1989'un başlarına kadar santral her gün işlemiş, yalnız 4 aylık bir süre özel ölçümler ve değişiklikler için durdurulmuştur.
- 3) 32 aylık sürede santral tam otomatik olarak günde ortalama 8-9 saat çalışmış ve toplam 8611 saat üretim yapmıştır.
- 4) Nezaret için en fazla bir görevliye gereksinim olmuştur.
- 5) Az gelişmiş ülkelerde bile güneş bacalarının kolaylıkla kurulup uzun süreler işletilebileceğine hiç şüphe yoktur.
- 6) 32 aylık çalışma süresince santralin güvenilirliği % 95'in üzerinde gerçekleşmiştir.
- 7) Fırtına sonucu plastik filmde oluşan hasar santral durdurulmadan giderilmiştir.
- 8) % 5'lik durma süresi hafta sonları zaman zaman elektrik kesilmeleri sonucudur.



Resim 2.3. Manzanares/İspanya prototip güneş kulesi [25].

2.4. Güneş Kulesi Uygulamaları

Uygulama Yeri : Manzanares / İSPANYA

Çalışmayı Yapan : J. Schlaich

Baca Yüksekliği : 195 m

Baca Çapı : 10 m

Kolektör Çapı : 240 m

Örtü Yüksekliği : 1,85m

Çevre sıcaklığı : 20 °C

Gücü : 50 kW

Referans : [12]

Uygulama Yeri : Ningxia Hui Autonomous/KUZEY BATI ÇİN

Çalışmayı Yapan : Y.J. Dai, H.B Huang, R.Z. Wang

Baca Yüksekliği : 200 m

Baca Çapı : 10 m

Kolektör Çapı : 500 m

Örtü Yüksekliği : 2,5 m

Türbin Verimi : 0,8

Çevre sıcaklığı : 20 °C

Gücü : 110-190 kW

Referans : [8]

Uygulama Yeri : İZMİR / TÜRKİYE

Çalışmayı yapan : Kulunk H.A

Baca Yüksekliği : 2 m

Kolektör Çapı : 3,5 m

Kolektör alanı : 9 m²

Türbin Verimi : 0,31

Çevre Sıcaklığı : 20 °C

Gücü : 0,45 W

Çalışma Türü : Deneysel

Referans : [12]

Uygulama Yeri : Mildura / Australya

Çalışmayı yapan :

Baca Yüksekliği : 1000 m

Kolektör çapı : 3989.5 m

Kolektör Alanı : 12,5 milyon m²

Gücü : 200 MW

Referans : [7]

Uygulama Yeri : West Hartford, Connecticut /USA

Çalışmayı yapan : Krisst RJK

Baca Yüksekliği : 10 m

Kolektör Çapı : 3 m

Gücü : 10 W

Çalışma Türü : Deneysel

Referans : [12]

UygulamaYeri : Süleyman Demirel Üniversitesi/ISPARTA

Çalışmayı yapan : İbrahim ÜÇGÜL

Baca Yüksekliği : 15 m

Kolektör Çapı : 16 m

Baca Çapı : 1,2 m

Örtü Yüksekliği : 0,65 m

Baca Giriş

Yüksekliği : 2,5 m

Çalışma Türü : Deneysel

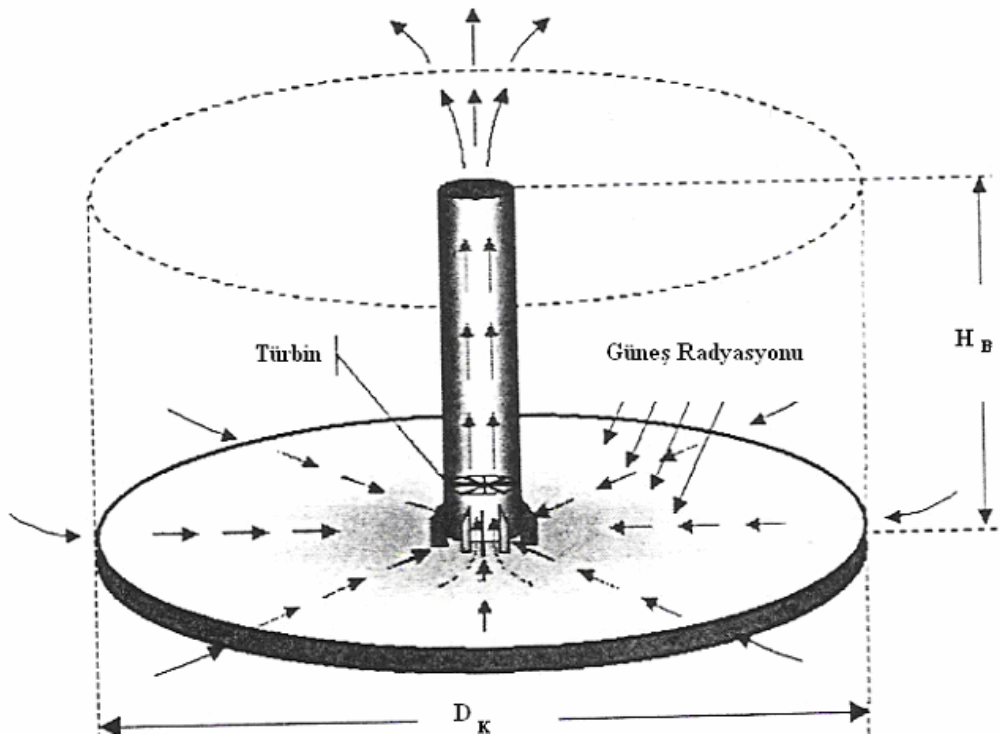
Referans : [www.sdu.edu.tr]

3. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Bu bölümde ele alınan güneş kulesinin fiziksel modeli, problemle ilgili yapılan varsayımlar, kullanılan koordinat sistemi ve hesaplama bölgesiyle ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Problemin Tanımı

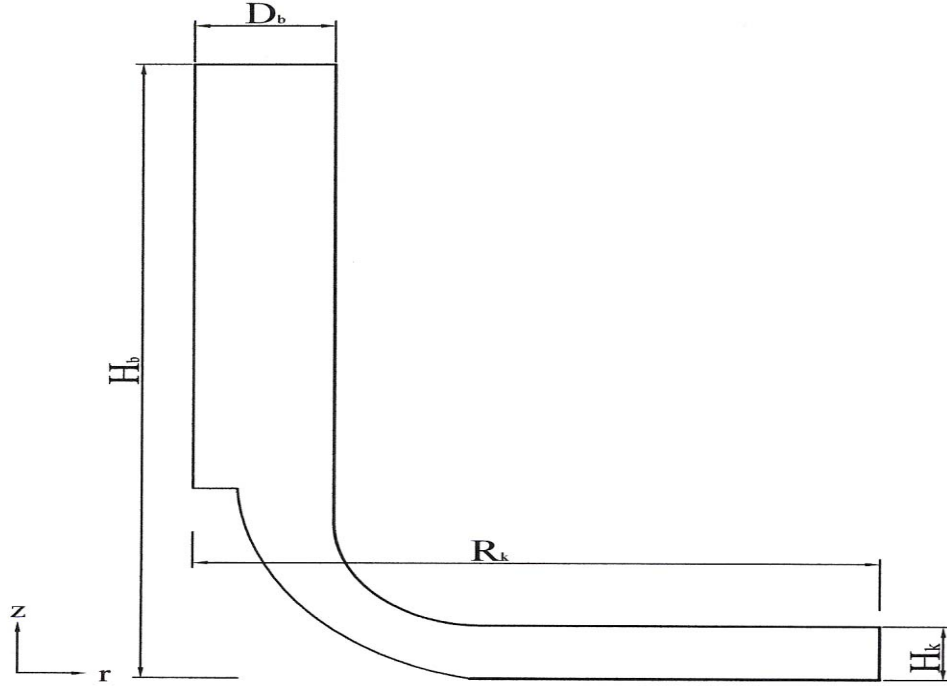
Güneş kulesi sisteminde doğal konveksiyon ile ısı transferi problemi incelenmiş, üst plaka (kolektör örtü) T_0 sıcaklığında, alt yüzey (zemin) q_{1-4} sabit ısı akısına sahip olup, hava sisteme çevre sıcaklığında T_0 çevre sıcaklığında girmektedir. Zemin ile kolektör örtü arası mesafe H_k yüksekliğindedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Güneş kulesi 3 boyutlu görüntüsü [24].

3.2. Fiziksel Model

Güneş kulesinin, hidrodinamik ve geometrik olarak simetri olması nedeniyle yapılacak nümerik çalışma için Şekil 3.2’ de verilen şekil çözüm alanı seçilmiştir.



Şekil 3.2. Problemin çözüm alanının iki boyutlu olarak gösterimi.

3.2.1. Yapılan kabuller

Modelleme için kabuller yapılarak çözüm kolaylaştırılacaktır. Ayrıca sistem içerisinde doğal konveksiyon ile ısı transferi incelendiğinden plakalardan olan radyasyon ile ısı transferi hesaba katılmamıştır. Çözüm için yapılan kabuller sırasıyla;

1. Hesap yapılan dönem içerisinde çevre koşulları sabittir. (Güneş ışınlamı , çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının sabittir.)

2. Hava, sisteme girişte çevre sıcaklığında olduğu kabul edilmiştir. Toplayıcı içerisinde hava akımı düzgün ve merkeze göre simetrik. Güneşin geliş açısına göre toplayıcı yüzeyinde farklı bölgelerdeki farklı ısınmalar ihmal edilmiştir.
3. Cam örtü özellikleri sabit olup, güneş ışınımının geliş açısına (güneşleme zamanına) göre oluşan farklılıklar ihmal edilecektir. Bacanın toplayıcı ile birleştiği noktalardaki sürtünme kayıpları ihmal edilecektir.
4. Sıkıştırılamayan akış (Sistem giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkları çok büyük olmadığı için akışkan sıkıştırılamayan akışkan olarak kabul edilmiştir.)
5. Newtonian akışkan,
6. Akışkan özellikleri sabittir.
7. Momentumun $y(r)$ ve z yönlerinde korunduğu,
8. Kütlenin korunduğu varsayılmıştır.

3.3. Kullanılan Koordinat Sistemi ve Hesaplama Bölgesi

Şekil 3.2' de problemin çözüm alanı iki boyutlu olarak görülmektedir. Kolektör yapının yarı çapı $y(r)$ yönünde ve kule yüksekliği z yönünde seçilmiştir. Şekil 3.2'de gösterilen y ve z yönlerinde simetriden dolayı tüm sistemin yarısı çözüm alanı içerisinde gösterilmiştir.

3.4. Matematiksel Model

Problemi tanımlayan matematiksel denklemler belirli sınır şartları kullanarak modellenmiş ve çözülmüştür. Bunlarla ilgili temel denklemler aşağıdadır.

3.4.1. Temel denklemler

Bu çalışmada, doğal konveksiyon ile ısı transferi ve akışkan akışı, kararlı şartlarda, laminar akışta kütlenin korunumu, momentumun korunumu, enerjinin korunumu,

kinetik enerji ve kinetik enerjisinin yayılım oranı denklemleri kullanılarak iki boyutlu silindirik koordinatlarda aşağıda ifade edilmiştir.

Kütlenin korunumu denklemi; sürekli ve iki boyutlu bir akış için kütlenin korunumu denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v_r) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z) = 0 \quad (3.1)$$

Laminer akışta momentumun korunumu (N-S) denklemi; sürekli ve iki boyutlu akış için momentum denklemleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir:

y(r)-yönünde;

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) \right) + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] + \rho g_r \quad (3.2)$$

z-yönünde;

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z \quad (3.3)$$

Laminer akışta enerji denklemi; sürekli ve iki boyutlu akış için enerji denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} \rho C_p \left(v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = & k \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + 2\mu \left\{ \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right\} \\ & + \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right)^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki temel denklemler laminar akış için verilmiştir. Türbülanslı akış için aşağıdaki dönüşümler yapılarak aynı denklemler kullanılır.

$$V_r = \bar{V}_r + V_r' \quad (3.5)$$

$$T = \bar{T} + T' \quad (3.6)$$

$$V_z = \bar{V}_z + V_z' \quad (3.7)$$

Türbülans kinetik enerjisi denklemi; sürekli ve iki boyutlu bir akış için türbülans kinetik enerjisi denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial y}(\rho v k) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w k) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + G_k + G_B - \rho \varepsilon \quad (3.8)$$

Burada, σ_k türbülans model sabiti, G_K kayma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranı ve G_B kaldırma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerji üretim oranıdır.

G_K ve G_B terimleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir:

$$G_K = \mu_t \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} \quad (3.9)$$

$$G_B = -g \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} \quad (3.10)$$

Burada μ_t türbülans vizkozitesi, σ_t türbülanslı Prandtl sayısıdır.

Türbülans kinetik enerjisini yayılım oranı denklemi; sürekli ve iki boyutlu bir akış için aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial y}(\rho v \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \frac{\varepsilon}{k} [C_{1\varepsilon} G_K + C_{3\varepsilon} G_B - \rho C_{2\varepsilon} \varepsilon] \quad (3.11)$$

Burada, $\sigma_\varepsilon, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ türbülans model sabitleridir.

3.5. k-ε Türbülans Modeli

Standart k-ε modeli, ortalama akış ve difüzyon sayesinde türbülans özelliklerinin geçiş etkilerine, türbülansın üretimi ve yok edilmesine izin veren bir modeldir. Biri türbülans kinetik enerjisi k ve diğeri türbülans enerjisinin yayılım oranı ε olmak üzere iki geçiş denklemi (kısmi diferansiyel denklemler) çözülür.

Bu modelin altında yatan kabul, μ_t türbülans vizkositesinin izotropik olduğu, başka bir ifadeyle ortalama deformasyon oranı ve Reynolds gerilmesi arasındaki oranın tüm yönlerde aynı olduğudur. Bu kabul, bir çok değişik akış durumunda hatalı sonuçlar verebilir. Bunu önlemek için Reynolds gerilmelerini içeren taşınım denklemlerini türetmek ve bütün terimlerin çözülmesi gereklidir. Momentum denklemlerindeki Reynolds gerilmeleri, fiziksel olarak türbülanslı hız salınımlarının bir sonucu olarak ortaya çıkan konvektif momentum değişimlerinden dolayıdır. Her bir Reynolds gerilmesi için bir tane olmak üzere altı geçiş denklemi; difüzyon, basınç gerilmesi ve yayılım terimleri içerir.

k-ε modeli, viskoz etkilerin baskın olduğu duvarlara yakın bölgelerde ve sadece tam türbülanslı akışlarda kullanılır. Genellikle duvar sınır şartının duvardan yeterli uzaklıkta bulunan noktalara transfer edildiği duvar fonksiyonları ile birlikte kullanılır.

Türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans enerjisinin yayılım oran (ε) denklemleri, değişim yayılım terimlerinin etkisiyle eliptiktir. Sınır şartları kullanıldığında; giriş k

ve ε değerleri verilmesi gereklidir. Çıkış yada simetri ekseninde $\frac{\partial k}{\partial n} = 0$ ve $\frac{\partial \varepsilon}{\partial n} = 0$ serbest akışta $k = 0$ ve $\varepsilon = 0$ alınır.

Bu modelin avantajları ise; çok basit, performansı iyi ve en yaygın ve geçerli bir model olmasıdır. Dezavantajı ise; bazı sınırlanmış akışlar, büyük gerilmeli akışlarda, dönen akışlarda ve dairesel olmayan kanallarda tam gelişmiş akışlar gibi önemli durumların değişiminde performansının kötü olmasıdır.

3.5.1. Türbülans model denklemleri

k- ε türbülans model ile ilgili bazı tanımlamalar Bölüm 3.5'te yapılmıştı. Burada ise yeni tanımlanan büyüklükler için standart k- ε türbülans modeline göre denklemler sunulacaktır.

Türbülans viskozitesi denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\mu_{ef} = \mu_t + \mu \quad (3.12)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.13)$$

$$\Gamma_{ef} = \frac{\mu_t}{\sigma_t} + \frac{\mu}{Pr} \quad (3.14)$$

yukarıdaki ifade edilen denklemlerde μ_t türbülans viskozitesi, μ laminar viskozitesi, ρ akışkan yoğunluğu, C_μ türbülans model sabiti, Γ_{ef} etkili değişim katsayısı, Pr prandtl sayısı, σ_t türbülanslı Prandtl sayısıdır. Türbülans model sabitleri ve değerleri şunlardır:

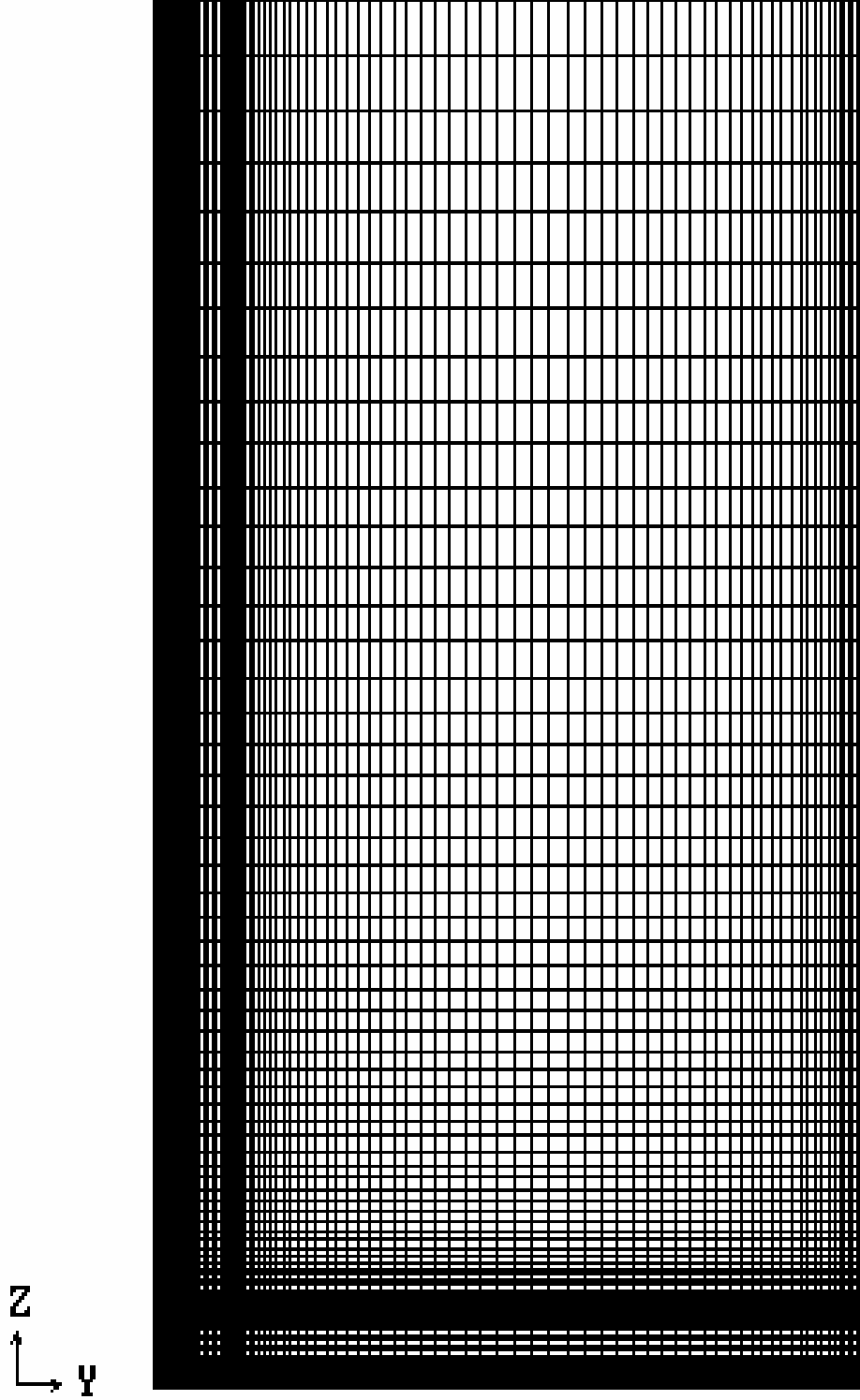
$$\sigma_t = 1,00; C_\mu = 0,09; \sigma_k = 1,00; \sigma_\varepsilon = 1,314; C_{1\varepsilon} = 1,44; C_{2\varepsilon} = 1,92; C_{31\varepsilon} = 1,0 \quad (3.15)$$

3.6. Sınır Şartları

Problemin çözümünde kullanılacak sınır şartları ve değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sınır şartları

Kolektör	$v=0$	$w=0$	$T=T_o$
Kolektör girişi	$v=v_o$	$w=0$	$T=T_o, P=0$
Baca duvarı	$v=0$	$w=0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$
Baca eksenı	$v=0$	$\frac{\partial w}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
Zemin	$v=0$	$w=0$	$q=q''$
Baca çıkışı	$\frac{\partial v}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial w}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0, P=0$



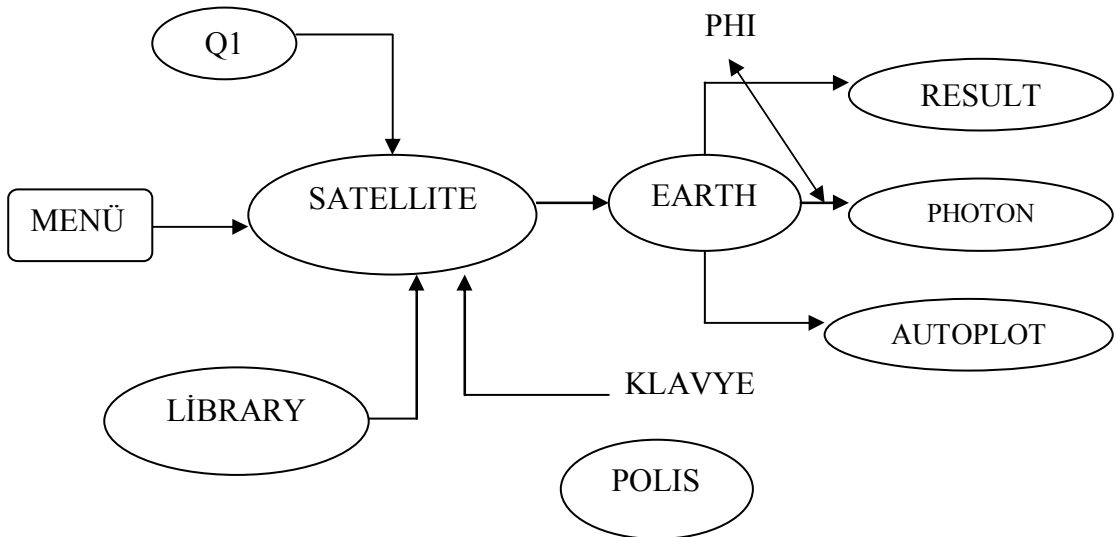
Şekil 3.3. PHOENIC programında modelin 110x110 hücre dağılımı (y-z düzlemi).

4. SAYISAL YÖNTEM

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler akışkanlar dinamiği problemlerinin nümerik olarak çözülme yolunun gittikçe fazla tercih edilmesine imkan sağlamıştır. Akışkanlar dinamiğinde ısı, kütle transferi gibi bir çok problemin analitik çözümleri ya çok zordur ya da imkansızdır. Bundan dolayı günümüzde ısı ve kütle transferi, akışkanlar dinamiği uygulamaları, kimyasal reaksiyonlar ve diğer prosesler, mühendislikte doğal çevrede ve canlı bünyesinde görülen bir çok problem Sayısal Akışkanlar Dinamiği kullanılarak çözülmektedir. Bu çalışmamızda problemlerin çözülmesi konusunda PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği programı kullanılacaktır.

4.1. PHOENICS Programının Tanıtımı

PHOENICS, bir simülasyon programı olup, ısı, kütle transferi gibi problemlerin nümerik çözümünü sağlar. Bunu yaparken lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem setlerinin çözümlerine ardışık sayısal yaklaşımlar sağlamaktadır.



Şekil 4.1. PHOENICS program şeması.

PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği programı üç ana eleman ve yardımcı elemanlardan oluşur.

SATELLITE (Ön İşlemci); ön işlemci olarak şu görevleri yerine getirmektedir.

- 1) Q1 kütüğünde verilen işlemleri okur,
- 2) PHOENICS kütüphanesinden örnek problemleri seçer,
- 3) Menü sistemini çalıştırarak problem tanımını yapar,
- 4) Klavyeden verilen komutları işler,
- 5) Yardım (Help) ve komut tarama işlemlerini yapar.

EARTH (Ana İşlemci); ana işlemci olan EARTH ana simülasyon yazılımını içermektedir. Bu yazılımda fiziksel kanunlarla ilgili parçalar, kullanılacak nümerik metodla ilgili işlemleri içeren tüm fortran kodlamasını içermektedir. İncelenecek malzeme katı, sıvı yada gaz olması, tek ya da çift fazlı, sıcaklıktan bağımsız veya ısı transferi içeriyor olabilir, sıkıştırılabilir ya da sıkıştırılamaz olabilir, viskoz veya viskoz olmayan akış plabilir, türbülanslı yada laminar olabilir. EARTH, SATELLITE tarafından hazırlanmış data kütüğünü okuyarak, istenen hesapları yapar. Yapılan hesaplamalar sonunuda RESULT ve PHI adında iki kütük oluşturur. PHI, son işlemci olan PHOTON tarafından okunabilen formattadır.

PHOTON (Son İşlemci); PHOTON, earth tarafından hazırlanan PHI data kütüğünü okur ve kullanıcıya interaktif sonuçları sunar. Kullanıcı tarafından verilen komutlara göre akış vektörlerini, sıcaklık dağılımlarını, problemin hücre yapısı vs. gösterir.

AUTO PLOT; PHOTON'a benzer olarak PHI kütüğünü okur ve çizgi grafiği oluşturulmasında kullanılır. Kullanıcının vereceği komutlara göre akış vektörlerini, sıcaklık dağılımlarını, problemin hücre yapısını vs. gösterir.

Q1 kütüğü; Phoenix'in en önemli özelliği, çok geniş kapsamlı bir kütüphaneye sahip olmasıdır. Kütüphane, mühendislik problemleri ile ilgili çok sayıda örnek içermektedir. Bu örnekler aslında birer Q1 kütüğüdür. Satellite içerisinde "SEELIB" komutu ile örneklerle ulaşılabilmektedir.

Q1 kütüğü 24 grup başlığı altında toplanmıştır. Örnek Q1 kütüğü;

TALK=T; RUN(1,1);VDU=VGA MOUSE

GROUP 1. Run title and other preliminaries

GROUP 2. Transience;time-step specification

GROUP 3. X-direction grid specification

GROUP 4.Y-direction grid specification

GROUP 5. Z-direction grid specification

GROUP 6. Bodyfitted coordinates or grid distortion

GROUP 7. Variables stored, solved & named

GROUP 8. Terms (in differential equation) & devices

GROUP 9. Properties of the medium (or media)

GROUP 10. Inter-Phase-transfer processes and properties

GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields

GROUP 12. Convection and diffusion adjustments

GROUP 13. Boundary conditions and special sources

GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.TRUE.

GROUP 15. Termination of sweeps

GROUP 16. Termination of iteration

GROUP 17. Under-relaxation devices

GROUP 18. Limits on variables or increments to them

GROUP 19. Data communicated by satellite to GROUND

GROUP 20. Preliminary print-out

GROUP 21. Print-out of variables

GROUP 22. spot-value print-out

GROUP 23. Field print-out and plot control

GROUP 24. Dumps for restart

STOP

Q1 kütüğünü oluşturan GROUP'lar da sırasıyla;

GROUP 1'de; yapılan çalışmanın adı yer almaktadır.

GROUP 2'de; çalışmanın sürekli olup olmadığını ifade eder.

GROUP 3'de; x yönündeki boyut, hücre sayısı ve üniform olup olmadığı belirtilir.

GROUP 4'de; y yönündeki boyut, hücre sayısı ve üniform olup olmadığı belirtilir.

GROUP 5'de; z yönündeki boyut, hücre sayısı ve üniform olup olmadığı belirtilir.

GROUP 6'da; kullanılacak koordinat sistemi kartezyen veya silindirik değilde özel bir hücre sistemi kullanılacaksa buna ait özellikler girilir.

GROUP 7'de; çözülecek değişkenlerin neler olduğu, nasıl çözülüp nelerin kaydedileceğini içerir.

GROUP 8'de; diferansiyel denklemdeki terimler ve bazı özelliklerin kullanılıp kullanılmaması belirlenir.

GROUP 9'da; simülasyonu yapılacak ortamın yoğunluk, vizkosite gibi fiziksel özelliklerini içerir.

GROUP 10'da; çok fazlı akışlarda, fazlar arası etkileşim varsa kullanılır.

GROUP 11'de; zamana bağlı problemlerin başlangıç şartları girilir. Ortamın gözenekliliği (porosity) bu bölümde belirtilir.

GROUP 12'de; difüzyon ve konveksiyon ile ilgili ayarlama bu bölümde yer alır.

GROUP 13’de; sınır şartları ve özel kaynaklar girilir.

GROUP 14’de; tam bir simülasyon için gerekli bilgiler girilir.

GROUP 15’de; yapılacak hesaplama sayısı girilir. İç ve dış iterasyon olmak üzere PHOENICS’te iki tür iterasyon vardır.

GROUP 16’da; iç iterasyon verilir.

GROUP 17’de; yakınsmanın sağlanmasında, non-lineer denklem setlerinin iteratif çözümünde “ under relaxation”, lineer denklem setlerinin çözümünde ise “over relaxation” seçenekleri belirlenir.

GROUP 18’de; bazı değişkenlerin belli sınırlar içinde kalması veya küçük artması sağlanır.

GROUP 19’da; satellite ve ground arasındaki iletişim sağlanır.

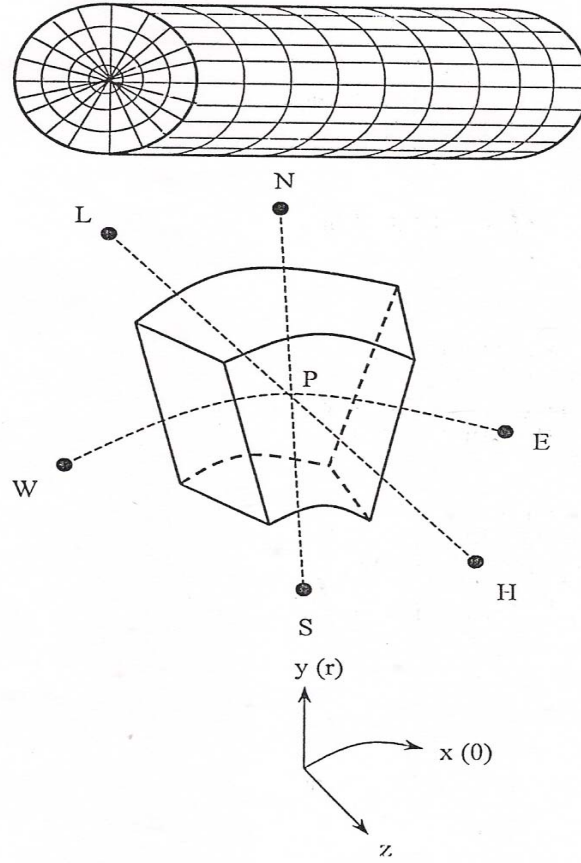
GROUP 20-24 ‘te ise istenen sonuçların programın çalışırken ekranda ve çözümün bitiminden sonra RESULT kütüğündeki çıktıların biçimi belirlenmektedir.

Q1 kütüğü şu bilgileri içermektedir.

- Problemi tanımlayan başlık,
- Problemin geometrisi ve hücre yapısı (computational grid),
- Çözülmesi istenen bağımlı değişkenler,
- Her değişkenler için çözülecek denklem biçimleri,
- Uygulanması istenen nümerik çözüm yöntemi,
- Ortamın termodinamik ve fiziksel özellikleri,
- İlk iterasyon için bağımlı değişkenlerin kabul edilen dağılımları,
- Problem sınır şartları,
- Çözümün kontrolünde kullanılacak parametreler,
- Nasıl bir çıktı istenildiği,

4.2. Hücre Yapısı

Sayısal akışkanlar dinamiğinde, kısmi diferansiyel denklemler, cebirsel denklemlere dönüştürülür. Cebirsel denklemleri oluşturmak için bir çok yöntem (sonlu farklar, sonlu hacimler, sonlu elemanlar vb.) vardır. PHOENICS sonlu hacimler metodunu kullanmaktadır. PHOENICS'te kullanılan koordinat sistemi ve hücre yapısı Şekil 4.2 'de gösterilmiştir.



P noktasındaki ϕ_p değeri ϕ değerleri ile ilişkilidir. Ayrıca, eğer problem zamana bağımlı ise bir önceki zaman dilimindeki ϕ_p ile de ilişkilidir. Bunun sonucunda aşağıdaki lineer cebirsel denklem elde edilir.

$$a_p \phi_p = a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_H \phi_H + a_L \phi_L + a_T \phi + b \quad (4.1)$$

Bu denklemlerde “a” terimleri katsayıları, “b” ise kaynak terimini ifade etmektedir. Eş. 4.1’de görüldüğü gibi her komşu hücrenin ayrı bir katsayısı vardır. Bu katsayının nümerik değeri bir çok faktöre bağlıdır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- 1) Hücre geometrisine,
- 2) Akışkanın bir hücreden diğerine akış hızına,
- 3) Akışkanın yerel özellikleri vs.

Her hücre, değişken, zaman dilimi için bir denklem yazmak mümkündür. Bunun sonucunda, toplam denklem sayısı= $N_X * N_Y * N_Z * N_\Phi * N_T$ olur.

4.3. Sonlu Hacimler Metodu ile Diskritizasyon Yöntemi

Sonlu hacimler metodu ile cebirsel denklemleri iki metod veya iki yaklaşımla elde etmek mümkündür. Söz konusu cebirsel denklemler ısı ve kütle transferini temsil edebilecek denklemleri ifade eder. Hangi yaklaşımla olursa olsun sonlu hacimler metodunun en büyük avantajı diskritizasyon (ayırıklaştırma) prosedürü boyunca asıl temel fizik kanunlarının sürekli olarak göz önünde bulundurulmasıdır.

Birinci yaklaşımda; değişik matematik teoremleri kullanılarak diferansiyel denklemlerin diskritizasyonu gerçekleştirilir. İkinci yaklaşımda; temel fizik kanunları yazılarak diskritizasyon işlemleri yapılır.

Eş. 4.1’ de kaynak terimi “b” nin lineer bir forma getirilmesi gerekir. Sonlu hacimler denklemlerine, lineer cebirsel denklemlerin çözümünde kullanılan tekniklerin uygulanması için kaynak terimini doğrusal olarak ifade etmek gerekir. Elde edilen denklemlerin kontrol hacminin iç noktalarındaki hücrelerle ilgili ifadelerinin yanı

sıra, sınır şartlarının da sonlu hacim denklemlerinin çıkarılışında uygun formda dikkate alınması gerekmektedir.

Bir akışın hesabında, sınır şartlarının bilinmesi lazımdır. Bu konuda PHOENICS esnek bir yapıya sahiptir ve çalışmasının değerlendirilmesi de şu noktaların anlaşılmasına bağlıdır.

* PHOENICS, daima problemin kaynağına göre sınır şartını değerlendirir. (momentum, enerji, kütle, türbülans, kimyasal özellikler vs.) Bu nedenle sınır değerlerini doğrudan kullanmaz.

* Kaynaklar, hücre merkezlerine yerleştirildiğinden sınır şartları sınırlara tam olarak yerleştirilemez. Yan sınır hücreleri, bölgesel değişikliklerin değişiminde önemsiz olması için yeterince küçük alınır.

* PHOENICS, kaynakların özelliklerini bir “ C ” katsayıcı ve “ V ” değeri cinsinden kabul eder. Φ değişkeni için kaynak C_Φ ve V_Φ tarafından belirlenir.

$$S = C_\phi (V_\phi - \phi_p) \quad (4.2)$$

Burada ϕ_p , p düğüm noktasındaki ϕ ’nin değeridir. Örneğin, hücre içindeki ϕ ’nin değeridir.

* PHOENICS içindeki SATELLITE ön işlemci, COVAL komutu tarafından kullanıcının belirlediği “C” ve “V” büyüklüklerini kabul eder.

* Uygulanan sınır şartı, PATCH komutu ile PHOENICS tarafından kullanılır.

Kütle akışı sınır şartları; hesaplama aralığındaki kütle akışı, PHOENICS tarafından PATCH ve COVAL komutları ile girilir. Dış basınç, hücre içinde bulunan basınçtan

büyük olabilir. Eğer katsayı C çok küçükse, dış basınç çok büyük olmak zorundadır. Hücre içindeki basınçlarda oluşan değişimler, hücre içinde hız alanı ile küçük bir etki biçiminde ilişkilendirilmiştir. Eğer katsayı çok büyük olursa, buna karşı değişimler etkilidir, bu yüzden akış oranını ileride belirlemek zorlaşır. Tipik olarak, bir aralıktaki akış, düşük katsayılı basınç sınır şartı ile temsil edilir. Dışarıdaki akış yüksek bir katsayı ile temsil edilir, fakat değişkenlerin sayısı çoktur. Süreklilik denkleminde eklenen kütle akış kaynağı,

$$C_p(V_p - P_p) \quad (4.3)$$

olarak verilmiştir. Burada C_p basınç katsayısı, P ise basınç değeridir. P noktasındaki düğümde basıncın değeri P_p ile gösterilir.

Sonuç olarak, sonlu hacimler denklemlerinin diskritizasyonu için şu kurallar sıralanır,

* İki komşu kontrol hacminin yüzeylerinden olan akıların matematiksel ifadeleri, her iki kontrol hacmi için aynı olmalıdır. Bununla, bir kontrol hacminin doğu yüzeyini terk eden bütün ısı, komşu kontrol hacminin batı yüzeyinden girdiği kabul edilir. Bu korunum prensibinin çok açık olduğu düşünülebilir, fakat denklemlerin türetilmesinde kolayca unutulabilir ve hataları akıların oluşmasına neden olunabilir.

* Denklemlerdeki katsayıların (a) değerleri ya sıfır ya da pozitif olmalıdır. Hiçbir zaman negatif olamaz. Bununla bir hücredeki bağımlı değişkenin (sıcaklık, hız vs.) artması durumunda, komşu hücredeki bu değişkenin değerinin de artması sağlanmış olur.

* Denklemlerdeki kaynak terimleri negatif bir eğimle lineerize edilmelidir. Bunu anlamı ısı transferi probleminde bir kaynağı,

$$S_p = S_c(T_v - T_p) \quad (4.4)$$

gibi bir lineer bir ifadeyle modellemek istenirse, S_c pozitif bir değer olmalıdır. Burada T_v sabit bir sıcaklık değeri, S_c kaynak katsayısı, T_p ise “p” noktasındaki sıcaklıktır. Eğer bu kural sağlanmaz ise, yanlışlıkla ikinci kural çiğnenmiş olur. Çünkü, a_p katsayısı bu kaynak katsayısının bir kısmını içermektedir.

* Zamandan bağımsız durumlar için, kaynak terimlerinin olmadığı durumlarda katsayılar,

$$a_p = \sum a_{nb} \quad (4.5)$$

İfadesini sağlamalıdır. Bununla, kontrol hacmi içerisinde, herhangi bir ısı kaynağı olmadığı durumda ve komşu sıcaklıklarında aynı olduğu bir durumda T_p sıcaklığının eşit olması sağlanır.

4.4. SAD Çözümlerinin ve Sonuçlarının Doğruluğunun ve Geçerliliğinin Kontrolü

SAD metodları kullanılarak bir çok problemin çözümlerinin elde edilmesi mümkündür. Bazen belirli problemlerin çözümlerine kısa sürede ulaşmak mümkünse de çözümlerin ve sonuçların gerçek fiziksel olay ve fizik kanunlarına uygun olması gerekmektedir. Bundan dolayı elde edilen bir çok çözüm hiçbir işe yaramamaktadır ve defalarca programa yeniden tanıtılarak, yeniden tanımlanarak, tanımlamalar değiştirilerek ve sayısal akışkanlar dinamiği kodunun içerdiği çözüm teknikleri ve değişkenleri tekrar tekrar ince ayarlardan geçirilerek, problemin daha gerçekçi çözümleri elde edilmeye çalışılmaktadır. Elde edilen sonuçların geçerliliğinin kontrolü için beş ana sorunun cevaplanması gerekmektedir.

1. Adım; Çözümün yakınsaklığı sağlandı mı?

Sonuç (Result) dosyasının son kısımlarında süpürme sayısına bağlı olarak kalıntılar (residual) ve anlık değerler (spot value) birer grafik olarak verilmektedir. Bu grafiklerde bütün değişkenlerin kalıntıları ve anlık değerleri süpürme sayısı ile birlikte değişimleri gösterilmektedir. Çözümün yakınsaması için bütün değişkenlerin kalıntıları monoton veya değişken bir azalma göstermesi gerekmektedir. Bütün bunlara ilave olarak değişkenlerin anlık değerleri belirli bir dalgalanmadan sonra sabit bir değere ulaşmalıdır. Kalıntılar sıfıra yakın veya çok küçük değerler olması gerekir. Anlık değerler ise belirli bir değere ulaştıktan sonra bu değerde sabitlenmeli ya da çok az değişme göstermelidir.

2. Adım ; Çözüm süpürme sayısından bağımsız mı?

Çözüm süpürme sayısı ile yakından ilişkilidir. Bazı problemler düşük süpürme sayıları ile kararlı hale geçerken, karmaşık yapıya sahip problemlerin çözümleri için çok yüksek sayıda süpürme bile yetersiz kalabilmektedir. Süpürme sayısı değiştirilerek birinci sorunun cevabı aranır. Yani, süpürme sayısının artması ile yakınsamanın nasıl değiştiğine sürekli olarak bakılır. Burada amaç, süpürme sayısının artmasıyla yakınsamış bir problemin yakınsamasının devam ettiği gözlenmelidir. Sonuç dosyasının son kısmında kalıntılar için değişimleri veren grafikler mevcuttur. Yakınsamış ve süpürme sayısından bağımsız olan problem çözümlerinde kalıntılar sürekli olarak küçülmeli, anlık değişimler belirli bir zamandan sonra sabit kalmalıdır.

3. Adım; Korunum denklemleri sağlandı mı?

İlk iki soruya olumlu cevap alınmasından sonra çözümü elde edilmeye çalışılan fiziksel problemi tanımlayan kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesi gereklidir. Bu ise result dosyasının son kısmında yer almaktadır.

4. Adım; Çözüm hücre yapısından bağımsız mı?

İlk üç sorunun cevabının olumlu olmasına rağmen, elde edilen sonuçlar gerçek değerlerden uzak olabilir. Bunun sebebi, çözüm alanı içerisindeki hücrelerin sayısı ve dağılımıdır. Bu sorunun olumlu cevaplanabilmesi için, elde edilen sonucun hücre yapısındaki yeni değişiklikler sonucunda (hücre sayısı, dağılımı ve biçimi) çok ufak değişimler gösteren bir duruma gelmiş olması gerekmektedir.

5. Adım; Sonuçlar deneysel değerlerle uyum içinde mi?

Sayısal akışkanlar dinamiği çözümlerinin ve sonuçlarının gerçek fiziksel değerlerle doğruluğu ve uyumluluğu ilk dört sorunun olumlu cevaplanmasından sonra, literatürdeki mevcut veya kendi deneysel değerleri ile karşılaştırılması işlemiyle ıspat edilmiş olur. Hiçbir şekilde deneysel veri mevcut değilse, bu kesin karşılaştırma literatürde kabul görmüş teorik, analitik veya diğer nümerik çözümlerle yapılabilir.

4.5 . Akışkanlar Mekaniği ve Isı Transferine Uygulanması

PHOENICS , korunum denklemlerinin uygulandığı problemlerin analizinde sıklıkla kullanılır. Değişik tip problemlerin çözümünde de uygulamak mümkündür. Bu problemler;

- Elektrik aletleri,
- Bir, iki ve üç boyutlu geometriler,
- Momentum, kütle, kimyasal reaksiyonlar,
- Sürekli ve süreksiz,
- Kimya ve metalurji sanayinde,
- Fırınlar, ısı değiştirgeçleri, kondenserler vs.

problemlerinin çözümünde kullanılır.

Klasik analitik mekanikte, bu problemler kısmi analitik denklemler ile ifade edilmektedir. Korunum yasalarının genel ifadesi şu şekilde yazılabilir,

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_i \rho_i \phi_i) + \text{div}(r_i \rho_i \phi V - r_i \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = r_i S_i \quad (4.6)$$

zamana konveksiyon difüzyon kaynak
bağlı terim terimi terimi terimi

burada,

t , zaman

r_i , i fazının hacimsel kesri

ρ_i , i fazının yoğunluğu

ϕ_i , i fazının entalpi birim kütle başına momentum gibi özelliği

v_i , i fazının hız vektörü

Γ_{ϕ_i} , i fazındaki ϕ 'nin değişim katsayısı,

S_{ϕ_i} , ϕ_i 'nin kaynak oranı

Tek fazlı olarak ele alındığında ifade,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \phi) + \text{div}(\rho \cdot \phi \cdot V) - \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) = S \quad (4.7)$$

Şeklini alır. Bu ifade inlenirse, sol taraftaki ilk terim geçiş (transient) terimi, ikincisi konveksiyon ve üçüncü terim ise difüzyon terimidir. Sağ taraftaki ifade ise kaynak terimidir. Bu kaynak terimini en genel formu da,

$$S = f \times CO \times (VAL - \phi_p) \quad (4.8)$$

olarak alınır. Burada f , çarpım faktörü, TYPE komutuna bağlı olarak değişir. ϕ_p tanımlanan değişken (variable index) (Grup 7), VAL değişkenin hesaplanan noktadaki değeridir. Bu kaynak terimi GRUP 13'de COVAL komutu kullanarak programda dikkate alınmaktadır.

Çözülmesi istenen denklem setleri PHOENICS'te Eş. 4.1 formunda tanımlanır. Bu ana formdaki denklemlere ilave olarak başka denklemlerde kullanmak gerekebilir. Bunlar termo dinamik özellikler, taşınım özellikleri ve sınır şartları olabilir. Eş. 4.7.'den, zamandan bağımsız, düşük hızlı bir akışın, viskoz sürtünme etkilerinin ihmal ile enerji denklemi,

$$\text{div}(\rho u h) - \text{div}(k \text{ grad} T) = S_h \quad (4.9)$$

şeklini alır veya,

$$\text{div}(\rho u h) - \text{div}\left(\frac{k}{c} \text{ grad} h\right) = S_h \quad (4.10)$$

yazılır. Burada, h entalpi, k ısı iletkenlik katsayısı, S_h hacimsel ısı üretim hızıdır. Newtonian bir akışkan için laminar akış sınır şartlarında x-yönündeki momentum denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot u) + \text{div}(\rho \cdot u \cdot v) - \text{div}(\mu \cdot \text{grad} v) = F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{3} \frac{\partial}{\partial t}(\text{div} v) \quad (4.11)$$

Şeklindedir benzer şekilde türbülanslı kinetik enerjinin $k - \varepsilon$ türbülans modeli altındaki denklem; şu şekilde yazılır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \operatorname{div}(\rho k v) - \operatorname{div}(\Gamma_h \operatorname{grad} k) = G - \rho \varepsilon \quad (4.12)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, T_o çevre sıcaklığına sahip kolektörün yarı çapı (R_k), çevreden sürekli hava girişinin sağlanması için gerekli kolektör yüksekliği (H_k), kolektör altında ısınan havanın yükselmesini sağlayan sistemin merkezinde bulunan kulenin yüksekliği (H_b) ve kule çapı (D_b), zemin uzunluğu (L_z) boyunca uygulanan ısı akısındaki değişimle ısı transferi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Hesaplamalar farklı ısı akıları ($q''=100-1000 \text{ w/m}^2$) ve kolektör yüksekliği değişimleri ve T_o çevre sıcaklığındaki değişim için yapılmıştır. Isı akısı uygulanmış yüzey dışındaki diğer bölümlerde çevre sıcaklığı (T_o) ve kolektör yüzey sıcaklığı (T_o) 27°C olduğu ve ortalama Nusselt sayısı yukarıda verilmiş olan parametrelerle hesaplanmıştır. Sonuçlar, literatürlerdeki benzer çalışmayla mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak ısı akısı uygulanmış olan yüzeye farklı ısı akıların ve kolektör yüksekliği değişimi ile çevre sıcaklığındaki kolektörle zemin arasındaki bölgedeki akışın hız vektörleri ve sıcaklık konturları çizilmiştir. Isı akısı uygulanmış yüzeydeki yüzey sıcaklığı (T_z), Nusselt sayısı (Nu) ve Rayleigh sayısı (Ra) aşağıda açıklanmıştır.

$$T_z = T_1 + \frac{q''}{k} \frac{\Delta x}{2} \quad (5.1)$$

Burada T_1 , PHOENICS programınca hesaplanan y eksenini boyunca $\Delta x/2$ mesafesindeki hücrelerdeki sıcaklığı ifade etmektedir. k , havanın bu sıcaklıktaki ısı iletim katsayısıdır. T_z , y eksenine paralel yüzey boyunca NY sayıdaki hücrelerden her biri için PHOENICS programında hesaplanan yüzey sıcaklığıdır. Ortalama yüzey sıcaklığı T_{zo} şu şekilde hesaplanır;

$$T_{zo} = \frac{\sum_{i=1}^{NY} T_z}{NY} \quad (5.2)$$

Kolektör yüksekliğine bağlı ortalama Nusselt sayısı ise şu şekilde tanımlanır.

$$Nu = \frac{h H_k}{k} \quad (5.3)$$

Burada; h ortalama yüzey sıcaklığına bağlı ısı taşınım katsayısıdır. Şu şekilde tanımlanır.

$$h = \frac{q''}{A \Delta T} \quad (5.4)$$

q'' sabit ısı akısı, A kolektör kesit alanı, $\Delta T = T_{zo} - T_o$ sıcaklık farkı olarak tanımlanır.

Kolektör yüksekliğine bağlı Rayleigh sayısı da aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Ra = \frac{g \beta q'' H_k}{k \nu^2} Pr \quad (5.5)$$

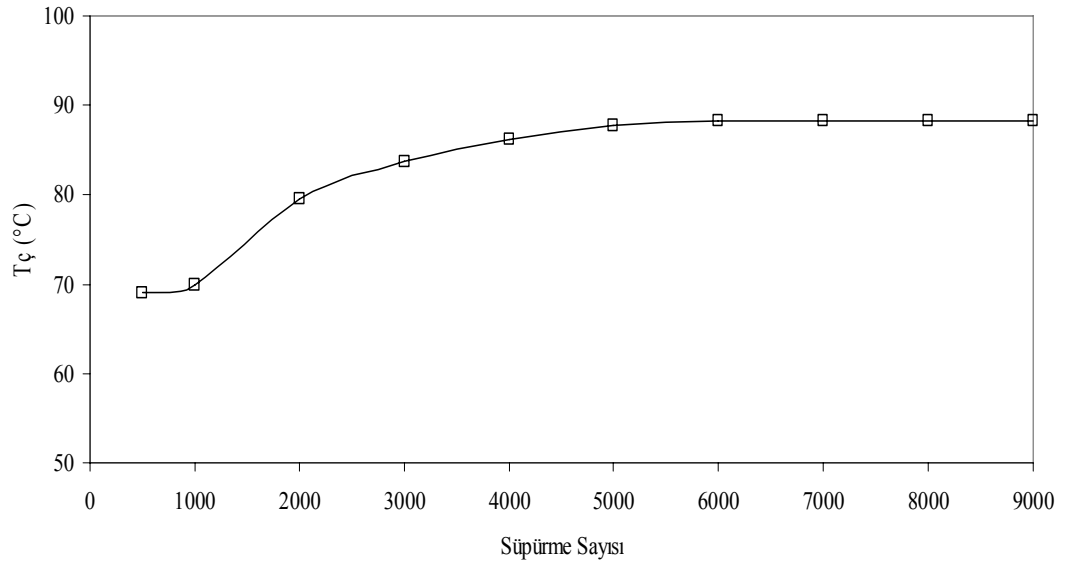
β ısı genleşme katsayısı, ν kinematik viskozite, k ısı iletim katsayısı, H_k kolektör yüksekliği, Pr Prandtl sayısıdır.

Sayısal akışkanlar dinamiği yöntemlerinin kullanılması ile bir çok sayısal çözüme çok kısa sürede ulaşmak mümkündür. Ancak, çözümlerin ve sonuçların fiziksel olayın gerçekliliğine ve kanunlara uygun olması gerekmektedir. Çözümlerin doğruluğunun ve geçerliliğinin sağlanması için yerine getirilmesi gerekli olan koşullar bu bölüm içerisinde incelenmiştir.

5.1. Yakınsama Kriterlerinin Kontrol Edilmesi

Sayısal akışkanlar dinamiği çözümlerinin ve sonuçlarının yakınsama kriterleri Bölüm 4.4'te ayrıntılı olarak verilmiştir. EK-2'de verilen sonuç kütüğünün son kısmında görüldüğü gibi “Net source of R1 at patch named: GIRIS” ve “ Net source of R1 at patch named: CIKIS” değerleri birbirine eşittir. Bu durum süreklilik denklemlerinin sağlanmış olduğunu gösterir ve yakınsama kriterlerinden biridir. Diğer kriterler ise, sonuç dosyasının son kısmında yer alan iki grafiklerdir. Anlık değerler grafikte de görüldüğü gibi bağımlı değişkenler belirli bir iterasyondan sonra değişimlerinin bitmesi ile sabit bir değere ulaşmıştır. Diğer kriterde ise sonuç dosyasının son kısmındaki grafikte değerlerin sıfıra yaklaşmasıdır. Bu üç aşamanın yerine getirilmesi ile süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin eşitlenmesi ile doğru sonuca ulaşılır.

Şekil 5.1'de zemine uygulanan sabit ısı akısında (q'') sayısal çözümlemeyle elde edilen ortalama toplayıcı çıkış sıcaklığı (T_c) değerlerinin süpürme sayısı ile değişimi görülmektedir. Şekil 5.1 incelendiğinde 500-9000 süpürme sayısında çözümleme yapılmıştır. 500 ile 5000'a kadar kolektör çıkış sıcaklığında artış olmakta, 5000'den sonra azalmaktadır. Bu sonuçlara göre çözümlemede kullanılacak süpürme sayısı minimum 5000 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Sabit ısı akısında, farklı süpürme sayılarında elde edilen $T_{\text{ç}}$ ortalama kolektör çıkış sıcaklığının değişimi, ($H_k=1,7\text{m}$, $R_k=120\text{ m}$, $D_b=10\text{ m}$, $H_b=195\text{ m}$).

Çözümün hücre sayısından bağımsız hale geldiğini gösteren ve sabit ısı akısına bağlı olarak ortalama kolektör çıkış sıcaklığının değişimini veren grafik Şekil 5.2’de verilmiştir. Çalışma 50x50 ile 110x110 hücre sayıları arasında yapılmıştır. Şekil 5.2 incelendiğinde hücre sayısı değiştikçe sıcaklığın değiştiği, 50x50 hücreden başlayarak 70x70 hücreye kadar sıcaklığın arttığı, 75x75 hücreden sonra değerlerdeki farkın azaldığı görülmektedir. 75x75 hücreden 110x110 hücreye kadar sıcaklık dağılımlarının fazla değişmemektedir. Hücre sayılarındaki dağılımın 75x75’de bağımsız hale geldiği kabul edilmiştir.



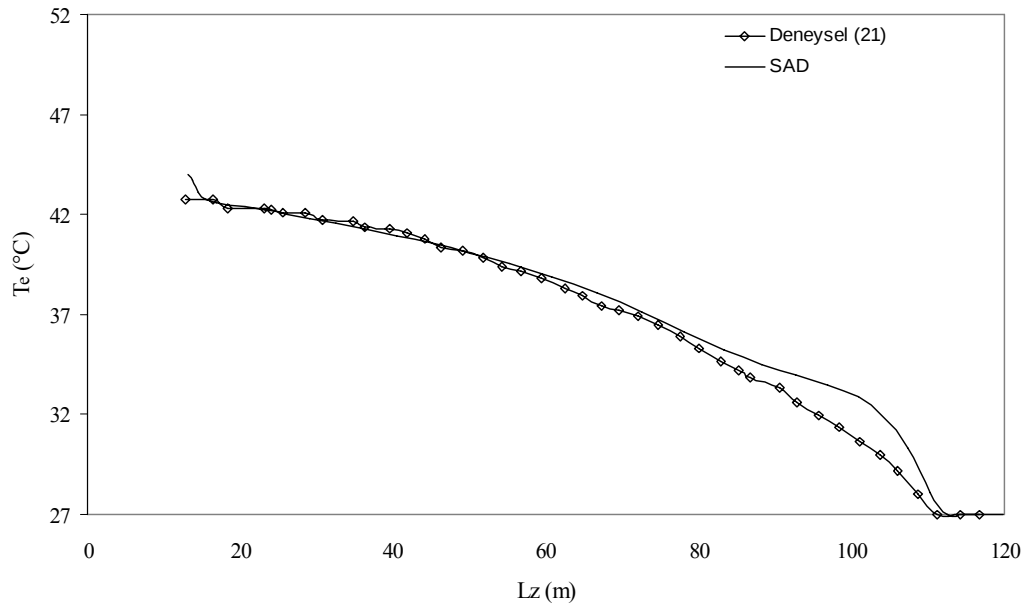
Şekil 5.2. Sabit ısı akısında hücre sayısı değişimi ile T_c ortalama kolektör çıkış sıcaklığının değişimi, ($H_k=1,7$ m, $R_k=120$ m, $D_b=10$ m, $H_b=195$ m).

Bu sonuçlar doğrultusunda uygun süpürme sayısının minimum 5000, uygun hücre sayısının ise minimum 75x75 hücre olduğu görülmektedir. Şekil 3.3'te çalışmalarda kullanılan 110x110 hücre dağılımı görülmektedir. SAD programıyla yapılan çalışmada, süpürme sayısı yaklaşık 5000 ve hücre sayısı 110x110 alınarak çözümleme yapılmıştır.

5.2. Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

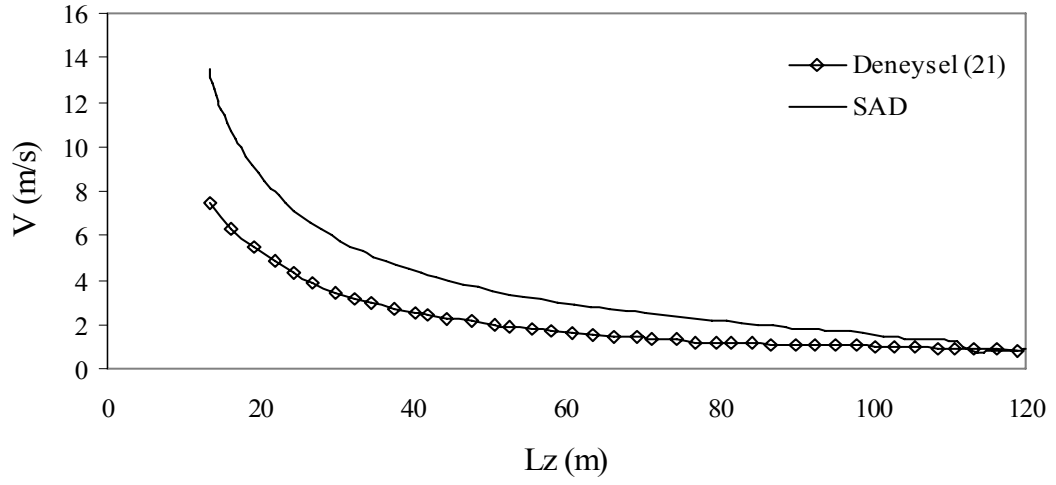
Pasthor, Kornadt ve Gürlebeck [21], zemine sabit ısı akısı ($q''=100-750$ w/m²) uygulayarak $H_k=1.7$ m, $H_b=195$ m, $D_b=10$ m ve $R_k=120$ m geometrik boyutlarındaki güneş kulesi içinde doğal konveksiyon akışını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ile aynı geometride aynı parametreler kullanılarak PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği programıyla elde edilen sonuçların mukayese edilmesi amacıyla hazırlanan hız ve sıcaklık dağılımı grafikleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

Şekil 5.3'te $z=H_k/2$ mesafesindeki T_e eksen sıcaklığının L_z zemin uzunluğu boyunca değişiminin deneysel ve SAD çözümü ile edilen sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Her iki çalışmada görüldüğü gibi, hava sisteme çevre sıcaklığında (T_o) girmekte, zemine sabit ısı akısı uygulanmış olup, havanın sıcaklığı baca girişine kadar artmaktadır. Baca girişine yaklaştıkça maksimum seviyesine ulaşmaktadır.



Şekil 5.3. Deneysel çalışma ile PHOENICS çözümünün sıcaklık karşılaştırması ($z=H_k/2$).

Şekil 5.4'te sistem içerisine giren hava hızındaki değişimin deneysel ve SAD çözümü ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Hava sisteme çevresel hızda girmektedir. Artan sıcaklık ve baca çekişi havanın hızını arttırmaktadır. Bacanın girişine doğru hız artmakta ve baca girişinde maksimum olmaktadır.



Şekil 5.4. Deneysel çalışma ile PHOENICS çözümünde hızın karşılaştırması.

Güneş kulesi sisteminin PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği programı ile yapılan sayısal modellemesinde kullanılan parametreler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Parametrik çalışma tablosu

q'' (W/m ²)	H_k (m)	R_k (m)	H_b (m)	D_b (m)	T_o (°C)
100	1.7	120	195	10	27
200	1.7	120	195	10	27
300	1.7	120	195	10	27
400	1.7	120	195	10	27
500	1.7	120	195	10	27
600	1.7	120	195	10	27
700	1.7	120	195	10	27
800	1.7	120	195	10	27
900	1.7	120	195	10	27
1000	1.7	120	195	10	27
100	3.4	120	195	10	27
200	3.4	120	195	10	27
300	3.4	120	195	10	27
400	3.4	120	195	10	27
500	3.4	120	195	10	27
600	3.4	120	195	10	27
700	3.4	120	195	10	27
800	3.4	120	195	10	27
900	3.4	120	195	10	27
1000	3.4	120	195	10	27
100	0,85	120	195	10	27
200	0,85	120	195	10	27
300	0,85	120	195	10	27
400	0,85	120	195	10	27
500	0,85	120	195	10	27
600	0,85	120	195	10	27
700	0,85	120	195	10	27
800	0,85	120	195	10	27
900	0,85	120	195	10	27
1000	0,85	120	195	10	27
100	1,7	240	195	10	27
200	1,7	240	195	10	27
300	1,7	240	195	10	27
400	1,7	240	195	10	27
500	1,7	240	195	10	27
600	1,7	240	195	10	27
700	1,7	240	195	10	27
800	1,7	240	195	10	27
900	1,7	240	195	10	27
1000	1,7	240	195	10	27
500	1.7	120	195	10	20
500	1.7	120	195	10	25
500	1.7	120	195	10	30
500	1.7	120	195	10	35
500	1.7	120	195	10	40
500	1.7	120	195	10	45
500	1.7	120	195	10	50

5.3. Kolektör Yüksekliği ile Isı Akısı Değişimlerinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi

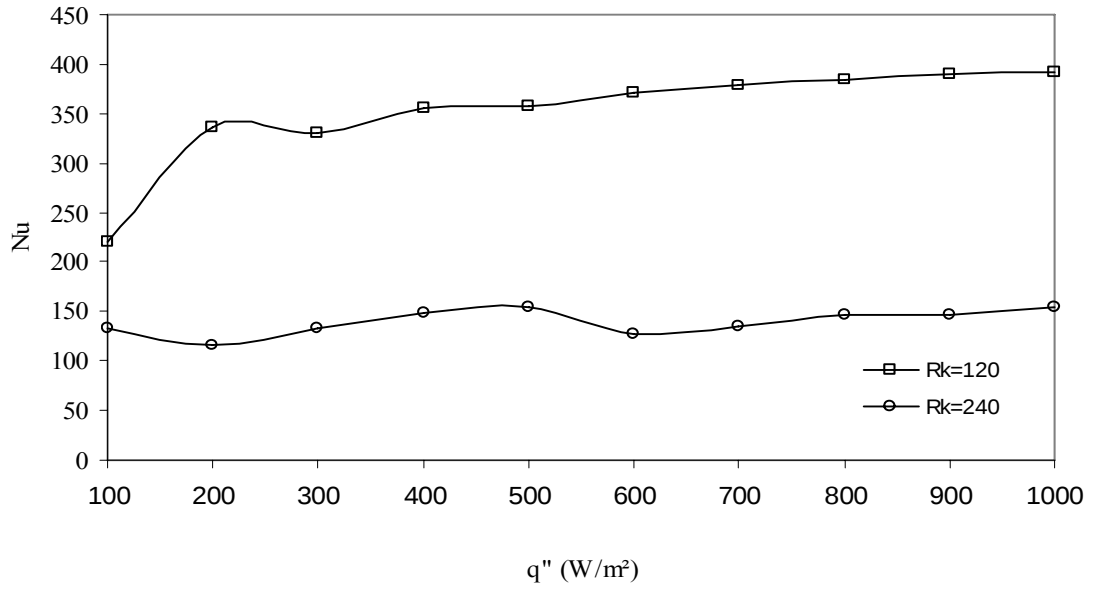
Güneş kulesi sisteminde doğal konveksiyonla ısı transferi paralel iki plaka arasındaki ısı transferi göz önüne alınarak PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği programı yardımıyla çözümlemesi yapılmıştır. Çözümlemede üç farklı kolektör yüksekliği ele alınmış ve bu parametre ile birlikte zeminde ısı akısı değişimine bağlı olarak sıcaklık ve hızdaki değişim, sisteme giren hava debisindeki değişim ve buna bağlı olarak çıkış gücündeki değişimi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.3.1. $H_k=1,7$ m kolektör yüksekliği, $R_k=120-240$ m kolektör örtü uzunluğu ve ısı akısı değişiminin ısı transferine etkisinin incelenmesi

Bu bölümde iki boyutlu geometride doğal konveksiyonla ısı transferinin $H_k=1,7$ m kolektör yüksekliği ve değişik ısı akılarında ($q''=100-1000$ W/m²) incelenmiştir. Kullanılan parametrelere bağlı olarak, kolektör çıkış ortalama sıcaklığı, sıcaklık değişimi, kolektör çıkışındaki sıcaklık ve hız dağılımı, kütleli debinin değişimi, Nusselt sayısının değişimi, Rayleigh sayısına bağlı Nusselt sayısının değişim grafikleri, sıcaklık konturları ve hız vektörleri ayrıntılı olarak sunulmuştur.

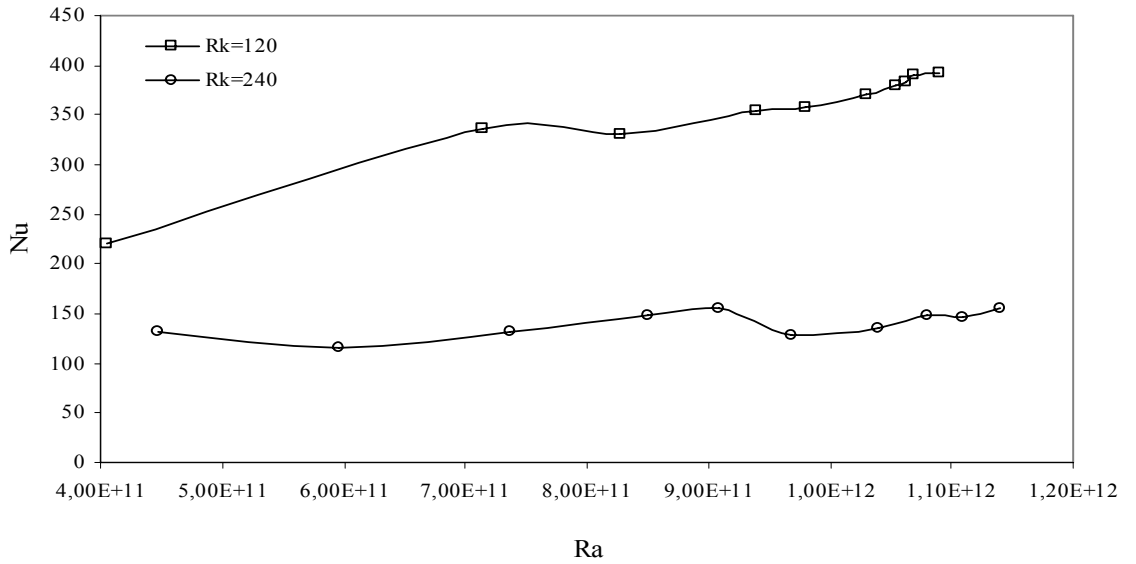
Nu sayısında, ısı akısına bağlı değişimleri sayısal çözümlemede A , H_k , D_b , R_k , H_b gibi geometrik parametreler ile T_o sıcaklığında, ısı akısındaki değişimler ele alınmıştır. Buna bağlı olarak elde edilen sıcaklık değerleri kullanılarak Nu sayısı hesabı yapılmıştır.

Boyutsuz Nu sayısının ısı akısına bağlı değişim grafiği Şekil 5.5'te verilmiştir. Sayısal çözümler incelendiğinde T_o sıcaklığı ile sisteme giren havanın, ısı akısı uygulanmış zeminden ısı aktarım yoluyla sıcaklığında artış olur. Elde edilen sıcaklık değerlerine bağlı olarak 100-300 W/m² ısı akıları arasında Nu sayısı düşmekte, 300 W/m² değerinden sonra artan ısı akılarına bağlı olarak artış göstermektedir. Kolektör örtü uzunluğunun arttırılmasıyla Nu sayısı düşmektedir.



Şekil 5.5. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında ve kolektör örtü uzunluğunda değişimi ($q''=100-1000$ W/m², $H_k=1,7$ m).

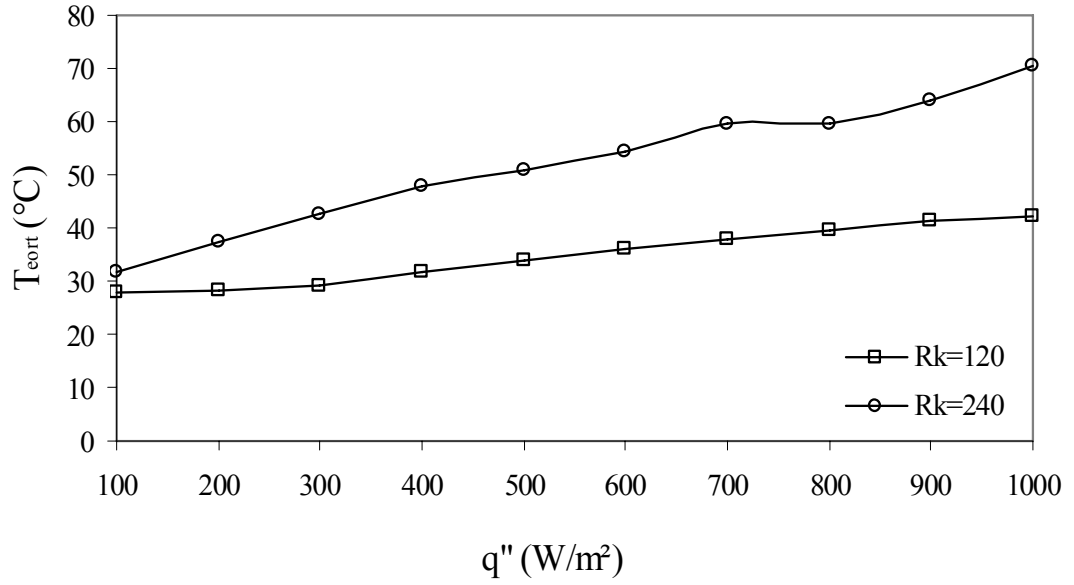
Şekil 5.6'da ısı akısı ve kolektör örtü uzunluğu değişimiyle elde edilen Ra sayısına bağlı Nu sayısının değişimi verilmiştir.



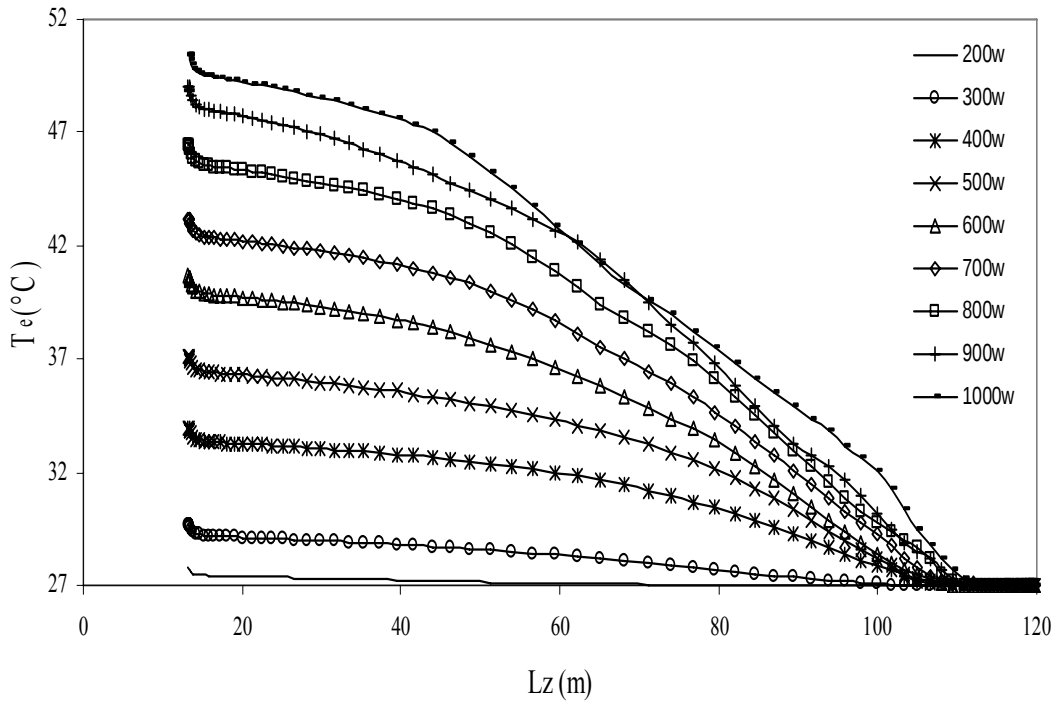
Şekil 5.6. Ra sayısına bağlı Nu sayısının değişimi ($q''=100-1000$ W/m², $H_k=1,7$ m).

Şekil 5.7 de $z=H_k/2$ eksenindeki T_{eort} ortalama sıcaklığının ısı akısına ve kolektör uzunluğuna bağlı olarak değişimi, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da eksenindeki T_e sıcaklığının L_z zemin boyunca değişimi ve Şekil 5.10’da ısı akısı ve kolektör örtü uzunluğundaki değişime bağlı olarak kolektör çıkışındaki T_c sıcaklık değişimi görülmektedir. Elde edilen çözümlerde ısı akısındaki artış havanın sıcaklığını artırmaktadır. Çözümde kolektör yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı $T_o = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmış, zemine ise $100\text{-}1000\text{ W/m}^2$ sabit ısı akısı uygulanmıştır. Şekiller incelendiğinde ısı akısındaki artış kolektör ile zemin arasındaki hacim içerisinde sıcaklık artışı oluşturmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte kolektör girişi ile çıkış sıcaklıkları arasındaki fark artmaktadır. Hava L_z zemin uzunluğu boyunca sürekli ısınmaktadır. Sıcaklık kulenin giriş bölgelerinde maksimum seviyeye çıkmaktadır. Kolektör giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle ısınan hava ara bölgede sürekli sirkülasyon oluşturur. Bu sirkülasyonun yönü kolektör girişinden kuleye doğru olmaktadır. Hava sıcaklığı türbin giriş bölgesinde en yüksek değere ulaşmaktadır. Kolektör örtü uzunluğunun artması kolektör çıkış sıcaklığı ile $z= H_k/2$ yüksekliğinde eksen boyunca sıcaklığı arttırmıştır. Kolektör ile zemin arasındaki eksen boyunca ısı akısına bağlı ortalama sıcaklık T_{eort} şu şekilde tanımlanır;

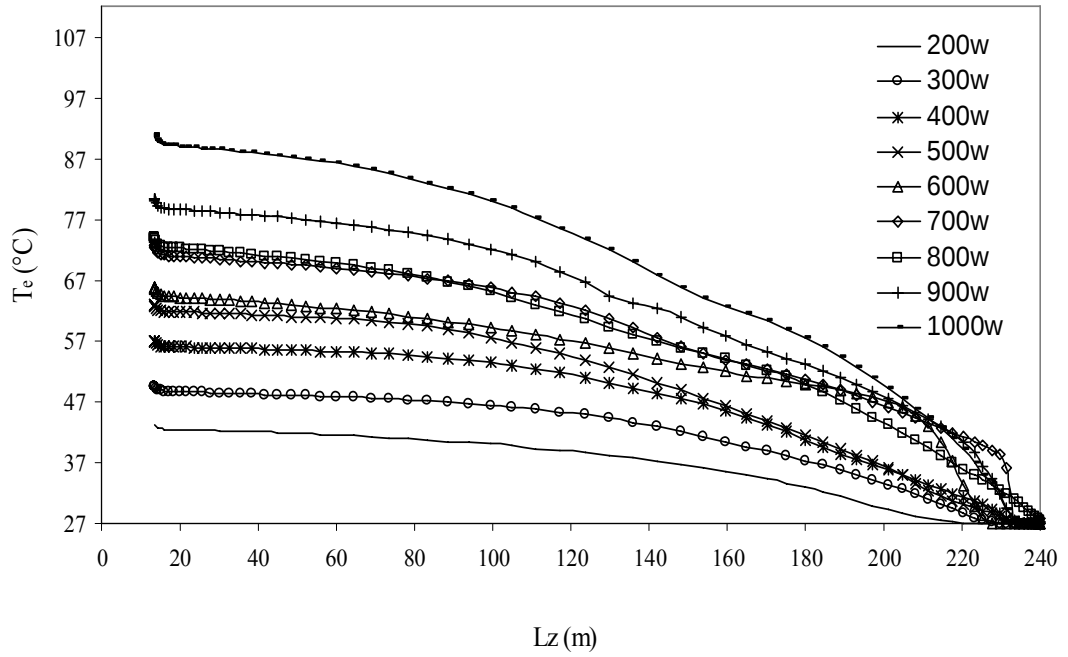
$$T_{eort} = \frac{\sum_{i=1}^{NY} T_e}{NY} \quad (5.6)$$



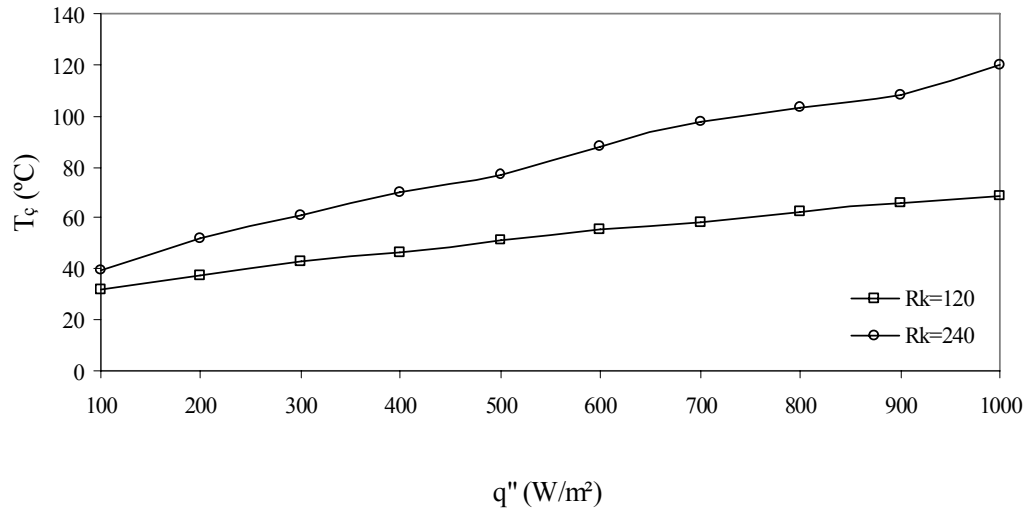
Şekil 5.7. Isı akısı değişimine bağlı ortalama sıcaklık değişimi, ($H_k=1,7m$, $z=H_k/2$).



Şekil 5.8. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi ($H_k=1,7m$, $R_k=120$ m, $z=H_k/2$).



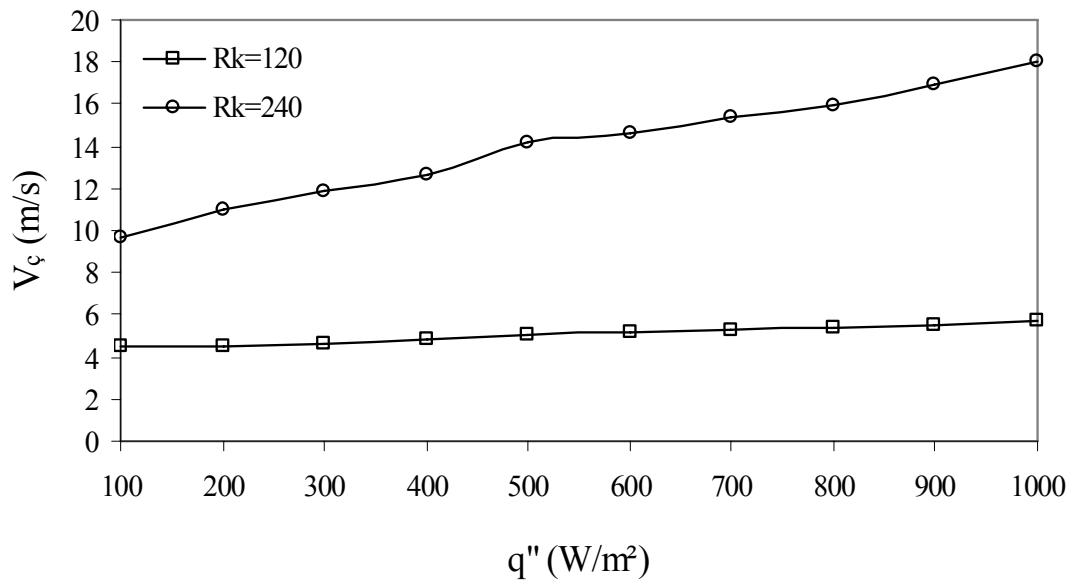
Şekil 5.9. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi ($H_k=1,7\text{m}$, $R_k=240\text{ m}$, $z=H_k/2$).



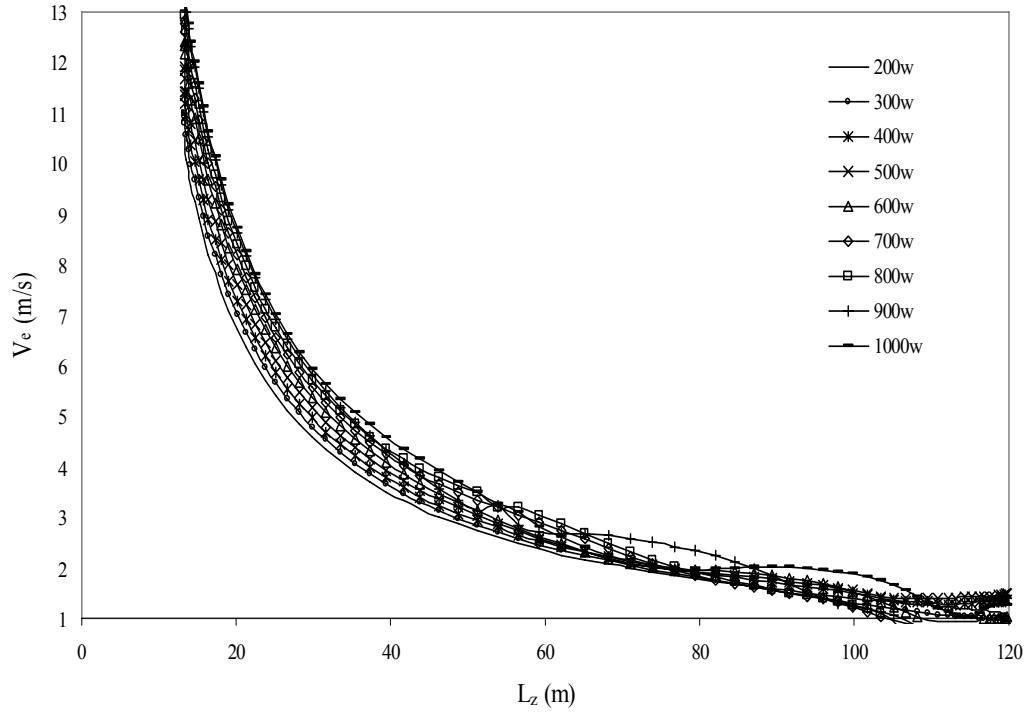
Şekil 5.10. Isı akısı ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı kolektör çıkış sıcaklığının değişimi ($H_k=1,7\text{m}$).

Şekil 5.11'de kolektör çıkışındaki V_ϕ hava hızının ısı akısıyla değişimi, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de ise $H_k/2$ ekseninde L_z zemin uzunluğu boyunca $z=H_k/2$ eksenindeki V_e hava hızı değişimi ısı akılarına ve kolektör örtü uzunluğundaki değişime bağlı olarak verilmiştir. Isı akısındaki artıştan dolayı kolektör girişi baca çıkışı arasındaki

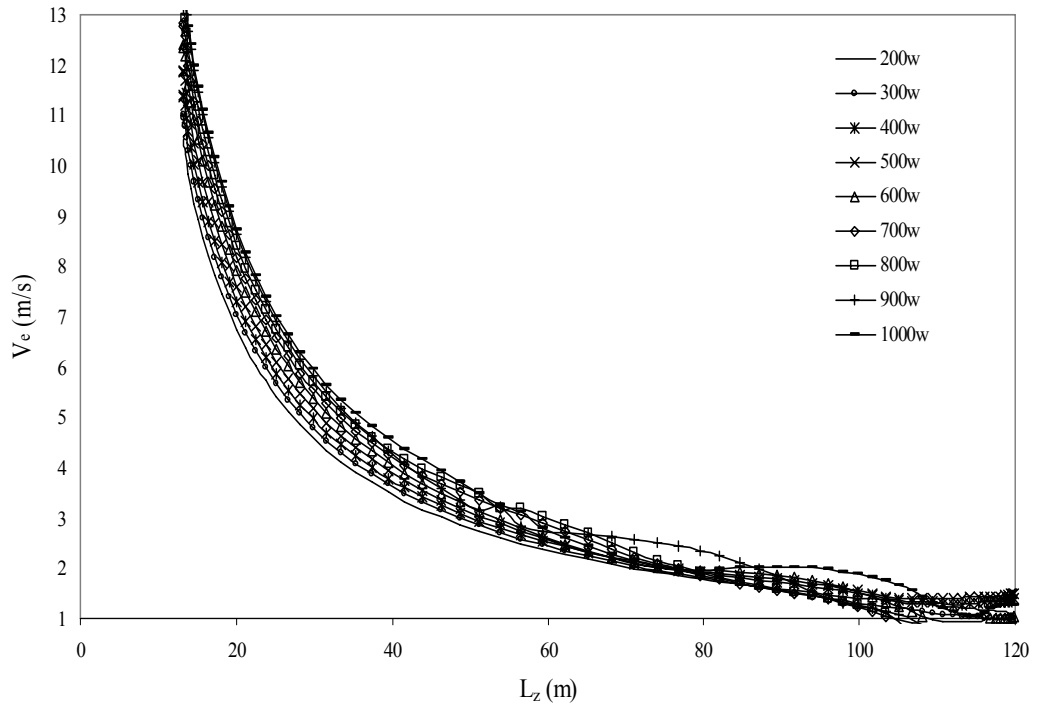
yoğunluk farkı sistem içerisindeki hava hareketini hızlandırdığı, sistem merkezinde bulunan yüksek kulenin oluşturduğu çekiş yardımıyla hava sistemin merkezine doğru yönlendiği görülmektedir. Sayısal çözümleme ile elde edilmiş sonuçlar incelendiğinde hava hızı kolektör girişinden itibaren kule girişine kadar yükselmekte, özellikle kule girişinde en yüksek değerine ulaşmaktadır. Kolektör örtü uzunluğunun artırılması çıkış hızını arttırmıştır.



Şekil 5.11. Isı akısına bağlı kolektör çıkışı hava hızı değişimi ($H_k = 1,7$ m).

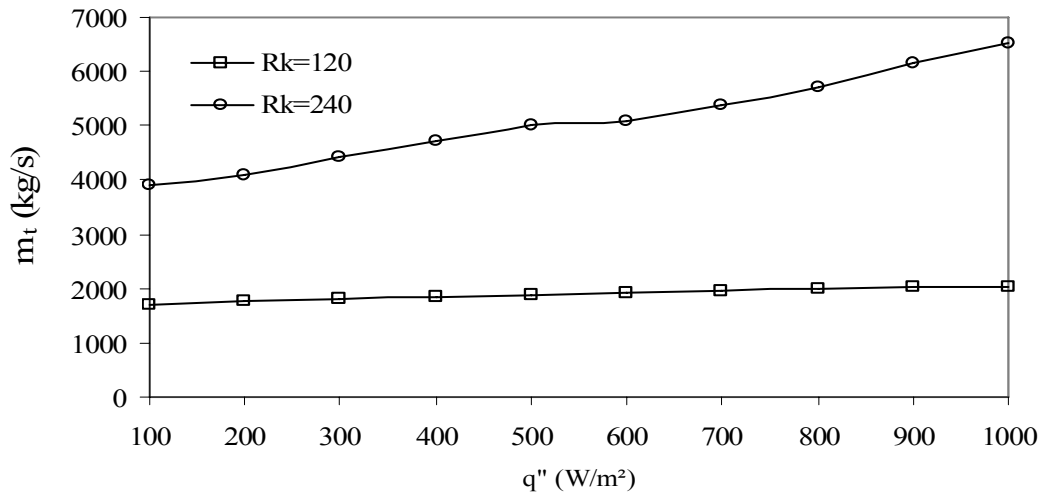


Şekil 5.12. Isı akısına bağlı hava hızı değişimi ($R_k=120$ m, $H_k=1,7$ m).



Şekil 5.13. Isı akısına bağlı hava hızı değişimi ($R_k=240$ m, $H_k=1,7$ m).

Kolektör girişinden sistem içerisine giren soğuk hava q'' ısı akısı etkisindeki yüzey boyunca sıcaklığı artmakta, artan sıcaklıkla birlikte yoğunluğunun azalması ile yerçekimi kuvveti etkisi altında yükselmeye başlamaktadır. Sistem merkezine yerleştirilmiş olan bacanın çekiş etkisiyle hava sistemin merkezine yönelmektedir. Baca girişinde kesittin de etkisi ile hava hızının maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Hızdaki artış kolektör altındaki bölgeye daha fazla havanın girmesini sağlar. Kütlesel debinin ısı akısı ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı değişimi Şekil 5.14’de görülmektedir. Isı akısındaki ve kolektör örtü uzunluğunun artması debiyi artırmaktadır.



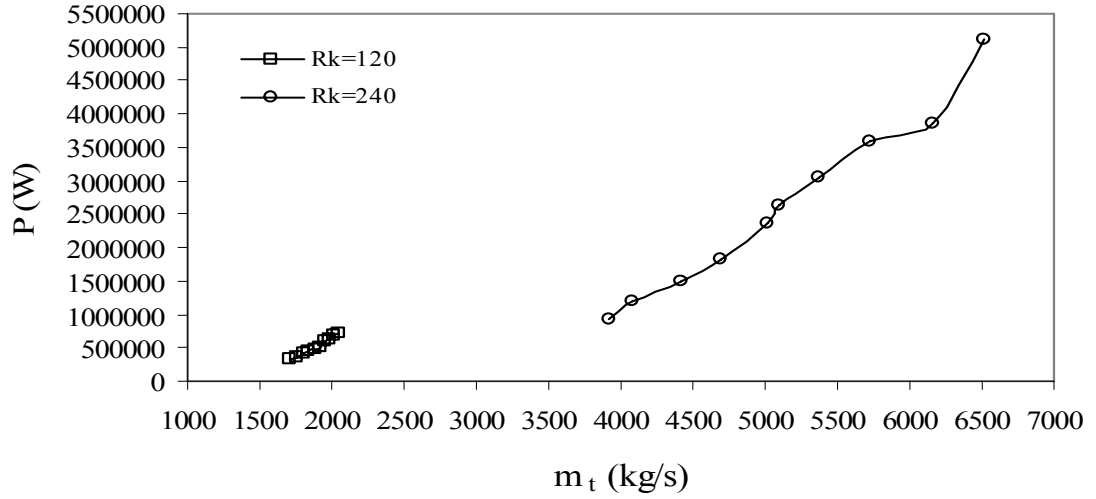
Şekil 5.14. Isı akısına ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı kütlesel debi değişimi ($H_k=1,7$ m).

Şekil 5.14’te kütlesel debi ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı olarak çıkış gücü görülmektedir. Sistemin çıkış gücü, kütlesel debi ile hız bir fonksiyonu olması, artan debi ve hızla orantılı olarak üretilen gücü artırmaktadır. Sistem içerisine giren hava debisinin artması güneş kulesi sisteminin çıkış gücünü artırmaktadır. Güneş kulesi çıkış gücü [20];

$$P = m \frac{V_t^2}{2} \quad (5.7)$$

formülü ile hesaplanır.

V_t ise türbin giriş hızıdır. Kolektör örtü uzunluğu arttıkça sistemin çıkış gücü artmaktadır.



Şekil 5.15. Kütlesel debi ve kolektör örtü uzunluğuna bağlı çıkış gücü değişimi ($H_k=1,7$ m).

Şekil 5.16-Şekil 5.24 de 100, 500 ve 1000 W/m² ısı akılarında $H_k=1,7$ m, $R_k=120$ m, $D_b=10$ m, $H_b=195$ m parametreleri sabit tutularak sayısal çözümleme ile elde edilen havanın kolektör girişi, kolektör çıkış-kule girişi ve baca çıkışındaki sıcaklık konturları ile hız vektörleri ayrıntılı olarak görülmektedir.

Sıcaklık konturları incelendiğinde, havanın sıcaklığı artan ısı akısına bağlı olarak kolektör girişinden başlayarak kule girişine kadar ki L_z zemin uzunluğu boyunca artmaktadır. Havanın sıcaklığı türbin kaidesi ile zemin birleşme bölgesinde en yüksek değerine ulaşmaktadır. Türbinden sonra sıcaklığın düştüğü görülmektedir.

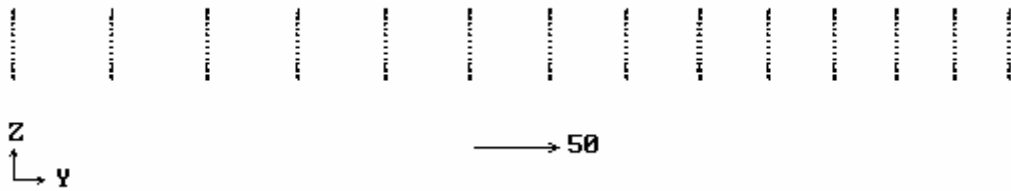
Hız vektörleri incelendiğinde, hızın kolektör girişinden itibaren kule giriş bölümüne kadar düzgün bir dağılım göstermektedir. Hızın kolektör çıkışı ile türbin arasında yüksek olduğu görülmektedir. Akışta, türbin kaidesi üst kısmında türbülans oluşturmaktadır.

Buradan hareketle, hava sıcaklığının, ısı akısındaki artış ile yükseldiğini, sıcaklığın zemine yakın yüzeylerde yüksek, özellikle kolektör çıkışında türbin kaidesi zemin birleşme bölgesinde en yüksek değere ulaştığını, türbinden sonra ise sıcaklığın

düşüğünü söyleyebiliriz. Hava hızının da ısı akısındaki artışla yükseldiği, kolektör girişinden başlayarak kolektör çıkışına kadar yükseldiği görülmekte, kolektör çıkışında kesite bağlı olarak en yüksek değerine ulaşmaktadır. Türbin kaidesi üst kısmında akış geometriye bağlı olarak türbülans oluşturmaktadır.

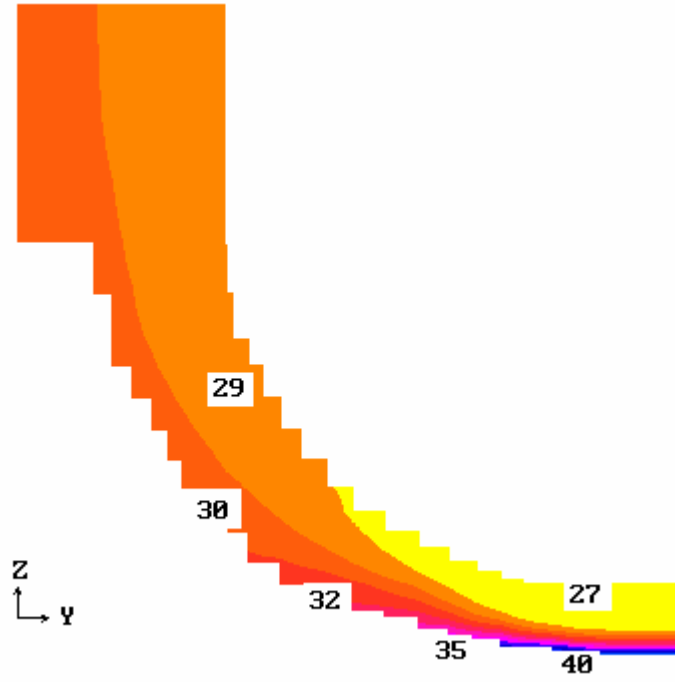


(a)

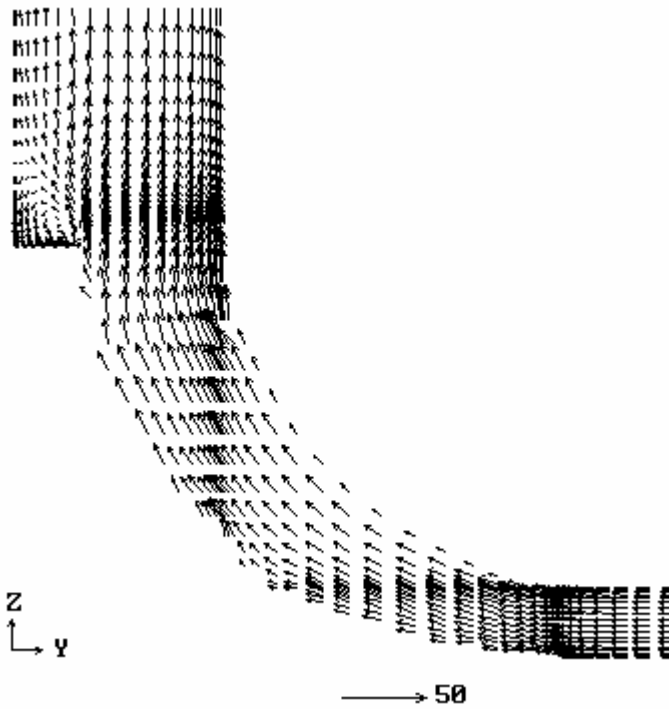


(b)

Şekil 5.16. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

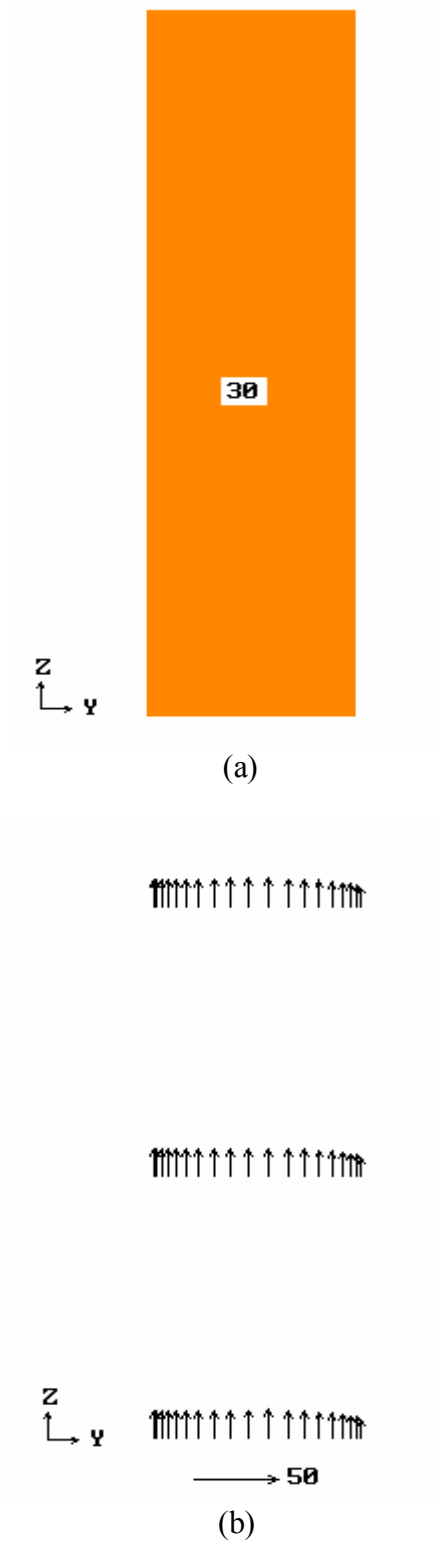


(a)



(b)

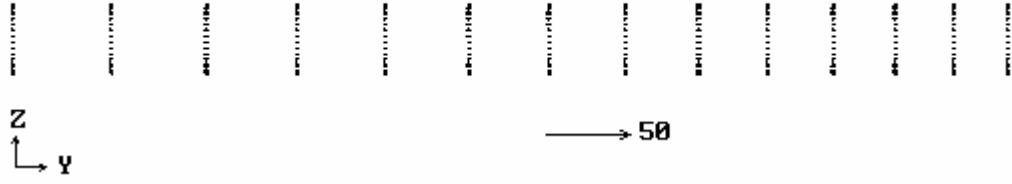
Şekil 5.17. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



Şekil 5.18. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

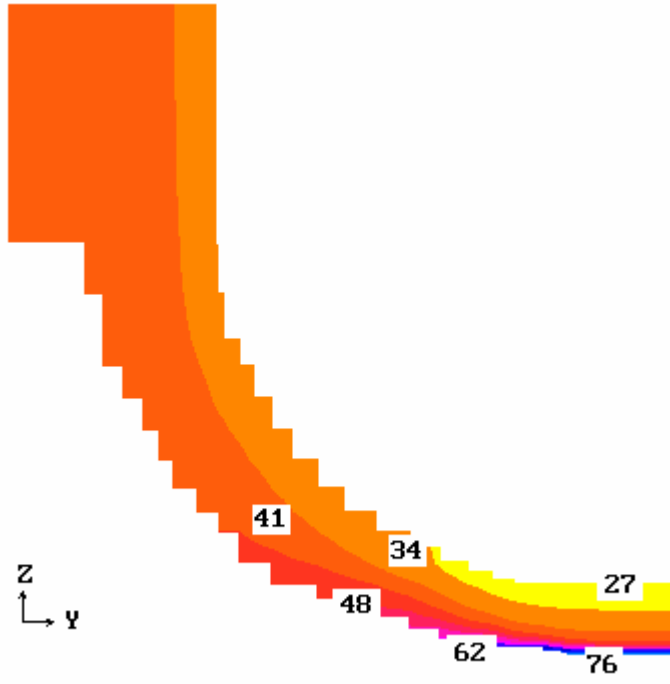


(a)

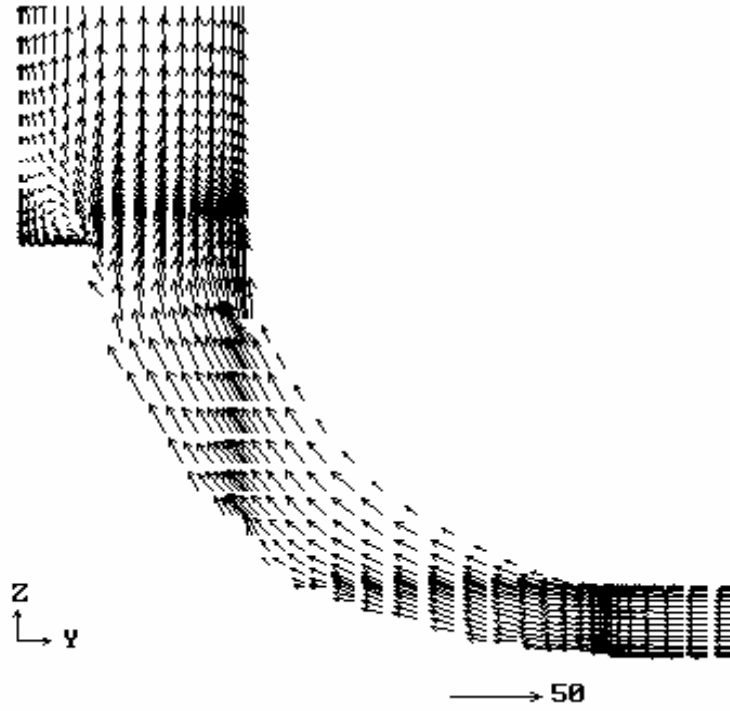


(b)

Şekil 5.19. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri .

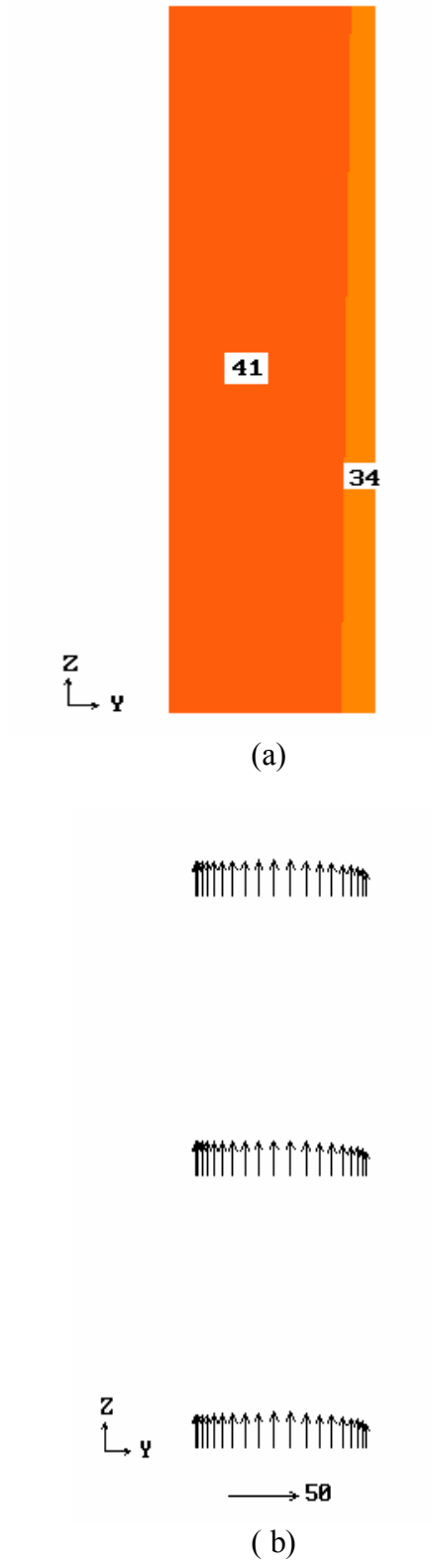


(a)



(b)

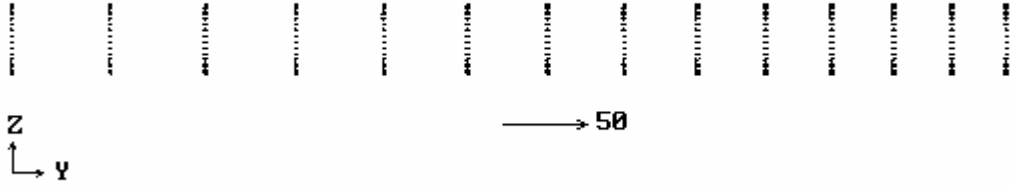
Şekil 5.20. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



Şekil 5.21. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500 \text{ W/m}^2$, $H_k = 1,7 \text{ m}$, $R_k = 120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

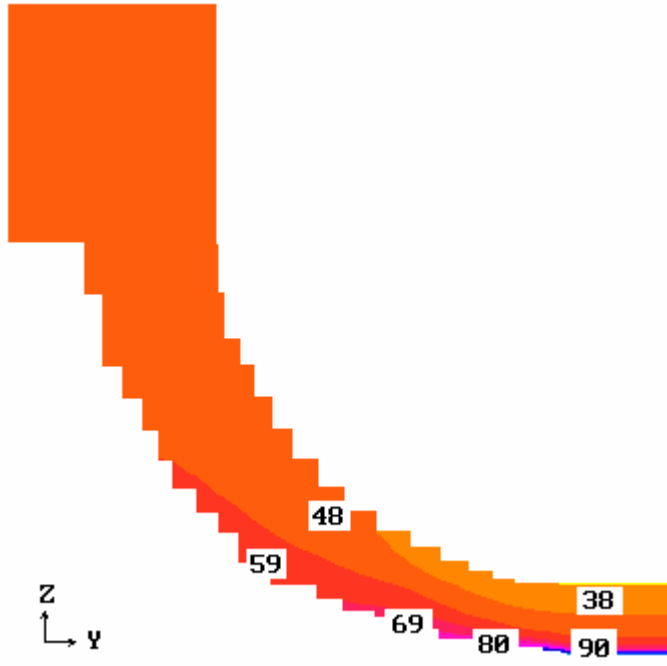


(a)

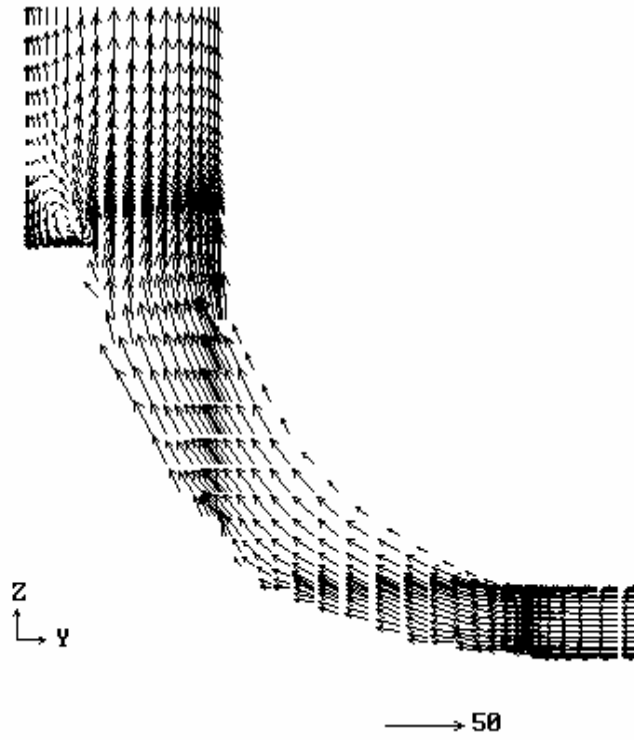


(b)

Şekil 5.22. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

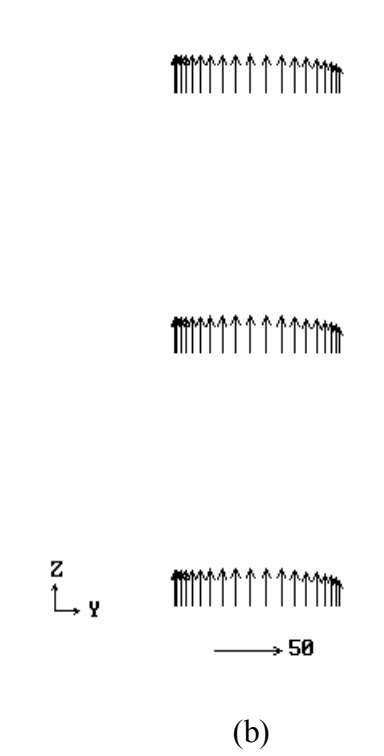
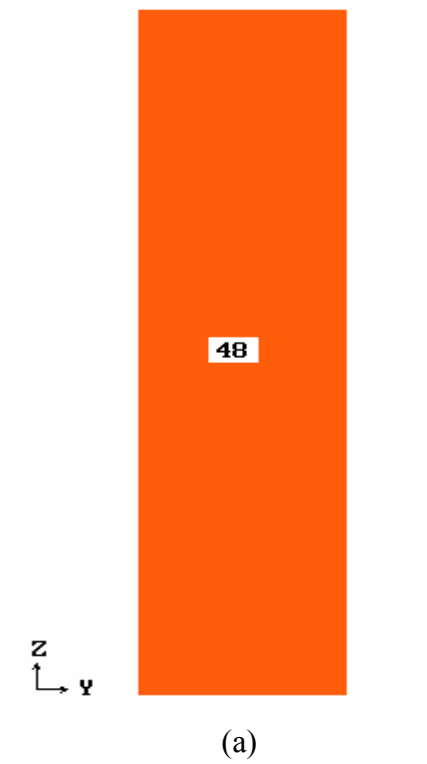


(a)



(b)

Şekil 5.23. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_K=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



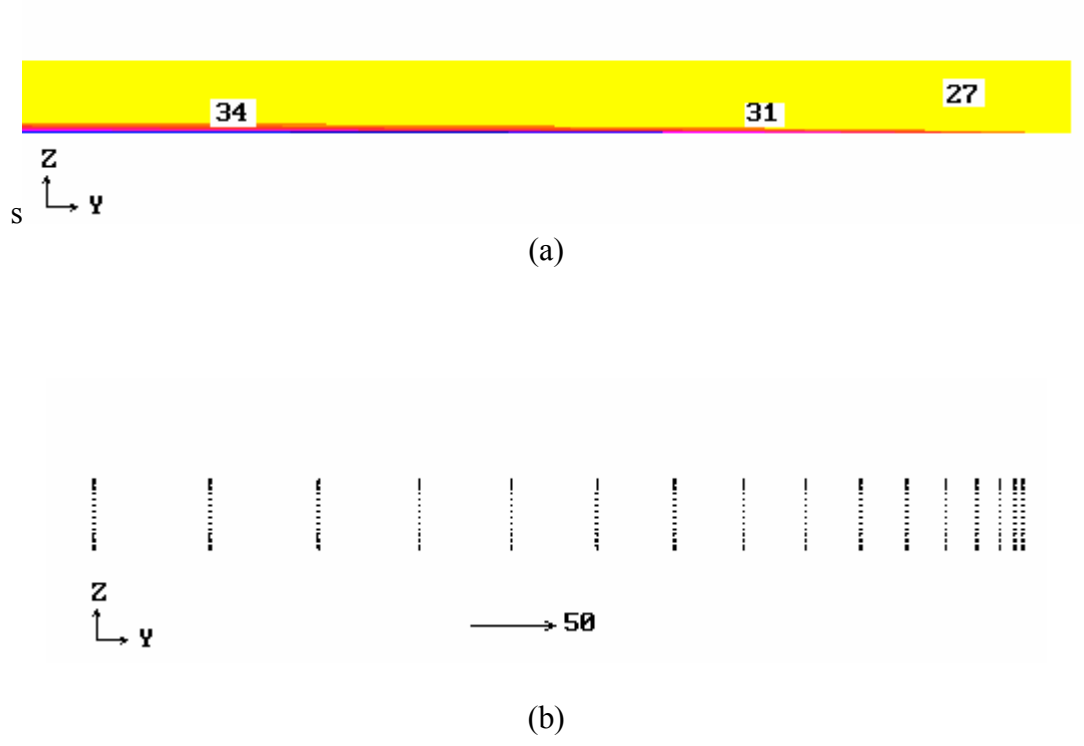
Şekil 5.24. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_K=120 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

Şekil 5.25–Şekil 5.33 ‘de 100, 500 ve 1000 W/m² ısı akılarında ve kolektör örtü uzunluğu $R_k=240$ m dışındaki tüm parametreler sabit tutularak sayısal çözümleme ile elde edilen sonuçlara göre havanın kolektör girişi, kolektör çıkış-kule girişi ve baca çıkışındaki sıcaklık konturları ile hız vektörleri ayrıntılı olarak görülmektedir.

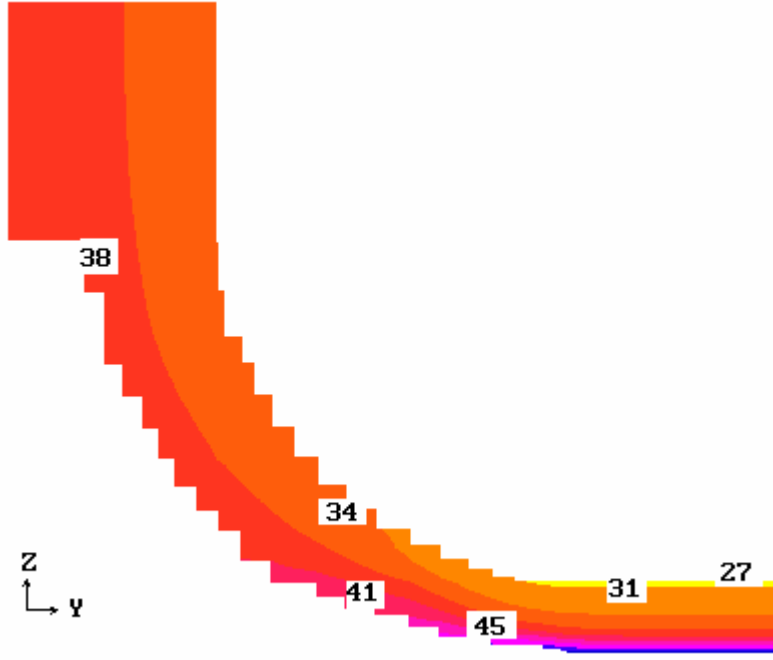
Sıcaklık konturları incelendiğinde, havanın sıcaklığı artan ısı akısına bağlı olarak kolektör girişinden başlayarak kule girişine kadar ki L_z zemin uzunluğu boyunca artmaktadır. Kolektör örtü uzunluğunun artması havanın daha yüksek sıcaklıklara ulaşmasını sağlamaktadır.

Hız vektörleri incelendiğinde, hızın kolektör girişinden itibaren kule giriş bölümüne kadar düzgün bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Hızın kolektör çıkışı ile türbin arasında yüksek olduğu görülmektedir. Akış, türbin kaidesi üst kısmında türbülans oluşturmaktadır.

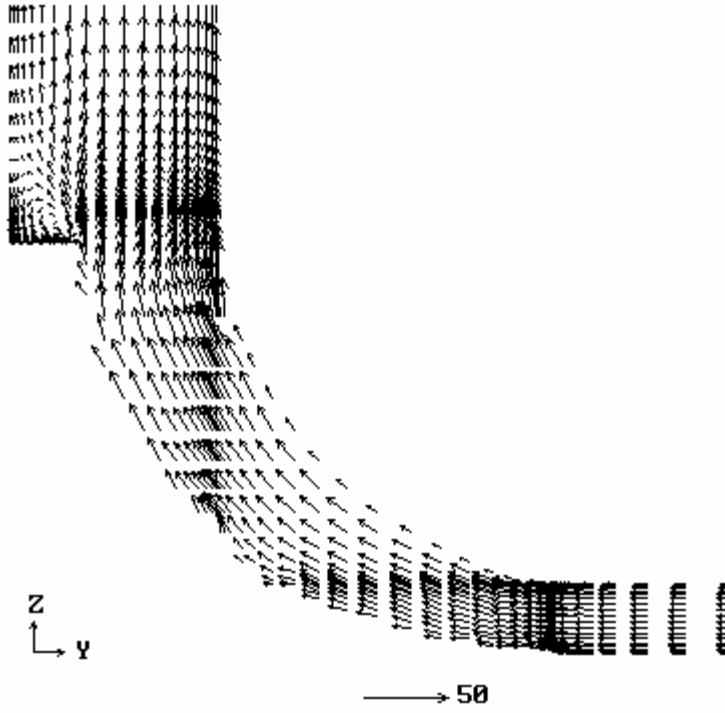
Buradan şu sonuca ulaşabilmekteyiz; hava sıcaklığının, ısı akısı ve kolektör örtü uzunluğundaki artış ile yükseldiği, sıcaklığın zemine yakın yüzeylerde yüksek olduğu, özellikle kolektör çıkışında türbin kaidesi zemin birleşme bölgesinde en yüksek değere ulaştığı, türbinden sonra ise sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Hava hızının da ısı akısındaki artışla yükseldiği, kolektör girişinden başlayarak kolektör çıkışına kadar arttığı görülmekte, kolektör çıkışında kesite bağlı olarak en yüksek değerine ulaşmaktadır. Türbin kaidesi üst kısmında akış geometriye bağlı olarak türbülans oluşturmaktadır.



Şekil 5.25. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

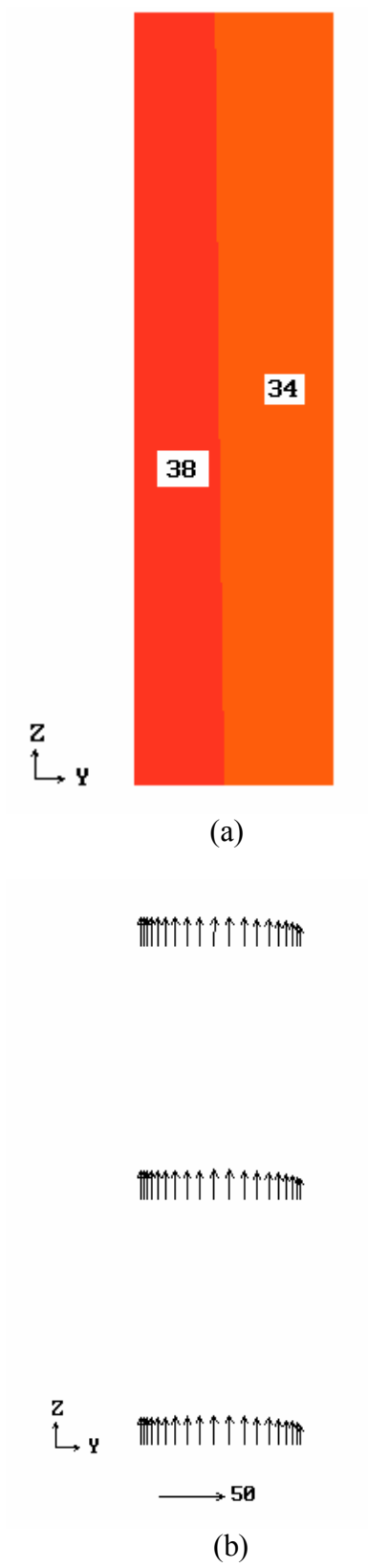


(a)

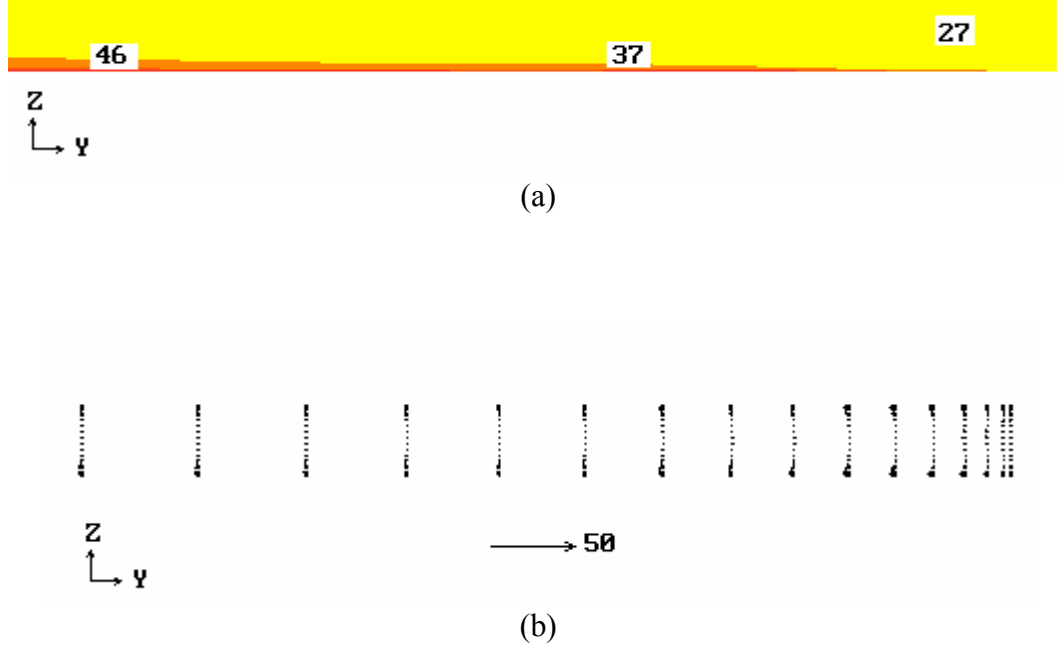


(b)

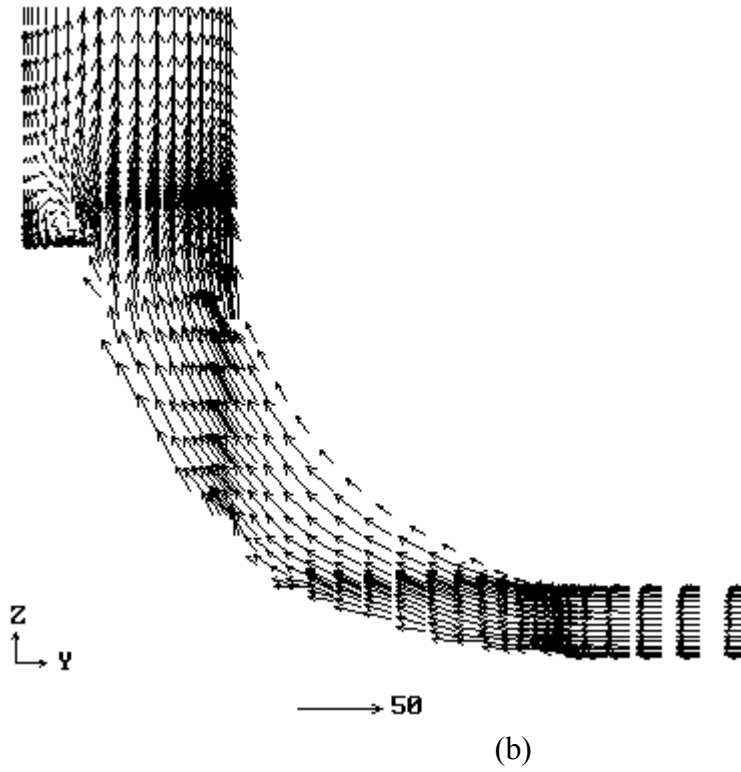
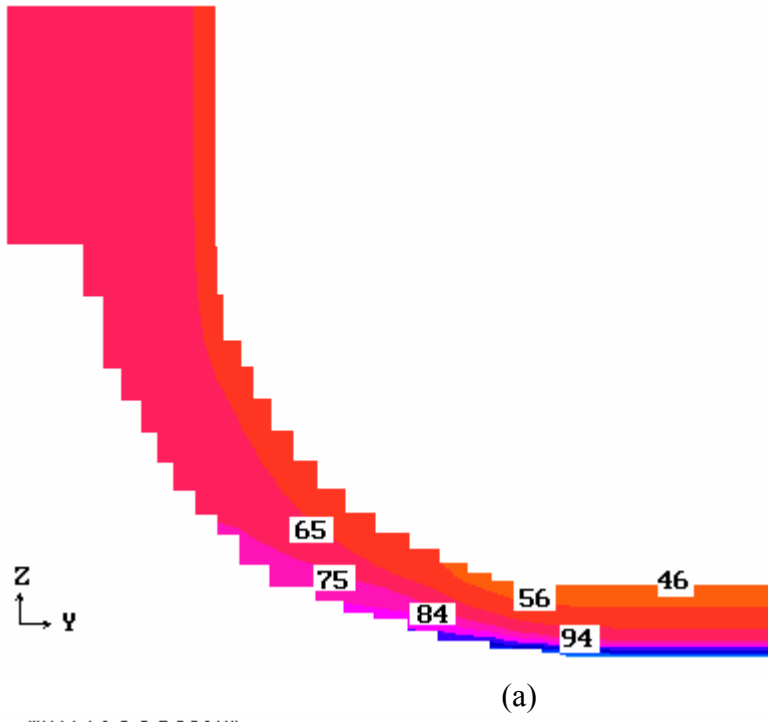
Şekil 5.26. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



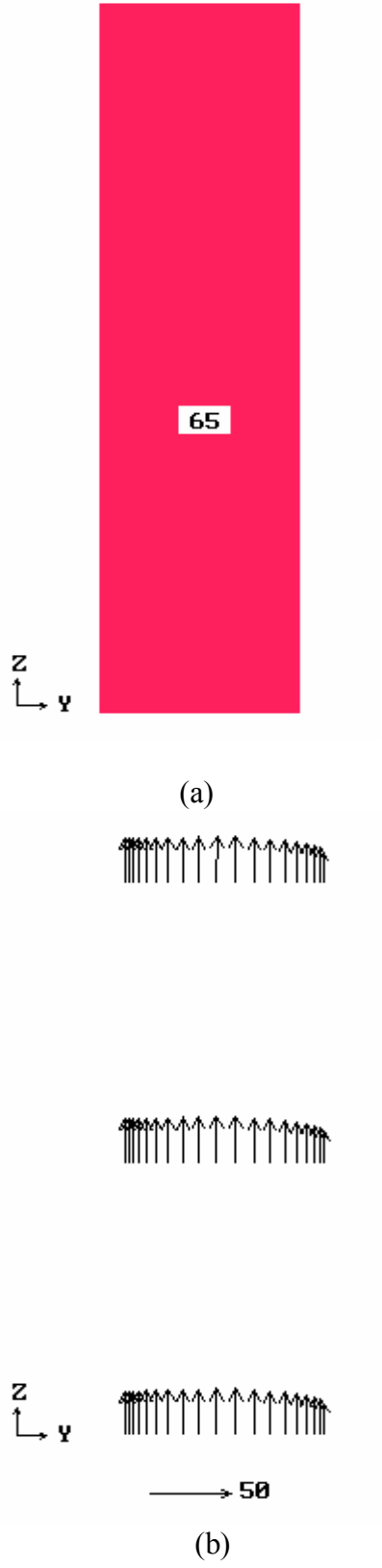
Şekil 5.27. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.28. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



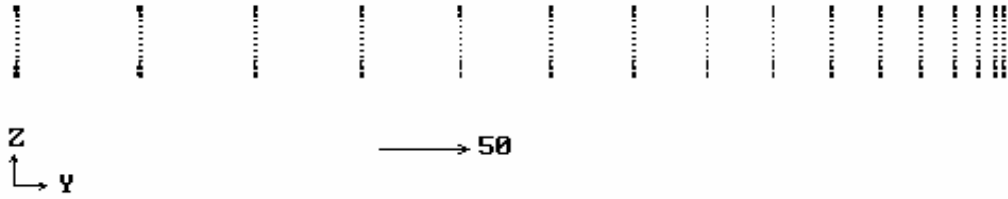
Şekil 5.29. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



Şekil 5.30. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500 \text{ W/m}^2$, $H_k = 1,7 \text{ m}$, $R_k = 240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

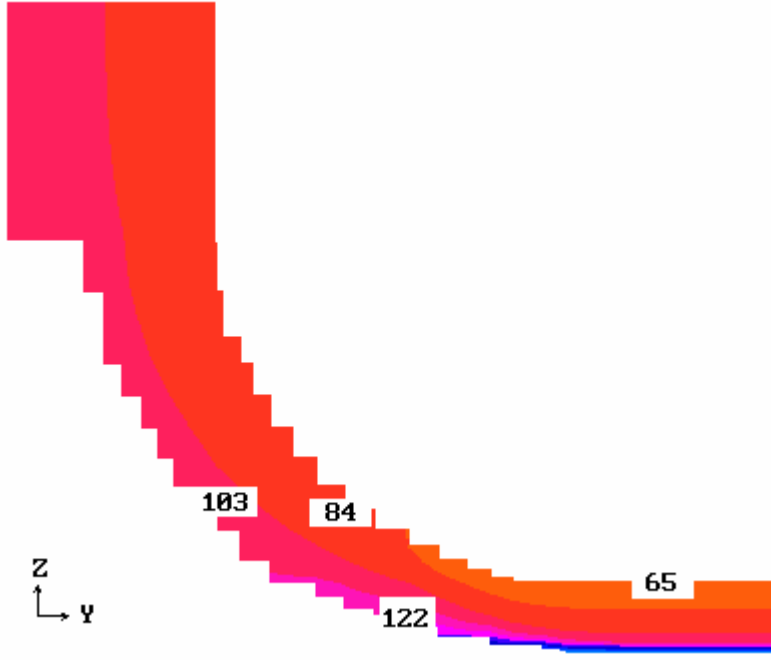


(a)

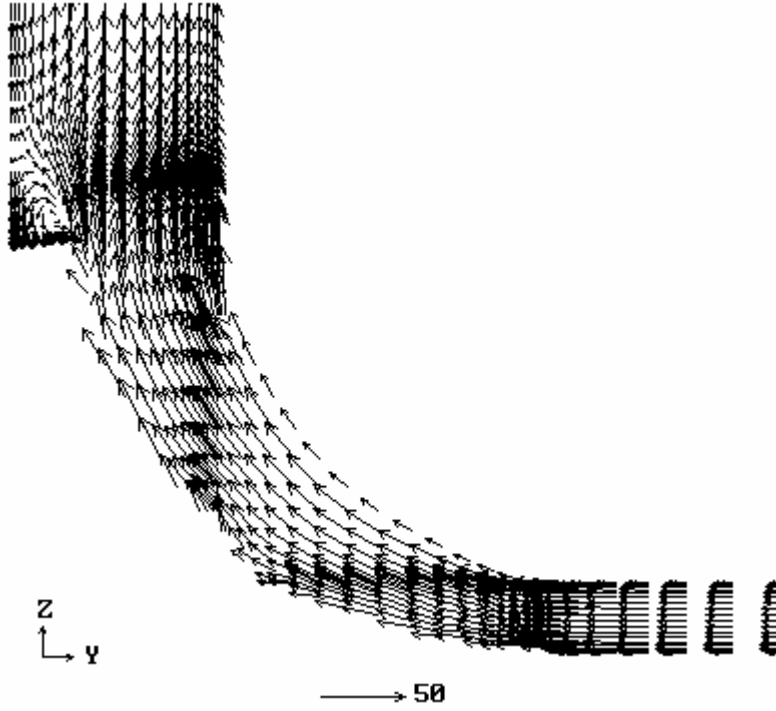


(b)

Şekil 5.31. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

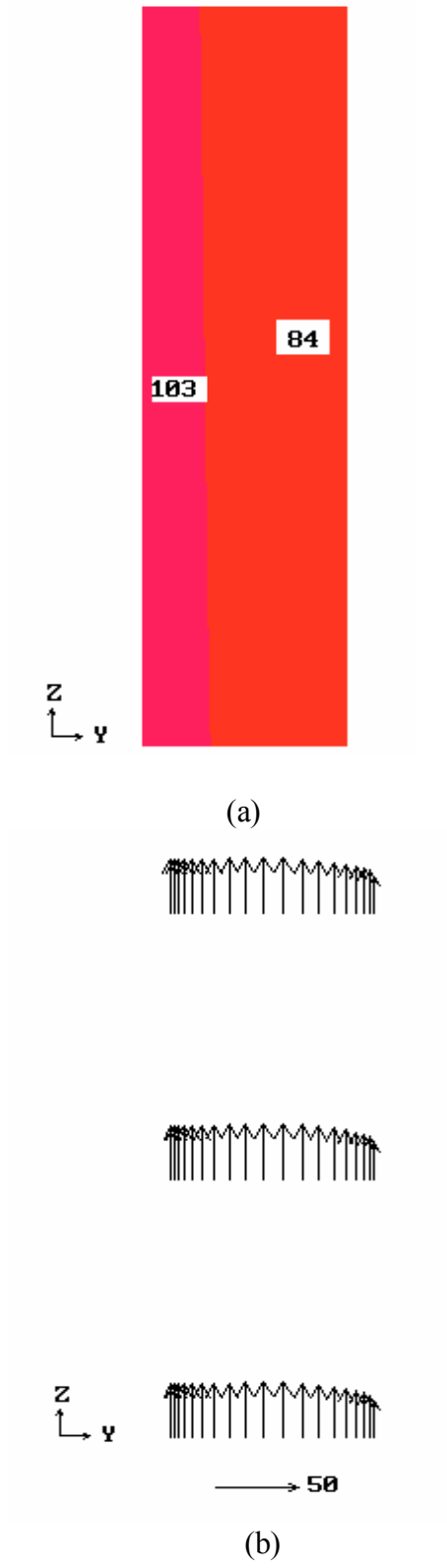


(a)



(b)

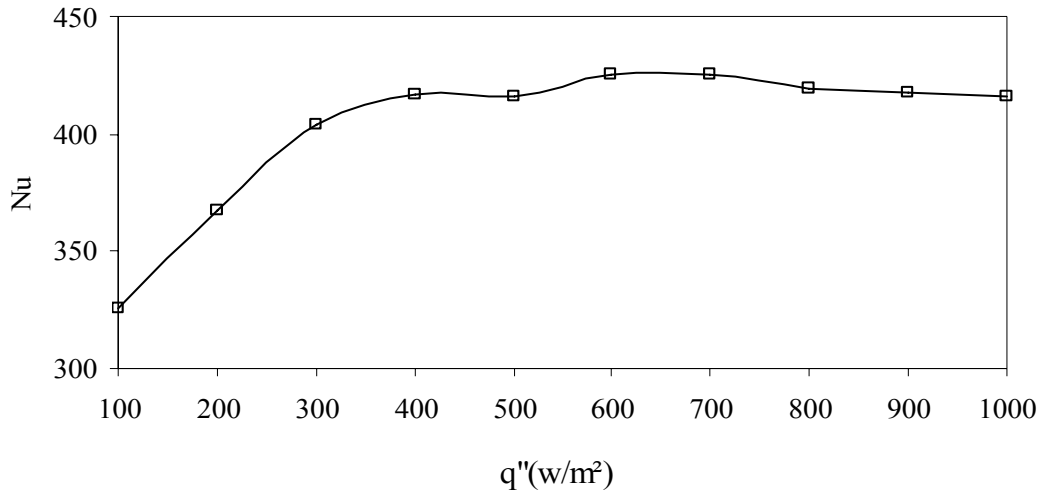
Şekil 5.32. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



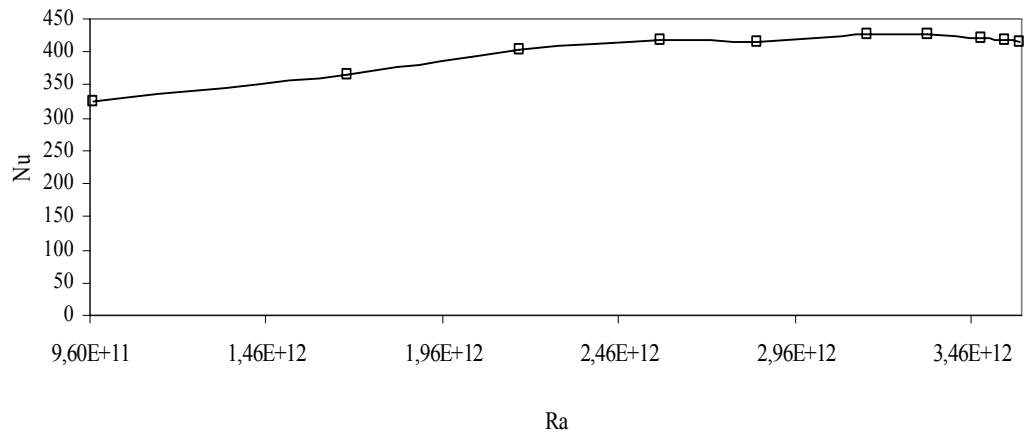
Şekil 5.33. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=1,7 \text{ m}$, $R_k=240 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

5.3.2. $H_k=3,4$ m kolektör yüksekliğinde, değişen ısı akısının ısı transferine etkisinin incelenmesi

Bu bölümde güneş kulesi sisteminde kolektör yüksekliği $H_k=3,4$ m alınmış, diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla değişen ısı akısına bağlı doğal konveksiyon akışındaki değişim ayrıntılı olarak incelenmiş, PHOENICS programıyla elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 5.34'te ısı akısına bağlı Nusselt sayısının değişimi görülmektedir.

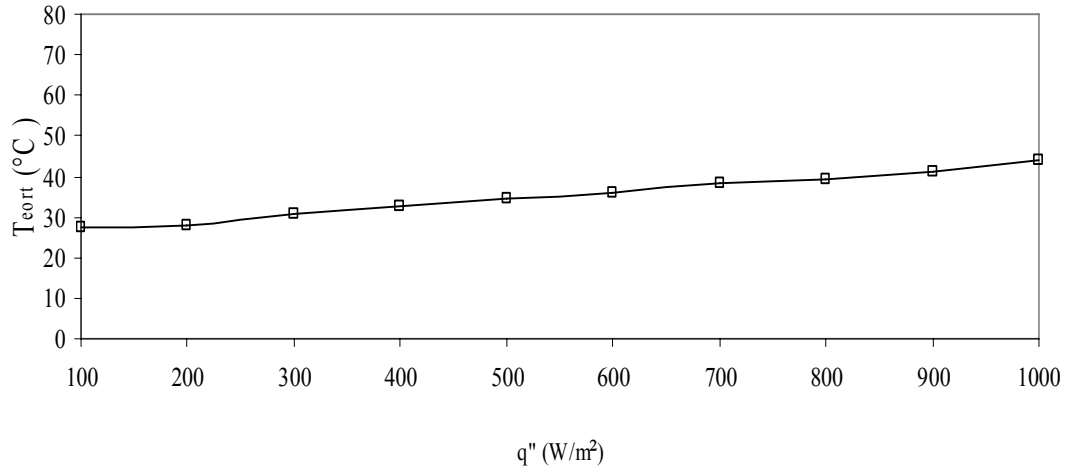


Şekil 5.34. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında değişimi, ($q''=100-1000$ W/m², $H_k=3,4$ m).

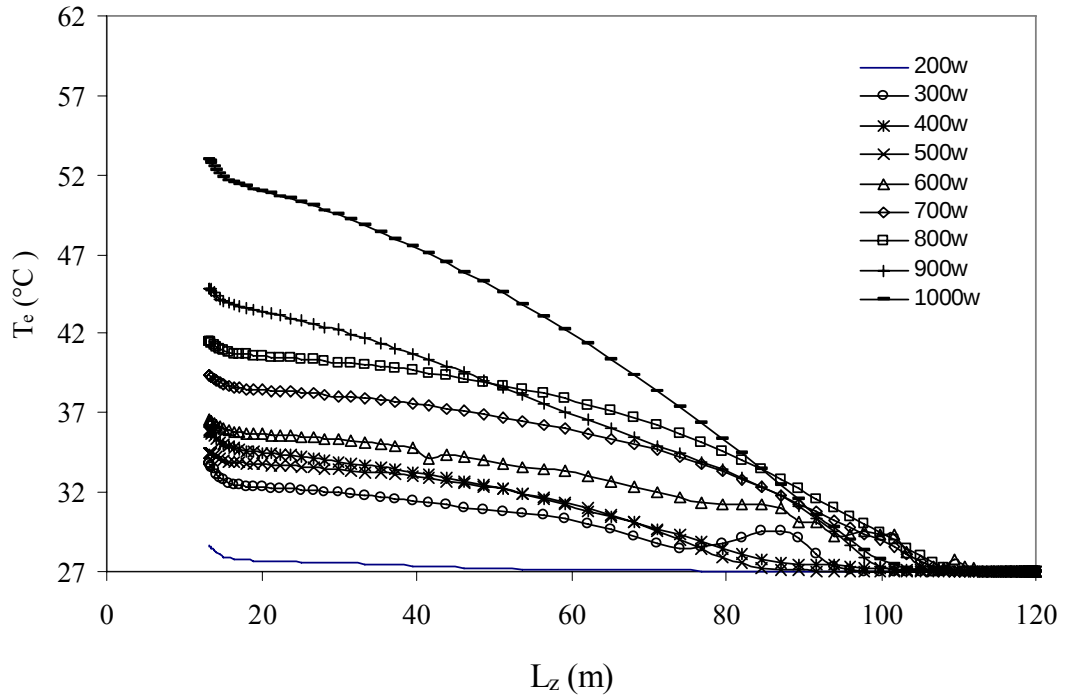


Şekil 5.35. Ra sayısına bağlı Nu sayısının değişimi ($q''=100-1000$ W/m², $H_k=3,4$ m).

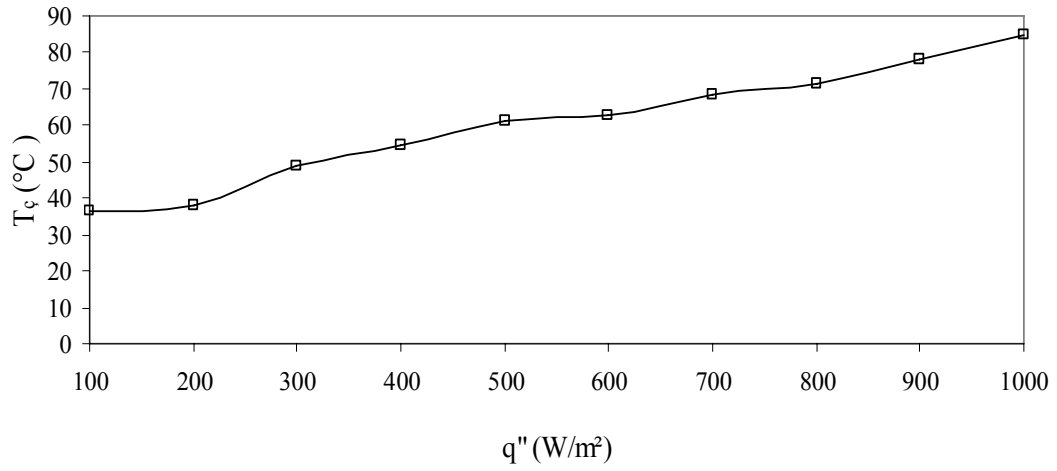
Şekil 5.36’da $z=H_k/2$ ekseninde T_{eort} ortalama sıcaklığının ısı akısı ile değişimi, Şekil 5.37’de T_e sıcaklığının L_z zemin boyunca ve Şekil 5.38’de de hava sıcaklığının kolektör çıkışında ısı akısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Isı akısındaki artış havanın sıcaklığında sürekli arttırmaktadır.



Şekil 5.36. Isı akısına bağlı ortalama sıcaklık değişimi, ($z=H_k/2$, $H_k=3,4$ m).

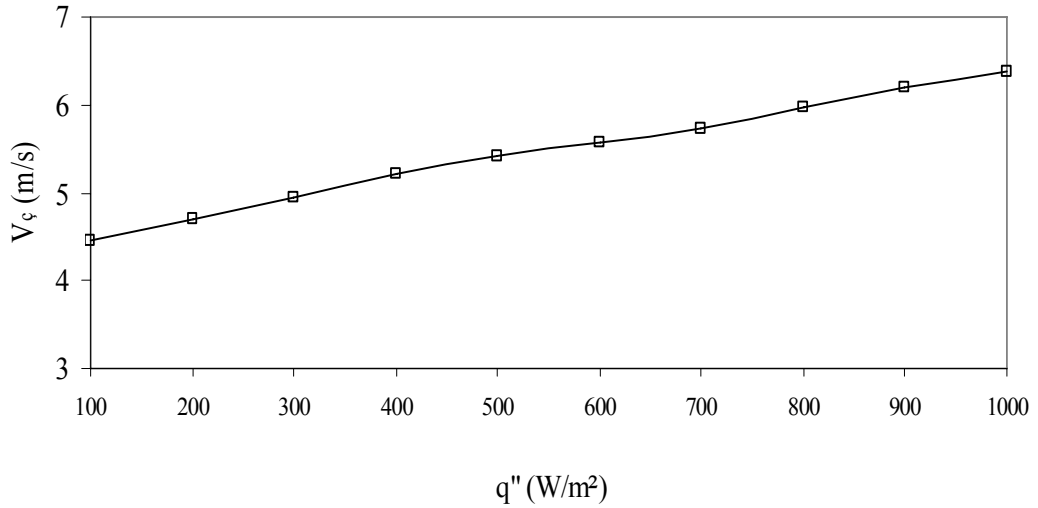


Şekil 5.37. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi, ($H_k=3,4$ m).

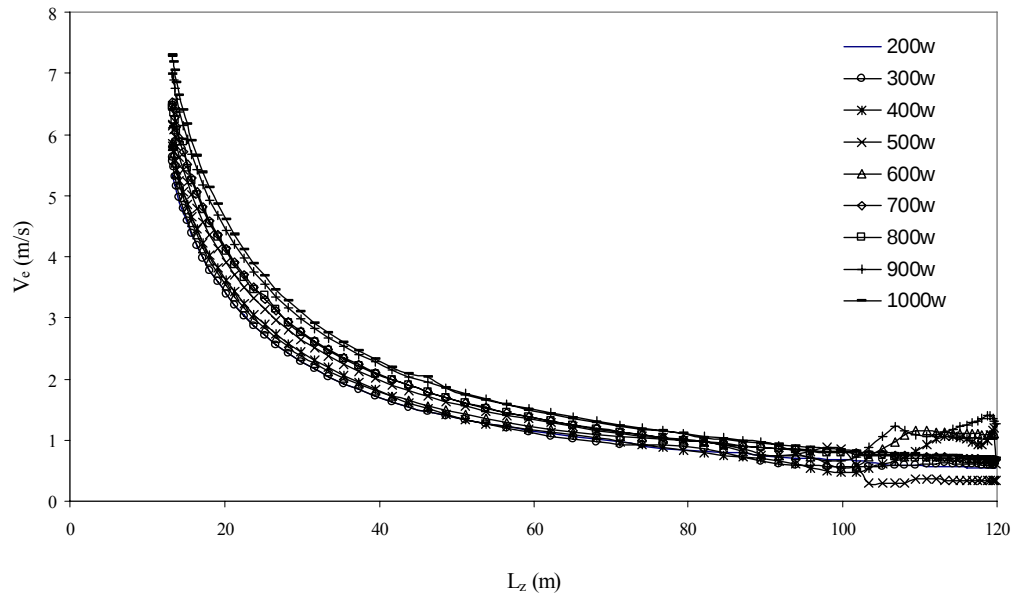


Şekil 5.38. Isı akısına bağlı kolektör çıkış sıcaklık değişimi, ($H_k=3,4$ m).

Şekil 5.39’da kolektör altına giren havanın kolektör çıkışındaki hızının ısı akısıyla değişimi, Şekil 5.40’ da ise V_e hızının L_z zemin uzunluğu boyunca değişimi görülmektedir. Şekiller incelenirse hava hızının ısı akısıyla orantılı arttığı ve kolektör çıkışı baca girişi bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

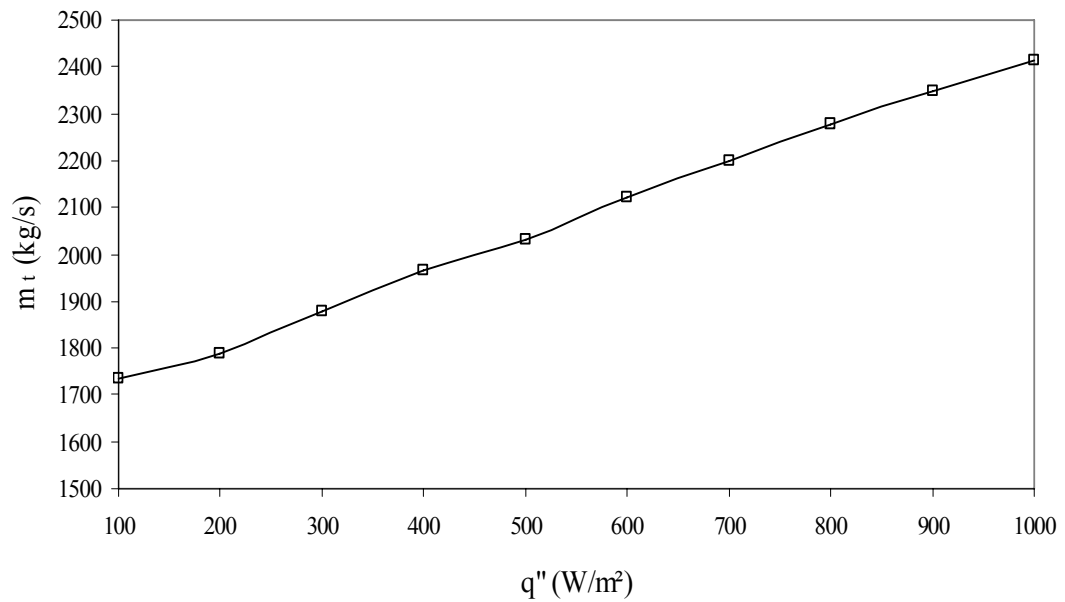


Şekil 5.39. Isı akısına bağlı kolektör çıkışı hava hızı değişimi, ($H_k=3,4$ m).



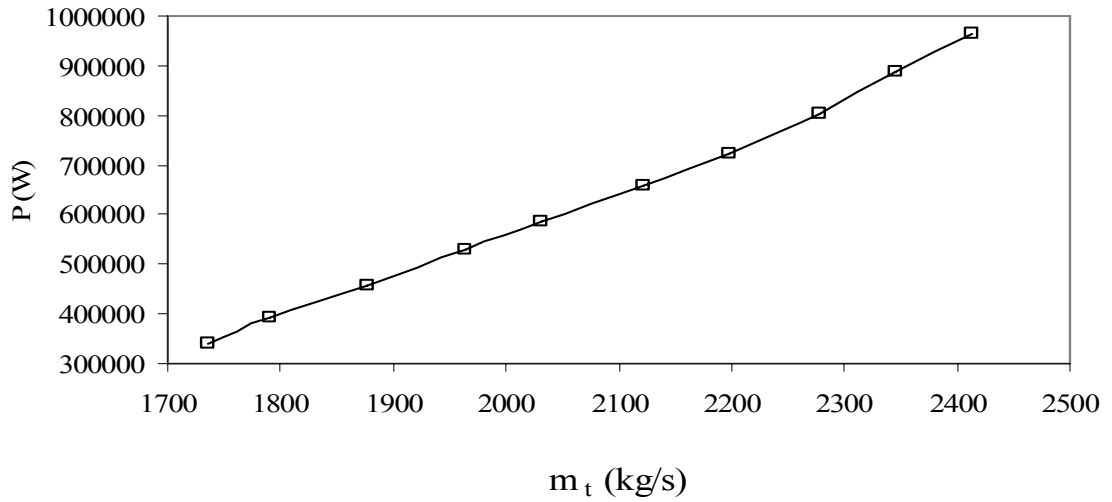
Şekil 5.40. Isı akısına bağlı kolektör çıkışı hava hızı değişimi ($H_k=3,4$ m).

Şekil 5.41'de $H_k=3,4$ m kolektör yüksekliği için ısı akısının kütleli debi üzerinde değişimi görülmektedir. Artan kolektör yüksekliğinin kolektör altındaki alanı artırması nedeniyle sistem içerisine giren hava miktarı artmaktadır.



Şekil 5.41. Isı akısına bağlı kütleli debi değişimi ($H_k=3,4$ m).

Şekil 5.42 'de kütleli debi çıkış gücü değişimi görülmektedir. H_k kolektör yüksekliği artışı kolektör ile zemin arasındaki hacmi artırmasından dolayı sisteme giren hava miktarı artmaktadır. Hava debisindeki değişim sistem çıkış gücü üzerinde kapasiteyi belirleyen bir unsurdur.



Şekil 5.42. Kütleli debiye bağlı çıkış gücü değişimi ($H_k=3,4$ m).

Şekil 5.43 ile Şekil 5.51 de $H_k=3.4$ m kolektör yüksekliğine bağlı 100, 500, 1000 W/m^2 ısı akıları için yapılan sayısal çözümleme ile elde edilen sonuçlara bağlı sıcaklık konturları ve hız vektörleri ayrıntılı olarak görülmektedir.

Sıcaklık konturlarına incelendiğinde ısı akısının artması zemin sıcaklığını artırmakta kolektör örtü sıcaklığı ile hava giriş sıcaklığının sabit olması nedeniyle özellikle zemine yakın bölgeler daha yüksek sıcaklığa sahip iken kolektöre yüzeyine yakın bölgeler çevre sıcaklığında olduğu görülmektedir. Isının türbin girişinde kesitten dolayı arttığı ve özellikle türbin giriş kısmında en yüksek değerine ulaşmaktadır.

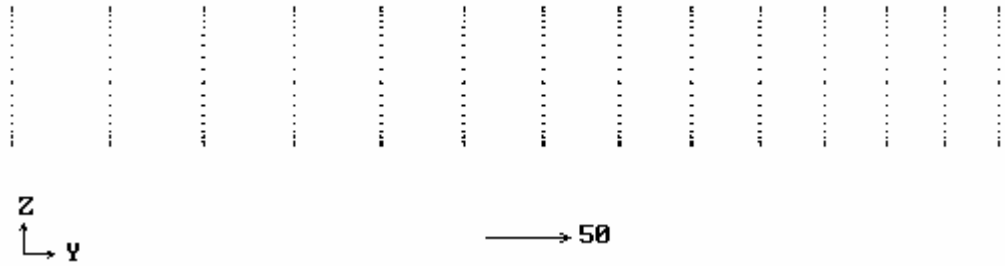
Hız vektörleri incelendiğinde ısı akısının artması ısınan havanın kuledeki çekiş nedeniyle sistemin merkezine yönelmekte ve özellikle türbin giriş kısmında hızın artmasıyla maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Hız vektörleri kolektör giriş kısmından itibaren düzgün dağılım gösterirken, zemine yakın yüzeylerde daha yüksek olduğu

görülmektedir. Hız türbin kaidesi üstünde türbülans oluşturmaktadır. Türbülans ısı akısındaki artışla artmaktadır.

Burada şu sonuca varabiliriz. Isı akısı hava sıcaklığını ve hızını arttırırken, kolektör örtü yüksekliğindeki artış sistem içerisine giren hava debisini arttırmakta ve sistem çıkış gücünün artmasını sağlamaktadır.

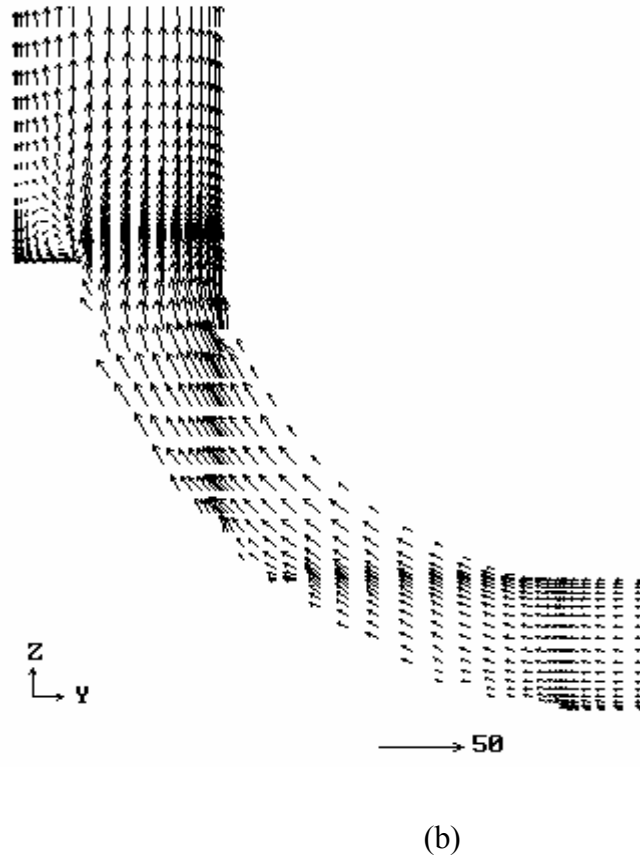
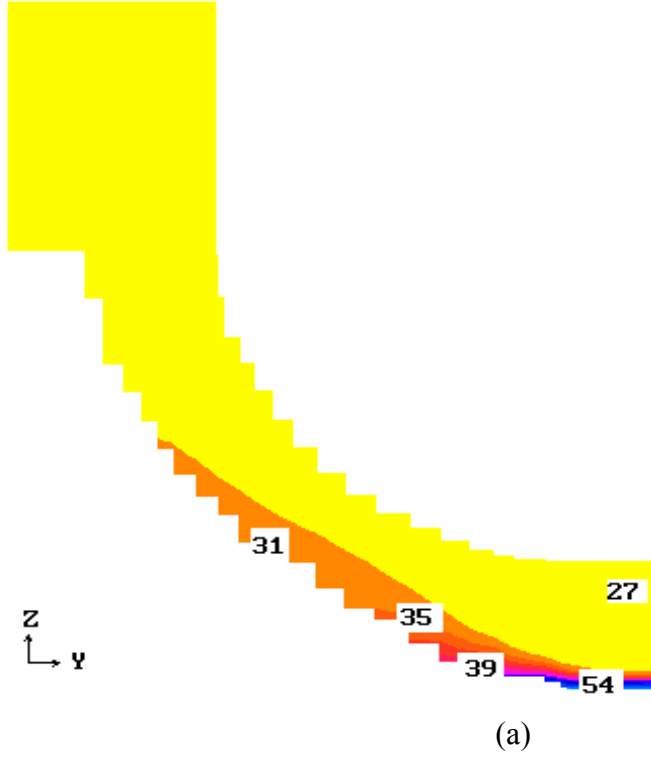


(a)

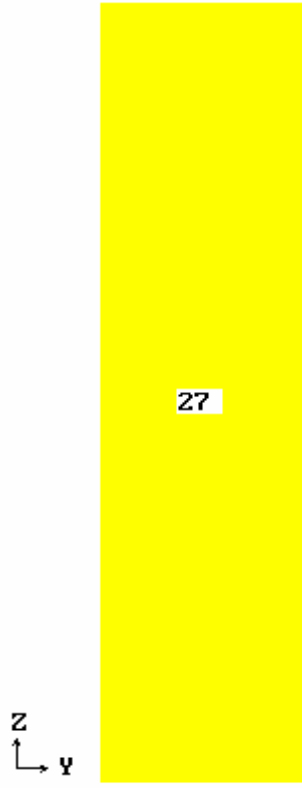


(b)

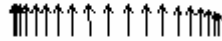
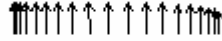
Şekil 5.43. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$)
a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.44. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi
 $(q''=100 \text{ W/m}^2, H_k=3,4 \text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

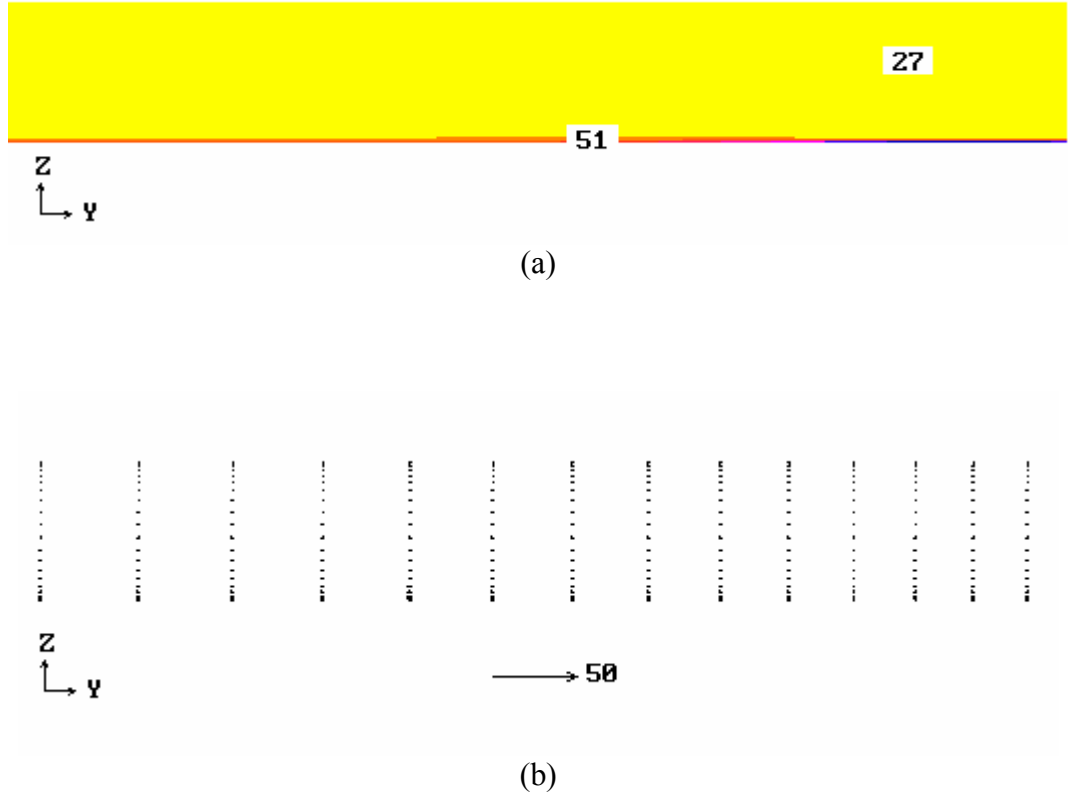


(a)

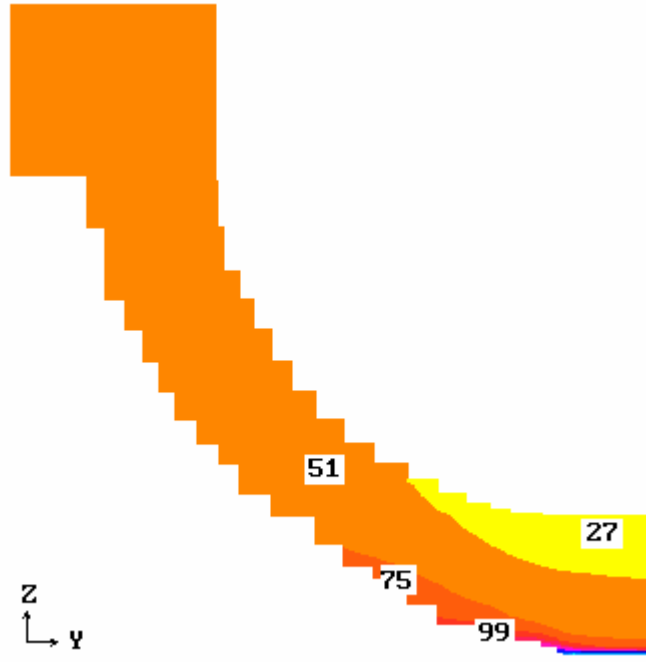


(b)

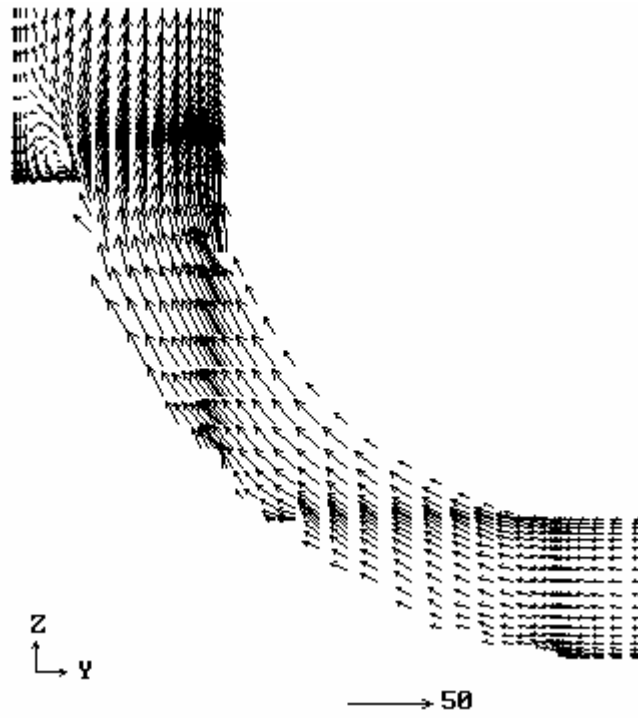
Şekil 5.45. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 100 \text{ W/m}^2$, $H_k = 3,4 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.46. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$)
a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

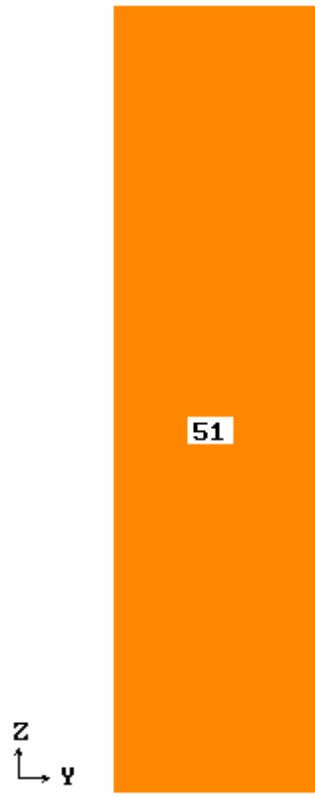


(a)

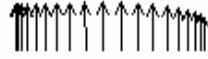


(b)

Şekil 5.47. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi
 $(q'' = 500 \text{ W/m}^2, H_k = 3,4 \text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

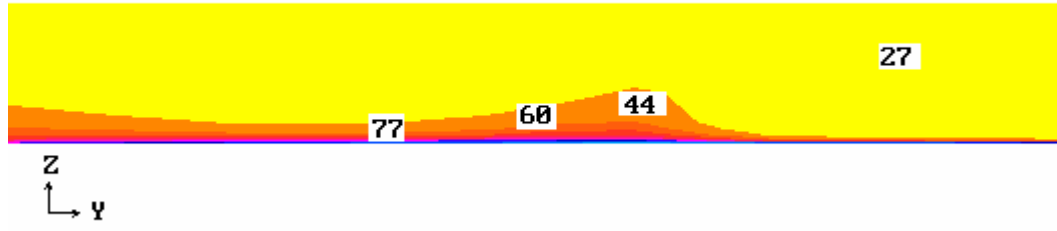


(a)

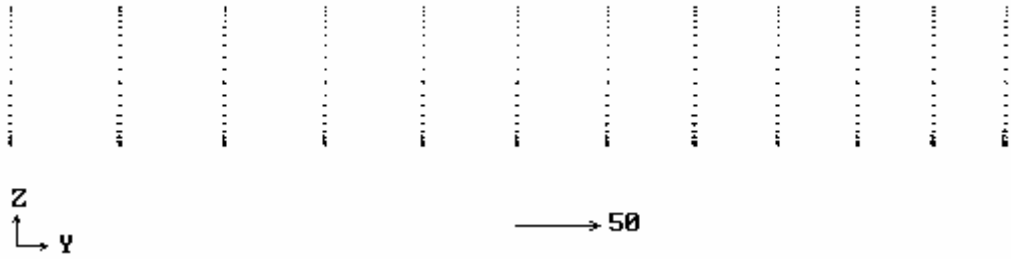


(b)

Şekil 5.48. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500 \text{ W/m}^2$, $H_k = 3,4 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

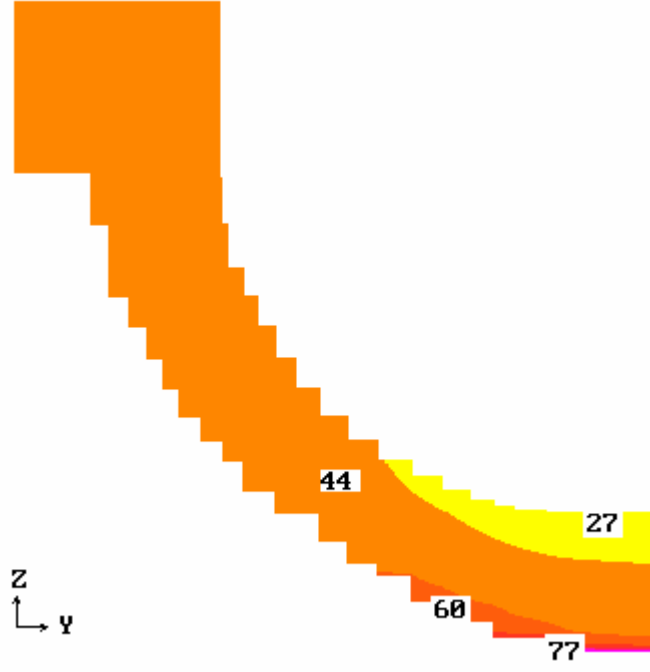


(a)

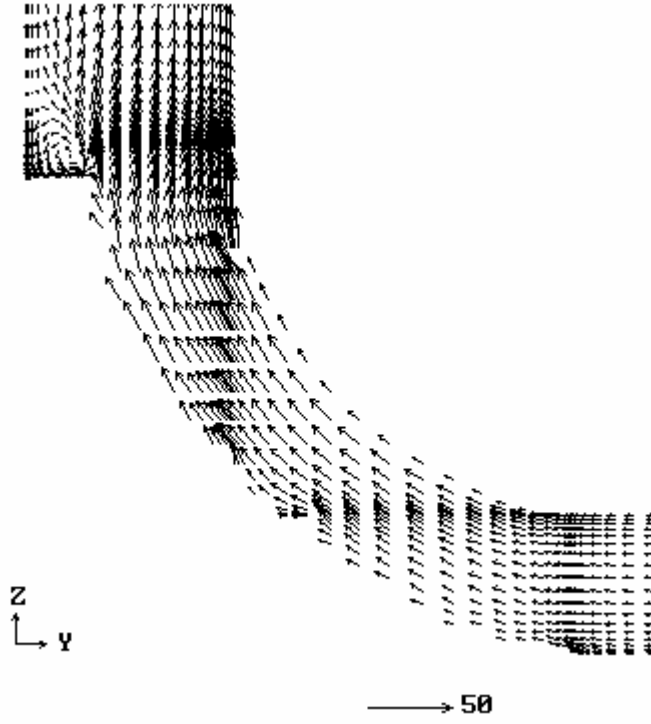


(b)

Şekil 5.49. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 1000 \text{ W/m}^2$, $H_k = 3,4 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



(a)

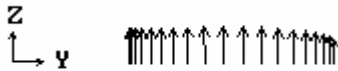
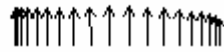
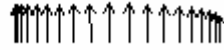


(b)

Şekil 5.50. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi
 $(q'' = 1000 \text{ W/m}^2, H_k = 3,4 \text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



(a)



→ 50

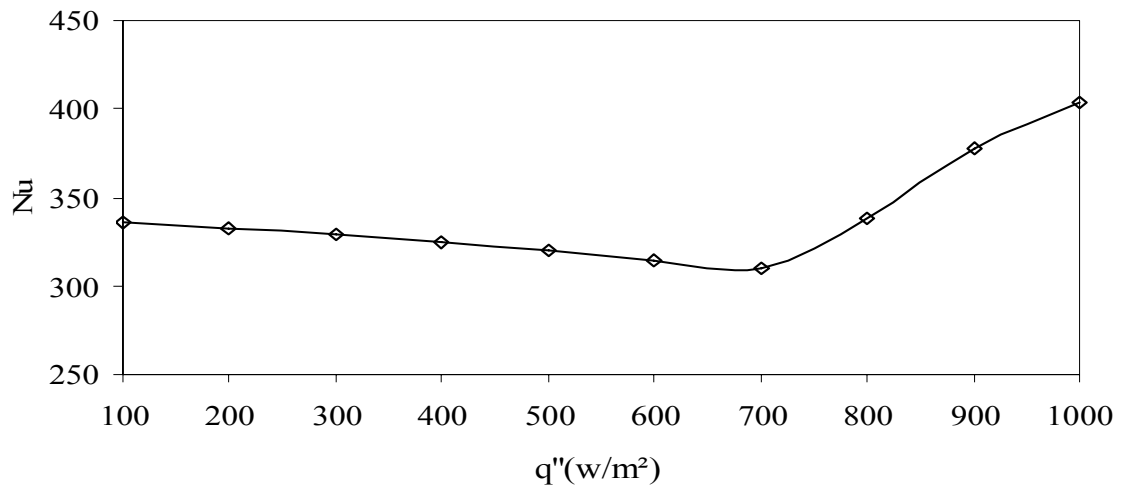
(b)

Şekil 5.51. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=3,4 \text{ m}$)
a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

5.3.3. $H_k=0,85$ m kolektör yüksekliğinde, değişen ısı akısının ısı transferine etkisinin incelenmesi

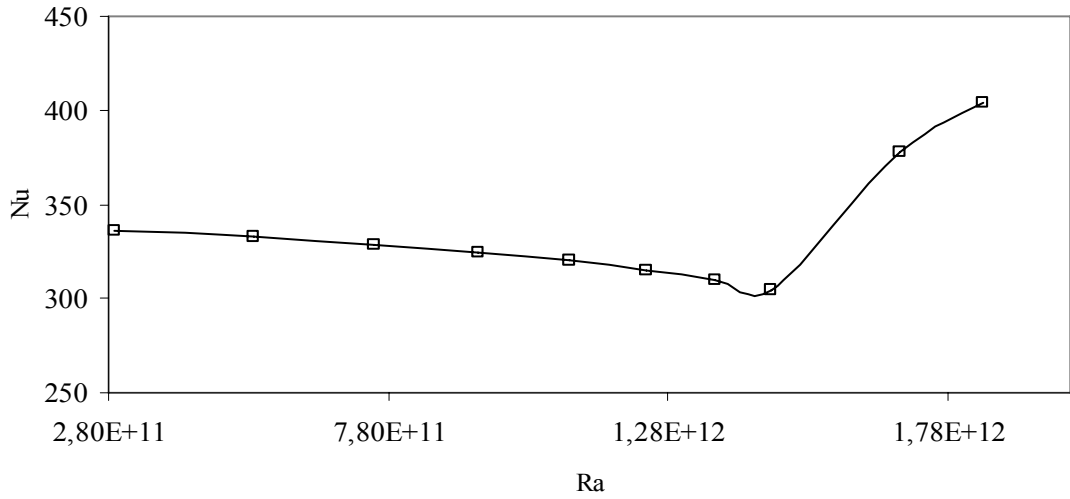
Bu bölümde güneş kulesi sisteminde kolektör yüksekliğinin $H_k=0,85$ m alınmış, diğer parametreler (R_k , H_b , D_b) sabit kalmak koşuluyla değişen ısı akısına bağlı doğal konveksiyon akışındaki değişim ayrıntılı olarak incelenmiş, sayısal çözümleme ile elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak verilmiştir.

Şekil 5.52’de $H_k=0,85$ m kolektör yüksekliği için yapılan sayısal çözümleme sonucuna göre Nusselt sayısının ısı akısıyla değişim görülmektedir. Nu sayısı 700 W/m^2 ısı akısı değerine kadar yükselirken 800 W/m^2 biraz düşme olmakta, 1000 W/m^2 ‘ye kadar hızlı bir artış göstermektedir.



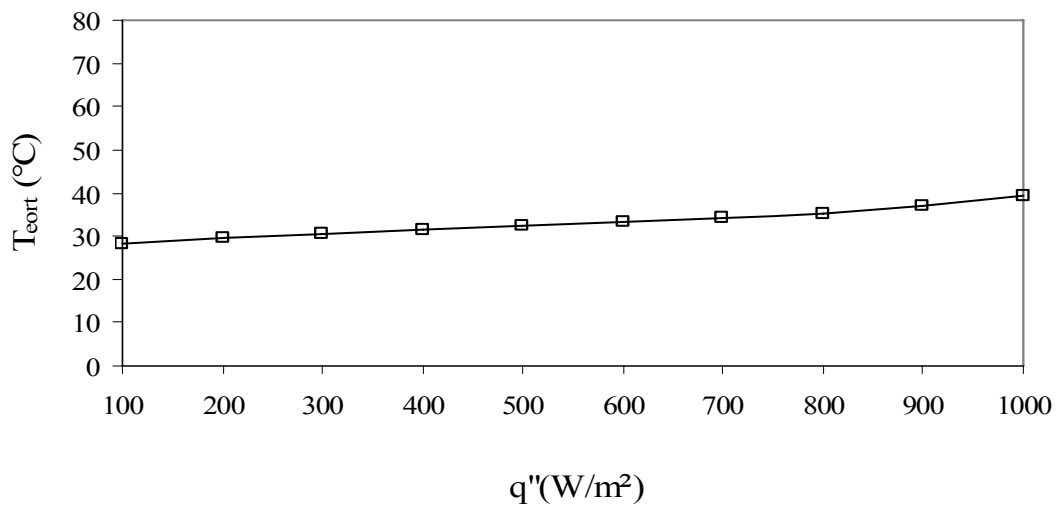
Şekil 5.52. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında değişimi ($q''=100-1000W/m^2$, $H_k=0,85m$).

Rayleigh sayısına bağlı Nu sayısının değişimi Şekil 5.53’de verilmiştir.

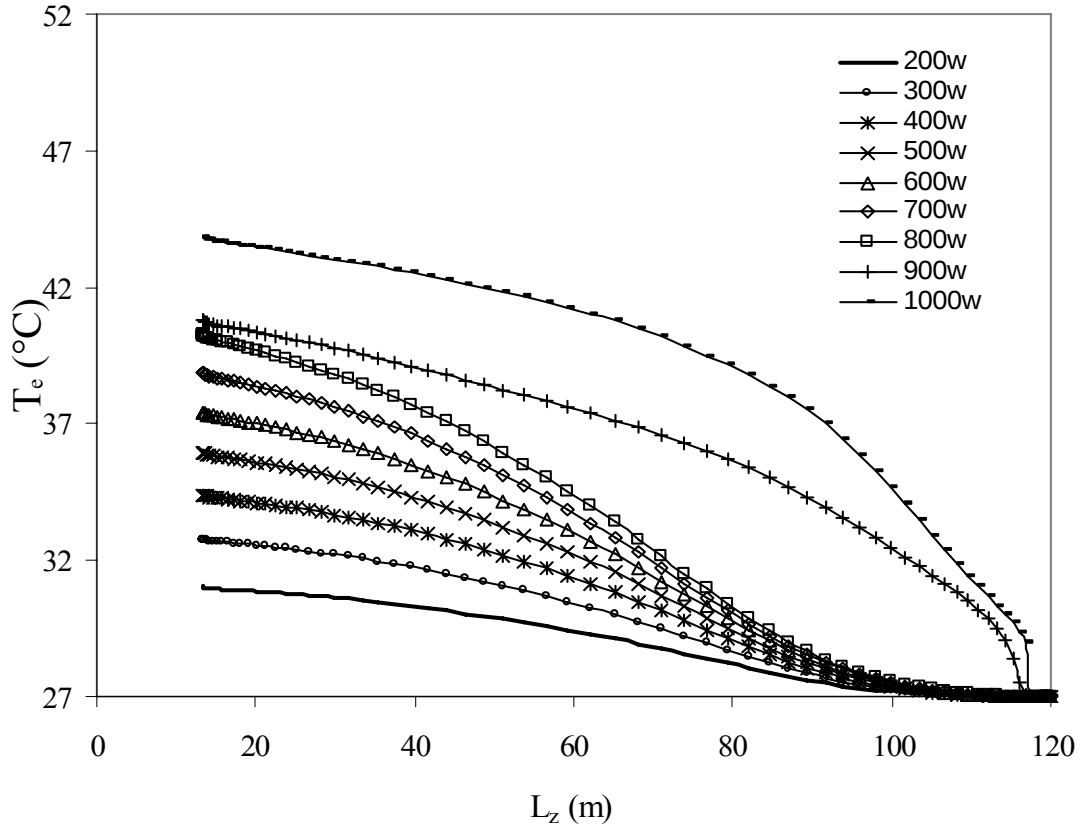


Şekil 5.53. Nusselt sayısının farklı ısı akılarında değişimi ($q''=100-1000\text{W/m}^2$, $H_k=0,85\text{m}$).

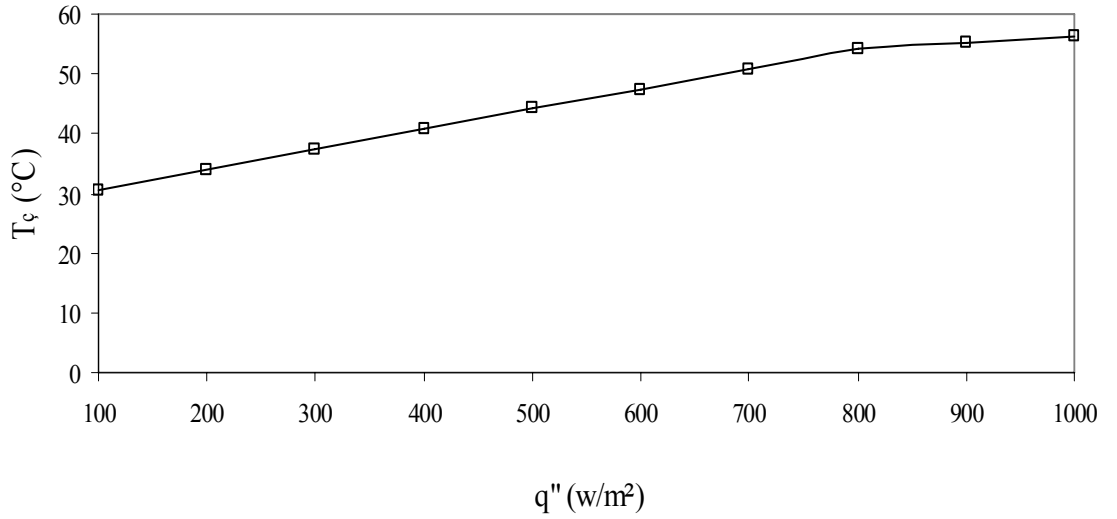
Şekil 5.54, Şekil 5.55 ve Şekil 5.56 de ısı akısındaki değişimin sıcaklık artışı görülmektedir. Şekiller incelendiğinde $100-800\text{ W/m}^2$ ısı akısında L_z mesafesindeki sıcaklık dağılımı düzgün artışlar gösterirken $900-1000\text{ W/m}^2$ ısı akısında kolektör girişinden itibaren hızlı bir yükseliş göstermektedir. Şekil 5.56’da $800-1000\text{W/m}^2$ ısı akısında kolektör çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.54. Isı akısına bağlı ortalama sıcaklık değişimi ($z=H_k/2$, $H_k=0,85\text{ m}$).

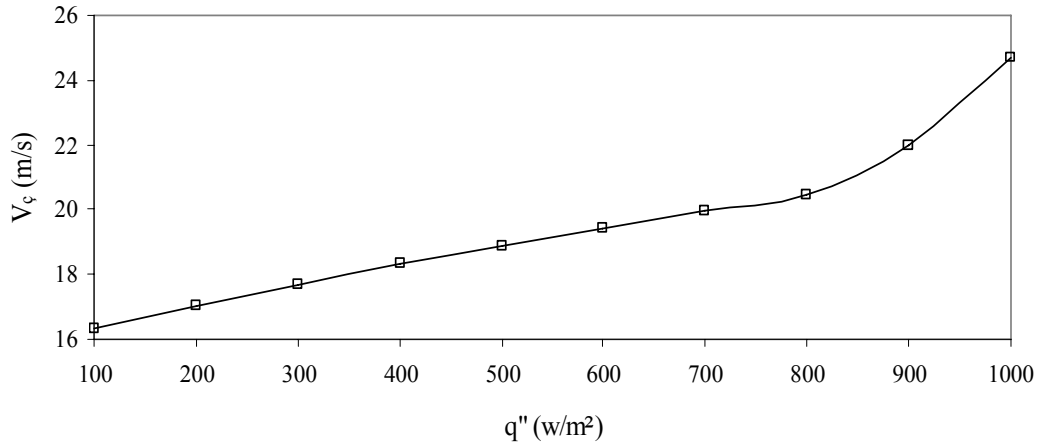


Şekil 5.55. Isı akısına bağlı sıcaklık değişimi ($z = H_k/2$, $H_k=0,85$ m).

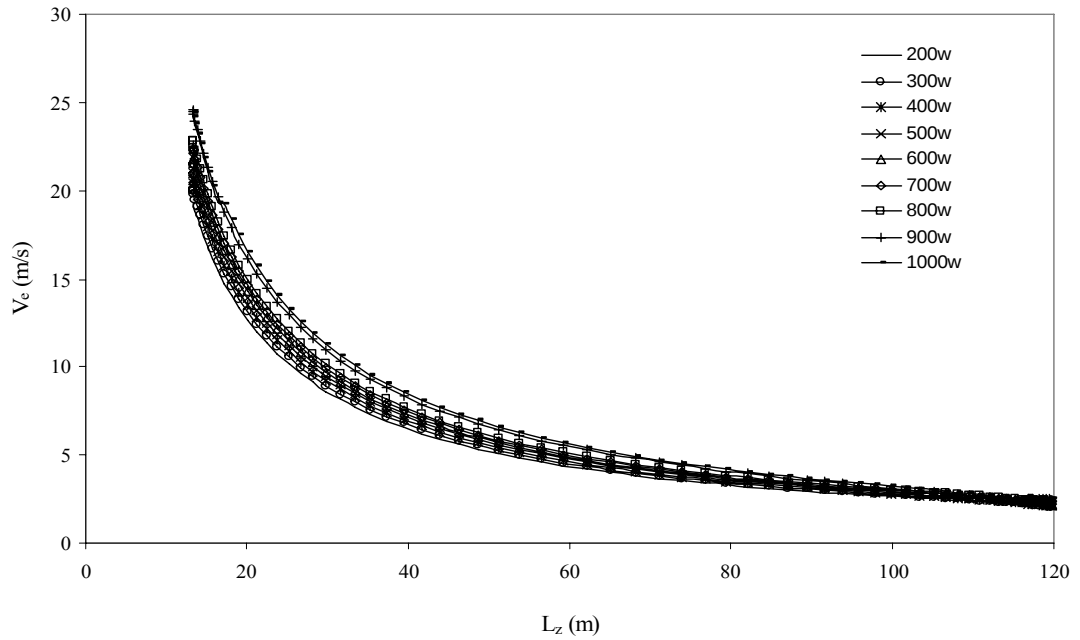


Şekil 5.56. Isı akısına bağlı kolektör çıkış sıcaklığının değişimi ($H_k=0,85$ m).

Şekil 5.57 ve Şekil 5.58’te hava hızındaki değişim görülmektedir. Hız ısı akısındaki değişimle artmaktadır. Şekiller incelendiğinde $100\text{-}800\text{W/m}^2$ ısı akılarında doğrusal bir artış gösterirken 800W/m^2 ’den sonra hızlı bir yükseliş göstermektedir. Hız baca girişinde maksimum seviyeye ulaşmaktadır.

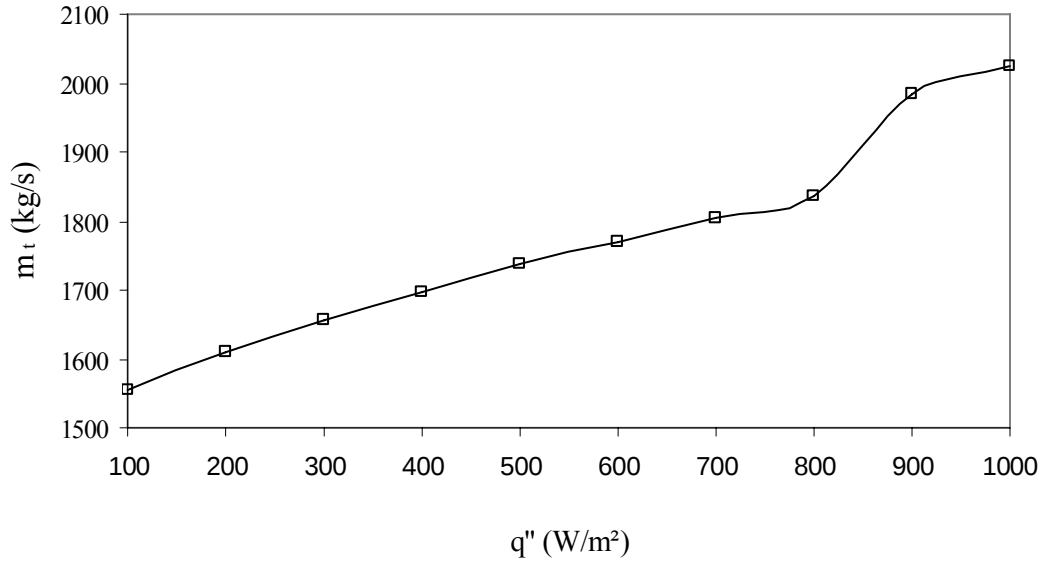


Şekil 5.57. Isı akısına bağlı kolektör çıkışı hava hızı değişimi ($H_k=0,85\text{m}$).



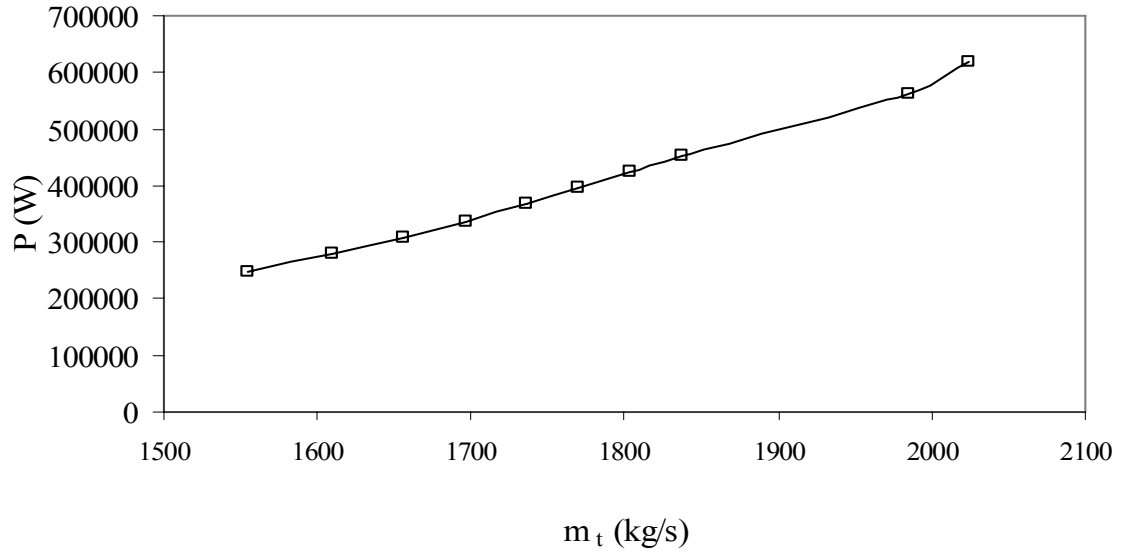
Şekil 5.58. Isı akısına bağlı hız değişimi ($H_k=0,85\text{m}$).

Kolektör yüksekliğinin düşmesi, kolektör-zemin arasındaki alanı düşürdüğünden sistem içerisine giren hava debisini azaltmaktadır. Kütlesel debinin ısı akısına bağlı değişimi Şekil 5.59’te görülmektedir. Şekil incelendiğinde 800W/m^2 ısı akısından sonra debi hızla yükselmektedir.



Şekil 5.59. Isı akısına bağlı kütlesel debi değişimi ($H_k=0,85\text{m}$).

Güneş kuleleri çıkış güçleri sistem içerisindeki hava debisiyle bağlantılıdır. Kütlesel debinin düşmesi çıkış gücünü düşürürken, mevcut parametrelere bağlı olarak kolektör altındaki hava hızının artması sistem çıkış gücü üzerinde artış sağlamaktadır.

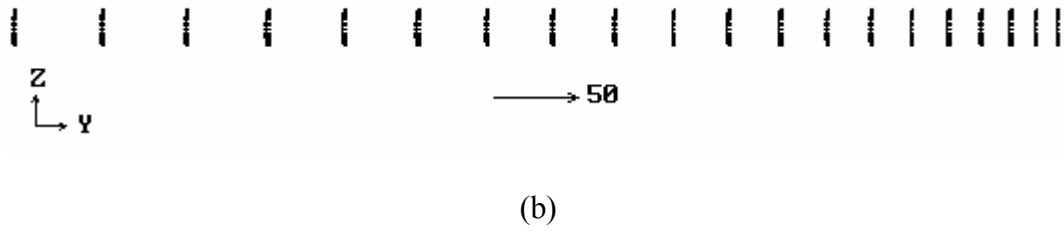


Şekil 5.60. Kütlesel debiye bağlı çıkış gücü değişimi ($H_k=0,85m$).

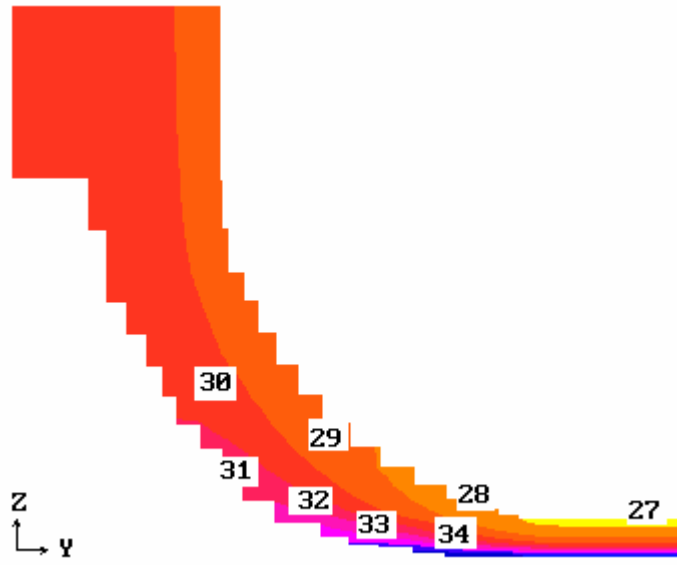
Şekil 5.61 ile Şekil 5.69 ‘de $H_k=0,85$ m kolektör yüksekliğinde $100,500,1000 \text{ W/m}^2$ ısı akıları için sıcaklık konturları ve hız vektörleri ayrıntılı olarak verilmiştir. $100-500 \text{ W/m}^2$ ısı akılarında kolektör girişinden itibaren hava sıcaklığındaki değişim az iken, kolektör çıkışına doğru kesitten dolayı ısı artışı en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. 1000 W/m^2 ısı akısında kolektör girişinden itibaren sıcaklığın hızlı yükseldiği görülmektedir.

Hız vektörleri incelendiğinde, hızın kolektör uzunluğu boyunca düzgün dağılım gösterirken, çıkışta yoğunlaştığı ve en yüksek değerine ulaştığı görülmektedir.

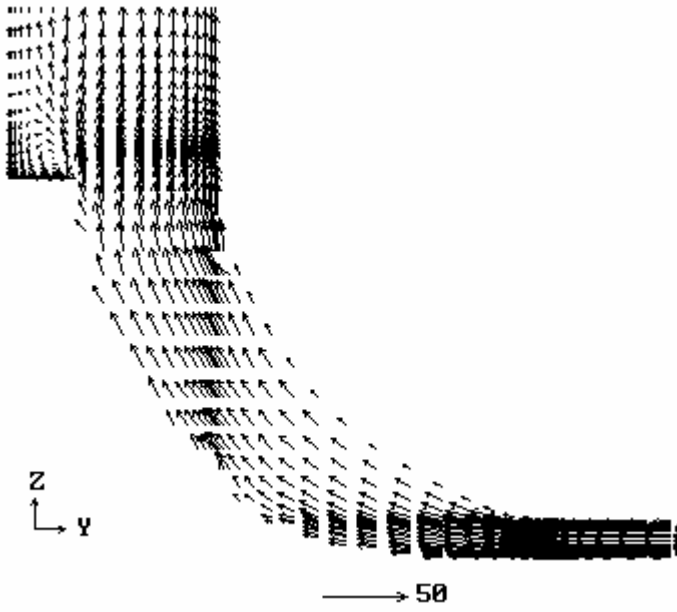
Burada şu sonuca varabiliriz. Kolektör yüksekliğindeki azalma kütlesel debiyi azaltmakla birlikte, ısı transferindeki artış havanın kolektör çıkışında hızını arttırmaktadır. Bu da sistem çıkış gücünün artmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.61. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85\text{m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

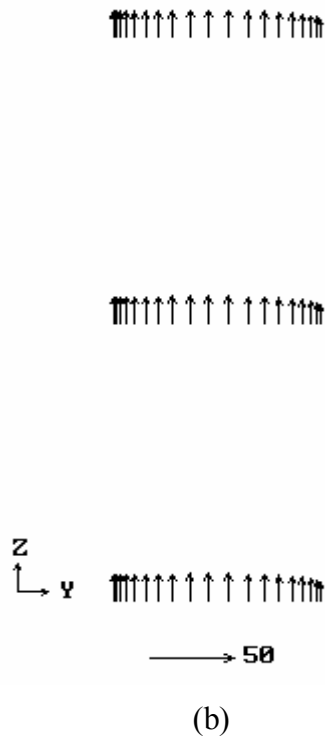
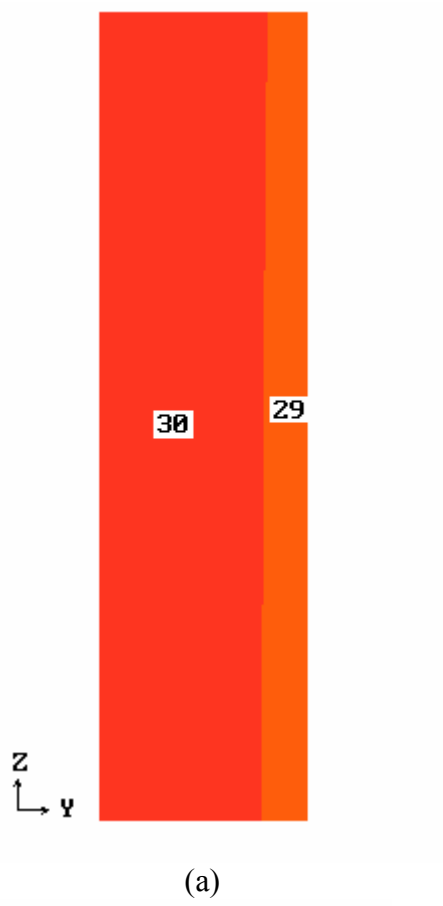


(a)



(b)

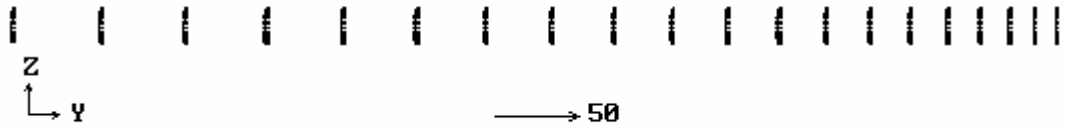
Şekil 5.62. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi
 $(q''=100 \text{ W/m}^2, H_k=0,85 \text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.63. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=100 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

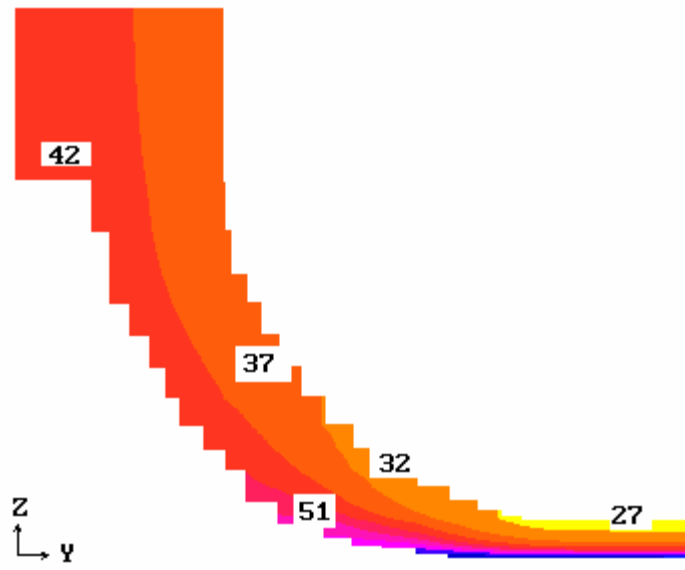


(a)

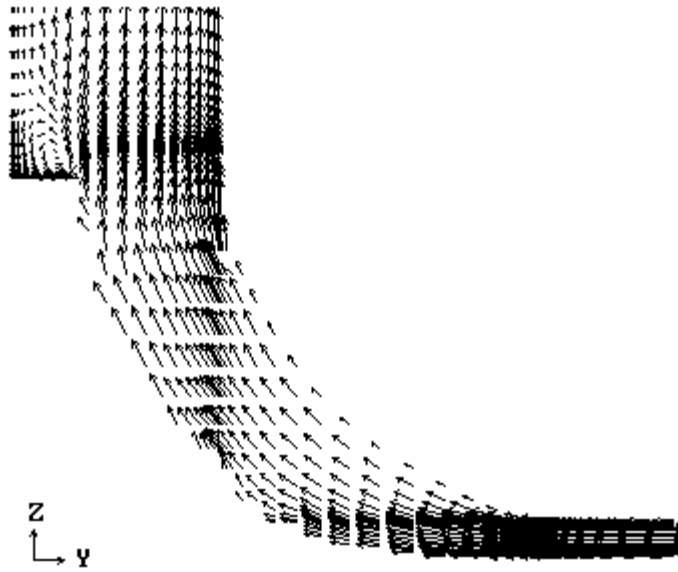


(b)

Şekil 5.64. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 500 \text{ W/m}^2$, $H_k = 0,85 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



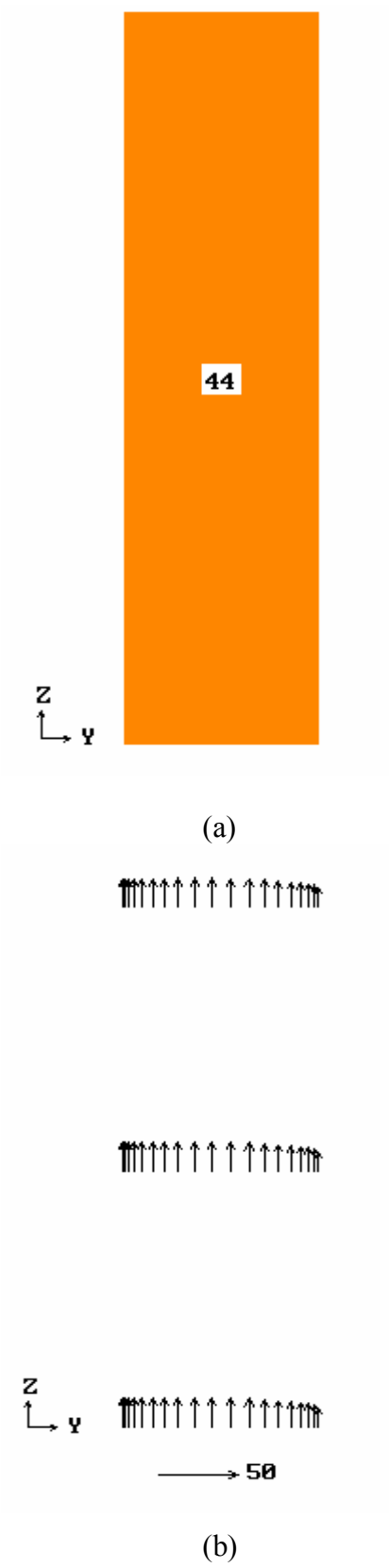
(a)



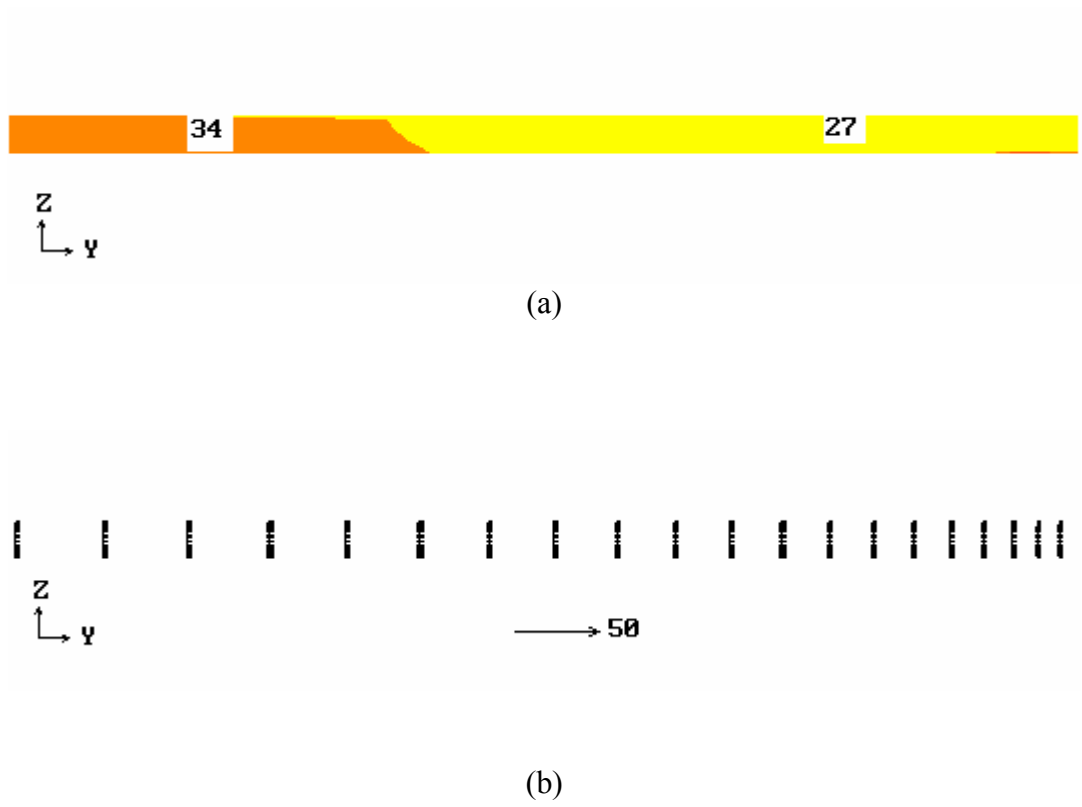
→ 50

(b)

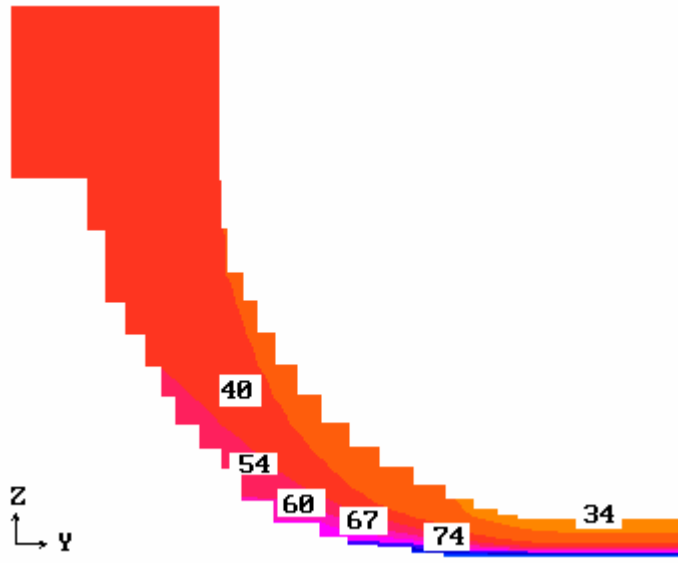
Şekil 5.65. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi
($q'' = 500 \text{ W/m}^2$, $H_k = 0,85 \text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



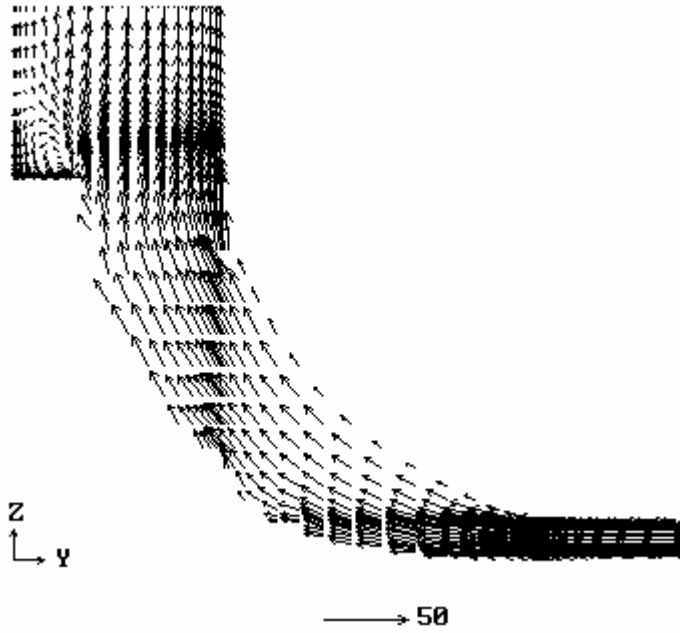
Şekil 5.66. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.67. Kolektör girişindeki sıcaklık ve hız değişimi ($q'' = 1000 \text{ W/m}^2$, $H_k = 0,85 \text{ m}$)
a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

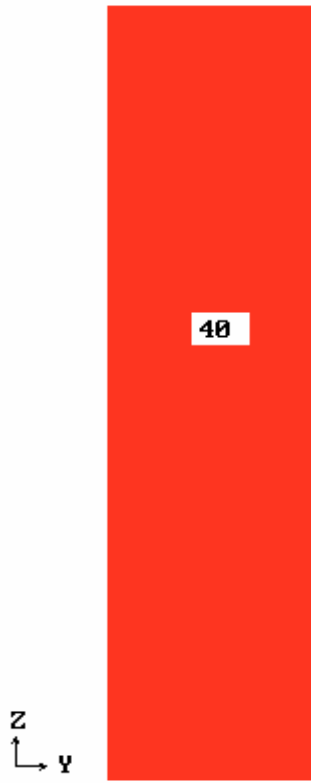


(a)

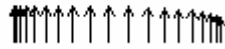
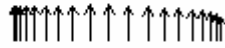


(b)

Şekil 5.68. Kolektör çıkışı ile baca girişindeki sıcaklık ve hız değişimi
 $(q''=1000 \text{ W/m}^2, H_k=0,85 \text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



(a)

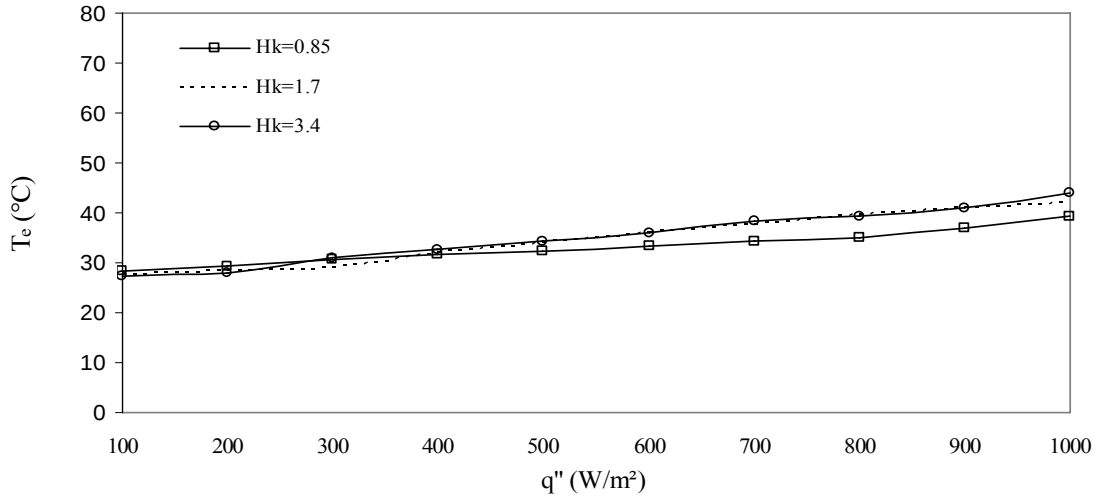


(b)

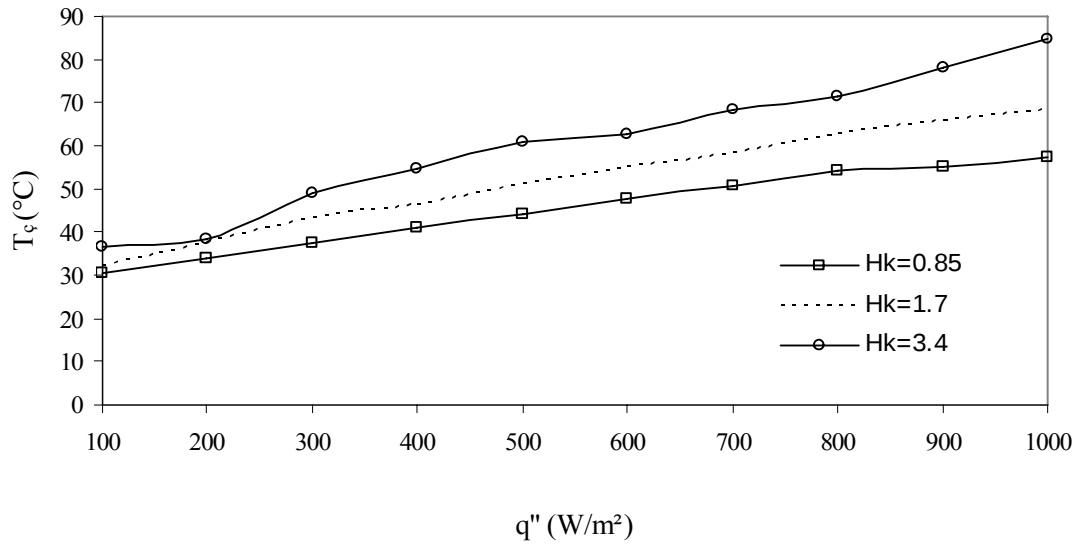
Şekil 5.69. Baca çıkışındaki sıcaklık ve hız değişimi ($q''=1000 \text{ W/m}^2$, $H_k=0,85 \text{ m}$)
 a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

5.4. Kolektör Yüksekliğindeki Değişimin Karşılaştırılması

PHOENICS programı yardımıyla yapılan modellemede üç farklı kolektör yüksekliği incelenmiştir. Şekil 5.70 ve Şekil 5.71 incelendiğinde ısı akısındaki artış her üç kolektör içinde hava sıcaklığında artışa neden olmaktadır.

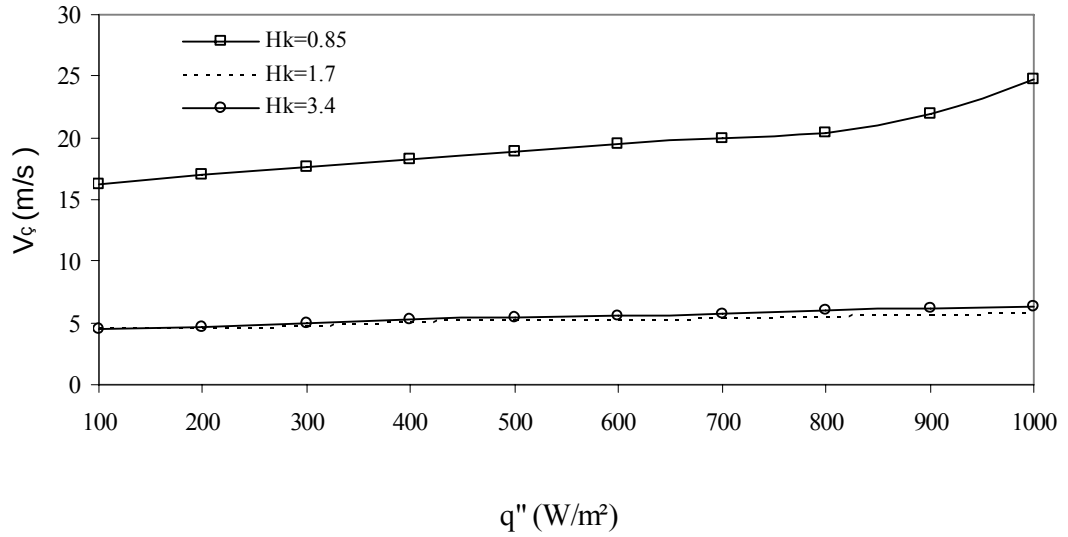


Şekil 5.70. Isı akısına bağlı ortalama sıcaklık değişimi ($z=H_k/2$).



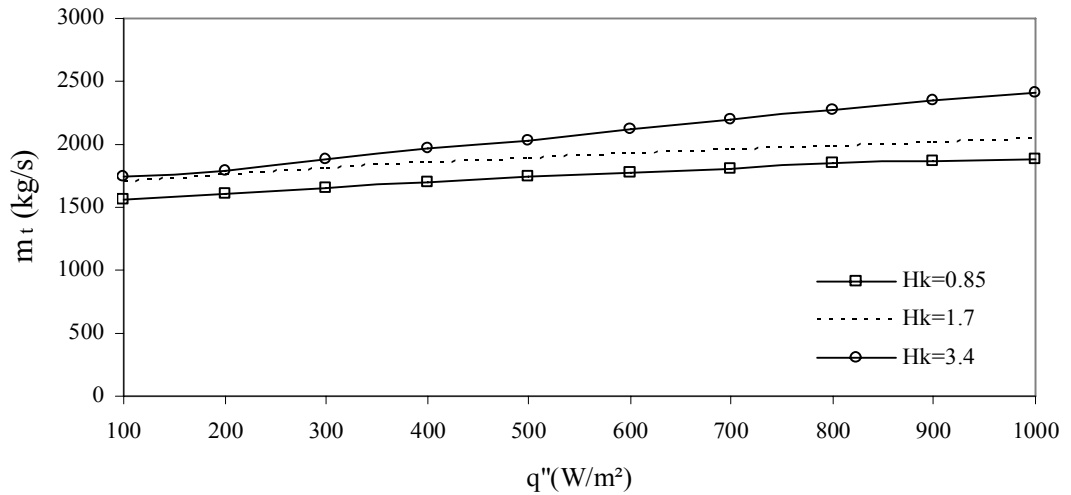
Şekil 5.71. Isı akısına bağlı kolektör çıkış sıcaklığı değişimi ($z=H_k/2$).

Şekil 5.72 de üç tip kolektör yüksekliğinde de ısı akısıyla hava hızını artırmakta, ancak $H_k=0,85\text{m}$ kolektör yüksekliğinde kesitten dolayı kolektör çıkışında ortalama hava hızı daha yüksek olduğu görülmektedir.



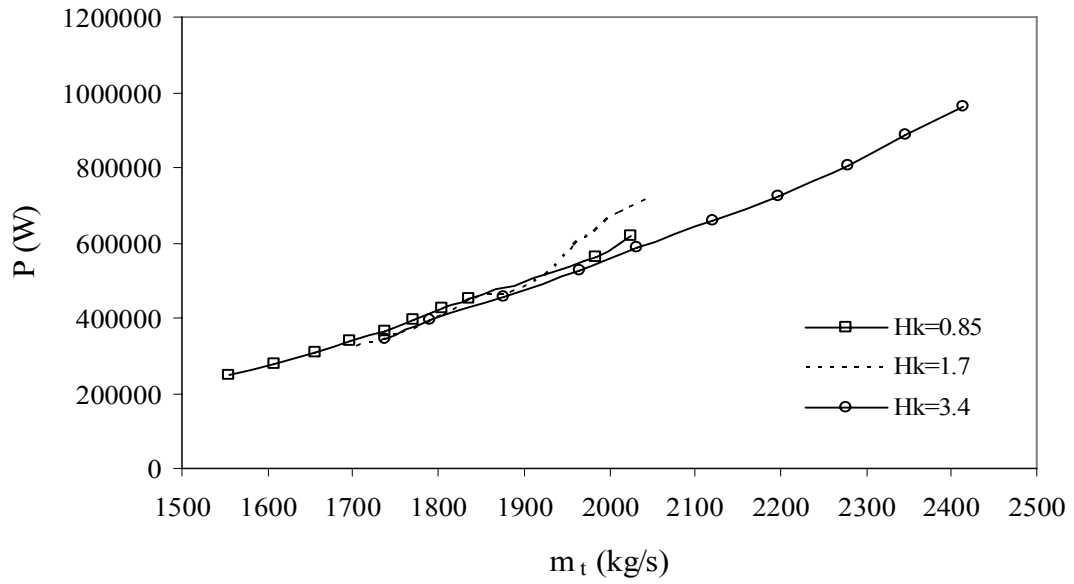
Şekil 5.72. Isı akısına bağlı kolektör çıkış hızı değişimi.

H_k kolektör yüksekliğindeki artış kolektör altındaki alanı arttırdığından, çevreden sisteme giren hava miktarı artmaktadır. Bu değişim Şekil 5.73'de görülmektedir.



Şekil 5.73. Isı akısına bağlı kütesel debi değişimi.

Şekil 5.74’de kütleli debiye bağılı türbin gücü değişimi görülmektedir. Burada artan debi çıkış gücünü arttırmaktadır. $H_k=0,85$ m kolektör yüksekliğinde kolektör altındaki alan düşmesi nedeniyle kütleli debi düşmekte ancak hava çıkış hızındaki artış nedeniyle sistem çıkış gücü yükselmektedir.

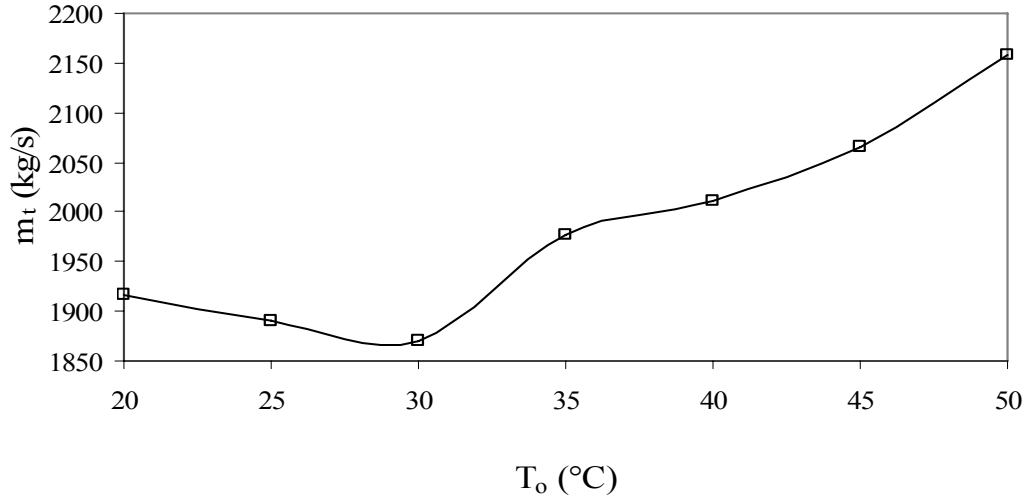


Şekil 5.74. Kütleli debiye bağılı çıkış gücü değişimi.

5.5. Çevre Sıcaklığının Kütleli Debiye Etkisinin İncelenmesi

Güneş kulesi performansı ve çıkış gücüne etki eden diğer bir faktör olan sistemin kurulacağı bölgedeki havanın sıcaklığıdır. SAD programı yardımıyla yapılan çalışmada $H_k=1,7$ m ve diğer geometrik boyutlar aynı kalmak kaydıyla, T_o çevre sıcaklığına bağılı kütleli debinin değişimi Şekil 5.75’te verilmiştir.

Şekil 5.75 incelendiğinde, T_o sıcaklığı dışında tüm parametreler (q'' , H_b , D_b , H_k , L_z) sabit tutulmuştur. Çalışma 20-50 °C ‘deki çevre sıcaklığı baz alınarak yapılmıştır. sayısal çözümlemelerde sabit ısı akısında ($q''=500\text{W/m}^2$), 20-30 °C arasındaki çevre sıcaklığında kütleli debide 1 azalma söz konusu iken, 30 °C’den sonra debide artış olmuştur.

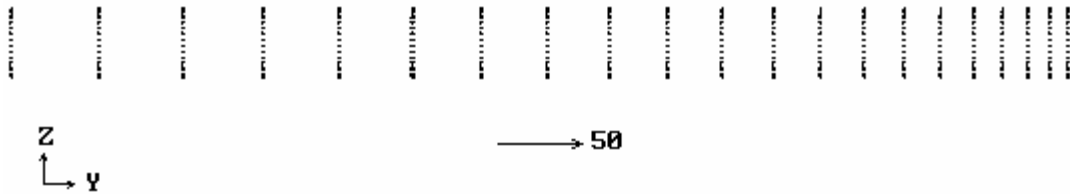


Şekil 5.75. T_o sıcaklığına bağlı kütleli debi değişimi.

T_o sıcaklık değişimine göre sayısal çözümler ile edilen sıcaklık konturları ve hız vektörleri Şekil 5.76 ile Şekil 5.85'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde artan çevre sıcaklığına paralel olarak zeminden üst plakaya doğru ısı transferi artmaktadır. Hava sıcaklığı kolektör çıkışı ile baca girişi arasındaki bölgede daha da artmaktadır.

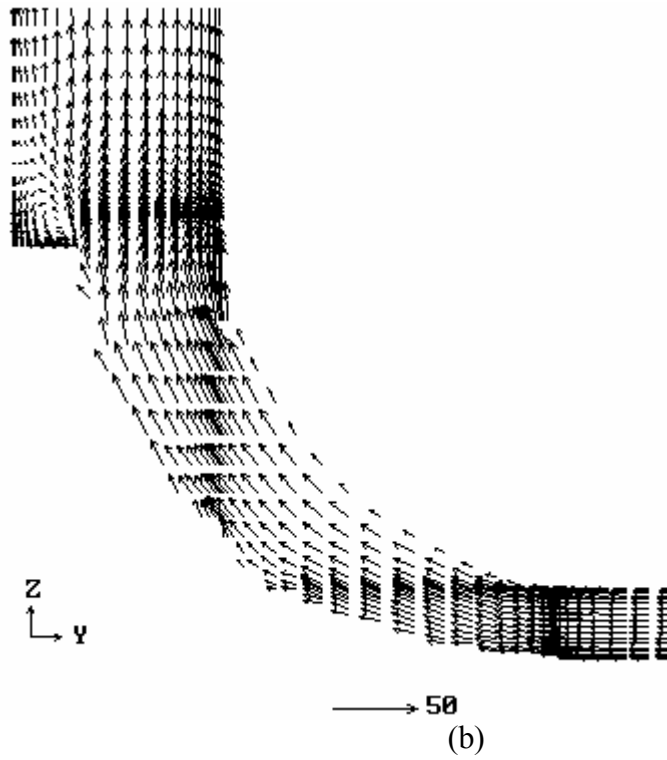
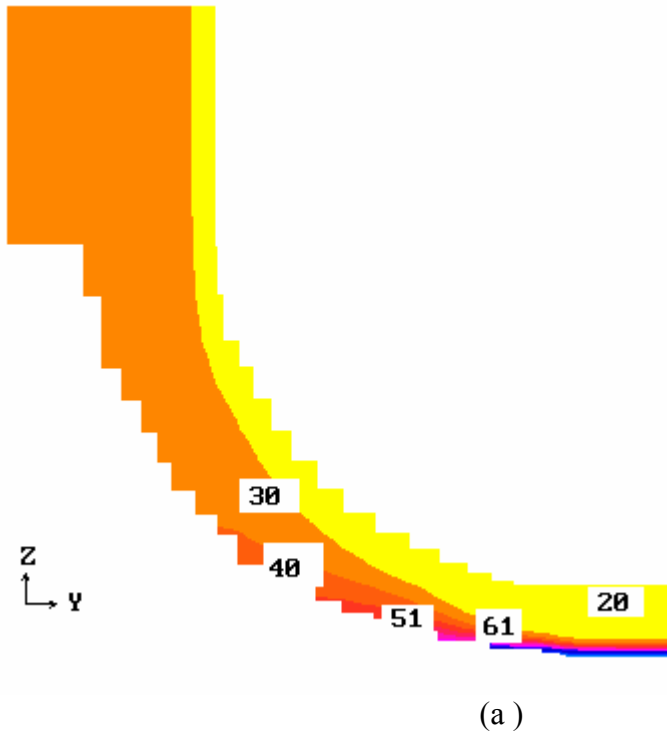


(a)

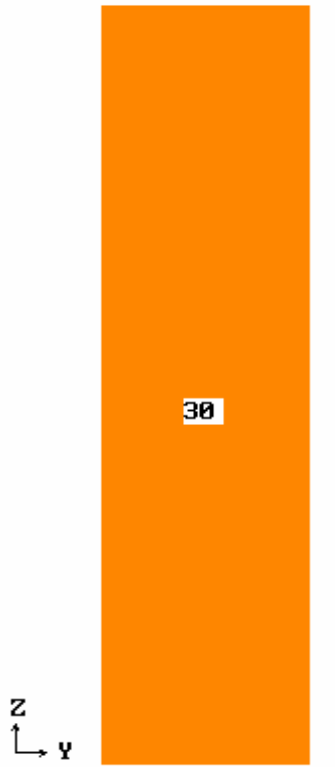


(b)

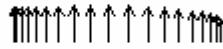
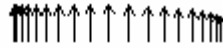
Şekil 5.76. $T_o=20$ °C sıcaklığında kolektör girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500$ W/m², $H_k=1,7$ m) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.77. $T_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör çıkışı baca girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



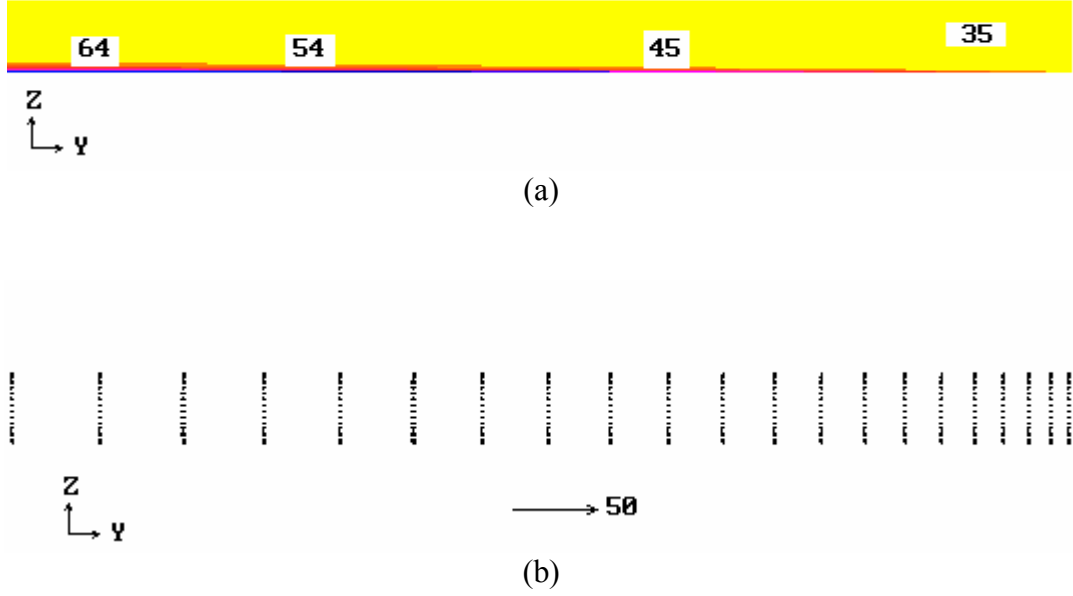
(a)



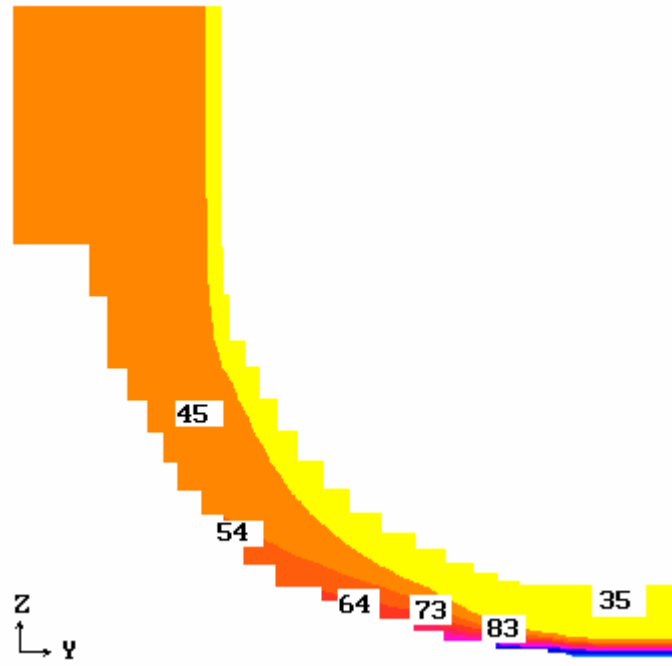
→ 50

(b)

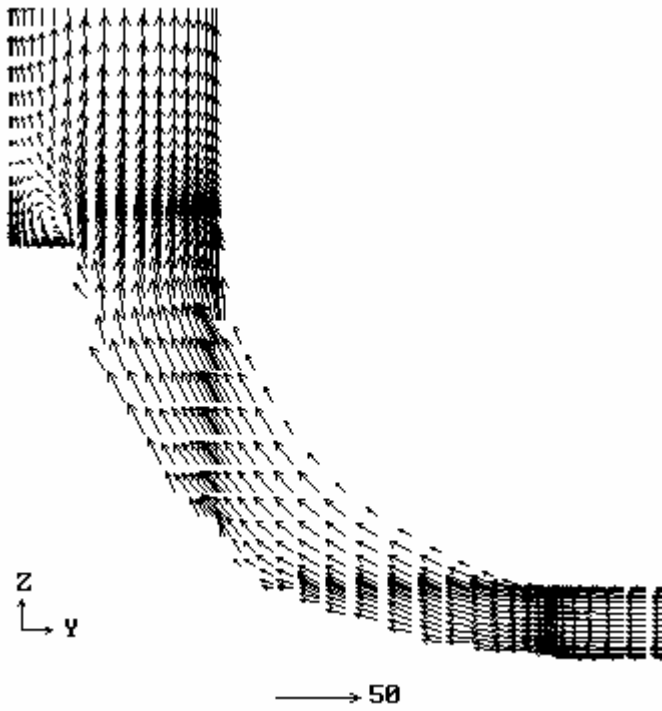
Şekil 5.78. $T_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığına bağlı baca çıkışı sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.79. $T_o=35^\circ\text{C}$ sıcaklığında kolektör girişi sıcaklık ve hız değişimi
 $(q''=500\text{ W/m}^2, H_k=1,7\text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

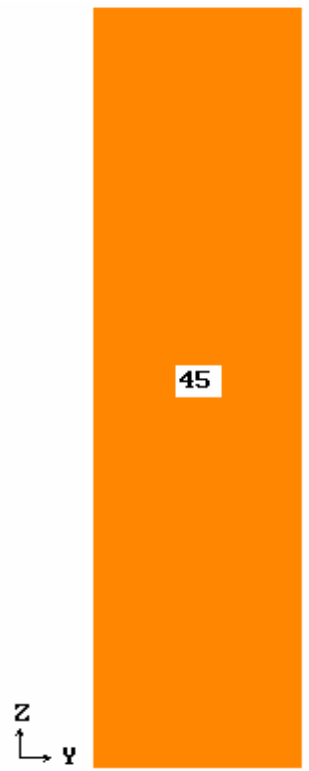


(a)

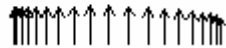
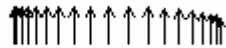


(b)

Şekil 5.80. $T_o=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör çıkışı baca girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



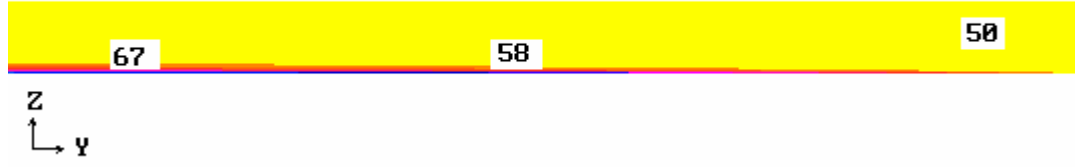
(a)



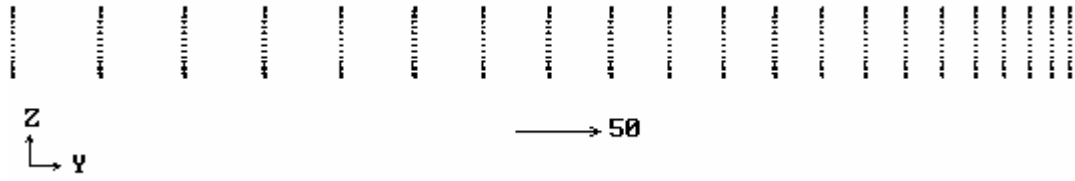
→ 50

(b)

Şekil 5.81. $T_o=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığına bağlı baca çıkışı sıcaklık ve hız değişimi
($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

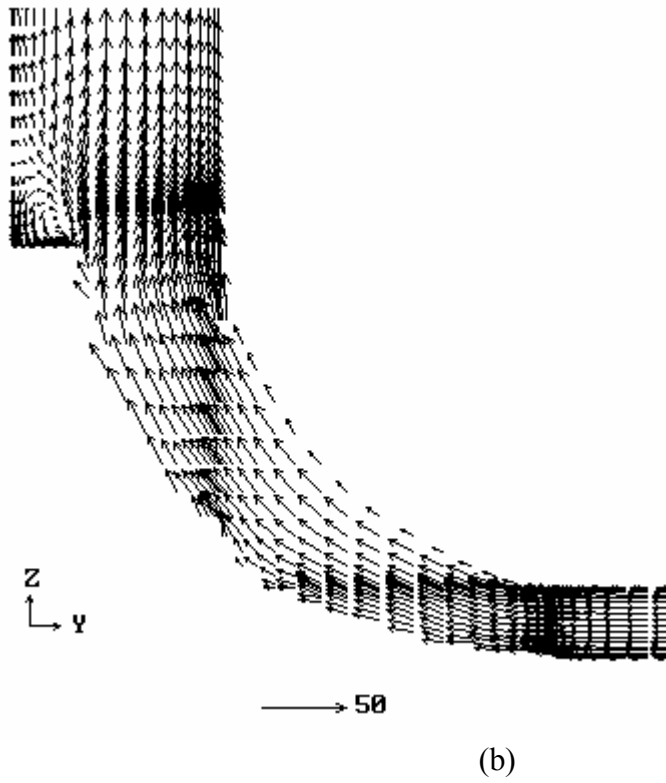
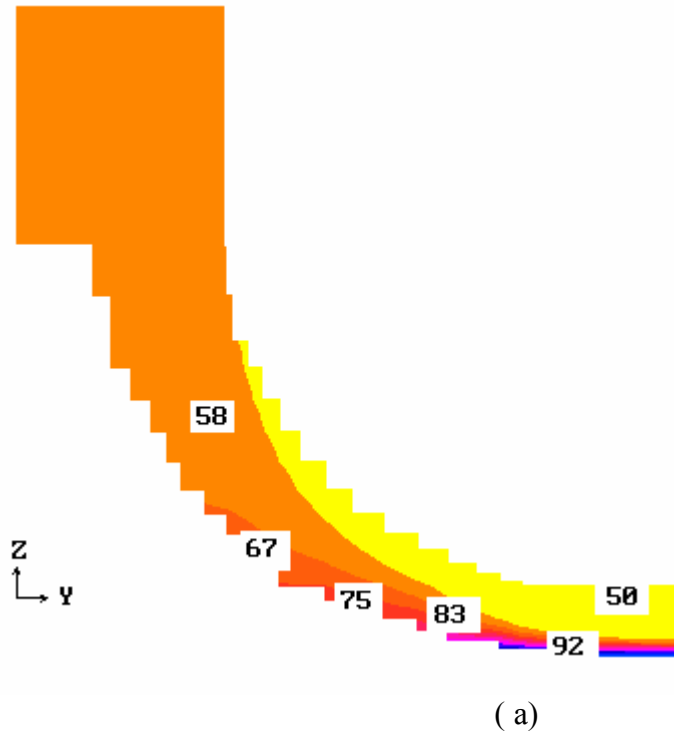


(a)

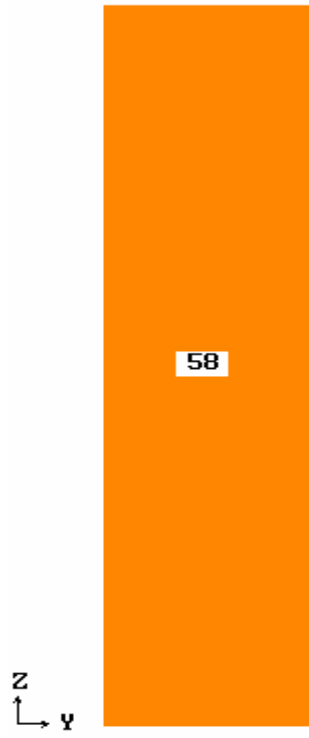


(b)

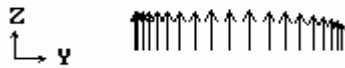
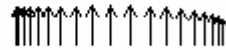
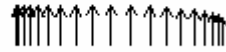
Şekil 5.82. $T_o=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör girişi sıcaklık ve hız değişimi
 $(q''=500\text{ W/m}^2, H_k=1,7\text{ m})$ a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.



Şekil 5.83. $T_o=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kolektör çıkışı baca girişi sıcaklık ve hız değişimi ($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları
b. Hız vektörleri.



(a)



→ 50

(b)

Şekil 5.84. $T_o=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığına bağlı baca çıkışı sıcaklık ve hız değişimi
($q''=500\text{ W/m}^2$, $H_k=1,7\text{ m}$) a. Sıcaklık Konturları b. Hız vektörleri.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı ısı akılarında güneş kulesi üzerinde doğal konveksiyon akışı incelenmiştir. Problemi tanımlayan kütlenin, momentumun ve enerjinin korunumunu temsil eden denklemlerin, problemi tanımlayan uygun sınır şartları yardımıyla PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği programı yardımıyla nümerik olarak incelenmiştir. Problemi tanımlayan parametrelerden kolektör yüksekliği ve uzunluğunun değişen ısı akısıyla ısı transferine etkisi ile çevre sıcaklığının kütleli debiye etkisi incelenmiştir.

Sisteme giren havanın sıcaklık ve hız değişimlerinin incelenmesinde iki boyutlu geometri ele alınmış, sayısal çözümleme için parametrelerin programa tanıtımı yapılarak çözümlemeye geçilmiştir. Türbülans tanımlamasında k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Çözümlemede kolektör yüksekliği $H_k=0,85$ m, $1,7$ m, $3,4$ m alınmış, kolektör uzunluğu $R_k=120$ m, 240 m, zemine $100-1000$ W/m² ısı akısı uygulanmış, diğer yüzeylerin yalıtılmış olduğu kabulü ile elde edilen sonuçlara bağlı olarak $z=H_k/2$ mesafesindeki ortalama sıcaklık ve hız değişimi, kolektör çıkış sıcaklığı ve hızı, kütleli debi ve kütleli debiye bağlı çıkış gücü değişimi ile T_o çevre sıcaklığının sabit ısı akısında ($q''=500$ W/m²) değişimi şekillerle ayrıntılı olarak verilmiştir.

Hava sisteme T_o çevre sıcaklığı ile girmekte, H_k yüksekliğindeki kolektör yüzeyi T_o sıcaklığında tutulurken zemine $q''=100-1000$ W/m² ısı akısı uygulanmıştır. $H_k=1,7$ m yüksekliğinde iken iki farklı kolektör uzunluğu $R_k=120$ m ve 240 m için çözümleme yapılmıştır. Havanın yüzey boyunca sıcaklığı artmakta ve oluşan yoğunluk farkı nedeniyle sistem merkezine yerleştirilen kulenin çekiş etkisiyle sistemi terk etmektedir. Hava sıcaklığı ve hızı kule girişine yaklaştıkça artmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kolektör örtü uzunluğu hava sıcaklığı ile hızını arttırmış, kütleli debinin artması ile sistem çıkış gücünü yükseltmiştir.

Kolektör örtü yüksekliğinin etkisinin incelenmesinde üç farklı örtü yüksekliği seçilmiştir. ($H_k=0,85\text{m}, 1,7\text{ m ve } 3,4\text{m}$) Kolektör yüksekliğinin artması , kolektör ile zemin arasındaki hacmin artması ile sisteme giren hava debisini arttırmakta ve sistem çıkış gücü artmaktadır. Örtü yüksekliğinin $H_k=0,85\text{ m'}$ ye düşürülmesi hava debisini düşürmekte, kolektör çıkış hızının artması nedeniyle sistem çıkış gücünü arttırmaktadır.

Bu parametrelere göre değişimlerin hız ve sıcaklık konturları konunun daha iyi anlaşılabilmesi için sunulmuştur. Yapılan sayısal çözümlemelere göre zemine uygulanan ısı akısı sistem içindeki hava sıcaklığını arttırmış, hava sıcaklığının artması hava hızını arttırmıştır. Sıcaklık ve hızın kule giriş bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Artan kolektör yüksekliği hava debisini arttırmakta, artan debi çıkış gücünü yükseltmektedir. Kolektör yüksekliğinin düşürülmesi debiyi azaltmakla birlikte, kolektör çıkışındaki hava hızını arttırdığından çıkış gücü yükselmektedir.

Çevre sıcaklığındaki değişim etkisinin incelenmesinde düşük sıcaklıklarda sabit ısı akısında hava debisinde düşüş olduğu, ancak artan çevre sıcaklığıyla birlikte arttığı görülmüştür. Geometrik boyutlarda ve ısı akısına bağlı olarak çıkış gücünün değiştiği görülmüştür.

Bu çalışmanın devamı olarak, baca yüksekliği ve çapındaki değişimin çıkış gücüne etkisi, baca yüzeyine sıcaklık veya sabit ısı akısı uygulamasının ısı transferine etkisi, kolektör örtüsü ile baca birleşme bölgesinin yuvarlatılması ile düz olarak birleştirilmesinin akışa etkisinin mukayese edilmesi, kolektör örtüsünün kuleye doğru yükseltilmesinin hava akışına etkisinin araştırılması sürenin yetmemesi nedeniyle incelenememiştir. Belirtilen parametrelerin değiştirilmesiyle güneş kulesi güç sistemlerinin çıkış gücüne etkilerinin mukayesesi yapılarak özellikle en uygun boyutun belirlenmesi ve elde edilen veriler ışığında sistem maliyetinin çıkartılarak uygulanabilirliğinin araştırılabilir. Günümüzde fosil yakıt tüketiminin hızla artarak tükenme noktasıyla karşı karşıya kalınması nedeniyle güneş kulesi sisteminin fosil

yakıtlarla mukayesesi ayrıntılı olarak incelenerek enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş kulelerinin rolü araştırılabilir. Bunların dışında özellikle enerji ihtiyacı olan uzak yerleşim yerlerine uygulanabilmesi konuları da ayrıntılı olarak incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Backstrom T.W.V., Gannon AJ. "Compressible flow through solar power plant chimneys.", *ASME, Journal of Solar Energy Engineering* ,122:138-45(2000).
2. Backstrom T.W.V. "Calculation of pressure and density in solar power plant chimney.", *ASME, Journal of Solar Energy Engineering* , 125:127-129 (2003).
3. Backstrom T.W.V.,Bernhardt A., Gannon A.J.,"Pressure drop in solar power plant chimneys.", *ASME, Journal of Solar Energy Engineering* ,125:165-169 (2003).
4. Backstrom T. W. V., A. J. Gannon , "Solar chimney turbine characteristics", *Solar Energy* , 76: 235-241(2004).
5. Bernardes M.A.S. et al, "Numerical analysis of natural laminar convection in a radial solar heater.", *Int. J. Therm. Sci*, 38: 42-50 (1999).
6. Bernardes, M.A.S., Voss, A., Weinrebe, G., 2003. "Thermal and technical analyses of solar chimneys.", *Solar Energy* , 75: 511-524 (2003).
7. Bilgen E. Rheault J. "Solar chimney power plants for high latitudes.", *Solar Energy* , in press (2005).
8. Dai Y.J. et al. "Case study of solar chimney power plants in Northwestern regions of China", *Renewable Energy* , 28: 1295-1304 (2003).
9. Denantes F.,Bilgen E., "Counter-rotating Turbines for solar chimney power plants", *Renewable Energy*, in press (2005).
10. Gannon A.J., Backstrom T.W.V. "Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance.", *ASME, Journal of Solar Energy Engineering*;122:133-7 (2000).
11. Gannon A.J., Backstrom T.W.V. "Solar Chimney turbine performance.", *ASME, Journal of Solar Energy Engineering* , 125:101-106 (2003).
12. Lodhi MAK, "Appllication of helio-aero-gravity concept in producing energy and suppressing pollution energy", *Conversion & Management*, 40: 407-421(1999).
13. Michaud L.M.,"Vortex process for capturing mechanical energy during upward heat-convection in the atmosphere.",*Applied Energy*,62:241-251(1999).

14. Ninic N., "Available energy of the air in solar chimneys and possibility of its ground-level concentration.", ***Solar Energy*** , in press (2005).
15. Internet: Papageorgiou C.D., "Efficiency of solar air turbine power stations with floating solar chimneys.", <http://www.floatingsolarchimney.gr> (2003).
16. Internet: Papageorgiou C.D., "Solar turbine power stations with floating solar chimneys.", <http://www.floatingsolarchimney.gr> (2004).
17. Internet: Papageorgiou C.D., "Turbines and generators for floating solar chimneys.", <http://www.floatingsolarchimney.gr> (2004).
18. Pasumathi, N., Sherif, S.A., "Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model part I: mathematical model development.", ***International Journal of Energy Research*** ,22: 277-288 (1998).
19. Pasumathi, N., Sherif, S.A., 1998. "Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model part II: Experimental and theoretical result and economic analysis.", ***International Journal of Energy Research*** , 22: 443-461 (1998).
20. Padki M.M., Sherif, S.A., "On a simple analytical model for solar chimneys.", ***International Journal of Energy Research*** , 23: 345-349 (1999).
21. Pastohr H., Kornadt O., Gürlebeck K., "Numerical and analytical calculations of the temperature and flow field in the upwind plant." ***International Journal of Energy research***, 28 : 495-510(2004).
22. Pretorius J.P., Kröger D.G., "Critical evaluation of solar chimney power plant performance", ***Solar Energy*** , in press (2005).
23. Quraishi S., "Solar/Eind power plants", ***Solar and Wind Technology*** , 4:51-54 (1987).
24. Schlaich J., Bergemann R., Schiel W., Weinrebe G., "Design of commercial solar updraft tower systems-utilization of solar induced convective flows for power generation.", ***ASME, Journal of Solar Energy Engineering*** , 127:117-124 (2005).
25. Internet: Schlaich J. , "The Solar chimney", <http://www.sbp.de> (2002).
26. Weinrebe G., "Das Aufwindkraftwerk-wasserkraftwerk der wüste", ***Nova Acta Leopoldina NF 91***, 339:117-141 (2004).

E K L E R

EK-1 Örnek Q1 kütüğü

```

TALK=T;RUN( 1, 1);VDU=VGAMOUSE
  GROUP 1. Run title and other preliminarie
TEXT(GUNES KULESI-SILIND. KOORD.-29/05/2006)
REAL(TGRS,TZMN,HEAT,TKOL,HBC,HKLGR)
REAL(DKL,DBCGR,CP,ROIN,LZMN,RDS)
REAL(HUCZ,HUCY,NDKL,NDBC,NHKL,NHBC,NTRB,NRDS)
REAL(TKEIN,EPSIN,PI)
PI=3.14159
  ***BOYUTLAR***
  *Baca Yuksekligi*
HBC=185.0
  *Kolektor Yuksekligi*
HKLGR=1.7
  *Zemin Uzunlugu*
LZMN=106.7
  *Kolektor Ortu uzunlugu*
DKL=106.7
  *Baca Capi*
DBCGR=5.0
  *Kollektor-Baca Radusu*
RDS=8.3
  ***HUCRE SAYILARI***
  *Baca Capi*
NDBC=20
  *Kolektor Yuksekligi*
NHKL=20
  *Kolektor Ortu Uzunlugu*
NDKL=70
  *Baca Yuksekligi(Kaide Ustu)*
NHBC=70
  *Turbın Kaidesi Genisligi*
NTRB=8
  *Radsu*
NRDS=20
  *y-Yonu*
HUCY=NDKL+NDBC+NRDS
  *z-Yonu*
HUCZ=NHBC+NHKL+NRDS
  ***SICAKLIKLAR***
  *Ozgul Isi*
CP=1006.0
  *Giris Sicakligi*
TGRS=27.0*CP
  *Kolektor Sicakligi*
TKOL=27.0*CP

```

EK-1 (Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

* Zemin Sabit Isi Akisi*
HEAT=600.0
  TZMN=127.0*CP
  GROUP 2. Transience; time-step specification
  GROUP 3. X-direction grid specification
CARTES=F
XULAST=0.01
  GROUP 4. Y-direction grid specification
NREGY=3
IREGY=1;GRDPWR(Y,-NDBC,DBCGR,2.0)
IREGY=2;GRDPWR(Y,-NRDS,RDS,2.0)
IREGY=3;GRDPWR(Y,-NDKL,DKL,2.0)
  GROUP 5. Z-direction grid specification
NREGZ=3
IREGZ=1;GRDPWR(Z,-NHKL,HKLGR,2.0)
IREGZ=2;GRDPWR(Z,-NRDS,RDS,2.0)
IREGZ=3;GRDPWR(Z,NHBC,HBC,3.0)
  GROUP 6. Body-fitted coordinates or grid distortion
  GROUP 7. Variables stored, solved & named
SOLVE(P1,V1,W1,H1)
SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,N)
SOLUTN(H1,Y,Y,Y,N,N,N)
TURMOD(KEMODL)
  GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices
TERMS(H1,N,Y,Y,N,Y,N)
  GROUP 9. Properties of the medium (or media)
ENUL=1.916E-5
PRNDTL(H1)=0.71

TMP1=GRND2
TMP1A=0.0
TMP1B=1.0/CP

RHO1=GRND2
RHO1A=287.0*273.0/1.01E+5
RHO1B=287.0/1.01E+5/CP
ROIN=1.0/(RHO1A+RHO1B*TGRS)
STORE(RHO1,TMP1,ENUT)
  GROUP 10. Inter-phase-transfer processes and properties
  GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields
*Kolektor-Baca Radasu*
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-NDBC,-NY,-(NHKL+20),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+1),-NY,-(NHKL+16),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+3),-NY,-(NHKL+14),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+5),-NY,-(NHKL+13),-NZ)

```

EK-1 (Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+6),-NY,-(NHKL+12),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+7),-NY,-(NHKL+11),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+8),-NY,-(NHKL+10),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+9),-NY,-(NHKL+9),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+10),-NY,-(NHKL+8),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+11),-NY,-(NHKL+7),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+12),-NY,-(NHKL+6),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+13),-NY,-(NHKL+5),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+14),-NY,-(NHKL+4),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+15),-NY,-(NHKL+3),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+16),-NY,-(NHKL+2),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+18),-NY,-(NHKL+1),-NZ)
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-(NDBC+20),-NY,-(NHKL+1),-NZ)
  ***Turbine Kaidesi***
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-NTRB,-1,-(NHKL+20))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-NTRB,-(NTRB+1),-1,-(NHKL+14))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+1),-(NTRB+2),-1,-(NHKL+11))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+2),-(NTRB+3),-1,-(NHKL+10))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+3),-(NTRB+4),-1,-(NHKL+9))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+4),-(NTRB+5),-1,-(NHKL+8))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+5),-(NTRB+7),-1,-(NHKL+7))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+8),-(NTRB+12),-1,-(NHKL+6))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+13),-(NTRB+15),-1,-(NHKL+5))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+15),-(NTRB+17),-1,-(NHKL+3))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+17),-(NTRB+19),-1,-(NHKL-2))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+19),-(NTRB+20),-1,-(NHKL-7))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+20),-(NTRB+21),-1,-(NHKL-9))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+21),-(NTRB+22),-1,-(NHKL-10))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+22),-(NTRB+23),-1,-(NHKL-12))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+23),-(NTRB+25),-1,-(NHKL-14))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+25),-(NTRB+28),-1,-(NHKL-16))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+28),-(NTRB+30),-1,-(NHKL-17))
CONPOR(0.0,CELL,-1,-1,-1,-(NTRB+30),-(NTRB+32),-1,-(NHKL-19))

FIINIT(V1)=-0.1
FIINIT(W1)=0.1
FIINIT(RHO1)=ROIN
TKEIN=0.844
EPSIN=TKEIN**1.5*10.0
FIINIT(KE)=TKEIN
FIINIT(EP)=EPSIN
  GROUP 12. Convection and diffusion adjustments
  GROUP 13. Boundary conditions and special sources
PATCH(BUOYANCY,PHASEM,1,NX,1,NY,1,NZ,1,1)
COVAL(BUOYANCY,W1,FIXFLU,GRND2)

```

EK-1 (Devam) Örnek Q1 kütüğü

BUOYD=ROIN

BUOYC=-9.81

*** SISTEM GIRIS ***

PATCH(GIRIS,NORTH,1,1,NY,NY,1,NHKL,1,1)

COVAL(GIRIS,P1,-2.0*ROIN,0.0)

COVAL(GIRIS,V1,ONLYMS,SAME)

COVAL(GIRIS,W1,ONLYMS,SAME)

COVAL(GIRIS,H1,ONLYMS,TGRS)

COVAL(GIRIS,KE,ONLYMS,TKEIN)

COVAL(GIRIS,EP,ONLYMS,EPSIN)

*** BACA CIKISI ***

PATCH(CIKIS,HIGH,1,1,1,NDBC,NZ,NZ,1,1)

COVAL(CIKIS,P1,FXP,-250.0)

COVAL(CIKIS,V1,ONLYMS,SAME)

COVAL(CIKIS,W1,ONLYMS,SAME)

COVAL(CIKIS,H1,ONLYMS,SAME)

COVAL(CIKIS,KE,ONLYMS,TKEIN)

COVAL(CIKIS,EP,ONLYMS,EPSIN)

*** ZEMIN ***

PATCH(ZEMIN,LWALL,1,1,(NDBC+NRDS+1),NY,1,1,1,1)

COVAL(ZEMIN,V1,GRND2,0.0)

COVAL(ZEMIN,H1,FIXFLU,HEAT)

COVAL(ZEMIN,KE,GRND2,GRND2)

COVAL(ZEMIN,EP,GRND2,GRND2)

KOLEKTOR

PATCH(KOLEKTOR,HWALL,1,1,(NDBC+NRDS+1),NY,NHKL,NHKL,1,1)

COVAL(KOLEKTOR,V1,GRND2,0.0)

COVAL(KOLEKTOR,H1,1.0/PRNDTL(H1),TKOL)

COVAL(KOLEKTOR,KE,GRND2,GRND2)

COVAL(KOLEKTOR,EP,GRND2,GRND2)

BACA YUZEYI

PATCH(BACA,NWALL,1,1,NDBC,NDBC,(NHKL+NRDS+1),NZ,1,1)

COVAL(BACA,W1,GRND2,0.0)

COVAL(BACA,KE,GRND2,GRND2)

COVAL(BACA,EP,GRND2,GRND2)

GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.TRUE.

GROUP 15. Termination of sweeps

LSWEEP=5000

GROUP 16. Termination of iterations

GROUP 17. Under-relaxation devices

KELIN=2

RELAX(P1,LINRLX,1.0)

RELAX(V1,FALSDT,0.6)

RELAX(W1,FALSDT,0.8)

RELAX(H1,FALSDT,2.0)

EK-1 (Devam) Örnek Q1 kütüğü

RELAX(KE,FALSDT,0.1)

RELAX(EP,FALSDT,0.1)

GROUP 18. Limits on variables or increments to them

GROUP 19. Data communicated by satellite to GROUND

GROUP 20. Preliminary print-out

GROUP 21. Print-out of variables

GROUP 22. Spot-value print-out

IYMON=NDBC+2

IZMON=NHKL+10

GROUP 23. Field print-out and plot control

IPROF=2

NYPRIN=5

NZPRIN=5

PATCH(FIG1,PROFIL,1,1,1,NY,NDBC/2,NDBC/2,1,1)

PLOT(FIG1,P1,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,W1,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,H1,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,KE,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,EP,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,RHO1,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,V1,1.0,0.0)

PLOT(FIG1,TMP1,1.0,0.0)

PATCH(FIG2,PROFIL,1,1,1,NY,11,11,1,1)

PLOT(FIG2,TMP1,1.0,0.0)

PLOT(FIG2,V1,1.0,0.0)

PATCH(FIG3,PROFIL,1,1,1,NY,1,1,1,1)

PLOT(FIG3,TMP1,1.0,0.0)

PLOT(FIG3,V1,1.0,0.0)

PATCH(FIG4,PROFIL,1,1,(NDBC+NRDS+1),(NDBC+NRDS+1),1,NHKL,1,1)

PLOT(FIG4,TMP1,1.0,0.0)

PLOT(FIG4,V1,1.0,0.0)

PATCH(FIG5,PROFIL,1,1,(NTRB+1),NDBC,(NHKL+NRDS),(NHKL+NRDS),1,1)

PLOT(FIG5,TMP1,1.0,0.0)

PLOT(FIG5,V1,1.0,0.0)

PLOT(FIG5,W1,1.0,0.0)

GROUP 24. Dumps for restarts

STOP

EK-2 Örnek RESULT dosyası

```
-----
      CCCC HHH      PHOENICS - EARTH   Version 2.1
      CCCCCCCC HHHHH (C) Copyright 1994
      CCCCCCCC HHHHHHHHHHHH Concentration Heat and Momentum Ltd
      CCCCCCCC HHHHHHHHHHHHHH All rights reserved.
      CCCCCC HHHHHHHHHHHHHHHH Address: Bakery House, 40 High St
      CCCCCCCC HHHHHHHHHHHHHHHH Wimbledon, London, SW19 5AU
      CCCCCCCC HHHHHHHHHHHHHH Tel:   081-947-7651
      CCCCCCCC HHHHHH Facsimile: 081-879-3497
      CCCC HHH      E-mail: mscv21@sf.msc.edu
-----
```

This program forms part of the PHOENICS installation for:

CHAM

The code expiry date is the end of : May 1995

Number of F-array location available is 1200000

Number used before BFC allowance (if any) is 510549

Group 1. Run Title and Number

TEXT(GUNES KULESI-SILIND. KOORD.-17/05/2006)

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

Group 2. Transience

STEADY = T

Group 3. X-Direction Grid Spacing

CARTES = F

NX = 1

XULAST = 1.000E-02

Group 4. Y-Direction Grid Spacing

NY = 130

YVLAST = 1.200E+02

YFRAC (1) = 2.083E-04 ;YFRAC (2) = 8.333E-04

YFRAC (3) = 1.875E-03 ;YFRAC (4) = 3.333E-03

YFRAC (5) = 5.208E-03 ;YFRAC (6) = 7.500E-03

YFRAC (7) = 1.021E-02 ;YFRAC (8) = 1.333E-02

YFRAC (9) = 1.688E-02 ;YFRAC (10) = 2.083E-02

YFRAC (11) = 2.479E-02 ;YFRAC (12) = 2.833E-02

YFRAC (13) = 3.146E-02 ;YFRAC (14) = 3.417E-02

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

YFRAC (15) = 3.646E-02 ;YFRAC (16) = 3.833E-02
 YFRAC (17) = 3.979E-02 ;YFRAC (18) = 4.083E-02
 YFRAC (19) = 4.146E-02 ;YFRAC (20) = 4.167E-02
 YFRAC (21) = 4.201E-02 ;YFRAC (22) = 4.305E-02
 YFRAC (23) = 4.478E-02 ;YFRAC (24) = 4.720E-02
 YFRAC (25) = 5.031E-02 ;YFRAC (26) = 5.412E-02
 YFRAC (27) = 5.861E-02 ;YFRAC (28) = 6.380E-02
 YFRAC (29) = 6.968E-02 ;YFRAC (30) = 7.625E-02
 YFRAC (31) = 8.282E-02 ;YFRAC (32) = 8.870E-02
 YFRAC (33) = 9.389E-02 ;YFRAC (34) = 9.838E-02
 YFRAC (35) = 1.022E-01 ;YFRAC (36) = 1.053E-01
 YFRAC (37) = 1.077E-01 ;YFRAC (38) = 1.094E-01
 YFRAC (39) = 1.105E-01 ;YFRAC (40) = 1.108E-01
 YFRAC (41) = 1.111E-01 ;YFRAC (42) = 1.117E-01
 YFRAC (43) = 1.128E-01 ;YFRAC (44) = 1.143E-01
 YFRAC (45) = 1.163E-01 ;YFRAC (46) = 1.187E-01
 YFRAC (47) = 1.216E-01 ;YFRAC (48) = 1.249E-01
 YFRAC (49) = 1.286E-01 ;YFRAC (50) = 1.328E-01
 YFRAC (51) = 1.374E-01 ;YFRAC (52) = 1.424E-01
 YFRAC (53) = 1.479E-01 ;YFRAC (54) = 1.539E-01
 YFRAC (55) = 1.602E-01 ;YFRAC (56) = 1.670E-01
 YFRAC (57) = 1.743E-01 ;YFRAC (58) = 1.820E-01
 YFRAC (59) = 1.901E-01 ;YFRAC (60) = 1.987E-01
 YFRAC (61) = 2.077E-01 ;YFRAC (62) = 2.171E-01
 YFRAC (63) = 2.270E-01 ;YFRAC (64) = 2.373E-01
 YFRAC (65) = 2.481E-01 ;YFRAC (66) = 2.592E-01
 YFRAC (67) = 2.709E-01 ;YFRAC (68) = 2.830E-01
 YFRAC (69) = 2.955E-01 ;YFRAC (70) = 3.084E-01
 YFRAC (71) = 3.218E-01 ;YFRAC (72) = 3.356E-01
 YFRAC (73) = 3.499E-01 ;YFRAC (74) = 3.646E-01
 YFRAC (75) = 3.798E-01 ;YFRAC (76) = 3.954E-01
 YFRAC (77) = 4.114E-01 ;YFRAC (78) = 4.279E-01
 YFRAC (79) = 4.448E-01 ;YFRAC (80) = 4.621E-01
 YFRAC (81) = 4.799E-01 ;YFRAC (82) = 4.981E-01
 YFRAC (83) = 5.168E-01 ;YFRAC (84) = 5.359E-01
 YFRAC (85) = 5.554E-01 ;YFRAC (86) = 5.750E-01
 YFRAC (87) = 5.941E-01 ;YFRAC (88) = 6.127E-01
 YFRAC (89) = 6.309E-01 ;YFRAC (90) = 6.487E-01
 YFRAC (91) = 6.661E-01 ;YFRAC (92) = 6.830E-01
 YFRAC (93) = 6.994E-01 ;YFRAC (94) = 7.155E-01
 YFRAC (95) = 7.311E-01 ;YFRAC (96) = 7.462E-01
 YFRAC (97) = 7.609E-01 ;YFRAC (98) = 7.752E-01
 YFRAC (99) = 7.890E-01 ;YFRAC (100) = 8.024E-01
 YFRAC (101) = 8.154E-01 ;YFRAC (102) = 8.279E-01
 YFRAC (103) = 8.400E-01 ;YFRAC (104) = 8.516E-01
 YFRAC (105) = 8.628E-01 ;YFRAC (106) = 8.735E-01
 YFRAC (107) = 8.839E-01 ;YFRAC (108) = 8.937E-01
 YFRAC (109) = 9.032E-01 ;YFRAC (110) = 9.122E-01
 YFRAC (111) = 9.207E-01 ;YFRAC (112) = 9.289E-01
 YFRAC (113) = 9.366E-01 ;YFRAC (114) = 9.438E-01
 YFRAC (115) = 9.506E-01 ;YFRAC (116) = 9.570E-01
 YFRAC (117) = 9.629E-01 ;YFRAC (118) = 9.684E-01
 YFRAC (119) = 9.734E-01 ;YFRAC (120) = 9.780E-01
 YFRAC (121) = 9.822E-01 ;YFRAC (122) = 9.859E-01

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

Whole-field residual sum(s) before solution

Resref values determined by SATELLITE

variable resref (res sum)/resref

P1	1.000E-08	1.281E+05
V1	1.000E-08	3.480E+05
W1	1.000E-08	3.571E+05
KE	1.000E-08	1.598E+05
EP	1.000E-08	1.697E+06
H1	1.000E-08	8.882E+08

Net source of V1	at patch named: GIRIS	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CIKIS	= -5.290E-01
Net source of V1	at patch named: ZEMIN	= 7.935E-01
Net source of V1	at patch named: KOLEKTOR	= 6.785E-01
Net source of V1	at patch named: CMP1-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP2-HW	= 2.655E-04
Net source of V1	at patch named: CMP3-HW	= 2.187E-03
Net source of V1	at patch named: CMP4-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP5-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP6-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP7-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP8-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP9-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP10-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP11-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP12-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP13-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP14-HW	= 0.000E+00
Net source of V1	at patch named: CMP15-HW	= 1.288E-02
Net source of V1	at patch named: CMP16-HW	= 6.897E-01
Net source of V1	at patch named: CMP17-HW	= 6.796E-01
Net source of V1	at patch named: CMP18-LW	= -5.453E-03
Net source of V1	at patch named: CMP19-LW	= 4.610E-04
Net source of V1	at patch named: CMP20-LW	= 7.300E-04
Net source of V1	at patch named: CMP21-LW	= 1.050E-03
Net source of V1	at patch named: CMP22-LW	= 9.340E-04
Net source of V1	at patch named: CMP23-LW	= 7.220E-04
Net source of V1	at patch named: CMP24-LW	= 1.730E-03
Net source of V1	at patch named: CMP25-LW	= 2.047E-03
Net source of V1	at patch named: CMP26-LW	= 1.757E-03
Net source of V1	at patch named: CMP27-LW	= 3.421E-03
Net source of V1	at patch named: CMP28-LW	= 1.483E-02
Net source of V1	at patch named: CMP29-LW	= 6.840E-03
Net source of V1	at patch named: CMP30-LW	= 8.573E-03
Net source of V1	at patch named: CMP31-LW	= 1.314E-02
Net source of V1	at patch named: CMP32-LW	= 1.130E-02
Net source of V1	at patch named: CMP33-LW	= 2.965E-02
Net source of V1	at patch named: CMP34-LW	= 3.547E-02
Net source of V1	at patch named: CMP35-LW	= 1.120E-02
Net source of V1	at patch named: CMP36-LW	= 1.092E-03
Net source of W1	at patch named: BUOYANCY	= 9.491E+01
Net source of W1	at patch named: GIRIS	= -1.995E-02

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

Net source of W1 at patch named: CIKIS = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: BACA = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP1-NW =-4.683E+00
Net source of W1 at patch named: CMP2-NW =-4.026E-02
Net source of W1 at patch named: CMP3-NW =-1.862E-02
Net source of W1 at patch named: CMP4-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP5-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP6-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP7-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP8-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP9-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP10-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP11-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP12-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP13-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP14-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP15-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP16-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP17-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP18-SW =-5.992E-03
Net source of W1 at patch named: CMP19-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP19-SW =-1.889E-02
Net source of W1 at patch named: CMP20-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP20-SW =-8.428E-03
Net source of W1 at patch named: CMP21-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP21-SW =-1.117E-02
Net source of W1 at patch named: CMP22-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP22-SW =-9.619E-03
Net source of W1 at patch named: CMP23-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP23-SW =-5.556E-03
Net source of W1 at patch named: CMP24-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP24-SW =-5.317E-03
Net source of W1 at patch named: CMP25-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP25-SW =-1.146E-02
Net source of W1 at patch named: CMP26-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP26-SW =-5.074E-03
Net source of W1 at patch named: CMP27-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP27-SW =-1.223E-03
Net source of W1 at patch named: CMP28-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP28-SW =-7.999E-04
Net source of W1 at patch named: CMP29-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP29-SW =-4.254E-04
Net source of W1 at patch named: CMP30-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP30-SW =-1.859E-04
Net source of W1 at patch named: CMP31-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP31-SW =-7.028E-04
Net source of W1 at patch named: CMP32-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP32-SW =-3.836E-04
Net source of W1 at patch named: CMP33-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP33-SW =-2.862E-04
Net source of W1 at patch named: CMP34-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP34-SW =-8.940E-05
Net source of W1 at patch named: CMP35-NW = 0.000E+00
Net source of W1 at patch named: CMP35-SW =-2.366E-04

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

Net source of W1 at patch named: CMP36-NW = 0.000E+00
 Net source of W1 at patch named: CMP36-SW = -1.027E-05

Net source of R1 at patch named: GIRIS = 2.993E+00
 Net source of R1 at patch named: CIKIS = -2.993E+00

Net source of KE at patch named: KESOURCE = 6.478E+01
 Net source of KE at patch named: GIRIS = 2.526E+00
 Net source of KE at patch named: CIKIS = -4.027E+00
 Net source of KE at patch named: ZEMIN = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: KOLEKTOR = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: BACA = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP1-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP1-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP2-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP2-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP3-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP3-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP4-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP4-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP5-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP5-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP6-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP6-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP7-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP7-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP8-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP8-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP9-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP9-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP10-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP10-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP11-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP11-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP12-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP12-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP13-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP13-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP14-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP14-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP15-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP15-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP16-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP16-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP17-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP17-HW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP18-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP18-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP19-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP19-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP19-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP20-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP20-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP20-LW = 0.000E+00

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

Net source of KE at patch named: CMP21-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP21-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP21-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP22-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP22-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP22-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP23-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP23-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP23-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP24-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP24-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP24-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP25-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP25-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP25-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP26-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP26-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP26-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP27-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP27-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP27-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP28-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP28-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP28-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP29-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP29-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP29-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP30-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP30-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP30-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP31-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP31-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP31-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP32-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP32-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP32-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP33-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP33-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP33-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP34-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP34-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP34-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP35-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP35-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP35-LW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP36-NW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP36-SW = 0.000E+00
 Net source of KE at patch named: CMP36-LW = 0.000E+00

 Net source of EP at patch named: KESOURCE = 1.157E+03
 Net source of EP at patch named: GIRIS = 2.321E+01
 Net source of EP at patch named: CIKIS = -5.135E+00
 Net source of EP at patch named: ZEMIN = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: KOLEKTOR = 0.000E+00

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

[illegible]

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

Net source of EP at patch named: CMP24-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP25-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP25-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP25-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP26-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP26-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP26-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP27-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP27-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP27-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP28-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP28-SW = 0.000E+00

Net source of EP at patch named: CMP32-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP32-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP33-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP33-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP33-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP34-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP34-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP34-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP35-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP35-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP35-LW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP36-NW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP36-SW = 0.000E+00
 Net source of EP at patch named: CMP36-LW = 0.000E+00

Net source of H1 at patch named: GIRIS = 8.130E+04
 Net source of H1 at patch named: CIKIS = -1.424E+05
 Net source of H1 at patch named: ZEMIN = 6.116E+04
 Net source of H1 at patch named: KOLEKTOR = -2.460E+00

spot values vs sweep or iteration number

IXMON= 1 IYMON= 22 IZMON= 30 TIMESTEP= 1

VARIABLE	P1	V1	W1	KE	EP
MINVAL=	-2.109E+02	-1.047E+01	1.810E-01	1.624E-03	4.518E-04
MAXVAL=	1.000E-10	-1.288E-01	1.773E+01	5.784E-01	4.833E+00
CELLAV=	-1.534E+02	-8.275E+00	1.402E+01	7.770E-02	3.408E-01

VARIABLE	H1
MINVAL=	1.000E-10
MAXVAL=	8.214E+04
CELLAV=	4.217E+04

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.00 E....+....+H.W.+....+....+....+....+....+....+
. P      W      W
0.90 + V      W W W W W W W W W W W W W
.
0.80 + P      +
.
0.70 +      +
. V
0.60 +      H H      +
.      H H H H H H H H H H H H
0.50 +      H      +
.
0.40 + V      +
. W
0.30 +      +
. H
0.20 +      P      +
.      P P P P P P P P P P
0.10 + W      K K K K K K K K K K K K K
. H K E E E
0.00 H..E..E..+..V..+..E..+E..E..+E..E..+E..E..+E..E..E
      0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0
the abscissa is      ISWP. min= 1.00E+00 max= 4.75E+03

```

residuals vs sweep or iteration number

```

VARIABLE      P1      V1      W1      KE      EP
MINVAL= 1.191E+01 1.278E+01 1.257E+01 1.217E+01 1.454E+01
MAXVAL= 2.236E+01 2.177E+01 2.355E+01 2.577E+01 2.825E+01
VARIABLE      H1
MINVAL= 2.101E+01
MAXVAL= 3.174E+01

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.00 E....H....+....+....+....+....+....+....+
.
0.90 +   H V               +
      H
.
0.80 H H W W               +
      P   H
.
0.70 +   P W H H           +
      W K       W W
.
0.60 +   K P P P H         +
      K   P   W
.
0.50 +   E E E K   W H W   +
      V               H W
.
0.40 +       E K K   P V   +
      E   K   H W
.
0.30 + K       E   K K   H H   +
      E E   K P   H W
.
0.20 +       E E K V   H W   +
      E               E K V V   W
.
0.10 +       E E K H V   +
      E K H W
.
0.00 +....+....+....+....+....+....+....+E..+H..H
      0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0
the abscissa is   ISWP. min= 1.00E+00 max= 4.75E+03

```

```

*****
*****

```

```
PATCH(FIG1 ,PROFIL, 1, 1, 1, 130, 10, 10, 1, 1)
```

```
PLOT(FIG1 ,P1 ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,V1 ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,W1 ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,KE ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,EP ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,H1 ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,TMP1,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG1 ,RHO1,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
Tabulation of abscissa and ordinates...
```

Y	P1	V1	W1	KE	EP
1.250E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
6.250E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
1.625E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
3.125E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
5.125E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
7.625E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
1.063E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
1.412E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
1.812E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
2.262E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
2.737E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
3.188E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
3.588E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
3.938E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
4.238E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10
4.488E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-10	1.000E-10

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

4.688E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
4.838E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
4.938E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
4.988E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
5.021E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
5.104E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
5.270E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
5.519E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
5.851E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
6.266E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
6.764E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
7.345E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
8.009E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
8.756E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.000E-10 1.000E-10
9.544E+00 -9.293E+01 -1.262E+01 5.137E+00 1.346E-01 5.021E-02
1.029E+01 -9.464E+01 -1.253E+01 4.272E+00 9.647E-02 2.744E-01
1.096E+01 -1.095E+02 -1.393E+01 2.896E+00 5.483E-02 2.037E-01
1.154E+01 -1.042E+02 -1.326E+01 3.074E+00 2.992E-02 8.066E-02
1.203E+01 -1.046E+02 -1.333E+01 2.035E+00 1.546E-02 2.361E-02
1.245E+01 -1.024E+02 -1.316E+01 1.435E+00 1.214E-02 8.935E-03
1.278E+01 -9.702E+01 -1.277E+01 1.212E+00 1.074E-02 3.953E-03
1.303E+01 -9.277E+01 -1.248E+01 9.899E-01 9.770E-03 1.756E-03
1.320E+01 -9.013E+01 -1.229E+01 8.272E-01 9.102E-03 1.291E-03
1.328E+01 -8.928E+01 -1.223E+01 7.259E-01 8.643E-03 1.130E-03
1.331E+01 -8.875E+01 -1.220E+01 6.923E-01 8.497E-03 1.089E-03
1.337E+01 -8.722E+01 -1.209E+01 6.710E-01 8.421E-03 1.068E-03
1.347E+01 -8.484E+01 -1.192E+01 6.070E-01 8.214E-03 1.011E-03
1.363E+01 -8.195E+01 -1.171E+01 5.039E-01 7.888E-03 9.289E-04
1.384E+01 -7.887E+01 -1.149E+01 3.774E-01 7.531E-03 8.481E-04
1.410E+01 -7.570E+01 -1.125E+01 2.537E-01 7.232E-03 7.872E-04
1.442E+01 -7.238E+01 -1.099E+01 1.546E-01 7.010E-03 7.462E-04
1.479E+01 -6.888E+01 -1.072E+01 8.709E-02 6.827E-03 7.158E-04
1.521E+01 -6.521E+01 -1.042E+01 4.679E-02 6.647E-03 6.883E-04
1.568E+01 -6.144E+01 -1.010E+01 2.519E-02 6.447E-03 6.597E-04
1.621E+01 -5.764E+01 -9.772E+00 1.464E-02 6.231E-03 6.288E-04
1.679E+01 -5.389E+01 -9.436E+00 9.838E-03 6.008E-03 5.971E-04
1.742E+01 -5.022E+01 -9.096E+00 7.720E-03 5.785E-03 5.659E-04
1.811E+01 -4.668E+01 -8.756E+00 6.736E-03 5.568E-03 5.362E-04
1.885E+01 -4.330E+01 -8.419E+00 6.193E-03 5.360E-03 5.081E-04
1.964E+01 -4.011E+01 -8.086E+00 5.811E-03 5.163E-03 4.821E-04
2.048E+01 -3.710E+01 -7.760E+00 5.490E-03 4.977E-03 4.579E-04
2.137E+01 -3.428E+01 -7.442E+00 5.197E-03 4.803E-03 4.357E-04
2.232E+01 -3.166E+01 -7.134E+00 4.922E-03 4.639E-03 4.152E-04
2.332E+01 -2.924E+01 -6.836E+00 4.663E-03 4.485E-03 3.962E-04
2.438E+01 -2.699E+01 -6.548E+00 4.416E-03 4.341E-03 3.788E-04
2.548E+01 -2.493E+01 -6.272E+00 4.183E-03 4.204E-03 3.625E-04
2.664E+01 -2.304E+01 -6.008E+00 3.962E-03 4.075E-03 3.474E-04
2.786E+01 -2.130E+01 -5.754E+00 3.752E-03 3.951E-03 3.332E-04
2.912E+01 -1.971E+01 -5.512E+00 3.553E-03 3.832E-03 3.197E-04
3.044E+01 -1.825E+01 -5.282E+00 3.364E-03 3.717E-03 3.068E-04
3.181E+01 -1.692E+01 -5.061E+00 3.185E-03 3.605E-03 2.943E-04
3.323E+01 -1.570E+01 -4.852E+00 3.018E-03 3.494E-03 2.822E-04
3.471E+01 -1.459E+01 -4.652E+00 2.860E-03 3.384E-03 2.703E-04
3.623E+01 -1.358E+01 -4.462E+00 2.710E-03 3.274E-03 2.586E-04

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

3.781E+01 -1.266E+01 -4.282E+00 2.572E-03 3.162E-03 2.469E-04
3.945E+01 -1.181E+01 -4.110E+00 2.443E-03 3.050E-03 2.351E-04
4.113E+01 -1.104E+01 -3.946E+00 2.320E-03 2.935E-03 2.233E-04
4.287E+01 -1.033E+01 -3.791E+00 2.205E-03 2.818E-03 2.114E-04
4.466E+01 -9.682E+00 -3.643E+00 2.098E-03 2.698E-03 1.994E-04
4.651E+01 -9.090E+00 -3.502E+00 1.995E-03 2.576E-03 1.873E-04
4.841E+01 -8.547E+00 -3.368E+00 1.896E-03 2.451E-03 1.751E-04
5.036E+01 -8.050E+00 -3.241E+00 1.801E-03 2.324E-03 1.629E-04
5.236E+01 -7.593E+00 -3.119E+00 1.709E-03 2.195E-03 1.508E-04
5.441E+01 -7.173E+00 -3.004E+00 1.617E-03 2.065E-03 1.388E-04
5.652E+01 -6.787E+00 -2.893E+00 1.527E-03 1.936E-03 1.271E-04
5.868E+01 -6.432E+00 -2.788E+00 1.437E-03 1.808E-03 1.157E-04
6.089E+01 -6.105E+00 -2.688E+00 1.345E-03 1.683E-03 1.049E-04
6.316E+01 -5.803E+00 -2.592E+00 1.253E-03 1.563E-03 9.486E-05
6.548E+01 -5.525E+00 -2.500E+00 1.157E-03 1.451E-03 8.565E-05
6.782E+01 -5.272E+00 -2.414E+00 1.027E-03 1.348E-03 7.749E-05
7.014E+01 -5.048E+00 -2.335E+00 8.891E-04 1.257E-03 7.066E-05
7.241E+01 -4.848E+00 -2.261E+00 7.819E-04 1.183E-03 6.535E-05
7.462E+01 -4.668E+00 -2.194E+00 6.789E-04 1.125E-03 6.154E-05
7.678E+01 -4.507E+00 -2.131E+00 5.746E-04 1.083E-03 5.917E-05
7.889E+01 -4.361E+00 -2.073E+00 4.716E-04 1.055E-03 5.818E-05
8.094E+01 -4.229E+00 -2.018E+00 3.673E-04 1.042E-03 5.851E-05
8.294E+01 -4.109E+00 -1.967E+00 2.645E-04 1.042E-03 6.013E-05
8.489E+01 -4.000E+00 -1.920E+00 1.646E-04 1.056E-03 6.304E-05
8.679E+01 -3.900E+00 -1.875E+00 6.682E-05 1.081E-03 6.726E-05
8.864E+01 -3.808E+00 -1.833E+00 -2.821E-05 1.118E-03 7.289E-05
9.043E+01 -3.724E+00 -1.794E+00 -1.211E-04 1.166E-03 8.003E-05
9.217E+01 -3.646E+00 -1.757E+00 -2.116E-04 1.226E-03 8.889E-05
9.385E+01 -3.575E+00 -1.722E+00 -3.005E-04 1.298E-03 9.973E-05
9.549E+01 -3.509E+00 -1.689E+00 -3.879E-04 1.383E-03 1.129E-04
9.707E+01 -3.448E+00 -1.658E+00 -4.745E-04 1.481E-03 1.289E-04
9.859E+01 -3.392E+00 -1.629E+00 -5.602E-04 1.595E-03 1.484E-04
1.001E+02 -3.339E+00 -1.601E+00 -6.453E-04 1.726E-03 1.722E-04
1.015E+02 -3.290E+00 -1.575E+00 -7.295E-04 1.877E-03 2.015E-04
1.029E+02 -3.245E+00 -1.551E+00 -8.135E-04 2.052E-03 2.377E-04
1.042E+02 -3.203E+00 -1.527E+00 -8.973E-04 2.254E-03 2.830E-04
1.054E+02 -3.164E+00 -1.505E+00 -9.857E-04 2.491E-03 3.401E-04
1.067E+02 -3.127E+00 -1.484E+00 -1.086E-03 2.767E-03 4.128E-04
1.078E+02 -3.093E+00 -1.464E+00 -1.193E-03 3.094E-03 5.065E-04
1.089E+02 -3.061E+00 -1.446E+00 -1.302E-03 3.483E-03 6.288E-04
1.100E+02 -3.031E+00 -1.428E+00 -1.414E-03 3.950E-03 7.906E-04
1.110E+02 -3.003E+00 -1.411E+00 -1.527E-03 4.515E-03 1.008E-03
1.119E+02 -2.977E+00 -1.395E+00 -1.638E-03 5.208E-03 1.305E-03
1.128E+02 -2.953E+00 -1.380E+00 -1.743E-03 6.066E-03 1.718E-03
1.137E+02 -2.930E+00 -1.366E+00 -1.834E-03 7.143E-03 2.303E-03
1.145E+02 -2.909E+00 -1.353E+00 -1.909E-03 8.514E-03 3.153E-03
1.152E+02 -2.889E+00 -1.340E+00 -1.972E-03 1.029E-02 4.414E-03
1.159E+02 -2.870E+00 -1.329E+00 -2.020E-03 1.262E-02 6.337E-03
1.165E+02 -2.853E+00 -1.317E+00 -2.059E-03 1.575E-02 9.356E-03
1.171E+02 -2.837E+00 -1.307E+00 -2.104E-03 2.005E-02 1.425E-02
1.176E+02 -2.822E+00 -1.297E+00 -2.179E-03 2.606E-02 2.246E-02
1.181E+02 -2.809E+00 -1.289E+00 -2.308E-03 3.471E-02 3.677E-02
1.185E+02 -2.797E+00 -1.281E+00 -2.520E-03 4.746E-02 6.271E-02
1.189E+02 -2.786E+00 -1.273E+00 -2.836E-03 6.678E-02 1.117E-01

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.192E+02 -2.777E+00 -1.267E+00 -3.248E-03 9.678E-02 2.081E-01
1.195E+02 -2.768E+00 -1.261E+00 -3.696E-03 1.443E-01 4.043E-01
1.197E+02 -2.762E+00 -1.257E+00 -4.072E-03 2.202E-01 8.126E-01
1.198E+02 -2.757E+00 -1.253E+00 -4.300E-03 3.394E-01 1.657E+00
1.199E+02 -2.753E+00 -1.251E+00 -4.394E-03 5.134E-01 3.288E+00
1.200E+02 -9.174E-01 0.000E+00 -4.419E-03 7.210E-01 5.841E+00
  Y      H1      TMP1      RHO1
1.250E-02 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
6.250E-02 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
1.625E-01 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
3.125E-01 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
5.125E-01 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
7.625E-01 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
1.063E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
1.412E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
1.812E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
2.262E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
2.737E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
3.188E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
3.588E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
3.938E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
4.238E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
4.488E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
4.688E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
4.838E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
4.938E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
4.988E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
5.021E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
5.104E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
5.270E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
5.519E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
5.851E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
6.266E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
6.764E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
7.345E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
8.009E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
8.756E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.289E+00
9.544E+00 9.778E+04 9.719E+01 9.506E-01
1.029E+01 8.889E+04 8.836E+01 9.739E-01
1.096E+01 6.538E+04 6.499E+01 1.041E+00
1.154E+01 5.355E+04 5.323E+01 1.079E+00
1.203E+01 3.910E+04 3.886E+01 1.128E+00
1.245E+01 3.460E+04 3.439E+01 1.145E+00
1.278E+01 3.245E+04 3.226E+01 1.153E+00
1.303E+01 3.112E+04 3.093E+01 1.158E+00
1.320E+01 3.050E+04 3.032E+01 1.160E+00
1.328E+01 3.024E+04 3.006E+01 1.161E+00
1.331E+01 3.016E+04 2.998E+01 1.161E+00
1.337E+01 3.012E+04 2.994E+01 1.162E+00
1.347E+01 3.000E+04 2.982E+01 1.162E+00
1.363E+01 2.983E+04 2.965E+01 1.163E+00
1.384E+01 2.964E+04 2.946E+01 1.164E+00
1.410E+01 2.948E+04 2.930E+01 1.164E+00
1.442E+01 2.935E+04 2.918E+01 1.165E+00

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.479E+01 2.927E+04 2.910E+01 1.165E+00
1.521E+01 2.922E+04 2.905E+01 1.165E+00
1.568E+01 2.919E+04 2.901E+01 1.165E+00
1.621E+01 2.916E+04 2.898E+01 1.165E+00
1.679E+01 2.913E+04 2.896E+01 1.165E+00
1.742E+01 2.911E+04 2.894E+01 1.166E+00
1.811E+01 2.908E+04 2.891E+01 1.166E+00
1.885E+01 2.906E+04 2.888E+01 1.166E+00
1.964E+01 2.903E+04 2.886E+01 1.166E+00
2.048E+01 2.900E+04 2.883E+01 1.166E+00
2.137E+01 2.897E+04 2.880E+01 1.166E+00
2.232E+01 2.894E+04 2.876E+01 1.166E+00
2.332E+01 2.890E+04 2.873E+01 1.166E+00
2.438E+01 2.886E+04 2.869E+01 1.166E+00
2.548E+01 2.883E+04 2.865E+01 1.167E+00
2.664E+01 2.879E+04 2.861E+01 1.167E+00
2.786E+01 2.874E+04 2.857E+01 1.167E+00
2.912E+01 2.870E+04 2.853E+01 1.167E+00
3.044E+01 2.865E+04 2.848E+01 1.167E+00
3.181E+01 2.861E+04 2.844E+01 1.167E+00
3.323E+01 2.856E+04 2.839E+01 1.168E+00
3.471E+01 2.851E+04 2.834E+01 1.168E+00
3.623E+01 2.846E+04 2.829E+01 1.168E+00
3.781E+01 2.841E+04 2.824E+01 1.168E+00
3.945E+01 2.836E+04 2.819E+01 1.168E+00
4.113E+01 2.831E+04 2.814E+01 1.169E+00
4.287E+01 2.825E+04 2.808E+01 1.169E+00
4.466E+01 2.820E+04 2.803E+01 1.169E+00
4.651E+01 2.814E+04 2.798E+01 1.169E+00
4.841E+01 2.809E+04 2.792E+01 1.169E+00
5.036E+01 2.804E+04 2.787E+01 1.170E+00
5.236E+01 2.798E+04 2.782E+01 1.170E+00
5.441E+01 2.793E+04 2.776E+01 1.170E+00
5.652E+01 2.788E+04 2.771E+01 1.170E+00
5.868E+01 2.782E+04 2.766E+01 1.170E+00
6.089E+01 2.777E+04 2.761E+01 1.171E+00
6.316E+01 2.772E+04 2.756E+01 1.171E+00
6.548E+01 2.767E+04 2.751E+01 1.171E+00
6.782E+01 2.763E+04 2.746E+01 1.171E+00
7.014E+01 2.758E+04 2.742E+01 1.171E+00
7.241E+01 2.754E+04 2.738E+01 1.172E+00
7.462E+01 2.750E+04 2.734E+01 1.172E+00
7.678E+01 2.746E+04 2.730E+01 1.172E+00
7.889E+01 2.743E+04 2.727E+01 1.172E+00
8.094E+01 2.740E+04 2.724E+01 1.172E+00
8.294E+01 2.737E+04 2.721E+01 1.172E+00
8.489E+01 2.735E+04 2.718E+01 1.172E+00
8.679E+01 2.732E+04 2.716E+01 1.172E+00
8.864E+01 2.730E+04 2.714E+01 1.173E+00
9.043E+01 2.728E+04 2.712E+01 1.173E+00
9.217E+01 2.726E+04 2.710E+01 1.173E+00
9.385E+01 2.725E+04 2.709E+01 1.173E+00
9.549E+01 2.724E+04 2.707E+01 1.173E+00
9.707E+01 2.722E+04 2.706E+01 1.173E+00

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

9.859E+01 2.721E+04 2.705E+01 1.173E+00
1.001E+02 2.720E+04 2.704E+01 1.173E+00
1.015E+02 2.720E+04 2.703E+01 1.173E+00
1.029E+02 2.719E+04 2.703E+01 1.173E+00
1.042E+02 2.718E+04 2.702E+01 1.173E+00
1.054E+02 2.718E+04 2.702E+01 1.173E+00
1.067E+02 2.717E+04 2.701E+01 1.173E+00
1.078E+02 2.717E+04 2.701E+01 1.173E+00
1.089E+02 2.717E+04 2.701E+01 1.173E+00
1.100E+02 2.717E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.110E+02 2.717E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.119E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.128E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.137E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.145E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.152E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.159E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.165E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.171E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.176E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.181E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.185E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.189E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.192E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.195E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.197E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.198E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.199E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00
1.200E+02 2.716E+04 2.700E+01 1.173E+00

```

```
PATCH(FIG2 ,PROFIL, 1, 1, 1, 130, 11, 11, 1, 1)
```

```
PLOT(FIG2 ,V1 ,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
PLOT(FIG2 ,TMP1,1.000E+00,0.000E+00)
```

```
Tabulation of abscissa and ordinates...
```

```
Y      V1      TMP1
```

```

8.756E+00 -1.389E+01 8.806E+01
9.544E+00 -1.281E+01 8.806E+01
1.029E+01 -1.271E+01 7.206E+01
1.096E+01 -1.366E+01 5.129E+01
1.154E+01 -1.338E+01 4.117E+01
1.203E+01 -1.342E+01 3.269E+01
1.245E+01 -1.317E+01 3.017E+01
1.278E+01 -1.282E+01 2.914E+01
1.303E+01 -1.254E+01 2.863E+01
1.320E+01 -1.237E+01 2.840E+01
1.328E+01 -1.231E+01 2.830E+01
1.331E+01 -1.228E+01 2.827E+01
1.337E+01 -1.217E+01 2.825E+01
1.347E+01 -1.200E+01 2.821E+01
1.363E+01 -1.178E+01 2.814E+01
1.384E+01 -1.153E+01 2.807E+01
1.410E+01 -1.126E+01 2.801E+01
1.442E+01 -1.099E+01 2.795E+01
1.479E+01 -1.069E+01 2.792E+01

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.521E+01 -1.039E+01 2.789E+01
1.568E+01 -1.007E+01 2.788E+01
1.621E+01 -9.735E+00 2.787E+01
1.679E+01 -9.398E+00 2.785E+01
1.742E+01 -9.058E+00 2.784E+01
1.811E+01 -8.718E+00 2.783E+01
1.885E+01 -8.380E+00 2.782E+01
1.964E+01 -8.047E+00 2.780E+01
2.048E+01 -7.721E+00 2.779E+01
2.137E+01 -7.403E+00 2.778E+01
2.232E+01 -7.095E+00 2.776E+01
2.332E+01 -6.797E+00 2.774E+01
2.438E+01 -6.509E+00 2.772E+01
2.548E+01 -6.233E+00 2.771E+01
2.664E+01 -5.968E+00 2.769E+01
2.786E+01 -5.715E+00 2.767E+01
2.912E+01 -5.472E+00 2.765E+01
3.044E+01 -5.241E+00 2.762E+01
3.181E+01 -5.021E+00 2.760E+01
3.323E+01 -4.811E+00 2.758E+01
3.471E+01 -4.611E+00 2.756E+01
3.623E+01 -4.421E+00 2.753E+01
3.781E+01 -4.240E+00 2.751E+01
3.945E+01 -4.068E+00 2.748E+01
4.113E+01 -3.905E+00 2.746E+01
4.287E+01 -3.750E+00 2.743E+01
4.466E+01 -3.602E+00 2.740E+01
4.651E+01 -3.461E+00 2.738E+01
4.841E+01 -3.328E+00 2.735E+01
5.036E+01 -3.201E+00 2.733E+01
5.236E+01 -3.080E+00 2.730E+01
5.441E+01 -2.965E+00 2.728E+01
5.652E+01 -2.856E+00 2.725E+01
5.868E+01 -2.752E+00 2.723E+01
6.089E+01 -2.653E+00 2.721E+01
6.316E+01 -2.559E+00 2.718E+01
6.548E+01 -2.469E+00 2.716E+01
6.782E+01 -2.385E+00 2.714E+01
7.014E+01 -2.308E+00 2.712E+01
7.241E+01 -2.237E+00 2.711E+01
7.462E+01 -2.172E+00 2.709E+01
7.678E+01 -2.111E+00 2.708E+01
7.889E+01 -2.055E+00 2.707E+01
8.094E+01 -2.003E+00 2.706E+01
8.294E+01 -1.954E+00 2.705E+01
8.489E+01 -1.909E+00 2.704E+01
8.679E+01 -1.866E+00 2.704E+01
8.864E+01 -1.825E+00 2.703E+01
9.043E+01 -1.787E+00 2.702E+01
9.217E+01 -1.751E+00 2.702E+01
9.385E+01 -1.718E+00 2.702E+01
9.549E+01 -1.686E+00 2.701E+01
9.707E+01 -1.655E+00 2.701E+01
9.859E+01 -1.627E+00 2.701E+01

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.001E+02 -1.599E+00 2.701E+01
1.015E+02 -1.574E+00 2.701E+01
1.029E+02 -1.549E+00 2.700E+01
1.042E+02 -1.526E+00 2.700E+01
1.054E+02 -1.504E+00 2.700E+01
1.067E+02 -1.484E+00 2.700E+01
1.078E+02 -1.464E+00 2.700E+01
1.089E+02 -1.445E+00 2.700E+01
1.100E+02 -1.428E+00 2.700E+01
1.110E+02 -1.411E+00 2.700E+01
1.119E+02 -1.395E+00 2.700E+01
1.128E+02 -1.380E+00 2.700E+01
1.137E+02 -1.366E+00 2.700E+01
1.145E+02 -1.353E+00 2.700E+01
1.152E+02 -1.340E+00 2.700E+01
1.159E+02 -1.328E+00 2.700E+01
1.165E+02 -1.317E+00 2.700E+01
1.171E+02 -1.307E+00 2.700E+01
1.176E+02 -1.297E+00 2.700E+01
1.181E+02 -1.289E+00 2.700E+01
1.185E+02 -1.281E+00 2.700E+01
1.189E+02 -1.274E+00 2.700E+01
1.192E+02 -1.267E+00 2.700E+01
1.195E+02 -1.262E+00 2.700E+01
1.197E+02 -1.257E+00 2.700E+01
1.198E+02 -1.254E+00 2.700E+01
1.199E+02 -1.251E+00 2.700E+01
1.200E+02 0.000E+00 2.700E+01
PATCH(FIG3 ,PROFIL, 1, 1, 1, 130, 1, 1, 1, 1)
PLOT(FIG3 ,V1 ,1.000E+00,0.000E+00)
PLOT(FIG3 ,TMP1,1.000E+00,0.000E+00)
Tabulation of abscissa and ordinates...
      Y      V1      TMP1
1.331E+01 -4.097E+00 3.133E+02
1.337E+01 -6.299E+00 3.122E+02
1.347E+01 -7.626E+00 3.102E+02
1.363E+01 -8.336E+00 3.089E+02
1.384E+01 -8.668E+00 3.082E+02
1.410E+01 -8.760E+00 3.078E+02
1.442E+01 -8.692E+00 3.078E+02
1.479E+01 -8.520E+00 3.080E+02
1.521E+01 -8.280E+00 3.083E+02
1.568E+01 -7.999E+00 3.089E+02
1.621E+01 -7.696E+00 3.095E+02
1.679E+01 -7.381E+00 3.103E+02
1.742E+01 -7.064E+00 3.112E+02
1.811E+01 -6.748E+00 3.121E+02
1.885E+01 -6.437E+00 3.131E+02
1.964E+01 -6.133E+00 3.142E+02
2.048E+01 -5.838E+00 3.154E+02
2.137E+01 -5.554E+00 3.166E+02
2.232E+01 -5.281E+00 3.179E+02
2.332E+01 -5.019E+00 3.193E+02
2.438E+01 -4.770E+00 3.207E+02

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

2.548E+01 -4.532E+00 3.221E+02
2.664E+01 -4.305E+00 3.236E+02
2.786E+01 -4.091E+00 3.252E+02
2.912E+01 -3.887E+00 3.268E+02
3.044E+01 -3.694E+00 3.284E+02
3.181E+01 -3.512E+00 3.301E+02
3.323E+01 -3.339E+00 3.318E+02
3.471E+01 -3.176E+00 3.335E+02
3.623E+01 -3.022E+00 3.352E+02
3.781E+01 -2.877E+00 3.369E+02
3.945E+01 -2.740E+00 3.385E+02
4.113E+01 -2.610E+00 3.401E+02
4.287E+01 -2.489E+00 3.415E+02
4.466E+01 -2.374E+00 3.429E+02
4.651E+01 -2.266E+00 3.442E+02
4.841E+01 -2.164E+00 3.453E+02
5.036E+01 -2.068E+00 3.463E+02
5.236E+01 -1.977E+00 3.471E+02
5.441E+01 -1.892E+00 3.477E+02
5.652E+01 -1.811E+00 3.481E+02
5.868E+01 -1.735E+00 3.483E+02
6.089E+01 -1.663E+00 3.482E+02
6.316E+01 -1.596E+00 3.478E+02
6.548E+01 -1.531E+00 3.471E+02
6.782E+01 -1.472E+00 3.462E+02
7.014E+01 -1.418E+00 3.450E+02
7.241E+01 -1.369E+00 3.436E+02
7.462E+01 -1.323E+00 3.421E+02
7.678E+01 -1.282E+00 3.404E+02
7.889E+01 -1.243E+00 3.386E+02
8.094E+01 -1.206E+00 3.367E+02
8.294E+01 -1.172E+00 3.347E+02
8.489E+01 -1.140E+00 3.326E+02
8.679E+01 -1.110E+00 3.301E+02
8.864E+01 -1.081E+00 3.272E+02
9.043E+01 -1.055E+00 3.237E+02
9.217E+01 -1.030E+00 3.196E+02
9.385E+01 -1.007E+00 3.148E+02
9.549E+01 -9.855E-01 3.092E+02
9.707E+01 -9.656E-01 3.030E+02
9.859E+01 -9.472E-01 2.962E+02
1.001E+02 -9.302E-01 2.888E+02
1.015E+02 -9.144E-01 2.809E+02
1.029E+02 -8.999E-01 2.725E+02
1.042E+02 -8.867E-01 2.637E+02
1.054E+02 -8.747E-01 2.545E+02
1.067E+02 -8.639E-01 2.448E+02
1.078E+02 -8.544E-01 2.348E+02
1.089E+02 -8.461E-01 2.246E+02
1.100E+02 -8.390E-01 2.141E+02
1.110E+02 -8.332E-01 2.034E+02
1.119E+02 -8.288E-01 1.925E+02
1.128E+02 -8.264E-01 1.813E+02
1.137E+02 -8.269E-01 1.696E+02

```

EK-2 (Devam) Örnek RESULT dosyası

```

1.145E+02 -8.323E-01 1.569E+02
1.152E+02 -8.444E-01 1.429E+02
1.159E+02 -8.645E-01 1.276E+02
1.165E+02 -8.917E-01 1.119E+02
1.171E+02 -9.232E-01 9.698E+01
1.176E+02 -9.552E-01 8.391E+01
1.181E+02 -9.843E-01 7.329E+01
1.185E+02 -1.009E+00 6.505E+01
1.189E+02 -1.032E+00 5.864E+01
1.192E+02 -1.056E+00 5.331E+01
1.195E+02 -1.084E+00 4.834E+01
1.197E+02 -1.122E+00 4.326E+01
1.198E+02 -1.170E+00 3.793E+01
1.199E+02 -1.220E+00 3.274E+01
1.200E+02 0.000E+00 2.866E+01
PATCH(FIG4 ,PROFIL, 1, 1, 41, 41, 1, 20, 1, 1)
PLOT(FIG4 ,V1 ,1.000E+00,0.000E+00)
PLOT(FIG4 ,TMP1,1.000E+00,0.000E+00)
Tabulation of abscissa and ordinates...
      Z      V1      TMP1
4.250E-03 -4.097E+00 3.133E+02
2.125E-02 -7.904E+00 2.985E+02
5.525E-02 -1.097E+01 2.629E+02
1.063E-01 -1.220E+01 1.993E+02
1.743E-01 -1.241E+01 1.276E+02
2.593E-01 -1.241E+01 8.805E+01
3.613E-01 -1.229E+01 6.112E+01
4.803E-01 -1.218E+01 4.339E+01
6.162E-01 -1.215E+01 3.413E+01
7.693E-01 -1.220E+01 2.998E+01
9.308E-01 -1.228E+01 2.827E+01
1.084E+00 -1.236E+01 2.758E+01
1.220E+00 -1.241E+01 2.729E+01
1.339E+00 -1.243E+01 2.716E+01
1.441E+00 -1.235E+01 2.710E+01
1.526E+00 -1.211E+01 2.707E+01
1.594E+00 -1.159E+01 2.706E+01
1.645E+00 -1.080E+01 2.705E+01
1.679E+00 -9.914E+00 2.705E+01
1.696E+00 -7.131E+00 2.705E+01

*****
SATLIT RUN NUMBER = 1 ; LIBRARY REF.= 0
RUN COMPLETED AT 17:07:04 ON SATURDAY, 16 MARCH 1996
MACHINE-CLOCK TIME OF RUN = 2834 SECONDS.
TIME/(VARIABLES*CELLS*TSTEPS*SWEEPS*ITS) = 5.590E-06
*****

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : METİN, İbrahim
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 29.07.1973 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 211 10 41/8670
 Faks : 0 (312) 211 06 96
 e-mail : ibrahimmetin@tcdd.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Mak.Müh. Bölümü	1996
Lise	Kayseri Aydınlikevler Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-1999	Birlik&Yünel	İmalat Mühendisi
1999- 2005	TCDD Ankara Demiryol Fab. Motor Grup Müdürlüğü	Makina Mühendisi
2005-	TCDD Ankara Demiryol Fab. Motor Grup Müdürlüğü	Uzman Mühendis

Yabancı Dil

Almanca