

**GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ OLARAK KULLANILAN BİR EVİN
ÇATISININ DIŞ YÜZEYİNDEN ZORLANMIŞ KONVEKSİYON İLE
GERÇEKLEŞEN ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Zafer DENİZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2008
ANKARA**

Zafer DENİZ tarafından hazırlanan GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ OLARAK KULLANILAN BİR EVİN ÇATISININ DIŞ YÜZEYİNDEN ZORLANMIŞ KONVEKSİYON İLE GERÇEKLEŞEN ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans, tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Nevzat ONUR

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN

.....

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tarih: 21/04/2008

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Zafer DENİZ

**GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ OLARAK KULLANILAN BİR EVİN ÇATISININ DIŞ
YÜZEYİNDEN ZORLANMIŞ KONVEKSİYON İLE GERÇEKLEŞEN ISI
TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Zafer DENİZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2008**

ÖZET

Yapılan bu çalışmada; iki katlı bir binanın çatısına düz olarak yerleştirilmiş, düz plaka güneş kolektörünün üst yüzeyinden rüzgâr nedeniyle zorlanmış konveksiyonla oluşan ısı transferi katsayıları sayısal olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma, Fluent 6.1.3 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ortalama ısı transferi katsayılarını belirleyebilmek için yapılan sayısal çalışmada; kare ve dikdörtgen şeklindeki kolektörlerin yerleştirildiği evler kullanılmıştır. Kolektörlerin $\alpha=25^\circ$ ve 45° çatı eğim açısı ve $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° rüzgâr geliş açısına göre farklı şartlar için çözümler yapılmıştır. Akış geometrisi ve ağ yapısı Gambit 2.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözümlerde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Temel korunum denklemleri kararlı rejimde, 3 boyutlu ve türbülanslı akış şartlarında çözülmüştür. Türbülans modeli olarak k- ϵ realizable türbülans modeli kullanılmıştır. Kolektörün yüzeyindeki ortalama Nusselt sayısı, Reynolds sayısına bağlı olarak $Nu = a Re^b$ şeklinde korelasyonlar ile ifade edilmiştir.

Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden, ortalama ısı transferi katsayısının rüzgarın geliş açısı β ve çatı eğim açısı α 'ya bağlı olduğu görülmüştür. Sayısal çalışma sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Ayrıca; standart denklemin, $(\bar{h} = a + bV^n)$, ortalama ısı transferi katsayısını daha az hesapladığı görülmüştür.

Bilim Kodu	: 914.1.131
Anahtar Kelimeler	: Zorlanmış konveksiyon, düzlem güneş kolektörü, ısı transferi, Fluent
Sayfa Adedi	: 124
Tez Yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

**NUMERICAL INVESTIGATION OF FORCED CONVECTION HEAT
TRANSFER FROM OUTER SURFACE OF THE ROOF OF A HOUSE USED
AS A FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR
(M. Sc. Thesis)**

Zafer DENİZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2008**

ABSTRACT

This study presents the results of forced convective heat transfer coefficients on the surface of flat-plate solar collectors flush mounted on two-story residential buildings and exposed to the wind. This study was carried out numerically. In this period it was used fluent package program.

In this numerical study, houses having square and rectangular shaped collectors were used in order to determine the average heat transfer coefficient. Solutions were performed for various collectors having $\alpha=25^\circ$ and 45° roof slope angles and $\beta=0^\circ$, 90° , and 180° wind attack angles. These models were created using Gambit 2.0 package program and meshes were built on these models. Air was used as the working fluid. Governing equations were solved for steady-state, three dimensions, and turbulent flow conditions. k- ϵ realizable model was used as the turbulence model. Correlations having forms of $Nu = a \times Re^b$ were obtained.

It has been found that the average transfer coefficient is remarkably sensitive to the wind direction and the roof slope angle. Comparison of

computational results with experimental results showed satisfactory agreement.

It was observed that the currently standard computational equation ($\bar{h} = a + bV^n$, which is, in reality, not well suited to the application) estimates the average heat transfer coefficient low.

Science Code	: 914.1.131
Key Words	: Forced convection, flat plate solar collector heat transfer, Fluent
Page Number	: 124
Adviser	: Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT'a ve yüksek lisans eğitimim boyunca derslerini aldığım tüm hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca tüm çalışma arkadaşlarıma, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem Zahide DENİZ ve babam Ali DENİZ'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM ALANLARI VE KOLLEKTÖR ANA KISIMLARI.....	5
2.1. Güneşin Yapısı.....	5
2.2. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları.....	5
2.3. Güneş Kolektörleri.....	6
2.3.1. Düzlemsel Sıvılı Güneş Kolektörleri.....	6
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	12
4. ÇALIŞMANIN AMACI.....	17
5. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON.....	20
5.1. Giriş.....	20
5.2. Fiziksel Ve Matematiksel Modelin Tanımlanması.....	20
5.3. Temel Denklemler.....	22
5.4. Sınır Şartları	25

Sayfa

5.5. Sayısal Akışkanlar Dinamiği Çözüm Yöntemi Ve Kullanılan Paket Programın Özellikleri.....	28
5.5.1 Gambit.....	28
5.5.2 Fluent.....	29
5.6. Türbülans Modelleri.....	31
5.7. Fluent Programının Kullandığı Türbülans Modelleri.....	32
5.7.1. Türbülans model seçimi.....	32
5.7.2. Türbülans modeller hakkında genel bilgiler.....	32
6. SAYISAL ÇALIŞMA.....	37
6.1. Giriş.....	37
6.2. Hesaplamalarda Kullanılan Ev Boyutları.....	39
6.2.1 Üzerine kare kolektör yerleştirilen ev ile yapılan sayısal çalışma.....	40
6.2.2 Üzerine dikdörtgen kolektör yerleştirilen ev ile yapılan sayısal çalışma.....	43
7. SAYISAL ÇALIŞMANIN SONUÇLARI.....	48
7.1. Literatürle Kıyaslama.....	48
7.1.1. Kolektörün hava akışına 90° açı ile yerleştirilme durumu.....	49
7.1.2. Kolektörün hava akışına 45° açı ile yerleştirilme durumu.....	50
7.2. Kare Ve Dikdörtgen Kolektörler İle Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları.....	52
7.2.1. Kare kolektörle ile yapılan sayısal çalışma sonuçları	52
7.2.2. Dikdörtgen kolektörle ile yapılan sayısal çalışma sonuçları	83

	Sayfa
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	112
KAYNAKLAR.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı saydam örtülerin özellikleri.....	8
Çizelge 2.2. Yutucu yüzey malzemelerinin bazıları.....	9
Çizelge 2.3. Yalıtım malzemelerinin özellikleri.....	10
Çizelge 4.1. Eş. 4.1' deki sabitlerin değerleri.....	17
Çizelge 8.1. Kare tip kolektörler için a ve b katsayıları.....	113
Çizelge 8.2. Dikdörtgen tip kolektörler için a ve b katsayıları.....	113
Çizelge 8.3. $Re=50000$ 'de kare ve dikdörtgen tip kolektörler için farklı α ve β değerleri için Nusselt sayısı.....	114

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Düzlemsel güneş kolektörünün kısımları.....	7
Şekil 2.2. Düzlemsel güneş kolektörü kesiti.....	11
Şekil 4.1. Çatısına güneş kolektörü yerleştirilmiş evin görünümü.....	19
Şekil 5.1. Üzerine kolektör yerleştirilmiş evin görünümü	21
Şekil 5.2. Sınır şartlarının çalışma bölgesindeki görünümü.....	26
Şekil 6.1. Çatı eğim açısı α ve evin dönme açısı β 'nin tanımlanması.....	37
Şekil 6.2. Hesaplama bölgesindeki tipik ağ yapılarının görünümü.....	38
Şekil 6.3. Kanal içinde evin yerleşimi.....	39
Şekil 6.4. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısına sahip evin görünümü.....	40
Şekil 6.5. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü.....	41
Şekil 6.6. $\alpha=45^\circ$ eğim açısına sahip evin görünümü.....	42
Şekil 6.7. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü.....	43
Şekil 6.8. $\alpha=25^\circ$ eğim açısına sahip evin görünümü.....	44
Şekil 6.9. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü.....	45
Şekil 6.10. $\alpha=45^\circ$ eğim açısına sahip evin görünümü.....	46
Şekil 6.11. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü.....	47
Şekil 7.1. Literatürde kıyaslanmasında kullanılan kolektör boyutları (boyutlar mm birimindedir).....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 7.2. Literatür çalışmasında kullanılan kolektörün hava akışına $\alpha=90^\circ$ açı yapacak şekilde yerleştirilmesi.....	49
Şekil 7.3. $\alpha=90^\circ$ olması durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	50
Şekil 7.4. Literatür çalışmasında kullanılan kolektörün hava akışına $\alpha=45^\circ$ açı yapacak şekilde yerleştirilmesi.....	51
Şekil 7.5. $\alpha=45^\circ$ olması durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	51
Şekil 7.6. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	53
Şekil 7.7. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için kolektörün ortasından geçirilen düzlemdeki kontur hız profili	54
Şekil 7.8. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13740$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	55
Şekil 7.9. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33730$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	55
Şekil 7.10. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71820$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	56
Şekil 7.11. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13740$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili	56
Şekil 7.12. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33730$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	57
Şekil 7.13. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71820$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	57
Şekil 7.14. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	58
Şekil 7.15. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13680$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 7.16. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=33880 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri	59
Şekil 7.17. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=71390 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri	60
Şekil 7.18. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	61
Şekil 7.19. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=13680 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	62
Şekil 7.20. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=33880 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	62
Şekil 7.21. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=71390 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili	62
Şekil 7.22. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	63
Şekil 7.23. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=13740 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	64
Şekil 7.24. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=33660 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	64
Şekil 7.25. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=71710 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	65
Şekil 7.26. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	65
Şekil 7.27. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re= 13740 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	66
Şekil 7.28. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re= 33660 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 7.29. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=71710$ değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	67
Şekil 7.30. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve rüzgarın $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° geliş açılarında kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	68
Şekil 7.31. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	69
Şekil 7.32. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=13810$ değerindeki kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	70
Şekil 7.33. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=33860$ değerindeki kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	70
Şekil 7.34. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=72890$ değerindeki kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	71
Şekil 7.35. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	71
Şekil 7.36. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=13810$ değerindeki kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	72
Şekil 7.37. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=33860$ değerindeki kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	72
Şekil 7.38. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=72890$ değerindeki kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	73
Şekil 7.39. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	74
Şekil 7.40. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=13840$ değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	75
Şekil 7.41. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=33810$ değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri	75

Şekil	Sayfa
Şekil 7.42. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=72190 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	76
Şekil 7.43. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	76
Şekil 7.44. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=13840 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	77
Şekil 7.45. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=33810 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	77
Şekil 7.46. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=72190 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	78
Şekil 7.47. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	79
Şekil 7.48. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=13820 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	79
Şekil 7.49. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=33270 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	80
Şekil 7.50. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=72040 değerinde kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	80
Şekil 7.51. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	81
Şekil 7.52. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=13820 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	81
Şekil 7.53. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Re=33270 değerinde kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	82

Şekil	Sayfa
Şekil 7.54. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=72040$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	82
Şekil 7.55. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve rüzgarın $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° geliş açılarında kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	83
Şekil 7.56. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	84
Şekil 7.57. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12630$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	85
Şekil 7.58. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=38220$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	85
Şekil 7.59. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=67260$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	86
Şekil 7.60. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	86
Şekil 7.61. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12630$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	87
Şekil 7.62. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=38210$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	87
Şekil 7.63. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=67260$ durumunda için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	87
Şekil 7.64. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	88
Şekil 7.65. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12720$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	89
Şekil 7.66. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=40700$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	89

Şekil	Sayfa
Şekil 7.67. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=67523 durumunda kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	90
Şekil 7.68. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar....	90
Şekil 7.69. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=12720 durumunda kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	91
Şekil 7.70. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=40700 durumunda kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	91
Şekil 7.71. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=67520 durumunda kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	92
Şekil 7.72. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	93
Şekil 7.73. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=12550 durumunda kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	93
Şekil 7.74. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=38510 durumunda kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	94
Şekil 7.75. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=67520 durumunda kollektör üzerindeki hız vektörleri.....	94
Şekil 7.76. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	95
Şekil 7.77. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=12550 durumunda kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	95
Şekil 7.78. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=38510 durumunda kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	96
Şekil 7.79. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Re=67520 durumunda kollektör üzerinde oluşan sıcaklık profilini.....	96

Şekil	Sayfa
Şekil 7.80. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında dikdörtgen kollektöre rüzgarın farklı açılarda ($\beta=0^\circ$, 90° ve 180°) rüzgarın geliş açılarında gelmesi durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	97
Şekil 7.81. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	98
Şekil 7.82. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12440$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri	99
Şekil 7.83. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=29840$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri	99
Şekil 7.84. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=65360$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri	100
Şekil 7.85. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	100
Şekil 7.86. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12440$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	101
Şekil 7.87. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=29840$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili	101
Şekil 7.88. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=65360$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili	102
Şekil 7.89. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	103
Şekil 7.90. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12473$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri	103
Şekil 7.91. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re= 30430$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri	104
Şekil 7.92. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=64800$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	104
Şekil 7.93. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar.....	105

Şekil	Sayfa
Şekil 7.94. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=12470 için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	105
Şekil 7.95. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=30430 için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili	106
Şekil 7.96. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=64800 için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili	106
Şekil 7.97. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	107
Şekil 7.98. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=12470 için kolektör üzerindeki hız vektörleri	108
Şekil 7.99. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=30560 için kolektör üzerindeki hız vektörleri.....	108
Şekil 7.100. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=64300 için kolektör üzerindeki hız vektörleri	109
Şekil 7.101. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar	109
Şekil 7.102. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=12470 için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	110
Şekil 7.103. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=30560 için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili.....	110
Şekil 7.104. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Re=64300 için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili ...	111
Şekil 7.105. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° rüzgarın geliş açılarında dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	111
Şekil 8.1. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısı ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	114

Şekil	Sayfa
Şekil 8.2. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	115
Şekil 8.3. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısı ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	115
Şekil 8.4. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	116
Şekil 8.5. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması	116
Şekil 8.6. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	117
Şekil 8.7. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	117
Şekil 8.8. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	118
Şekil 8.9 $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	118
Şekil 8.10. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	119
Şekil 8.11. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması	119
Şekil 8.12. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması.....	120

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
a, b	Korelasyon katsayıları
A	Yüzey alanı, m^2
A_o, A_s	Sabitler
C_1 ve C_2	Sabitler
c_p	Sabit basınçta özgül ısı, $kJ / kg K$
D_h	Kanal hidrolik çapı, mm
g	Yer çekimi ivmesi, m / s^2
G_k	Türbülans kinetik enerji üretimi, $kg / m s^3$
h	Isı transferi katsayısı, $W / m^2 K$
$\bar{h}$	Ortalama ısı transferi katsayısı, $W / m^2 K$
k	Isı iletim katsayısı, $W / m K$
k	Türbülans kinetik enerji, m^2 / s^2
k_{eff}	Efektif ısı iletim katsayısı, $W / m^2 K$
L	Karakteristik uzunluk (4 alan /çevre), m
Nu	Nusselt sayısı
$\bar{Nu}$	Ortalama Nusselt sayısı
p	Basınç, Pa
Pr	Prandtl sayısı
Pr_t	Türbülans Prandtl sayısı
q''	Isı akısı, W / m^2
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık, K
T_w	Kolektör yüzey sıcaklığı, K
T_f	Ortalama sıcaklık, K

T_{∞}	Serbest akış sıcaklığı, K
u	Hız, m/s
U	Havanın kanala giriş hızı, m / s
U_{∞}	Serbest akış hızı, m / s
u, v, w	x-, y-, ve z-yönlerindeki hız bileşenleri, m / s
V	Serbest akış hızı, m/s
x, y, z	Boyutlu uzunluk, m
$\overline{\Omega}_{ij}$	Dönme tensörünün ortalama değeri
α	Isıl yayılım katsayısı, m^2 / s
β	Rüzgarın kolektöre gelme açısı
ϵ	Türbülans yayılım miktarı, m^2 / s^3
δ_{ij}	Kroneker delta fonksiyonu
ρ	Yoğunluk, kg / m^3
$\sigma_k, \sigma_{\epsilon}$	k ve ϵ için türbülans Prandtl sayıları
$\overline{\rho u_i u_j}$	Reynolds gerilmesi, kg/ms^2
μ	Dinamik vizkozite, kg / ms
μ_t	Türbülans viskozitesi, kg / ms
ν	Kinematik vizkozite, m^2 / s

İndisler

Açıklama

w	Duvar
g	Kanal girişi
ζ	Kanal çıkışı

1.GİRİŞ

İnsan hayatının devamı için, dünyamızdaki dört temel unsur; hava, su, yiyecek ve enerjidir. İnsan hayatı için ihtiyaç duyulan enerji birincil enerji kaynaklarından üretilir. Bu enerji doğrudan veya diğer enerji şekillerine dönüştürülerek çeşitli amaçlar için kullanılır.

Birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş, gerçekte dünyanın esas enerji kaynağıdır. Dünyanın aydınlatılması ve ısıtılmasının yanında canlıların yaşamasını, büyümesini ve bazı enerji kaynaklarının oluşmasını sağlar. Birincil enerji kaynağı olarak atmosferi geçip yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin miktarı $8,9 \cdot 10^{13}$ TET/YIL'dır. Bu miktar dünyada 1984 yılı için bir yılda tüketilen enerjinin 15 000 katı kadardır. Bununla birlikte birim alana birim zamanda gelen güneş ışınımı, Türkiye'de yıllık ortalama yaklaşık 350 W/m^2 olup, bu değer çok küçük olduğundan ve sürekli gelmemesi en büyük dezavantajdır. Bununla birlikte, bu enerjiden faydalanmak kolay ve ucuzdur. Diğer konvansiyonel enerji kaynaklarının azalması ve pahalılaşması ile güneş enerjisi daha ekonomik hale gelebilmektedir.

İnsanların kullandığı enerji kaynağı zaman süreci içerisinde teknolojik gelişmelere göre değişim göstermiştir. Önceleri enerji kaynağı olarak sadece odun ve benzeri yakacaklar kullanılırken, uzun süre sonra kömür ve yakın tarihte de petrol ve tabii gaz bulunup kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde insanlığın ihtiyacı olan enerji çoğunlukla yakacaklardan, hidrolik enerjiden ve çok küçük bir payı da nükleer enerjiden temin edilmektedir.

Dünyada tüketilen enerjinin % 90 'ına yakını fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar içinde en çok kullanılanı ise petroldür. Yapılan tahminlere göre fosil yakacaklar, bugünkü oranda kullanılmaya devam edilirse, yakın zaman sürecinde tükenmeye başlayacaktır.

Türkiye'nin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı halen petrolle karşılanmaktadır. Tahminlere göre enerji açığı her geçen yıl biraz daha artış göstermektedir. Bu sebeple de, bir taraftan enerji tasarrufuna gidilirken, diğer taraftan da yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacı zorunluluk haline gelecektir.

Türkiye, jeotermal enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Daha çok, ısıtma için uygun olan 100 °C civarında sıcak su elde edilebilecek jeotermal enerji potansiyeli bakımından zengindir. Rüzgâr enerjisinden faydalanabilmek için çalışmalar yapılmasına rağmen henüz diğer enerji türlerine göre daha pahalıdır. Dalga enerjisinden ise çok az sayıda ülkede faydalanılmaktadır. Biyogaz enerjisi, küçük çaptaki enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecek düzeydedir. Dünyada, gerek dalga enerjisi için, gerekse biyogaz enerjisi için uygun bölgeler sınırlı kalmaktadır. Kuşkusuz yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en güncel olanı ve en çok uygulama alanı bulunanı ise güneş enerjisidir.

Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren sonsuz denebilecek güce sahip tek enerji kaynağıdır. Termonükleer bir reaktör olan güneşin, birim alanından birim zamanda çeşitli dalga boylarında 62 MW/m² enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden neşredilen enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Buna rağmen bir yıl boyunca yeryüzüne gelen enerji dünya enerji tüketiminin milyonlarca katıdır.

Günümüzde, petrol fiyatlarının çok hızlı bir şekilde artış göstermesi ve yaşanan enerji krizleri güneş enerjisini daha cazip kılmakta ve güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin sayısında her geçen gün artış kaydedilmektedir.

Dünyada, 1973'lü yıllarda yaşanan enerji krizleri, enerji üretimi, enerji tüketimi ve enerji yapılarında önemli değişiklik meydana getirmiştir. Enerji tasarrufu politikaları uygulanmış, petrole bağımlılık azalmış, kömür ve doğal gaz önem kazanmış, insanlar yeni enerji kaynaklarına yönelmişler ve

yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin ve yaygın şekilde istifade edilmesi için çalışmalar başlatılmıştır.

Görüldüğü gibi, enerjinin elde edilmesi ve elde edilen enerjiden de maksimum oranda yararlanabilmek önemlidir. Enerji krizlerinden dolayı enerjinin sağlanabilmesi, ülkeleri ekonomik açıdan zora sokmaktadır. Bundan dolayı mevcut olan enerjiden en iyi şekilde yararlanabilmek için bir alternatif yol mevcut sistemde iyileştirmeye gitmektir. Veya diğer bir ifade ile söylemek gerekirse, sistemden olan ısı kayıplarının azaltılması yoluna gidilir.

Güneş kolektörü tasarımında enerji kayıplarının doğru bir şekilde belirlenmesinin önemi büyüktür. Bundan dolayı, çevre şartlarındaki rüzgâra maruz bırakılan düz güneş kolektörlerinden olan ısı kaybı güneş kolektörleri çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Güneş kolektörlerinde temel prensip, kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımının siyah yüzey tarafından absorbe edilmesidir. Absorbe edilen bu ışınımın bir kısmı hava veya su gibi bir akışkana aktarılır. Yutucu yüzey tarafından absorbe edilen diğer kısım ise kayıp enerjiyi oluşturur. Bu enerji; konveksiyon, radyasyon ve iletimle meydana gelen kayıplardır. Konveksiyonla meydana gelen kayıplar kolektörün üst yüzeyinden çevreye olan kayıplardan oluşur. İletimle olan kayıplar yanlardan ve kolektörün arka kısmından meydana gelen kayıplardır.

Bir düz plaka güneş kolektörünün üst yüzeyindeki cam, sıcak kolektör plakasının doğrudan rüzgârla olan temasını ve kolektörden olan ısı kaybını önler. Güneş enerjisi, siyah yüzey tarafından absorbe edildiğinden güneş kolektörünün üst yüzeyindeki cam kendisinden daha düşük sıcaklıktaki çevre havasına maruz kalır ve böylece cam ile çevre havası arasında bir ısı transferi meydana gelir. Bu ısı transferi camın yüzeyinden çevreye konveksiyonla gerçekleşir. Bu ise yüksek hızlarda zorlanmış, düşük hızlarda karışık konveksiyon ve dışarıdan bir enerji sarfı olmaksızın, hava hareketinin sıcaklık farkı nedeniyle yoğunluktaki değişimlerden dolayı oluştuğu durumda

ise doğal konveksiyon şeklindedir.

Rüzgârla meydana gelen ısı kayıpları özellikle soğuk iklimlerde cam yüzeyi ile çevre sıcaklıkları arasındaki farkın büyük olduğu durumlarda güneş kolektörlerinin veriminde önemli bir etkiye sahiptir. Durgun havada tek camlı bir kolektör verimi %40 civarında iken, 3 m/s'lik rüzgâr hızı durumunda ise %30'dur [Kind and Kitaljevich,1985].

2. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM ALANLARI VE KOLLEKTÖR ANA KISIMLARI

2.1. Güneşin Yapısı

Güneş, $1,39 \times 10^9$ m (1 390 000 km) çapında yoğun sıcak gazlar içeren bir küredir ve dünyadan ortalama $1,5 \times 10^{11}$ m (150 000 000 km) uzaklıktadır. Yüzey sıcaklığı 5777 K dır. Bu sıcaklık merkeze doğru 4×10^6 ile 8×10^6 K arasında değişiklik gösterir. Sudan 100 kez daha yoğundur [Kılıç ve Öztürk,1993].

2.2. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları

Türkiye'de, bugünkü teknoloji ile güneş enerjisinden sıcak su üretimi çok yaygın olup, diğer faydalanma yolları henüz uygulama safhasına pek girmemiştir. Binalarda sıcak su temini için güneş enerjisinin kullanılması ile yakıt veya diğer bir enerjinin tasarrufu sağlanır. Güneşi bol bölgelerde yapılan tasarruf daha fazla olacaktır. Güneş enerjisinden genellikle aşağıdaki konularda faydalanılmaktadır;

- Sıcak su temini,
- Binaların ısıtılması ve soğutulması,
- Elektrik üretimi (doğrudan ve dolaylı),
- Güneş pompaları,
- Kurutma,
- Güneş fırınları,
- Deniz suyunun arıtılması, saf su ve tuz üretimi,
- Tarım,
- Sanayide buhar üretimi.

2.3. Güneş Kolektörleri

Güneş ışınlamını faydalı enerji şekline dönüştüren gereçlere “Güneş kolektörü” denir. Uygulamada kullanılan kolektörlerde, güneş ışınlamı önce bir yatay düzlem tarafından yutulur sonra da bir akışkana aktarılarak iç enerji aktarılır. İç enerjinin artışıyla sıcaklığı artan su kullanıma verilir. Uygulamada ısı taşıyıcı akışkanın hava (gaz) veya sıvı (su) olduğu iki tip güneş kolektörleri mevcuttur. Havalı güneş kolektörleri genel olarak düzlemsel veya hacimsel tiplerde imal edilmektedirler. Sıvılı güneş kolektörleri düzlemsel veya konsantrik tiplerde imal edilmektedirler. Uygulamada düzlemsel güneş kolektörleri sıcak su, konsantrik güneş kolektörleri ise buhar üretimi için kullanılmaktadır.

2.3.1. Düzlemsel sıvılı güneş kolektörleri

Isı taşıyıcı akışkan olarak sıvıların (genelde su) kullanıldığı güneş kolektörlerinde, kolektör yüzey sıcaklığının artması ile kolektörden dışarıya taşınım ile gerçekleşen ısı kaybı artar. Yutulan ışınlamla kaybolan ısı eşit olduğunda kolektör yüzey sıcaklığı sabit kalmaktadır. Genellikle, kolektör yüzeyine gelen güneş ışınlamının şiddeti ve çevre sıcaklığı kontrol edilemediğinden, belirli bir değerdeki ışınlam yüzeye gelirken faydalanan enerjiyi artırmak için;

- a) Çevreye gerçekleşen ısı kayıplarının azaltılması,
- b) Yüzeyin yutuculuğunun artırılması,
- c) Kolektör içindeki akışkana ısı geçişinin iyileştirilmesi ve ısınan suyun değiştirilmesi ve ışınlamın yoğunlaştırılması gerekir.

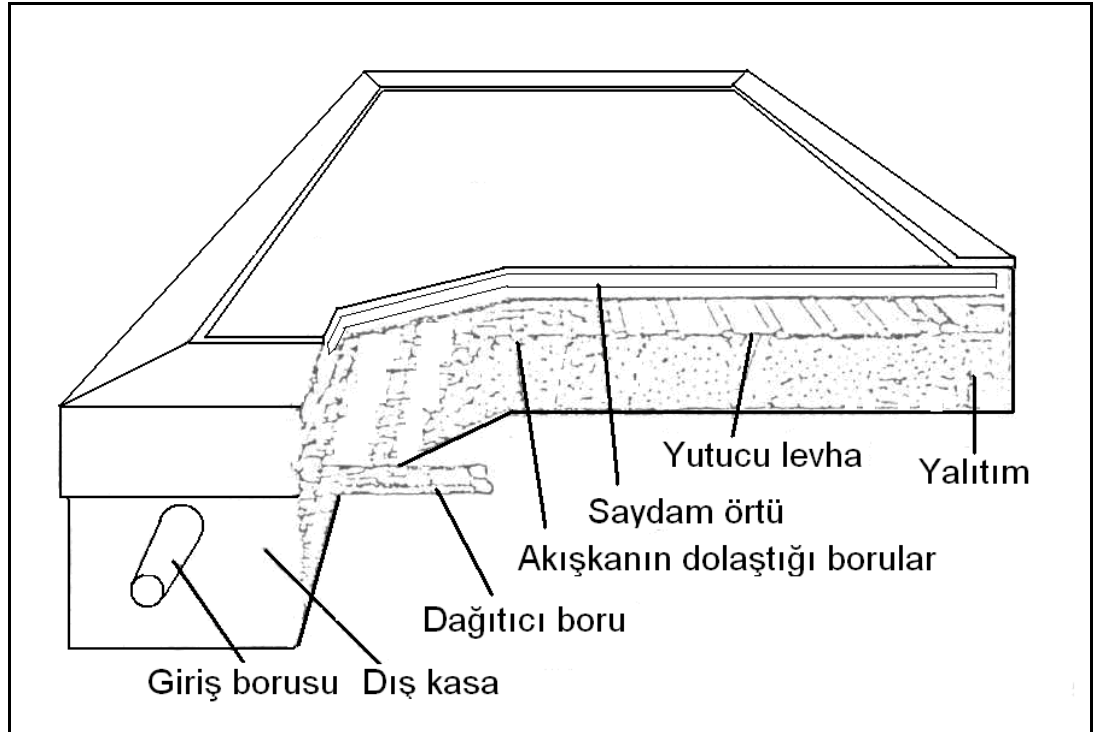
Kolektörden çevreye olan ısı kayıplarının azaltılması için kolektörün üst yüzeyine güneş ışınlamını geçiren ve taşınım ile gerçekleşen ısı kaybını önleyen saydam bir örtü konulur. Işınlam gelmeyen alt ve yan yüzeyler ısı geçişine karşı yalıtılır. Yüzeyin yutuculuğunu artırmak için yüzey siyaha

boyanır. Akışkana olan ısı transferini iyileştirmek için de ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler kullanılır ve akışkan hareket ettirilerek iç yüzeydeki ısı taşınım katsayısı büyütülür.

Düzlemsel sıvılı güneş kolektörlerinin kısımları

Uygulamada kullanılan düzlemsel kolektörler beş ana kısımdan oluşur (Şekil 2.1). Bunlar;

- Güneş ışınımını geçiren ve üstten ısı kaybını önleyen bir veya çok sayıdaki saydam örtü,
- Enerji toplayan yutucu yüzey,
- Isı taşıyıcı akışkan borular,
- Yutucu yüzeyin güneş almayan kısımlarındaki ısı yalıtımı,
- Kolektör kasası.



Şekil 2.1. Düzlemsel güneş kolektörünün kısımları

Saydam örtü

Güneş kolektörlerinde saydam örtünün esas fonksiyonu hava hareketi sebebiyle meydana gelen taşınım ile olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Ayrıca, yutucu yüzeyi çevreden gelen tesirlerden (yağmur, dolu, kar, toz, v.s.) korur ve yutucu yüzey tarafından neşredilen (uzun dalga boylu) ısı ışınımı geriye yansıtarak ışınlam ile olan ısı kaybını azaltır.

Saydam örtüler

- Güneş ışınlamının büyük kısmını geçirmeli,
- Isıl ışınlamı geçirmemeli,
- Aşınmamalı, çizilmemeli, sıcaklıkla şekil değiştirmemeli,
- Yüksek sıcaklığa (en az 100°C) dayanmalı,
- Kolay kırılmamalı,
- Mor ötesi ışınlamdan bozulmamalı,
- Zamanla ışınlamı geçirme oranı kötüleşmemeli,
- Hafif, ucuz ve kolay temin edilebilir olmalıdır.

Çizelge 2.1. Bazı saydam örtülerin özellikleri

	Kalınlık (mm)	Kırma indisi	Normal geçirme oranı		Dayanıklılık °C
			Güneş ışınlamı 0,2- 4.0 μ m	Neşreden ışınlam 0,2- 4.0 μ m	
Lexan	3,2	1,566	0,73	0,02	120-130
Acrylic	3,2	1,49	0,80	0,02	80-90
Teflon	0,13	1,34	0,90	0,26	200
Tedlar	0,10	1,45	0,88	0,21	110
Mylar	0,13	1,65	0,80	0,18	150
Sunlite	0,64	1,54	0,75	0,08	90
Düzgün cam	3,2	1,52	0,79	0,02	730
Temper cam	3,2	1,53	0,79	0,02	230-260
Su beyazı cam	3,2	1,50	0,92	0,02	200

Yutucu yüzey

Güneş ışınımını yutan ve ısıyı borularda dolaşan akışkana aktaran yutucu yüzey güneş kolektörlerinin önemli parçalarından biridir. Yutucu yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı büyük ve uzun dalga boylu (ısı ışınım) yayıcılığı küçük olmalıdır. Işınımı yutarak ısınan yüzeyin ısıyı temas halindeki akışkana iyi iletebilmesi için ısı iletim katsayısı yüksek, ısı geçişinin hızlı olabilmesi için de ince olması istendiğinden yutucu yüzey olarak metal levhalar kullanılır. Bakır, alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik gibi metaller yutucu yüzey malzemeleri olarak kullanılır. Polipropilen ve akrilik gibi bazı plastikler siyaha boyanarak yutucu yüzey olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca güneş ışınımını yutan renklendirilmiş sıvılarda yutucu yüzey olabilmektedirler.

Çizelge 2.2. Yutucu yüzey malzemelerinin bazıları

Malzeme	k (W/m-K)	Malzeme	k (W/m-K)
Bakır	386	Akrilik	0,20
Alüminyum	204	Polietilen	0,35
Çelik	50	Polipropilen	0,20
Paslanmaz çelik	24	Pvc	0,16

Isı yalıtımı

Kolektörlerin güneş olmayan alt ve yan kısımlarından olan ısı kaybını azaltmak için strafor, poliüretan köpük veya cam yünü kullanılır.

Tercih edilecek yalıtım malzemelerinde;

- Isı iletim katsayısının düşüklüğü,
- Yüksek sıcaklığa (200°C) dayanıklılık,
- Nem'e karşı direnç,
- Yoğunluğu,
- Mukavemeti,

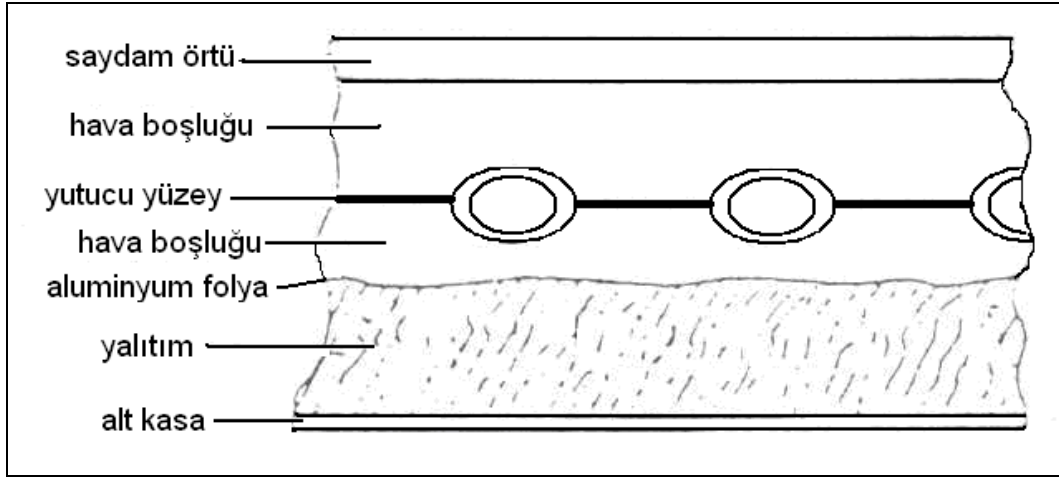
- Yanma ve genişleme özelliği,
- Kararlılığı,
- Fiyatı ve piyasada temin edilebilme imkânı dikkate alınır.

Uygulamada, strafor 74 °C'ye, poliüretan köpük 100 °C'ye kadar dayanıklıdır. Bu sebeple strafor pek tercih edilmez. Uygulamada en çok kullanılan şilte halindeki cam yünü olup 250 °C'ye kadar dayanıklıdır. Bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Yalıtım malzemelerinin özellikleri

Yalıtım malzemesi	Isı iletim katsayısı (W/m-K)	Çalışma sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m ³)
Cam yünü	0,032	250	15-120
Taş yünü	0,036-0,055	650-1050	
Polystrene köpük	0,029	70-80	20
Poliüretan köpük	0,023	104	35
PVC	0,035	100-130	40-80
Kalsiyum slika	0,055	650	
Perlit	0,048	820	
Fenolik köpük	0,033	135	
Gözenekli plastik	0,040	100	

Uygulamada, yalıtım malzemesinin sıcaklığın olumsuz etkisinden korunması için bir hava boşluğu oluşturulur. Şekil 2.2'de bir düzlem güneş kolektörünün kesit detayları verilmiştir.



Şekil 2.2. Düzlemsel güneş kolektörü kesiti

Kolektör kasası

Düzlemsel güneş kolektörlerinin kasaları genellikle alüminyumdan yapılmaktadır. Bunun yanı sıra plastik polipropilen, PVC, galvanizli çelik sac ve paslanmaz çelik ile verniklenmiş ağaçta kullanılmaktadır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Birçok teknik uygulamalarda zorlanmış konveksiyon ile ısı kaybı eğimli yüzeylerde gerçekleşir ve bu tür geometriler için ısı transferi katsayısının belirlenmesinde değişik yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada ise belirli çatı açısına sahip evin çatısına düz olarak yerleştirilen kolektörün üst yüzeyinden rüzgarla meydana gelen ısı kaybını hesaplamak için nümerik hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bunun için ise Fluent paket programı kullanılmıştır.

Literatürde deneysel ve nümerik yöntemler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda genellikle naftalin süblimasyon yöntemi tercih edilmiştir ve elde edilen sonuçlar ısı ve kütle transferi arasındaki analogi kullanılarak ısı transferi sonuçlarına çevrilmiştir. Ortalama ısı transferi katsayısı için çeşitli korelasyonlar elde edilmiştir. Literatürde mevcut olan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Sparrow ve Tien, belirli plaka eğim açısına sahip bir kare plaka üzerine rüzgarın değişik açılarda gelme durumlarında zorlanmış konveksiyon ile olan ısı transferini Reynolds sayısının 20 000 ile 100 000 arasındaki değerleri için deneysel olarak incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, akışkanın plakaya çarpma ve plakanın eğim açısının fonksiyonu olacak şekilde ortalama ısı transferi katsayısını belirlemişlerdir. Deneylerde, naftalin süblimasyon tekniğini ve akışkan olarak da havayı kullanmışlardır [Sparrow ve Tien, 1977].

Tien ve Sparrow, rüzgar tüneli deneyleriyle askıda bulunan diğer bir ifade ile hava; havada asılı vaziyette bulunan levhanın alt, üst ve yan taraflarından geçen kare bir plaka için naftalin süblimasyon tekniğini kullanmak suretiyle yerel ve ortalama ısı transferi katsayılarını değişik levha eğim açılarında Reynolds sayısının 20 000 ile 120 000 aralığındaki değişen değerlerinde belirlemişlerdir. Plaka kenarlarına yakın yerlerde ısı transferi katsayısının büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca; plakaya yakın yerlerde akış çizgilerini

gözlemlemişlerdir [Tien ve Sparrow, 1979].

Yapılan başka bir çalışmada ise eğik dikdörtgen şeklindeki bir plaka üzerinde değişik akış şartları için ısı transferi Sparrow tarafından incelenmiştir. Ayrıca; plaka genişliğinin, ısı transferi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Plakaya yakın bölgelerde akış çizgilerini belirlemişlerdir ve akışın üç boyutlu olduğunu görmüşlerdir. Deneyler rüzgar tüneline Reynolds sayısının 20 000 ile 90 000 aralığındaki değerlerinde gerçekleştirilmiş olup, naftalin süblimasyon tekniği ile yapılan kütle transferi deneysel sonuçlarını içermektedir. Isı transferi sonuçlarını elde etmek için ısı ve kütle transferi arasındaki analogi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmalar; havada asılı vaziyette bulunan levha için gerçekleştirilmiş olup hava bu levhanın alt, üst ve yan yüzeylerinden geçmektedir [Sparrow vd., 1979].

Sparrow et al., yapmış oldukları çalışmada askıda bulunan çatı tipi kare kolektöre, rüzgarın kolektöre ön ve arka taraftan gelme durumları için deneyler yapmışlardır. Deneylerde naftalin süblimasyon tekniğini kullanmışlar ve ayrıca akışı görüntülemişlerdir [Sparrow vd., 1981].

Laminer akışta, izotermal olmayan eğik dikdörtgen bir plaka üzerindeki ısı transferi Drake ve Berekely, tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada üç boyutlu etkileri önlemek amacıyla yan kenarlar boyunca engeller yerleştirilmiştir [Drake ve Berkeley, 1949].

Model bir evin çatısına yerleştirilen kare tip model kolektörden konveksiyonla olan ısı transferi, ısı transferi deneyleri ile Onur (1993), tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada akışkan olarak hava kullanılmıştır. Deneyler 30° ve 45° çatı eğim açısında ve model evin 0° eğim (yaw) açısında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, laminer akış şartlarında ortalama ısı transferi katsayıları belirlenmiştir. Deneyler, açık tip rüzgar tüneline 2,5 m/s ile 15 m/s arasındaki hız değerlerinde gerçekleştirilmiştir [Onur, 1993].

Lloyd ve Moran, rüzgar hızı çok düşük olduğu zaman doğal konveksiyon koşullarının hakim olabileceğini ifade etmişlerdir. Doğal konveksiyon verileri sıcak eğimli düzlem plaka yüzeyden yukarıya doğru uygun olmaz. Bununla birlikte yatay ve dikey plakalar için sonuçların kullanılabileceğini saptamışlardır. Deneylerinde Rayleigh sayısının $2,6 \times 10^4$ ile 10^7 ve 10^7 ile 3×10^{10} aralıkları için iki ayrı korelasyon önermişlerdir. Sıcak yatay düz plakalar için eğim açısı 7:1 dır. Karakteristik uzunluk olarak 4 alan/çevre olarak alınmıştır [Lloyd ve Moran, 1974].

Test ve arkadaşları, 122 x 81,3 cm boyutlarındaki bir dikdörtgen levhanın üst yüzeyinden konveksiyon ile gerçekleşen ısı transfer katsayısını belirlemek için detaylı deneysel araştırmalar yapmış ve Kowalski'nin (1976) sonuçlarına benzer sonuçlar elde etmiştir. Düşük türbülans yoğunluklu rüzgar tüneli testlerine dayanan metotların, doğal çevre ortamındaki rüzgar akışının değerinden az olarak hesaplandığını belirlemişlerdir. Ortalama ısı transferi katsayısı için korelasyonlar önermişlerdir [Test vd., 1981].

Sartori, yaptığı çalışmada düz bir yüzey üzerindeki zorlanmış hava akışı sebebiyle oluşan konveksiyonu incelemiştir. Bu çalışmada; sınır tabakası ile tanımlanan temel denklemler akış yönünde laminar ve türbülanslı akışlar için çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmış ve çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmada; zorlanmış konveksiyon sebebi ile düz yüzey (güneş kolektörü) veya düz yüzeyden ısı transferinin belirlenmesinde çok gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir [Sartori, 2005].

Sharples, yaptığı çalışmada gerçek boyutlu bir binada zorlanmış konveksiyonu deneysel olarak incelemiştir. Bu deneysel çalışmada incelenen bina 78 metre yüksekliğinde betonarme bir binadır. Çalışmada kullanılan rüzgar hızları bina yüzeyinden 1 metre, çatıdan ise 6 metre uzaklıktaki hızlar ölçülüp korelasyon oluşturulmuştur. Çalışmanın esas amacı, rüzgâr yönünün ve bina yerleşimin konveksiyona olan etkisini incelemektir. Çalışma

sonucunda; bina yüzeyine 50° ve 70° açı ile gelen rüzgârın, binanın köşelerinde en yüksek konveksiyon oluşturduğu gözlemlenmiştir [Sharples, 1984].

McCormick ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada iki boyutlu dikdörtgen kesitli bir cisim yüzeyinden olan ısı transfer oranına serbest akış türbülansın etkisini incelemiştir. Serbest akış türbülansın %2 ile %5 seviyesinde olması durumunda ısı transferinin tahmini laminar akış şartlarına göre %8 ile %55 civarında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ortalama hız profillerinin sınır tabakada türbülans etkisi ile bozulduğu görülmüştür. Bu bozulma; duvar boyunca hız gradyanının artışı sınır tabaka kalınlığının artışı ve yüksek yerel basınç gradyanının artışı ile tanımlanmıştır [McCormick vd., 1984].

Kind ve Kitaljevich, yaptıkları çalışmada çatısında güneş kolektörü bulunan bir bina üzerindeki taşınım ile ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler 1/36 ölçeğinde küçültülmüş olan bir model ev ve yüksek türbülanslı üniform olmayan akış için yapılmıştır. Ayrıca yapılan deney sonucunda kolektör üzerindeki ısı transfer katsayısının (h) çatının konumuna ve rüzgar yönüne bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir [Kind ve Kitaljevich, 1985].

Sharples ve Charlesworth, yaptıkları çalışmada bir bina üzerindeki düz levha güneş kolektörüne konveksiyon ile ısı transferinin deneysel olarak incelenmesini ele almışlardır. Reynolds sayısının 10^5 ile 5×10^5 arasında değiştiği deneylerde $1,81 \times 0,89 \text{ m}^2$ 'lik güneş kolektörü kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda rüzgar hızı ile konveksiyon ısı transferi katsayısı (h) arasındaki ilişki için korelasyonlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önce rüzgâr tüneline elde edilen verilerle büyük bir uyum göstermiştir [Sharples ve Charlesworth, 1997].

Kowalski ve Mitchell, yaptıkları çalışmada dış çevre şartlarında ve doğal türbülans için küre üzerindeki akışta ısı transfer katsayısı rüzgar tüneline değişik türbülans yoğunlukları için belirlemişlerdir. Deneyler farklı çaplardaki

üç küre için gerçekleştirilmiştir. Zaman – ortalama Nusselt sayısı ve Reynolds sayısı 5 dakikanın üzerindeki periyotlar için elde edilmiştir. Reynolds sayısının 2 000 – 35 000 değerleri için dış ortamda hesaplanan Nusselt sayısının rüzgar tüneline düşük türbülans yoğunluğu için elde edilen değere göre yaklaşık 2,2 kat oluğu görülmüştür [Kowalski ve Mitchell, 1976].

Kumar ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada düz levha tipi güneş kolektörlerinin üst yüzeyi genelde rüzgara maruz kaldığı için iç mekanda yapılan deneylerde rüzgar simülasyonunu oluşturmuşlardır. Bunun için iç mekânlarda yapılan deneylerde endüstriyel fanlar yardımıyla oluşturulan zorlanmış hava akışına maruz kalan düz yatay yüzeydeki ısı transferi katsayısının belirlenmesi için korelasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Mc Adams'ın sonuçları ile kıyaslandığında sonuçların daha büyük olduğunu görmüşlerdir. Bu nedenle rüzgâr tüneli testleriyle elde edilen h_w değerini başka durumlarda kullanılmamasını önermişlerdir [Kumar vd., 1996].

Turgut O., yapmış olduğu çalışmada deneysel ve sayısal olarak kolektörlerin yüzeyinden rüzgârın etkisi ile olan ısı transferini incelemiştir. Deneysel kısımda rüzgâr tüneline, naftalin süblimasyon tekniğini kullanmıştır. Sayısal kısımda ise CFD 2000 paket programını kullanmıştır. Bu sayede ısı ve kütle transferi arasındaki analogiden yararlanarak ortalama ısı transferi için korelasyonlar elde etmiştir [Turgut, 2001].

4. ÇALIŞMANIN AMACI

Düzlem güneş kolektörleriyle ilgili çoğu çalışmalar (Duffie ve Beckman [1991] ve Krieth ve Krieder [1978]) rüzgarla ilgili ısı kayıpları için Jurges'un [1924] deneysel verilerine dayanılarak McAdams [1954] tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplamayı tavsiye etmektedir.

$$\bar{h} = a + bV^n \quad (4.1)$$

Burada; $\bar{h}$ (Btu / (hr-ft² °F)) ortalama ısı transferi katsayısı ve V (ft /s) rüzgâr hızıdır. a, b ve n ise sabitler olup rüzgar hızının 16 ft /s'den (4,89 m/s) küçük ve 16-100 ft /s (4,89-30,5 m/s) aralığında olma durumuna göre pürüzsüz yüzeyler için Çizelge 4.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.1. Eş. 4.1' deki sabitlerin değerleri

	a	b	n
16 ft /s (4,89 m/s)'den küçük hızlar	0,99	0,21	1,0
16-100 ft /s (4,89-30,5 m/s) aralığındaki hızlar	0	0,50	0,78

Jurge'un deneyleri oda sıcaklığındaki havanın 0,5 m²'lik ısıtılmış, düz bir dik bakır plaka yüzeyine paralel gelmesi şartlarında elde edilmiştir. Güneş kolektörleri uygulamalarında Eş. 4.1'in kullanılmasında bazı kısıtlayıcı unsurlar söz konusudur. Bunlardan birincisi; paralel akış deneylerini içermesidir. Hâlbuki gerçekte kolektör yüzeyine gelen rüzgârın yönü zamanla değişir. Bu eşitliğin kullanılmasındaki ikinci kısıtlayıcı unsur ise plaka uzunluğuna bağlı olmamasıdır. Halbuki ısı transferi katsayısı uzunluğa da bağlıdır [Oosthuizen, 1999].

Standart denklemde (Bkz. Eş. 4.1) görüldüğü gibi konveksiyon ısı transferi katsayısı sadece rüzgâr hızına bağlıdır. Hâlbuki sınır tabakası ısı transferi katsayıları uzunluğa da bağlıdır. Örneğin; düz bir plaka üzerindeki laminar sınır tabakası için ortalama ısı transferi katsayısı uzunluğun karekökü ile azalır. Ayrıca; konveksiyon akışlarda ısı transferi katsayısı $\bar{h}$ serbest akış hızı V , plaka şekli, plaka uzunluğu L , akışkanın özellikleri (yoğunluğu ρ , dinamik viskozitesi μ ve özgül ısı c_p) gibi sistem parametreleriyle çok değişebilir. Ayrıca; konveksiyon ısı transferi katsayısı Prandtl sayısına da çok bağlıdır.

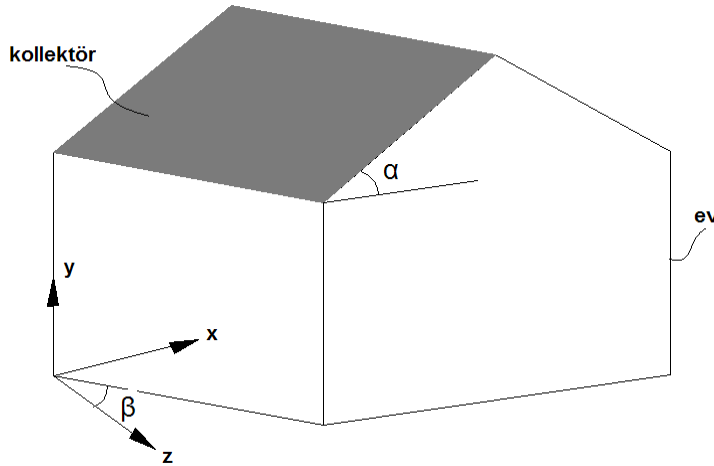
Yukarıda bahsedilen gerçekler bu çalışmanın başlangıç noktasını oluşturmuş olup, bu çalışmada estetik açıdan göze hoş gelecek şekilde evin çatısına düz olarak yerleştirilmiş olan kolektörlerin üst yüzeyinden zorlanmış konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferi Fluent 6.1.3 paket programı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir.

Günümüzde mevcut güneş kolektörleri binaların çatısında çatıya yerleştiriliş bakımından estetik açıdan çirkinlik arz etmektedir. Bunun bir çaresi kolektörün çatıya çatı yüzeyi boyunca düz olarak monte edilmesidir. Böylece çatının tamamından da yararlanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın amacı, McAdams [1954]'ün önerdiği eşitlikteki (Eş. 4.1) kısıtlayıcı unsurları göz önüne alarak bu eksiklikleri giderecek korelasyonlar türetmektir.

Çeşitli Reynolds sayılarında evlerin çatısına düz olarak monte edilmiş ülkemizdeki çatı geometrisine uygun tipte olan kare ve dikdörtgen tip kolektörler için değişik çatı eğim açıları ($\alpha=25^\circ$ ve 45°) ve rüzgârın kolektöre değişik yönlerden gelme durumlarında ($\beta=0^\circ$, 90° ve 180°) ortalama ısı transferi katsayıları belirlenmiştir. Böylece; kolektör tipinin, rüzgâr hızının, çatı eğim açısının ve rüzgârın evin çatısına düz olarak yerleştirilmiş kolektöre değişik yönlerden gelme durumlarının ısı transferi üzerindeki etkileri

incelenmiştir. Çatısına kolektör yerleştirilmiş evin görünümü Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir. Burada α çatı eğim açısı olup değeri 25° ve 45° ’dir. β ise evin döndürölme açısı olup değeri 0° , 90° ve 180° ’dir. Evin y-ekseni etrafında döndürölmesi ile β açısı elde edilir. x-yönü akış yönüdür.



Şekil 4.1 Çatısına güneş kolektörü yerleştirilmiş evin görünümü

Gerçekleştirilen bu çalışma sayısal olarak yapılmıştır. Sayısal çözümler için bir paket program olan Fluent 6.1.3 kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Reynolds sayısına bağlı olarak $Nu = a Re^b$ şeklinde ifade edilmiştir.

5. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

5.1. Giriş

Teknik problemlerin çözümünde analitik, deneysel ve sayısal metotlardan biri uygulanır. Bu metotlar ayrı kullanıldığı gibi birlikte de kullanılabilir.

Deneysel yöntemler pahalı ve zaman alıcıdır. Analitik olarak çözümü yapılamayan problemler ise son yıllarda bilgisayar alanındaki gelişmeler ile sayısal yöntemler ile çözülmeye başlanmıştır. Bu çalışmada akış ve sıcaklık alanının hesaplanması için ısı transferi problemlerini çözebilen FLUENT paket programı kullanılmıştır.

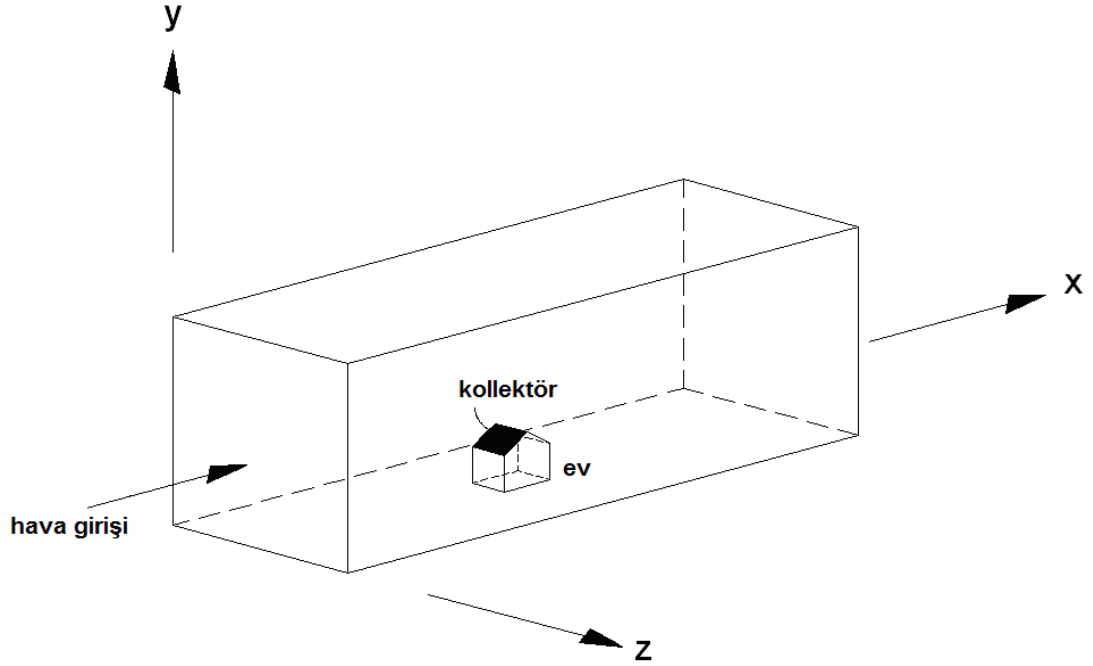
Sayısal akışkanlar dinamiği ile ayrıntılar ve çalışma programı aşağıda sunulmuştur. Evin çatısına düz olarak monte edilen kolektör yüzeyinden zorlanmış konveksiyonla gerçekleşen ısı kaybı hesabı için gerekli olan problemin tanıtılması, kullanılan formülasyonlar ile fiziksel ve matematiksel model özellikleri, uygulanan sınır şartları ve yapılan kabuller burada verilmiştir.

5.2. Fiziksel ve Matematiksel Modelin Tanımlanması

Geometri gereği akış üç boyutludur. Kullanılan denklemler olan Navier Stokes ve enerji denklemleri, lineer olmayan denklem sistemleri içerdiğinden analitik olarak çözümü zordur, hatta imkânsız gibidir. Son yıllarda bilgisayar alanındaki gelişme ile birlikte artık akış problemlerini üç boyutlu olarak çözmek mümkün olabilmektedir.

Sayısal çalışmalarda problemi tanımlayan temel denklemleri çözmek için bazı kabuller yapılır. Bunların başında ise yapılan ilk kabul akışın kararlı olduğudur. Böylece denklemlerdeki bağımsız değişken sayısı dörtten üçe indirgenmiş olur. Bu çalışmada kullanılan koordinat sistemi ve üzerine

kolektör yerleştirilmiş evin görünümü Şekil 5.1’de görüldüğü gibidir. Boyutlar Turgut [2001]’deki boyutlar ile aynıdır. Kolektörün boyutları kare kolektör için 35,5 x 35,5 mm ve dikdörtgen için 23,45 x 51 mm’dir. Kanal kesit alanı ise 305 x 305 mm’dir.



Şekil 5.1. Üzerine kolektör yerleştirilmiş evin görünümü

Şekil 5.1’de görülen fiziksel problem göz önünde bulundurularak problemin akış ve ısı davranışını inceleyebilmek için süreklilik, momentum ve enerji korunum denklemlerinin uygun sınır şartları ile birlikte çözülmesi gerekir. Bu üç denklemin çözülmesiyle hız, basınç ve sıcaklık dağılımları belirlenir. Enerji denkleminin çözülmesi ile elde edilen sıcaklık dağılımından yararlanılarak ısı transferi hesaplanabilir. Bulunan ısı transferi katsayısıyla da kolektörün üst yüzeyinden havaya transfer edilen ısı miktarı hesaplanabilir. Bu sayede de kolektörün üst yüzeyinden kaybedilen ısı kaybı ve enerji kaybı elde edilmiş olur.

5.3. Temel Denklemler

Kararlı rejim şartlarında, sıkıştırılamaz, üç boyutlu, türbülanslı akış için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri tensör notasyonu ile aşağıda verilmiştir. Türbülans modeli olarak k-ε Realizable modeli kullanılmıştır. Türbülans denklemleri duvar yakınında duvar yaklaşımı (enhanced wall treatment) yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5.1)$$

Momentum denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{\rho u_i' u_j'} \right) \quad (5.2)$$

Enerji denklemi

$$\frac{\partial (\rho u_i T)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{k_{eff}}{c_p} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (5.3)$$

Denklem (5.1)-(5.3)'de ;

u : hız bileşenleri (m/s)

x : koordinat sistemindeki boyut bileşeni (m)

p : basınç bileşeni (Pa)

ρ : akışkanın yoğunluğu (kg / m³)

T : sıcaklık bileşeni (K)

k_{eff} : efektif ısı iletim katsayısı (W / m²K)

c_p : sabit basınçta özgül ısı (kJ / kg K)

μ : dinamik viskozite (N s / m²)

$\overline{\rho u_i' u_j'}$: Reynolds gerilmesidir.

Denklem (5.2)'deki δ_{ij} Kroneker delta fonksiyonudur. Burada $i=j$ için $\delta_{ij} = 1$, ve $i \neq j$ için ise $\delta_{ij} = 0$ dır.

Momentum denkleminde yer alan Reynolds gerilimi $\overline{\rho u_i' u_j'}$ şu şekildedir;

$$\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij}$$

Burada μ_t türbülans viskozitesi olup şu şekildedir;

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

burada C_μ sabit olmayıp şu şekildedir;

$$C_\mu = \frac{1}{A_o + A_s \frac{k U^*}{\varepsilon}}$$

ve

$$U^* \cong \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \overline{\Omega_{ij}} \overline{\Omega_{ij}}}$$

burada $\overline{\Omega_{ij}}$ dönme tensörünün ortalama değeri, A_o ve A_s sabitlerdir ve

$$A_o = 4.04,$$

$$A_s = \sqrt{6} \cos \phi$$

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

$$w = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{\overline{S}^3}$$

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

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$$

Eşitlik 5.3 ile verilen enerji denklemindeki k_{eff} efektif ısı iletkenlik olup şu şekilde tanımlanır

$$k_{eff} = k + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t}$$

burada k ısı iletkenlik ve Pr_t türbülans Prandtl sayısı olup değeri 0.85'dir.

Türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans yayılım oranı (ε) aşağıdaki iki transport denkleminin çözülmesi ile elde edilir;

$$\frac{\partial}{\partial x_j} [\rho k u_j] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (5.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} [\rho \varepsilon u_j] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \quad (5.5)$$

Bu eşitliklerde G_k , ortalama hız gradyanından dolayı türbülans kinetik enerji üretimini göstermektedir. C_2 ve C_1 sabitler, σ_k ve σ_ε sırasıyla k - ε için türbülans Prandtl sayılarıdır. Denklem (5.5)'de

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right] \quad \eta = S \frac{k}{\varepsilon} \quad (5.6)$$

G_k türbülans kinetik enerji üretimini şu şekildedir

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (5.7)$$

G_k Boussinesq hipoteziyle değerlendirilirse,

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (5.8)$$

Buradaki S ortalama uzama oranı katsayısı olup şu şekildedir;

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (5.9)$$

Boyutsuz Nusselt sayısı ve Reynolds sayısı karakteristik uzunluk L (4xalan/çevre) kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır.

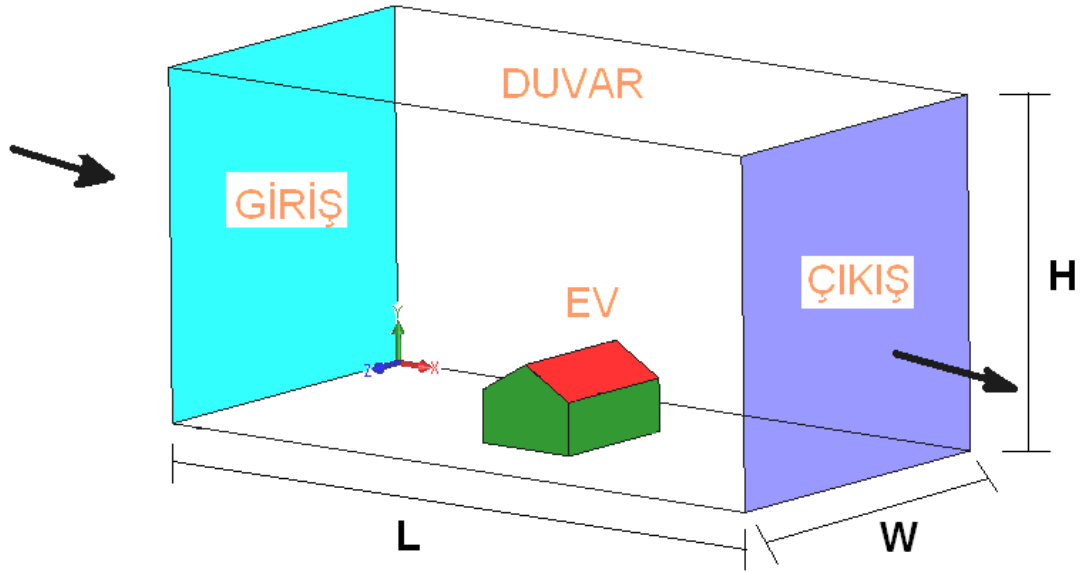
$$Nu = \frac{q''}{T_w - T_\infty} \frac{L}{k} \quad (5.10)$$

$$Re = \frac{\rho U_\infty L}{\mu} \quad (5.11)$$

Burada q'' (W/m^2) ısı akısı, L(m) karakteristik uzunluk, T_w (K) yüzey sıcaklığı, T_∞ (K) serbest akışta hava sıcaklığı, k ($W/m K$) ısı iletim katsayısı, ρ (kg/m^3) yoğunluk, U_∞ (m/s) serbest akış hızı, ve μ ($kg/m s$) dinamik vizkozitedir.

5.4. Sınır Şartları

Korunum denklemlerinin çözüm alanı sınırlarında çözülebilmesi için uygun sınır şartlarına ihtiyaç vardır. Sınır şartlarının çözüm alanı sınırlarındaki görünümü Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Sınır şartlarının çalışma bölgesindeki görünümü

Bütün değişkenlerin (u , v , w ve T) akış alanı sınırlarındaki değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada kullanılan sınır şartları aşağıda verilmiştir. Şekil 5.2.'ye göre, $\beta=0$ ve 180° olduğunda akış alanı geometrik olarak simetrik olduğu için bu simetriden yararlanılmıştır. $z = W/2$ de x - y yönünde simetriye sahiptir. Bu sayede sayısal çalışmalarda zamandan kazanç sağlanılmıştır, çünkü daha az grid noktası için FLUENT paket programında daha az iterasyon gerçekleştirilmiştir. Akışkanın, dikdörtgen kesitli kanala $x=0$ düzleminde uniform u_∞ hızı ile girdiği ve giriş sıcaklığının T_∞ olduğu kabul edilmiştir. Sayısal çalışmada u_∞ hızı 7 m/s den 40 m/s kadar değiştirilmiştir. T_∞ giriş sıcaklığı olarak da 290 K alınmıştır. $x=L$ de çıkış sınır şartı için uygun olan, basınç çıkış sınır şartı kullanılmıştır. Dikdörtgen kesitli kanalın üst, alt ve sol yanda duvar sınır şartı kullanılmıştır. $z=W/2$ de ise simetri sınır şartından yararlanılmıştır. Buna göre;

Girişte $x=0$

Giriş sınır şartı için, hız giriş sınır şartı kullanılmıştır. Burada; girişteki, hız ve sıcaklık değerleri girilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

$$u=u_0, v = 0, w=0, T = T_\infty = 290 \text{ K} \quad (5.12)$$

Çıkışta $x=L$

Çıkış sınır şartı için ise problemimize uygun olan basınç çıkış sınır şartı kullanılmıştır.

Kanal alt yüzeyinde $y=0$

$$u = 0, v = 0, w=0, T = T_\infty \quad (5.13)$$

Kanal üst yüzeyinde $y=H$

$$u = 0, v = 0, w=0, T = T_\infty \quad (5.14)$$

Kanal sol yüzeyi $z=0$

$$u = 0, v = 0, w=0, T = T_\infty \quad (5.15)$$

$z=W/2$ simetri eksen, ($\beta=0$ ve 180° için)

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad w = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (5.16)$$

$z=W$ duvar sınır şartı ($\beta=90$ için)

$$u = 0, v = 0, w=0, T = T_\infty \quad (5.17)$$

Ev duvarlarında

$$u = 0, v = 0, w=0, T = T_\infty \quad (5.18)$$

Kolektör yüzeyi hariç evin diğer yüzeylerindeki sıcaklık sınır şartı ise $T=T_{\infty}$ olarak kabul edilmiştir. Evin yanal yüzeylerinde duvar sınır şartı girilmiştir.

Kolektör yüzey sınır şartı

$$u = 0, v = 0, w=0, T = T_w \quad (5.19)$$

Evin çatısındaki kolektörün yüzey sıcaklık sınır şartı ise $T=T_w$ olup $T_w=335$ K olarak kabul edilmiştir. Kolektör yüzeyi duvar olduğundan duvar sınır şartı girilmiştir.

5.5. Sayısal Akışkanlar Dinamiği Çözüm Yöntemi ve Kullanılan Paket Programın Özellikleri

5.5.1. Gambit

Gambit, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizinde kullanılabilen genel amaçlı bir ön işlemcidir.

Gambit, HAD analizinin üzerinde en fazla vakit harcanan kısmı olan model hazırlama ve sayısal ağ oluşturma işlemlerini bünyesinde barındırdığı araçların da yardımıyla kolaylaştırma ve hızlandırmayı amaçlayan bir yazılımdır. Gambit sunduğu araçlarla kullanıcısına çözüm için gerekli ilk şart olan sayısal ağa sahip olma imkânı tanır.

Gambit sahip olduğu katı modelleme araçları sayesinde hem orta derecede karmaşık geometrilerin oluşturulmasına hem de gelişmiş geometri alım kapasitesi sayesinde UNIGRAPHICS, I-DEAS, Pro/ENGINEER, CATIA ve SOLIDWORKS gibi katı modelleme programlarından model alımına olanak tanıyarak kullanıcısına büyük bir esneklik sağlar.

Ayrıca kendisine ait “sanal geometri” kavramıyla dışarıdan alınmış

modellerdeki en büyük sorun olan geometri temizleme işlemini kolaylaştırarak sayısal ağ oluşumuna uygun modellerin elde edilmesine olanak sağlar.

Gambit iki boyutta dörtgen ve üçgen elemanların, üç boyutta ise altı yüzlü, dört yüzlü ve geçiş elemanları olarak kama tipi ve piramit tipi elemanların kullanımına izin vererek istenilen tipteki sayısal ağın basit ve hızlı bir şekilde oluşturulmasına imkân verir.

5.5.2. Fluent

Fluent sıkıştırılmaz ve sıkıştırılabilir akışlar için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımıdır. 1983' ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki HAD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olarak kullanıcılarının problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır.

Fluent genel amaçlı bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olarak otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbomakine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcısına birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olanağı sağlar.

Fluent sahip olduğu ileri çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminar, geçişsel ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal tepkimeleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üreterek AR-GE

bölümlerinin tasarım esnasındaki kullanılmaktadır.

Genel modelleme yetenekleri

Fluent'in genel modelleme yetenekleri şu şekildedir.

- 2 boyutlu düzlemsel, 2 boyutlu eksenel simetrik, 2 boyutlu döngülü eksenel simetrik (dönel simetrik) ve 3 boyutlu akışlar,
- Sabit rejim veya geçici rejim akışları,
- Bütün hız rejimleri (düşük subsonik, transonik, süpersonik ve hipersonik akışlar),
- Laminer, geçiş veya türbülanslı akışlar,
- Newtonian ve Newtonian olmayan akışlar,
- Zorlamalı, doğal, karışık konveksiyon, konjuge ısı transferi ve radyasyon,
- Homojen ve heterojen yanma modellerini ve yüzey tepkime modellerini de içeren kimyasal türler karışımı ve tepkimesi modelleri,
- Gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı akışlar için serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleri,
- Erime/katılaşma uygulamaları için faz değişikliği modeli,
- İzotopik olmayan geçirgenlik, ilk direnç, katı ısı iletimi ve gözenekli yüzey basınç zıplaması modelleriyle gözenekli ortam,
- Fanlar, pompalar, radyatörler ve ısı değiştirgeçleri için modeller,
- Kütle, momentum, ısı ve kimyasal türler için hacimsel kaynaklar.

Sınır koşulları

Fluent paket programının kullandığı sınır şartları şu şekildedir.

- Çoklu akış giriş/çıkışları,
- Yansıtmayan sınır koşulları,
- Kütle debisi çıkışları,
- Giriş/çıkış fanları,
- Duvar sınır koşulları,
- Simetri ve eksen sınır koşulları,

- Ötelemeli veya dönel periyodik sınır koşulları,
- Kütle debisi belirtilmiş periyodik sınır koşulları,
- Basınç kaybı belirtilmiş periyodik sınır koşulları.

5.6. Türbülans Modelleri

Türbülans akış yükselip-azalan hızlarla tanımlanır. Bu yükselip azalmalar momentum enerji gibi taşınım niceliklerini oldukça inişli çıkışlı olmalarına sebep olur. Bu yükselme ve azalmalar oldukça küçük ölçekli ve yüksek frekanslı oldukları için pratik mühendislik hesaplamalarında direkt olarak simule etmek nümerik olarak çok zordur. Bunun yerine bu küçük ölçümleri kaldırmak nümerik olarak çözümün daha az zor olduğu değiştirilmiş eşitlikleri elde etmek için ana eşitlikler zaman ortalamalı, birlik ortalamalı olabilir veya başka türlü manipüle edilebilir. Bununla birlikte modifiye edilen eşitlikler bilinmeyen değişkenler içerebilirler ve bu değişkenleri bilinen nicelik terimleri olarak elde etmek için türbülans modeller gerekir [Fluent 6.1.3 User Guide].

Fluent aşağıdaki türbülans modellerini sağlar;

1. Spalart-Allmaras Modeli,
2. k- ϵ Modelleri,
 - Standart k- ϵ Modeli,
 - Renormalization-Group (RNG) k- ϵ Modeli,
 - Realizable k- ϵ Modeli,
3. k- ω Modelleri,
 - Standart k- ω Modeli,
 - Kayma Gerilmesi Transport (SST) k- ω Modeli,
4. u^2 -f Modeli,
5. Reynolds Gerilim Modeli (RSM),
6. Large Eddy Simulation (LES) modeli,
7. Ayrılmış Eddy Simülasyon Modeli DES modeli.

5.7. Fluent Programının Kullandığı Türbülans Modelleri

5.7.1. Türbülans model seçimi

Problem sınıflarının hepsinde tek bir türbülans modelinin seçilememesi şansız bir gerçektir. Türbülans modelinin seçilmesi çevrelenen akışkan fiziği, problemin özel sınıfı için kurulan pratik, gereken doğruluğun seviyesi, mümkün olan sayısal kaynaklar, simülasyon için mümkün zaman miktarı gibi durumlara bağlıdır. Uygulamalarda en uygun modeli seçmek için çeşitli seçeneklerin limitlerini ve yeteneklerini anlamak gerekir. Bu kısımda kategori olarak özel bir uygulama için hangi modelin en iyi olduğunu belirtmek olanaksız olmasına rağmen modellemek istediğimiz akışın uygun türbülans modelini seçmede genel ana noktalar sunulmuştur.

5.7.2. Türbülans modeller hakkında genel bilgiler

Spalart-allmaras modeli

Spalart-Allmaras modeli oldukça basit bir denklemdir. Modellenmiş transport denklemini kinematik edi viskozitesi için çözer. Lokal kayma tabaka kalınlığıyla ilgili olan ve uzunluk ölçümünü hesaplamaya gerek olmayan oldukça yeni bir denklem modelleme sınıfını dahil eder. Spalart-Allmaras modeli duvar sınır akışlarını içeren uzay uygulamaları için tasarlanmıştır ve zıt basınçlı gradyanlarına uğrayan sınır tabakalar için iyi sonuçlar vermesi için tasarlanmıştır. Turbo makine uygulamaları için ayrıca popülerite kazanmaktadır.

Orijinal formda Spalart-Allmaras modeli etkin olarak sınır tabakasının viskoz etkili bölgesinin gerektiği gibi çözülmesi gereken düşük Reynolds sayılı modeldir. Bununla birlikte Spalart-Allmaras model mesh çözünürlüğü yeterince iyi olmadığı zaman duvar fonksiyonlarını yerine getirir. Spalart-Allmaras halen oldukça yeni bir modeldir kompleks bütün mühendislik

akışları için uygunluğu iddia edilemez.

Standart k-ε Modeli

İki denklem modelidir. Fluent'teki standart k-ε modeli Launder ve Spalding tarafından kurulan pratik mühendislik hesaplarının temelini oluşturur. Geniş kapsamdaki türbülans akışlar için sağlamlığı ekonomisi ve doğruluğu endüstriyel akıştaki ve ısı transferi simülasyonlarındaki popüleritesini açıklar. Bu bir yarı deneysel modeldir ve model denklemlerin türetilmesi fenomenal düşünceler ve deneyselliğe güvenir.

RNG k-ε modeli

RNG k-ε modeli sert ve istatistiksel teknik kullanılarak türetilmiştir. Bu k-ε modeli ile aynı formdadır fakat aşağıdaki yenilikleri içerir.

- a) RNG modeli ϵ denkleminde önemli olarak aniden zorlanan akışların doğruluğunu geliştiren ek terim içerir.
- b) RNG modelinde dönmenin etkisi dönen akışkanların doğruluğunu artırıcı şekilde RNG modelde mevcuttur.
- c) Standart k-ε modeli kullanıcı özelleşmeli sabit değerleri kullanırken RNG teorisi türbülans Prandtl sayıları için analitik formül sağlar.
- d) Standart k-ε modeli yaklaşık Reynolds sayılı model iken RNG teori düşük Reynolds sayılı etkileri hesaplayan etkin viskozite için analitik türetilen diferansiyel formülü içerir.

Realizable k-ε modeli

Realizable k-ε modeli k-ε modelden iki önemli açıdan farklılık göstermektedir.

- a) Realizable k-ε modeli türbülans viskozite için yeni bir formül içerir.
- b) Dissipasyon oranı için yeni bir transport denklemi ϵ , ortalama vortisiti iniş-

çıkışının transportu için tam eşitlikten türetilir.

Bu model daha doğru bir şekilde düzlemsel ve kavisli jetlerin yayılım hızlarını tahmin eder. Bu model aynı zamanda dönme, güçlü basınç gradyanlarındaki sınır tabakalar, ayrılmalar ve sirkülasyon akışkan için iyi bir performans sağlar.

İlk çalışmalar göstermiştir ki birçok ayrılmış akışlar ve kompleks ikincil akış özellikli akışlar için Realizable model, bütün $k-\epsilon$ model versiyonlarının en iyi performansını sağlar.

Standart $k-\omega$ modeli

Fluent'teki standart $k-\omega$ modeli Reynolds sayısı düşük etkiler, sıkıştırılabilirlik ve kayma akış yayılımı için modifikasyon içeren Wilcox $k-\omega$ üzerine bazlıdır. Wilcox model karışan tabakalar, düzlemsel, kavisli ve radyal jetler duvar sınırlı akışlar ve serbest kayma akışlarına uygulanabilirlik için ölçümlere yakın anlaşmada olan kayma akış yayılım hızlarını tahmin eder.

Kayma gerilim transportu (SST) $k-\omega$ modeli

SST $k-\omega$ modeli Menker tarafından etkili bir şekilde, duvar bölgesine yakın $k-\omega$ modelinin formülasyonu uzaktaki serbest akıştaki bağımsız $k-\epsilon$ modeli karıştırmak için geliştirilmiştir. Bunu başarmak için $k-\epsilon$ modeli $k-\omega$ modeline çevrilmiştir. SST $k-\omega$ modeli standart $k-\omega$ modeline benzerdir fakat şu yenilikleri vardır.

a) Standart $k-\omega$ modeli ve çevrilmiş $k-\epsilon$ modelinin ikisi bir karışım fonksiyonu ile çarpılmış, iki model birlikte toplanmıştır, standart $k-\omega$ modelini aktive eden karışım fonksiyonu duvar bölgesinin yakınında dizayn edilmiştir ve yüzeyden uzakta sıfırdır.

b) SST model ω denkleminde çapraz difüzyon türev terimini içerir.

c) Model sabitleri farklıdır

u^2 -f modeli

u^2 -f modeli standart k- ϵ modeline benzerdir fakat yakın duvar türbülans anizotropisi ve yerel olmayan basınç gerinim etkilerini içerir. Düşük Reynolds sayılı türbülans modelidir ve bu yüzden duvar fonksiyonlarının kullanımına gerek yoktur. Model birleştirilmiş veya ayrılmış sınır tabakları için orijinal olarak geliştirilmesine rağmen, zorlanarak ayrılan akışkana doğru olarak simüle eder.

Reynolds gerilim modeli (RMS)

Reynolds gerilim modeli Fluent'in sağladığı en ayrıntılı türbülans modelidir. RMS akış çizgisi eğrileri, dönme ve gerinim hızındaki ani değişimler için bir ve iki denklemlilerden daha iyi bir şekilde hesaplama yapar ve kompleks akışkanlar için doğru tahminler vermek için çok iyi bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, RMS tahminlerinin güvenilirliği, Reynolds gerilimleri için kullanılan transport denklemlerindeki çeşitli terimlerin kullanılmasındaki kabulle de halen limitlidir.

Large Eddy Simulation (LES) modeli

Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemleri türbülans modelinin bütün ölçümlerinde yalnızca ortalama değişkenleri için yaklaşık bir çözüme izin verme, sayısal eforu azaltır. Eğer ortalama akış kararlıysa ana denklemler zaman türevlerini içermezler ve kararlı durum çözümü ekonomik olarak elde edilebilir. Sayısal avantajı kararsız durumlarda bile görülebilir, çünkü zaman aralığı türbülansdan daha çok ortalama akıştaki kararsızlıkta elde edilecektir. Reynolds ortalama yaklaşım genellikle pratik mühendislik hesaplarında kabul edilir ve Spalart-Allmaras k- ϵ ve onun değişik hali k- ω ve onun değişik biçimi RSM' yi kullanır. LES, filtreleme denklemlerini set halinde kullanan zamana

bağlı simülasyonda geniş edilerin hesaplanmasında yaklaşım sağlar. Filtreleme temel olarak mesh büyüklüğü olarak kullanılan filtrenin büyüklüğünden daha küçük olan edileri kaldırmak için Navier-Stokes denklemlerinin manipülasyonudur. Reynolds ortalaması gibi filtreleme prosesi de yeterli sayıda denklem elde etmek için yarattığı ek bilinmeyen terimleri modellemelidir. Genel olarak konvansiyonel türbülans modeller için kullanılan Reynolds-ortalama yaklaşımın pratik hesaplar için kullanımı önerilir. LES yaklaşımı eğer nümerik kaynaklara sahipsek ve efor harcamaya hazırsak bizi denmeye mümkün kılar.

Ayrılmış eddy simülasyon modeli (DES)

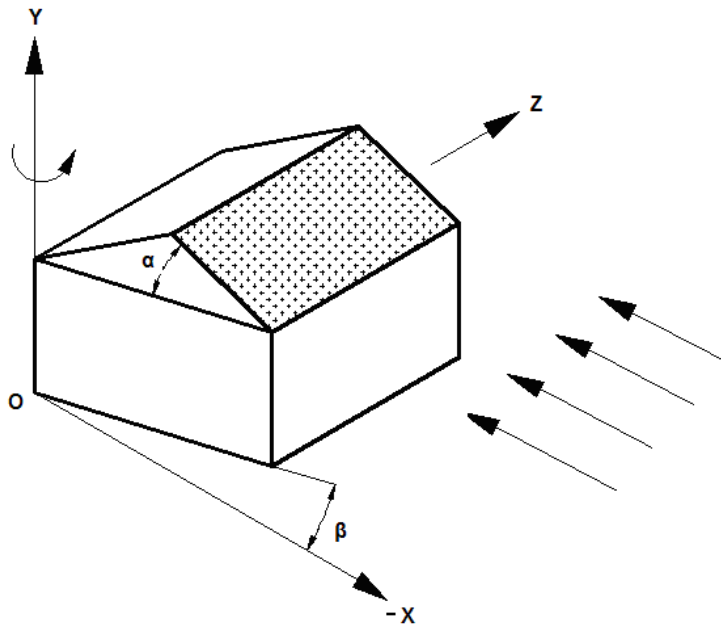
Ayrılmış Eddy simülasyon modeli Spalart-Allmaras modelinin değiştirilmiş halidir ve LES'e alternatif olarak yüksek Reynolds sayılı yüksek kaldırma kuvveti olan hava yaprakları etrafındaki akışı tahmin etmek için daha pratik olduğu düşünülebilir. DES yaklaşımı akış alanı içinde iki ayrı bölge yaratmak için kararsız Spalart-Allmaras modelinin kararsız Reynolds ortalama Navier Stokes (RANS) versiyonu ile aynı modelin filtrelenen versiyonu birleştirilir. Biri LES temelli diğeri duvara yakın yerdeki RANS temelli yaklaşımla başlanılır. LES bölgesi normal olarak büyük ölçüde türbülansın bir rol oynadığı yüksek türbülans bölgesiyle birleştirilir. Bu bölgede RANS modeli kullanılır.

6. SAYISAL ÇALIŞMA

6.1. Giriş

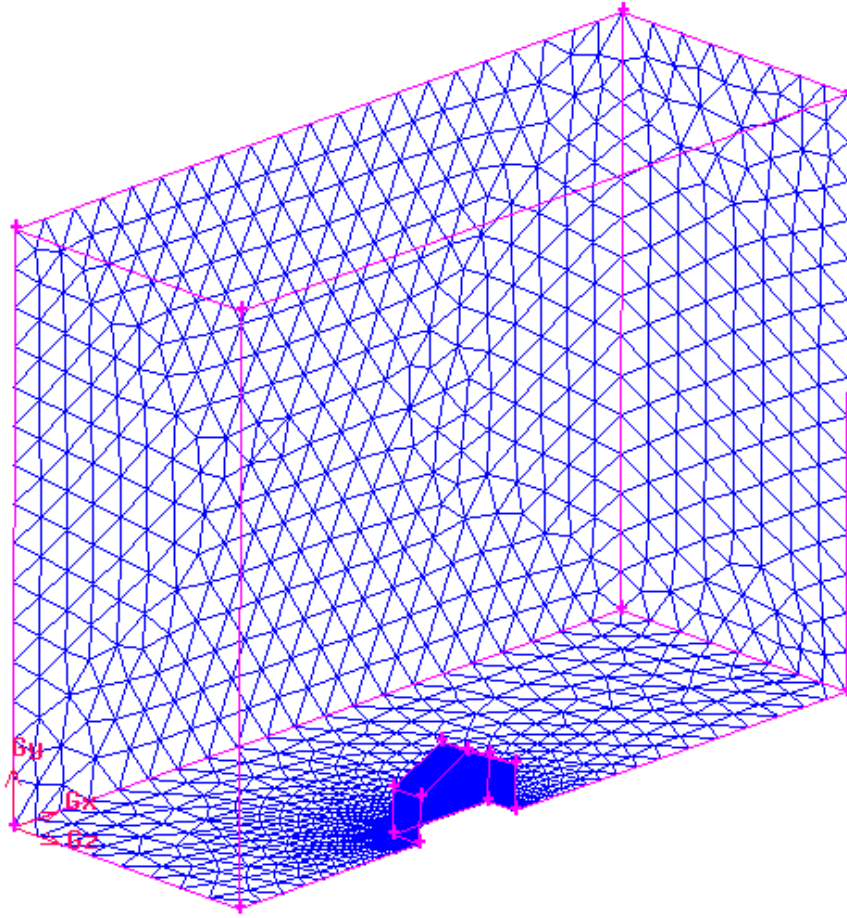
Bu bölümde, sayısal çalışmanın gerçekleştirilmesi aşamasında kullanılan geometriler ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada iki katlı bir binanın çatısına düz olarak yerleştirilmiş kare ve dikdörtgen geometriye sahip kolektörler bulunan evler için kolektörün üst yüzeyinden havaya olan ısı transferi sayısal olarak Fluent 6.1.3 paket programı kullanılarak incelenmiştir. Kolektörlerin çatıya iki farklı çatı eğim açısında ($\alpha=25^\circ$ ve 45°) yerleştirilmesi durumlarında ve Şekil 6.1’de görüldüğü gibi evin y-ekseni etrafında döndürülmesi ile oluşan β açısının 0° , 90° ve 180° derece olması durumlarında sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şekil 6.1’de görüldüğü üzere rüzgar yönü x-yönündedir. Bu çalışmadaki amaç rüzgâr hızının ve rüzgarın kolektöre değişik yönlerden gelme durumlarının kolektörün üst yüzeyinden olan ısı transferine etkisini incelemektir.



Şekil 6.1 Çatı eğim açısı α ve evin dönme açısı β 'nin tanımlanması

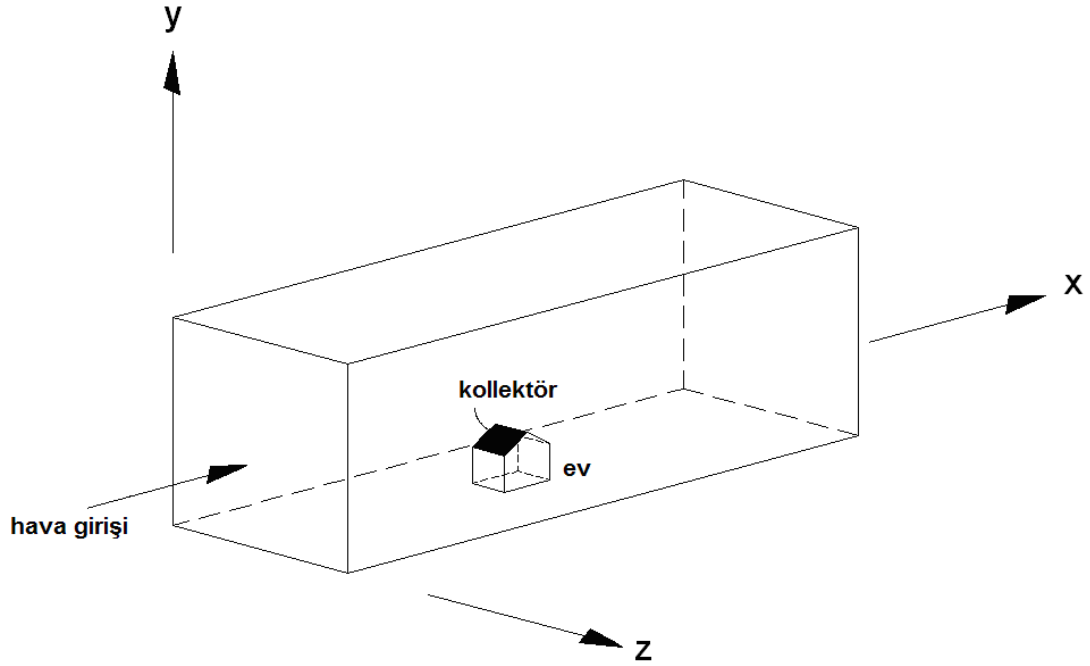
Çalışmaya öncelikle geometri etrafına ağ yapısı (mesh) oluşturmak sureti ile başlanılmıştır. Geometri ve ağ yapısının oluşturulması bir ön işlemci olan Gambit programında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmanın yapıldığı hesap bölgesinde kolektöre yakın kısımlarda daha küçük hacimler, kolektörden uzak olan kısımlara ise daha büyük hacim elemanlar atılmıştır. Diğer bir ifade ile söylemek gerekirse; kolektör civarında sık ağ yapıları oluşturulurken kolektörden uzak bölgelerde seyrek ağ yapıları kullanılmıştır. Sayısal çalışmada tet biçimindeki ağ yapıları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tipik ağ yapısı Şekil 6.2’de görüldüğü gibidir. Her çatı eğim açısının (α) veya her evin döndürülme açısının (β) değişmesi durumunda hesaplama bölgesine yeniden ağ yapıları atılmıştır.



Şekil 6.2. Hesaplama bölgesindeki tipik ağ yapılarının görünümü

Her α veya β açısı konumu için çözümün ağ yapısından bağımsız olduğu araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan hesaplama bölgesi 305x305 mm kesit alanına ve 575 mm uzunluğa sahiptir. Evler bu hesaplama bölgesine Şekil 6.3'de görüldüğü üzere z-ekseninde geometrik olarak ortaya yerleştirilmiştir. Akış yönünde yani x-ekseninden itibaren ise 214 mm içeriye yerleştirilmiştir. Bu boyutlar Turgut (2001)'deki boyutların aynısıdır. Yapılan sayısal çalışma sonuçları daha sonra Turgut (2001)'in deney sonuçları ile de kıyaslanmıştır.



Şekil 6.3. Kanal içinde evin yerleşimi

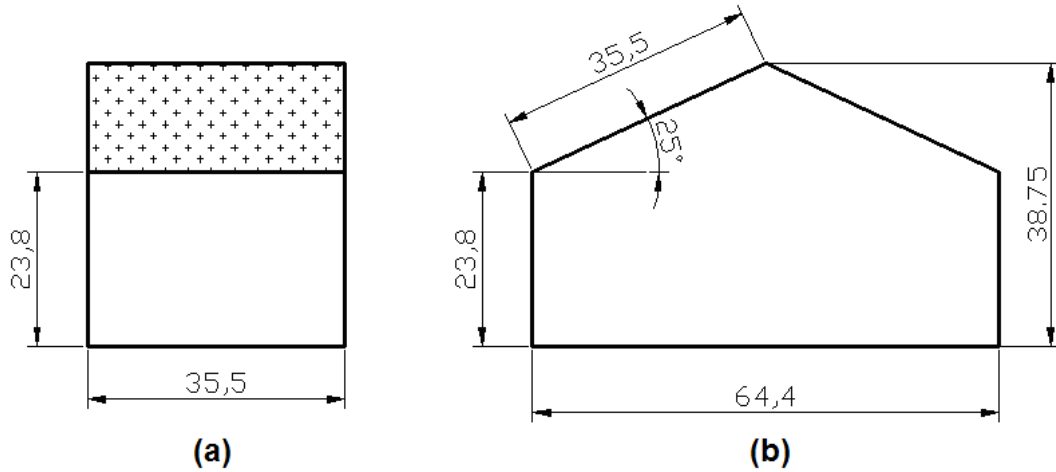
6.2. Hesaplamalarda Kullanılan Evin Boyutları

Çalışmada çeşitli geometrilere sahip evler kullanılmıştır. Bu kısımda üzerine kare ve dikdörtgen kesitli kollektörler yerleştirilmiş evler hakkında bilgi verilmiştir.

6.2.1. Üzerine kare kolektör yerleştirilen ev ile yapılan sayısal çalışma

35,5 x 35,5 mm boyutlarına sahip kare kolektör $\alpha = 25^\circ$ ve 45° olmak üzere iki farklı çatı eğim açısında ev üzerine yerleştirilerek farklı Reynolds sayılarında sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

$\alpha = 25^\circ$ çatı eğim açısına sahip olan 35,5 x 35,5 mm boyutlarındaki kare tip kolektörün yerleştirildiği evin boyutları Şekil 6.4'de görüldüğü gibidir. Evin taban kesiti 35,5 x 64,4 mm olup yüksekliği 23,8 mm'dir.

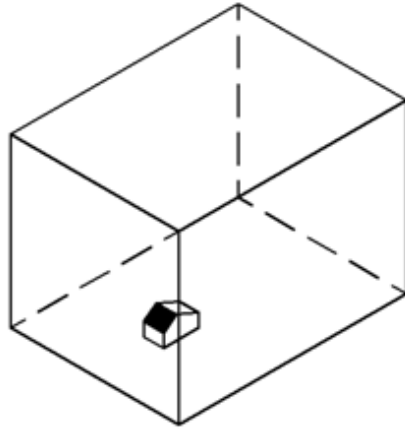


Şekil 6.4 $\alpha = 25^\circ$ çatı eğim açısına sahip evin görünümü

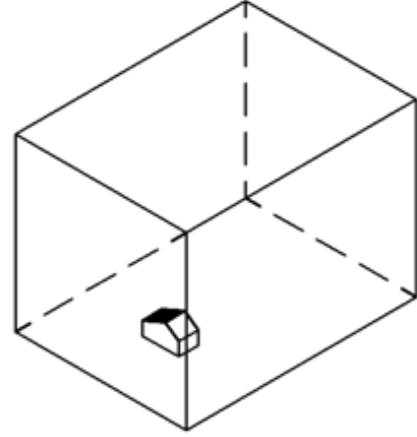
a) Evin ön görünüşü

b) Evin sol yan görünüşü

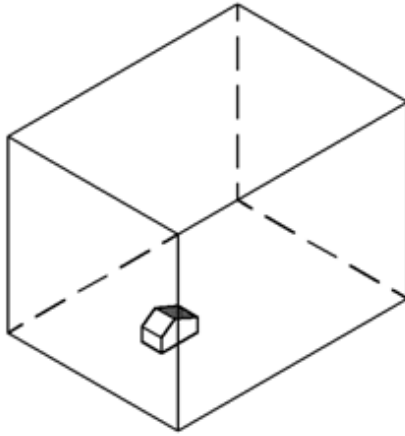
35,5x35,5 mm kesite sahip kare kolektörün Şekil 6.3'de görülen ev üzerine yerleştirilmesi durumunda evin döndürölme açısının $\beta = 0^\circ$, 90° ve 180° olması durumlarında rüzgarın bu yönlerden gelme durumları incelenmiştir. Şekil 6.5'de çatı eğim açısı $\alpha = 25^\circ$ için evin dönme açısı $\beta = 0^\circ$, 90° ve 180° durumlarındaki hali görölmektedir.



(a)



(b)

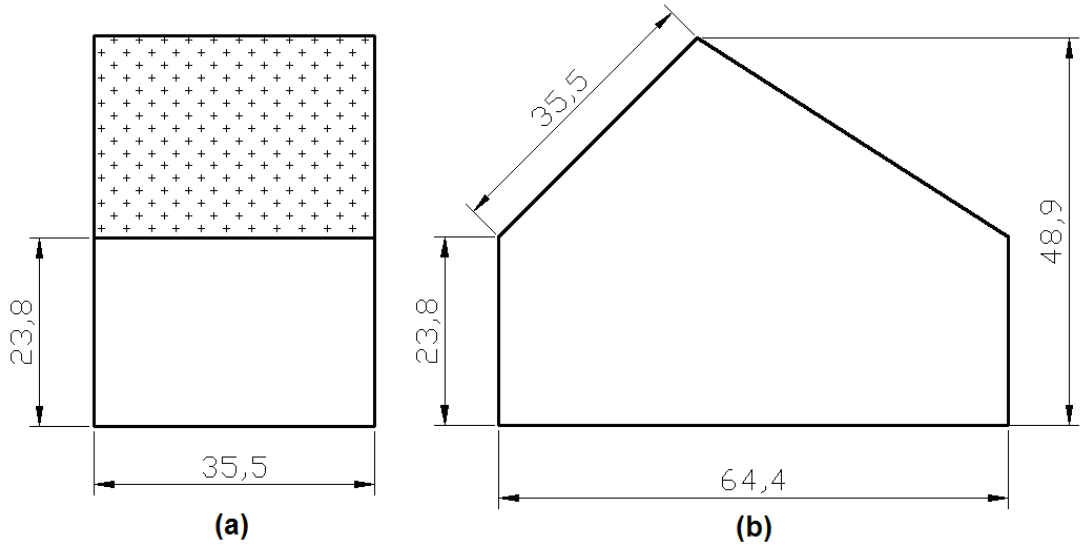


(c)

Şekil 6.5 $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü

- a) Rüzgarın önden gelme durumu
- b) Rüzgarın yandan gelme durumu
- c) Rüzgarın arkadan gelme durumu

$\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında 35,5 x 35,5 mm kesit alanına sahip kare tip kolektörün ev üzerine yerleştirilişi ise Şekil 6.6'de görüldüğü gibidir. Şekil 6.6 (a)'da önden görünüş (b)'de ise sol yandan görünüş verilmiştir. Şekil üzerinde ayrıca $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında hesaplamalarda kullanılan evin boyutları da verilmiştir.

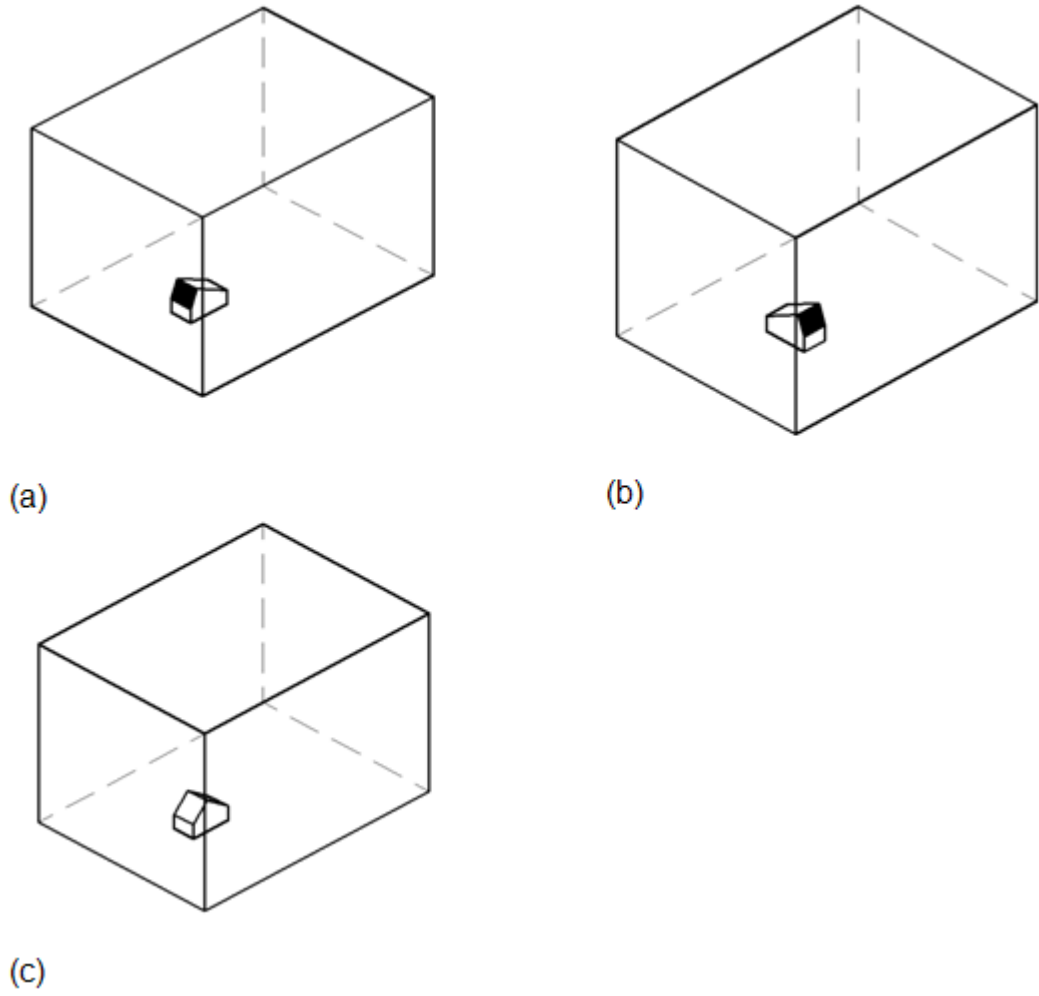


Şekil 6.6 $\alpha=45^\circ$ eğim açısına sahip evin görünümü

a) Evin ön görünüşü

b) Evin sol yan görünüşü

35,5 x 35,5 mm kesite sahip kare kolektörün Şekil 6.6'de görülen ev üzerine yerleştirilmesi durumunda evin döndürülme açısının $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° olması durumlarında rüzgarın bu yönlerden gelme durumları ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 6.7'da çatı eğim açısı $\alpha=45^\circ$ için evin dönme açısı $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° durumlarındaki hali görülmektedir.

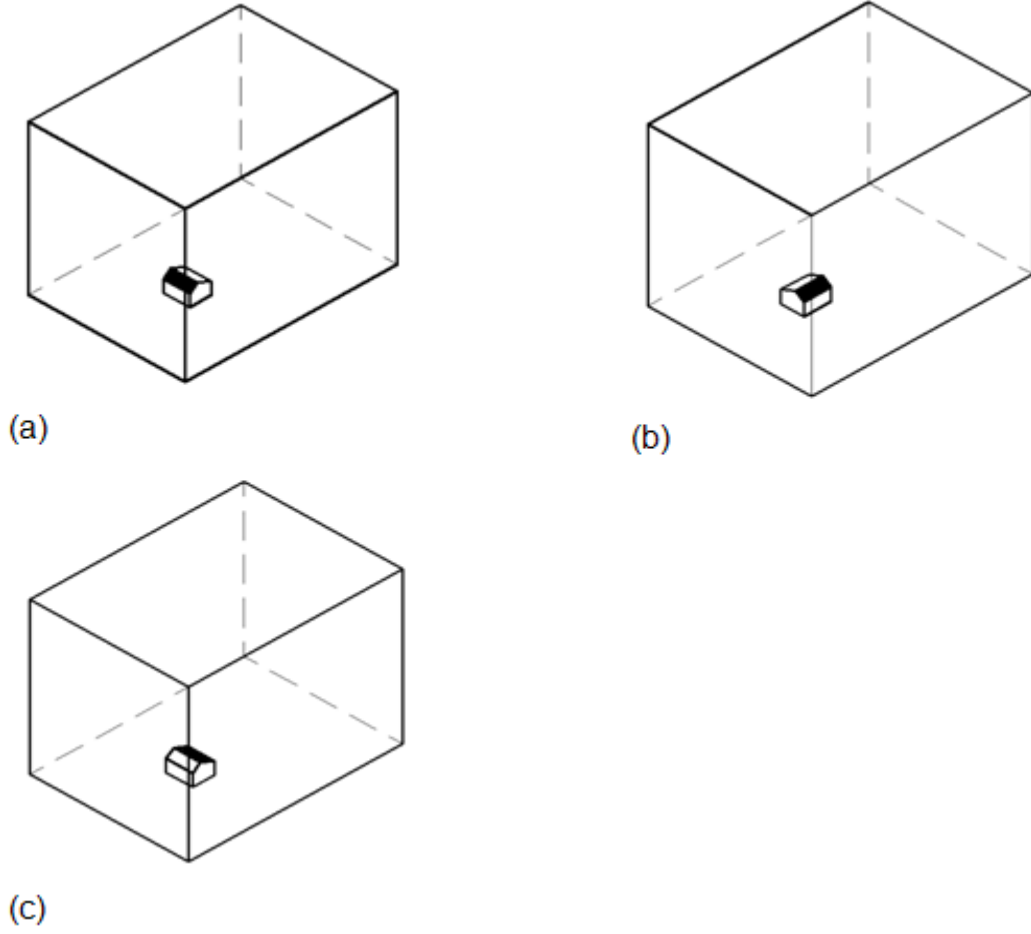


Şekil 6.7 $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü

- a) Rüzgarın önden gelme durumu
- b) Rüzgarın yandan gelme durumu
- c) Rüzgarın arkadan gelme durumu

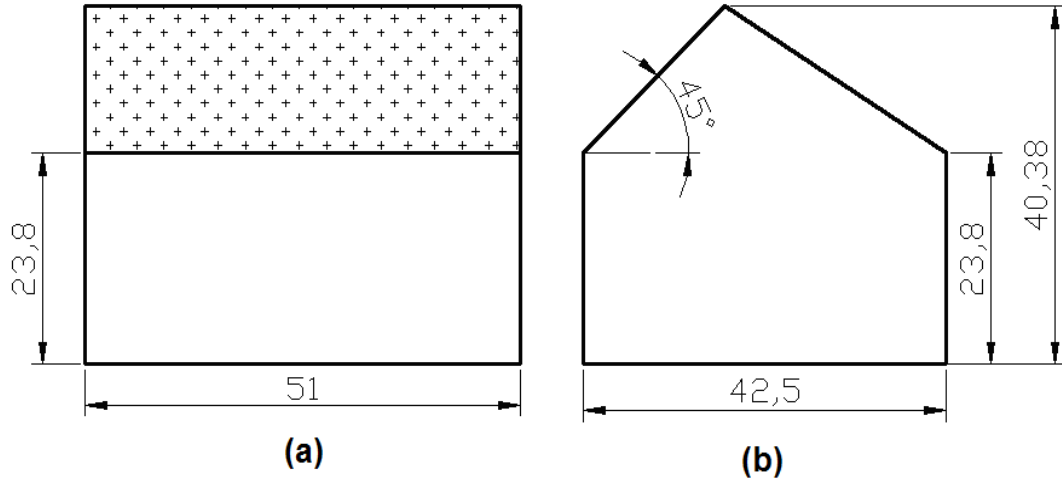
6.2.2. Üzerine dikdörtgen kolektör yerleştirilen ev ile yapılan sayısal çalışma

23,45 x 51 mm boyutlarına sahip dikdörtgen kesitli bir kolektörün $\alpha=25^\circ$ ve 45° çatı eğim açılarında ev üzerine yerleştirilmesi durumları için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Her bir çatı eğim açısındaki sayısal çalışmalar evin döndürülme açısı olan β 'nin 0° , 90° ve 180° olması durumunda farklı Reynolds sayıları için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.9 $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü
 a) Rüzgarın önden gelme durumu
 b) Rüzgarın yandan gelme durumu
 c) Rüzgarın arkadan gelme durumu

$\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısına sahip olan 23,45 x 51 mm boyutlarındaki dikdörtgen kesitli kolektörün üzerine yerleştirildiği evin görünümü Şekil 6.10'da verilmiştir. Sol taraftaki şekilde önden görünüş, sağ taraftaki şekilde ise sol yandan görünüş verilmiştir. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında kullanılan ev 51x42,5 mm taban kesitine ve 23,8 mm yüksekliğe sahiptir.

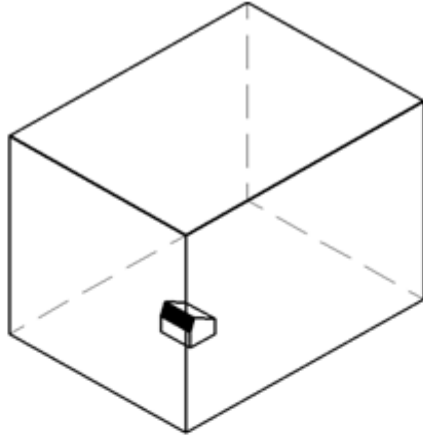


Şekil 6.10 $\alpha=45^\circ$ eğim açısına sahip evin görünümü

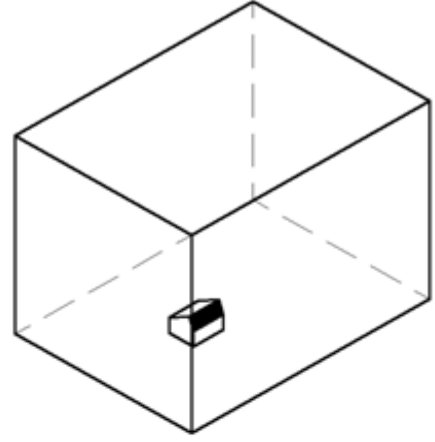
a) Evin ön görünüşü

b) Evin sol yan görünüşü

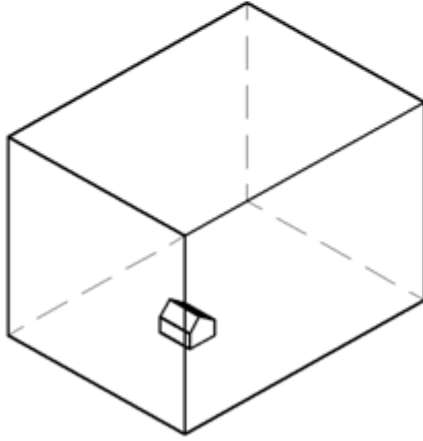
23,45 x 51 mm kesite sahip dikdörtgen kesitli kolektörün Şekil 6.10'da görülen ev üzerine yerleştirilmesi durumunda evin döndürölme açısının $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° olması durumlarında rüzgarın bu yönlerden gelme durumları ayrı ayrı farklı Reynolds sayıları için sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 6.11'da çatı eğim açısı $\alpha=45^\circ$ için evin dönme açısı $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° durumlarındaki hali görölmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.11 $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında (a) $\beta=0^\circ$, (b) $\beta=90^\circ$ ve (c) $\beta=180^\circ$ evin döndürülme açısında hesaplama bölgesinin görünümü

- a) Rüzgarın önden gelme durumu
- b) Rüzgarın yandan gelme durumu
- c) Rüzgarın arkadan gelme durumu

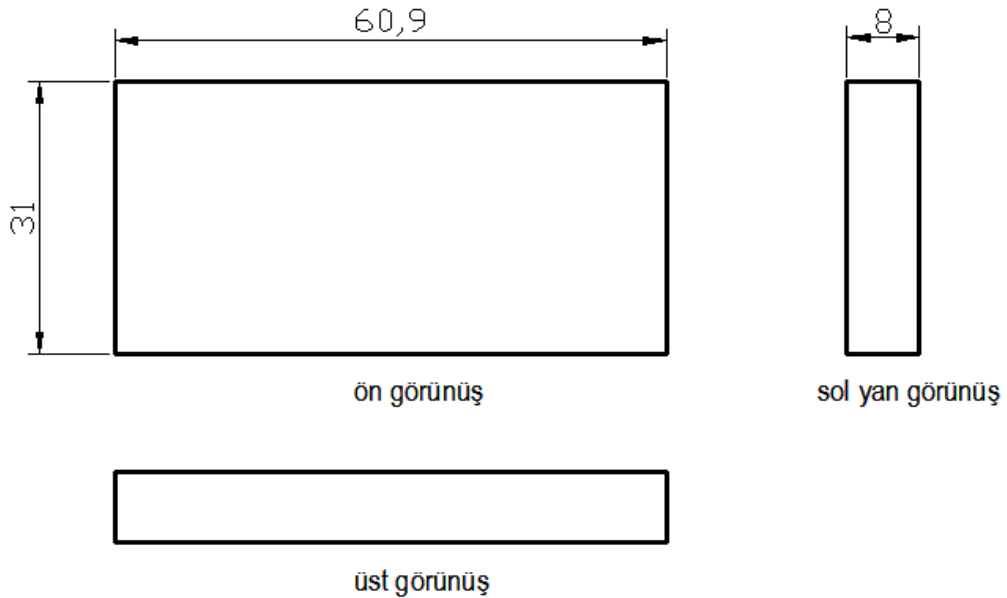
7. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

7.1. Literatür İle Kıyaslama

Yapılan sayısal çalışmanın doğruluğunu görebilmek için çalışmaya öncelikle literatürde mevcut olan çalışmalar tekrarlanarak başlanmıştır. Yapılacak olan sayısal çalışmanın doğruluğu literatür kıyaslaması ile görüldükten sonra asıl yapılmak istenilen sayısal çalışmaya geçilmiştir.

Öncelikle kütle transferini yani naftalin süblimasyon tekniğini kullanarak Sparrow [1977] ve Turgut [2001]'in havada asılı düzlem güneş kolektörü üzerinde yaptığı çalışmaları baz alınarak paket programda kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar test edilmiştir. Bu aşamada kullanılan geometriler ve elde edilen sonuçlar sırasıyla verilecektir.

Literatür kıyaslaması için 31x60.9 mm'lik dikdörtgen plakası göz önüne alınmıştır ve plaka boyutları Şekil 7.1'de görüldüğü gibidir.



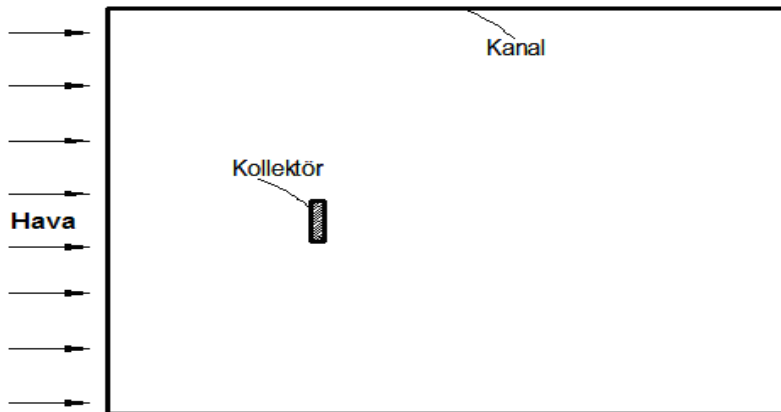
Şekil 7.1. Literatürde kıyaslanmasında kullanılan kolektör boyutları (boyutlar mm birimindedir)

Şekil 7.1. de gösterilen kollektör literatüre uygun olarak hava akışına göre iki farklı konumda konularak çözümler yapılmıştır. Bu konumlar ise ilk olarak hava akışına dik konum yani hava akışına $\alpha=90^\circ$ açı yapacak derecede yerleştirilmiş ikinci olarak ise hava akışına $\alpha=45^\circ$ açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Literatür ile kıyaslamada kullanılan kollektör boyutları literatürdeki değerlerdir ve Şekil 7.1. de görüldüğü gibidir. Kollektörün kalınlığı ise 8 mm'dir.

Fluent paket programında yapılan sayısal çözümler sonucunda elde edilen sonuçların hem Turgut [2001] hem de Sparrow [1977]'nin elde ettiği sonuçlara uygun olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların uygun olduğu görüldükten sonra asıl yapılmak istenilen sayısal çalışmalara başlanmıştır.

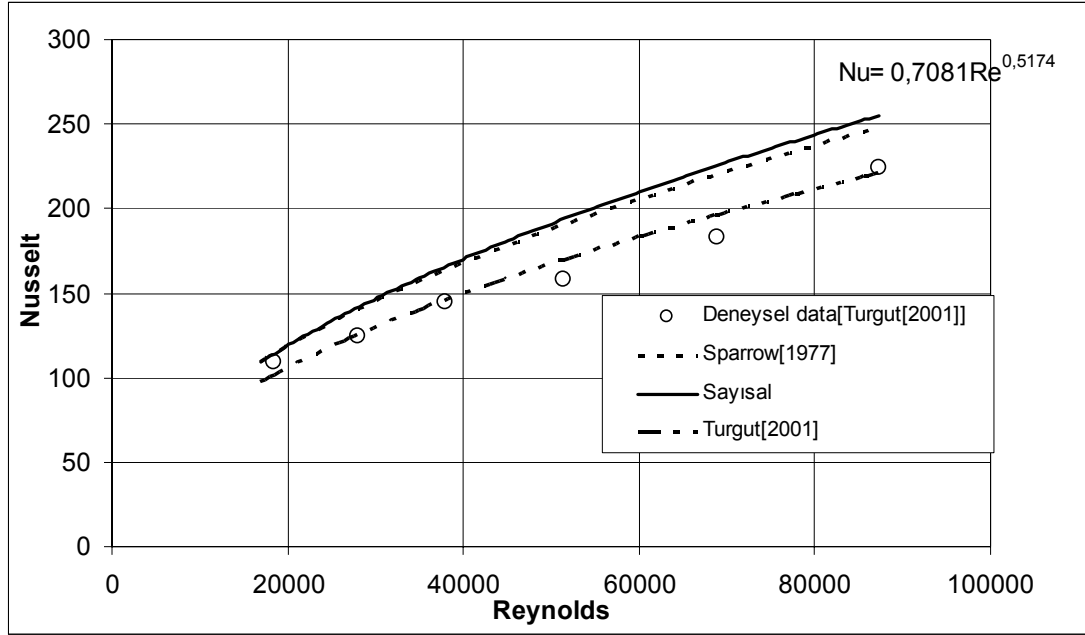
7.1.1. Kollektörün hava akışına 90° açı ile yerleştirilme durumu

Literatür kıyaslanmasında kullanılan kollektör hava akımına karşı iki farklı durumda yerleştirilmiştir. Bunlardan ilki hava akışına dik olarak yerleştirilmiştir. Bu durum Şekil 7.2.'de gösterilmiştir. Sayısal çalışma Reynolds sayısının 16000 ile 90000 arasındaki değerlerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.2. Literatür çalışmasında kullanılan kollektörün hava akışına $\alpha=90^\circ$ açı yapacak şekilde yerleştirilmesi

Kolektörün hava akışına $\alpha=90^\circ$ açı yapacak şekilde yerleşimi durumu için Sparrow [1977], Turgut [2001]'in ve Fluent paket programı ile elde edilen değerler grafik olarak Şekil 7.3.'de verilmiştir.

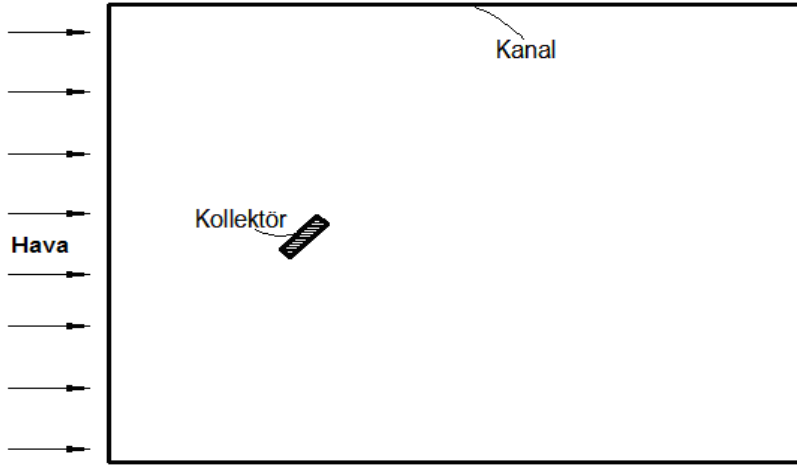


Şekil 7.3. $\alpha=90^\circ$ olması durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

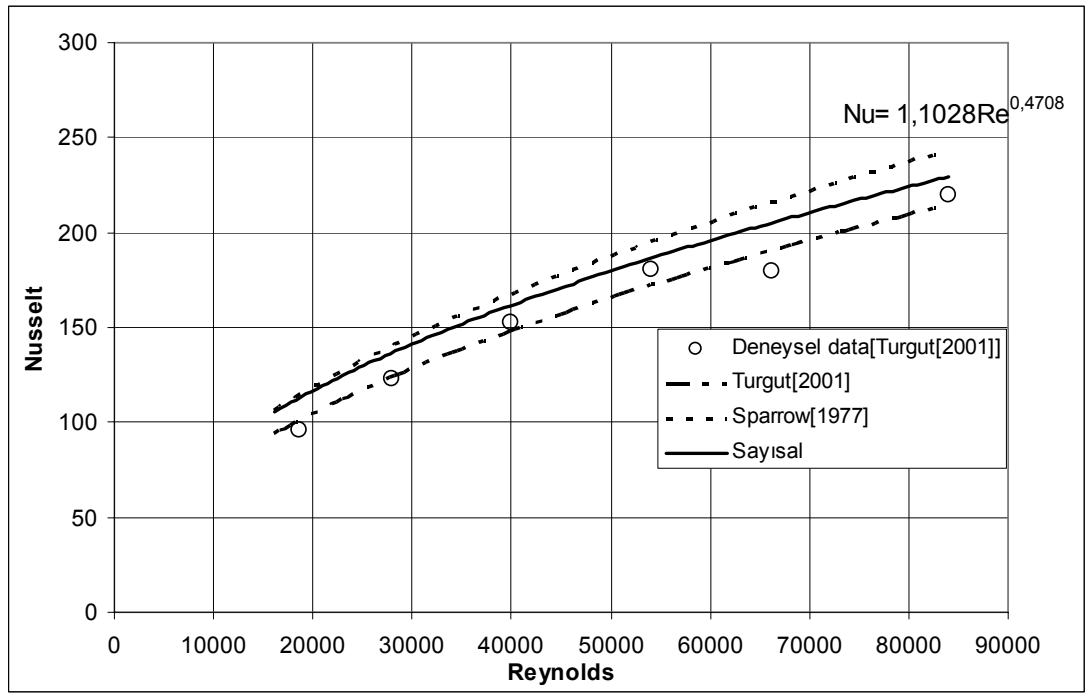
Şekil 7.3. de görüldüğü gibi sayısal çalışma ile elde edilen değerler ile Sparrow [1977] ve Turgut [2001]'in sonuçları paralellik göstermektedir. Şekil 7.3.'de görüldüğü üzere sayısal çalışma sonuçları $Nu=a Re^b$ biçiminde ifade edilmiştir. Sparrow [1977] ve Turgut [2001]'in kıyaslamada kullanılan eşitlikleri sırasıyla şu şekildedir; $Nu=0,846 Re^{0,49}$ ve $Nu=0,755 Re^{0,49}$ dir.

7.1.2. Kolektörün hava akışına 45° açı ile yerleştirilme durumu

Kolektörün hava akışına $\alpha=45^\circ$ açı yapacak şekilde yerleşimi Şekil 7.4'de görüldüğü gibidir. Sayısal çalışma sonuçlarının literatür ile kıyaslaması ise Şekil 7.5'de görüldüğü gibidir.



Şekil 7.4. Literatür çalışmasında kullanılan kolektörün hava akışına $\alpha=45^\circ$ açı yapacak şekilde yerleştirilmesi



Şekil 7.5. $\alpha=45^\circ$ olması durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 7.5. de görüldüğü gibi sayısal çalışma ile elde edilen değerler ile Sparrow [1977] ve Turgut [2001]'in sonuçları birbiri ile uyum içerisindedir. Sayısal çalışma sonuçları Sparrow [1977] ve Turgut [2001] sonuçları ile kıyaslanmış ve $Re=50000$ için sayısal çalışma sonuçlarının Sparrow

[1977]'nin sonuçlarından %4,4 daha az, Turgut [2001]'in sonuçlarından ise % 7,7 daha fazla çıktığı görülmüştür.

7.2. Kare ve Dikdörtgen Kolektörler İle Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Sayısal çalışma sonuçlarının literatür ile kıyaslanıp uygulanan yöntemin doğruluğunun test edilmesinden sonra asıl yapılmak istenilen ev üzerine değişik çatı eğim açısında ve rüzgarın değişik yönlerden kolektöre gelme durumları için kare ve dikdörtgen kolektör ile rüzgarın farklı hızlarda olması durumları için çalışmaya geçilmiştir. Bu kısımda sayısal çalışmada kullanılan kare ve dikdörtgen kolektörler ile yapılan sayısal çalışma sonuçları ayrı ayrı verilecektir. Sayısal çalışma sonuçları farklı çatı eğim açıları ve evin farklı yönlerde döndürülmesi durumunda rüzgarın farklı yönlerden gelme durumları için grafikler ile ifade edilecektir.

7.2.1 Kare kolektör ile yapılan sayısal çalışma sonuçları

Kare kolektörün evin çatısına $\alpha=25^\circ$ ve 45° de yerleştirilmesi ve her bir çatı eğim açısında evin $\beta=0^\circ$ (rüzgarın kolektöre önden gelme durumu), 90° (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) ve 180° (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) döndürülmesi durumları için sayısal çalışmalar yapılmıştır.

$\alpha=25^\circ$ kare kolektör

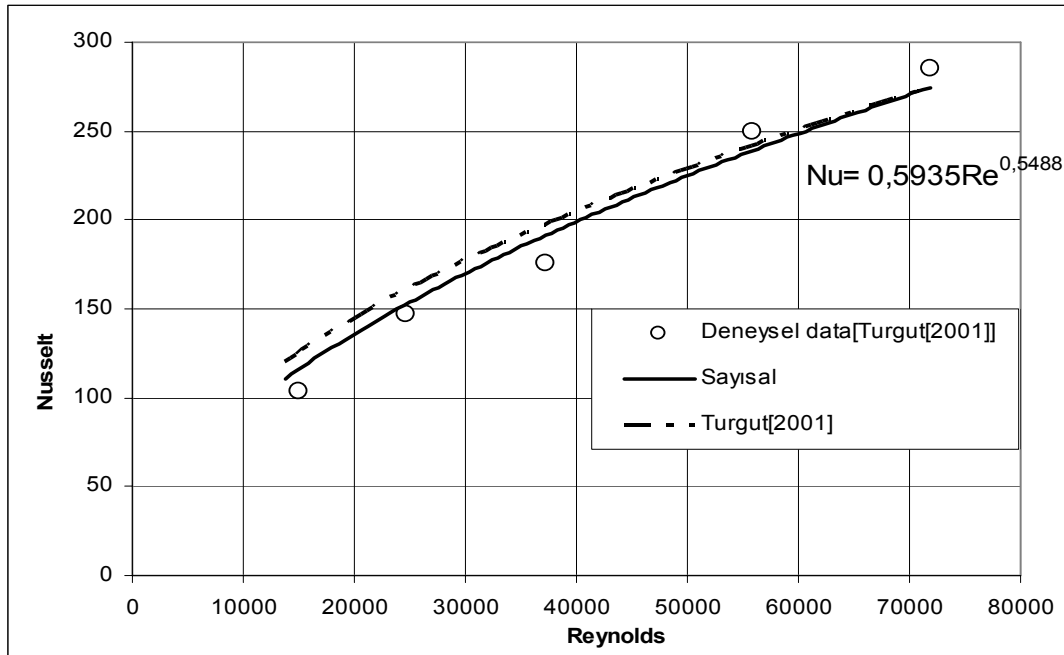
Reynolds sayısının 13000 ile 80000 arasındaki değerlerinde sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. $\beta=0^\circ$ (rüzgarın kolektöre önden gelme durumu) olması durumunda elde edilen sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.6 ile Şekil 7.13 arasında verilmiştir.

Şekil 7.6'da $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ ile rüzgarın gelme durumunda

elde edilen sayısal çalışma sonuçları verilmiştir. Şekil 7.6'da Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ve beklenildiği gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı artış göstermektedir. Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı şu şekilde ifade edilmiştir.

$$Nu = 0,5935 Re^{0,5488} \quad (7.1)$$

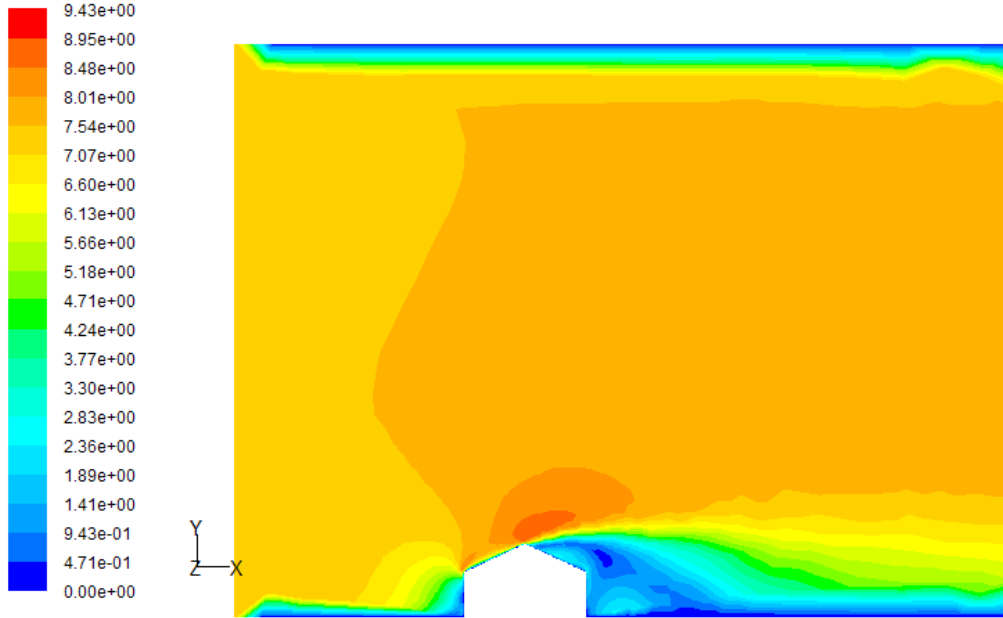
Ayrıca Şekil 7.6.'da Turgut [2001]'in sonuçları da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere yapılan sayısal çalışma sonuçları Turgut [2001]'un deneysel sonuçları ile uyum içerisindedir. Şekil 7.6.'daki Turgut [2001]'un eğrisi $Nu = 0,824 \rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5} / k$ biçimindedir.



Şekil 7.6. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

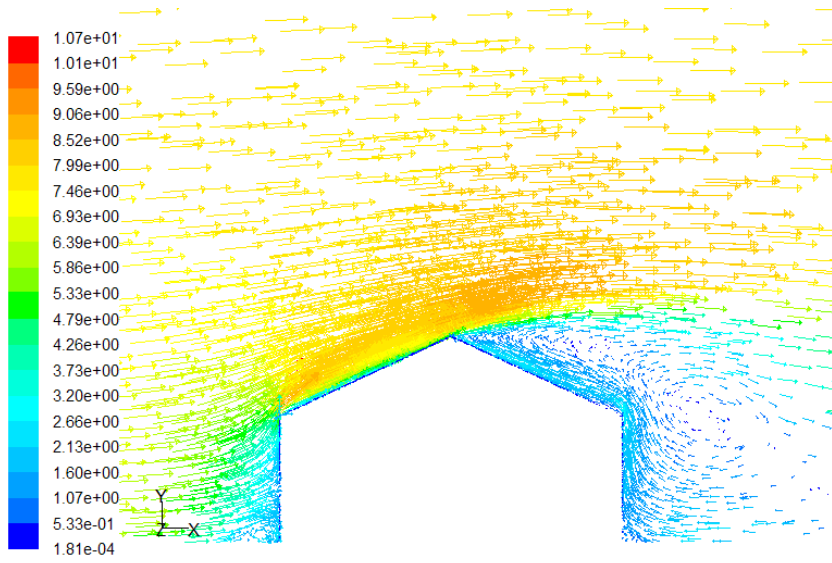
Şekil 7.7.'de kontur hız profili verilmiştir. Görüldüğü gibi kanal duvarlarında hız düşüktür ve kanal ev boyutlarından daha büyük seçildiği için kolektör üzerinden gerçekleşen akışı etkilememektedir. Kanala hız sabit hızla girmiştir. Ev ve kolektör üzerinde hava akışı diğer bölgelere göre daha

fazladır, evin arkasında ise hava akışı etkisini azaltmıştır.

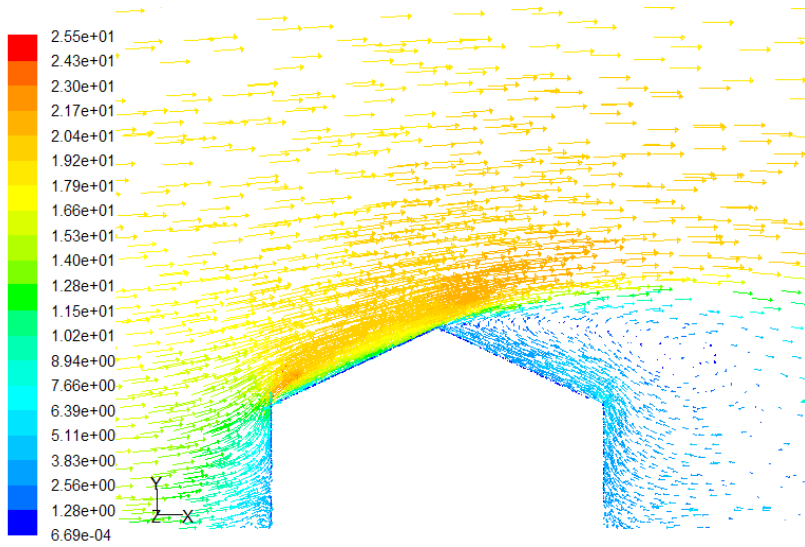


Şekil 7.7. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için kolektörün ortasından geçirilen düzlemdeki kontur hız profili

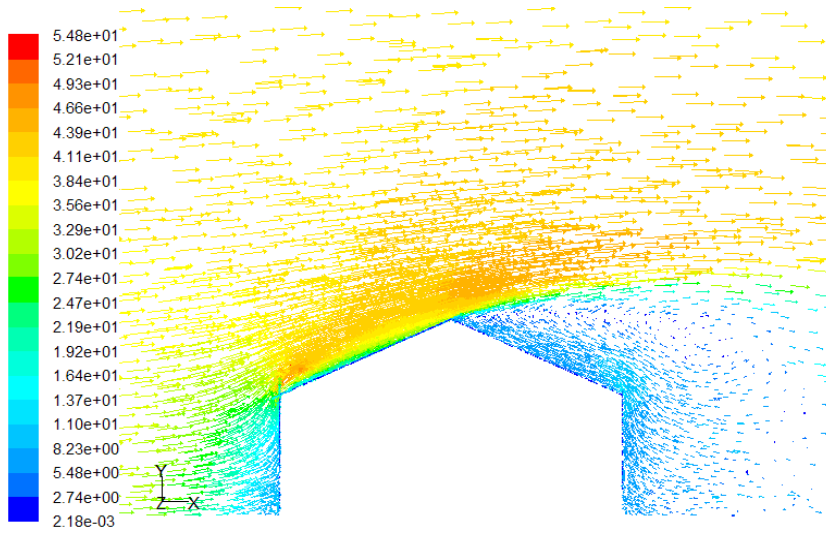
Şekil 7.8.–7.10.'da Reynolds sayısının değişik değerleri için ev üzerindeki hız vektörleri görülmektedir. Hız vektörlerinde evin ön kısmında ve kolektörün arka tarafında girdapların olduğu görülmektedir. Evin önünde oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Evin arka tarafında oluşan girdaplar da ise Reynolds sayısı arttıkça kolektörden uzaklaşma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.8. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13740$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

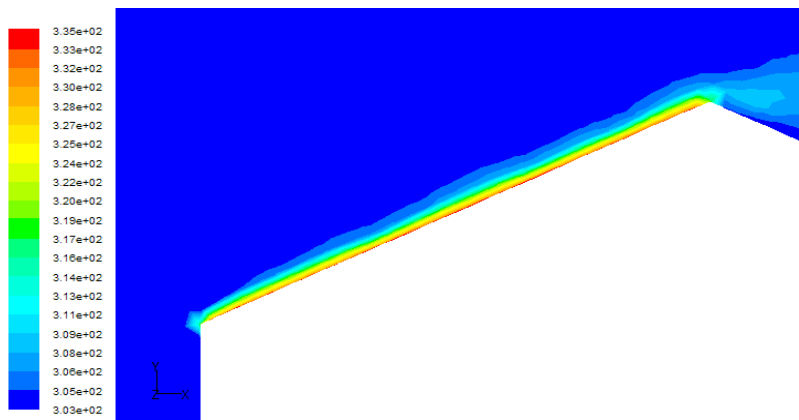


Şekil 7.9. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33730$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

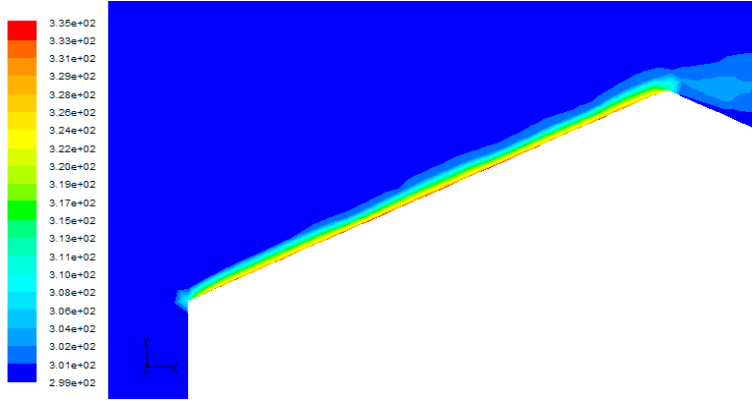


Şekil 7.10. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71820$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

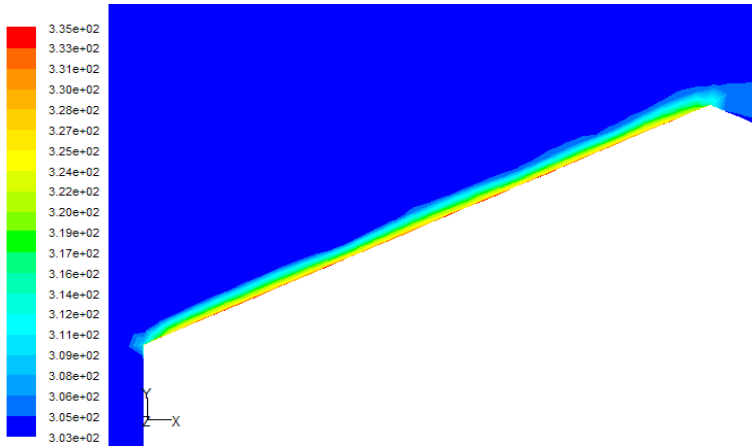
Şekil 7.11.–7.13.'de ise kolektör üzerindeki kontur olarak sıcaklık dağılımı verilmiştir. Ev üzerine yerleştirilen kolektör hava akışı ile direkt temasta olduğu için kolektör yüzeyinde hız diğer koşullarda bulunan kolektörlerin üzerindeki hızlardan daha fazladır. Bu durum ısı transferini doğrudan etkilemektedir. Isı transferinin diğer durumlara göre arttığı gözlenmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi Reynolds sayısı artıkça kolektörden gerçekleşen ısı transferi artmıştır.



Şekil 7.11. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13740$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.12. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33730$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

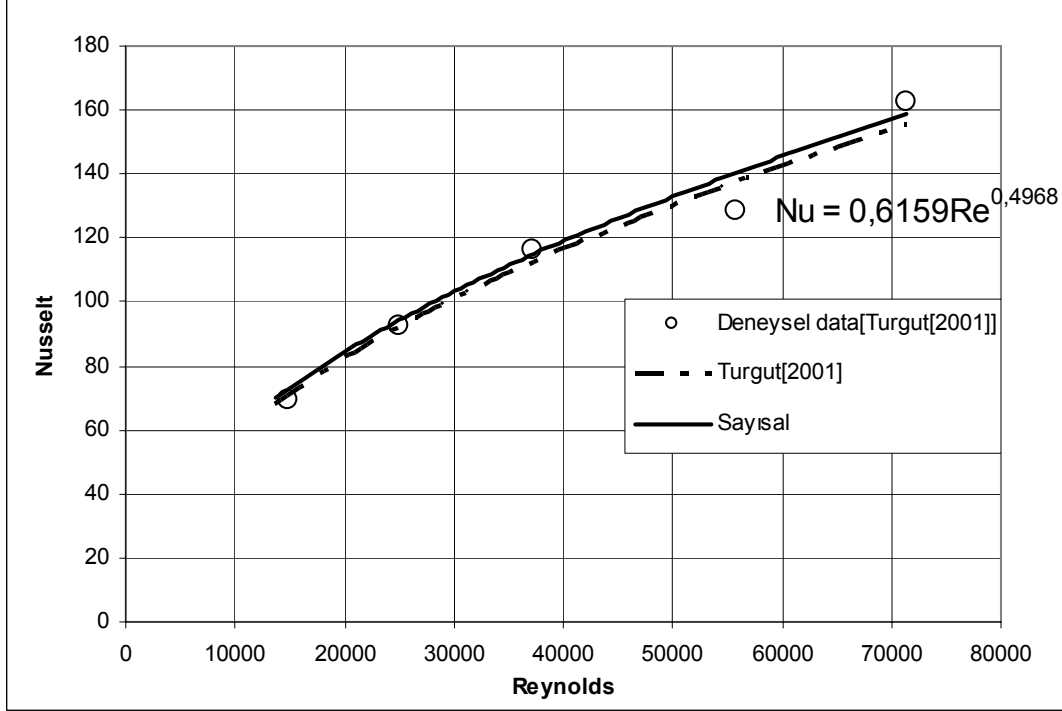


Şekil 7.13. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71820$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Kolektör çatı eğim açısının $\alpha=25^\circ$ ve rüzgarın $\beta=90^\circ$ (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) açı ile gelmesi durumundaki sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.14 ile 7.21 arasında grafikler ile verilmiştir. Şekil 7.14’de Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Turgut [2001]’in deneysel sonuçları da $(Nu=0,621 \rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5}/k)$ grafik üzerinde verilmiştir. Görüldüğü gibi sayısal çalışma sonuçları deneysel çalışma sonuçları ile uyum içerisindedir. Artan rüzgar hızı ile ısı transferinin arttığı görülmüştür. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Eş. 7.2 ile ifade edilmiştir.

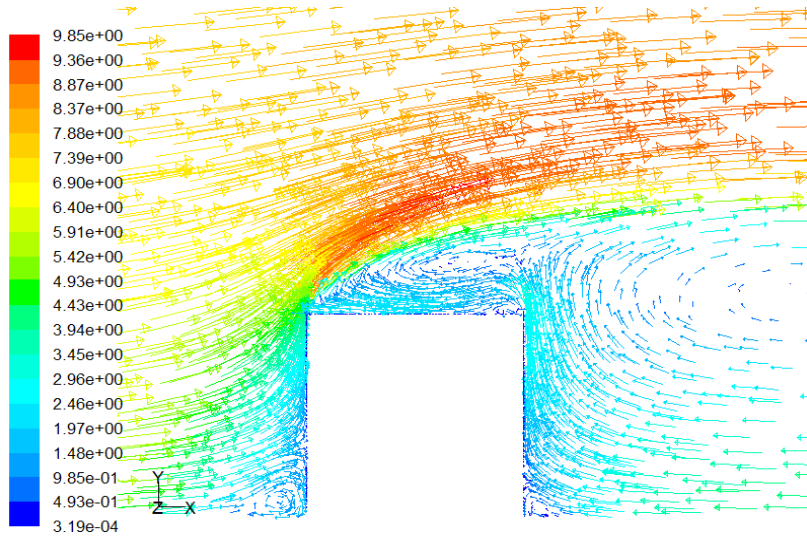
$$Nu = 0,6159 Re^{0,4968}$$

(7.2)

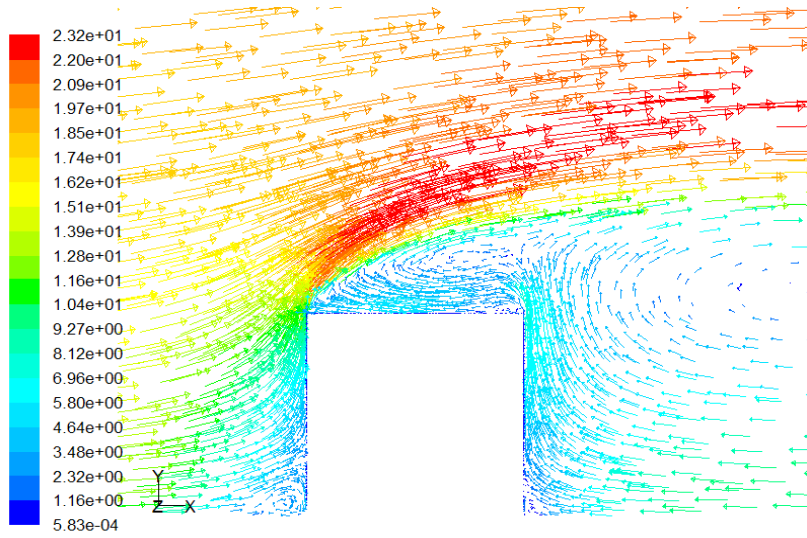


Şekil 7.14. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

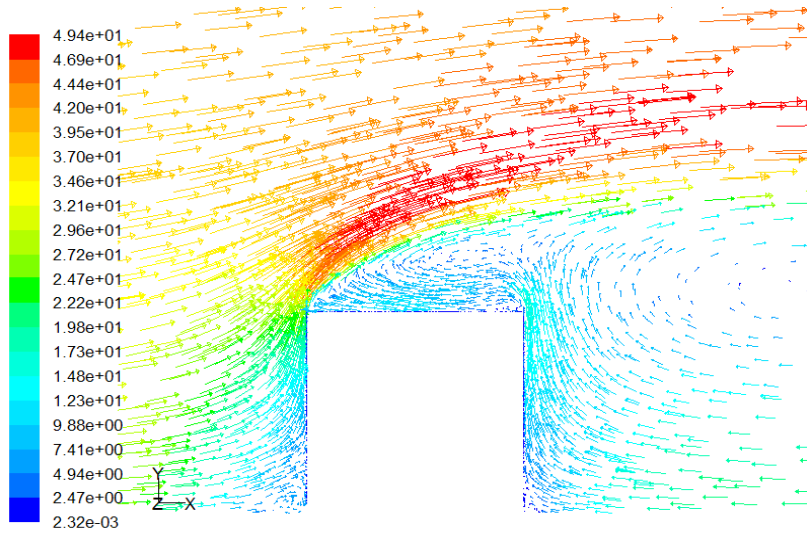
Şekil 7.15-7.17’de Reynolds sayısının değişik değerleri için ev üzerindeki hız vektörleri görülmektedir. Hız vektörlerinde evin ön kısmında, model kolektörün üzerinde ve kolektörün sağ tarafında girdapların oluşturduğu görülmektedir. Evin önünde oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Kolektörün üzerinde oluşan girdaplar ise Reynolds sayısı arttıkça artmaktadır. Evin sağ tarafında oluşan girdaplar ise Reynolds sayısı arttıkça evden uzaklaşmaktadır. Şekillerdeki vektörlerden görüldüğü üzere en yüksek hız kolektör üzerinde meydana gelmektedir. Bunu başlıca sebebi ise eve çarpan havanın geriye ve yukarı yönlü bir hava hareketi oluşturmasıdır.



Şekil 7.15. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13680$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri



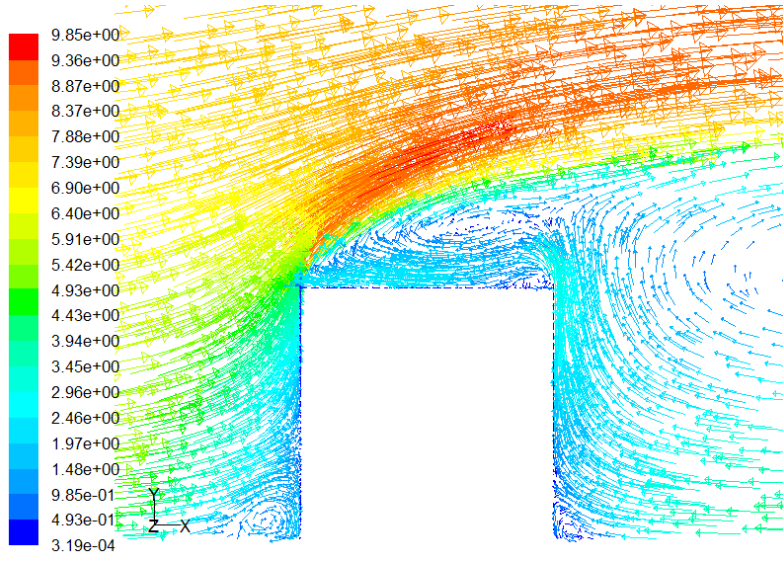
Şekil 7.16. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33880$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri



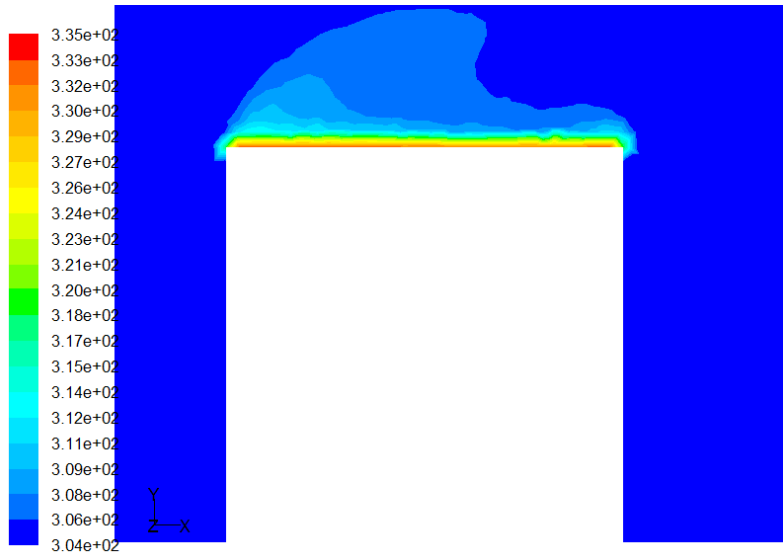
Şekil 7.17. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71390$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.18’de görüldüğü gibi kolektör üzerinde evin önünde ve arka tarafında girdaplar oluşmaktadır. Oluşan bu girdabın sonucunda hava akışının $\beta=0^\circ$ ile gelme durumunda göre kolektörle olan teması daha az gerçekleşmektedir. $\beta=90^\circ$ ile gelmesi durumunda ise Şekil 7.18’de görüldüğü gibi kolektör üzerindeki girdaplar daha kuvvetlidir.

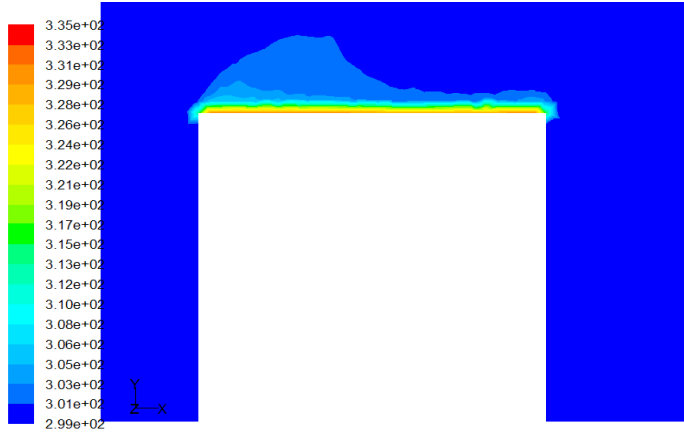
Şekil 7.19-7.21’deki kolektör üzerindeki sıcaklık profillerinden görüldüğü üzere Reynolds sayısı arttıkça kolektör üzerindeki kolektöre dik yöndeki sıcaklık dağılımının değişimi azalmıştır buna karşın kolektöre paralel olan sıcaklık dağılımı kolektörün sağ tarafından sol tarafına doğru oluşmaktadır.



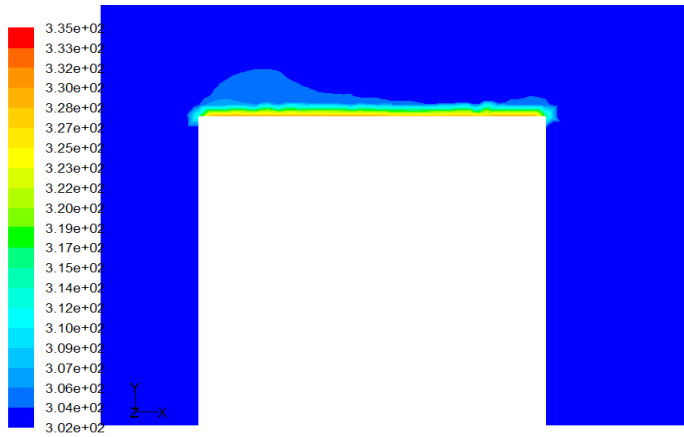
Şekil 7.18. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar



Şekil 7.19. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13680$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.20. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33880$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



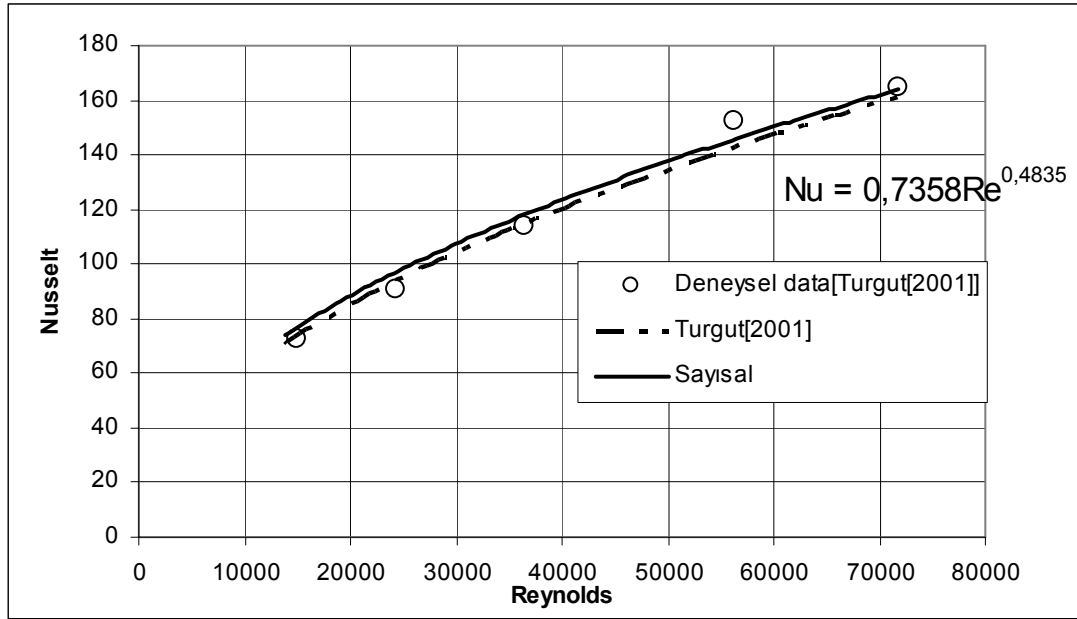
Şekil 7.21. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71390$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Çatı eğim açısının $\alpha= 25^\circ$ olması ve rüzgarın kolektöre $\beta=180^\circ$ (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) açıda gelmesi durumunda kare kolektör ile yapılan sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.22 ile Şekil 7.29 arasındaki şekillerde verilmiştir.

Şekil 7.22’de sayısal çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar boyutsuz Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi artan rüzgar hızı ile kolektörün üst yüzeyinden olan ısı transferi artmaktadır. Şekil üzerinde ayrıca deneysel sonuçlarda

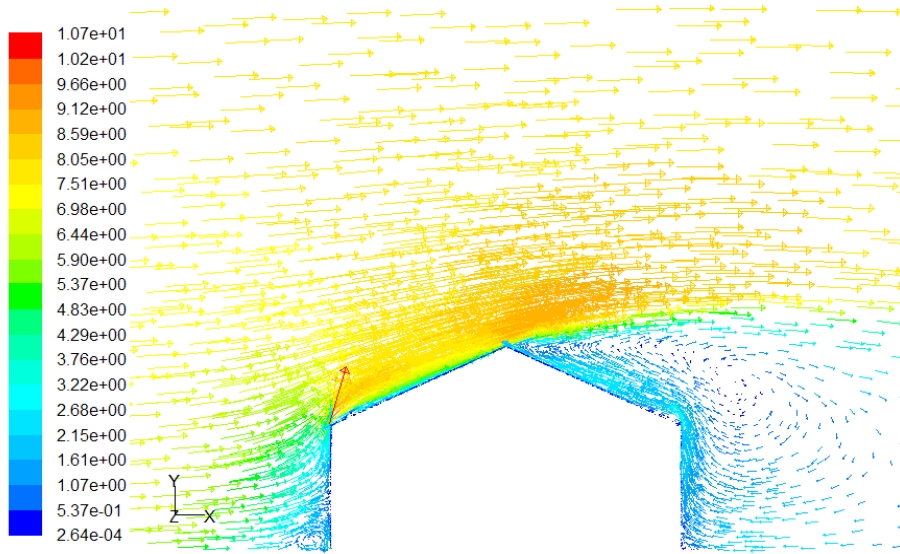
gösterilmiştir. Sayısal çalışma ile deneysel çalışma sonuçlarının $(Nu=0,621\rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5}/k)$ birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Eş.7.3 ile ifade edilmiştir.

$$Nu = 0,7335 Re^{0,4835} \quad (7.3)$$

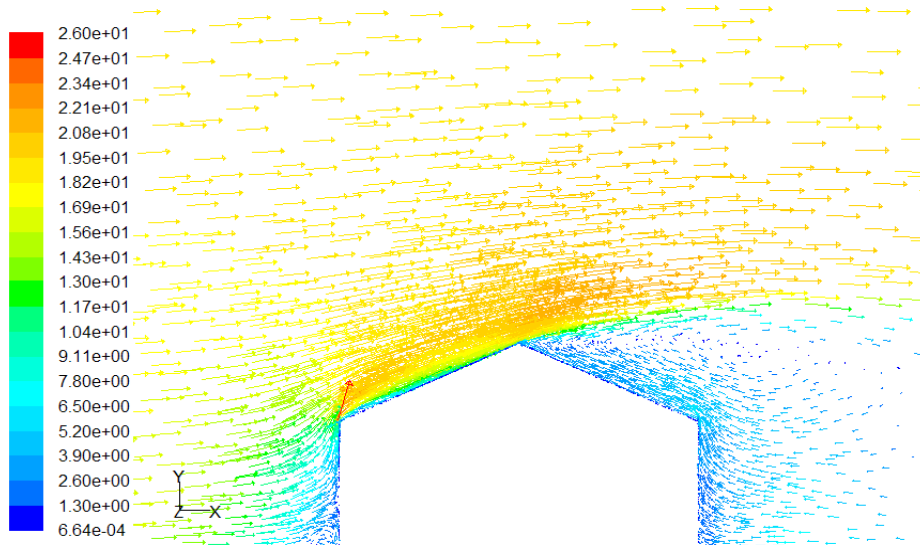


Şekil 7.22. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

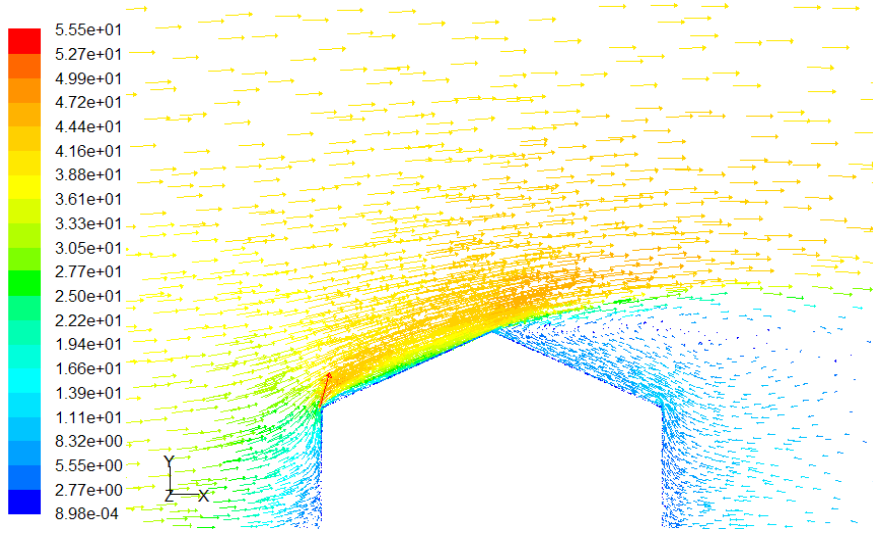
Şekil 7.23-7.25'de Reynolds sayısının değişik değerleri için ev üzerindeki hız vektörleri verilmiştir. Hız vektörlerinde evin ön kısmında bir girdap oluştuğu görülmektedir. Oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Evin arkasında yani kolektörün önünde de girdaplar oluşmaktadır. Oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça ev üzerine yerleştirilmiş olan kolektöre yakınlığı görülmüştür. Ayrıca artan Reynolds sayısı ile sınır tabaka kalınlığında azalma görülmüştür.



Şekil 7.23. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=13740$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

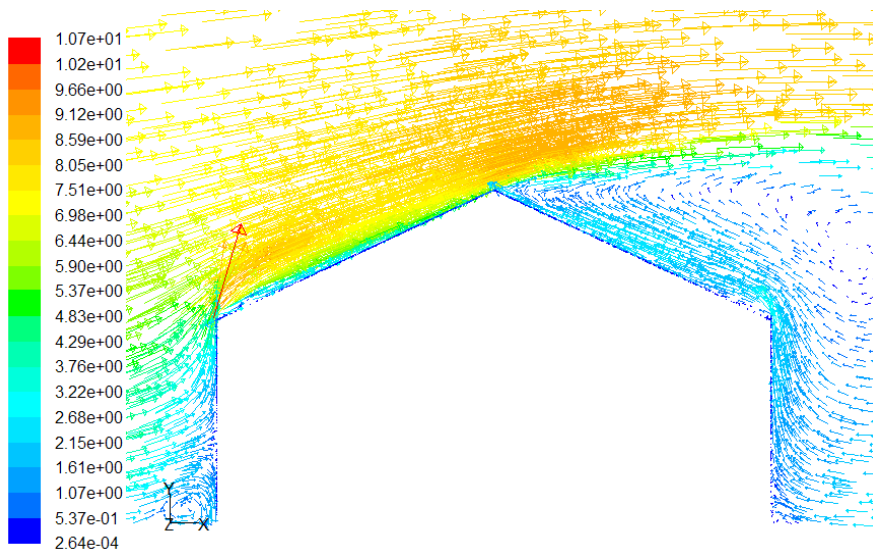


Şekil 7.24. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=33660$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri



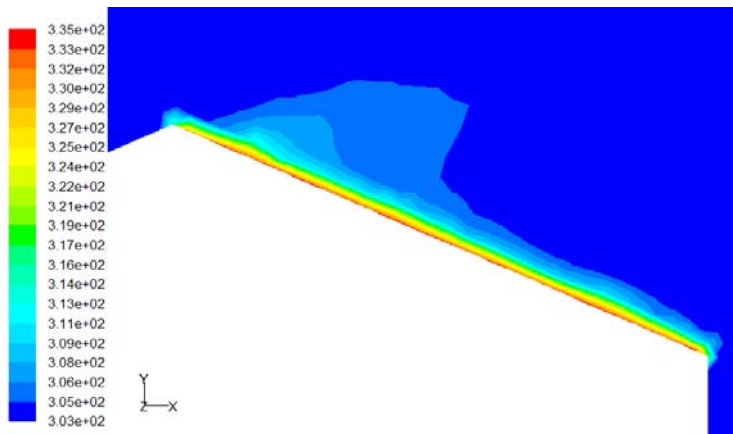
Şekil 7.25. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71710$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.26'da görüldüğü üzere kolektör rüzgarın geliş yönüne göre ters yerleştiği için kolektör üzerinde havanın hızı düşmektedir bu hızdaki düşüş Nusselt sayısında da yani ısı transferi katsayısının düşmesine neden olmuştur.

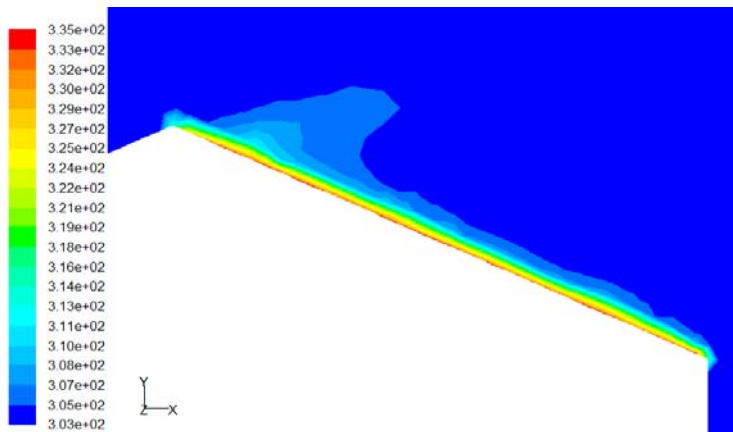


Şekil 7.26. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

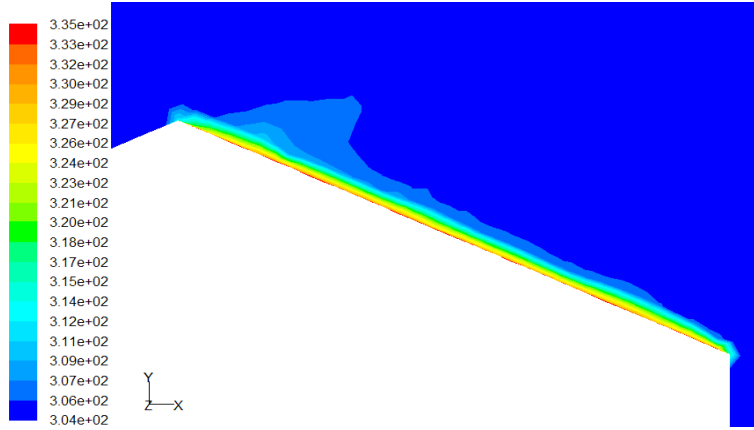
Şekil 7.27-7.29'da görüldüğü gibi hava akışı kolektör önünde oluşan girdaptan dolayı kolektörün alt köşesinden üst köşesine doğru gerçekleşmiştir. Bu durum sıcaklık profilinin alt köşeden üst köşeye doğru gelişmesine neden olmaktadır. Isı alt köşeden üst köşeye doğru akış göstermektedir. Bunun sebebi ise havanın kolektör üzerinde girdap oluşturmasıdır. Şekillerden görüldüğü gibi Reynolds sayısı arttıkça kolektörden, kolektöre dikey yönde olan sıcaklık dağılımı azalmıştır.



Şekil 7.27. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re= 13740$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

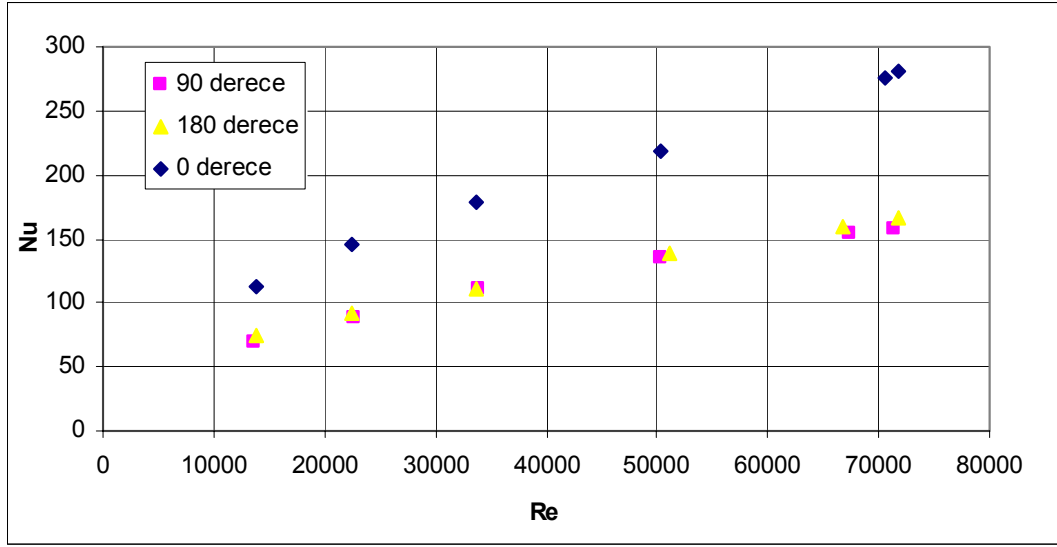


Şekil 7.28. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re= 33660$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.29. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=71710$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Şekil 7.30'da $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ, 90^\circ$ ve 180° olması durumunda kare kolektör için elde edilen sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 0° ile rüzgârın gelmesi durumunda ısı transferi daha fazla çıkmaktadır. 90° ve 180° ile gelmesi durumu için kolektörden olan ısı kaybı 0° ile gelmesi durumuna göre daha az gerçekleşmektedir. Bunun nedeni ise $\beta=0^\circ$ olması durumunda kolektör yüzeyi rüzgarla direkt temas etmektedir. $\beta=90^\circ$ ve 180° olması durumunda ise kolektör rüzgârın gelme yönüne göre sapma gösterdiği için kolektör yüzeyinin rüzgarla teması $\beta=0^\circ$ 'a göre azalmaktadır. Bu ise ısı transferinde azalmaya neden olmaktadır. $\beta=90^\circ$ ve 180° olması durumlarında rüzgar direkt kolektörle temas halinde değildir. Yani kolektör üzerindeki rüzgar hızı arttıkça ısı kaybı da artmaktadır.



Şekil 7.30. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve rüzgarın $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° geliş açılarında kare kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

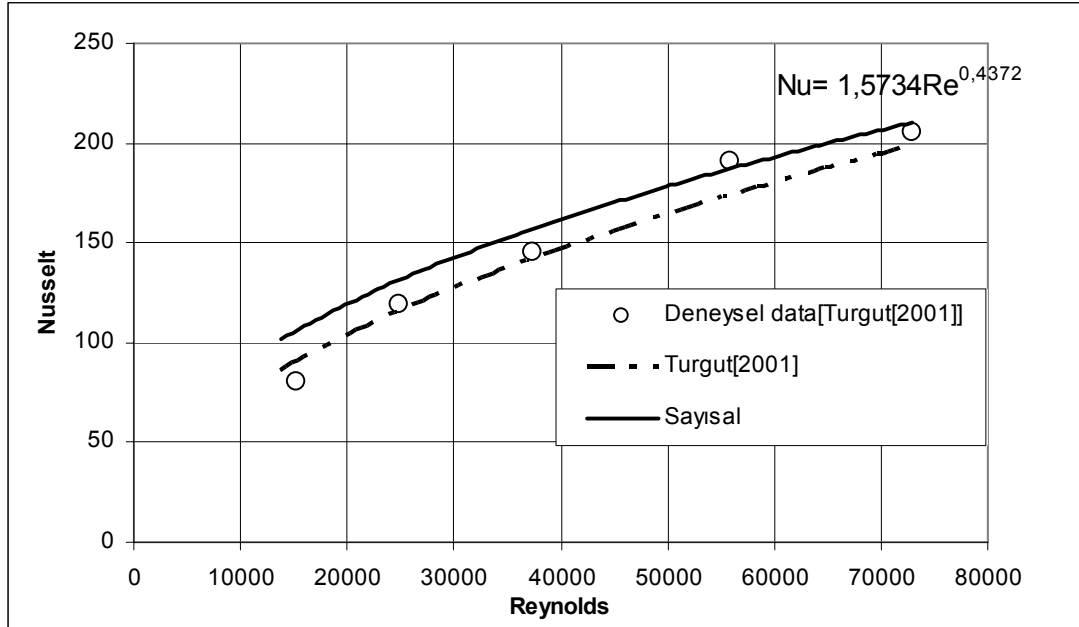
$\alpha=45^\circ$ kare kolektör

$\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve rüzgârın $\beta=0^\circ$ (rüzgârın kolektöre önden gelme durumu), 90° (rüzgârın kolektöre yandan gelme durumu) ve 180° (rüzgârın kolektöre arka taraftan gelme durumu) açılarında gelmesi durumunda kare kollektör için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar grafikler ile ifade edilmiştir.

$\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve rüzgârın $\beta=0^\circ$ (rüzgârın kolektöre önden gelme durumu) açısında gelmesi durumunda kare kollektör için sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.31 ile Şekil 7.38 arasındaki şekillerde verilmiştir. Şekil 7.31’de sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde ifade edilmiştir. Şekilde de görüldüğü ve beklendiği üzere artan rüzgâr hızı ile ısı transferi miktarı da artış göstermektedir. Şekil 7.31’de ayrıca Turgut [2001]’in sonuçları da verilmiştir. Sayısal çalışma sonuçlarının Turgut [2001]’in sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Sayısal çalışma sonuçları Eş 7.4 ile ifade edilmiştir.

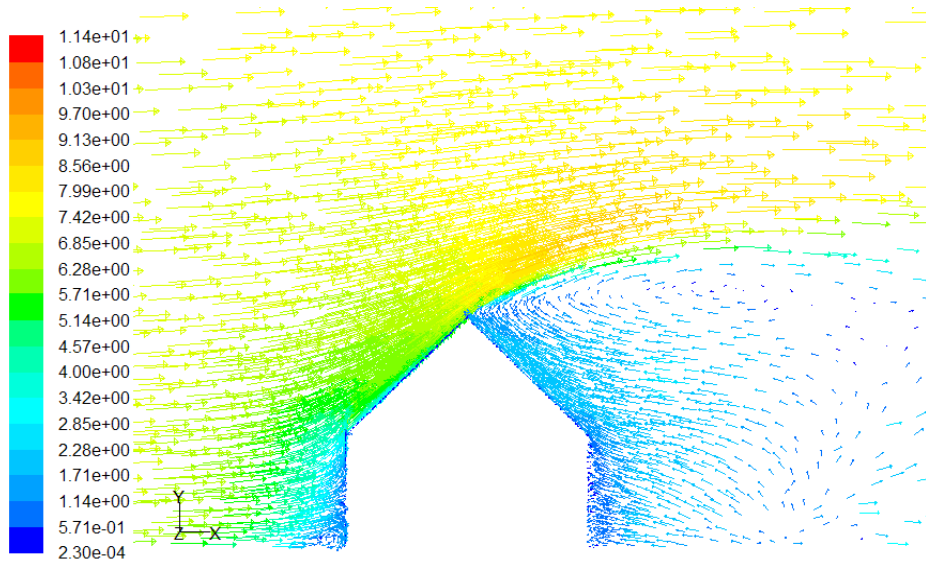
$$Nu = 1,5734 Re^{0,4372}$$

(7.4)

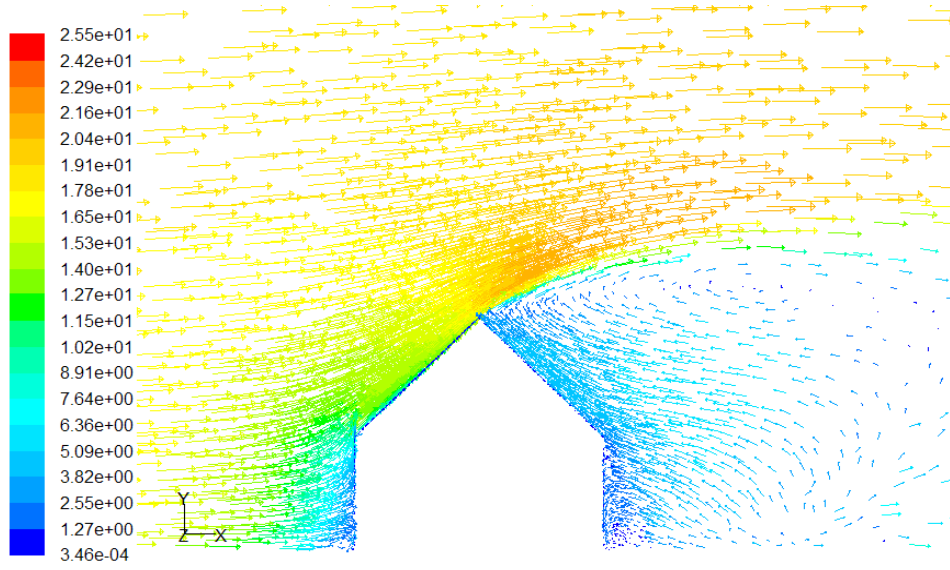


Şekil 7.31. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

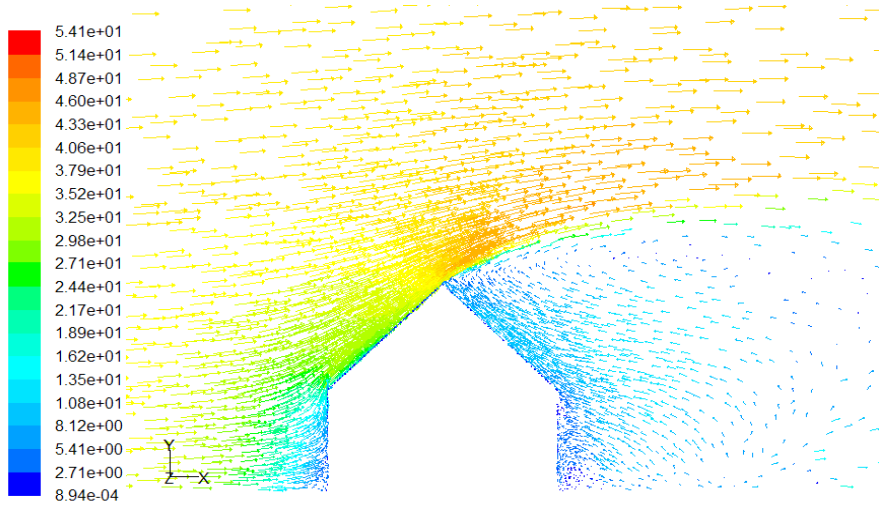
Şekil 7.32-7.34'de Reynolds sayısının değişik değerleri için ev üzerindeki hız vektörleri $\beta=0^\circ$ olması durumunda verilmiştir. Evin ön tarafında ve arka tarafında girdapların oluştuğu görülmektedir. Evin önünde oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Evin arka tarafında oluşan girdaplar ise Reynolds sayısı arttıkça model kolektörden uzaklaşmaktadır.



Şekil 7.32. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13810$ değerindeki kolektör üzerindeki hız vektörleri

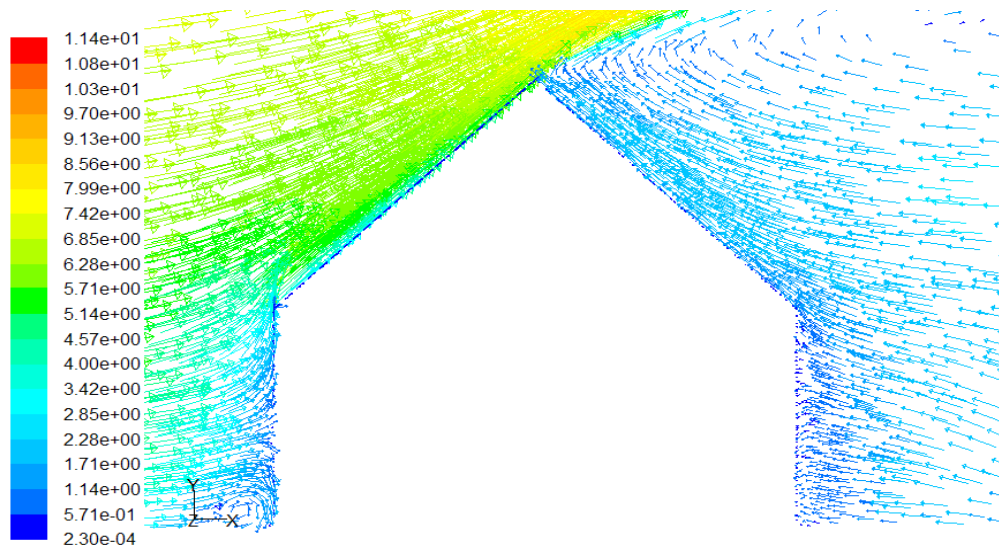


Şekil 7.33. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33860$ değerindeki kolektör üzerindeki hız vektörleri



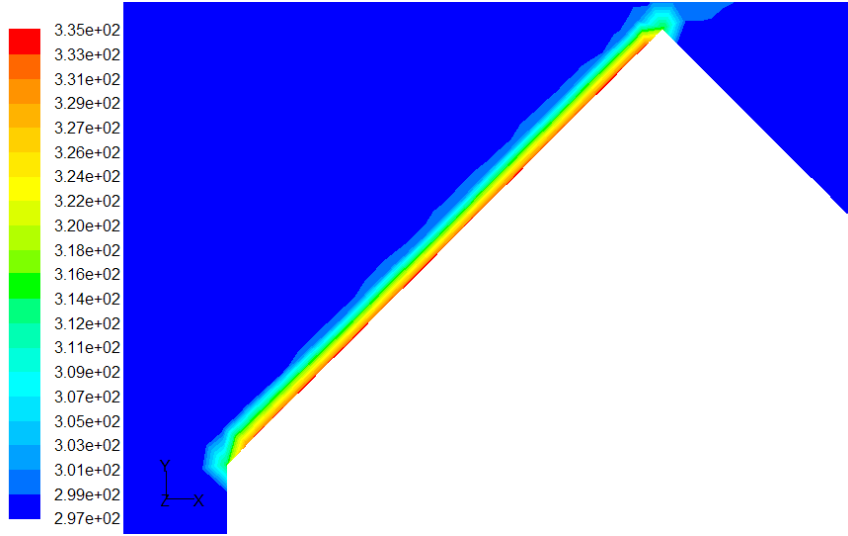
Şekil 7.34. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=72890$ değerindeki kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.35'de ev civarındaki hız vektörleri büyütülmüş olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi $\alpha=45^\circ$ olduğu için çatı eğimi daha diktir bu durumda rüzgârın kolektör üzerindeki hızı daha fazladır. Rüzgâr hızının artmasına bağlı olarak ısı transferi de artmaktadır. Kolektörün $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında olmasından dolayı hava hızının kolektör yerleştirilmeyen çatıda ve evin arka kısmında düştüğü görülmektedir.

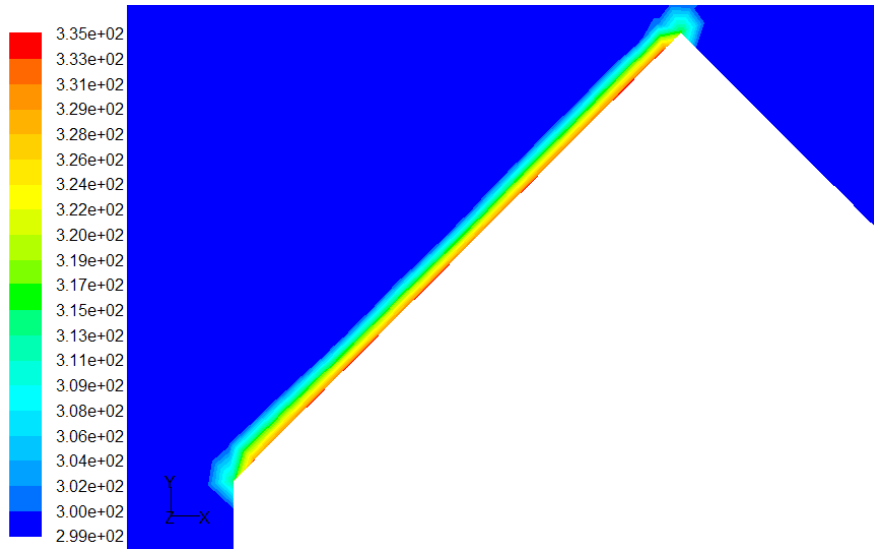


Şekil 7.35. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

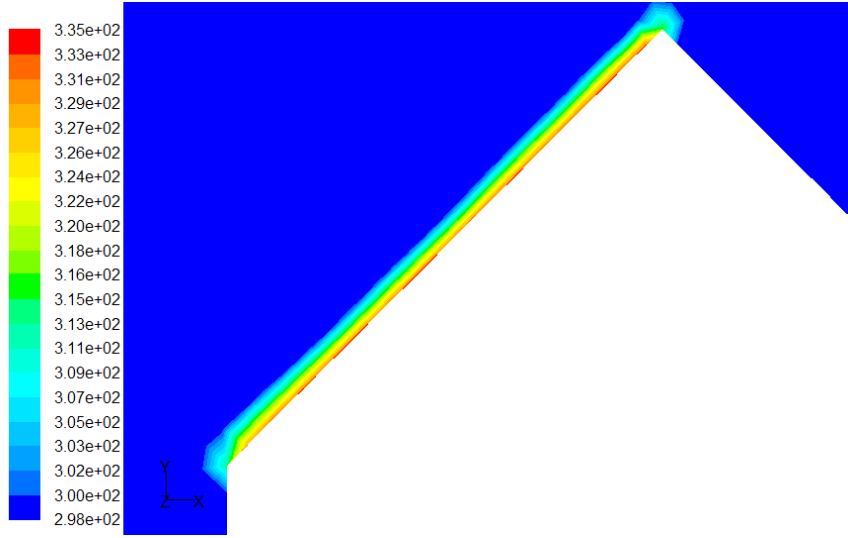
Şekil 7.36-7.38’de değişik rüzgar hızlarındaki sıcaklık profilleri verilmiştir. Artan rüzgar hızı ile ısı sınır tabakanın kalınlığının azaldığı görülmektedir.



Şekil 7.36. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13810$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.37. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33860$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



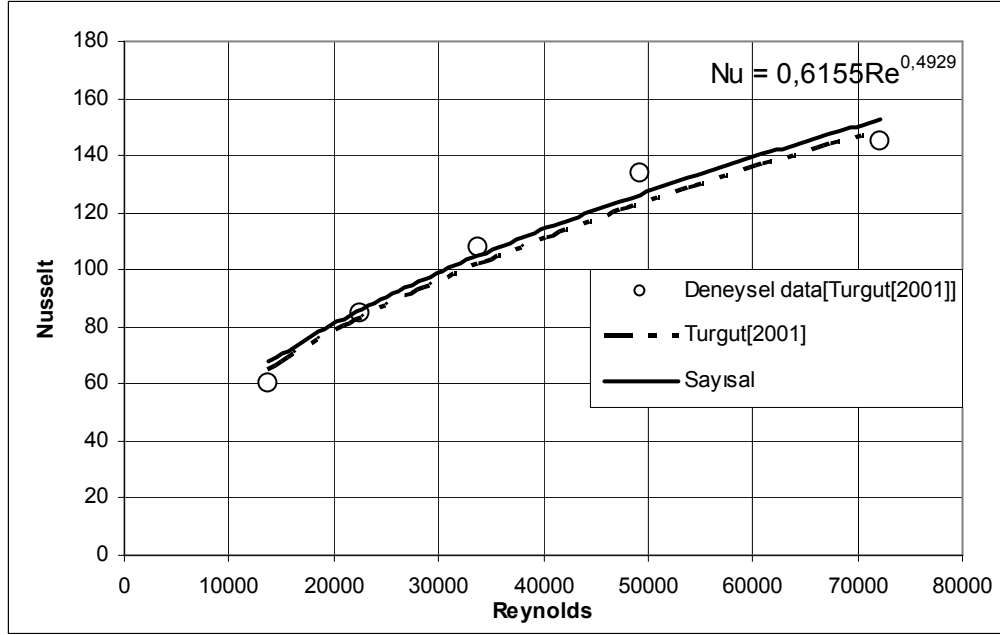
Şekil 7.38. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=72890$ değerindeki kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Rüzgarın kolektöre $\beta=90^\circ$ açı ile gelmesi durumunda $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında kare kolektör için elde edilen sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.39 ile Şekil 7.46 arasındaki şekillerde verilmiştir.

Şekil 7.39'da rüzgarın $\beta=90^\circ$ (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) açıda gelmesi durumunda $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında kare kolektör için elde edilen sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde ifade edilmiştir. Ayrıca aynı şekil üzerinde Turgut [2001]'in sonuçları da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere sayısal çalışma sonuçlarının Turgut [2001]'in sonuçları ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde Eş. 7.5 ile ifade edilmiştir.

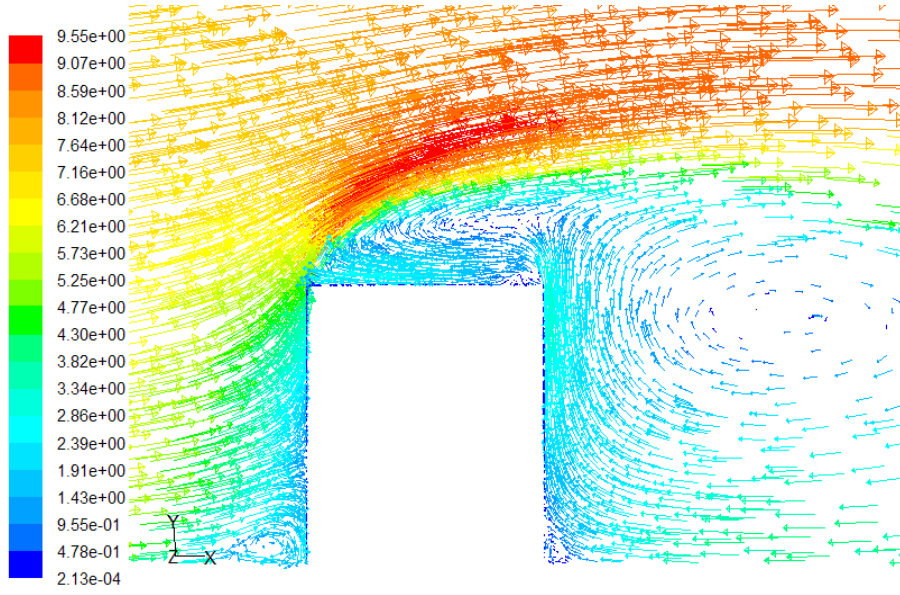
$$Nu = 0,6155 Re^{0,4929}$$

(7.5)

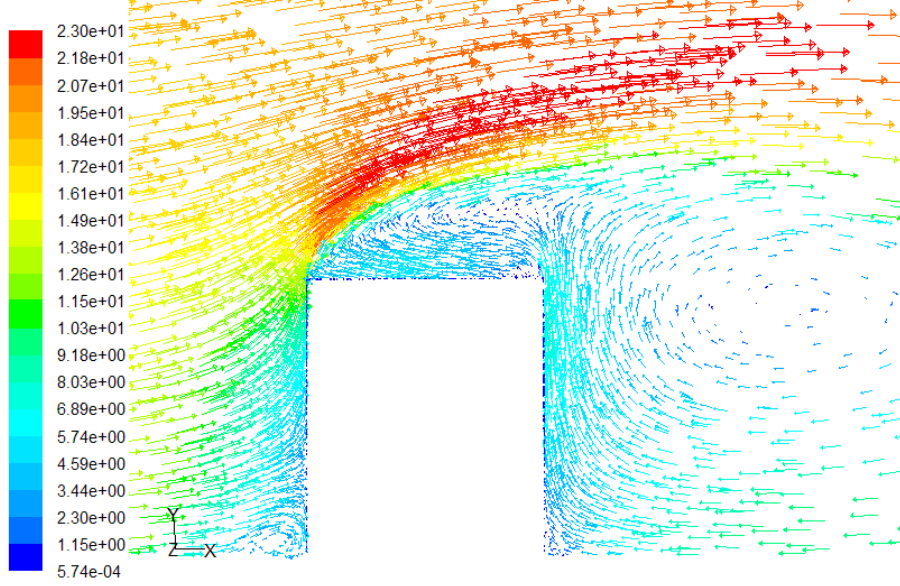


Şekil 7.39. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

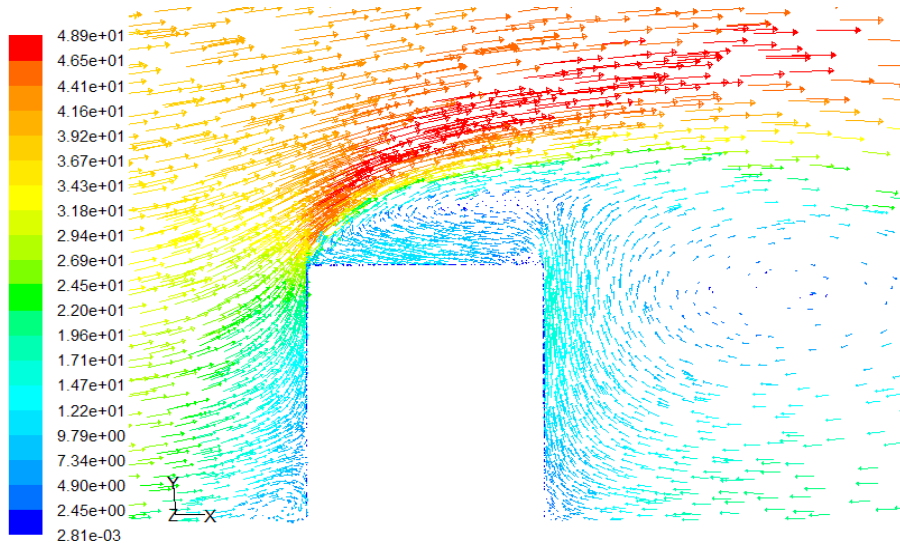
Şekil 7.40-7.42’de Reynolds sayısının değişik değerleri için ev üzerindeki hız vektörleri görülmektedir. Hız vektörlerinde evin ön kısmında, kolektörün üzerinde ve kolektörün sağ tarafında girdapların olduğu görülmektedir. Evin önünde oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Kolektörün üzerinde oluşan girdaplar ise Reynolds sayısı arttıkça artmaktadır. Evin sağ tarafında oluşan girdaplar ise Reynolds sayısı arttıkça evden uzaklaşmaktadır.



Şekil 7.40. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13840$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

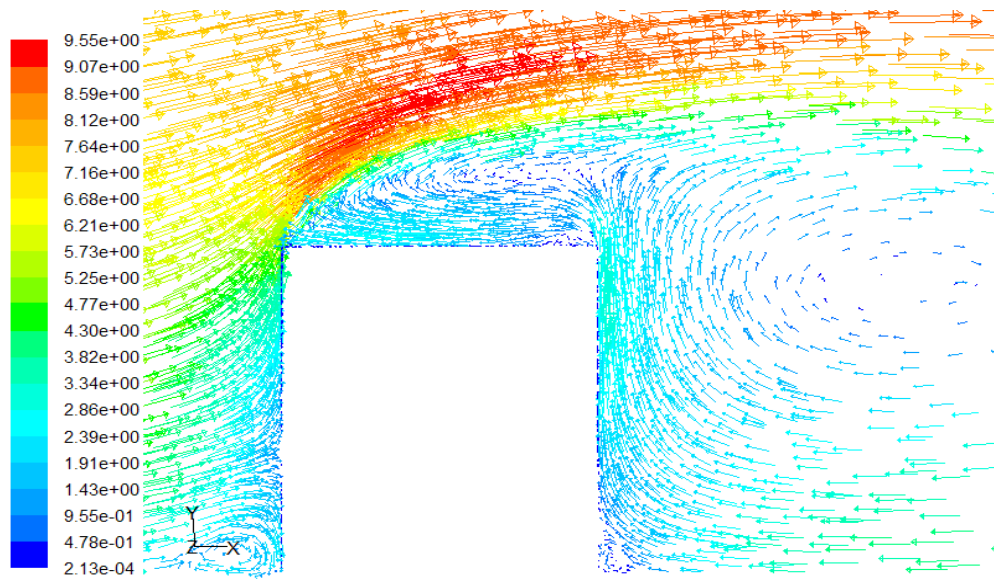


Şekil 7.41. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33810$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri



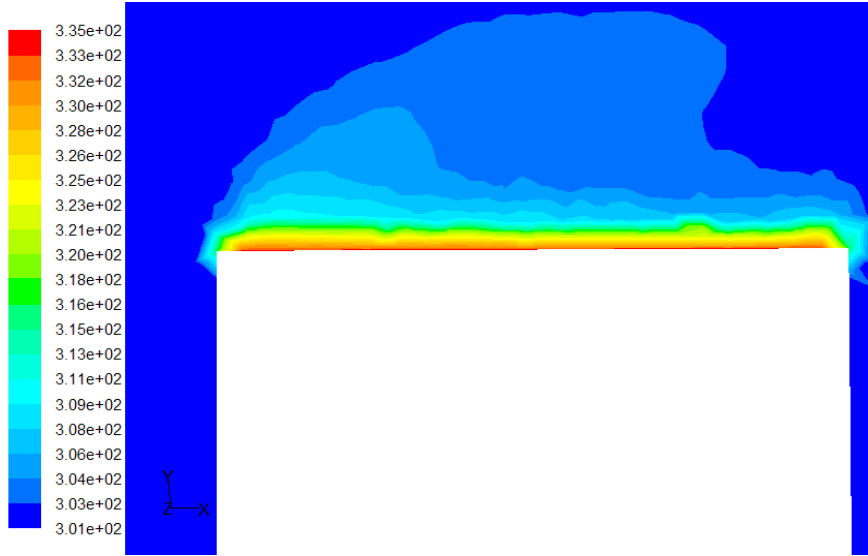
Şekil 7.42. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için $Re=72190$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.44'de kollektör civarındaki hız vektörleri büyütülmüş olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi kollektör üzerinde, evin ön alt köşesinde ve evin arka tarafında girdaplar oluşmaktadır. Oluşan bu girdabın sonucunda hava akışı kollektörün üzerinde sağ tarafından sol tarafına doğru oluşmaktadır.

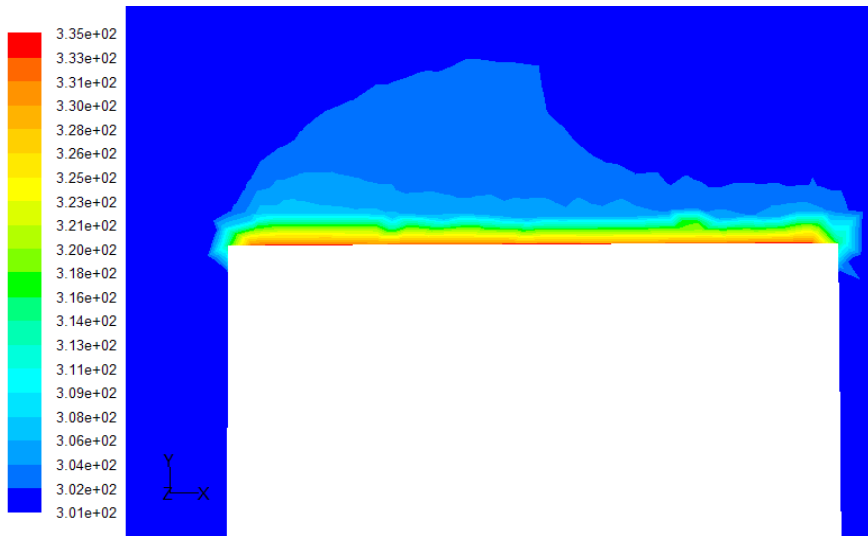


Şekil 7.43. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

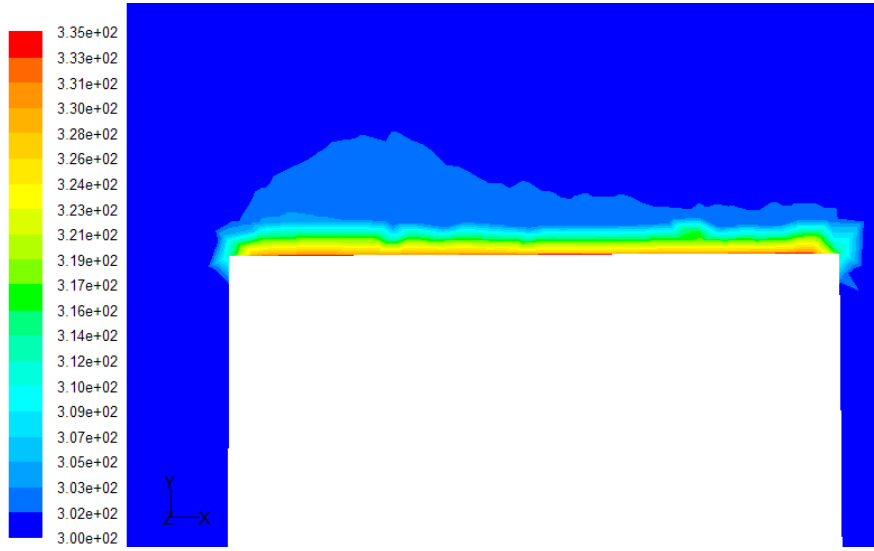
Kolektör civarındaki sıcaklık profilleri Şekil 7.44-7.46'da verilmiştir. Şekil 7.44-7.46'dan görüldüğü gibi kolektör üzerindeki sıcaklık dağılımı, Reynolds sayısı arttıkça kolektöre dik doğrultuda azalmaktadır. Diğer bir ifade ile söylemek gerekirse artan rüzgar hızı ile ısı sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır.



Şekil 7.44. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13840$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.45. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33810$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

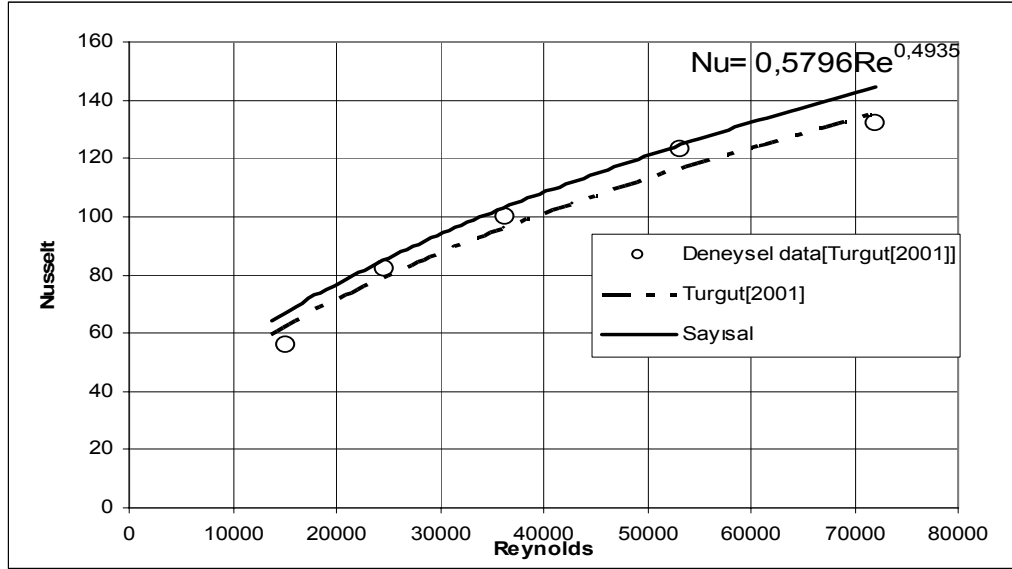


Şekil 7.46. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=72190$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Rüzgarın kolektöre $\beta=180^\circ$ (rüzgarın kolektöre arka atarftan gelme durumu) açıda gelmesi durumunda ve $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında kare kolektör ile yapılan sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.47 ile Şekil 7.54 arasındaki şekillerde verilmiştir.

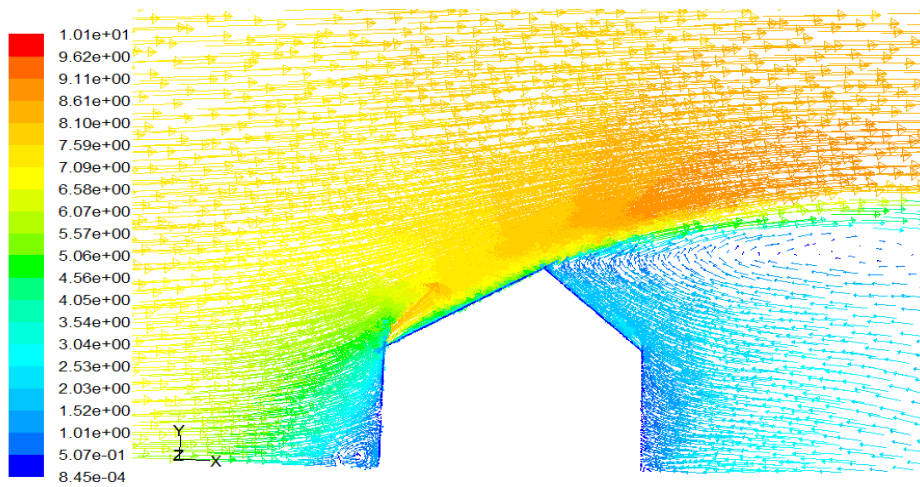
Çatı eğim açısı $\alpha=45^\circ$ de rüzgarın kolektöre $\beta=180^\circ$ (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) açısında gelmesi durumunda elde edilen sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde Şekil 7.47’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü ve beklenildiği gibi artan rüzgar hızı (veya Reynolds sayısı) ile kolektörün üst yüzeyinden gerçekleşen ısı transferi de (veya Nusselt sayısı) artış göstermektedir. Turgut [2001]’in sonuçları da aynı şekil üzerinde gösterilmiş ve sonuçların uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Sayısal çalışma sonuçları boyutsuz Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde Eş 7.6 ile ifade edilmiştir.

$$Nu = 0,5796 Re^{0,4935} \quad (7.6)$$

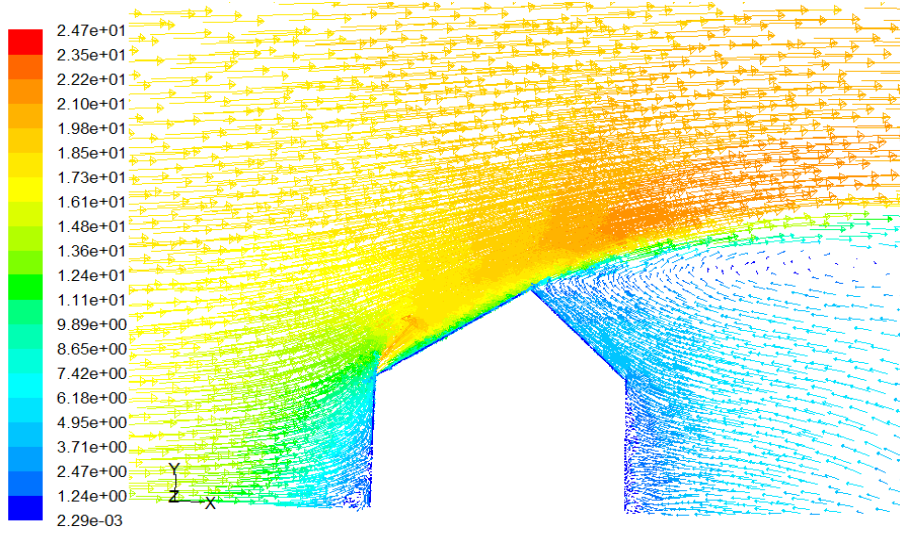


Şekil 7.47. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

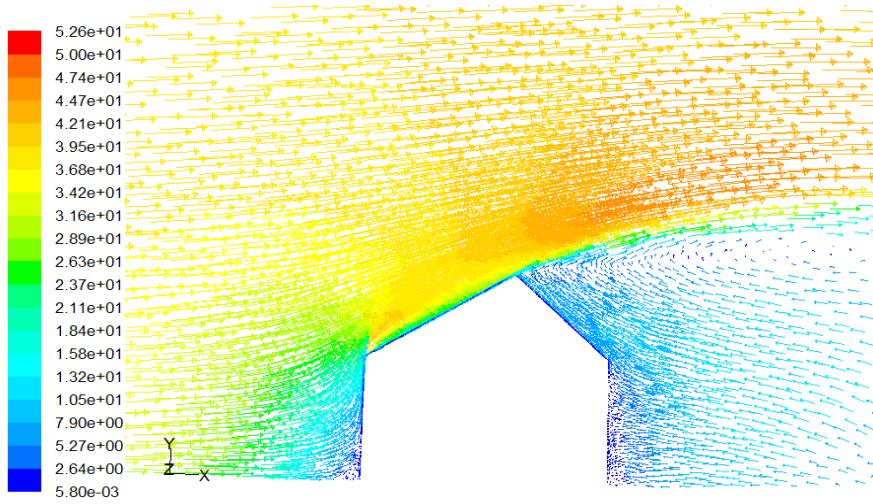
Şekil 7.48-7.50’de kolektör civarındaki sıcaklık profilleri farklı Reynolds sayıları için verilmiştir. Hız vektörlerinde evin ön kısmında bir girdap oluştuğu görülmektedir. Oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Evin arkasında yani kolektörün önünde de girdaplar oluşmaktadır. Oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça ev üzerine yerleştirilmiş olan kolektöre yaklaşmaktadır.



Şekil 7.48. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13820$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

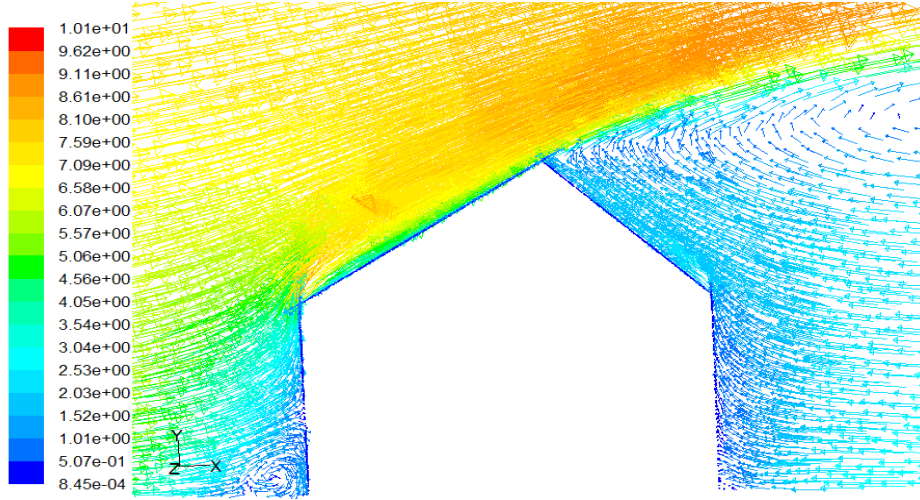


Şekil 7.49. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33270$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri



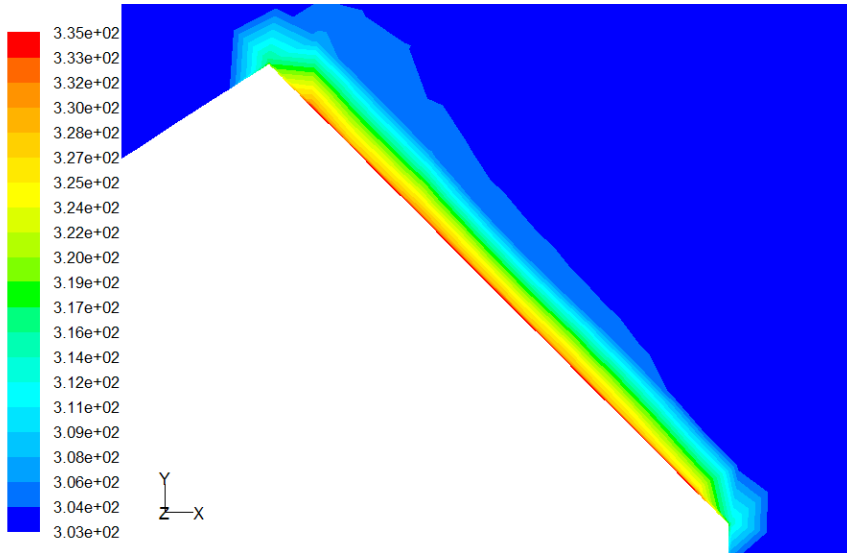
Şekil 7.50. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=72040$ değerinde kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.51'de ise kolektör civarındaki hız vektörleri büyütülmüş olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kolektör rüzgârın geliş yönüne göre ters yerleştiği için kolektör üzerinde havanın hızı düşmektedir bu hızdaki düşüş Nusselt sayısında da yani ısı transferi katsayısının düşmesine neden olmuştur.

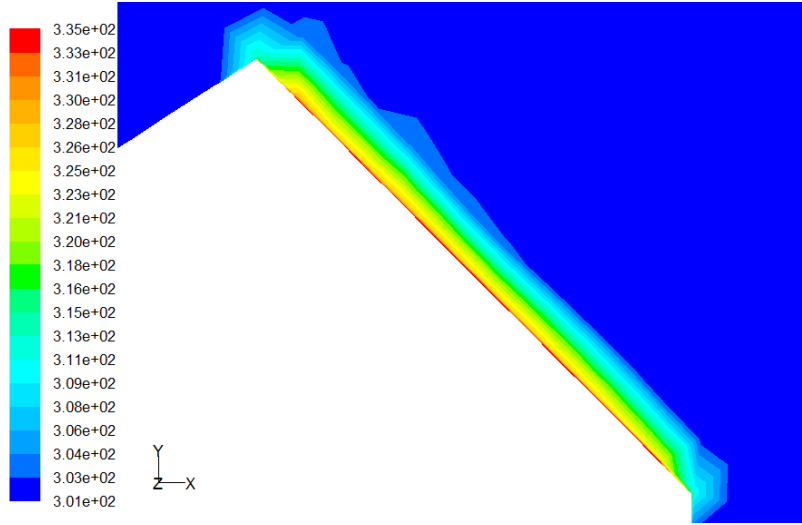


Şekil 7.51. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

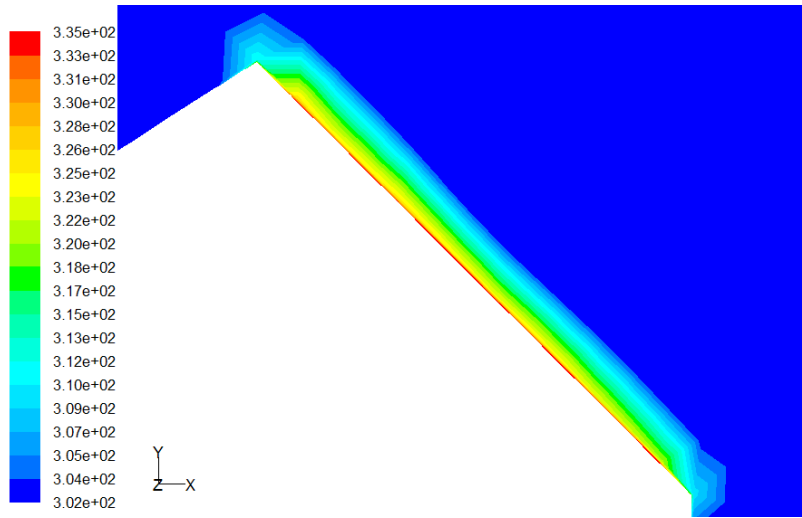
Şekil 7.52-7.54'de kolektör civarındaki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için gösterilmiştir. Artan Reynolds sayısı ile ısı sınır tabaka kalınlığında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 7.52. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=13820$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

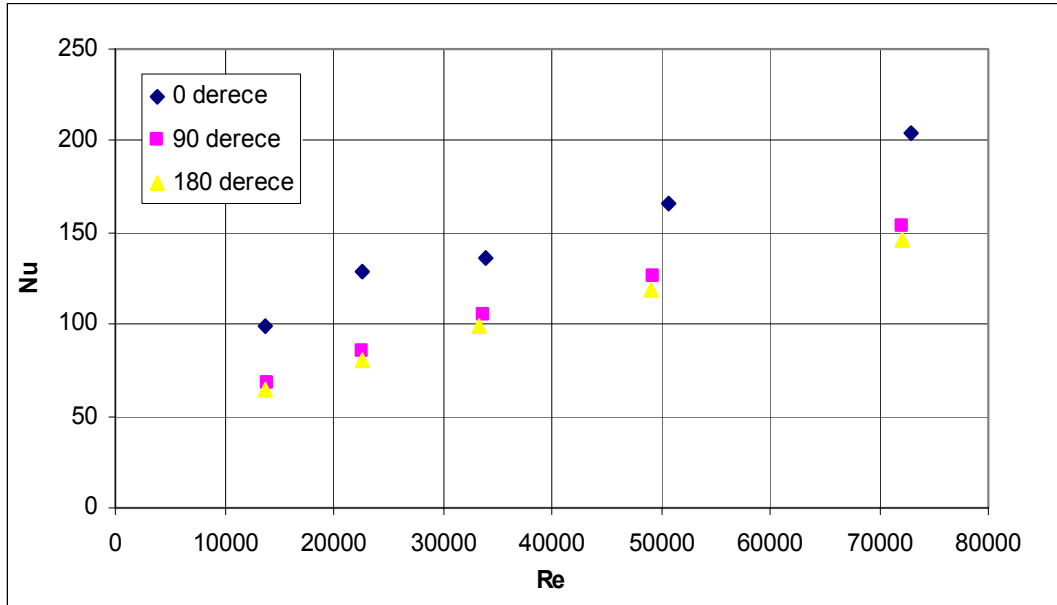


Şekil 7.53. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=33270$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.54. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda kare kolektör için $Re=72040$ değerinde kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

$\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında kare kolektör için yapılan sayısal çalışma sonuçları rüzgarın kolektöre farklı açılarda $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° gelme durumları için Şekil 7.55’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere rüzgarın kolektöre önden $\beta=0^\circ$ ile gelmesi durumunda daha yüksek ısı transferi gerçekleşmektedir.



Şekil 7.55. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve rüzgarın $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° geliş açılarında kare kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

7.2.2 Dikdörtgen kolektör ile yapılan sayısal çalışma sonuçları

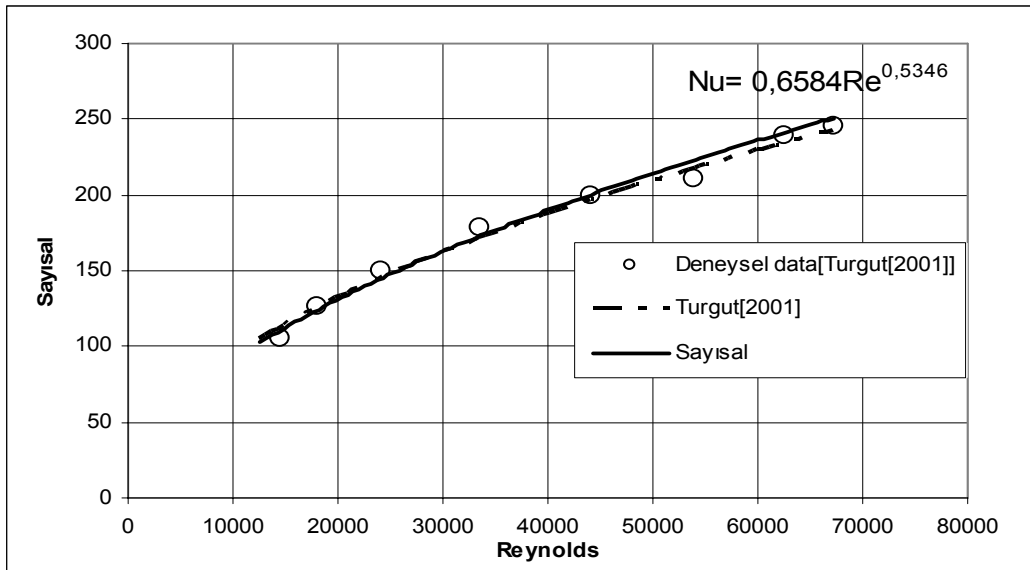
Bu bölümde dikdörtgen tip ve çatı eğim açısı $\alpha=25^\circ$ ve $\alpha=45^\circ$ olan kolektör için sayısal çalışma sonuçları rüzgarın kolektöre farklı açılarda $\beta=0^\circ$ (rüzgarın kolektöre önden gelme durumu), 90° (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) ve 180° (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) gelmesi durumunda farklı rüzgar hızları için verilmiştir. Sayısal çalışma Reynolds sayısının 13000 ile 80000 arasında değişen değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

$\alpha=25^\circ$ dikdörtgen kolektör

$\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında rüzgarın kolektöre $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° açılarda gelmesi durumunda farklı rüzgar hızları için sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir.

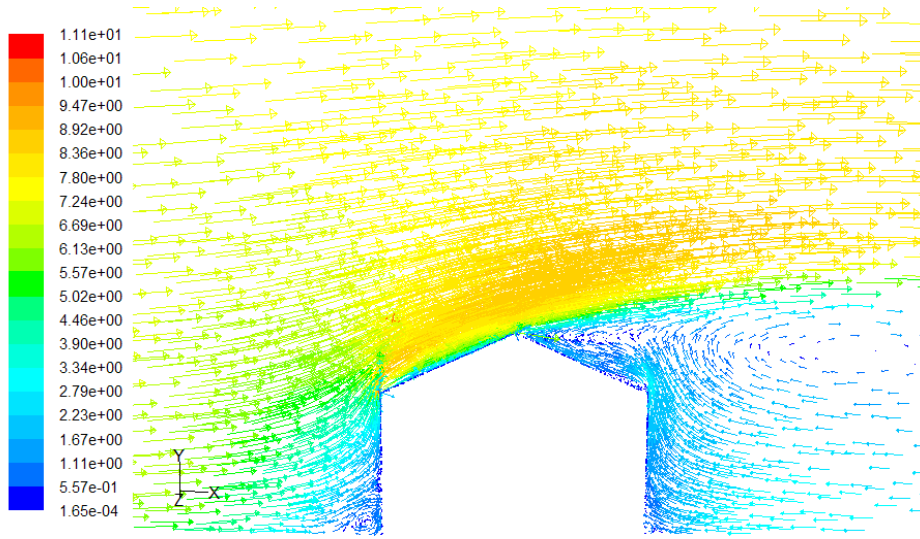
Çatı eğim açısı $\alpha=25^\circ$ olan ve rüzgarın kollektöre $\beta=0^\circ$ açısı (rüzgarın kollektöre önden gelme durumu) ile gelmesi durumunda elde edilen sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.56 ile Şekil 7.63 arasındaki şekillerle ifade edilmiştir. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 7.56'da verilmiştir. Önceden de beklendiği gibi artan rüzgar hızı ile kollektörün üst yüzeyinden gerçekleşen ısı transferi artış göstermiştir. Şekil 7.56'da Turgut [2001]'in sonuçları da $(Nu=1,243\rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5}/k)$ gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla uyum içerisindedir. Sayısal çalışma sonuçları boyutsuz Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde Eş. 7.7 ile ifade edilmiştir.

$$Nu = 0,6584 Re^{0,5346} \quad (7.7)$$

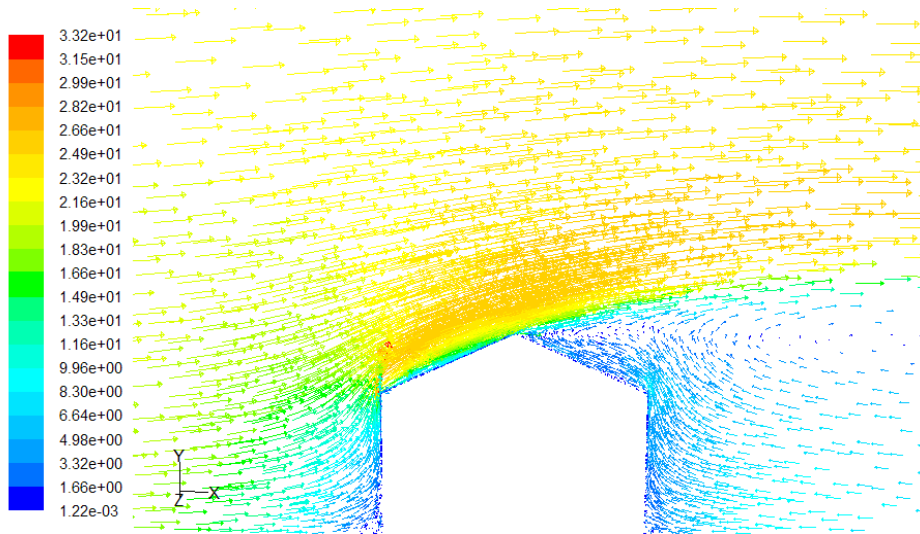


Şekil 7.56. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

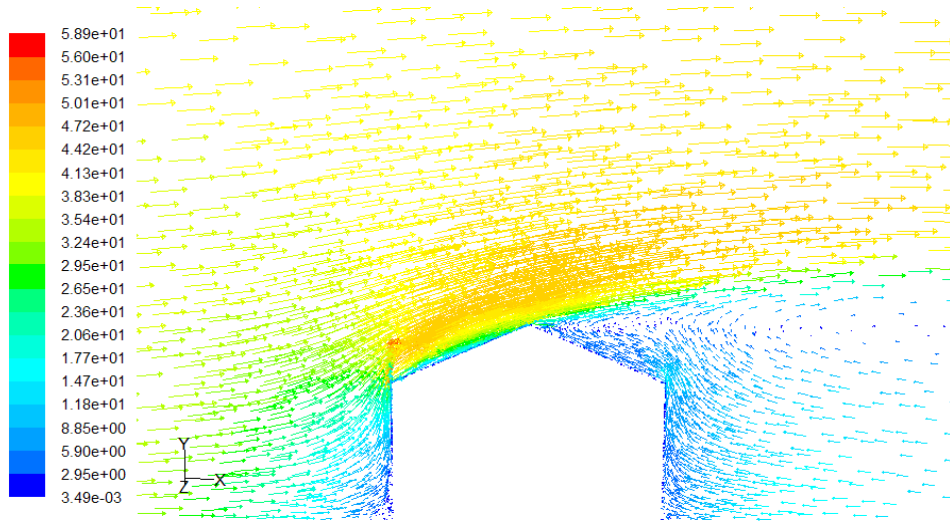
Reynolds sayısının değişik değerleri için ev üzerindeki hız vektörleri Şekil 7.57-7.59'da görülmektedir. Görüldüğü üzere evin ön ve arka kısmında girdapların oluşturduğu görülmektedir. Evin önünde oluşan girdaplar Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Evin sağ tarafında oluşan girdaplar da ise Reynolds sayısı arttıkça kollektörden uzaklaşmaktadır.



Şekil 7.57. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=12630$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri

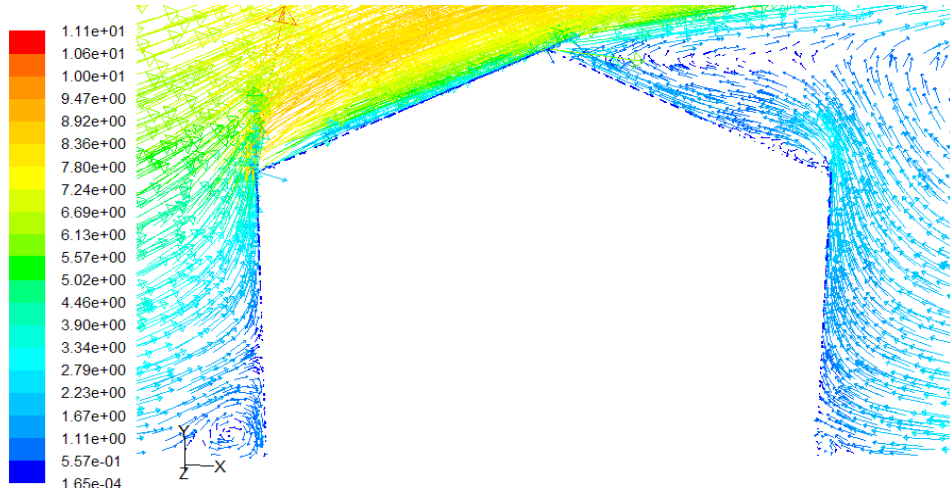


Şekil 7.58. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=38220$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri



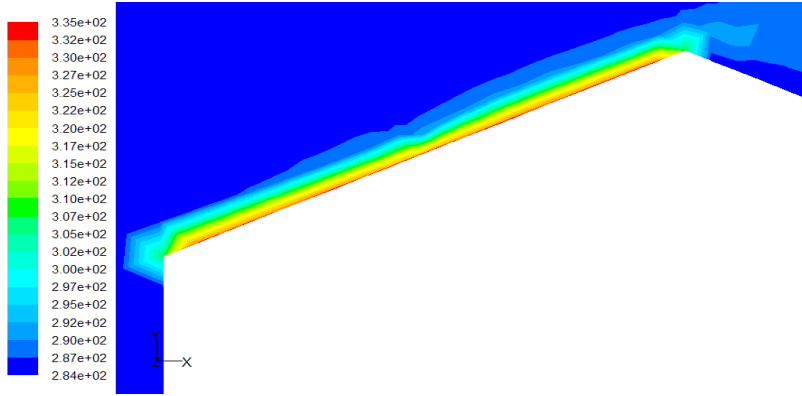
Şekil 7.59. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=67260$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.60'da kolektör civarındaki hız vektörleri büyütülerek gösterilmiştir. Görüldüğü gibi evin önünde ve arkasında girdaplar oluşmaktadır.

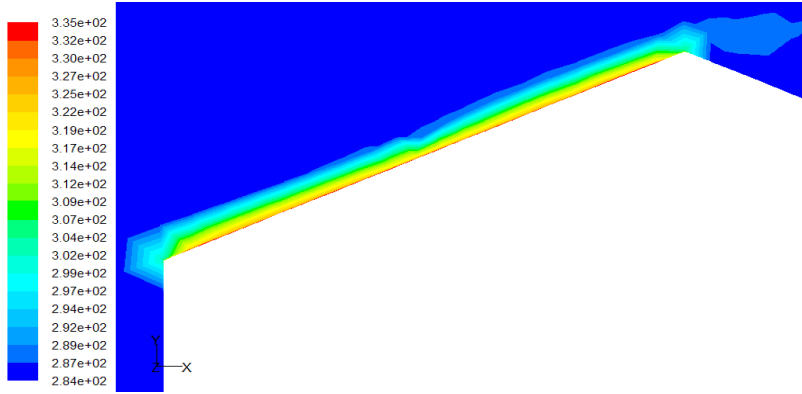


Şekil 7.60. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

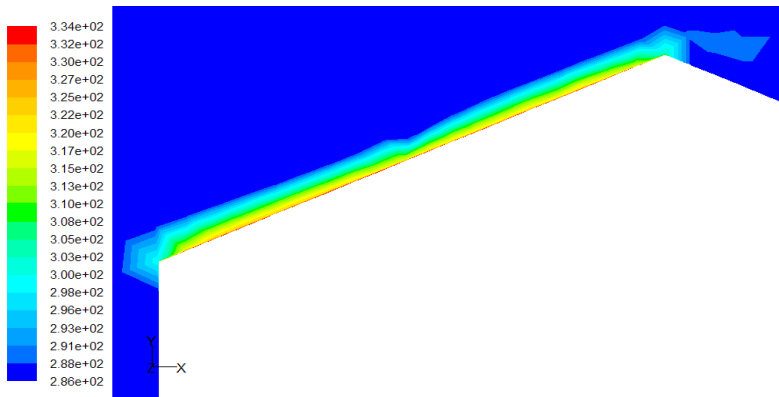
Şekil 7.61-7.63'de kolektör üzerindeki sıcaklık konturları verilmiştir. Artan Reynolds sayısı ile beklenildiği gibi ısı sınır tabaka kalınlığının azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.61. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=12630$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



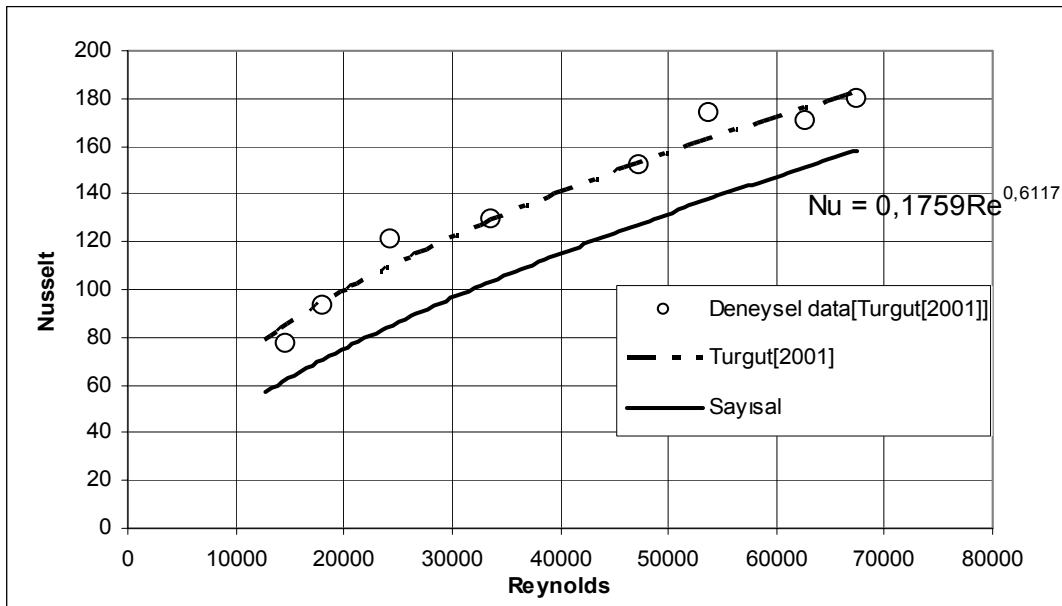
Şekil 7.62. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=38210$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.63. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=67260$ durumunda için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

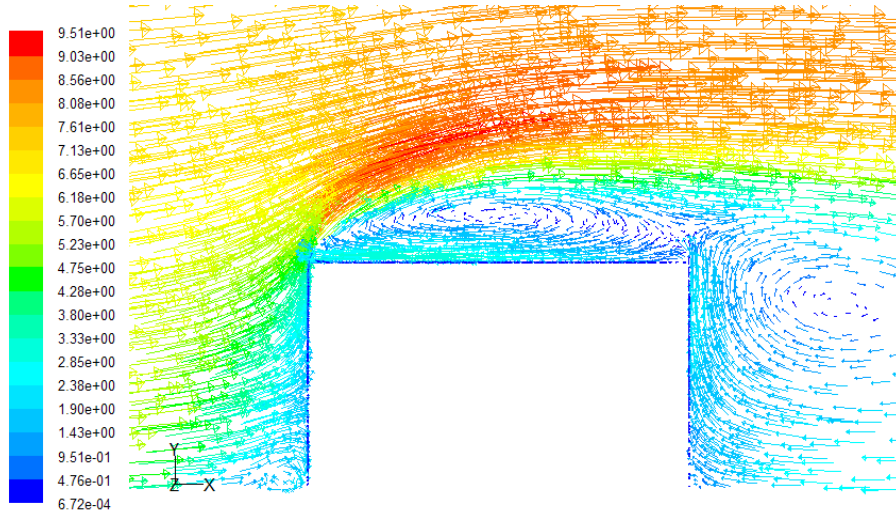
Rüzgarın kollektöre $\beta=90^\circ$ (rüzgarın kollektöre yandan gelme durumu) eğim açısında gelmesi ve çatı eğim açısının $\alpha= 25^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör ile yapılan sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.64 ile Şekil 7.71 arasında şekillerle verilmiştir. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 7.64’de verilmiştir. Beklenildiği üzere artan rüzgar hızı ile kollektörün üst yüzeyinden olan ısı kaybı da artış göstermiştir. Turgut [2001]’in sonuçları da $(Nu=0,788\rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5}/k)$ aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde Eş. 7.8 ile ifade edilmiştir.

$$Nu = 0,1759 Re^{0,6117} \quad (7.8)$$

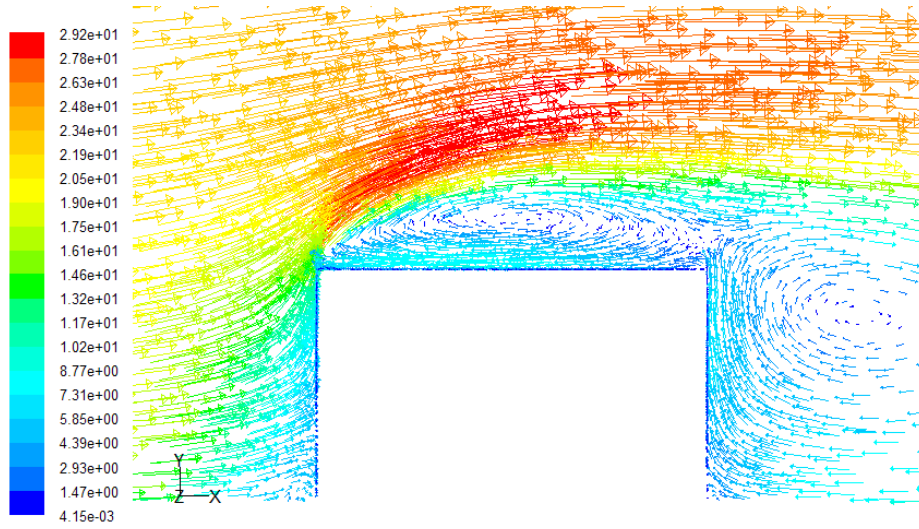


Şekil 7.64. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

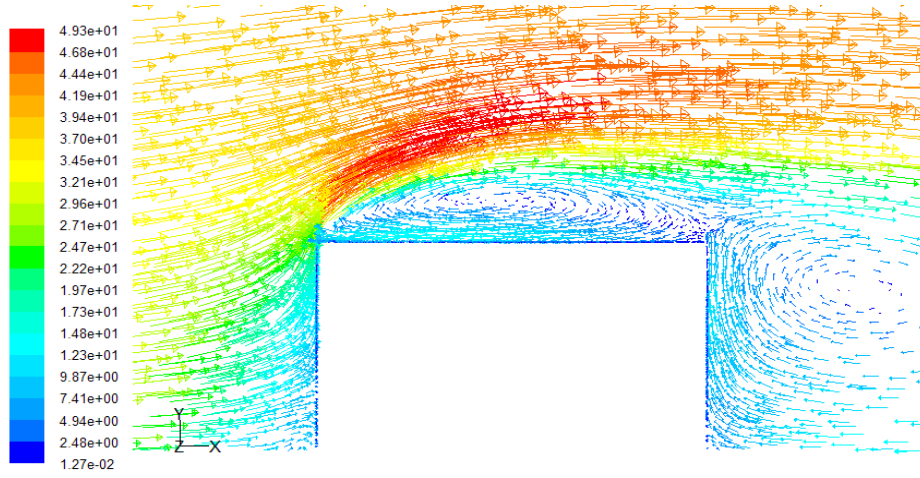
Kollektör civarındaki hız vektörleri Şekil 7.65 ile Şekil 7.67 arasındaki şekillerde farklı rüzgar hızları (veya Reynolds sayısı) için verilmiştir. Görüldüğü gibi evin ön ve arka kısmında girdaplar oluşmuştur.



Şekil 7.65. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12720$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri

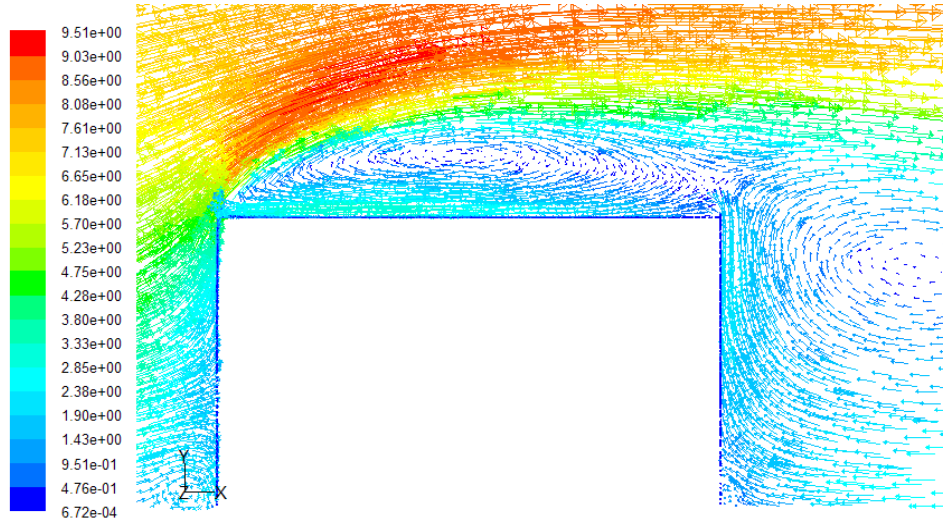


Şekil 7.66. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=40700$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri



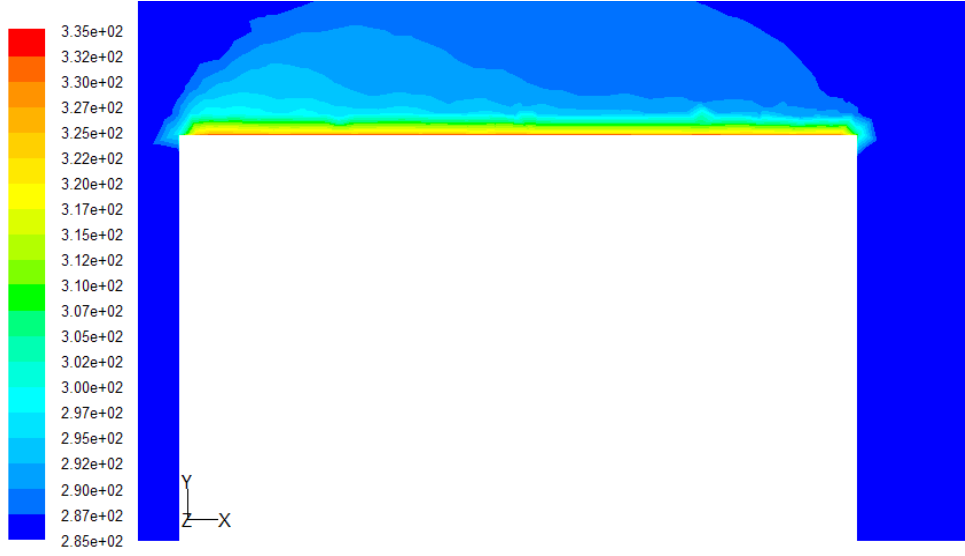
Şekil 7.67. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=67523$ durumunda kollektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.68’de ise kollektör civarındaki hız vektörleri büyütülerek gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere kollektörün ön ve arkasında girdaplar oluşmuştur.

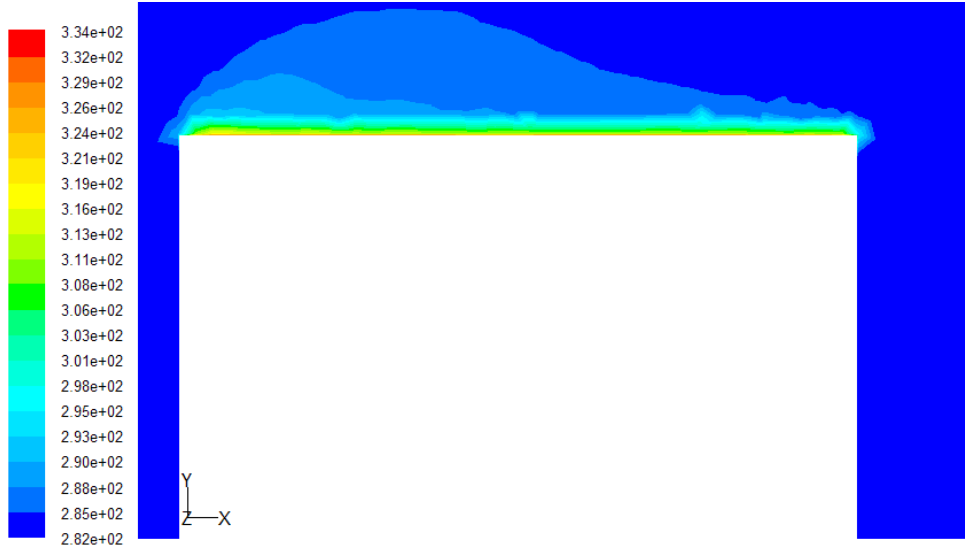


Şekil 7.68. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için kollektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

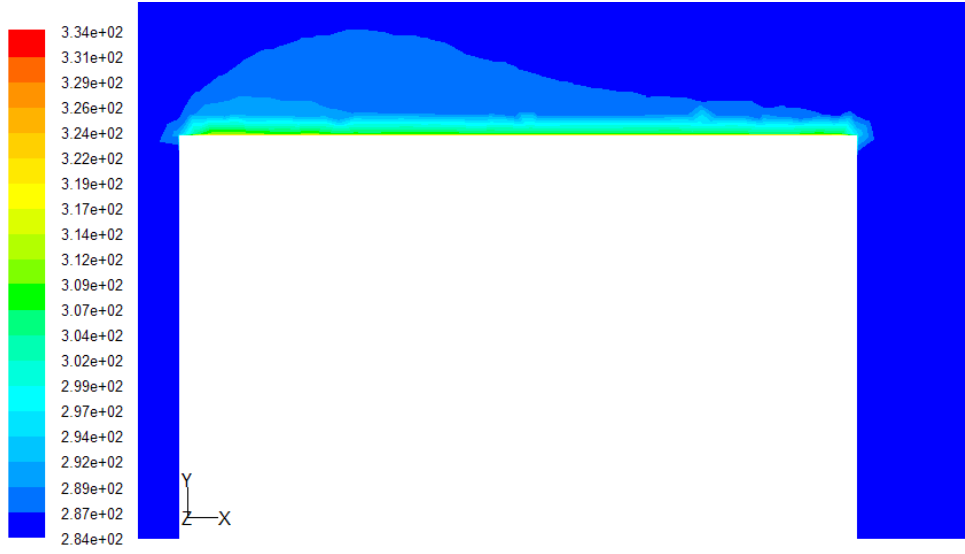
Şekil 7.69-7.71’de kollektör civarındaki sıcaklık profilleri farklı Reynolds sayıları için verilmiştir. Artan Reynolds sayısı ile ısı sınır tabakasının azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.69. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12720$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



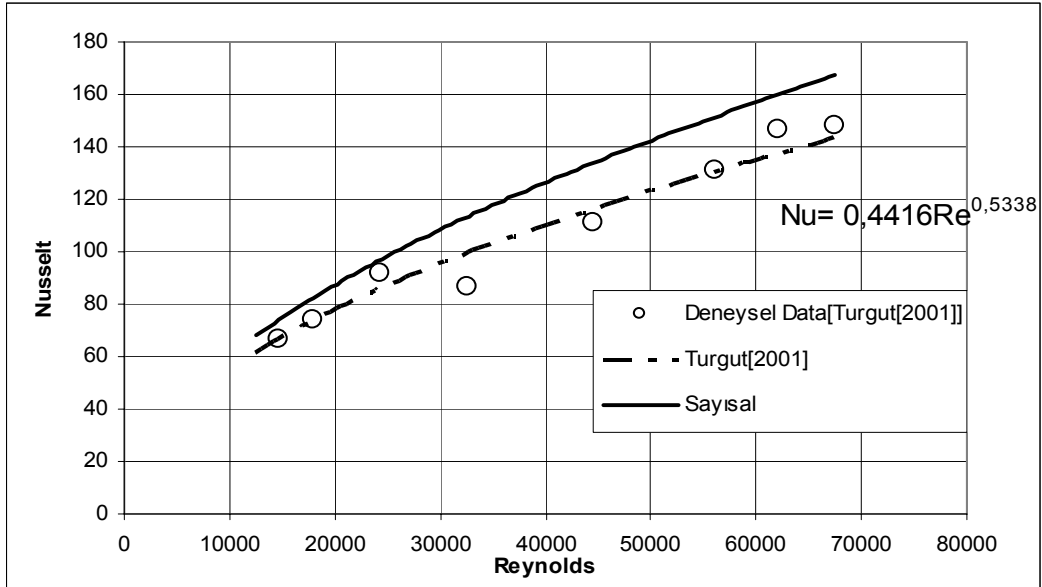
Şekil 7.70. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=40700$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.71. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=67520$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

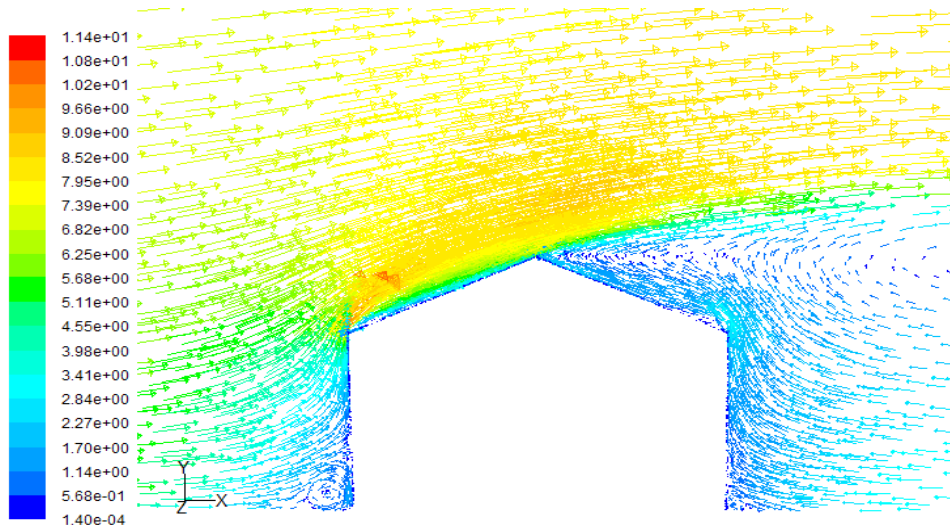
Rüzgarın $\beta=180^\circ$ 'lik açısı (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) ile çatı eğim açısı $\alpha=25^\circ$ olan dikdörtgen kolektör üzerine gelmesi durumunda kolektörün üst yüzeyinden olan ısı kaybı sonuçları Şekil 7.72-Şekil 7.79 arasındaki şekillerde verilmiştir. Şekil 7.72'de Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Reynolds sayısının artması ile Nusselt sayısında artış görülmüştür. Turgut [2001]'in sonuçları da aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde Eş. 7.9 ile ifade edilmiştir.

$$Nu = 0,4416 Re^{0,5338} \quad (7.9)$$

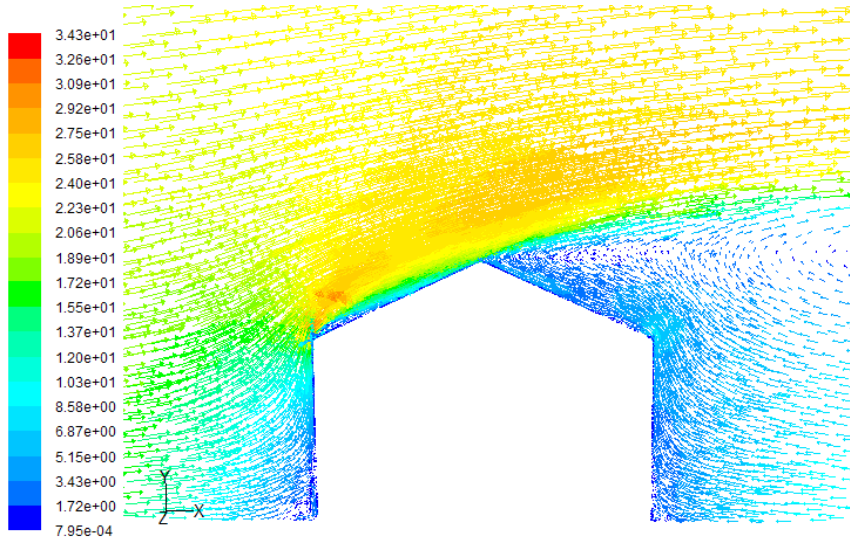


Şekil 7.72. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

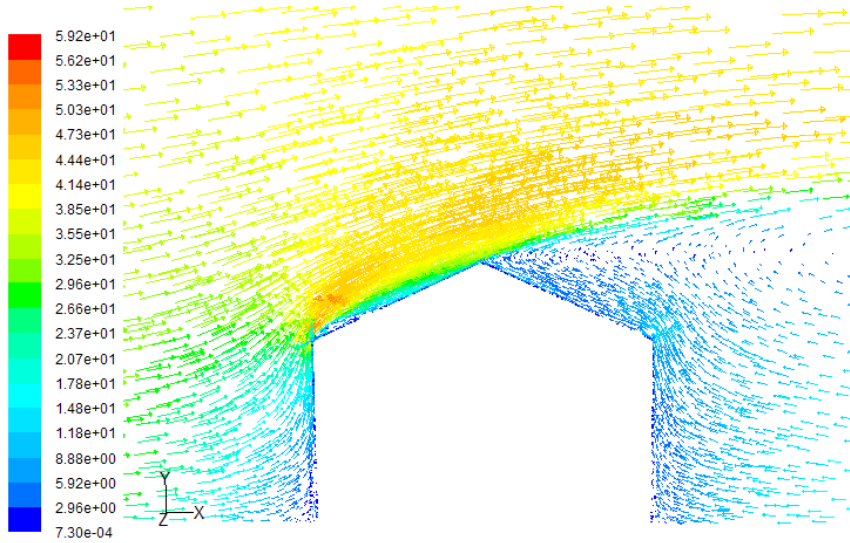
Kollektör üzerindeki hız vektörleri Şekil 7.73-7.75'de farklı Reynolds sayıları için verilmiştir. Görüldüğü gibi evin önünde ve arka tarafında girdaplar oluşmuştur.



Şekil 7.73. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kollektör için $Re=12550$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri



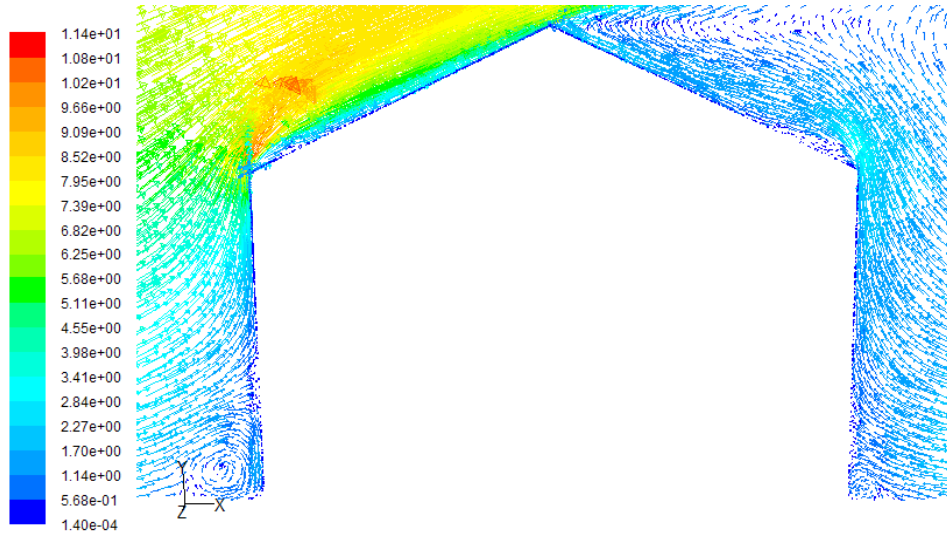
Şekil 7.74. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=38510$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri



Şekil 7.75. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=67520$ durumunda kolektör üzerindeki hız vektörleri

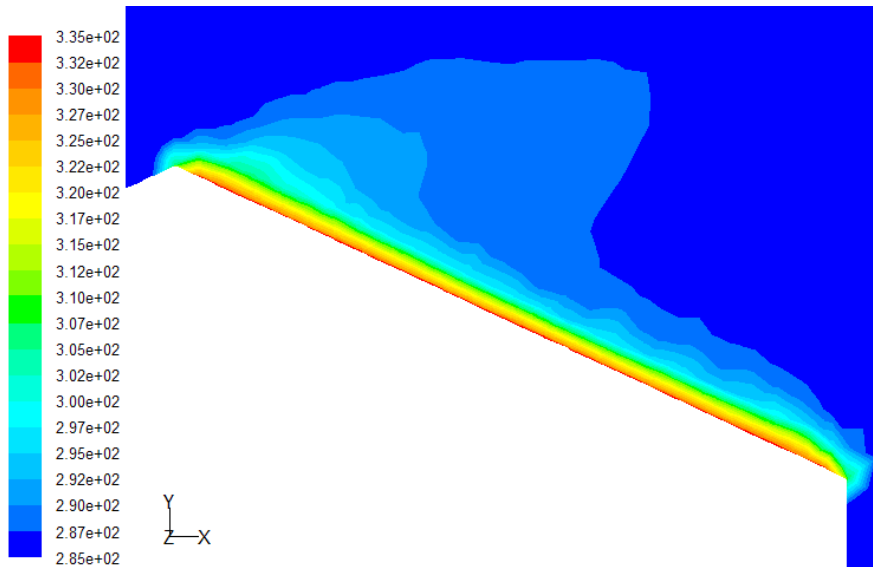
Kolektör rüzgârın geliş yönüne göre ters yerleştiği için kolektör üzerinde havanın hızı düşmektedir bu hızdaki düşüş Nusselt sayısında da yani ısı transferi katsayısının da düşmesine neden olmuştur.

Kolektör civarındaki hız vektörleri büyütülmüş olarak Şekil 7.76'da verilmiştir. Görüldüğü üzere evin önünde ve arkasında ters akışlar oluşmuştur.

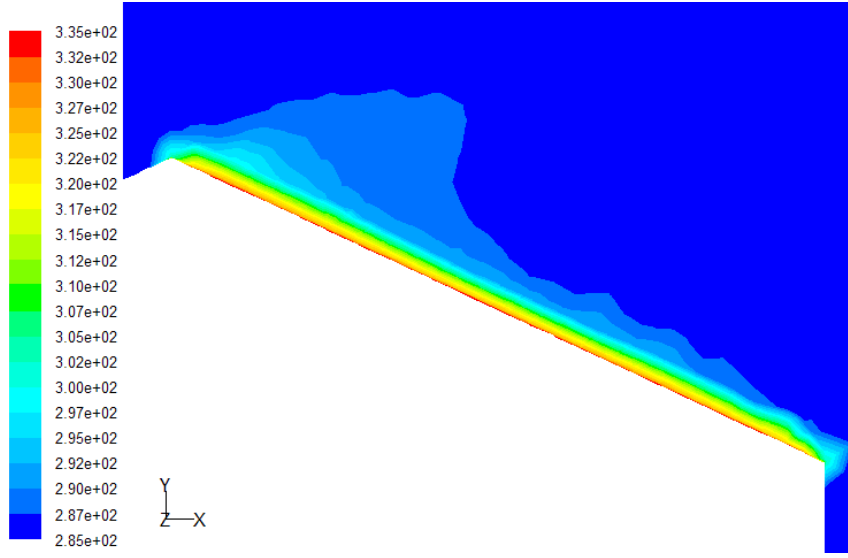


Şekil 7.76. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

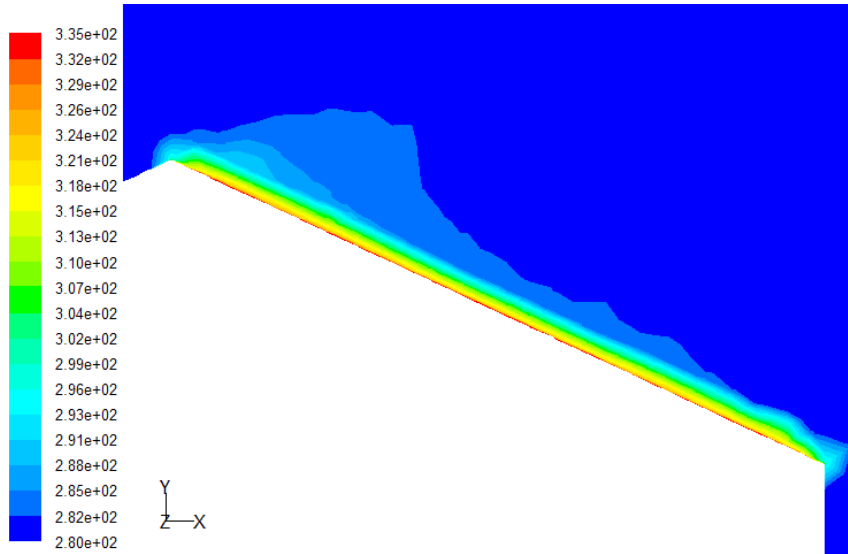
Şekil 7.77-7.79'da kolektör civarındaki sıcaklık profilleri farklı Reynolds sayıları için verilmiştir. Artan Reynolds sayısı ısı sınır tabasında azalışa sebep olmuştur. Ayrıca beklenildiği gibi kolektör yakınında yüksek sıcaklıklar görülmüştür.



Şekil 7.77. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12550$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

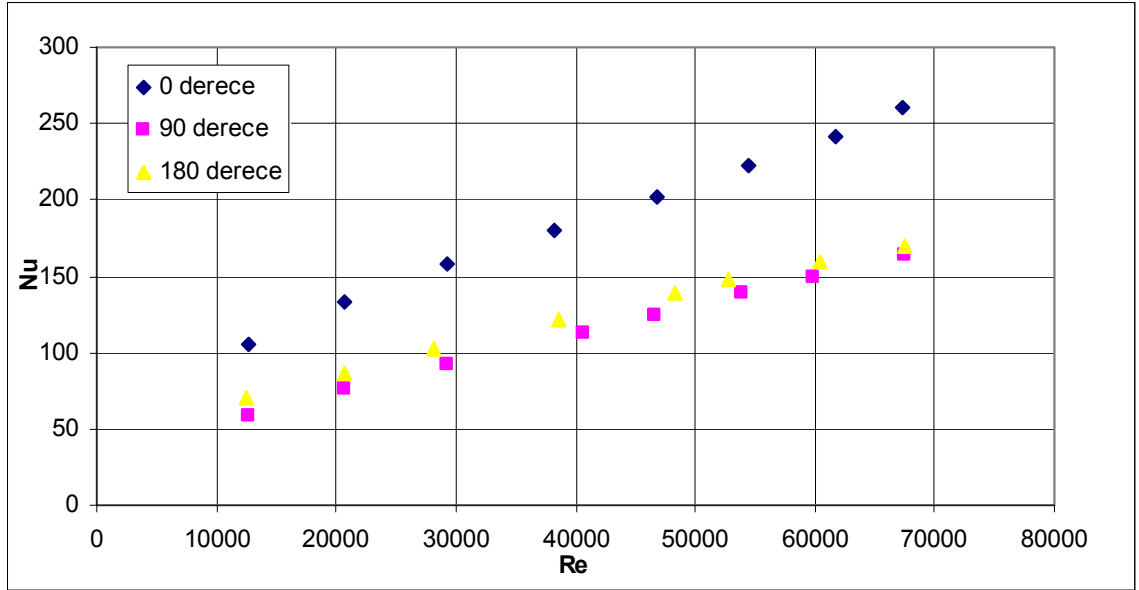


Şekil 7.78. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=38510$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.79. $\alpha=25^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=67520$ durumunda kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Çatı eğim açısı $\alpha=25^\circ$ için dikdörtgen kolektör ile yapılan sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.80’de verilmiştir. Görüldüğü üzere rüzgarın kolektöre tam karşıdan gelme durumu olan $\beta=0^\circ$ durumunda daha yüksek ısı kaybı gerçekleşmiştir. Rüzgarın kolektöre gelme durumunun önden gelme durumundan sapması durumunda ısı kaybının azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.80. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında dikdörtgen kolektöre rüzgarın farklı açılarda ($\beta=0^\circ$, 90° ve 180°) rüzgarın geliş açılarında gelmesi durumunda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

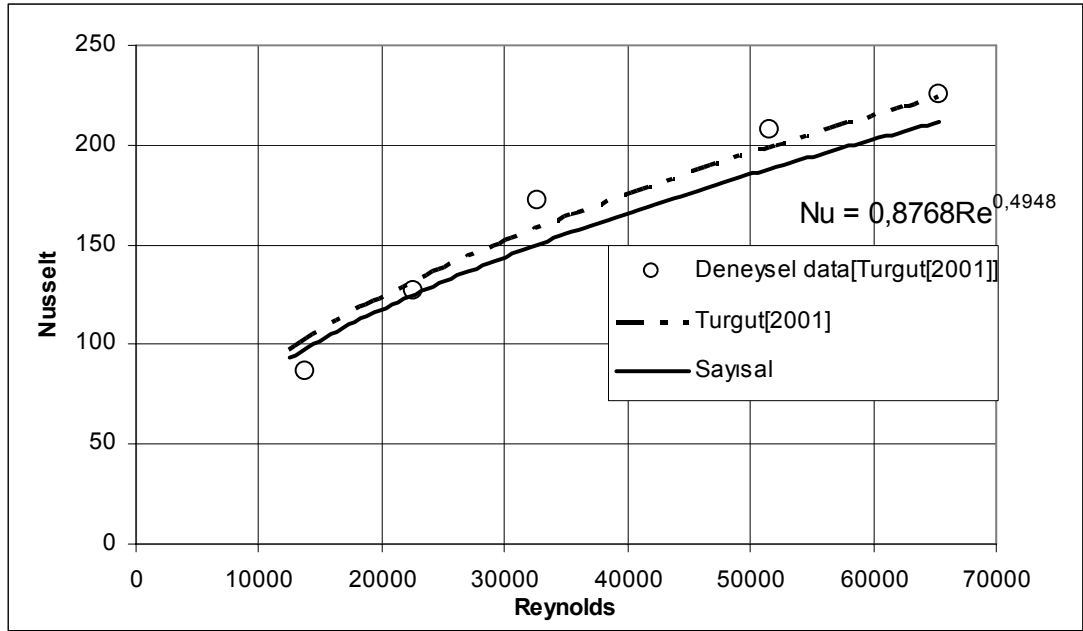
$\alpha=45^\circ$ dikdörtgen kolektör

Çatı eğim açısının $\alpha=45^\circ$ olması durumunda ve evin rüzgarın gelme yönünde $\beta=0^\circ$ (rüzgarın kolektöre önden gelme durumu), 90° (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) ve 180° (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) döndürülmesi durumlarında farklı rüzgar hızları için kolektörün üst yüzeyinden rüzgarla meydana gelen ısı kayıpları sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar bu kısımda verilmiştir.

Çatı eğim açısının $\alpha=45^\circ$ ve rüzgârın kolektöre gelme açısının $\beta=0^\circ$ (rüzgârın kolektöre önden gelme durumu) olması durumunda farklı rüzgâr hızları için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiş olup sonuçlar Şekil 7.81 ile Şekil 7.88 arasındaki şekillerde verilmiştir. Şekil 7.81’de elde edilen sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde verilmiştir. Sayısal çalışma sonuçları

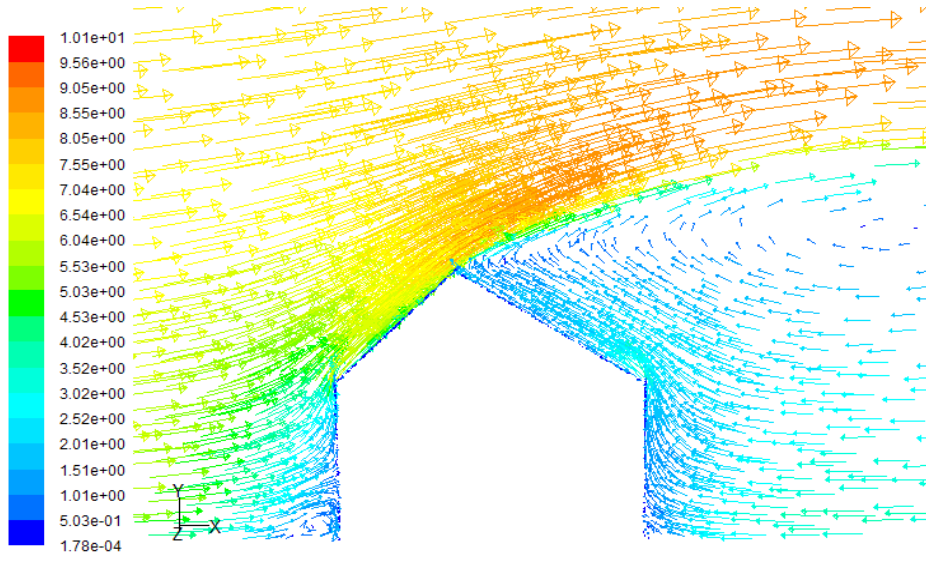
$$Nu = 0,876 Re^{0,4948} \quad (7.10)$$

eşitliği ile ifade edilmiştir. Şekil 7.81’de de görüleceği üzere ve beklendiği gibi artan rüzgar hızı ile kolektörün üst yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı miktarı artmaktadır. Şekil üzerinde ayrıca Turgut [2001]’in sonuçları da $(Nu=0,981\rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5}/k)$ gösterilmiştir. Sayısal çalışma sonuçlarının deneysel sonuçlarla benzerlik gösterdiği görülmüştür.

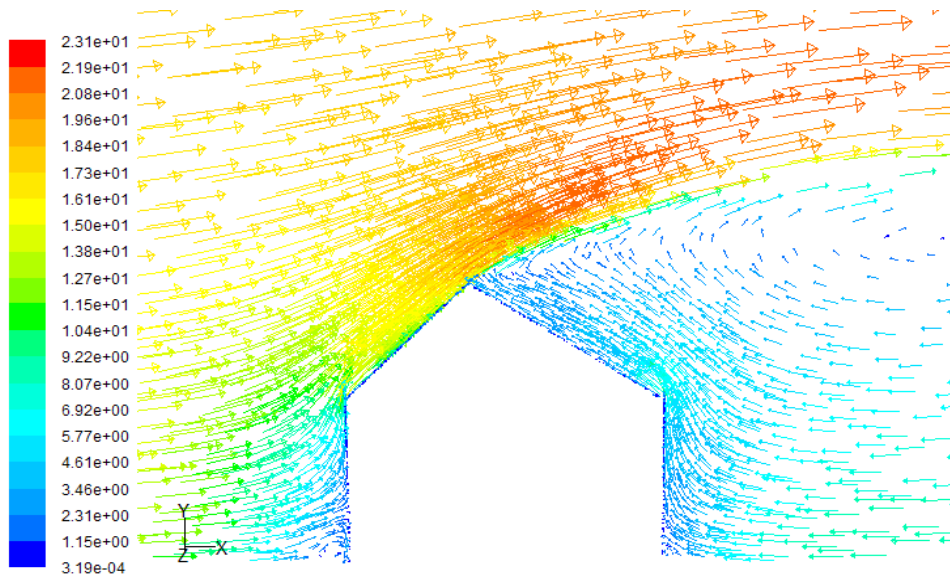


Şekil 7.81. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

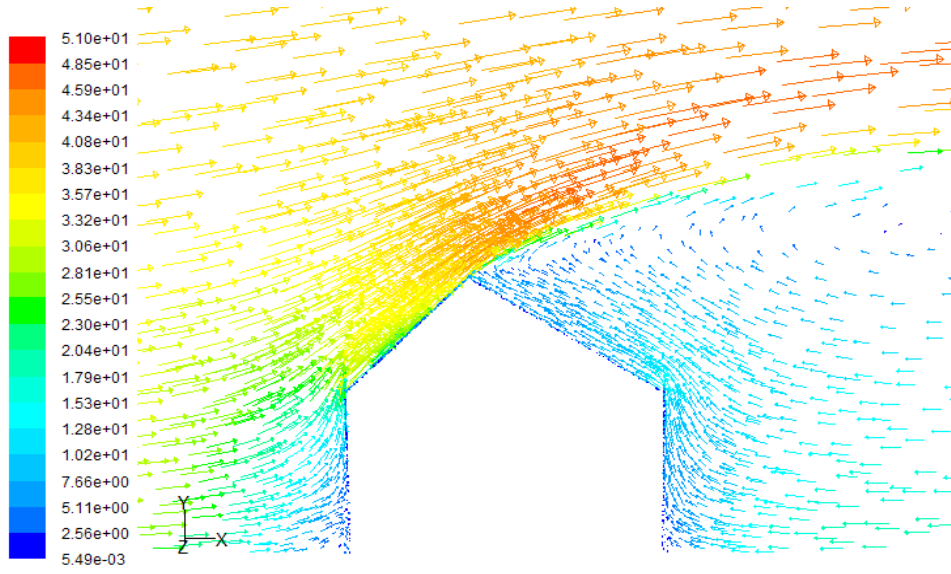
Kolektör civarındaki hız vektörleri Şekil 7.82-Şekil 7.84’de farklı Reynolds sayıları için verilmiştir.



Şekil 7.82. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12440$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri

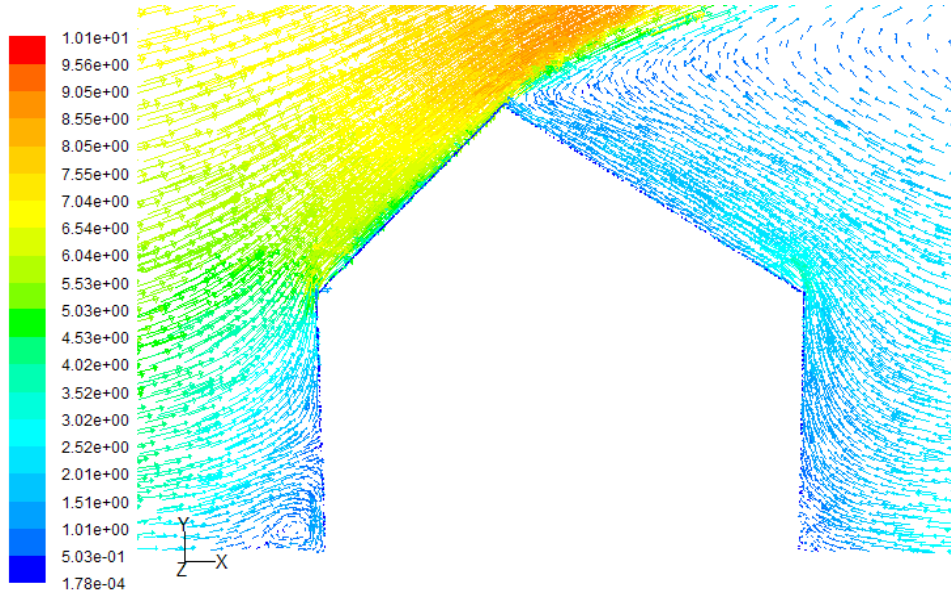


Şekil 7.83. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=29840$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri



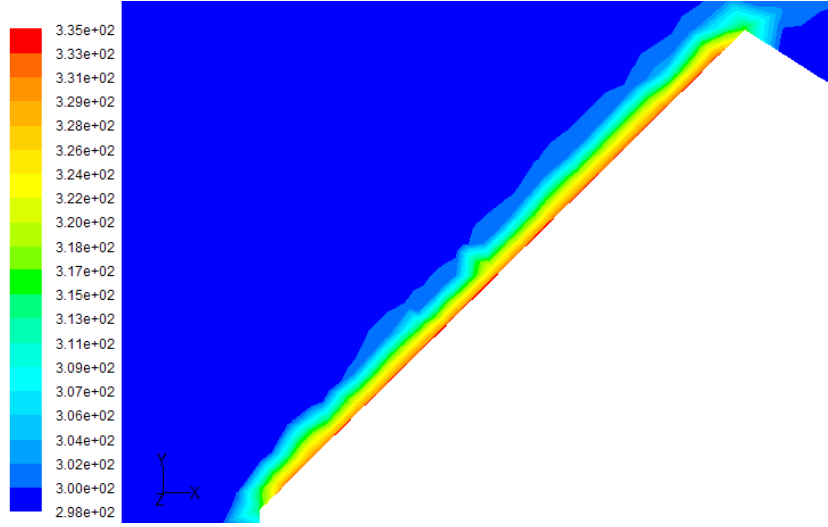
Şekil 7.84. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=65360$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.85'de ise kolektör civarındaki hız vektörleri büyütülerek verilmiştir. Görüleceği üzere evin ön ve arka kısmında vorteksler veya diğer bir ifade ile söylemek gerekirse ters akışlar oluşmuştur.

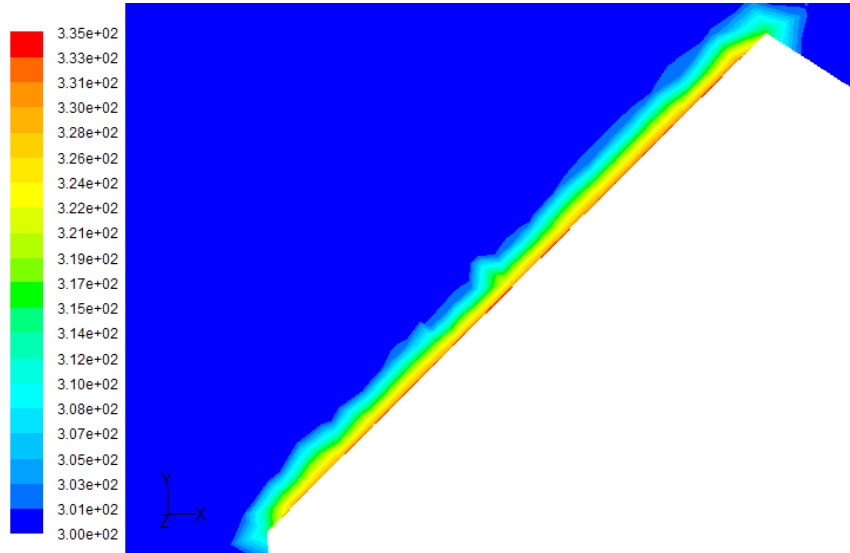


Şekil 7.85. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

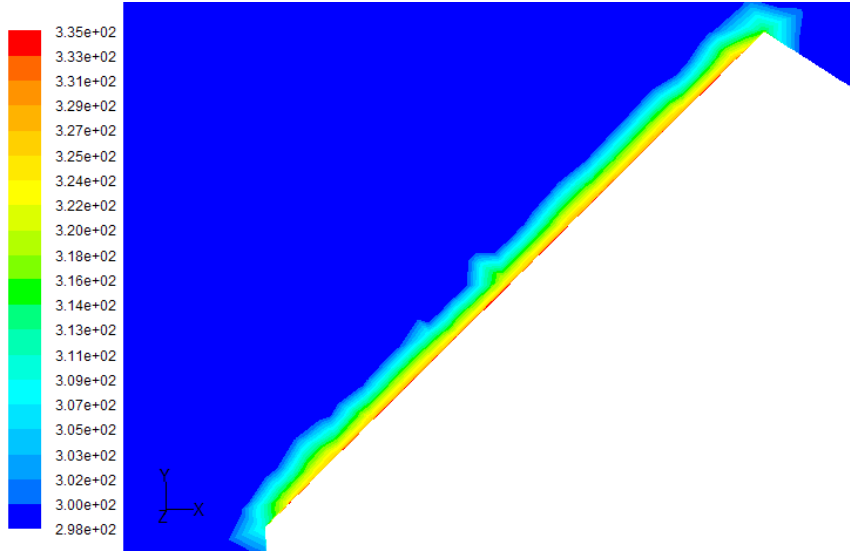
Kolektör civarındaki sıcaklık profilleri ise farklı rüzgar hızları için Şekil 7.86-7.88’de görüldüğü gibidir. Artan rüzgar hızı ile beklendiği üzere ısıl sınır tabaka kalınlığının azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.86. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12440$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.87. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=29840$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

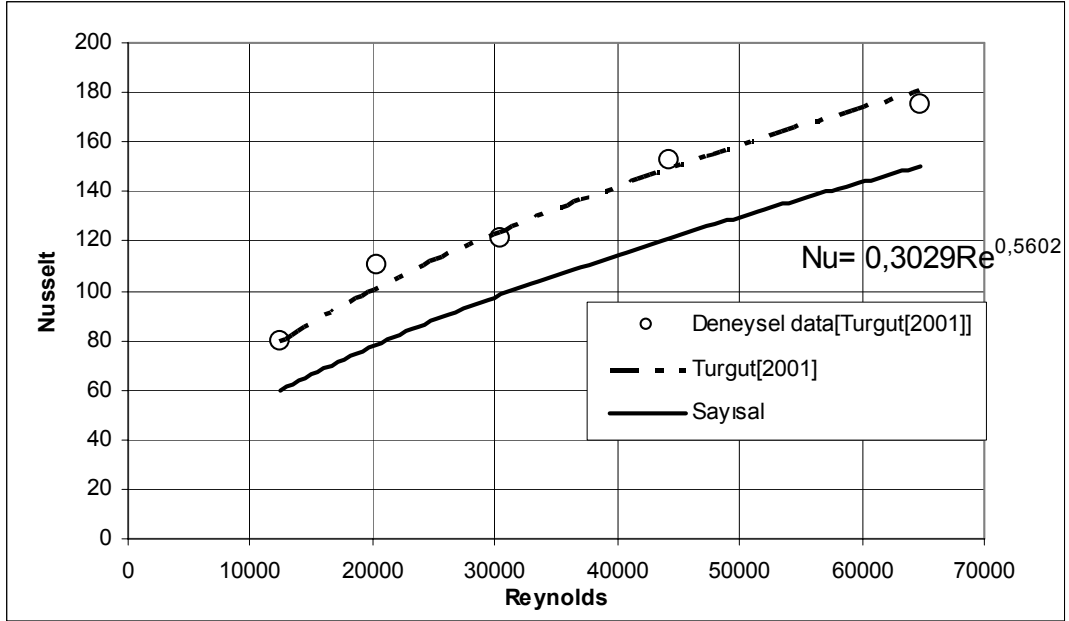


Şekil 7.88. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=0^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=65360$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Kolektör çatı eğim açısının $\alpha=45^\circ$ olması ve rüzgarın kolektöre $\beta=90^\circ$ (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) açısında gelmesi durumundaki sayısal çalışma sonuçları Şekil 7.89 ile Şekil 7.96 arasındaki şekillerde verilmiştir. Sayısal çalışma sonuçları boyutsuz Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde verilmiştir. Beklendiği gibi rüzgar hızındaki artış kolektörün üst yüzeyinden konveksiyon ile gerçekleşen ısı kaybında artışa neden olmuştur. Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki

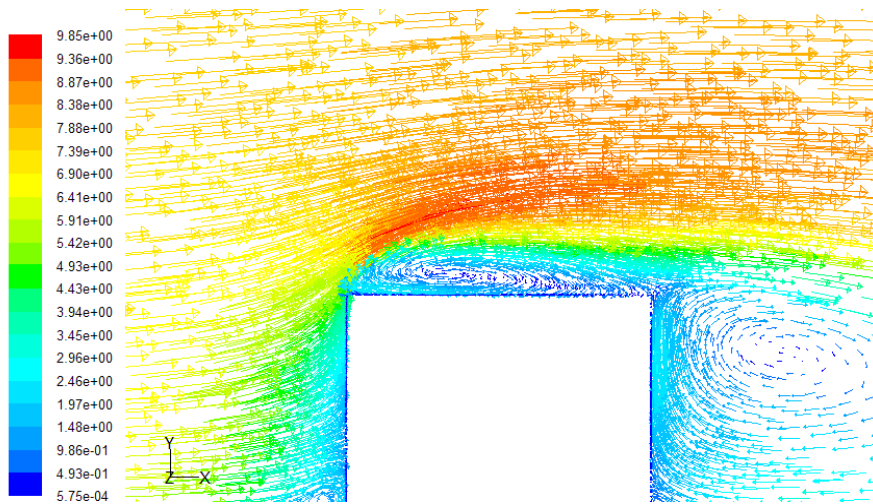
$$Nu = 0,303 Re^{0,5602} \quad (7.11)$$

eşitliği ile verilmiştir. Turgut [2001]'in deneysel sonuçları da aynı Şekil üzerinde gösterilmiştir. Sayısal çalışma sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

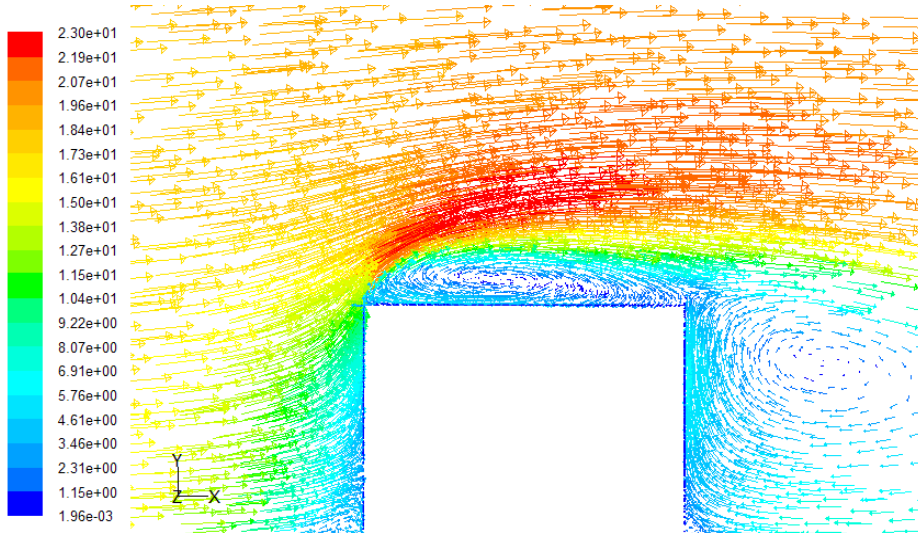


Şekil 7.89. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

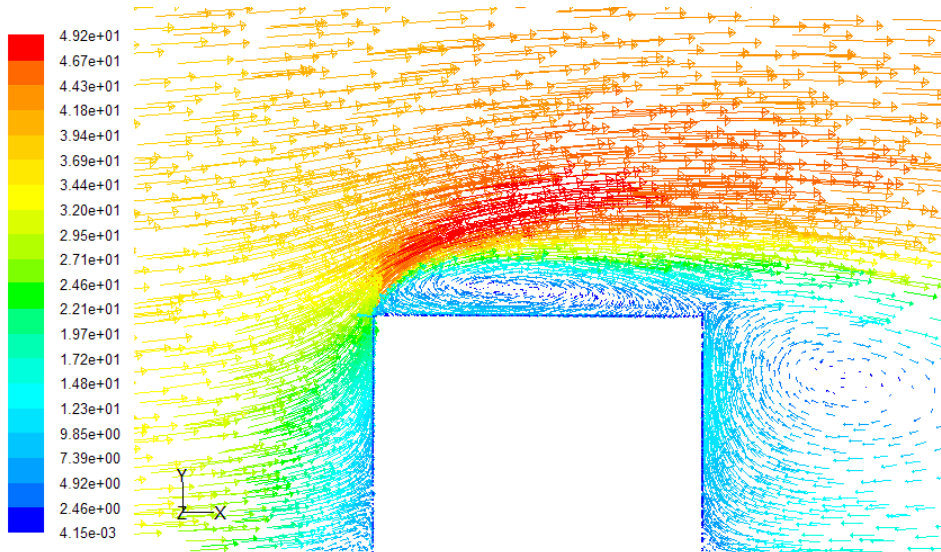
Kolektör civarındaki hız vektörleri Şekil 7.90-Şekil 7.92’de farklı Reynolds sayıları (veya farklı rüzgar hızları) için verilmiştir.



Şekil 7.90. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12473$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri

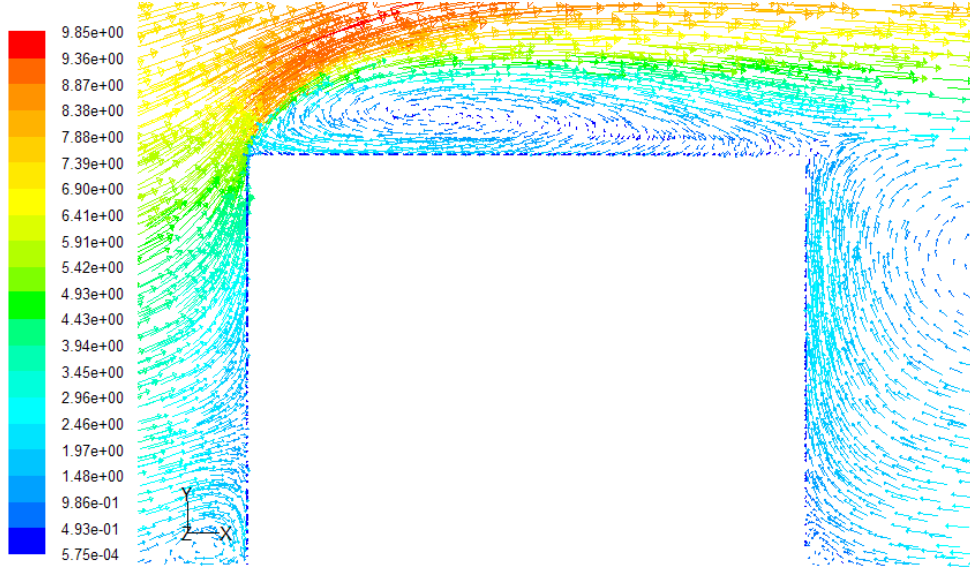


Şekil 7.91. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=30430$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri



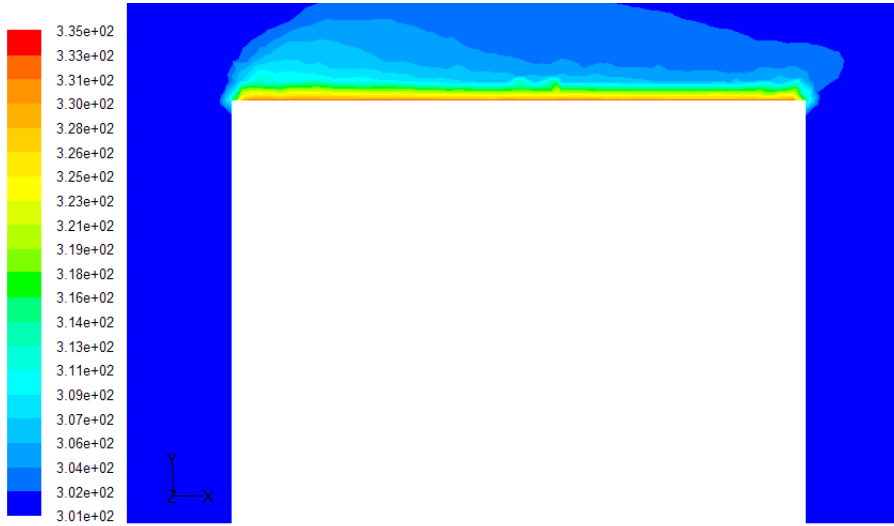
Şekil 7.92. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=64800$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri

Şekil 7.93'de ise kolektör civarındaki hız vektörleri büyütülmüş olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere evin önünde ve arka kısmında girdaplar yani ters akış oluşmuştur.

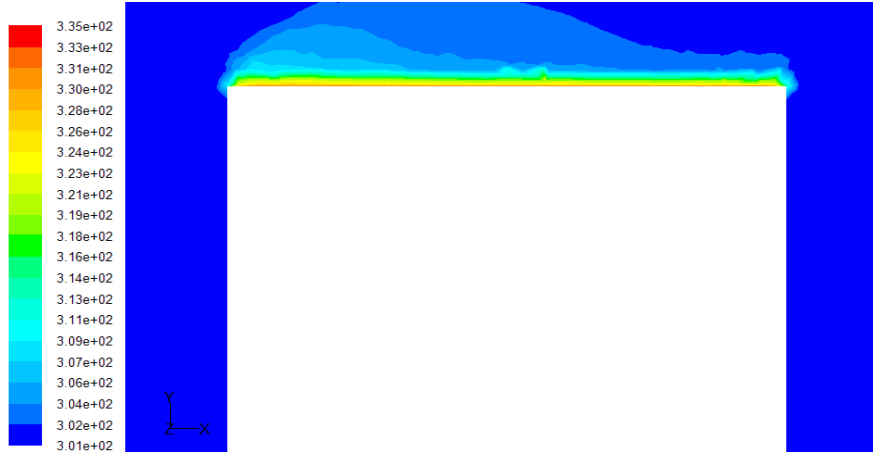


Şekil 7.93. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

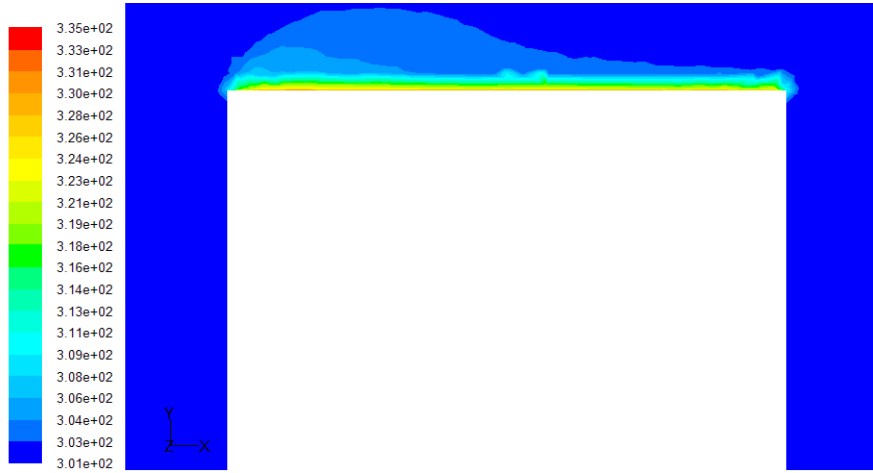
Şekil 7.94-7.96'da kolektör civarındaki sıcaklık profilleri farklı Reynolds sayıları için verilmiştir. Beklendiği gibi artan Reynolds sayısı ile ısıl sınır tabaka kalınlığında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 7.94. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12470$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.95. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=30430$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

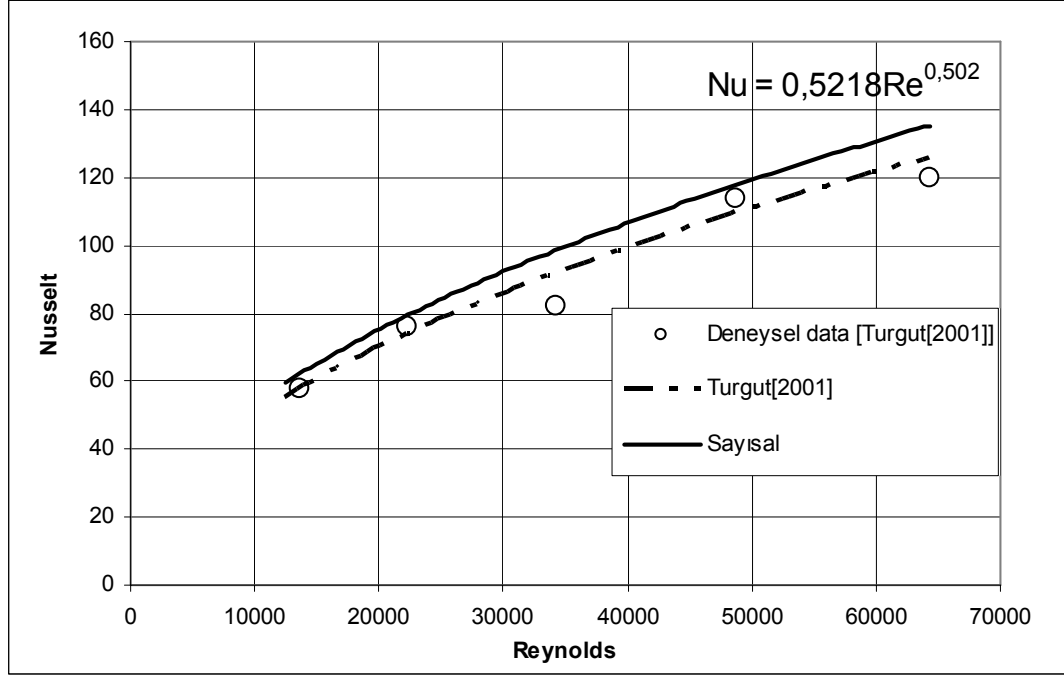


Şekil 7.96. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=64800$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Çatı eğim açısının $\alpha=45^\circ$ olması ve rüzgarın kolektöre $\beta=180^\circ$ (rüzgarın kolektöre arkadan gelme yönüdür) açı ile gelmesi durumundaki sayısal çalışma sonuçları farklı rüzgar hızları (veya Reynolds sayısı) için Şekil 7.97 ile Şekil 7.104 arasındaki grafiklerde verilmiştir. Sayısal çalışma sonuçları Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi biçiminde

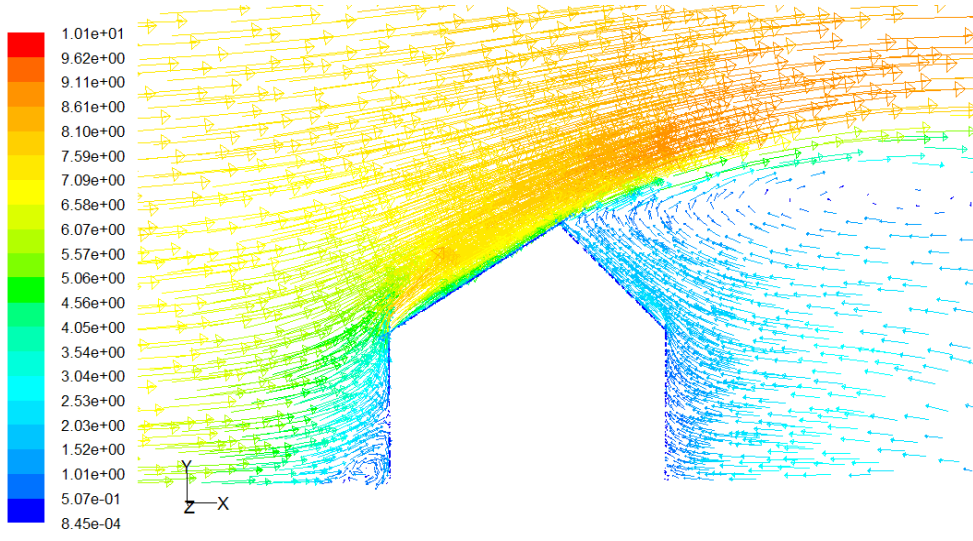
$$Nu = 0,521 Re^{0,502} \quad (7.12)$$

Eşitliği ile ifade edilmiş ve sonuçlar Şekil 7.97’de verilmiştir. Şekil üzerinde Turgut [2001]’in deneysel sonuçları da $(Nu=0,556\rho c_p U_\infty^{Pr^{2/3}} L Re^{0,5}/k)$ gösterilmiştir. Sayısal çalışma sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

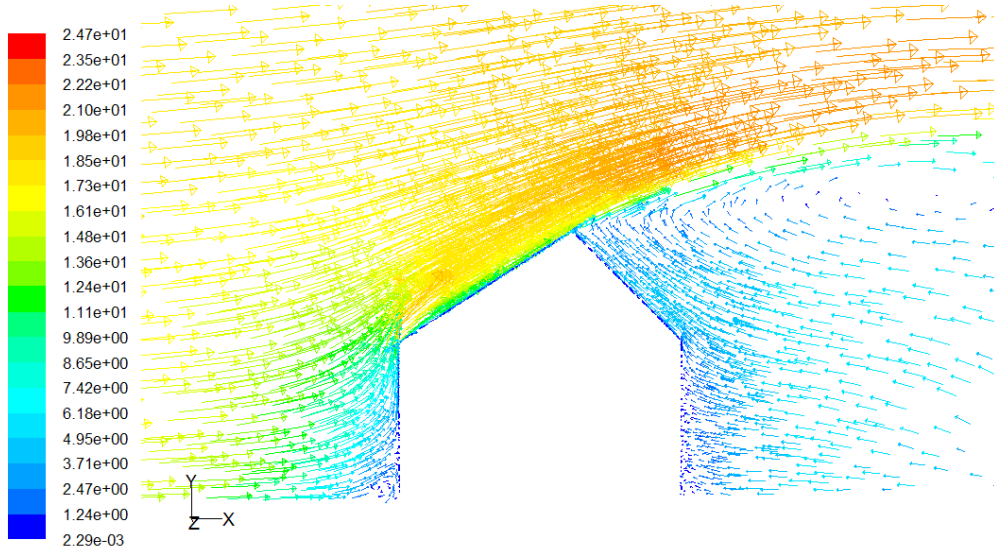


Şekil 7.97. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

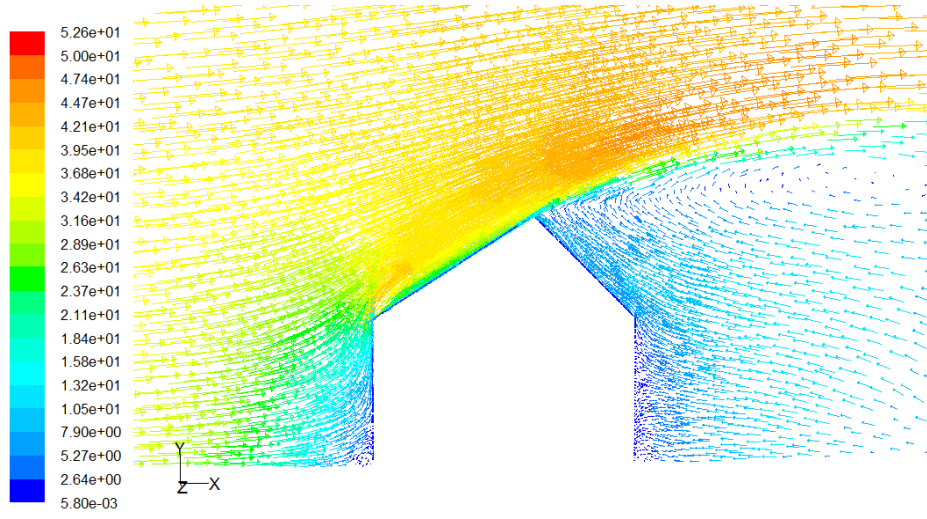
Kolektör civarındaki hız vektörleri farklı rüzgâr hızları (yani farklı Reynolds sayıları) için Şekil 7.98-Şekil 7.100’de verildiği gibidir. Şekil 7.101’de ise kollektör civarındaki hız vektörleri biraz büyütülmüş olarak verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere evin ön ve arka kısmında ters akışlar yani vorteksler oluşmuştur.



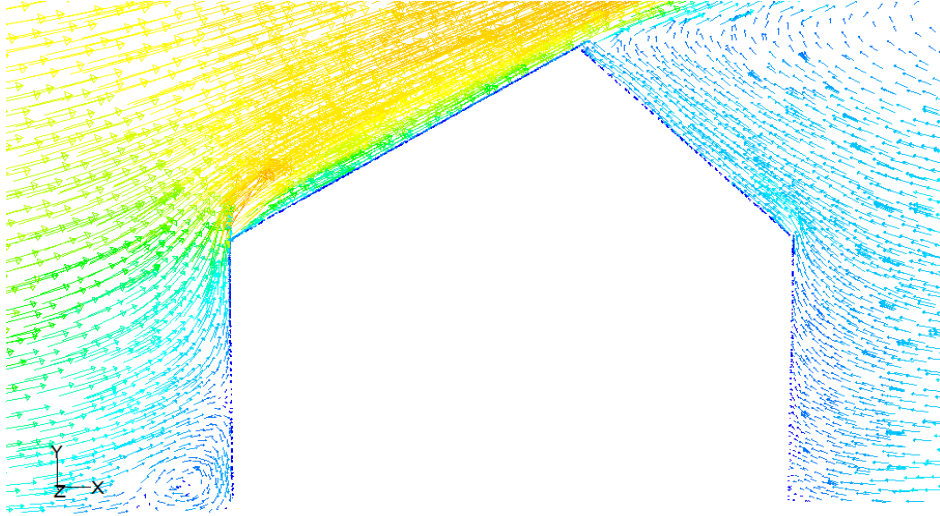
Şekil 7.98. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12470$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri



Şekil 7.99. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=30560$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri

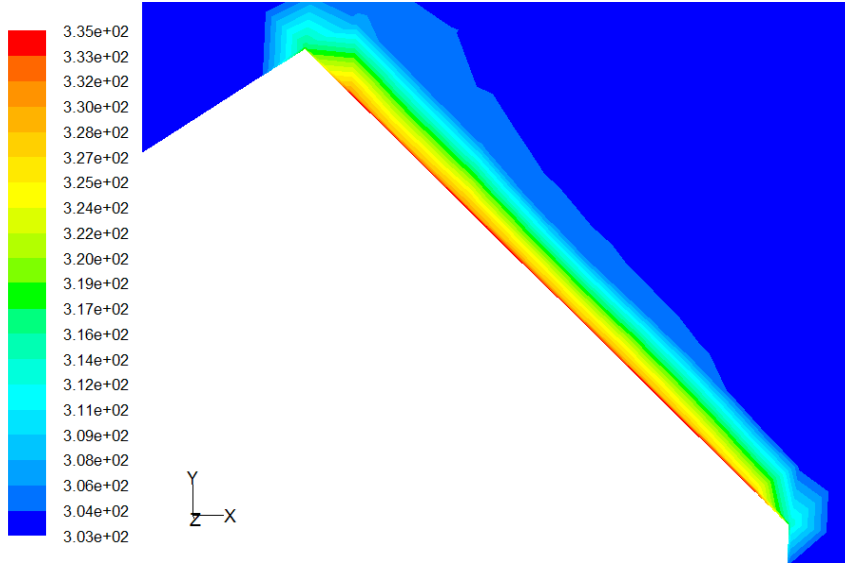


Şekil 7.100. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=64300$ için kolektör üzerindeki hız vektörleri

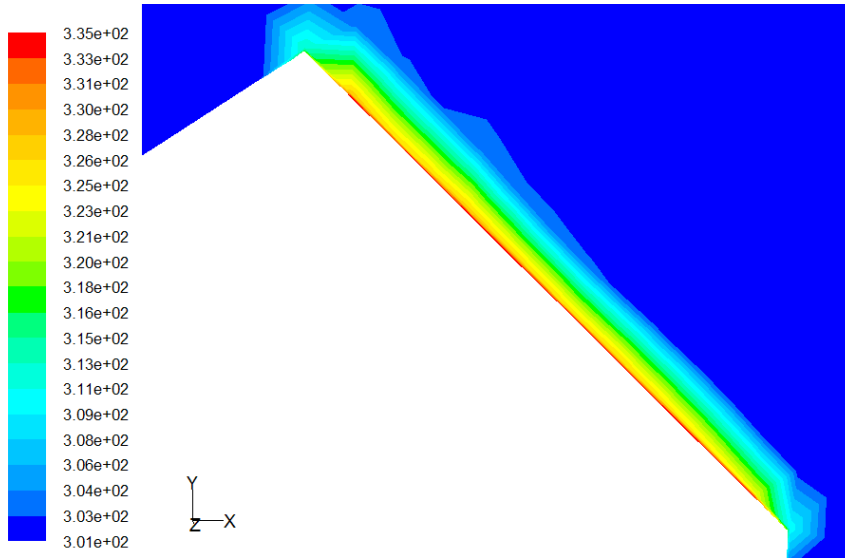


Şekil 7.101. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için kolektör üzerinde, evin önünde ve arkasında oluşan girdaplar

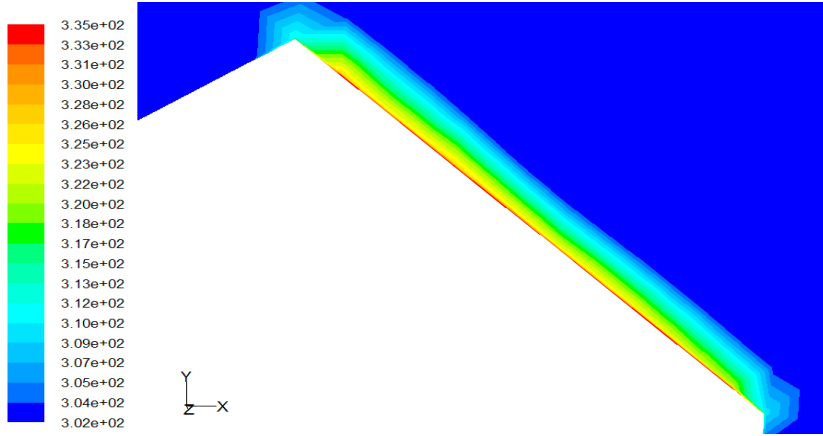
Kollektör civarındaki sıcaklık profilleri ise Şekil 7.102-104'de farklı rüzgar hızları için verilmiştir. Sıcaklık profillerinin incelenmesinden de görüleceği üzere, beklendiği gibi artan Reynolds sayısı ile ısıl sınır tabaka kalınlığında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 7.102. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=12470$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

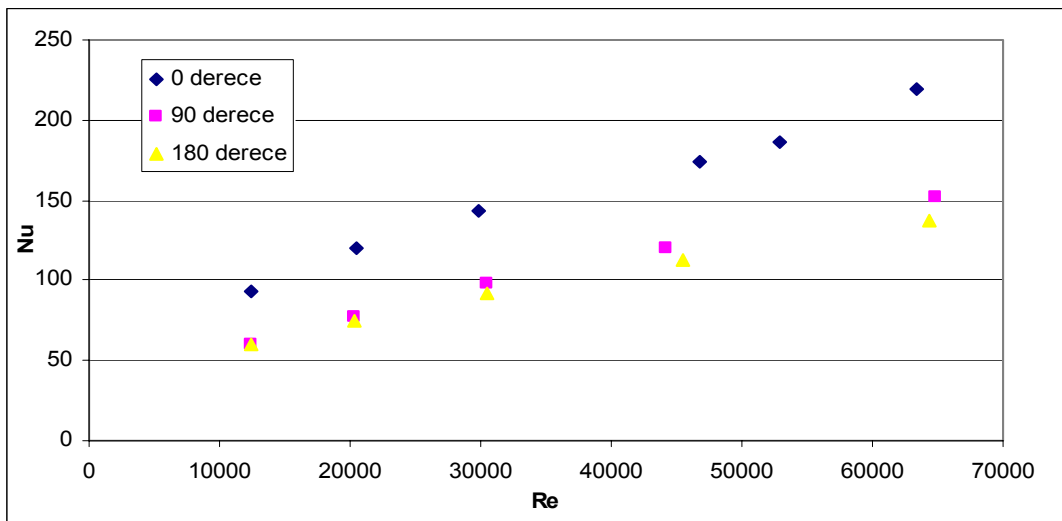


Şekil 7.103. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=30560$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili



Şekil 7.104. $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ olması durumunda dikdörtgen kolektör için $Re=64300$ için kolektör üzerinde oluşan sıcaklık profili

Çatı eğim açısının $\alpha=45^\circ$ olması ve rüzgârın kolektöre $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° açı ile gelmesi durumundaki sayısal çalışma sonuçları farklı rüzgâr hızları (veya Reynolds sayısı) için Şekil 7.105'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi rüzgârın kolektöre önden gelme durumunda $\beta=0^\circ$ kolektör yüzeyinden olan ısı kaybı daha fazladır. Rüzgârın kolektöre yandan ($\beta=90^\circ$) ve arkadan ($\beta=180^\circ$) gelme durumlarında ise kolektör yüzeyinden olan ısı kaybı $\beta=0^\circ$ durumuna göre azalmaktadır.



Şekil 7.105. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$, 90° ve 180° rüzgarın geliş açılarında dikdörtgen kolektör için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde, binaların çatısına yerleştirilen kolektörler görünüş olarak çirkinlik arz etmektedirler. Bu sebeple; bu tezde, estetik bakımdan göze hoş gelecek şekilde binaların çatısına düz olarak monte edilmiş, ülkemizdeki çatı geometrisine uygun olan kare ve dikdörtgen tip kolektörlerin üst yüzeyinden rüzgardan dolayı zorlanmış konveksiyon ile gerçekleşen ısı kayıplarını incelemek amaç edinilmiş ve bu çalışma sayısal olarak Fluent 6.1.3 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kare ve dikdörtgen geometriye sahip iki katlı gerçek ölçekli evler 1:235 ölçekli olarak küçültülerek hesaplarda kullanılmıştır. Modellemeler için Gambit paket programı kullanılmıştır. Çözüm üç boyutlu olarak ele alınmıştır. Sayısal çalışmada incelenen parametreler; Reynolds sayısı, kolektör tipi, rüzgarın kolektöre gelme yönü β ve çatı eğim α açısından oluşmaktadır. Reynolds sayısının değişim aralığı kolektörün tipine göre değişmiştir. Yukarıda belirtilen her bir kolektör tipi için, çatı eğim açısının $\alpha = 25^\circ$ ve 45° olduğu durumlar ve rüzgarın kolektöre gelme açısı $\beta = 0^\circ$ (rüzgarın kolektöre önden gelme durumu), 90° (rüzgarın kolektöre yandan gelme durumu) ve 180° (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelme durumu) için sayısal çalışmalar yapılmıştır.

Sayısal çalışmalarda kullanılan modeller ve ölçüleri Bölüm 6'da verilmiştir. Sayısal çalışmada elde edilen çözümlerin sonuçları grafikler halinde Bölüm 7'de verilmiştir. Grafiklerdeki veriler kullanılarak evlere yerleştirilen kolektörlerden hava akışı sebebiyle gerçekleşen ısı transferi boyutsuz olarak Reynolds sayısına bağlı olarak korelasyonlar şeklinde ifade edilmiştir. Sayısal çözümlerde elde edilen değerler $Nu = a \times Re^b$ eğrisi ile temsil edilmiştir. Burada a ve b korelasyon katsayılarıdır ve çatı eğim açısı ve rüzgarın geliş açısına göre farklı değerler almıştır. Kare ve dikdörtgen tip kolektörler için; $\alpha = 25^\circ$ ve 45° çatı eğim açılarında, $\beta = 0^\circ$, 90° ve 180° rüzgar geliş açılarındaki sayısal sonuçlar Bölüm 7'de grafikler ile elde edilen

korelasyonlar ise grafiklerin sağ üst köşesinde eğri üzerinde verilmiştir. Eşitliklerdeki a ve b katsayıları, dikdörtgen ve kare tip kolektör için kolektörün $\alpha = 25^\circ$ ve 45° eğim açılarında ve aynı açılarda rüzgarın geliş açısına bağlı olarak Çizelge 8.1. ve Çizelge 8.2.'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Kare tip kolektörler için a ve b katsayıları

	$\beta=0^\circ$		$\beta=90^\circ$		$\beta=180^\circ$	
	a	b	a	b	a	b
$\alpha = 25^\circ$	0,593	0,548	0,615	0,496	0,735	0,483
$\alpha = 45^\circ$	1,573	0,437	0,615	0,492	0,579	0,493

Çizelge 8.2. Dikdörtgen tip kolektörler için a ve b katsayıları

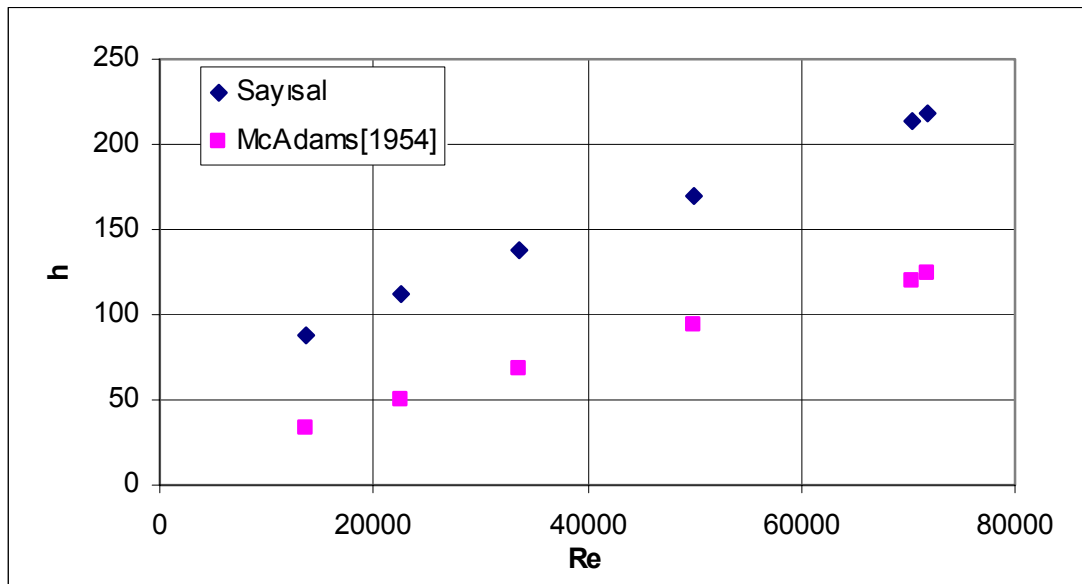
	$\beta=0^\circ$		$\beta=90^\circ$		$\beta=180^\circ$	
	a	b	a	b	a	b
$\alpha = 25^\circ$	0,658	0,534	0,175	0,611	0,441	0,533
$\alpha = 45^\circ$	0,876	0,494	0,302	0,560	0,521	0,502

Kare ve dikdörtgen kolektörler için çatı eğim açısının ısı transferi üzerindeki etkisi örnek olarak $Re=50000$ için Çizelge 8.3'de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi çatı eğim açısı α 'nın artması ile kolektör üzerinden gerçekleşen ısı transferi azalmakta, α 'nın azalmasıyla ise ısı transferi artmaktadır. Örnek olarak $\beta=0^\circ$ rüzgar geliş açısına sahip kare kolektör için çatı eğim açısı $\alpha = 25^\circ$ olduğunda Nusselt sayısı 222,88 iken $\alpha = 45^\circ$ olduğunda Nusselt sayısı 177,90 olmaktadır. Aynı şekilde rüzgar geliş açısına sahip $\beta=90^\circ$ dikdörtgen kolektör için çatı eğim açısı $\alpha = 25^\circ$ olduğunda Nusselt sayısı 130,05 iken $\alpha = 45^\circ$ olduğunda Nusselt sayısı 129,24 olmaktadır.

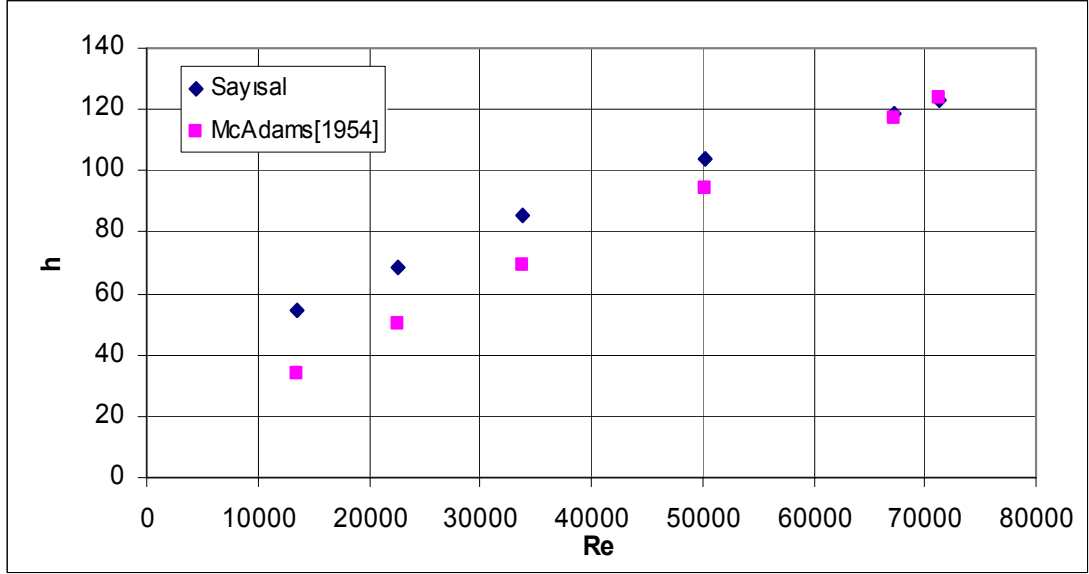
Çizelge 8.3. $Re=50000$ 'de kare ve dikdörtgen tip kolektörler için farklı α ve β değerleri için Nusselt sayısı

	$\beta=0^\circ$		$\beta=90^\circ$		$\beta=180^\circ$	
	Kare	Dikdörtgen	Kare	Dikdörtgen	Kare	Dikdörtgen
$\alpha=25^\circ$	222,88	212,55	131,69	130,05	136,73	140,92
$\alpha=45^\circ$	177,90	183,56	126,11	129,24	120,02	144,64

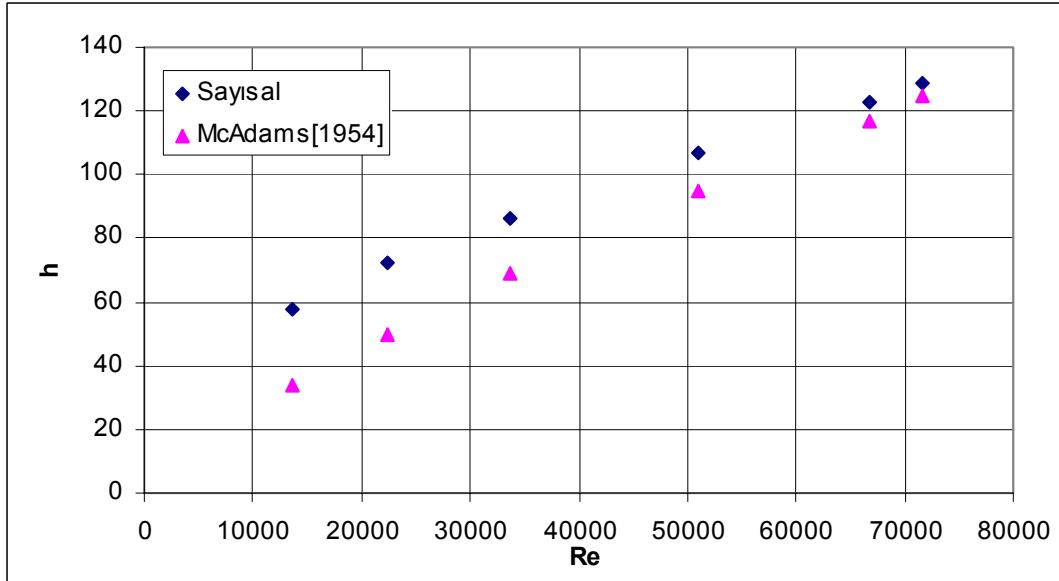
Sayısal çalışmalardan elde edilen değerler ile eşitlikten elde edilen değerler Şekil 8.1 ile Şekil 8.12 arasındaki şekillerde verilmiştir. Sayısal çalışmada elde edilen verilerle McAdams [1954] tarafından verilen Eşitlik 4.1'den elde edilen veriler kıyaslandığında Eşitlik 4.1'in kolektörden olan ısı transferini $\beta=0^\circ$ geliş açısında daha az hesapladığı açıkça görülmektedir. $\beta=90^\circ$ ve 180° rüzgarın geliş açılarındaki yapılan çözümler için ise düşük Reynolds sayılarında Eşitlik 4.1'in sayısal sonuçlara göre daha az hesapladığı, yüksek Reynolds sayılarında ise sayısal çalışma sonuçlarından olan farkın azaldığı görülmüştür.



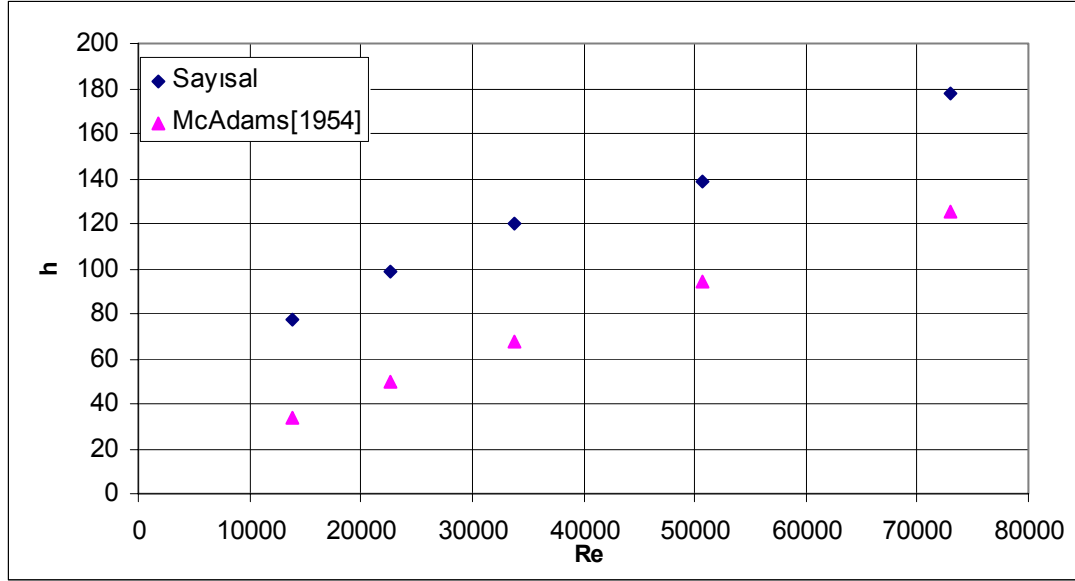
Şekil 8.1. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısı ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



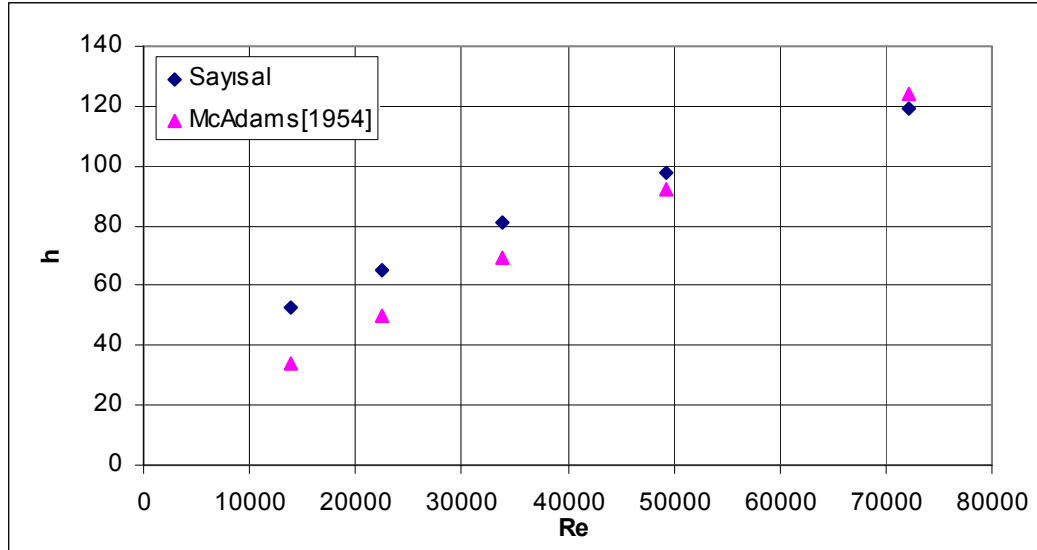
Şekil 8.2. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



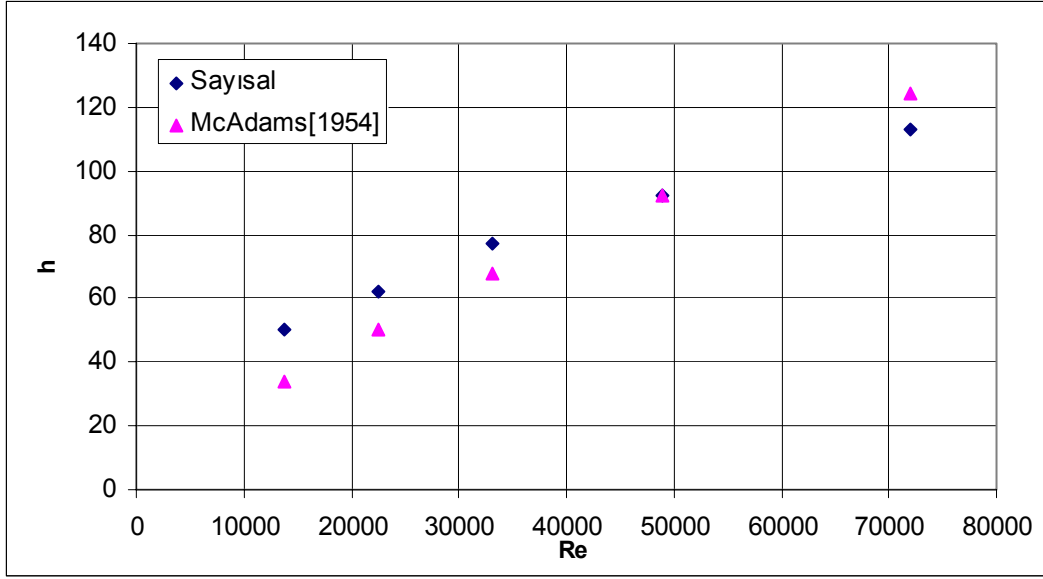
Şekil 8.3. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısı ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



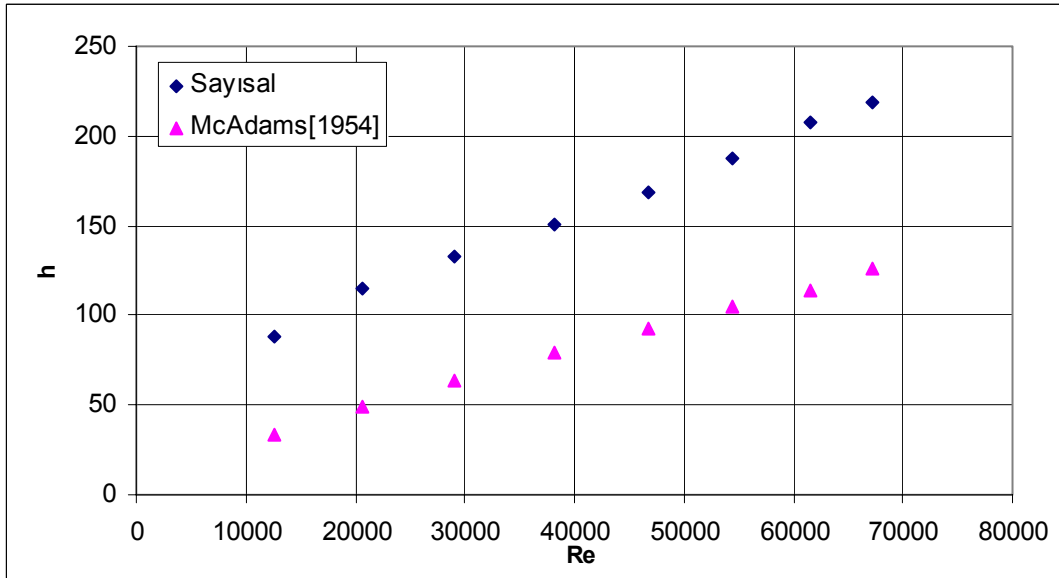
Şekil 8.4. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



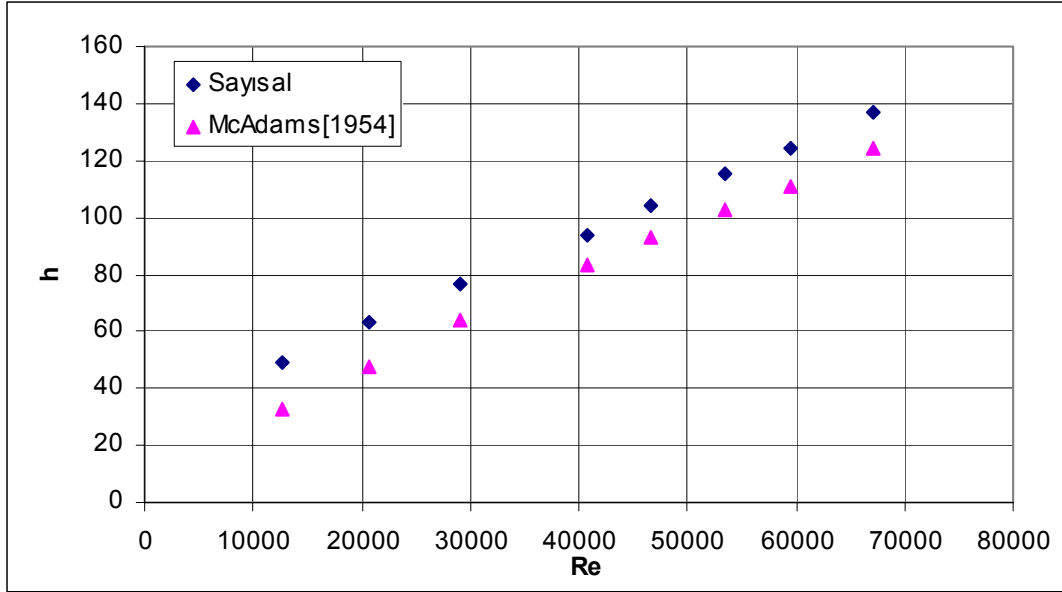
Şekil 8.5. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



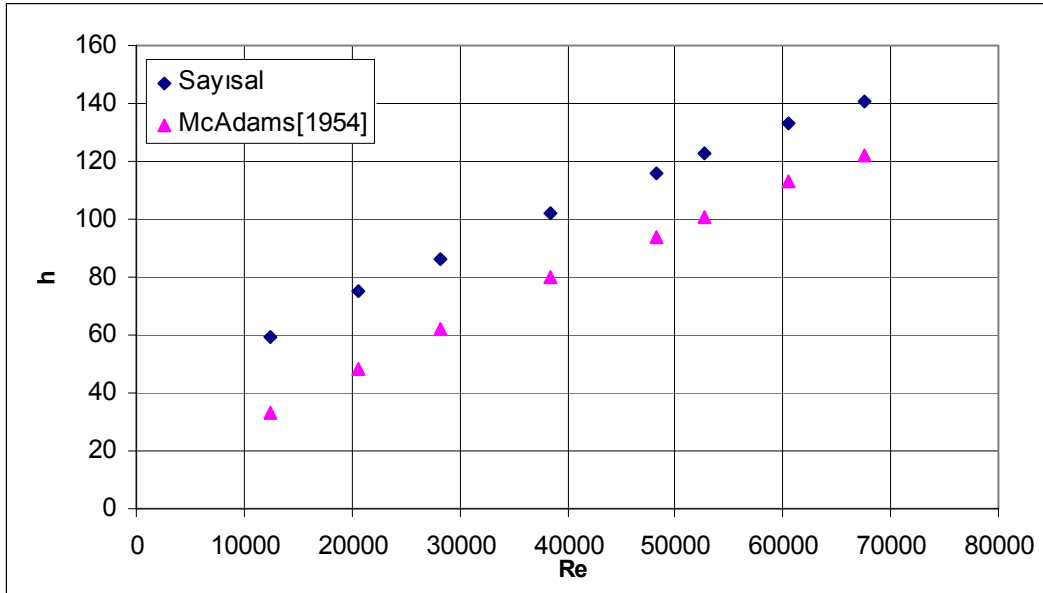
Şekil 8.6. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında kare kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



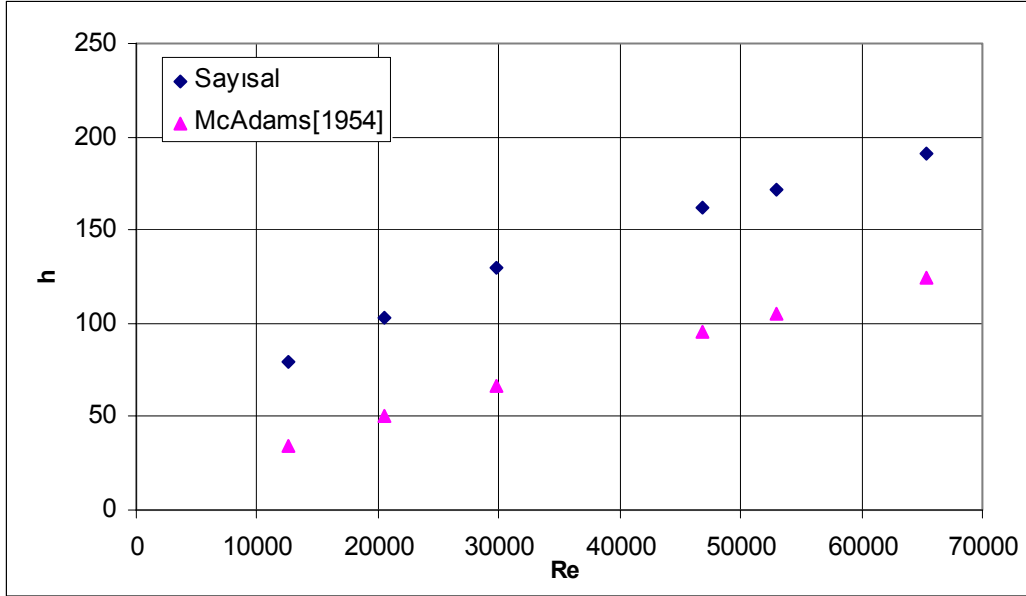
Şekil 8.7. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



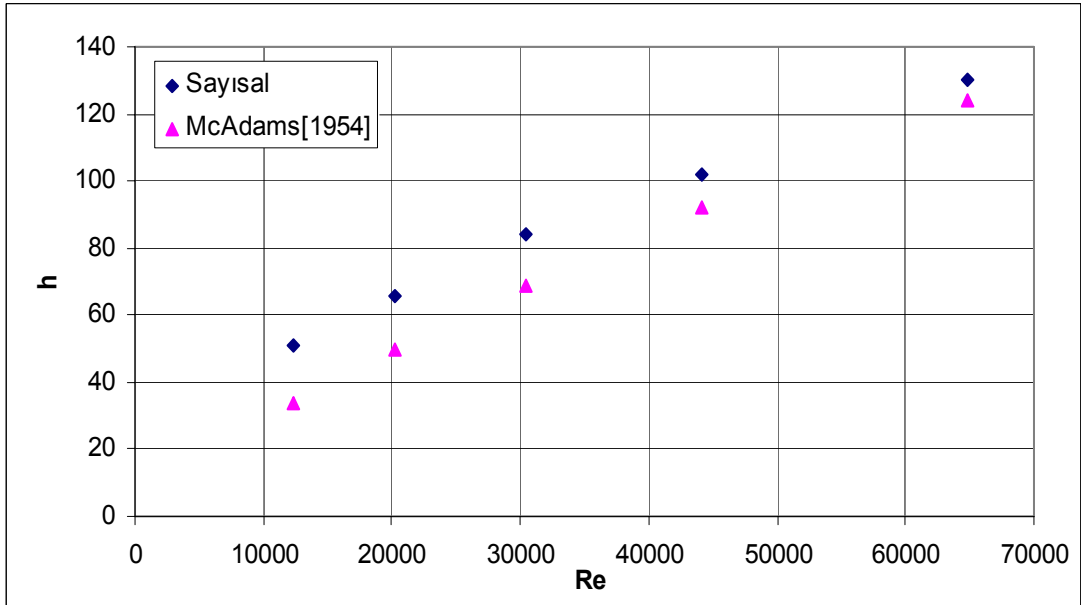
Şekil 8.8. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



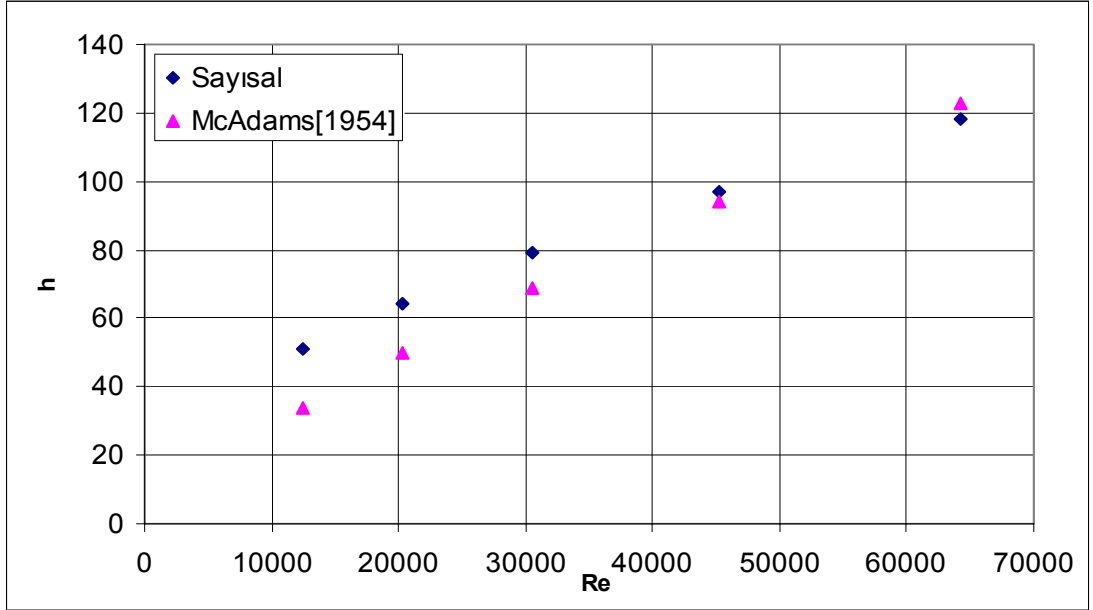
Şekil 8.9. $\alpha=25^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



Şekil 8.10. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=0^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



Şekil 8.11. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=90^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması



Şekil 8.12. $\alpha=45^\circ$ çatı eğim açısında ve $\beta=180^\circ$ rüzgarın geliş açısında dikdörtgen kolektör için sayısal çalışma ve McAdams'ın önerdiği eşitlikten elde edilen değerlerin kıyaslanması

Sayısal çalışmadan çıkarılan sonuçlar şu şekildedir;

- ❖ Beklenildiği üzere Reynolds sayısının (veya rüzgar hızının) artması ile Nu sayısının (yani ısı kaybının) arttığı görülmüştür.
- ❖ Beklenildiği gibi artan rüzgar hızı ile ısı sınır tabaka kalınlığının azaldığı görülmüştür.
- ❖ Kare ve dikdörtgen tip kolektörler ile yapılan sayısal çalışmanın sonuçlarına göre evin üzerine yerleştirilen kolektörlerden olan ısı kaybının çatı eğim açısına bağlı olduğu görülmüştür.
- ❖ Kolektörün üst yüzeyinden gerçekleşen ısı transferi rüzgarın eve geliş açısına, diğer bir ifade ile söylemek gerekirse; rüzgarın eve gelme yönüne bağlı olduğu görülmüştür. En fazla ısı kaybı rüzgarın kolektöre $\beta=0^\circ$ (rüzgarın kolektöre önden gelmesi durumu) açısında gelmesi durumunda meydana gelmiştir. En düşük ısı kaybı ise $\beta=180^\circ$ (rüzgarın kolektöre arka taraftan gelmesi durumu) açısında gelmesi durumunda meydana gelmiştir.

- ❖ Eşitlik 4.1'in kolektörden olan ısı transferini daha az hesapladığı görülmüştür.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalar için öneriler:

Burada problem zorlanmış akış şartlarında incelenmiştir. Gerçekte ise kolektör üzerinde hem zorlanmış hem de doğal konveksiyonla ısı transferi gerçekleşebilir. Ayrıca ışınlama da ısı kaybı olmaktadır. Bundan dolayı karışık konveksiyon şartlarında çalışmalar devam ettirilebilir.

KAYNAKLAR

Drake, R. M. and Berkeley, Jr., "Investigation of the variation of point unit heat transfer coefficient for laminar flow over an inclined flat plate", **Journal of Applied Mechanics**, 71: 1-8 (1949).

Duffie, J. A. and Beckman, W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes 2nd ed", **John Wiley and Sons** (1991).

Fluent 6.1.3 User Guide, Chapter 10.

Jurges, I. W., **Gesundheits-Ingenieur**, 19:1 (1924).

Kılıç, A. ve Öztürk, A., "Güneş enerjisi", **Kipaş Yayıncılık**, İstanbul : 1-120 (1993).

Kind, R. J. and Kitaljevich, D., "Wind-induced heat losses from solar collector arrays on flat-roofed buildings, **Journal of Solar Energy Engineering**, 107: 335-342 (1985).

Kowalski, G. J. and Mitchell, J. W., "Heat transfer from spheres in the naturally turbulent, outdoor environment", **Journal of Heat Transfer**, 98: 649-653 (1976).

Krieth, F. and Krieder, J.F., "Principles of solar engineering", **Mc Graw Hill**, New York , 139 (1978).

Kumar, S., Sharma, V. B. and Kandpal, T. C., "Wind induced heat losses from outer cover of solar collectors", **Renewable Energy**, 10: 613-616 (1996).

Lloyd, J. R. and Moran, W. R., "Natural convection adjacent to horizontal surface of various planforms ", **ASME Journal of heat transfer**, 96: 443-447 (1974).

McAdams, W. A., "Heat Transmissions", 2nd ed., **Mc Graw Hill**, New York , 249 (1954).

McCormick, D. C., Test, F. L. and Lessmann, R. C., "The effect of free-stream turbulence on heat transfer from a rectangular prism", **Transactions of the ASME**, 106: 268-275 (1984).

Onur, N., "Forced convection heat transfer from a flat plate model collector on roof a model house", **Warme-und Stoffübertragung**, 28: 141-145 (1993).

Oosthuizen, P. H. and Naylor, D., "Introduction to Convective and Mass transfer Analysis", **Mc Graw Hill**, New York ,(1999).

Sartori, E., "Convection coefficient equations for forced air flow over flat surface", ***Solar Energy***, 190: 404-425 (2005).

Sharples, S., "Full-scale measurement of convective energy losses from exterior building Surfaces ", ***Building an Envionment***, 19: 31-39 (1984).

Sharples, S. and Charlesworth, P. S., "Full Scale measurements of wind induced convective transfer form a roof-mounted flat plate solar collector" , ***Solar Energy***, 62: 69-77 (1997).

Sparrow, E. M., Samie, F. and Lau, S. C., "Heat transfer from a plate elevated above a host surface and washed by a separated flow induced by elevation step", ***Journal of Heat Transfer***, 103: 441-447 (1981).

Sparrow, E. M., Nelson, J. W. and Lau, S. C., "Wind related heat transfer coefficients for leeward-facing solar collectors", ***ASHRAE Transactions*** , 87: 70-79 (1979).

Sparrow, E. M. and Tien, K. K., "Forced convection heat transfer at an inclined and yawed square plate-appication to solar collectors", ***Journal of Heat Transfer***, 99: 507-512 (1977).

Test, F. L., Lessmann, R. C. and Johary, A., "Heat transfer during wind flow over rectangular bodies in the natural enviroment", ***Transactions of the ASME***, 103: 262-267 (1981).

Tien, K. K. and Sparrow, E. M., "Local heat transfer and fluid flow Characteristics for airflow oblique or normal to a square plate", ***Int. J. Heat and Mass Transfer***, 22: 349-360 (1979).

Turgut, O., "Güneş kolektörü olarak kullanılan bir evin çatısının dış yüzeyinden zorlanmış konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferinin incelenmesi", **Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :DENİZ, Zafer
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 30.08.1983 Kırşehir
 Medeni hali : Bekar
 e-mail : zfrdeniz@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği Bölümü	2008
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	2004
Lise	Sincan Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007- 2008	Altan Group	Proje Mühendisi
2008-	Yapı Proje Uygulama	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

3D modelleme, Futbol, Photoshop, Tenis, Bilgisayar teknolojileri