

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
TARIMSAL YAPILAR VEL SULAMA ANA BİLİM DALI**



**FARKLI SERA YÖNÜ VE HAVALANDIRMA AÇIKLIKLI  
SERALARDA MİKRO-İKLİM ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Muminah MUSTAQIMAH**

Danışman

**Prof. Dr. Bilal CEMEK**

SAMSUN  
2021

## TEZ KABUL VE ONAYI

Muminah MUSTAQIMAH tarafından, Prof. Dr. Bilal CEMEK danışmanlığında hazırlanan “Farklı Sera Yönü ve Havalandırma Açıklıklı Seralarda Mikro-İklim Analizi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 12.7.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

|                             | Unvanı Adı Soyadı<br>Üniversitesi<br>Ana Bilim/Ana Sanat Dalı             | İmza | Sonuç                                    |
|-----------------------------|---|------|--|
| <b>Başkan</b><br>(Danışman) | Prof. Dr. Bilal CEMEK   |      | <input checked="" type="checkbox"/>      |
|                             | Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Tarımsal Yapılar ve Sulama<br>Anabilim Dalı |      | Kabul<br><input type="checkbox"/><br>Ret |
| <b>Üye</b>                  | Prof. Dr. Zeki GÖKALP   |      | <input checked="" type="checkbox"/>      |
|                             | Erciyes Üniversitesi<br>Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı              |      | Kabul<br><input type="checkbox"/><br>Ret |
| <b>Üye</b>                  | Prof. Dr. Hakan ARSLAN  |      | <input checked="" type="checkbox"/>      |
|                             | Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Tarımsal Yapılar ve Sulama<br>Anabilim Dalı |      | Kabul<br><input type="checkbox"/><br>Ret |

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY  
... / ... / ...  
Prof. Dr. Ali BOLAT  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Dönem Projesi tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

İmza

17 / 07 / 2021

Muminah MUSTAQIMAH

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı :** Farklı Sera Yönü ve Havalandırma Açıklıklı Seralarda Mikro-İklim Analizi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 09.06.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

İmza

17 / 07 / 2021

Prof. Dr. Bilal CEMEK

## ÖZET

### FARKLI SERA YÖNÜ VE HAVALANDIRMA AÇIKLIKLI SERALARDA

#### MİKRO-İKLİM ANALİZİ

Muminah MUSTAQİMAH

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Temmuz/2021

Danışman: Prof. Dr. Bilal CEMEK

Sera içindeki hava akışının dağılımı, mikro iklim koşullarının bitki büyümesi ve üretkenliğine uygun hale getirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Sera yönü ve havalandırma açıklığı hava girişinin açısını belirlemekte ve dolayısıyla havalandırma oranını etkilemektedir. Bu çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanarak, farklı sera yönü ve havalandırma açıklıklı sera mikro-iklim koşullarına etkisi değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Model 1 ve Model 2 seralarında güney duvar açıklığı ve güney çatı açıklığı bulunmaktadır. Model 1 için duvar açıklığı 45°, Model 2 ise 35°dir. Model 3 seralarında güney çatı açıklığı var, ve hem kuzey hem de güney duvar açıklığı vardır. Model 4 ise güney ve kuzey duvar ve çatı açıklığı vardır. Model 5 için çatı açıklığı olmadan sadece güney ve kuzey duvar açıklığı vardır. Model 6 ise duvar açıklığı olmadan sadece güney ve kuzey çatı açıklığı vardır. Her bir modelde 7 farklı sera yönü 90° den 0° kadar 15° aralıkla etkisi incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler deneysel verilerle doğrulanarak ve her model için hava akışının dağılımı, sıcaklık ve bağıl nem değerleri belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında iyi bir uyum elde edilmiştir. İncelenen modellerden Model 1 ve Model 2 seralarında sera içinde yeterli hava akışı gözlenmemiştir. Simülasyon sonuçlarından, Model 1 serası için en iyi yönün 45°, Model 2 serası için ise 75° olduğu belirlenmiştir. Model 3, Model 4 ve Model 5 seralarında ise kuzey duvar açıklığı mevcuttur. Bu nedenle sera içindeki hava sirkülasyonu önceki modellere göre daha iyi olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde Model 3, Model 4 ve Model 5 seraları için en iyi yönden iç ortam hava dağılımlarını sırasıyla 45°, 75° ve 60° olarak belirlenmiştir. Son olarak Model 6 serası için 60° en iyi yön olarak önerilmiştir. HAD simülasyon yönteminin, seralarda iç ortam koşullarının incelenmesinde ve tahmin edilmesinde etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Bu sayısal yöntem sayesinde, farklı koşullar için en uygun sera modelini daha kısa sürede ve daha az maliyetle belirlemek mümkün olabilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, sera, mikro iklim, yön.

## ABSTRACT

### GREENHOUSE MICRO-CLIMATE ANALYSIS IN DIFFERENT GREENHOUSE DIRECTION AND VENTILATION OPENING

Muminah MUSTAQIMAH

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Agricultural Building and Irrigation

Master, July/2021

Supervisor: Prof. Dr. Bilal CEMEK

Air flow and air distribution in the greenhouse are playing important roles in greenhouse microclimate conditions that support plant growth and productivity. Different greenhouse model and directions may affect the air intake and ventilation rate, thus causing variation of greenhouse micro-climate conditions. This study aimed to evaluate the greenhouse micro-climate conditions in different greenhouse ventilation opening and direction using Computational Fluid Dynamics (CFD) method. By validating the simulation results with experimental data, the airflow pattern, temperature, and relative humidity is obtained for each model in different greenhouse direction. Greenhouse Model 1 and Model 2 has south roof and wall opening. However, Model 1 had 45° wall opening, while Model 2 had 35° wall opening. Model 3 had not only south roof and south wall opening, but also north wall opening. Model 4 had both north and south roof and wall opening. For Model 5, it had only north and south wall opening without and roof opening. Lastly for Model 6, it had only north and south roof opening without any wall opening. Each of the Model was observed in 7 different direction from 90° to 0° with 15° apart. The statistical parameters for model performance evaluation showed a good agreement between simulation and experiments data. There were no sufficient airflow coming through the greenhouse for Model 1 and Model 2. The best direction for Model 1 greenhouse was 45°, while for Model 2 greenhouse was 75°. Model 3, Model 4 and Model 5 greenhouse has a northern wall opening, thus the air circulation inside the greenhouse was better than the previous models. The best direction for Model 3, Model 4 and Model 5 greenhouse was 45°, 75°, and 60° respectively. Lastly, Model 6 greenhouse was having the best direction at 60°. CFD simulation method is proven to be beneficial and effective way to observe and predict greenhouse micro climate condition. This method could provide sufficient information to determine the suitable greenhouse model in different places and conditions within less time and cost.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics (CFD), greenhouse, micro-climate, direction

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki destek ve katkılarından dolayı danışmanım Prof. Dr. Bilal CEMEKe teşekkürlerimi sunarım. Özellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği konusunda bana her zaman yardım eden Dr. Erdem KÜÇÜKTOPCU'ya, Samsundaki Endonezyalı arkadaşlarıma, ve Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümündeki arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince yanımda olan aileme, sevgili anneme ve özlediğim rahmetli babama sonsuz teşekkür ederim.

Muminah MUSTAQIMAH

## İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ÖZET</b> .....  | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                      | <b>iv</b>   |
| <b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR</b> .....                             | <b>v</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....                                   | <b>vi</b>   |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....                       | <b>viii</b> |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....                               | <b>ix</b>   |
| <b>TABLolar DİZİNİ</b> .....                               | <b>xi</b>   |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....                                      | <b>1</b>    |
| <b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....                            | <b>3</b>    |
| 2.1. Sera.....   | 3           |
| 2.2. Mikro İklim .....                                     | 3           |
| 2.3. Akışkanlar Mekaniği .....                             | 5           |
| 2.4. Isı İletimi .....                                     | 6           |
| 2.5. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) .....           | 7           |
| 2.6. Türbülans Modeli .....                                | 11          |
| 2.7. Yüzeyden Yüzeye (S2S) Radyasyon Modeli .....          | 11          |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....                         | <b>13</b>   |
| 3.1. Materyal.....   | 13          |
| 3.1.1. Araştırma alanı ve iklimsel özellikleri.....        | 13          |
| 3.1.2. Çalışmada kullanılan ekipmanlar ve yazılımlar ..... | 15          |
| 3.2. Yöntem .....  | 16          |
| 3.2.1. Deneysel Yöntem.....                                | 16          |
| 3.2.2. Sayısal Yöntem.....                                 | 17          |
| 3.2.3. Model Doğrulanması Analiz.....                      | 20          |
| 3.2.4. Tekdüzelik İndeksi.....                             | 20          |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....                       | <b>22</b>   |
| 4.1. Model Doğrulanmasının Analizi .....                   | 22          |
| 4.2. Simulasyon Sonuçları.....                             | 24          |
| 4.2.1. Model 1 .....                                       | 24          |
| 4.2.2. Model 2 .....                                       | 32          |
| 4.2.3. Model 3 .....                                       | 40          |
| 4.2.4. Model 4 .....                                       | 49          |
| 4.2.5. Model 5 .....                                       | 56          |
| 4.2.6. Model 6.....  | 64          |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>5. SONUÇ .....</b> | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>75</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| %              | : Yüzde                           |
| HAD            | : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği |
| m              | : Metre                           |
| m <sup>2</sup> | : Metrekare                       |
| °C             | : Derece Santigrad                |
| sn             | : Saniye                          |
| dk             | : Dakika                          |
| m <sup>3</sup> | : Metreküp                        |
| h              | : Saat                            |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1. Serada ısı transferi süreci (Suhardiyanto, vd., 2009).....  | 4  |
| Şekil 2.2. Diferansiyel kontrol hacminin her bir yüzünden kütlelerin girişi veya çıkışı.<br>.....                                    | 8  |
| Şekil 2.3. x yönünde etki eden yüzey kuvvetleri .....  | 9  |
| Şekil 2.4. Yüzeyden Yüze radyasyon modeli (Asinari, 2007).....   | 12 |
| Şekil 3.1. 41.4N-36.4E koordinatındaki ECMWF operasyonel arşiv tahmininden yıllık<br>ve mevsimsel rüzgar gülleri (Yılmaz, 2018)..... | 14 |
| Şekil 3.2. Araştırmanın yürütüldüğü seranın genel görünümü .....   | 14 |
| Şekil 3.3. Farklı sera modeli (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3 (d) Model 4 (d)<br>Model 5 (e) Model 6 .....                       | 15 |
| Şekil 3.4. Rüzgar yönüne göre farklı sera yönü .....   | 15 |
| Şekil 3.5. Veri toplama için kullanılan termometre, anemometre ve termal kamera.   | 16 |
| Şekil 3.6. Sera ölçüm noktaları .....  | 17 |
| Şekil 3.7. termal kamera, termometre ve anemometre kullanarak veri toplama.....  | 17 |
| Şekil 3.8. Sera simülasyonu için ağ yapılandırması.....  | 18 |
| Şekil 4.1. Ölçülen ve simüle edilen hava hızının dağılımı.....   | 23 |
| Şekil 4.2. Ölçülen ve simüle edilen sıcaklığın dağılımı .....  | 23 |
| Şekil 4.3. Ölçülen ve simüle edilen bağıl nemin dağılımı .....   | 23 |
| Şekil 4.4 Ön ve üst kesitten sera Model 1 için hız vektörleri .....  | 25 |
| Şekil 4.5. Ön kesitten sera Model 1 için hava hızı dağılımı .....  | 26 |
| Şekil 4.6. Yan kesitten sera Model 1 için hava hızı dağılımı.....  | 26 |
| Şekil 4.7. Üst kesitten sera Model 1 için hava hızı dağılımı.....  | 27 |
| Şekil 4.8. Ön kesitten sera Model 1 için sıcaklık dağılımı .....   | 28 |
| Şekil 4.9. Yan kesitten sera Model 1 için sıcaklık dağılımı.....   | 29 |
| Şekil 4.10. Üst kesitten sera Model 1 için sıcaklık dağılımı .....   | 29 |
| Şekil 4.11. Ön kesitten sera Model 1 için bağıl nem dağılımı .....   | 30 |
| Şekil 4.12. Yan kesitten sera Model 1 için bağıl nem dağılımı .....  | 31 |
| Şekil 4.13. Üst kesitten sera Model 1 için bağıl nem dağılımı .....  | 31 |
| Şekil 4.14. Ön ve üst kesitten sera Model 2 için hız vektörleri .....  | 33 |
| Şekil 4.15. Ön kesitten sera Model 2 için hava hızı dağılımı .....   | 34 |
| Şekil 4.16. Yan kesitten sera Model 2 için hava hızı dağılımı.....   | 34 |
| Şekil 4.17. Üst kesitten sera Model 2 için hava hızı dağılımı.....   | 35 |
| Şekil 4.18. Ön kesitten sera Model 2 için sıcaklık dağılımı.....   | 36 |
| Şekil 4.19. Yan kesitten sera Model 2 için sıcaklık dağılımı.....  | 37 |
| Şekil 4.20. Üst kesitten sera Model 2 için sıcaklık dağılımı.....  | 37 |
| Şekil 4.21. Ön kesitten sera Model 2 için bağıl nem dağılımı .....   | 39 |
| Şekil 4.22. Yan kesitten sera Model 2 için bağıl nem dağılımı .....  | 39 |
| Şekil 4.23. Üst kesitten sera Model 2 için bağıl nem dağılımı .....  | 39 |
| Şekil 4.24. Ön ve üst kesitten sera Model 3 için hız vektörleri .....  | 41 |
| Şekil 4.25. Ön kesitten sera Model 3 için hava hızı dağılımı .....   | 42 |
| Şekil 4.26. Yan kesitten sera Model 3 için hava hızı dağılımı.....   | 43 |
| Şekil 4.27. Üst kesitten sera Model 3 için hava hızı dağılımı.....   | 43 |
| Şekil 4.28. Ön kesitten sera Model 3 için sıcaklık dağılımı.....   | 44 |
| Şekil 4.29. Yan kesitten sera Model 3 için sıcaklık dağılımı.....  | 45 |
| Şekil 4.30. Üst kesitten sera Model 3 için sıcaklık dağılımı .....   | 45 |
| Şekil 4.31. Ön kesitten sera Model 3 için bağıl nem dağılımı .....   | 47 |
| Şekil 4.32. Yan kesitten sera Model 3 için bağıl nem dağılımı .....  | 47 |
| Şekil 4.33. Üst kesitten sera Model 3 için bağıl nem dağılımı .....  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.34. Ön ve üst kesitten sera Model 4 için hız vektörleri ..... | 50 |
| Şekil 4.35. Ön kesitten sera Model 4 için hava hızı dağılımı .....    | 50 |
| Şekil 4.36. Yan kesitten sera Model 4 için hava hızı dağılımı.....    | 51 |
| Şekil 4.37. Üst kesitten sera Model 4 için hava hızı dağılımı.....    | 51 |
| Şekil 4.38. Ön kesitten sera Model 4 için sıcaklık dağılımı.....      | 53 |
| Şekil 4.39. Yan kesitten sera Model 4 için sıcaklık dağılımı.....     | 53 |
| Şekil 4.40. Üst kesitten sera Model 4 için sıcaklık dağılımı .....    | 54 |
| Şekil 4.41. Ön kesitten sera Model 4 için bağıl nem dağılımı .....    | 55 |
| Şekil 4.42. Yan kesitten sera Model 4 için bağıl nem dağılımı .....   | 55 |
| Şekil 4.43. Üst kesitten sera Model 4 için bağıl nem dağılımı .....   | 56 |
| Şekil 4.44. Ön ve üst kesitten sera Model 5 için hız vektörleri ..... | 58 |
| Şekil 4.45. Ön kesitten sera Model 5 için hava hızı dağılımı .....    | 58 |
| Şekil 4.46. Yan kesitten sera Model 5 için hava hızı dağılımı.....    | 59 |
| Şekil 4.47. Üst kesitten sera Model 5 için hava hızı dağılımı.....    | 59 |
| Şekil 4.48. Ön kesitten sera Model 5 için sıcaklık dağılımı.....      | 60 |
| Şekil 4.49. Yan kesitten sera Model 5 için sıcaklık dağılımı.....     | 61 |
| Şekil 4.50. Üst kesitten sera Model 5 için sıcaklık dağılımı.....     | 61 |
| Şekil 4.51. Ön kesitten sera Model 5 için bağıl nem dağılımı .....    | 63 |
| Şekil 4.52. Yan kesitten sera Model 5 için bağıl nem dağılımı .....   | 63 |
| Şekil 4.53. Üst kesitten sera Model 5 için bağıl nem dağılımı .....   | 63 |
| Şekil 4.54. Ön ve üst kesitten sera Model 6 için hız vektörleri ..... | 65 |
| Şekil 4.55. Ön kesitten sera Model 6 için hava hızı dağılımı .....    | 66 |
| Şekil 4.56. Yan kesitten sera Model 6 için hava hızı dağılımı.....    | 66 |
| Şekil 4.57. Üst kesitten sera Model 6 için hava hızı dağılımı.....    | 67 |
| Şekil 4.58. Ön kesitten sera Model 6 için sıcaklık dağılımı.....      | 68 |
| Şekil 4.59. Yan kesitten sera Model 6 için sıcaklık dağılımı.....     | 68 |
| Şekil 4.60. Üst kesitten sera Model 6 için sıcaklık dağılımı .....    | 69 |
| Şekil 4.61. Ön kesitten sera Model 6 için bağıl nem dağılımı .....    | 70 |
| Şekil 4.62. Yan kesitten sera Model 6 için bağıl nem dağılımı .....   | 71 |
| Şekil 4.63. Üst kesitten sera Model 6 için bağıl nem dağılımı .....   | 71 |

## TABLolar DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Tablo 3.1. Samsun iklimi 1929-2019 (MGM, 2020) .....                              | 13 |
| Tablo 3.2. Simülasyon ayarları ve sınır koşulları .....                           | 19 |
| Tablo 4.1. Model performans değerlendirmesi için istatistiksel parametreler ..... | 24 |
| Tablo 4.2. Sera Model 1 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....        | 28 |
| Tablo 4.3. Sera Model 1 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması .....         | 30 |
| Tablo 4.4. Sera Model 1 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması .....        | 32 |
| Tablo 4.5. Sera Model 2 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....        | 35 |
| Tablo 4.6. Sera Model 2 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması .....         | 38 |
| Tablo 4.7. Sera Model 2 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması .....        | 40 |
| Tablo 4.8. Sera Model 3 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....        | 44 |
| Tablo 4.9. Sera Model 3 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....        | 46 |
| Tablo 4.10. Sera Model 3 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması .....       | 48 |
| Tablo 4.11. Sera Model 4 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....       | 52 |
| Tablo 4.12. Sera Model 4 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması .....        | 54 |
| Tablo 4.13. Sera Model 4 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması .....       | 56 |
| Tablo 4.14. Sera Model 5 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....       | 60 |
| Tablo 4.15. Sera Model 5 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması .....        | 62 |
| Tablo 4.16. Sera Model 5 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması .....       | 64 |
| Tablo 4.17. Sera Model 6 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması .....       | 67 |
| Tablo 4.18. Sera Model 6 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması .....        | 69 |
| Tablo 4.19. Sera Model 6 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması .....       | 72 |

# 1. GİRİŞ

Seralar, yazın aşırı sıcak, kışın soğuk gibi çeşitli iklim koşullarında bitki büyümesini desteklemek için plastik, cam veya fiberglastan yapılmış kapalı yapılardır. Sera için kullanılan ışığı geçiren malzeme, bitkinin büyüme ve gelişmesi için gerekli güneş ışığını sağlamasının yanı sıra bitkiyi olumsuz çevre koşullarından korumaktadır. bitkiyi Seralar iç ortam çevre koşullarının en uygun şekilde ayarlanarak kontrol edilebilmesini sağladığı için modern tarım sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Seralar ekim yapılmayan mevsimlerde tarımsal üretimi desteklemekle amacıyla kurulan yapılardır. Bu yapılarda bitkilerinin ihtiyaçlarına göre en uygun iklimsel çevre ısıtma ve soğutma uygulamaları ile sağlanabilmektedir. Bu sayede bitkilerin yetiştirme zamanı, kalitesi ve miktarı üzerinde önemli etkiye sahiptirler (Canakci, vd., 2013).

Türkiye’de toplam ekili tarım arazisi alanı çok büyük olmasına rağmen (24.5 milyon ha), ortalama arazi büyüklüğü 5.9 ha’dır (Keskin ve Sekerli, 2016). Türkiye’deki arazilerin büyük bölümünde tarla bitkileri (% 25,7), yem bitkileri (% 21,8) ve üzümü meyveler (%19,8) yetiştirilmektedir (Berk, 2013). 2014 yılından beri Türkiye’de seralardan elde edilen toplam tarım ürünü 6,6 milyon ton ve bu ürünlerden yaklaşık 16 milyon liralık gelir elde edilmiştir. Seralardan elde edilen ürünlerin büyük bir kısmı Türkiye’de iç tüketimi karşılamaktayken, %15 civarında ürün ise ihraç edilmektedir. 2011 yılında toplam 51 ilde sera üretiminden yararlanılmışken, 2014 yılında ise bu rakam 70’lere ulaşmıştır (Doğaka, 2015).

Sera içindeki hava akışının dağılımı, bitki büyümesi ve üretkenliği için gereklidir. Sera yönü ve çatı modeli hava girişinin açısını belirlemekte ve dolayısıyla havalandırma oranını etkilemektedir. (Teitel, vd., 2008). Çatı açısı seranın içindeki ısıyı azaltmak ya da yükseltmek için bir çözüm olarak düşünülmelidir (Tashoo, vd., 2014)

Farklı çatı modellerinin hava akışına etkileri konusunda da araştırmalar yapılmıştır. Fakat, farklı sera yönleri ve çatı modellerinin kombinasyonlarının sera içi hava dağılımına etkisi çok fazla incelenmemiştir. Belirtilen bu problemim çözümüne yönelik olarak bu tez çalışması yapılmıştır.

Hesaplmalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonu ile sera içindeki hava sıcaklığını tahmin etmek ve seralar kurulmadan önce hava akışını gözlemlemek

mümkündür (Erizal ve Romdhonah, 2012). HAD, atmosfer ve sera yüzeyi içerisindeki radyasyon değişimini birleştiren ve su buharı transferini dikkate alan bir tekniktir (Molina-Aiz, vd., 2010). Simülasyonlar sayesinde sera kurulmadan önce mikro iklim koşulları hakkında ön bilgi sahibi olmak için kullanılmaktadır.

Bu araştırmada HAD yöntemi kullanılarak, farklı sera yönü ve havalandırma açıklığı sera içi iklim koşullarına olan etkisi değerlendirilmiştir. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, sera uygulama alanında yer alan bir doğal havalandırılmalı sera materyal olarak seçilmiştir. Çalışmada seralarda doğal havalandırma simülasyonu için HAD çözücüsü olarak kullanılan farklı ayırıklaştırma yöntemlerinin etkinliği üzerine bir araştırma yapılarak, doğal havalandırmanın sorunları tartışılmıştır.

Seranın uzun ekseninin konumunun yedi farklı durumda olduğu ve altı farklı havalandırma açıklığı kullanılarak iç ortam koşulları simüle edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler deneysel verilerle doğrulanmış ve farklı sera yönündeki her model için hava dağılımı, sıcaklık ve bağıl nem için sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak bölge için en uygun sera havalandırma açıklığı ve seranın konumu (yönü) belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Sera

Sera teknolojisindeki ilerleme sayesinde, pazarın yüksek kaliteli tarım ürünlerine olan talebi artmıştır (Aldrich ve Bartok, 1994). Seralar, ekili alanların azalmasıyla birlikte bitkisel üretim ihtiyacının tamamlanması için mevcut bir çözüm olarak görülebilir. Ayrıca seralar, arazinin ve diğer kaynakların daha verimli kullanılması için en iyi alternatifi sağlayabilmektedirler (Mahajan ve Singh, 2006).

Seralar, genel olarak yıl boyunca bitki büyümesi ve üretimi için en uygun ortamı sağlayan yapılar olarak ifade edilebilir. Bitki verimini artırmak ve ekim dönemi boyunca en uygun ortamı sağlamak için sera içerisinde ışık, sıcaklık, nem ve hava bileşimi gibi bazı mikro iklim faktörleri kontrol edilmelidir (Canakci, vd., 2013).

Türkiye’de seralarda tarımsal üretimin başlangıcı 1940 yılında Antalya’da gerçekleşmiştir. 1940-1960 yıllarında Antalya ve İzmir bölgesinde seracılığın yavaş geliştiği bilinmektedir. Bu yıllardan sonra plastik örtü malzemeli seralara geçilmiş ve alçak tünel kullanımı da artmıştır. 1990-1997 yılları arasında toplam sera alanı % 64,5, alçak tünel alanı ise % 9 artmıştır (Sevgican, vd., 2000).

Sera içi ve alçak plastik tüneller altında yapılan üretim, örtü altı yetiştiriciliği olarak kabul edilmektedir. 2013 yılında, toplam örtü altı alanı 61.512,4 ha'ya ulaşmış olup, bunun % 74’ü sera, geri kalanı ise alçak plastik tünel alanlarını oluşturmaktadır. Polietilen (PE) serasında % 67,3 ve yüksek tünel alanlarında % 60,4'lük bir artış olmuş ve son on yılda örtü altı yetiştiriciliğinde toplamda yaklaşık % 27,3'lük bir artış görülmüştür. Sera alanı yaklaşık % 15,2 artarken, alçak plastik tünel alanı her yıl ürün fiyatlarındaki farklılıklar nedeniyle azalmıştır (Tuzel ve Oztekin, 2014).

### 2.2. Mikro İklim

Sera içindeki mikro iklim durumu etrafındaki duruma göre farklı olduğundan sera etkisi denen bir olgunun oluşmasına neden olmaktadır. Bu mikro iklim koşulu ışık, sıcaklık, havalandırma ve nemi, bunlara bağlı olarak bitkisel üretimi doğrudan etkilemektedir. Sera içindeki ısı transferi Şekil 1’de görülebilmektedir (Bot, 1983). Sera etkisine neden olan faktörler:

1. Seraların kapalı ortam olmasından dolayı, iç ortamda hava akışı çok azdır Bu durum hava değişimini sınırlar ve sera içindeki sıcaklığın dış ortamdan daha yüksek olma eğilimi ortaya çıkmaktadır.



yapılmıştır. Havalandırma oranlarını ölçmek için üç farklı model kullanılmıştır. Genel olarak, havanın tipik olarak rüzgar altı vantilatörlerinden girdiği ve rüzgarın ters yönündeki vantilatörlerden alındığı bulunmuştur.

Akdeniz'de sebze üretimi için yaygın olan doğal olarak havalandırılan bir yapı olan parral sera modelinde (Brugger, vd., 2004), sürekliliği sayısal olarak çözmek için HAD modelleri kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Bu model kullanıldığında, 2 m/sn rüzgar hızında, çatı eğiminde herhangi bir etkisi bulunmamıştır. Ancak, daha yüksek rüzgar hızlarında, çatı eğimi arttıkça hava kur oranı artmıştır. Tavan eğiminin 27° üzerine çıkarılması, minimum ek hava değişim oranı sağlamıştır.

### **2.3. Akışkanlar Mekaniği**

Akışkanlar mekaniği, akışkanların hareketsiz haldeki (akışkan statik) veya hareket halindeki (akışkanlar dinamiği), katılar veya sınırlarla etkileşimini incelemektedir. Günlük aktivitelerde, teknolojiye kullanıldığından, modern ve gelecekteki mühendislik için önemli bir rol oynadığından, akışkanlar mekaniği ilkelerini anlamak oldukça önemlidir.

Üç temel yöntemle tanımlanan akışkanlar mekaniğinde akış problemlerinin çözümü, (Durst, 2008)

#### **1. Analitik çözüm yöntemi (analitik akışkanlar mekaniği)**

Bu yöntemde gerçek akış problemini temsil eden sınır koşulları dikkate alınarak, temel akış denklemlerini çözmek için bu alanda uygulamalı matematiğin analitik yöntemi kullanılmaktadır.

#### **2. Sayısal çözüm yöntemleri (sayısal akışkanlar mekaniği)**

Bu sayısal yöntemler, akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerini kullanarak problemleri çözmek için bilgisayarlarda akışkan akış simülasyonu için kullanılmaktadır.

#### **3. Deneysel çözüm yöntemleri (deneysel akışkanlar mekaniği)**

Akışkanlar mekaniğinin bu alt alanı, model akış araştırmalarından elde edilen akışkanlar mekaniği bilgisinin aktarılabilirliği benzerlik yasalarını kullanılmaktadır. Model akışlarında ölçümlerle kazanılan bilgi, bir akış alanının bilinen karakteristik miktarlarının sabitliği vasıtasıyla gerçek akış alanına aktarılmaktadır.

## 2.4. Isı İletimi

Bir sistemin içinde sıcaklık gradyanı olduğunda veya farklı sıcaklıklara sahip iki sistem temas halinde olduğunda enerji aktarılmaktadır. Enerji aktarımının gerçekleştiği süreç ısı transferi olarak bilmektedir. Enerjinin değişimi ve/veya dönüşümü büyük ölçüde söz konusu olduğundan, ısı iletimi süreçleri termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına uygun olmalıdır. Basınç, hacim ve sıcaklık gibi termodinamikteki bir sistemin özellikleri, sistem denge durumundayken ölçülmelidir. Isı iletimi denge arasında bir süreç olmaktadır. Aralarındaki sıcaklık farklılıkları nedeniyle oluşan enerjinin bir sistemden diğerine iletilmesidir (Kreith, vd., 2010)

Isı, üç farklı şekilde aktarılabilir: iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon). İletim, hareketleri sırasında parçacıklar arasındaki çarpışmalardan ve difüzyondan kaynaklanan bir enerji aktarımı olgusudur. Katılarda, sıvılarda ve gazlarda oluşabilir. Ortam boyunca kalınlığa, malzemeye ve sıcaklık farkına bağlı olarak iletim hızı değişebilir. Bu ısı iletim hızı, malzemenin ısıl iletkenliğine bağlıdır.

Taşınım, katı bir yüzey ile hareketli sıvı veya gaz arasında gerçekleşen enerji transferidir. Akışkanın bu hareketi malzemeler arası ısı transferini arttırdığı gibi ısı transfer hızlarının belirlenmesini de zorlaştırmaktadır. Zorlanmış konveksiyon, akışkanın pompa veya fan gibi dış etkenler yardımıyla yüzey üzerinden akmaya zorlandığı bir ısı transfer işlemidir. Bu arada, farklı yoğunluklara neden olan sıcaklık değişiminden dolayı kaldırma kuvvetleri nedeniyle doğal bir konveksiyon meydana gelmektedir. Serada ısı iletimi olgusu, konvektif bir ısı transferidir (Cengel, 1997)

Konvektif ısı transfer katsayısı ( $H_c$ ), bu denklem kullanılarak sıvının Nusselt sayısı ( $Nu$ ) ve ısıl iletkenliği ( $K_f$ ) dikkate alınarak hesaplanmaktadır:

$$H_c = \frac{NuK_f}{D} \quad (2.1)$$

Sera içindeki hava akışı, düzgün akışkan katmanları ve düşük hız ile oldukça düzenli bir akışkan hareketi olduğu için laminer akış olarak kabul edilmektedir. Nusselt sayıları ampirik denklemler izlenerek hesaplanmaktadır

$$Nu = 0.332Re_D^{0.5}Pr^{1/3} \quad (2.2)$$

$Re_D$ , maksimum akış hızından elde edilen Reynold sayısıdır ve  $Pr$ , dökme sıvının sıcaklığı kullanılarak hesaplanan Prandtl sayısıdır (Li, vd., 2019). Prandtl gazlarının sayısı yaklaşık 1'dir. Reynold sayısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$Re = \frac{\text{Inertia forces}}{\text{Viscous}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho VL_c}{\mu} \quad (2.3)$$

$V$  hızdır,  $L_c$  geometrinin uzunluğudur ve  $\nu$  sıvının kinematik viskozitesidir.

## 2.5. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD), akışkan basıncı, sıcaklık ve ayrıca mekansal ve zamansal alandaki hız için bir çözüm sunmaktadır. Bu simülasyon yöntemi, kimya, havacılık ve hidrodinamik endüstrileri gibi birçok alanda sistem tasarımı ve optimizasyonunda çok etkili bir şekilde kullanılmaktadır. (Sørensen ve Nielsen, 2003). Bu çalışmada, HAD simülasyonu doğal havalandırma yapılan serada iç ortamdaki hava akışını modellemektedir. Bu yöntemin deneysel ölçüm yöntemlerine göre zamandan ve iş gücünden önemli tasarruf sağlamasının yanı sıra hesaplama alanındaki parametrelerle ilgili kapsamlı bilgi vermektedir. Bitkisel ve hayvansal üretim yapılarında havalandırma sistemlerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Norton, vd., 2007).

Akışkanlar dinamiğini analiz etmek için üç temel yöntem vardır:

1. Kontrol hacmi
2. Sonsuz küçük eleman
3. Deneysel çalışma ve boyut analizi

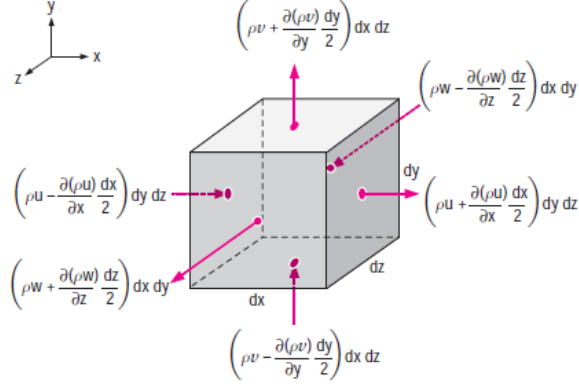
Bu üç yöntemde, termodinamiğin ve akış mekaniğinin temel ilkesinin uygulanması da gereklidir. Akışkan akışı ve ısı transferinin ana denklemleri, tüm akışkan akışını, ısı transferini ve ilişkili fenomenleri yöneten koruma yasalarının matematiksel formülasyonlarıdır. Akışkan akış analizi için yerine getirilmesi gereken şartlar şunlardır (Atış, 2011):

1. Kütle korunumu (süreklilik)
2. Momentum (Lineer momentum) korunumu (Newton'un II. Kanunu)
3. Enerji korunumu (Termodinamiğin I. Kanunu)
4. Gazlar için hal bağıntısı
5. Katı yüzey, ara yüzey, akışkan giriş ve çıkış bölgelerine uygun başlangıç ve başlangıç adımları

Kütle korunumu esas, bir akışkan elemanına giren ve çıkan kütle akışlarının eşit olması gerektiğidir ve bu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\int_{CV} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \sum_{in} \dot{m} - \sum_{out} \dot{m} \quad (2.4)$$

Kütle akış hızı, yoğunluk çarpı yüzün merkez noktasındaki normal hız bileşeni çarpı yüzün yüzey alanı ile hesaplanabilir.



Şekil 2.2. Diferansiyel kontrol hacminin her bir yüzünden kütle giriş ve çıkışı.

Kontrol hacmi içindeki kütle değişim oranı (Cengel, 2010) 'da yazılmıştır:

$$\int_{CV} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV \cong \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz \quad (2.5)$$

Kontrol hacmine net kütle akış oranı şu şekilde yazılabilir:

$$\sum_{in} \dot{m} \cong \left( \rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dy dz + \left( \rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dx dz + \left( \rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{dz}{2} \right) dx dy \quad (2.6)$$

Kontrol hacmi dışında net kütle akış hızı:

$$\sum_{out} \dot{m} \cong \left( \rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dy dz + \left( \rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dx dz + \left( \rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{dz}{2} \right) dx dy \quad (2.7)$$

Denklem. 2.7 ve 2.6 ve 2.5, Denklem. 2.4, bazı terimler birbirini iptal etmektedir.

Denklem birleştirilip basitleştirildikten sonra:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz = - \left( \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \right) dx dy dz - \left( \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \right) dx dy dz - \left( \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.8)$$

$Dx dy dz$  kutunun hacmi gibi görünmektedir, bu nedenle ihmal edilebilir. Yeniden düzenlemelerden sonra, Kartezyen koordinatlarda kütle korunumu için diferansiyel denklemi (Cengel, 2010)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

Momentumun korunmasının ilkesi (Newton ikinci Kanunu), akışkan parçacığına etki eden dış kuvvetlerin toplamının, doğrusal momentumun değişim oranıyla aynı olması gerektiğidir (White, 2010). Newton'un II. Kanunu kullanarak, Cauchy denklemi türetilmiştir. Newton II. Kanunu bu denklemle ifade edilmektedir:

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F} \quad (2.10)$$

Hızlanma ivmesi formülü,

$$\vec{a}(t) = \frac{D\vec{V}(t)}{Dt} \quad (2.11)$$

Bu denklem aynı zamanda

$$m \cdot \frac{D\vec{V}}{Dt} = \sum \vec{F} \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir sistemde uygulanan toplam kuvvet, cisim kuvvetlerinden ve yüzey kuvvetlerinden oluşmaktadır.  $m = \rho \cdot dx dy dz$  ve  $\vec{V} = (u, v, w)$ :

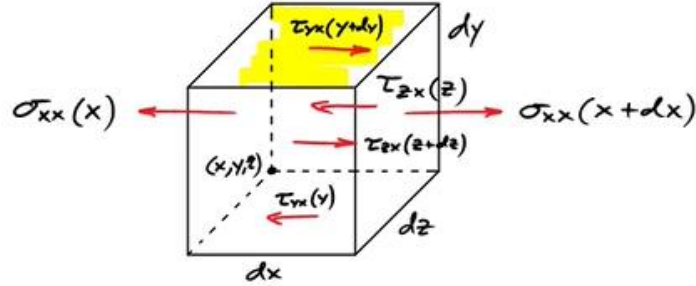
$$\rho \cdot dx dy dz \cdot \frac{Du}{Dt} = \sum \vec{F} x, body + \sum \vec{F} x, surface \quad (2.13)$$

X yönünde ivme,:

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} u + \frac{\partial u}{\partial y} v + \frac{\partial u}{\partial z} w \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir

Tek cisim kuvvetinin yerçekimi kuvveti olduğunu, yüzey kuvvetlerinin ise basınç kuvvetleri ve viskoz kuvvetlerden oluştuğunu olmaktadır. Bu yüzey kuvvetleri, normal gerilme ve kayma gerilmesi olarak hareket etmektedir. X koordinatlarına etki eden kuvvetleri görürürken:



Şekil 2.3. x yönünde etki eden yüzey kuvvetleri

Cisim kuvveti yerçekimi kuvvetinden oluşurken:

$$\sum F_{x,body} = m \cdot g_x = \rho g_x \cdot dx dy dz \quad (2.15)$$

Ardından, Denklem. 2.13 aşağıda verilen denklem şeklinde ifade edilebilir

$$\sum \vec{F} x, body + \sum \vec{F} x, surface = \rho \cdot dx dy dz \cdot \frac{Du}{Dt} \quad (2.16)$$

X yönünde etki eden yüzey kuvvetleri ve yerçekimi kuvvetleri Denklem 2.16'ya çıkartılırsa

$$\rho g_x \cdot dx dy dz + \sigma_{xx}(x + dx) \cdot dy dz - \sigma_{xx}(x) \cdot dy dz + \tau_{yx}(y + dy) \cdot dx - \tau_{yx}(y) \cdot dx dz + \tau_{zx}(z + dz) \cdot dx dy - \tau_{zx}(z) \cdot dx dy = \rho \cdot dx dy dz \cdot \frac{Du}{Dt} \quad (2.17)$$

Tüm denklemini hacme bölersek,

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \cdot \frac{Du}{Dt} \quad (2.18)$$

Denklem 2.14 yerine koyulduğunda,

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} u + \frac{\partial u}{\partial y} v + \frac{\partial u}{\partial z} w \right) \quad (2.19)$$

Benzer şekilde, bunlar aşağıdaki denklem için de türetilebilir

Y yönünde:

$$\rho g_y + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} u + \frac{\partial v}{\partial y} v + \frac{\partial v}{\partial z} w \right) \quad (2.20)$$

Z yönünde:

$$\rho g_z + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \rho \cdot \left( \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial x} u + \frac{\partial w}{\partial y} v + \frac{\partial w}{\partial z} w \right) \quad (2.21)$$

Navier-stokes denklemi geçmek için, normal ve kayma gerilmesinin Newtonian akışkan ile çıkarılması gerekmektedir. Stresler ve Newton akışkanı arasındaki ilişki:

$$\sigma_{xx} = -p + 2\mu \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.22)$$

$$\sigma_{yy} = -p + 2\mu \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (2.23)$$

$$\sigma_{zz} = -p + 2\mu \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.24)$$

X yönünde:

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} u + \frac{\partial u}{\partial y} v + \frac{\partial u}{\partial z} w \right) \quad (2.25)$$

Kütle sıkıştırılabilir sıvıda sunulduğundan,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.26)$$

Böylece, Navier-Stokes X yönünde:

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \rho \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} u + \frac{\partial u}{\partial y} v + \frac{\partial u}{\partial z} w \right) \quad (2.27)$$

Y yönünde:

$$\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} u + \frac{\partial v}{\partial y} v + \frac{\partial v}{\partial z} w \right) \quad (2.28)$$

Z yönünde:

$$\rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \rho \cdot \left( \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial x} u + \frac{\partial w}{\partial y} v + \frac{\partial w}{\partial z} w \right) \quad (2.29)$$

Karesel, homojen olmayan kısmi farklı denklemler, sıkıştırılmayan viskoz akışkanlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Navier-Stokes denklemlerini analitik olarak çözmek karmaşık kabul edilmektedir. Bununla birlikte, laminer akışlar çözümü bazı basitleştirilmiş durumlar için mümkündür. Navier-Stokes denklemlerinin analitik

çözümü kullanarak, laminer akış bozulması ve türbülansın tahmin analizini belirtilebilir (Atış, 2011).

Enerjinin korunumu (termodinamiğin birinci yasası), bir akışkan parçacığının enerji değişim hızının, ısı ilavesine ve parçacık üzerinde yapılan işe eşit olduğunu belirtmektedir (Norton, vd., 2007).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_a T) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j C_a T) - \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j}\right) = s_T \quad (2.30)$$

## 2.6. Türbülans Modeli

K-ε türbülans modeli için birçok farklı varyasyon vardır. Basitliği ve yüksek performansı nedeniyle binalarda hava hareketi tahmini için Standart k-ε, Renormalization Group (RNG) k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Her üç model de benzer bir forma sahiptir. Her modelinde iki tane türbülanslı kinetik enerji için denklemleri, k ve ε için türbülanslı enerjinin yayılma hızı içermektedir. Bu üç türbülans modelleri arasındaki ana farklar, türbülans viskozitesini hesaplamak için kullanılan yöntemlerden kaynaklanmaktadır (Küçüktopcu ve Cemek, 2019).

(Yakhot ve Orszag, 1986) araştırmalarına dayanan RNG k-ε türbülans modelinin, yapılan çalışmalarda diğer k-ε türbülans modellerine kıyasla daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Rong, vd., 2016). (Küçüktopcu ve Cemek, 2019) üç tip k-ε türbülans modelinin performansını incelemiştir ve bunların bir kümesindeki türbülanslı akışı doğru bir şekilde simüle etme yeteneklerini değerlendirmişlerdir. Sonuçta, RNG k-ε modelinin hava hızını ve hava sıcaklığını en iyi tahmin ettiğini göstermiştir. Bu yüzden seraların simülasyonunda RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. RNG k-ε türbülans modelinin denklemi aşağıda verilmiştir (Yakhot ve Orszag, 1986).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + G_K + G_B - \rho \varepsilon - Y_m + S_K \quad (2.31)$$

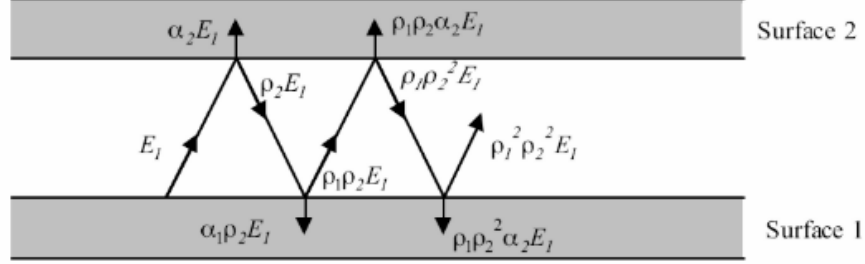
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k}(G_K + C_{3\varepsilon} G_B) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (2.32)$$

$C_{1\varepsilon}$  (1.42),  $C_{2\varepsilon}$  (1.68),  $C_{3\varepsilon}$  (0.09),  $\sigma_k$  (1.0),  $\sigma_\varepsilon$  (1.3)

## 2.7. Yüzeyden Yüze (S2S) Radyasyon Modeli

Yüzeyden Yüze (S2S) radyasyon modeli tüm katı yüzeylerin gri ve dağınık olmaktadır. Opak gri difüze bir yüzey için, emisivitesi absorptiviteye eşittir ( $a = \varepsilon$ ). Bu

varsayım, bunların yayılma ve soğurma gücünün yalnızca dalga boyundan bağımsız olmasını sağlamaktadır. Ayrıca yansıtıcılığı, giden veya gelen yönlerden bağımsızdır. Yüzeydeki enerji kısmen emilir ve yansıtılır ( $\alpha + \rho=1$ ) (Li, vd., 2018).



Şekil 2.4. Yüzeyden Yüze radyasyon modeli (Asinari, 2007)

Bir yüzeyden başka bir yüzeye radyasyonla ısı transferi, görüş faktörünün düz fonksiyonudur. Görüş faktörü, A yüzeyinden ayrılan ve B yüzeyine çarpan radyasyonun oranıdır. Bu nedenle her yüzey için radyasyon enerjisi dengesinin Denklem (2.40) şeklinde ifade edilebilir (Arkazloo, vd., 2019):

$$q_{out,k} = \varepsilon_k \sigma T_k^4 + \rho_k \sum_{j=1}^N F_{kj} q_{out,j} \quad (2.33)$$

$Q_{out,k}$  yüzeyinden verilen enerji olan radyasyonu temsil ederken,  $q_k$ , k yüzeyinin yansıtıcılığıdır. Görüş faktörü  $F_{kj}$ , enerjinin k yüzeyini terk eden kısmı ve j yüzeyindeki olaydır.

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi r^2} \delta_{ij} dA_i dA_j \quad (2.34)$$

Ortam katılmadan radyatif ısı transferini hesaplamak için S2S modelini kullanmak uygundur. Bu radyasyon modeli, ANSYS yazılımında diğer modellerine göre DTRM (Discrete Transfer Radiation Model) ve DO (Discrete Ordinates) yineleme başına hesaplama süresinde daha hızlı performans göstermektedir, ancak görünüm faktörü için CPU hesaplama yoğunluğu daha fazladır (Lu ve Wang, 2013).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Araştırma alanı ve iklimsel özellikleri

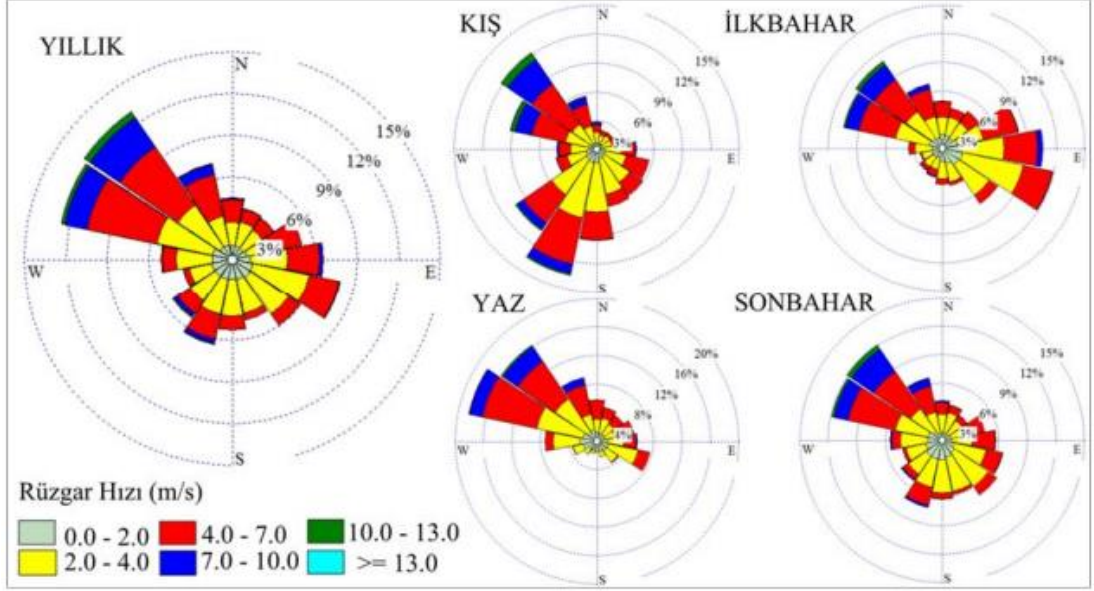
Bu araştırma Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi sera uygulama ve araştırma alanında (41.27° enlem 36.33° boylam) yürütülmüştür. Karadeniz'in kıyı şeridinde yer alan Samsun'un iklimi tipik "nemli-ılıman iklim" özelliğindedir (Şahin, 2010). Ortalama sıcaklık, güneşlenme saati ve yağış yoğunluğu Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3.1. Samsun iklimi 1929-2019 (MGM, 2020)

| SAMSUN  | Ortalama Sıcaklık (°C) | Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C) | Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C) | Ortalama Güneşlenme Süresi (saat) | Ortalama Yağışlı Gün Sayısı | Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm) |
|---------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| Ocak    | 7.1                    | 10.6                             | 4                               | 2.6                               | 13.5                        | 71.5                                       |
| Şubat   | 7.1                    | 10.9                             | 3.8                             | 3.2                               | 13.6                        | 58.4                                       |
| Mart    | 8                      | 12                               | 4.6                             | 3.5                               | 15.2                        | 66.8                                       |
| Nisan   | 11.2                   | 15.2                             | 7.8                             | 4.6                               | 13.5                        | 57.1                                       |
| Mayıs   | 15.5                   | 19.1                             | 12.1                            | 6.2                               | 12.7                        | 48.5                                       |
| Haziran | 20.2                   | 23.6                             | 16.1                            | 8.2                               | 9.2                         | 45.5                                       |
| Temmuz  | 23.1                   | 26.4                             | 19                              | 8.7                               | 6                           | 35.2                                       |
| Ağustos | 23.5                   | 27                               | 19.6                            | 8.1                               | 6.3                         | 37.5                                       |
| Eylül   | 20.2                   | 23.9                             | 16.4                            | 6.3                               | 9.6                         | 53.7                                       |
| Ekim    | 16.4                   | 20.3                             | 12.9                            | 4.6                               | 12                          | 78.9                                       |
| Kasım   | 12.7                   | 16.7                             | 9.3                             | 3.7                               | 11.9                        | 83.3                                       |
| Aralık  | 9.3                    | 13                               | 6.2                             | 2.7                               | 12.9                        | 81.9                                       |
| Yıllık  | 14.5                   | 18.2                             | 11                              | 62.4                              | 136.4                       | 718.3                                      |

Samsun ilinde rüzgar iklimini belirlemek için (Yılmaz, 2018) tarafından bir araştırma yapılmıştır. 2000-2016 yılları arasında 41.4N-26.4D'de bulunan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nden (ECMWF) rüzgar yönü ve hızına ilişkin yıllık bir veri seti elde edilmiştir. Hakim rüzgar yönü genelde Batı-KuzeyBatı ve Kuzey-KuzeyBatı şeklindedir. Kışın rüzgar sadece Batı-KuzeyBatı ve Kuzey-KuzeyBatı 'dan değil aynı zamanda Güney-Güneybatıdan da gelmektedir. Ancak benzer desen diğer mevsimlerde de görülebilmektedir Aylık ortalama rüzgar hızı 3.5

m/sn olup, en kuvvetli rüzgar 11-15 m/sn arasında değişmektedir. Mevsimsel rüzgar gülleri Şekil 3.1 'te gibi belirlenmiştir.

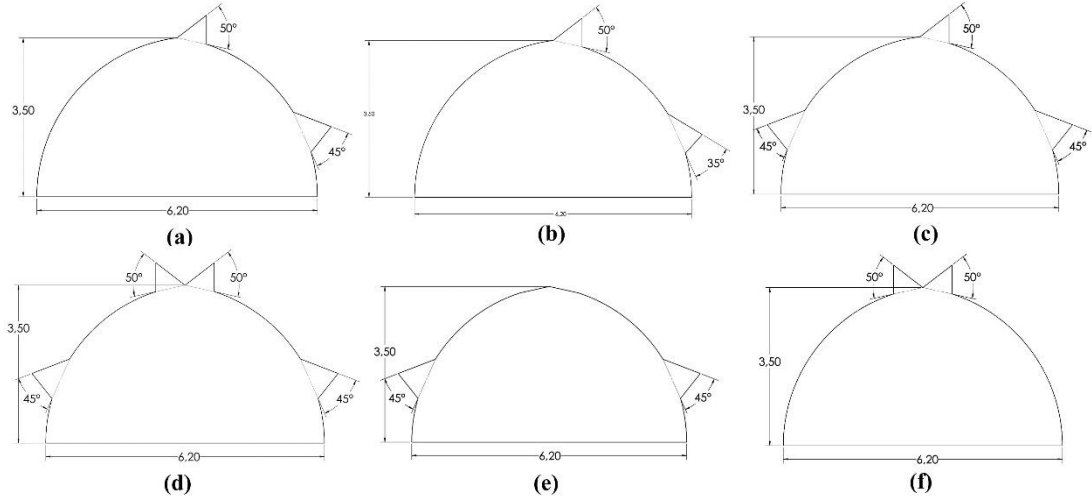


Şekil 3.1. 41.4N-36.4E koordinatındaki ECMWF operasyonel arşiv tahmininden yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri (Yılmaz, 2018)

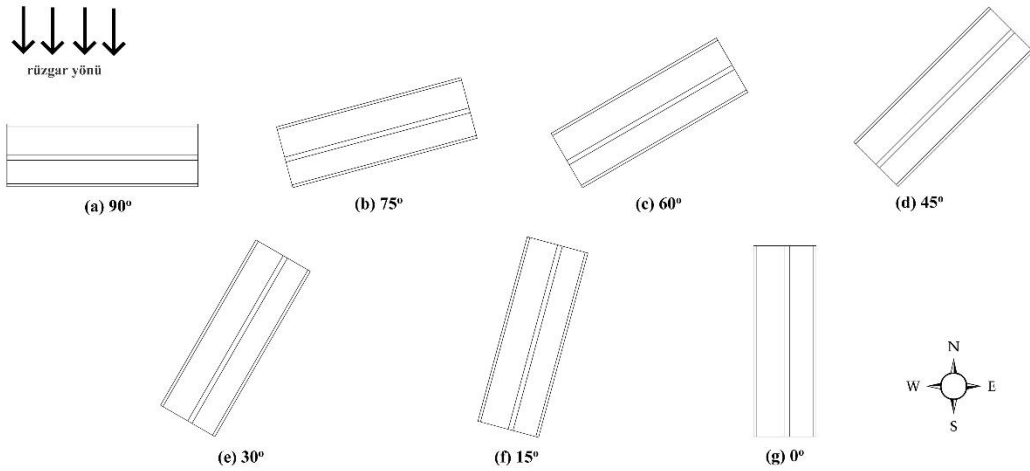
Araştırmanın yürütülmesi amacıyla Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesinde, 6.20 x 20 m boyutları ve 124 m<sup>2</sup> taban alanı bir sera seçilmiştir (Şekil 3.2). Bu sera, 3.5 m yükseklik, 50° güney çatı açıklığı ve 45° güney yan duvar açıklığıyla yapılmıştır. Model 1 olarak ifade edilen model denemenin yapıldığı seranın aynıdır. Yan duvar açıklığı ve çatı açıklığına bağlı olarak farklı sera modelleri geliştirilmiştir (Şekil 3.3). Herbir modelde yedi farklı rüzgar yönünün (90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15°, 0°) etkisi incelenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.2. Araştırmanın yürütüldüğü seranın genel görünümü



Şekil 3.3. Farklı sera modeli (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3 (d) Model 4 (e) Model 5 (f) Model 6



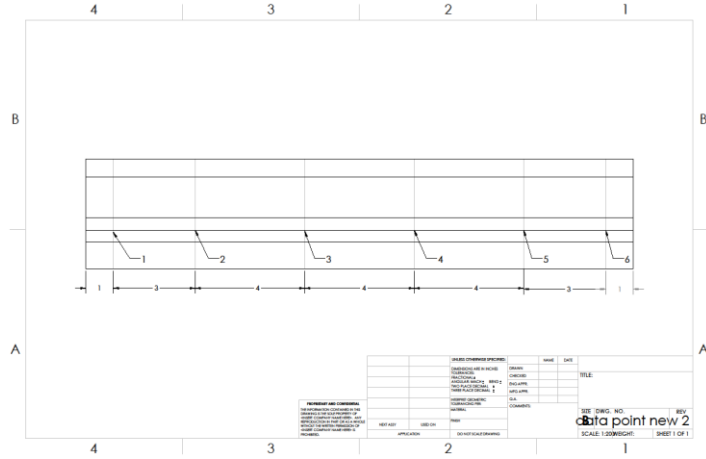
Şekil 3.4. Rüzgar yönüne göre farklı sera yönü

### 3.1.2. Çalışmada kullanılan ekipmanlar ve yazılımlar

Sera modellerinde simülasyonların yapılabilmesi ve sınır koşullarının belirlenmesi için deneysel verilerin toplanması gerekmektedir. Çalışmada sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin belirlenmesinde Termohigrometre (Testo 605i, Testo AG, Lenzkirch, Almanya) kullanılmıştır. Yüzey sıcaklık (Duvar, zemin ve çatı) değerleri termal kamera (Testo 875-2i, Testo AG, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak, hava akım hızı değerleri ise anemometre (Testo 4500, Testo AG, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.5).

Sayısal analizi yapılacak olan seranın gerçek ölçülerde oluşturulmuş modeli Solidworks (Solidworks 2016 x64 Edition, DS Solidworks, Massachusetts, ABD)





Şekil 3.6. Sera ölçüm noktaları

Ölçümler 29 Eylül 2020'de testo 605i termometre ve testo 4500 anemometre kullanılarak alınmıştır (Şekil 3.7). İç ve dış duvar, zemin ve çatı sıcaklığı da testo 875-2i termal kamera kullanılarak ölçülmüştür. Sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı ölçümleri, hata olasılığını azaltmak için tüm noktalarda iki kez ölçülmüştür. Termal kamera kullanılarak iç ve dış duvar, zemin ve çatı sıcaklık ölçümü için her duvarda üç nokta belirlenmiştir. Tüm ölçümler 1'er saat aralıklarla olmak üzere 10:00 ile 15:00 saatleri arasında alınmıştır.



Şekil 3.7. termal kamera, termometre ve anemometre kullanarak veri toplama

### 3.2.2. Sayısal Yöntem

#### 3.2.2.1. Geometrilerin Oluşturulması

Sera geometrisi Solidworks yazılımında oluşturulmuş ve seranın mikro iklim koşulu analizi Ansys-Fluent kullanarak yapılmıştır. Navier-Stokes denklemlerini, kütle, enerji ve momentum eşitliklerini sayısal olarak hesaplamak, ha için sonlu

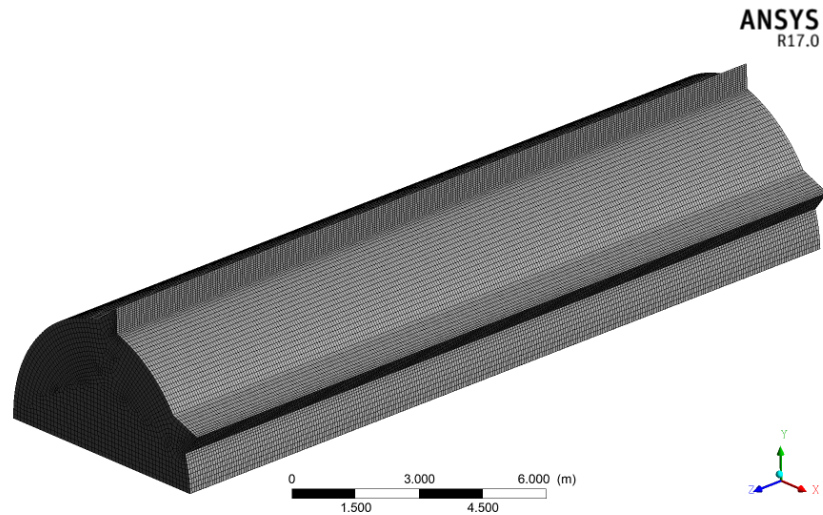
hacim yöntemi kullanılmaktadır (Erizal ve Romdhonah, 2012). Geometriler 1/1 ölçek dahilinde çizim tekniklerine uygun bir şekilde oluşturulmuştur.

Ansys-Fluent yazılımında sera model bazı bölümlere ayrılmıştır. Model üzerindeki hava akışının giriş ve çıkışını belirlemek önemlidir. Çatı havalandırması çıkış (“outlet”), yan havalandırma ise giriş (“inlet”) olarak belirlenmiştir. Modellerin duvarı ön duvar, arka duvar, taban duvarı ve çatı duvarı olmak üzere 4 bölüme ayrılmıştır. Yazılımda giriş “velocity\_inlet”, çıkış “pressure\_outlet” ve tüm duvarlar “wall” olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.2.2. Mesh Oluşturulması

HAD çözümlerin doğruluğu, ağın kalitesine bağlıdır. Bazı önemli mesh kalite değerlendirme kriterleri arasında çarpıklık, en boy vb. yöntemler bulunur (Aqilah, vd., 2018). Hesaplama işlemi kötü şekillendirilmiş veya bozuk öğelerden etkilenmektedir. Sonlu eleman çözümündeki ayrıklaştırma hatası, eleman açıları büyüdükçe artmaktadır. Ancak, çok küçük olan açılar, element matrisinin durum sayısını artırır. Çarpık öğeler, daha az doğru çözüme ve hesaplama için zorluğa yol açabilmektedir (Batdorf, vd., 1997).

Oluşturulan ağın en küçük boyutu 0.003 m, iken en büyük boyutu 0.12 m'dir. Giriş ve çıkış yüzeyleri 0.05 m eleman boyutuna sahip ağlardan oluşmuştur. Ağın skewness değeri (çarpıklığı) 0.504'dir. Ağın son hali Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Sera simülasyonu için ağ yapılandırması

### 3.2.2.3. Fluentte Çözüm

İkinci dereceden, homojen olmayan kısmi diferansiyel denklemler viskoz sıkıştırılmaz akışkanlar için genel denklemlerdir. Navier-Stokes denklemlerini analitik olarak çözmek oldukça zordur. Bazı spesifik ayarları sonuçların doğruluğunu elde etmek ve hesaplamayı azaltmak için kullanılmaktadır (Campen ve Bot, 2003). Dış ortam iklim koşulu, ilk koşul girdisi olarak kullanılırken, Tablo 3.2'te görülebileceği gibi, hava giriş ve çıkış açıklığının sıcaklığı sınır koşulu olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Simülasyon ayarları ve sınır koşulları

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| Çözücü           | Tip<br>Hız Formülasyonu<br>Süre   | Basinc Tabanlı<br>Absolute<br>Devamlı  |
| Model            | Enerji<br>Viskoz<br>Radyasyon<br>Species                                  | Açık<br>RNG k-ε, Standard Wall Fn<br>S2S, Güneş Enerjisi<br>Species Transport                    |
| Materyal         | Karışım<br><br>Sıvı<br>Katı   | Nitrojen<br>Oksijen<br>Su buharı<br>Hava<br>Polietilen   |
| Sınır koşulları  | arkaduvar<br>zeminduvar<br>önduvar<br>giriş<br>çıkış<br>duvar             | wall<br>wall<br>wall<br>velocity inlet<br>pressure outlet<br>wall                                |
| Çözüm yöntemleri | Scheme<br>Gradient<br>Pressure<br>Momentum<br>Turbulent Kinetic<br>Energy | SIMPLE<br>Least Squares Cell Based<br>Second Order<br>Second Order Upwind<br>Second Order Upwind |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
|           | Turbulent Dissipation Rate<br>h2o<br>o2<br>Energy | Second Order Upwind<br>Second Order Upwind<br>Second Order Upwind<br>Second Order Upwind |
| İterasyon | İterasyon sayısı                                  | 2000   |

### 3.2.3. Model Doğrulanması Analiz

HAD modelinden elde edilen sonuçların, deneysel ölçümleriyle karşılaştırılmasında kesirli sapma (FB), normalleştirilmiş ortalama kare hatası (NMSE), geometrik ortalama sapma (MG), geometrik ortalama varyans (VG) ve ikinin kesirini (FAC2) kullanılmıştır. Parametrelerin aşağıda verilen kriterlere ulaştığında modellerin uygun olduğu kabul edilmektedir:  $|FB| < 0.3$ ,  $0.7 < MG < 1.3$ ,  $NMSE < 0.25$ ,  $VG < 4$  ve  $0.5 < FAC2 < 2$  (Tong, 2019).

$$FB = \frac{2(\bar{C}_o - \bar{C}_p)}{\bar{C}_o + \bar{C}_p} \quad (3.1)$$

$$NMSE = \frac{(\bar{C}_o - \bar{C}_p)^2}{\bar{C}_o \cdot \bar{C}_p} \quad (3.2)$$

$$MG = \exp \left[ \ln \left( \frac{\bar{C}_o}{\bar{C}_p} \right) \right] \quad (3.3)$$

$$VG = \exp \left[ \ln \left( \frac{\bar{C}_o}{\bar{C}_p} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

$$FAC2 = \bar{C}_p / \bar{C}_o \quad (3.5)$$

$\bar{C}_o$  gözlenen değer ve  $\bar{C}_p$  tahmin edilen değerdir.

### 3.2.4. Tekdüzelik İndeksi

Tekdüzelik indeksi ( $\gamma$ ), akış dağılımının tekdüzeliğini göstermek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır. 0-1 arasında değişen  $\gamma$  değeri ile istatistiksel sapmaya göre hesaplanmıştır. Sayı ne kadar büyük olursa, daha iyi tekdüzelik gösterir (Zhang, vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan tekdüzelik indeksi, alan ağırlıklı tekdüzelik indeksidir. Tekdüzelik indeksi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir: (Tajik, vd., 2017)

$$\gamma_{flow} = 1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n |v_i - v_{avg}| A_i}{Av_{avg}} \quad (3.6)$$

$$\gamma_T = 1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n |T_i - T_{avg}| A_i}{AT_{avg}} \quad (3.7)$$

$$\gamma_{RH} = 1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n |RH_i - RH_{avg}| A_i}{ARH_{avg}} \quad (3.8)$$

$V_i$ ,  $T_i$ ,  $RH_i$  sırasıyla hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem olduğunda,  $A_i$  yerel alandır ve  $A$ ,  $\gamma$ 'nin hesaplandığı alandır. Tekdüzelik indeksi, Ansys-Fluent özelliği kullanılarak sera modeli içindeki XY, YZ ve XZ yüzeyinde hesaplanmıştır.

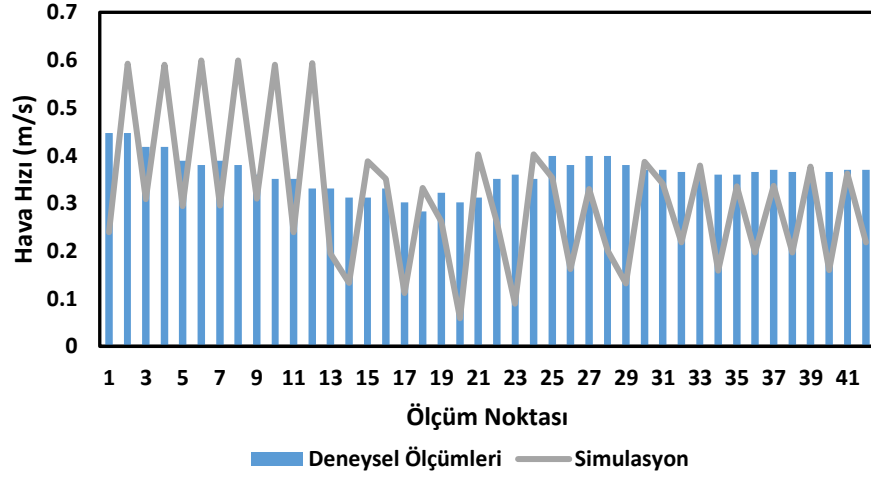
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Model Doğrulanmasının Analizi

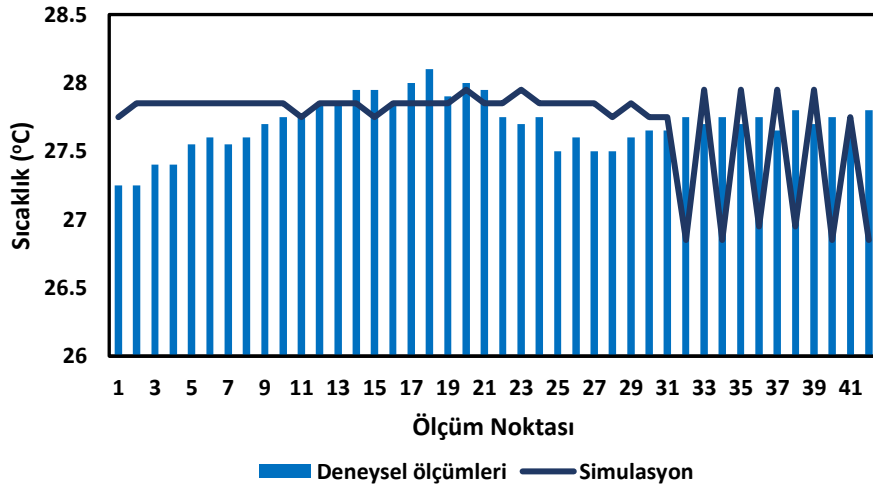
HAD model doğrulaması için gereken gerçek verileri elde etmek amacıyla Eylül 2020'de sera ölçümleri yapılmıştır. Sera içinde 42 noktadan ve sera dışında 11 noktadan hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Sera yüzeylerindeki sıcaklık değerlerini belirlenmesi amacıyla 12 noktada termal kamera ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Sera ölçüm sonuçlarına göre rüzgar yönünün sera yönüne dik olarak kuzeyden geldiğini görülmüştür. Bu durum, Samsun'da hakim rüzgarın genellikle Kuzey-Kuzeybatı yönünden geldiği Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF)'den Samsun yıllık rüzgar yönüne karşılık gelmektedir. Bu durum, araştırmanın sonuçlarının gerçek duruma uygun olduğunu göstermektedir.

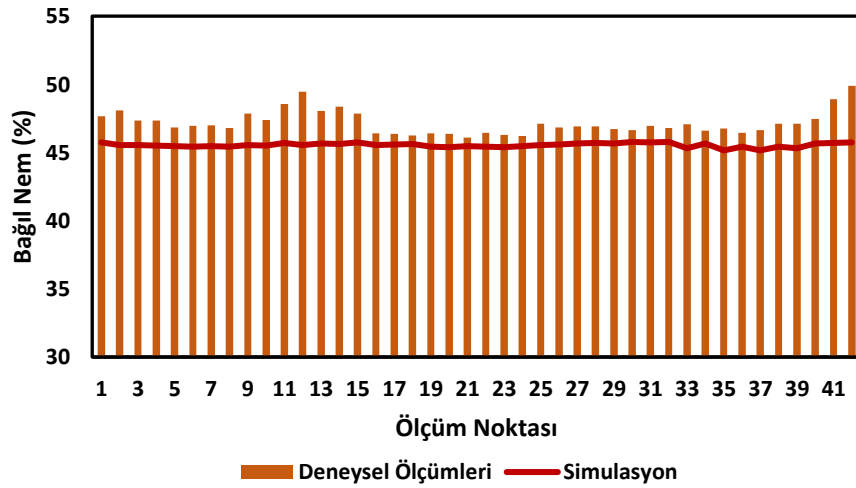
Doğrulama, rüzgar kaynağına da dik olan 90° yönlü Model 1 simülasyonu ve sera ölçümünden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yapılmıştır. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 incelendiğinde sera ölçümü ile simülasyon verileri arasında iyi bir uyum görülmektedir. İlk 12 çift ölçüm noktası (2, 4, 6, 8, 10, 12) seranın kuzey tarafında yerden 2 m yükseklikte ve çatı açıklığına daha yakın olarak yerleştirilmiştir. Rüzgar güney çatı açıklığından geldiği ve doğrudan seranın kuzey tarafına gittiği için, bu noktalar diğerlerinden daha yüksek hava hızına sahip olmuştur. Ancak, Şekil 4.5 ve Şekil 4.8 görüldüğü gibi, bu ölçüm noktalarındaki hava hızı daha yüksek olmasına rağmen, sıcaklığı ve nemi çok farklı olmamıştır. Son 10 ölçüm noktasında (31 nölü ölçümden sonra) simülasyon sonucunda elde edilen sıcak değerlerinde dalgalanma mevcuttur. Bunun nedeni, noktaların güney duvar açıklığının yakınında bulunması, dolayısıyla hava akım hızı ve modelinin daha düzensiz olma eğiliminde olmasıdır.



Şekil 4.1. Ölçülen ve simüle edilen hava hızının dağılımı



Şekil 4.2. Ölçülen ve simüle edilen sıcaklığın dağılımı



Şekil 4.3. Ölçülen ve simüle edilen bağıl nemin dağılımı

Sera içindeki sıcaklık ve bağıl nem için tahmininde modellerin performanslarının değerlendirilmesinde farklı istatistiksel parametreler kullanılmıştır. Çizelge 4'ten sıcaklık ve bağıl nem sonuçlarının kabul kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Böylece, bu sera modelinin iç çevre koşullarını simüle etmek için kullanılabilceği kanıtlanmıştır.

Tablo 4.1. Model performans değerlendirmesi için istatistiksel parametreler

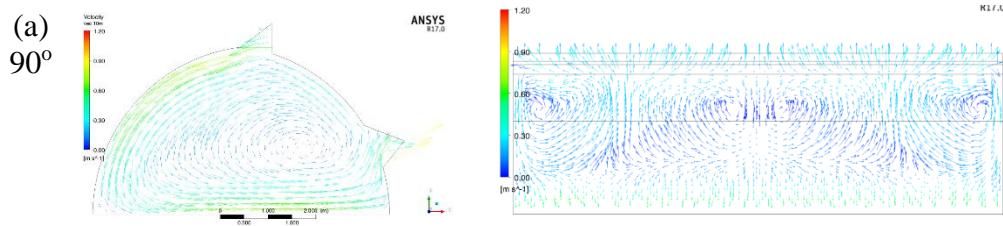
|                | Hava Hızı | Sıcaklık             | Bağıl Nem |
|----------------|-----------|----------------------|-----------|
| NMSE (< 0.25)  | 0.023461  | $1.5 \times 10^{-5}$ | 0.000794  |
| FB  (< 0.3)    | 0.152722  | 0.003875             | 0.028178  |
| MG (0.7-1.3)   | 1.165349  | 1.003934             | 1.028433  |
| VG (< 4)       | 1.723893  | 1.007885             | 1.057674  |
| FAC2 (0.5-2.0) | 0.858112  | 0.996132             | 0.972213  |

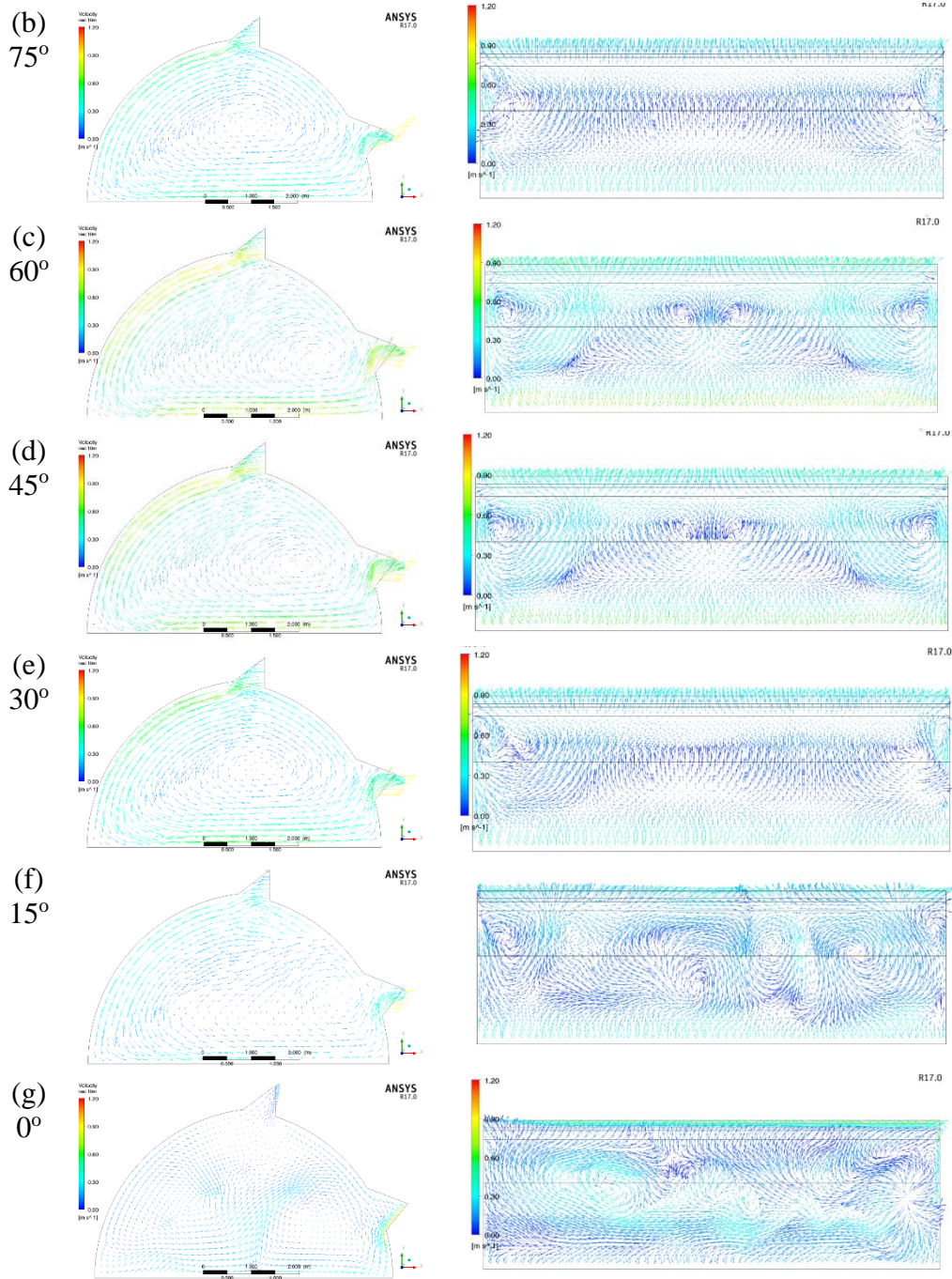
\*Parantez içindeki sayı model kabul kriterleridir.

## 4.2. Simulasyon Sonuçları

### 4.2.1. Model 1

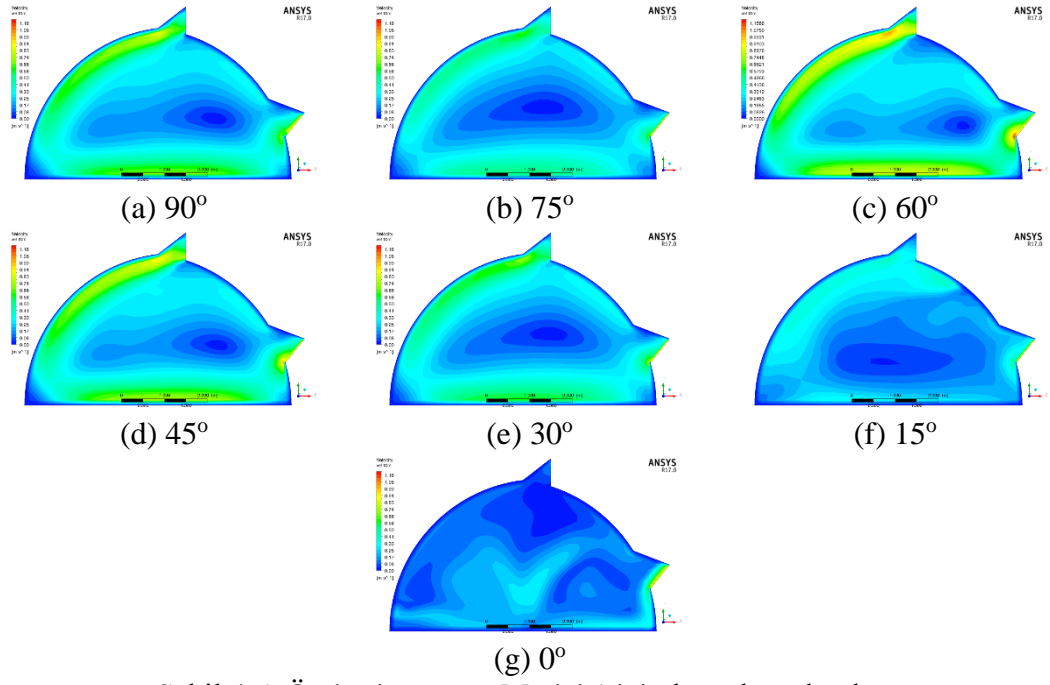
Model 1'in farklı sera yönleri için elde edilen sonuçları Şekil 4.4.'te görülmektedir. Rüzgarın yönü seranın kuzeyinden güneyine doğru olacak şekilde alınmıştır. Model 1'de seranın kuzey kesiminde duvar açıklığı olmadığı için 90°, 75°, 60°, 45°, 30° ve 15° sera yönünde genellikle güney çatı açıklığında hava girişi ve güney duvar açıklığında ise hava çıkışı meydana gelmiştir. Sera içine giren hava, çatı açıklığından kuzey duvarına doğru hareket etmiş zemini dolaştıktan sonra güney duvar açıklığından dışarı çıkmıştır. 0° sera yönü için, hem güney çatı açıklığı hem de güney duvar açıklığı rüzgar akışına paralel olduğu için ikisinde hava giriş akışı görülebilmektedir. Bu, seranın içinde diğer yönlerine göre daha fazla hava sirkülasyonu yol açmıştır.



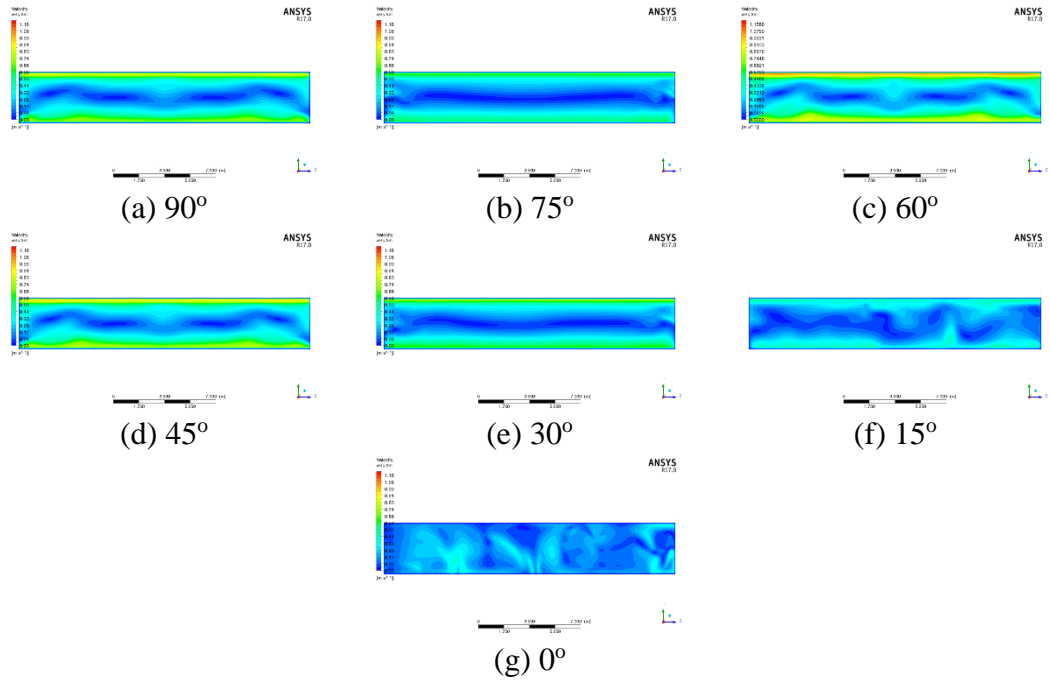


Şekil 4.4 Ön ve üst kesitten sera Model 1 için hız vektörleri

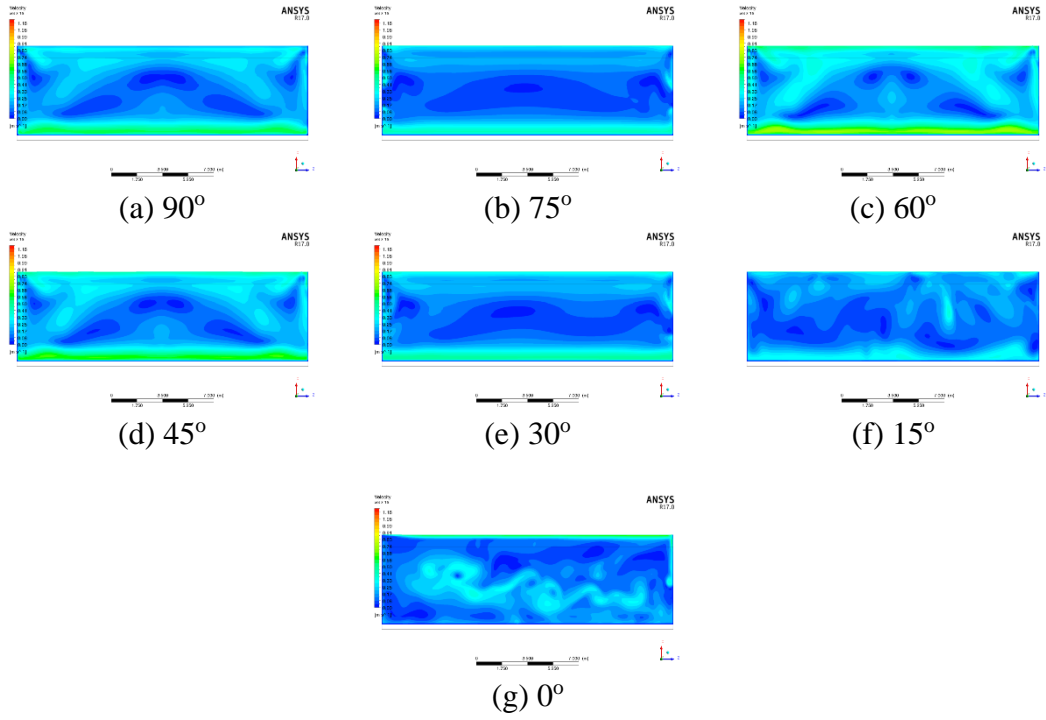
HAD simülasyonlarından elde edilen sonuçların farklı kesitlerdeki hava akım hızı dağılımları Şekil 4.5, Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de verilmiştir.  $90^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $30^\circ$  yönündeki sera için, duvar kenarına yakın olan bölümlerde, seranın orta alanlarına göre daha yüksek hava akım hızına sahip olma eğiliminde olduğu görülebilmektedir. Ancak  $15^\circ$  yönünde seranın duvar bölümü ve orta alanındaki hava akım hızı değerleri arasındaki fark daha azdır.  $0^\circ$  yönünde ise seranın orta alanındaki hava akım hızı genellikle duvara yakın olan bölümlerden daha yüksek olmuştur.



Şekil 4.5. Ön kesitten sera Model 1 için hava hızı dağılımı



Şekil 4.6. Yan kesitten sera Model 1 için hava hızı dağılımı



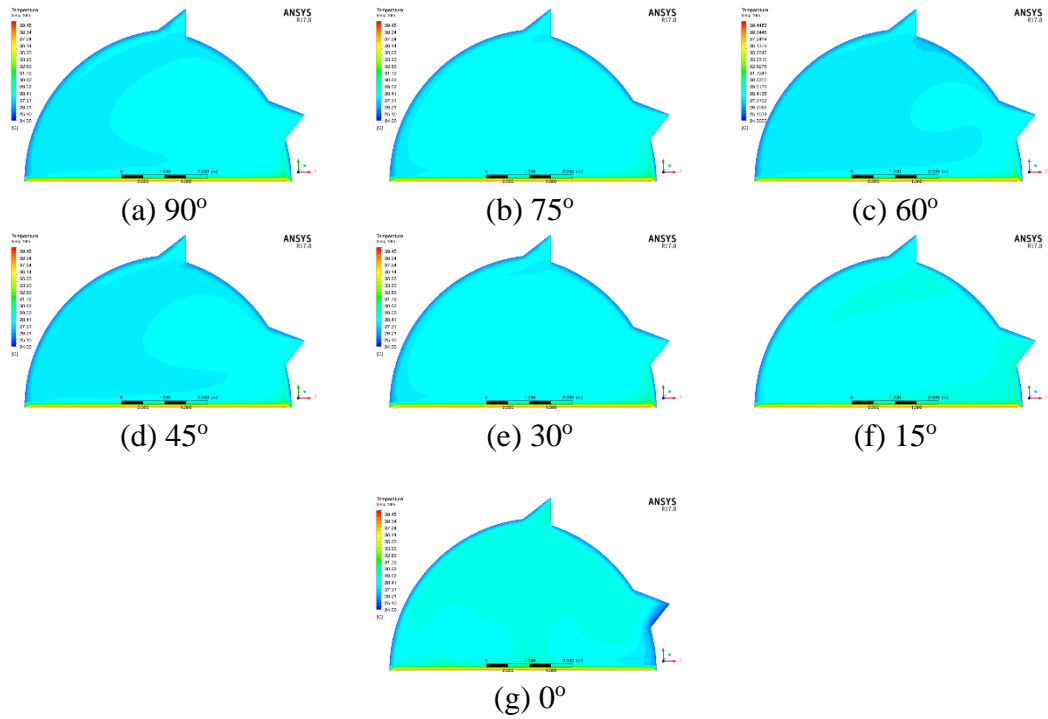
Şekil 4.7. Üst kesitten sera Model 1 için hava hızı dağılımı

Tüm sera yönleri için hava hızının maksimum, minimum, fark, ortalama ve tek düzelik indeksi Tablo 4.2.'te verilmiştir. Serada  $90^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $15^\circ$  ve  $0^\circ$  yönündeki minimum ve maksimum hava akım hızı değerleri sırasıyla 0.06 m/sn-0.6 m/sn, 0.02-0.45 m/sn, 0.08-0.75 m/sn, 0.07-0.65 m/sn, 0.03-0.51 m/sn, 0.07-0.35 m/sn ve 0.04-0.23 m/sn olarak hesaplanmıştır.  $60^\circ$  yöndeki sera en yüksek hava akım hızı farkına (0.67 m/sn) ve en yüksek ortalama hava akım hızına (0.37 m/sn) sahip olmuştur ve diğerlerine göre daha düşük tekdüzelik indeksi göstermiştir. Rüzgar yönüne paralel olan  $0^\circ$  yönlü seranın ortalama hava akım hızı 0.11 m/sn ve tekdüzelik indeksi 0.79'dur. Bu yönde sabit bir hava girişi veya çıkışı olmadığı için sera içindeki hava akım hızı daha düşük kalmıştır.

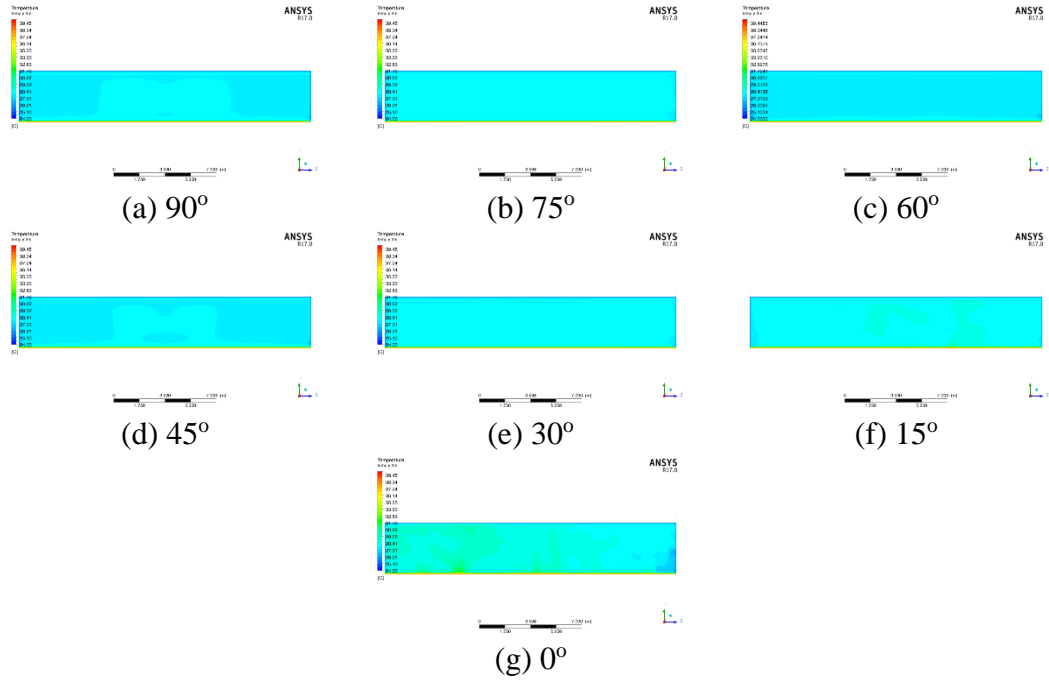
Tablo 4.2. Sera Model 1 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (m/sn) | Min (m/sn) | Fark (m/sn) | Ortalama (m/sn) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 90°       | 0.60        | 0.06       | 0.54        | 0.31            | 0.764              |
| 75°       | 0.45        | 0.02       | 0.43        | 0.23            | 0.755              |
| 60°       | 0.75        | 0.08       | 0.67        | 0.37            | 0.754              |
| 45°       | 0.65        | 0.07       | 0.58        | 0.33            | 0.760              |
| 30°       | 0.51        | 0.03       | 0.48        | 0.26            | 0.749              |
| 15°       | 0.35        | 0.07       | 0.28        | 0.17            | 0.788              |
| 0°        | 0.23        | 0.04       | 0.19        | 0.11            | 0.791              |

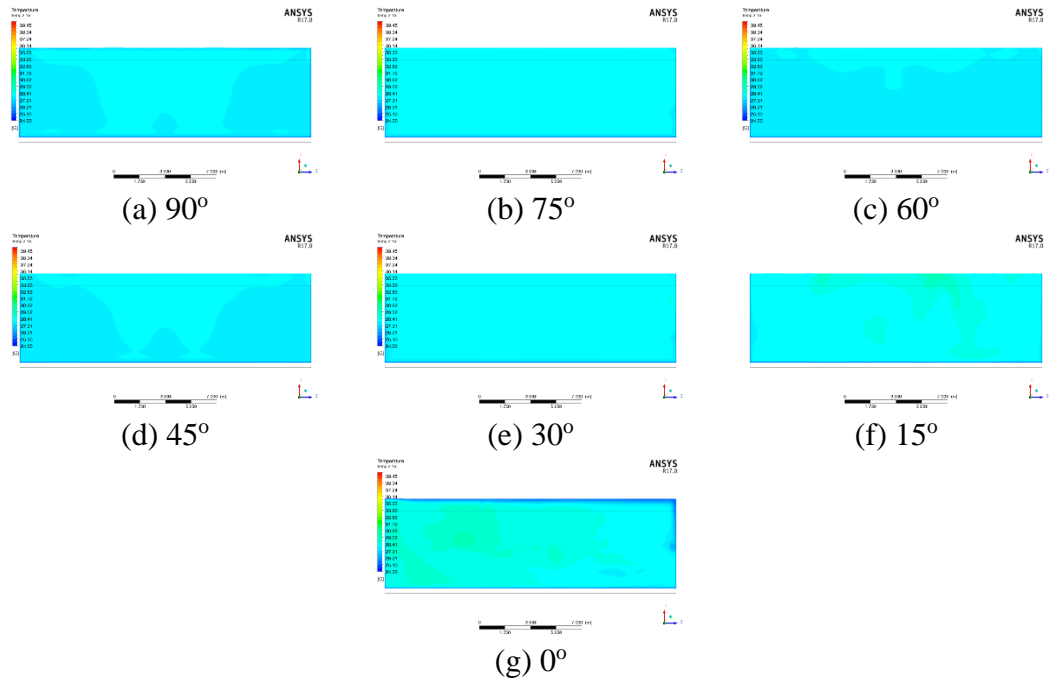
HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitler için, sıcaklık dağılımları Şekil 4.8, Şekil 4.9. ve Şekil 4.10 de görülmektedir. 75° ve 30° yönündeki sera modelleri için orta alandaki sıcaklığının çoğunlukla sabit olduğu görülmektedir. 90°, 60° ve 45° yönündeki sera modelleri için duvara yakın olan bölümlerde daha düşük sıcaklık değerleri görülmüştür. 15° yönünde güney duvar açıklığına yakın bir yerlerde daha yüksek sıcaklık değerleri görülürken, 0° yönünde ise seranın orta alanı diğer yöne göre daha yüksek bir sıcaklığa sahip olmuştur.



Şekil 4.8. Ön kesitten sera Model 1 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.9. Yan kesitten sera Model 1 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.10. Üst kesitten sera Model 1 için sıcaklık dağılımı

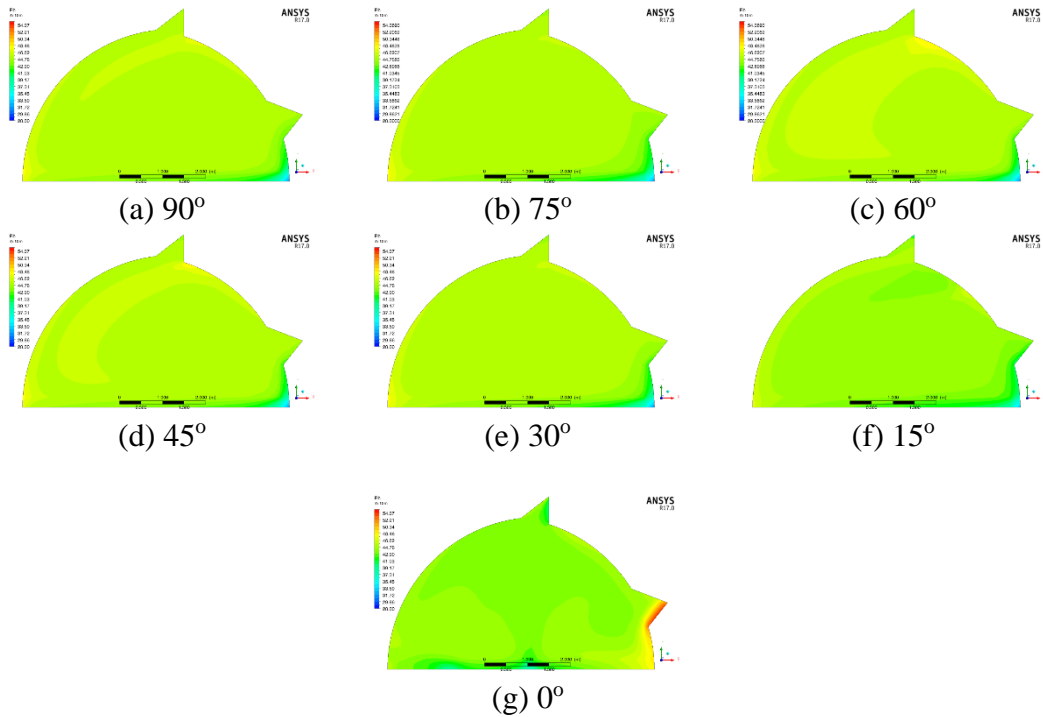
Tüm sera yönündeki maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.3.'te görülebilmektedir. Tüm yönlerde tekdüzelik indeksinde önemli ölçüde fark olmamıştır. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönlü sera modellerinde minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 26.85-27.95 °C, 26.95-28.25 °C, 26.75-27.95 °C, 26.85-27.95 °C, 26.95-28.75 °C, 26.95-28.85 °C, ve 26.95-29.25 °C

olarak hesaplanmıştır. 15° ve 0° yönlü sera modellerinde hava giriş ve çıkışı olmamasından dolayı sera içindeki sıcaklık daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, hava akım hızı dağılımlarıyla bir uyum olduğunu göstermektedir.

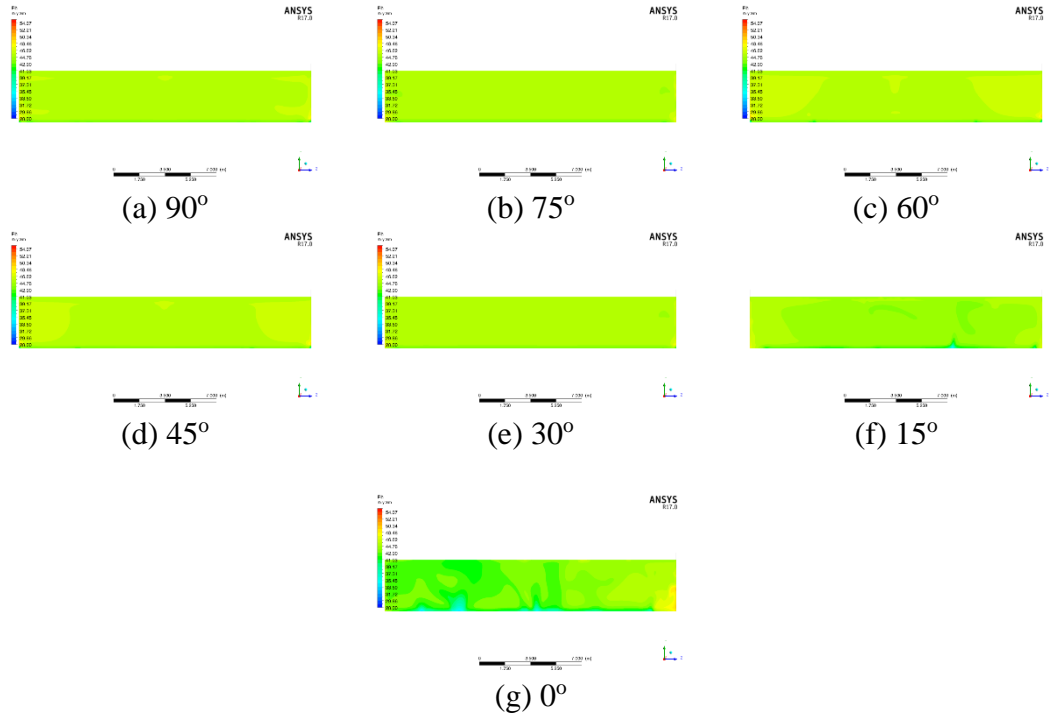
Tablo 4.3. Sera Model 1 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (°C) | Min (°C) | Fark (°C) | Ortalama (°C) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------------|
| 90°       | 27.95     | 26.85    | 1.1       | 27.71         | 0.999              |
| 75°       | 28.25     | 26.95    | 1.3       | 27.82         | 0.999              |
| 60°       | 27.95     | 26.75    | 1.2       | 27.65         | 0.999              |
| 45°       | 27.95     | 26.85    | 1.1       | 27.69         | 0.999              |
| 30°       | 28.15     | 26.95    | 1.2       | 27.80         | 0.999              |
| 15°       | 28.85     | 26.95    | 1.9       | 28.10         | 0.999              |
| 0°        | 29.25     | 26.95    | 2.3       | 28.35         | 0.999              |

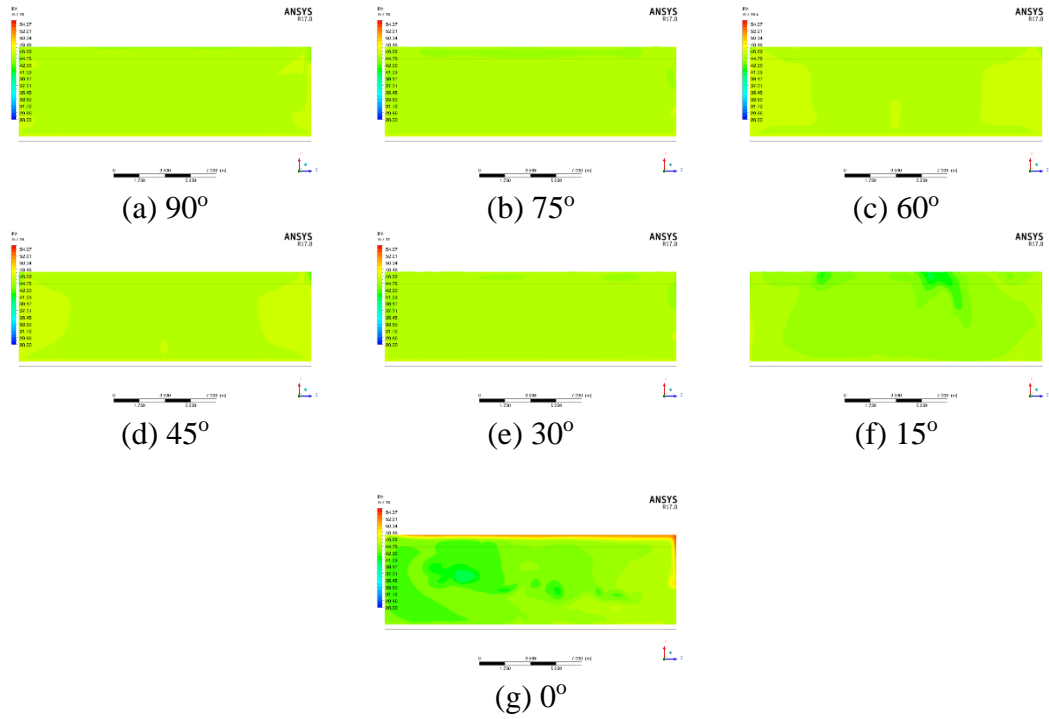
HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitler için bağıl nem dağılımları Şekil 4.11, Şekil 4.12. ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Şekillerden, 0° sera yönü hariç tüm sera yönlerinde bağıl nem açısından bir fark gözlenmemiştir. 0° yönü için seranın batı kısmındaki bağıl nemin, doğu bölgesine göre daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. Ön kesitten sera Model 1 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.12. Yan kesitten sera Model 1 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.13. Üst kesitten sera Model 1 için bağıl nem dağılımı

Tüm sera yönündeki bağıl nemin maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.4'de görülebilmektedir. Tüm sera yönünde tekdüzelik indeksi için bir fark oluşmamıştır. Sera modellerinin 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0°

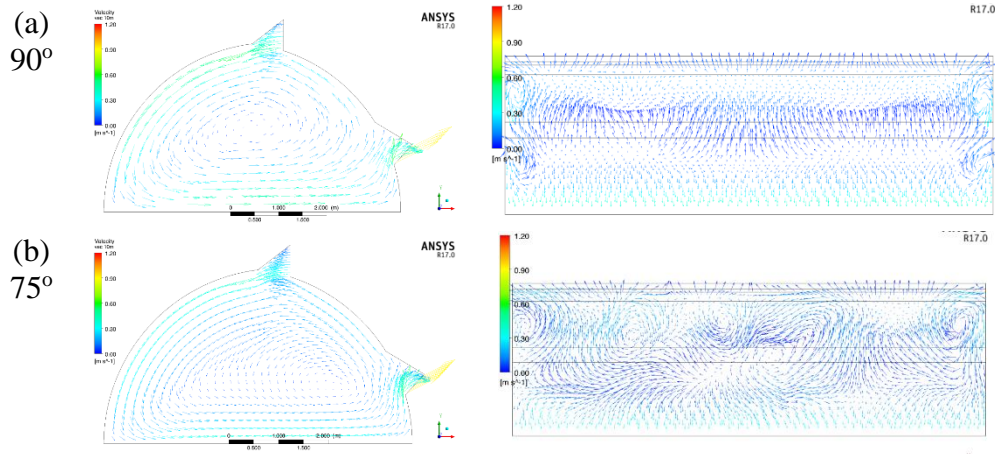
yönündeki minimum ve maksimum bağıl nem değerleri sırasıyla %45.15-45.77, %44.64-45.43, %45.37-46.2, %45.26-45.96, %44.87-45.48, %42.37-45.33, ve %42.05-46.56 olarak belirlenmiştir. 15° ve 0° yönündeki seralarda bağıl nem farkı sırasıyla %2.96 ve %4.51 ve ortalama %44.48 ve %43.80 olmuştur. Bu sonuçlar, 15° ve 0° yönüne sahip sera modellerinin diğer modellere kıyasla bağıl nemin daha düşük kaldığını göstermektedir.

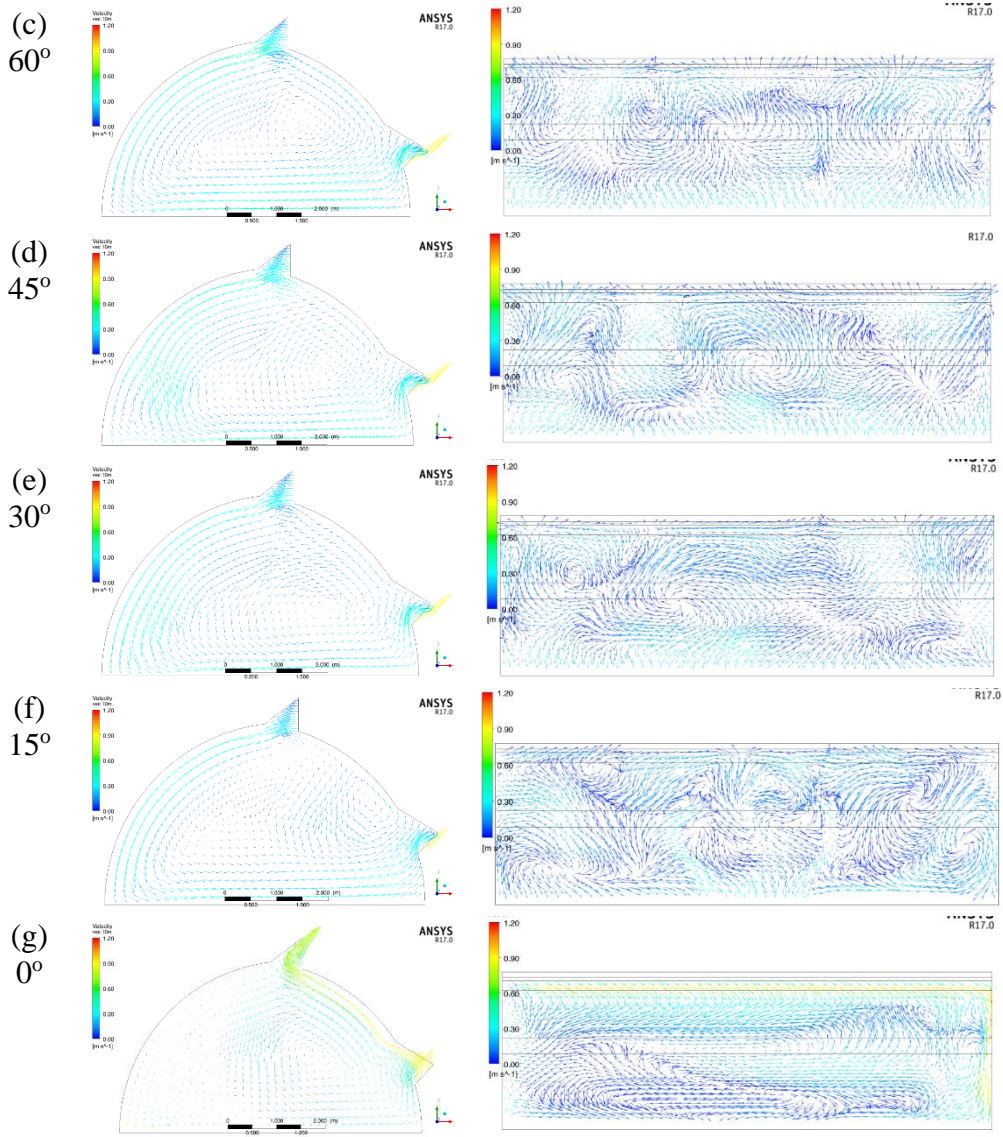
Tablo 4.4. Sera Model 1 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (%) | Min (%) | Fark (%) | Ortalama (%) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|--------------------|
| 90°       | 45.77    | 45.15   | 0.62     | 45.54        | 0.997              |
| 75°       | 45.43    | 44.64   | 0.79     | 45.23        | 0.996              |
| 60°       | 46.2     | 45.37   | 0.83     | 45.72        | 0.996              |
| 45°       | 45.96    | 45.26   | 0.7      | 45.61        | 0.997              |
| 30°       | 45.48    | 44.87   | 0.61     | 45.29        | 0.997              |
| 15°       | 45.33    | 42.37   | 2.96     | 44.48        | 0.995              |
| 0°        | 46.56    | 42.05   | 4.51     | 43.80        | 0.988              |

#### 4.2.2. Model 2

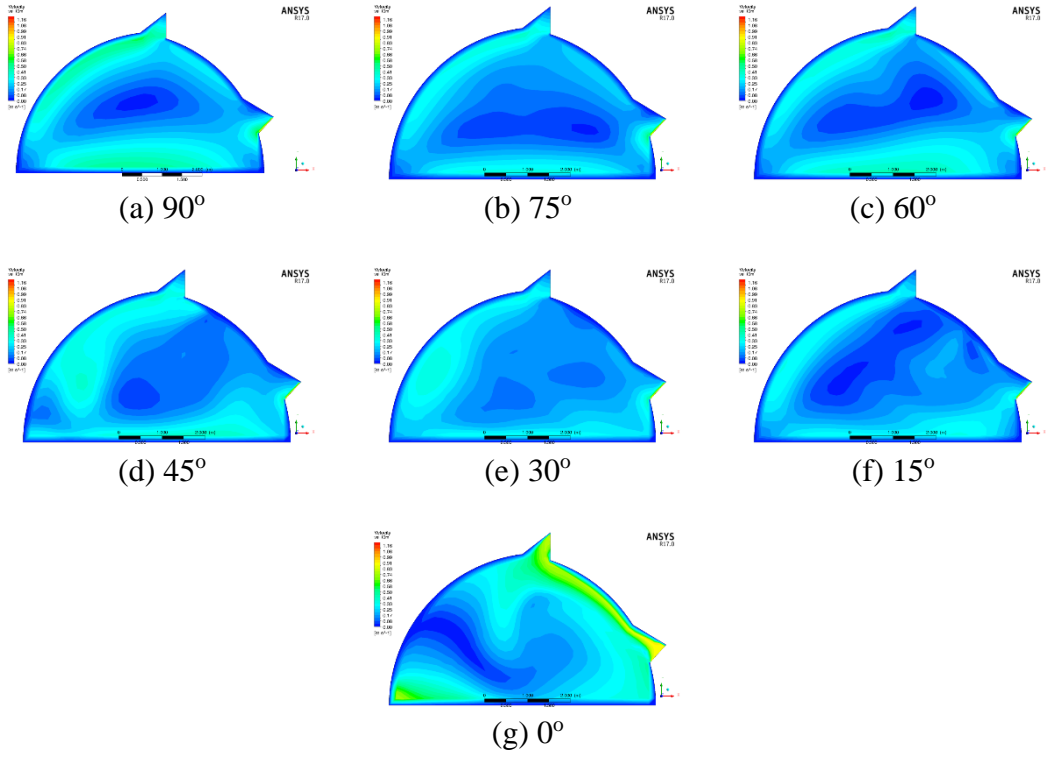
Model 2'in farklı sera yönleri için elde edilen sonuçlar Şekil 4.14'te verilmiştir. Önceki modele benzer şekilde, seranın kuzey duvar açıklığı olmadığından, genellikle 90°, 75°, 60°, 45°, 30° ve 15° serası için güney çatı açıklığında hava girişi ve güney duvar açıklığında ise hava çıkışı olmaktadır. Sera içine giren hava, çatı açıklığından kuzey duvarına doğru hareket etmiş zemini dolaştıktan sonra güney duvar açıklığından dışarı çıkmıştır. 0° sera yönü için, güney duvar açıklığından hava girişi olmuştur ve hava doğrudan çatı açıklığına doğru yönelmiştir.



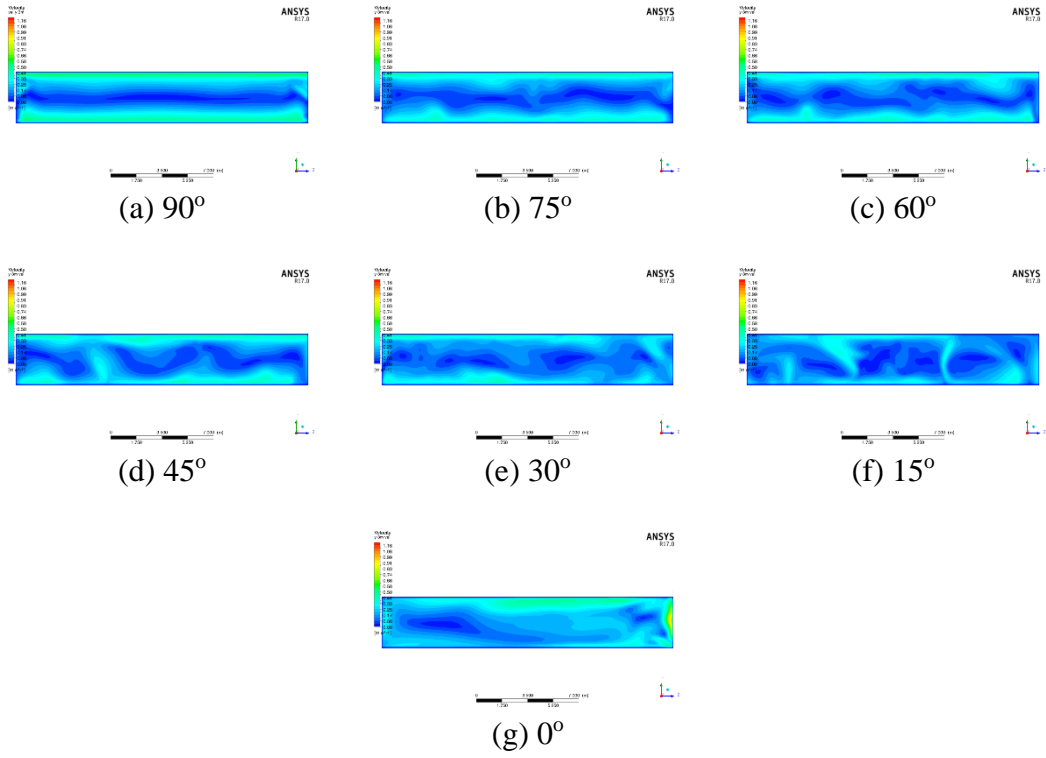


Şekil 4.14. Ön ve üst kesitten sera Model 2 için hız vektörleri

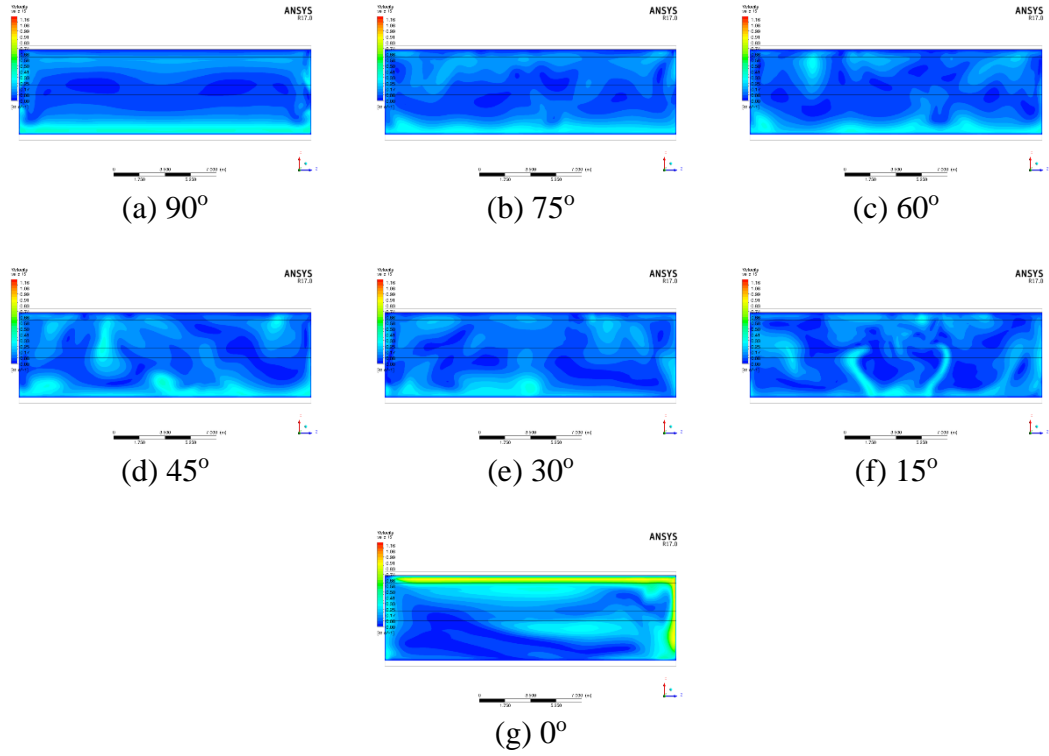
HAD simülasyonlarından elde edilen sonuçların farklı kesitlerdeki hava akım hızı dağılımları Şekil 4.15, Şekil 4.16. ve Şekil 4.17’de verilmiştir. 90°, 75°, 60° ve 15° yönündeki sera modelleri için, duvar kenarına yakın olan bölümlerde hava akım hızı değerlerinin seranın orta alanlarına göre daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Ancak 45° ve 30° yönündeki modellerin duvar bölümü ve orta bölümdeki hava akım hızı değerleri benzerdir. 0° yönündeki modelde, diğer bölümlere göre güney duvarından çatı açıklığına açılan hız büyüklüğünde büyük bir fark olmuştur. Bunun nedeni, havanın büyük bir bölümünün doğrudan bu yönde hareket etmesidir.



Şekil 4.15. Ön kesitten sera Model 2 için hava hızı dağılımı



Şekil 4.16. Yan kesitten sera Model 2 için hava hızı dağılımı



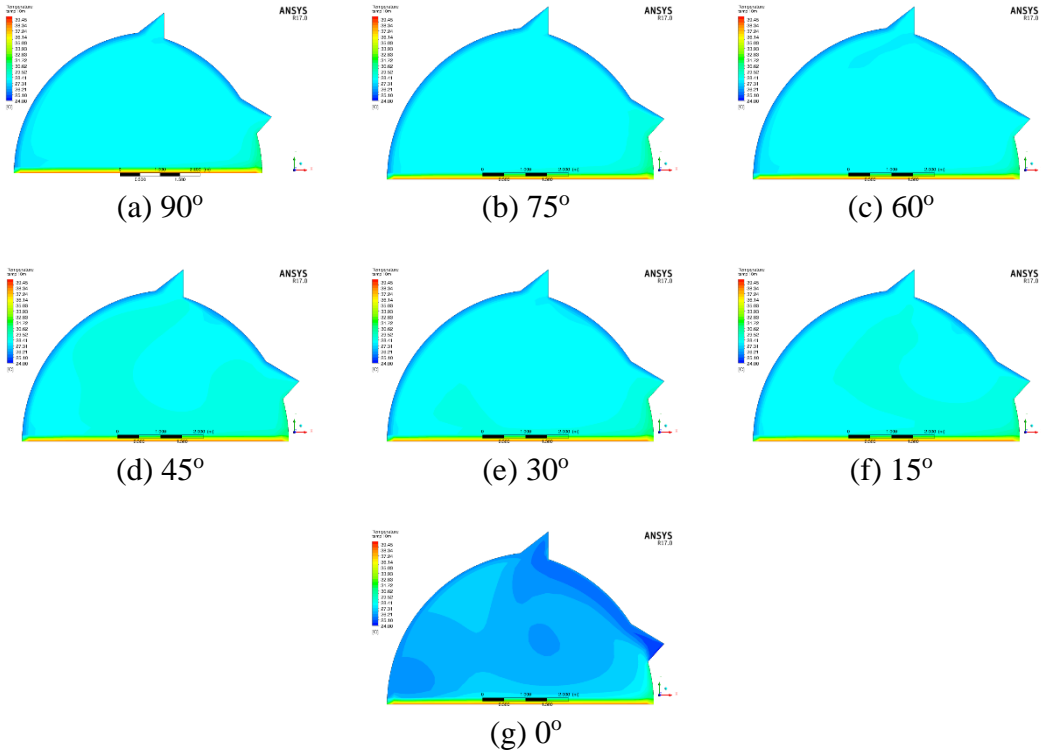
Şekil 4.17. Üst kesitten sera Model 2 için hava hızı dağılımı

Tüm sera yönündeki hava hızının maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.5.'de verilmiştir. Serada 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönleri için minimum ve maksimum hava akım hızı değerleri sırasıyla 0.03-0.41 m/sn, 0.02-0.34 m/sn, 0.03-0.33 m/sn, 0.01-0.36 m/sn, 0.04-0.28 m/sn, 0.04-0.33 m/sn ve 0.02-0.44 m/sn olarak elde edilmiştir. 0° yönlü sera modeli en yüksek hava akım hızı değerine (0.21 m/sn), ancak aynı zamanda da en düşük tekdüzelik indeksine (0.731) sahip olmuştur.

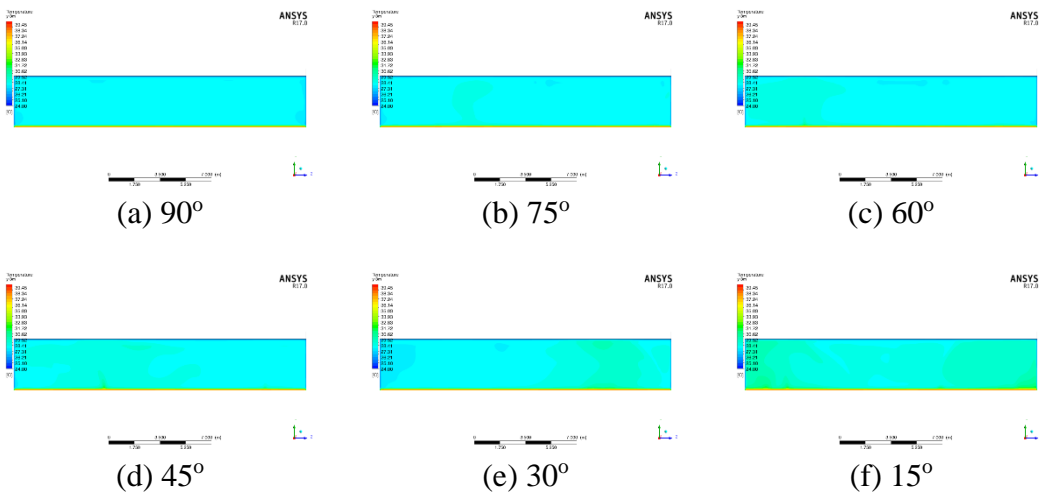
Tablo 4.5. Sera Model 2 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

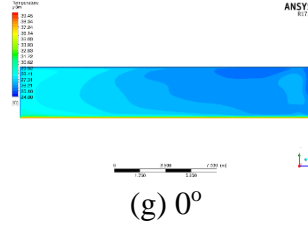
| Sera Yönü | Maks (m/sn) | Min (m/sn) | Fark (m/sn) | Ortalama (m/sn) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 90°       | 0.41        | 0.03       | 0.38        | 0.20            | 0.754              |
| 75°       | 0.34        | 0.02       | 0.33        | 0.16            | 0.780              |
| 60°       | 0.33        | 0.03       | 0.30        | 0.16            | 0.764              |
| 45°       | 0.36        | 0.01       | 0.35        | 0.15            | 0.776              |
| 30°       | 0.28        | 0.04       | 0.24        | 0.14            | 0.807              |
| 15°       | 0.33        | 0.04       | 0.29        | 0.12            | 0.776              |
| 0°        | 0.44        | 0.02       | 0.42        | 0.21            | 0.731              |

HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitler için, sıcaklık dağılımları Şekil 4.18, Şekil 4.19. ve Şekil 4.20'de görülmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30° ve 15° yönündeki sera modelleri için orta alan bölümündeki sıcaklığının çoğunlukla sabit olduğu görülmektedir. 0° yönlü sera modelinde, güney duvar açıklığından güney çatı açıklığına kadar çatı etrafındaki sıcaklık daha düşük olmuştur. 0° yönündeki sera modelinin toplam sıcaklık değeri de diğerlerine göre daha düşüktür.

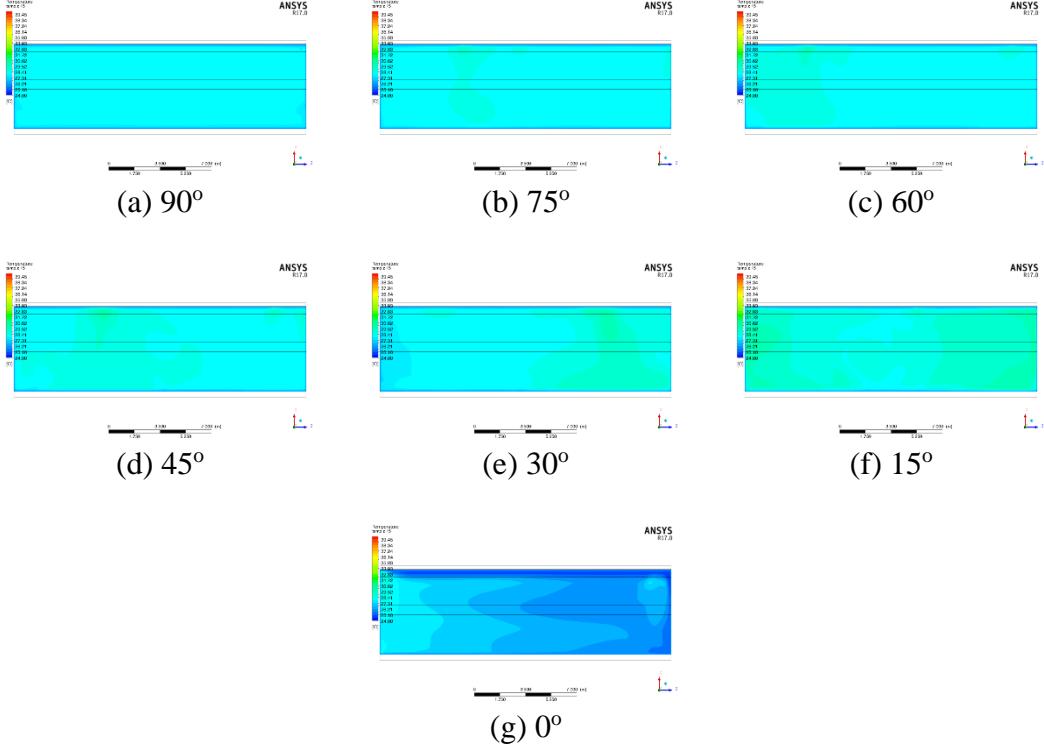


Şekil 4.18. Ön kesitten sera Model 2 için sıcaklık dağılımı





Şekil 4.19. Yan kesitten sera Model 2 için sıcaklık dağılımı



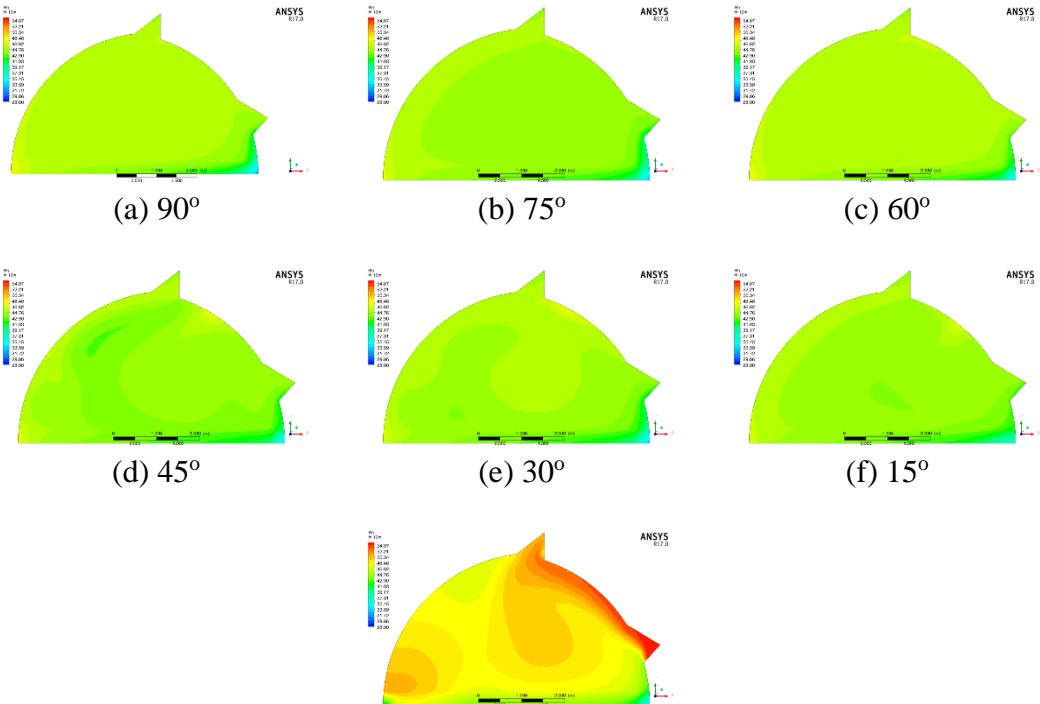
Şekil 4.20. Üst kesitten sera Model 2 için sıcaklık dağılımı

Tüm sera yönündeki maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.6.'da görülebilmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönlü sera modellerindeki minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 26.65-28.15°C, 26.65-28.45 °C, 26.65-29.25 °C, 26.65-29.05 °C, 26.65-29.95 °C, 26.75-30.15 °C ve 25.55-28.15 °C olarak belirlenmiştir. 0° yönlü sera modeli diğerlerine göre en düşük ortalama sıcaklığa (26.57 °C) sahip olmuştur. Bu sonuç, hava akım hızı dağılımı ile uyum olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.6. Sera Model 2 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

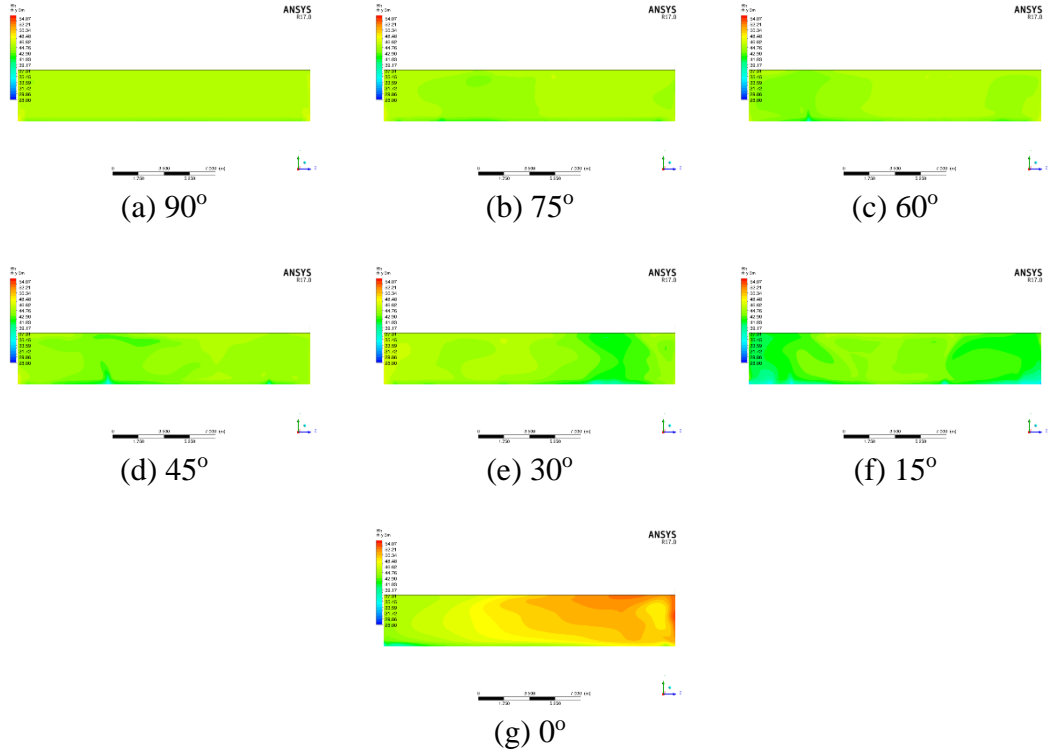
| Sera Yönü | Maks (°C) | Min (°C) | Fark (°C) | Ortalama (°C) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------------|
| 90°       | 28.15     | 26.65    | 1.50      | 27.79         | 0.999              |
| 75°       | 28.45     | 26.65    | 1.80      | 27.90         | 0.999              |
| 60°       | 29.25     | 26.65    | 2.60      | 28.04         | 0.999              |
| 45°       | 29.05     | 26.65    | 2.40      | 28.15         | 0.999              |
| 30°       | 29.95     | 26.65    | 3.30      | 28.23         | 0.999              |
| 15°       | 30.15     | 26.75    | 3.40      | 28.78         | 0.999              |
| 0°        | 28.15     | 25.55    | 2.60      | 26.57         | 0.999              |

HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitler için bağıl nem dağılımları Şekil 4.21, Şekil 4.22. ve Şekil 4.23'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi 0° sera modeli hariç tüm sera yönlerinde bağıl nem açısından bir fark olmamıştır. 0° yönünde genel olarak bağıl nemin diğerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu modelde güney çatı alanı etrafındaki bağıl nemin de daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Şekil 4.15'ten görüldüğü gibi 0° olan sera yönünde rüzgar yönüne paralel çatı ve duvar açıklığı ile paralel olmuştur. Böylece, rüzgarın büyük bir kısmının güney duvar açıklığından gelmiştir ve güney çatı açıklığından geçmiştir, ve sera içindeki hava hızı daha yüksek olmuştur. Hava hızı diğerlerinden biraz daha yüksek olduğundan, sıcaklık da düşmüştür ve bağıl nem daha yüksek olmuştur.

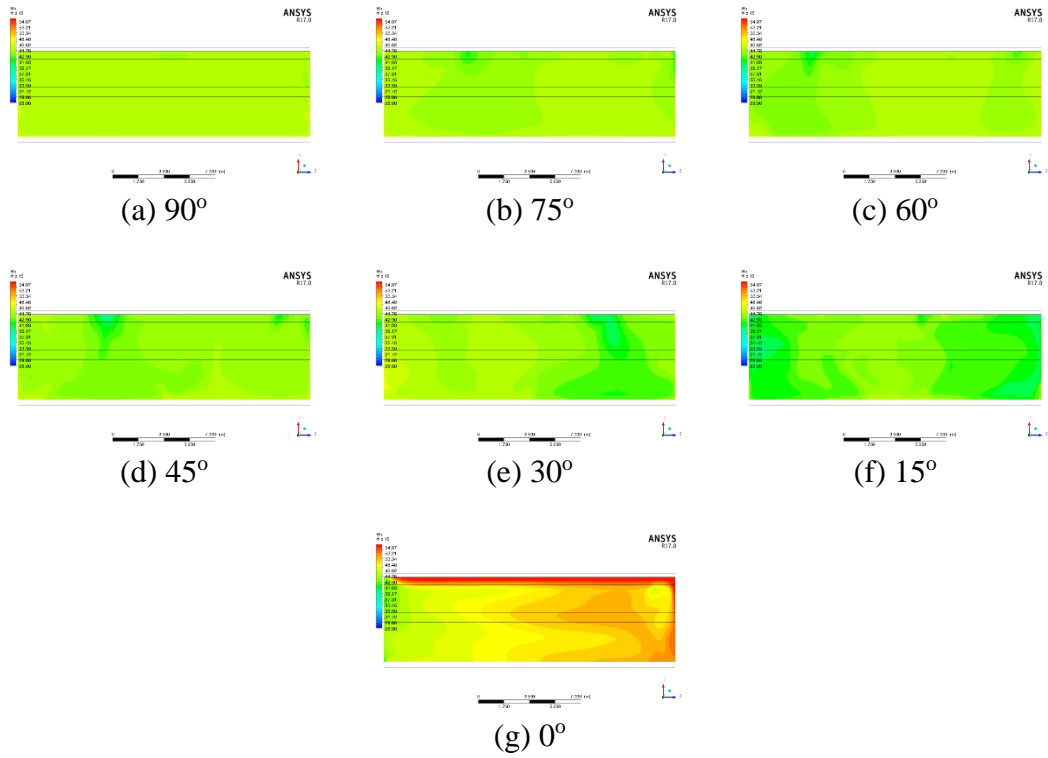


(g) 0°

Şekil 4.21. Ön kesitten sera Model 2 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.22. Yan kesitten sera Model 2 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.23. Üst kesitten sera Model 2 için bağıl nem dağılımı

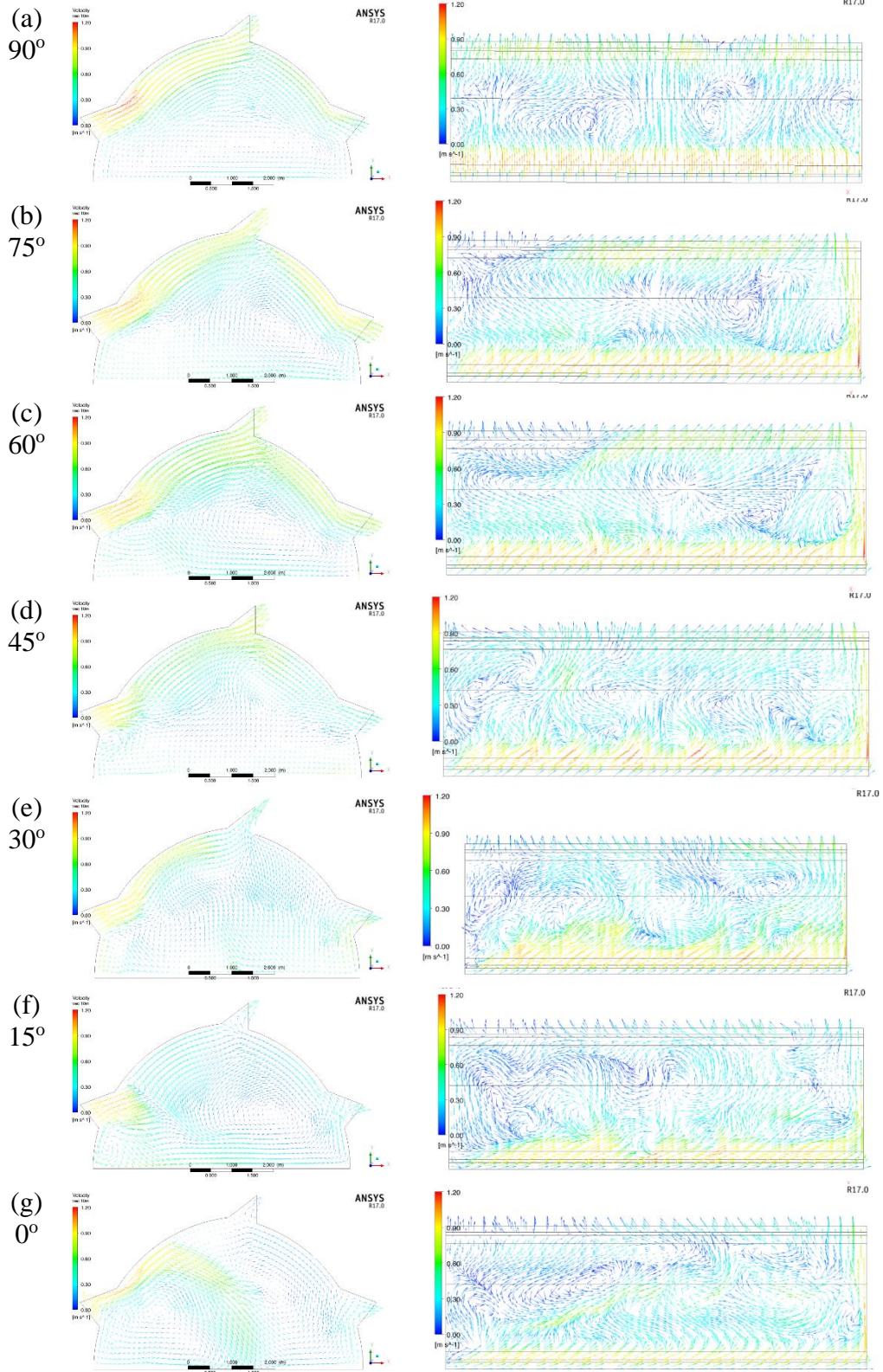
Tüm sera yönündeki bağıl nemin maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik endeksi Tablo 4.7.'de verilmiştir. Tüm sera yönleri için tekdüzelik indeksindeküçük bir farkoluşmuştur. Serada 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönündeki minimum ve maksimum bağıl nem değerleri sırasıyla %44.77-45.46, %44.06-45.51, %41.72-45.62, %42.44-45.13, %40.43-45.80, %39.85-44.95 ve %44.49-53.77 olarak elde edilmiştir. 0° yönündeki sera modeli diğerlerine göre daha yüksek bağıl neme(%48.95) ve daha düşük tekdüzelik indeksine sahip olmuştur. En düşük bağıl nem ortalaması (%42.49) 15° yönlü sera modelinde görülmüştür

Tablo 4.7. Sera Model 2 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (%) | Min (%) | Fark (%) | Ortalama (%) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|--------------------|
| 90°       | 45.46    | 44.77   | 0.69     | 45.22        | 0.996              |
| 75°       | 45.51    | 44.06   | 1.45     | 44.89        | 0.995              |
| 60°       | 45.62    | 41.72   | 3.90     | 44.48        | 0.994              |
| 45°       | 45.13    | 42.44   | 2.69     | 44.21        | 0.993              |
| 30°       | 45.80    | 40.43   | 5.37     | 43.95        | 0.989              |
| 15°       | 44.95    | 39.85   | 5.10     | 42.49        | 0.990              |
| 0°        | 53.77    | 44.49   | 9.28     | 48.95        | 0.981              |

#### 4.2.3. Model 3

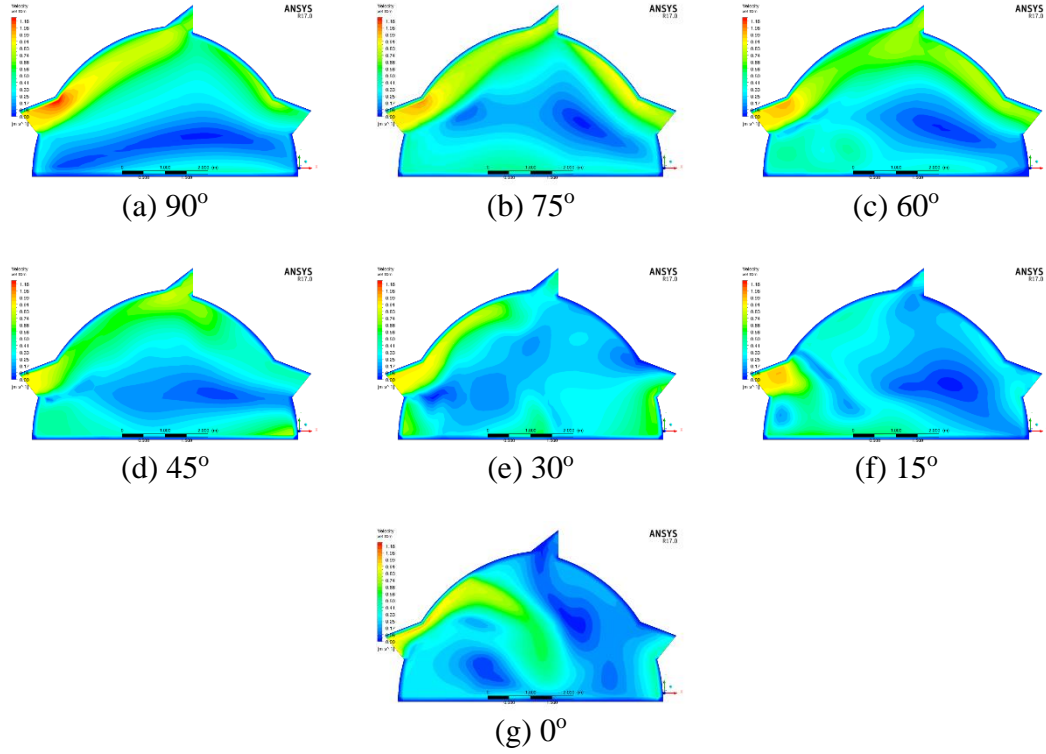
Model 3'ün farklı sera yönleri için elde edilen sonuçları Şekil 4.24'de verilmiştir. Bu modelde hem kuzey hem de güney duvar açıklığı ve güney çatı açıklığı mevcuttur. Rüzgâr kuzeyden geldiği için 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönündeki modeller genellikle kuzey duvar açıklığından içeri hava akımı, güney çatı ve duvar açıklığından ise dışarı hava akımı olduğu görülmektedir. 90° yönündeki sera modelinde havanın çoğu, kuzey duvar açıklığından doğrudan güney çatı açıklığına ve güney duvar açıklığında dolaşmıştır. Ancak 75° ve 60° yönlü modellerde akış azalmıştır. 30° yönündeki modelde hava doğrudan güney çatı açıklığına hareket etmiş veseranın içinde dolaştıktan sonra dışarı çıkmıştır. 15° ve 0° sera yönlerindeki modellerde, havanın çoğu sera içinde dolaşarak hem güney çatıdan hem de duvar açıklığından dışarı çıkmıştır. 15° ve 0° yönlü sera modellerinde ise kuzey duvar açıklığından güney çatı açıklığına doğru akış gözlenmemiştir.



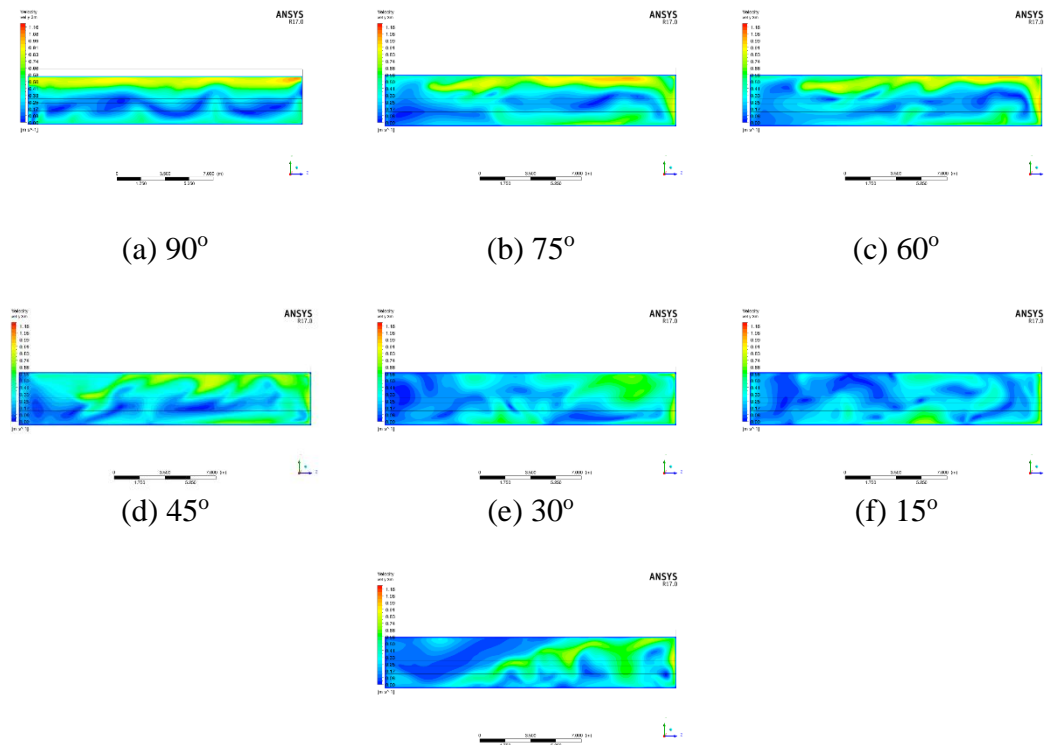
Şekil 4.24. Ön ve üst kesitten sera Model 3 için hız vektörleri

HAD simülasyonlarından elde edilen sonuçların farklı kesitlerdeki hava akım hızı dağılımları Şekil 4.25., Şekil 4.26. ve Şekil 4.27'de verilmiştir. 90°, 75° ve 60° yönlerindeki sera modellerinde çatı bölümlerindeki hava akım hızı değerlerinin daha

yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak çatı alanındaki hava akım hızı değerleri 45° ve 30° sera yönlü modellerde azalmıştır. 15° ve 0° yönünde, daha yüksek hava akım hızı yalnızca kuzey duvar açıklığının yakınında gözlemlenebilmektedir.

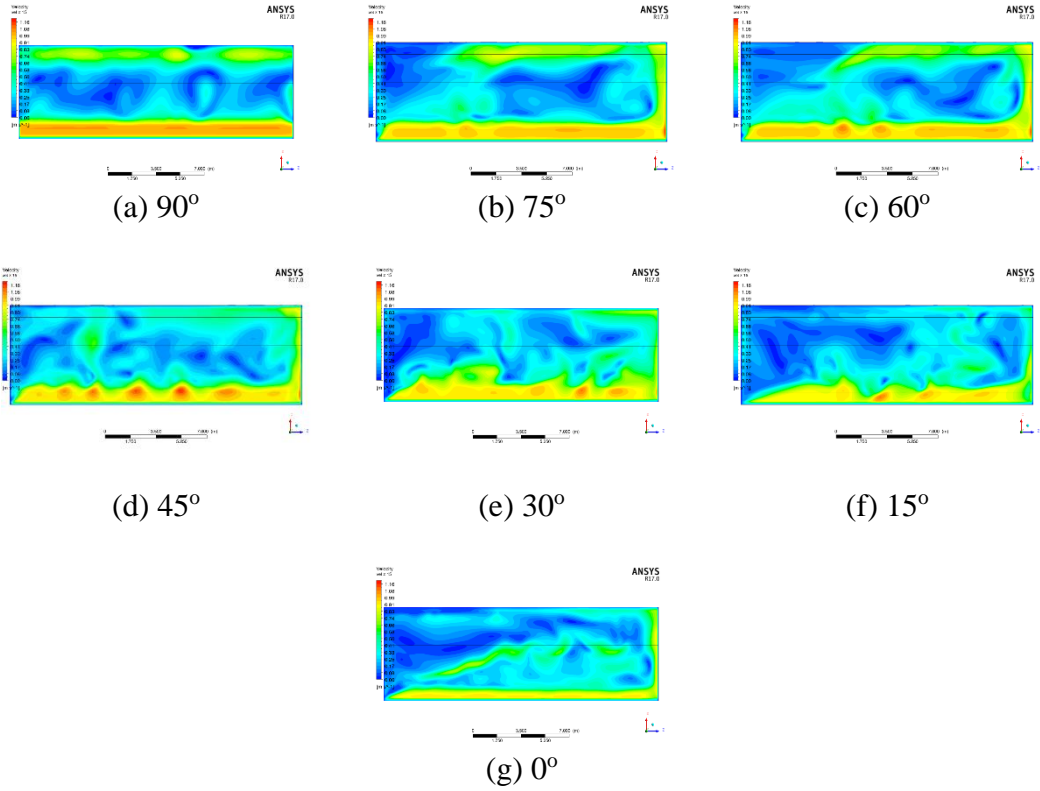


Şekil 4.25. Ön kesitten sera Model 3 için hava hızı dağılımı



(g) 0°

Şekil 4.26. Yan kesitten sera Model 3 için hava hızı dağılımı



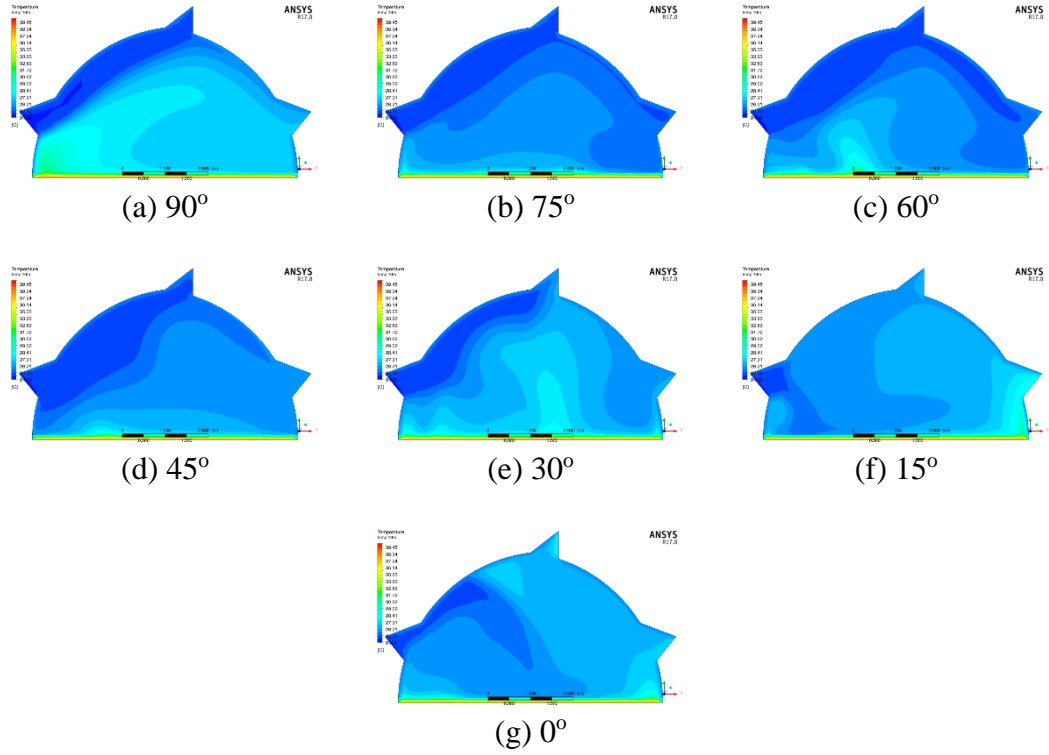
Şekil 4.27. Üst kesitten sera Model 3 için hava hızı dağılımı

Tüm sera yönündeki hava hızının maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.8.'de görülebilmektedir. Serada 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönlerindeki minimum ve maksimum hava akım hızı değerleri sırasıyla 0.06-0.97 m/sn, 0.04-0.97 m/sn, 0.05-1 m/sn, 0.02-1.01 m/sn, 0.04-0.91 m/sn, 0.03-0.82 m/sn ve 0.05-0.85 m/sn olarak elde edilmiştir. 90°, 75°, 60° ve 45° yönündeki sera modelleri diğerlerine göre daha yüksek hava akım hızı farkına sahip olmuştur. Ancak 45° sera yönünde kuzey duvar açıklığından güney çatı açıklığına doğru hava akışı diğer sera yönlerine göre daha düşük olduğu için tekdüzelik indeksi daha iyi olmuştur. 0° yönlü sera modeli 0.769 ile en yüksek tekdüzelik indeksine sahip olup, bunu sırasıyla 45° (0.761) ve 15° (0.750) sera yönleri takip etmektedir.

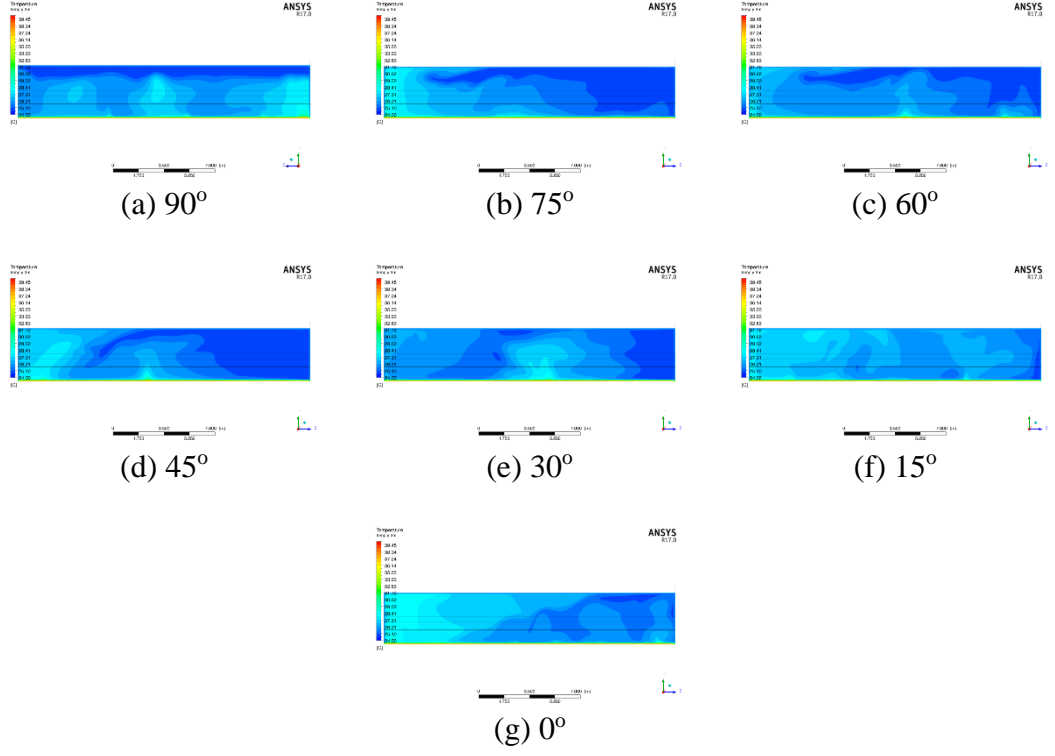
Tablo 4.8. Sera Model 3 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (m/sn) | Min (m/sn) | Fark (m/sn) | Ortalama (m/sn) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 90°       | 0.97        | 0.06       | 0.92        | 0.44            | 0.713              |
| 75°       | 0.97        | 0.04       | 0.93        | 0.40            | 0.728              |
| 60°       | 1.00        | 0.05       | 0.95        | 0.38            | 0.739              |
| 45°       | 1.01        | 0.02       | 0.99        | 0.34            | 0.761              |
| 30°       | 0.91        | 0.04       | 0.87        | 0.31            | 0.747              |
| 15°       | 0.82        | 0.03       | 0.79        | 0.26            | 0.750              |
| 0°        | 0.85        | 0.05       | 0.81        | 0.29            | 0.769              |

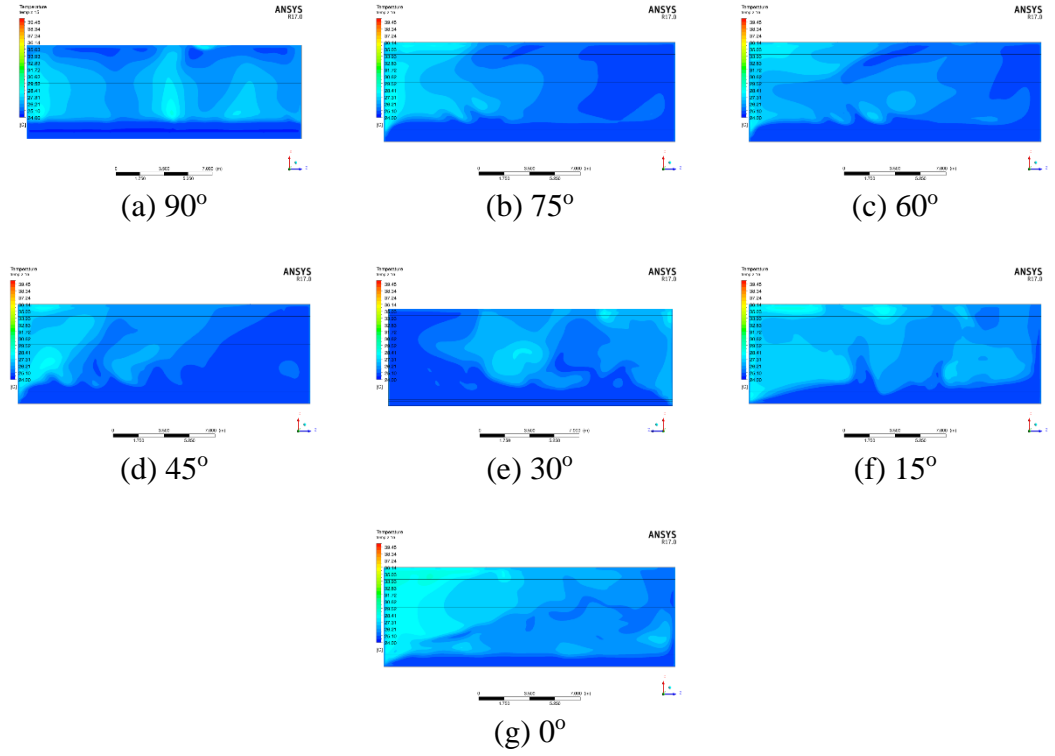
HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitlere ait sıcaklık dağılımları Şekil 4.28, Şekil 4.29. ve Şekil 4.30'de verilmiştir. 90°, 75° ve 60°, 45° ve 30° yönlü sera modelleri için çatı alanı sıcaklığının orta alana göre daha düşük olduğu görülmektedir. 15° ve 0° yönlü sera modeli için çatı alanındaki sıcaklık orta alandaki ile aynıdır. Diğer sera yönlü modeller için daha yüksek olmuştur.



Şekil 4.28. Ön kesitten sera Model 3 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.29. Yan kesitten sera Model 3 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.30. Üst kesitten sera Model 3 için sıcaklık dağılımı

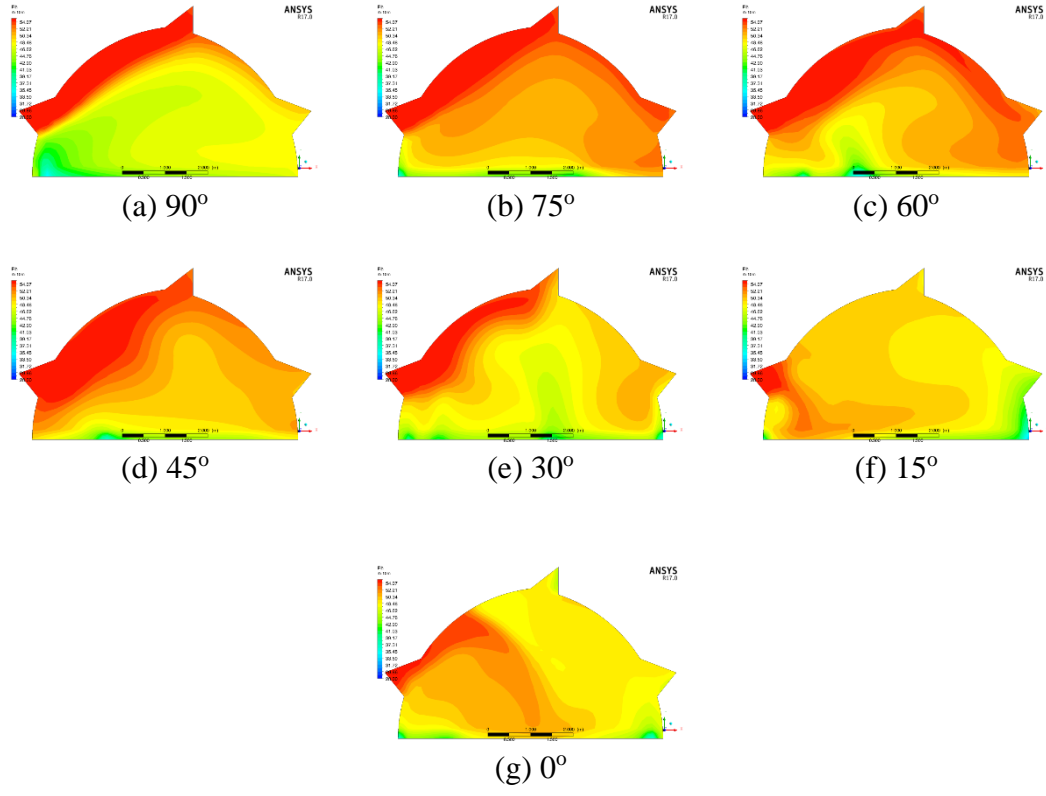
Tüm sera yönündeki sıcaklık maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.9.'de görülebilmektedir. Tüm yönler için tekdüzelik

indeksinde önemli bir fark olmamıştır. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönlü sera modelleri için minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 24.55-28.55 °C, 24.55-27.85 °C, 24.55-27.45 °C, 24.55-27.65 °C, 24.65-27.15 °C, 24.75-27.45 °C ve 24.95-28.45 °C olarak elde edilmiştir. 15° ve 0° yönlü sera modellerinde tekdüzelik indeksi yüksek olmasına rağmen, ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 26.18 °C ve 26.48 °C olarak diğer modellerden daha yüksektir. 90° yönlü sera modelinde en yüksek sıcaklık farkı görülmüştür.

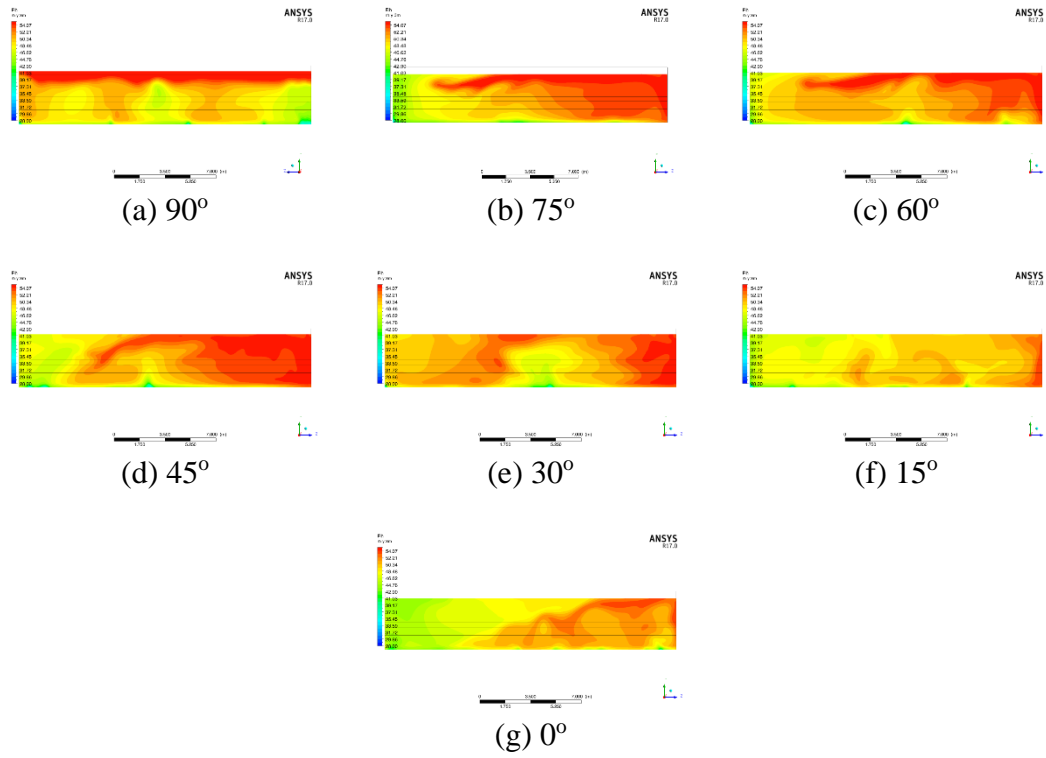
Tablo 4.9. Sera Model 3 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (°C) | Min (°C) | Fark (°C) | Ortalama (°C) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------------|
| 90°       | 28.55     | 24.55    | 4         | 25.90         | 0.998              |
| 75°       | 27.85     | 24.55    | 3.3       | 25.69         | 0.998              |
| 60°       | 27.45     | 24.55    | 2.9       | 25.69         | 0.998              |
| 45°       | 27.65     | 24.55    | 3.1       | 25.64         | 0.998              |
| 30°       | 27.15     | 24.65    | 2.5       | 25.61         | 0.998              |
| 15°       | 27.45     | 24.75    | 2.7       | 26.18         | 0.999              |
| 0°        | 28.45     | 24.95    | 3.5       | 26.48         | 0.999              |

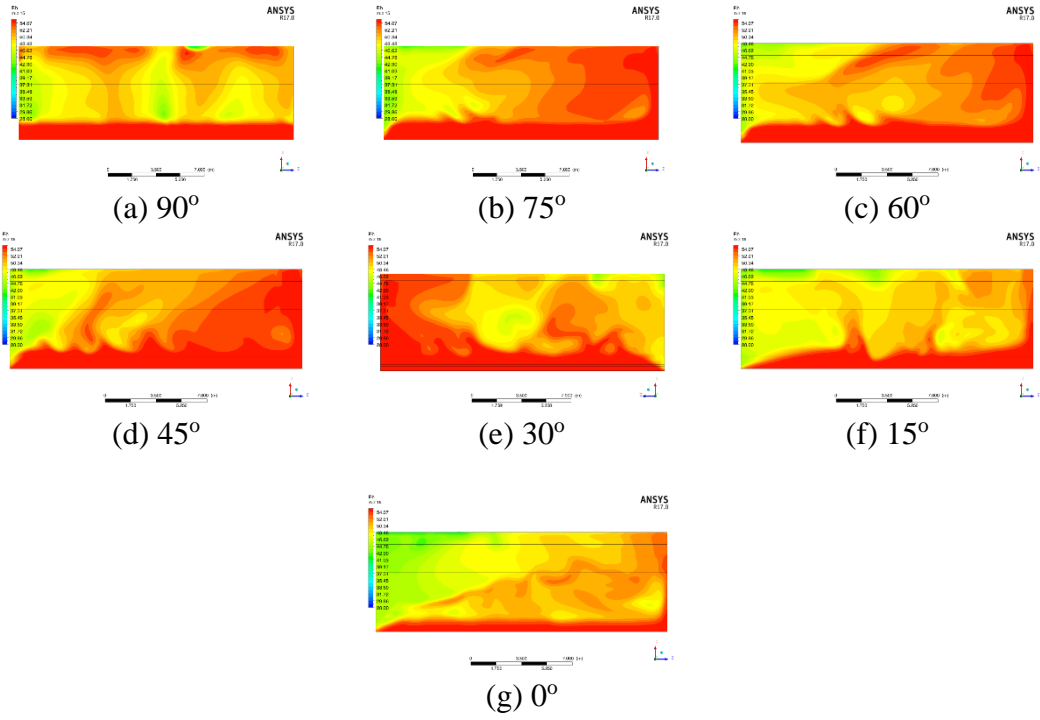
HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitler için bağıl nem dağılımları Şekil 4.31, Şekil 4.32. ve Şekil 4.33.'de verilmiştir Şekillerden de görüldüğü üzere, sıcaklık dağılımlarına benzer şekilde, 90°, 75°, 60°, 45° ve 30° sera yönlü modellerde çatı alanı çevresinde daha yüksek bağıl nem değeri görülmektedir. Bununla birlikte, 15° ve 0° yönlü sera modellerinde sadece kuzey çatı açıklığında yüksek bağıl nem değerleri görülmektedir.



Şekil 4.31. Ön kesitten sera Model 3 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.32. Yan kesitten sera Model 3 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.33. Üst kesitten sera Model 3 için bağıl nem dağılımı

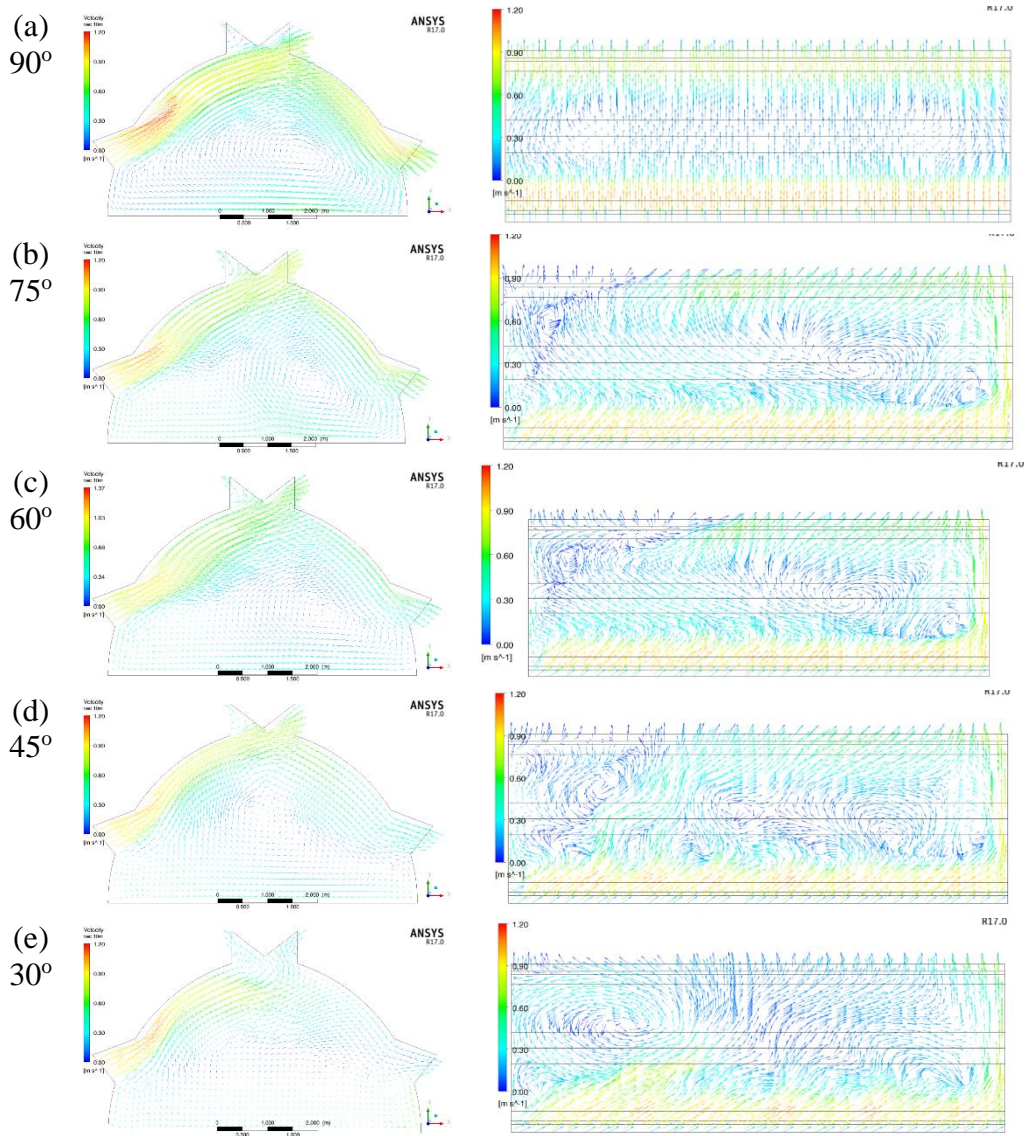
Tüm sera yönündeki bağıl nemin maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.10.'de verilmiştir. Tüm sera yönleri için tekdüzelik indeksinde küçük fark meydana gelmiştir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönlü sera modelleri için minimum ve maksimum bağıl nem değerleri sırasıyla %43.31-54.93, %45.09-54.85, %46.22-54.83, %45.85-54.79, %47.18-54.68, %46.20-54.26 ve %43.47-53.70 olarak hesaplanmıştır. 15° ve 0° yönlü sera modelleri diğerlerine göre daha düşük bağıl nem değerine ve daha yüksek tekdüzelik indeksine sahip olmuşlardır. 90° yönündeki sera modeli ise en yüksek bağıl nem farkına (% 11.62) ve en düşük tekdüzelik indeksine (0.976) sahiptir.

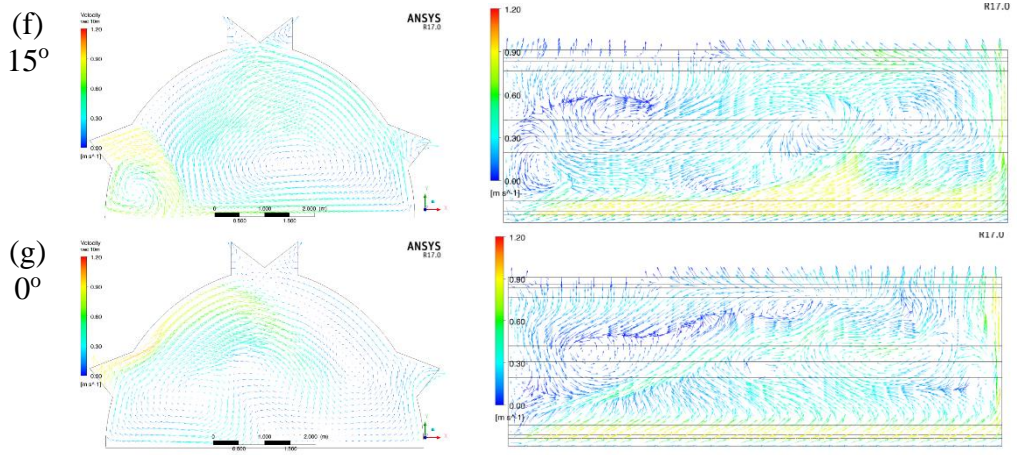
Tablo 4.10. Sera Model 3 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (%) | Min (%) | Fark (%) | Ortalama (%) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|--------------------|
| 90°       | 54.93    | 43.31   | 11.62    | 50.98        | 0.976              |
| 75°       | 54.85    | 45.09   | 9.76     | 51.42        | 0.978              |
| 60°       | 54.83    | 46.22   | 8.61     | 51.34        | 0.981              |
| 45°       | 54.79    | 45.85   | 8.94     | 51.51        | 0.978              |
| 30°       | 54.68    | 47.18   | 7.50     | 51.55        | 0.981              |
| 15°       | 54.26    | 46.20   | 8.06     | 49.77        | 0.984              |
| 0°        | 53.70    | 43.47   | 10.23    | 48.86        | 0.982              |

#### 4.2.4. Model 4

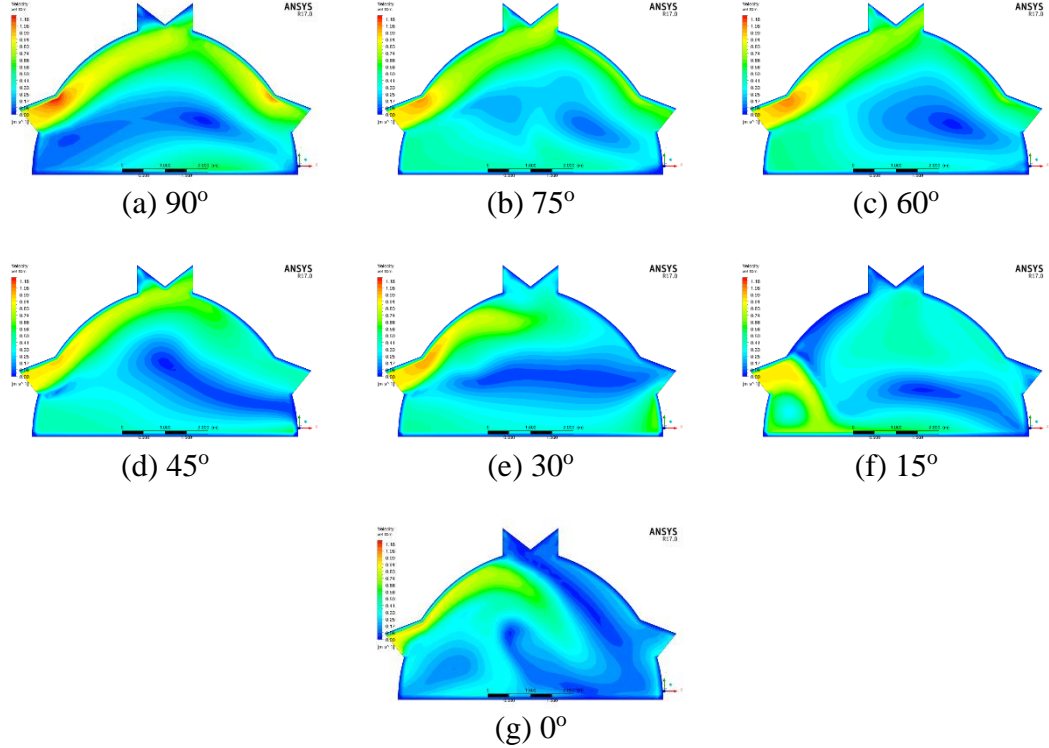
Model 4 için farklı sera yönlerindeki hava akış dağılımları Şekil 4.34.'de verilmiştir. Bu model, kuzey-güney duvar açıklığı ve kuzey-güney çatı açıklığı olacak şekilde modellenmiştir. 90° sera yönünde, kuzey duvar açıklığından gelen hava akışının büyük bölümü, güney duvar açıklığından ve doğrudan çatı güney açıklığından dışarıya çıktığı görülmektedir. Sera içerisinde neredeyse hiç sirkülasyon olmamıştır. 75°, 60° ve 45° sera yönlerinde, hava akışının çoğu güney çatı açıklığında dışarı çıkmıştır. Ancak 30°, 15° ve 0° yönlerindeki modellerde hava akışı azalmıştır. Seradaki güney duvar açıklığından 0° yönünde küçük bir hava akış girişi görülmektedir.



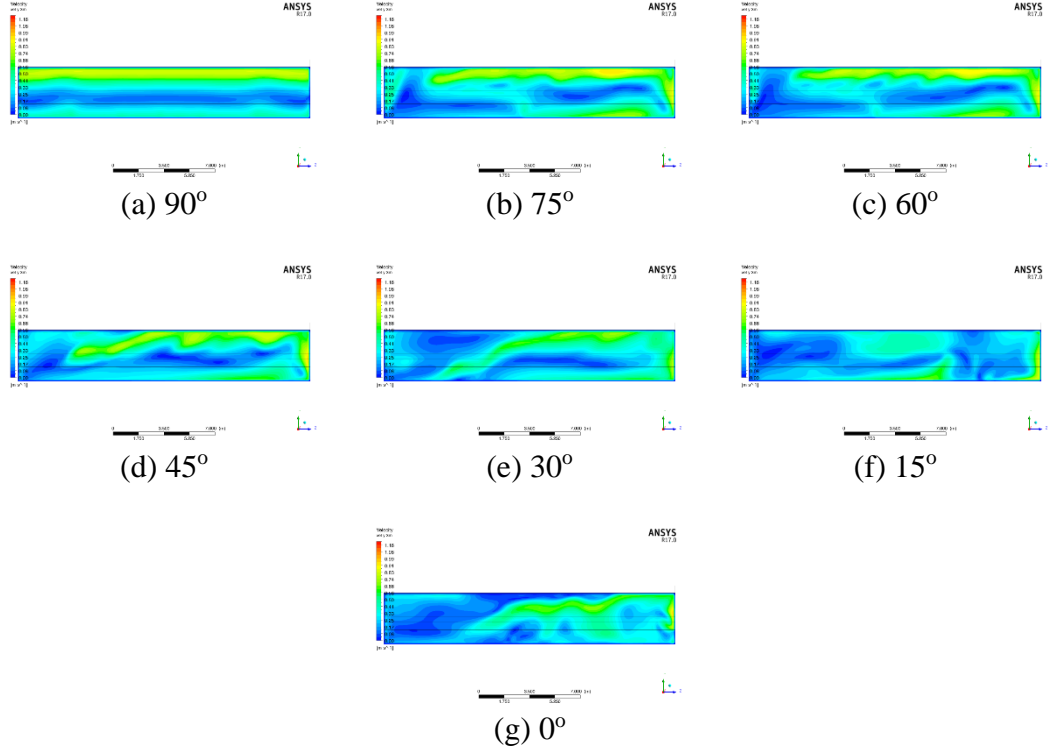


Şekil 4.34. Ön ve üst kesitten sera Model 4 için hız vektörleri

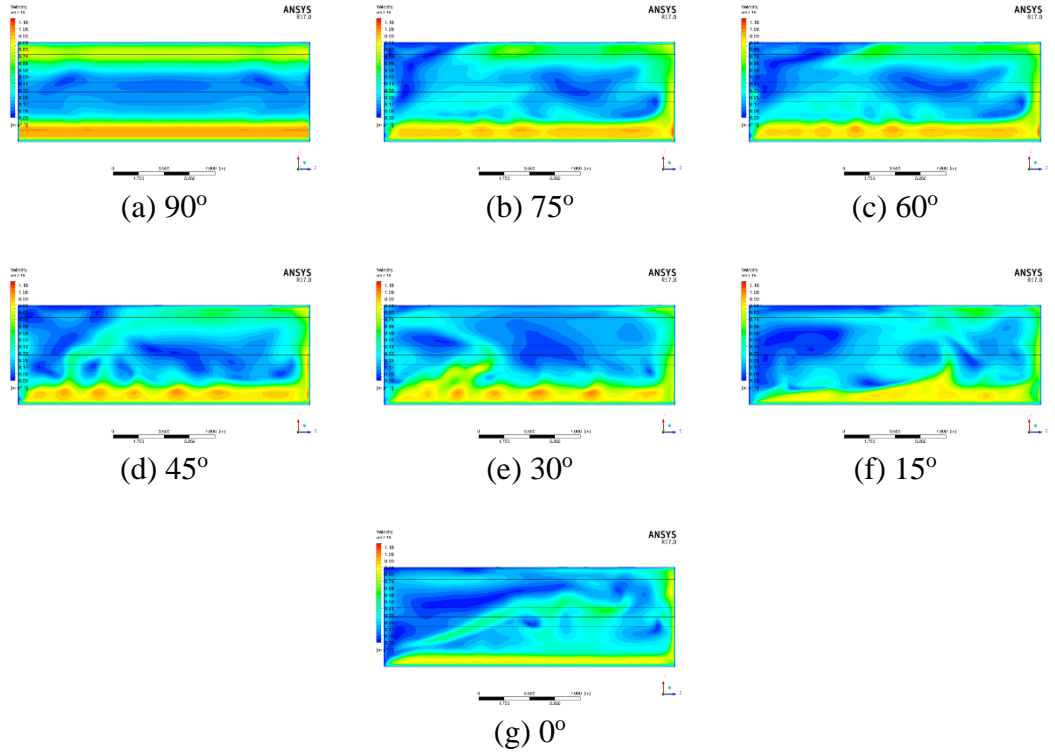
HAD simülasyonlarından elde edilen hava akım hızının farklı en kesitlerdeki dağılımları Şekil 4.35, Şekil 4.36. ve Şekil 4.37'de verilmiştir. Model 3'e benzer şekilde, 90°, 75° ve 60° yönündeki sera modelleri için çatı bölümündeki hava akım hızının, diğer bölümlere kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak 45° ve 30° yönündeki modellerde çatı bölümündeki hava akım hızı azalmıştır. 15° ve 0° yönlerinde ise, daha yüksek hava akım hızı değerleri sadece kuzey duvar açıklığının yakınında görülmektedir.



Şekil 4.35. Ön kesitten sera Model 4 için hava hızı dağılımı



Şekil 4.36. Yan kesitten sera Model 4 için hava hızı dağılımı



Şekil 4.37. Üst kesitten sera Model 4 için hava hızı dağılımı

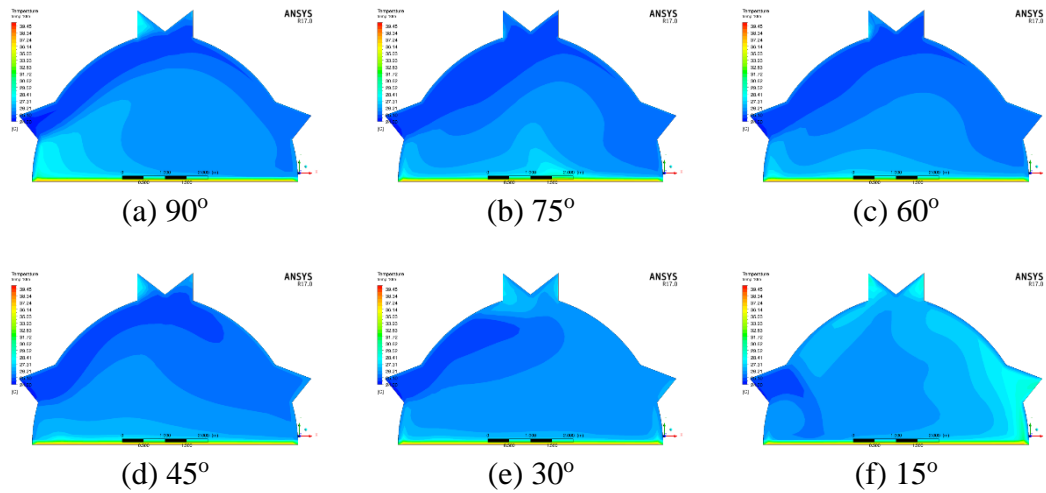
Tüm sera yönündeki hava hızının maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.11.'de görülebilmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0°

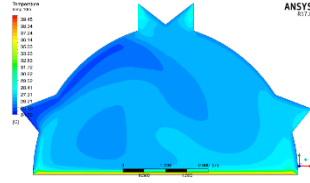
yönlerine sahip sera modellerinde minimum ve maksimum hava akım hızı değerleri sırasıyla 0.09-0.96 m/sn, 0.01-0.98 m/sn, 0.03-0.99 m/sn, 0.07-0.87 m/sn, 0.06-0.86 m/sn, 0.04-0.84 m/sn ve 0.06-0.79 m/sn olarak elde edilmiştir. 90° sera yönlü modelde ortalama en yüksek hava akım hızı (0.44 m/sn) elde edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek hava akım hızı, çatı ve orta alan bölgeleri arasında tekdüzelik olmamasına neden olmaktadır. 15° ve 75° yönü seralar en yüksek tekdüzelik indeksine sahip olmuştur. En düşük hava akım hızı ortalaması ise rüzgar yönüne paralel olan serada bulunmuştur.

Tablo 4.11. Sera Model 4 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (m/sn) | Min (m/sn) | Fark (m/sn) | Ortalama (m/sn) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 90o       | 0.96        | 0.09       | 0.87        | 0.44            | 0.719              |
| 75°       | 0.98        | 0.01       | 0.96        | 0.38            | 0.753              |
| 60°       | 0.99        | 0.03       | 0.96        | 0.36            | 0.735              |
| 45°       | 0.87        | 0.07       | 0.80        | 0.35            | 0.744              |
| 30°       | 0.86        | 0.06       | 0.80        | 0.30            | 0.735              |
| 15°       | 0.84        | 0.04       | 0.81        | 0.26            | 0.753              |
| 0°        | 0.79        | 0.06       | 0.73        | 0.27            | 0.734              |

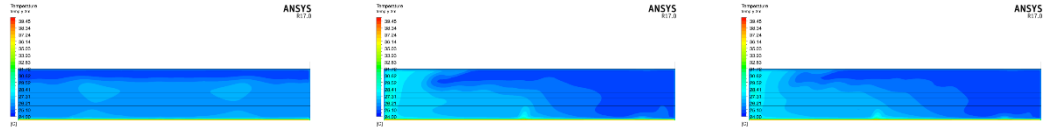
HAD simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımının farklı kesitler için görünümü Şekil 4.38, Şekil 4.39. ve Şekil 4.40'de verilmiştir. 90°, 75°, 60° ve 45° yönlerindeki sera modelleri için çatı alanı sıcaklığının orta alana göre daha düşük olduğu görülmektedir. Seralarda sıcaklık değerleri 15° ve 0° yönünde artmışken, kuzey duvar açıklığının etrafındaki sıcaklık düşük kalmıştır.





(g) 0°

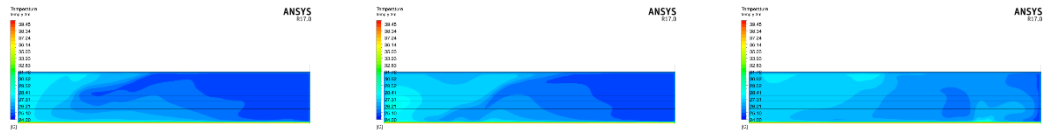
Şekil 4.38. Ön kesitten sera Model 4 için sıcaklık dağılımı



(a) 90°

(b) 75°

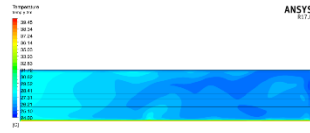
(c) 60°



(d) 45°

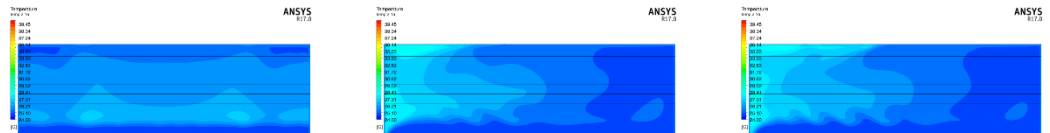
(e) 30°

(f) 15°



(g) 0°

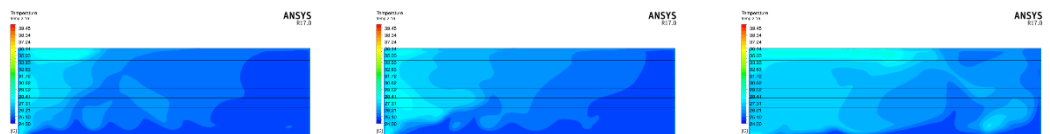
Şekil 4.39. Yan kesitten sera Model 4 için sıcaklık dağılımı



(a) 90°

(b) 75°

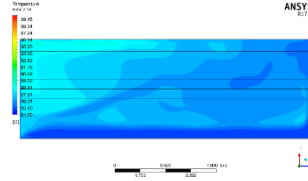
(c) 60°



(d) 45°

(e) 30°

(f) 15°



(g) 0°

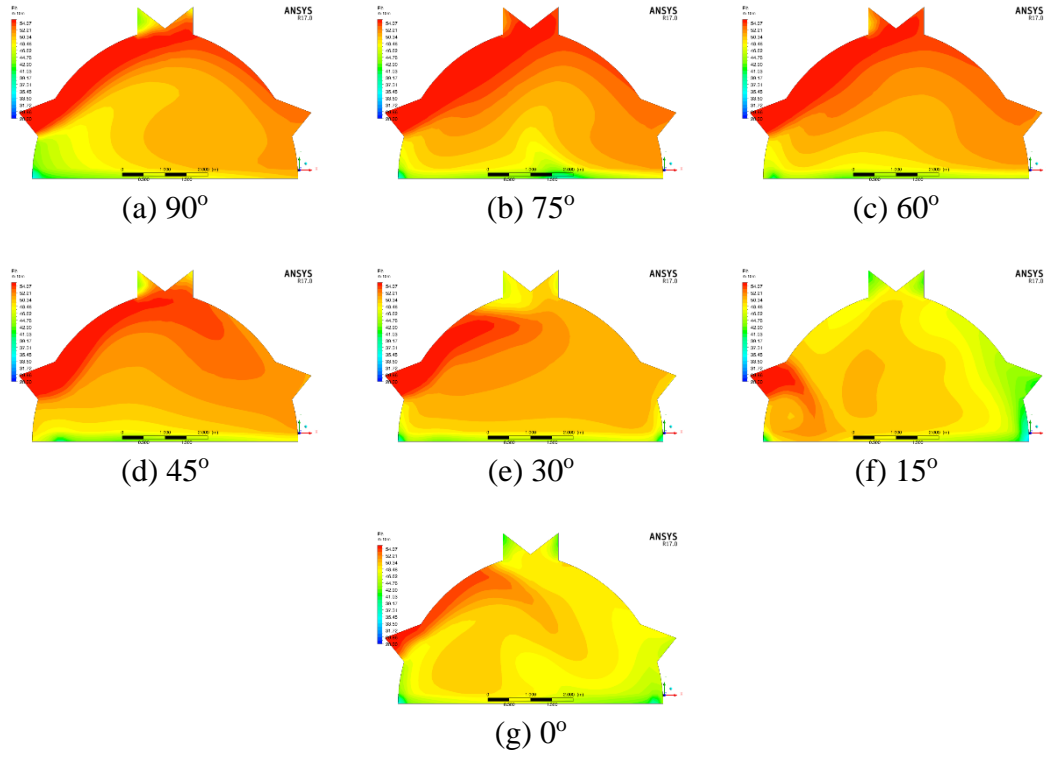
Şekil 4.40. Üst kesitten sera Model 4 için sıcaklık dağılımı

Tüm sera yönündeki maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.12'de verilmiştir. Tüm yönler için tekdüzelik indeksinde bir fark olmamıştır. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° yönlü sera modellerindeki minimum ve maksimu sıcaklık değerleri sırasıyla 24.55-27.15°C, 24.55-28.05°C, 24.55-28.05°C, 24.55-27.75°C, 24.65-28.55°C, 24.85-27.65°C ve 25.05-28.35°C olarak belirlenmiştir. Model 3'e benzer şekilde, tekdüzelik indeksi yüksek olmasına rağmen, 15° ve 0° yönündeki seralar diğerlerinden daha yüksek sıcaklığa sahip olmuştur. 90°, 75°, 60° ve 45° yönündeki seraların ortalama sıcaklığı değerleri birbirine yakın olduğu görülmektedir.

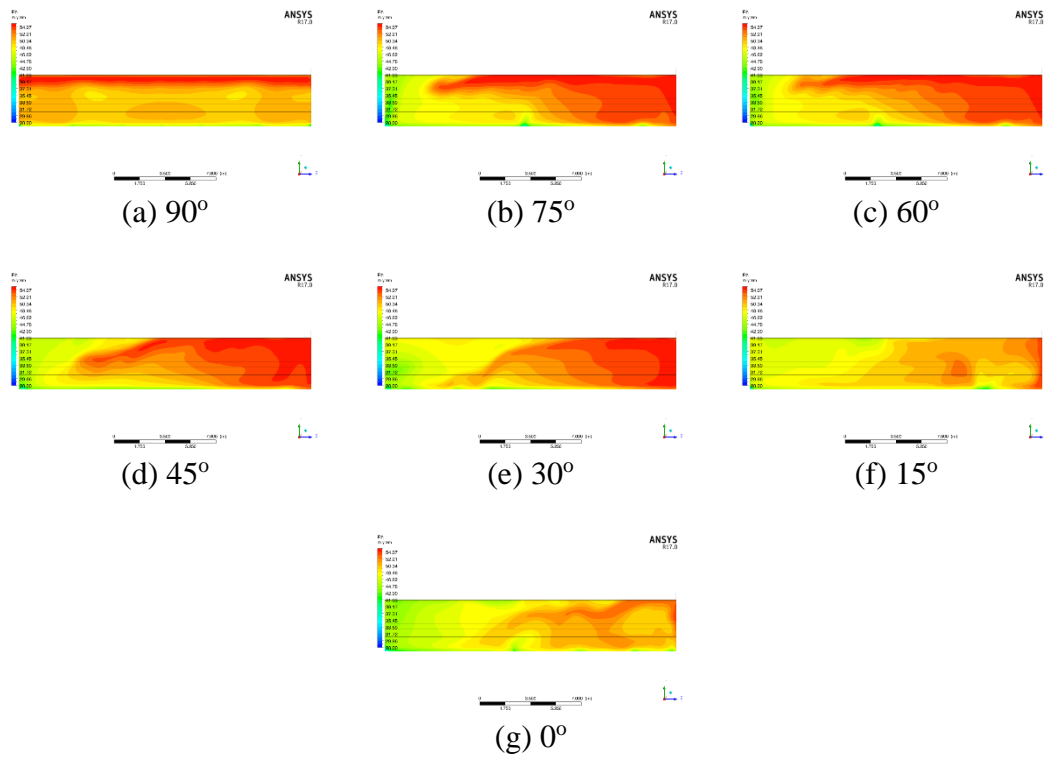
Tablo 4.12. Sera Model 4 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (°C) | Min (°C) | Fark (°C) | Ortalama (°C) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------------|
| 90°       | 27.15     | 24.55    | 2.60      | 25.68         | 0.999              |
| 75°       | 28.05     | 24.55    | 3.50      | 25.67         | 0.998              |
| 60°       | 28.05     | 24.55    | 3.50      | 25.68         | 0.998              |
| 45°       | 27.75     | 24.55    | 3.20      | 25.67         | 0.998              |
| 30°       | 28.55     | 24.65    | 3.90      | 25.81         | 0.998              |
| 15°       | 27.65     | 24.85    | 2.80      | 26.38         | 0.999              |
| 0°        | 28.35     | 25.05    | 3.30      | 26.45         | 0.998              |

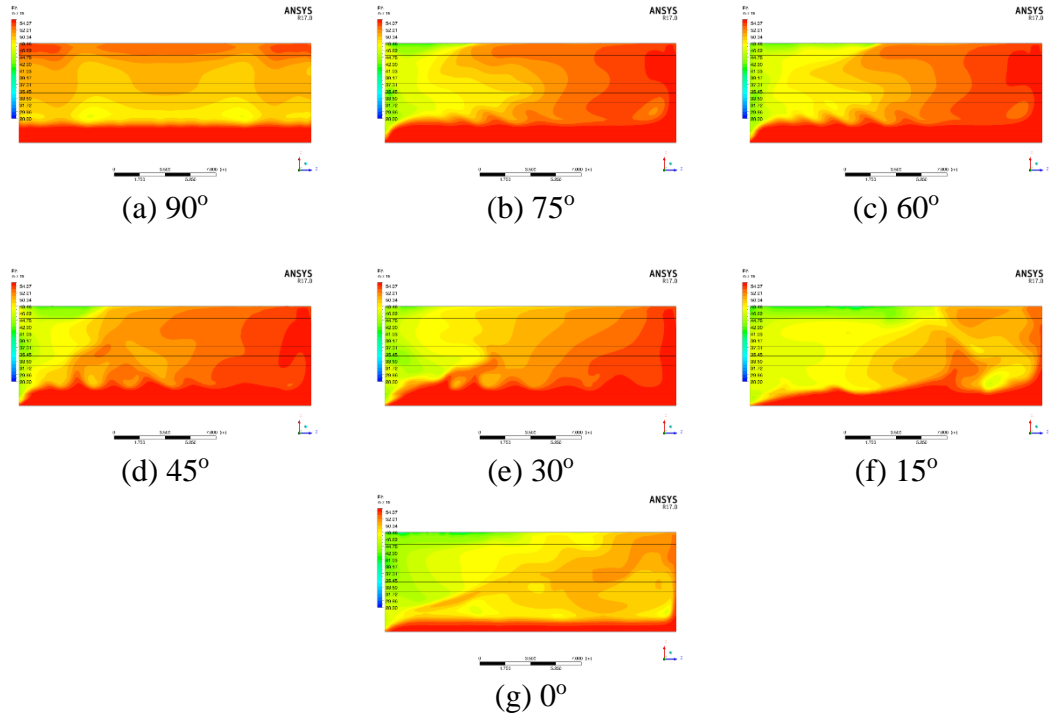
HAD simülasyonlarından elde edilen bağıl nem dağılımların farklı kesitlerdeki gösterimi Şekil 4.41, Şekil 4.42. ve Şekil 4.43'de verilmiştir. Sıcaklık dağılımlarına benzer şekilde, 90°, 75°, 60°, 45° ve 30° sera yönlü modeller, çatı alanı çevresinde ve seranın arka tarafında daha yüksek bağıl neme sahip olmuştur. Ancak, 15° ve 0° yönüne sahip sera modellerinde sadece kuzey çatı açıklığında yüksek bağıl nem göstermiştir.



Şekil 4.41. Ön kesitten sera Model 4 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.42. Yan kesitten sera Model 4 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.43. Üst kesitten sera Model 4 için bağıl nem dağılımı

Tüm sera yönünde bağıl nemin maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.13.'da görülebilmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönündeki minimum ve maksimum bağıl nem değerleri sırasıyla %46.99-54.80, %44.64-54.83, %44.76-54.81, %45.60-54.77, %43.52-54.68, %44.64-54.02 ve %44.67-54.83 olarak elde edilmiştir. 15° sera yönündeki model diğerlerine göre daha düşük bağıl nem değerine sahiptir.

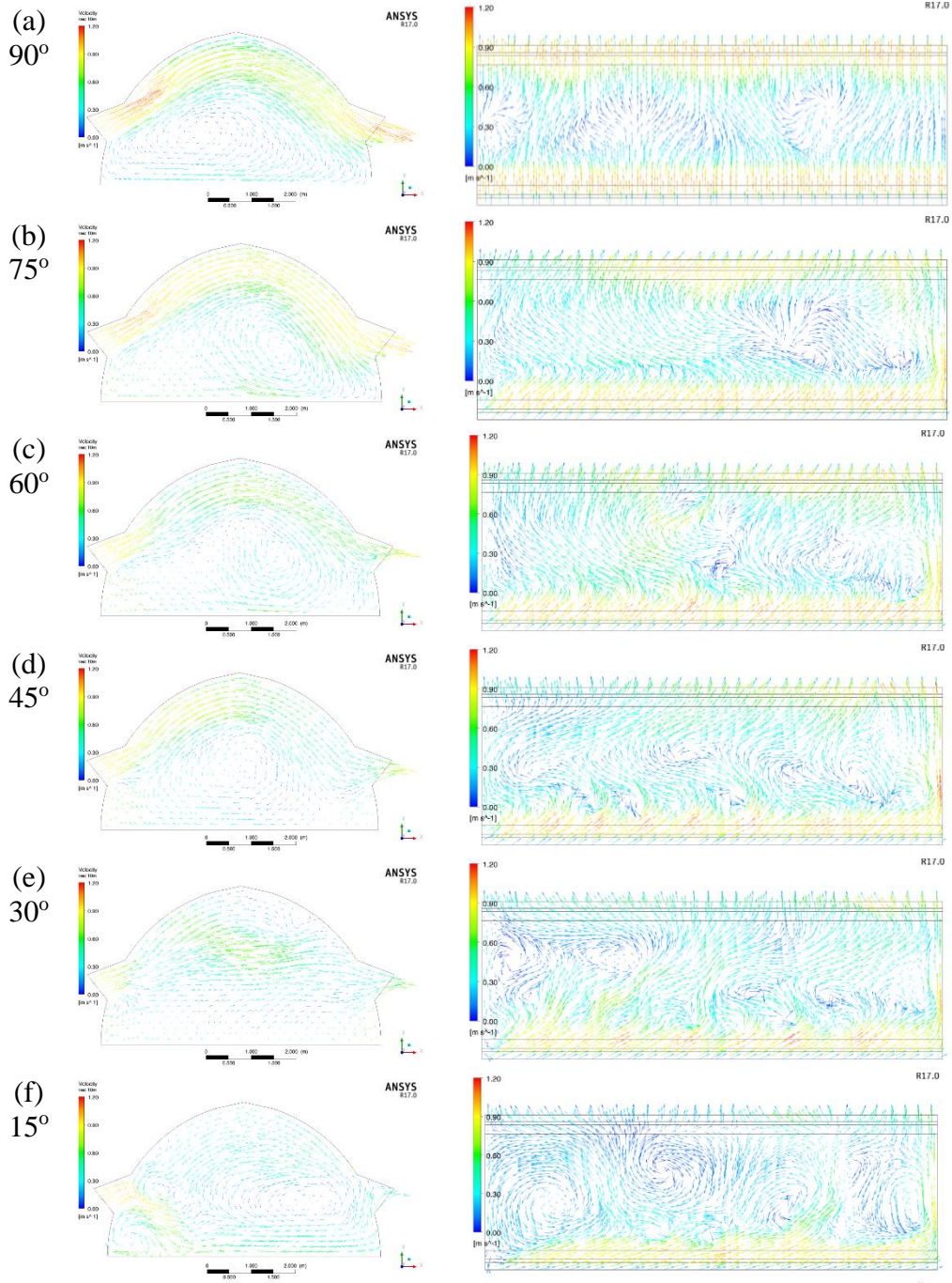
Tablo 4.13. Sera Model 4 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması

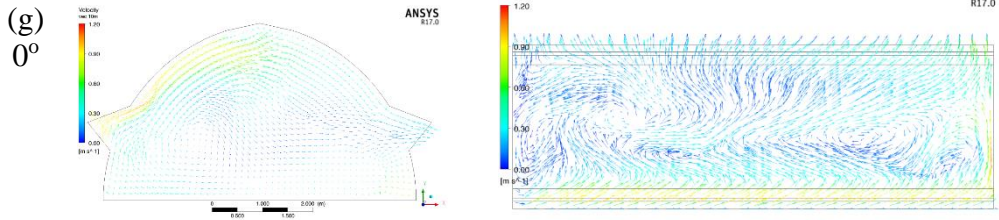
| Sera Yönü | Maks (%) | Min (%) | Fark (%) | Ortalama (%) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|--------------------|
| 90°       | 54.80    | 46.99   | 7.81     | 51.53        | 0.984              |
| 75°       | 54.83    | 44.64   | 10.19    | 51.49        | 0.977              |
| 60°       | 54.81    | 44.76   | 10.05    | 51.46        | 0.978              |
| 45°       | 54.77    | 45.60   | 9.17     | 51.47        | 0.980              |
| 30°       | 54.68    | 43.52   | 11.16    | 51.04        | 0.979              |
| 15°       | 54.02    | 44.64   | 9.38     | 49.14        | 0.981              |
| 0°        | 54.83    | 44.67   | 10.16    | 51.39        | 0.981              |

#### 4.2.5. Model 5

Model 5'te farklı sera yönleri için hava akış dağılımları Şekil 4.44'de verilmiştir. Bu modelde açıklık olarak sadece kuzey ve güney duvar açıklığı mevcuttur. 90° sera

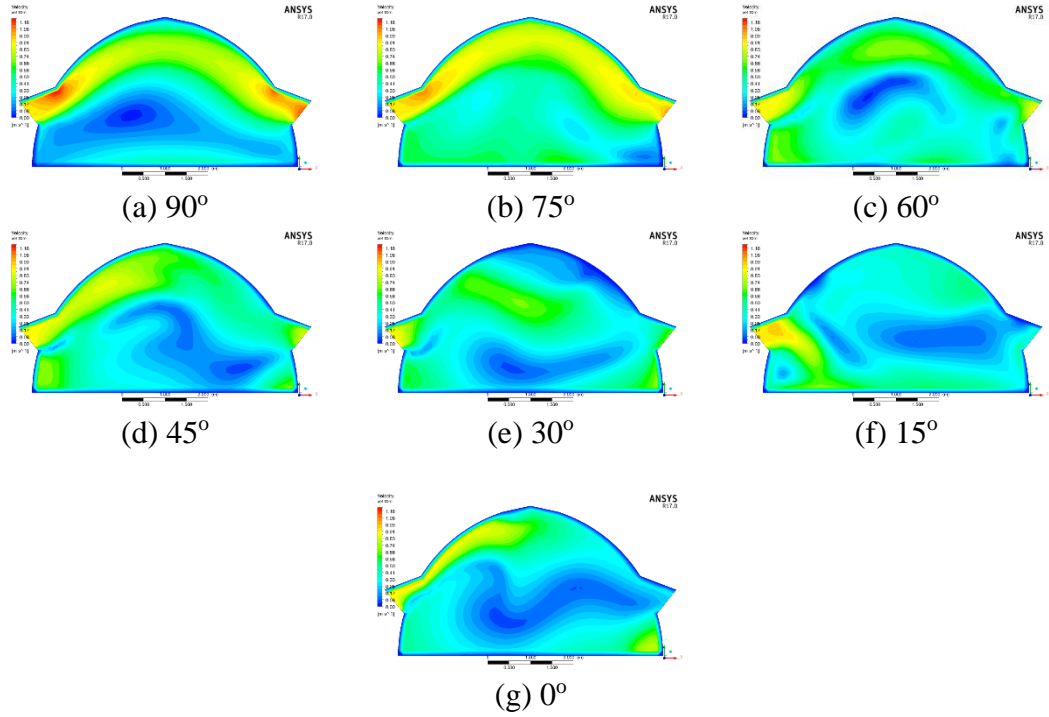
yönünde, kuzey duvar açıklığından gelen hava akışının çoğunun doğrudan güney duvar açıklığına doğru hareket etmiştir, ancak hava akışının çatı yükseklik seviyesine tam olarak ulaşamadığı görülmektedir. Sera içinde sadece küçük bir sirkülasyon gözlenmektedir. 75°, 60° ve 45° sera yönünde, hava akışının çoğu güney duvar açıklığında dışarı çıkmıştır. Ancak 30°, 15° ve 0° sera yönlerinde hava seranın içinde dolaştıktan sonra dışarı çıkmıştır.



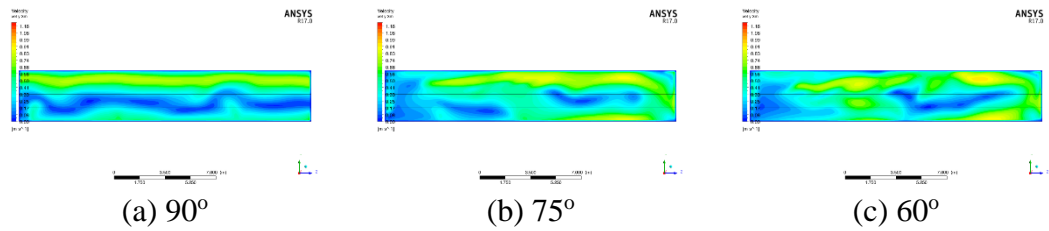


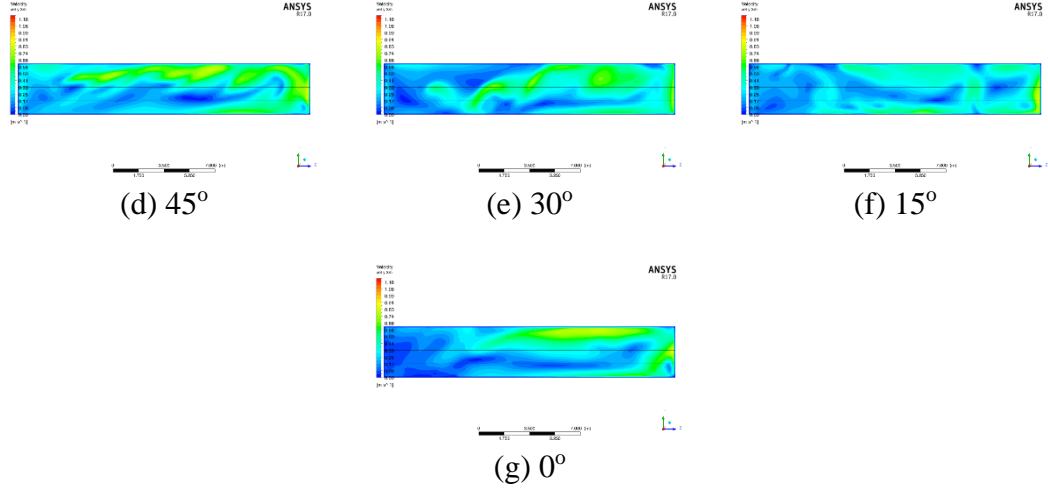
Şekil 4.44. Ön ve üst kesitten sera Model 5 için hız vektörleri

HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitleri için hava akım hızı dağılımları Şekil 4.45, Şekil 4.46. ve Şekil 4.47'de verilmiştir. 90°, 75° ve 60° ve 45° yönündeki sera modelleri için çatı alanının orta alana göre daha yüksek hava akım hızına sahip olma eğiliminde olduğu görülebilmektedir. 30°, 15° ve 0° yönünde, daha yüksek hız büyüklüğü sadece kuzey duvar açıklığının yakınında gözlemlenebilirken, çatı ve merkez alandaki hava akım hızı nispeten benzerdir.

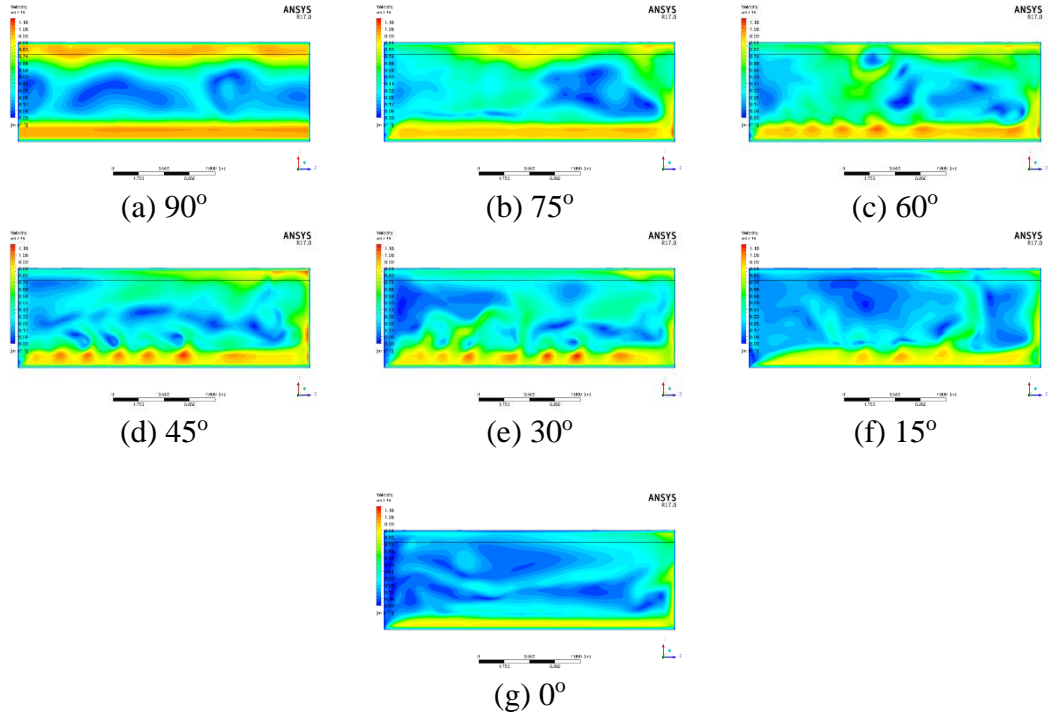


Şekil 4.45. Ön kesitten sera Model 5 için hava hızı dağılımı





Şekil 4.46. Yan kesitten sera Model 5 için hava hızı dağılımı



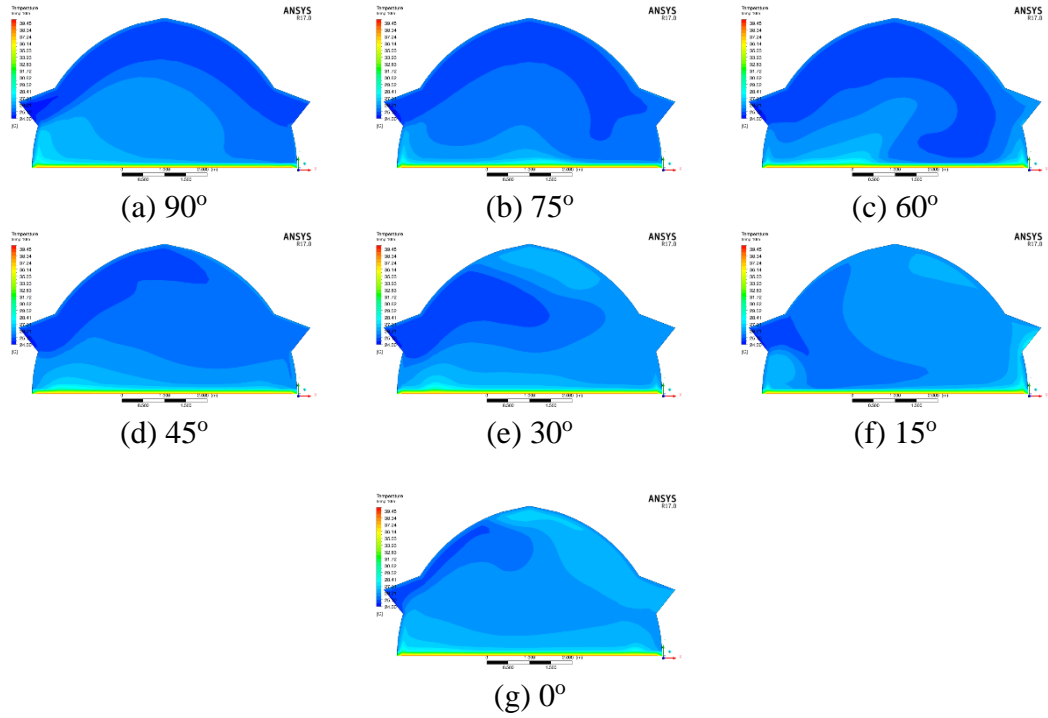
Şekil 4.47. Üst kesitten sera Model 5 için hava hızı dağılımı

Tüm sera yönündeki hava hızının maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.14.'de görülmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönündeki minimum ve maksimum hava akım hızı değerleri sırasıyla 0.1-0.98 m/sn, 0.1-0.98 m/sn, 0.03-1.04 m/sn, 0.05-0.89 m/sn, 0.07-0.99 m/sn, 0.05-0.79 m/sn ve 0.03-0.74 m/sn olarak elde edilmiştir. 60° yönlü sera modeli, 0.44 m/sn ile en yüksek hava akım hızı ortalamasına ve 0.845 ile en yüksek tekdüzelik indeksine sahip olmuştur. Bununla birlikte, aynı hava hızı ortalaması (0.44 m/sn) sahip olan 90° yönlü sera modelinde en düşük tekdüzelik indeksinin (0.728) olduğu görülmektedir

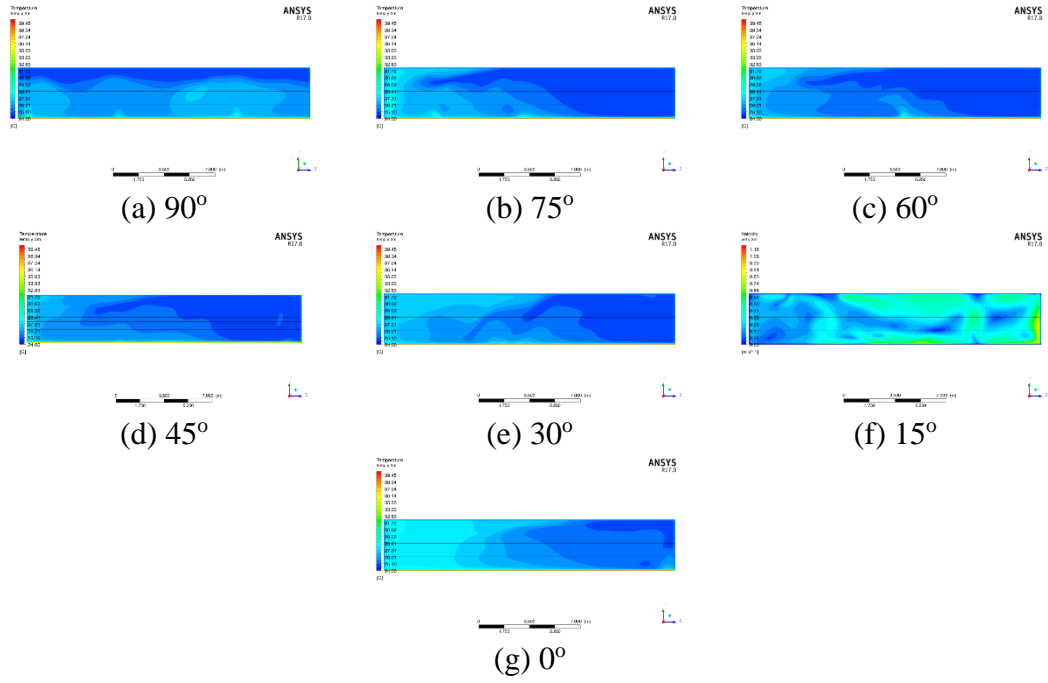
Tablo 4.14. Sera Model 5 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (m/sn) | Min (m/sn) | Fark (m/sn) | Ortalama (m/sn) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 90°       | 0.98        | 0.10       | 0.88        | 0.44            | 0.728              |
| 75°       | 0.98        | 0.10       | 0.88        | 0.41            | 0.798              |
| 60°       | 1.04        | 0.03       | 1.01        | 0.44            | 0.845              |
| 45°       | 0.89        | 0.05       | 0.84        | 0.40            | 0.776              |
| 30°       | 0.99        | 0.07       | 0.92        | 0.34            | 0.776              |
| 15°       | 0.79        | 0.05       | 0.74        | 0.29            | 0.772              |
| 0°        | 0.74        | 0.03       | 0.71        | 0.29            | 0.737              |

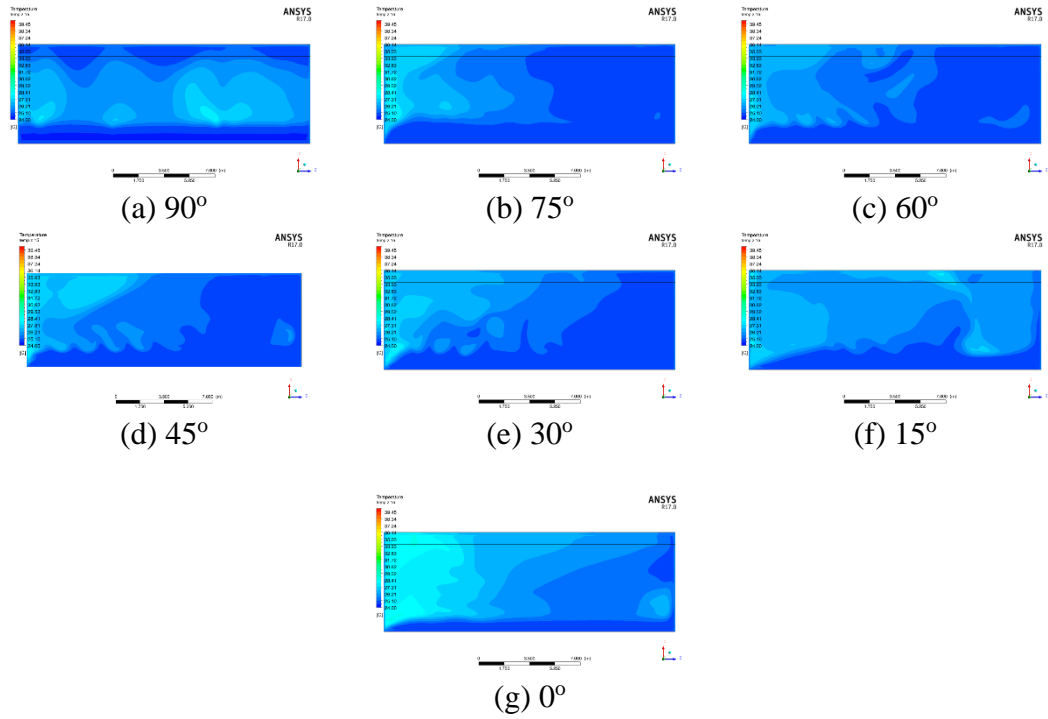
HAD simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımlarının farklı kesitler için gösterimi Şekil 4.48, Şekil 4.49. ve Şekil 4.50'de verilmiştir. 90°, 75° ve 60° ve 45° yönlerindeki sera modelleri için çatı alanı sıcaklığının orta alana göre daha düşük olduğu görülmektedir. 75°, 60°, 45° ve 30° yönlü sera modellerinin arka kısmın da daha düşük sıcaklık değerleri görülmektedir. Sıcaklık değerleri 15° ve 0° yönünde artmıştır. Ancak kuzey duvar açıklığının etrafındaki sıcaklıklar düşük kalmıştır.



Şekil 4.48. Ön kesitten sera Model 5 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.49. Yan kesitten sera Model 5 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.50. Üst kesitten sera Model 5 için sıcaklık dağılımı

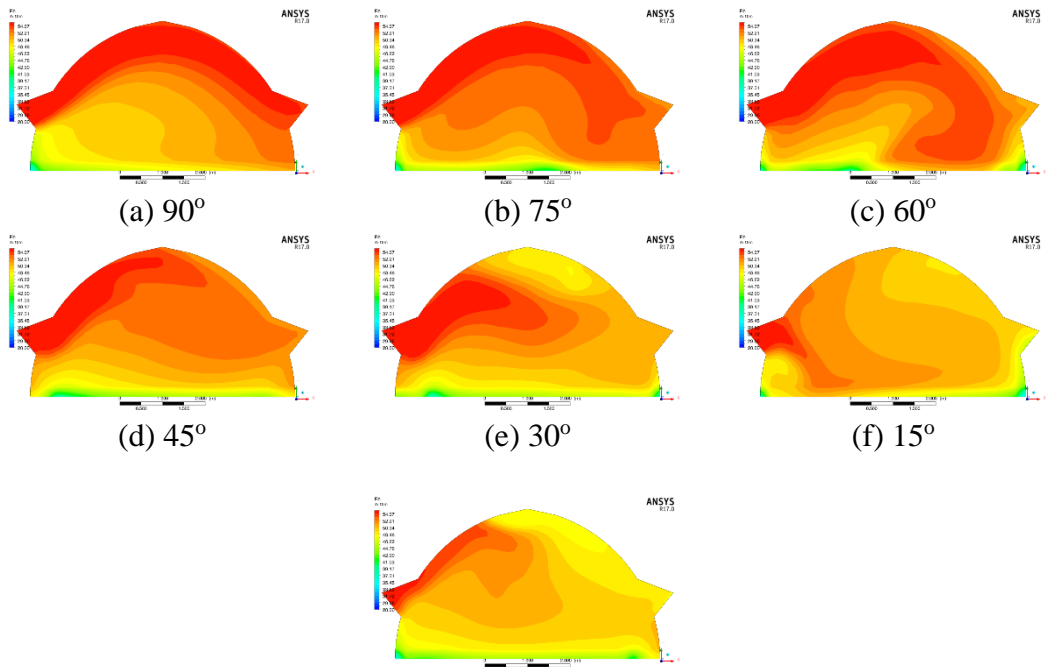
Tüm sera yönündeki sıcaklığın maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.15.'de verilmiştir. Tüm yönler için tekdüzelik indeksinde bir fark oluşmamıştır. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönünde minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 24.55-27.45°C, 24.55-27.35°C, 24.55-27.15°C,

24.55-27.15°C, 24.65-27.55°C, 24.85-27.05°C ve 24.95-28.25°C olarak elde edilmiştir. 0° yönündeki sera sıcaklığı ortalama 26.31 °C değeri ile diğerlerine göre daha yüksek sıcaklığa sahip olmuştur. 90°, 75°, 60°, 45°, 30° ve 15° yönlü seranın ortalama sıcaklıkları benzerdir.

Tablo 4.15. Sera Model 5 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

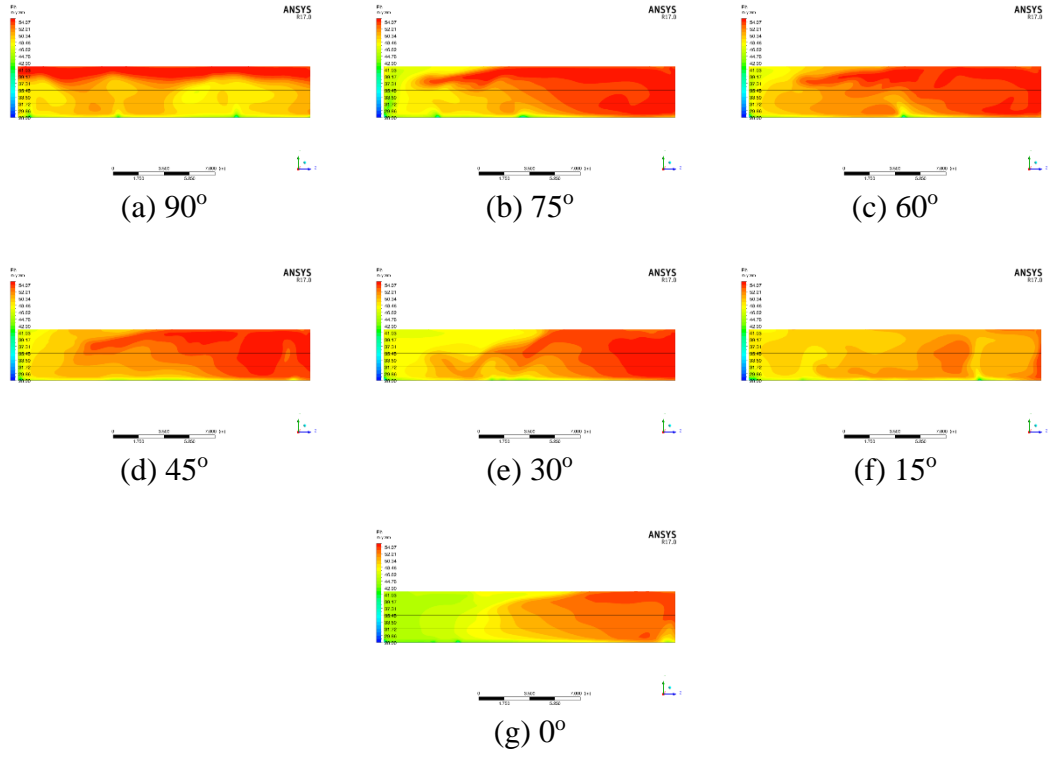
| Sera Yönü | Maks (°C) | Min (°C) | Fark (°C) | Ortalama (°C) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------------|
| 90°       | 27.45     | 24.55    | 2.9       | 25.65         | 0.998              |
| 75°       | 27.35     | 24.55    | 2.8       | 25.47         | 0.998              |
| 60°       | 27.15     | 24.55    | 2.6       | 25.44         | 0.999              |
| 45°       | 27.15     | 24.55    | 2.6       | 25.49         | 0.999              |
| 30°       | 27.55     | 24.65    | 2.9       | 25.64         | 0.998              |
| 15°       | 27.05     | 24.85    | 2.2       | 25.97         | 0.999              |
| 0°        | 28.25     | 24.95    | 3.3       | 26.31         | 0.998              |

HAD simülasyonlarından elde edilen bağıl nem dağılımlarının farklı kesitlere ait gösterimleri Şekil 4.51, Şekil 4.52. ve Şekil 4.53'de verilmiştir. Sıcaklık dağılımlarına benzer şekilde, 90°, 75°, 60° ve 45° sera yönlü modeller çatı alanı çevresinde daha yüksek bağıl neme sahip olmuşlardır. 75°, 60°, 45° ve 30° yönlü modellerde ise sera arka kısmında daha yüksek bağıl nem değerleri gözlemlenmiştir. 15° ve 0° sera yönlü modellerde sadece kuzey çatı açıklığında yüksek bağıl nem değerleri görülmüştür.

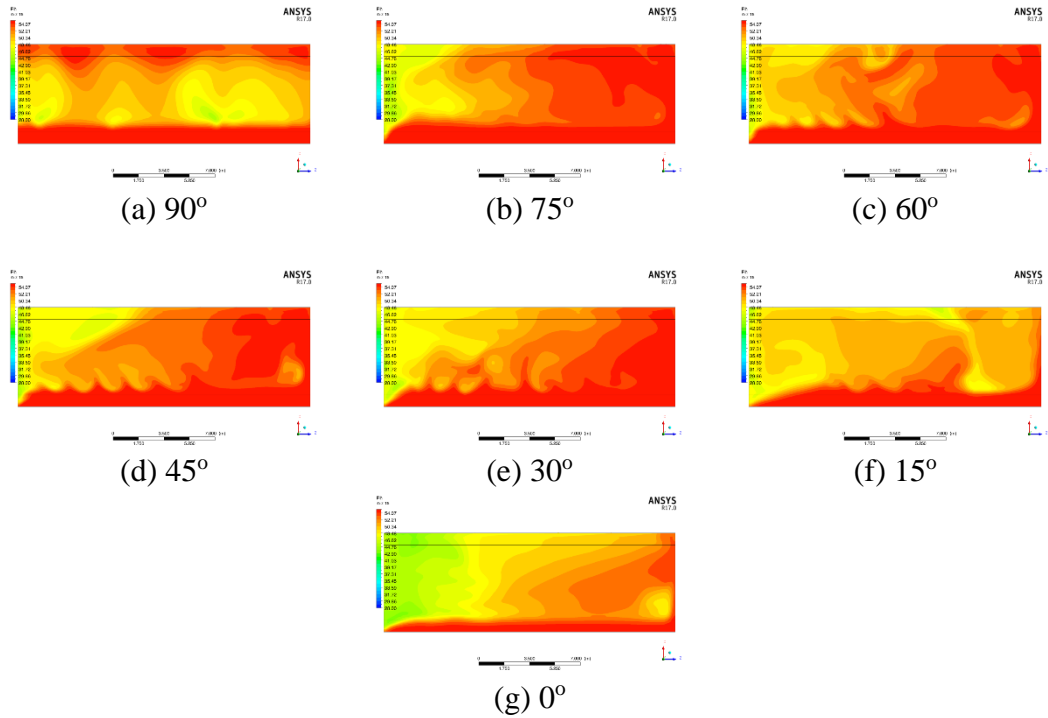


(g) 0°

Şekil 4.51. Ön kesitten sera Model 5 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.52. Yan kesitten sera Model 5 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.53. Üst kesitten sera Model 5 için bağıl nem dağılımı

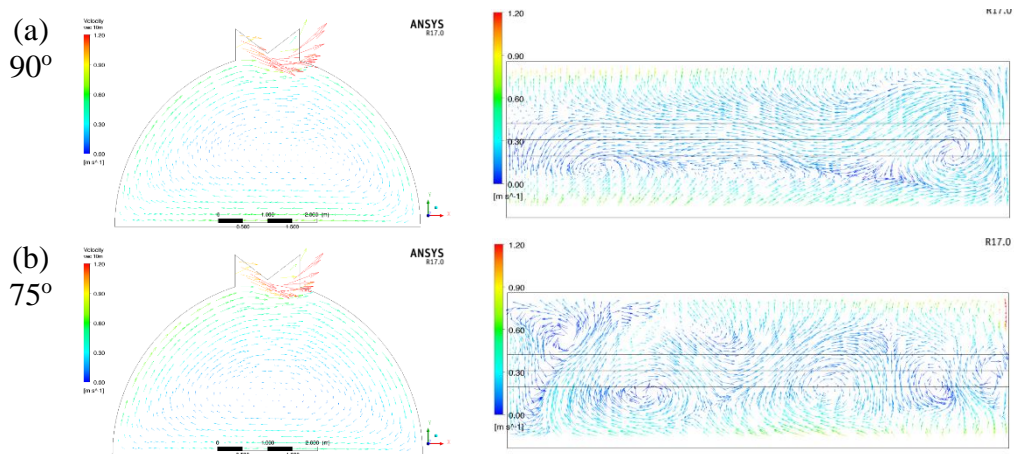
Tüm sera yönündeki bağıl nemin maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.16.'da görülebilmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönünde minimum ve maksimum bağıl nem değerleri sırasıyla %46.31-54.88, %46.47-54.83, %47.15-54.79, %47.10-54.77, %45.98-54.69, %47.33-54.03 ve %44.13-53.55 olarak hesaplanmıştır. 0° sera yönündeki model en düşük bağıl nem (%49.36) ve en düşük tekdüzelik indeksine (0.977) sahiptir.

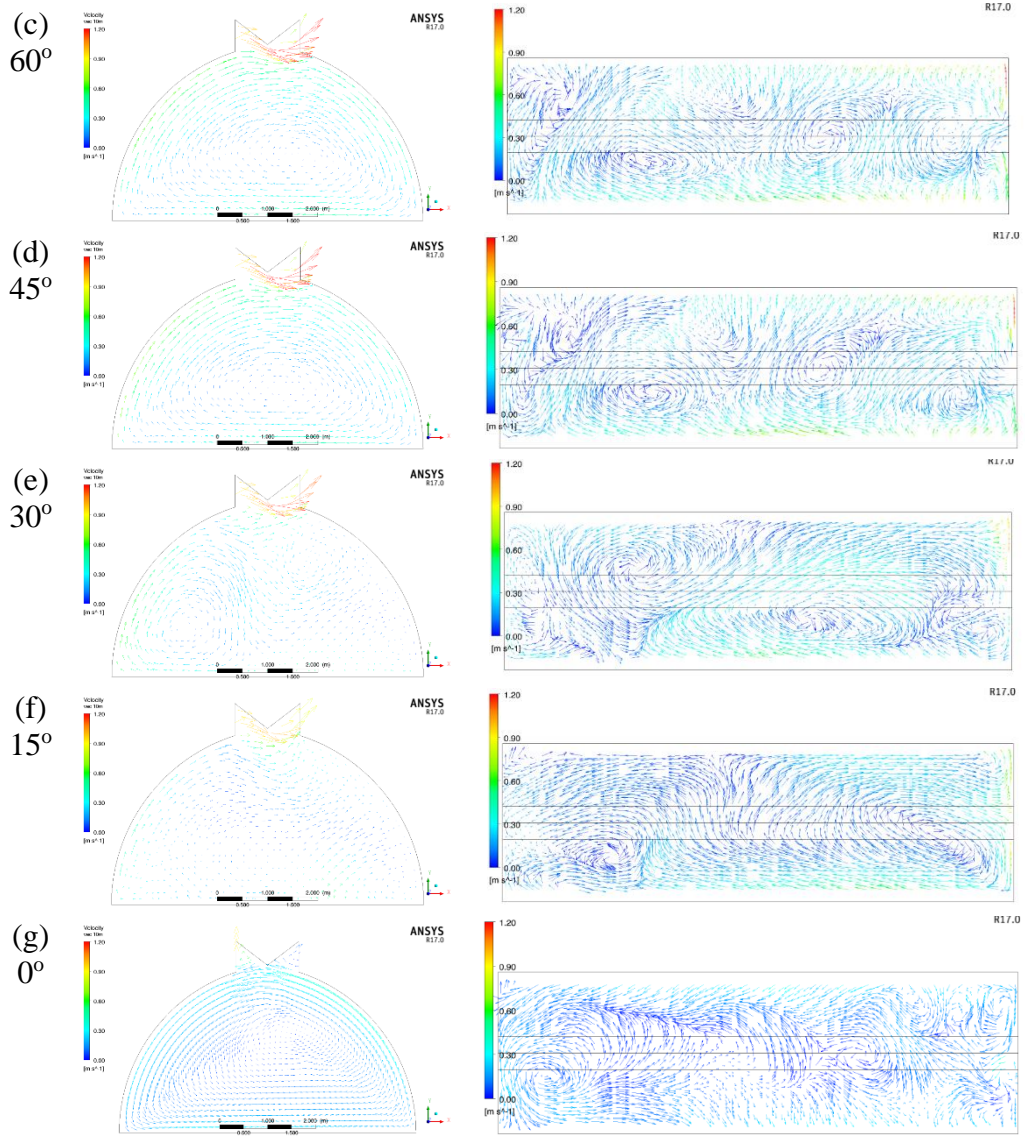
Tablo 4.16. Sera Model 5 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (%) | Min (%) | Fark (%) | Ortalama (%) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|--------------------|
| 90°       | 54.88    | 46.31   | 8.57     | 51.74        | 0.981              |
| 75°       | 54.83    | 46.47   | 8.36     | 52.08        | 0.981              |
| 60°       | 54.79    | 47.15   | 7.64     | 52.16        | 0.984              |
| 45°       | 54.77    | 47.10   | 7.67     | 51.97        | 0.982              |
| 30°       | 54.69    | 45.98   | 8.71     | 51.56        | 0.980              |
| 15°       | 54.03    | 47.33   | 6.70     | 50.41        | 0.988              |
| 0°        | 53.55    | 44.13   | 9.42     | 49.36        | 0.977              |

#### 4.2.6. Model 6

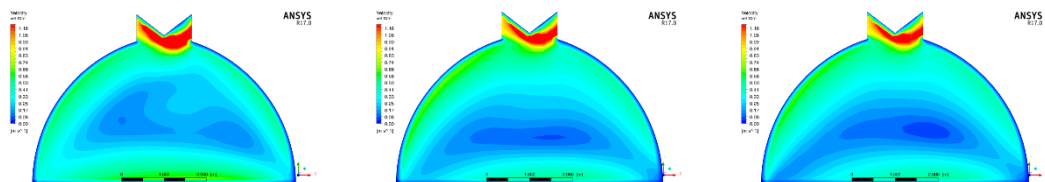
Model 6'da farklı sera yönleri için hava akış dağılımları Şekil 4.54 de verilmiştir. Bu modelde, herhangi bir duvar açıklığı bulunmazken ve sadece kuzey ve güney çatı açıklığı gözönüne alınarak modelleme yapılmıştır. 90°, 75°, 60°, 45° ve 30° sera yönlerinde kuzey çatı açıklığından gelen havanın çoğunun doğrudan güney çatı açıklığına gittiği görülmektedir. Sera içinde sadece çok az sirkülasyon gözlenmiştir. 15° sera yönünde güney çatı açıklığına doğrudan hava akışı olmuştur, ancak diğer modeller kadar yoğun olmamıştır. 0° yönlü sera modelinde, hava güney çatı açıklığından iç ortama girmekte ve çoğunlukla sera içinde dolaşmaktadır.

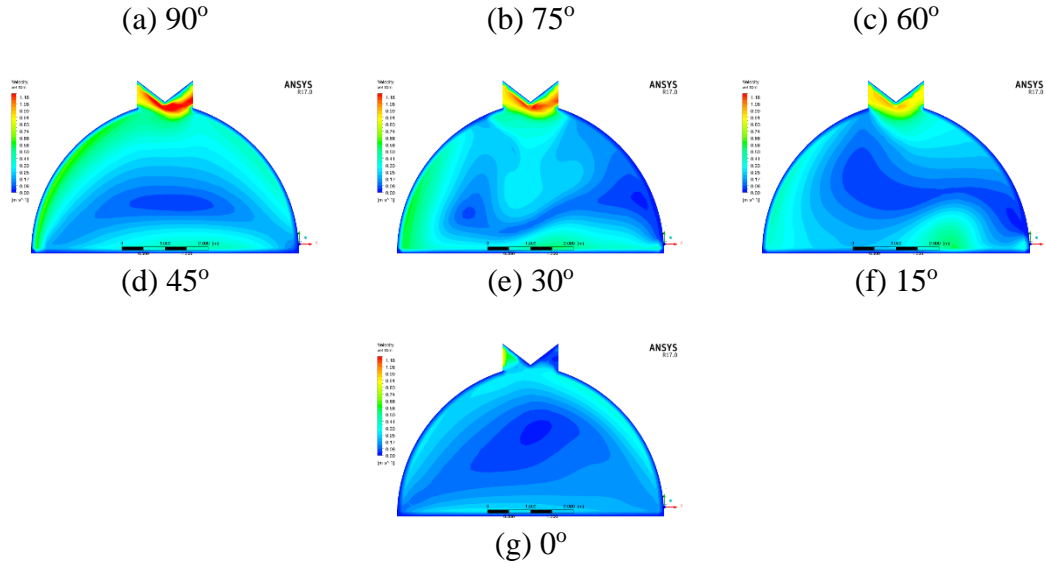




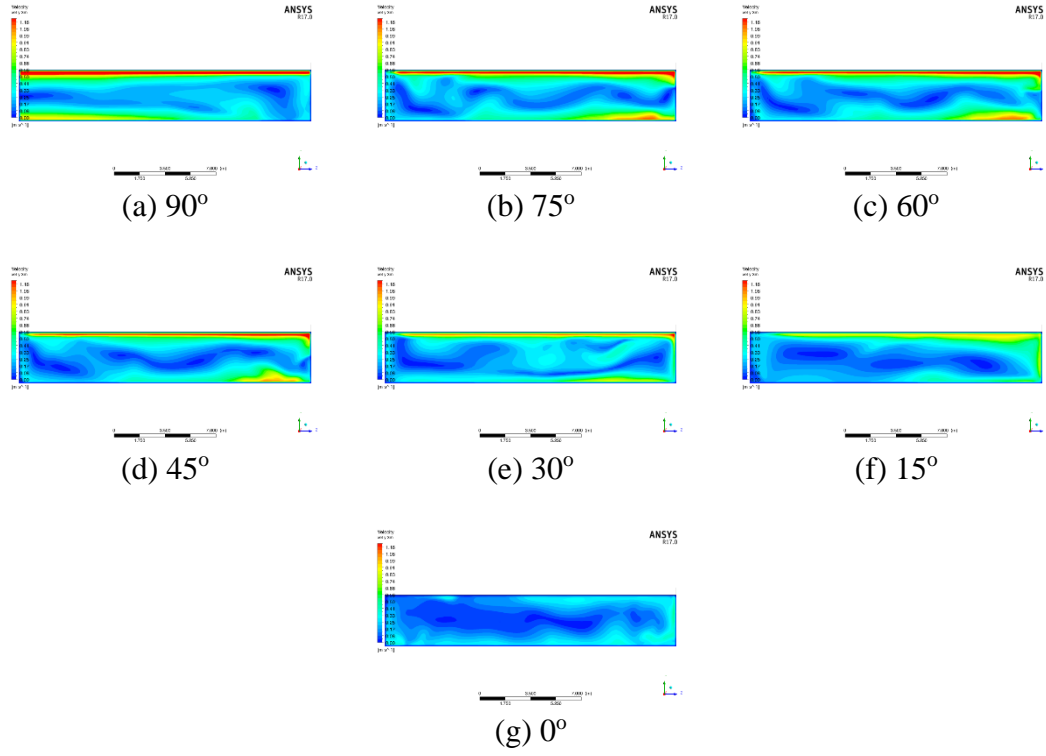
Şekil 4.54. Ön ve üst kesitten sera Model 6 için hız vektörleri

HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitlerdeki hava akım hızı dağılımları Şekil 4.55, Şekil 4.56. ve Şekil 4.57'de verilmiştir.  $90^\circ$ ,  $75^\circ$  ve  $60^\circ$  ve  $45^\circ$  yönündeki sera modelleri için kuzey ve güney çatı açıklığı arasındaki bölüme daha yüksek hava akım hızı görülmektedir. Duvarın etrafındaki hava akım hızı da orta alandan daha yüksek çıkmıştır.  $30^\circ$  ve  $15^\circ$  sera yönünde, çatı etrafındaki bölümlerde hava akım hızı daha düşük olmuştur.  $0^\circ$  sera yönünde, çatıdaki hızın duvar alanına yakın olan bölümlere benzer olduğu görülmektedir.

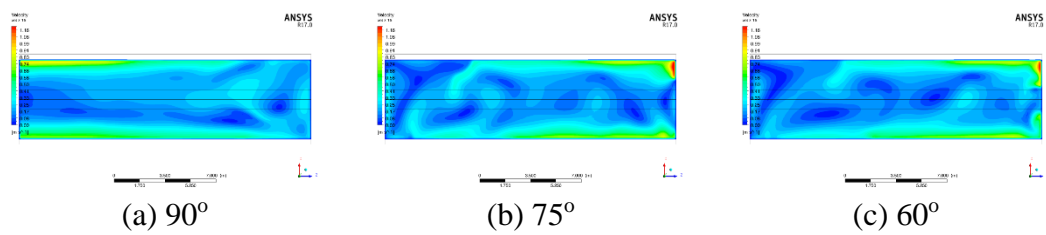


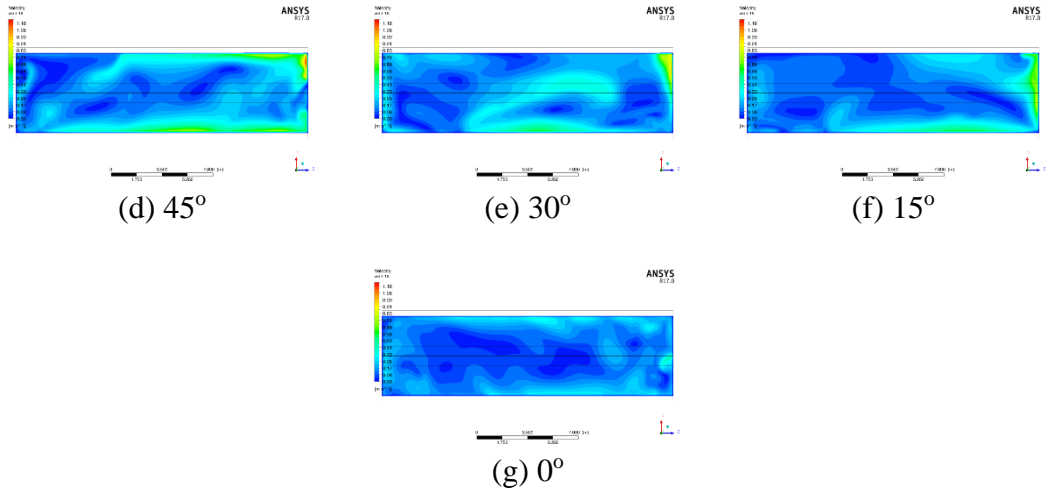


Şekil 4.55. Ön kesitten sera Model 6 için hava hızı dağılımı



Şekil 4.56. Yan kesitten sera Model 6 için hava hızı dağılımı





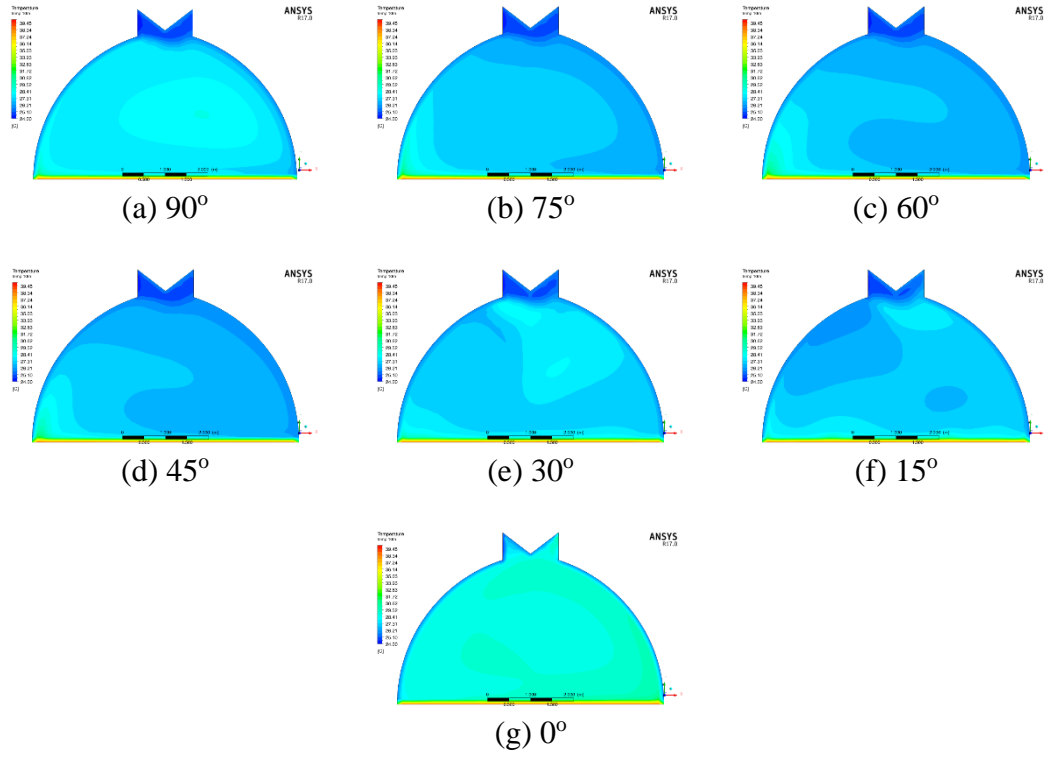
Şekil 4.57. Üst kesitten sera Model 6 için hava hızı dağılımı

Tüm sera yönündeki hava hızının maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.17.'de verilmiştir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönündeki minimum ve maksimum hava akım hızı değerleri sırasıyla 0.12-0.75 m/sn, 0.08-0.78 m/sn, 0.05-0.65 m/sn, 0.04-0.60 m/sn, 0.04-0.43 m/sn, 0.01-0.79 m/sn ve 0.02-0.27 m/sn olarak elde edilmiştir. 90° yönündeki sera modeli ortalama en yüksek hava akım hızı (0.32 m/s) değerine sahiptir. 0° yöndeki sera modelinde ise ortalama en düşük hava akım hızı değerine, ancak en yüksek tekdüzelik indeksine sahiptir.

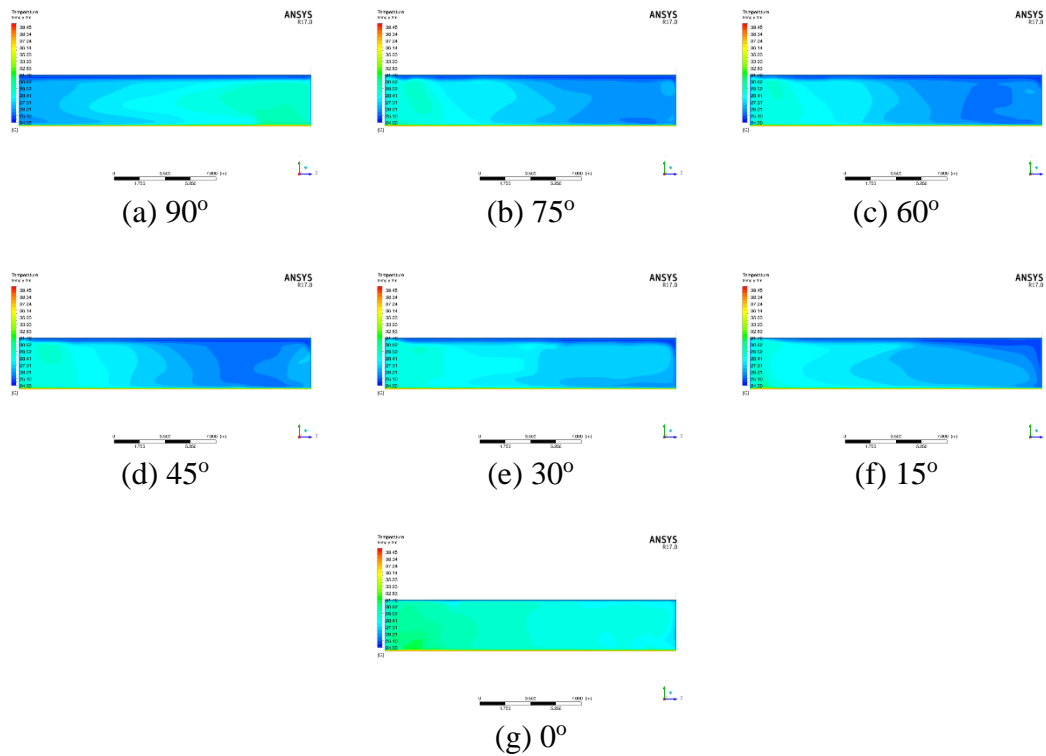
Tablo 4.17. Sera Model 6 için hava hızı dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (m/sn) | Min (m/sn) | Fark (m/sn) | Ortalama (m/sn) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 90°       | 0.75        | 0.12       | 0.63        | 0.32            | 0.733              |
| 75°       | 0.78        | 0.08       | 0.70        | 0.30            | 0.731              |
| 60°       | 0.65        | 0.05       | 0.59        | 0.29            | 0.728              |
| 45°       | 0.60        | 0.04       | 0.56        | 0.26            | 0.717              |
| 30°       | 0.43        | 0.04       | 0.39        | 0.19            | 0.740              |
| 15°       | 0.79        | 0.01       | 0.78        | 0.21            | 0.713              |
| 0°        | 0.27        | 0.02       | 0.25        | 0.14            | 0.781              |

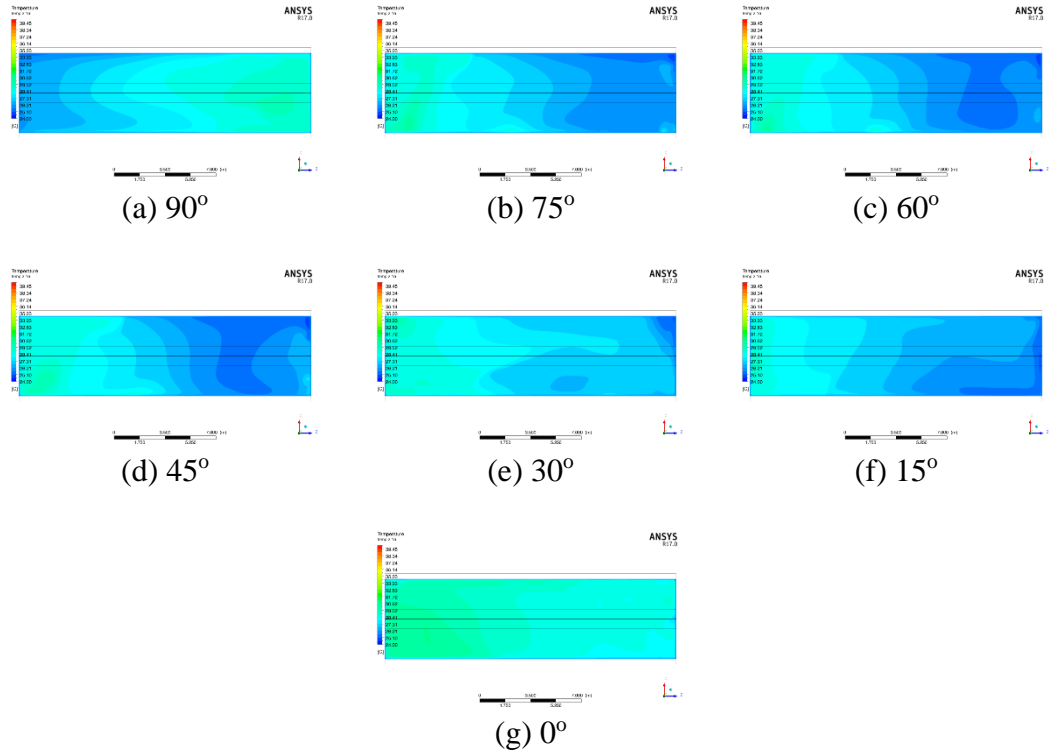
HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitlere ait sıcaklık dağılımları Şekil 4.58, Şekil 4.59. ve Şekil 4.60'de görüldüğü gibi 90° ve 0° yönündeki sera modellerinde sıcaklığın diğerlerine göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. 75°, 60°, 45° ve 15° yönlü modellerde seranın arka kısmında daha düşük sıcak değerleri mevcuttur. Seranın yan duvar bölümleri ve merkez alanları arasında önemli bir sıcaklık farkı meydana gelmemiştir.



Şekil 4.58. Ön kesitten sera Model 6 için sıcaklık dağılımı



Şekil 4.59. Yan kesitten sera Model 6 için sıcaklık dağılımı



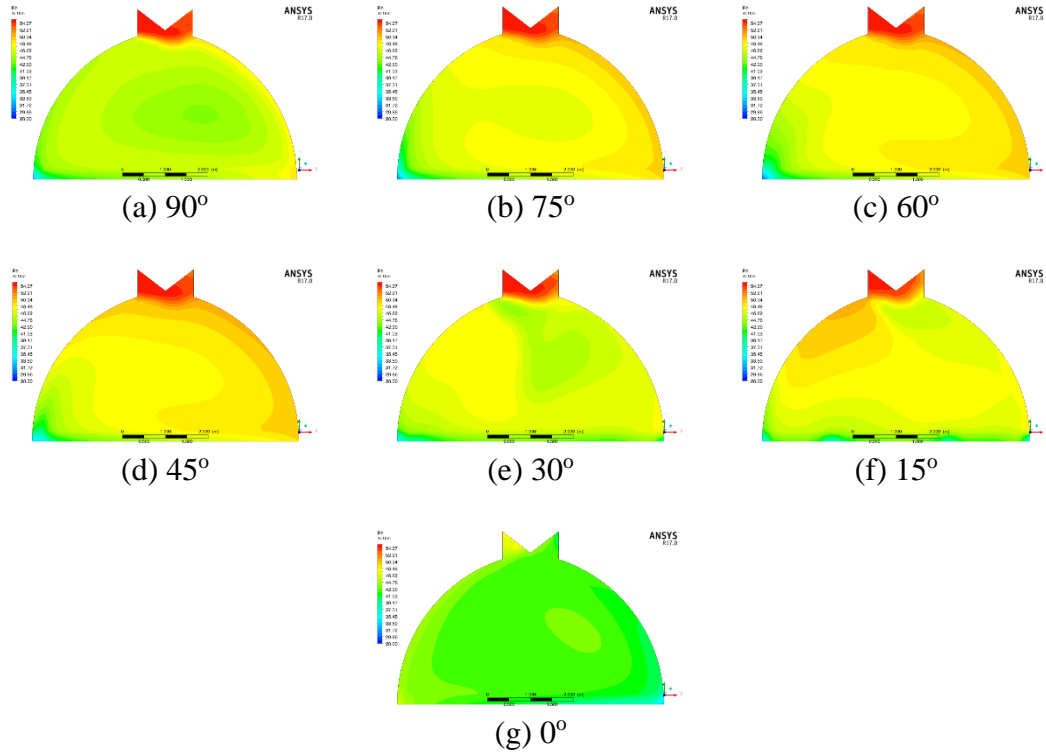
Şekil 4.60. Üst kesitten sera Model 6 için sıcaklık dağılımı

Tüm sera yönündeki maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.18.'de görülebilmektedir. Tüm yönler için tekdüzelik indeksinde bir farklılık bulunmamıştır. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönünde minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 25.65-29.45°C, 25.35-29.65°C, 25.45-29.75°C, 25.25-29.95°C, 25.45-29.75°C, 24.95-28.85°C, ve 27.15-30.75°C olarak elde edilmiştir. 0° yönündeki sera modelinde ortalama sıcaklık değeri 28.94 °C olarak diğer modellere kıyasla daha yüksek olmuştur. 90°, 75°, 60°, 45°, 30° ve 15° sera yönlerindeki ortalama iç ortam sıcaklığı yaklaşık olarak 26-27 °C civarında olmuştur.

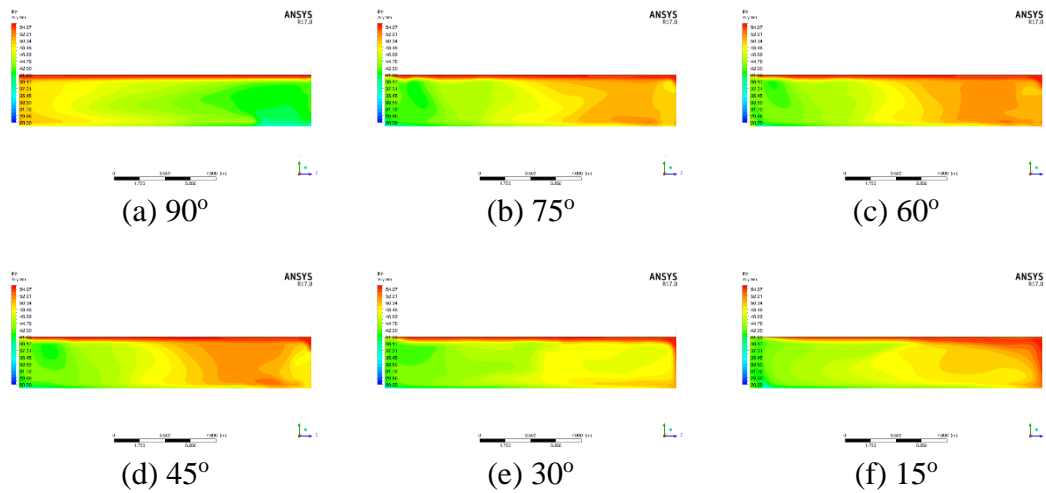
Tablo 4.18. Sera Model 6 için sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

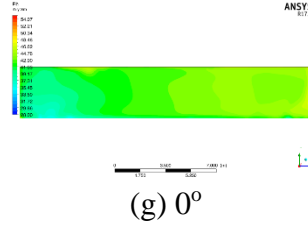
| Sera Yönü | Maks (°C) | Min (°C) | Fark (°C) | Ortalama (°C) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------------|
| 90°       | 29.45     | 25.65    | 3.80      | 27.57         | 0.998              |
| 75°       | 29.65     | 25.35    | 4.30      | 27.03         | 0.998              |
| 60°       | 29.75     | 25.45    | 4.30      | 26.90         | 0.998              |
| 45°       | 29.95     | 25.25    | 4.70      | 26.91         | 0.998              |
| 30°       | 29.75     | 25.45    | 4.30      | 27.45         | 0.998              |
| 15°       | 28.85     | 24.95    | 3.90      | 26.92         | 0.998              |
| 0°        | 30.75     | 27.15    | 3.60      | 28.94         | 0.999              |

HAD simülasyonlarından elde edilen farklı kesitlerdeki bağıl nem değerlerinin dağılımları Şekil 4.61, Şekil 4.62. ve Şekil 4.63'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, 90°, 75°, 60°, 45° ve 30° sera yönlü modellerde, çatı alanı çevresinde daha yüksek bağıl nem değeri hakimdir. 75°, 60° ve 45° yönlü modellerde seranın arka kısımlarında daha yüksek bağıl nem değerleri gözlemlenmiştir. Genel olarak 0° yönlü sera modeli diğerlerine göre daha düşük bağıl nem değerine sahiptir.

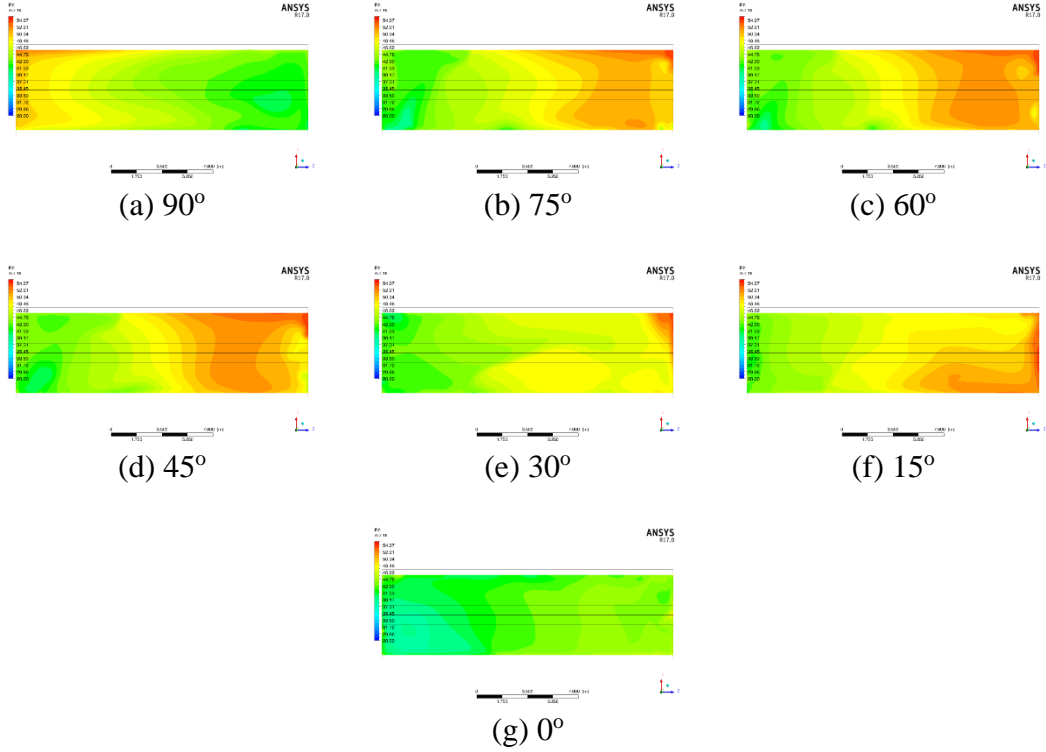


Şekil 4.61. Ön kesitten sera Model 6 için bağıl nem dağılımı





Şekil 4.62. Yan kesitten sera Model 6 için bağıl nem dağılımı



Şekil 4.63. Üst kesitten sera Model 6 için bağıl nem dağılımı

Tüm sera yönündeki bağıl nemin maksimum, minimum, fark, ortalama ve tekdüzelik indeksi Tablo 4.19.'de görülmektedir. 90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15° ve 0° sera yönünde minimum ve maksimum bağıl nem değerleri sırasıyla %41.11-52.14, %40.69-52.99, %40.38-52.80, %40.09-53.08, %40.55-52.86, %42.59-53.57 ve %38.49-44.66 olarak hesaplanmıştır. Bağıl nem dağılımlarına benzer şekilde, 0° yönündeki sera modeli %42,23 bağıl nem değeri ile en düşük bağıl neme sahipken, aynı zamanda en yüksek tekdüzelik indeksi olan model olmuştur.

Tablo 4.19. Sera Model 6 için bağıl nem dağılımının karşılaştırılması

| Sera Yönü | Maks (%) | Min (%) | Fark (%) | Ortalama (%) | Tekdüzelik İndeksi |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|--------------------|
| 90°       | 52.14    | 41.11   | 11.03    | 45.86        | 0.976              |
| 75°       | 52.99    | 40.69   | 12.30    | 47.41        | 0.975              |
| 60°       | 52.80    | 40.38   | 12.42    | 47.79        | 0.974              |
| 45°       | 53.08    | 40.09   | 12.99    | 47.79        | 0.974              |
| 30°       | 52.86    | 40.55   | 12.31    | 46.06        | 0.980              |
| 15°       | 53.57    | 42.59   | 10.98    | 47.60        | 0.978              |
| 0°        | 44.66    | 38.49   | 6.17     | 42.23        | 0.985              |

HAD simülasyonlarından, her modelin farklı yönler için hava akım hızı, sıcaklık ve bağıl nemde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Hava açıklığının konumu, açısı ve yönü, havanın giriş ve çıkış noktalarını belirlemek için önemlidir. Sera içinde hareket eden havanın yönü ve hızı, sıcaklık ve bağıl nemi etkilemiştir.

Model 1 için en yüksek tekdüzelik indeksi 0° yönlü serada görülebilmektedir. Ancak bu model içerisinde sıcaklık aralığı diğerlerine göre daha geniş olmuştur (sıcaklık farkı 2.3 °C'ye kadar çıkmaktadır). Ayrıca ortalama sıcaklığı da daha yüksektir. Bağıl nem içinde aynı sonuçlar elde edilmiştir. 0° yönlü sera Model 1'de bağıl nem farklılıkları daha geniş ve bağıl nem değeri ise daha düşük olmuştur. Bitki büyümesini desteklemek ve aynı zamanda üniformluğunu sağlamak için sera içinde uygun sıcaklık ve yeterli nem sağlamak önemlidir. Buna göre en iyi çevre koşullarını sağlamak için Model 1 sera 45° yönü önerilmektedir.

Model 2'de 30° yöndeki seralar en yüksek tekdüzelik indeksine (0.807) sahip olmuştur. Buna rağmen, bu yöndeki sıcaklık yüksek (28.23 °C), ve bağıl nem düşük (%43.95) kalmıştır. 90° ve 75° sera yönünde sıcaklık 27 °C civarında olmuştur. 75° yöndeki sera için tekdüzelik indeksi 90° yönünden daha yüksek olduğu için Model 2 'de yetiştiricilik için en uygun yön 75° olarak belirlenmiştir.

Model 3, Model 1 gibi 0° yönlü sera en yüksek tekdüzelik indeksine sahip olmuştur. Ancak ortalama sıcaklık diğerlerinden daha yüksektir. Bağıl nemi de diğerlerine göre daha düşük kalmıştır. Bu modelde kuzey duvar açıklığı mevcut olduğu için daha yoğun hava akışı görülmektedir. Bundan dolayı ortalama sıcaklık değeri 25 °C'ye kadar düşmüştür. Bu simülasyon modelinde 45° yönlü sera en iyi çevre koşullarının sağlanması için önerilmektedir.

Model 4 seranın çevre koşulları hemen hemen Model 3 ile aynı olmuştur. Bu modelde daha fazla açıklık bulunduğundan ortalama sıcaklık değerleri yaklaşık 25 °C

kadar düşmüştür. 75° ve 15° yönü olan sera modelleri aynı tekdüzeliğe sahip olmasına rağmen, ortalama sıcaklık 75° sera yönünde daha düşüktür. Aynı zamanda 75° sera yönünde daha yüksek bağıl nem değerleri gözlenmiştir. Bu nedenle bu model için 75° yönlü sera için tavsiye edilmektedir.

Model 5'te seraları hem kuzey hem de güney duvar açıklığına sahiptir, ancak çatı açıklığı bulunmamaktadır. Bu modelde 0° hariç tüm yönler de ortalama sıcaklık değeri 25 °C ulaşmıştır. Ortalama bağıl nem değeri %52,16 olarak belirlenen 60° yönlü sera yönü en uygun model olarak seçilmiştir.

Duvar açıklığı olmayan ve iki çatı açıklığı olan Model 6'da iç ortam sıcaklığı 26-28 °C civarında olmuştur. Bunun ana nedeni Model 3, Model 4 ve Model 5'e göre daha düşük hava girişi ve sirkülasyondan kaynaklanmaktadır. En yüksek tekdüzelik indeksi 0° yönünde serada görülebilmektedir, ancak bu yön en yüksek sıcaklık ve en düşük bağıl nem değerlerine sahiptir (28.94 °C, %42.23). Dolayısıyla bu modelde en uygun çevre koşulları sağlanamamıştır. Bu sera modeli için en iyi yön olarak 60° sera yönü belirlenmiştir (0.728 hava akım hızı tekdüzelik indeksi, 26.90 °C sıcaklık ve % 47.79 bağıl nem).

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında altı farklı sera modelinde (Model 1, Model 2, Model 3, Model 4, Model 5 ve Model 6) ve yedi farklı sera yönünün (90°, 75°, 60°, 45°, 30°, 15°, 0°) hava akışına, hava hızına, sıcaklığa ve bağıl neme olan etkisi HAD simülasyonları kullanılarak incelenmiştir. Sayısal yöntemin doğrulanması için Model 1 serasında ölçümler yapılmıştır. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ölçülen değerler farklı istatistiksel parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında iyi bir uyum olduğu belirlenmiştir.

Model 1 ve Model 2 de sadece güney duvar açıklığı ve güney çatı açıklığı bulunmaktadır. Rüzgar kuzeyden geldiği için, incelenen çoğu yönde seralarda yeterli hava akışının sağlanamadığı tespit edilmiştir. Ancak, farklı açıklık dereceleri sayesinde sera içinde hava sirkülasyonları oluşmuştur. Genel olarak incelenen modellerde iç ortam sıcaklığı 27-28 °C ve bağıl nem %42-48 arasında değişmiştir. Tekdüzelik indeksi, sıcaklık ve bağıl nem değerleri göz önüne alındığında, Model 1 serası için en uygun yön 45° iken, Model 2 serası için 75° olarak belirlenmiştir.

Model 3, Model 4 ve Model 5 seralarının hepsinde kuzey duvar açıklığı mevcuttur. Böylelikle sera içindeki hava sirkülasyonu Model 1 ve Model 2'ye göre daha iyi olmuştur. Genel olarak incelenen modellerde iç ortam sıcaklığı 25-26 °C, bağıl nem ise % 48-51 arasında değişmektedir. Model 3 sera için en iyi yön 45°, Model 4 sera 75° ve Model 5 sera için 60° belirlenmiştir. Son olarak 26-28 °C arasında sıcaklığa sahip olan Model 6 serası için en iyi yön 60° olarak belirlenmiştir.

Sera iç ortam koşulları, bitki verim ve kalitesini belirlemek için önemli bir faktördür. Doğal havalandırılmalı sera için en uygun çevre koşullarını sağlamak için seranın yapıları, rüzgâr yönü, açıklığın konumu ve açıklığın açısı dikkate alınmalıdır. HAD simülasyon yönteminin, hava akış modeli, hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem sera iç ortam koşullarını gözleme ve tahmin etmede faydalı ve etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Bu yöntem, farklı yer ve koşullarda uygun sera modelini daha kısa sürede ve maliyetle belirlemek için yeterli bilgi sağlayabilmektedir.

Bu araştırmada farklı sera yönü ve havalandırma açıklıklı seralarda mikro iklim incelenmiştir. Simülasyonu için bir sonraki plan sera mikro iklimi bir yıl boyunca farklı sezonlarda incelenebilmektedir. Sera içindeki bitkiler ve evapotranspirasyon oranı da simülasyona dahil edilebilmektedir. Böylece, simülasyonda sera mikro iklim koşulları daha iyi tahmin edilebilecektir.

## KAYNAKLAR

- Aldrich, R., ve Bartok, J. (1994). Greenhouse Engineering (NRAES 33). In: Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES).
- Aqilah, F., Islam, M., Juretic, F., Guerrero, J., Wood, D., ve Ani, F. N. (2018). Study of Mesh Quality Improvement for CFD Analysis of an Airfoil. *IIUM Engineering Journal*, 19(2), 203-212.
- Arkazloo, N. B., Bouissa, Y., Bazdidi-Tehrani, F., Jadidi, M., Morin, J.-B., ve Jahazi, M. (2019). Experimental and unsteady CFD analyses of the heating process of large size forgings in a gas-fired furnace. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100428.
- Asinari, P. (2007). Radiation heat transfer: Basic physics and engineering modeling. *POLITECNICO DI TORINO*.
- Atiř, A. (2011). *Hesaplmalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak samsun koşullarına uygun farklı sera modellerinde doğal havalandırma etkinliğinin belirlenmesi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Samsun,
- Bailey, B., Robertson, A., ve Lockwood, A. (2002). *The influence of wind direction on greenhouse ventilation*. Paper presented at the XXVI International Horticultural Congress: Protected Cultivation 2002: In Search of Structures, Systems and Plant Materials for 633.
- Batdorf, M., Freitag, L., Ollivier-Gooch, C., Batdorf, M., Freitag, L., ve Ollivier-Gooch, C. (1997). *Computational study of the effect of unstructured mesh quality on solution efficiency*. Paper presented at the 13th Computational Fluid Dynamics Conference.
- Berk, A. (2013). Processor Driven Integration of Small-Scale Farmers into Value Chains in Turkey. *FAO Report*, 33.
- Bot, G. P. (1983). *Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model*. (Doctoral Dissertation, Bot)
- Brugger, M., Montero, J., Baeza, E., ve Perez-Parra, J. (2004). *Computational fluid dynamic modeling to improve the design of the spanish parral style greenhouse*. Paper presented at the International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys, 2004 691.
- Campen, J., ve Bot, G. (2003). Determination of greenhouse-specific aspects of ventilation using three-dimensional computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 84(1), 69-77.
- Canakci, M., Emekli, N. Y., Bilgin, S., ve Caglayan, N. (2013). Heating requirement and its costs in greenhouse structures: A case study for Mediterranean region of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 483-490.
- Cengel, Y. A. (1997). *Introduction to thermodynamics and heat transfer* (Vol. 846): McGraw-Hill New York.
- Cengel, Y. A. (2010). *Fluid mechanics*: Tata McGraw-Hill Education.
- Doğaka. (2015). *Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı TR63 Bölgesi Seracılık (Örtüaltı Bitki Yetiştiriciliği) Sektör Raporu 2015*. Retrieved from

[https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr\\_622\\_1k5143wg\\_seracilik-ortualti-bitki-yetistiriciligi-sektor-raporu-2015.pdf](https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr_622_1k5143wg_seracilik-ortualti-bitki-yetistiriciligi-sektor-raporu-2015.pdf)

- Durst, F. (2008). *Fluid mechanics: an introduction to the theory of fluid flows*: Springer Science ve Business Media.
- Erizal, H. S., ve Romdhonah, Y. (2012). *Design of a Sustainable Greenhouse Structure for the Tropical Regions: applying computational fluid dynamics methods*. Paper presented at the Proceeding of 3rd GEN Network and 4th Rispescia International Seminar: Sustainable Bio-resources for Global Welfare. Universitas Gajah Mada. Hlm.
- Fatnassi, H., Leyronas, C., Boulard, T., Bardin, M., ve Nicot, P. (2009). Dependence of greenhouse tunnel ventilation on wind direction and crop height. *Biosystems Engineering*, 103(3), 338-343.
- Kreith, F., Manglik, R. M., ve Bohn, M. S. (2010). *Principles of heat transfer*: Nelson Education.
- Küçüktopcu, E., ve Cemek, B. (2019). Evaluating the influence of turbulence models used in computational fluid dynamics for the prediction of airflows inside poultry houses. *Biosystems Engineering*, 183, 1-12.
- Li, H., Rong, L., ve Zhang, G. (2019). CFD prediction of convective heat transfer and pressure drop of pigs in group using virtual wind tunnels: Influence of grid resolution and turbulence modelling. *Biosystems Engineering*, 184, 69-80.
- Li, X., Yan, Y., ve Tu, J. (2018). Evaluation of models and methods to simulate thermal radiation in indoor spaces. *Building and Environment*, 144, 259-267.
- Lu, X., ve Wang, T. (2013). Investigation of radiation models in entrained-flow coal gasification simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 377-392.
- Mahajan, G., ve Singh, K. (2006). Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural water management*, 84(1-2), 202-206.
- MGM (2020). Samsun illere ait mevsim normalleri (1929-2019). Erişim 12 Aralık 2020, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SAMSUN>
- Molina-Aiz, F., Fatnassi, H., Boulard, T., Roy, J., ve Valera, D. (2010). Comparison of finite element and finite volume methods for simulation of natural ventilation in greenhouses. *Computers and electronics in agriculture*, 72(2), 69-86.
- Norton, T., Sun, D.-W., Grant, J., Fallon, R., ve Dodd, V. (2007). Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. *Bioresource technology*, 98(12), 2386-2414.
- Rong, L., Nielsen, P. V., Bjerg, B., ve Zhang, G. (2016). Summary of best guidelines and validation of CFD modeling in livestock buildings to ensure prediction quality. *Computers and electronics in agriculture*, 121, 180-190.
- Roy, J., ve Boulard, T. (2004). *CFD prediction of the natural ventilation in a tunnel-type greenhouse: influence of wind direction and sensibility to turbulence*

- models*. Paper presented at the International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004 691.
- Şahin, K. (2010). The impact of climatic on 3S tourism in Samsun, Turkey: The summer 2008 experience. *Journal of Human Sciences*, 7(1), 776-793.
- Sevgican, A., Tüzel, Y., Gül, A., ve Eltez, R. Z. (2000). Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği. *Türkiye Ziraat Müh. V. Teknik Kongresi*, Cilt II, Ankara, pp. 679-707
- Sørensen, D. N., ve Nielsen, P. V. (2003). Quality control of computational fluid dynamics in indoor environments. *Indoor air*, 13(1), 2-17.
- Tajik, A. R., Shamim, T., Al-Rub, R. K. A., ve Zaidani, M. (2017). Two dimensional CFD simulations of a flue-wall in the anode baking furnace for aluminum production. *Energy Procedia*, 105, 5134-5139.
- Tashoo, K., Thepa, S., Pairintra, R., ve Namprakai, P. (2014). Reducing the air temperature inside the simple structure greenhouse using roof angle variation. *J. Agric. Sci*, 20, 136-151.
- Teitel, M., Ziskind, G., Liran, O., Dubovsky, V., ve Letan, R. (2008). Effect of wind direction on greenhouse ventilation rate, airflow patterns and temperature distributions. *Biosystems Engineering*, 101(3), 351-369.
- Tong, X. (2019). *Modeling of Indoor Environment and Ammonia Emission, Distribution, and Dispersion Within and From Manure-Belt Layer Houses*. The Ohio State University,
- Tuzel, Y., ve Oztekin, G. (2014). *Recent developments of vegetables protected cultivation in Turkey*. Paper presented at the VI Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes 1142.
- White, F. M. (2010). Fluid mechanics. In.
- Yağcıoğlu, A. (2014). *Sera Mekanizasyonu*: Ege Üniversitesi Yayınları.
- Yakhot, V., ve Orszag, S. A. (1986). Renormalization group analysis of turbulence. I. Basic theory. *Journal of scientific computing*, 1(1), 3-51.
- Yılmaz, N. (2018). Samsun Körfezi kıyı sularında rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeni modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1).
- Zhang, H., Li, X., Wang, Y., Yao, J., Kang, Y., ve Wang, Y. (2017). Evaluation and analysis of internal flow field uniformity in grain stack based on multi zone model of porous media. *Procedia Engineering*, 205, 2164-2170.

## ÖZ GEÇMİŞ

Muminah Mustaqimah, SMAN 1 Bogor Lisesi'ni bitirdikten sonra Endonezyada IPB University Ziraat Muhendisliđi ve Teknolojisi Fakültesi'nden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ LEE Tarımsal Yapılar ve Sulama Yüksek Lisans programını girdi.

### İletişim Bilgileri

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7749-9810>

### Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Mustaqimah, M., ve Cemek, B. (2019). Determination of Tropical Greenhouse Design and Cooling System Based on Climate Condition in West Java Province, Indonesia. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Agriculture Environment in Konya, Turkey* (pp. 324-330)
2. Mustaqimah, M., ve Saulia, L. (2019). Design and Performance Test of Internet of Things (IoT)-Based Portable Greenhouse Monitoring Device. *Proceedings of the International Student Symposium in Edirne, Turkey* (pp. 238-248)
3. Cemek, B., Küçüktopçü, E., Akyüz, A., ve Mustaqimah, M. (2019). Spatial Estimation of Solar Radiation using Ordinary Kriging. *Proceedings of the International Symposium on Atmospheric Sciences in Istanbul, Turkey* (pp. 271-278)

### Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. Türkiye Bursları Scholarship 2018
2. Erasmus+ Internship Mobility Grant 2020